공동주택 지하주차장의 균열 및 누수방지 대책방안 연구

연구지원 2013-45호

공동주택 지하주차장의 균열 및 누수방지 대책방안 연구

지은이 **김영진** · 이도헌 · 이범식 · 임해식 · 신상훈
발행인 **이인근**
발행처 한국토지주택공사 토지주택연구원
편 집 **김영진** · 이도헌 · 이범식 · 임해식 · 신상훈
인 쇄 지음디자인

주소 (우)305-810 대전광역시 유성구 전민동 462-2
전화 042) 866-8682
전송 042) 866-8431
전자우편 **yjkim016**@lh.or.kr

이 책의 내용을 쓰고자 할 때는 저작권자와 토지주택연구원의 허락을 받아야 합니다.

• 이 출판물은 우리 공사의 업무상 필요에 의하여 연구검토 한 기초자료로서 공사나 정부의 공식적인 견해와 관계없습니다.
• 우리 공사의 승인 없이 연구내용의 일부 또는 전부를 다른 목적으로 이용할 수 없습니다.

연구지원 2013-45

공동주택 지하주차장의 균열 및 누수방지 대책방안 연구

참여연구진

연구총괄
김영진 LH 토지주택연구원 수석연구원

참여연구원
이도헌 LH 토지주택연구원 선임연구위원
이범식 LH 토지주택연구원 연구위원
신상훈 LH 토지주택연구원 연구원
임해식 LH 도시설계처 부장

현업
박상용 LH 기술기준처 차장
김정은 LH 기술기준처 과장

자문위원
김진근 한국과학기술원 건설환경공학과 교수
곽효경 한국과학기술원 건설환경공학과 교수
한천구 청주대학교 건축공학과 교수
원종필 건국대학교 건축공학과 교수
정재동 대구대학교 건축공학과 교수
김진만 공주대학교 건축공학부 교수
김길희 공주대학교 건축공학부 교수
배기선 한양대학교 연구교수
이성원 한국건설기술연구원 연구위원
김병일 한국건설기술연구원 수석연구원
신홍철 한국건설생활환경시험연구원 책임연구원
진현식 오주엔지니어링 이사
이승일 시지엔지니어링 과장
최현국 성신양회 기술연구소 소장
김형철 성신양회 기술연구소 팀장
김한덕 현대산업개발 부장
박규연 포스코건설 건축기술그룹 부장
심성보 대우건설 주택기술팀 부장
전중규 코오롱건설 기반시설연구소 차장
류득현 유진기업 전무
김성중 대림산업 팀장
이정영 시지엔지니어링 대표이사
송병창 아키벤 대표이사
현창국 동양구조 이엔알 대표이사
정 용 삼표기술연구소 소장
이수헌 베이시스 대표이사
김병찬 베이시스 실장
최동섭 CS콘텍 대표이사
오효근 CS콘텍 과장

연구요약

1. 서 론

국내에서는 마이카 시대를 필두로 차량 2천만대가 넘어서고 있는 실정이다. 공사에서도 마이카 및 마이홈 시대의 흐름에 발맞춰 공동주택의 도입이 절실히 필요한 실정에 따라서 국민들의 주거문화의 개선 및 이동수단의 다양성에 따라 주차장 문제가 심각하게 대두되고 있는 실정이다. 과거 지상주차장에서의 공간을 조경식재 등 지하주차장으로의 패러다임 변화로 인하여 국내에서도 1990년대 종묘에 있는 지하주차장을 필두로 지하주차장의 역사는 시작되었다. 공사에서도 선진국에서는 찾아보기 힘든 동과 동을 연결하는 통합형 지하주차장(일본의 사례에서는 지하주차장을 거의 안하고 있고, 유럽에서는 단독형 지하주차장을 선호하고 있는 실정임)을 선호하고 있으며, 이에따른 하자문제 또한 심각하게 대두되고 있는 실정이다. 하지만 초기에 지어진 지하주차장 건축물이 그러하듯이 설계의 개선과 공법에 대한 수정보완작업을 통하여 끊임없이 발전하고 있고, 국민소득 향상과 함께 웰빙 주거문화 정착으로 인하여 공동주택내 지하공간은 주차장과 더불어 헬스장, 골프장 및 수영장 등 입주민의 편의시설로 사용성이 크게 증가되고 있는 반면, 지하주차장의 균열 및 누수 등의 빈번한 하자발생으로 인한 각종 민원이 증가되고 있는 실정에 있음. 최근 천안OO지구에서 발생한 공동주택 단지내 지하주차장의 균열 및 누수발생으로 인하여 주민들의 원망과 질타가 이어졌고, 이로 인하여 LH공사는 대내외적으로 치명적인 이미지 손상을 받았으며, 이는 천안OO지구뿐 만 아니라 LH 전 사업지구에 걸친 문제라는 인식을 통하여 전사적으로 실태조사를 펼쳤으며, 2011년 말 토지주택연구원 차원에서 "LH주택 5대현안 품질향상 기술보고서" 를 발간하기도 하였음. 기술보고서에서는 크게 5개 분야로 구성되어있으며, 이는 다시 1)결로, 2)소음, 3)누수, 4)공기질, 5)균열로 세분화

되어있으며, 금번 연구에서는 3)누수 분야와 5)균열 분야에 대한 연구와 지하주차장을 감싸고 있는 지하수 흐름에 따른 변화 거동을 추가적으로 파악하고, 하천에 인접하고 산지 구릉지 등 경사지역에서의 현행 설계분야에 대한 재검토가 필요한 실정임. 따라서, 본 연구에서는 현장조사를 바탕으로 기존의 지하주차장에 대한 문제점을 직시하고, 'LH 하자실태조사' 에 대한 문제점 분석을 통하여 현안별 사안들을 점검하고자 한다.

2. 주요연구내용 (수정 작업이 추가로 필요)

본 연구는 총 3부분으로 구분하여 수행하였으며, 각 부분은 다음과 같다.

가. Part-Ⅰ : 지하주차장 균열 및 누수관련 하자실태 조사

① 구조체 콘크리트와 무근콘크리트 시공 품질 관리 방안

- 콘크리트 및 지반 강도의 재료적 측면(수화열, 건조수축, 혼화재, 시공중 대기온도 등) 및 설계적 측면(사하중, 활하중, 시공단계별 설계방안 마련)에 대한 현행 시방서 및 지침서를 검토하였으며, 추가적으로 시공적 측면에서도 검토하였다.

② 방수 및 배수에 대한 검토

- 지하주차장의 누수등에 대한 대책방안으로서, 방수공법에 대하여 검토를 하였다. 누수부위 원인분석을 통하여 원인 적합한 방수공법을 검토하였다.

나. Part-Ⅱ : 구조계산 및 설계서 검토

① 지하구조물 지하수위 변동 고려

- 경사지에 위치한 지하구조물에 대한 지하수 흐름에 대하여 분석하고, 지하수위 변동에 따른 지하구조물의 구조적 안전성에 대하여 검토하였다.

② 무근콘크리트 하부 배수판 설치에 따른 구조적 검토

- 차량하중(윤하중)에 의한 하부면에 배수판이 설치된 무근콘크리트의 구조적인 검토를 수치해석 등을 활용하여 검토하였다.

다. Part-Ⅲ : 지하수 문제 대책방안 검토

① 지하구조물에 대한 유체 흐름

- 최초 정수압 설계개념에서 지반내 토립자 유동에 따른 유체 흐름 검토하였다.

② 배수방식에 따른 지하수 흐름

- 주차장 내부의 유도배수로를 통한 강제 펌핑 방식에서 유공관설치 등을 통한 하천 등으로 자연유하방식에 대한 지하수 흐름 방식을 검토하였다.

③ 부력, 지하수 흐름 및 시공단계별(stage) 검토하였다.

3. 결론 및 향후 추진 방향 제언

○ 입주자를 위한 안정적인 주거공간 제공 및 대외신뢰성 제고

○ 지하구조물의 균열저감으로 하자보수비용 감소 효과 기대

○ 양압력설계기준 추가 및 지하주차장의 설계하중 재검토

3.1 연구완료 후 조치경과

○ 재료적 검토, 지하수흐름 고려를 위한 양압력 검토, 지하주차장의 하중조건 등에 대한 재검토 등을 수행한 후 설계 건의

○ 구조부서와의 공동 세미나 개최를 통한 공감대 형성
(2013년 9월 10일 3水(방수,지하수,배수) 세미나 개최)

3.2 지하주차장관련 상세 개선내용

○ 지하주차장 지하 매설심도 10m 초과시 부력 및 양압력 추가 검토를 수행하였다.

○ 주차장 하중을 KBC2005 기존 6.0kN/㎡에서 KBC2009 3.0kN/㎡로 재검토를 통한 합리적인 설계법 제시하였으나 중앙부 슬래브는 다소 OOOO

○ 지하주차장 배수시설물 및 방수기법에 대한 필요성 제시하였다.

○ 무근콘크리트 시방 개정(’12.10) 및 콘크리트 강도변경(24MPa⇒18MPa) 적정성 검토를 통하여 구조적으로는 문제가 없는 것으로 나타났으며, 일반 건설사의 시공강도와 같이 할 필요성이 있다.

가. 시방서개정 : 24011 (2012.12)

- 섬유보강 무근콘크리트 시방서 개정

나. 설계기준 개선 건의

- 지하주차장 설계검토 사항 (부력 및 양압력 검토 필요)
  기존 1.5m 에서 부력검토에서 지하수위 10m시 양압력에 대하여 검토하였다.
- 지하수위 10m 이상 상승시, 영구배수시스템 적용에 따른 양압력 검토를 통하여 적절한 배수재를 하단에 설치할시, 양압력을 소산시키는 방법에 대한 자료를 마련(안)을 제시하였다.

다. 원가절감 사항

- 무근콘크리트의 설계강도를 24MPa 에서 18MPa로 하향 조정시에 ㎡당 342원(약 9억원 절감 ; 2013년 기준)의 원가절감이 발생하는 것으로 나타났다.
- 무근콘크리트 두께가 이론상 90mm로 해도 구조적으로 안전하다는 수치해석 결과가 도출되었지만, 추가적인 연구가 필요할 것으로 사료되어진다.

라. 학술발표 및 대외홍보자료(학술발표 5건, 논문집 1건 준비중)

- 한국콘크리트학회 3건, 구조물진단유지관리공학회 2건
- 복합신소재구조학회 논문집(2013.12) : 지하주차장 차량하중에 따른 구조체의 영향분석

차 례

제1장 서 론 1

1. 연구의 필요성 1

2. 연구의 목적 3

3. 연구의 내용 및 범위 5

4. 연구 흐름도 8

제2장 지하주차장 바닥 무근콘크리트 균열 저감방안 9

1. 개 요 9

2. 지하주차장 무근콘크리트 정의 및 균열발생 현황 10

2.1 지하주차장 무근콘크리트 정의 10

2.2 지하주차장 무근콘크리트 균열발생 현황 12

3. 지하주차장 무근콘크리트 균열발생 원인 13

3.1 소성수축 균열 14

3.2 건조수축 균열 17

4. 무근콘크리트 균열저감방법 21

4.1 무근콘크리트 균열저감방법 현황 21

4.2 무근콘크리트 설계기준 25

4.3 무근콘크리트 균열저감방법 30

제3장 지하주차장 무근콘크리트 균열 저감방안 실험적 검토 55

1. 서 론 55

1.1 개 요 55

1.2 전체 실험계획 55

2. 섬유보강재 선별 및 기초물성실험 (실험 1단계) 56

2.1 실험개요 56

2.2 실험계획 56

2.3 실험방법 58

2.4 사용재료 62

2.5 실험결과 64

2.6 실험 결론 73

3. 섬유보강재 혼입량에 따른 콘크리트 물성변화실험 (2단계) 74

3.1 실험개요 74

3.2 실험계획 74

3.3 사용재료 75

3.4 콘크리트 제작 및 실험항목 77

3.5 실험결과 83

3.6 실험결론 91

4. 단위수량 및 섬유보강재 혼입량에 따른 균열저감성능 평가실험 (3단계) 92

4.1 실험개요 92

4.2 실험계획 93

4.3 콘크리트 제작 및 실험항목 94

4.4 실험결과 100

5. 보강재 종류에 따른 무근콘크리트 균열저감성능 Mock-up 실험 (4단계) 114

5.1 실험개요 114

5.2 실험계획 114

5.3 콘크리트 제작 및 실험항목 115

5.4 실험결과 124

제4장 지하주차장 누수관련 대책방안 133

1. 개 요 133

2. 지하주차장 부위별 누수현황 및 대책방안 133

2.1 지하1층 주차장 천정부위(상부슬래브/보/벽체) 누수현황 및 원인 134
2.2 지하 2층 주차장 램프 주변 상부 슬래브 누수현황 및 원인 150
2.3 지하 1층 주차장 바닥(층간 슬래브) 누수 현황 및 원인 160
2.4 지하 2층 주차장 단차 슬래브 주변 누수현황 164
2.5 동 PIT 누수현황 168
2.6 층간 데크 슬래브 광범위 누수 170
2.7 지하주차장 E/J 조인트 누수 173
2.8 지하주차장 층간 슬래브 누수 특별 사례 176

3. 지하주차장 방수공법 194

3.1 지하주차장 방수공법의 특징 195
3.2 지하주차장 외방수공법의 적용시 문제점 196
3.3 지하주차장 외방수공법의 활성화를 위한 방안 199
3.4 지하주차장 내방수 및 외방수 최적 설계방안 200
3.5 지하주차장 외방수공법 연구개발 방향 201
3.6 지하구조물 방수기술 현황 202

제5장 기초바닥 영구배수 공법 설계 229

1. 개 요 229

1.1 검토 개요 229
1.2 지반 조건 229
1.3 공내지하수위 조건 231
1.4 설계결과 요약 232

2. 영구배수 설계 232

2.1 설계 개요 232
2.2 적용규준 및 참고자료 233
2.3 사용된 수리해석 프로그램 233
2.4 투수계수 산정 233
2.5 설계지하수위 산정 236
2.6 지하수 유입수량의 산정 238
2.7 구조물하부에 작용하는 양압력 검토 246

3. 결 론 **255**
3.1 양압력 검토 결과 255
3.2 해석에 의한 유입수량 산정 요약 (설계지하수위) 255

제6장 배수판 설치에 따른 무근콘크리트의 역학적 수치해석 **257**

1. 개 요 **257**

2. 지하주차장 사용성 검토 **258**
2.1 각 국의 지하주차장 설계하중과 현행 설계하중에 대한 검토 258
2.2 설계기준차량의 선정 259
2.3 모델링 259
2.4 분포하중과 차량의 집중하중에 따른 구조체 영향분석 264
2.5 소 결 278

3. 배수판 설치에 따른 콘크리트 계면부의 구조적 거동 분석 **279**
3.1 개 요 279
3.2 구조해석개요 280
3.3 구조해석 280
3.4 소 결 285

4. 영구배수공법 적용에 따른 무근콘크리트 부분시공 개선방안 검토 **285**
4.1 개 요 285
4.2 지반조사결과 285
4.3 과거 강우자료 분석결과 291
4.4 지하수 침투해석결과 295
4.5 구조물하부에 작용하는 양압력 검토 300
4.6 구릉지 및 절개지에 구조물 신축시 영구배수 검토 302

제7장 지하수위에 따른 지하주차장의 구조적 안전성 검토 **305**

1. 개 요 **305**

2. 지하수 흐름에 따른 구조체 영향분석 **305**
2.1 개 요 305

2.2 연구대상지반의 지층조건 및 지반물 성치 311
2.3 침투 및 응력~변위해석에 의한 안정검토 323
2.4 배면 수위차에 따른 구조물의 안정성 검토 355
2.5 배면 수위차에 따른 구조물의 균열 안정성 검토 371
2.6 강우강도에 따른 구조물의 안정성 검토 375
2.7 강우강도에 따른 구조물 바닥 및 측벽에서의 변위 및 휨모멘트 385
2.8 되메움토의 다짐조건에 따른 지반구조물의 안정성 검토 392
2.9 시공단계를 고려한 지하수위 및 양압력의 변화 398
2.10 구조물 균열에 따른 천정 및 측벽부 지하수 유입량 검토 402
2.11 소 결 414

제8장 결 론 417

1. 콘크리트 재료 물성에 따른 무근콘크리트 417

2. 배수 및 방수에 대한 고려 417

3. 지하수위에 대한 고려 420

4. 배수판 설치에 따른 무근콘크리트 역학적 수치 해석 421

참고문헌 423

부록 A 425

1. 민간건설사 대상 지하주차장 무근콘크리트 품질관리 설문조사 425

1.1 설문조사 425
1.2 설문조사 결과 433

2. 무근콘크리트 균열저감용 섬유보강재 판매업체 조사 435

2.1 질의내용 435

표 차 례

[표 2-1] 무근 및 누름콘크리트의 구분 11
[표 2-2] 콘크리트 균열발생 원인 및 제어대책 14
[표 2-3] 콘크리트 건조수축에 대한 골재종류의 영향 19
[표 2-4] LH공사 지하주차장 무근콘크리트 균열저감 방법 21
[표 2-5] 대우건설 무근콘크리트 균열저감방법 22
[표 2-6] 포스코건설 무근콘크리트 균열저감방법 23
[표 2-7] 무근콘크리트 배합설계의 제한값 (롯데건설) 24
[표 2-8] 자연섬유 보강재 물성 (ACI 544.1R-96) 26
[표 2-9] 자연섬유보강 콘크리트 제작 요구조건 (ACI 544.1R-96) 27
[표 2-10] 섬유보강콘크리트 물성 및 실험 (1) (ACI 544.2R-89) 29
[표 2-11] 섬유보강콘크리트 물성 및 실험 (2) (ACI 544.2R-89) 29
[표 2-12] 와이어메쉬 표준규격 (KS D 7017) 32
[표 2-13] 와이어메쉬 단위중량 (KS D 7017) 32
[표 2-14] 섬유보강재의 종류와 물리적 특성 36
[표 2-15] 셀룰로오스 섬유보강재 종류 40
[표 2-16] 합성 섬유보강재 43
[표 2-17] 줄눈절단 적정 압축강도 실험결과값 53
[표 2-18] 줄눈설치관련 현황 54

[표 3-1] 섬유보강 무근콘크리트 물성평가 실험의 구성 57
[표 3-2] 섬유보강 무근콘크리트 물성평가실험의 배합 57
[표 3-3] 실험에 사용한 섬유보강재 물성 63
[표 3-4] 골재의 물리적 특성 63
[표 3-5] 경화전 콘크리트의 실험결과 64
[표 3-6] 경화후 콘크리트의 실험결과 64

[표 3-7] 섬유보강 무근콘크리트 물성평가 실험의 구성 75
[표 3-8] 섬유보강 무근콘크리트 물성평가실험의 배합 75
[표 3-9] 섬유의 특성 76
[표 3-10] 골재의 물리적 특성 76
[표 3-11] 굳지않은 콘크리트의 실험결과 83
[표 3-12] 경화된 콘크리트의 강도 결과 83
[표 3-13] 섬유보강 무근콘크리트 물성평가 실험의 구성 93
[표 3-14] 섬유보강 무근콘크리트 물성평가실험의 배합 94
[표 3-15] 굳지않은 콘크리트의 실험결과 101
[표 3-16] 경화된 콘크리트의 실험결과 102
[표 3-17] 수축균열 측정표 110
[표 3-18] 섬유보강 무근콘크리트 Mock-up 실험의 구성 115
[표 3-19] 섬유보강 무근콘크리트 Mock-up 실험의 배합 115
[표 3-20] 굳지않은 콘크리트의 실험결과 124
[표 3-21] 경화된 콘크리트의 실험결과 124
[표 3-22] 실내실험과 Mock-up 실험 재료량 및 환경 온도 비교 126

[표 4-1] 지하주차장 누수관련 현황 176
[표 4-2] 진단대상 및 범위 179
[표 4-3] 보수방안별 적용성 분석 190
[표 4-4] 지하방수 공법 개요 194
[표 4-5] 공법개념에 따른 외방수 및 내방수 구분 195
[표 4-6] 외방수 및 내방수 공법 장점 195
[표 4-7] 외방수 및 내방수 공법 단점 196
[표 4-8] 지하방수 공사비 비교 199
[표 4-9] 지하방수 관련 건설 신기술 203

[표 5-1] 지층별 두께 및 지하수위 (1) 230
[표 5-2] 지층별 두께 및 지하수위 (1) 231
[표 5-3] 설계관련 사항 232
[표 5-4] From "Construction Dewatering" 233
[표 5-5] 투수계수의 일반적인 값들 234

[표 5-6] 퇴적암 투수계수의 이방성 234
[표 5-7] Creager에 의한 D20과 투수계수 235
[표 5-8] 현장에 적용된 투수계수 235
[표 5-9] 공종별 유출계수 (1) 236
[표 5-10] 공종별 유출계수 (1) 237
[표 5-11] 토지용도별 유출계수 237
[표 5-12] 해석에 의한 유입수량 산정 요약 (5.0m 적용) 244
[표 5-13] 해석에 의한 유입수량 산정 요약 (10.0m 적용) 244
[표 5-14] 해석에 의한 유입수량 산정 요약 (15.0m 적용) 244
[표 5-15] 해석에 의한 유입수량 산정 요약 (20.0m 적용) 245
[표 5-16] 해석에 의한 유입수량 산정 요약 (25.0m 적용) 245
[표 5-17] 양압력 검토 결과 255
[표 5-18] 해석에 의한 유입수량 산정 (설계지하수위) 255

[표 6-1] 각국의 지하주차장 설계하중표 258
[표 6-2] 설계기준차량의 제원 259
[표 6-3] 모델 지지조건 260
[표 6-4] 구조해석 시 고려한 차량 하중 280
[표 6-5] 구조해석 결과 284
[표 6-6] 지층현황 286
[표 6-7] 현장투수시험결과 요약 288
[표 6-8] 지하주차장 주변지반의 투수계수 288
[표 6-9] 지하수 유향, 유속 시험결과 요약 288
[표 6-10] 지하수 유향 유속 시험결과 상세분석 1 289
[표 6-11] 지하수 유향, 유속 시험결과 상세분석 2 290
[표 6-12] 지하수 유향, 유속 시험결과 상세분석 3 291
[표 6-13] 연도별 최대 시간강우강도 (천안) 292
[표 6-14] 연도별 최대 일강우량 (천안) 293
[표 6-15] 2011년도 일강우량 (천안) 294
[표 6-16] 침투해석에 적용한 지반의 투수계수 296
[표 6-17] 아산지점의 확률강우 빈도별 강우강도, 지속시간 297
[표 6-18] 아산지점의 빈도별 강우량 적용시 해석결과 298

[표 6-19] 기초 바닥에 배수재 미설치시 작용하는 양압력 검토 결과 300
[표 6-20] 지하수 상승에 따른 배수재 설치구간별 양압력 검토 301
[표 6-21] 지하수위 10m 이상 상승시 영구배수시스템 적용에 따른 양압력 검토결과 303

[표 7-1] 연도별 최대 시간강우강도 (천안) 313
[표 7-2] 연도별 최대 일강우량 (천안) 314
[표 7-3] 2011년도 일강우량(mm) (천안) 315
[표 7-4] 2012년도 일강우량(mm) (천안) 316
[표 7-5] 지층현황 (대한토목학회, 2012) 319
[표 7-6] 현장투수시험결과 요약(대한토목학회, 2012) 319
[표 7-7] N값, 상대밀도및 내부마찰각 320
[표 7-8] 지층별 내부마찰각의 추정 321
[표 7-9] 지반의 특성치 322
[표 7-10] 서울시 지반조사편람의 지반정수 적용범위 322
[표 7-11] 해석에 적용한 설계지반정수 323
[표 7-12] 24개 지반종류에 따른 포화투수계수와 간극율 330
[표 7-13] 해석에 적용한 설계지반정수 339
[표 7-14] Contact Bond Model 339
[표 7-15] Parallel Bond Model 339
[표 7-16] 구조물 바닥에서 작용하는 양압력(kPa)의 변화 (통합 지하주차장) 350
[표 7-17] 구조물 바닥에서 작용하는 양압력(kPa)의 변화 (가변형 통합 지하주차장) 351
[표 7-18] 구조물 측면에 작용하는 수압(kPa)의 변화 (통합 지하주차장) 353
[표 7-19] 구조물 측면에 작용하는 수압(kPa)의 변화 (가변형 통합 지하주차장) 354
[표 7-20] 양압력 변화로 인한 구조물 저면의 변위(mm)(통합 지하주차장) 360
[표 7-21] 양압력 변화로 인한 구조물 저면의 변위(mm)(가변형 통합 지하주차장) 361
[표 7-22] 양압력 변화로 인한 구조물 저면의 휨모멘트(kNm/m)(통합 지하주차장) 363
[표 7-23] 양압력 변화로 인한 구조물 저면의 휨모멘트(kNm/m)(가변형통합 지하주차장) 364
[표 7-24] 수위변화로 인한 구조물 측면의 변위(mm)(통합 지하주차장) 366
[표 7-25] 수위변화로 인한 구조물 측면의 변위(mm)(가변형통합 지하주차장) 367
[표 7-26] 수위변화로 인한 구조물 측면의 휨모멘트(kNm/m)(통합 지하주차장) 369
[표 7-27] 수위변화로 인한 구조물 측면의 휨모멘트(kNm/m) (가변형통합 지하주차장) 370
[표 7-28] 적용 강우강도 376

[표 7-29] 강우시 구조물 바닥에서 작용하는 양압력(kPa)의 변화 (30년 빈도) 380
[표 7-30] 강우시 구조물 바닥에서 작용하는 양압력(kPa)의 변화 (100년 빈도) 381
[표 7-31] 강우시 구조물 측면에서 작용하는 수압(kPa)의 변화 (30년 빈도) 383
[표 7-32] 강우시 구조물 측면에서 작용하는 수압(kPa)의 변화 (100년 빈도) 384
[표 7-33] 강우강도에 따른 구조물 바닥에서의 연직변위(mm) 387
[표 7-34] 강우강도에 따른 구조물 바닥에서의 휨모멘트(kNm/m) 388
[표 7-35] 강우강도에 따른 구조물 측벽에서의 수평변위(mm) 390
[표 7-36] 강우강도에 따른 구조물 측벽에서의 휨모멘트(kNm/m) 391
[표 7-37] 되메움토의 단위중량, 내부마찰각, 점착력 392
[표 7-38] 사례분석을 통한 흙 종류별, 다짐도별 강도정수 393
[표 7-39] 다짐도에 따른 되메움토의 설계정수 394
[표 7-40] 다짐도에 따른 구조물 측면에 발생하는 수평토압(kPa) 396
[표 7-41] 다짐도에 따른 구조물 측면에 발생하는 수평변위(mm) 397
[표 7-42] 시간에 따른 단위시간당 유출유량 400
[표 7-43] 시공단계에 따른 구조물 저면에서의 양압력 401
[표 7-44] 투수계수에 따른 천정부 유출량(강우강도 30년빈도) 406
[표 7-45] 수두차에 따른 균열부 투수계수별 측벽부 누수량 413

그 림 차 례

[그림 2-1] 누름 및 무근콘크리트 정의 10
[그림 2-2] 지하주차장 구조 11
[그림 2-3] 지하주차장 무근콘크리트 줄눈 횡단 균열 발생 12
[그림 2-4] 지하주차장 무근콘크리트 기둥 우각부 균열 발생 13
[그림 2-5] 콘크리트의 수분증발량 계산도표 15
[그림 2-6] 소성수축 균열의 패턴 16
[그림 2-7] 건조수축 균열의 발생 원리 18
[그림 2-8] 시편 크기에 따른 건조수축량의 변화 19
[그림 2-9] 배합수량이 건조수축에 미치는 영향 20
[그림 2-10] 골재치수가 단위수량에 미치는 영향 20
[그림 2-11] 폴리아미드 계열 섬유보강재 (코오롱건설) 24
[그림 2-12] 와이어메쉬 사진 및 구성 31
[그림 2-13] 와이어메쉬 설치상세도 (LH DA-83-001,003) 33
[그림 2-14] 지하주차장 무근콘크리트 와이어메쉬 설치 사진 34
[그림 2-15] 무근콘크리트 균열 저감을 위한 보강재 36
[그림 2-16] 섬유의 가교작용 (Bridge Effect) 37
[그림 2-17] 셀룰로오스 섬유 구조식 및 형상 39
[그림 2-18] 나일론 6의 구조 및 형태 41
[그림 2-19] 폴리프로필렌 섬유의 구조 및 형태 42
[그림 2-20] 폴리비닐알콜 섬유의 구조 및 형태 42
[그림 2-21] 섬유보강재 자동계량 투입장치 44
[그림 2-22] 섬유보강 무근콘크리트 제조방식 45
[그림 2-23] 섬유 뭉침 현상 (Fiber Ball) 46
[그림 2-24] 섬유보강재 혼입에 따른 슬럼프 값 47
[그림 2-25] 단위수량 및 단위시멘트량에 따른 건조수축 49

[그림 2-26] 섬유보강재 사용 및 단위수량 조절에 따른 건조수축량 50
[그림 2-27] 줄눈 설치시기 52
[그림 2-28] 줄눈 설치 가능시기 52
[그림 2-29] 못긁기 테스트 53

[그림 3-1] 무근콘크리트 균열저감성능 실험계획 55
[그림 3-2] 실험 개요 - 혼합방법(1) 58
[그림 3-3] 실험 개요 - 혼합방법(2) 59
[그림 3-4] 실험 콘크리트 제조 전경 59
[그림 3-5] 공시체를 이용한 측정 전경 61
[그림 3-6] 섬유의 형상 62
[그림 3-7] 설계강도 18MPa의 슬럼프와 유동화제 사용량 - 혼합방법(1) 65
[그림 3-8] 설계강도 24MPa의 슬럼프와 고성능감수제 사용량 - 혼합방법(1) 66
[그림 3-9] 슬럼프 손실량-혼합방법(2) 67
[그림 3-10] 설계강도 18MPa의 공기량 68
[그림 3-11] 설계강도 24MPa의 공기량 68
[그림 3-12] 설계강도 및 섬유보강재별 압축강도 측정결과 70
[그림 3-13] 각 설계강도 및 섬유보강재별 할렬인장강도 측정결과 71
[그림 3-14] 각 설계강도 및 섬유보강재별 휨강도 측정결과 71
[그림 3-15] 설계강도별 초기 소성수축량 72
[그림 3-16] 각 설계강도별 건조수축량 73
[그림 3-17] 섬유의 형상(광학 현미경 ×10) 76
[그림 3-18] 골재의 입도 곡선 77
[그림 3-19] 콘크리트 제조 과정 77
[그림 3-20] 콘크리트 제조 전경 78
[그림 3-21] 자기수축 길이변화 측정 몰드 79
[그림 3-22] 휨강도 측정 모식도 81
[그림 3-23] 각 실험 측정 82
[그림 3-24] 슬럼프 측정 결과 및 고성능감수제 사용량 84
[그림 3-25] 공기량 측정 결과 85
[그림 3-26] 자기수축 길이변화 측정결과 86
[그림 3-27] 건조수축 길이변화 측정결과 88

[그림 3-28] 압축강도 측정결과 89
[그림 3-29] 할렬인장강도 측정결과 90
[그림 3-30] 휨강도 측정 결과 91
[그림 3-31] 실험콘크리트 제작 (1) 94
[그림 3-32] 실험콘크리트 제작 (2) 95
[그림 3-33] 초기 슬럼프 및 공기량 측정 95
[그림 3-34] 60분 경시변화 슬럼프 및 공기량 측정 96
[그림 3-35] 압축강도 측정 96
[그림 3-36] 할렬인장강도 측정 97
[그림 3-37] 건조수축 길이변화 측정 98
[그림 3-38] 수축균열 유발실험 시험체 도면 99
[그림 3-39] 수축균열 유발실험 실험체 사진 99
[그림 3-40] 수축균열 시험체 제작 100
[그림 3-41] 초기 슬럼프 및 공기량 측정결과 103
[그림 3-42] 슬럼프 및 공기량 60분 경시변화 측정결과 104
[그림 3-43] 압축강도 측정결과 105
[그림 3-44] 할렬인장강도 측정결과 106
[그림 3-45] 휨강도 측정결과 107
[그림 3-46] 단위수량별 건조수축 길이변화 측정결과 108
[그림 3-47] 섬유보강재별 건조수축 길이변화 측정결과 109
[그림 3-48] 나이콘화이버를 혼입한 수축균열유발 시험체 균열양상 111
[그림 3-49] 슈퍼콘셀를 혼입한 수축균열유발 시험체 균열양상 112
[그림 3-50] 울트라화이버를 혼입한 수축균열유발 시험체 균열양상 113
[그림 3-51] 단위수량에 따른 수축균열유발 시험체 균열양상 114
[그림 3-52] 실험콘크리트 제작과정 116
[그림 3-53] 실험콘크리트 초기 슬럼프 및 공기량 측정 117
[그림 3-54] 실험콘크리트 슬럼프 및 공기량 60분 경시변화 측정 117
[그림 3-55] 지하주차장 바닥 줄눈 간격 119
[그림 3-56] Mock-up 시험체 단면 계획 120
[그림 3-57] 콘크리트 수축량 측정을 위한 매립형 게이지 설치 계획 121
[그림 3-58] Mock-up 시험체 제작과정 122
[그림 3-59] Mock-up 실험콘크리트 타설 123

[그림 3-60] 슬럼프 및 공기량 측정결과 126
[그림 3-61] 압축강도 측정결과 127
[그림 3-62] 할렬인장강도 측정결과 128
[그림 3-63] 휨강도 측정결과 128
[그림 3-64] 건조수축 길이변화량 129
[그림 3-65] 매립형 게이지로 측정된 Mock-up 실험체의 수축변화량 130
[그림 3-66] Mock-up 실험체 표면의 균열 형상 131

[그림 4-1] 지반조사에서 측정된 공내수위 177
[그림 4-2] 지하주차장 지반의 지하수 현황 178
[그림 4-3] 지하주차장 지반공사 상황 178
[그림 4-4] 누수현상 발생부위 180
[그림 4-5] 유도배수량 및 누수량 조사상황 181
[그림 4-6] 누수발생 부위에 적용된 방수공법 182
[그림 4-7] 아파트 단지의 지리적 특성 183
[그림 4-8] 아파트 단지 북쪽 및 남쪽방향 전경 183
[그림 4-9] 지하주차장 횡단면상 지하수 흐름도 184
[그림 4-10] 지하주차장 상부 지표수의 흐름도 185
[그림 4-11] 데크플레이트 모형 및 시공사례 186
[그림 4-12] 지하주차장 누수경로 187
[그림 4-13] 유도배수용 트랜치 설치 위치 191
[그림 4-14] 지하주차장 누수보수 및 유도배수 방안 개념도 192
[그림 4-15] 방수층 시공 후 공사로 인한 방수층 손상 196
[그림 4-16] 방수층 품질 저하 사례 (1) 197
[그림 4-17] 방수층 품질 저하 사례 (2) 197
[그림 4-18] 방수층 품질 저하 사례 (3) 198
[그림 4-19] 방수층 품질 저하 사례 (4) 198
[그림 4-20] 환경조건의 조사대상 204
[그림 4-21] 방수시스템의 기본 단면도 205
[그림 4-22] 공법 개념도 207
[그림 4-23] 미가황시트 시공방법 209
[그림 4-24] 자착식 시트의 기술 구성 및 시공 216

[그림 4-25] 자착식 시트 219
[그림 4-26] 고무계 도막방수공법의 방수층 형성 원리 223
[그림 4-27] 고무계 뿜칠 방수 장비 및 시공현황 224
[그림 4-28] 점 접착 EVA 복합시트 구조 226
[그림 4-29] 간단히 붙이는 수작업 사진 227
[그림 4-30] 기술의 균열거동 대응 특성 228

[그림 5-1] 수리모델링 Type 현황도 238
[그림 5-2] 지하수위 5.0m 적용시 유입수량 (Section A) 239
[그림 5-3] 지하수위 5.0m 적용시 유입수량 (Section B) 239
[그림 5-4] 지하수위 10.0m 적용시 유입수량 (Section A) 240
[그림 5-5] 지하수위 10.0m 적용시 유입수량 (Section B) 240
[그림 5-6] 지하수위 15.0m 적용시 유입수량 (Section A) 241
[그림 5-7] 지하수위 15.0m 적용시 유입수량 (Section B) 241
[그림 5-8] 지하수위 20.0m 적용시 유입수량 (Section A) 242
[그림 5-9] 지하수위 20.0m 적용시 유입수량 (Section B) 242
[그림 5-10] 지하수위 20.0m 적용시 유입수량 (Section A) 243
[그림 5-11] 지하수위 20.0m 적용시 유입수량 (Section B) 243
[그림 5-12] 설계수위 5.0m 일 경우 배수재 미설치시, 구조물 하부에 작용하는 양압력 246
[그림 5-13] 설계수위 10.0m 일 경우 배수재 미설치시, 구조물 하부에 작용하는 양압력 247
[그림 5-14] 설계수위 15.0m 일 경우 배수재 미설치시, 구조물 하부에 작용하는 양압력 248
[그림 5-15] 설계수위 20.0m 일 경우 배수재 미설치시, 구조물 하부에 작용하는 양압력 249
[그림 5-16] 설계수위 25.0m 일 경우 배수재 미설치시, 구조물 하부에 작용하는 양압력 250
[그림 5-17] 기초바닥 영구배수 평면도 251
[그림 5-18] 설계수위 5.0m 일 경우 배수재 설치시, 구조물 하부에 작용하는 양압력 251
[그림 5-19] 설계수위 10.0m 일 경우 배수재 설치시, 구조물 하부에 작용하는 양압력 252
[그림 5-20] 지하2층 주차장 평면도 252
[그림 5-21] 설계수위 15.0m 일 경우 배수재 설치시, 구조물 하부에 작용하는 양압력 253
[그림 5-22] 지하2층 주차장 평면도 253
[그림 5-23] 설계수위 20.0m 일 경우 배수재 설치시, 구조물 하부에 작용하는 양압력 254
[그림 5-24] 설계수위 25.0m 일 경우 배수재 설치시, 구조물 하부에 작용하는 양압력 254

[그림 6-1] 지하주차장 바닥 배수판 설치 도면 예 257
[그림 6-2] 승용차 제원 259
[그림 6-3] MODEL 1 평면도 261
[그림 6-4] MODEL 1 3D 261
[그림 6-5] MODEL 2 평면도 262
[그림 6-6] MODEL 2 3D 262
[그림 6-7] MODEL 3 평면도 263
[그림 6-8] MODEL 3 3D 263
[그림 6-9] MODEL 1 (KBCS 2005) 264
[그림 6-10] MODEL 2 (KBCS 2005) 265
[그림 6-11] MODEL 3 (KBCS 2005) 266
[그림 6-12] MODEL 1 (KBCS 2009) 267
[그림 6-13] MODEL 2 (KBCS 2009) 268
[그림 6-14] MODEL 3 (KBCS 2009) 269
[그림 6-15] MODEL 1 (주차부 집중하중) 270
[그림 6-16] MODEL 2 (주차부 집중하중) 271
[그림 6-17] MODEL 3 (주차부 집중하중) 272
[그림 6-18] MODEL 1 (통로부 이동하중) 273
[그림 6-19] MODEL 2 (통로부 이동하중) 274
[그림 6-20] MODEL 3 (통로부 이동하중) 275
[그림 6-21] 슬래브 중앙부 정모멘트 비교 276
[그림 6-22] 슬래브 단부 부모멘트 비교 277
[그림 6-23] 활하중 최대 처짐 비교 278
[그림 6-24] 지하주차장 배수판 설치 단면도 및 구조 단면도 279
[그림 6-25] CASE 1 구조해석 결과 282
[그림 6-26] CASE 2 구조해석 결과 282
[그림 6-27] CASE 3 구조해석 결과 283
[그림 6-28] CASE 4 구조해석 결과 283
[그림 6-29] X-Dir 모멘트 및 Y-Dir 모멘트 284
[그림 6-30] 시추조사 위치 286
[그림 6-31] 시추 조사결과 287
[그림 6-32] 강우자료 분석 (2011년 6월 ~ 2012년 5월) 295

[그림 6-33] 침투류 해석에 사용한 격자요소망 296
[그림 6-34] 아산지점의 강우강도, 지속기간, 빈도곡선 297
[그림 6-35] 아산지점의 빈도별 강우량 적용시 해석결과 298
[그림 6-36] 측정위치 299
[그림 6-37] 지하수위 변위 그래프 299
[그림 6-38] 양압력 해석 300
[그림 6-39] 기초 바닥에 배수재 미설치시 작용하는 양압력 300
[그림 6-40] 기초 바닥에 배수재 설치시 작용하는 양압력 301
[그림 6-41] 지하수 상승에 따른 배수재 설치 구간 301
[그림 6-42] 침투류 해석에 사용한 격자요소망 302
[그림 6-43] 구조물바닥에 작용하는 양압력 변화 302
[그림 6-44] 지하수위 10m 이상 상승시 영구배수시스템 적용에 따른 양압력 검토결과 303
[그림 6-45] 배수재 설치후 양압력 검토 303

[그림 7-1] 대상구조물의 주변 환경 308
[그림 7-2] 단지배치도 309
[그림 7-3] 지하주차장의 횡/종단면도 309
[그림 7-4] 지하 주차장 평면도 310
[그림 7-5] 지질도 312
[그림 7-6] 강우자료 분석(2011년 6월 22일 ~ 2012년 5월 18일) 317
[그림 7-7] 시추조사 위치(대한토목학회, 2012) 318
[그림 7-8] N값과 내부마찰각과의 관계곡선 320
[그림 7-9] 사질토의 N값과 내부마찰각과의 관계곡선 321
[그림 7-10] 함수량에 따른 간극수압 326
[그림 7-11] TEMPE 압력셀의 단면 328
[그림 7-12] Nodes and stress points 334
[그림 7-13] 입자요소와 입자요소의 접촉형태 336
[그림 7-14] 입자요소와 wall요소의 접촉형태 336
[그림 7-15] Ball과 Ball의 분리거동 : 법선방향 힘-변위 관계 337
[그림 7-16] Ball과 Ball의 분리거동 : 전단방향 힘-변위 관계 337
[그림 7-17] PFC 프로그램에서 계산과정 338
[그림 7-18] 물성치 보정 실험 모델 340

[그림 7-19] 물성치 보정 실험 결과 341
[그림 7-20] 물성치 보정 실험 결과 342
[그림 7-21] 부력의 정의 및 부력의 크기 343
[그림 7-22] 양압력의 정의 및 양압력의 크기 343
[그림 7-23] 원지반 수위와 산지의 수위차 344
[그림 7-24] 침투해석을 위한 유한요소망 345
[그림 7-25] 통합지하주차장의 수위차에 따른 간극수압의 등고선 1 345
[그림 7-26] 통합지하주차장의 수위차에 따른 간극수압의 등고선 2 346
[그림 7-27] 통합지하주차장의 수위차에 따른 간극수압의 등고선 3 346
[그림 7-28] 가변형 통합지하주차장의 수위차에 따른 간극수압의 등고선 1 347
[그림 7-29] 가변형 통합지하주차장의 수위차에 따른 간극수압의 등고선 2 347
[그림 7-30] 가변형 통합지하주차장의 수위차에 따른 간극수압의 등고선 3 348
[그림 7-31] 구조물 바닥에서 작용하는 양압력의 변화 349
[그림 7-32] 구조물 측면에 작용하는 수압의 변화 352
[그림 7-33] 배면수위차 발생시 응력-변위관계 파악을 유한요소망 355
[그림 7-34] 통합 지하주차장 수위차에 따른 간극수압의 등고선 1 356
[그림 7-35] 통합 지하주차장 수위차에 따른 간극수압의 등고선 2 356
[그림 7-36] 통합 지하주차장 수위차에 따른 간극수압의 등고선 3 357
[그림 7-37] 가변형 통합 지하주차장 수위차에 따른 간극수압의 등고선 1 357
[그림 7-38] 가변형 통합 지하주차장 수위차에 따른 간극수압의 등고선 2 358
[그림 7-39] 가변형 통합 지하주차장 수위차에 따른 간극수압의 등고선 3 358
[그림 7-40] 양압력 변화로 인한 구조물 저면의 변위 359
[그림 7-41] 양압력 변화로 인한 구조물 저면의 휨모멘트 362
[그림 7-42] 수위변화로 인한 구조물 측면의 변위 365
[그림 7-43] 수위변화로 인한 구조물 측면의 휨모멘트 368
[그림 7-44] 배면수위차 발생시 안정성 검토를 위한 입자모델 371
[그림 7-45] 통합 지하주차장 수위차에 따른 접촉력 372
[그림 7-46] 가변형 통합 지하주차장 수위차에 따른 접촉력 372
[그림 7-47] 통합 지하주차장 수위차에 따른 결합력 373
[그림 7-48] 가변형 통합 지하주차장 수위차에 따른 결합력 373
[그림 7-49] 통합 지하주차장 수위차에 따른 결합상태 및 변위 374
[그림 7-50] 가변형 통합 지하주차장 수위차에 따른 결합상태 및 변위 375

[그림 7-51] 아산지역 강우지속시간-강우강도 376
[그림 7-52] 강우에 따른 지하수위의 변화(강우강도 30년 빈도) 377
[그림 7-53] 강우에 따른 지하수위의 변화(강우강도 100년 빈도) 378
[그림 7-54] 강우시 구조물 바닥에서 작용하는 양압력의 변화 379
[그림 7-55] 강우시 구조물 측면에서 작용하는 수압의 변화 382
[그림 7-56] 강우강도에 따른 구조물 배면에서의 간극수압 분포도 385
[그림 7-57] 강우강도에 따른 구조물 바닥에서의 연직변위 및 휨모멘트 386
[그림 7-58] 강우강도에 따른 구조물 측벽에서의 수평변위 및 휨모멘트 389
[그림 7-59] 구조물 주변 되메움 영역 394
[그림 7-60] 다짐도에 따른 응력-변위 등고선 395
[그림 7-61] 다짐도에 따른 구조물 측면에 발생하는 수평토압 및 수평변위 396
[그림 7-62] 지하구조물 시공순서도 398
[그림 7-63] 시공단계에 따른 지하수위의 변화 399
[그림 7-64] 시간에 따른 단위시간당 유출유량 검토 400
[그림 7-65] 시공단계에 따른 구조물 저면에서의 양압력 변화 401
[그림 7-66] 지하 1층 상부 슬래브 누수경로 402
[그림 7-67] 측벽부 누수경로 403
[그림 7-68] 천정부 균열시 누수량(강우강도 30년빈도 적용시) 404
[그림 7-69] 천정부 균열시 누수량(상부 화단이 포화된 경우) 405
[그림 7-70] 투수계수에 따른 천정부 유출량(m3/day/m)(강우강도 30년빈도) 406
[그림 7-71] 투수계수에 따른 천정부 유출량(m3/day/m)(상부 화단이 포화된 경우) 407
[그림 7-72] 수두차에 따른 측벽부 누수량(균열부 K=1.0×10-9m/sec) 408
[그림 7-73] 수두차에 따른 측벽부 누수량(균열부 K=1.0×10-9m/sec) 409
[그림 7-74] 수두차에 따른 측벽부 누수량(균열부 K=1.0×10-9m/sec) 410
[그림 7-75] 수두차에 따른 측벽부 누수량(균열부 K=1.0×10-9m/sec) 411
[그림 7-76] 수두차에 따른 측벽부 누수량(균열부 K=1.0×10-9m/sec) 412
[그림 7-77] 수두차에 따른 균열부 투수계수별 측벽부 누수량 412
[그림 7-78] 구조물 균열에 따른 천정 및 측벽부 지하수 유입량 검토 415

차 례

제1장
서 론

1

제1장 서 론

1. 연구의 필요성

1) 기존 지하주차장의 실태조사 분석

국내에서는 1990년대 종묘지하주차장을 필두로 하여 지하주차장의 역사는 시작되었다고 보아도 과언이 아니다. 공사에서도 선진국에서는 찾아보기 힘든 동과 동을 연결하는 통합형 지하주차장(일본의 사례에서는 지하주차장을 거의 안하고 있고, 유럽에서는 단독형 지하주차장을 선호하고 있는 실정임)을 시공하고 있으며, 이로인한 하자문제 또한 심각하게 대두되고 있는 실정이다. 하지만 초기에 지어진 지하주차장 건축물이 그러하듯이 설계의 개선과 공법에 대한 수정보완작업을 통하여 현재 끊임없이 발전하고 있으며, 국민소득 향상과 함께 웰빙 주거문화 정착으로 인하여 공동주택내 지하공간은 주차장과 더불어 헬스장, 골프장 및 수영장 등 입주민의 편의시설로 사용성이 크게 증가되고 있는 반면, 지하주차장의 균열 및 누수 등의 빈번한 하자발생으로 인한 각종 민원이 증가되고 있는 실정에 있다. 최근 천안OO지구에서 발생한 공동주택 단지내 지하주차장의 균열 및 누수발생으로 인하여 주민들의 원망과 질타가 이어졌고, 이로 인하여 LH공사는 대내외적으로 치명적인 이미지 손상을 받았으며, 이는 천안OO지구뿐 만 아니라 LH 전 사업지구에 걸친 문제라는 인식 공유를 통하여 전사적으로 실태조사를 펼쳤으며, 2011년 말 토지주택연구원 차원에서 "LH주택 5대현안 품질향상 기술보고서" 를 발간하기도 하였다. 기술보고서에서는 크게 5개 분야로 구성 되어있으며, 이는 다시 1)결로, 2)소음, 3)누수, 4)공기질, 5)균열로 세분화 되어있으며, 금번 연구에서는 3)누수 분야와 5)균열 분야에 대한 연구와 지하주차장을 감싸고 있는 지하수 흐름에 따른 변화 거동을 추가적으로 파악하고, 하천에 인접하고 산지 구릉지 등 경사지역에서의 현행 설계분야에 대한 재검토가 필요한 실정에 있다. 따라

서, 본 연구에서는 현장조사를 바탕으로 기존의 지하주차장에 대한 문제점을 직시하고, 'LH 하자실태조사' 에 대한 문제점 분석을 통하여 현안별 사안들을 점검 및 분석하였다.

2) 지하수 흐름에 대한 수치해석 분석

지하주차장은 매스콘크리트 형태로 이루어져 있으며, 외부에는 토질과 지하수에 의한 압력을 받는 구조로 구성되어있으며, 기존의 설계 방법에서는 지하수에 대한 흐름분석을 정수압 개념으로만 설계를 하다보니까 유체의 흐름 및 홍수 등에 따른 지하수의 변위에 따른 거동분석을 수행하고 있지 않는 실정이다. 현행 설계기준에서 다루지 못하고 있는 수압조건(정수압, 동수압)의 변화에 대한 설계조건, 콘크리트 구조체의 시공에 따른 지하수위의 변화를 고려한 시공단계(stage)별 지하수 흐름변화에 따른 수치모델링 해석의 수행을 통하여 시공단계별 조건에 대한 검토, 유체의 흐름에 따른 구조체의 부력에 대한 저항 성능에 대한 조건 등, 콘크리트 구조체에 대한 안전성 평가에 대한 재검토가 필요한 실정이므로 이에 대한 검토를 수행하였다.

3) 수치적 구조 검토 및 배수판설치에 따른 무근 콘크리트 구조검토

차량재하 하중 변화에 따른 구조설계 관련 기준 KBC2005와 KBC2009 비교검토를 통하여 구조체의 안전성을 검토하였고, 무근콘크리트의 필요성에 대한 추가적인 조사를 통하여 적정 높이에 대한 언급을 하였고, 기존의 차량재하에 대한 정지하중과 이동하중으로 구분하여서 구조체의 거동 및 설계서에 대한 검토가 추가로 이루어졌다. 콘크리트 구조체 바닥의 매트기초, 무근(누름)콘르리트 품질(수화열, 건조수축 등)개선 및 구조성능 검토를 통한 외벽의 균열발생 최소화 방안에 대한 조사 분석을 통하여 공사 기준에 대한 재정립을 수행하여 공사의 설계역량 배가 및 국민들에게 신뢰할 수 있는 공기업으로 거듭나고자 하였다.

4) 섬유보강재의 LH전문시방서 기준 제정 작업

기존 무근(누름)콘크리트에서 사용하고 있는 와이어메쉬는 균열방지용으로 사용하고 있었으나 당초 설계 대비 시공시 위치 부적정 및 부식발생 등으로 인

하여 적절한 대안책이 될 수 없었다. 공사에서는 2007년 콘크리트 섬유보강 재설계 적용(안)에 따라서 와이어메쉬를 배제하고 섬유보강재로 대체 시공토록하는 규정을 만들었으며, 이에따라 '07, '08년 발주물량 중 매년 30%정도를 적용하고, '12년 공동주택 기본성능 개선계획(안)의 지하주차장 바닥균열 감소대책 방안으로 콘크리트 섬유보강재 확대적용 추진안을 잡았으나 시행상의 문제점과 시공상의 기준정립이 모호한 표현들 및 시험기준이 많아서 본 연구과제에서 새롭게 시험 및 현장조사를 통하여 재정립하였다. 여기에는 품질기준 및 슬럼프, 공기량, 압축강도, 염화물 함량 등에 대한 사항 등을 제시하였다.

5) 방수 및 배수에 대한 검토

외벽 방수로 많이 사용하고 있는 시트 또는 도막 방수 등을 통하여 구조체의 자유수로부터 성능을 유지하고자 하며, 필요시 바닥 배수판의 시공을 통하여 지하수 차단 방안을 검토하고자 하였으며, 기존의 내부 방수에 대한 부분과 내부로 유입되는 물에 대하여는 지하주차장 바닥부의 유도배수로를 통한 안정성 검토를 수행하고 상시 지하수위가 높은 경우에는 유공배수관 등의 설치 및 지하외벽 배수로의 설치를 통한 자연유하식 배수로 확보방식을 권장하였다.

2. 연구의 목적

본 연구에서는 크게 3단계(STEP) 접근 방법으로 과제를 수행하여 지하주차장의 균열 및 누수대책을 강구하고 지하수의 흐름분석을 통한 설계법에 대한 검토를 수행하였고, 이를 통하여 구조계산서 및 설계서 검토 등을 통한 안전성 확보를 찾고자 하였다. 이를 단계별로 구분하여 설명하면 다음과 같다.

1) STEP-1 : 균열, 누수 대책방안 강구

(1) 일반적으로 지하주차장은 철근콘크리트 구조물로 구성되어 있으며, 지반과 접하고 있는 기초부의 지하층에는 매트콘크리트를 타설함에 따라 모재 내부의 수화열발생, 시공 상태시의 대기온도의 변화 및 타설시간에 따른 콘크리트의 양생에 대한 변화, 혼화재(제) 혼입 여부에 따라서 발현강도의 차이 발

생, 염분 등의 영향으로 인한 철근콘크리트 구조체의 외부 요인에 따른 균열 발생, 방수재(판)여부에 따른 계면부의 접촉(부착) 불량 등으로 인하여 균열이 필연적으로 발생하고 있으며, 지반강도 부족으로 부등침하로 균열 발생 등으로 나타나고 있다.

(2) 균열에 대한 검토는 이미 상당히 학술 보고서 및 논문 등을 통하여 보고가 되고 있으나, LH공사에서 시공한 공동주택 단지내 지하주차장에서 발생하고 있는 균열 및 누수에 대한 문제점 등을 현장조사 및 실태조사를 통하여 진행여부를 파악하였고, 콘크리트 구조체의 내부적인 문제 뿐만 아니라 지하주차장 외부의 환경적인 요인에 대한 영향을 중점적으로 검토하고자 하였다.

(3) 균열이 발생하면 필연적으로 누수가 발생하게 되고, 이로 인하여 구조체에 2차 피해가 발생하게 되므로 배수로 확보 여부 등에 따른 실태 조사를 통하여 근본적이고 종합적인 대책방안에 대한 정리 연구가 필요한 실정이다.

(4) 누수 및 배수에 대한 검토사항으로는 구조체의 지하매설심도가 깊고 배수판 설치여부에 따라서는 구조물내부로의 지하수의 유입이 필연적으로 발생하게 되고, 유출입여부에 따라서는 구조물에 심대한 영향을 줄 수 있으며, 구조물의 내구성 저하로 연결되면, 궁극적으로는 구조적인 문제로 까지 연결될 수 있는 상황이므로 배수로 확보 또는 유공관의 설치여부에 대한 검토를 수행할 필요가 있다고 판단되며, 최신공법 등이 대한 자료 조사도 추가로 종합 정리하는 수준으로 검토하였다.

2) STEP-2 : 지하수 대책방안 검토

(1) 사업지구 개발시 주변에 하천이 위치하고 있거나 산지 구릉지 등 경사지에 위치하고 있는 지하주차장에서는 부력에 대한 검토가 필요하며, 천안OO지구처럼 주변에 하천과 산지, 구릉지 등의 경사면에 위치한 지하주차장을 축조시 흙속에는 상당한 투수층의 증대로 인하여 물의 흐름저하 및 함유량의 증가로 인하여 지하수위의 상승효과가 발생하고 있으며, 지하수 흐름 및 배수판 설치 미비로 인하여 지하주차장 외부로부터의 침투(浸透)수 또는 침루(浸漏)수에 대한 구조물의 안전성 여부에 대한 종합적인 검토를 수행하였으며, 이를 통한 지하주차장에 대한 대책방안을 제시하였다.

(2) 또한 지하수위의 변화에 따른 지하주차장을 시공시 발생할 수 있는 부력에 대한 수치해석검토를 통하여 지하수위별, 시공 stage별로 시시각각 변화하는 단계에 대한 안전성 검토를 수행하였으며, 이를 통하여 지하주차장의 안전성에 대한 내용을 개선 및 보완하였다.
(3) 지하주차장에 대한 수압계산에 대한 기존의 설계법은 심도별 지하수의 흐름을 정지상태에서의 정수압으로 설계하고 있으나 하천이 있는 산지, 구릉지 등 경사지의 경우에서는 토질 속에 유동형태의 함유량으로 인하여 지하 유체동수압이 작용하고 있고, 통합형 지하주차장 보다는 가변형 지하주차장에서 문제가 많이 발생하고 있음을 알 수 있었다.

(4) 외부하중(수압, 토압 등)에 따른 구조적 설계인자의 변화에 따른 해석적 판단 여부의 반영 여부 검토하였다.
3) STEP-3 : 구조계산 및 설계서 검토
지하주차장에 대한 하자빈도수의 증가는 하자보수비용 증대로 이어지고 있고, 하자빈도가 많은 경우에는 설계된 구조계산서 및 설계도면 검토를 통한 콘크리트 품질관리 및 시공방법에 대하여 전반적인 조사분석을 통하여 시공단계별 구조물에 대한 Note 및 시공상세 매뉴얼 등의 검토를 통한 종합적인 평가가 필요하다고 판단되었고, 구조적 안전성을 검토하여 설계법의 검증을 하였다.

3. 연구의 내용 및 범위

본 연구는 지하주차장의 콘크리트 품질 확보 및 하자보수를 최소화 하기 위한 방법을 찾고자 하는 연구로서, STEP 별로 공사 감독 및 설계실무자가 신뢰성 있게 설계에 적용할 수 있도록 종합적인 검토를 통한 전반적인 내용을 정리하는 수준을 목표로 하는 연구로서, 각 연구 항목의 세부 STEP별 내용은 다음과 같음.

1) STEP-1 지하주차장 균열 및 누수관련 실태 조사 및 원인분석
(1) 지하주차장 콘크리트 품질 및 시공법 조사분석

- 지하주차장에 대한 문헌 및 실태조사
- 공사내 적정 콘크리트 품질 및 시공법 검토
- 공사의 지하주차장에 대한 주요 하자사례 분석(실무부서 협조)

(2) 지하주차장 콘크리트 구조체 바닥의 균열발생 최소화 방안 수립

- 매트기초 및 무근(누름)콘크리트 품질(수화열, 건조수축 등) 사례 검토 및 코아(샘플) 채취를 통한 강도, 알카리도, 중성화도 실험 수행
- 구조적 성능 저하 원인 분석(균열에 대한 비파괴 탐사장비 활용)
- 바닥의 시공줄눈 등 조인트 처리 개선방안 검토

(3) 국내의 시공 현황과 LH공사의 시공 현황에 대한 차이점 검토

- 민간업체의 콘크리트 시공 과 LH공사의 시공 차이점 비교검토
- 일본의 지하주차장에 대한 적정 기준조사 및 배경 검토

(4) 지하주차장 콘크리트 구조체 바닥의 누수 발생 원인 실태 조사

- 시트 또는 도막방수 등을 통하여 구조체의 자유수로부터 성능을 유지하고자 하며, 필요시 바닥 배수판 시공여부에 따른 지하수 차단 방안을 검토
- 지하 주차장 바닥부의 유도배수로 설치로 인한 안정성 검토
- 상시 지하수위가 바닥층보다 높은 경우에는 유공관 등의 설치 또는 배수로의 설치를 통한 자연유하식 배수로 확보방식에 대한 검토

2) STEP-2 지하수 대책방안 검토

(1) 지하수의 수위 변동성을 고려한 지하구조물의 설계방안 수립

- 정수압수준의 설계개념에서 지하수위변동이 큰 하천지역이나 산지 구릉지 등의 경사 지역에서는 침투압(동수압) 고려 여부 검토

(2) 지반내 지하수위 변동에 따른 토류입자의 유동성에 대한 수치해석

- 수치해석 모델링은 대규모 복잡한 지하수 유동체계를 간단히 구현
- 기존의 정수압설계 개념에서 탈피한 유체동역학적 분석에 대한 기법도입 여부 검토

(3) 부력에 대한 4가지 사항에 대한 종합적인 검토가 필요

① 지하 피압수에 의한 부상요인으로는 압력수두차에 의해 건물의 기초저면이 뜨는 현상

② 지하수위 변동(자유수)의 사항으로는 1)매립지대계곡지대 등에 건물이 위

치할 때 우기시 지하수위 상승으로 부력이 발생하고, 2) 지반 조사시 지하수위 상부에 건축물 형성하였으나 암반층에 터파기하여 공사 완료 후 지하수위(자유수) 발생하여 건축물 부상

③ 지반여건으로는 1)건물의 불투수층이 강한 점토층에서 부력 발생, 2)암반층에 위치할 때 물의 유입으로 인하여 수위가 증가하면서 기초저면에 부력 발생

④ 건물의 자중문제로는 부력보다 건물의 자중이 적을때 건물이 떠오르는 현상 발생(시공 stage 별로 검토 필요)

(4) 시공중과 시공후의 문제점 검토

- 경사지 및 하천 인접지 등에 시공되는 구역에 대한 자료 검토

3) STEP-3 구조계산 및 설계서 검토

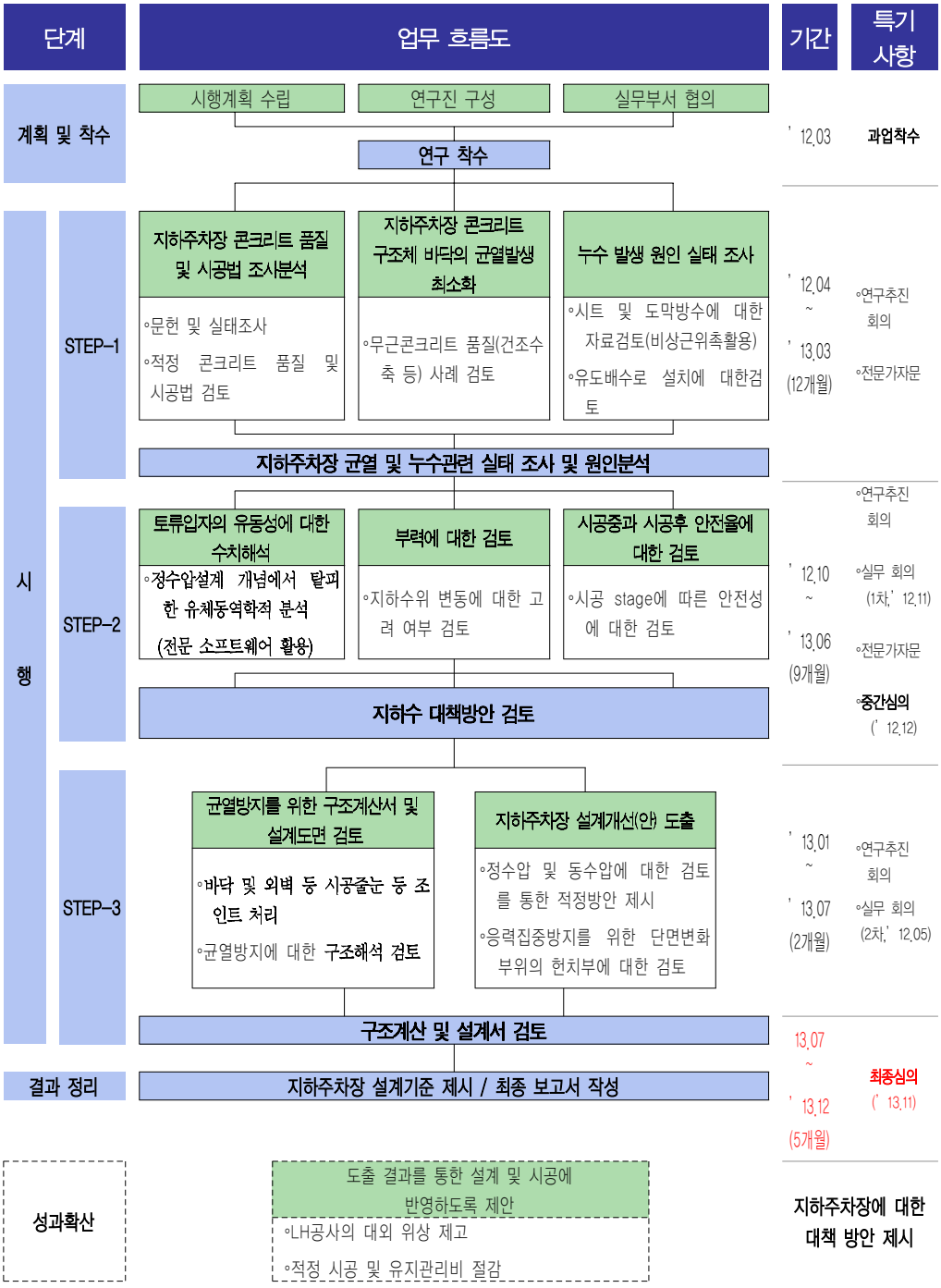
(1) 지하주차장 균열방지를 위한 구조계산서 및 설계도면 검토

- 바닥 및 외벽 등 시공줄눈 등 조인트 처리 방안 검토
- 구조체에 대한 구조계산서 및 설계도면 검토를 통한 콘크리트 품질관리 및 시공방법에 대하여 조사 분석을 수행
- 시공단계별 구조해석에 대한 검토

(2) 지하주차장 설계개선(안) 도출

- 지반내 지하수위 변동에 따른 토류입자의 유동성 검토결과 활용
- 기존의 정수압수준의 설계개념에서 지하수위변동이 큰 산지 구릉지 등의 경사 지역에서는 침투압(동수압)을 고려 여부 판단 자료 제시
- 지하주차장내 철근콘크리트 구조물의 설계강도 및 시공에 대한 검토
- 지하배수판 미설치로 인한 구조물내부로의 지하수위 고려여부 검토
- 변화부에 대한 응력집중 완화를 위한 헌치부 검토
- 급격한 단면변화를 방지하기 위한 헌치부를 설치토록 하고 있으나 이에 대한 검토가 설계 또는 시공시 누락 여부에 따른 구조적 재검토

4. 연구 흐름도


단계
업무 흐름도
기간
특기 사항
계획 및 착수
시행계획 수립
연구진 구성
실무부서 협의
연구 착수
'12.03
과업착수
시행
STEP-1
지하주차장 콘크리트 품질 및 시공법 조사분석
◦문헌 및 실태조사
◦적정 콘크리트 품질 및 시공법 검토
지하주차장 콘크리트 구조체 바닥의 균열발생 최소화
◦무근콘크리트 품질(건조수축 등) 사례 검토
누수 발생 원인 실태 조사
◦시트 및 도막방수에 대한 자료검토(비상근위촉활용)
◦유도배수로 설치에 대한검토
'12.04 ~ '13.03 (12개월)
◦연구추진 회의
◦전문가자문
지하주차장 균열 및 누수관련 실태 조사 및 원인분석
STEP-2
토류입자의 유동성에 대한 수치해석
◦정수압설계 개념에서 탈피한 유체동역학적 분석 (전문 소프트웨어 활용)
부력에 대한 검토
◦지하수위 변동에 대한 고려 여부 검토
시공중과 시공후 안전율에 대한 검토
◦시공 stage에 따른 안전성에 대한 검토
◦연구추진 회의
'12.10 ~ '13.06 (9개월)
◦실무 회의 (1차,'12.11)
◦전문가자문
◦중간심의 ('12.12)
지하수 대책방안 검토
STEP-3
균열방지를 위한 구조계산서 및 설계도면 검토
◦바닥 및 외벽 등 시공줄눈 등 조인트 처리
◦균열방지에 대한 구조해석 검토
지하주차장 설계개선(안) 도출
◦정수압 및 동수압에 대한 검토를 통한 적정방안 제시
◦응력집중방지를 위한 단면변화 부위의 헌치부에 대한 검토
'13.01 ~ '13.07 (2개월)
◦연구추진 회의
◦실무 회의 (2차,'12.05)
구조계산 및 설계서 검토
결과 정리
지하주차장 설계기준 제시 / 최종 보고서 작성
'13.07 ~ '13.12 (5개월)
최종심의 ('13.11)
성과확산
도출 결과를 통한 설계 및 시공에 반영하도록 제안
◦LH공사의 대외 위상 제고
◦적정 시공 및 유지관리비 절감
지하주차장에 대한 대책 방안 제시

제 2 장

지하주차장 바닥 무근콘크리트 균열저감방안

2

제2장 지하주차장 바닥 무근콘크리트 균열 저감방안

1. 개 요

최근 건축산업의 발전으로 콘크리트의 기초물성 및 경화 후의 압축강도 등과 같은 콘크리트 성능은 향상을 보이고 있는 반면, 강도발현에 시간이 소요되고, 인장에는 약한 성질과 타설 초기 소성수축 및 건조수축에 의하여 균열이 발생하는 등의 문제점이 여전히 존재한다. 특히, 콘크리트 균열은 내구성의 저하와 박리, 박락 등을 발생시키며, 균열로 인해 철근이 대기나 습기에 노출될 경우, 부식이 발생하여 구조적으로 심각한 문제를 야기할 수 있으므로. 근본적인 대책이 필요하다.

일반적으로 무근(누름)콘크리트의 경우, 자체 건조 및 소성수축에 의하여 균열이 발생한다. 무근(누름)콘크리트는 비구조적 재료로 분류되어지므로 여기서 발생하는 균열은 비구조적 균열이지만, 균열이 발생하면 미관상의 문제는 물론이고 박리(박락)등의 문제를 유발할 수 있으며 누수 발생 가능성이 증가하여 누수로 인한 콘크리트 2차 피해(백화 등) 또한 발생하게 된다.

무근콘크리트의 균열을 저감시키는 방법으로는 수분 증발을 억제시켜 건조수축을 완화시키는 방법, 균열유도 줄눈을 설치하여 균열의 확장을 차단하는 방법, 수축력을 완화시키는 방법(와이어메쉬 등)이외에도, 섬유를 첨가하여 응력을 분산시켜 균열을 저감하는 방법 등과 같이 균열발생 원인 및 현상에 따라서 다양한 방법을 복합적으로 적용할 수 있다.

본 장에서는 먼저, 무근(누름)콘크리트의 균열 발생 메카니즘을 분석하고, 국내외에서 무근(누름)콘크리트의 균열 저감을 위하여 시행 중인 방법 및 기준 등에 대한 현황을 조사하고, 보다 합리적이고 효율적인 무근콘크리트의 품질관리를 위하여 재료적인 측면과 시공적인 측면에서 검토하였다.

2. 지하주차장 무근콘크리트 정의 및 균열발생 현황

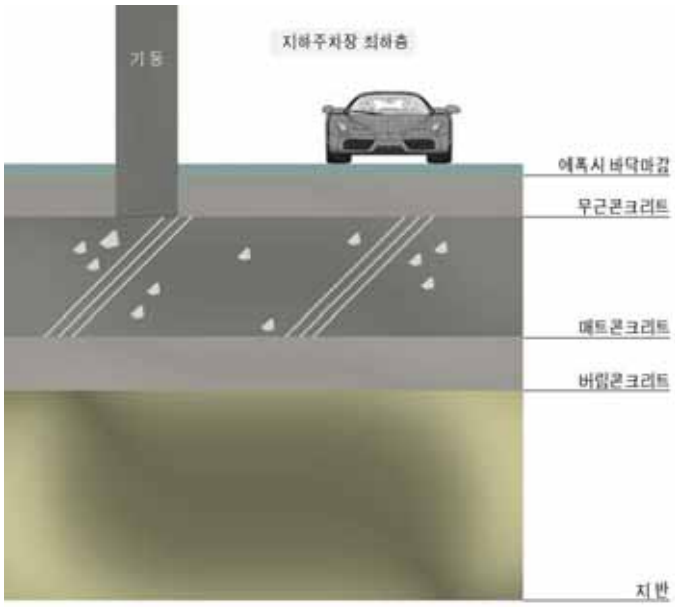
2.1 지하주차장 무근콘크리트 정의

공동주택의 지하구조물은 일반적으로 지반위에 버림 콘크리트를 타설하고 그 위에 매트기초 콘크리트를 설치한 후에 차량 및 기타원인으로 인한 충격하중 및 윤하중과 수분침투로부터 매트기초를 보호하기 위하여 무근콘크리트를 타설하고 다시 그 위에 물 또는 기타 이물질로부터 콘크리트를 보호하기 위하여 최종적으로 에폭시 마감을 한다.([그림 2-2]참조) 여기서 무근콘크리트는 구조적인 재료이기보다는 간접적으로 노출되어 매트기초를 보호하는, 보호 및 미장의 성격을 갖는 비구조적 재료이다.

일반적으로 누름콘크리트라고 칭하기도 하지만, 공사에서는 무근콘크리트와 누름콘크리트를 사용 부위에 따라서 [표 2-1]과 같이 분류하고 있다. 무근콘크리트의 경우, 설계강도 24MPa의 강도로 지하주차장의 바닥 및 경사로 바닥 등과 같이 차량에 의한 하중을 직접적으로 받는 부분에서 사용되어지고 있는 반면, 누름콘크리트는 무근콘크리트보다는 약한 설계강도 18MPa로 지하주차장 상부 슬래브의 방수보호용도로 사용되어지고 있다.



[그림 2-1] 누름 및 무근콘크리트 정의



[그림 2-2] 지하주차장 구조

[표 2-1] 무근 및 누름콘크리트의 구분

구 분	강 도 (MPa)	사 용 부 위
무근콘크리트	24	지하주차장 바닥, 경사로 바닥
누름콘크리트	18	지하주차장 상부 슬래브 방수보호용

2.2 지하주차장 무근콘크리트 균열발생 현황

지하주차장에 발생한 무근콘크리트 균열은 줄눈을 횡단하는 균열, 기둥 우각부부터 발생한 균열 그리고 바닥에 불규칙적으로 발생하는 균열로 구분할 수 있다. 줄눈 횡단 균열은 [그림 2-3]과 같이 균열을 유도하기 위하여 설치한 줄눈을 관통하는 균열로서, 줄눈의 깊이 및 설치시간에 의하여 발생하였다고 사료되어진다. 줄눈의 깊이가 충분하지 못하여 균열의 진행을 차단하지 못하였거나 균열 발생 후 줄눈을 설치하여 발생하였다고 사료되어진다.



[그림 2-3] 지하주차장 무근콘크리트 줄눈 횡단 균열 발생

기둥의 우각부(모서리)로부터 발생하는 균열은 기둥에 작용하는 하중이 우각부에 응력집중이 되어 발생하는 균열이다. 기둥이나 내력벽 등과 같은 구조부에 타설되는 바닥콘크리트의 경우, 구조부에 가해지는 하중에 의하여 균열에 취약한 부분이다. 일반적으로 기둥으로부터 발생하는 균열의 확장을 차단하기 위하여 기둥 주변으로 균열 유도줄눈을 설치하지만 응력집중을 방지하기 위해서는 시공단계별 상세가 필요할 것으로 사료되어진다.



[그림 2-4] 지하주차장 무근콘크리트 기둥 우각부 균열 발생

3. 지하주차장 무근콘크리트 균열발생 원인

일반적으로 콘크리트 균열은 [표 2-2]와 같이 수분, 온도, 화학반응 등에 의하여 발생한다. 수화열에 의한 균열발생은 매스콘크리트와 같이, 큰 체적의 콘크리트에서 발생하고, 동결융해의 경우, 동절기에 주로 발생하는 현상이다. 본 서는 무근(누름)콘크리트를 대상으로 하기 때문에 [표 2-2]의 균열발생 원인 중, 소성수축과 건조수축이 적접적인 원인이 된다고 판단되어진다.

[표 2-2] 콘크리트 균열발생 원인 및 제어대책

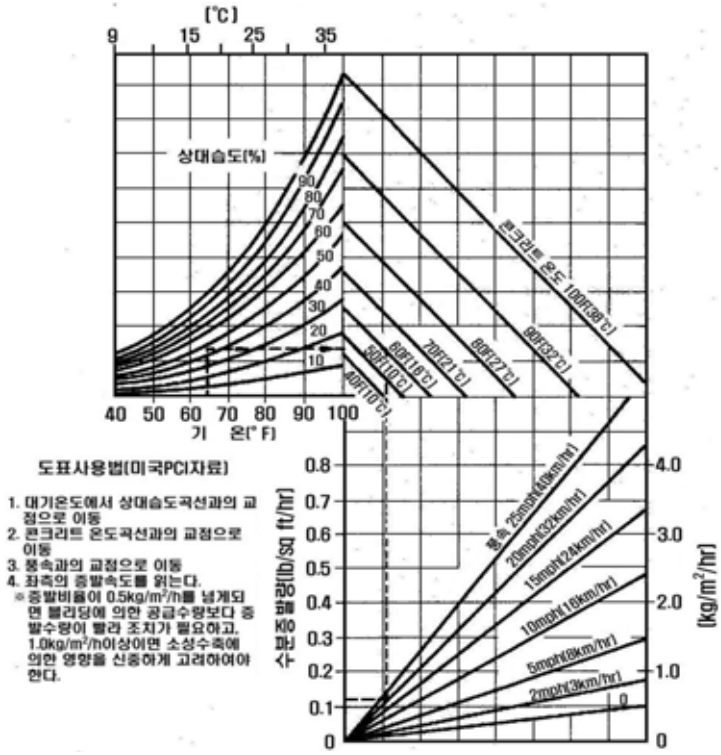
종 류		원 인	영향인자	제어대책
소성수축		굳지않은 콘크리트 표면수 손실	증발량, 외기온도, 상대습도, 풍속	· 낮은 온도에서 타설 · 바람차단 · 임계온도유지
건조수축		시멘트 페이스트내 수분의 수축 · 팽창에 의한 인장응력	골재, 배합수량, 시멘트 등과 수분의 거동, 부재의 크기, 형상, 기상조건	· 양호한 골재 사용 · 최소 철근량 및 배근간격 유지 · 적절한 조인트 설치 · 팽창시멘트 사용
열응력	수화열	수화반응에 의한 열발생	단위시멘트량, 시멘트 종류, 혼화재, 열전도율, 비열, 대류계수	· 단위시멘트량 감량 · Pre-cooling 온도 저감
	온도증감	외부 열에 의한 체적변화가 다른 제약으로 내부 응력 발생	구조물에 작용하는 온도구배	· 적절한 온도 철근배치 · 열팽창계수가 작은 골재 사용

3.1 소성수축 균열[1)]

콘크리트 타설후, 시간이 경과하면 밀도 차에 의하여 골재등의 콘크리트 고형분 조직은 가라앉고(침하현상 발생 : 철근 보와 슬래브 등 단면이 변하는 부분에서는 침하균열이 발생할 수 있다.), 비중이 가벼운 물[모세관에 포함된 유리수(잉여수)로서 유리석회, 유기 불순물 등도 포함된다]은 표면으로 떠오르는 블리딩(Bleeding) 현상이 발생한다. 이때 블리딩에 의해 표면으로 떠오르는 물의 양과 외부환경의 영향으로 증발되는 물의 양이 균형을 이루어 표면이 언제나 젖어있는 상태라면 균열이 발생하지 않지만, 건조한 조건일 경우(빠른 바람, 낮은 상대습도, 강한 햇볕의 일사에 의한 고온 등)에는 블리딩수와 증발수가 균형을 이루지 못하고 특히 증발수량이 크므로 외부가 급속히 마르기 시작하여 표면으로부터 수축작용이 발생하기 시작한다. 그런데 이와 같은 시점은 콘크리트 타설 후, 1~6시간 사이로서 시멘트는 이제 유동상태로부터 소성 및 응결이 진행되는 상태이기 때문에 강도가 발휘되지 않음으로써

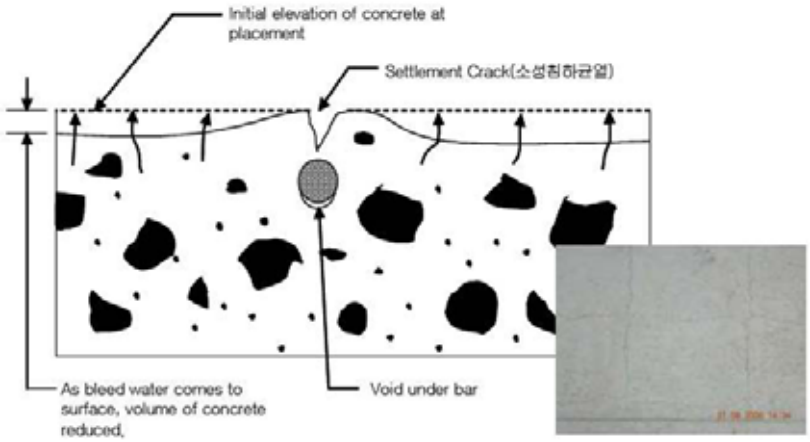
1) 섬유보강재(황마)를 혼입한 콘크리트의 기초적 물성 검토에 관한 연구 2010 (주) 아주산업

수축작용에 견디지 못하고 표면에서부터 균열이 발생하는데 이와 같은 균열을 소성수축 균열이라 한다. 대부분 균열의 양상은 서로 평행인 0.3~1.0m 간격으로 풍향에 대하여 대략 직각방향으로 발생하고, 가장자리 쪽에서 많이 발생 한다(바람에 의한 건조 영향). 균열의 폭은 초기에는 0.1~0.3mm정도의 작은 균열로 깊이 25mm미만의 표면에만 존재하다가 그 이후 양생하지 않고 방치하면 균열 폭이 점점 커지며, 깊이도 깊어져 부재를 관통하면서 인근 균열과도 연결되어 심각한 상태로까지 진전 한다. 또한, 소성수축 균열은 시공과정에도 발생하는데, 즉 판재로 일정한 방향으로 지나치게 다치고 밀어서 마무리 하게 되면 미립자가 한쪽으로 모이게 되어 그 모인 부분에 집중적으로 균열이 발생하고, 발자국 주위, 점토덩어리 주위 등에도 그 모양을 따라 균열이 발생한다.



[그림 2-5] 콘크리트의 수분증발량 계산도표

콘크리트의 재료 및 배합 요인에도 소성수축 균열은 영향을 받는데, 불안정한 시멘트의 사용이나 시멘트가 많은 부배합 혹은 고강도 콘크리트, 점토와 같은 미립자가 많은 골재 사용, 잔골재율이 지나치게 큰 콘크리트, 회수수에 슬러지 고형분율이 높은 상태로 콘크리트 배합이 된 경우 등 무수히 많은 원인이 있다.



[그림 2-6] 소성수축 균열의 패턴

3.1.1 방지대책

가. 환경적인 방법

① 콘크리트를 부어놓고 즉시 양생한다. 즉, 콘크리트를 부어놓고 즉시 비닐 등 불투수성 재료로 표면을 덮어주거나 또는 양생포를 덮고 물을 뿌려주어 표면의 증발을 방지한다.

② 보호막 등 바람막이를 설치하여 바람에 의한 급속한 건조를 회피하고, 또한 차양 등을 설치하여 직사일광에 의한 표면의 급격한 온도변화 및 증발건조를 방지한다.

③ 기상조건을 제어하는 것은 어려운 일이므로 가능한 한 습도가 높고 바람이 없으며, 햇볕이 없는 날을 택할수록 좋은 조건이다. 또한 될 수 있는 한 오전보다는 오후, 특히 저녁에 해가 지고 이슬이 내리는 시점이면 더욱 좋을 것이다.

나. 재료 및 배합

① 안정성이 큰 시멘트를 사용한다. 즉, 시멘트가 이상응결을 나타내거나 불안정한 시멘트를 사용해서는 안 된다.

② 양질의 골재를 이용한다. 특히 점토 함유량 및 미립자 함유량이 많거나, 입형이 불량한 골재(배합상 모래량이 많게 되는 즉, 잔골재율을 높여주어야 하기 때문), 입도분포가 불량한 골재를 사용해서는 안 된다.

③ 단위 시멘트량을 감속시킨다.(단, 단위 시멘트량을 너무 적게 해도 곤란한데, 이는 물의 증발이 쉽고 균열의 진행이 빠르기 때문이다).

④ 단위수량을 줄인다. 즉, 단위수량이 많으면 증발량이 많아 단기뿐만 아니라 장기적인 건조수축도 커지게 된다.

⑤ 회수수 이용시 슬러지 고형분 농도를 낮추고, 슬러지수 사용량도 줄인다.

⑥ 분산제, 감수제 등을 사용한다. 단위수량 및 단위 시멘트량을 줄일 수 있기 때문이다.

⑦ 여름철 레미콘의 운반시간 한도를 짧게 하여 관리한다.

⑧ 지나친 표면 마무리를 하지 않는다. 즉, 지나친 표면다짐 마무리 방법은 콘크리트 표면으로 미립자를 재료 분리시키고, 또한 한 부분으로 모여지는 마무리 방법은 균열의 원인이다.

⑨ 거푸집을 튼튼히 조립하여 침하 및 변형 등 이동을 방지함으로써 초기의 균열을 방지한다.

⑩ 콘크리트 타설시 섬유(강 섬유, 유리섬유, 폴리프로필렌, 탄소섬유, 셀룰로오스섬유, 나일론 섬유 등)를 혼입하면 균열을 어느 정도 방지할 수 있다.

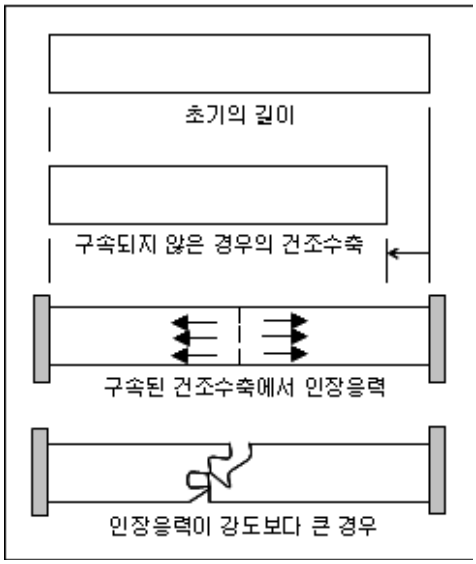
⑪ 기타 피막소수성을 주는 혼화재료의 개발 및 혼입 등 신재료, 신기술, 신공법등 많은 고려사항을 충분히 검토한다.

3.2 건조수축 균열[2)]

건조수축 균열의 원인은 콘크리트 내의 수분 손실에 있으며 인장응력수축과 구속에 의한 인장응력이 구체가 가지는 인장능력을 초과할 때 균열이 발생하

2) 무근콘크리트의 균열저감을 위한 재료설계 및 시공시스템 제안 2009 (주) 롯데건설 기술연구원

는 것으로 강도가 큰 골재를 사용 할수록 수축은 감소하고 수분함유량이 클수록 수축은 증가하게 된다. ([그림 2-6] 참조)



[그림 2-7] 건조수축 균열의 발생 원리

가. 시멘트의 영향

시멘트의 분말도는 건조수축에 큰 영향을 미쳐 분말도가 높을수록 수축이 크게 발생하며 무기질계 결합재를 치환하거나 고로슬래그시멘트 또는 플라이애시 시멘트를 사용할 경우 보통포틀랜드시멘트를 사용할 때와 비교하여 수축이 크게 발생한다.

나. 골재의 형태

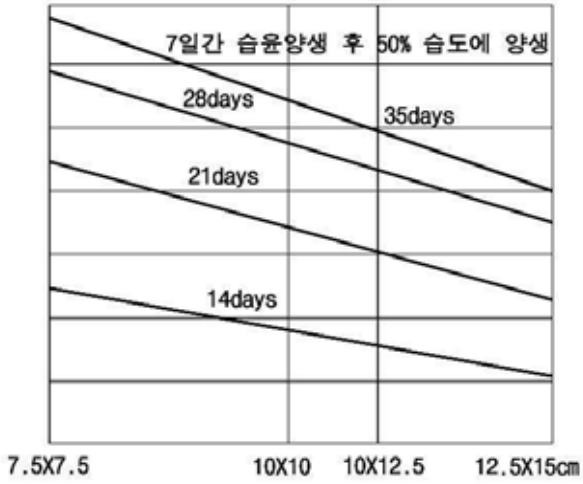
전체 콘크리트의 65~75%를 차지하는 골재는 수축에 큰 영향을 준다. 골재의 압축성이 큰 영향을 주고, 탄성계배수가 클수록 콘크리트의 수축을 억제하는데 기여하므로 단위중량에 굵은골재의 양을 증가시키는 것이 효과적이다.

[표 2-3] 콘크리트 건조수축에 대한 골재종류의 영향

종 류	비 중	흡수율 (%)	건조수축 (1년간)
Sandstone	2.47	5.0	0.166
Slate	2.75	1.3	0.068
Granite	2.67	0.8	0.047
Limestone	2.74	0.2	0.041
Quartz	2.66	0.3	0.032

다. 부재의 크기

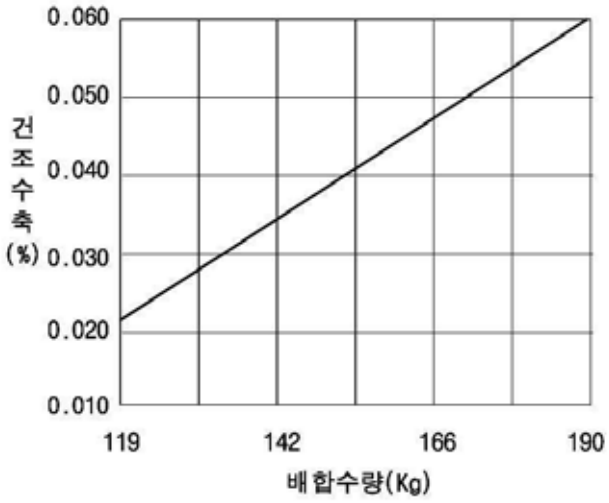
부재의 크기는 콘크리트 내의 수분이동에 영향을 주게 되므로 건조수축과 크리프의 진전속도와 크기는 부재의 크기가 증가할수록 감소하는 경향이 있다.([그림 2-8]참조)



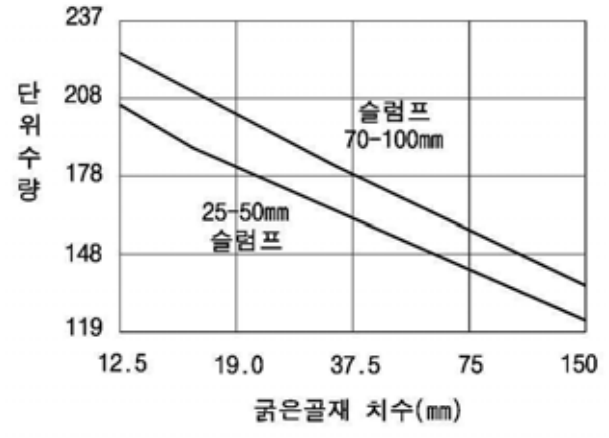
[그림 2-8] 시편 크기에 따른 건조수축량의 변화

라. 함수비와 배합비

배합수는 건조수축에 영향을 미치는 중요인자로서 단위수량이 증가하면 골재의 부피가 상대적으로 작아져 건조수축량이 크게 된다. ([그림 2-9,10] 참조)



[그림 2-9] 배합수량이 건조수축에 미치는 영향



[그림 2-10] 골재치수가 단위수량에 미치는 영향

4. 무근콘크리트 균열저감방법

4.1 무근콘크리트 균열저감방법 현황

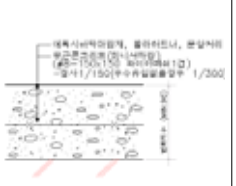
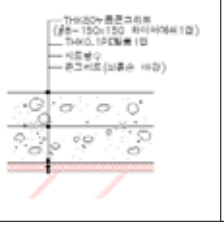
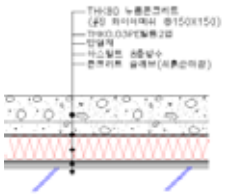
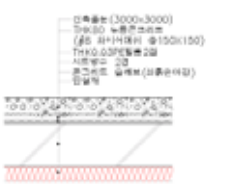
4.1.1 LH

공사에서는 무근(누름)콘크리트의 타설시, 균열방지를 위하여 와이어메쉬를 사용하였다. ([표 2-4] 참조) 그러나 와이어메쉬의 낮은 시공성이 단점으로 나타나 2007년부터 경제성, 시공성 및 내구성능의 장점이 있는 셀룰로오스 섬유보강재를 도입하였고, 고양풍동(시범)을 비롯하여, 의왕포일, 오산세교, 군포부곡, 아산배방 현장 등(76지구 73,461호)에 적용 하였다. (2008년 기준)

[표 2-4] LH공사 지하주차장 무근콘크리트 균열저감 방법

구 분	무근(누름)콘크리트 균열저감방법
재 료	▫ 와이어메쉬 ▫ 셀룰로오스 섬유보강재 (2007년부터 사용중)
배 합	–
시 공	▫ 균열유도줄눈 설치

참 고 자 료

적용 부위	지하주차장 바닥마감	지하주차장 옥상누름Con'c	평지붕 누름콘크리트	복지관 평지붕 누름콘크리트
상세도				
시공법	– 무근콘크리트 또는 누름콘크리트는 콘크리트 타설시 #8 와이어메쉬(@150×150)를 넣고 타설한다			

* 셀룰로오스 섬유보강재 설계적용(안) – 건축설계처-19 (2007.01.02)

4.1.2 국내 민간건설사

가. 대우건설

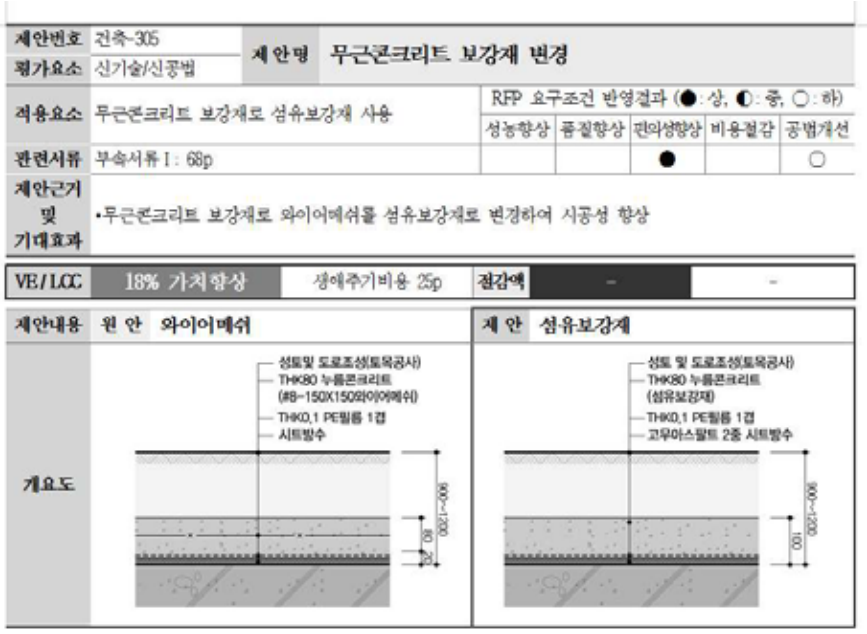
대우건설은 지하주차장 무근(누름)콘크리트의 균열 저감을 위하여 셀룰로오스

계 섬유보강재를 와이어메쉬와 비교하였을 때, 경제성 및 시공성이 우수하다고 평가하여 현재까지 약 100여개의 현장에 적용하고 있다. 무근(누름)콘크리트의 균열 저감을 위한 재료적인 방법 외에도 콘크리트 타설 후 줄눈의 제작 시기, 간격, 깊이 등에 대한 시공적인 방법 또한 검토하여 적용 중에 있다.

[표 2-5] 대우건설 무근콘크리트 균열저감방법

구 분	무근(누름)콘크리트 균열저감방법
재 료	□ 섬유보강재
배 합	–
시 공	□ 균열유도줄눈 설치시기, 간격, 깊이 등 검토 및 적용

참 고 자 료



항 목		변 경 안	비 고
콘크리트		작업성 위해 물추가 금지	슬럼프 150이하 준수
줄눈 Saw cutting	시기	압축강도 30kgf/㎠	단위수량, 양생온도에 따라 시기변화
	깊이	무근콘크리트의 1/4~1/3	무근 150mm일때 40mm
	간격	3~4m	기둥중심선 + 기둥간 1/2선
	두께	3mm	Sealing이 없는 경우

나. 현대산업개발

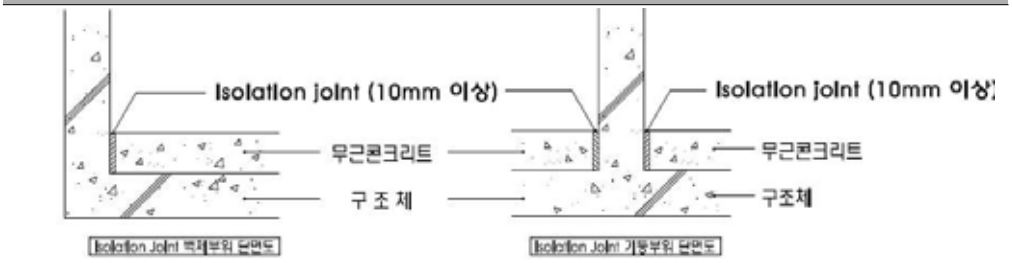
현대산업개발은 2003년까지 무근(누름)콘크리트 보강재로 와이어메쉬를 사용하였지만, 시공관리에 따른 품질차이 발생 및 기존 방수층 훼손을 우려하여 2004년부터 품질 및 경제성을 고려한 섬유보강재로 대체하였다. 또한 컨트롤 죠인트 설치 간격을 조정하고 무근(누름)콘크리트의 기본강도를 높이는 방법 등으로 균열저감 방법을 검토 중에 있다.

다. 포스코건설

포스코건설은 무근(누름)콘크리트 시공 시, 와이어메쉬 오시공에 따른 균열발생을 해결하기 위하여 섬유보강재 도입을 검토 중에 있으며, 단위수량 과다에 따른 건조수축 균열 발생을 저감시키기 위하여 고성능감수제를 혼입하고, 최소강도를 18MPa 이상으로 설계하여 조강성능을 향상시키고 건조수축을 감소시키는 방법과 줄눈 설치 간격, 폭 및 깊이와 설치 시간을 조정하는 방법을 검토 중에 있다.

[표 2-6] 포스코건설 무근콘크리트 균열저감방법

구 분	무근(누름)콘크리트 균열저감방법
재 료	▫ 섬유보강재 도입 검토
배 합	▫ 단위수량 조절 : 고성능감수제 혼입 ▫ 콘크리트 설계강도 증진 및 조강성능 향상
시 공	▫ 균열유도줄눈 설치시기, 간격, 깊이 등 검토 및 적용
참 고 자 료	



1. 벽체 및 기둥 주변에는 줄눈재(Isolator) 사용
2. 외부에 노출되는 Isolation Joint는 코팅재사용
3. 중간벽이 형성되는 부위는 Isolation Joint을 사용하지 않음

라. 롯데건설

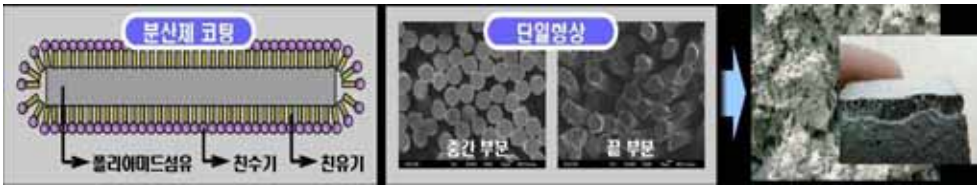
롯데건설은 무근(누름)콘크리트의 균열저감을 위하여 배합설계상에서 콘크리트의 수축저감 효과를 얻을 수 있도록 건조수축률, 단위수량, 슬럼프, 블리딩량, 공기량, 물-시멘트비, 화학혼화제, 단위시멘트량, 골재량 및 단위수량 증가 한계치 등에 대한 품질기준을 설정하여 품질관리 하는 방안에 대해서 검토 중에 있다. 와이어메쉬나 섬유보강재와 같은 보강재를 통한 균열저감 효과를 기대하기 보다는 콘크리트 자체 품질을 관리하여 균열발생을 억제시키는 방법에 초점을 맞추고 있다.

[표 2-7] 무근콘크리트 배합설계의 제한값 (롯데건설)

항 목	품질기준	항 목	품질기준
건조수축률(%)	0.06 이하	단위수량(kg/㎥)	170 이하
슬럼프(mm)	150 이하	블리딩량(㎤/㎠)	0.3 이하
공기량(%)	4.0~5.5	물-시멘트비(%)	55 이하
화학혼화제	AE제 or AE 감수제	단위시멘트량(kg/㎥)	W/C 및 단위수량에 따른 적정량 (24MPa 기준 : 350 전후)
골재량(%)	콘크리트 용적의 70%	단위수량 증가 한계치	배합설RP상 단위수량의 ±20kg

마. 코오롱건설

코오롱건설은 콘크리트의 수축 균열 저감을 위하여 자체 개발한 폴리아미드계열의 섬유보강재를 적용하고 있다. 분산제 코팅 및 균일 형상을 가지도록 제작하여 분산성을 증진시켜 균열에 대한 저항성을 강화시켰다. 또한 고성능 감수제를 혼입한 고품질 콘크리트를 검토 중에 있다.



[그림 2-11] 폴리아미드 계열 섬유보강재 (코오롱건설)

바. 대림산업

대림산업은 무근(누름)콘크리트 균열저감 방안으로 배합설계 부분에서는 준 PC계 고성능감수제를 사용하여 단위수량을 저감 시켜 건조수축량을 저감 시키는 방법을 검토 중에 있다. 시공부분에서는 벽체 및 기둥 주위에 Isolation Joint를 시공하고 줄눈 제작 간격, 시기, 폭 및 깊이 등을 양생환경에 따라 다르게 설정하고 있다. 옥상층의 경우, 와이어메쉬를 설치하는 반면에, 지하층에는 고품질의 섬유보강 콘크리트 적용을 검토 중에 있다.

4.2 무근콘크리트 설계기준

우리나라의 콘크리트 표준시방서에서는 무근콘크리트에 대한 기준은 몇 가지 기본적인 항목에 대하여만 기술되어있는 실정에 있다. 일본의 경우 역시, 일본토목학회나 건축학회에서 몇 가지 항목에 대한 검토만이 이루어진 실정이다. 반면, ACI의 경우, 무근콘크리트의 균열저감을 목적으로 사용하는 섬유보강재와 관련된 섬유보강콘크리트 관련 기술 보고서에는 자연섬유에 관련한 내용이 정리되어 있으며, ASTM 및 ICC와 같은 기준등에서도 셀룰로오스 섬유에 관련한 품질관리 방법 및 평가방법이 기술되어 있다.

4.2.1 ACI

ACI의 섬유보강콘크리트 보고서(ACI 544.1R-96)의 Chapter 5에 자연섬유보강 콘크리트(Natural Fiber Reinforced Concrete ; NFRC)에 관한 내용이 수록되어있다. 이 보고서에서는 자연섬유에 대하여 크게 제작방법으로 비가공섬유와 가공섬유로 구분하고 있으며, 식물 종류에 따라서 구분하여 길이, 직경 및 비중 등에 대한 물성값을 기재하고 있다. ([표 2-8] 참조)

[표 2-8] 자연섬유 보강재 물성 (ACI 544.1R-96)

섬유종류	코코넛	사이잘	사탕수수	대나무	황마	아마	갈대	질경이
길이(in.)	2-4	N/A	N/A	N/A	7-12	20	N/A	N/A
직경(in.)	0.0010	N/A	0.008-0.016	0.002-0.0016	0.004-0.008	N/A	N/A	N/A
비중	1.12-1.15	N/A	1.2-1.3	1.5	1.02-1.04	N/A	N/A	N/A
탄성계수(ksi.)	2750-3770	1880-3770	2175-2750	4780-5800	3770-4640	14,500	750	200
인장강도(psi.)	17,400-29,000	40,000-82,400	26,650-42,000	50,750-72,500	36,250-50,750	145,000	10,000	13,300
신장파괴(%)	10-25	3-5	N/A	N/A	1.5-1.9	1.8-2.2	1.2	5.9
함수율(%)	130-180	60-70	70-75	40-45	N/A	N/A	N/A	N/A

또한, 배합방법을 건식과 습식으로 구분하고 각 방법에 따른 시멘트, 골재, 배합수 등의 요구 조건을 기술하고 있으며, 타설방법, 양생방법 등의 내용과 같이 섬유보강콘크리트의 제작, 타설 및 양생 등의 전반적인 내용에 대해서 기술하고 있다.([표 2-9]) ACI는 자연섬유보강 콘크리트는 취약한 환경에 노출됨에 따라서 내구성 등의 저하가 다른 콘크리트보다 민감하게 작용할 우려가 있으며, 수분과 취약한 환경에 의하여 콘크리트의 메카니즘과 특성이 변질되는 부분이 있을 수 있으므로 각 섬유종류에 따른 고려 및 연구가 필요하다고 기술하고 있다.

[표 2-9] 자연섬유보강 콘크리트 제작 요구조건 (ACI 544.1R-96)

구 분	상 세 내 용
섬유종류	코코넛, 사이잘, 사탕수수, 대나무, 황마, 나무, 식물 등
섬유물성	길이, 직경, 단면 등
섬유유형	단섬유, 가닥형, 그림프, 매듭형
섬유표면	일반형, 코팅형
매트릭스 물성	시멘트 종류, 골재 종류, 혼화재 종류
배합조건	배합수량, 유동화제, 소포제, 섬유혼입량
비빔방법	믹서종류, 섬유 혼입방법, 비빔 속도
타설방법	진동 다짐기, 진공 다짐기 등
타설기술	압력 타설
양생방법	일반형, 특별한 방법

ACI의 섬유보강콘크리트 물성 측정에 관한 보고서(ACI 544.2R-89)에서는 섬유보강콘크리트에 대하여 확인이 필요한 물성과 실험방법을 [표 2-10]과 같이 소개하고 있다. 일반적인 섬유보강콘크리트에 대한 물성 부분이므로 휨 성능이나 강성 등의 구조재료에 요구되는 부분 또한 포함되어있다. 무근콘크리트의 경우, 비구조재료이므로 [표 2-10]의 항목 중, 워커빌리티, 공기량 등과 같은 기본적인 물성과 균열저항성을 평가할 수 있는 부분을 참고할 수 있다.

[표 2-10] 섬유보강콘크리트 물성 및 실험 (1) (ACI 544.2R-89)

물 성	실 험 명	코 드
워커빌리티	Slump test	ASTM C 143
	Time of flow through inverted slump cone test	ASTM C 995
공기량	Air content test	ASTM C 138, 173, 231
압축강도	Compressive strength	ASTM C 31, 39, 192
휨 강도	Flexural strength	ASTM C 78, 1018, 293
강인성	Toughness	ASTM C 1018, 78
휨 피로파괴	Flexural fatigue endurance	–
Split 인장강도	Splitting tensile strength	ASTM C 496
충격저항	Drop-weight test	ASTM D 1557
	Instrumented Impact test	
동결융해저항	Freeze-thaw resistance	ASTM C 666
수축 길이변화	Unrestrained shrinkage	ASTM C 157, 341
	Restrained shrinkage	ASTM C8 2 7
소성수축 균열저항	Resistance to plastic shrinkage cracking	
크리프	Creep	ASTM C 512
탄성계수 (쁘아송비)	Modilis of Elasticity and Poisson s ratio	ASTM C 469
진공, 부식, 마모 저항성	Cavitaion, erosion and abrasion resistance	ASTM C 418, 779

4.2.2 ASTM

ASTM의 섬유보강콘크리트 기준 설명(ASTM C 1116)에서는 강섬유보강콘크리트, 유리섬유보강콘크리트, 합성섬유보강콘크리트 그리고 자연섬유보강콘크리트로 분류하고 있다. 자연섬유보강콘크리트의 경우, 콘크리트의 강알칼리성에 대한 저항성을 평가할 것을 권고하고 있으며, 알칼리 환경에서 셀룰로오스

섬유의 안정성에 대한 실험방법(ASTM D 6942)에서는 셀룰로오스 섬유에 대한 물성평가 방법 등을 기술하고 있다.

4.2.3 ICC

ICC의 콘크리트용 천연셀룰로오스 시험항목 및 소성수균열저감, 내충격성 시험방법(ICC ES AC217)에서는 셀룰로오스 섬유보강재는 콘크리트의 소성수축 균열저감만을 목적으로 사용하는 것으로 기술하고 있다. 이 기준에서 제시하는 시험항목은 셀룰로오스 섬유를 혼입한 콘크리트의 휨 강도, 압축강도, 동결융해 지속성, 부착력 등이 일반콘크리트와 비교하였을 때 성능저하가 발생하는지를 검토하고, 시멘트 페이스트상에 혼입했을 때, 알칼리에 대한 저항성과 혼화제등과 같은 화학물질과 접촉하여 변형이나 손상이 발생하는지에 대한 장기적 저항성에 대한 평가가 필요하다고 기술하고 있다. 콘크리트 균열저감 성능에 대한 소성수축 균열 평가 시험과 충격 시험을 통한 사후 균열 발생 가능성에 대한 안정성을 평가하도록 기술하고 있다.

[표 2-11] 섬유보강콘크리트 물성 및 실험 (2) (ACI 544.2R-89)

물 성	실 험 명	코 드
휨 강도	Concrete Flexural Strength	ASTM C 78
압축강도	Concrete Compressive Strength	ASTM C 39
동결융해	Freeze-thaw Duability	ASTM C 666
부착강도	Effect on Reinforcemnt Bond Strength	ASTM C 234
소성수축	Plastic Shrinkage Cracking	-
화학적 저항성	Compatibility with Concrete	ASTM D 6942
충격균열 저항성	Post Crack Integrity	-

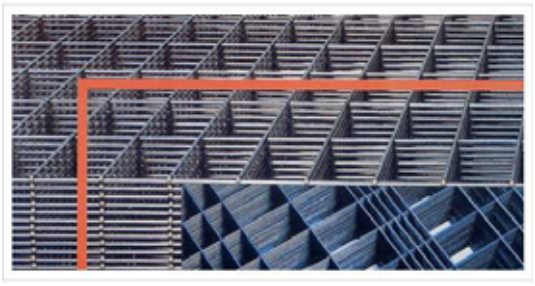
4.3 무근콘크리트 균열저감방법

콘크리트는 물, 시멘트, 잔골재 및 굵은 골재가 혼합된 복합체로서 혼합된 재료들의 수화반응을 거쳐 경화하여 콘크리트의 기본성능을 가지게 된다. 위에서 전술한 것과 같이 콘크리트가 경화할 때, 건조한 외기에 의하여 내부 수분이 증발하게 되고, 이 때 증발한 수분으로 인하여 수축이 발생한다. 또한 건조되지 않는 내부 콘크리트에 의한 구속으로 외부 콘크리트에 인장응력이 작용하여 소성 및 건조수축균열이 발생하게 된다. 무근(누름)콘크리트에서 발생하는 균열은 소성 및 건조수축이 주요 원인이 되며, 이러한 균열을 저감시키기 위해서는 콘크리트에 혼입되는 재료를 통한 방법과 타설 및 양생관리와 같은 시공방법에 대한 고려가 필요하다. 재료를 통한 균열 저감 방법에는 전통적으로 사용해온 와이어메쉬를 설치하는 방법과 최근에 사용되어지는 섬유보강재를 혼입하는 방법이 있으며, 소성 및 건조수축의 주요원인이 되는 콘크리트 배합수, 즉 콘크리트 단위수량을 조절하는 방법 및 기타 혼화재 및 혼화제를 통한 방법이 있다. 시공상의 균열 저감 방법으로는 콘크리트에 발생하는 균열의 확장을 차단시켜주는 줄눈을 설치하는 방법과 취약한 환경으로부터 발생하는 균열을 저감시키기 위한 양생관리를 통한 방법이 있다.

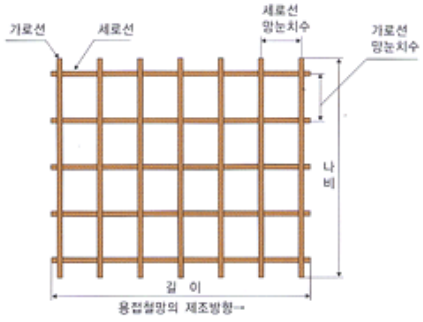
4.3.1 재료적 측면에서의 무근콘크리트 균열저감 방법

가. 와이어메쉬

국내를 비롯하여 해외에서도 전통적으로 콘크리트 균열저감 목적으로 사용되어온 와이어메쉬(용접철망)는 냉간압연 또는 신선된 고강도 철선을 사용하여 세로선과 가로선을 직각으로 배열하여, 교차점을 전기저항용접으로 접합한 시트를 말한다.



(a) 와이어메쉬



(b) 와이어메쉬 구성

[그림 2-12] 와이어메쉬 사진 및 구성

와이어메쉬를 통한 균열저감 공법은 무근(누름)콘크리트 두께의 중앙에 위치시켜 와이어메쉬의 간격에 의하여 콘크리트가 채워져서 수축하는 응집력을 해소하여 균열 생성을 억제하게 한다.

㉠ 와이어메쉬 종류

와이어메쉬용 철선은 원철선과(Smooth wire)과 이형철선(Deformed wire)이 사용되고 있으며, 사용되는 철선에 따라 원형용접철망(Smooth wire fabric)과 이형용접철망(Deformed wire fabric)으로 구분된다. 원형용접철망은 각 철선교점에서 확실한 기계적인 장착에 의하여 콘크리트에 부착되며, 이형용접철망은 용접된 교차뿐만 아니라 철선의 이형성능도 콘크리트의 부착 및 정착에 중요한 역할을 한다. [표 2-12]는 국내에서 사용중에 있는 와이어메쉬의 표준규격이다. 현재 공사에서는 무근(누름)콘크리트의 보강재용으로 철선선경 # 8에 망목 150x150을 사용 중에 있다.

[표 2-12] 와이어메쉬 표준규격 (KS D 7017)

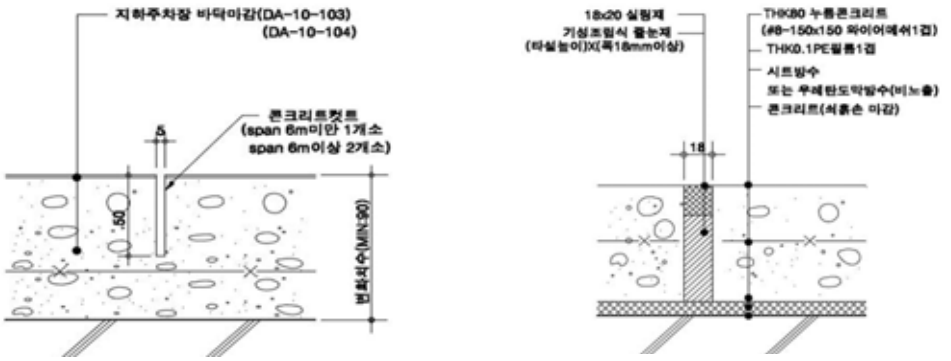
철선선경(m/m)	망 목 (m/m)	중 량 (kg/3.3㎡)
# 10 (3.25 m/m)	150x150/ 100x100/ 75x75	2.81/ 4.21/ 5.67
# 8 (4.06 m/m)	150x150/ 100x100/ 75x75	4.39/ 6.58/ 8.86
# 6 (4.87 m/m)	150x150/ 100x100/ 75x75	6.37/ 9.47/ 12.75
# 4 (5.89 m/m)	150x150/ 100x100/ 75x75	9.32/ 13.86/ 18.65
# 3 (6.40 m/m)	150x150/ 100x100/ 75x75	10.90/ 16.36/ 22.02
# 2 (7.01 m/m)	150x150/ 100x100/ 75x75	13.08/ 19.63/ 26.42
# 1 (7.62 m/m)	150x150/ 100x100	15.62/ 23.62
Φ3.0 m/m	2 inch(50m/m)	7.32

[표 2-13] 와이어메쉬 단위중량 (KS D 7017)

Size number	Dia of wire		Unit Weight	Wire weight in kg/㎡						
No.	inch	mm	kg/m	50mm	75mm	100mm	150mm	200mm	250mm	300mm
W1	0.113	2.87	0.051	2.04	1.36	1.02	0.68	0.52	0.42	0.34
W1.2	0.124	3.15	0.062	2.48	1.66	1.24	0.84	0.62	0.50	0.42
W1.5	0.138	3.51	0.076	3.04	2.04	1.52	1.02	0.76	0.62	0.52
W2	0.160	4.06	0.102	4.08	2.27	2.04	1.36	1.02	0.82	0.68
W2.5	0.178	4.52	0.126	5.04	3.36	2.52	1.68	1.26	1.02	0.84
W3	0.195	4.95	0.152	6.08	4.06	3.04	2.04	1.52	1.22	1.02
W3.5	0.211	5.36	0.178	7.12	4.76	3.56	2.38	1.78	1.44	1.20
W4	0.226	5.74	0.204	8.16	5.44	4.08	2.72	2.04	1.64	1.36
W4.5	0.239	6.07	0.228	9.12	6.08	4.56	3.04	2.28	1.84	1.52
W5	0.252	6.40	0.253	10.12	6.76	5.06	3.38	2.54	2.04	1.70
W5.5	0.265	6.73	0.280	11.20	7.48	5.60	3.74	2.80	2.24	1.88
W6	0.276	7.01	0.304	12.16	8.12	6.08	4.06	3.04	2.44	2.04
W7	0.299	7.59	0.356	14.24	9.50	7.12	4.76	3.56	2.86	2.38
W8	0.319	8.10	0.405	16.20	10.80	8.10	5.42	4.06	3.24	2.70

㉡ 와이어메쉬 시공방법

지하주차장 바닥 무근콘크리트의 균열저감을 목적으로 설치되는 와이어메쉬는 콘크리트 타설전에 미리 설치된 배수판 위에 놓는다. 그리고 콘크리트를 타설한 후에 스페이서를 이용하여 계획된 위치에 고정되도록 작업이 이루어진다. 현재 공사에서는 [그림 2-13]과 같이 무근콘크리트 하단부에서 1/3 높이의 위치에 와이어메쉬가 고정 위치하도록 규정하고 있다.



(a) 지하주차장 무근콘크리트 상세도　　(b) 누름콘크리트 상세도

[그림 2-13] 와이어메쉬 설치상세도 (LH DA-83-001,003)



(1) 배수판 설치



(2) 와이어메쉬 설치



(3) 와이어메쉬 설치



(4) 콘크리트 타설



(5) 와이어메쉬 정착작업



(6) 양생

[그림 2-14] 지하주차장 무근콘크리트 와이어메쉬 설치 사진 (LH 아산배방현장, 2012)

ⓒ 와이어메쉬 시공시 주의사항

압연 또는 고강도 철선이 주재료인 와이어메쉬는 콘크리트에 설치시, 콘크리트와의 비중차이에 의해서 설계위치보다 아래쪽에 정착될 가능성이 많다. 그러므로 콘크리트 타설 후에 스페이서 등과 같은 도구를 사용하여 와이어메쉬의 위치를 조정해주는 작업이 필요하다. 그리고 와이어메쉬는 얇은 철선으로 구성되어 있기 때문에 작업자의 하중 등에 의하여 쉽게 품질이 손상이 되거나 위치가 이동될 가능성 있으며, 이로 인하여 표면에 노출될 경우, 산화될 가능성이 있고, 혹은 하부의 배수판 및 방수시트를 손상시킬 가능성이 있기 때문에 주의가 필요하다.

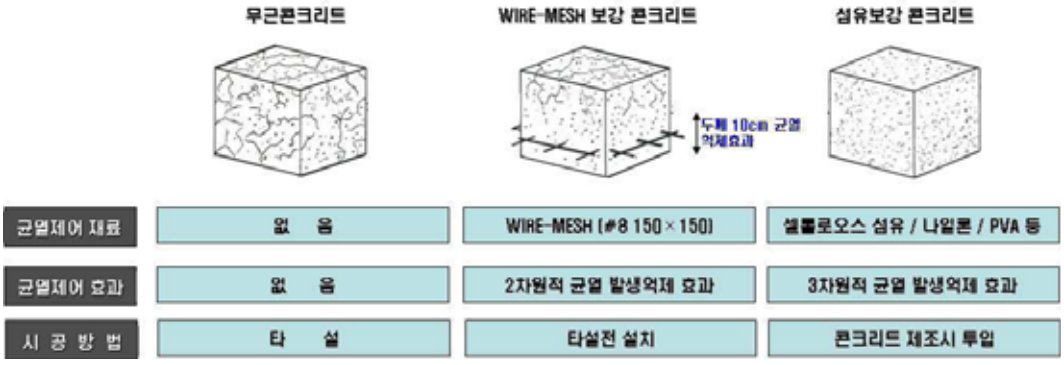
나. 섬유보강재

섬유보강재는 일반적으로 콘크리트의 인장강도와 균열에 대한 저항성을 높이고 인성을 개선시킬 목적 및 내화 등의 특수한 성능을 발휘할 목적으로 콘크리트에 혼입되어진다. 섬유보강재는 기본적으로 경화전 콘크리트의 강알칼리성에 대한 저항력을 가져야하고 역학적 성질이 우수하여야 하며 인체에 무해하여야 한다. 또한, 섬유와 시멘트 결합재와의 부착성이 좋아야 하고, 균열에 저항할 수 있는 충분한 인장강도를 보유해야한다. 그리고 탄성계수는 시멘트 결합재 탄성계수의 1/5이상이어야 하며, 내구성, 내열성 및 내후성이 우수해야 한다. 마지막으로 혼입시에 워커빌리티 손실등과 같은 시공성에 문제가 없어야 한다. 콘크리트에 혼입되는 섬유보강재는 [표 2-14]와 같이 무기섬유와 유기섬유로 분류되어진다. 무근(누름)콘크리트의 균열저감을 목적으로 혼입되는 섬유보강재는 유기섬유 계열이 주로 사용되어지고 있다.

[표 2-14] 섬유보강재의 종류와 물리적 특성 (롯데건설 기술연구소 2009)

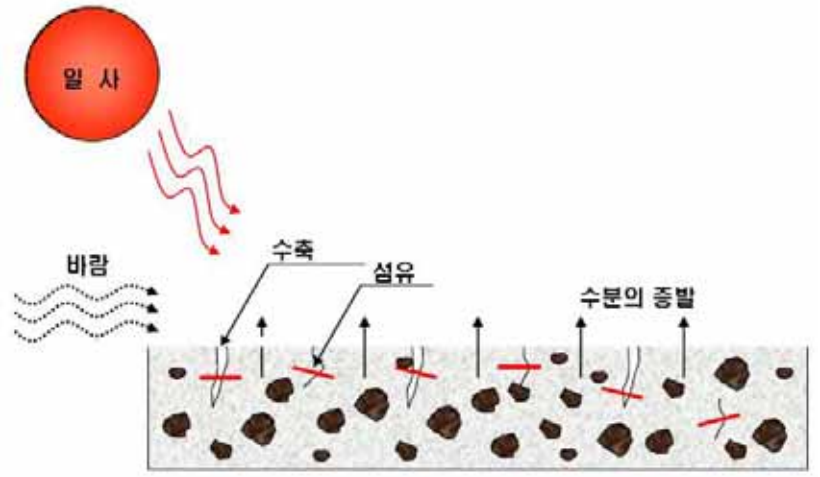
구 분			직경 (10-3mm)	길이 (mm)	밀도 (g/㎤)	탄성계수 (MPa)	인장강도 (MPa)	변형률 (%)
무기질	강섬유		200~600	10~60	7.85	200	400~2,000	3.5
	유리섬유	E-glass	8~10	10~50	2.54	73.5	3,570	4.8
		Cem-Fil	125	-	2.54	81.6	2,250	3.6
	탄소섬유	PAN계	7~8	-	1.78	370	2,500	~0.5
		Pitch계	9	-	2.00	280	2,500	~1.0
유기질	폴리비닐알코올계(PVA)		-	-	1.30	11~37	310~770	3~13
	폴리프로필렌섬유(PP)		100~600	-	0.90	3.6~18	260~710	5~21
	아라미드섬유(HM-50)		-	-	1.45	63~136	70~920	2.1~2.7
	나이론(폴리아라미드계)		>4	5~50	1.14	4.1	765~918	13.5
	폴리에틸렌섬유		-	-	0.95	0.14~2.2	2,000~2,960	10~15
	폴리에스테르계(테트론)		-	-	1.40	8.1	740~880	11~13
	셀룰로오스계(레이온)		-	-	1.20	10.2	310~510	10~20

무근(누름)콘크리트의 균열 저감용으로 사용되어지고 있는 섬유보강재는 콘크리트와 유사한 팽창계수를 가지며 유기질로 구성된 섬유이다. 와이어메쉬와 같이 제작하여 설치하고 타설하는 2차원적인 보강이 아닌 콘크리트에 혼입하여 타설되기 때문에 전체 면적에 대한 3차원적인 균열저감 효과를 기대할 수 있는 재료이다. ([그림 2-15] 참조)



[그림 2-15] 무근콘크리트 균열 저감을 위한 보강재 (롯데건설 기술연구소 2009)

위에서 전술한바와 같이 무근(누름)콘크리트에 발생하는 균열의 주요원인은 소성 및 건조수축이다. 소성 및 건조수축에 의한 균열을 저감하기 위하여 사용되는 섬유보강재는 콘크리트 내에서 균열을 가로지르는 가교작용(콘크리트에 균열이 발생할 경우 균열로 인하여 분리되는 부분이 섬유로 인하여 연결되어 분리되지 않는 작용, Bridging effect)으로 인하여 소성수축균열의 성장을 억제한다. 또한 콘크리트 내부의 잉여수에 대한 구속효과가 증대하고 수분의 외기방출을 억제하여 소성수축을 저감시킨다. 또한 콘크리트 내부의 수분을 균등하게 유지시켜 콘크리트 표면 건조에 따른 수축을 제어한다.



[그림 2-16] 섬유의 가교작용 (Bridge Effect)

무근(누름)콘크리트 균열저감을 목적으로 사용하는 섬유보강재는 단섬유 형태의 자연섬유와 합성섬유가 있다. 자연섬유에는 목재를 가공한 셀룰로오스 섬유, 마섬유 등이 국내에서 사용되어지고 있고, 합성섬유의 경우, 폴리비닐알코올, 폴리프로필렌, 폴리아미드 등이 사용되어지고 있다.

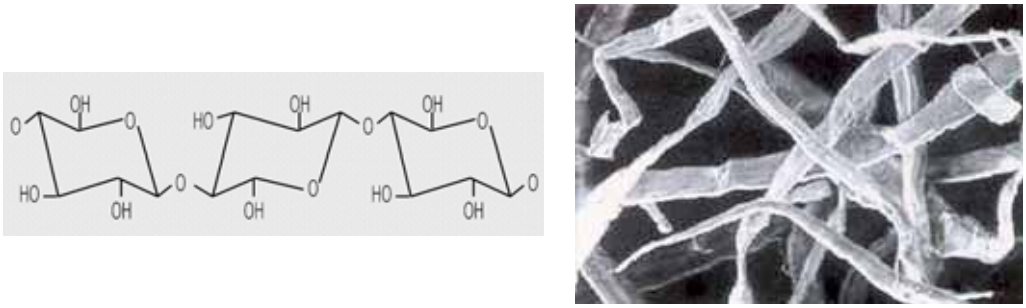
㉠ 천연섬유 (셀룰로오스 섬유)

셀룰로오스 섬유는 가공하거나 혹은 가공하지 않고 시멘트 복합재를 형성하기 때문에 가격과 성능면에서 우수한 장점을 가지고 있다. 자연섬유 보강 시멘트 복합체는 내화성 및 Life-Cycle측면에서 좋은 건축자재로 알려져 있다. 1980년대 초에 석면섬유가 인체에 치명적인 영향을 주는 것이 문제가 되어

새로운 대체 물질을 고려하였으며 그 결과 셀룰로오스 섬유의 발견으로 유럽, 일본 및 동남아시아에서 자연섬유보강 시멘트 복합체는 급격한 성장을 보였다. 일반적으로 셀룰로오스 섬유는 표면이 수산기(OH)로서 산성 및 알칼리에 안정적이고, 시멘트 페이스트와의 강한 부착강도를 지니는 친수성을 가진다. 섬유의 유효직경이 작아 단위체적당 차지하는 섬유수 (1g당 약 1,100,000개)가 많이 미세균열의 발생과 성장을 효과적으로 제어한다.[3] 목재를 원재료로 하는 셀룰로오스 섬유의 경우, 동결저항성이 뛰어나고 강도, 인성 및 강성 등이 우수한 특징을 가지고 있다. 목재 종류에 따라서 차이가 있지만 일반적으로 690kgf/㎠ 의 인장강도를 가지므로 목재로부터 추출된 단섬유 즉, 셀룰로오스 섬유는 약 6,900kgf/㎠ 의 인장강도를 가진다. 셀룰로오스 섬유는 Pulping(목재를 기RP적, 화학적 처리에 의해 가공하는 작업)을 통해 생산되어진다. Pulping 작업은 섬유분리 제조방법에 따라서 화학적, 반화학적, 그리고 기계적 방법 등이 있다. 화학적 작업을 통해 생산된 펄프가 일반적인 크라프트 펄프(목재를 2.5cm정도의 크기로 잘라서 수산화나트륨과 황화나트륨의 혼합용액으로 증해하여 얻어지는 강도가 강한 펄프)이고 기계적 방법은 목재를 분쇄 또는 해섬하여 가공하는 방법을 말한다. 위의 3가지 방법으로 생산된 펄프는 착색이 되어있다. 착색의 정도는 원목 생산지의 증해 방법에 따라 차이가 있으며 착색의 원인물질은 증해중에 제거되지 않은 리그닌이다. 펄프는 수율 및 강도의 손상없이 리그닌 및 산화된 리그닌을 제거하는 과정인 표백과정을 거친다. 이 과정에서 추출물과 헤미셀룰로오스도 일부 제거된다. 헤미셀룰로오스와 리그닌이 제거된 섬유는 시멘트 매트릭스의 결합력에 대한 문제를 어느정도 해결해준다.[4] 굳지 않은 콘크리트에서 섬유 혼입율이 0.06% 이상이 되면, 보통 및 고강도 콘크리트 모두 슬럼프 감소 현상이 발생하며, 공기량은 증가하는 것으로 나타난다. 경화 콘크리트에서 압축강도의 경우 0.1%까지는 보통 및 고강도콘크리트 모두 압축강도에 영향을 주지 않으나, 혼입률이 0.15%이상일때는 압축강도에 영향을 미치는 결과가 발생하였다. 또한 휨강도의 경우에는 혼입율이 0.08%까지는 증가하지만 0.1%이상이 되면 증가가 없는 것으로 나타났다.[5]

3) 셀룰로오스 섬유보강재 적용 검토서, 대우건설 건축기술팀 2002

4) 콘크리트 보강재로서 셀룰로오스섬유 제조방법 개발 및 적용성에 관한 연구, 건국대학교 2000



(a) 셀룰로오스 화학 구조식　　(b) 셀룰로오스 (SEM x400)

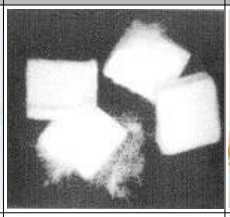
[그림 2-17] 셀룰로오스 섬유 구조식 및 형상

셀룰로오스 섬유보강재중 목재로 생산한 제품은 현재 국내에서 두 가지 제품(S사 슈퍼콘셀, K사 울트라화이버 500)이 주로 사용되어지고 있다. 먼저, 슈퍼콘셀은 2002년 무근(누름)콘크리트 섬유보강재로서 최초로 국내에서 사용되어져 왔다. 공사에서는 2007년부터 부분적용 되어졌으며[6], SH공사 및 민간 건설사에서도 가장 많이 사용해온 섬유보강재이다. 표준 사용량은 1㎥당 1.2kg이고 비중은 1.5이며, 펠렛형태로 유통되는 특징을 가지고 있다. 울트라화이버-500은 2007년부터 국내에서 사용되어지고 있다. 슈퍼콘셀과는 다른 습식형 제품으로서, 콘크리트에 혼입하기 전에 물과 일정 비율(1:1)로 혼합한 슬러리 상태로 투입하는 방법을 가진다. 공사에서는 시공실적이 없는 반면에 일부 민간 건설사에서 사용한 실적이 있다. 2012년부터 마섬유계열의 섬유보강재 또한 유통되고 있다. 마섬유계열의 섬유보강재는 분말형의 목재계열 섬유보강재와는 달리, 단사형의 형상을 가지고 있으며, 섬유의 평균길이 또한 긴 특징을 가지고 있다. 셀룰로오스 섬유보강재는 식물을 원재료로 하여 간단한 가공과정만을 가지기 때문에 섬유의 길이나 직경 등이 합성섬유와 비교하였을 때, 일정하지 못하며, 진밀도(비중), 단섬유 개체의 탄성계수 및 인장강도 등을 측정하는 것이 섬유 고유의 특성 및 측정시험 기준 미비 등으로 어려운 실정에 있다. ([표 2-15] 참조)

5) 나일론 섬유보강재를 이용한 콘크리트의 기초적 특성과 균열성상에 관한 연구. 청주대학교 2005

6) 콘크리트 섬유보강재(셀룰로오스)설계 적용(안) 시행, 건축설계처-19(2007.1.2)

[표 2-15] 셀룰로오스 섬유보강재 종류

구 분	슈퍼콘셀	Ultra – Fiber-500	지콘화이버	멀티콘셀
형 상				
	펠렛형	분말 습식형	단사형	단사형
원 재 료	목 재	목 재	황 마	양 마
혼입방법	건 식	습 식	건 식	건 식
특 성	친수성	친수성	친수성	친수성
내알칼리성	보 유	보 유	보 유	보 유
국내 시공실적	많음	적음	적음	적음
공사 시공실적	유	무	무	무
평균길이	1~3mm	1~3mm	10mm	8mm
비 중	1.5	1.1	1.28	1.4
표준사용량	1.2kg/㎥	0.6kg/㎥	0.6kg/㎥	0.6kg/㎥
국내도입 시기	2002년	2007년	2012년	2012년
공시가 (2012년 기준)	약 7000원	약 7000원	약 7000원	약 7000원

㉡ 합성섬유

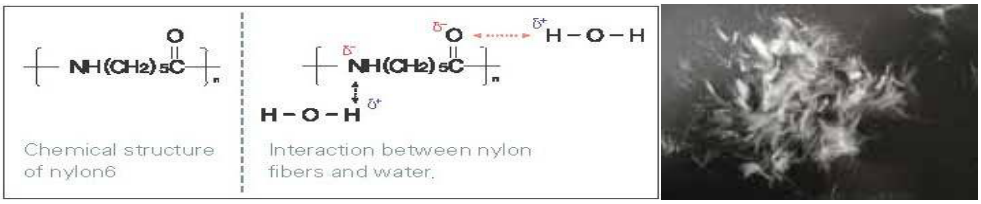
합성섬유는 일반적으로 석유로부터 분리한 유기물질을 고분자 상태로 합성하여 제조한다. 각 섬유에 따라 약간씩 성질이 다르지만, 일반적으로 천연섬유에 비해 비중이 가볍고 인장 및 마찰력에 강하며 잘 구겨지지 않고 내약품성이 있으며, 충해를 받지 않는 등의 장점을 지닌다. 반면에 흡수성이 낮고 염색성 및 내열성 등에서 천연섬유에 비해서 성능이 떨어진다. 합성섬유는 소수성 섬유이며 일반적으로 흡수성이 낮다. 고열에 의하여 연화 용융되는 성질, 즉, 내열성이 취약하며 마찰에 의해 발생한 정전기가 대전하기도 한다.

합성섬유보강 콘크리트는 강섬유나 유리섬유보강 콘크리트보다 휨강도가 적

기 때문에 취성적인 파괴 성향이 있다. 이것은 다른 섬유에 비해 상대적으로 낮은 탄성계수와 등가 단면 직경이 작기 때문이다.

① 폴리아미드 섬유 (나일론 섬유)

나일론 섬유는 나일론 6을 원료로 사용하여 만든 미세한 형태의 콘크리트 보강섬유로서, 콘크리트의 구조를 치밀하고 단단하게 만들어 콘크리트의 성능을 향상시켜주는 보강섬유이다. 또한 나일론 섬유는 콘크리트의 물성을 향상시키는 것 뿐 아니라 균열을 저감시키고, 마감성능이 우수하여 폴리프로필렌 섬유(이하 PP 섬유로 표기)와 같이 콘크리트 표면에 헤어가 노출되지 않는 장점을 지니고 있다. 또한 친수성을 가지고 있어 페이스트 및 콘크리트 모체와 부착력이 우수하며, 반복적인 하중, 충격으로부터 콘크리트를 보호하는 등 내구성을 향상시켜주는 섬유이다. 분자내에 있는 N이나 O에 부분적인 (—)전하를 갖고 있으므로 부분적인 (+)전하를 갖고 있는 물 분자의 H와 상호 정전기적인 작용을 한다. 이로 인해 시멘트 페이스트와의 결합력이 크게 향상된다. 시멘트 매트릭스 상에서의 나일론 섬유는 자체에 함유되어져 있는 수분을 통한 시멘트와의 부착력이 증가되어져 균열저감 효과가 뛰어나며, 표면에 헤어가 노출되지 않는다. 또한 섬유가 가지는 연성으로 인해 작업성이 우수하다.

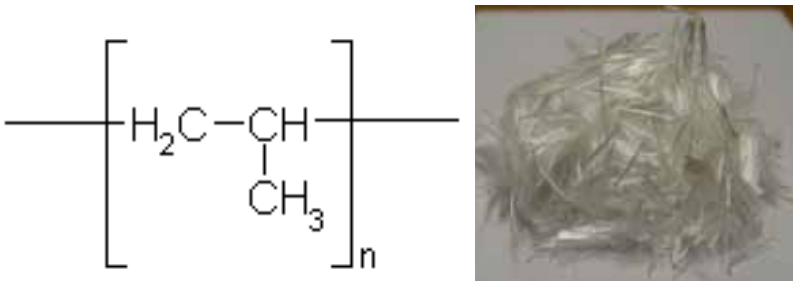


[그림 2-18] 나일론 6의 구조 및 형태

② 폴리프로필렌 섬유 (P.P)

폴리프로필렌은 콘크리트 제품에 사용된 최초의 인조 탄산수소 폴리머 섬유이다. 모노 필라멘트는 토우(Tows)라고 불리는 연속 필라멘트를 제조하는 원형 단면의 거푸집으로부터 재료가 열간 추출되는 과정에서 생산된다. 극소수성이며, 화학적 부착은 기대할 수 없고, 주로 기계적 상호작용에 의한 부착만을 기대할 수 있다. 다른 섬유에 비해 상대적으로 용융점과 탄성계수가 낮아

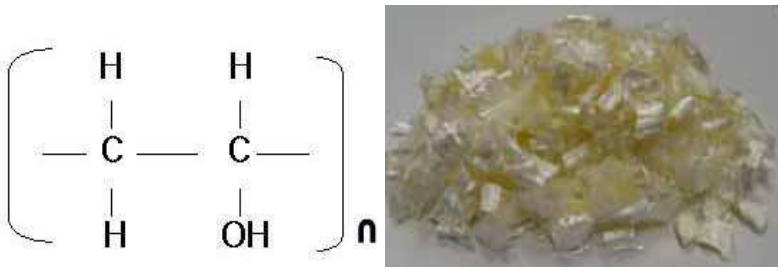
서 증기양생시에는 문제가 발생하며, 최근에는 용융점을 활용한 콘크리트의 폭열을 방지하는데 쓰인다. 결정성과 탄소고리의 입체적인 규칙적 배열성을 갖고 있으므로 인장강도가 다른 합성섬유에 비해 크다.



[그림 2-19] 폴리프로필렌 섬유의 구조 및 형태

③ 폴리비닐알콜 섬유 (PVA)

폴리비닐알콜은 일반적으로 초산비닐 모노머를 라디칼 종합하고 알칼리 검화하여 제조된다. 비교적 작은 직경과 높은 형상비를 갖추고 있어 시멘트 복합체 내에서 미소균열을 억제하고 안정화하며 섬유의 가교작용을 통하여 시멘트 복합체의 역학적 성질을 증대시키는데 유용한 작용을 한다. 섬유의 길이가 짧고 직경이 작을수록 섬유간 거리가 가까워져 최대응력이 커진다는 기존연구가 있다. 이것은 폴리비닐알콜 섬유가 폴리프로필렌 섬유보다 2배 이상의 축인장으력을 가지며 연성적인 거동을 하는 것을 반증한다. 비교적 높은 탄성계수를 가지며 OH group을 가지고 있으며, 표면은 요철구조로 구성되어 있다. 수경성물질로서 화학적, 물리적으로 우수한 접착성을 가진다.



[그림 2-20] 폴리비닐알콜 섬유의 구조 및 형태

[표 2-16] 합성 섬유보강재

구 분	나이콘	PVA	PP
형 상			
	단사형	단사형	단사형
분 류	합성섬유	합성섬유	합성섬유
혼입방법	건 식	건 식	건 식
특 성	친수성	친수성	소수성
내알칼리성	보 유	보 유	보 유
국내 시공실적	적음	적음	적음
공사 시공실적	유	무	무
평균길이 (mm)	19	9	19
직 경 (mm)	0.023	0.015	0.07
비 중	1.16	1.3~1.5	0.9
인장강도 (MPa)	896	510	560
탄성계수 (MPa)	5168	6,100	3,600~18,000
표준사용량	0.6kg/㎥	0.9kg/㎥	0.6kg/㎥
국내도입 시기	2005	–	–
공시가(2012년 기준)	약 8000원	–	–

ⓒ 섬유보강콘크리트 제조방법

무근(누름)콘크리트에 사용하는 섬유보강재는 현재 1㎥ 당 0.6~1.2kg 범위에서 사용 중에 있으며 부피비로 환산하면 약 0.08%정도의 소량이므로 일반적으로 별도의 배합설계과정을 거치지 않고 무근(누름)콘크리트 배합에 혼입한다. 무근(누름)콘크리트용 섬유보강재는 현재 수동 투입방식과 자동계량 투입방식으로 레미콘 공장에서 생산되어 사용 중에 있다. 수동 투입방식은 자동계량 투입기가 없을 경우에 사용하는 방법으로 관리자의 입회하에 레미콘 공장의 플랜트 믹서에 일정량을 에코백의 형태로 포장하여 골재들과 같이 컨베이어 벨트를 통하여 투입된다. 자동계량 투입방식은 자동계량 투입기에서 섬유보강재 투입 양을 자동으로 계량하고 플랜트 믹서에 직접 투입된다.



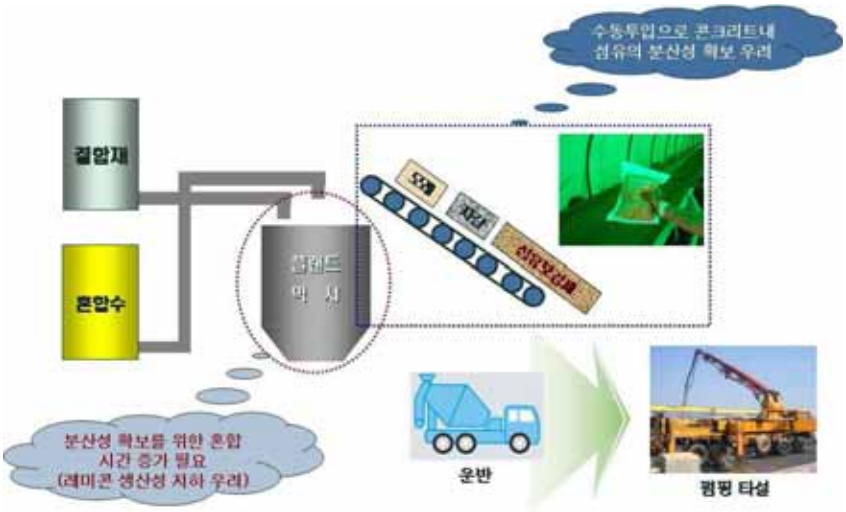
(a) 건식형 자동계량 투입장치



(b) 습식형 자동계량 투입장치

[그림 2-21] 섬유보강재 자동계량 투입장치

또한 섬유보강재는 혼입방법에 의해서도 두 가지로 구분되는데 첫 번째로 일반적으로 가장 많이 쓰이는 건식형이 있다. 건식형은 프랜트 믹서에 계량된 섬유보강재를 사전에 별다른 작업 없이 투입되는 방식으로서 대부분의 섬유들이 이 방법을 통하여 혼입되고 있다. 반면에 습식형은 콘크리트 배합수에 미리 섬유를 혼입하여 슬러지로 제작하여 프랜트 믹서에 혼입되는 방법을 가진다. 건식형의 경우, 작업이 비교적 간소화하고 수동 투입방식을 사용할 경우 별도의 장비가 필요하지 않은 장점을 가진 반면에 섬유보강재의 분산성에 대한 문제점을 가진다. 습식형의 경우, 배합수에 미리 섬유를 혼입하고 교반해야하는 절차와 혼화수 탱크 및 유량계 등의 추가 장비가 필요한 단점이 있는 반면, 사전에 배합수와 교반되어 슬러지화 되기 때문에 분산성에 건식형과 비교하였을 때, 매우 우수한 장점을 가진다.



(a) 수동방식에 의한 섬유보강 무근콘크리트 제조



(b) 자동방식에 의한 섬유보강 무근콘크리트 제조

[그림 2-22] 섬유보강 무근콘크리트 제조방식 (롯데건설 기술연구원 2009)

㉣ 섬유보강 무근콘크리트 사용시 주의사항

① 분산성 확보

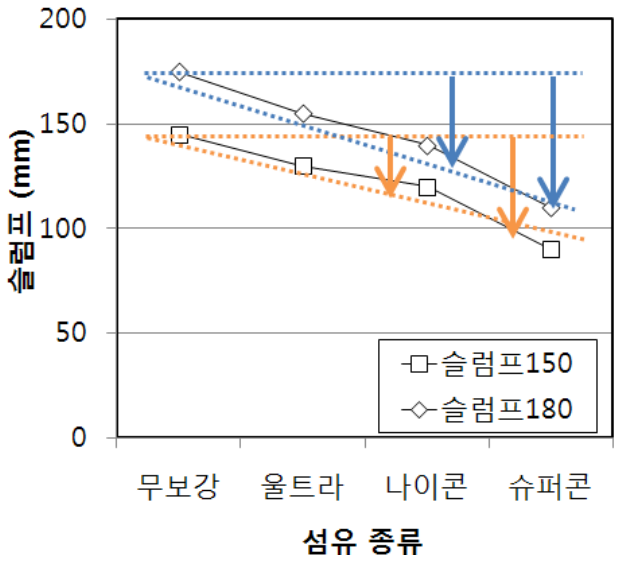
무근콘크리트에 혼입되는 섬유보강재는 콘크리트의 건조 및 소성수축에 의한 응력을 분산시켜 균열을 저감 시키거나 균열의 규모를 감소 시켜준다. 그러므로 콘크리트의 수축에 의한 응력 분산 성능 발휘를 위하여 콘크리트에 혼입된 섬유보강재는 균일하게 분산되어야 한다. 플랜트 믹서에서 섬유보강콘크리트를 제조할 때, 콘크리트 믹서에서는 골재 등과의 마찰력으로 인하여 섬유보강재의 분산성능은 큰 문제를 발생시키지 않지만, 콘크리트의 다른 재료에 비하여 섬유보강재의 혼입량(약 0.026%)이 극미하므로 경우에 따라서 부분적으로 분산성이 고르지 못할 경우가 발생할 수 있으므로, 일반콘크리트 혼합시간보다 10~15초 정도 시간을 늘려주는 것이 분산성 확보를 위해 효과적이다.



[그림 2-23] 섬유 뭉침 현상 (Fiber Ball)

② 워커빌리티 저하

무근콘크리트에 혼입되는 섬유보강재는 대부분 친수성을 가진다. 그러므로 섬유보강재 자체가 수분을 흡수하기 때문에 콘크리트 혼입시에 배합수를 흡수하여 워커빌리티를 저하시킬 우려가 있다. 섬유의 종류에 따라서 흡수량은 차이가 있지만, 셀룰로오스 섬유의 경우, 섬유의 체적에 약 50%정도를 흡수하므로, 섬유가 흡수하는 콘크리트 배합수의 양은 결코 적은 양이 아니라고 할 수 있다. [그림 2-24]는 섬유보강재의 종류에 따른 콘크리트 슬럼프값에 대한 그래프이다. 배합설계상의 목표 슬럼프 값에 따라서 다소 차이가 있지만 공통적으로 섬유를 혼입하지 않은 콘크리트의 슬럼프 값에 비하여 섬유를 혼입한 콘크리트의 슬럼프값이 작은 것을 알 수 있다.



[그림 2-24] 섬유보강재 혼입에 따른 슬럼프 값

현장타설시, 워커빌리티 저하가 발생하게 되면 타설 작업에 많은 문제가 발생하게 되고, 워커빌리티를 만족시키기 위하여 콘크리트의 단위수량을 늘릴 경우, 콘크리트 내부의 배합수의 증가로 인하여 소성 및 건조 수축 균열 발생 가능성이 증가하므로 섬유보강재를 사용하여 균열을 저감시키는 목적과 상충하게 된다. 그러므로 콘크리트에 섬유보강재를 혼입할 시에는 섬유보강재가 흡수하는 배합수를 고려하여 배합설계를 고려하여야 하고, 단위수량 조절을 통하여 워커빌리티를 확보하는 것보다는 고성능감수제 혹은 유동화제 등과 같은 혼화제를 사용하는 것이 콘크리트 균열저감 성능을 고려하였을 때 효과적이다.

③ 섬유보강재 혼입량 확인

섬유보강재는 일반적으로 단섬유로 구성되어져있고, 평균길이 및 직경이 매우 작으며 혼입량 또한 매우 적은양이므로 시험적으로 단위체적(혹은 중량)당 혼입량에 대한 확인이 불가능한 경우가 많다. 그러므로 섬유보강 무근콘크리트 제죄, 자동계량 투입장비 등을 통하여 섬유보강재가 투입되도록 하고, 레디믹스 콘크리트 납품서(송장)에 섬유보강재가 자동계량 투입된 양이 기입되도록 하여 현장 관리자로 하여금 확인이 될 수 있도록 하여야한다.

④ 마감성

섬유보강재의 밀도가 1이하일 경우, 콘크리트 블리딩수에 의하여 마감시, 표면으로 노출될 가능성이 있다. 섬유보강재가 표면으로 노출될 경우, 먼저 성능저하의 가능성이 있으며, 표면에 섬유보강재가 유출되어 미관상의 문제가 발생하고 추가 마감 작업을 수행해야 하는 번거로움이 발생하므로 섬유보강재의 밀도는 1이상이 확보되도록 하여야한다.

4.3.2 배합설계 측면에서의 무근콘크리트 균열저감 방법

지하주차장 무근콘크리트에 발생하는 균열의 주요 원인은 콘크리트 배합수에 의한 건조 및 소성수축이므로 배합설계상에서 콘크리트 단위수량에 대한 고려가 필요하다. 그리고 지하주차장 무근콘크리트는 현재 비구조재료 분류되어 있지만, 차량하중을 직접적으로 받는 장소적 특성 때문에 강도에 대한 고려 또한 필요하다. 마지막으로 건조수축을 저감시키기 위한 방법으로 물리적, 역학적 특성에 영향을 미치지 않는 범위내에서 굵은 골재량을 증가시키는 것이 효과적이므로 잔골재율의 적성성에 대한 고려 또한 필요할 것으로 사료되어진다.

가. 단위수량

콘크리트는 배합수를 포함하는 습식재료이므로 수축을 동반하는 소성 및 건조수축균열과 침강, 블리딩 등의 현상으로 인한 침하균열의 발생 가능성을 가지고 있다. 아래의 건조수축량 산정식과 [그림 2-25]는 단위수량 및 단위시멘트량에 따른 건조수축 발생에 대한 그래프이다. 일반적인 범위에서의 시험정수를 고려하였을 때 단위수량의 조절을 통한 방법이 건조수축균열을 저감시키기 위해서 효과적이라는 것을 알 수 있다.

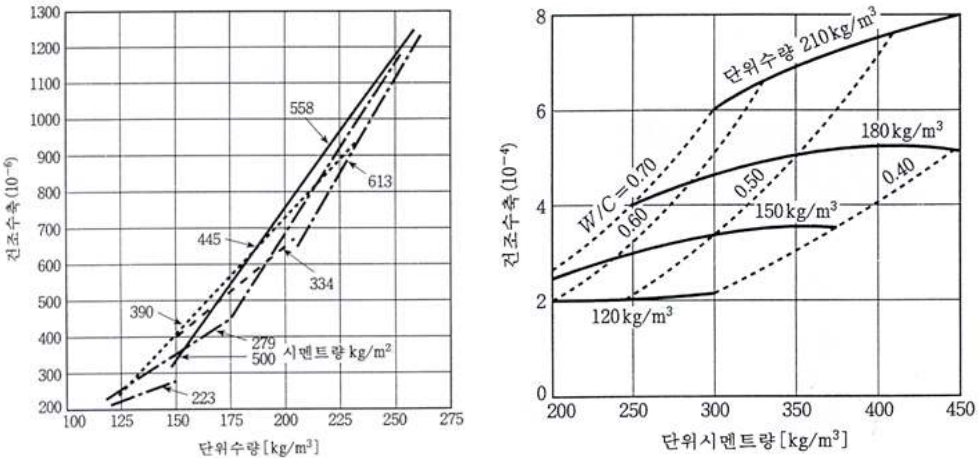
$$\text{건조수축량} = P \times C + Q \times W$$

P, Q : 시험에 의한 정수

C : 단위시멘트량 (kg/m³)

W : 단위수량 (kg/m³)

* 시험정수 P, Q의 일반적 범위 : P [0.02~0.07] , Q [5.10~5.40]

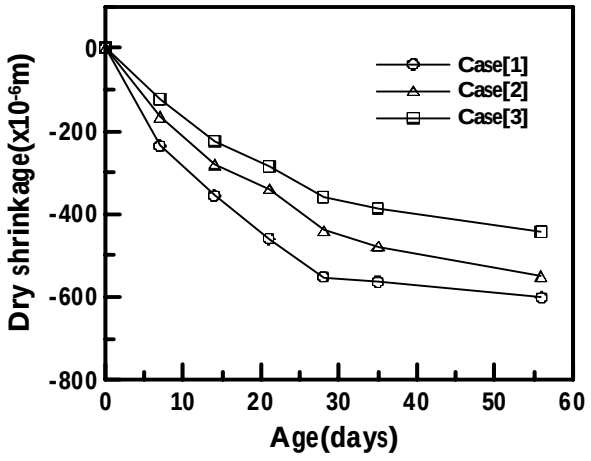


(a) 단위수량에 따른 건조수축　　(b) 단위시멘트량에 따른 건조수축

[그림 2-25] 단위수량 및 단위시멘트량에 따른 건조수축

단위수량의 조절은 콘크리트 워커빌리티, 강도, 수화열 등과 같이 콘크리트 균열 관련 부분뿐만 아니라 다른 콘크리트 물성과도 밀접한 관련을 가지므로 통합적인 고려가 필요할 것이다.

코오롱 기술연구소에서 수행한 단위수량 및 섬유보강재 혼입에 의한 콘크리트 건조수축량 측정 시험 결과, 섬유보강재를 사용하였을 때, 약 10%정도 수축량이 감소하고, 단위수량을 10kg/m³ 감소시키고, 섬유보강재를 사용하였을 때, 약 26% 수축량이 감소되는 것으로 나타났다. 수축량의 저감이 균열저감과 같은 의미라고 가정하였을때, 보강재료만을 사용하여 콘크리트의 균열저감 성능을 기대하는 것보다 단위수량을 적절하게 조절하는 것이 더 많은 균열저감 성능을 기대할 수 있다고 사료되어진다.



case 1:기존 con
case 2:섬유보강재 혼입
case 3:단위수량 조절, 섬유보강재 혼입

[그림 2-26] 섬유보강재 사용 및 단위수량 조절에 따른 건조수축량

나. 배합설계시 콘크리트 수축저감을 위한 고려사항

① 시멘트

콘크리트의 수축은 시멘트 페이스트의 수축이 가장 큰 영향을 미치고 있으며 내황산염시멘트 〈 중용열시멘트 〈 플라이애시시멘트 〈 조강포틀랜트시멘트 〈 보통 포틀랜드시멘트 〈 고로슬래그시멘트의 순서로 수축이 큰 것으로 알려져 있다.

② 골재

시멘트페이스트의 건조수축을 개선하기 위해서는 수축이 작은 골재를 콘크리트 용적에 가능한 많이 차지하고 정탄성계수가 큰 골재를 사용하는 것이 효과적이며 원석의 종류에 따라 석회암 〈 안산암 〈 경질사암의 순서로 수축율이 크다. 잔골재의 경우 건조수축량은 세척사 〈 강사 〈 쇄사 순이며, 굵은 골재의 경우는 석회계의 쇄사 〈 강자갈 〈쇄사 순으로 건조수축량이 크다.

③ 화학혼화제

단위수량 감소를 위하여 화학혼화제를 사용하였을 경우의 수축율은 혼화제를 첨가하지 않은 것과 비교하여 동등한 정도이나 감수제 촉진형을 사용할

경우, 10%이상 증가할 수 있으므로 콘크리트의 물성 확보범위에서 최소량을 결정해야한다.

다. 기타재료

콘크리트를 구성하는 재료중 건조수축을 저감시키기 위한 방안으로서 첨가재를 혼입하여 사용할 수 있으며, 그 종류로는 수축저감제, 팽창재 등이 있다. 이들 재료는 콘크리트 혼입시 , 수축에 의한 인장응력을 완화시켜 균열발생 시기를 연장시키거나 인위적인 시멘트 수화물의 팽창성을 유도하여 장기적으로 발생할 수 있는 수축을 감소시킬 수 있다. 그러나 수축저감을 위한 보강재는 기제조된 콘크리트의 물리적, 역학적 성질에 영향을 미칠 수 있으므로 시험시공 등을 통한 성능 평가 과정을 거칠 필요가 있다.

4.3.3 시공관리 측면에서의 무근콘크리트 균열저감 방법

가. 타설면적의 공구분할

넓은 면적에 콘크리트를 타설하는 경우, 플로어를 분할하여 죠닝마다 수축을 선행 시킨 후, 다음 분할 구역을 타설하는 것이 균열감소에 효과적이다. 분할의 기준으로 1회 타설 용량과 조인트 계획에 의한 적정한 죠닝 계획과 타설량에 대한 검토가 필요하다.

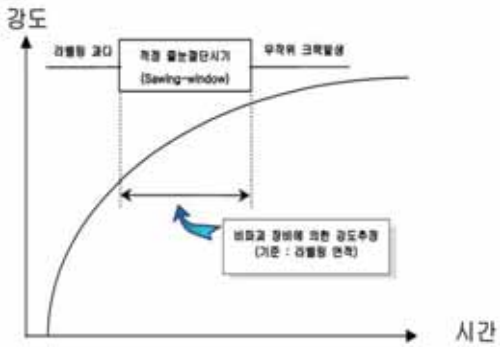
나. 콘크리트 과도한 다짐 방지

시공성 향상을 위한 콘크리트의 다짐이 과도할 경우, 재료분리 및 침강에 따른 블리딩수에 의하여 콘크리트 상부에 시멘트슬러리만이 위치하게 되어 건조수축에 의한 인장응력을 받지 못하게 되어 균열유발이 심화될 수 있다.

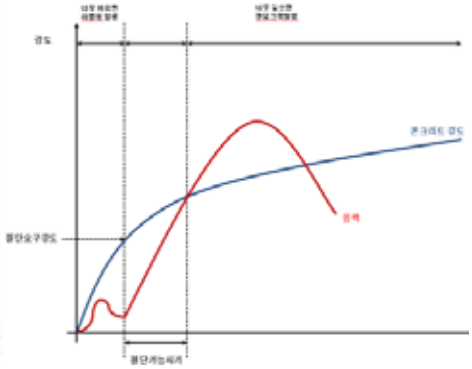
다. 균열 유발 줄눈(Saw Cutting) 계획

줄눈은 전체 슬래브에 발생하는 인장응력을 감소시키기 위하여 일정한 간격으로 바닥면을 절단하여 절단 지점에 균열이 발생하도록 하는 시공 후에 시행하는 매우 적극적인 응력 감소방안 중의 하나이다. 줄눈 설치 작업은 가급적 빨리 실행해야 콘크리트 내부에 발생하는 응력을 최소화 시킬 수 있다. 줄

눈절단 가능기간은 [그림 2-28]과 같이 콘크리트 강도가 절단 시 요구되는 최소강도가 지나는 시점에서부터 응력이 콘크리트 강도 이상이 되는 구간을 말한다. 타설 후 콘크리트 슬래브의 절단이 가능한 최초의 시점은 콘크리트 절단 후 모서리 부분의 골재튐 현상이 발생하지 않는 시점이며 그 종점은 콘크리트 포장의 랜덤 균열이 발생하기 직전이다.



[그림 2-27] 줄눈설치 시기



[그림 2-28] 줄눈설치 가능시기

㉠ 줄눈절단시점

① 못긁기 시험을 통한 줄눈절단시점 결정

국토해양부의 '한국형 포장설계법 개발과 포장성능개선방안 연구' 에서는 [그림 2-29]와 같이 간이적인 방법인 못긁기 테스트로 줄눈 절단시점을 결정하는 방법을 기술하고 있다. 못긁기 테스트 결과 못자국이 거의 생기지 않기 시작되는 시점이 적정 줄눈 절단 시기인 것으로 파악하고 있다.



[그림 2-29] 못긁기 테스트

② 압축강도를 통한 줄눈절단시점 결정

국토해양부의 '한국형 포장설계법 개발과 포장성능개선방안 연구' 에서는 또 다른 줄눈절단시점 결정 방법으로 압축강도 시험을 통하여 줄눈절단시점을 결정하는 방법을 기술하고 있다. [표 2-17]은 적정 줄눈절단시점에 대한 압축강도 실험 결과값으로써, 압축강도가 약 30kg/㎠ 일때가 적정 줄눈 시기로 분석되고 있다.

[표 2-17] 줄눈절단 적정 압축강도 실험결과값

구분	1차	2차	3차	4차	종합
줄눈절단 적정 압축강도(kg/㎠)	28.1	32.2	27.3	29.5	30

㉡ 줄눈절단 간격 및 깊이 (도로설계요령 제5권 포장, 한국도로공사)

줄눈의 폭은 줄눈재의 연신율에 의해 제어된다. 수축줄눈의 깊이는 임의로 정하는 것이 아니라 균열이 소요의 줄눈 위치에 발생하도록 적당한 깊이로 하여야한다. 보통 가로 수축줄눈의 깊이는 슬래브 두께의 1/4이어야 하고 세로 줄눈은 1/3이어야 한다. 이러한 줄눈은 절단, 삽입 또는 성형제작 방식에 의

해 설치할 수 있다. 절단시기는 비정상적인 균열이 발생하지 않도록 적정 시기에 시행하여야 하며, 후속 작업을 할 수 있도록 연속적으로 실시하는 것이 바람직하다. 콘크리트 포설에서부터 절단까지의 시간은 슬래브온도, 양생조건, 콘크리트 배합비에 따라 좌우된다. 수축줄눈의 경우에는 열팽창, 온도변화 또는 보조기층의 마찰저항이 클수록 균열 방지를 위한 줄눈간격은 줄어들고 콘크리트의 인장강도가 클수록 간격도 커진다. 줄눈간격은 또한 슬래브 두께와 줄눈재의 기능과도 관련된다. 무근 콘크리트 포장의 줄눈 간격을 선정하는 개략적인 방법은 슬래브 두께를 0.24배하여 그 값을 초과하지 않는 범위로 정할 수 있다. 예를 들면, 200cm두께의 슬래브에 있어서 최대 줄눈 간격은 4.8m이다. 그리고 이에 대한 슬래브 폭의 비가 1.25를 초과할 수 없다.

㉢ 균열유도 줄눈설치

만약 줄눈 설치 대상 부분 중에 외기에 노출되는 부위(옥상층 등)가 있는 경우, 바람 및 일사 등으로 인하여 지하층보다 비교적 건조수축량이 크게 발생하므로 균열유도줄눈 계획시, 외기에 노출되는 부위와 그렇지 않은 부위를 구분하여 계획하여야 한다. [표 2-18]는 대한건축학회에서 발행한 건축기술지침과 각 민간건설사가 줄눈의 설치시기, 깊이, 간격 및 두께 등에 대하여 기준으로 정하고 있는 현황에 대한 정리이다. 줄눈 설치시기의 경우, 양생기간과 콘크리트 압축강도로 구분하여 시기를 결정하고 있으며 깊이의 경우는 해당 바닥판(무근콘크리트)의 두께에 따라서 결정하고 있다. 간격의 경우, 환경조건이 외기에 노출되어 지하층에 비해 비교적 좋지 못한 지상층의 경우 3.0m로 좁은 간격으로 설치 중에 있다.

[표 2-18] 줄눈설치관련 현황

항 목	건축기술지침(대한건축학회)		대우건설	대림건설	포스코
	콘크리트 균열방지	줄눈 처리 요점			
시기	타설 후 4~7일	타설 후 2~3일	3MPa 이상	5~10MPa	5~10MPa
깊이	1/4t~1/3t	1/4t~1/5t	1/4t~1/3t	지하 : 1/3t 지상 : 1/2t	지하 : 1/3t 지상 : 1/2t
간격	3~4m	4.5~6m	3~4m	지하 : 7.5m 지상 : 3.0m	지하 : 5.5m 지상 : 3.0m
두께	–	실링 x : 3mm 실링 o : 5~6mm	3mm	6mm	6mm

제3장

지하주차장 무근콘크리트 균열저감 방안 실험

3

제 3 장 지하주차장 무근콘크리트 균열 저감방안 실험적 검토

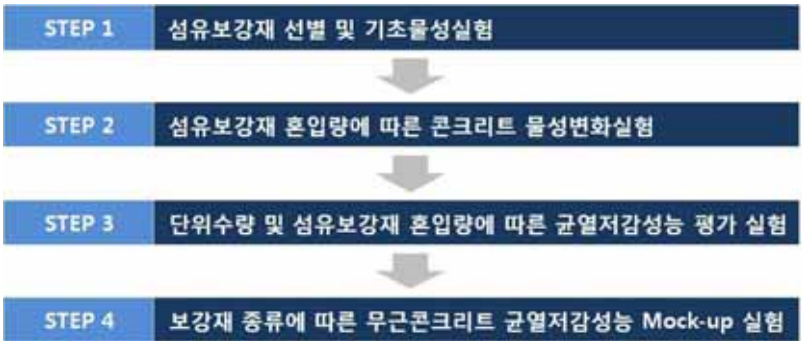
1. 서 론

1.1 개 요

본 장에서는 2장에서 검토한 지하주차장 무근콘크리트 균열저감 방안 중, 재료적 측면에서의 저감방안에 대하여 실험을 수행하였다. 무근콘크리트 균열 발생의 지배적인 원인으로 소성수축 및 건조수축에 대한 저감방안으로써, 전통적으로 사용되어진 와이어메쉬를 비롯하여, 다양한 형태의 섬유보강재 및 단위수량 등에 대한 실험을 수행하였으며, 무근콘크리트의 품질을 확보하기 위한 품질기준시험 항목에 대하여 검토하였다.

1.2 전체 실험계획

무근콘크리트 균열저감 방안 중, 재료적 측면은 현재 다양한 방법이 사용되어지고 있으므로, 본 연구에서는 합리적인 결론을 도출하기 위하여 아래와 같이 실험을 총 4단계로 구분하여 순차적으로 수행하였다.



[그림 3-1] 무근콘크리트 균열저감성능 실험계획

실험 1단계에서는 현재 국내에서 무근콘크리트 균열저감용으로 사용되어지고 있는 섬유보강재 중, 많이 사용되어지고 있는 순서로 다섯 종류를 선별하여 공사의 콘크리트 기준을 만족하도록 콘크리트를 제작하여 압축강도, 할렬인장강도, 수축 길이변화 등을 측정하였다. 다음으로 2단계에서는 다섯 종류의 섬유중의 대표성(사용량 및 특성)을 가지는 3 종류의 섬유를 선별하여 섬유혼입량에 따른 콘크리트 물성변화를 측정하였다. 다음으로 실험 3단계에서는 단위수량 및 섬유보강재의 혼입량을 변경시켜 균열저감성능에 대한 평가를 수행하였다. 또한 1,2 단계에서 수행한 실험결과를 바탕으로 균열저감성능 평가를 위한 실험방법에 대한 검토를 위하여 수축균열유발 실험 등을 추가로 수행하였다. 마지막으로 4단계에서는 무근콘크리트 타설현장과 유사한 환경 및 시험체를 계획한 Mock-up 실험을 수행하였다.

2. 섬유보강재 선별 및 기초물성실험 (실험 1단계)

2.1 실험개요

지하주차장 바닥 무근콘크리트 균열저감을 목적으로 섬유보강재를 혼입한 콘크리트의 기초물성에 대한 실험적 검토를 수행하였다. 현재 국내에서 무근콘크리트 균열저감용으로 유통되고 있는 섬유보강재 종류는 10여종류 정도이지만 이중, 사용량이 많은 순서로 5종류를 선별하였으며, 콘크리트에 혼입하였을 때, 콘크리트 기초물성에 끼치는 영향에 대한 측정을 목적으로 슬럼프, 공기량, 압축강도, 할렬인장강도, 휨강도, 자기수축 길이변화, 건조수축길이변화 등에 대한 실험을 수행하였다.

2.2 실험계획

[표 3-1]은 1단계 실험계획을 정리한 것으로써, 섬유보강재는 현재 사용되고 있는 셀룰로오스 계열 2종(건식형, 습식형), 폴리아미드 계열 1종 그리고 시최근 시판된 마섬유 계열 2종을 선정하였다. 섬유를 사용하지 않은 무보강 콘크리트(OPC)와 비교하여 섬유보강재를 사용한 콘크리트의 특성을 알아보고자 하였다. 콘크리트는 공사의 보통콘크리트 기준인 굵은골재 최대 크기 25mm 이하, 슬럼프 150±25mm, 공기량 4.5±1.5%를 기준으로 설정하였으

며, 설계강도는 무근콘크리트와 누름콘크리트를 구분하여 각각 24MPa, 18MPa로 구분하여 수행하였다. 섬유보강재 혼입량은 섬유보강재 제조사에서 제안하고 있는 혼입량(0.6~1.2kg/㎥)을 적용했으며, 목표 슬럼프를 만족시키기 위하여 혼화제는 PC계의 고성능 감수제 를 사용하였다.

굳지않은 콘크리트 상태에서 공기량, 슬럼프(60분 경시), 분산성 및 마감성을 측정하였고, 콘크리트 경화상태에서는 압축강도, 휨강도, 할렬인장강도, 자기수축 길이변화, 건조수축 길이변화를 측정하였다.

[표 3-1] 섬유보강 무근콘크리트 물성평가 실험의 구성

실험 인자	실험 수준	측정 항목
보강재 종류	무보강, Wire mesh, 슈퍼콘셀, 울트라, 나이콘, 추가2종(멀티콘셀, 지콘)	• 공기량 • 슬럼프(60분 경시) • 압축강도(7, 28일) • 인장강도(28일) • 휨강도(28일) • 건조수축 • 초기수축 • 분산성 및 마감성 • 재하 균열
섬유 혼입률(%)	제조사 제공	
콘크리트 설계	25-(18, 24)-150, 공기량4.5±1.5%	
감수제	PC계	

[표 3-2] 섬유보강 무근콘크리트 물성평가실험의 배합

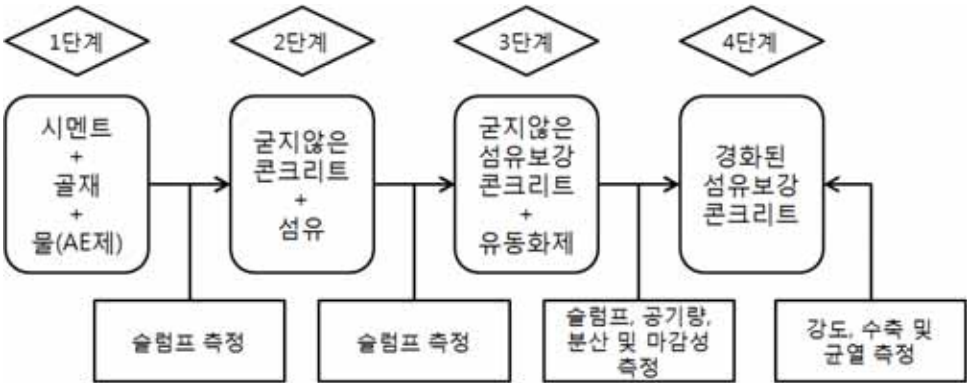
설계강도 (MPa)	W/C (%)	S/a (%)	보강재료	Unit weight(kg/㎥)				
				W	C	S	G	Fiber
18	52	48	무보강	170	327	850	956	0.0
			셀룰로오스(습식형)					0.0
			폴리아미드					1.2
			셀룰로오스(건식형)					0.6
			마섬유 1					1.2
			마섬유 2					0.6
24	47	47.5	무보강	170	362	840	964	0.6
			셀룰로오스(습식형)					0.0
			폴리아미드					0.0
			셀룰로오스(건식형)					1.2
			마섬유 1					0.6
			마섬유 2					1.2
								0.6
								0.6

2.3 실험방법

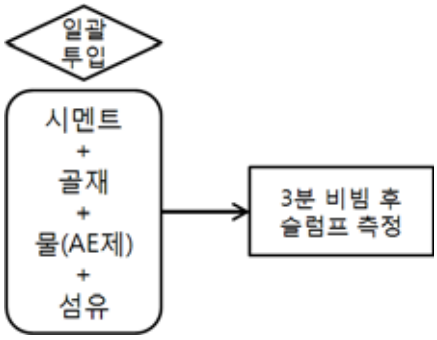
2.3.1 실험방법

[그림 3-2]는 실험방법의 개요를 나타낸 것으로써, 실험 콘크리트는 총 4단계로 제조하였다. 1단계에서는 기준콘크리트(Plain)를 제조하는 것으로 시멘트, 골재(잔골재, 굵은골재), 물(AE제 혼합)를 혼합하였다. 2단계에서는 1단계에서 제작한 기준콘크리트에 섬유를 혼합하였고, 3단계에서는 굳지않은 섬유보강 콘크리트의 손실된 슬럼프를 확보하기 위해 고성능감수제를 사용하였으며, 4단계에서는 양생을 통해 경화된 콘크리트를 제조하였다. 3단계에서 사용한 고성능감수제는 시멘트 중량을 기준으로 첨가하였고, 섬유보강재는 콘크리트 용적을 기준으로 하였다.

슬럼프 측정 시점은 혼합방법에 따라 다르게 설정하였다. [그림 3-3]은 섬유보강재를 후첨가 하는 방법을 나타내고 있으며, 혼합방법(1)은 섬유에 의해 손실되는 슬럼프, 슬럼프 회복을 위한 고성능 감수제 사용량, 회복된 슬럼프를 측정하였다. [그림 3-3]은 섬유보강재를 다른 재료들과 동시에 첨가를 한 것을 나타내고 있으며 혼합방법(2)은 모든 재료를 동시에 혼합하여 섬유에 의해 손실되는 슬럼프를 측정하였다.



[그림 3-2] 실험 개요 – 혼합방법(1)



[그림 3-3] 실험 개요 – 혼합방법(2)



① 재료 계량



② 재료 투입



③ 재료 혼합



④ 토출



⑤ 공시체 제작

[그림 3-4] 실험 콘크리트 제조 전경

2.3.2 측정방법

가. 굳지 않은 콘크리트의 시험방법

㉠ 슬럼프 : KS F 2402 포틀랜드 시멘트 콘크리트의 슬럼프 시험방법

㉡ 공기량 : KS F 2421 굳지 않은 콘크리트의 압력법에 의한 공기 함유량 시험방법(공기실 압력 방법)

㉢ 분산성 및 마감성 : 육안 확인 및 쇠흙손 마감을 통한 정성적 평가

나. 경화된 콘크리트의 시험방법

㉠ 압축강도 : KS F 2405 콘크리트의 압축강도 시험 방법

㉡ 휨강도 : KS F 2408 콘크리트의 휨 강도 시험 방법

㉢ 쪼갬인장강도 : KS F 2423 콘크리트의 쪼갬 인장 강도 시험 방법

㉣ 자기수축 길이변화 : KS F 2586 시멘트 풀, 모르타르, 콘크리트의 자기 수축 및 자기 팽창 시험방법

㉤ 건조수축 길이변화 : KS F 2424 모르타르 및 콘크리트의 길이 변화 시험 방법



① 슬럼프 측정



② 공기량 측정



③ 초기수축 측정



④ 재령7일 압축강도 측정



⑤ 재령28일 압축강도 측정



⑥ 재령28일 쪼갬인장강도 측정



⑦ 재령28일 휨강도 측정



⑧ 건조수축 측정

[그림 3-5] 공시체를 이용한 측정 전경

2.4 사용재료

가. 섬유보강재

무근콘크리트의 균열저감을 목적으로 사용하는 섬유보강재는 원재료에 따라서 자연섬유와 합성섬유로 구분되어진다. 본 실험에서는 자연섬유 중에 셀룰로오스 계열의 섬유와 합성섬유 중, 폴리아미드 계열의 섬유로 구분하여 사용하였다. 특히 셀룰로오스 계열 섬유의 경우, 'D사' 의 건식 혼입방법을 가지는 슈퍼콘셀과 'K사 '의 습식 혼입방법을 가지는 울트라화이버를 사용하였으며, 마섬유계열의 멀티콘셀과 지콘화이버를 추가적으로 사용하였다. 폴리아미드 계열의 섬유로는 'K사' 에서 개발한 나이콘을 사용하였다.



① 슈퍼콘셀



② 멀티콘셀



③ 울트라 화이버



④ 지콘 화이버

셀룰로오스(cellulose) 계



⑤ 나이콘

폴리아미드(polyamide)/나일론(nylon) 계

[그림 3-6] 섬유의 형상

실험에 사용 섬유보강재 물성은 [표 3-3]과 같다. 셀룰로오스 섬유의 경우, 섬유의 특성상 진밀도, 길이, 직경, 인장강도 및 탄성계수의 측정이 불가능하였다.

[표 3-3] 실험에 사용한 섬유보강재 물성

구분	재질	함수율 (%)	겉보기밀도 (g/㎤)	진밀도	길이 (mm)	직경 (㎛)	인장 강도 (MPa)	탄성 계수 (GPa)
울트라 화이버	Cellulose	–	0.31	–	–	–	–	–
나이콘	Polyamide	–	–	1.16	12.04	22.8	520.7	3.1
슈퍼콘	Cellulose	5	0.4	–	–	–	–	–
지콘	Cellulose	–	1.28	–	10	–	200 이상	8.5 이상
멀티콘	Cellulose	9.9	1.4	–	–	–	–	–

나. 시멘트

'KS L 5201 포틀랜트 시멘트' 에서 규정하는 1종 보통 포트랜드 시멘트를 사용하였다.

다. 골재

본 실험에서 사용한 골재의 물성은 [표 3-4]와 같다.

[표 3-4] 골재의 물리적 특성

구분		표건밀도 (g/㎤)	단위용적질량 (kg/ℓ)	흡수율 (%)	실적률 (%)	조립률	비고
잔골재		2.62	1.63	2.19	63.7	2.57	–
굵은 골재	1	2.74	1.54	0.99	57.6	6.62	혼합방법(1)
	2	2.68	1.52	0.67	56.6	7.5	혼합방법(2)

2.5 실험결과

실험결과는 [표 3-5,6]과 같다.

[표 3-5] 경화전 콘크리트의 실험결과

설계 강도 (MPa)	섬유 종류	슬럼프						고성능 감수제 사용량 (%)	공기량 (%)	분산성 및 마감성
		혼합방법(1)				혼합방법(2)				
		최초	섬유 투입	SP투입	60분 경시	150	180			
18	무보강	155	–	–	25	–	–	0.0	5.8	우수
	울트라	150	45	150	25	–	–	0.4	5.4	우수
	나이콘	145	60	145	15	–	–	0.3	6.5	우수
	슈퍼콘	140	40	140	35	–	–	0.6	6.1	우수
	지콘	160	85	160	40	–	–	0.2	7.5	우수
	멀티콘	165	95	135	35	–	–	0.1	5.7	우수
24	무보강	150	–	–	40	145	175	0.0	4.3	우수
	울트라	140	55	155	55	130	155	0.4	6.1	우수
	나이콘	155	115	140	50	120	140	0.1	7.8	우수
	슈퍼콘	135	55	150	45	90	110	0.4	6.5	우수
	지콘	140	80	150	50	–	–	0.2	6.7	우수
	멀티콘	140	70	145	35	–	–	0.2	6.5	우수

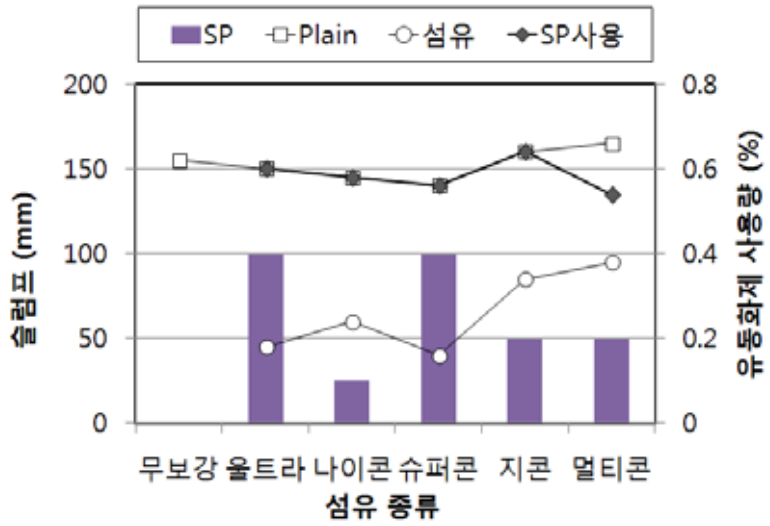
[표 3-6] 경화후 콘크리트의 실험결과

설계 강도 (MPa)	섬유 종류	압축강도(MPa)		할렬인장강도 (28일,MPa)	휨강도 (28일,MPa)
		7일	28일		
18	무보강	27.6	32.4	2.99	6.38
	울트라	29.6	30.1	2.59	5.57
	나이콘	29.1	29.2	2.77	6.15
	슈퍼콘	27.2	28.7	2.85	5.63
	지콘	27.2	30.0	2.75	5.63
	멀티콘	26.5	28.9	2.57	5.62
24	무보강	30.9	34.2	2.91	6.35
	울트라	30.6	31.5	2.43	5.92
	나이콘	28.4	30.8	3.06	5.89
	슈퍼콘	29.7	30.0	2.76	5.74
	지콘	28.8	31.7	2.68	5.84
	멀티콘	30.7	34.2	2.72	6.02

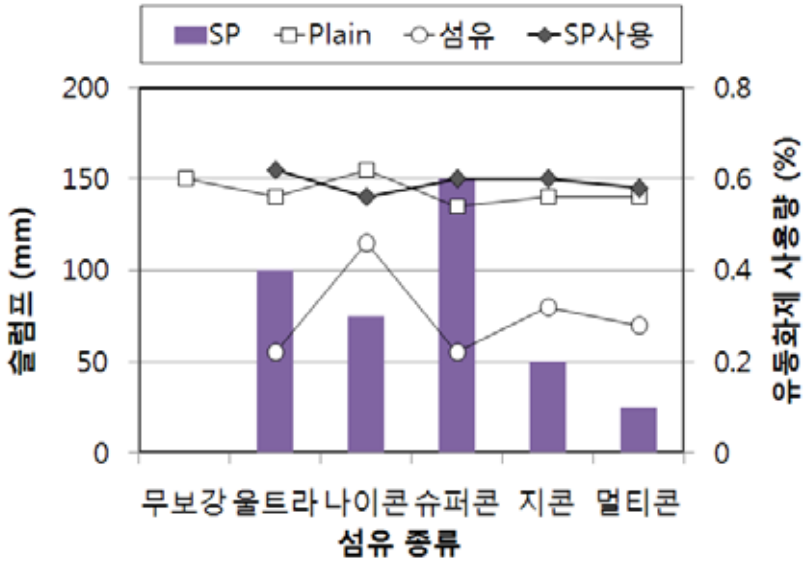
가. 경화전 콘크리트 실험결과

㉠ 슬럼프 및 공기량

[그림 3-7,8]은 혼합방법(1)의 슬럼프와 고성능 감수제 사용량을 나타낸 것이다. 무보강 및 섬유를 혼입하기 전의 기준콘크리트는 모든 조건에서 150±25mm를 만족하는 것으로 나타났다. 섬유 혼입에 의한 슬럼프 손실은 약 50~100mm 정도 나타났다. 슬럼프 손실값에 대한 보정은 유동화제(고성능 감수제)를 사용하여 목표 슬럼프 값을 만족하도록 조정하였다.



[그림 3-7] 설계강도 18MPa의 슬럼프와 유동화제 사용량 – 혼합방법(1)

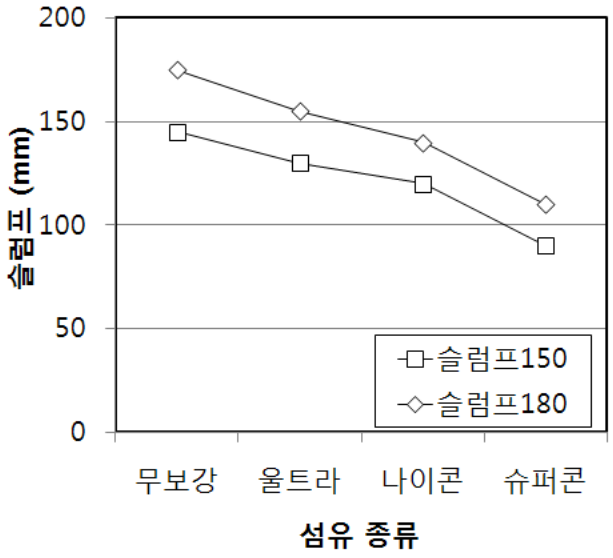


[그림 3-8] 설계강도 24MPa의 슬럼프와 고성능감수제 사용량 – 혼합방법(1)

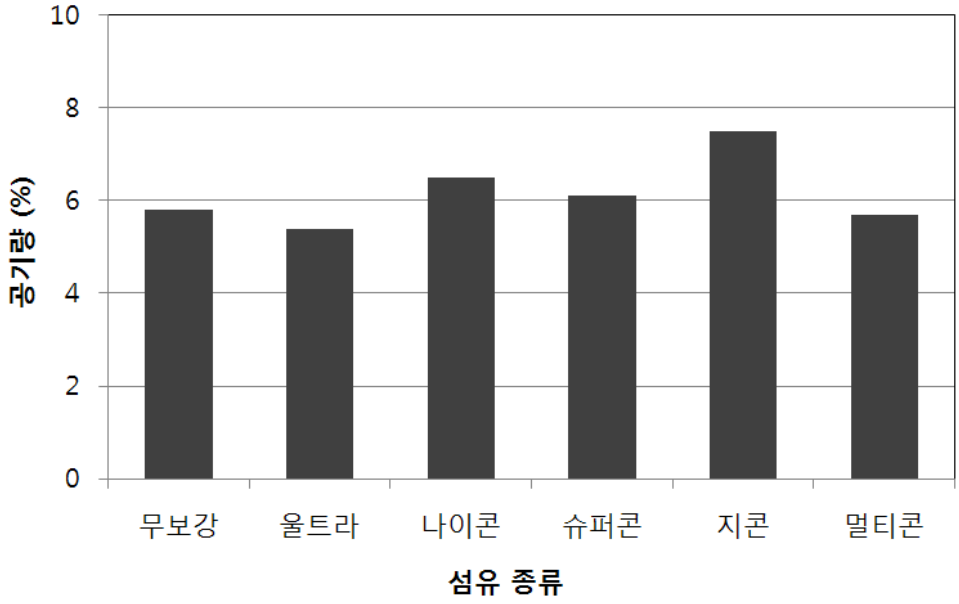
설계강도 조건별 슬럼프 변화를 살펴보면, 18MPa의 경우에서 섬유 종류별 슬럼프 손실은 울트라화이버가 105mm, 가장 크고, 다음으로 나이콘 95mm, 슈퍼콘셀 100mm, 지콘화이버 75mm, 멀티콘셀이 70mm로 나타났고, 손실된 슬럼프를 다시 150±25mm로 만들기 위해 사용된 유동화제(고성능 감수제)는 0.1~0.6% 첨가되었다. 유동화제 사용량은 슈퍼콘>울트라>나이콘>지콘>멀티콘의 순서로 높게 나타났다. 설계강도 24MPa의 경우에서 섬유 종류별 슬럼프 손실은 울트라화이버가 85mm, 나이콘 40mm, 슈퍼콘셀 80mm, 지콘화이버 60mm, 멀티콘셀이 70mm로 약 50%의 손실이 나타났고, 손실된 슬럼프를 150±25mm로 만들기 위해 사용된 유동화제는 0.1~0.4%의 범위로 나타났다. [그림 3-9]는 혼합방법(2)의 슬럼프 손실량을 나타낸 것으로 기준콘크리트의 목표 슬럼프가 150mm와 180mm를 만족하도록 배합설계를 하고, 동일 배합조건에서 각 섬유를 혼입하여 슬럼프 감소값을 측정하였다. 실험결과, 기준콘크리트가 되는 무보강 콘크리트는 150mm를 기준으로 할 때 145mm, 180mm를 기준으로 할 때 175mm의 슬럼프 값이 측정되었고 울트라화이버는 목표 슬럼프 값이 150mm일 경우 130mm, 180mm일 경우, 155mm가 측정되었다. 나이콘의 경우 목표 슬럼프 값이 150mm일 경우 120mm, 180mm일 경우,

140mm가 측정되었고, 슈퍼콘셀의 경우 목표 슬럼프 값이 150mm일 경우 90mm, 180mm일 경우, 110mm가 측정되었다.

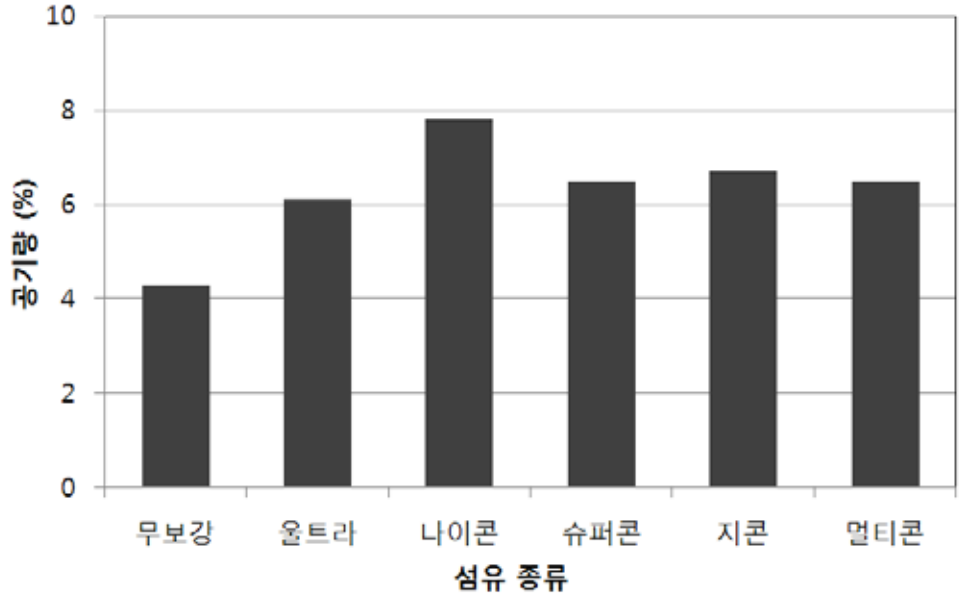
60분이 경과된 시점의 슬럼프는 섬유의 혼입 유무와 상관없이 유사하고 설계강도 18MPa의 평균이 약 30mm로 24MPa의 평균인 45mm보다 다소 낮게 나타났다. [그림 3-10,11]은 공기량을 나타낸 것으로 섬유를 사용 할 경우 공기량이 다소 높아지는 경향이 나타났다.



[그림 3-9] 슬럼프 손실량-혼합방법(2)



[그림 3-10] 설계강도 18MPa의 공기량



[그림 3-11] 설계강도 24MPa의 공기량

㉡ 분산성 및 마감성

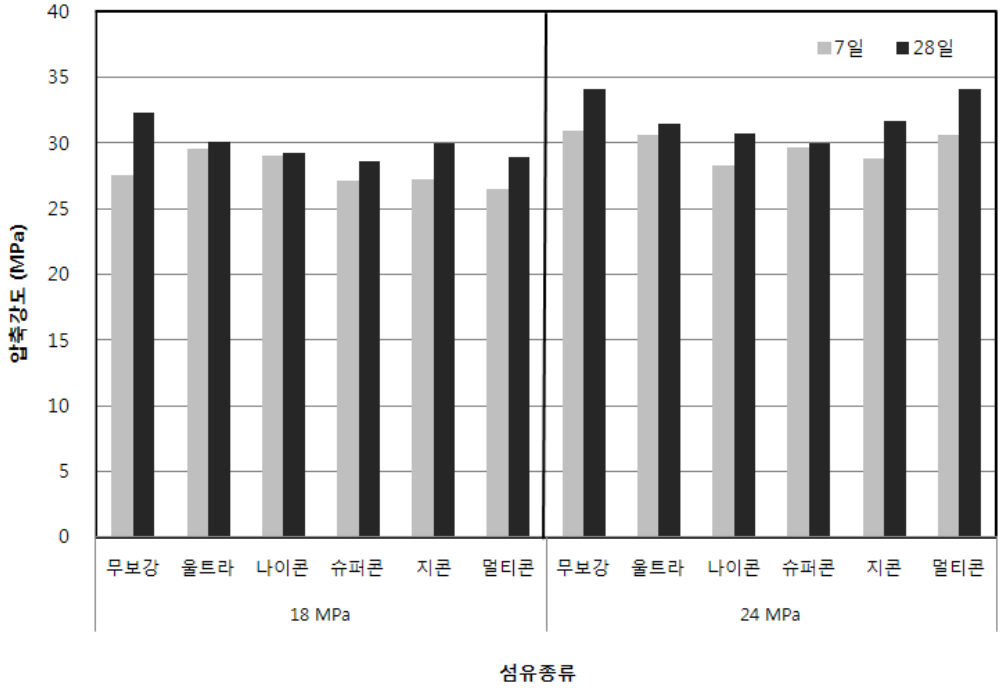
콘크리트를 혼합한 후에 섬유의 뭉침 현상을 확인한 결과 모든 섬유에서 문제점이 나타나지 않았다. 섬유의 길이가 짧고 사용량이 소량이기 때문에 섬유 뭉침 현상(fiber ball)이 나타나지 않은 것으로 판단된다.

섬유보강 콘크리트의 표면 마감성은 섬유종류에 영향 없이 무보강의 경우와 유사하게 나타났다. 섬유에 의한 흙손의 저항성도 무보강과 유사하게 나타났으며, 마감 이후 표면에 섬유가 확인되지 않아서 추가 표면에 시공되는 2차 공정에 문제가 없는 것으로 확인되었다. 이는 섬유의 사용에 의한 슬럼프 손실을 유동화제를 사용하여 없앴기 때문에 콘크리트 상부 표면에 발생하는 블리딩수가 거의 없어서 나타난 것으로 판단되며, 향후 유동화제를 사용하지 않고 섬유를 사용하면서 유동성을 확보하기 위해 높은 단위수량 및 물시멘트비의 배합을 사용할 경우 세심한 관리가 요구될 것으로 예상되어진다.

나. 경화후 콘크리트 실험결과

㉠ 압축강도

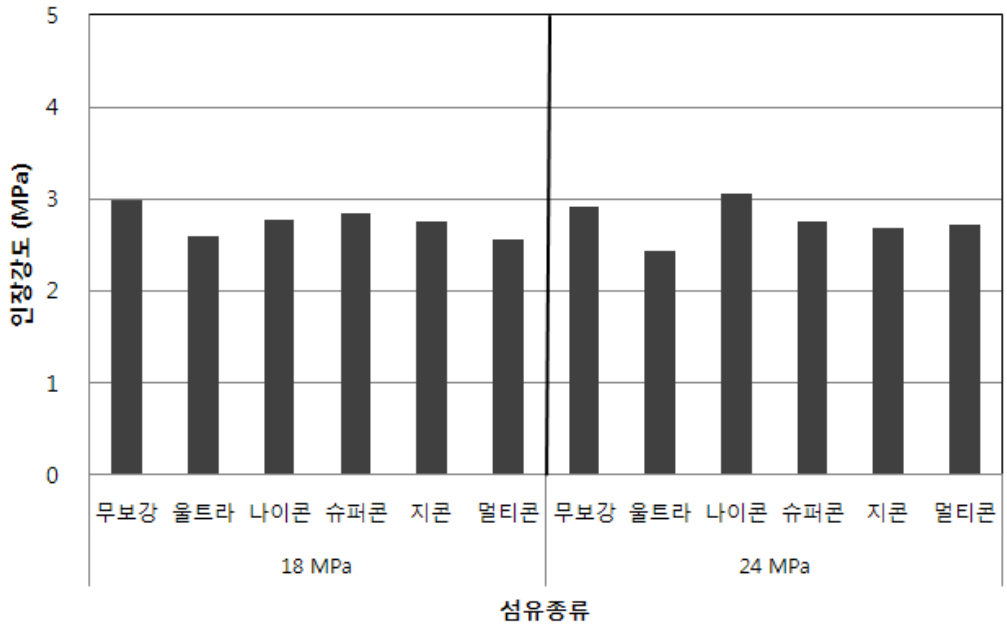
[그림 3-12]은 설계강도와 섬유 종류에 따른 압축강도를 나타낸 것이다. 재령 7일과 28일에서 섬유의 사용에 의한 압축강도의 변화는 없는 것으로 나타났다. 설계강도 18MPa로 경우 압축강도는 재령 7일에 평균 27MPa을 발현하였고, 재령 28일에서 평균 30MPa을 발현하고 있다. 설계강도 24MPa의 경우 재령 7일에 약 28MPa, 재령 28일에서 약 32MPa을 발현하고 있다.



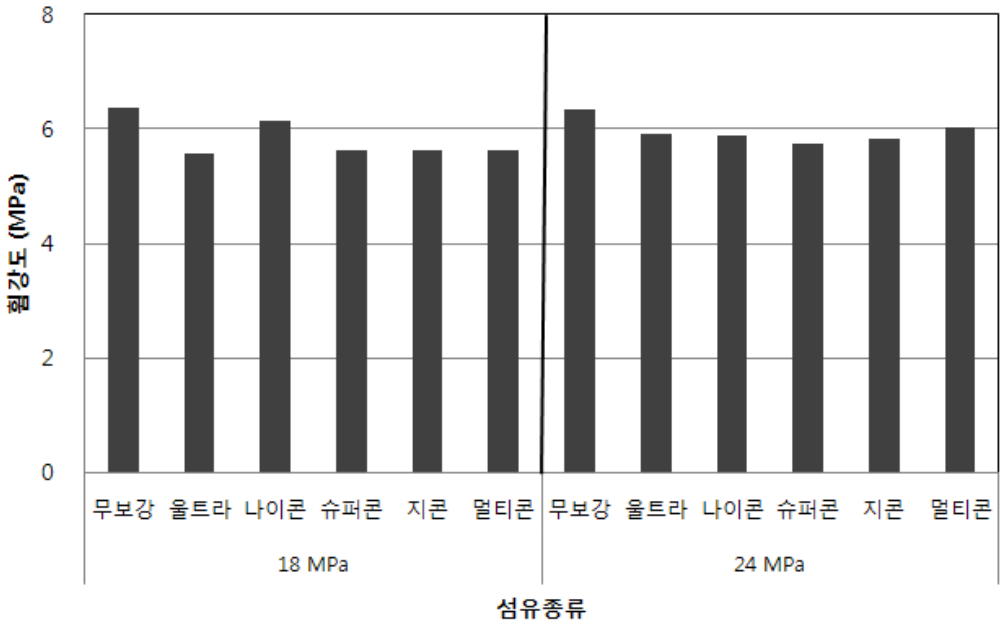
[그림 3-12] 설계강도 및 섬유보강재별 압축강도 측정결과

㉡ 할렬인장강도 및 휨강도

[그림 3-13]는 설계강도와 섬유 종류에 따른 할렬인장강도를 나타낸 것이다. 할렬인장강도는 약 2.5MPa 정도로 섬유보강재의 영향 없이 유사하게 나타난다. [그림 3-14]는 설계강도와 섬유 종류에 따른 휨강도를 나타낸 것이다. 휨강도는 할렬인장강도와 동일한 경향으로 약 5.5MPa 정도로 섬유보강재의 영향이 없는 것으로 나타났다. 할렬인장강도 및 휨강도에 대한 섬유의 영향은 굵은 골재 크기와 유사한 길이를 사용하고, 본 연구에 사용된 사용량 보다 많이 혼합해야 섬유를 혼입하지 않은 콘크리트와 차이가 있을 것으로 판단된다.



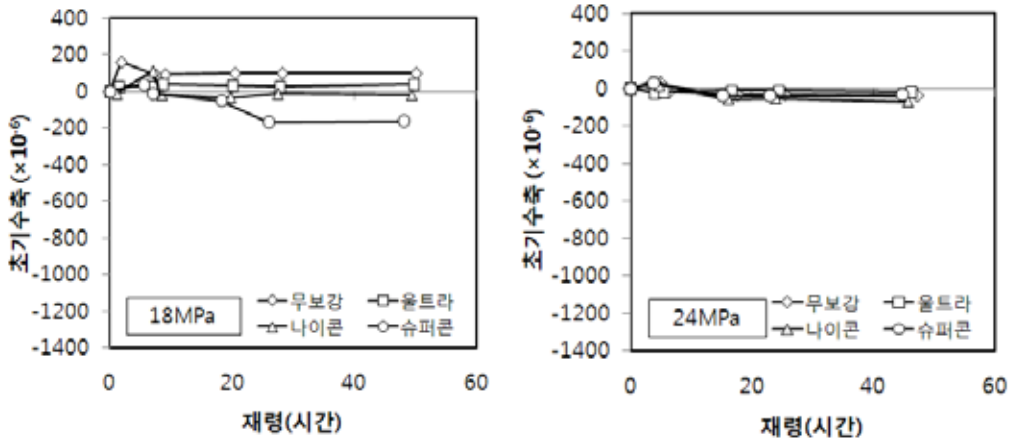
[그림 3-13] 각 설계강도 및 섬유보강재별 할렬인장강도 측정결과



[그림 3-14] 각 설계강도 및 섬유보강재별 휨강도 측정결과

ⓒ 자기수축 길이변화

[그림 3-15]는 설계강도 18MPa의 자기수축 길이변화를 나타낸 것으로 약 7시간까지는 약 200×10-6 정도의 팽창이 발생한 후에 수축하거나 변화가 없는 것으로 나타났다. 설계강도 24MPa의 자기수축 길이변화는 약 2시간까지 수축 및 팽창이 약 ±50×10-6 정도 발생하고 이후 경시에 따른 변화는 없는 것으로 나타났다.



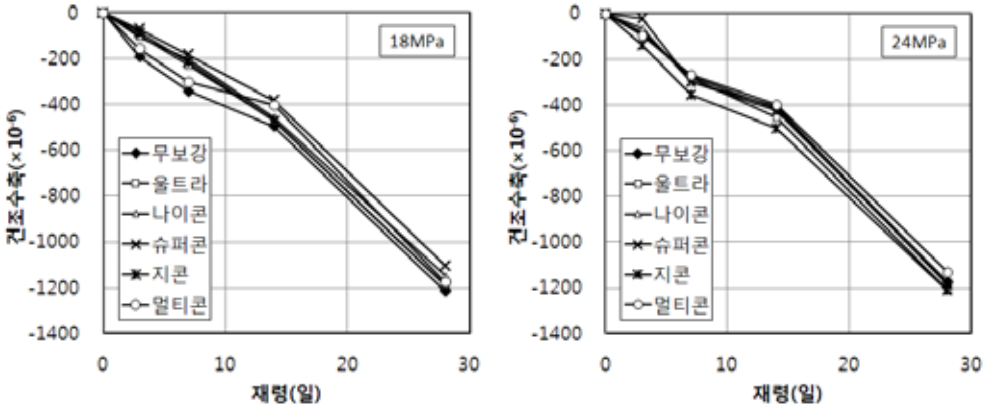
(a) 설계강도 18MPa 초기 소성수축량 (b) 설계강도 24MPa 초기 소성수축량

[그림 3-15] 설계강도별 초기 소성수축량

ⓒ 건조수축 길이변화

[그림 3-16]은 설계강도와 섬유 종류에 따른 건조수축량을 나타낸 것이다. 일반적인 건조수축은 공시체를 탈형하고 7일 동안 수중양생한 후에 측정하지만, 본 연구는 콘크리트 타설 이후에 발생하는 건조수축을 고려하여, 공시체 탈형 이후부터 건조수축을 측정하였다.

실험결과 건조수축에 대한 섬유의 영향은 없는 것으로 나타난다. 사용된 섬유의 조건이 길이가 10mm 이하이며, 사용량이 0.6~1.2kg/m³이기 때문에 콘크리트의 건조수축에 영향을 미치지 못하는 것으로 판단된다.



(a) 설계강도 18MPa 건조수축량 (b) 설계강도 24MPa 건조수축량

[그림 3-16] 각 설계강도별 건조수축량

2.6 실험 결론

섬유를 보강한 콘크리트의 슬럼프는 섬유의 혼합시기에 따라 변화된다. 슬럼프 손실은 섬유를 굳지않은 상태의 콘크리트에 후 첨가 할 경우 기준콘크리트와 비교하여 약 50% 정도 발생하고, 동시 첨가 할 경우 약 30% 정도 발생한다. 공기량은 섬유를 사용할 경우 다소 증가하는 경향이 있다.

압축강도는 섬유의 사용유무와 관계없이 유사하게 나타나 사용상의 문제가 없고, 할렬인장강도와 휨강도도 압축강도와 유사한 경향으로 섬유에 의한 강도의 저하 및 향상은 나타나지 않는다. 자기수축과 건조수축은 섬유의 혼입유무 및 종류에 관련 없이 일정한 경향으로 나타났다. 섬유의 분산성은 비교적 우수하여, 섬유의 뭉침 현상이 발생하지 않고, 마감성의 경우, 표면에 노출되는 부분은 없는 것으로 나타났다.

3. 섬유보강재 혼입량에 따른 콘크리트 물성변화실험 (2단계)

3.1 실험개요

1단계 실험(섬유보강재 선별 및 기초물성실험) 결과와 사용실적 및 재료의 특성을 고려하여 5종류의 섬유보강재 중, 3종류의 섬유보강재를 선정하였다. 그리고 3종류의 섬유보강재에 대하여 각각 0.6, 1.2, 2.4kg/m³ 를 혼입하여 혼입량 변화에 따른 콘크리트 물성변화 실험을 수행하였다.

3.2 실험계획

[표 3-7]은 실험의 구성을 나타낸 것으로, 섬유 종류는 1단계 실험 결과와 사용실적 및 섬유보강재의 특성을 고려하여 대표성을 가지는 슈퍼콘셀(셀룰로오스계 건식형 배합), 울트라화이버(셀룰로오스계 습식형 배합), 나이콘화이버(폴리아미드 건식형 배합) 3종을 선정하였으며, 섬유 혼입량은 3종의 섬유보강재를 동일 혼입량(0, 0.6, 1.2, 2.4 kg/m³) 혼입하도록 계획하였다. 콘크리트는 공사의 보통콘크리트 기준을 만족하도록 굵은골재 최대치수 25mm, 설계강도 24㎫, 슬럼프150± 25mm, 공기량 4.5±1.5% 제작하였으며, 콘크리트 수축의 주요원인인 단위수량을 180kg/m³로 고정시켰다. 섬유사용량에 의해 변화되는 슬럼프를 150±25 mm를 만족하기 위해 준PC계 고성능감수제를 사용하였고, 배합은 [표 3-8]과 같다. 고성능감수제 시멘트 중량비로 계산하여 첨가하고, AE제는 모든 배합에 시멘트 중량에 대해 0.002% 첨가 하였다. 측정항목은 굳지않은 상태에서 공기량, 슬럼프를, 경화된 상태에서 압축강도, 쪼갬인장강도, 휨강도, 길이변화(건조수축 및 자기수축)을 측정하였다.

[표 3-7] 섬유보강 무근콘크리트 물성평가 실험의 구성

실험 인자	실험 수준	측정 항목
보강재 종류	슈퍼콘셀, 울트라화이버, 나이콘	• 공기량 • 슬럼프 • 압축강도(3,7,28일) • 할렬인장강도(28일) • 휨강도(28일) • 건조수축 길이변화 • 자기수축 길이변화
섬유 혼입량(kg/㎥)	0.6 , 1.2 , 2.4	
콘크리트 설계	25-(18, 24)-150, 공기량4.5±1.5%	
감수제	준 PC계 고성능감수제	

[표 3-8] 섬유보강 무근콘크리트 물성평가실험의 배합

설계강도 (MPa)	W/C (%)	S/a (%)	보강재료	Unit weight(kg/㎥)				
				W	C	S	G	Fiber
24	47.1	46	무보강	180	380	781	948	0.0
			슈퍼콘셀					0.6
			나이콘					1.2
			울트라화이버					2.4

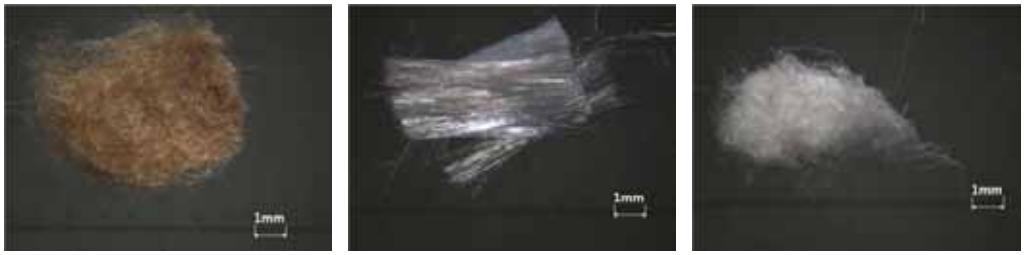
3.3 사용재료

가. 섬유보강재

본 실험에서는 1단계 실험에서 사용한 섬유보강재와 동일한 섬유보강재가 사용되었다. [표 3-9]는 3종류의 섬유의 물성이다. 셀룰로오스계열 섬유는 특성상 진밀도를 측정할 수 없기 때문에 겉보기 밀도로 대체하였으며, 섬유의 개체 길이 및 직경 등이 동일하지 않고, 강도 및 탄성계수 또한 측정이 불가능한 재료이므로 측정항목에서 제외 되었다. [그림 3-17]은 3종류의 섬유를 광학 현미경으로 촬영한 것으로, 합성섬유인 나이콘 화이버는 개체 길이가 거의 동일한 반면에 셀룰로오스 섬유인 슈퍼콘셀과 울트라화이버는 개체마다 차이가 있는 것으로 관찰되었다.

[표 3-9] 섬유의 특성

구분	재질	함수율 (%)	겉보기 밀도 (g/㎤)	진밀도	길이 (mm)	직경 (㎛)	인장강도 (MPa)	탄성계수 (GPa)
슈퍼콘셀	Cellulose	5	0.4	–	–	–	–	–
나이콘	Polyamide/Nylon	–	–	1.14	12.04	22.8	520.7	3.1
울트라 화이버	Cellulose	–	0.31	–	–	–	–	–



(a) 슈퍼콘셀 (b) 나이콘 화이버 (c) 울트라 화이버

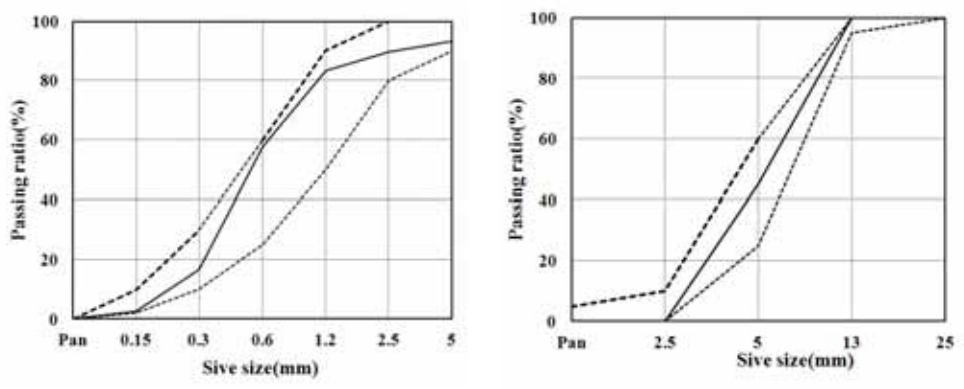
[그림 3-17] 섬유의 형상(광학 현미경 ×10)

나. 시멘트 및 골재

시멘트는 'KS L 5201 포틀랜드 시멘트'에서 규정하는 1종 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였고, 잔골재는 강모래, 굵은골재는 부순골재를 사용하였다.

[표 3-10] 골재의 물리적 특성

구분	표건밀도(g/㎤)	단위용적질량(kg/ℓ)	흡수율(%)	실적률(%)	조립률
잔골재	2.59	1.58	0.80	60.7	2.92
굵은골재	2.68	1.59	1.26	58.7	6.73



(a) 잔골재 입도곡선 (b) 굵은골재 입도곡선

[그림 3-18] 골재의 입도 곡선

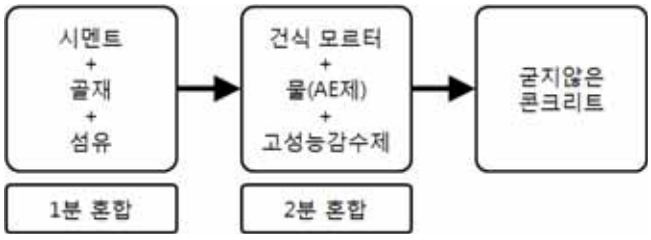
다. 고성능감수제

섬유보강재의 혼입 등으로 인하여 슬럼프 감소현상을 보완하기 위하여 폴리카르본산계 고성능감수제를 사용하였다. 원가절감을 위하여 대부분의 국내 레미콘 공장에서 사용 중인 준 폴리카르본산계 고성능감수제를 사용하였다.

3.4 콘크리트 제작 및 실험항목

가. 실험 콘크리트 제작

시멘트, 골재, 각 섬유를 투입하여 1차 혼합(건비빔)을 한 후에 물, AE제, 고성능감수제(준PC계)를 투입하여 본 실험의 실험 콘크리트를 제조하였다.



[그림 3-19] 콘크리트 제조 과정



① 계량 ② 재료 투입

③ 혼합 ④ 토출

⑤ 성형 ⑥ 양생

[그림 3-20] 콘크리트 제조 전경

나. 슬럼프 및 공기량 측정

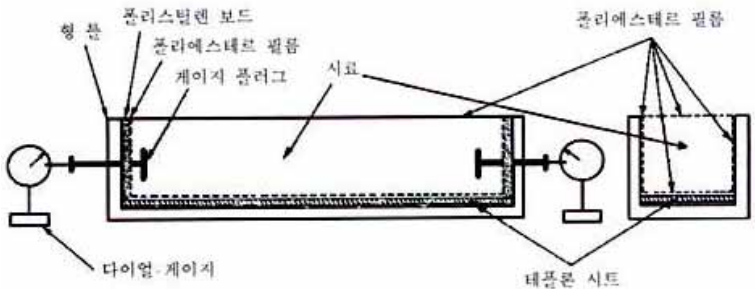
굳지않은 콘크리트의 슬럼프는 KS F 2402 콘크리트의 슬럼프 시험방법에 준하여 측정 하였다. 슬럼프 콘을 강제편판 위에 놓고 시료를 거의 같은 양의 3층으로 나눠서 채우고 각 층을 고르게 한 후 25회 다진다. 콘크리트를 채운 후 슬럼프 콘을 들어 올리고 콘크리트 중앙부에서 공시체 높이와의 차를 5㎜ 단위로 측정하였다.

공기량 측정은 KS F 2421 압력법에 의한 굳지 않은 콘크리트의 공기량 시험방법에 준하여 측정하였다.

시료를 용기의 1/3까지 넣고 고르게 한 후 용기 바닥에 닿지 않도록 각 층을 다짐봉으로 25회 균등하게 다지고 다짐 구멍이 없어지고 콘크리트의 표면에 큰 거품이 보이지 않게 하기 위해 용기의 옆면을 10~15회 고무망치로 두드린다. 용기의 2/3까지 넣고 전 회와 같은 조작을 반복하고 마지막으로 용기에서 조금 흘러넘칠 정도로 시료를 넣고 같은 조작을 반복한 후 자로 여분의 시료를 깎아서 평탄하게 한다. 덮개를 닫고 주수구에 물을 부은 다음 모든 밸브를 닫고 약 5초 후에 조절밸브를 서서히 열어 압력계의 지침을 초기 압력의 눈금에 일치시킨다. 지침이 안정되면 압력계의 눈금을 소수점 이하 첫째 자리로 읽는다.

다. 자기수축 길이변화

자기수축은 'KS F 2586 시멘트 풀, 모르타르, 콘크리트의 자기 수축 및 자기 팽창 시험방법' 에 준하여 30시간동안의 초기길이변화를 측정하였다. 시험체는 (100×100×400)mm의 빔모드를 [그림 3-21]과 같이 제작하여 양쪽의 다이얼게이지를 이용하여 측정하였다.



[그림 3-21] 자기수축 길이변화 측정 몰드

라. 건조수축 길이변화

길이변화(건조수축)는 'KS F 2424 모르타르 및 콘크리트의 길이 변화 시험방법' 에 준하여 측정하였다. 공시체의 제작은 굳지않은 콘크리트를 4.75mm체로 체가름하여 굵은 골재를 제거한 모르타르로 (4×4×16)mm의 공시체를 제작하여 측정 하였다.

$$\text{길이 변화율(\%)} = \frac{x - x_i}{Lo} \times 100$$

x : 기준으로 한 시점에서의 측정치,

x_i : 시점 I에서의 측정치, Lo : 기준 길이

마. 압축강도

압축강도는 'KS F 2405 콘크리트의 압축강도 시험 방법' 에 준하였으며, 최대 하중을 측정한 후 아래 식에 의하여 압축강도를 산정하였다.

공시체의 지름은 0.1㎜까지 측정하며

$$d = \frac{d_1 + d_2}{2}$$

d : 공시체의 지름(㎜)

d1, d2 : 지름, 높이 2방향(㎜)

*압축강도 산정식

$$f_c = \frac{P}{\pi(\frac{d}{2})^2}$$

fc : 압축강도(MPa)

P : 최대 하중(N)

바. 할렬인장강도 (쪼갬인장강도)

할렬인장강도는 'KS F 2423 콘크리트의 쪼갬 인장 강도 시험 방법' 에 준하여 측정하였다. 하중재하 속도는 (0.06±0.04)MPa로 하고 공시체는 (Φ100×200)mm의 실린더 형태로 하고 계산은 아래의 식으로 하였다.

$$f_{sp} = \frac{2P}{\pi dl}$$

f_{sp} : 인장강도 MPa, P : 최대하중(N)

사. 휨강도

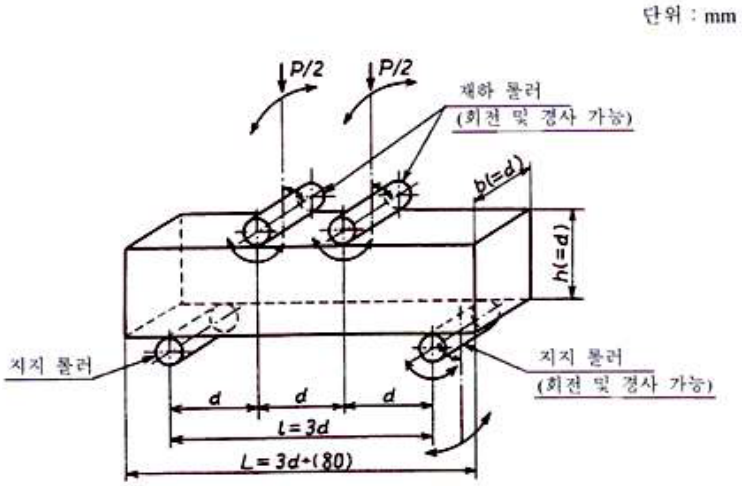
휨강도는 'KS F 2408 콘크리트의 휨 강도 시험 방법' 에 준하여 [그림 3-22]와 같이 측정하였다. 하중재하속도는 (0.06±0.04)MPa로 하고, 공시체는 (100×100×400)mm의 빔몰드로 제작하고 계산은 아래의 식으로 하였다.

$$f_b = Pl/bh^2$$

f_b : 휨 강도(MPa), P : 시험기가 나타내는 최대하중(N),

l : 지간(mm), b : 파괴 단면의 나비(mm),

h : 파괴 단면의 높이(mm)



[그림 3-22] 휨강도 측정 모식도



① 공기량



② 슬럼프



③ 자기수축 길이변화



④ 압축강도



⑤ 건조수축 길이변화



⑥ 할렬인장강도



⑦ 휨강도

[그림 3–23] 각 실험 측정

3.5 실험결과

[표 3-11]은 굳지않은 콘크리트의 실험결과이며, 실험 조건별로 슬럼프, 공기량, 고성능감수제와 AE제 사용량, 단위용적질량을 나타낸 것이다. [표 3-12]는 경화된 콘크리트의 실험결과이며, 섬유 종류와 혼입량에 따른 압축강도, 할렬인장강도, 휨강도를 나타낸 것이다.

[표 3-11] 굳지않은 콘크리트의 실험결과

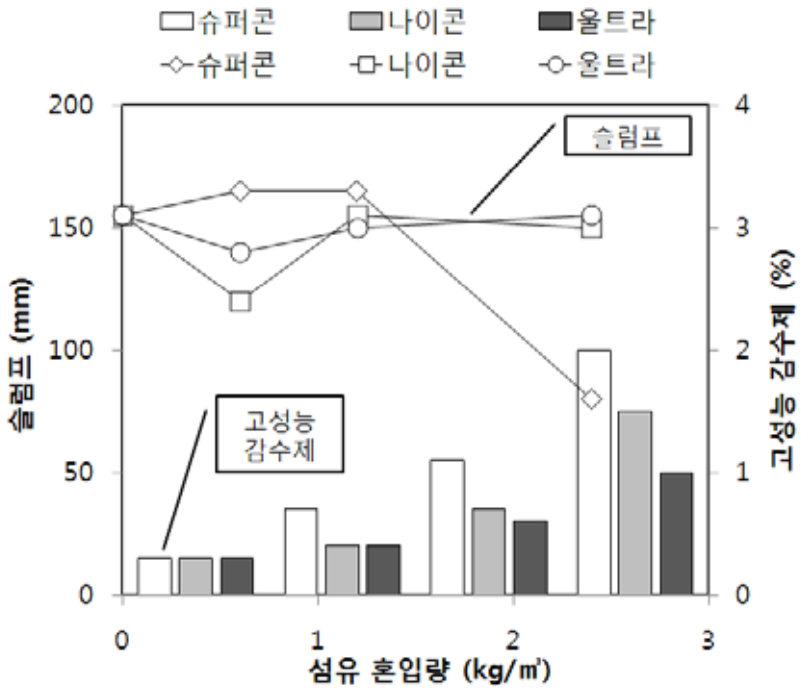
섬유종류	혼입량 (kg/m³)	슬럼프 (㎜)	공기량 (%)	SP (%)	AE (%)	단위용적질량 (kg/m³)
Plain	0	155	5.8	0.3	0.002	2.20
슈퍼콘셀	0.6	165	4.8	0.7	0.002	2.26
	1.2	165	4.4	1.1	0.002	2.28
	2.4	80	2.3	2.0	0.002	2.34
나이콘 화이버	0.6	120	6.0	0.4	0.002	2.22
	1.2	155	5.4	0.7	0.002	2.24
	2.4	150	3.8	1.5	0.002	2.27
울트라 화이버	0.6	140	5.8	0.4	0.002	2.23
	1.2	150	5.7	0.6	0.002	2.23
	2.4	155	4.0	1.0	0.002	2.27

[표 3-12] 경화된 콘크리트의 강도 결과

섬유 종류	섬유 혼입량 (kg/m³)	압축강도 (MPa)			할렬인장강도 (MPa)	휨강도 (MPa)
		3일	7일	28일	28일	28일
Plain	0	26.7	30.4	35.9	3.19	5.87
슈퍼콘셀	0.6	25.5	29.3	34.9	3.14	6.22
	1.2	25.2	28.1	37.8	3.03	5.81
	2.4	18.8	20.5	26.3	2.59	5.35
나이콘화이버	0.6	26.3	30.3	34.5	3.35	6.48
	1.2	27.6	30.6	35.9	3.23	6.75
	2.4	19.2	21.6	26.6	2.61	5.29
울트라화이버	0.6	25.7	30.0	35.7	3.20	6.01
	1.2	25.6	31.0	35.8	3.50	6.34
	2.4	26.3	31.1	38.0	3.26	6.84

가. 슬럼프 및 공기량

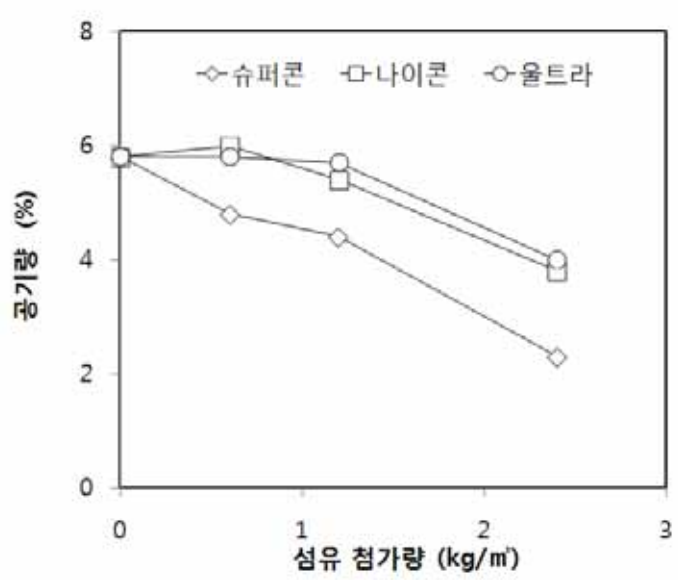
[그림 3-24]는 슬럼프와 고성능감수제 사용량을 나타낸 것이다. 섬유 종류와 혼입량에 따른 슬럼프는 슈퍼콘셀 2.4 kg/m³ 조건을 제외하고 모두 150±25 mm를 만족하고, 고성능감수제 사용량은 슈퍼콘셀>나이콘화이버>울트라화이버의 순서로 높고, 섬유 혼입량이 증가할수록 높게 나타났다. 나이콘화이버 0.6 kg/m³의 조건에서 슬럼프가 120 mm로 다소 낮게 나타났는데, 이는 고성능감수제의 사용량을 0.5%로 증가시킬 경우 150 mm에 가까운 슬럼프 값이 나타날 것으로 판단되며, 슈퍼콘셀 2.4 kg/m³의 조건에서의 낮은 슬럼프는 섬유와 함께 거동하는 시멘트 페이스가 부족하여 발생되는 것으로 고성능감수제의 사용량을 2% 이상 첨가하여도 증가되지 않는 다. 이는 배합설계 때 확인한 사항으로 목표 슬럼프를 만족하기 위해서는 시멘트계 재료의 사용량을 증가시켜야 가능할 것으로 판단된다.



[그림 3-24] 슬럼프 측정 결과 및 고성능감수제 사용량

[그림 3-25]는 공기량과 AE제 사용량을 나타낸 것이다. 목표 공기량 4.5±1.5%를 위해 사용된 AE제는 시멘트 중량에 대해 0.002%가 사용되었으

며, 섬유 종류 슈퍼콘셀, 섬유 혼입량 2.4 kg/m³의 조건을 제외하고 모두 만족 하였다. 섬유 종류에 따른 공기량 변화는 나이콘화이버와 울트라화이버는 유사하고 슈퍼콘셀의 경우는 공기량이 감소되는 것으로 나타났다. 섬유 혼입량에 따른 공기량은 나이콘화이버와 울트라화이버의 경우 섬유 혼입량 (0.6, 1.2) kg/m³일 때 유사하고 2.4 kg/m³일 때 감소되며, 슈퍼콘셀의 경우 섬유 혼입량이 증가할수록 감소하는 것으로 나타났다. 슈퍼콘셀 2.4 kg/m³의 조건에서 공기량이 약 2%으로 나타난 원인은 섬유에 의해 슬럼프가 80 mm로 된 배합이 되고 고성능감수제의 사용량이 2%로 그림 11과 같이 블리딩수가 과도하게 발생되어 나타난 것으로 판단된다.

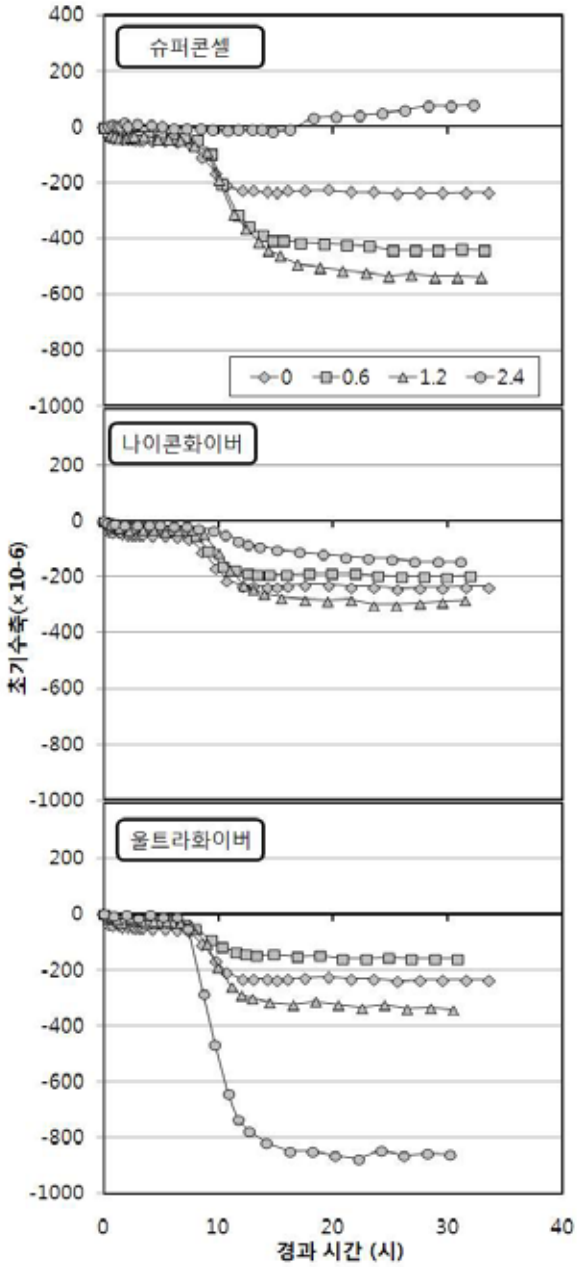


[그림 3-25] 공기량 측정 결과

나. 자기수축 길이변화

[그림 3-26]은 섬유 종류별로 타설 직후부터 30시간 경과시 까지의 초기수축량을 나타낸 것이다. 초기수축량은 굳지않은 상태에서 약 8시간까지 −100×10−6 이하로 나타나고, 약 8시간 이후부터 섬유 종류 및 혼입량에 따라 변화가 나타난다. 슈퍼콘셀의 경우 혼입량 2.4 kg/m³일 때 변화량이 없다가 약 15시간 이후부터 다소 팽창하고, 0.6, 1.2 kg/m³일 때 무보강보다 수축량이 높게 나타났다. 나이콘화이버의 경우 혼입량 (0.6, 2.4) kg/m³일 때 무보강보다 적은량의 수축이 발생하고 1.2 kg/m³는 다소 높은량이 나타났다. 울트라화이

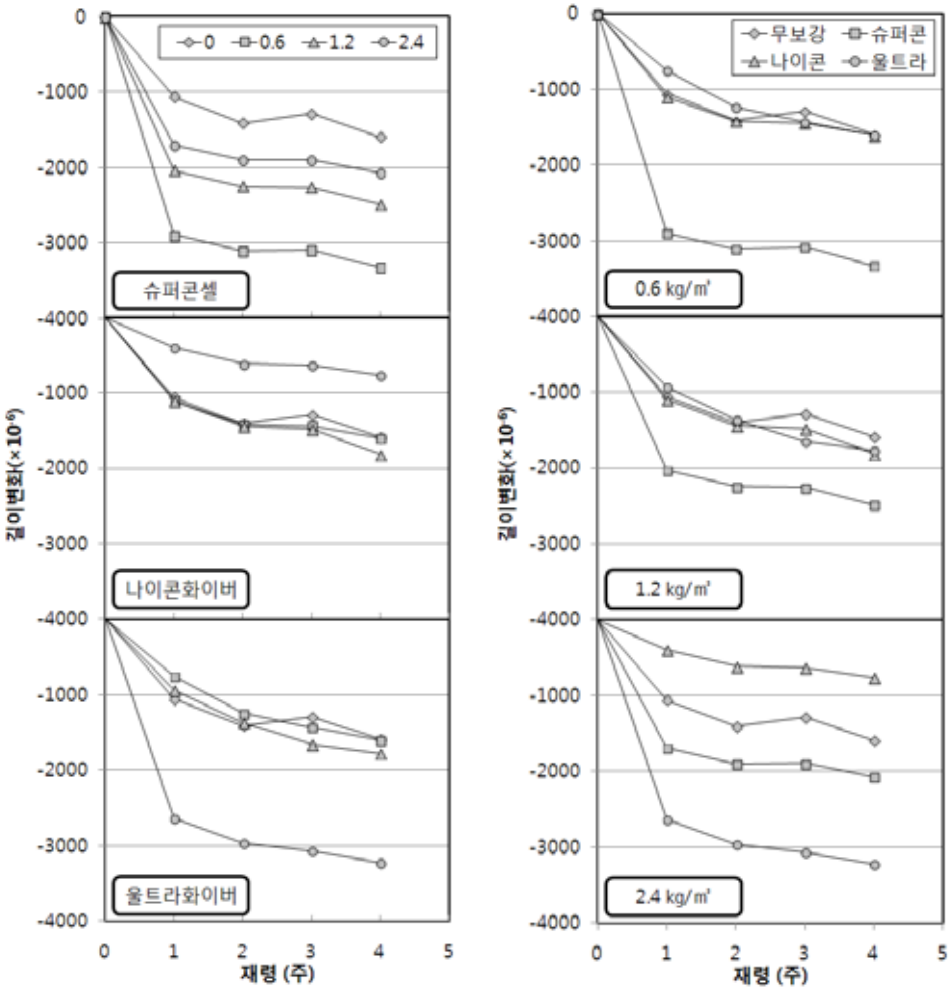
버의 경우 혼입량 0.6 kg/m³일 때 무보강보다 적은량의 수축이 발생하고 (1.2, 2.4) kg/m³일 때는 무보강보다 높은량의 수축이 나타났다. 특히 울트라 화이버 2.4 kg/m³의 조건에서 −800×10−6 이상의 높은 수축량이 나타났다.



[그림 3-26] 자기수축 길이변화 측정결과

다. 건조수축 길이변화

[그림 3-27]은 건조수축에 의한 길이변화를 나타낸 것이다. 섬유종류별 길이변화는 슈퍼콘셀의 경우 모든 조건에서 무보강보다 높은 변화량이 나타나고, 나이콘화이버의 경우 섬유 혼입량 2.4 kg/m³일 때만 무보강보다 적은 수축량이 나타나고 (0.6, 1.2) kg/m³일 때는 무보강조건과 유사하게 나타난다. 울트라화이버의 경우 섬유 혼입량 2.4 kg/m³일 때 약 −3000×10−6으로 다른 조건보다 높은 변화량이 나타나고 (0.6, 1.2) kg/m³일 때는 무보강조건과 유사하게 나타난다. 본 실험에 사용된 배합을 고려한 일반적인 콘크리트의 길이변화는 약 1,000×10−6 정도 나타나는 것으로 문헌에서 보고되고 있지만, 실험결과 매우 높은 량의 수축현상이 발생된다. 이러한 현상은 길이변화 공시체가 굵은 골재를 제거한 모르타르로 사용되면서 단위수량이 증가해 발생한 것으로 판단된다.

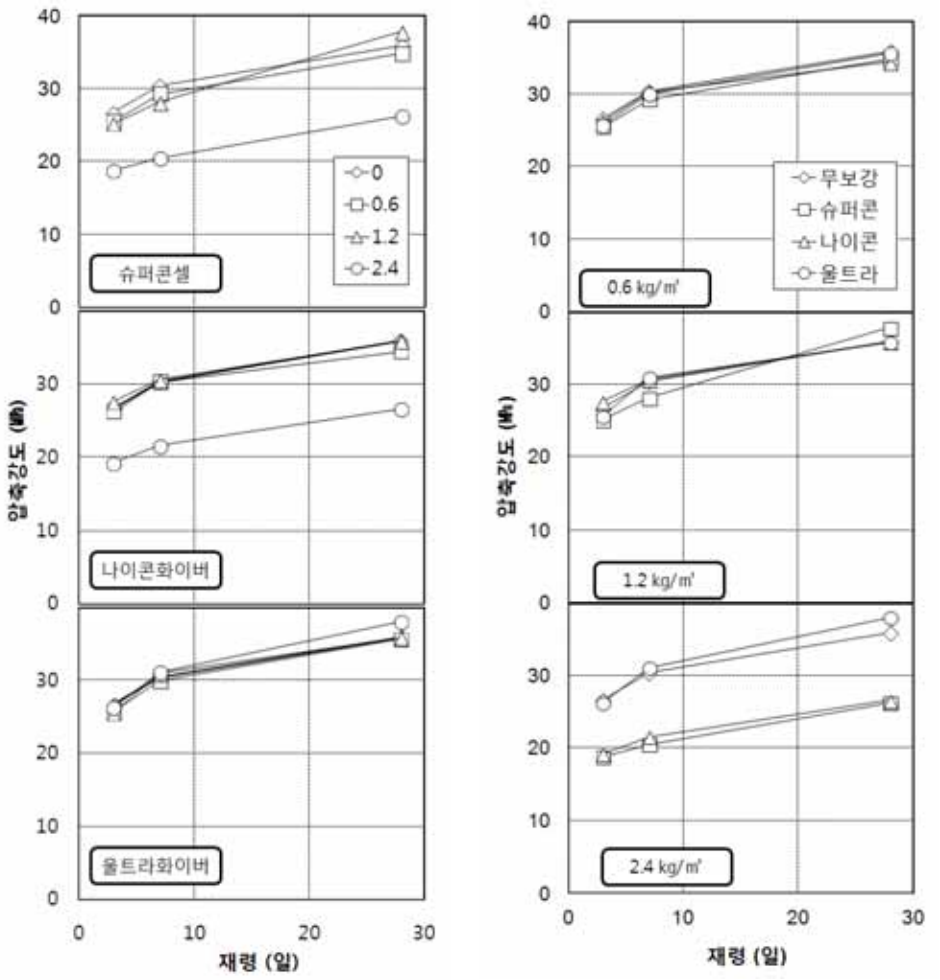


(a) 섬유종류에 따른 건조수축 길이변화 (b) 섬유혼입량에 따른 건조수축 길이변화

[그림 3-27] 건조수축 길이변화 측정결과

라. 압축강도

[그림 3-28]은 섬유 종류별로 압축강도를 나타낸 것이다. 슈퍼콘셀과 나이콘화이버에 섬유 혼입량 2.4 kg/m³일 때를 제외하고 압축강도는 섬유 종류, 혼입량의 영향 없이 유사하게 나타났다. 슈퍼콘셀과 나이콘화이버에 섬유 혼입량 2.4 kg/m³ 조건에서 압축강도는 다른 조건에 비해 낮게 나타났다. 이러한 현상은 목표슬럼프를 얻기 위해 사용된 고성능감수제가 1.5% 이상 사용되어서 블리딩 현상이 과도하게 발생하여 나타난 것으로 판단된다.



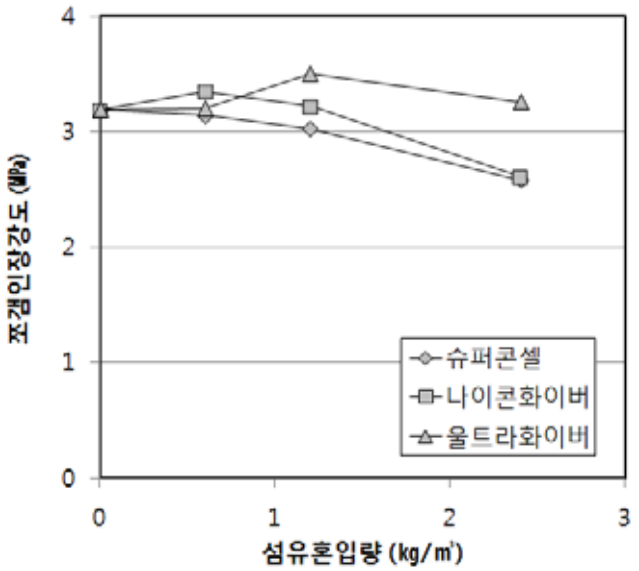
(a) 섬유종류에 따른 압축강도 (b) 섬유혼입량에 따른 압축강도

[그림 3-28] 압축강도 측정결과

마. 할렬인장강도

[그림 3-29]는 할렬인장강도를 나타낸 것이다. 섬유 종류별 할렬인장강도는 슈퍼콘셀의 경우 섬유 혼입량이 증가할수록 감소되며, 무보강에 대한 감소 비는 섬유 혼입량 (0.6, 1.2, 2.4) kg/m³일 때 각각 (-1.3, -4.9, -18.8)%로 나타났다. 나이콘화이버의 경우는 섬유 혼입량 0.6 kg/m³일 때 5.2%, 1.2 kg/m³일 때 1.3% 향상된 할렬인장강도가 나타났고 2.4 kg/m³일 때는 -18.0%로 감소되었다. 울트라화이버의 경우는 섬유 혼입량 (0.6, 1.2, 2.4) kg/m³일 때 각각 (0.6, 9.9, 2.2)%의 할렬인장강도의 향상이 나타났다.

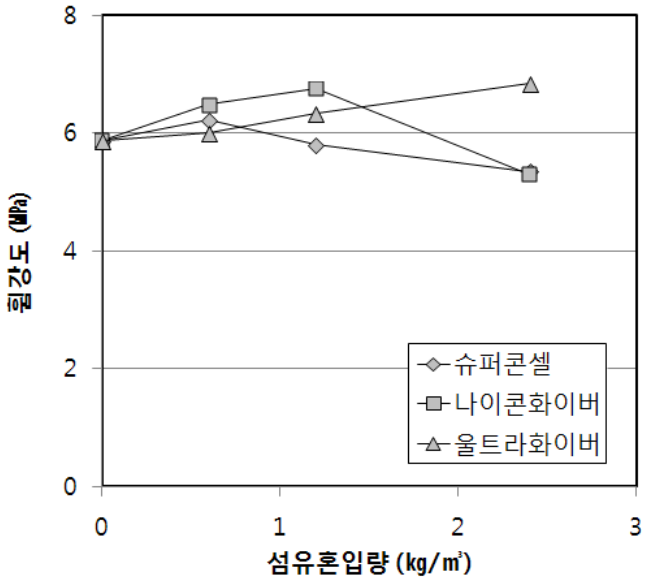
할렬인장강도가 가장 높게 나타난 조건은 나이콘화이버 0.6 kg/m³와 울트라 화이버 1.2 kg/m³으로 나타났다. 반대로 할렬인장강도가 가장 낮은 조건은 슈퍼콘셀과 나이콘화이버 2.4 kg/m³ 조건일 때로 이러한 현상은 압축강도의 영향으로 섬유의 과다 사용으로 인해 고성능감수제의 사용량이 증가되어 나타난 것으로 판단된다.



[그림 3-29] 할렬인장강도 측정결과

바. 휨강도

[그림 3-30]은 휨강도를 나타낸 것이다. 휨강도는 인장강도와 유사한 경향이 나타난다. 슈퍼콘셀과 나이콘화이버 2.4 kg/m³의 조건에서 가장 낮은 휨강도가 나타나고, 나머지 조건에서는 유사하거나 높은 휨강도가 나타난다. 섬유 종류별 휨강도는 슈퍼콘셀의 경우 섬유 혼입량 0.6 kg/m³일 때 6% 향상되고, (1.2, 2.4) kg/m³일 때 각각 (-1.0, -8.8)%가 감소 된다. 나이콘화이버의 경우 섬유 혼입량 (0.6, 1.2) kg/m³일 때 각각 (10.5, 15.0)% 향상되고 2.4 kg/m³일 때 -9.8% 감소된다. 울트라화이버의 경우 섬유 혼입량 (0.6, 1.2, 2.4) kg/m³일 때 각각 (2.4, 8.1, 16.6)%로 향상된다.



[그림 3-30] 휨강도 측정 결과

3.6 실험결론

섬유보강재 혼입량에 따른 콘크리트 물성변화는 다음과 같은 결과가 측정되었다.

1) 공기량은 섬유 혼입량이 증가할수록 감소되고, 섬유 혼입량이 증가되어 목표 슬럼프 확보가 되지 않을 때 공기량의 감소가 크게 나타난다. 섬유 종류별 공기량은 나이콘화이버와 울트라화이버가 모든 조건에서 4.5±1.5 %를 만족하고, 슈퍼콘셀의 경우 (0.6, 1.2) kg/m³의 경우만 만족하고 2.4 kg/m³의 경우는 만족하지 못한다.
2) 슬럼프는 슈퍼콘셀 2.4 kg/m³의 조건을 제외하고 모든 조건에서 150±25mm를 만족하며, 목표 슬럼프를 위해 사용된 고성능감수제의 사용량은 섬유 혼입량이 증가할수록 많고, 슈퍼콘셀〉나이콘화이버〉울트라화이버의 순서로 많이 사용된다.
3) 굳지 않은 상태에서의 자기수축은 8시간까지는 변화가 없으며, 그 후에 변화된다. 나이콘 섬유는 무보강 조건과 유사하거나 적은 수축량을 보이고, 슈퍼콘셀은 2.4 kg/m³ 조건을 제외하고 무보강보다 (−300~−200)×10^{-6} 정도 많은량의 수축량이 나타나고, 울트라화이버는 0.6 kg/m³ 조건만

무보강보다 다소 적은량의 수축이 발생하고 (1.2, 2.4) kg/m³의 조건에서는 많은량의 수축이 발생하며, 특히 2.4 kg/m³ 조건에서 약 -800×10^{-6}정도로 가장 많은 수축이 발생한다.

4) 건조수축에 의한 길이변화는 슈퍼콘셀의 경우 무보강보다 많은량의 변화가 나타나고, 나이콘화이버는 무보강보과 유사하거나 적은량이 나타나고, 울트라화이버는 2.4 kg/m³의 경우 가장 많은 량의 변화가 나타나도 (0.6, 1.2) kg/m³의 경우 무보강과 유사하게 나타난다.
5) 압축강도는 목표슬럼프를 위해 사용된 고성능감수제가 1.5% 이상 사용된 조건(슈퍼콘셀과 나이콘화이버 2.4 kg/m³)을 제외하고 모두 무보강 조건과 유사하게 나타난다.
6) 할렬인장강도는 슈퍼콘셀을 사용한 조건과 나이콘화이버 2.4 kg/m³은 무보강보다 낮고, 상기 조건을 제외한 부분에서 무보강보다 우수한 할렬인장강도가 나타났다.
7) 휨강도는 할렬인장강도와 유사한 경향이 나타나고, 슈퍼콘셀과 나이콘화이버 2.4 kg/m³ 조건을 제외한 나머지 조건에서 무보강과 유사하거나 향상된 휨강도가 나타난다.

4. 단위수량 및 섬유보강재 혼입량에 따른 균열저감성능 평가실험 (3단계)

4.1 실험개요

2단계 실험(섬유보강재 혼입량에 따른 콘크리트 물성변화실험) 결과, 섬유보강재 혼입량의 변화에 따른 할렬인장강도나 휨강도의 눈에 띄는 경향은 측정되지 않았다. 본 실험에서는 콘크리트의 균열을 평가할 수 있는 실험방법을 검토하기 위하여 초기 할렬인장강도 실험을 수행하였고, 보강재별 균열형상 및 균열특성의 차이를 검토하기 위하여 수축균열 유발실험을 수행하였다. 콘크리트 수축의 가장 큰 인자인 단위수량을 변경하여 물성변화를 측정하였으며, 섬유보강재 혼입량은 2단계 실험에서 문제(블리딩 등의 문제)가 발생한 혼입량 2.4kg/m³보다 적게 조정하여 수행하였다.

4.2 실험계획

[표 3-13]은 실험의 구성을 나타낸 것으로, 섬유 종류는 2단계 실험과 동일하게 슈퍼콘셀(셀룰로오스계 건식형 배합), 울트라화이버(셀룰로오스계 습식형 배합), 나이콘화이버(폴리아미드 건식형 배합) 3종을 선정하였으며, 섬유 혼입량은 3종의 섬유보강재의 각 제조업체에서 제안하고 있는 혼입량의 0, 50, 100, 150%를 혼입하도록 계획하였다. 단위수량은 2단계 실험과 동일하게 180kg/m³로 고정하여 동일 조건상에서 섬유보강재의 성능을 검토하였다. 콘크리트는 공사의 보통콘크리트 기준을 만족하도록 굵은골재 최대치수 25mm, 설계강도 24㎫, 슬럼프150± 25mm, 공기량 4.5±1.5% 제작하였으며, 2단계 실험과는 다르게 현재 공사의 시방 기준에 만족하도록 슬럼프 60분 경시변화(150±25mm)를 만족하도록 제작하였다. 콘크리트 수축의 주요원인인 단위수량을 160,170,180,190,200kg/m³로 계획하여 단위수량에 따른 콘크리트 물성을 검토하였다. 섬유사용량에 의해 변화되는 슬럼프를 150±25 mm를 만족하기 위해 준PC계 고성능감수제를 사용하였고, 특히 슬럼프 60분 경시변화 기준을 만족하기 위하여 유지제를 조절하여 혼입하였다. 배합은 [표 3-14]와 같다. 고성능감수제 시멘트 중량비로 계산하여 첨가하였으며, 60분 경시변화를 고려하여 감수제와 유지제 비율을 4:6으로 혼입하였다. 실험 측정항목은 굳지않은 상태에서 공기량, 슬럼프 및 60분 경시변화를, 경화된 상태에서 압축강도, 할렬인장강도, 휨강도, 건조수축 길이변화를 측정하였으며, 마지막으로 균열형상 확인을 위하여 수축균열 유발실험을 수행하였다.

[표 3-13] 섬유보강 무근콘크리트 물성평가 실험의 구성

실험 인자	실험 수준	측정 항목
보강재 종류	슈퍼콘셀 (1.2kg/㎥) 울트라화이버 (0.6kg/㎥) 나이콘 (0.6kg/㎥)	• 공기량 • 슬럼프 • 공기량(60분 경시) • 슬럼프(60분 경시) • 압축강도(3,7,28일) • 할렬인장강도(3,7,28일) • 휨강도(28일) • 건조수축 길이변화 • 수축균열 유발실험
섬유 혼입률(%)	50%, 100%, 150%	
콘크리트 설계	25-(18, 24)-150, 공기량 4.5±1.5%	
	60분 경시변화 슬럼프 : 150±25mm	
감수제	준PC계 고성능감수제 (유지제 혼입량 조절)	

[표 3-14] 섬유보강 무근콘크리트 물성평가실험의 배합

설계 강도 (MPa)	W/C (%)	S/a (%)	보강재료	Unit weight(kg/m³)					SP제 사용량 (%)		
				Fiber	W	C	S	G	총량	감수제	유지제
24	49.2	49.4	무보강	0.0	160	325	893	938	0.85	40	60
					170	346	871	915	0.85		
					190	386	829	871	0.90		
					200	407	808	849	0.90		
			무보강	0.0	180	380	850	893	0.85		
			슈퍼콘셀	0.6					1.05		
				1.2					1.05		
				1.8					1.2		
			나이콘	0.3					0.85		
				0.6					0.85		
				0.9					0.9		
			울트라	0.3					0.85		
				0.6					0.85		
				0.9					0.9		

4.3 콘크리트 제작 및 실험항목

가. 실험 콘크리트 제작

시멘트, 골재, 각 섬유를 투입하여 1차 혼합(건비빔)을 한 후에 계량한 고성능감수제(준PC계)와 유지제를 배합수에 혼입하여 본 실험의 실험 콘크리트를 제조하였다.



(a) 건비빔



(b) 감수제 및 유지제

[그림 3-31] 실험콘크리트 제작 (1)



(a) 실린더형 공시체 제작　　(b) 각주형 공시체 제작

[그림 3-32] 실험콘크리트 제작 (2)

나. 슬럼프 및 공기량 측정

실험콘크리트 슬럼프 측정은 KS F 2402 기준에 따라서 측정하였고 공기량은 KS F 2421 기준에 따라 측정하였다.



(a) 슬럼프 측정　　(b) 공기량 측정

[그림 3-33] 초기 슬럼프 및 공기량 측정

다. 슬럼프 및 공기량 60분 경시변화 측정

슬럼프 및 공기량 60분 경시변화 측정을 위하여, [그림 3-34] (a)와 같이 믹서기에서 토출한 실험콘크리트를 슬럼프 및 공기량 측정 후, 일정용기에 담아 60분 존치하였다. 수분 증발을 최소화 하기 위하여 비닐로 공기면과의 접촉을 차단시켰다. 슬럼프 및 공기량은 토출 직후 측정한 방법과 동일한 방식으로 측정하였다.



(a) 실험콘크리트 60분 존치



(b) 슬럼프 60분 경시변화 측정

[그림 3-34] 60분 경시 슬럼프 및 공기량 측정

라. 압축강도

압축강도는 KS F 2405 기준에 의거하여 ∮100x200mm 실린더형 공시체를 제작하여 표준양생(수중 20℃±1, 50%±5)환경에서 재령 3, 7, 28일동안 양생한 후 각각 측정하였다.



[그림 3-35] 압축강도 측정

마. 할렬인장강도

할렬인장강도는 KS F 2423 기준에 의거하여 ∮100x200mm 실린더형 공시체를 제작하여 표준양생(수중 20℃±1, 50%±5)환경에서 재령 3, 7, 28일동안 양생한 후 각각 측정하였다. 섬유보강재가 콘크리트의 초기인장강도 증진에 효과가 있을 것으로 예상되어 재령 3일과 7일에 대하여 할렬인장강도를 측정하였다.



[그림 3-36] 할렬인장강도 측정

바. 휨강도

할렬인장강도는 KS F 2408 기준에 의거하여 100x100x400mm 각주형 공시체를 제작하여 표준양생(수중 20℃±1, 50%±5)환경에서 재령 28일동안 양생한 후 측정하였다.

사. 건조수축 길이변화

건조수축 길이변화는 KS F 2423 기준에 의거하여 100x100x400mm 각주형 공시체를 제작하여 양생챔버에서 20℃ 상대습도 60%로 양생하였다. 탈형 후, 길이변화를 측정한 후, 재령 4주까지는 1주일에 1회씩 측정하고 재령 5주차부터는 30일 단위로 90일동안 측정하였다.



(a) 길이변화 시험체 챔버양생

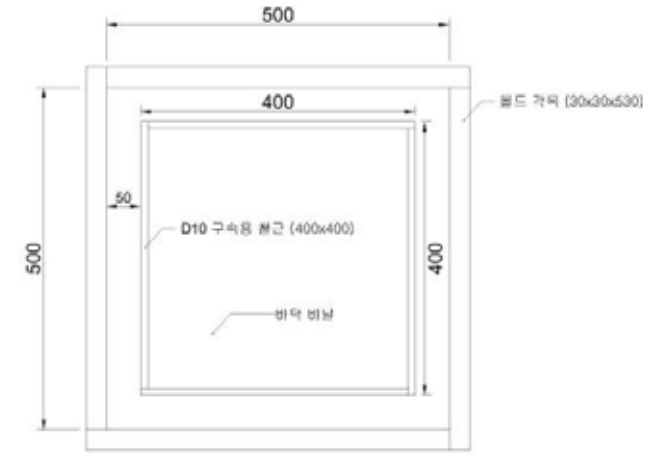


(b) 건조수축 길이변화 측정

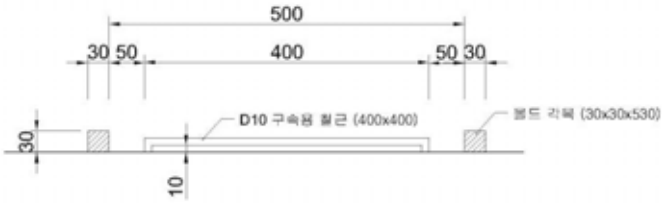
[그림 3-37] 건조수축 길이변화 측정

아. 수축균열 유발실험

콘크리트의 수축에 의한 균열 저항성 및 균열형상을 측정하기 위하여 수축균열 유발실험을 수행하였다. 수축균열 유발실험은 현재 KS 기준이 없으며, 해외에도 명확한 기준이 없는 실험방법이므로, 몇가지 실험사례를 검토한 후에 실험계획을 수립하였다. 시험체는 [그림 3-38,39]와 같이 500x500x30mm 크기의 판상형 시험체를 제작한 후, 구속에 의한 수축균열을 유발시키기 위하여 400x400mm 크기의 D10 크기의 구속용 철근을 제작하여 설치하였다.



(a) 평면도



(b) 단면도

[그림 3-38] 수축균열 유발실험 시험체 도면



[그림 3-39] 수축균열 유발실험 실험체 사진

콘크리트 균열과 관련하여 굵은골재가 제어하는 부분이 매우 크므로, 시험체 콘크리트의 균열이 더욱 유발될 수 있도록 토출한 콘크리트를 [그림 3-40]과 같이 5mm이상의 골재를 제거한 콘크리트로 시험체를 제작하였다.



(a) 5mm 체거름　　(b) 수축균열 시험체 제작

[그림 3-40] 수축균열 시험체 제작

제작한 시험체 콘크리트는 실험실 환경(20±3℃ 상대습도 50±10%)에서 양생하며 육안 관찰하였으며, 균열 발생시, 발생일시, 균열폭, 길이 등을 기록하였다.

4.4 실험결과

[표 3-15]는 굳지않은 콘크리트의 실험결과이며, 실험 조건별로 슬럼프, 공기량, 고성능감수제의 감수제와 유지제 함유량 및 60분 경시변화를 나타낸 것이다. [표 3-16]은 경화된 콘크리트의 실험결과이며, 섬유 종류와 혼입량 및 단위수량에 따른 재령별 압축강도, 할렬인장강도, 휨강도를 나타낸 것이다.

[표 3-15] 굳지않은 콘크리트의 실험결과

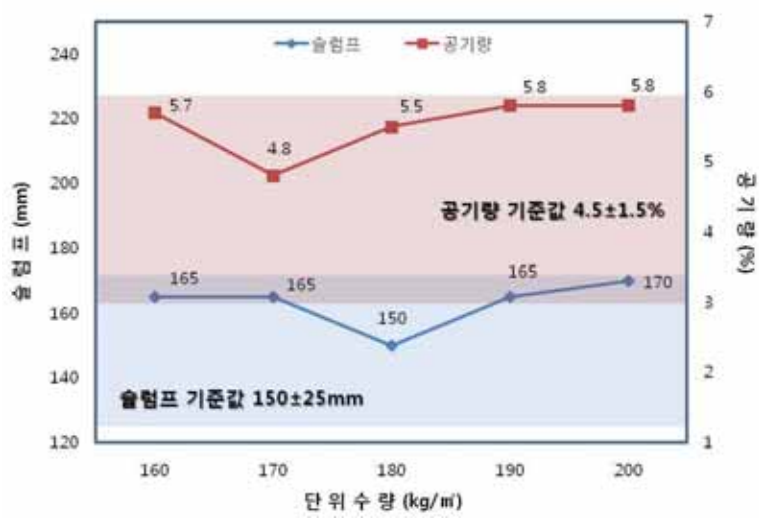
단위수량 (kg/m³)	섬유종류	혼입량 (kg/m³)	초기 측정값		60분 경시변화		고성능감수제 (%)		
			슬럼프 (㎜)	공기량 (%)	슬럼프 (㎜)	공기량 (%)	Total	감수제	유지제
160	none	–	165	5.7	160	5.3	0.85	40	60
170	none	–	165	4.8	160	4.5	0.85	40	60
190	none	–	165	5.8	160	5.4	0.9	40	60
200	none	–	170	5.8	165	5.5	0.9	40	60
180	none	–	150	5.5	150	4.8	0.85	40	60
	슈퍼콘셀	0.6	150	5.0	150	4.5	1.05	40	60
		1.2	150	5.1	150	4.6	1.05	40	60
		1.8	150	5.4	150	3.9	1.2	40	60
	나이콘 화이버	0.3	150	5.7	150	4.9	0.85	40	60
		0.6	155	5.7	150	5.0	0.85	40	60
		0.9	150	5.6	150	4.8	0.9	40	60
	울트라 화이버	0.3	150	5.3	150	5.1	0.85	40	60
		0.6	150	5.3	150	4.9	0.85	40	60
		0.9	150	4.7	150	4.3	0.9	40	60

[표 3-16] 경화된 콘크리트의 실험결과

단위수량 (kg/㎥)	섬유 종류	혼입량 (kg/㎥)	압축강도(MPa)			할렬인장강도(MPa)			휨강도(MPa)
			3일	7일	28일	3일	7일	28일	28일
160	none	–	17.7	24.4		1.81	2.25		
170	none	–	18.1	25.8		1.95	2.27		
190	none	–	22.7	27.6		2.27	2.45		
200	none	–	23.7	26.9		2.24	2.47		
180	none	–	20.5	27.5		2.06	2.48		
	슈퍼 콘셀	0.6	20.7	27.5		2.06	2.58		
		1.2	21.8	28.6		2.16	2.55		
		1.8	20.5	27.5		2.13	2.51		
	나이콘 화이버	0.3	21.9	28.1		2.12	2.57		
		0.6	21.4	26.9		2.34	2.55		
		0.9	22.6	27.6		2.11	2.62		
	울트라 화이버	0.3	21.3	28.2		2.15	2.51		
		0.6	21.1	28.8		2.09	2.58		
		0.9	16.6	22.7		1.75	2.16		

가. 슬럼프 및 공기량

초기 슬럼프 및 공기량은 [그림 3-41]과 같이 모든 수준에서 공사의 보통콘크리트 기준값은 슬럼프 150±25mm , 공기량 4.5±1.5%를 만족하는 것으로 측정됐다.



(a) 단위수량별 초기 슬럼프 및 공기량 결과



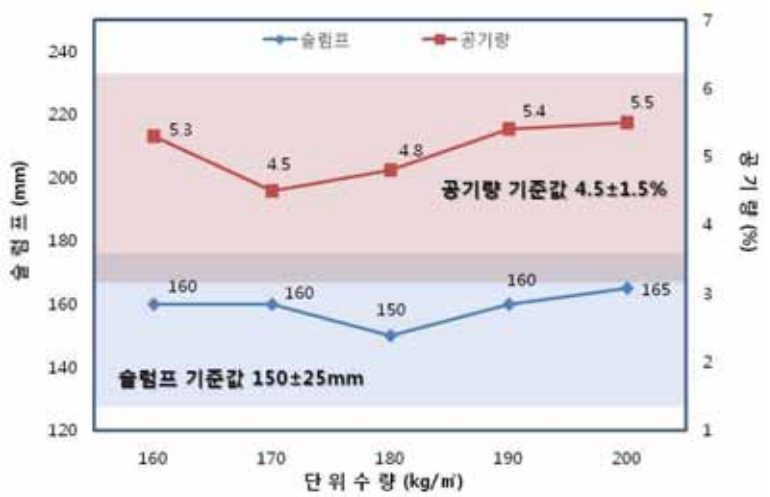
(b) 섬유종류 및 혼입량별 초기 슬럼프 및 공기량 결과

[그림 3-41] 초기 슬럼프 및 공기량 측정결과

나. 슬럼프 및 공기량 60분 경시변화

슬럼프 및 공기량 60분 경시변화 측정결과는 [그림 3-42]와 같이 모든 수준에서 공사의 보통콘크리트 기준값은 슬럼프 150±25mm , 공기량 4.5±1.5%를 만족하는 것으로 측정됐다. 슬럼프의 경우 모든 수준에서 150mm이상의

값이 측정되었으며, 공기량의 경우, 초기 측정값보다 다소 감소되었지만 기준값의 최저값(3.0%)이상의 값이 측정되었다.



(a) 단위수량별 슬럼프 및 공기량 60분 경시 측정결과



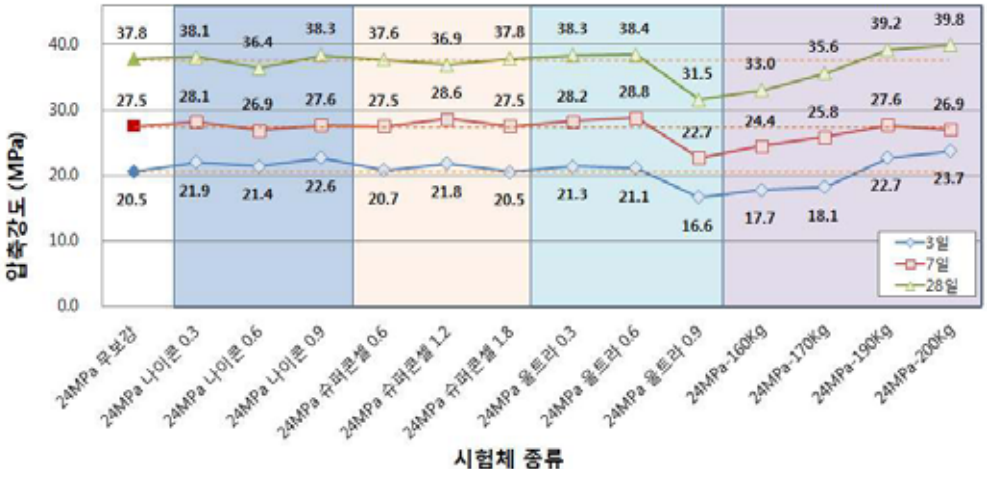
(b) 섬유종류 및 혼입량별 슬럼프 및 공기량 60분 경시 측정결과

[그림 3-42] 슬럼프 및 공기량 60분 경시변화 측정결과

다. 압축강도

압축강도 측정결과 [그림 3-43]과 같은 결과가 측정되었다.

섬유보강재를 혼입한 실험체 중, 재령 3일의 압축강도 측정결과를 분석한 결과, 본 연구에서 비교기준으로 선정한 24MPa 무보강 단위수량 180kg/m³의 시험체보다 울트라화이버 0.9kg/m³를 제외한 다른 시험체에서 기준시험체의 압축강도를 상회하는 결과가 나타났다. 또한 울트라화이버를 혼입한 보강섬유 콘크리트의 압축강도 측정결과 혼입량 0.9kg/m³에서 압축강도의 수치가 급격히 하락한 것을 확인할 수 있었다. 종합적으로 재령 7일, 28일에서 보강섬유를 혼입한 시험체 중 울트라화이버 0.3, 0.6kg/m³ 혼입한 시험체가 압축강도 면에 상대적으로 높은 성능을 보이는 것을 확인할 수 있었고, 단위수량에 따른 무보강콘크리트의 압축강도 비교측정 결과 단위수량이 늘어날수록 압축강도 또한 증가하는 경향이 있는 것으로 측정되었다. 이는 물-시멘트비를 고정한 상태로 단위수량을 조절하여, 수량이 증가함에 따라 단위시멘트량도 증가해 압축강도 발현에 영향을 미친 것으로 판단된다.



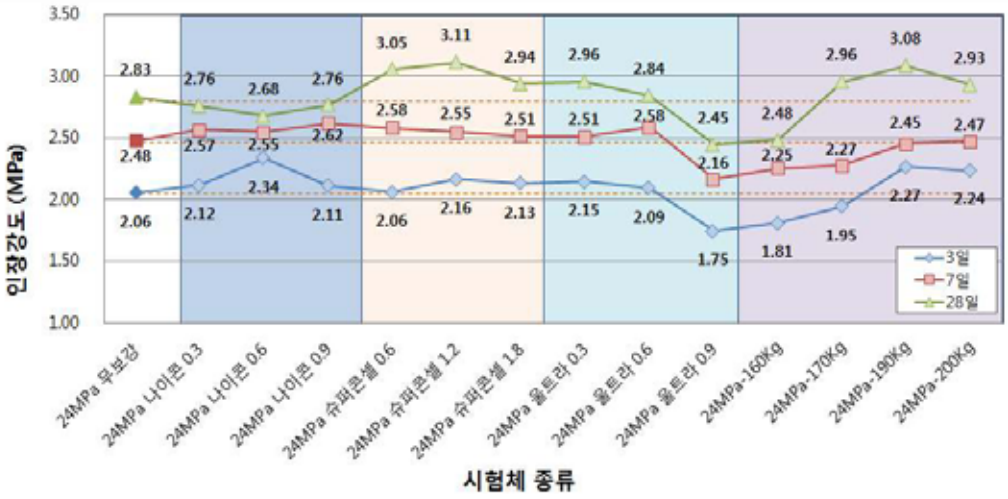
[그림 3-43] 압축강도 측정결과

라. 할렬인장강도

할렬인장강도 측정결과 다음과 같은 결과가 측정되었다.

재령 3일에서는 나이콘화이버를 혼입한 시험체의 인장강도가 상대적으로 높

게 측정되었으나 이후, 재령 7일과 28일 측정결과에서는 타 시험체에 비해 인장강도가 오히려 낮게 측정된 것으로 나타나, 재령에 따른 인장강도 발현이 초기에 발생하였다가 재령 3일 이후로는 상대적으로 낮은 강도상승률을 나타내는 경향이 있는 것으로 판단된다. 또한 울트라화이버 0.9kg/m³ 혼입 시험체는 압축강도와 마찬가지로 강도 발현율이 가장 낮은 것으로 측정되었다. 이는 울트라화이버를 적정 사용량보다 과투입 되었을 경우 지연효과 등으로 인해 강도발현이 낮은 것으로 판단된다.

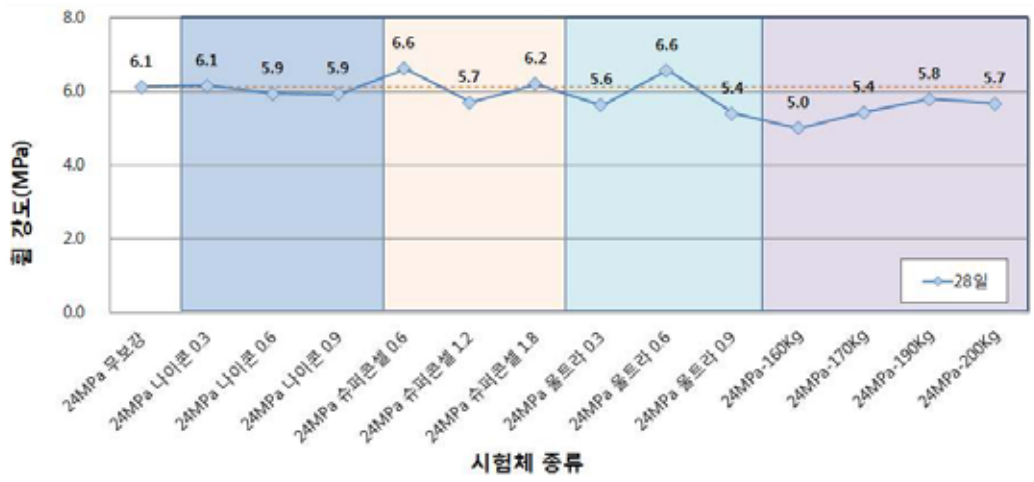


[그림 3-44] 할렬인장강도 측정결과

마. 휨강도

할렬인장강도 측정결과 다음과 같은 결과가 측정되었다.

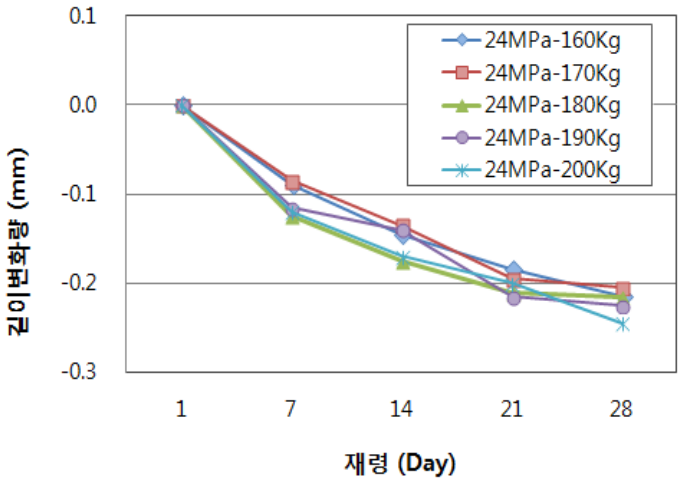
재령 28일 휨강도 실험결과, 슈퍼콘셀 0.6kg/m³와 울트라화이버 혼입량 0.6kg/m³ 시험체의 휨강도가 6.6MPa로 나타나 다른 배합의 시험체에 비해 상대적으로 높은 휨강도가 측정되었다. 또한 섬유를 혼입하지 않은 시험체의 휨강도가 섬유보강을 한 시험체에 비해 비교적 낮은 휨강도 값을 갖는 것으로 미루어 보아, 섬유보강재가 휨하중의 저항에 영향을 끼치는 것으로 사료되어진다.



[그림 3-45] 휨강도 측정결과

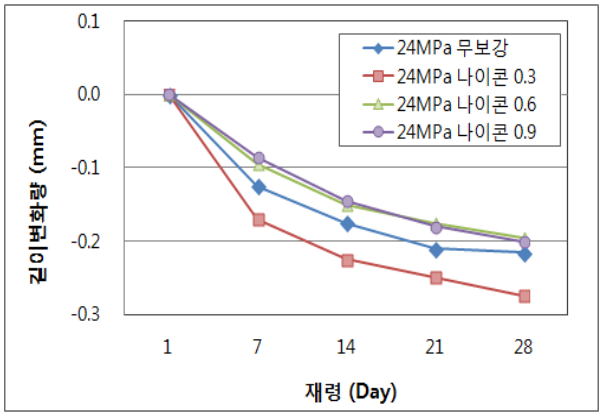
바. 건조수축 길이변화

아래 그림은 24MPa강도 단위수량별 건조수축 길이변화를 측정한 그림이다. 실험결과 정도의 차이가 뚜렷할 정도로 크게 나타나지는 않았지만 단위수량이 적은 160kg/m³와 170kg/m³의 시험체의 건조수축량이 타 시험체의 건조수축량에 비해 적은 것으로 측정되었다. 이는 단위수량이 높은 배합이 잉여수의 증발량이 증가하여 건조수축량이 증가하기 때문으로 사료되어진다.

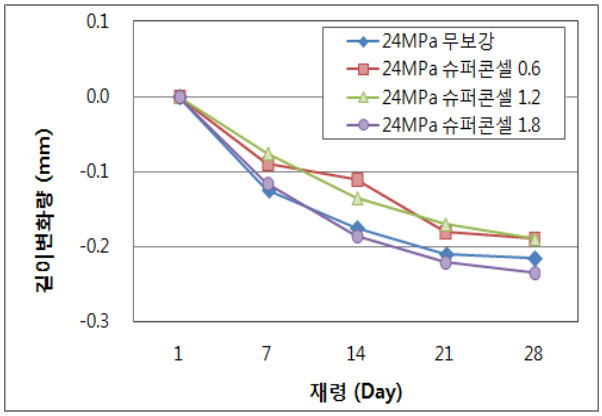


[그림 3-46] 단위수량별 건조수축 길이변화 측정결과

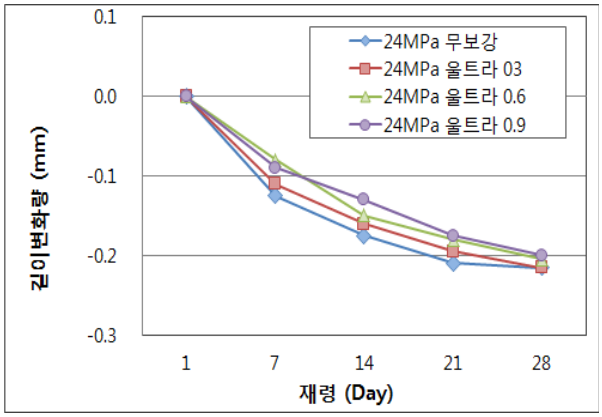
실험결과 재령 14일까지는 나이콘화이버 0.9kg/m³, 재령 21일부터는 0.6kg/m³가 혼입된 시험체의 건조수축 저항성이 우수한 것으로 나타났다. 보강섬유를 혼입하지 않은 무보강 시험체에 비해서 나이콘화이버 0.6kg/m³, 0.9kg/m³의 건조수축량은 모두 적게 나타났지만 나이콘화이버 0.3kg/m³혼입 시험체는 오히려 건조수축량이 더 크게 나타난 것으로 측정되었다. 슈퍼콘셀 0.6kg/m³, 1.2kg/m³ 혼입된 시험체의 길이변화량이 적은 것으로 나타났고, 1.8kg/m³혼입된 시험체는 오히려 재령 14일 부터는 섬유보강을 하지 않은 무보강 시험체에 비해 건조수축량이 많은 것으로 나타났다. 그러므로 건조수축 저항성을 고려하여 보강섬유의 배합비를 설정한다면 보강섬유의 혼입량을 사용기준량 100%를 크게 넘지 않는 범위 내에서 해야 할 것으로 사료되어진다. 울트라화이버를 혼입한 모든 시험체에서 섬유보강을 하지 않은 무보강 콘크리트 시험체보다 건조수축량이 적은 것으로 측정되었지만, 재령 28일에는 그 차이가 재령 7일과 재령 14일에 비해 그 차이가 점차 줄어들어 이후의 변화를 조금 더 지켜봐야 할 필요가 있을 것으로 사료되어진다.



(a) 나이콘 섬유



(b) 슈퍼콘셀 섬유



(c) 울트라화이버 섬유

[그림 3-47] 섬유보강재별 건조수축 길이변화 측정결과

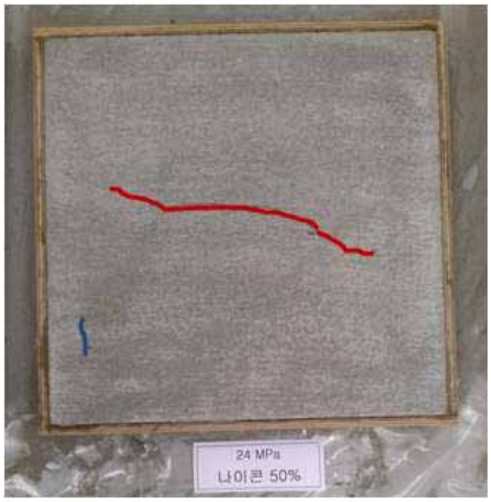
사. 수축균열 유발실험 결과

[표 3-17]은 각각의 비율로 배합된 콘크리트 시험체중 수축균열이 발생한 실험체의 균열을 측정한 결과이다. 재령 35일간 균열이 확인된 시험체는 7종류로 이 중 나이콘화이버를 혼입한 24MPa강도 시험체는 모두 수축균열이 발생하였고, 특히 총 7종의 시험체 중 슈퍼콘셀을 1.2kg/m³혼입한 시험체는 총 105.7㎝의 균열이 발생하여 타 시험체들에 비해 균열의 정도가 크게 나타난 것을 확인하였다.

[표 3-17] 수축균열 측정표

구분	균 열						균열 총길이
24MPa 나이콘 0.3	재령	10일	11일	22일	–	–	43.5 ㎝
	균열길이(㎝)	27.0	14.0	2.5	–	–	
24MPa 나이콘 0.6	재령	13일	–	–	–	–	16.8 ㎝
	균열길이(㎝)	16.8	–	–	–	–	
24MPa 나이콘 0.9	재령	14일	–	–	–	–	11.2 ㎝
	균열길이(㎝)	11.2	–	–	–	–	
24MPa 슈퍼콘셀 0.6	재령	25일	–	–	–	–	3.6 ㎝
	균열길이(㎝)	3.6	–	–	–	–	
24MPa 슈퍼콘셀 1.2	재령	6일	8일	11일	32일	35일	105.7 ㎝
	균열길이(㎝)	23.0	53.6	20.9	2.7	5.5	
24MPa 울트라 0.3	재령	29일	–	–	–	–	1.8 ㎝
	균열길이(㎝)	1.8	–	–	–	–	
24MPa 단위수량 200Kg	재령	27일	–	–	–	–	5.6 ㎝
	균열길이(㎝)	5.6	–	–	–	–	

아래 그림은 24MPa 콘크리트배합에 나이콘화이버를 혼입한 시험체의 수축균열을 나타낸 것으로, (a)와 같이 0.3kg/m³를 혼입한 시험체는 재령 10일만에 시험체 중심부에 약 27㎝가량의 수축균열이 발생한 것을 확인할 수 있었다. 또한 중심부의 균열은 하루 뒤인 재령11일에 8.2㎝가 기존균열에 이어져 발생하였고, 좌측 하부 철근이 매립된 부위 위에도 5.8㎝가 발생해 총 14㎝균열을 확인하였다(재령22일에 추가 2.5㎝ 균열발생). 중심부에 생긴 균열은 타 시험체에서 발생한 균열에 비해 균열의 폭이 1.5배 가량 넓어 육안으로도 쉽게 판별이 가능할 정도로 나타나, 수축균열의 양상이 한 곳에 집중해서 나타났음을 확인하였다.



(a) 0.3kg/㎥혼입



(b) 0.6kg/㎥혼입

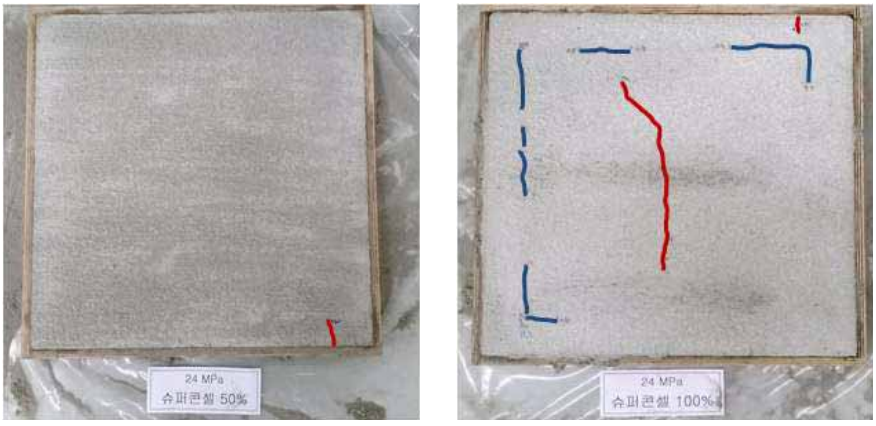


(c) 0.9kg/㎥혼입

[그림 3-48] 나이콘화이버를 혼입한 수축균열유발 시험체 균열양상

(b), (c)와 같이 나이콘화이버를 0.6kg/㎥, 0.9kg/㎥시험체는 각각 16.8㎝, 11.2㎝의 수축균열을 보였으며 균열의 위치는 매립된 철근의 위치와 일치하는 것으로 보여져 추후 실험 및 시공시 보강근을 매립한다면 철근의 충분한 피복두께가 고려되어야 할 것으로 판단하였다. 또한 시험단계별로 수축균열의 길이가 줄어드는 것을 확인하였는데, 이는 보강섬유로 사용된 나이콘화이버의 혼입량이 늘어남에 따라 수축균열에 저항성이 커져 나타난 현상으로 생각되었다.

이에 따라 적정 수준 내에서 나이콘화이버의 혼입량이 늘어날수록 수축균열 방지 성능은 좋아질 것으로 판단된다. 아래 그림은 24MPa 콘크리트배합에 슈퍼콘셀을 혼입한 시험체의 수축균열을 나타낸 그림이다. 슈퍼콘셀 0.6kg/㎥혼입하여 배합한 시험체는 재령 25일에 3.6㎝의 수축균열이 시험체 우측 하부에 발생한 것을 확인하였고, 1.2kg/㎥ 혼입한 시험체에서는 총 105.7㎝의 수축균열이 발생한 것을 확인할 수 있었다.이는 연구를 위해 제작된 총 18개의 시험체 중 가장 긴 수축균열 길이를 나타낸 것이었고, 또한 재령 6일만에 23㎝의 균열을 보여 재령에 따른 시험체의 수축이 비교적 빨리 일어남을 확인할 수 있었다. 그러나 쪼갬인장강도 시험에서는 재령28일 강도가 3.11MPa로 나타나 타 시험체에 비해 가장 높은 수치를 기록해 수축균열시험과는 반대의 양상을 나타내는 것을 확인하여, 추후 추가적인 연구 통해 쪼갬인장강도와, 수축균열과의 상관관계를 추가분석해야 할 필요성이 있을 것으로 사료된다.

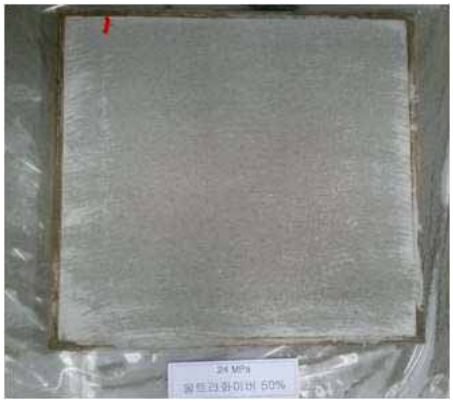


(a) 0.6kg/㎥혼입 (b) 1.2kg/㎥혼입

[그림 3-49] 슈퍼콘셀를 혼입한 수축균열유발 시험체 균열양상

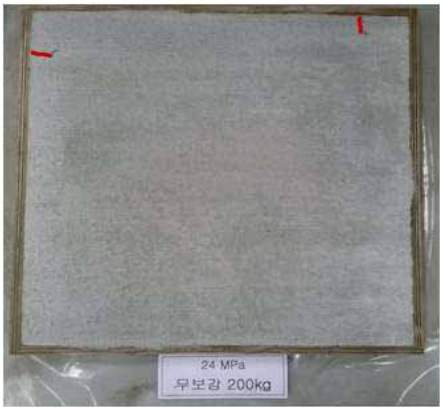
아래 그림은 24MPa 콘크리트배합에 울트라화이버를 0.3kg/㎥혼입한 시험체의 수축균열을 나타낸 것으로 시험체 제작후 재령 29일에 1.8㎝의 균열이 시험체의 좌측 상부에 발생한 것을 확인하였으며 이후의 추가균열은 발견되지 않았다. 또한 울트라화이버를 0.6kg/㎥, 0.9kg/㎥ 혼입한 시험체에서는 수축균열이 발생하지 않은 것으로 나타나 일반권장사용량을 기준으로 비교하였을 때 실험에 사용된 타 보강섬유에 비해 울트라화이버의 수축균열 저항성능이

비교적 우수한 것으로 판단되었다.



[그림 3-50] 울트라화이버를 혼입한
수축균열유발 시험체 균열양상

아래 그림은 24MPa 콘크리트배합에 보강섬유를 혼입하지 않은 단위수량 200kg/m³ 시험체의 수축균열을 나타낸 것이다. 시험체의 수축균열은 재령 27일에 시험체 표면의 2개소에서 5.6㎝의 길이로 발생하였다. 실험결과 무보강으로 배합된 24MPa 강도의 시험체 6종 중 단위수량 200kg/m³의 시험체에만 균열이 생긴 것으로 나타났다. 그 이유는 실험시 각배합의 W/C는 고정하고 단위용적당 수량과 분체의 양을 조절하여, 단위수량이 늘어남에 따라 페이스트가 차지하는 체적이 커짐으로 인해 골재의 부피비가 줄어들어 재령에 따른 시험체의 수화수축의 정도가 단위수량이 상대적으로 높은 200kg/m³ 시험체에서 많이 발생한 결과라고 보여진다.



[그림 3-51] 단위수량에 따른 수축균열유발 시험체 균열양상

5. 보강재 종류에 따른 무근콘크리트 균열저감성능 Mock-up 실험 (4단계)

5.1 실험개요

본 연구에서 앞서 수행한 3단계의 실내실험 결과를 검토한 후, 대표성을 갖는 섬유보강재에 대한 3 수준을 선별하여 Mock-up 시험을 수행하였다. 균열저감성 등에 대한 비교 검토를 위하여 보강재를 계획하지 않은 수준과 전통적으로 균열저감 목적으로 공사에서 사용해왔던 와이어메쉬 수준을 계획하였다. 시험체 크기는 지하주차장 실면적을 고려하여 단위면적을 계획하였으며, 시험체 두께는 지하주차장 무근콘크리트 설계기준 두께에서 가장 균열에 취약하다고 생각되어지는 두께로 계획하였다. 측정항목은 3단계 실험의 수축균열 유발실험과 동일하게 균열양상 등을 육안으로 확인하고, 콘크리트 매립게이지를 매설하여 측정하였다. 또한 실내실험과 동일하게 슬럼프 및 공기량, 60분 경시변화, 압축, 할렬인장, 휨강도 및 건조수축 길이변화를 측정하였다.

5.2 실험계획

[표 3-17]은 실험의 구성을 나타낸 것으로, 실험수준은 앞서 기술한바와 같이, 슈퍼콘셀(1.2kg/m^3), 울트라화이버(0.6kg/m^3), 나이콘(0.6kg/m^3)의 섬유

보강재 3종과 전통적으로 공사에서 사용해왔던 와이어메쉬 그리고 보강재를 설치하지 않은 무보강 콘크리트, 총 5수준에 대해서 실험을 수행하였다. 와이어메쉬의 경우, 공사에서 현재 사용 중인 #8(직경 약 4.5mm)규격의 150x150mm 격자 간격을 사용하였다. 실험 콘크리트는 레미콘 공장의 배치플랜트에서 생산하여 레미콘 차량을 이용하여 제작하였다. 측정항목은 배치플랜트에서 콘크리트 생산 직후, 슬럼프와 공기량을 측정하고 실험장소에 도착하여 60분 경과 후, 다시한번 슬럼프와 공기량을 측정하였다. 압축강도, 할렬인장강도, 휨강도 및 건조수축 길이변화는 3단계 실험과 동일한 재령일에 측정하였으며, Mock-up실험 콘크리트와 동일한 양생환경에서 양생하였다.

[표 3-18] 섬유보강 무근콘크리트 Mock-up 실험의 구성

실험 인자	실험 수준	측정 항목
보강재 종류	무보강 와이어메쉬 (#8 150x150) 슈퍼콘셀 (1.2kg/㎥) 울트라화이버 (0.6kg/㎥) 나이콘 (0.6kg/㎥)	• 공기량 • 슬럼프 • 공기량(60분 경시) • 슬럼프(60분 경시) • 압축강도(3,7,28일) • 할렬인장강도(3,7,28일) • 휨강도(28일) • 건조수축 길이변화 • Mock-up 실험
콘크리트 설계	25-(18, 24)-150, 공기량4.5±1.5%	
감수제	준PC계 고성능감수제 (유지제 혼입량 조절)	

[표 3-19] 섬유보강 무근콘크리트 Mock-up 실험의 배합

설계강도 (MPa)	W/C (%)	S/a (%)	보강재료	Unit weight(kg/㎥)				
				W	C	S	G	Fiber
24	49.2	49.4	무보강 (와이어메쉬)	180	380	781	948	0.0
			슈퍼콘셀					1.2
			나이콘					0.6
			울트라화이버					0.6

5.3 콘크리트 제작 및 실험항목

가. 실험 콘크리트 제작

본 실험은 지하주차장 바닥 무근콘크리트 균열과 관련한 Mock-up 실험으로써, 지하주차장 바닥 무근콘크리트와 유사한 환경과 재료 및 제작환경을 계획하였다. 실험콘크리트 제작은 실험장소에서 약 10km(20분 거리) 반경에 있는 레미콘 공장의 배치플랜트에서 생산하고, 레미콘 차량으로 실험장소까지 운반한 후 타설하였다. 콘크리트는 공사 기준을 만족하는 보통콘크리트를 제작하였으며 섬유보강재와 고성능감수제(준 PC계)는 수동 투입하였다.



(a) 실험콘크리트 제작장소와 실험장소



(b) 고성능감수제 수동 계량



(c) 섬유보강재 수동 투입



(d) 레미콘 차량에 토출

[그림 3-52] 실험콘크리트 제작과정

나. 슬럼프 및 공기량

초기 슬럼프 및 공기량은 배치플랜트에서 토출 직후 현장에서 측정하였다. 슬럼프 측정은 KS F 2402 기준에 따라서 측정하였고 공기량은 KS F 2421 기준에 따라 측정하였다.



(a) 실험콘크리트 초기 슬럼프 측정　　(b) 실험콘크리트 초기 공기량 측정

[그림 3-53] 실험콘크리트 초기 슬럼프 및 공기량 측정

다. 슬럼프 및 공기량 60분 경시변화

배치플랜트에서 생산한 콘크리트는 레미콘 차량으로 실험장소까지 운반 후, 타설하였다. 본 연구의 3단계 실험에서 수행한 슬럼프 및 공기량 60분 경시변화를 측정하기 위하여 배치플랜트 생산 시점을 기점으로 60분 경과 후에 슬럼프 및 공기량을 실험장소에서 측정하였다.



(a) 실험콘크리트 슬럼프 60분 경시변화 측정　　(b) 실험콘크리트 공기량 60분 경시변화 측정

[그림 3-54] 실험콘크리트 슬럼프 및 공기량 60분 경시변화 측정

라. 압축강도

압축강도는 KS F 2405 기준에 의거하여 ϕ100x200mm 실린더형 공시체를 제작하여 Mock-up시험체와 같은 양생조건에서 양생한 후, 3단계 실험과 동일하게 재령 3,7,28일에 강도를 측정하였다.

마. 할렬인장강도

할렬인장강도는 KS F 2423 기준에 의거하여 ∮100x200mm 실린더형 공시체를 제작하여 Mock-up시험체와 같은 양생조건에서 양생한 후, 3단계 실험과 동일하게 재령 3,7,28일에 강도를 측정하였다.

바. 휨강도

할렬인장강도는 KS F 2408 기준에 의거하여 100x100x400mm 각주형 공시체를 제작하여 Mock-up 시험체와 같은 양생조건에서 양생한 후, 3단계 실험과 동일하게 재령 28일에 강도를 측정하고, Mock-up 시험체 측정 종료 후, 코어를 채취하여 공시체와 Mock-up 시험체의 휨강도를 비교할 수 있도록 계획하였다.

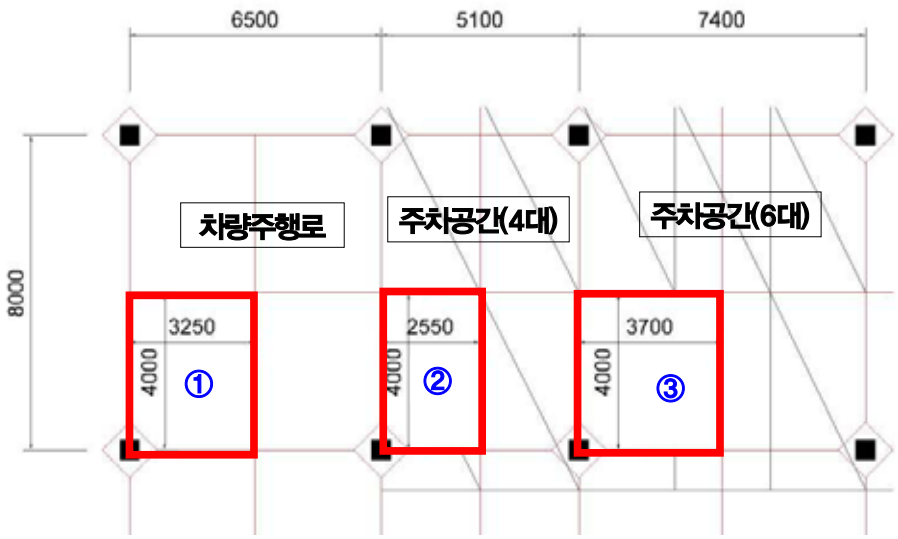
사. 건조수축 길이변화

건조수축 길이변화는 KS F 2423 기준에 의거하여 100x100x400mm 각주형 공시체를 제작하여 Mock-up 시험체와 같은 환경에서 양생하였다. 재령 4주까지는 1주일에 1회씩 측정하고 재령 5주차부터는 30일 단위로 60~90일동안 측정하였다.

아. Mock-up 실험

㉠ 시험체 평면 계획

Mock-up 시험체 평면 계획은 아래와 같이, 지하주차장 바닥을 줄눈 단위로 구분하였을 때, 차량 윤하중 등으로 가장 취약하다고 판단되어지는 차량주행로의 줄눈 간격을 기준(3,250x4,000)으로 계획하였다.



[그림 3-55] 지하주차장 바닥 줄눈 간격 (아산 배방 'H'아파트 지하주차장)

㉡ 시험체 단면 계획

공사의 지하주차장 바닥 무근콘크리트의 두께는 90~150mm로 설계되어지고 있다. 바닥 무근콘크리트의 두께가 얇을수록 건조수축 및 하중 조건등에 취약하다고 판단되어지므로, 가장 취약한 조건을 구성하기 위하여 Mock-up 시험체 두께를 90mm로 계획하였다. 지하 최하층에 타설되는 무근콘크리트는 기초콘크리트 위에 타설되므로 버림콘크리트 60mm를 타설하고 시험체 하부 경계면의 구속력을 강화시키기 위하여 표면에 스크래치를 생성시켰다.



(a) 시험체 단면 계획

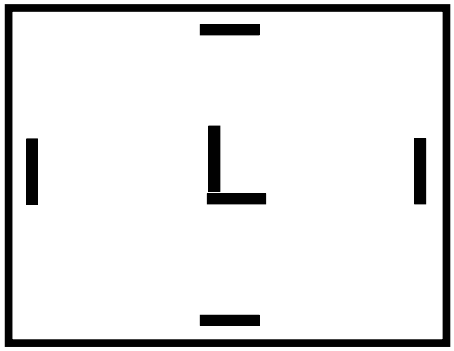


(b) 시험체 하부 경계면 스크래치 생성

[그림 3-56] Mock-up 시험체 단면 계획

㉢ 시험체 콘크리트 수축량 측정

시험체에서 경화 중인 콘크리트의 수축에 따른 변화를 보다 정밀하게 측정하기 위하여 매립형 게이지를 시험체 하나당 총 6개를 일정한 위치에 설치하여 타설 직후부터 실험종료일까지 콘크리트 수축량을 측정하였다. 측정주기는 타설 후 3일까지는 15분간격으로 측정하고 3일 이후부터는 1시간 간격으로 측정하였다.



(a) 매립형 게이지 설치 계획



(b) 매립형 게이지

[그림 3-57] 콘크리트 수축량 측정을 위한 매립형 게이지 설치 계획

㉣ 휨강도 비교용 Mock-up 시험체 코어 채취

Mock-up 시험체의 시간경과에 따른 콘크리트 내구성능 등을 평가하기 위하여 실험종료 후, 부위별로 90x90x342mm로 코어를 채취하여 시험체 타설시, 제작한 100x100x400mm 각주형 공시체와 휨 강도를 비교할 수 있도록 계획하였다.

㉤ Mock-up 시험체 제작

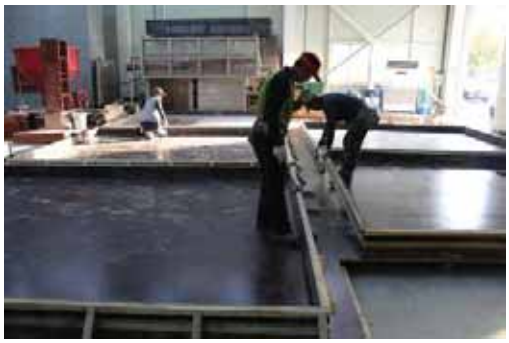
Mock-up 실험 시험체 제작과정은 아래 그림과 같이 수행하였다. 실험실 바닥으로부터의 영향을 최소화하기 위하여 일정 높이를 각목으로 이격 시켰으며, 그 위에 시험체 바닥판을 설치하였다. 그리고 시험체 측면부를 설치하였다.



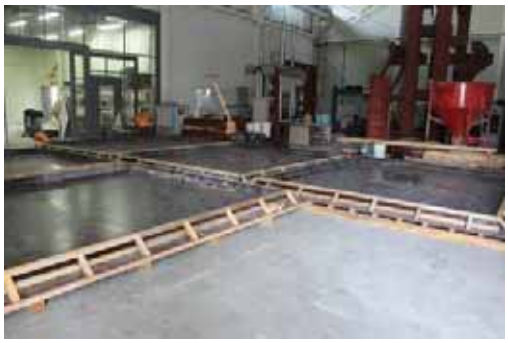
(a) 실험실 바닥과 이격 작업



(b) 실험체 바닥 설치



(c) 실험체 측면부 설치



(d) 실험체 완성

[그림 3-58] Mock-up 시험체 제작과정

ⓑ Mock-up 시험체 콘크리트 타설

실험콘크리트 타설과정은 아래 그림과 같이 수행되었다. 먼저, 30MPa의 하부면 버림콘크리트를 타설한 후, 표면에 스크래치를 생성하였다. 약 1주일 경화시킨 후에 본 실험콘크리트 타설을 수행하였다.



(a) 버림콘크리트 (30MPa) 타설



(b) 하부 경계면 스크래치 생성 작업



(c) 실험콘크리트 (24MPa) 타설 1



(d) 실험콘크리트 (24MPa) 타설 2



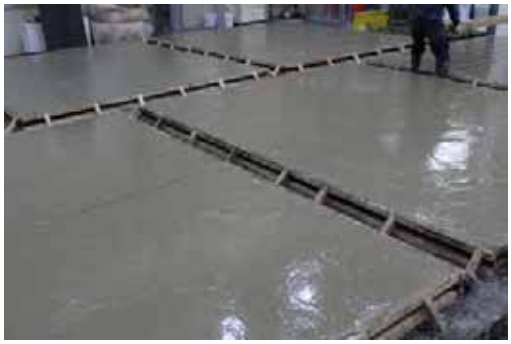
(e) 실험콘크리트 표면 고르기 작업



(f) 콘크리트 매립형 게이지 설치



(g) 실험공시체 제작



(h) Mock-up 시험체 완성

[그림 3-59] Mock-up 실험콘크리트 타설

5.4 실험결과

[표 3-19]는 굳지않은 콘크리트의 실험결과이며, 실험 조건별로 슬럼프, 공기량, 고성능감수제의 감수제와 유지제 함유량 및 60분 경시변화를 나타낸 것이다. [표 3-20]은 경화된 콘크리트의 실험결과이며, 재령별 압축강도, 할렬인장강도, 휨강도를 나타낸 것이다. 굳지않은 콘크리트의 실험결과([표 3-19])를 보면 먼저 고성능감수제는 3단계 실내실험 결과를 고려하여 수동계량하여 투입하였다. 3단계 실내실험에서는 감수제와 유지제 비율이 40:60 이었으나, 콘크리트 제작량의 차이를 고려하여 60:40으로 조절하였다.

[표 3-20] 굳지않은 콘크리트의 실험결과

단위수량 (kg/m³)	섬유종류	혼입량 (kg/m³)	초기 측정값		60분 경시변화		고성능감수제 (%)		
			슬럼프 (㎜)	공기량 (%)	슬럼프 (㎜)	공기량 (%)	Total	감수제	유지제
180	none	–	135	4.2	155	3.4	0.95	60	40
	슈퍼콘셀	1.2	160	6.5	175	3.7	1.05	60	40
	나이콘	0.6	165	4.2	210	3.4	0.95	60	40
	울트라 화이버	0.6	150	5.2	165	3.7	0.95	60	40

[표 3-21] 경화된 콘크리트의 실험결과

단위수량 (kg/m³)	섬유 종류	혼입량 (kg/m³)	압축강도(MPa)			할렬인장강도(MPa)			휨강도(MPa)
			3일	7일	28일	3일	7일	28일	28일
180	none	–	19.0	28.0	38.1	2.2	2.6	3.1	6.1
	슈퍼 콘셀	1.2	20.6	28.8	36.5	2.8	3.5	3.7	5.7
	나이콘	0.6	23.6	31.6	38.9	3.3	3.9	4.1	5.9
	울트라 화이버	0.6	24.8	29.7	38.1	3.1	4.0	4.2	6.6

가. 슬럼프 및 공기량

초기 슬럼프, 공기량 및 60분 경시변화는 아래 그림과 같은 결과가 측정되었다. 초기 슬럼프(150±25mm) 및 공기량(4.5±1.5%)은 공사 보통콘크리트 기준을 대부분 만족하는 것으로 나타났다. 슈퍼콘셀(1.2kg/㎥)의 경우, 공기량이 기준치보다 약 0.5% 정도 많이 측정되었다. 60분 경시변화 결과의 경우 슬럼프값에서 초기 측정값보다 많은 슬럼프가 측정되었는데, 이것은 실내실험과 Mock-up 실험의 재료량 및 제작 환경온도와 슬럼프 및 공기량 측정 작업자의 차이에서 발생했다고 사료되어진다. 측정결과 [표 3-21]은 실내실험과 Mock-up 실험의 실험재료량 및 제작 환경온도를 나타낸 것으로, 실험 콘크리트량은 약 25배정도의 차이가 있으며 섬유보강재의 경우 28배 정도 차이를 보인다. 또한 제작환경 온도의 경우, 실내실험의 경우 약 20℃의 동일한 온도를 가진 반면에 배치플랜트에서 생산된 Mock-up 실험용 콘크리트의 경우, 약 평균 11.4℃로 약 9℃정도 낮은 온도에서 제작 및 운반되었기 때문에 온도의 영향에 의하여 고성능감수제 활성화 반응이 늦어졌던 것으로 사료되어진다.



(a) 초기 슬럼프 및 60분 경시변화량



(b) 초기 공기량 및 60분 경시변화량

[그림 3-60] 슬럼프 및 공기량 측정결과

[표 3-22] 실내실험과 Mock-up 실험 재료량 및 환경 온도 비교

구분	실내실험	Mock-up 실험
수준당 실험 콘크리트량	0.07㎥	2㎥
섬유보강재 혼입량 (0.6kg/㎥ 기준)	0.042kg	1.2kg
실험 환경 온도	20℃	11.4℃

나. 압축강도

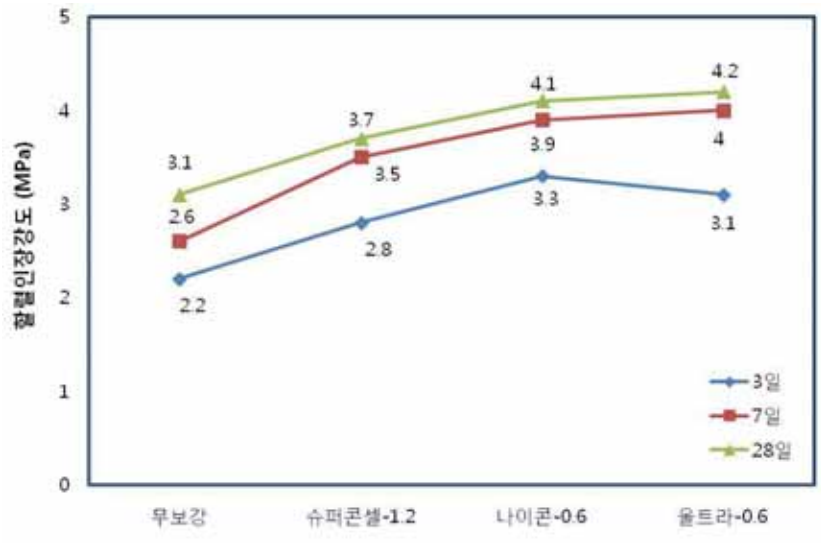
각 수준에 대한 압축강도 측정결과 아래 그림과 같은 결과가 측정되었다. 섬유보강재 혼입에 따른 압축강도의 변화는 거의 없는 것으로 나타났다. 무근콘크리트에 혼입되는 섬유보강재는 일반 섬유보강콘크리트에 혼입되는 것에 비하여 적은양이 혼입되므로 압축강도에 영향을 끼치지 않기 때문에 압축강도 측정결과에서 큰 변화가 없는 것으로 사료되어진다.



[그림 3-61] 압축강도 측정결과

다. 할렬인장강도

각 수준에 대한 압축강도 측정결과 아래 그림과 같은 결과가 측정되었다. 섬유보강재가 혼입된 수준의 경우, 혼입되지 않은 수준과 비교했을 때, 할렬인장강도 값이 더 높게 측정되었다. 특히, 양생기간에 따른 비율로 보았을 때, 28일에 비하여 3, 7일 즉, 재령 초기에 섬유보강재를 보강하지 않은 수준보다 높은 할렬인장강도 값을 가지는 것으로 나타났다.



[그림 3-62] 할렬인장강도 측정결과

라. 휨강도

휨 강도 측정결과 아래와 같은 결과가 측정되었다. 섬유보강재의 혼입여부에 따른 휨강도 측정결과는 크게 차이가 없는 것으로 나타났다.



[그림 3-63] 휨강도 측정결과

마. 건조수축 길이변화

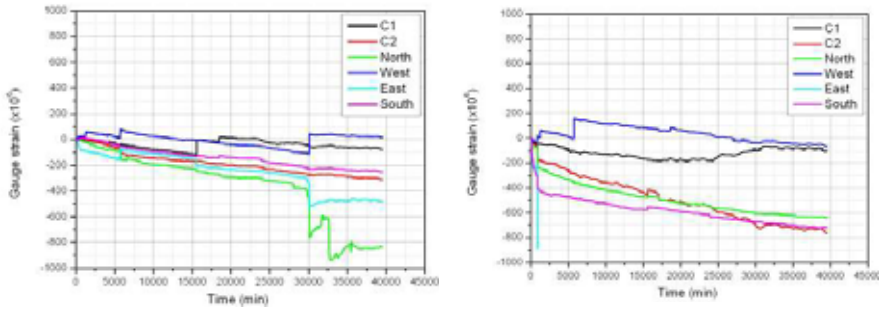
14일 경과된 건조수축 길이변화량 측정 결과 아래와 같은 결과가 측정되었다. 각 수준별 길이변화량의 차이가 발생하고 있지만, 건조수축 길이변화량은 재령이 장기화(약 90일이상)될수록 크게 발생하므로 현재시점에서 판단할 수 없다고 사료되어진다.



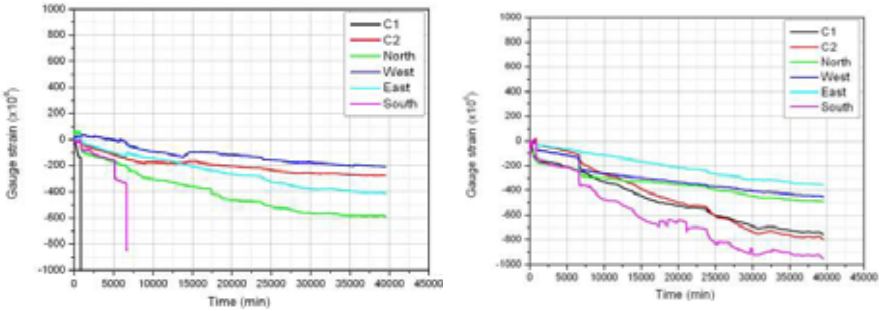
[그림 3-64] 건조수축 길이변화량

바. Mock-up 실험체 수축

모든 실험체에서 재령 2주까지 실험체의 수축량은 증가하였으나 재령 3주 이후 실험체의 수축량 변화가 일정한 값으로 수렴하고 있음을 알 수 있다. 그림에서 와이어메쉬 실험체와 슈퍼콘셀-1.2 실험체가 가장 낮은 수축변화량을 나타내고 있으며, 나이콘-0.6 및 울트라화이버-0.6 실험체는 유사한 수축변화량을 나타내었다. 이에 반하여 무보강 및 18MPa(나이콘-0.6)는 상대적으로 큰 수축변화량을 나타내어 섬유보강효과 및 콘크리트 강도가 수축변화의 영향인자임을 알 수 있다. 그림 2.8(c)의 와이어메쉬 실험체가 상대적으로 낮은 값을 나타낸 것은 게이지 위치와 와이어메쉬의 위치가 유사하여 실험에 영향을 미친 것으로 판단된다.



(a) 와이어메쉬 (b) 나이콘 0.6kg/㎥

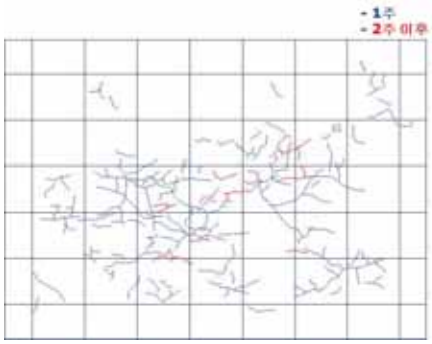


(c) 슈퍼콘셀 1.2kg/㎥ (d) 울트라화이버 0.6kg/㎥

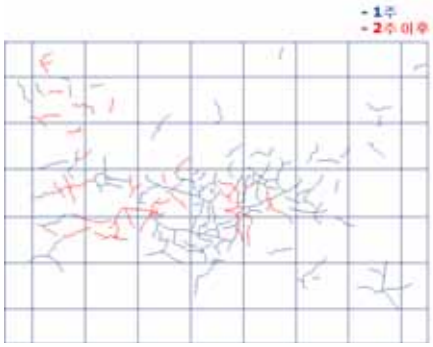
[그림 3-65] 매립형 게이지로 측정된 Mock-up 실험체의 수축변화량

사. Mock-up 실험체 균열 형상

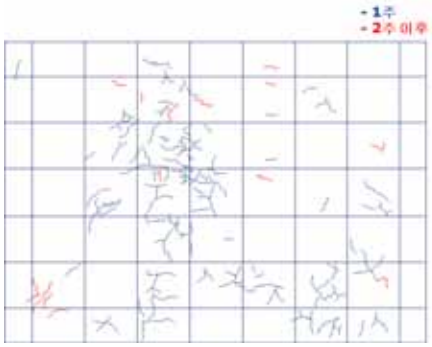
아래 그림은 경화 중인 Mock-up 실험체의 표면의 균열 형상을 재령일 별로 측정하여 나타낸 것이다. 모든 실험체에서 재령 2주 이후 실험체 표면의 균열이 감소한 것을 확인 할 수 있다. 또한 슈퍼콘셀-1.2를 혼입한 실험체의 균열 수가 적은 것을 확인 하였다.



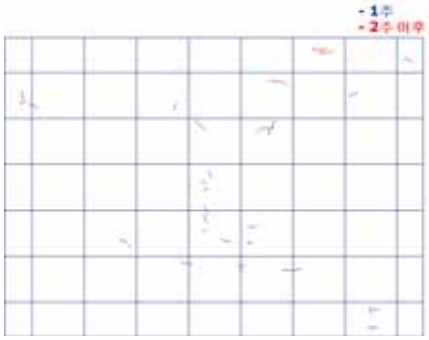
(a) 무보강 실험체



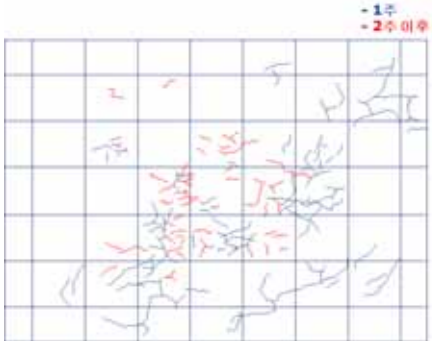
(b) 와이어메쉬 실험체



(c) 나이콘-0.6 실험체



(d) 슈퍼콘셀-1.2 실험체



(e) 울트라화이버-0.6 실험체

[그림 3-66] Mock-up 실험체 표면의 균열 형상

제4장

지하주차장 누수관련 대책방안

4

제4장 지하주차장 누수관련 대책방안

1. 개 요

본 장은 지하주차장 누수방지를 위한 부위별 방수공법 적용방안에 대한 조사 및 검토를 통하여 건축구조물의 누수에 의한 기능저하방지 및 내구성능을 확보하여 쾌적한 사용환경 제공에 목적을 가진다. 본 장에서는 지하주차장의 내방수 및 외방수 등의 방수공법의 특징, 외방수공법 적용시 고려사항과 활성화 방안에 대하여 검토하였으며, 외방수공법 최적설계방안과 연구개발 방향에 대하여 정리하였다. 또한 지하구조물 방수 신기술 현황, 고려사항 및 특징 대하여 검토하였다.

2. 지하주차장 부위별 누수현황 및 대책방안

지하주차장의 주요 누수발생부위의 누수원인에 대한 검토에 앞서, 누수현황을 부위별로 구분하여 조사하였다. 조사 부위는 1) 지하1층 주차장 천정부위, 2) 지하 2층 주차장 램프주변 상부 슬래브, 3) 지하 1층 주차장 바닥, 4) 지하 2층 주차장 단차 슬래브 주변, 5) 동 PIT 부위, 6) 연결복도, 7) 층간 데크 슬래브에 대해서 조사하였다. 누수관련 대책방안은 방수 및 기타 기술적인 검토 및 설계상의 검토를 수행하였다.

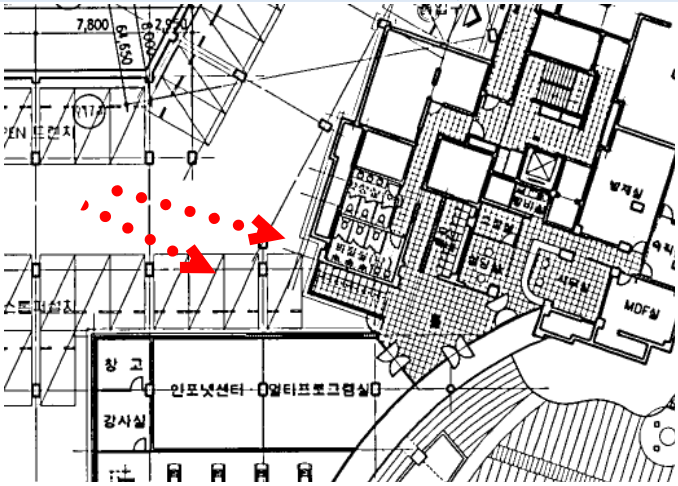
2.1 지하1층 주차장 천정부위(상부슬래브/보/벽체) 누수현황 및 원인

2.1.1 부위별 누수현황

가. 지하1층 주차장 관리실 출입문 주변

○ 누수 부위/현황
· 지하 1층 주차장에서 관리사무실로 연결되는 출입구 쪽, 상부의 슬랩-보-벽체가 만나는 부위, 보 교차부위에서 균열 및 누수
· 지속적인 누수에 의해 주변 오염
· 보 교차부위는 균열보수가 완료된 상태





누수 발생 부위



누수 발생 부위



보 교차부위 균열/누수(보수공사 완료)

나. 지하1층 주차장 외벽 상부

○ 누수 부위/현황
· 504동 지하 1층 주차장 진입구 건너편 외벽 상부 슬랩-보 연결 부위에서 누수
· 주입공법에 의해서 누수보수공사가 완료된 상태이나 주입된 보수재가 역류에 의한 오염을 방지하기 위한 조치가 취해져 있는 상황임
· 상부에는 재활용품 보관소와 우수맨홀, 음수대 등 누수현상에 영향을 줄수 있는 요소가 다양하게 존재하고 있는 것으로 확인됨







누수 발생 부위



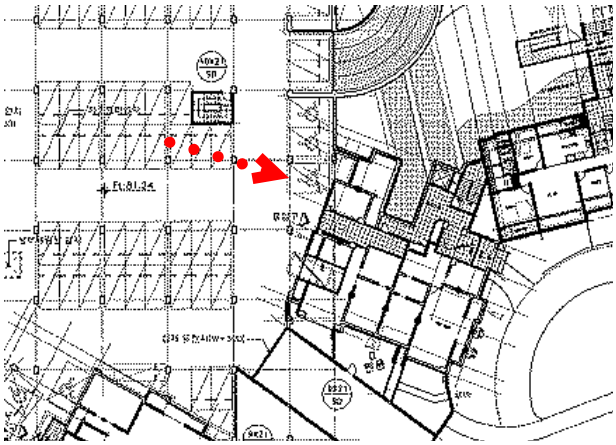
누수 발생 부위 상부 시설물(재활용품 보관소)



누수 발생부위 상부시설물(음수대, 우수맨홀)

다. 3-4라인 지하1층 장애인 주차장 주변

○ 누수 부위/현황
· 지하 1층 주차장에서 기둥과 보가 만나는 부위를 중심으로 누수와 이로 인한 오염 현상확인
· 지속적인 누수에 의해 주변 오염되고 있는 상황임





누수 발생 부위



누수 발생 부위



주차장 상부 조경부위



조경부위 확대

라. 지하 1층 주차장 스포츠센터 사무실 주변

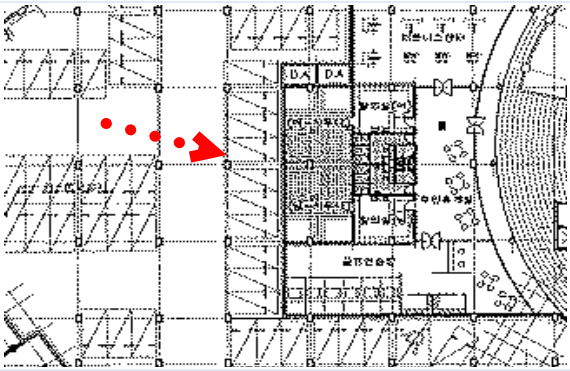
○ 누수 부위/현황

· 지하1층 주차장(스포츠센터 욕실 주변에서 발생

· 주차장의 천정은 데크슬랩이며, 데크플레이트-보 접합부에서 누수가 지속적으로 발생

· 이 누수부위 상부에는 비상도로와 측구가 위치하고 있음

· 데크플레이트-보 접합부에 우레탄 주입이 진행중이며, 지수효과가 잘 발휘되고 있는 것으로 확인되었음



누수 발생 위치



누수 보수 상황



누수 발생 부위

마. 지하 1층 주차장 Top-Light 주변 데크

○ 누수 부위/현황
· 지하1층 주차장상부 놀이터주변에 위치하고 있는 Top-Light 주변에서 누수 발생
· 주차장의 천정은 데크슬랩이며, Top-Light에 인접하고 있는 데크플레이트에서 누수가 지속적으로 발생





누수 발생 위치(단지 계획도)





누수 발생 부위(지하 1층 주차장 평면도)

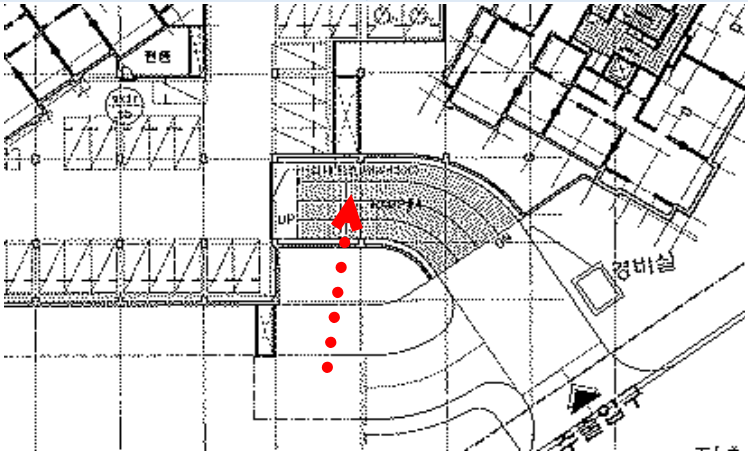


누수부위 상황

바. 동세대 인접 주차장 램프 천정 슬래브 누수

○ 누수 부위/현황
· 주차장 램프 상부의 슬랩 부위에서 균열 및 누수 현상 발생
· 누수량은 많지 않은 편이나 보수가 필요한 상황이라고 판단됨
· 특히 주차장 상부에는 조경시설이 되어 있어 누수현상에 영향을 줄수 있는 요소라고 판단됨





누수 발생 부위



주차장 상부의 조경

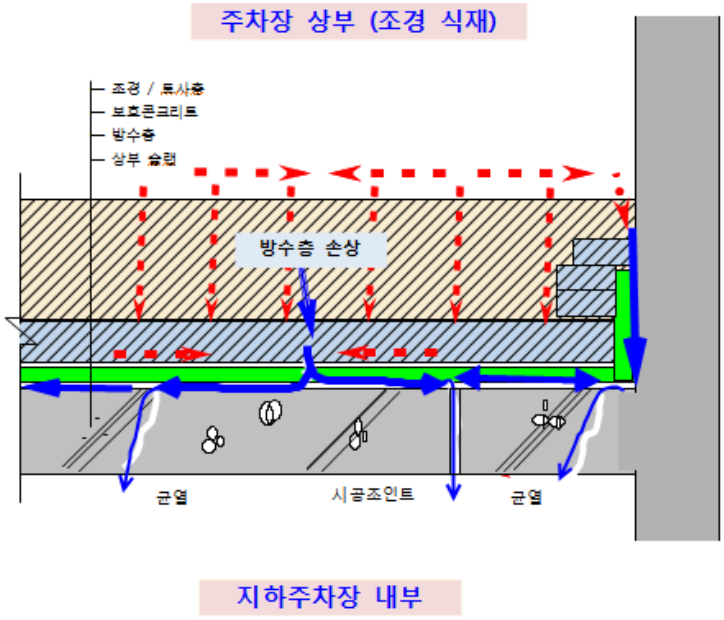


누수 부위 진단 상황

2.1.2 누수원인

가. RC조 슬래브

○ 누수경로/누수원인
· 상부 화단에서 손상된 방수층의 틈새나 벽체와 접하는 부위의 방수턱을 넘어 유입된 것으로 추정
· 누수원인은 우레탄 도막방수층의 손상, 수직벽체와 방수턱의 플래싱 처리 미비라고 판단됨
· 특히 관리실 입구의 경우 2개의 평면이 엇각으로 만나는 부위로써 구조부재가 정방향으로 배열되기 어려운 부위이므로 균열과 같은 결함의 발생가능성이 높게 될 수 있는 부위임



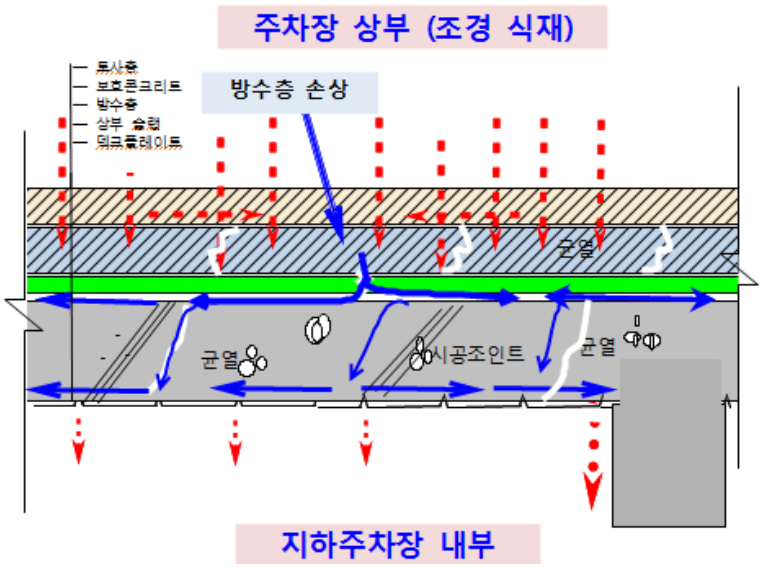
나. 데크 슬래브

○ 누수경로/누수원인

· 데크플레이트의 누수현상도 데크슬랩-보 계면에서 발생하는 누수현상으로써 기본적으로 RC슬랩과 유사한 패턴이라고 판단됨

· 즉 상부 화단에서 손상된 방수층의 틈새를 통하여 유입된 것으로 추정

· 특히 지하 1층 주차장 스포츠센터 사무실 주변의 구조에 있어서도 주차장과 스포츠센터가 연결되는 복잡한 부위이므로 누수현상의 발생가능성이 높은 여건이라고 판단됨

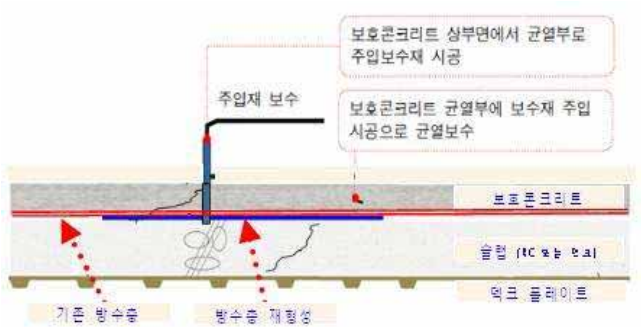


2.1.3 누수 대책방안

○ 기본적인 보수방안
· 지하주차장 1층 상부슬랩에서 발생하는 누수현상에 대한 보수방안은 다음의 4가지 방안을 선택 또는 복합적으로 적용하여야 한다고 판단됨
[A 방안] 지하주차장 상부에서 방수상의 조치를 취하는 방안
[B 방안] 누수현상이 나타나는 지하주차장 하부 구조물(보, 슬랩, 벽체, 덱크 등)에 대하여 직접적으로 지수공법을 적용하는 방안

(A 방안)지하주차장 상부에서 방수상의 조치를 취하는 방안
· 단 이러한 방법은 주차장 상부에는 조경 등 다양한 시설물이 설치되어 있으므로 시설물의 상황, 주변환경 등을 고려할 필요가 있음

· 구체적인 보수방법으로는 다음과 같은 2가지 방안으로 분류됨
(A-1 방안) : 누수현상이 발생하는 부위의 슬랩 상부시설물에서 일정구간을 방수층까지 철거하고 방수층을 재시공하는 방법, 이때 방수층의 들뜸에 의한 재누수를 방지하기 위하여 점착형 방수재를 적용하여 함
(A-2 방안) : 슬랩상부의 토양이나 보도블록 등 철거 가능한 시설물을 제거한 후 방수층 보호 콘크리트 상부에서 균열이나, 결함부 또는 주입구를 천공하여 상부슬랩과 방수층의 계면에 방수재를 주입하여 방수층을 재형성하는 공법의 적용

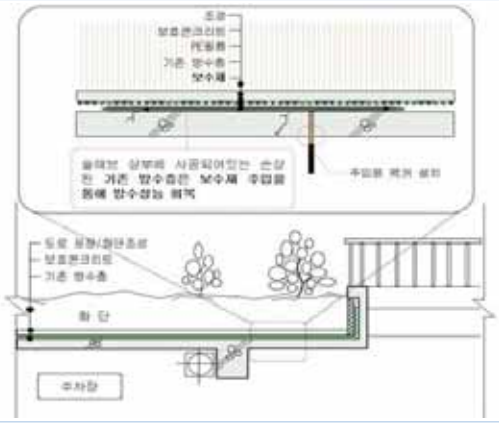


지하1층 주차장

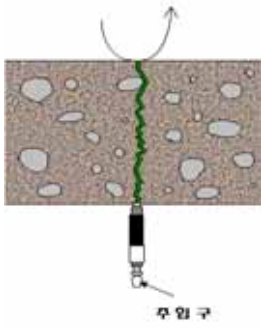
(B 방안) : 지하주차장 하부에서 방수상의 조치를 취하는 방안
※보수방법으로는 다음과 같은 2가지 방안으로 분류됨

(B-1 방안) : 일정구간에 대하여 방수층을 재형성하는 방법
· 그림과 같이 지하주차장 내부에서 상부슬랩을 관통하여 방수층과 슬랩계면으로 방수재를 주입하여 방수층을 재형성 하는 방법

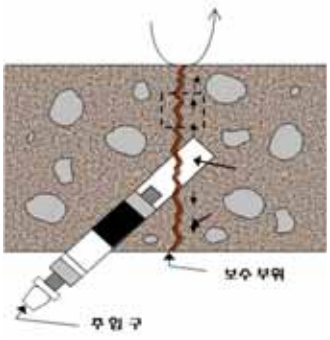
(B-2 방안) : 누수발생부위에 직접적으로 주입하는 방법
· 주입공법은 그림과 같이 직접 주입 또는 대각선 주입방식이 있는데 기본적으로 대각선 방식이 효과적이나 누수량이 적고 수압이 높지 않으므로 적용하는 보수재의 점도를 고려하여 결정하면 된다고 판단됨.
· 보수재는 수분환경에 사용가능하고 지속적인 지수효과가 있으며 적당한 점도조절이 가능한 재료가 적합함
(※동절기 이후 재 누수 방지 등 적정재료의 선정과 관련하여 다음 항 참조)



방수층 재형성 공법



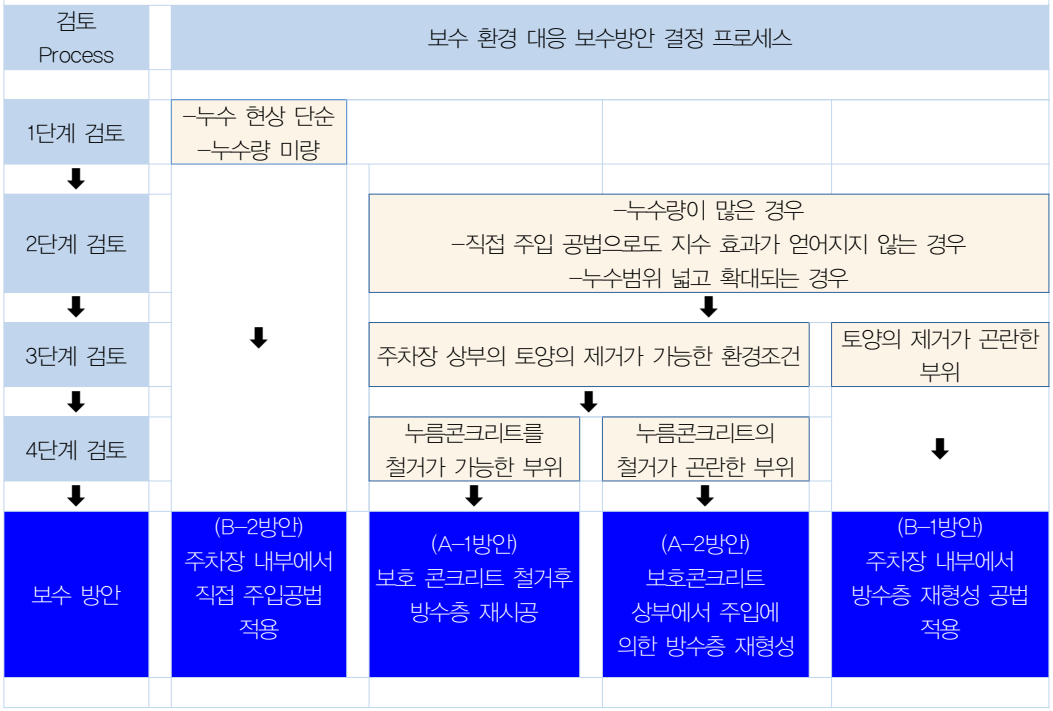
균열부 직접주입에 의한 보수공법
(수압이 낮고 저점도 균열보수재 사용시)



대각선 주입에 의한 균열보수공법
(수압이 높고 고점도 균열보수재 사용시)

[최적 누수보수방안]

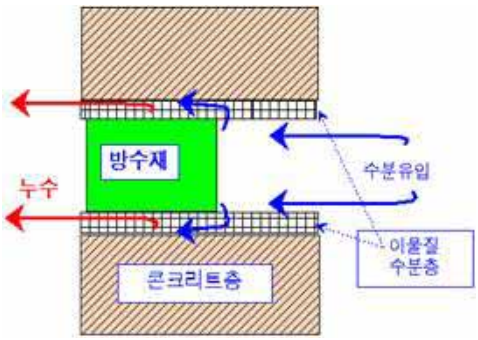
지하1층 주차장 상부슬랩의 누수보수공법은 누수 상황, 보수 환경 등의 조건을 고려하여 다음과 같은 프로세스를 이용하여 결정



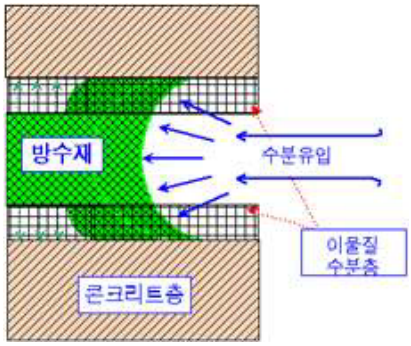
[최적 누수 보수재]

· 누수균열보수재의 선정에 있어서는 기존에 일반적으로 적용되고 있는 경화형(용제형)을 적용할 경우가 많음
· 이러한 재료는 위 그림과 같이 형식적으로는 균열부위는 채워진 것과 같이 보이지만 재누수(특히 동절기 이후 발생)의 가능성이 높다는 문제점이 있음
· 그 원인으로는 콘크리트 계면과의 일체성 부족으로 수압증가, 거동변화, 동절기 이후 온도변화 등이 있음
· 그러므로 아래의 그림과 같이 수압에 대하여 유연하게 대응하고 콘크리트계면과 일체화가 될수 있는 재료의 선정이 매우 중요함
· 이러한 재료에는 경화형이 아닌 유연형, 용제계가 아닌 무용제나 수계 재료가 해당됨
· 특히 이 현장과 같이 주입된 보수재가 누출되는 문제를 방지하기 위해서는 다음과 같은 2단계 주입공법의 적용이 반드시 필요하다고 판단됨

1차 주입재 : 연질형
2차 주입재 : 경질형(고강도 우레탄 등)



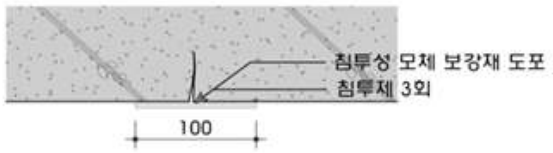
기존의 경질 균열보수재
(이물질 및 수분바탕에서 접착력,
일체성 확보 곤란, 재누수 가능성)



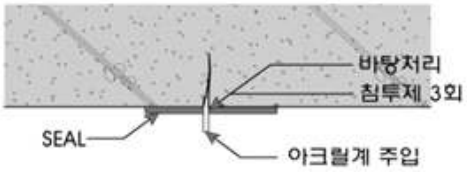
유연성, 반응성 누수보수재
(접착일체성 및 유연성에 의한 완전 지수)

[건식 / 습식균열 보수방안]

· 균열부위에는 크게 건조성 균열과 누수현상이 발생하는 습식균열로 분류됨
· 또한 균열폭 0.3㎜를 중심으로 크기에 따라 보수방법을 선택하는 것이 효과적이라고 판단됨
· 이러한 점을 고려하여 보수공법을 정리하면 그림과 같음



· 균열폭 0.3㎜ 미만
  – 건식 : 침투성 모체 보강체
  – 습식 : 고강도 우레탄 주입



· 균열폭 0.3㎜ 이상
  – 건식 : 에폭시 주입
  – 습식 : 고강도 우레탄 주입

· 누수 및 균열 보수용 재료의 물성과 용도

보수재 종류	압축강도(N/㎟)	용 도	비 고
에폭시	60 정도	건식 구조균열 보수	콘크리트 압축강도 24–27N/㎟
고강도 우레탄	30 정도	습식 구조균열 보수	
아크릴	0.7 정도	누수균열보수	

2.1.4 설계 개선방안

○ 신축시의 설계상의 개선안
· 주차장 상부에 조경 시설이 설치되고 방수상의 부담이 큰 구조물의 경우, 신축 단계에서의 설계방안으로는
· 독립된 공간에 식재를 하고 단열층, 배수층, 보호층 및 방수층을 설치하여야 완전한 방수효과의 확보가 가능하다고 판단됨
· 즉 방근 · 방수 · 배수성능 확보 인공지반시스템의 설치가 필요하다고 판단됨(참고자료 참조)
· 단 이러한 조치는 추가비용이 수반되므로 기획단계에서 소요예산의 반영이 필요하다고 판단됨

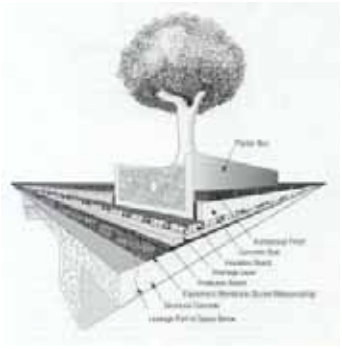
· 또한 조경토 상부에서 우수가 체류하지 않고 신속히 배수구나 집수정방향으로 잘 흘러 내릴 수 있도록 하는 조치도 필요함



주차장 상부의 조경



주차장 상부의 조경



방수 · 방근 · 배수성을 가지는 인공지반 설계(안)

–이 현장과 같이 지하주차장 상부에 식생, 휴게시설 등 다양한 조경관련시설이 설치되어 있는 경우는 그림과 같이 관리중량형 녹화시스템의 적용이 필요하다고 판단됨



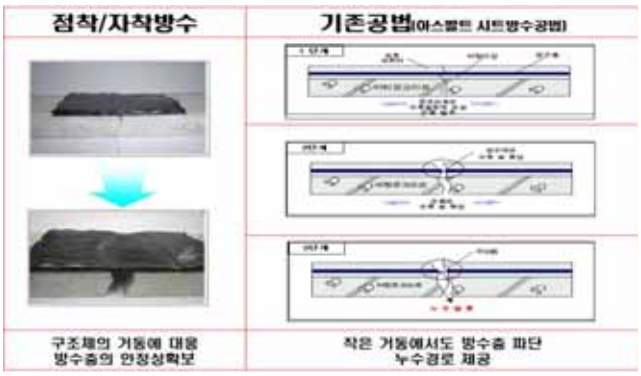
관리중량형 녹화시스템 개념

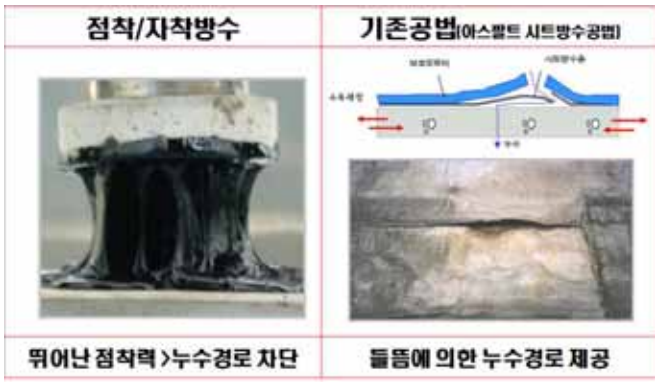


관리중량형 녹화시스템 적용사례

· 이 현장과 같이 지하주차장 상부에 식생, 휴게시설 등 다양한 조경관련시설이 설치되어 있고 수분의 영향을 많이 받는 환경의 경우 점착성을 가지는 방수재의 적용이 필요하다고 판단됨

· 점착성 방수재의 특징은 다음과 같음
–구조물의 진동이나 거동대응성 우수
–점착력이 있으므로 들뜨지 않음
–관통시설, 복잡한 구조물에서도 지수효과 우수 등







2.2 지하 2층 주차장 램프 주변 상부 슬래브 누수현황 및 원인

2.2.1 누수현황

가. 누수부위 및 현황

○ 누수 부위/현황
· 지하 2층 주차장 램프 좌측 상부 슬랩에서 균열/누수 현상 확인
· 누수의 Source인 수분은 외벽 쪽에서 내부방향으로 확산되는 것으로 추정됨
· 현재는 주입 보수재에 의한 지수 및 균열보수 진행중
· 상부에는 음수기, 우수처리 맨홀 등이 위치하고 있으며, 이와 동일한 평면상의 상부 슬랩의 누수와 관련성이 있을 것으로 판단됨



누수 발생 부위





누수/균열 발생 부위



누수 발생 부위



균열/누수 부위(보수공사 진행중)

○ 누수 부위/현황

· 지하 2층 주차장 504동 램프#7 우측 상부 슬랩/보에서 균열/누수 현상 확인

· 누수의 Source인 수분은 외벽 쪽에서 내부방향으로 확산되는 것으로 추정됨

· 현재는 지수 및 균열보수와 도장마감공사가 완료된 상태이나 누수현상이 재발하거나 확산되는 상황임

트랜치에는 많은 수분이 고여 있으며, 붉은 색을 띄고 있음

· 본 지하구조물 외부 및 상부에도 음수기, 우수처리 맨홀 등이 위치하고 있어, 누수요인과 관계되는 요소중 하나일 것으로 추정됨



누수 발생 부위



누수/균열 발생 부위



누수 발생 부위



균열/누수 부위(보수공사 진행중)

나. 누수경로

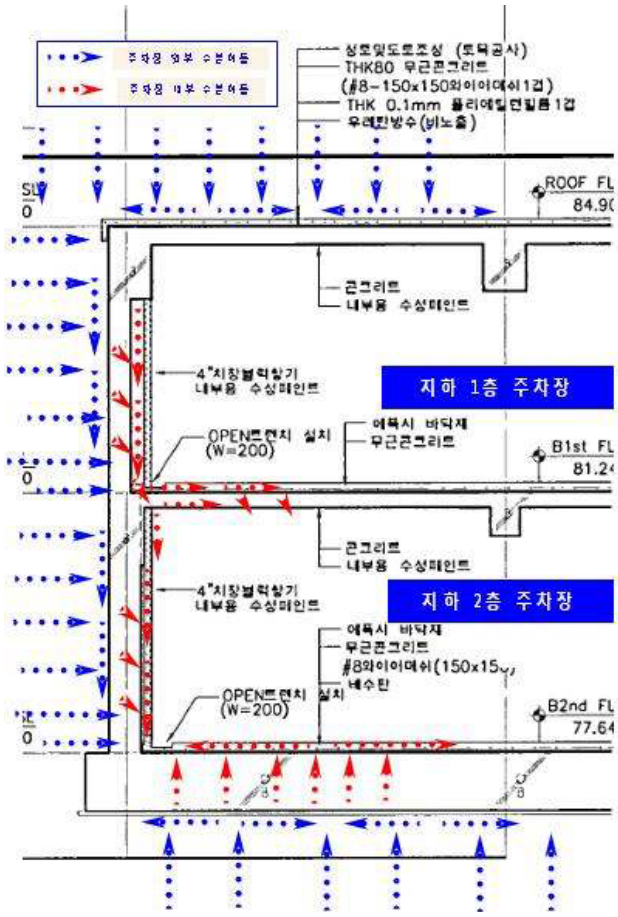
○ 누수 경로

· 누수원인은 지하 1층 주차장 및 인접 외벽으로부터의 수분 유입이라고 판단됨

· 특히 동일 평면상의 지하 1층 주차장도 누수현상이 발생하고 있으므로 공간벽에는 다량의 유도수가 바닥에 고여 있게 되므로 이러한 수분은 층간슬랩을 통하여 유입하게 됨



주차장 상부 배수용 트랜치



지하주차장 외부 및 내부에서의 수분 이동경로



지하 1층 주차장
트랜치 내부 체수상태



주차장 내부 누수상황



지하 2층 주차장
트랜치와 공간벽



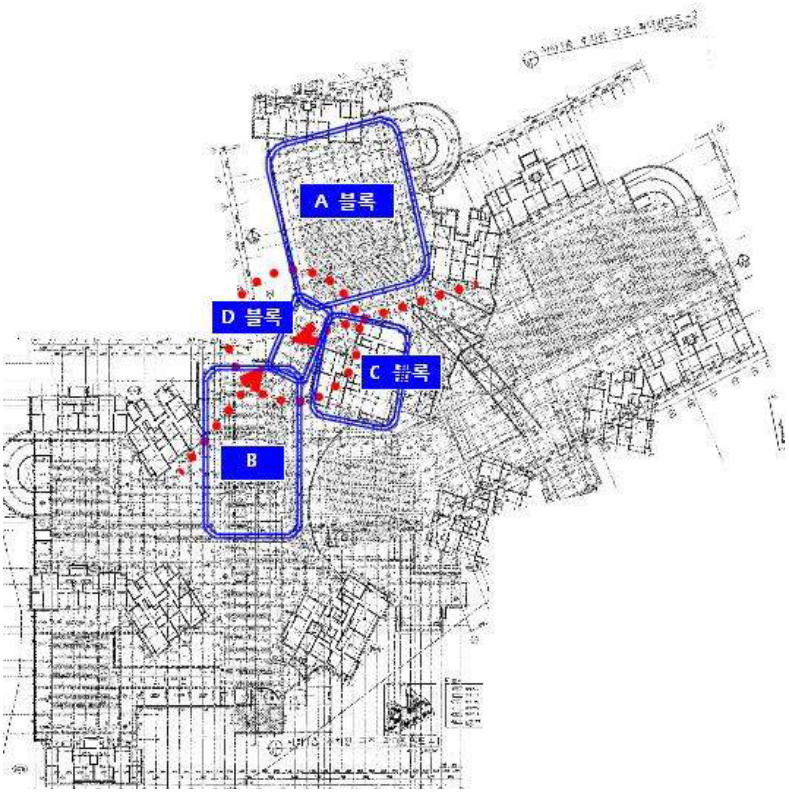
지하 2층 주차장
트랜치 내부 체수상태

2.2.2 누수원인

○ 누수 원인
· 이러한 부위의 누수원인으로는 구조물의 복잡성과도 관련성이 있다고 판단됨
· 아래 그림과 같은 누수부위는 구조적으로 4개의 블록이 정방형이 아닌 기하학적인 형태로 연결되는 부위이므로 슬랩, 보, 기둥, 벽체의 연속성확보가 매우 어려운 특성상 균열이나 누수현상의 발생 가능성이 높아지게 되는 것으로 판단됨 (※ 단 이러한 구조적 특성은 구조물의 안정성이나 사용상의 안전성과는 전혀 관련성이 없는 사항에 해당함)



누수부위의 보/슬랩 연결상태



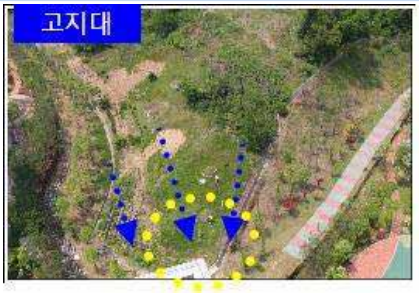
누수 다발구간의 평면상의 구조물 연계 특성

○ 누수 원인

· 누수현상의 원인으로 추정되는 요인으로써 외부의 지형적 조건을 들수 있음

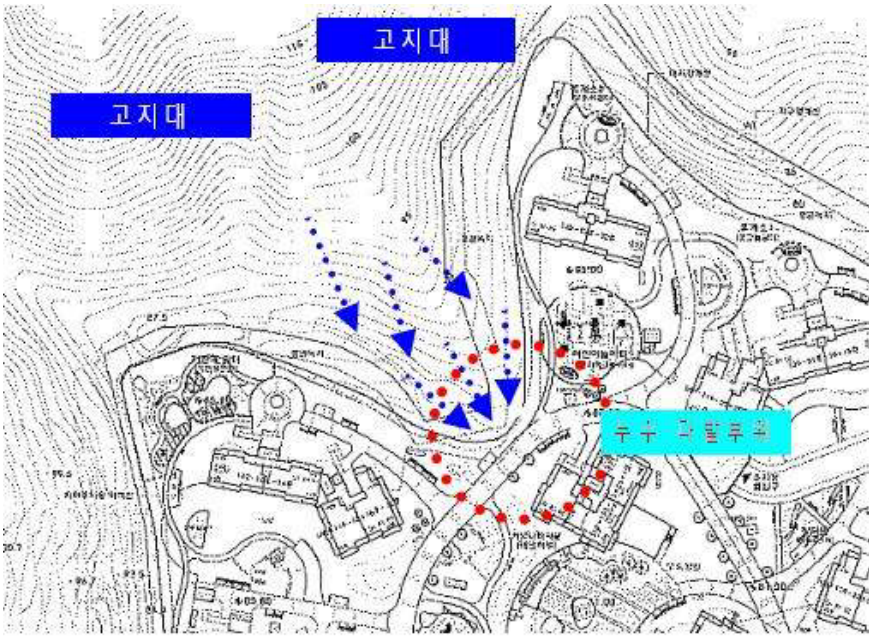
· 즉 그림 및 사진과 같이 누수위치는 단지의 고지대에서 내려오는 우수가 모아지기 쉽운 U자 형태로 되어 있음

· 그러므로 외벽 지반부위에는 누수에 영향을 미치는 지하수 및 지표수의 체류 가능성이 높게 되는 조건이라고 판단됨



누수부위 외벽 주변 상부 상황





단지 계획도에서의 누수 다발 부위 주변 특성

○ 누수 원인

· 이러한 부위의 누수현상을 촉진하는 원인의 또 하나로 추정되는 것으로는 공간벽 내부의 유도배수기능의 감소라고 판단됨

· 그림과 같이 공간벽 내부는 외부로부터 유입된 이물질, 콘크리트에서 발생된 탄산칼슘 고형체 등과 같은 물질이 퇴적되어 공간벽 본래의 기능인 유도배수기능이 떨어지게 됨



누수부위 공간벽 내부 조사









공간벽 내부 상황

2.2.3 보수방안

○ 보수 관련 종합 의견

· 이러한 누수다발구역의 경우 기본적으로 누수원이 되고 있는 주차장 외벽과 상부에서의 지표수 및 지하수의 체수나 유입이 되지 않도록 하는 것이 근본적인 방안이라고 판단됨

· 그러나 이 지하주차장의 경우 설계상으로도 조경과 접해있는 최상부 슬랩(지붕)에만 방수가 적용되어 있고, 외벽은 공간벽 쌓기에 의한 유도배수공법이 적용되고 있는 상황임

· 그러므로 현 상황에서의 가장 효과적인 방안으로는 주차장 내부에서 보수공법을 적용할 수밖에 없는 한계가 있다고 판단됨

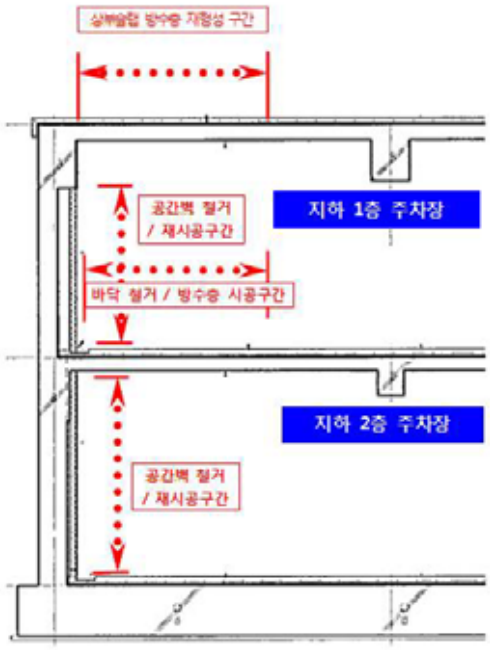
○ 보수 방안

–이 부위에서의 누수현상은 가장심한 상황이라고 판단됨

–특히 주차장 상부슬랩의 균열현상도 매우 심한 편이며, 공간벽에서 유출되고 있는 수분의 색조가 붉은 색을 띄고 있어 공간벽 내부에 대한 정확한 점검도 필요한 상황이라고 판단됨

–이에 따라 다음과 같은 보수방법을 반드시 적용하여야 한다고 판단됨

[1단계 보수] 일정구간에 대한 공간벽 및 바닥슬랩 전면 철거후 재시공



단면상의 보수범위

–적용대상 부위는 그림과 같이 공간벽의 경우는 단면상의 보수범위 및 평면상의 보수범위를 대상으로 하며, 슬랩의 경우는 천정슬랩 및 바닥슬랩 모두 최소 1m에서 최대 1개 스팬 까지의 범위를 대상으로 함

–지하1층 상부슬랩의 보수는 "(A1), 3) 보수방안 및 대책 (b)와 같은 방법을 적용
–지하1층 바닥슬랩의 보수는 대상구간의 보호 콘크리트를 완전히 철거한 후 우레탄계 도막방수재(3㎜)를 시공한 후 보호콘크리트를 재시공. 특히 유도배수용 트랜치의 설치용량을 충분히 확보함
–지하1층 및 2층의 공간벽 부위에 있어서는 공간벽 전면 철거 후, 지하 외벽의 바탕처리(고압수세척)후 균열 및 시공조인트 보수, 바닥 배수구 확보, 지하1층에서 2층으로의 유도배수를 위한 수직 관통구(weep hole)와 배수관 설치, 공간벽 재시공 후 마감
–이때 공간벽에서 누출되고 있는 붉은 색조의 유도수의 원인을 규명할 추가 진단이 필요하다고 판단됨



평면상의 보수범위(지하 1층 상부슬랩)

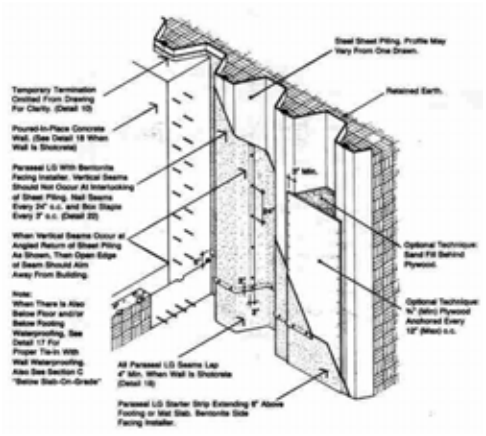


평면상의 보수범위(지하 2층 상부슬랩)

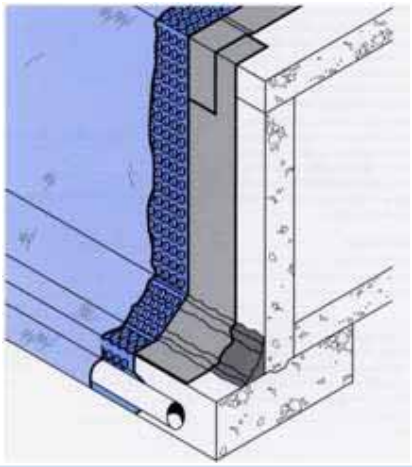
[2 단계 보수] 1단계 이외의 부위 및 1단계에서 방수층 재형성 부위에서 발생한 누수/균열 발생부위에 대한 보수방안
· 상기 구간에 대한 전면보수 이외의 구간에서 발생된 균열/누수균열에 대해서는 지하주차장 내부에서 직접적으로 해당부위에 대한 보수방법을 적용함
· 세부적인 내용은 "(A) 2)누수발생부위에 직접적으로 주입하는 방법" 에서 제시된 방안과 동일함

2.2.4 설계 개선방안

[설계 개선방안]
· 이러한 누수다발구역의 복잡한 조건을 고려하여 설계단계에서부터 외벽방수공법과 유도배수공법을 복합적으로 적용한다면 완전한 방수효과 확보는 가능함
· 합벽인 경우, 다양한 구축공법을 적용할 수 있는데, 예를 들어 시트파일 경우의 외방수 방안을 제안하면 그림과 같음(방수층 선시공 공법)
· 합벽이 아닌 open-cut 공법으로 지하외벽을 시공할 경우에는 방수층은 지하외벽에 후시공 공법으로 적용이 가능하므로 아래 그림과 같은 공법이 이상적인 방법이라고 판단됨
· 특히 이 현장과 같이 주차장 외부에 다량의 수분이 체수하면서 내부로 유입 가능성이 높은 여건에서는 방수층 시공, 배수층 설치 및 유공관 배수공법(일정수위 유지 시스템)까지 적용하면 완전한 방수효과를 확보 할 수 있다고 판단됨
· 단 이상과 같이 합벽을 포함한 외방수공법의 적용에 있어서는 지하구조물 공종(골조 및 토공사)간의 조정이 필요하며, 추가공사비 및 공기가 소요되므로 기획 및 설계단계에서의 예산 확보 등의 조치가 선행되어야 함

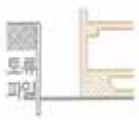
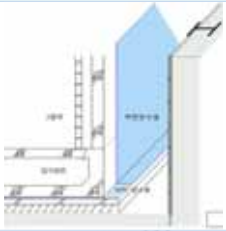
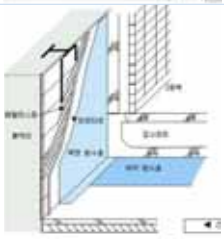


지하주차장 외벽 합벽구간
외방수(선시공 공법) 설계방안



지하주차장 외벽 Open-cut 공법
외방수(후시공 공법) 설계방안

□ 지하 내방수 및 외방수 최적설계 방안

공 법			건축물 외주의 여유공간 확보 가능성			적용 방수공법
			오픈컷	흙막이	합벽	
대분류	방수층 구성	적용 방수 공법				
외방수		후공법	적용가능	적용가능	–	자착시트·점착 도막방수
		선공법	–	–	적용가능	뿜칠공법(초속경/고무AS계)
내방수		유도 배수	–	–	적용가능 (합벽과 동시적용)	공간벽쌓기 (도막방수보다 결함부 보수가 더중요)

2.3 지하 1층 주차장 바닥(층간 슬래브) 누수 현황 및 원인

2.3.1 누수현황

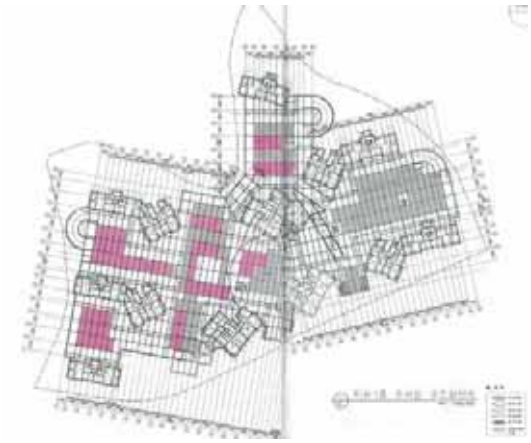
가. 누수현황

· 2층으로 구성된 복층 지하주차장의 경우 지하 1층 주차장의 바닥슬랩(2층 주차장 상부슬랩)의 균열부위 또는 덱크슬랩 조인트 부위를 통하여 누수발생
· 이러한 현상은 지하주차장의 균열이 발생한 거의 대부분의 부위, 또는 덱크슬랩 대부분의 구간에서 나타나고 있음

· 균열이 발생한 부위의 일부구간은 균열보수가 되어 있으며, 이러한 부위에서는 누수현상이 발생하지 않는 것으로 확인
· 현재 적용되고 있는 균열 보수공법은 효과가 있는 공법이라고 판단되나, 보다 장기적인 관찰에 의해서 내구성에 대한 검토도 필요하다고 판단됨



누수 발생 상황



지하 1층 주차장 바닥 슬랩 덱크구간 누수발생부위 Check-Sheet

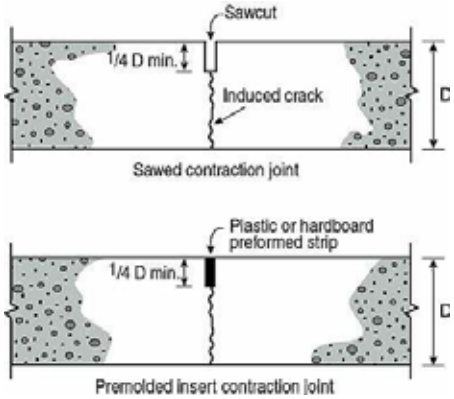
나. 누수경로

· 누수경로는 지하1층 주차장에서 발생된
(1)수분이 주차장 바닥 누름 콘크리트의 수축성 균열 유발줄눈(Contraction control Joints) 또는
(2)트랜치를 통하여 바닥슬랩의 상부에서 수평으로 이동

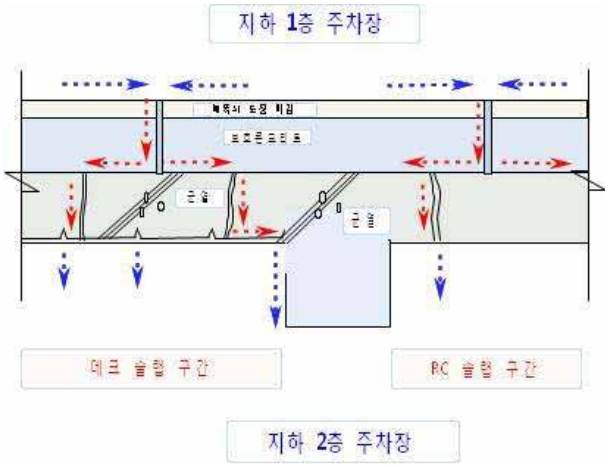
· 수평 이동하던 수분은 바닥슬랩의 균열부위를 통하여 수직으로 이동하여 지하 2층 주차장 내부로 누출, 누수현상 발생
· 특히 데크플레이트 구간에서는 데크플레이트의 조인트나 보 경계면으로 누수가 발생



주차장 바닥 균열유발 줄눈



균열유발 줄눈의 원리(외국 자료)



균열유발 줄눈을 통한 누수 경로

2.3.2 누수원인

· 지하주차장 외부에서 발생된 눈이나 결빙물질이 자동차에 의해서 지하주차장 내부로 반입

· 이러한 물질은 지하주차장내부의 상대적으로 높은 온도에 의해서 융해

· 외부에서 지하주차장으로 반입된 눈의 양이 비교적 많은 편이라고 판단되며 이러한 물질이 녹으면서 지속적으로 지하 2층 주차장으로 누수를 발생시키는 요인이 됨

· 외부에서 유입된 눈이나 결빙된 고체가 녹아서 생긴 수분이 주차장 바닥 및 트렌치에 고여 있는 상황



자동차에 의해서 반입된 눈



반입된 눈이 쌓여서 녹고 있는 상황



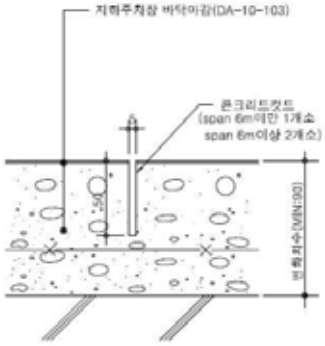
눈이 녹아 생긴 수분이 트랜치에 유입, 체수

2.3.3 보수 및 설계 개선방안

· 이상과 같이 빙설이 융해되어 지하주차장 상부에서 하부로 누출되는 문제에 대한 근본적인 해결방안은 신축공사 단계에서부터 전면적인 방수(Membrane Waterproof)층의 적용(비노출형 도막방수)이라고 판단됨
· 또한 균열유발줄눈 및 트랜치 방수에 대한 처리가 설계에 미반영 되어 있어 시공 중이라면 설계변경 등의 감안이 필요한 사안임
· 현 단계는 시공이 완료되어 사용 중인 상황이므로 사용성을 고려한 개념의 조치방안이 강구되어야 함
· 다양한 보수방안 중 그림과 같이 바닥슬랩의 줄눈에 실링재를 시공하는 방안이 가장 적절하다고 판단됨
· 또한 트랜치 부위에는 폴리머계 도막방수 처리가 필요함
· 이러한 시공방법에 대한 효과를 검증한 결과 누수방지기능을 확보 할 수 있는 방안이라고 판단됨. 단 지속적인 모니터링에 의한 내구성 확보에 대한 검증이 필요함



줄눈 충진용 실링재 시공



줄눈 부위 설계표준상세도

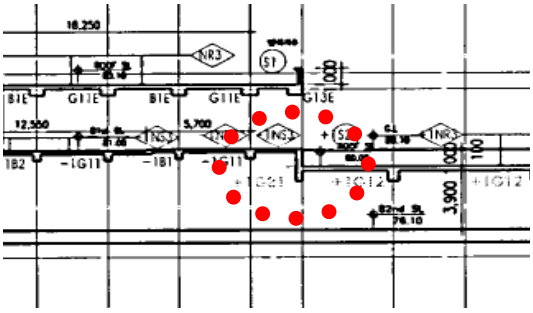


줄눈 충진용 실링재 시공 개념도

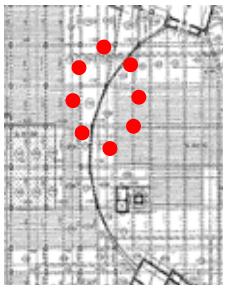
2.4 지하 2층 주차장 단차 슬래브 주변 누수현황

2.4.1 누수현황

○ 누수 부위/현황
· 지하 2층 주차장 스포츠센터 앞 하부의 그림과 같은 단차 슬랩에서 균열/누수 현상 확인
· 이러한 현상은 보의 중간부위에서 대부분의 구간에서 연속적으로 나타나고 있음
· 상부에는 스포츠센터 앞 광장으로써 소형 연못(pond)이 설치되어 있음(누수요인 중 하나로 추정)



누수 발생 부위(단면도)



누수 발생 부위(구조도)



누수발생부위 상부
(단지 배치도)



상부 전경



누수 상황



누수/균열 발생 부위



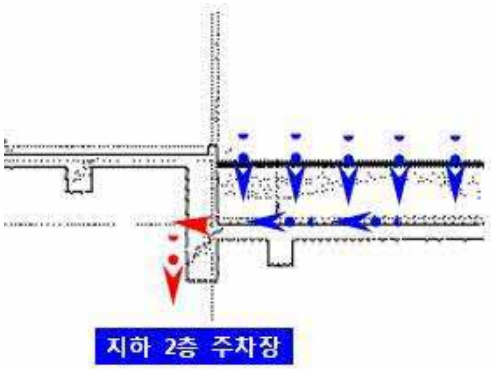
누수/균열 발생 부위

2.4.2 누수경로 및 보수방안

○ 누수경로

· 단차 슬랩에서 누수원인은 그림과 같이 2개의 슬랩을 연결하는 보의 중간 지점에서 콘크리트타설시 이어치기에 의한 조인트(Cold Joint 또는 Delay Joint)발생에 있다고 판단됨.

· 누수경로는 그림에서와 같이 피트니스센터 앞에 위치한 오픈광장에서 유입된 수분이 슬랩상부의 손상된 방수층을 통과하여 슬랩-방수층 계면에서 수평으로 이동하여 보의 조인트를 통과하여 내부로 유입되고 있음

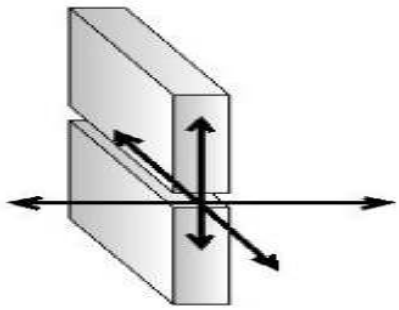


단차 슬랩부위 누수경로

○ 보수방안

· 이러한 시공조인트는 연속적인 특성과 함께 그림과 같이 3차원적인 거동을 하게 되므로 보다 근본적인 대책이 요구됨

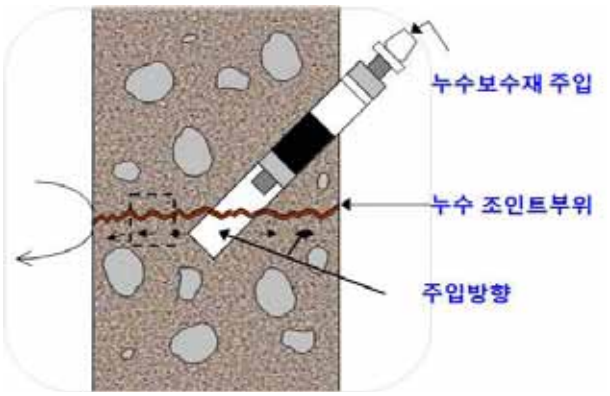
· 현 상황에서는 지하 2층 주차장 내부에서 지수보수방식으로 보수하는 방법이 가장 효과적이라고 판단됨



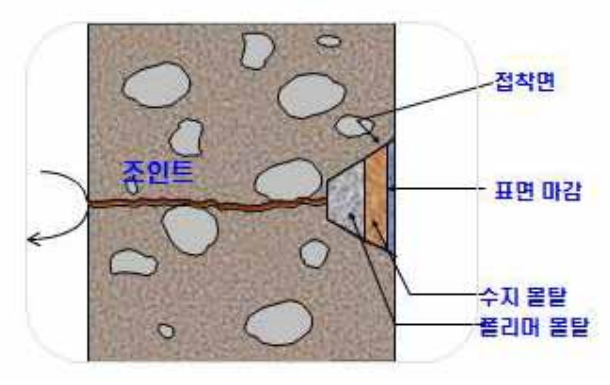
시공조인트 부위의 3차원 거동 개념도

○ 누수보수 공법
· 단차 슬랩이라는 부위의 보(Beam)이라는 부재의 중요성, 누수특성 등을 고려하여누수보수공법은 다음과 같이 2단계를 모두 적용하여야 한다고 판단됨

(1)단계 : 주입공법 적용
· 그림과 같이 대각선으로 주입용 페커를 설치하여 누수보수재(아크릴수지/고강도 우레탄)를 주입하여 지수 조치
· 주입된 누수보수재가 완전히 주입이 된 후 조인트 표면으로 누출되는 는 안정화를 위한 현상이 발생하게 되는데, 누출 현상이 완전히 정지 할때가지 대기
(2)단계 : 표면 보수공법 적용
· 그림과 같이 주입공법이 적용된 부위에 V 또는 U 커팅을 한후 탄성수지몰탈과 폴리머몰탈을 충진하고 표면 마감을 실시



시공조인트 부위 누수보수 1단계 (주입공업 적용)



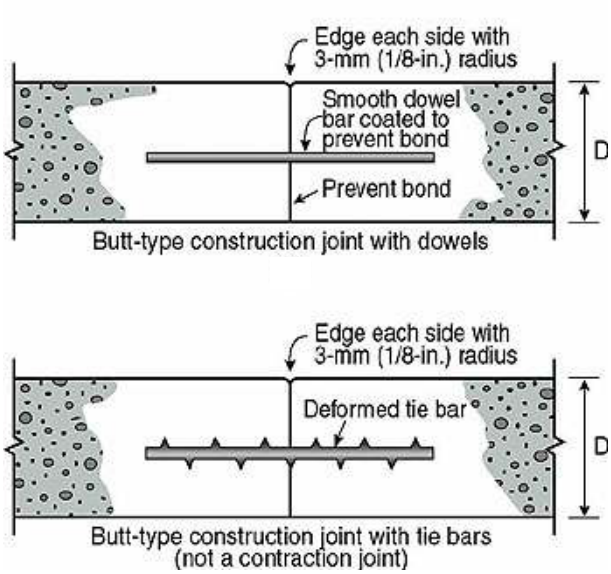
시공조인트 부위 누수보수 2단계 (V커팅 실링, 마감)

2.4.3 설계 개선방안

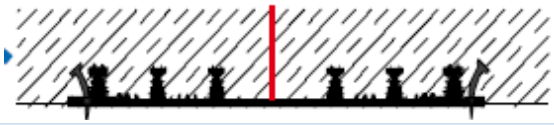
○ 시공조인트 부위에 대한 설계 개선방안은 다음과 같음

· 시공조인트 부위에 그림과 같이 활성(팽창성) 지수판 설치
· 설치방식에 있어서는 매입공법과 노출공법이 있음

· 이 구조물과 같은 환경에서는 단차가 발생하는 보가 외부로 노출되어 있으므로 노출공법의 적용이 효과적이라고 판단됨



매입 공법 : 시공조인트 부위에 요철형 또는 팽창성 지수판 설치



노출공법 : 시공조인트 부위에 요철형 지수판 설치

2.5 동 PIT 누수현황

2.5.1 누수현황

· 대부분의 PIT에서 누수현상이 발생
· 누수현상은 그림과 같이 바닥슬랩의 결함부를 통하여 발생되고 있으며, 트랜치에 의한 집수정으로의 배수도 원활하지 않은 관계로 체수가 심한 상황임
· PIT의 경우 미로형태의 구조로 인하여 발생된 수분을 원활하게 처리하기 어려운 문제점을 가지고 있는 부위가 있음.
· 이러한 체수현상으로 인하여 지반에 접한 외벽이나 슬랩의 경우 결로현상이 동반되고 있음
· 특히 1층 PIT에서 발생된 수분이 인접 지하2층에 영향을 미치는 것으로 추정됨



2.5.2 보수방안 및 대책

· 318동 PIT의 누수현상에 대한 보수방안은 기본적으로 원활한 유도배수 처리에 있다고 판단됨

· PIT 각 실에서 발생하는 수분이 체수되지 않고 원활하게 집수정으로 배수가 될 수 있도록 조치를 취함

· 이때 기존의 오픈 트랜치가 제 기능을 하지 못할 경우는 오픈 트랜치 내부에 더 깊은 소형 오픈 트랜치를 설치

· 특히 격리되어 유도배수가 곤란한 트랜치의 경우는 가능한 최단거리 인접 PIT 벽체 최하단부를 천공하여 배수하도록 함

· PIT바닥에 발생한 균열부위의 보수공법은 직접 균열보수공법을 적용할 필요가 있음

· 적정한 균열 보수용 재료는 수계 또는 무용제계 겔타입 아크릴 또는 에폭시라고 판단됨



소형 오픈 트랜치 설치 사례



벽체 천공 유도수 처리 유사사례

2.6 층간 데크 슬래브 광범위 누수

2.6.1 누수현황

· 지하2층 주차장 상부슬랩, 또는 지하1층 주차장 바닥슬랩 경우 여러 개소에서 덱크슬랩 넓은 부위에서 누수현상이 매우 심하게 발생하고 있음
· 이러한 원인에는 일단 내부에 수분이 유입되면 보에 의해서 이루어진 덱크 전 구간으로 수분이 넓게 확산되는 특성이 있기 때문임
· 특히 그림과 같이 506-508동 사이, 램프 진입 후 우측에 위치한 덱크의 경우 누수현상이 심한 것으로 확인(원인으로는 인접하고 있는 램프의 영향이라고 판단됨)
· 덱크-슬랩 계면에 배면주입에 의한 누수보수공법을 적용하였으나 효과가 없는 것으로 확인되었음(그림과 같이 데크플레이트에는 조인트와 리브가 있고 마찰계수가 높으므로 보수재의 균일한 확산 곤란)



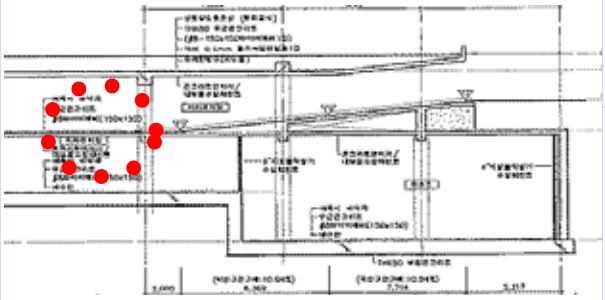
덱크 누수부위



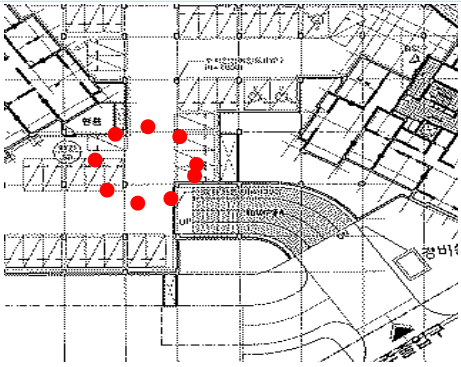
덱크-슬랩 배면주입공법 적용 상황



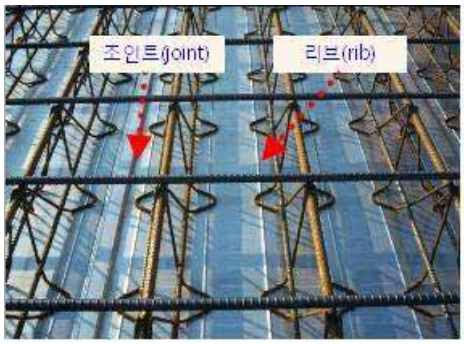
덱크 누수부위



덱크-슬랩 배면주입 공법 적용부위(단면도)



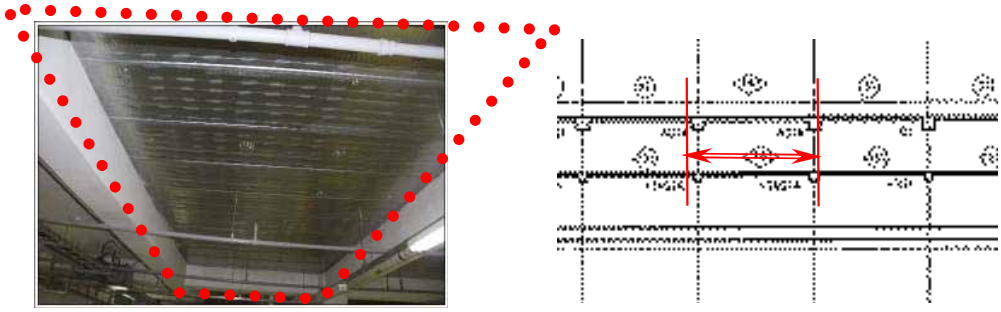
덱크-슬랩 배면주입 공법 적용부위(평면도)



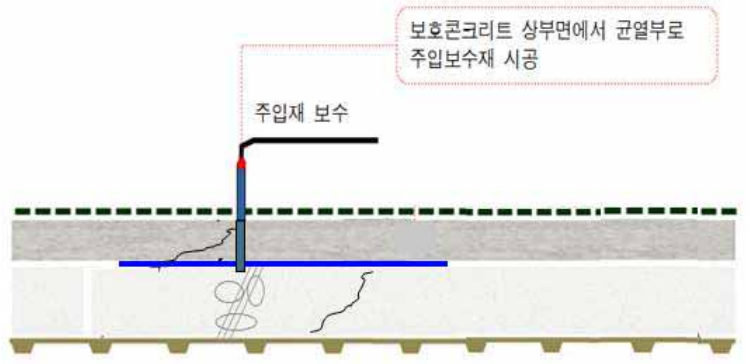
덱크 플레이트 디테일

2.6.2 보수방안

· 이상과 같이 다양한 부위에서, 층간 덱크슬랩의 일부분이 아닌 넓은 구간에서 누수현상이 발생하는 경우에 있어서는 덱크 플레이트의 특성상, 하부에서 상부 방향으로의 부분적인 주입에 의한 보수방법은 효과가 없다고 판단됨
· 따라서 덱크에서의 누수현상을 근본적으로 방지하기 위해서는 보에 의해서 형성된 덱크블록을 하나의 단위공사범위로 설정하여 광범위하게 누수보수공법을 적용할 필요가 있다고 판단됨(그림 참조)
· 최적의 방안으로는 그림과 같이 슬랩 상부에서 누름콘크리트를 통하여 보수재를 주입하여 누름콘크리트–층간슬랩 사이에 방수층을 재형성하는 공법이라고 판단됨
· 방수층 재형성공법에 사용할 수 있는 재료는 아크릴 수지가 가장 적절하다고 판단됨
· 특히 이러한 보수에 있어서는 누름 콘크리트의 컷팅 줄눈과 균열부위에 대한 방수재(우레탄계 실링재)충진도 동시에 실행되어야 함



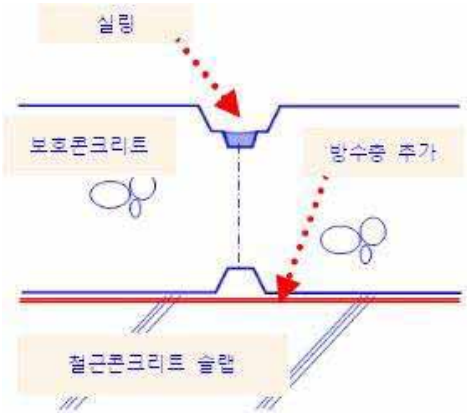
덱크슬랩 단위블록구간 전면보수범위



덱크슬랩 단위블록구간 전면보수를 위한 방수층 재형성 공법 개념도

2.6.3 설계 개선방안

· 데크플레이트슬랩 누수문제의 근본적인 해결방안은 RC조 슬랩에서 지하주차장 상부에서 하부로 누출되는 문제와 같이 신축공사 단계에서부터 전면적인 방수(Membrane Waterproof)층의 적용(비노출형 도막방수)이라고 판단됨
· 또한 균열유발줄눈에 대한 실링과 트랜치 방수에 대한 처리가 필요함(그림 참조)
· 이러한 조치는 설계에 미반영 되어 있어 시공 중이라면 설계변경 등의 감안이 필요한 사안임
· 단 이상과 같이 신축줄눈의 실링, 층간 슬랩의 신설시 방수적용에 있어서는 추가공사비가 소요되므로 기획 및 설계단계에서의 예산 확보나 반영 등의 조치가 선행되어야 함
· 특히 덱크플레이트 공법의 효과나 장점으로 인하여 사용량이 증가하고 있으나, 철골구조에서부터 적용된 공법이 완벽한 개선이나 보완과 같은 대책이 없는 상태로 RC조에 적용되고 있기 때문에 누수문제가 발생하는 것으로 판단됨
· 그러므로 RC 보(Beam)와의 연속성, 덱크플레이트 소재, 재료상의 품질개선(부식, 변형, 조인트 연속성, 용접부 변질방지 등), 방수상의 대책(덱크-콘크리트 일체화, 계면/조인트 발생 최소화, 지수처리)등에 관한 지속적인 연구와 개선이 필요할 것으로 판단됨

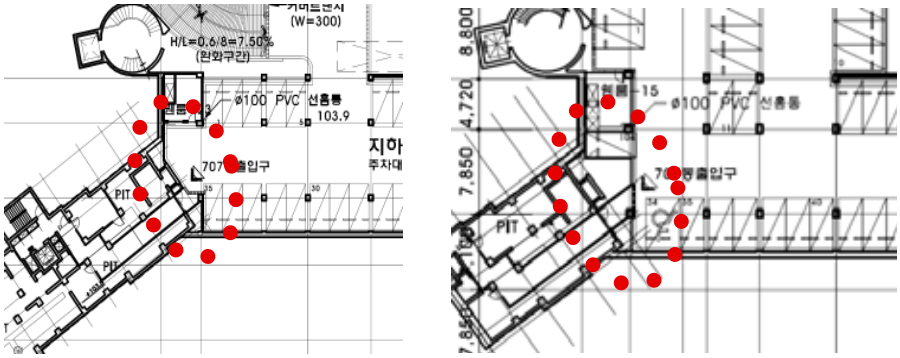


층간슬랩 신축유발줄눈 부위 실링 및 전면방수 적용방안

2.7 지하주차장 E/J 조인트 누수

2.7.1 누수현황

[누수현황 및 원인]
· 세대 연결복도와 지하주차장 연결부위에서 누수현상 발생(그림 참조)
· 현재는 누수부위에 대하여 유도배수용 수평홈통(gutter)을 이용하여 펜룸 옆 공간을 통하여 하부로 유도하고 있으나 조인트 및 유도홈통 주변부위를 통하여 누수가 되고 있음
· 특히 유도수가 누출되는 지하주차장 측 벽체부위에는 변색이나 도장 마감재 박리현상 발생



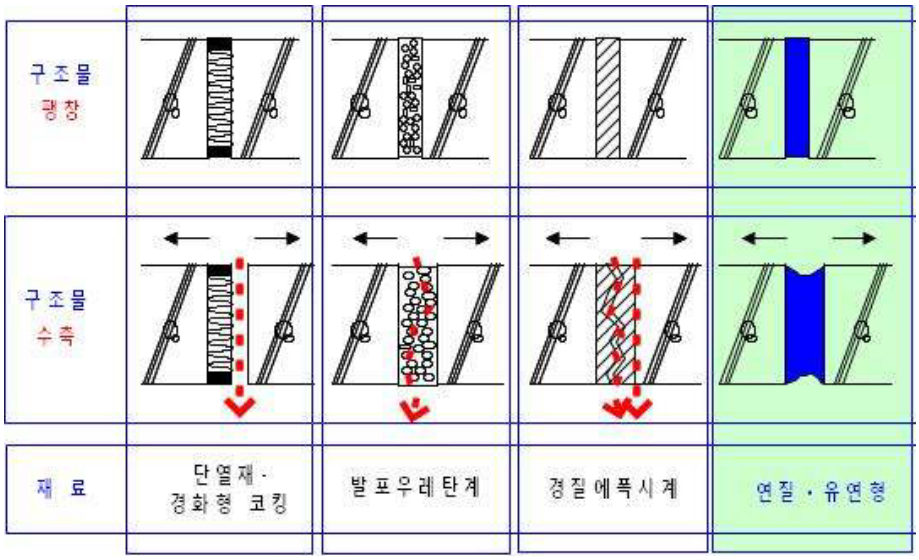
세대동 지하1층 및 2층 주차장 누수발생 E/J 구간



E/J 구간 누수 상황

2.7.2 보수방안

· 지하주차장 상부의 E/J 구간의 누수에 대한 보수는 유도배수와 직접적 해당부위 지수, 2가지를 선택적 또는 복합적으로 적용하는 방법이 일반적으로 적용되고 있음
· E/J부위를 직접으로 지수를 하는 방법에 있어서는 누수가 되고 있는 부위에 대하여 방수재를 주입하거나 충진하는 방법임
· 특히 E/J부위는 거동이 심하므로 거동대응성이나 유연성, 접착성이 우수한 재료의 선정이 조인트의 방수성능을 확보하는 관건이 됨
· 아래 그림과 같이 연질/유연형 재료가 가장 적절하다고 판단됨



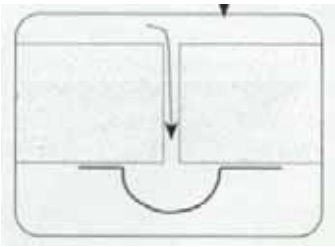
E/J 부위 최적 방수재 개념도

2.7.3 설계 개선방안

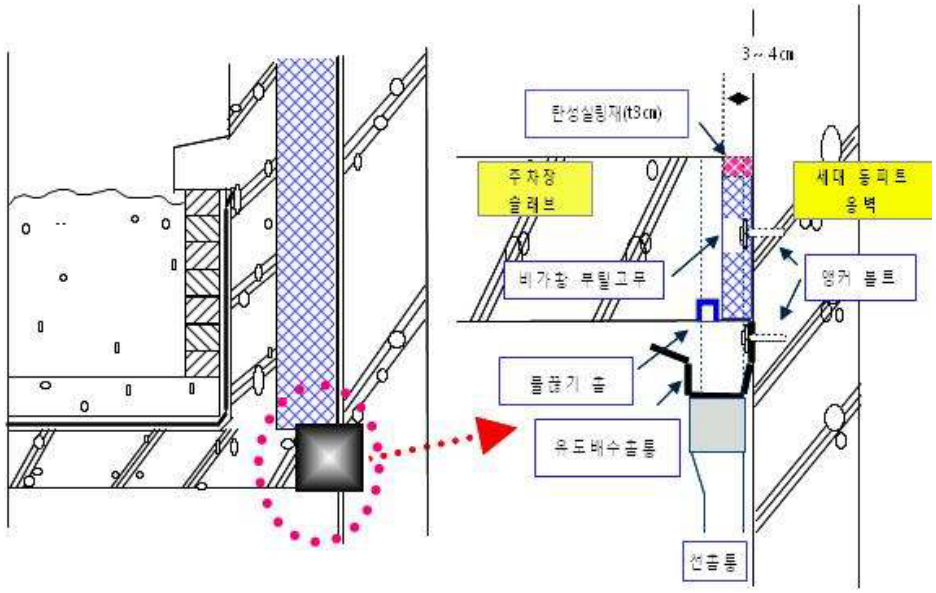
· 현 상황에서는 E/J부위에 유도배수용 홈통이 설치되어 있으므로 이러한 점을 활용하고 보완하는 방법이 더욱 효과적이라고 판단됨
· 단 현상황에서는 유도배수용 홈통에서 수분이 유출되는 상황이므로 홈통주변에 대한 실링 지수, 홈통 물흐름 물매 확보와 같은 부분적인 보완이나 교체 등의 조치가 효과적인 보수방안이라고 판단됨

[설계 개선방안]

· 누수가능성이 높은 구조물인 경우는 E/J구간의 완벽한 방수를 위하여 신축단계에서부터 그림과 같이 4단계의 조치(탄성실링, 부틸고무충전, 물끊기 홈, 유도배수홈통 설치)가 필요함



E/J 구간 유도배수 개념도



E/J 구간 지수 및 유도배수 디테일 (신축공사시 설계 개선방안)

2.8 지하주차장 층간 슬래브 누수 특별 사례

2.8.1 누수상황 개요

[표 4-1] 지하주차장 누수관련 현황

항목	바닥	외벽
누수위치 /부위	-지하2층 주차장 B02~B08×A13A~ A17B에서 누수 -지하2층 상부슬랩 단부에서 누수	-벽체 배수판 시공 완료 -배수판 후면은 결로 및 자연배수
누수정도	-단부에서 누수가 다소 발생함 -수압은 느껴지지 않을 정도임 -수량은 5ℓ /시간 정도로 추정되며, 점차 감소 추세임	-외벽과 벽체 배수판 사이에 결로가 발생하여 결로수가 흘러내리고 있으며, 일부 몇 개소 점상의 누수 있음 -누수량은 소량으로 판단
누수원인	-되메우기 공사후 우수유입량 증가에 의해 배수판 하부로 배수되게 되어 있는 우수가 수위 상승으로 지하 2층으로 배출	-되메우기 공사후 우수유입에 의한 지하 수위 상승 -이어치기부, E/J 부위에서 발생 가능성
기타	-바닥누수부위에 부분적으로 유도배수용 홀을 천공하여 누수수를 유도처리	-벽체 배수판 후면으로 수분 유출(설계)
조치사항	-바닥슬랩의 유도배수가 잘 될 수 있도록 조치	-벽체 배수판의 누수/결로수는 벽체 배수판으로 자연 유도

2.8.2 지하수 현황

가. 지하수위 조사결과[7)]

- 본 현장에 구조물 공사전 지반조사에 의해서 지하수위 측정
- 공내지하수위는 E.L 46.89 ~ 62.41m로 조사됨
- 참고로 표고기준으로는 E.L 49.53 ~ 67.71m로 조사됨
- 조사부지의 지하수위는 대부분 구조물의 계획고(FL)보다 낮게 분포하므로 시공당시에는 지하수에 의한 영향은 없었던 것으로 판단됨

7) 지반조사보고서 2008. 3

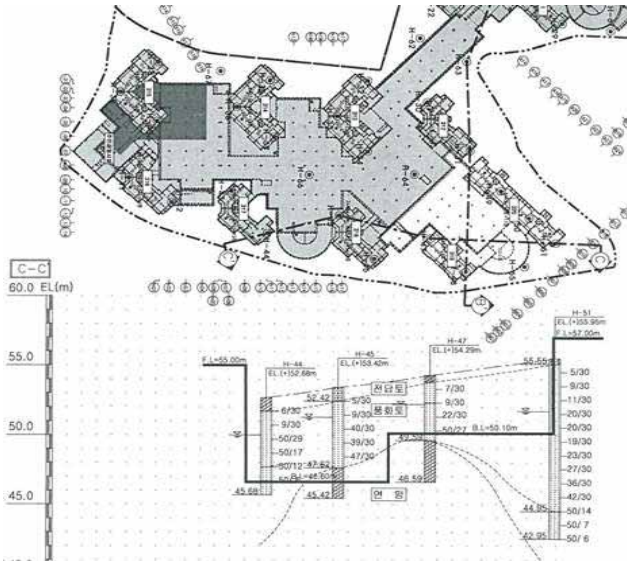
[표 4-2] 지반조사에서 측정된 공내수위

공 번	표 고	지하수위		공 번	표 고	지하수위	
	(EL, m)	EL, m	GI. -m		(EL, m)	EL, m	GI. -m
H-1	50.46	43.51	0.95	H-41	49.83	47.83	2.00
H-2	43.53	48.23	1.30	H-42	50.73	48.93	1.80
H-3	50.04	48.88	1.16	H-43	52.41	48.43	3.98
H-4	51.81	51.81	0.00	H-44	52.68	49.98	2.70
H-5	51.90	48.80	3.10	H-45	53.42	51.26	2.16
H-6	52.70	49.72	2.98	H-46	55.11	52.11	3.00
H-7	55.98	53.04	2.94	H-47	54.29	52.19	2.10
H-8	55.67	51.07	4.60	H-48	56.47	52.27	4.20
H-9	55.76	53.47	2.29	H-49	54.68	52.11	2.57
H-10	63.14	58.56	4.58	H-50	55.60	51.70	3.90
H-11	63.24	56.86	6.38	H-51	55.95	52.15	3.80
H-12	62.18	56.01	6.17	H-52	60.21	55.04	5.17
H-13	61.19	55.62	5.57	H-53	60.91	55.36	5.55
H-14	57.66	53.08	4.58	H-54	53.61	51.23	2.38
H-15	56.38	51.68	4.70	H-55	53.61	52.67	0.94
H-16	54.96	50.98	3.98	H-56	50.45	47.85	2.60
H-17	55.60	53.80	1.80	H-57	51.63	50.73	0.90
H-18	52.34	51.32	1.02	H-58	53.79	51.39	2.40
H-19	51.95	50.65	1.30	H-59	59.13	52.95	6.18
H-20	52.42	51.37	1.05	H-60	58.20	52.32	5.88
H-21	54.46	49.76	4.70	H-61	59.57	55.27	4.30
H-22	54.92	51.40	3.52	H-62	55.92	51.22	4.70
H-23	59.18	54.58	4.60	H-63	56.26	51.56	4.70
H-24	58.80	53.90	4.90	H-64	53.21	51.66	1.55
H-25	58.46	54.63	3.83	H-65	56.43	52.53	3.90
H-26	60.99	55.79	5.20	H-66	52.56	50.48	2.08
H-27	61.62	55.82	5.80	H-67	50.78	48.78	2.00
H-28	56.65	53.35	3.30	H-68	49.57	48.25	1.32
H-29	58.44	5374	4.70	H-69	49.37	47.97	1.40
H-30	53.20	51.75	1.45	C-1	50.03	48.91	1.12
H-31	53.34	51.98	1.36	C-2	63.77	56.27	7.50
H-32	53.07	51.23	1.84	C-3	63.57	58.67	4.90
H-33	52.90	51.40	1.50	C-4	66.96	61.81	5.15
H-34	52.91	51.77	1.14	C-5	67.71	62.41	5.30
H-35	51.26	48.73	2.53				
H-36	50.55	48.37	2.18				
H-37	51.81	49.31	2.50				
H-38	49.72	47.82	1.90				
H-39	49.77	46.89	2.88				
H-40	49.98	47.68	2.30				

나. 기초설계자료 검토결과[8)]

- 본 현장의 기초설계자료에 대한 분석결과에 따르면 지하주차장의 대부분의

부위의 지하수위는 FL(EL 55.5) 하부에 위치하고 있다.



[그림 4-1] 지하주차장 지반의 지하수 현황



319동-320동 주차장 터파기 후



319동 토공사



320동 터파기 후



단차 주차장

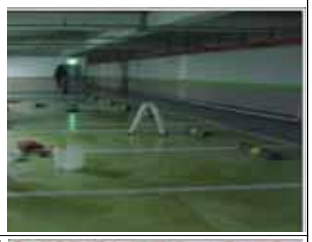
[그림 4-2] 지하주차장 지반공사 상황 (지하수 용출현상 없음)

8) 기초설계자료 2010.01

2.8.3 누수현황

가. 진단 및 조사범위

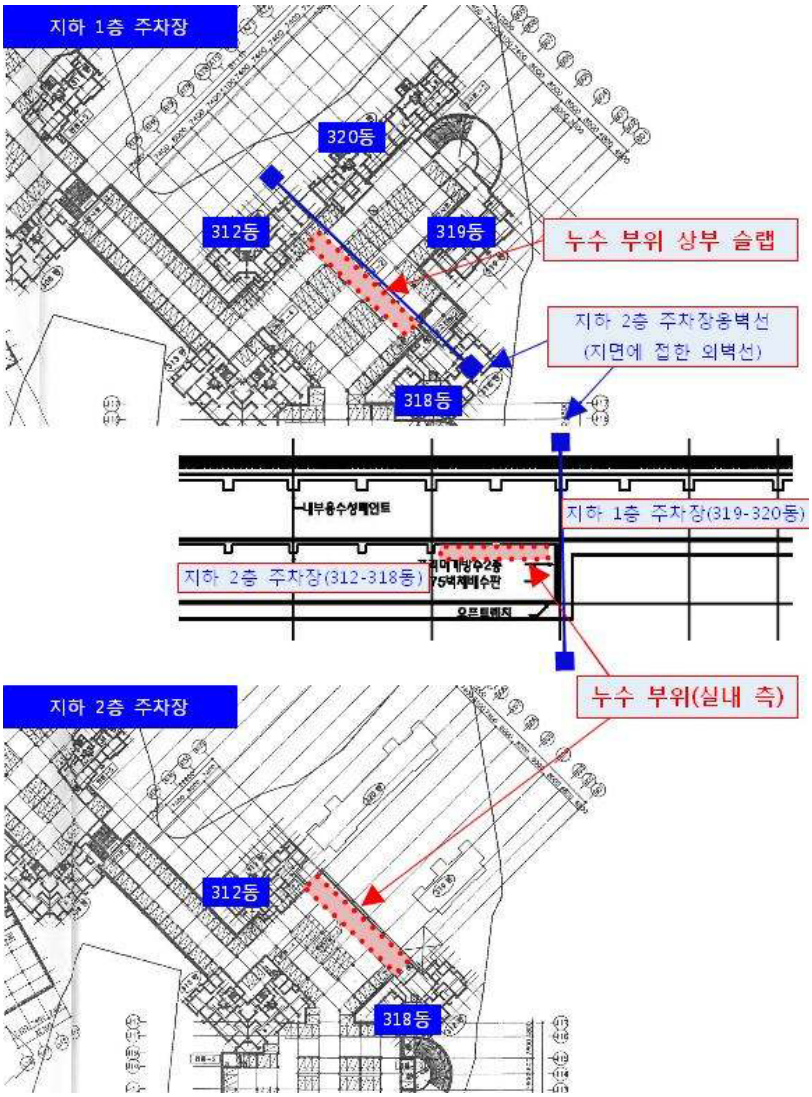
[표 4-3] 진단대상 및 범위

지하1층 주차장		 
지하2층 주차장		 
주차장 상부	 	

나. 누수관련 상황

- 자세한 누수부위는 지하 1층 주차장과 인접부위의 데크플레이트(Deck-Plate) 슬랩 주변임

- 특히 데크플레이트 슬랩의 누수발생부위는 매우 광범위한 특징이 있음
- 누수수가 유출되고 있는 부위는 데크플레이트 조인트, 데크플레이트와 보 경계면으로 판단됨



[그림 4-3] 누수현상 발생부위

- 누수현상의 정도를 파악하기 위하여 누수가 발생하고 있는 지하2층 데크플레이트 슬랩과 동피트층의 집수정, 지하1층 바닥 유도배수용 트렌치에 대한 조사를 통하여 유도배수량 및 누수량에 대한 추산결과 총 수량은 시간당 5ℓ 이하로서 많지 않은 수량이라고 판단됨



(a) 지하 1층 주차장 유도배수용 트렌치 부위 누수량 조사

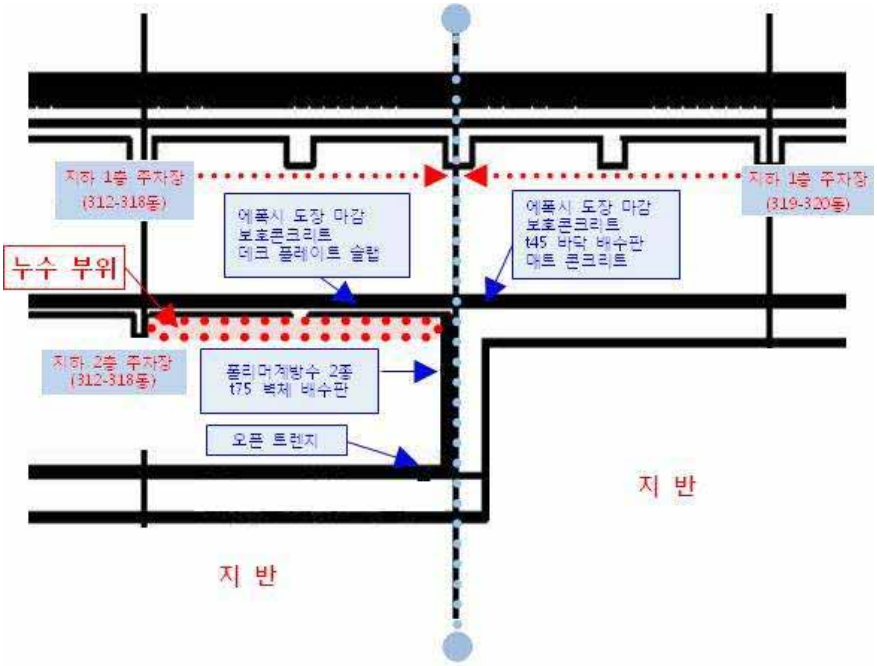


(b) 지하 2층 주차장 데트플레이트 및 집수정 부위 누수량 조사

[그림 4-4] 유도배수량 및 누수량 조사상황

다. 방수공법 적용 상황

- 누수부위를 중심으로 조사된 방수공법 적용현황은 다음과 같음
- 누수가 발생하는 부위인 지하 2층 주차장 외벽의 경우는 폴리머계 방수와 통상적으로 지하주차장에 사용되고 있는 벽체 배수판에 의한 유도배수공법이 적용되어 있음
- 지하2층 주차장 상부슬랩(지하1층 주차장 바닥슬랩)의 경우는 지면에 접해 있지 않은 바닥이므로 바닥슬랩 상부에 보호콘크리트와 에폭시도장으로 마감이 되어 있음.
- 누수현상이 나타나고 있는 지하 2층 주차장과 인접되어 있는 지하1층 주차장의 경우는 매트콘크리트 상부에 바닥 배수판이 설치되어 지면으로부터의 누수수를 유도배수처리하는 방수공법이 적용되어 있음



[그림 4-5] 누수발생 부위에 적용된 방수공법

라. 누수원인

㉠ 지리적 특성

- 단지 입지여건의 경우 북쪽의 고지대에서 남쪽으로 향하는 경사지형에 위치하고 있는 특성상 지하수 및 표층수의 영향을 받을 수 있는 여건임



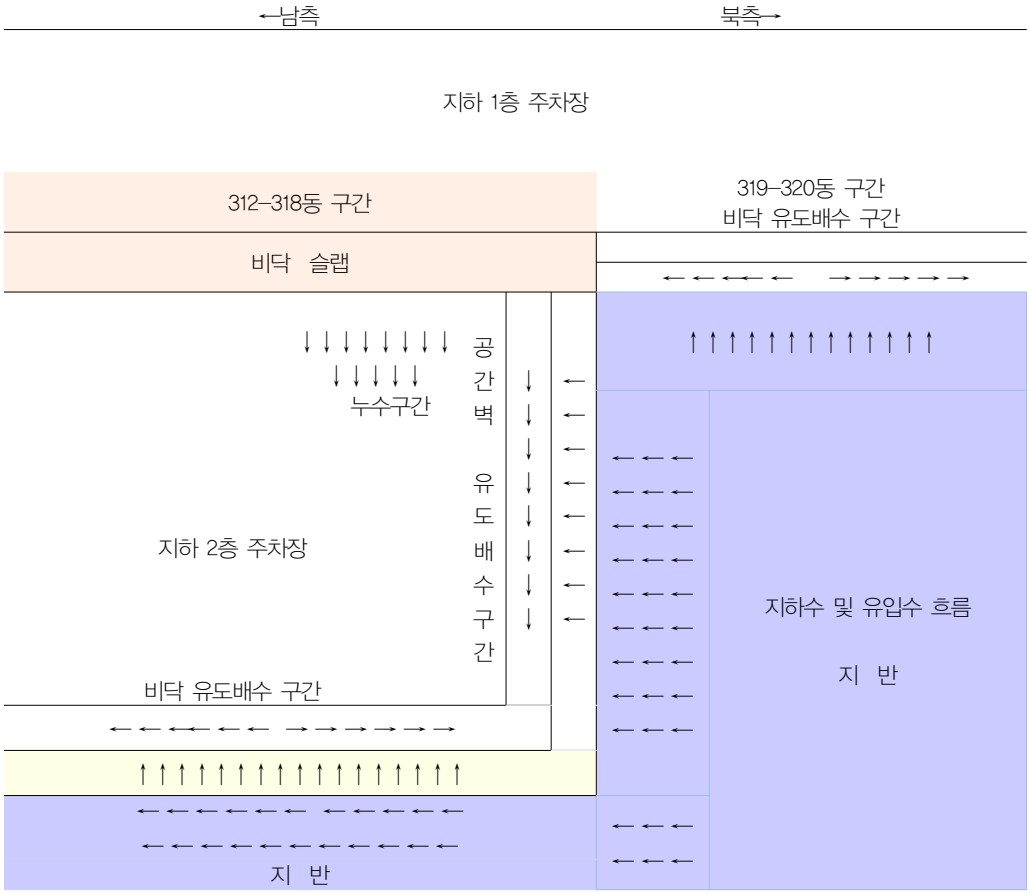
[그림 4-6] 아파트 단지의 지리적 특성



[그림 4-7] 아파트 단지 북쪽 및 남쪽방향 전경

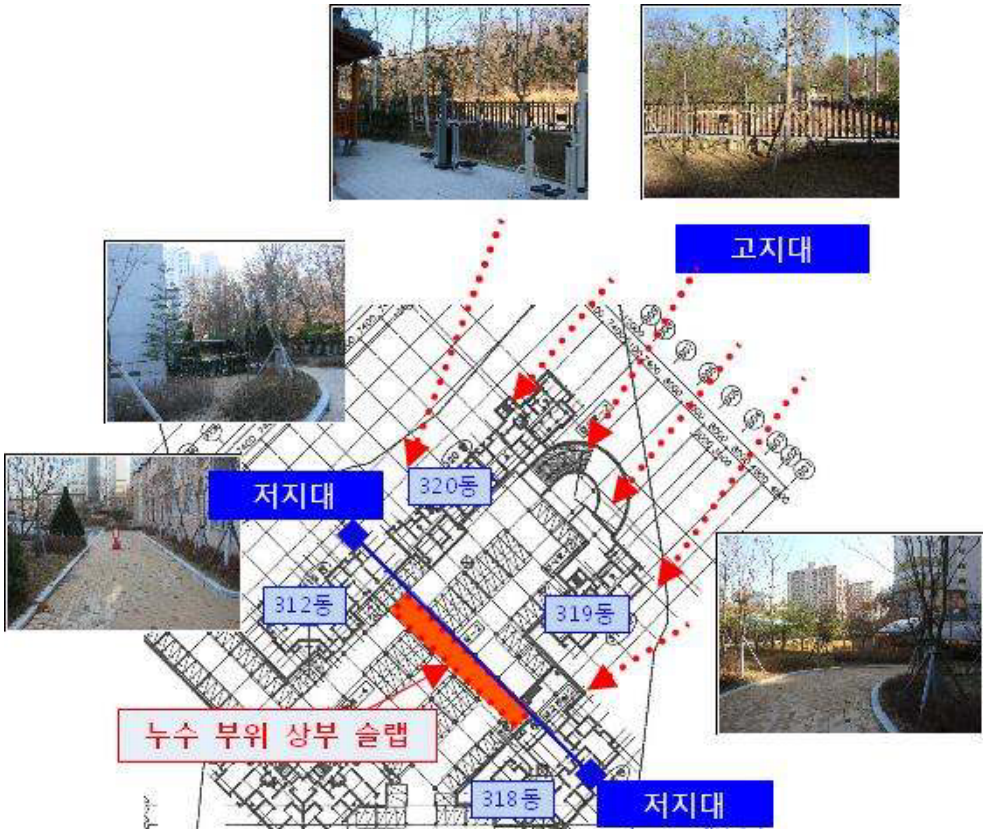
㉡ 지하주차장 구조 및 배치상의 원인

- 누수현상이 나타나고 있는 지하주차장의 형상은 남북방향으로 장방형을 이루고 있으며 특히 지형을 따라 지하주차장 2개 층이 단계적으로 형성되어 있는 특징이 있음
- 누수현상이 발생한 지하2층 주차장의 북측 외벽의 경우 고지대의 지하수가 저지대로 흐르는 중심부에서 위치하는 구조적 특성이 있다고 판단됨.
- 이에 따라 지하수가 정체하면서 수위가 상승하게 되어 지하1층 및 2층 주차장의 슬랩바닥 배수판 및 외벽 쪽으로 수위상승현상이 발생하게 됨



[그림 4-8] 지하주차장 횡단면상 지하수 흐름도

- 특히 지하1층 및 2층 주차장의 경우 누수가 집중적으로 발생한 부위는 평면적으로 연속된 길이방향의 돌출된 부위이며, 고지대인 북쪽 방향에 인접된 부위라는 특징을 가지고 있음.
- 이러한 지형적 특징으로 인하여 지하1층 및 2층 구조물은 지하수의 영향뿐 만 아니라 지표수의 영향도 받을 수 있다고 판단됨.



[그림 4-9] 지하주차장 상부 지표수의 흐름도

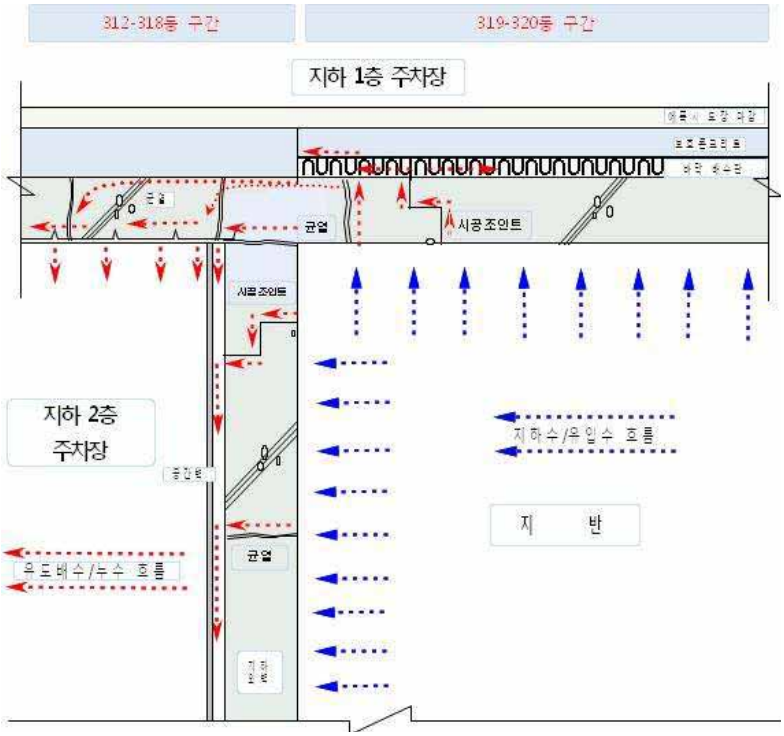
ⓒ 누수 경로 및 누수 원인

- 이상과 같은 지하구조물의 지하수 및 지표수의 영향을 고려하고, 누수부위 및 주변 구조물의 상태에 대한 조사 및 분석을 통하여 누수 경로 및 원인은 다음과 같음.
- 319-320동 구간 지하 1층 주차장 바닥 슬랩의 수평 유도 배수판에서 발생된 수분이 인접한 지하2층 상부의 데크플레이트 슬랩 시공조인트(방수턱 등)을 통과하여 수분이 이동하여 누수현상 발생의 직접적인 원인 제공
- 여기서 데크플레이트란 그림과 같이 공장에서 제작한 철근트러스 데크플레이트를 현장에서 동바리 없이 슬랩 거푸집 용으로 사용하는 공법으로 소재는 아연도 강판을 사용하는 비구조재 임(※하중의 영향이나 구조물의 내력과 관련성이 없는 재료)
- 이러한 데크플레이트는 여러 가지 장점을 가지고 있으나 본 현장과 같이 일단 슬랩으로 누수수가 유입되면 데트플레이트 하단의 철판과 콘크리트 계면을 통하여 수분이 광범위하게 이동하게 되므로 누수보수가 어렵게 되는 문제점이 있음.



[그림 4-10] 데크플레이트 모형 및 시공사례

– 근본적인 원인으로는 지하1층 바닥 슬랩에서의 데크플레이트와 수평유도배수판이 시공되어 있는 바닥 슬랩과의 조인트에 방수 또는 지수 처리부위의 손상이라고 판단됨. 이러한 손상의 원인은 주차장에서의 자동차의 주행에 따른 진동이나 충격에 의한 것으로 추정됨(누수현상이 입주 후 3개월 이후부터 발생)



[그림 4-11] 지하주차장 누수경로

마. 누수관련 주요 특징

누수와 관련하여 다음과 같은 특징이 있다고 판단됨

㉠ 누수현상 관련

- 지하주차장의 바닥이라는 특정부위, 일부구간에서 누수발생(외벽은 유도배수 처리)
- 특히 지하2층 지반과 접해 있는 옹벽 쪽 데크플레이트 슬랩에서 누수현상이 나타나고 있음
- 누수원인은 지하 1층 슬랩 바닥유도배수공법과 관련성이 높음

㉡ 구조물 관련

- 지하주차장의 규모가 크고 복잡한 편임
- 지하주차장의 횡단면은 하부에서 상부방향으로 계단식 2개층 구성
- 바닥슬래브 평면이 비대칭, 장방형의 기하학적 형태

㉢ 구조물 사용환경

- 누수발생으로 인한 내부습도 증가 우려
- 누수된 수분에 의한 습도증가에 따른 결로발생 가능성 증가
- 주차장의 특성상 자동차의 주행에 따른 진동, 충격, 소음 발생

㉣ 방수공법의 적용성

- 방수대상이 되는 지하구조물은 바닥슬랩이 시공된 상태이고 사용중이므로 유도배수공법 등 적용가능

2.8.4 보수방안 및 대책

가. 누수보수공법 검토시 고려사항

지하주차장에 누수가 발생한 환경적 요인을 근거로 누수보수를 위한 적정 공법 선정을 위하여 우선적으로 고려되어야 할 사항은 다음과 같음.

㉠ 구조물의 사용성 측면

- 지하주차장은 공사가 완료되어 거주자가 사용하는 구조물이므로 지하공간의 사용성을 만족할 수 있는 조치나 대책이 고려되어야 함.

㉡ 환경적 측면

- 구조물의 방수공사 대상부위는 주로 지하층구간으로 콘크리트 구조로 된 주차장의 사용환경과 관련하여 차량의 주행에 따른 진동에 충분한 대응력을 갖춘 보수공법을 검토함과 동시에 장마시 폭우에 의한 급격한 지하수위 상승에 대한 대응력이 충분한가를 우선적으로 고려하여야 함.

㉢ 건설공정 및 구조물의 측면

- 지하층의 방수공사(특히 유도배수공법의 경우)는 지하주차장의 층높이가 한정적이므로 건축법적으로 유효층고의 확보를 고려한 방수상의 고려가 되어야 함.

㉣ 시공성

- 구조물 방수공사 중 작업 위험성, 온습도 환경변화에 따른 시공성 및 시

공가능성 여부에 관한 고려도 필요함.

- 특히, 지하주차장은 고지대를 배경으로 한 경사지형에 위치하고 있어 상대적으로 낮은 지하층은 지속적인 수분의 영향을 받을 수 있고 누수로 인하여 습도가 높은 상황에 있으므로 이러한 환경을 고려한 시공상의 검토가 필요함.

㉣ 보수성 및 향후 유지관리 특성

- 지하주차장의 경우 쾌적하고 안전한 사용 환경을 창출한다는 측면에서 보수후 사용 중에 만일의 손상시 적절한 재 보수가 가능한 유지관리성도 고려하여야 함.

、이에 따라 방수층 손상 시 보수 공법의 적용 용이성과 함께 향후의 유지관리적 측면에 관해서도 검토할 필요가 있음.

나. 누수보수방안

㉠ 누수보수방안 검토 및 분석

- 신축 이후 사용중인 구조물에 대한 완전한 누수보수를 위해서는 적용 가능한 다양한 공법에 대한 객관적인 검토가 필요함. 이에 따라 지하주차장의 누수상황 및 구조물의 조건 및 환경을 고려하여 적용 가능한 모든 보수방안을 제시하고 적용가능성을 분석해 보면 다음과 같음.

[표 4-4] 보수방안별 적용성 분석

보수 방안	세부 방안	공법개요	적용성 분석	적용성 평가결과
유도 배수	외부 유도 배수	-아파트단지의 북동쪽 고지대와 접하는 부분에 선상으로 집수용 유공관을 매입하여 유도배수	-단지특성 및 구조물 상황상 공법적용 불가 -이러한 공법을 적용하여도 완전한 지하수의 유입차단이 불가능하며 지표상으로 유입되는 우수의 완전한 처리는 더욱 어려움	부적절
	내부 유도 배수	-누수현상에 영향을 미치거나 발생 가능성이 있는 부위에 유도배수시설을 설치하여 집수정으로 유도배수	-누수 발생 부위가 한정된 일부 부위이고 해당 주차장의 규모가 작은 편이므로 여건상 효과적인 공법이라고 판단 -따라서 이러한 공법 적용은 적절함	적용가능
방수 및 누수 지수	전면 방수 (Membrane waterproof)	-시멘트 액체 방수, 폴리머계 방수, 시트 방수 등을 누수부위 또는 방수가 필요한 부위에 전면적으로 적용	-이러한 방수공법의 경우 방수 대상이 되는 구조물의 외부에 시공하거나, 보호콘크리트나 마감재를 철거해야하는 어려움이 수반됨. -특히 지하2층 상부슬랩이 직접 지하수에 면해 있지 않으며, 방수가 필요한 지하1층 주차장 슬랩의 경우 유도배수공법이 적용되어 있음 -현 구조물의 상황상 적용이 어려우므로 적절한 공법이 될 수 없음	부적절
	부분 지수 (주입)	-누수부위에 대한 주입공법 · 누수발생 슬랩에 직접 주입하는 공법 · 슬랩의 배면(보호콘크리트와 슬랩사이, 또는 슬랩-데크플레이트 계면)에 주입하는 공법	-본 지하주차장의 경우 누수현상이 발생하고 있는 부위 자체의 방수층의 문제가 아닌, 인접부위에서 수분의 유입에 누수 원인이 있다는 특징이 있음 -또한 데크플레이트 슬랩의 특성상 수분의 확산 특성으로 인하여 부분지수의 효과는 미약함 -따라서 이러한 공법의 적용은 부적절	부적절
	부분 방수	-사용중인 구조물의 경우 기존의 방수층 시공되어 있으므로 일부 구간에서 발생된 누수현상의 보수를 위하여 해당부위에 대한 부분적인 방수를 적용하는 공법	-본 지하2층 데크플레이트 슬랩의 경우 지하1층 주차장의 바닥슬랩과 선상으로 인접한 상태에서 유도 배수된 수분이 유입되어 누수가 발생 -따라서 이러한 선상으로 접해 있는 구간에 대하여 방수상의 조치를 취하는 공법이 매우 효과적임.	적용가능

다. 누수보수방안 선정

㉠ 선정 개요

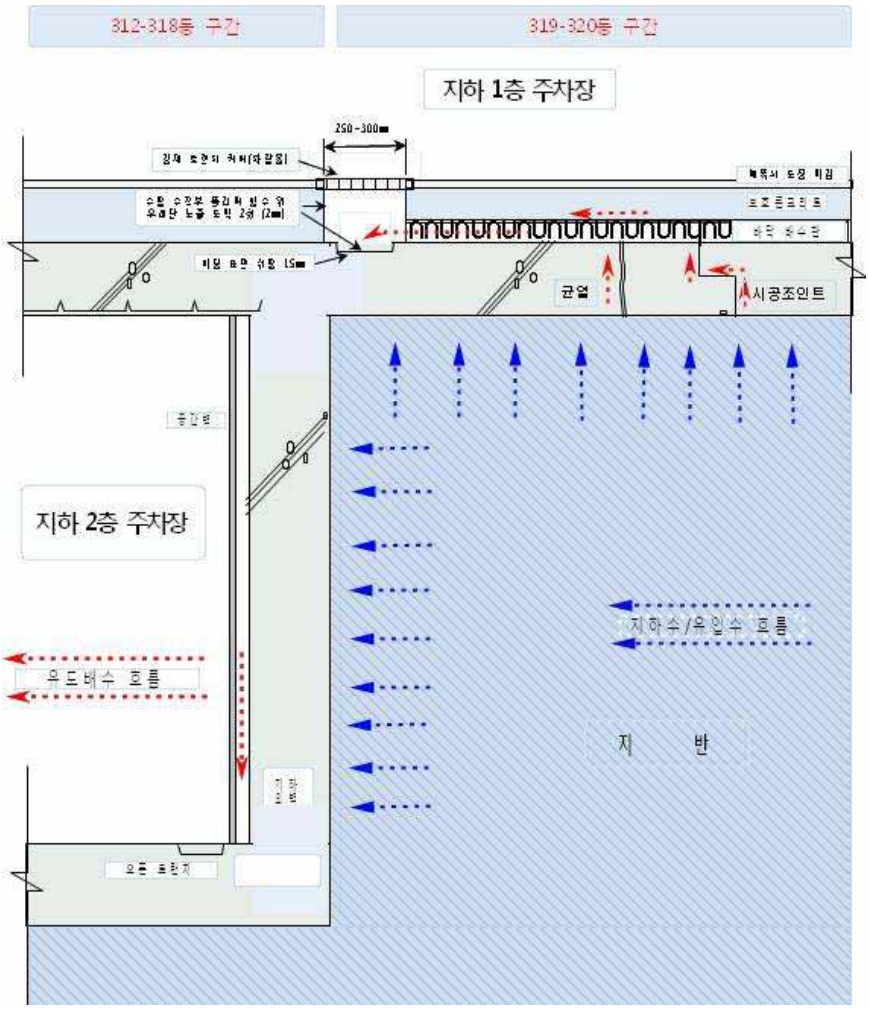
- 누수보수방안 분석결과 적용 가능한 공법을 바탕으로 보수방향을 정리하면 다음과 같음.
- 기본적으로는 지하1층 319-320동 구간 슬랩에서 유도된 수분이 지하 1층 312-318동 구간 슬랩으로 유입되지 않도록 하는 방법(유도용 트랜치 설치)이 가장 효과적이고 확실하다고 판단됨

㉡ 누수보수방안

- 지하 1층 주차장과 지하 2층 주차장 슬랩이 만나는 경계부위를 그림과 같이 250~300㎜ 폭으로 보호 콘크리트와 배수판을 절개하고, 바닥슬랩 콘크리트의 바탕을 15㎜ 정도 취핑하여 단차를 낮추어 줌으로써 바닥 배수판의 수분을 유도할 수 있도록 함



[그림 4-12] 유도배수용 트랜치 설치 위치



[그림 4-13] 지하주차장 누수보수 및 유도배수 방안 개념도

- 신설 트렌치의 방수효과의 확보 및 지하2층 주차장 상부슬랩으로의 누수 방지를 위하여 트렌치 내부는 방수처리를 함
- 방수공사에 있어서는 바닥 배수판으로부터 수분이 트렌치로 유입되지 않도록 조치를 취해야 함. 또한 트렌치의 바닥 및 수직부위는 바탕처리 및 바탕조정을 잘 하여야 하며, 특히 코너부는 도막 방수재의 부착 및 두께 확보가 잘 될 수 있도록 부직포/직포 보강후 방수재를 시공하면 효과적임.
- 지하주차장은 자동차의 주행에 의한 반복적인 진동과 충격을 받기 때문에 트렌치 내부 방수재의 방수효과 지속성 확보가 매우 중요한 사항이

됨. 이러한 점을 고려하여 2중으로 방수재를 시공 할 필요가 있음

- 방수재의 시공에 있어서는 유도배수에 의해서 바탕이 습한 상태이므로 이러한 습윤 환경에 효과적인 폴리머계 도막방수재를 1차로 시공한 후, 방수층이 완전히 경화한 이후에는 우레탄 도막방수재를 2회 시공하여 노출상태로 마무리 함.
- 누수방지를 위하여 설치한 트렌치는 상시 유지관리가 가능하도록 오픈 가능한 철제 커버를 설치하여 자동차의 주행 및 보행자의 안전에 문제가 없도록 하여야 함.

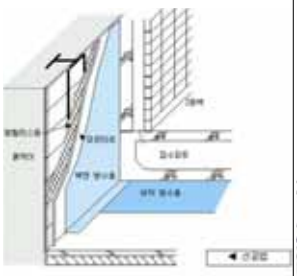
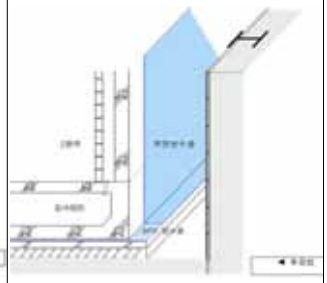
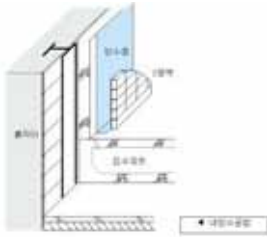
3. 지하주차장 방수공법

지하주차장 방수의 경우 방수재를 적용하는 공법상의 차원에서 크게 구조체의 외부에 방수를 하는 외방수와 구조체 내부에 방수를 하는 내방수로 구분된다. 방수상의 원리로 본다면 누수원인이 되는 "수분이 발생하는 부위"에 방수재를 시공하는 "외방수공법"이 이미 "구조체를 통과하여 실내공간으로 진입"하는 부위에 방수를 하는 내방수에 비하면 보다 효과적일 것으로 생각할 수 있다. 그러나 이러한 외방수공법이 전면적으로 사용되고 있지는 않는 상황에 있다. (※ 한편 공동구, 지하철, 전력구 등 지하에 시공되는 토목구조물의 경우 외방수적용 확대 추세이다.) 외방수에 관한 이해를 돕기 위하여 지하주차장 방수공법에 관하여 정리하면 다음과 같다.

[표 4-5] 지하방수 공법 개요

	외방수		내방수
	선공법	후공법	
공법의 개요	‣ 지하외벽의 철근,거푸집공사전에 흙막이벽 또는 외부 거푸집위에 방수층 공사 · 방수층공사가 완료되면서부터 철근, 형틀공사를 행하고, 콘크리트를 타설	‣ 외벽구체공사가 완료후 구체의 외측에 방수공사를 행하고, 방수층의 외측에 보호층을 시공함으로서 흙되메우기공사	‣ 외벽구체공사가 완료되면 구체의 내측(실내)에서 방수공사

[표 4-6] 공법개념에 따른 외방수 및 내방수 구분

	외방수		내방수
	선공법	후공법	
공법 개념도			
주요 사례	 외방수 선공법(합벽)사례	 외방수 후공법 사례 (국내 민간건설)	 내방수사례(LH)

3.1 지하주차장 방수공법의 특징

3.1.1 지하방수 공법별 장점

내방수 또는 외방수 공법은 다음과 같은 장점이 있다.

[표 4-7] 외방수 및 내방수 공법 장점

외방수		내방수
선공법	후공법	
‣ 수압이 걸리는 측에 방수층을 배치함으로서 멤브레인 방수층을 형성 방수성, 방습성의 발휘가 가능 ‣ 구체공사의 시공전에 작업이 이루어지기 때문에 작업성이 양호	‣ 수압이 걸리는 측에 방수층을 배치함으로서 멤브레인 방수층을 형성 방수성, 방습성의 발휘가 가능 ‣ 구체면이 보이기 때문에 수압이 걸리는 측에서의 결함부의 보수가 가능하여 지수효과를 발휘할 수 있는 장점 확보	‣ 실내에서 작업이 가능하기 때문에 작업성 우수 ‣ 누수의 정도를 확인할 수 있어 누수진단 및 보수가 용이

3.2.2 지하방수 공법별 장점

내방수 또는 외방수 공법은 적용방법에 따라 다음과 같은 단점이 있다.

[표 4-8] 외방수 및 내방수 공법 단점

외방수		내방수
선공법	후공법	
‣방수층시공후 구체공사(철근, 가스압접 등)이 있기 때문에 방수층에 손상 발생 우려(방수층 보호 등 조치 필요) ‣표면상태가 좋지 않은 흙막이벽이 방수바탕이 되므로, 평활화하기 위한 조치 필요. ‣흙막이벽에서의 누수는 억제 가능하지만 누수량이 많으면 호스유도 등 복잡한 조치 필요	‣구체와 흙막이벽 사이에 작업공간 필요, 굴착량 및 되메우기 양이 많아지는 문제점과, 되메움 작업시 방수층 손상우려(보호층 필요)	‣방수층과 구체사이에 수압이 작용, 구체와의 강한 접착력과 일체화 필요 ‣구체의 결함부(폼타이, 조인트, 균열 등)의 사전 보수조치 필요. ‣시멘트계 방수의 경우 외벽구체를 통하는 습기를 방지 곤란 ‣누수의 정도에 의해 지수가 곤란하고, 보수후에도 재누수 발생 가능성 커짐 ※최근에는 공간벽, 유도배수용 바닥판에 의한 디워터링공법의 적용으로 문제점 해결

3.2 지하주차장 외방수공법의 적용시 문제점

방수층 시공 후 구체공사(철근배근, 가스압접 등)가 있기 때문에 방수층에 손상 발생 가능성이 있다.



지하통신구 공사사례(KT, 방수층 시공 후 배관공사, 흙되메우기 공사로 인한 방수층 손상에 대비 보호층 설치)



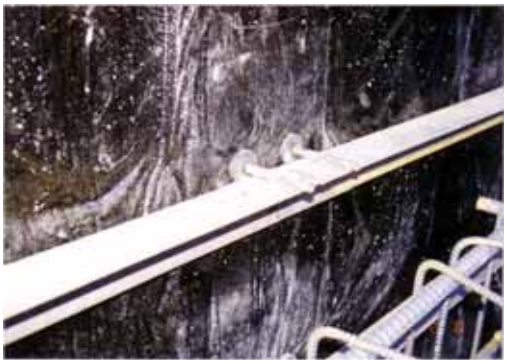
지하외방수 방수층 선시공사례(민간구조물, 방수공사후 철근조립 작업으로 방수층 손상우려)

[그림 4-14] 방수층 시공 후 공사로 인한 방수층 손상

표면상태가 양호하지 않은 흙막이벽이 방수바탕이 되므로, 방수층의 접착력 및 양생곤란(품질저하 우려)하고 바탕처리, 평활화 하기 위한 조치가 필요하다. (비용 및 공기소요) 방수층 先 시공시 골조공사를 위한 시설물의 설치에 따른 방수층 손상될 수 있다.



소일벽(Soil Wall)이 방수바탕이 되므로 품질 저하우려 사례(일본)



방수층에 앵커설치로 인한 방수공사 품질확보가 곤란한 사례(일본)

[그림 4-15] 방수층 품질 저하 사례 (1)

후공법에서 합벽인 경우는 방수공사를 위한 공간이 협소하여 방수공사 품질 확보가 곤란한 사례가 발생한다.



지하바닥에서 침투수가 발생하는 상황에서 방수처리하여 품질 저하우려 사례(민간 지하구조물)



방수공사를 위한 공간이 협소하여 방수공사 품질확보가 곤란한 사례(민간 지하구조물)

[그림 4-16] 방수층 품질 저하 사례 (2)

흙막이벽에서의 누수는 억제 가능하지만 누수량이 많으면 호스유도 등 복잡한 조치가 필요하다.




지하외벽에서 침투수가 발생하는 상항 및 배수처리 사례(민간 공동주택 지하주차장)

[그림 4-17] 방수층 품질 저하 사례 (3)

구체와 흙막이벽 사이에 작업공간이 필요하며, 굴착량 및 되메우기 양이 많아지는 문제점과, 되메움작업시 방수층 손상이 우려되므로(보호층 필요), 흙막이시설 등 장애물로 인하여 방수공사가 어려운 사례가 있다.




구체와 흙막이벽 사이에 작업공간 부족 사례(일본)

흙막이 시설 등 장애물로 인하여 방수공사가 어려운 사례(일본)

[그림 4-18] 방수층 품질 저하 사례 (4)

3.2.1 지하주차장 외방수 공사비

지하주차장 외방수공법의 공사비는 앞에서 언급한 바와 같이 지하구조물의 공사환경의 다양성, 또한 구조물의 공법에 따른 선공법 또는 후공법의 선택성 등의 다양한 요인의 영향을 받기 때문에 일률적인 적용은 곤란하다. 참고로

외방수의 경우 합벽이 아닌 후공법인 경우의 방수공사비와 내방수 공사비를 비교하면 다음의 표와 같다.

[표 4-9] 지하방수 공사비 비교 (LH, 2010.10)

구 분	내(內)방수	외(外)방수
공사비	12,476원/㎡	41,978원/㎡

3.3 지하주차장 외방수공법의 활성화를 위한 방안

○ 방수공사를 용이하게 할 수 있는 환경에서 적극적인 적용

- 오픈컷(Open-cut)공법의 적용이 가능한 현장
- 수직벽에서의 시공성이 확보 될 수 있는 재료 및 공법, 특히 보호층

○ 방수설계기준 또는 최적화기법의 효율적 적용

- 구조물의 환경이나 조건, 요구되는 성능대응 방수설계기준 확충
- 최적방수공법 선정시스템의 적용에 의한 지하주차장 외방수공법의 효율적 적용

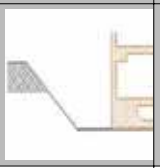
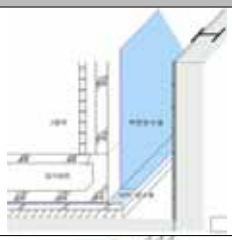
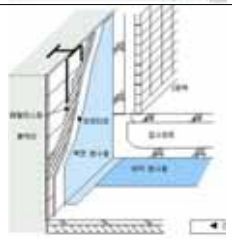
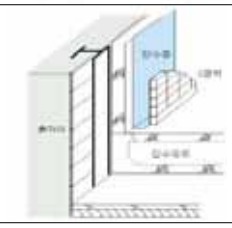
○ 방수설계기준, 최적화기법의 효율적 적용 방안

- 지하수위의 높고 낮음, 투수압 경미 과대여부에 대한 판단에 대한 시점(공사전, 설계시)설정에 문제가 있으므로 공사중, 사용중의 조건을 복합적으로 고려하는 새로운 판단기준 작성 필요 있음.
- 설계방안 : 설계단계의 지하수위는 참고자료로 하고 기본적으로 지반선 이하로 터파기 하여 시공하는 지하주차장은 방수처리, 상대적으로 지하수가 높거나 투수압이 크면 방수기준을 강화하는 개념으로 정리하는 것이 합리적인 방안임.
- 설계방법은 다음의 표와 같이 지하구조물 공사에 있어서 건물외주의 여유공간 확보가능성을 기준으로 외방수, 내방수, 선공법, 후공법을 선택하는 것이 효과적

○ 지하외방수 최적화를 위한 재료, 공법, 구법연구

- LH공사의 여건(공공임대, 분양 등), 현장조건(지하수위, 지형, 지반조건), 경제성, 방수상의 요구성능, 구조물 특성(용도, 중요도) 등을 고려한 지하외방수 설계기준 및 시방서 작성

3.4 지하주차장 내방수 및 외방수 최적 설계방안

공법			건축물 외주의 여유공간 확보 가능성			적용 방수공법
대분류	방수층 구성	적용방수공법	오픈컷	흙막이	합벽	
						
외방수		후공법	적용가능	적용가능	–	자착시트·점착 도막방수
		선공법	–	–	적용가능	뿜칠공법(초속경/고무AS계)
내방수		유도배수	–	–	적용가능 (합벽과 동시적용)	공간벽쌓기 (도막방수보다 결함부 보수가 더중요)

3.5 지하주차장 외방수공법 연구개발 방향

3.5.1 연구의 배경 및 필요성

○ 방수공사의 특성 및 누수문제

- 방수는 설계, 시공 자체의 문제가 아니라 방수성능이 확보될 수 있도록 하는 종합적이고 세심한 주의와 관심이 요구되는 분야임, 즉 시공자(작업자)의 손끝에서 결정되는 기술이며, 타공정과 관련성이 많고 콘크리트 골조의 마감상태, 후속공정(타일, 돌, 보호콘)의 영향을 받는 종속적인 공정임
- 타 공사에 비하여 공사비는 적으나 문제 발생시 하자와 직결
- 누수하자가 명확하게 나타나며 쉽게 잘 확인되는 특징(민원 다발)
- 내방수를 적용하고 있으니 유도배수의 부작용, 부정적 인식등 문제 발생

○ 방수관련 사회적 특성

- 주택의 가치가 급변하고, 하자문제가 주택의 가치에 영향을 미치므로 하자에 민감
- 메이저 건설사 공동주택(삼성 레미안, 현대 힐스테이트, 대림 e편한세상 등)의 품질과 대조 상대적인 피해의식
- 기후변화, 온난화로 인한 기상이변으로 인하여 집중폭우, 우수 집중
- 특히 건축분야에서 지하외방수는 공사비 증대, 공기지연, 완전방수 확보 곤란 등의 이유로 내방수로 대체되어 왔음

○ 방수 시공상의 문제

- 지하주차장의 경우 용도상 비거주용이므로 방수와 관련된 관심 부족, 특히 타워형 주동공사의 경우 공사부지 확보상 신속마무리(공사용 장비, 물류, 화물 이동, 양중시설 등), 판상형의 경우는 공사 마무리단계에서 처리하므로 공기부족

3.5.2 연구내용 및 방법

지하외방수에 관한 연구는 다음과 같은 3가지 측면을 중심으로 연구가 수행되어야 성과 및 활용성이 확보될 수 있음

○ 설계관련 사항(설계 지침, 시방서 등 확충)

- 지하구조물에 요구되는 방수상의 성능에 대응하여 지하방수 설계 및 시공법에 관한 지침 개발
- 지하방수와 관련하여 적용되는 재료/공법(방수층, 보호층 대상)을 최적으로 선정할 수 있는 시스템 구축(특히 현장조건과 경제성 등을 고려)

○ 工法/構法과 관련된 부분

- 지하방수공사와 관련하여 방수공법과 구조물과의 관계, 지반공사, 토공사, 흙막이, 지하수 등의 각종 환경과 방수공사와 관련된 제반사항을 충분히 고려한 공법/구법에 대한 시방서 등 관련 지침 확충 필요

○ 지하방수의 선정과 관련된 경제성/타당성에 대한 평가기준 확충

- 지하주차장 방수공법/구법에 따른 공사비 분석기법
- 최적 지하주차장 외방수공법의 적용 관련된 정량적 타당성 분석기법 확충

3.6 지하구조물 방수기술 현황

3.6.1 지하구조물 방수 신기술 현황

지하구조물의 방수 공법중에서 건설 신기술 인증을 받은 기술은 다음과 같다.

[표 4-11] 지하방수 관련 건설 신기술

지정 번호	지정 년도	신기술 명칭	비고
367	2003.04	자연가황형 합성고무시트(베스타)를 사용하는 지하 콘크리트 구조물의 외방수 공법	
376	2003.04	고무화 아스팔트와 벤토나이트분말의 복합방수재(Turbo Seal)를 이용한 지하구조물 외방수(폴리아스방수) 및 누수구조물의 방수층 재형성 공법	
422	2004.11	주재경화제 일체형 3-WAY노즐(동시운전)이 장착된 스프레이건을 사용한 초속경화 수용성 고무화 아스팔트 도막방수공법	
467	2005.08	투명 EVA 복합시트를 이용한 BOX 구조물 외부 방수공법	
536	2007.07	고밀도 폴리에틸렌 필름 및 자착식 부틸고무시트에 격자형 유리섬유를 적층하여 일체화시킨 방수시트를 이용한 비노출 방수공법	
587	2009.02	고점도 및 저점도 유동성 겔과 개량 아스팔트 시트를 일체화시킨 공장제작형 복합방수시트(NaB Shee)를 진동롤러로 부착시키는 방수공법(유동성 복합시트 방수공법)	
634	2011.11	잠접착EVA 복합시트를 이용한 비노출 방수공법	

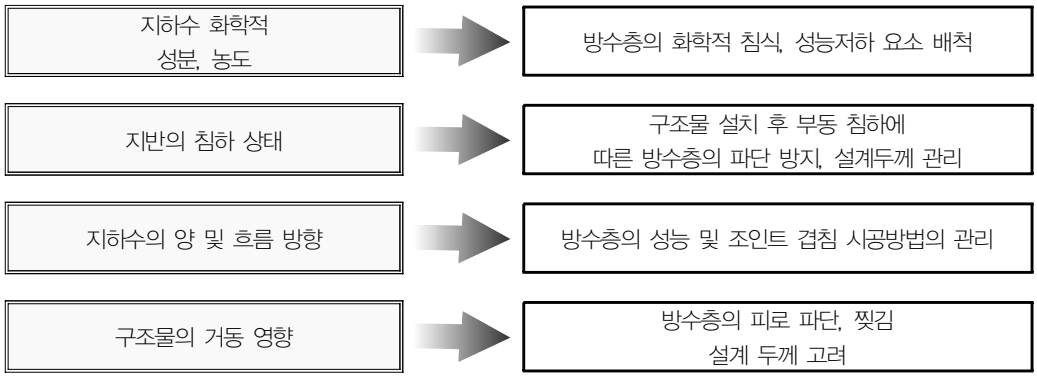
3.6.2 지하구조물 방수 설계시 고려사항

3.6.2.1 방수공법의 설정 방향 및 조건

가. 방수 공법의 설정 방향 및 조건

㉠ 건설 부지의 환경조건 조사

건설 대상 지역에서 나타날 수 있는 구조물 및 방수층에 미치는 환경 조건을 분석하여 이에 적합한 방수재료 및 공법을 선정한다. 조사 대상은 다음 표와 같다.



[그림 4-19] 환경조건의 조사대상

나. 적용 방수재 및 공법의 선정 조건

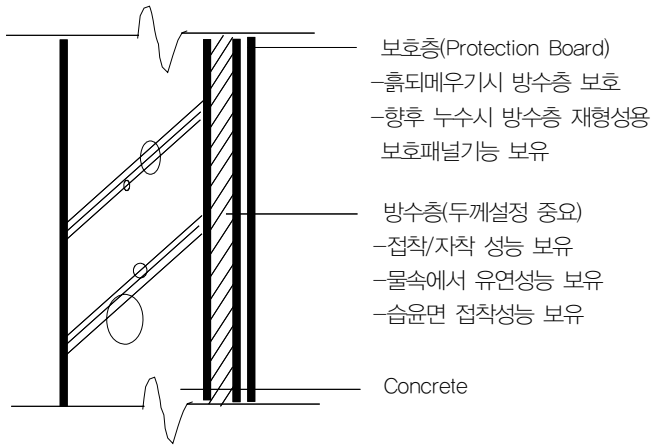
가의 건설 부지 조건 및 콘크리트 구조물의 시공 조건에 적합한 방수 공법을 선정한다. 선정 조건은 아래와 같다.

제1조건: 지하수의 화학적 성분(염분 농도 등)에 관계없이, 화학적 침식이 없는 방수재료를 선정한다.
제2조건: 대형 구조체의 거동(균열발생, 부등침하)에 방수층이 파단되지 않는 유연성을 갖는 방수재료 및 공법을 선정한다.
제3조건: 방수재료는 콘크리트 구조체 표면의 레이턴스, 습기(수분)등의 조건에서 접착(자착(Self-adhesive performance)이 가능한 특성을 갖는 소재를 선정한다.
제4조건: 지하 방수층(외방수층)형성 후 지하수의 흐름 및 수압 등의 조건에서 방수층이 유실되거나, 박락되지 않는 특성을 갖는 소재 및 공법을 선정한다(방수층 두께 검토 필요).
제5조건: 방수재료 시공시 방수재료 간의 연결부 접착이 일체와 되는 시공 시스템을 갖춘다..
제6조건: 만일의 누수시 안정적 누수보수 시스템을 갖는 방수층을 형성한다(유지관리 목적 보호층의 설치를 의무화한다).

다. 방수층 구성 조건

가 및 나의 조건을 만족하는 방수재료를 선정 한 후, 방수층의 보호 기능과 향후 누수시 원활하게 누수보수를 할 수 있는 방수시스템을 구성한다. 아래

그림은 이를 위해 구성된 기본 방수 시스템이다.



[그림 4-20] 방수시스템의 기본 단면도

3.6.2.2 적정공법의 검증 방법

가. 성능 확인

이를 위해서 추천된 방수재료 및 공법을 소유한 전문 건설사 및 생산자, 수입업체 등은 자신들의 재료 및 공법이 대상 구조물의 환경조건, 시공조건 등에 적합한 성능을 보유하고 있음을 입증 할 수 있는 확인 자료를 제출하도록 하고, 이를 검증절차에서 확인, 평가한다.

나. 성능 시험 및 평가

성능해당 발주 기관 혹은 설계사(건축사 혹은 엔지니어링 회사)에서 상기 "라" 의 과정을 통하여 선정·추천한 방수재료 및 공법을 대상으로 관련 요구조건, 성능조건, 시공조건 등에 적합성의 유무를 공인 시험기관(국공립품질시험전문기관 및 품질시험 대행기관 등), 연구기관, 전문가와 협의하여 재료시험, Mock-up 시험 등의 품질검증 절차를 통해 성능을 검증한다.

다. 선정 재료에 대한 기타의 검증

시험 평가에서 선정된 재료에 대한 검증 사항으로써

① 그 재료의 국내 적용실적 조사

② 사용 현장의 조사 및 평가(상황 분석)

③ 공장 생산 라인의 확인

대규모 물량 공급시 균질한 제품 생산 가능성 확인, 해외 수입제품의 경우 현지 생산국의 실태 조사 등이 반드시 이루어져야 한다.

3.6.2.3 방수재료 및 공법의 복수 선정(제안)

지하구조물의 요구 조건에 적합(요구품질)한 방수재료 및 공법이 2개 이상 있을 경우는 설계사는 설계과정에서 최대 3-4개 이하로 추천 혹은 선정하여 성능을 검증한다.

시공사가 결정되면 시공사의 책임 하에 설계된 재료 및 방수 공법을 선정하고, 해당 방수기술에 대한 전문성을 가진 방수 시공 업체를 선택(입찰)하도록 하여 방수공사를 시행한다.

3.6.2.4 유지관리 기법의 사전 도입

설계단계에서 준공 이후 사용과정에서 발생할 수 있는 누수의 문제를 고려하여 만일의 누수 시 즉각적으로 보수할 수 있는 기술 및 공법을 동시에 검토하고, 이를 시방서 및 유지관리 지침서에 명시한다.

단 이에 유지관리 목적의 누수보수기술은 건설 신기술 등에서 인정하고 있는 기술을 대상으로 평가, 검증 후 적용한다. 이 역시 공사 혹은 준공 이후에 나타난 누수 보수 방법 및 관리의 문제점 및 실태를 방지하기 위함이다.

3.6.2.5 설계 협의체의 구성 및 활용

공사의 대상 구조물에 대한 방수설계는 설계 엔지니어링사, 발주감독기관, 방수재료 및 기술 전문기관 및 전문가들과 기본 설계 초기 단계부터 실시 설계, 방수 시공 품질 관리의 과정에 이르기까지 협력체제를 구축하여 안전한 방수층 설계 및 시공을 위해 노력한다.

3.6.2.6 방수 설계 책임의 구분

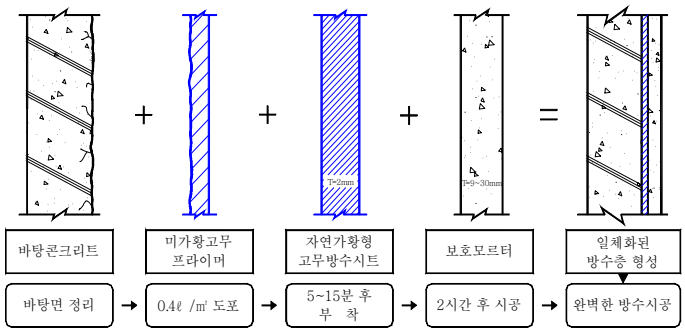
방수설계자는 상기의 사항을 충분히 분석, 검토, 평가한 후 설계도서를 작성한다. 또한 향후 본 공사에 있어서 시공과정 혹은 준공 후의 누수문제에 따른 책임의 명확성을 구분한다.

3.6.3 지하구조물 방수공법의 특성

3.6.3.1 자연 가황형 합성고무시트 공법

가. 공법의 개요

지하구조물의 현장 환경을 고려하여 시공성을 크게 개선한 방수자재로서 120일 전후로 자연가황이 되도록 가황제, 가황조재 등을 첨가하여 배합 제조된 합성고무방수시트를 방수재로 사용하여 바탕콘크리트에 미가황고무 프라이머를 사용하여 접착 시공 후 외부면에 시멘트 모르터로 보호층을 설치하며, 시공 후 보호모르터의 양생과 함께 자연상태에서 가황고무로 전환하는 메카니즘을 이용한 방수공법이다.



[그림 4-21] 공법 개념도

나. 재료의 특성

미가황상태의 고무시트가 가황고무로 전환되면서 바탕콘크리트층과의 접착력을 증대시키고 외부 시멘트 보호모르터층과는 수화생성물과 반응을 통하여 접착력이 증대되어 방수층과 일체화를 형성한다.

㉠ 지하환경하에서 방수재의 성능에 큰 영향을 받지 않는다.

㉡ 미가황된 합성고무시트로 완전가황 후 인장성능이 크게 증가된다.

㉢ 열을 가하지 않기 때문에 시공이 간편하고 안전하다.

㉣ 반복적인 거동에 대한 내피로성이 우수하다.

㉤ 시트 상호간 이음부의 시공 관리가 중요하다.

다. 적용 구조물

㉠ 비노출의 일반적인 건축 구조물의 옥상 방수에 적용

㉡ 지하환경하의 지하구조물(개착식 구조물)의 방수에 적용

㉢ 바닥 방수용 베이스 시트로 적용

㉣ 교면 방수에 적용

다. 미가황 고무시트의 시공방법

미가황고무시트의 시공방법은 다음과 같다.



[그림 4-22] 미가황시트 시공방법

라. 미가황 고무시트의 요구 성능

지하환경하에서의 미가황 고무시트의 요구성능은 다음과 같다.

㉠ 지하환경하에서의 무해성

미가황 고무시트는 지하환경의 지하구조물에 시공된 이후에는 장기간 지하환경에 침적되기 때문에 지하의 피해가 없어야 한다.

㉡ 구조물 거동 대응 성능(인장 및 신장 성능)

미가황 고무시트가 상하좌우 방향에서의 물리적인 외력에 저항하는 능력의 정도로서 바탕재의 거동 특성에 상대적으로 대응해야 하는 성능으로서 최소

5㎜ 전후의 균열 및 조인트 거동에 대응할 수 있어야 한다. 또한 하절기와 동절기의 변화된 온도 환경 하에서도 일정한 인장 및 신장 성능이 유지되어야 한다.

ⓒ 미가황 고무시트재의 접합부 수밀성능(투수 저항 성능)

지하구조물은 일반적으로 상당한 수압이 작용하는 환경에 처하게 된다. 그러나 방수 시트는 규격화된 나비와 폭을 갖는 시트와 시트가 접합되어 구조체에 피막을 형성시키므로, 시트간의 접합부는 누수의 여지가 없도록 완벽한 수밀성을 확보하여야 한다. 시트 방수의 경우 일단 지하에 묻히면 시트간의 접합부는 보수 혹은 보강이 불가능하므로 시공시에 완벽한 접합성을 요구하게 된다. 따라서 일정한 수압에서 절대적으로 투수 저항 성능을 지녀야 한다.

ⓓ 부착성능

미가황 고무시트 방수층은 동절기 시공이나, 미건조된 바탕에 방수층을 시공할 때 국부적 혹은 전체적으로 부풀어 오르거나, 들뜨는 하자 사례가 빈번히 발생한다. 토오치 가열방식이나, 접착제를 이용한 전면 접착형의 시트 방수는 바탕재와 방수층의 접착력에 의존하기 때문에 바탕재 내부에 포함된 수분의 증발에 의한 수증기 압력으로 들뜸의 영향이 크고, 방수시트 시공 후 보호층 설치 전 또는 노출형의 피막방수층일 때 태양열 시트재의 늘어짐 및 수증기압이나, 풍압에 의한 시트의 부력에 대해 저항해야 하므로 바탕재와 방수 시트의 최소 계면 부착성이 요구된다.

ⓔ 내피로성능

방수 바탕재에 생기는 거동에 대한 방수층의 내피로 저항성은 구조체의 거동조건(크기, 파형, 주기)과 온도조건 등에 따라 좌우된다. 주로 방수 바탕이 되는 콘크리트 구조물은 수많은 균열과 조인트부를 가지므로 온도의 변화나 진동에 따른 구조물 거동(철도구조물)에 대한 시트 방수층의 내피로 저항성능이 크게 요구된다.

ⓕ 내충격 성능

외상의 종류에는 충격에 의한 동적 외상과 지속하중에 의한 정적 외상이 있다. 방수시트 설치 후 흙되메우기에 대한 방수층의 보호를 위하여 누름층, 프로텍션 보드 등의 보호층을 설치하는데, 이 보호층에 골재나 방수 바탕의 요철부에 의한 방수 시트의 국부적 지속적인 재하가 있을 때 방수 시트의 파손

을 방지하기 위하여 일정 두께 이상을 유지해야 한다. 필요시에는 방수층의 겹수를 증가 시킬수 있다.

㉥ 내열성능

고분자 화합물의 재료는 온습도 등의 다양한 환경 변화에 따라 분자 고리의 움직임이 있을 수 있으므로, 방수시트와 같은 고분자 화합물 등이 포함된 연질의 고무화 아스팔트 및 보호·보강층을 포함하는 시트의 경우 온도 변화(고온 60℃, 저온 -20℃ 범위)에 따른 흘러내림이나 시트의 수축이 과도하게 변형하여서는 안된다.

마. 미가황 고무시트 방수 공법 특성

본 미가황 고무시트 방수공법의 시공상의 주목할 만한 특징은 다음과 같다.

㉠ 콘크리트 바탕 정리, 프라이머 처리 등의 공정이 간편하다.

㉡ 고무 방수층 시공 후 시멘트 모르터 부착 시공이 가능하다.

㉢ 미가황상태의 자착특성으로 연결이음이 화학적 결합에 의해 접착된다.

㉣ 무독성 자재이며 상온공법(열을 사용하지 않음)이므로 작업자의 안전성의 확보가 가능하다.

㉤ 접착제 개념의 고무접착제를 사용하여 경화과정이 필요없으며 신구 방수층의 시공 조인트에서도 방수층이 확실한 연속성을 확보할 수 있다

3.6.3.2 점착 유연성 도포 방수재와 시트재의 복합방수공법 개요

가. 공법의 정의

지하구조물의 현장 환경을 고려하여 시공성을 개선한 방수 소재로서 방수 시트의 일면에 접착성을 크게 부여한 특수 고무화 아스팔트계 방수재를 콘크리트 표면에 도포한 후 일반 아스팔트계 또는 합성고분자계 시트재를 이중방수층으로 구성하는 형태의 복합방수공법이다.

나. 재료의 특성

점착 유연성 도포 방수재는 고무화아스팔트, 합성고분자수지, 팽창성 무기질 분말 및 특수 접착제를 결합시킴으로써 기존의 방수재가 가지고 있지 않은 점착성(자기부착성), 수반응 팽창성, 외력에 대한 점탄성적 유연성 등의 특성

을 가진 탄성 젤리형의 물질로써 높은 투수저항 성능을 가지고 있다. 특히 이러한 탄성력 때문에 5㎜ 이내의 구조체 거동력에 대해서도 강력한 대응성을 가질 수 있다.

㉠ 열을 가하지 않기 때문에 시공이 간편하고 안전하다.

㉡ 점탄성이 개량된 아스팔트로 바탕면의 크랙 등의 거동 대응성이 뛰어나다.

㉢ 시트 상호간 이음부의 시공 관리가 간편하다.

㉣ 반복적인 거동에 대한 내피로성이 우수하다.

㉤ 특수 부위 등의 굴곡 부분의 처리가 용이하다.

다. 적용 구조물

㉠ 비노출의 일반적인 건축 구조물의 옥상 방수에 적용

㉡ 다양한 환경하의 지하구조물(개착식 구조물)의 방수에 적용

㉢ 바닥 방수용 베이스 시트로 적용

㉣ 공동구, 지하철, 지하주차장 등

라. 점착 유연성 도포 방수재의 요구 성능

㉠ 지하환경하에서의 무해성

점착 유연형 방수실 및 시트재는 지하환경의 지하구조물에 시공된 이후에는 장기간 지하환경에 침적되기 때문에 지하의 피해가 없어야 한다.

㉡ 자가 부착성 (粘着性)

본 방수재는 외부로부터의 수분에 대하여 이질적인 작용을 하는 성질(疏水性)이 아닌 동질적 작용을 하는 성질(親水性)을 가지고 있으므로 수분을 흡착하여 소비하고 바탕콘크리트와 점착의 형태로 밀착됨으로써 바탕콘크리트내의 함유수분의 영향으로 방수층의 형성에 악영향을 받지 않는다. 또한 바탕에 이물질이 있는 경우에도 점착력에 의해 부착되므로 바탕면의 상태에 관계없이 안정된 방수층을 형성 할 수 있는 장점을 가지고 있다.

㉢ 구체 거동의 추종성

방수실은 겔상(Gel 狀)의 점성과 유연성을 가지고 있으므로 구조체의 거동에 대한 탄성적 대응성이 뛰어나고 진동을 흡수함으로서 상대적으로 손상 및 들뜸 가능성을 최소화 시킬 수 있다. 또한 유연성이 우수한 점착, 팽창성수지를

콘크리트층에 부착시킴으로서 콘크리트의 거동을 구속하기보다는 순응함으로서 방수층 자체의 손상과 들뜸을 방지할 수 있다.

㉣ 자가 치유성(self-sealing)

방수층이 손상되거나 들뜨게 되어도 유입된 물과 반응, 팽창하여 손상부위(균열, 들뜸)의 공간을 채워줌으로서 연속된 방수층을 다시 형성하게 되어 방수성능을 확보하게 된다.

㉤ 사후 유지관리의 용이성

방수층의 결함으로 인하여 누수가 발생된 경우 본 재료를 손상된 방수층의 한정된 부위만 보충 주입하여 손쉽게 누수를 차단함으로서 사후 유지관리 비용을 획기적으로 절감할 수 있는 공법이다.

동시에 종래 고분자화합물로 조성된 방수재의 문제점, 즉 바탕면의 종류(콘크리트, 금속, 목재, 석재 등), 상태(요철, 습윤상태 등)에 상관 없이 안정된 방수층을 형성할 수 있다.

마. 점착 유연성 도포방수재와 시트재의 복합방수공법 시공 특성

㉠ 요철바탕(2㎜이내) 시공성

방수 바탕면의 요철은 방수층 손상의 직접적 원인이 된다. 또한 바탕면을 정리하기 위해 시공된 고름모르터는 콘크리트 바탕면과 콜드 조인트와 같은 분리 현상이 발생되므로 방수층의 들뜸을 가속시키게 된다.

본 공법은 요철에 의해 방수층이 손상되어도 요철면 주위에 방수막이 형성되므로 누수의 염려가 없다. 또한 수화 팽창하며 부피가 증가되며 이때 시트(또는 패널)의 압박에 의해 요철 전체를 감싸며 안정된 방수층을 형성한다.

㉡ 이물질 바탕 시공성

시공 중 바탕면에 산재된 모래, 미립 분진 등은 기존 방수재와 콘크리트 바탕면과의 접착 불량을 초래해 들뜸의 직접적 원인을 제공한다. 점착 유연성 도포 방수재는 이물질과도 부착되며 또한 수화 팽창력에 의해 이물질을 감싸며 콘크리트 바탕면과 밀착된 방수층을 형성한다.

㉢ 바탕수분의 영향에 의한 들뜸 저항성

시트, 도막 등 플라스틱, 고무 등을 원료로한 맴브렌계 방수재는 실내에서 발생되는 수분을 투과시키지 못해 방수층과 콘크리트 바탕면 사이에 수막을 형

성시키며, 이러한 수막은 기화 또는 동결 팽창을 반복하며 들뜸을 발생 시켜 왔다.

점착 유연성 도포 방수재는 이러한 수분을 흡수하며 팽창하므로 이때 발생된 팽창압력이 오히려 접착력을 증대시킨다.

ⓔ 이질재 접착성

기존 접착 경화형 방수재는 콘크리트와 열 융합 또는 화학적 결합이 불가능하므로 콘크리트 표면에 형성된 요철 또는 모세관에 접착제(프라이머)가 함침되어 앵커를 형성하므로서 콘크리트와 부착된다. 그러므로 기존 방수재는 모세관이 없는 슬리브 등의 철구조물과는 안정된 부착을 기대할 수 없다. 점착 유연성 도포 방수재는 내부마찰 저항에 의한 점착력과 팽창력에 의해 부착되므로 바탕면의 상태와 종류에 상관없이 안정된 방수막이 형성된다.

ⓕ 우수한 시공성

본 폴리아스 복합 방수공법은 도막형의 점착 유연성 도포 방수재와 시트로 구성되어 있다. 본 복합방수공법의 시공상의 가장 주목할 만한 특징은 다음과 같다.

① 콘크리트 바탕 정리, 프라이머처리 등의 공정이 요구되지 않는다.

② 습윤바탕, 습윤환경에서도 시공이 가능하다.

③ 용제를 사용하지 않으며, 비경화형이므로 작업시간, 및 작업환경의 영향을 거의 받지 않는다.

④ 무독성 자재이며 상온공법(열을 사용하지 않음)이므로 작업자의 안전성의 확보가 가능하고, 주택가와 같이 인구밀집지역에서도 시공에 문제가 없다.

⑤ 콘크리트 바탕처리 및 방수재의 양생이 필요하지 않으므로 공사비 및 공사기간이 단축된다.

⑥ 신구방수층의 시공 조인트에서도 방수층이 확실한 연속성을 확보할 수 있다.

3.6.3.3 자착식 고무 아스팔트시트 방수공법

가. 공법의 정의

지하구조물의 현장 환경을 고려하여 시공성을 크게 개선한 새로운 방수 소재로서 방수시트의 일면에 접착성을 크게 부여한 고무화 아스팔트층을 두고, 그 일면에 보호·보강재로서 섬유질 시트 혹은 고밀도 폴리에칠렌 필름 및 시트 등을 조합한 방수시트재를 이용한 방수공법이다.

자착식 고무 아스팔트시트는 용제형 접착제나 토오치를 이용한 가열 방식이 아닌 자체의 접착력으로 부착이 가능한 시트 방수재로서 현장 시공이 간편하여, 품질관리 및 평가가 쉽다.

나. 재료의 특성

자착식 고무 아스팔트시트 방수재는 스트레이트 아스팔트에 SBS, APP 등을 첨가한 개량 아스팔트나, 개량아스팔트에 SBR을 첨가한 고무화 아스팔트로 일반 아스팔트보다 감온성이나 점탄성적 성질을 개량하여 만든 것이다. 이면에는 박리를 위한 필름형 박리지를 부착하여 일정한 두께의 롤 상으로 생산한다.

㉠ 지하 환경하에서 방수재의 성능에 큰 영향을 받지 않는다.

㉡ 점탄성이 개량된 아스팔트로 바탕면의 크랙 등의 거동 대응성이 뛰어나다.

㉢ 열을 가하지 않기 때문에 시공이 간편하고 안전하다.

㉣ 반복적인 거동에 대한 내피로성이 우수하다.

㉤ 특수 부위 등의 굴곡부분의 처리가 용이하다.

㉥ 시트 상호간 이음부의 시공 관리가 중요하다.

다. 적용 구조물

㉠ 비노출의 일반적인 건축 구조물의 옥상 방수에 적용

㉡ 지하환경하의 지하구조물(개착식 구조물)의 방수에 적용

㉢ 바닥 방수용 베이스 시트로 적용

㉣ 교면 방수에 적용

㉤ 목조 주택의 지붕 방수에 적용

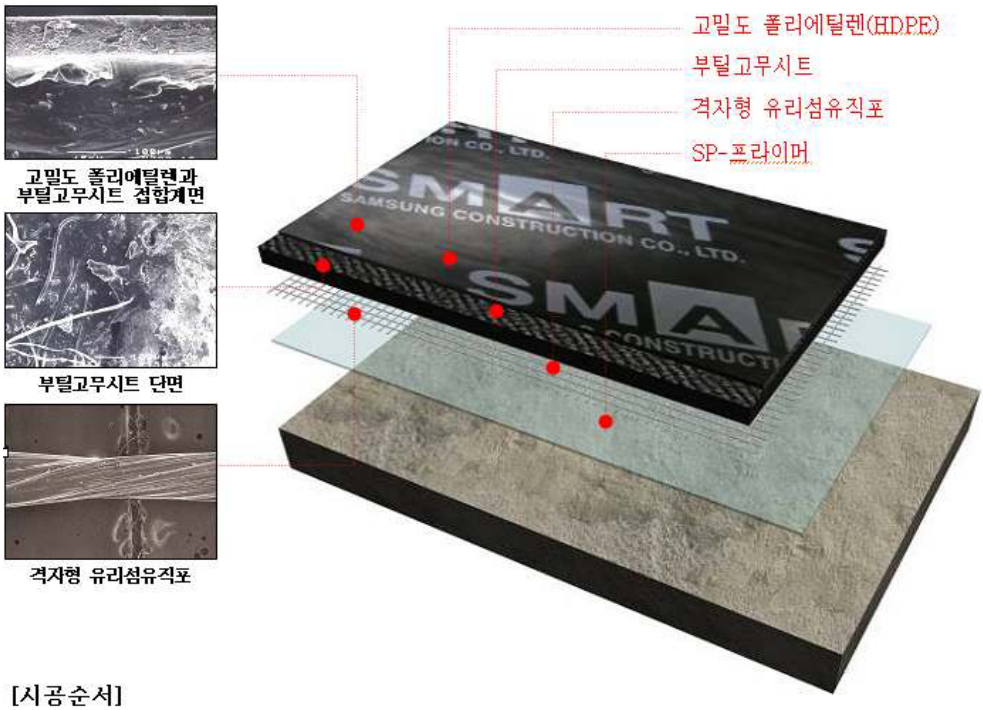
라. 자착식 고무 아스팔트시트의 요구 성능

지하환경하에서의 자착식 고무 아스팔트시트에 요구되는 성능은 다음과 같다.

㉠ 지하환경하에서의 무해성

자착식 고무 아스팔트시트는 지하환경의 지하구조물에 시공된 이후에는 장기간 지하환경에 침적되기 때문에 지하의 피해가 없어야 한다.

[기술 구성]



[시공순서]



[그림 4-23] 자착식 시트의 기술 구성 및 시공

㉡ 구조물 거동 대응 성능(인장 및 신장 성능)

방수시트가 상하좌우 방향에서의 물리적인 외력에 저항하는 능력의 정도로서 바탕재의 거동 특성에 상대적으로 대응해야 하는 성능으로서 최소 5㎜ 전후의 균열 및 조인트 거동에 대응할 수 있어야 한다.

이상적인 성능은 잘 늘어나면서도 인장강도가 커야 하지만 일반적으로 이 두 가지 성능을 동시에 만족시킬 수 없는 관계로, 방수 시트는 내균열 성능을 강화시키기 위해 일반적으로 자착면은 연질의 고무화 아스팔트를 사용하고, 심재나 보호층은 인장성능이 우수한 재료로 구성해야한다. 또한 하절기와 동절기의 변화된 온도 환경 하에서도 일정한 인장 및 신장 성능이 유지되어야 한다.

㉢ 자착식 고무 아스팔트시트재의 접합부 수밀성능(투수 저항 성능)

지하구조물은 일반적으로 상당한 수압이 작용하는 환경에 처하게 된다. 그러나 방수 시트는 규격화된 나비와 폭을 갖는 시트와 시트가 접합되어 구조체에 피막을 형성시키므로, 시트간의 접합부는 누수의 여지가 없도록 완벽한 수밀성을 확보하여야 한다. 시트 방수의 경우 일단 지하에 묻히면 시트간의 접합부는 보수 혹은 보강이 불가능하므로 시공시에 완벽한 접합성을 요구하게 된다. 따라서 일정한 수압에서 절대적으로 투수 저항 성능을 지녀야 한다.

㉣ 자착 및 부착성능

자착식 방수층은 동절기 시공이나, 미건조된 바탕에 방수층을 시공할 때 국부적 혹은 전체적으로 부풀어 오르거나, 들뜨는 하자 사례가 빈번히 발생한다. 토오치 가열방식이나, 접착제를 이용한 전면 접착형의 시트 방수는 바탕재와 방수층의 접착력에 의존하기 때문에 바탕재 내부에 포함된 수분의 증발에 의한 수증기 압력으로 들뜸의 영향이 크고, 방수시트 시공 후 보호층 설치 전 또는 노출형의 피막방수층일 때 태양열 시트재의 늘어짐 및 수증기압이나, 풍압에 의한 시트의 부력에 대해 저항해야 하므로 바탕재와 방수 시트의 최소 계면 부착성이 요구된다.

ⓜ 내피로성능

방수 바탕재에 생기는 거동에 대한 방수층의 내피로 저항성은 구조체의 거동 조건(크기, 파형, 주기)과 온도조건 등에 따라 좌우된다. 주로 방수 바탕이 되는 콘크리트 구조물은 수많은 균열과 조인트부를 가지므로 온도의 변화나 진동에 따른 구조물 거동(철도구조물)에 대한 시트 방수층의 내피로 저항성능이 크게 요구된다.

ⓑ 내외상 성능 (내움푹패임성능)

외상의 종류에는 충격에 의한 동적 외상과 지속하중에 의한 정적 외상이 있다. 방수시트 설치 후 흙되메우기에 대한 방수층의 보호를 위하여 누름층, 프로텍션 보드 등의 보호층을 설치하는데, 이 보호층에 골재나 방수 바탕의 요철부에 의한 방수 시트의 국부적 지속적인 재하가 있을 때 방수 시트의 파손을 방지하기 위하여 일정 두께 이상을 유지해야 한다. 필요시에는 방수층의 겹수를 증가 시킬수 있다.

ⓢ 내열성능

고분자 화합물의 재료는 온습도 등의 다양한 환경 변화에 따라 분자 고리의 움직임이 있을 수 있으므로, 방수시트와 같은 고분자 화합물 등이 포함된 연질의 고무화 아스팔트 및 보호·보강층을 포함하는 시트의 경우 온도 변화(고온 60℃, 저온 −20℃ 범위)에 따른 흘러내림이나 시트의 수축이 과도하게 변형하여서는 안된다.

마. 자착식 고무 아스팔트시트 방수공법 특성

본 자착식 고무 아스팔트시트 방수공법의 시공상 주목할 만한 특징은 다음과 같다.

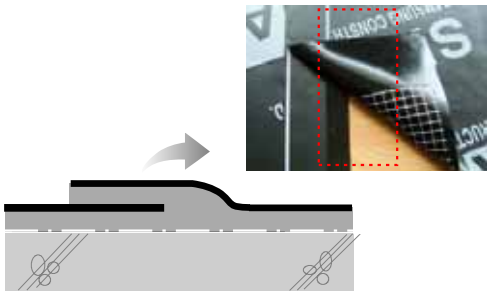
㉠ 콘크리트 바탕 정리, 프라이머 처리 등의 공정이 간편하다.

㉡ 습윤바탕, 습윤환경에서도 시공이 가능하다(별도의 프라이머 사용하여야 함).

㉢ 용제 접착제 및 가열도구를 사용하지 않으며, 비경화형이므로 양생시간에 영향을 주지 않는다.

㉣ 무독성 자재이며 상온공법(열을 사용하지 않음)이므로 작업자의 안전성의 확보가 가능하다.

㉤ 신구 방수층의 시공 조인트에서도 방수층이 확실한 연속성을 확보할 수 있다.



〈그림〉 자착식시트의 공극자가충진에 의한 접합부 일체화



〈그림〉 부틸계 합성고무 자착식시트의 점착특성

[그림 4-24] 자착식 시트

3.6.3.4 뿜칠형 도막 방수공법

3.6.3.4.1 폴리우레아 뿜칠 공법의 개요

가. 공법의 정의

이 공법은 기존의 로울로, 주걱 등으로 벽체에 도포하는 도막방수 공법의 시공개념을 스프레이 뿜칠형으로 전환하여 시공성을 개선한 방수공법이다. 이때에 사용하는 재료는 도포후 20초 이내에 순간 경화하여 흘러내림이 없이 방수층의 두께를 형성한다. 현재 고무아스팔트계, 폴리우레탄계 폴리우레아계 등이 있으나 가장 우수한 성능을 나타내고 있는 소재가 폴리우레아 수지계 방수재이다.

나. 재료의 특성

폴리우레아 수지는 주재(폴리 이소시아네이트)와 경화제(폴리아민)를 혼합하는 2액경화형의 폴리우레아 수지를 채용하고 있으며, 아미노기(-NH2)와 이소시아네이트기(-NCO)와의 화학반응에 의해 형성되는 우레아 결합을 제품화한 것으로 매우 우수한 내구성과 유연성을 갖고 있다.

방식피막재의 적용에 있어서는 우레아화 반응을 이용하여 경화시키므로 경화

시간이 10~20초로 극히 짧아 시공의 효율화에 크게 공헌한다. 또한 매우 높은 밀착력, 내마모성, 내약품성, 열안전성을 가지고 있는 점이 특징이다.

- 우레아 결합의 형성 -

R-NCO + R'-NH2 → R-NH-CO-NH-R'

-------- ------- ----------

이소시아네이트 아민 우레아 결합

㉠ 순간경화성

스프레이후의 겔화하는 시간은 10-20초로 매우 짧아 수평면에서는 30초 이내에 보행이 가능하고 시공후의 양생시간이 요구되지 않는다

㉡ 습도,온도에 의해 경화성질에 영향을 미치기 어렵다.

시공 후 높은 습도에서도 발포현상이 전혀 나타나지 않으며 빙점하(-10℃이상)에서도 완전히 경화한다.

㉢ 천장면,벽면의 시공성이 뛰어남.

경화하는 타임이 짧으므로 천장면,벽면에 1㎜이상의 도막이 흘러내리는 현상 없이 연속적으로 만들어지므로 시공이 용이하여 단시간에 마감이 된다.

㉣ 강도가 높고 신장율도 있다.

20Mpa(약200kgf/cm2)이상의 인장강도와 200%이상의 신장률을 가지고 있으므로 균형잡힌 인장특성을 나타낸다.

㉤ 내약품성, 내후성등의 내구성에 우수함.

내산성, 내알카리성, 내염소성, 내오존성, 내후성에 뛰어나 2~3㎜두께의 콘크리트 도장품은 일본 하수도사업단 콘크리트 방식지침(안)시험법의 D종 재료규격을 만족하는 등 지금까지의 라이닝 법에 존재하지 않는 많은 특성을 가지고 있다.

다. 적용 구조물

㉠ 비노출의 일반적인 건축 구조물의 옥상 방수에 적용

㉡ 지하환경하의 지하구조물(개착식 구조물)의 방수에 적용

㉢ 바닥 방수용 베이스 시트로 적용

㉣ 교면 방수에 적용

라. 초속경화 폴리우레아 수지의 재료적 특성

㉠ 밀 도

스프레이후의 도막의 밀도는 1.0g/㎤, 도막두께 1㎜의 코팅에 대한 수지 중량은 약 1kg/㎡이다.

㉡ 인장강도 및 신장특성

인장강도는 24MPa(240kgf/㎠), 신장율은 200%로 수㎜의 콘크리트 균열에는 추종성을 가진다. 또한 영계수도 300MPa로 높고 초기응력에 대하여 강한 저항력을 가진다.

㉢ 지하 저항성

제 1단계 인천국제공항 지하구조물의 방수공사에 적용하였다. 지하뿐만 아니라 내산성 시험 및 내알카리성 시험결과와 약품침적 전후의 중량 및 물성변화의 시험결과로부터 본 공법은 종래공법과 동등 이상의 내약품성을 가지며 내황산성에 대해서는 특히 우수하다.

㉣ 콘크리트면의 부착성능

부착강도시험결과 및 콘크리트와 방식피막층과의 부착강도 시험결과로부터 본 공법은 콘크리트와 일체화된 부착성능이 양호한 방식 피막층이 형성될 수 있다.

㉤ 내피로성

방식피복층의 제로스팬 신장시험결과 동결융해사이클 시험결과 및 신장온도특성 시험결과로부터 콘크리트 구체에 발생하는 균열에 대하여 종래의 공법보다 우수한 추종성을 가지는 것으로 인정되었다.

㉥ 내구성

모형수조에서의 10% 황산수용액 침적시험 및 수용액 침적시험, 박막에서의 내약품성시험, 60℃의 10%의 황산수용액 침적시험, 60℃의 이온 교환수 침적시험, 85℃의 10% 가성소다 수용액 침적시험, 신장시의 10% 황산수용액 침적시험, 10%황산수용액 시험후의 제도스팬 신장시험 및 히트 사이클시험 등 통상의 조건보다 엄격한 조건에서의 실험결과로부터 내구성이 있는 것으로 인정되었다.

㉥ 내약품성 등의 내구성

내산성, 내알카리성을 포함하여 내염소성, 내오존성, 내중성화성등 방식피복재로서 우수한 성능을 가지고 있다.

2~3㎜두께의 콘크리트 도장품은 일본하수도사업단 방식지침(안) 방식피복재료의 D종 규격을 만족한다.

마. 초속경화 뿜칠형 도막방수공법의 시공 특성

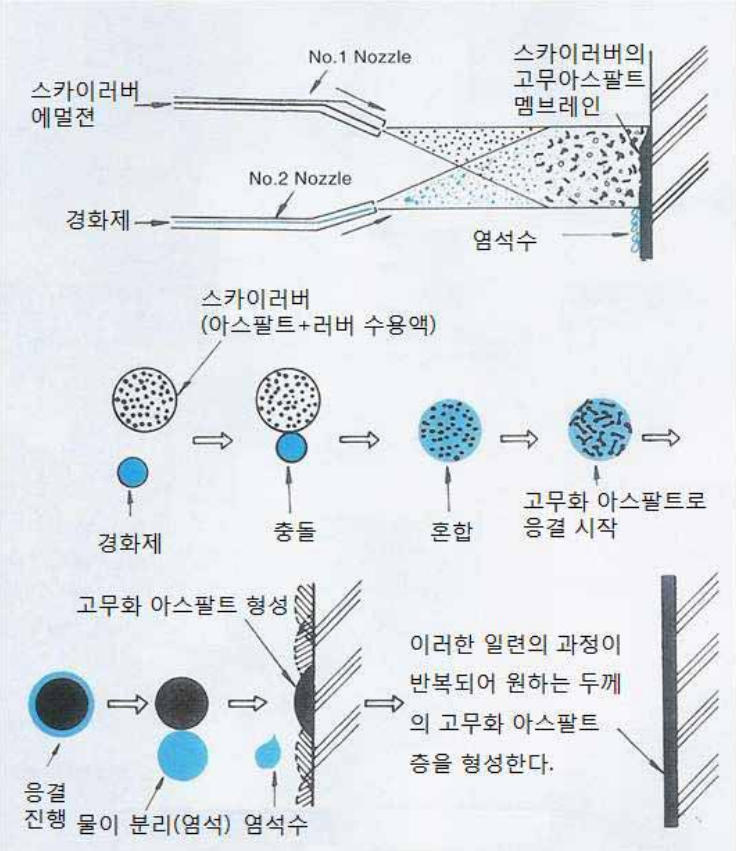
방식피복층 접착강도의 프라이머 양생조건 의존성 시험결과, 방식피복층형성으로부터 사용 개시까지의 필요양생시간 시험결과, 방식피복층 형성시의 물의 영향시험결과, 천장면과 벽면에의 시공시험결과, 작업능력 및 기존 도막방수공법과의 공기의 비교결과로부터 종래의 공법보다 우수한 시공성을 가지고 있다.

3.6.3.4.2 고무계 뿜칠 공법의 개요

가. 공법의 개요

고무계 붐칠 방수공법은 양호한 작업성, 우수한 방수 성능, 겹침부위가 없는 일체화 방수, 진동 및 균열에 양호한 추종성 등을 가져 아스팔트 방수의 결점(여러 번 적층에 따른 공점의 복잡화 , 냄새 , 열에 의한 가열)을 개선하고 , 동시에 시트 방수의 결점(겹침부분 및 연결부분의 수밀성 확보문제)을 보완하는 것을 핵심으로 개발된 공법이다. 이렇게 도막 공법의 장점은 그대로 가져가면서 도막 공법과 시트 공법의 문제점들을 해결할 수 있는 공법으로 개발되었다.

이러한 방수재는 휘발성 유기화합물(VOC), 용제, 포름 알데히드 등을 전혀 사용하지 않는 친환경성 제품으로 수용성 아스팔트 에멀젼과 우수한 탄성과 접착력, 내화학성을 가진 특수합성고무로 구성된다. 또한 특별히 고안된 스프레이 머신을 이용하여 상온에서 시공이 가능하고 흘러내리지 않으며 콘크리트, 금속, 목재 등 다양한 재질의 방수 또는 부식 방지에 시공이 가능한, 간단하면서도 완벽한 친환경성 스프레이 아스팔트 에멀젼 도막 방수재이다.



[그림 4-25] 고무계 도막방수공법의 방수층 형성 원리

나. 특징

- 탁월한 신장율(1,650%) 및 복원력(90%)
- VOC(휘발성유기화합물) 및 가연성 솔벤트가 없는 수용성 스프레이 공법으로 친환경적
- 스프레이 공법으로 JOINT가 없는 연속 도막을 얻을 수 있는 SEAMLESS 공법
- 스프레이 머신을 이용한 기계화 시공으로 공기 단축 및 작업인력 최소화
- 바탕면의 함습에도 시공 가능
- 우수한 내화학성 및 내약품성을 가짐

- 우수한 내자외선성, 내오존성을 가짐
- 콘크리트, 금속, 목재등 다양한 재질에 우수한 부착성을 가짐





[그림 4-26] 고무계 뿜칠 방수 장비 및 시공현황

다. 적용 구조물

- 건축물 지하, 터널, 공동구, 지하철, 각종 지하구조물
- 건축, 토목 구조물의 외방수

라. 고무계 방수재의 요구 성능

㉠ 인장강도 및 신장특성

상하 좌우 방향에서의 물리적인 외력에 저항하는 능력의 정도로서 바탕재의 거동 특성에 상대적으로 대응해야 하는 성능으로서 최소 5㎜ 전후의 균열 및 조인트 거동에 추종성이 있어야 한다.

㉡ 지하 저항성

초속경화 고무아스팔트는 지하환경의 지하 구조물에 시공된 이후에는 장기간 지하환경에 침적되기 때문에 지하의 피해가 없어야 한다.

㉢ 콘크리트면의 부착성능

동절기 시공이나, 미건조된 바탕에 방수층을 시공할 때 국부적 혹은 전체적으로 부풀어 오르거나, 들뜨는 하자에 대해 안정성이 있어야 한다.

㉣ 내피로성

방수 바탕재에 생기는 거동에 대한 방수층의 내피로 저항성은 구조체의 거동 조건(크기, 파형, 주기)과 온도조건 등에 따라 좌우된다. 주로 방수 바탕이 되는 콘크리트 구조물은 수많은 균열과 조인트부를 가지므로 온도의 변화나

진동에 따른 구조물 거동에 대한 방수층의 내피로 저항성능이 크게 요구된다.

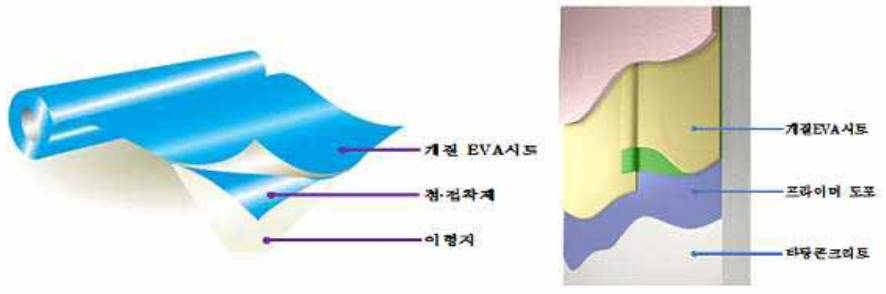
ⓑ 내외상 성능

외상의 종류에는 충격에 의한 동적 외상과 지속하중에 의한 정적 외상이 있다. 고무아스팔트 뿜칠 시공 후 흙되메우기에 대한 방수층의 보호를 위하여 누름층, 프로텍션 보드 등의 보호층을 설치하는데, 이 보호층에 골재나 방수바탕의 요철부에 의해 방수재에 국부적 지속적인 재하가 있을 때 방수재의 파손을 방지해야 한다.

3.6.3.5 점·접착EVA 복합시트

3.6.3.5.1 점·접착EVA 복합시트의 개요

본 기술의 점·접착EVA 복합시트의 구성은 재활용 개질EVA시트(T=0.5~1.0mm) 표면에 고점도 겔(Gel)상태의 비경화형 점·접착 방수재(T=0.5~1mm)로 형성되어 총 두께 1~2mm인 복합방수시트 형태로 구성되어 있다.



[그림 4-27] 점 접착 EVA 복합시트 구조

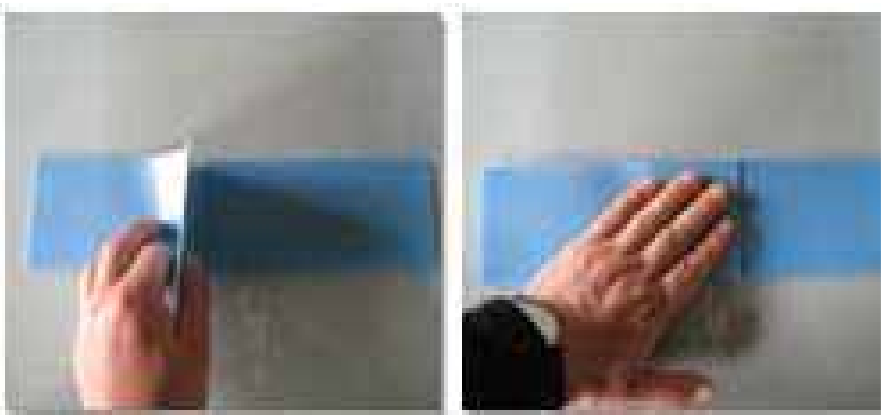
3.6.3.5.2 점·접착EVA 복합시트의 주요기술

점·접착 EVA 복합방수공법의 주요 내용은 다음과 같다.

가. 방수시공의 시공성 향상과 시공 안정성을 개선한 방수공법

- 점·접착EVA 복합시트의 점접착성을 이용한 시공의 간편성 및 시공공정을 간소화한 방수공법
- 비숙련자가 시공을 하는 경우에도 균질한 시공성을 확보하는 방수공법
- 방수시공시 작업자의 안전을 확보하는 방수공법

본 기술의 친환경 점·접착EVA 복합시트에 부착된 점접착제는, 점착성과 접착성을 공유하여 점·접착성능을 충분히 발휘하도록 조성 하였고 재활용 개질EVA시트와 시트의 접합이 매우 간단하면서도 강하게 일체형으로 접합되며, 콘크리트 바탕면도 누름 압착만 으로도 강력하게 부착이 된다.
이러한 본 기술의 점·접착EVA 복합시트의 점·접착 특성에 의해 방수시공 작업자는 풀바른 벽지 또는 장판지를 붙이는 것과 같이 방수시공을 쉽고도 간편하게 방수시공을 할 수 있으며, 본 기술의 복합방수시트는 비숙련자가 방수시공 한 것이 방수기능자가 시공한 것과 같은 균질한 방수시공 효과를 얻게 하며, 방수 시공 시 시공 작업자의 안전도 확보하는 방수공법이다



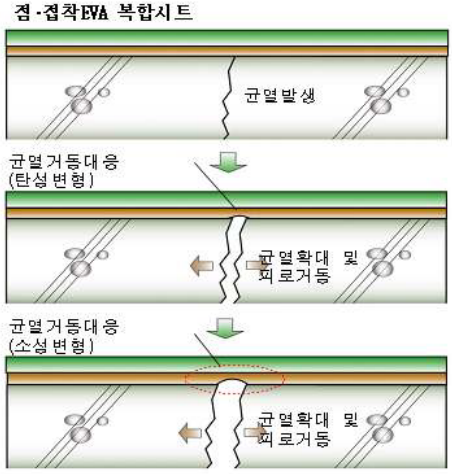
[그림 4-28] 간단히 붙이는 수작업 사진

본 기술은 친환경적인 점·접착EVA 복합시트를 하부에 형성된 점·접착제의 점·접착 특성에 의해 냉공법으로 간단히 시공을 함으로 작업자가 안전하게 방수시공을 한다.

나. 바탕면 거동 대응성능 및 외력 대응성능을 확보하는 방수공법

점·접착EVA 복합시트는 시트와 시트의 상호간 및 바탕면과의 점·접착력이 우수하고 과다변형 시에도 소성변형이 일어나게 되므로 바탕구조물의 균열 및 거동 발생시 점·접 착 컴파운드의 폭넓은 소성 변형에 의한 거동대응으로 수밀성을 확보하는 특징을 가진다.

다음 그림과 같이 바탕 콘크리트에 밀착 시공하는, 기존의 자착성 방수재는 바탕면의 균열 발생시 균열폭이 작을 경우 탄성변형을 통해 균열거동에 대응하여 수밀성을 유지 할 수 있으나 균열폭이 확대되어 피로거동이 일어날 경우 방수재가 탄성변형구간을 이탈하여 장기적으로 파단에 이르게 되며, 방수재의 인장강도를 중요시하여 고강도 섬유 등으로 보강한 방수층의 경우 균열이 확대되어 거동시 균열부 방수재 접착계면이 분리되고 장기적인 피로하중 발생시 방수층이 파단 될 수 있다.



균열폭이 탄성범위를 벗어날 경우 하부 점접착층이 소성변형으로 거동에 대응

[그림 4-29] 기술의 균열거동 대응 특성

제5장

기초바닥 영구배수 공법 설계

5

제5장　기초바닥 영구배수 공법 설계

1. 개 요

1.1 검토 개요

본 장에서는 “아산배방지구 00블럭 아파트 건립공사 ” 중 현장의 바닥에 작용하는 부력 및 양압력 처리 방법을 종합 검토하고, 지반의 수리 특성과 건축기초의 설계조건 등을 토대로 영구배수 공법 적용에 따른 수리해석을 통하여 영구배수 공법의 설계와 시공을 위한 규격 및 단면결정에 제반사항을 검토하는데 있다.

1.2 지반 조건

지반조건 및 지하수위에 대한 지반조사보고서의 내용을 요약하면 아래와 같다.

[표 5-1] 지층별 두께 및 지하수위 (1)

공 번	지층별 두께 (m)						지반고	지하수위	
	매립토	퇴적토	풍화토	풍화암	연 암	경 암	EL.(+)m	GL.(-)m	EL.(+)m
H-01	9.30	-	3.50	2.20	-	-	28.910	9.60	19.31
H-02	5.90	-	0.90	7.20	-	-	24.010	5.30	18.71
H-03	7.90	-	4.90	2.20	-	-	29.390	8.40	20.99
H-04	6.70	-	3.00	2.30	-	-	28.960	5.80	23.16
H-05	1.40	-	7.10	3.50	-	-	29.050	2.60	26.45
H-06	0.20	-	11.30	3.40	20.10	-	25.640	1.90	23.74
H-07	0.20	-	5.30	4.50	-	-	25.590	2.50	23.09
H-08	3.80	-	6.90	2.30	-	-	28.670	6.32	22.35
H-09	4.80	-	11.00	2.20	-	-	28.610	6.27	22.34
H-10	4.70	-	9.90	2.40	-	-	28.790	5.10	23.69
H-11	2.60	-	11.10	2.30	-	-	29.050	4.35	24.70
H-12	0.20	-	1.60	2.20	-	-	28.290	2.40	25.89
H-13	0.50	-	6.40	2.20	-	-	28.32	1.30	27.02
H-14	0.70	-	7.10	0.90	1.00	-	28.290	2.10	26.19
H-15	0.50	-	-	2.50	2.00	-	27.780	3.40	24.38
H-16	0.20	-	3.40	2.40	-	-	27.970	3.50	24.47
H-17	1.50	-	1.10	5.20	16.80	10.40	28.060	1.85	26.21
H-18	0.10	-	7.60	2.30	-	-	25.430	1.40	24.03
H-19	0.70	-	9.60	2.70	-	-	25.660	3.70	21.96
H-20	0.40	-	11.40	1.20	-	-	27.840	5.20	22.64

[표 5-2] 지층별 두께 및 지하수위 (1)

공 번	지층별 두께 (m)						지반고	지하수위	
	매립토	퇴적토	풍화토	풍화암	연 암	경 암	EL.(+)m	GL.(-)m	EL.(+)m
H-21	3.50	-	3.00	2.50	-	-	25.240	4.90	20.34
H-22	4.80	-	3.00	3.20	-	-	25.330	5.30	20.03
H-23	1.80	-	6.00	1.20	-	-	25.390	3.60	21.79
H-24	5.30	-	1.40	3.30	-	-	22.284	2.75	19.53
H-25	3.50	-	5.00	2.50	-	-	25.690	3.10	22.59
H-26	1.60	-	7.30	2.10	-	-	27.750	3.65	24.10
H-27	0.20	-	5.30	2.50	-	-	27.191	2.60	24.59
H-28	2.40	-	-	10.00	8.00	3.00	28.400	2.35	26.05
H-29	0.20	-	4.70	-	-	2.10	25.580	1.50	24.08
H-30	0.20	-	5.60	2.20	-	-	25.860	1.40	24.46
H-31	0.20	-	9.60	2.20	-	-	28.280	4.90	23.38
H-32	3.40	-	1.30	0.80	2.40	-	28.400	4.80	23.60
H-33	2.80	-	7.00	4.20	-	-	28.650	5.00	23.65
H-34	5.30	-	1.50	2.20	-	-	25.000	5.45	19.55
H-35	0.20	-	6.60	6.80	5.90	-	25.340	2.40	22.94
H-36	3.60	-	3.20	2.20	-	-	23.190	3.50	19.69
H-37	7.60	-	4.40	-	-	-	23.180	4.50	18.68

1.3 공내지하수위 조건

지반조사 당시 현장의 공내 지하수위는 지표하 -1.30m ~ -9.60m (EL.+18.68m ~ EL.+27.02m)에 분포하고 있는 것으로 나타났으나, 계절의 변화 및 강우량(홍수기시) 등에 따른 지하수 유출 등과 같은 요인으로 인하여 변화될 수 있다.

1.4 설계결과 요약

[표 5-3] 설계관련 사항

기 초 형 식	▷ 독립기초
지 반 조 건	▷ 풍화토, 풍화암 ▷ 설계지하수위 : 공내지하수위 + 강우시 상승수위 적용
굴 착 깊 이	▷ EL.+19.64m ~ EL.+24.14m
배 수 면 적	▷ 20,852.0㎡
적 용 공 법	▷ SDS(Sandwich Drainage System)공법

2. 영구배수 설계

2.1 설계 개요

2.1.1 건축 구조설계 도면을 근거로 건축물기초 및 지하층을 포함한 구조형식, 규모와 설계하중 검토 (건축 구조설계도서 참조)

2.1.2 건축물 주변의 지형 및 주변구조물 등의 현황 고찰

2.1.3 지반의 지질과 성층상태 및 수리특성 분석 (지반조사 보고서 참조)

2.1.4 부력 및 양압력 처리방법에 대한 적용성 검토 및 방법 선정

2.1.5 부력 및 양압력 처리방법 설계

1) FEM해석 기법을 적용한 지하수 유입경로 및 수리모델링에 의한 지하수 예상 침투 유입수량 추정

2) 지하수 유입수량 조절을 위한 검토(Cut off Grouting,벽체 근입장 등)- 필요시

3) 영구배수 공법의 규격과 단면결정 및 수리계산

4) 영구배수 공법의 배치, 집수정의 크기와 개수, Pump용량 산정

2.1.6 영구배수 공법 시공을 위한 도면 및 시방서 작성 (자재의 규격 및 사양, 시공방법)

2.2 적용규준 및 참고자료

2.2.1 건축구조설계기준, 대한건축학회, 2006

2.2.2 구조물기초설계기준, 한국지반공학회, 2009

2.2.3 굴착 및 흙막이 공법, 한국지반공학회, 2002

2.2.4 Drainage Design, P.Smart & J.G. Herbertson, BLACKIE, 1992

2.2.5 Construction Dewatering, J.Patrick Powers, P.E, JOHN WILLEY & SONS, INC, 1992

2.2.6 Soil Mechanics, T.W Lambe & R.V.Whitman, JOHN WILLEY & SONS, INC 1979

2.3 사용된 수리해석 프로그램

2.3.1 컴퓨터 수리모델링 프로그램 : SEEP/W (Geo-Slope, Canada)

2.4 투수계수 산정

2.4.1 투수계수 산정

지층의 투수계수는 아래[표2-1~4]을 참조하여 토질공학적 측면에서 종합적으로 검토하여 당 현장에 적정한 값을 적용한다.

[표 5-4] From "Construction Dewatering" (J.Patrick Powers, 1981)

Description	Permeability (μ /sec)
Openwork gravel (GP)	10,000 or higher
Uniform gravel (GP)	2,000 – 10,000
Well graded gravel (GW)	500 – 3,000
Uniform sand (SP)	50 – 2,000
Well graded Sand (SW)	10 – 1,000
Silty sand (SM)	10 – 50
Clayey Sand (SC)	1 – 10
Silt (ML)	0.5 – 1.0
Clay (CL)	Negligible

** μ /sec = 10-4㎝/sec

[표 5-5] 투수계수의 일반적인 값들 [BRAJA M.DAS]

흙의 종류	투수계수(Permeability , k)	
	㎝/sec	ft/min
깨끗한자갈	1.0 ~ 100	2.0 ~ 200
굵은 모래	1.0 ~ 0.01	2.0 ~ 0.02
가는 모래	0.01 ~ 0.001	0.02 ~ 0.002
실 트	0.001 ~ 0.00001	0.002 ~ 0.00002
점 토	0.000001 이하	0.00002 이하

[표 5-6] 퇴적암 투수계수의 이방성 [윤지선역, 1991 P-498]

암 종	수평방향 투수계수	연직방향 투수계수
泥 岩	0.045md	0.009md
혈 암	2,200md	1,200md
실 트 암	46,000md	2,500md
세립사암	16,300md	3,300md

** md : 9.65 x 10-7 ㎝/sec

[표 5-7] Creager에 의한 D20과 투수계수 [토질역학 핸드북, 일본토질 공학회]

토질분류	D20 (㎜)	k (㎝/sec)	토질분류	D20 (㎜)	k (㎝/sec)
점 토	0.005	3.00 x 10-6	세립 모래	0.12 0.14 0.16 0.18 0.20 0.25	2.60 x 10-3 3.80 x 10-3 5.10 x 10-3 6.85 x 10-3 8.90 x 10-3 1.40 x 10-2
세립 실트	0.01	1.05 x 10-5	중립 모래	0.30 0.35 0.40 0.45 0.50	2.20 x 10-2 3.20 x 10-2 4.50 x 10-2 5.80 x 10-2 7.50 x 10-2
조립 실트	0.02 0.03 0.04 0.05	4.00 x 10-5 8.50 x 10-5 1.75 x 10-4 2.80 x 10-4	조립 모래	0.60 0.70 0.80 0.90 1.00	1.10 x 10-1 1.60 x 10-1 2.15 x 10-1 2.80 x 10-1 3.60 x 10-1
매 우 세립 모래	0.06 0.07 0.08 0.09 0.10	4.60 x 10-4 6.50 x 10-4 9.00 x 10-4 1.40 x 10-3 1.75 x 10-3	잔 자 갈	2.00	1.80

[표 5-8] 현장에 적용된 투수계수

지 층	해석모델	투수계수, k (cm/sec)	비 고
성 토 층 되메우기층	Saturated Only	3.00×10-2	경 험 치
매 립 층	Saturated Only	3.84×10-4	시 험 치
풍 화 토	Saturated Only	2.13×10-4	시 험 치
풍 화 암	Saturated Only	1.86×10-4	시 험 치
연 암	Saturated Only	1.00×10-6	경 험 치
경 암	Saturated Only	3.00×10-7	경 험 치

2.5 설계지하수위 산정

구조물 기초 바닥슬래브에 작용하는 상향수압으로부터 안정하기 위해서는 다음과 같은 사항을 고려하여 설계 지하수위를 산정하여야 한다.

1) 계절적인 영향

지반조사 보고서 상의 조사 기간은 2007년 02월로 조사기간이 건기시에 실시된 점을 감안 할 때, 국지적 게릴라성 집중호우에 의한 추가적인 지하수위 상승이 예상된다.

2) 전년도 아산(천안)지역 시간당 최대 강우량= 90.00mm/hr(기상청 자료 1976.08.14)

2.5.1 설계지하수위 산정

1) 강우시 설계지하수위 산정을 위한 시간당 강우량 = 28.75mm/hr

산출 = (전년도 최대강우량) × 0.50(침투율)

= (90.00mm/hr) × 0.50 ≒ 45.00mm/hr

※ 침투율= 1-유출계수(표2-6, 경사가 급한 산지 기준)

[표 5-9] 공종별 유출계수 (1) [제1편 설계기준-제4장 하수도공사,토지공사]

공 종	유 출 계 수	공 종	유 출 계 수
단독주택	0.80	어린이 공원	0.45
공동주택	0.65	근린공원	0.30
근린생활시설	0.80	학 교	0.40
상업용지	0.80	공용의 청사	0.75
도 로	0.85	종교용지	0.75

[표 5-10] 공종별 유출계수 (1) [제1편 설계기준-제4장 하수도공사,토지공사]

공 종	유 출 계 수	공 종	유 출 계 수
지 붕	0.85~0.95	공 지	0.10~0.30
도 로	0.80~0.90	잔디,수목이많은공원	0.05~0.25
기타불투수면	0.75~0.85	경사가 완만한 산지	0.20~0.40
수 면	1.00	경사가 급한 산지	0.40~0.60

[표 5-11] 토지용도별 유출계수[토목설계지침-대한주택공사,2006]

공 종		유 출 계 수
상업지역	도심지역	0.70~0.95
	근린지역	0.50~0.70
주거지역	단독주택단지	0.30~0.50
	독립주택단지	0.40~0.60
	연립주택단지	0.60~0.75
	교외지역	0.25~0.40
	아파트	0.50~0.70
산업지역	산재지역	0.50~0.80
	밀집지역	0.60~0.90

(자료: 하천설계기준 건설교통부 2002,미국토목학회 ASCE 1992)

2.5.2 설계지하수위 검토 결과

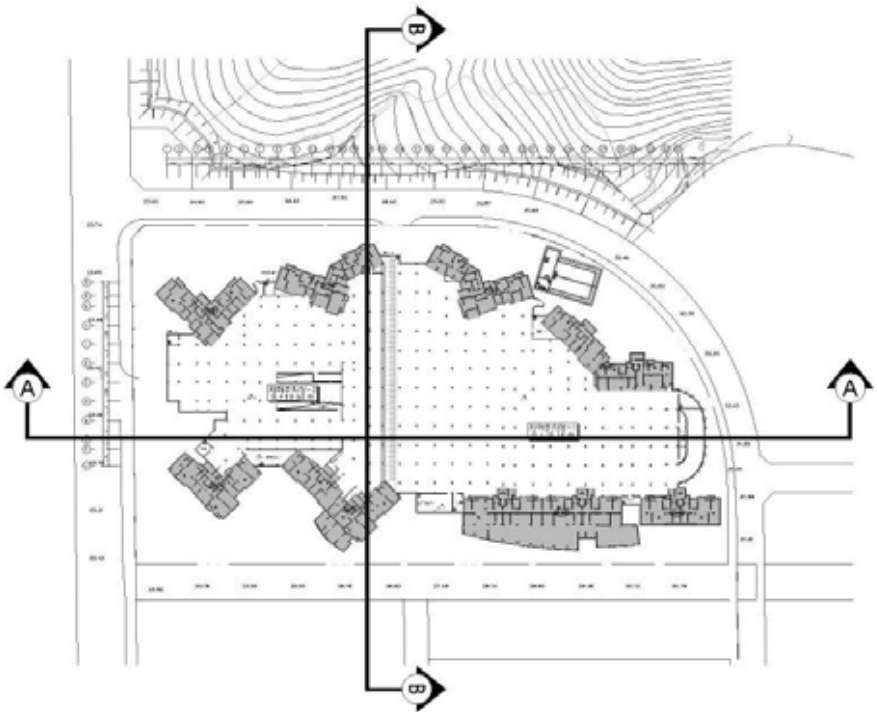
설계지하수위 산정시 유한해석 프로그램(SEEP/W)을 수행하기 위해 검토단면의 수위차를 0.5m, 5.0m, 10.0m, 15.0m, 20.0m, 25.0m로 적용하여 검토하였다.

2.6 지하수 유입수량의 산정

2.6.1 유입수량 검토 조건

굴착 현장의 지하수 유입수량 검토는 시공 중 유입되는 양수(Dewatering) 작업량 추정에 사용되는 일시적 유입수량(Temporary Condition) 예측과 영구 구조물 완공 후 건물 바닥에 작용하는 부력 및 양압력 설계에 관련되는 유입수량 예측으로 분리할 수 있으며, 본 검토에서는 이중 영구조건(Permanent Condition)시를 대상으로 하였다.

2.6.2 Computer 수리모델링 Type 현황도



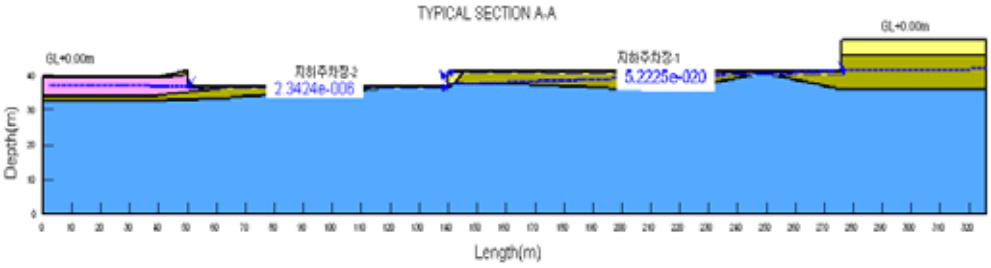
[그림 5-1] 수리모델링 Type 현황도

2.6.3 유입수량 해석

영구배수 설계시 유입수량 산정은 구조물기초 슬래브에 작용하는 부력 및 양압력만큼 이나 중요하다 할 수 있다. 이는 유입수량에 따라 배수재의 배치 및 집수정(Sump pit)의 개소를 결정하는데 영향을 미치므로 당 현장의 경우 유입수량 산정시 기존 널리 사용되어지고 있는 SEEP/W 해석프로그램으로 유입수량을 산정 적용하였다.

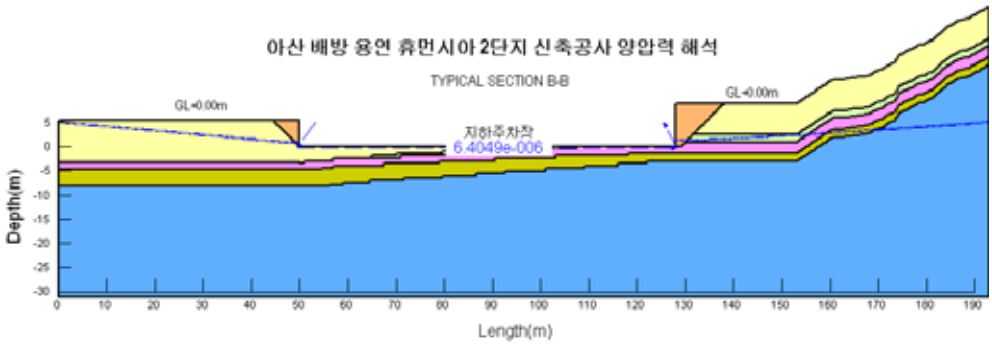
1) 지하수위 5.0m 적용시

① Section A



[그림 5-2] 지하수위 5.0m 적용시 유입수량 (Section A)

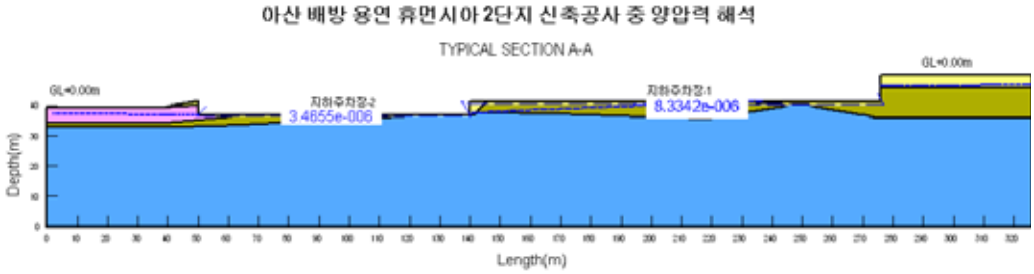
② Section B



[그림 5-3] 지하수위 5.0m 적용시 유입수량 (Section B)

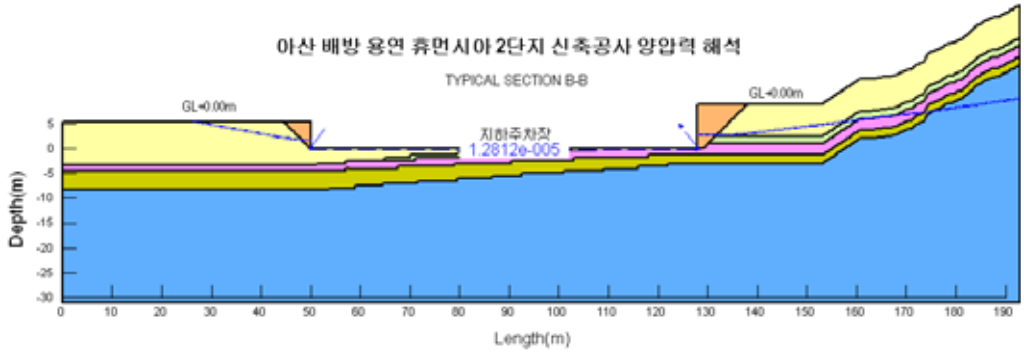
2) 지하수위 10.0m 적용시

① Section A



[그림 5-4] 지하수위 10.0m 적용시 유입수량 (Section A)

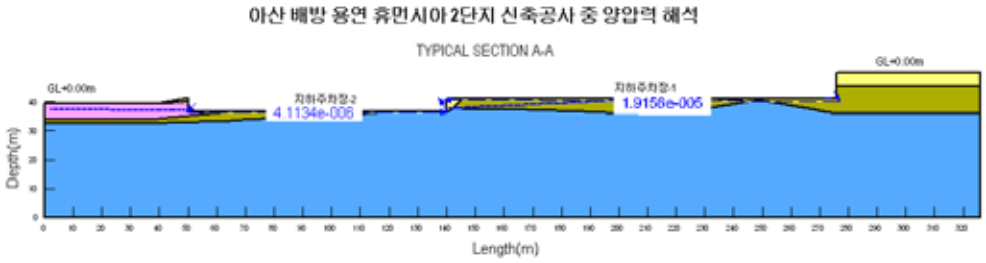
② Section B



[그림 5-5] 지하수위 10.0m 적용시 유입수량 (Section B)

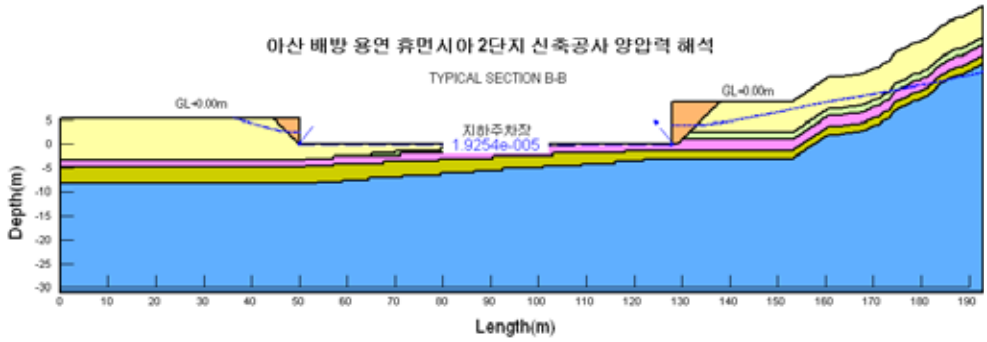
3) 지하수위 15.0m 적용시

① Section A



[그림 5-6] 지하수위 15.0m 적용시 유입수량 (Section A)

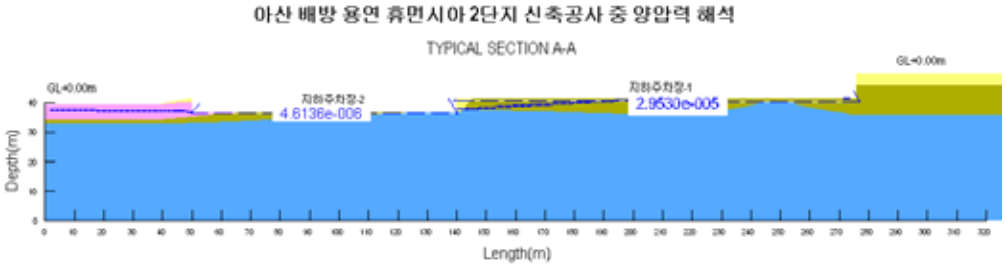
② Section B



[그림 5-7] 지하수위 15.0m 적용시 유입수량 (Section B)

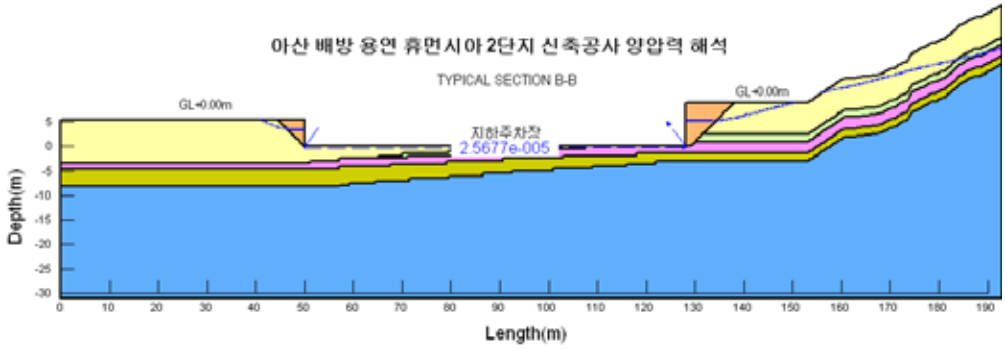
4) 지하수위 20.0m 적용시

① Section A



[그림 5-8] 지하수위 20.0m 적용시 유입수량 (Section A)

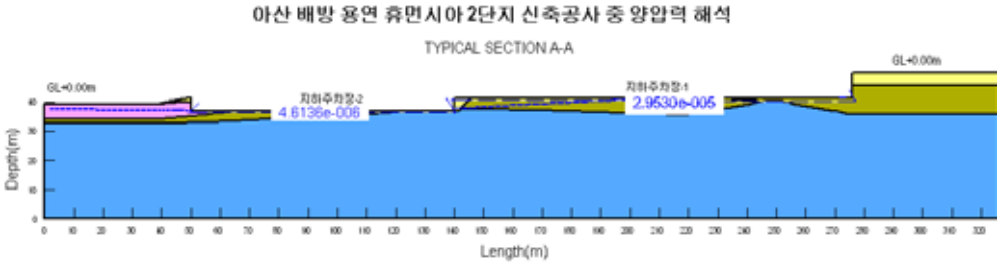
② Section B



[그림 5-9] 지하수위 20.0m 적용시 유입수량 (Section B)

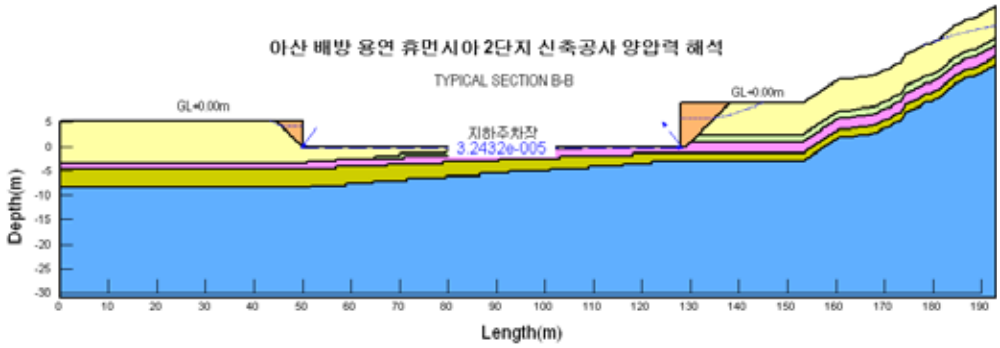
5) 지하수위 25.0m 적용시

① Section A



[그림 5-10] 지하수위 25.0m 적용시 유입수량 (Section A)

② Section B



[그림 5-11] 지하수위 25.0m 적용시 유입수량 (Section B)

2.6.4 유입수량 해석결과

수리해석 결과 당 현장의 구조물이 완공된 후 영구적으로 기초바닥에 유입되는 일일 지하수 유입수량은 [표3-8]과 같으며 다음과 같은 사항들로 인하여 설계시 적용된 지하수 검토결과는 실제유입수량과 차이가 있을 수 있다.

수리해석 결과 유입수량은 5.0m적용시 142.0m³/day, 10.0m적용시 462.0m³/day, 15.0m적용시 835.0m³/day, 20.0m적용시 1,190.0m³/day, 25.0m적용시 1,328.0m³/day,(안전율 2.0고려)으로 산정되었다.

- 지반조사 국부성 및 한계성으로 인하여 각 지층에 대한 특성을 완벽하게 파악하기 어렵다.
- 실제지반은 비균질 및 비등방성으로 Darcy 법칙에 의한 이상적인 2차원

흐름과 다른 수리 특성을 보이고, 특히 암반의 경우 투수성에 가장 큰 영향을 미치는 절리 (joint) 및 파쇄대 (Fault) 등의 불연속면을 정확히 파악하기 어렵다.

[표 5-12] 해석에 의한 유입수량 산정 요약 (5.0m 적용)

구 분		Net Flux (m^3/sec/m)	Net Flux (m^3/day/m)	Flux Length (m)	유입수량 (m^3/day)	Fs	설계 유입수량 (m^3/day)
5.0m적용	Section A1	2.3424E-06	0.20	90	18	2.0	36
	Section A2	5.2225E-20	0.00	135	0	2.0	0
	Section B	6.4049E-06	0.55	97	53	2.0	106
소 계					≒ 71		≒ 142

[표 5-13] 해석에 의한 유입수량 산정 요약 (10.0m 적용)

구 분		Net Flux (m^3/sec/m)	Net Flux (m^3/day/m)	Flux Length (m)	유입수량 (m^3/day)	Fs	설계 유입수량 (m^3/day)
10.0m적용	Section A1	3.4655E-06	0.30	90	27	2.0	54
	Section A2	8.3342E-06	0.72	135	97	2.0	194
	Section B	1.2812E-05	1.11	97	108	2.0	216
소 계					≒ 232		≒ 464

[표 5-14] 해석에 의한 유입수량 산정 요약 (15.0m 적용)

구 분		Net Flux (m^3/sec/m)	Net Flux (m^3/day/m)	Flux Length (m)	유입수량 (m^3/day)	Fs	설계 유입수량 (m^3/day)
15.0m적용	Section A1	4.1134E-06	0.36	90	32	2.0	64
	Section A2	1.9156E-05	1.66	135	224	2.0	448
	Section B	1.9254E-05	1.66	97	161	2.0	322
소 계					≒ 417		≒ 834

[표 5-15] 해석에 의한 유입수량 산정 요약 (20.0m 적용)

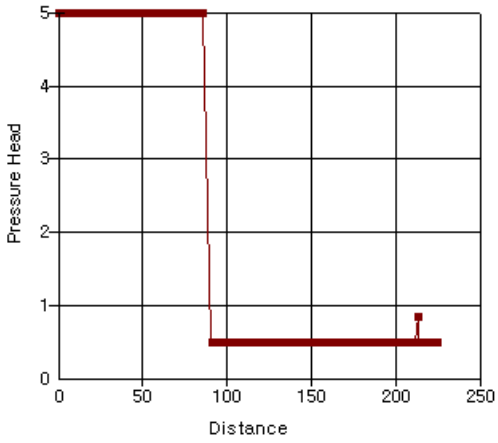
구 분		Net Flux (m^3/sec/m)	Net Flux (m^3/day/m)	Flux Length (m)	유입수량 (m^3/day)	Fs	설계 유입수량 (m^3/day)
20.0m적용	Section A1	4.6136E-06	0.40	90	36	2.0	72
	Section A2	2.9530E-05	2.55	135	344	2.0	688
	Section B	2.5677E-05	2.22	97	215	2.0	430
소 계					≒ 595		≒ 1,190

[표 5-16] 해석에 의한 유입수량 산정 요약 (25.0m 적용)

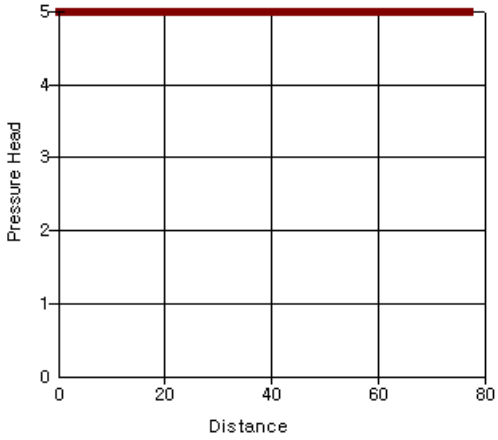
구 분		Net Flux (m^3/sec/m)	Net Flux (m^3/day/m)	Flux Length (m)	유입수량 (m^3/day)	Fs	설계 유입수량 (m^3/day)
25.0m적용	Section A1	4.6136E-06	0.53	90	48	2.0	96
	Section A2	2.9530E-05	2.55	135	344	2.0	688
	Section B	3.2432E-05	2.80	97	272	2.0	544
소 계					≒ 664		≒ 1,328

2.7 구조물하부에 작용하는 양압력 검토

1) 설계수위 5.0m일 경우 (배수재 미 설치시)



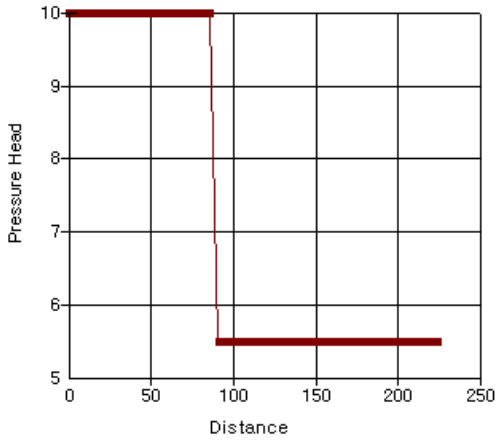
(a) 가변형 구간



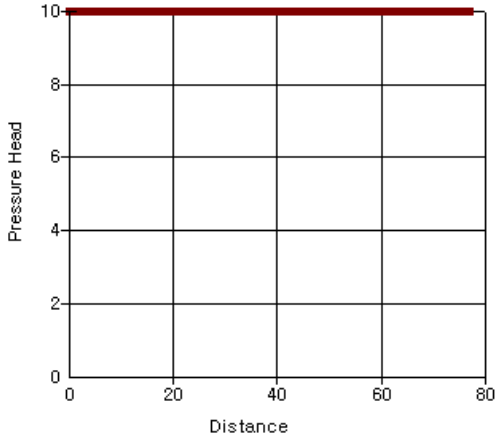
(b) 통합형 구간

[그림 5-12] 설계수위 5.0m 일 경우 배수재 미설치시, 구조물 하부에 작용하는 양압력

2) 설계수위 10.0m일 경우 (배수재 미 설치시)



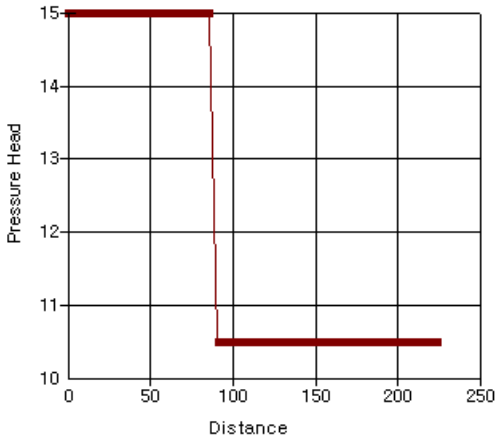
(a) 가변형 구간



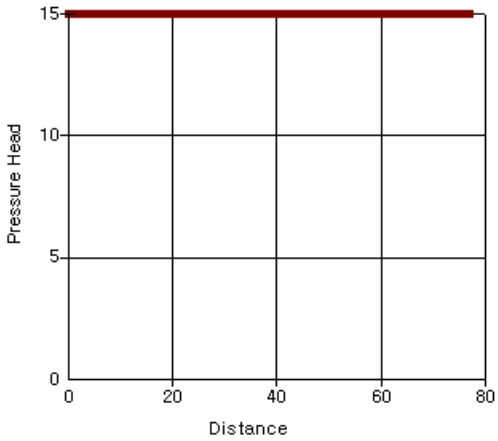
(b) 통합형 구간

[그림 5-13] 설계수위 10.0m 일 경우 배수재 미설치시, 구조물 하부에 작용하는 양압력

3) 설계수위 15.0m일 경우 (배수재 미 설치시)



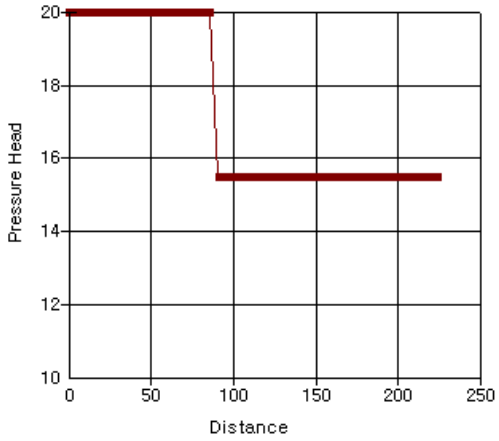
(a) 가변형 구간



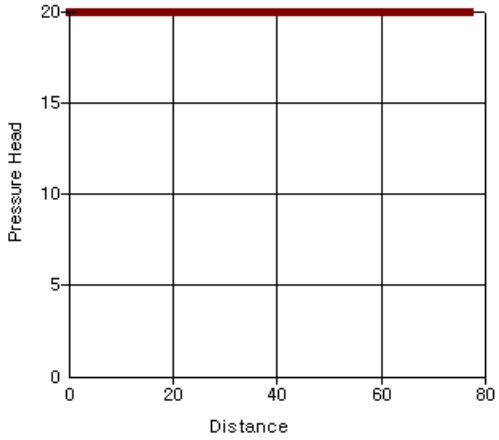
(b) 통합형 구간

[그림 5-14] 설계수위 15.0m 일 경우 배수재 미설치시, 구조물 하부에 작용하는 양압력

4) 설계수위 20.0m일 경우 (배수재 미 설치시)



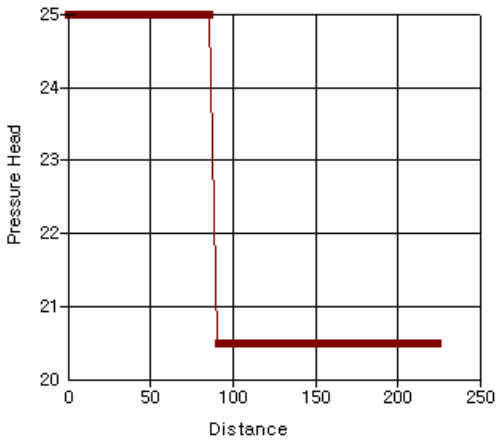
(a) 가변형 구간



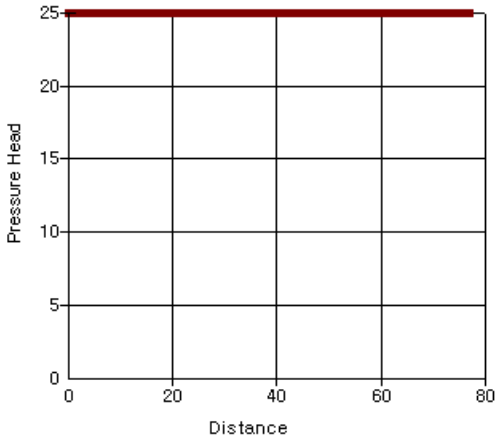
(b) 통합형 구간

[그림 5-15] 설계수위 20.0m 일 경우 배수재 미설치시, 구조물 하부에 작용하는 양압력

5) 설계수위 25.0m일 경우 (배수재 미 설치시)



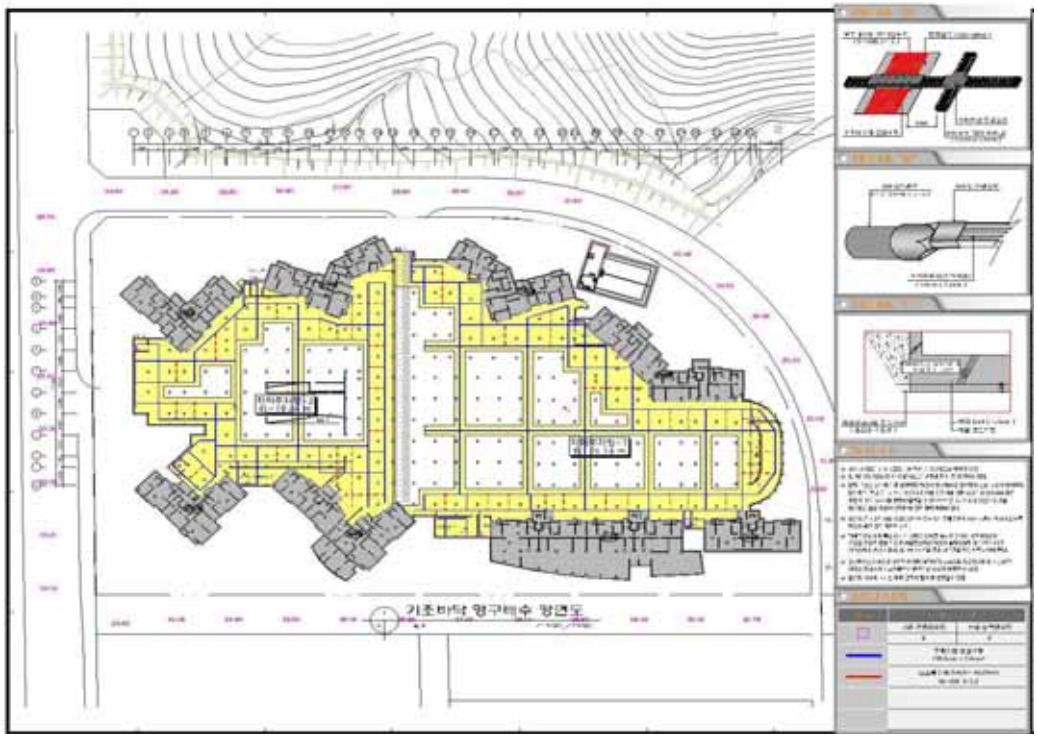
(a) 가변형 구간



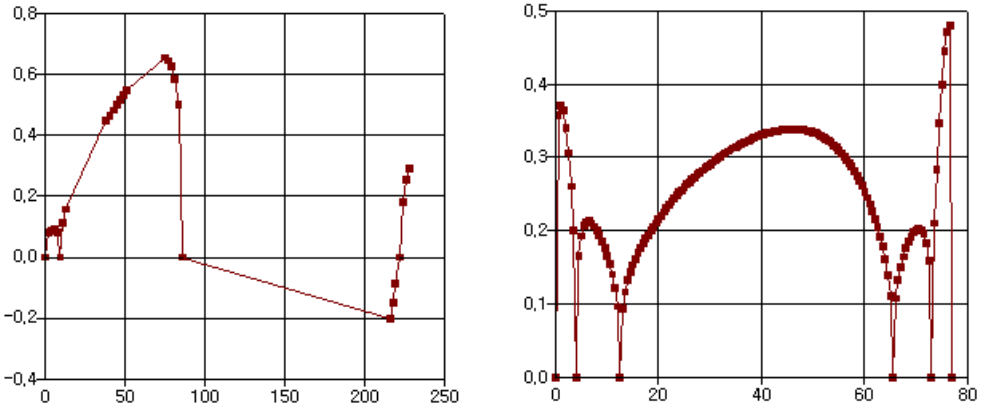
(b) 통합형 구간

[그림 5-16] 설계수위 25.0m 일 경우 배수재 미설치시, 구조물 하부에 작용하는 양압력

2.7.2 배수재 설치시 양압력 검토

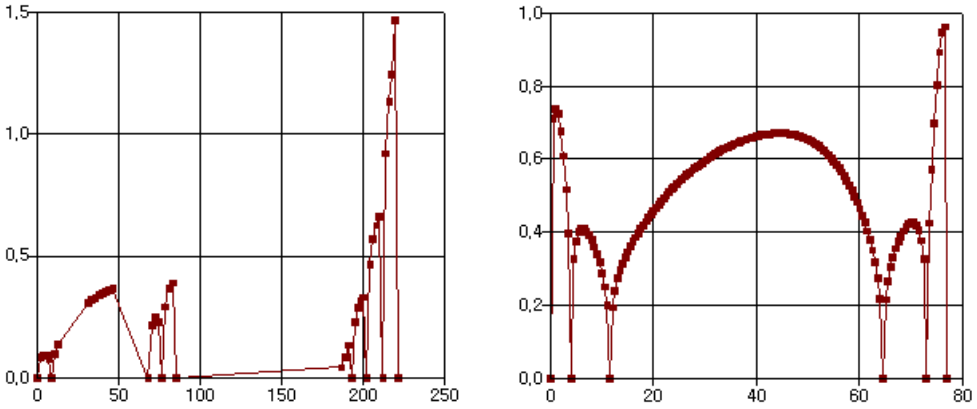


[그림 5-17] 기초바닥 영구배수 평면도



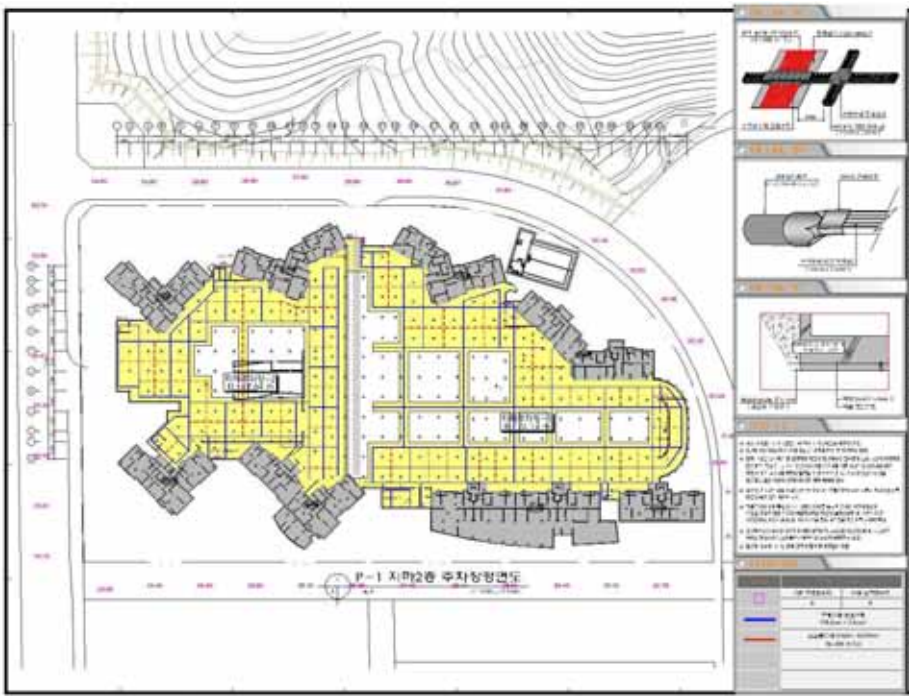
(a) 가변형 구간　　(b) 통합형 구간

[그림 5-18] 설계수위 5.0m 일 경우 배수재 설치시, 구조물 하부에 작용하는 양압력

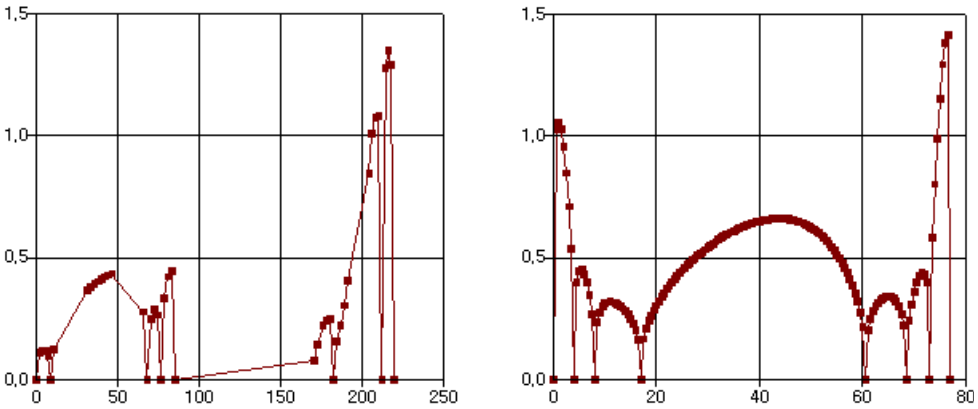


(a) 가변형 구간 (b) 통합형 구간

[그림 5-19] 설계수위 10.0m 일 경우 배수재 설치시, 구조물 하부에 작용하는 양압력

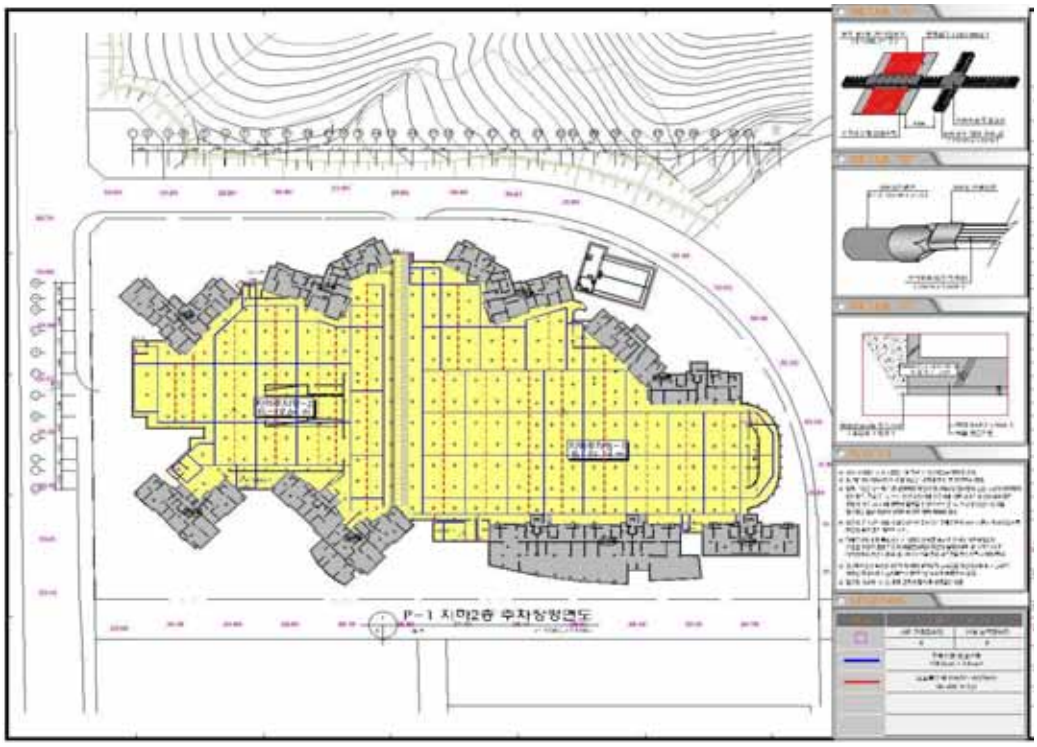


[그림 5-20] 지하2층 주차장 평면도

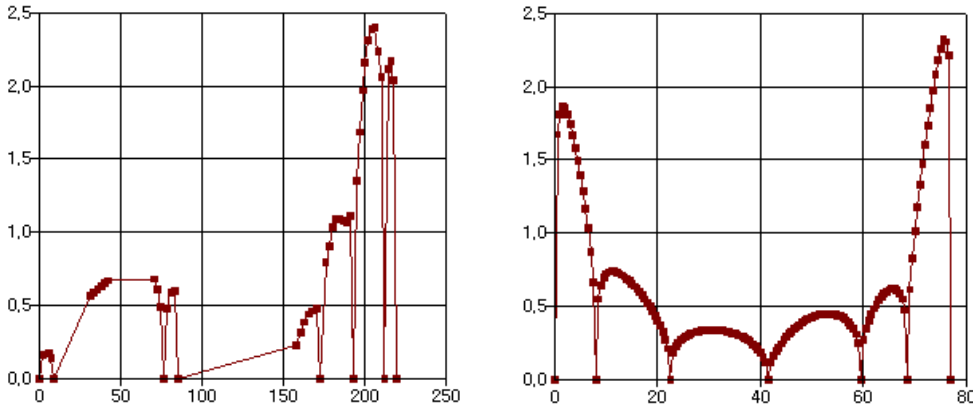


(a) 가변형 구간　　(b) 통합형 구간

[그림 5-21] 설계수위 15.0m 일 경우 배수재 설치시, 구조물 하부에 작용하는 양압력

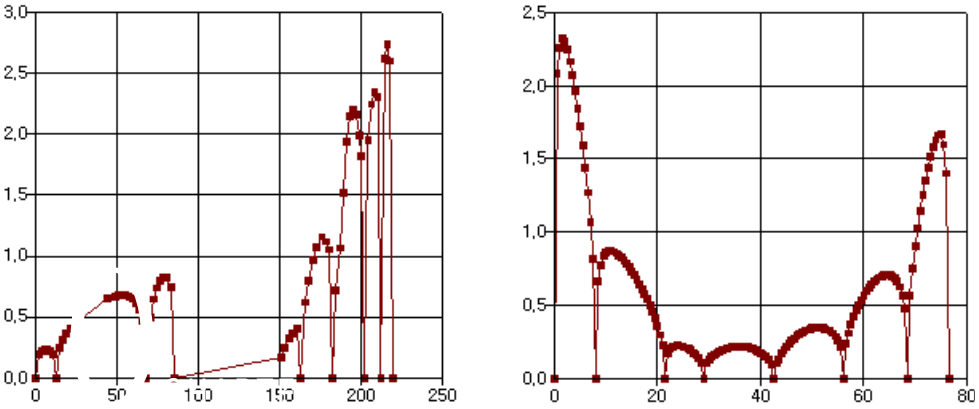


[그림 5-22] 지하2층 주차장 평면도



(a) 가변형 구간 (b) 통합형 구간

[그림 5-23] 설계수위 20.0m 일 경우 배수재 설치시, 구조물 하부에 작용하는 양압력



(a) 가변형 구간 (b) 통합형 구간

[그림 5-24] 설계수위 25.0m 일 경우 배수재 설치시, 구조물 하부에 작용하는 양압력

3. 결 론

3.1 양압력 검토 결과

[표 5-17] 양압력 검토 결과

구 분	양압력		허용양압력	결 과
	배수재 설치 전	배수재 설치 후		
5.0m적용시	5.00tf/㎡	0.48tf/㎡	3.00tf/㎡	O.K
10.0m적용시	10.00tf/㎡	1.50tf/㎡	3.00tf/㎡	O.K
15.0m적용시	15.00tf/㎡	1.55tf/㎡	3.00tf/㎡	O.K
20.0m적용시	20.00tf/㎡	2.05tf/㎡	3.00tf/㎡	O.K
25.0m적용시	25.00tf/㎡	2.50tf/㎡	3.00tf/㎡	O.K

3.2 해석에 의한 유입수량 산정 요약 (설계지하수위)

[표 5-18] 해석에 의한 유입수량 산정 (설계지하수위)

구 분	유입수량 (m^3/day)	Fs	설계 유입수량 (m^3/day)
5.0m적용시	71.00	2.0	142.00
10.0m적용시	231.00	2.0	462.00
15.0m적용시	417.50	2.0	835.00
20.0m적용시	595.00	2.0	1190.00
25.0m적용시	664.00	2.0	1328.00

㉠ 영구배수 공법 설치와 관련된 재료, 규격, 시방은 최초 도면 및 보고서에 준하며, 자재 사용시 감독관 및 감리자의 승인 후 사용여부를 결정하여야 하며, 굴착 완료시 설계와 현장 여건등이 변경될 수 있으므로 전문가의 컨설팅에 의해 영구배수 공법이 시공되어야 할 것으로 사료된다.

㉡ 되메우기 재료특성에 따라 지하수가 빠른 속도로 부지내 기초바닥으로 유입될것으로 판단되므로 버림콘크리트 타설시 흙막이 벽체및 Open Cut 시작점까지 연장 시공하여 차수층을 형성토록 할 것으로 판단된다.

제6장

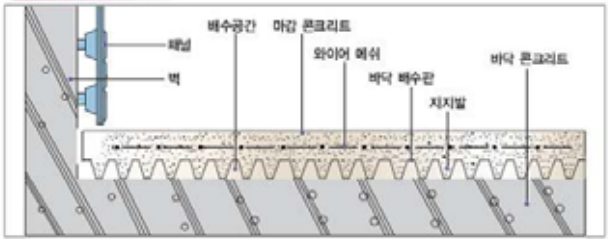
배수판 설치에 따른 무근콘크리트의 역학적 수치해석

6

제6장 배수판 설치에 따른 무근콘크리트의 역학적 수치해석

1. 개 요

본 장에서는 지하주차장 최하층에서 발생하는 누수 및 결로 등에 대한 대책 방안으로 설치되는 바닥 배수판에 대하여 검토하였다. 지하주차장 최하층의 매스콘크리트와 무근콘크리트 사이에 설치되는 배수판은 일반적으로 합성수지 재질로서, 매스콘크리트와 무근콘크리트 사이에 용수층을 형성시켜 누수 등으로 발생하는 물을 집수정으로 유도하고 통기층을 형성시켜 결로 방지를 목적으로 사용되고 있다.



[그림 6-1] 지하주차장 바닥 배수판 설치 도면 예

하지만, 차량하중을 직접적으로 받는 지하주차장 바닥콘크리트의 특성상 배수판 설치에 따른 구조적인 검토가 충분히 수행되지 않았다고 판단되어지므로 본 장에서는 지하주차장 슬래브 구조물 해석을 통해 콘크리트부의 누수 및 균열로 인하여 설치한 배수판의 상부 무근콘크리트의 거동 분석을 수행하고, 차량하중에 따른 동적하중과 충격하중에 대한 영향을 분석하여 현행 기준에 제시되어 있는 등분포 설계하중에 대한 검토를 통해 구조물 사용중 발생하는 문제점을 규명하는 것을 목적으로 한다. 현재 기준에 제시되어 있는 정적 등분포 차량하중과 좁은 면적의 바퀴를 통해 상대적으로 큰하중이 가해지는 집중하중과 이동하중을 통한 동적하중효과를 비교하여 합리적인 설계 방법을

검토하고, 배수판위의 마감콘크리트의 강도차이에 따른 사용성 검토를 통해 마감 콘크리트의 적정한 두께를 검토하였으며, 영구배수 공법 적용에 따른 기초 슬래브 상부 무근 콘트리트 부분 시공 방안을 검토하였다.

2. 지하주차장 사용성 검토

2.1 각 국의 지하주차장 설계하중과 현행 설계하중에 대한 검토

지하주차장에 작용하는 하중인 차량하중은 이동하중을 통한 동적하중효과와 좁은 면적에 하중이 전달되는 집중하중 등으로 구분된다. 하지만 현행 '건축구조설계기준 2009' 과 아산배방지구 A-2 블록 아파트 지하주차장설계당시 적용한 '건축구조설계기준 2005' 는 이동하중과 집중하중을 등분포하중으로 치환하여 적용하고 있는 실정이다. 따라서 현행 기준과 외국의 시방서의 하중조건을 분석하고 이를 비교, 검토함으로 합리적인 등분포 하중을 찾는 것을 목표로 한다. 외국의 하중조건은 아래 표와 같다.

[표 6-1] 각국의 지하주차장 설계하중표

기 준	범 주	등분포 하중	집중 하중
UBC	차고	4.88 kN/m2	바퀴당 차량 총 중량의 40%, 최소 9kN이상
		2.44 kN/m2	
	통로부와 차로부	12.2 kN/m2	
ASCE	차고	1.92 kN/m2	9인승 이하 / 바퀴당 13kN이하 –활하중 저감 고려 제외
BS	소형 주차장	2.5 kN/m2	바퀴당 차량 총 중량의 40%, 최소 9kN이상
	중, 대형 주차장	5.1 kN/m2	
DIN 1055	소형 주차장	3.5 kN/m2	
Eurocode	주차장(30kN이하)	2.0 kN/m2	바퀴당 10kN
	주차장(30kN초과)	5.0 kN/m2	바퀴당 45kN
일 본	주차장	5.5 kN/m2	
KBC 2005	소형주차장(주차부)	4.0 kN/m2	바퀴당 10kN
	소형주차주(통로부)	6.0 kN/m2	
KBC 2009	소형주차장	3.0 kN/m2	–

※ 아산배방지구 A-2 블럭 아파트는 2007년 당시 기준은 KBC 2005 설계기준 소형주차장 통로부 하중을 일괄 적용하였다. (6kN/m2)

2.2 설계기준차량의 선정

지하주차장 구조물에 재하되는 차량의 종류는 다양하지만 본연구에서 적용되는 차량모델은 우리나라에서 일반적인 차량인 H사의 G차량으로 선정하였다. 그 제원은 다음과 같다.

[표 6-2] 설계기준차량의 제원

	전폭	전장	윤거	축거	총중량	바퀴당 하중
승용차	1860mm	4910mm	1613mm	2845mm	2060kg (100%)	8.24kN (40%)



[그림 6-2] 승용차 제원

2.3 모델링

2.3.1 해석프로그램 소개

모델링에 사용할 프로그램은 마이다스아이티사에서 개발한 MODS이며, 옵션 중 MIDAS-GEN는 3D-MODEL의 구조물 해석을 통해 차량의 정지하중 및 이동 시 발생하는 충격하중에 따른 구조물의 영향에 대해 계산하는 프로그램이다.

2.3.2 모델링 선정 및 해석방법

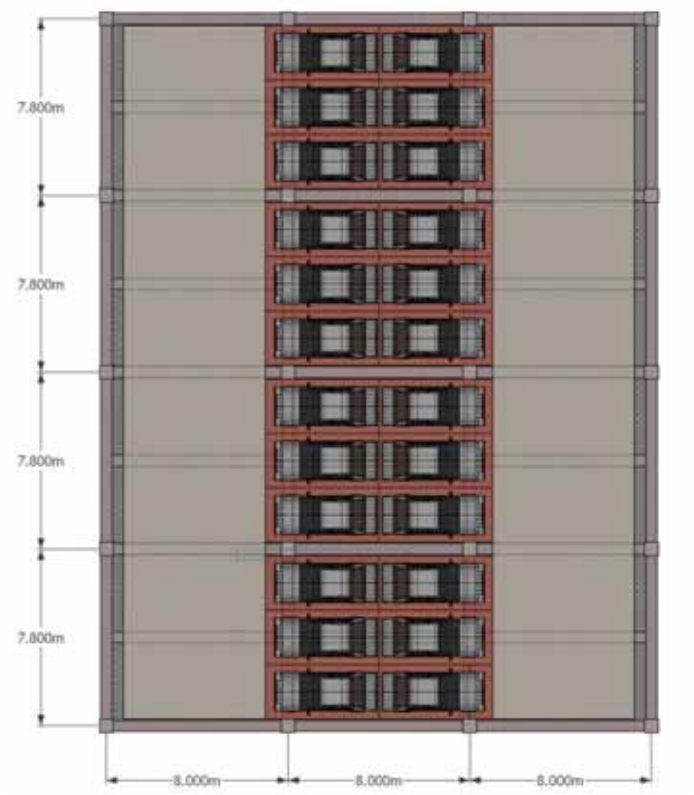
본연구에 사용되는 지하주차장 모델은 아산배방지구 A-2 블록 아파트 지하주차장 슬래브에 재하가능한 CASE를 선별하였다. (MODEL 1,2,3) 하중재하 방법 총 4가지로 구분하여 고려하였다.

첫째, KBC2005 기준에서 명기한 등분포하중 6kN/m2과 둘째, KBC2009기준

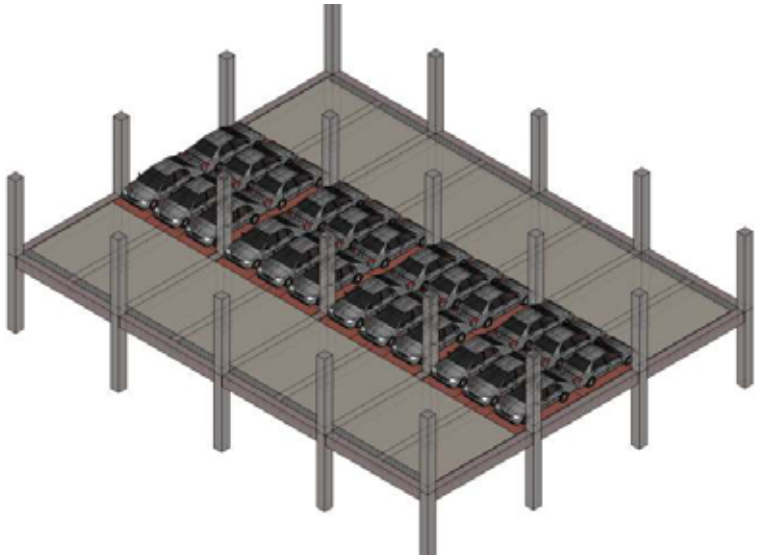
인 3kN/m2으로 한다. 셋째, 차량의 실제하중을 계산하여 지하주차장의 슬래브에 주차가능한 경우를 조합하여 이에 대한 Wheel load를 집중하중 형태로 재하했으며, 넷째 충격하중을 고려한 이동하중을 고려하였다.

[표 6-3] 모델 지지조건

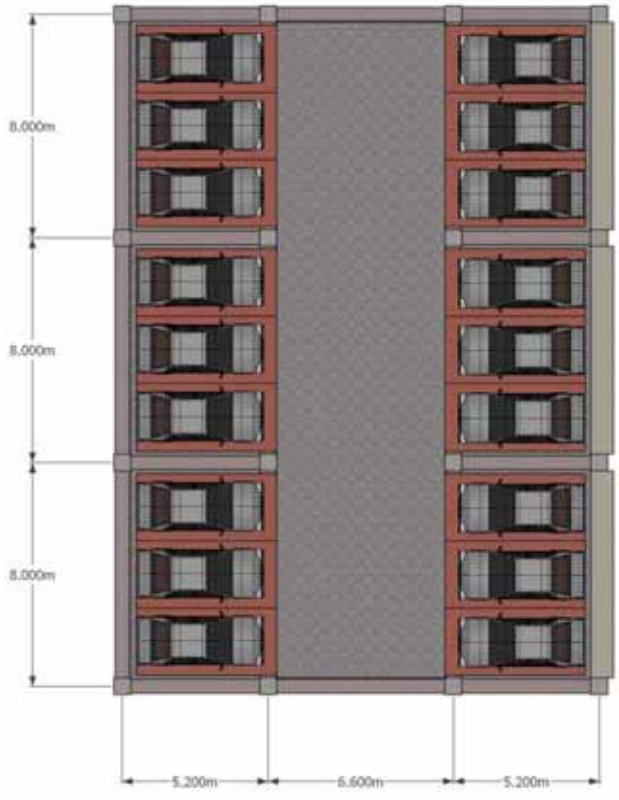
모델명	지지 조건	비고
Model 1	Beam & Girder	
Model 2	지하외벽 & Girder	
Model 3	Girder	



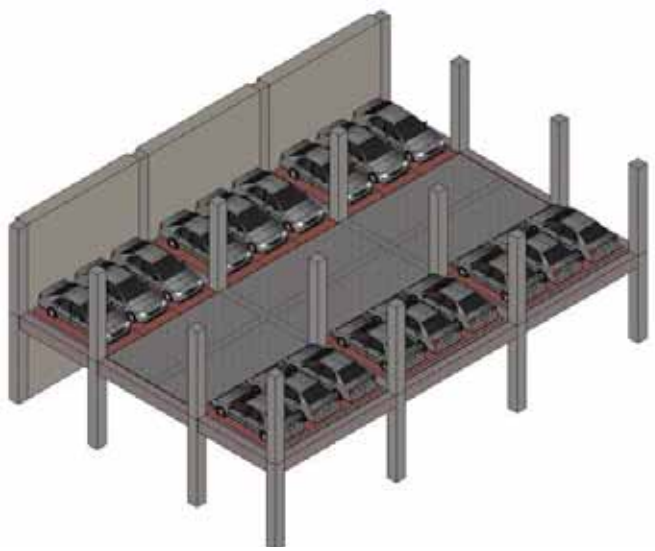
[그림 6-3] MODEL 1 평면도



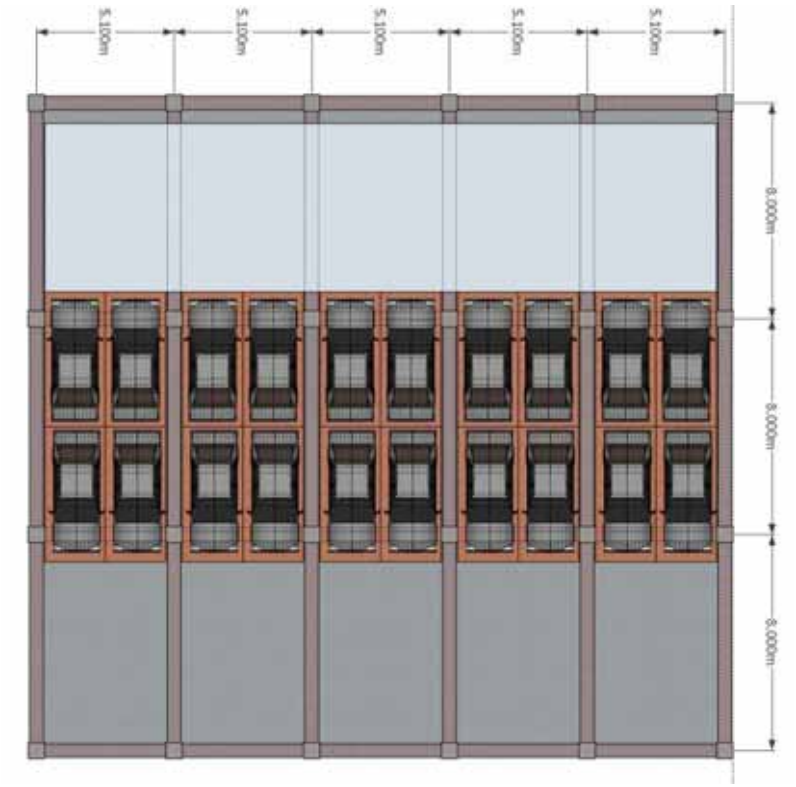
[그림 6-4] MODEL 1 3D



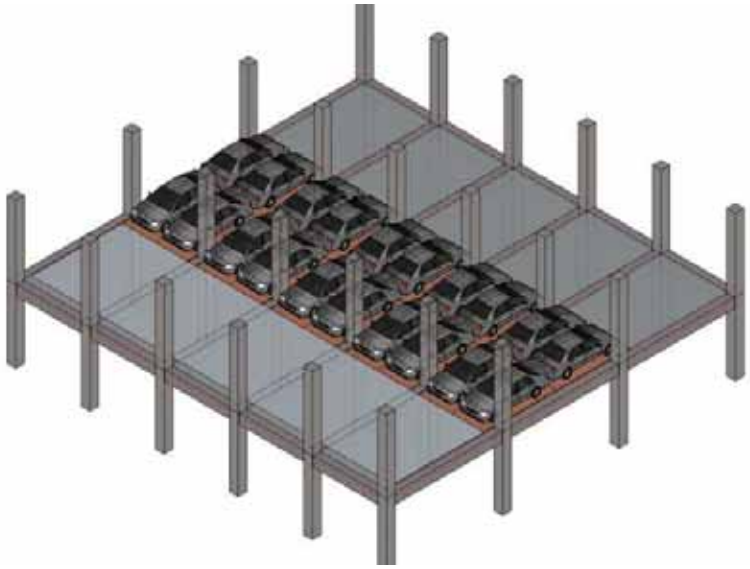
[그림 6-5] MODEL 2 평면도



[그림 6-6] MODEL 2 3D



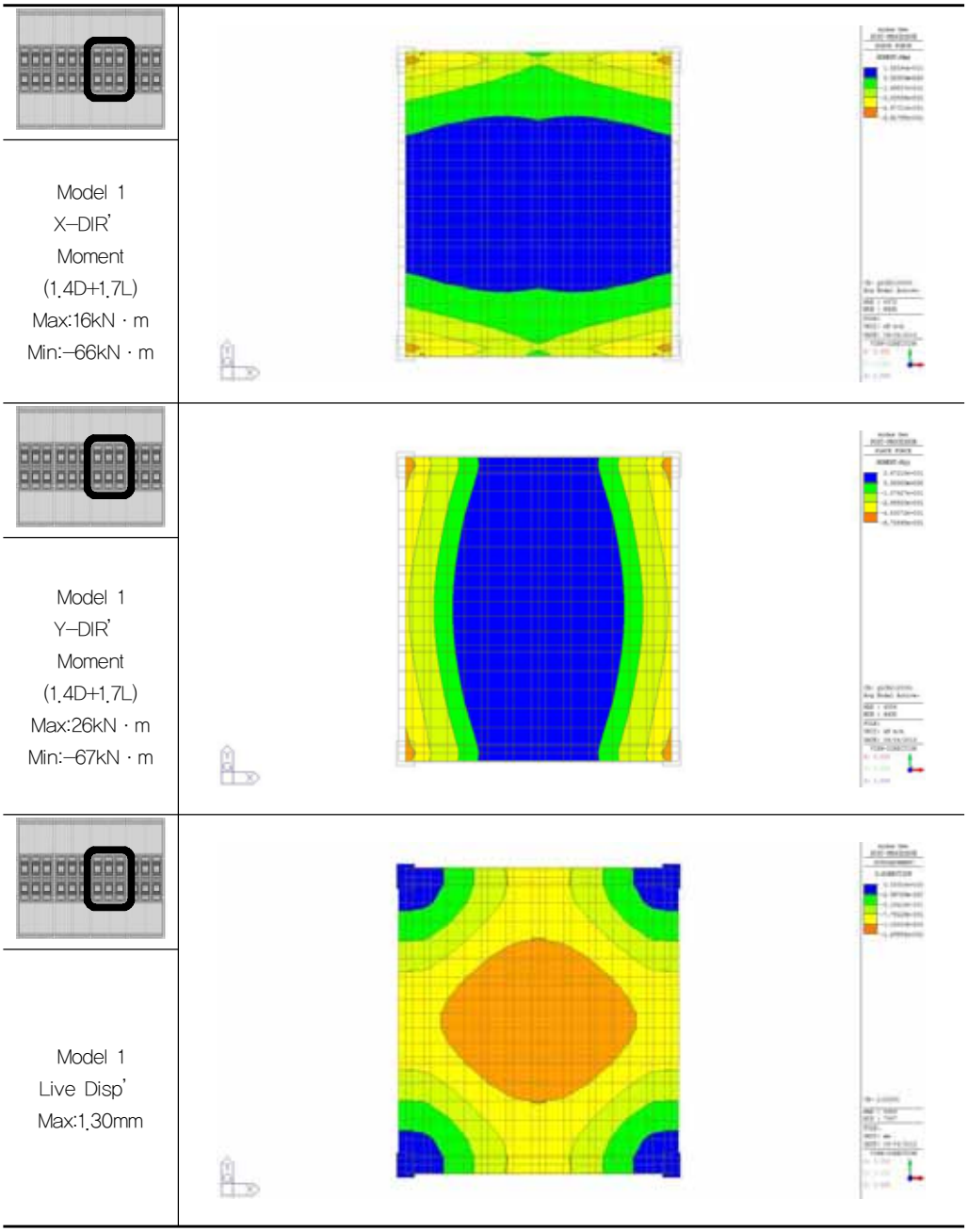
[그림 6-7] MODEL 3 평면도



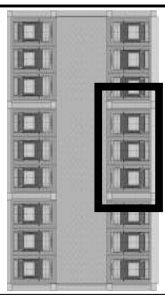
[그림 6-8] MODEL 3 3D

2.4 분포하중과 차량의 집중하중에 따른 구조체 영향분석

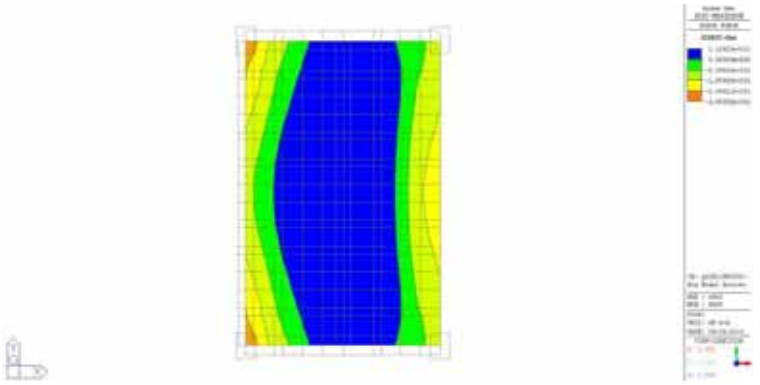
2.4.1 주차부 슬래브 거동 분석 (등분포하중)

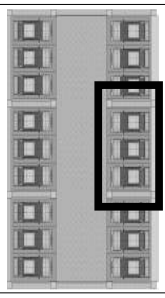


[그림 6-9] MODEL 1 (KBCS 2005)

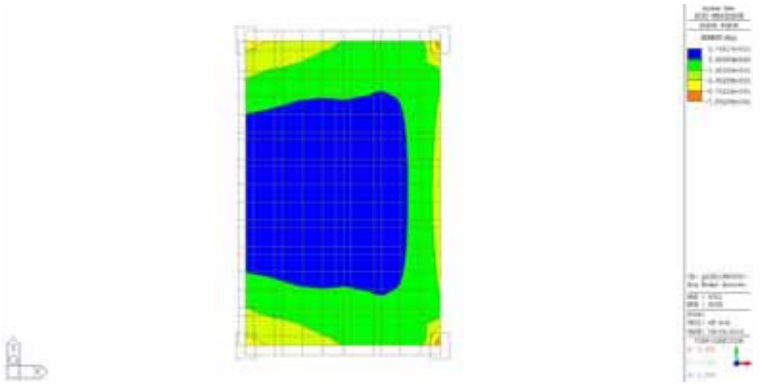


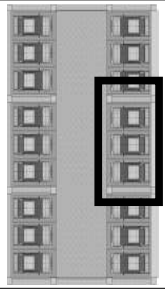
Model 2
X-DIR'
Moment
(1.4D+1.7L)
Max:12kN · m
Min:-39kN · m



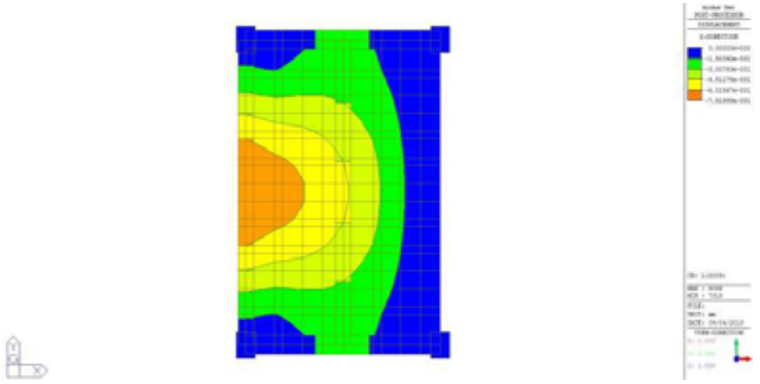


Model 2
Y-DIR'
Moment
(1.4D+1.7L)
Max:28kN · m
Min:-78kN · m

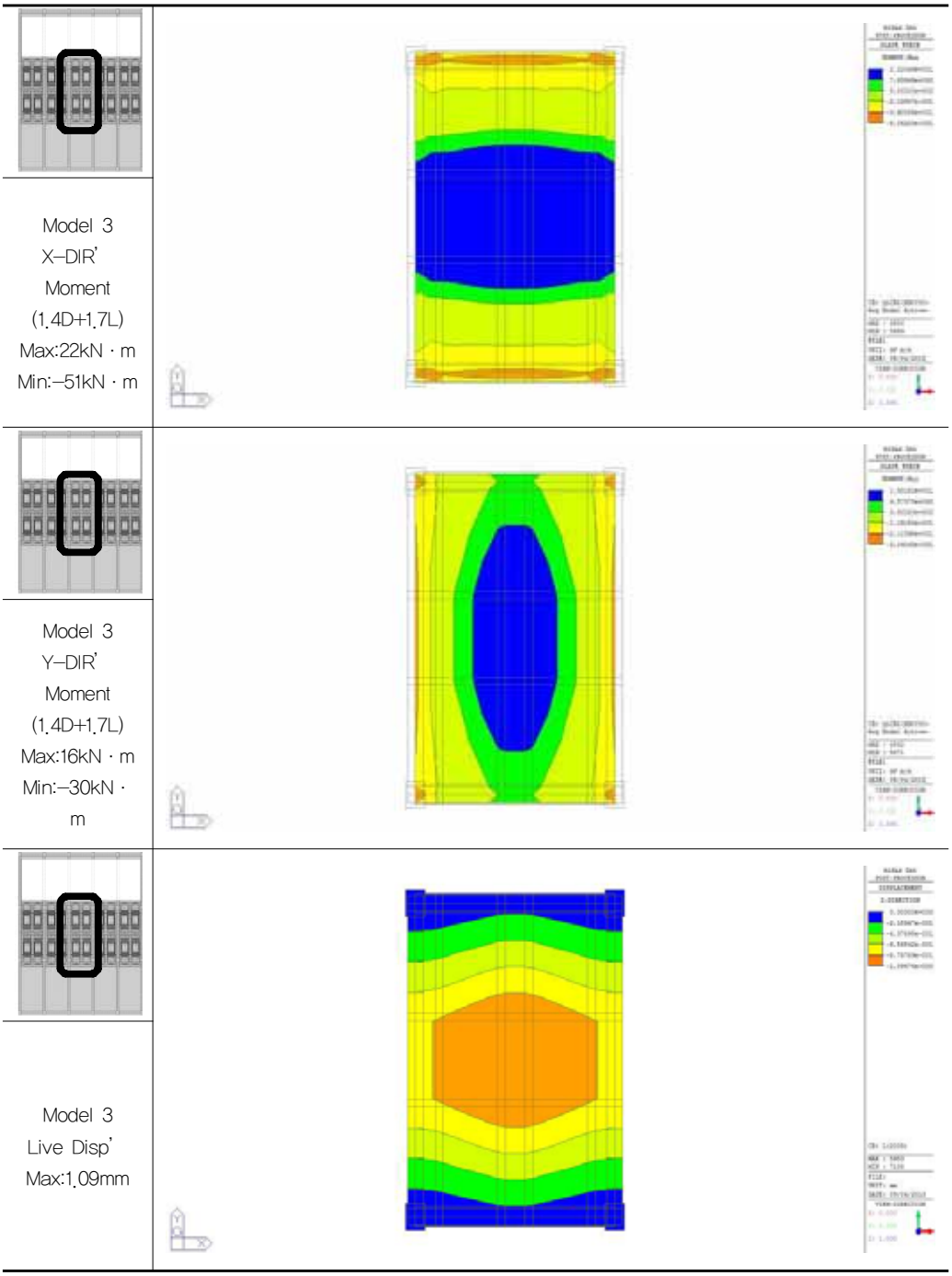




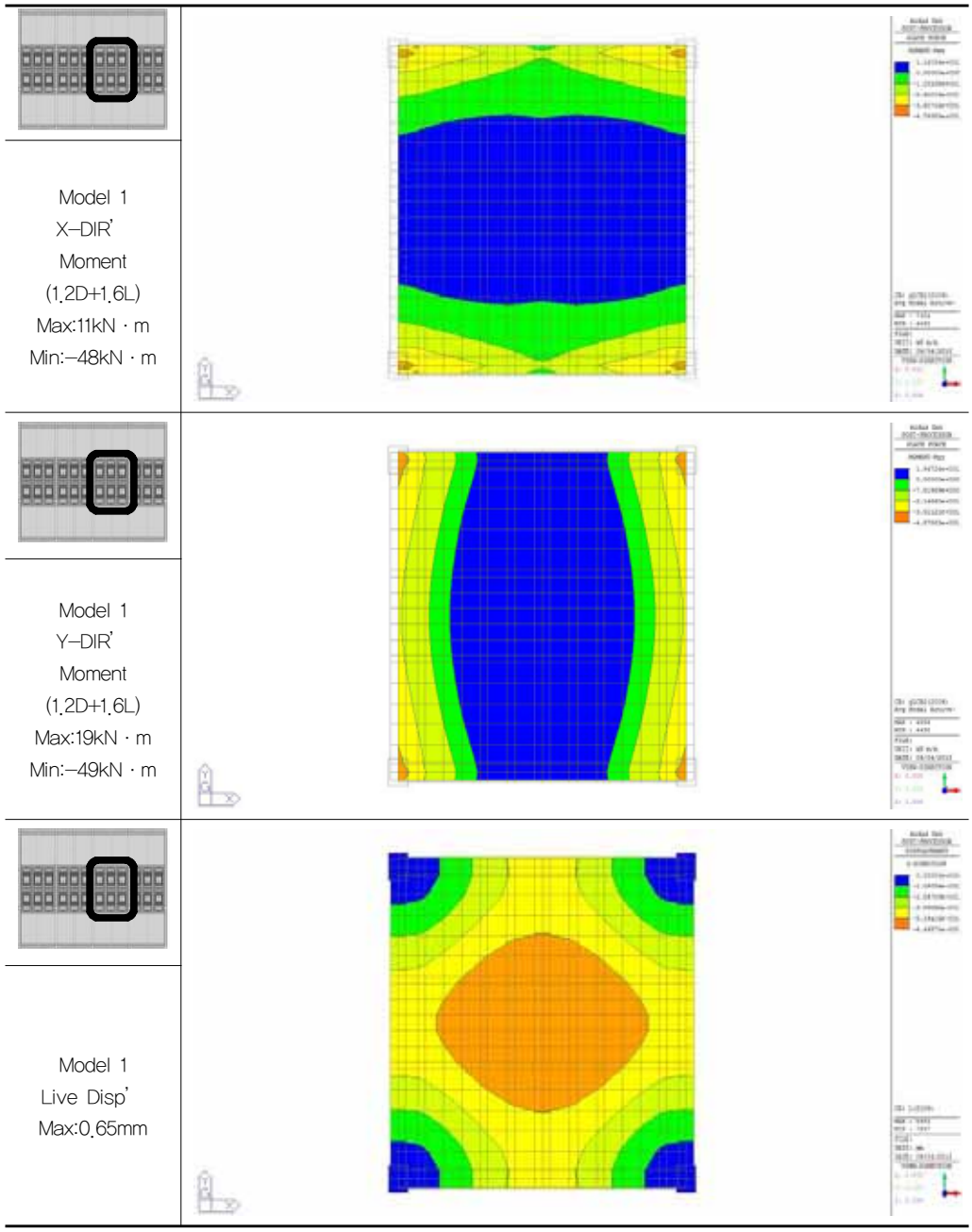
Model 2
Live Disp'
Max:0.75mm



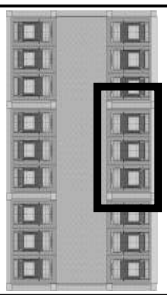
[그림 6-10] MODEL 2 (KBCS 2005)



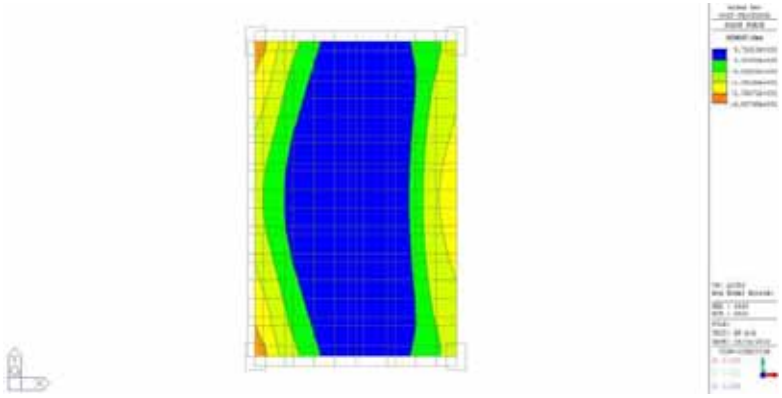
[그림 6-11] MODEL 3 (KBCS 2005)

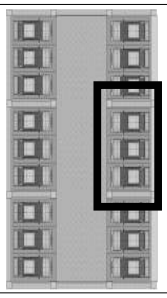


[그림 6-12] MODEL 1 (KBCS 2009)

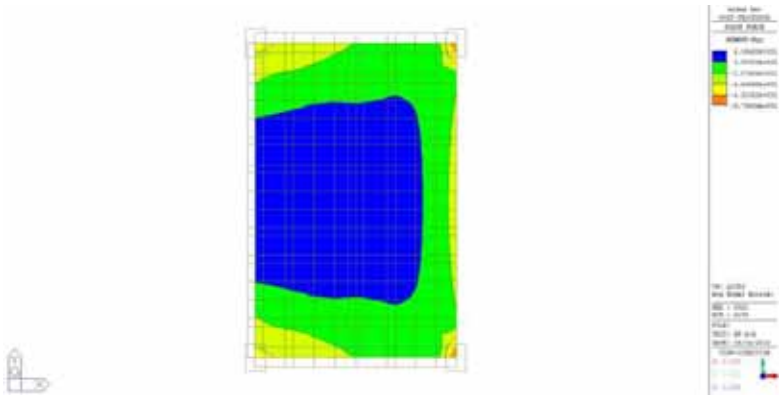


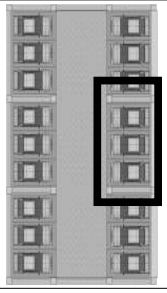
Model 2
X-DIR'
Moment
(1.2D+1.6L)
Max:9kN · m
Min:-28kN · m



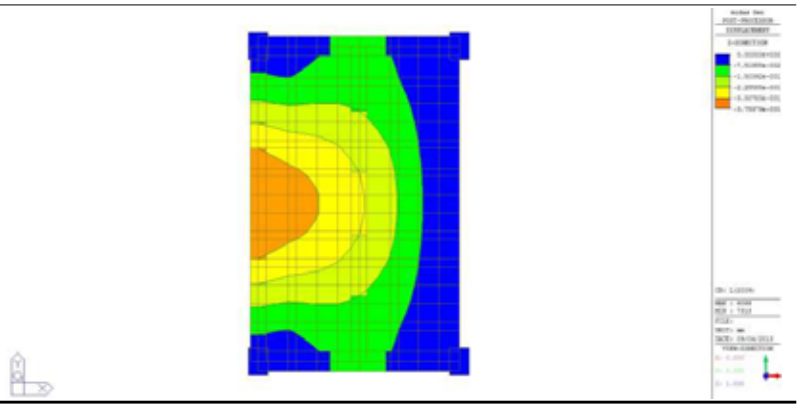


Model 2
Y-DIR'
Moment
(1.2D+1.6L)
Max:21kN · m
Min:-58kN · m

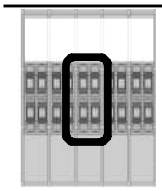




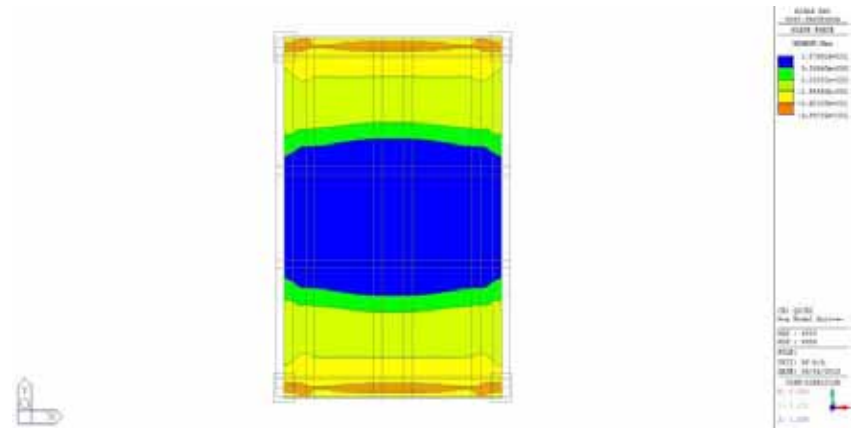
Model 2
Live Disp'
Max:0.40mm

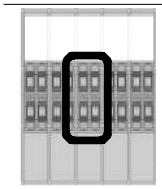


[그림 6-13] MODEL 2 (KBCS 2009)

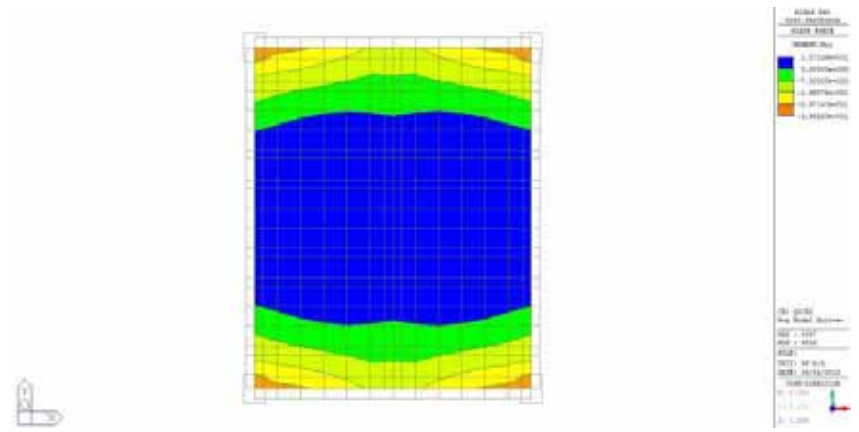


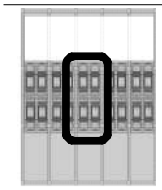
Model 3
X-DIR'
Moment
(1.2D+1.6L)
Max:16kN · m
Min:-36kN · m



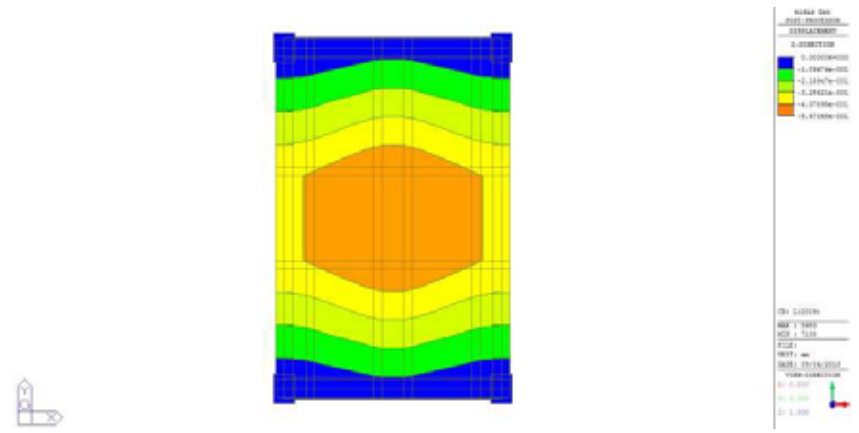


Model 3
Y-DIR'
Moment
(1.2D+1.6L)
Max:11kN · m
Min:-35kN · m



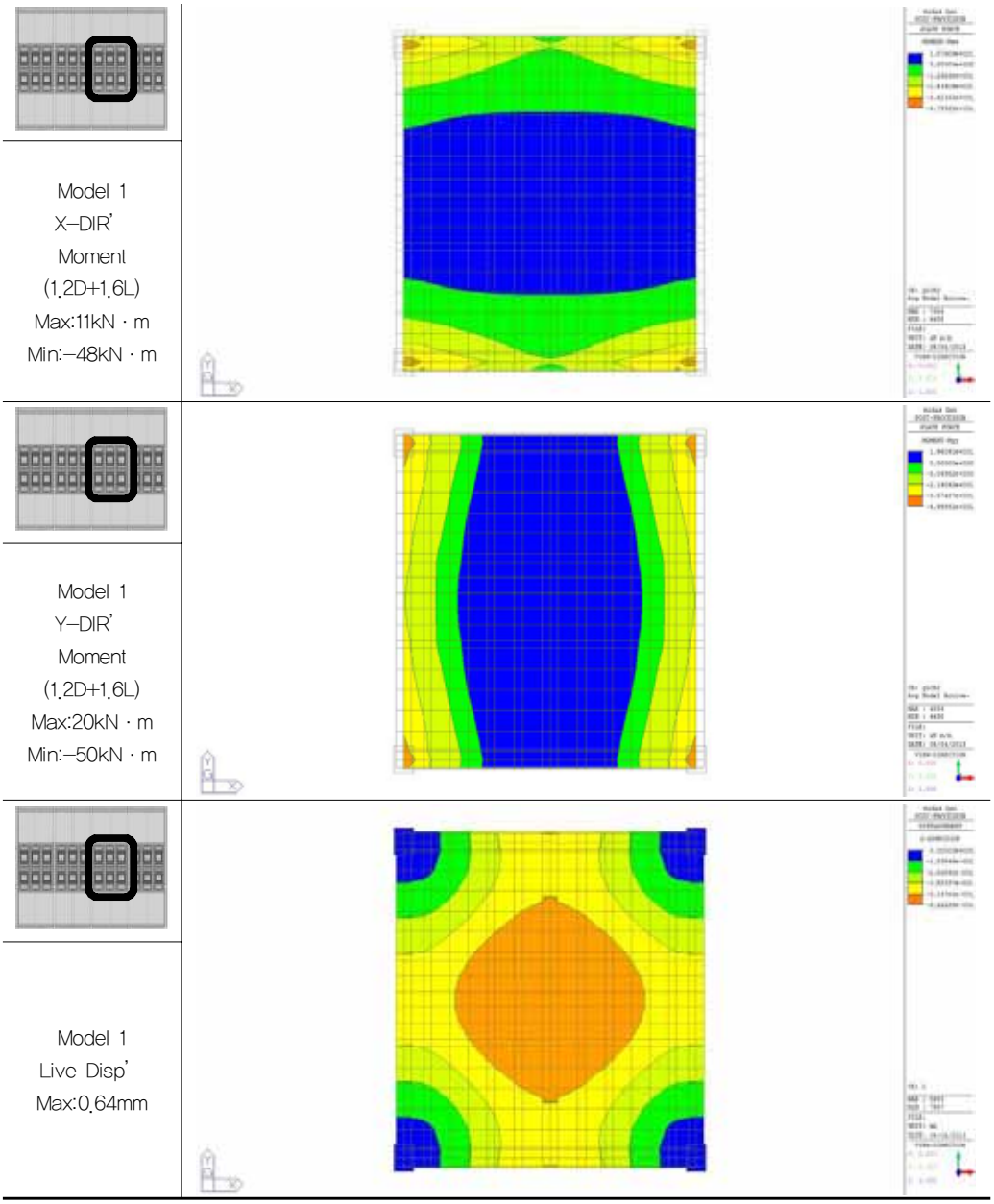


Model 3
Live Disp'
Max:0.55mm

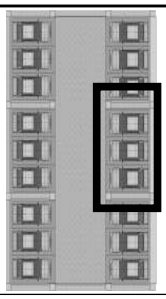


[그림 6-14] MODEL 3 (KBCS 2009)

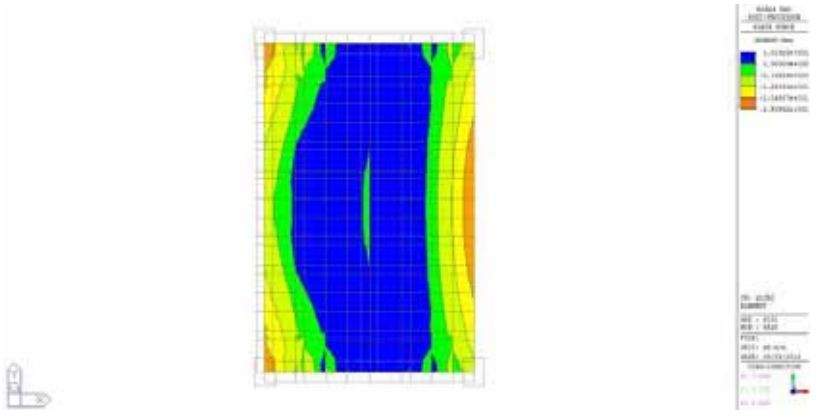
2.4.2 주차부 집중하중 거동 분석 (바퀴당 8.24kN)

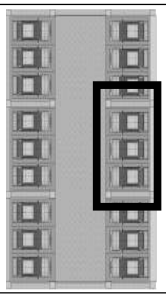


[그림 6-15] MODEL 1 (주차부 집중하중)

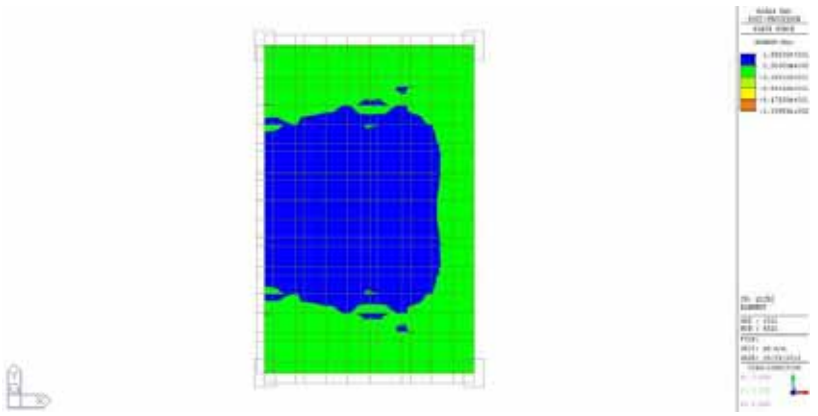


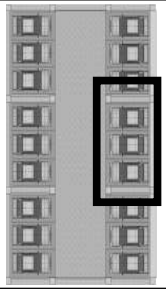
Model 2
X-DIR'
Moment
(1.2D+1.6L)
Max:10kN · m
Min:-28kN · m



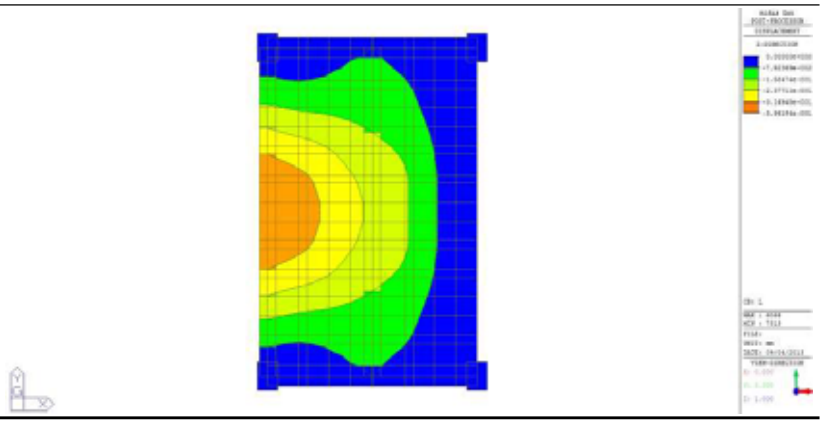


Model 2
Y-DIR'
Moment
(1.2D+1.6L)
Max:20kN · m
Min:-11kN · m

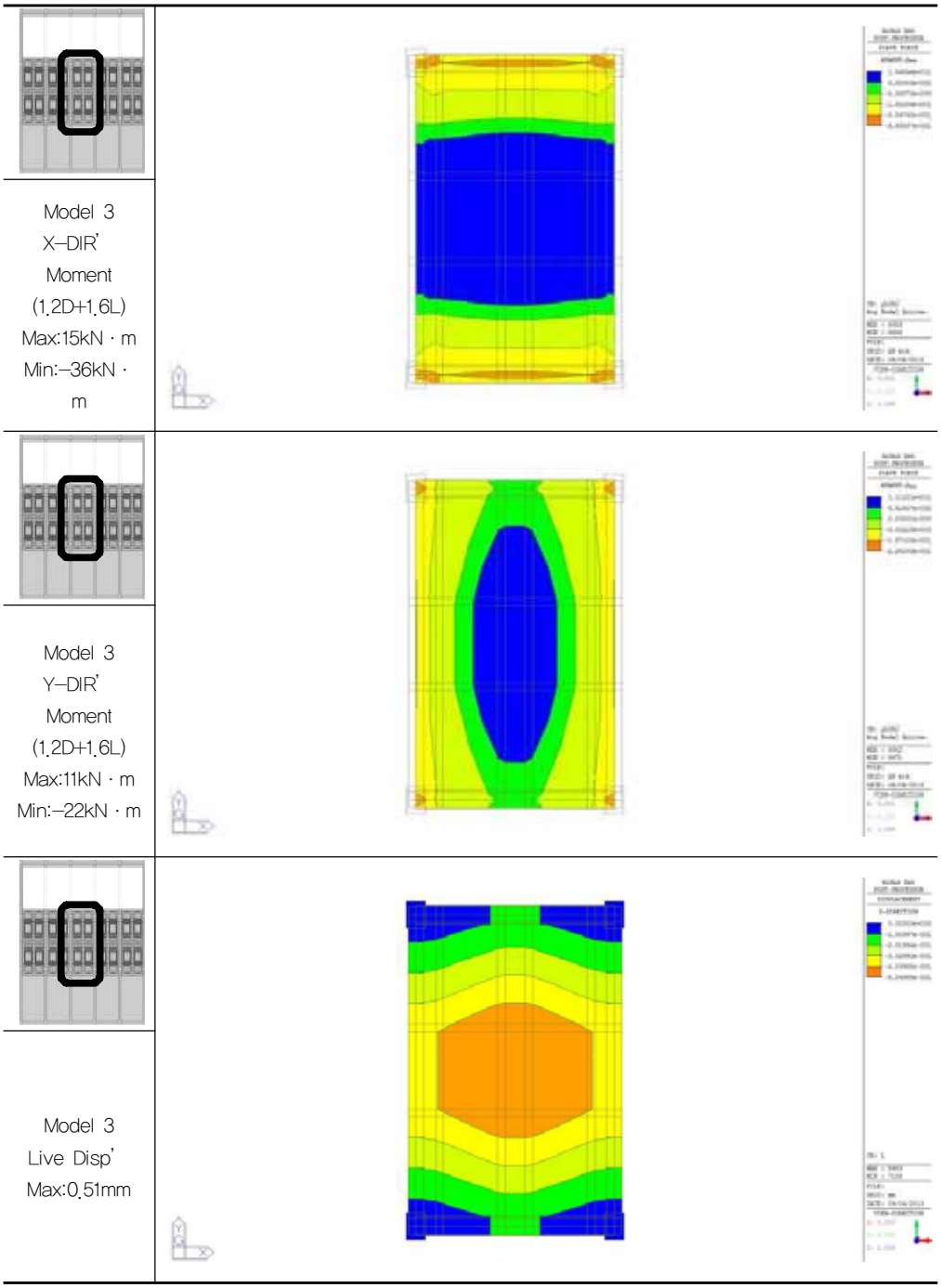




Model 2
Live Disp'
Max:0.40mm

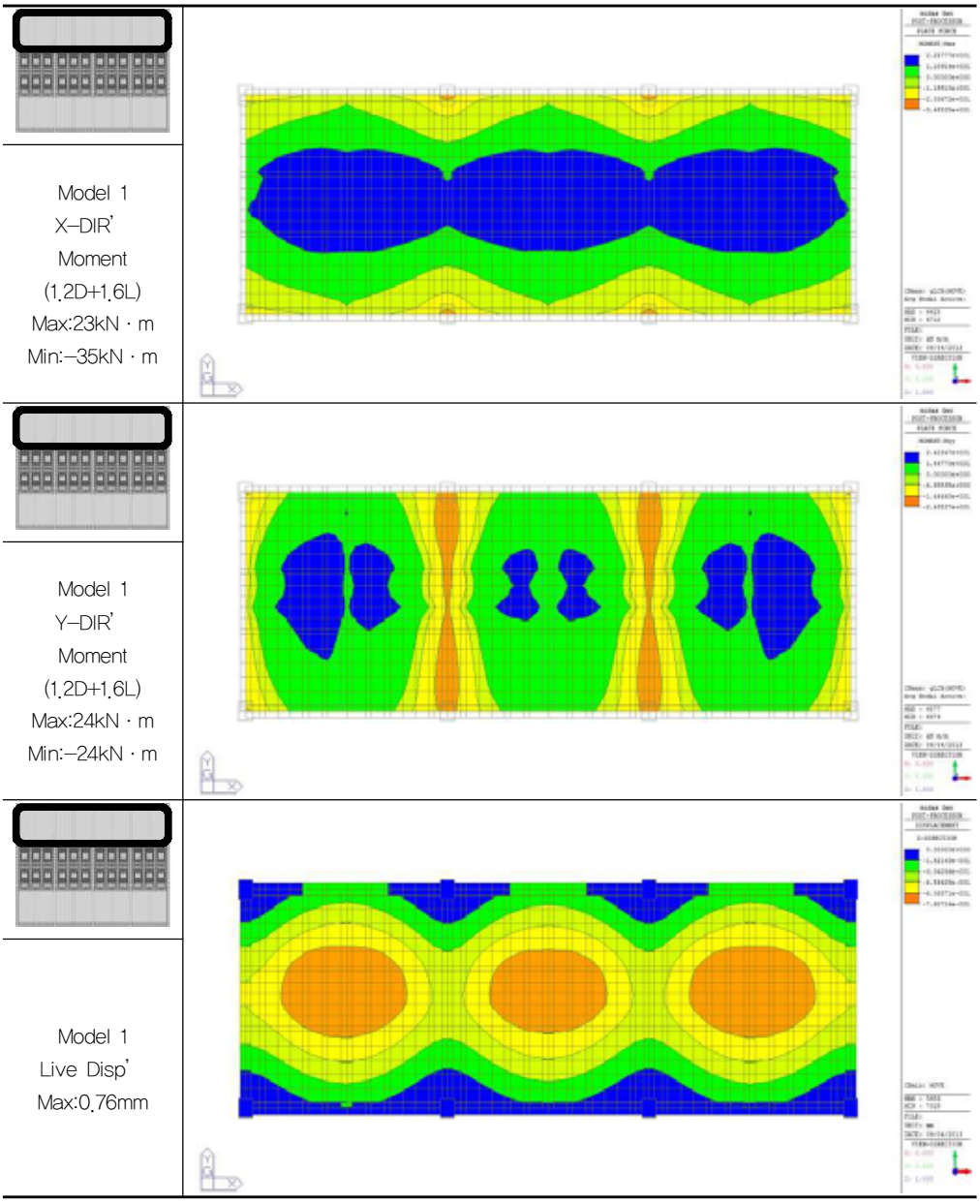


[그림 6-16] MODEL 2 (주차부 집중하중)

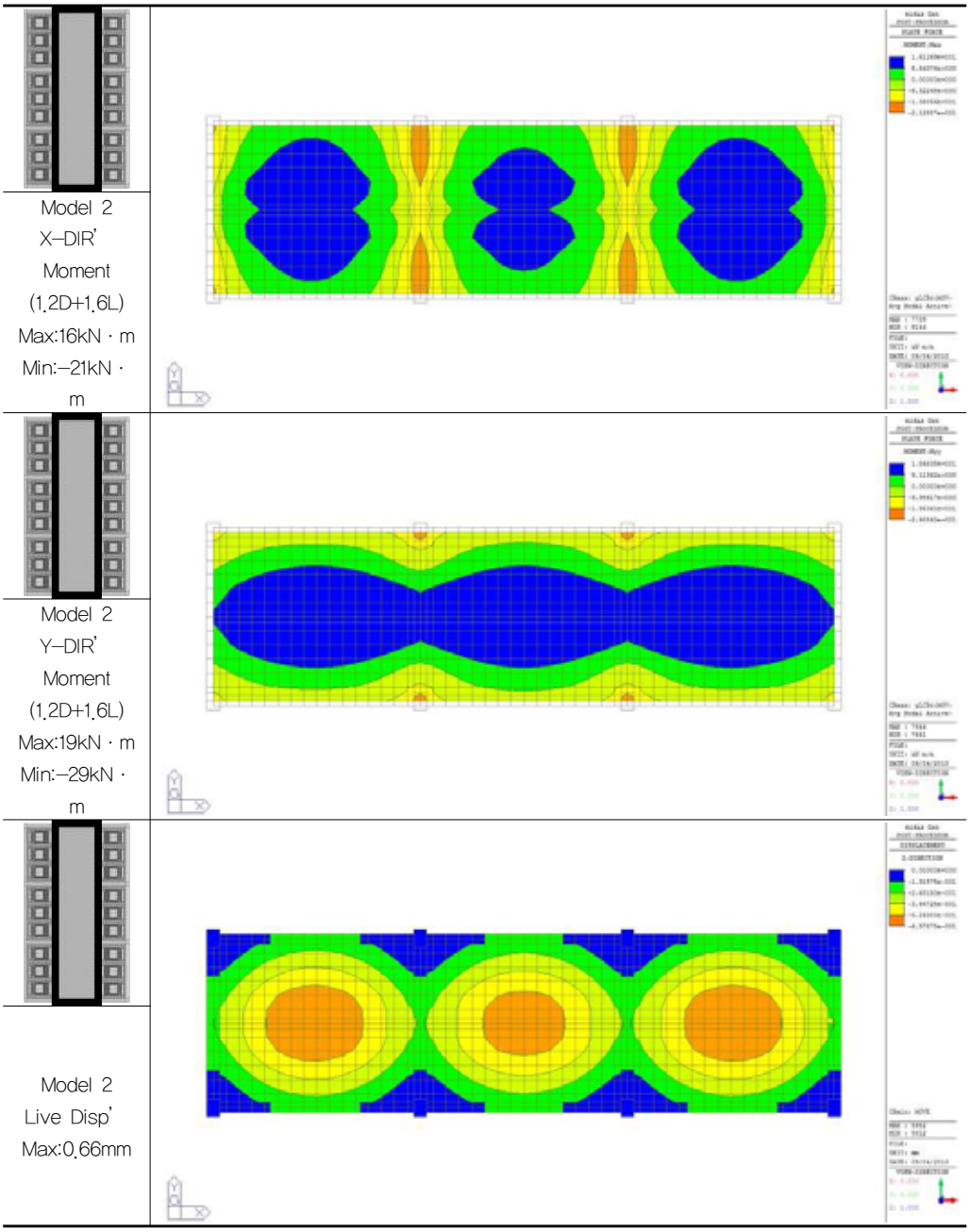


[그림 6-17] MODEL 3 (주차부 집중하중)

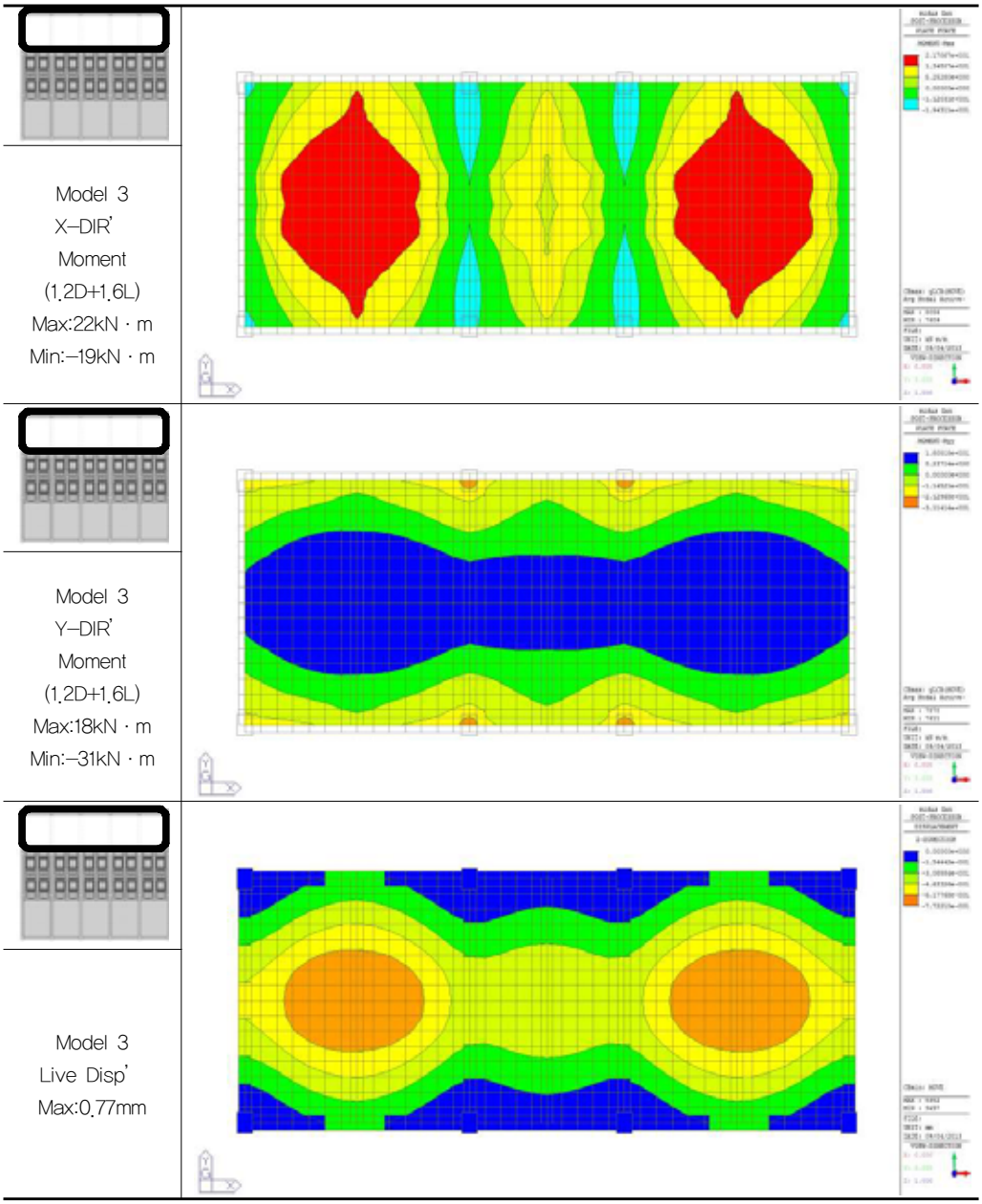
2.4.3 통로부 이동하중 거동 분석



[그림 6-18] MODEL 1 (통로부 이동하중)



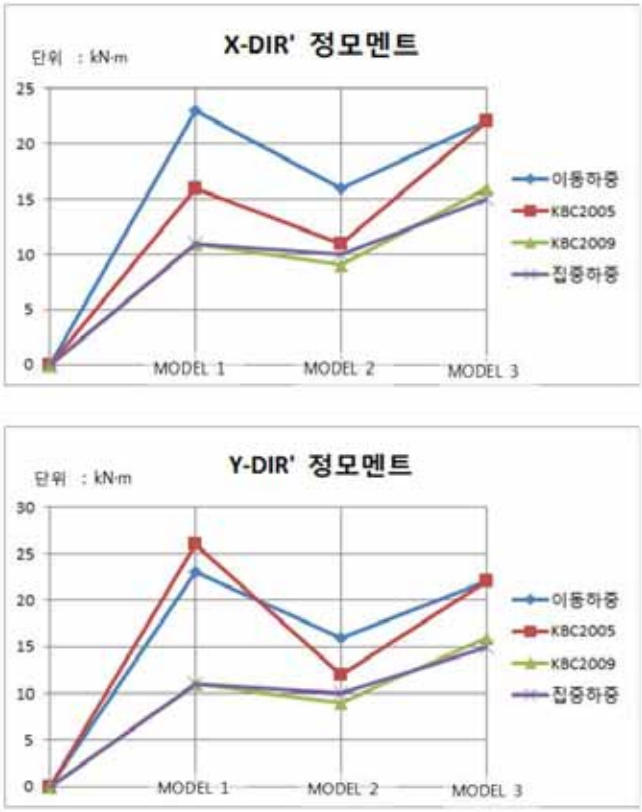
[그림 6-19] MODEL 2 (통로부 이동하중)



[그림 6-20] MODEL 3 (통로부 이동하중)

2.4.4 슬래브 중앙부 최대 정모멘트 비교

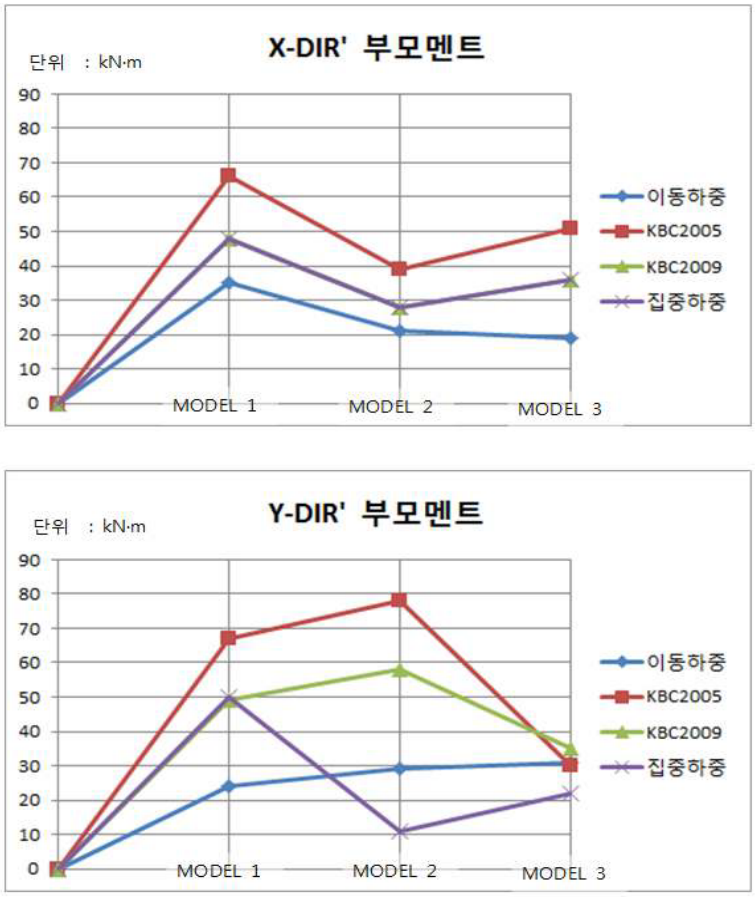
슬래브 중앙부 정모멘트의 경우 X-DIR' 경우 이동하중이 아산배방 A-2 블록 아파트 지하주차장 설계당시 기준인 KBC2005 보다 평균적으로 약 15~20%정도 과소평가 되었다고 나타났다. 이는 현행 기준인 KBC2009보다 약 2배 정도의 차이가 나타나는 것을 볼 수 있다. Y-DIR ' 경우는 KBC2005와 이동하중, KBC2009와 집중하중이 각각 비슷한 결과가 나타났다. 전체적으로 KBC2005와 KBC2009의 경우 KBC2005가 큰 등분포하중(3kN/m2)과 하중계수(1.4D+1.7L)를 사용하기 때문에 모멘트가 모델에 따라 15~20%정도 크게 나타났다. 집중하중은 KBC2009와 비슷한 양상으로 나타났으나. 이동하중의 경우 KBC2005와 비슷한 양상으로 나타났다. 따라서, 현행기준으로 등분포하중을 적용한다면 과소평가가 될 가능성이 있다고 판단된다.



[그림 6-21] 슬래브 중앙부 정모멘트 비교

2.4.5 슬래브 단부 최대 부모멘트 비교

슬래브 단부 부모멘트의 경우 전체적으로 등분포 하중이 집중하중에 비해 모멘트값이 크게 나오는 것을 볼 수 있다. 이는 정모멘트와 마찬가지로 KBC2005의 경우 KBC2009보다 큰 하중과 하중계수를 사용하기 때문에 모멘트값이 크게 나타나는것으로 사료된다. 또한, 집중하중과 KBC2009 기준과 비슷한 결과값이 나타났다.



[그림 6-22] 슬래브 단부 부모멘트 비교

2.4.6 활하중 최대 처짐 비교

Live Load의 값은 등분포 하중의 값이 집중하중과 이동하중에 비해 크 게 나타났으나, 현행 기준에 명기되어 있는 바닥구조 처짐 한계치인 1/360에 비해 여유가 있는 것으로 나타났다.



[그림 6-23] 활하중 최대 처짐 비교

2.5 소 결

본 장에서는 지하주차장 슬래브에서 발생하는 균열등 사용성 관련 문제점을 조금이나마 설계단계에서 해결하고자 현행 기준에서 제시하고 있는 등분포 하중과 집중&이동하중을 재하한 경우에 대해서 비교 검토한 결론은 다음과 같다.

1) 현행(KBC2009) 기준에서 제시한 등분포 하중으로 슬래브를 일률적으로 적용하여 설계시 실제로 발생하는 슬래브에 직접 작용하는 이동하중에 비해 슬래브 중앙부 정모멘트가 과소평가되어 단변 중앙부에 과소철근배근이 될 수 있다.
2) 등분포 하중과 집중&이동하중에 대해 부모멘트 비교시 비슷한 결과값으로 나타나 부모멘트 설계시 현행기준인 일률적인 등분포 하중으로 설계하여도 무방한 것으로 판단된다.

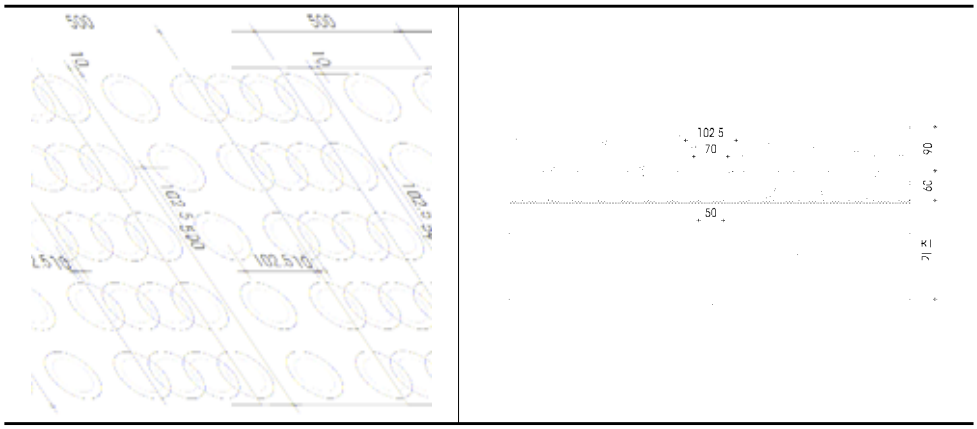
3) 활하중 최대 처짐 비교시 기준에 제시하고 있는 값에 비해 여유가 있어 사용성 검토에서는 문제가 되지 않는 것으로 사료된다.

이상 지하주차장 설계는 정모멘트 구간에서 집중&이동하중에 대한 영향을 고려하여 설계되어야 하며, 합리적인 등분포하중을 찾기 위해 향후 충분한 검증이 있어야 될 것으로 사료된다.

3. 배수판 설치에 따른 콘크리트 계면부의 구조적 거동 분석

3.1 개 요

본 연구의 사용되는 아산배방지구 A-2 블록 아파트 지하주차장은 기초 상부면에 배수판 (102.5mm × 102.5mm × 60mm)을 설치 후 배수판 상부에 90mm이상의 무근크리트로 보강 시공되어있다. 3장에서는 배수판 상부 면에 보강 시공되어진 90mm이상의 무근콘크리트에 차량 하중에 의하여 사용성 균열 발생하는지 여부를 판단하고자 한다. 사용성 균열 발생 여부는 차량에 의해서 발생하는 모멘트(M_u)와 KBC2009에 명기된 콘크리트 균열 모멘트(M_{cr})를 비교함으로 판단하도록 한다.



[그림 6-24] 지하주차장 배수판 설치 단면도 및 구조 단면도

3.2 구조해석개요

3.2.1 본 연구의 초기 가정

기 시공된 기초는 상부 배수판과 무근 콘크리트에 비해서 강성이 크므로 처짐이나 휨변형이 일어나지 않는다고 가정한다. 무근 콘크리트의 28일 압축강도는 지하주차장에서 마감으로 많이 사용하는 18MPa로 가정한다.

3.2.2 구조해석 프로그램 및 차량하중

구조해석 프로그램은 Midas Gen을 사용하였으며, 차량 하중은 2장에서와 동일하게 활하중(Live Load)을 4가지 경우로 구분하여 고려하였다.

[표 6-4] 구조해석 시 고려한 차량 하중

분 류	Live Load	하중 재하 방법	적용 기준	비 고
Case 1	$6\,\mathrm{kN/m^2}$	등분포하중	KBC2005	
Case 2	$3\,\mathrm{kN/m^2}$	등분포하중	KBC2009	
Case 3	8.24kN	집중하중	KBC2009	
Case 4	8.24kN	이동하중	KBC2009	충격계수 1.3 고려

※ D : Dead Load (고정하중), L : Live Load (활하중)

3.3 구조해석

3.3.1 균열 모멘트(M_{cr}) 산정

균열 모멘트는 KBC2009의 0504.3.2와 0504.3.3에 명시된 식으로 산정하며, 경량 콘트리트를 사용하는 경우 0504.3.1.3 (1)과 (2)의 조항에 따라서 보정하도록 한다.

$$M_{cr} = \frac{f_r I_g}{y_t} \qquad (0504.3.2)$$

$$f_r = 0.63\sqrt{f_{ck}} \quad (0504.3.3)$$

상기 식을 이용하여 콘크리트의 균열 모멘트를 산정하면 아래와 같다.

$$f_r = 0.63\sqrt{18} = 2.67\mathrm{MPa}$$

$$I_g = 102.5 \times 90^3/12 = 6226875\mathrm{mm}^4$$

$$M_{cr} = 2.67 \times 6226875 \div 45 \times 10^{-6} = 0.3695\mathrm{kN} \cdot \mathrm{m}$$

3.3.2 차량 하중에 의한 발생 모멘트(M_u) 산정

차량 하중에 의해서 발생하는 모멘트(M_u)는 4가지 경우에 대해서 구조 해석 프로그램인 Midas Gen Ver. 820을 이용하여 산정하였다. Case 1, Case 2의 경우에 대해서는 배수판 간격을 지점로하는 단순보로 가정하여, 수계산을 통하여서도 차량 하중에 의한 발생 모멘트(M_u)를 산정하였다.

1) Case 1 수계산에 의한 발생 모멘트(M_u) 산정

$$w_u = (0.09 \times 23) + 6 = 8.07\mathrm{kN/m}^2$$

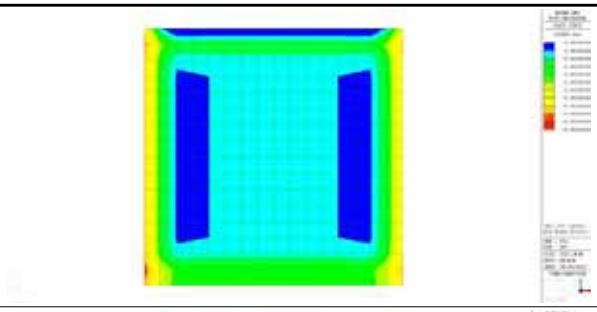
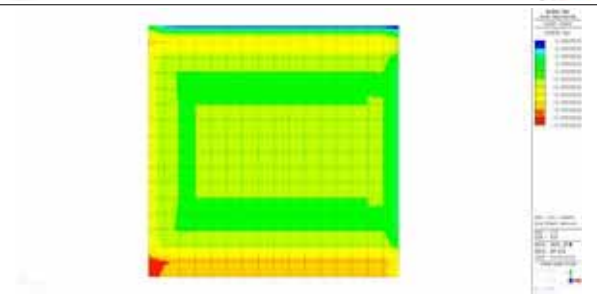
$$M_u = 8.07 \times 0.1025^2/8 = 0.010598\mathrm{kN} \cdot \mathrm{m}$$

2) Case 2 수계산에 의한 발생 모멘트(M_u) 산정

$$w_u = (0.09 \times 23) + 3 = 5.07\mathrm{kN/m}^2$$

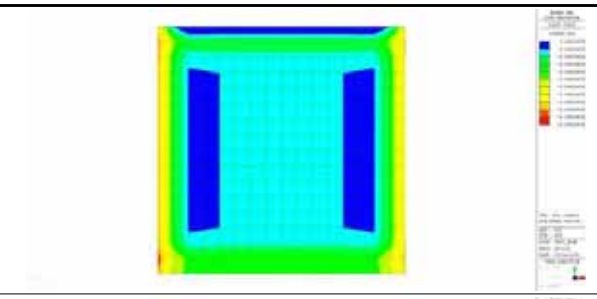
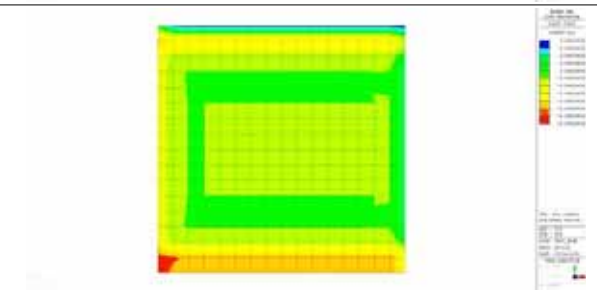
$$M_u = 5.07 \times 0.1025^2/8 = 0.006658\mathrm{kN} \cdot \mathrm{m}$$

3) Case 1 구조해석 결과

Case 1 X-Dir Moment Max Value : 0.00000001 kN • m	
Case 1 Y-Dir Moment Max Value : 0.00000002 kN • m	

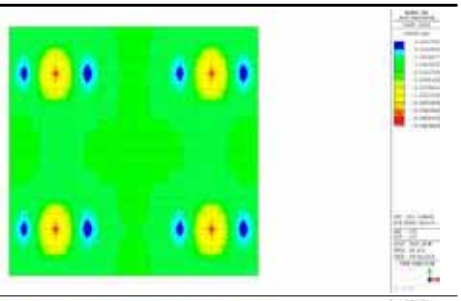
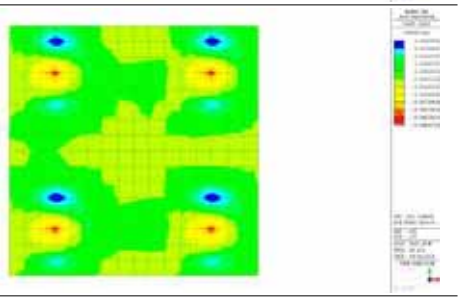
[그림 6-25] CASE 1 구조해석 결과

4) Case 2 구조해석 결과

Case 2 X-Dir Moment Max Value : 0.00000001 kN • m	
Case 2 Y-Dir Moment Max Value : 0.00000003 kN • m	

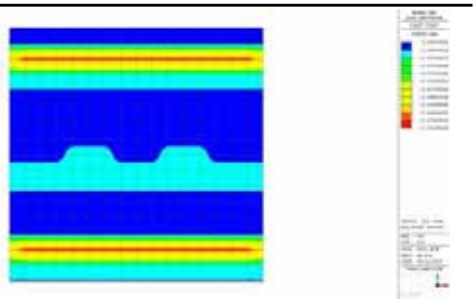
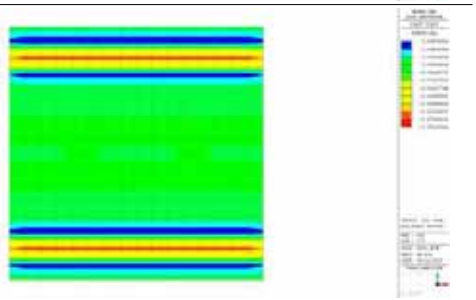
[그림 6-26] CASE 2 구조해석 결과

5) Case 3 구조해석 결과

Case 3 X-Dir Moment Max Value : 0.04639226 kN • m	
Case 3 Y-Dir Moment Max Value : 0.04650753 kN • m	

[그림 6-27] CASE 3 구조해석 결과

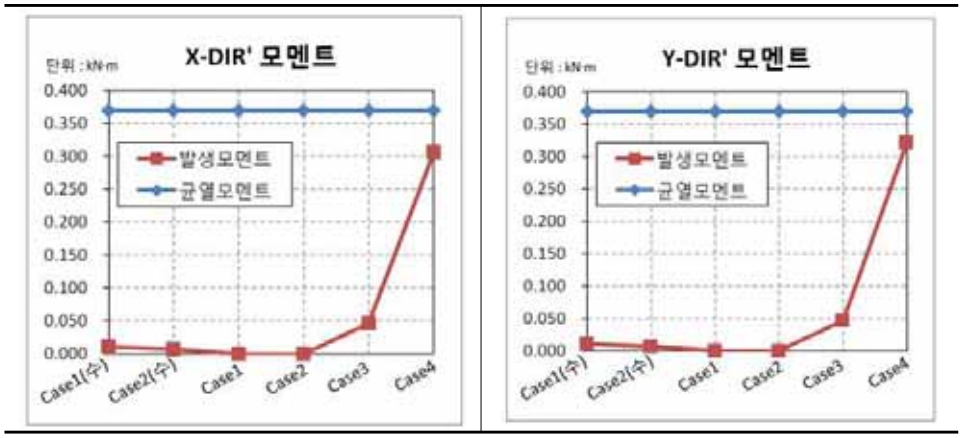
6) Case 4 구조해석 결과

Case 4 X-Dir Moment Max Value : 0.30599339 kN • m	
Case 4 Y-Dir Moment Max Value : 0.32110364 kN • m	

[그림 6-28] CASE 4 구조해석 결과

3.3.2 구조해석 결과

차량 하중으로 인한 발생 모멘트와 무근 콘크리트의 균열 모멘트 비교를 통해서 고찰한바 이론상 사용성 균열은 발생하지 않는다고 판단되어진다. 해석 결과는 다음과 같다.



[그림 6-29] X-Dir 모멘트 및 Y-Dir 모멘트

[표 6-5] 구조해석 결과

분류	발생 모멘트 (M_u)	균열 모멘트 (M_{cr})	Ratio (M_u / M_{cr})	균열 여부
Case 1(수)	Mu : 0.010598	0.3695	0.0286	X
Case 2(수)	Mu : 0.006658		0.0180	X
Case 1	Mx : 0.0000001		0.00000003	X
	My : 0.0000002		0.00000005	
Case 2	Mx : 0.00000001		0.00000003	X
	My : 0.00000003		0.00000008	
Case 3	Mx : 0.04639226		0.1256	X
	My : 0.04650753		0.1259	
Case 4	Mx : 0.30599339		0.8281	X
	My : 0.32110364		0.8690	

3.4 소 결

차량 하중에 의해서 발생하는 모멘트(M_u)는 균열 모멘트(M_{cr})보다 작으므로, 배수판 위의 보강 시공된 90mm무근 콘트리트에는 차량 하중에 의해서는 이론상 사용성 균열이 발생하지 않음을 알 수 있다. 그러나 차량 하중에 의해서는 콘크리트에 균열이 발생하지 않더라도 여러 가지 다른 요인들에 의해서 균열이 발생 할 수 있다. 콘크리트 타설 시에 발생하는 수화열, 불량한 콘크리트 양생, 대기 온도의 변화, 혼화재(제)의 혼입 여부, 건조 수축 등의 요인들로 인하여 콘크리트에 균열이 발생 할 수 있다. 따라서 추후 연구를 통하여 위의 요인들로 인한 균열 발생 여부를 판단하고 이에 따른 대책 방안 수립이 필요할 것으로 사료된다.

4. 영구배수공법 적용에 따른 무근콘크리트 부분시공 개선방안 검토

4.1 개 요

본 검토는 지반의 수리 특성과 건축기초의 설계조건 등을 토대로 영구배수공법 적용시 상향수압에 위해 무근콘크리트구간에 영향을 파악하며, 수리해석을 통하여 설계와 시공을 위한 규격 및 단면결정에 제반사항을 검토하는데 있다.

4.2 지반조사결과

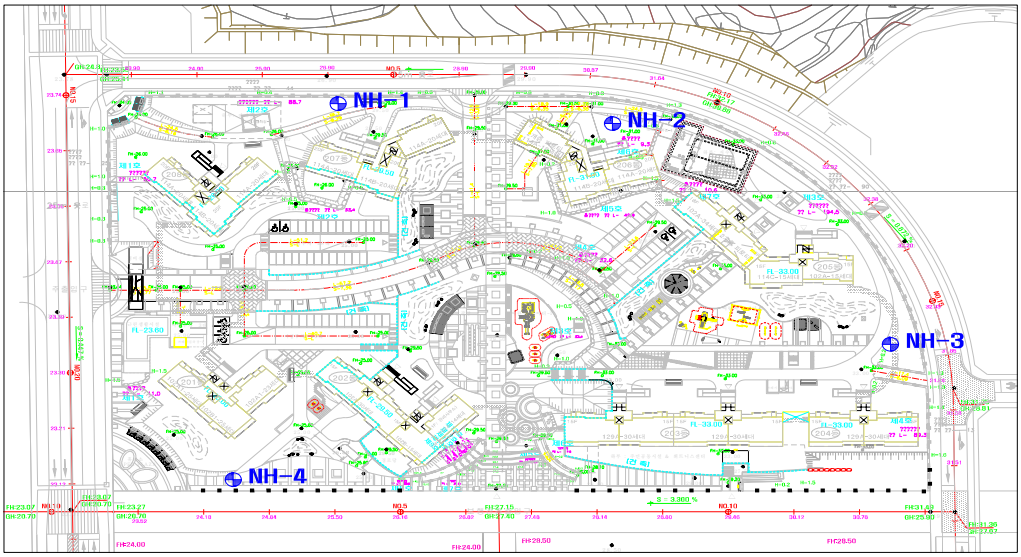
4.2.1 시추조사결과

본 지역에서 NX size의 규격으로 총 4공의 시추조사를 수행하였으며 각 지역별 시추조사 결과 나타난 지층구성상태 및 표준관입시험 결과를 요약정리하면 다음과 같다.

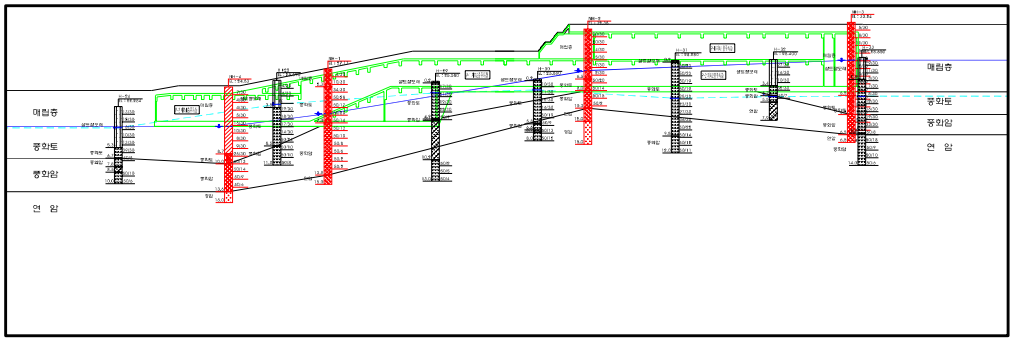
[표 6-6] 지층현황

구 분	층후(m)				시추심도 (m)	표준관입시험 (회)
	매립층	풍화토	풍화암	기반암		
NH-1	0.0~2.3 (2.3)	2.3~7.0 (4.7)	7.0~13.8 (6.8)	13.8~15.0 (1.2)	15.0	13
NH-2	0.0~6.5 (6.5)	6.5~8.0 (1.5)	8.0~10.3 (2.3)	10.3~15.0 (4.7)	15.0	10
NH-3	0.0~9.5 (9.5)	9.5~12.0 (2.5)	12.0~14.6 (2.6)	14.6~15.6 (1.0)	15.6	14
NH-4	0.0~8.7 (8.7)	8.7~10.0 (1.3)	10.0~13.6 (3.6)	13.6~15.0 (1.4)	15.0	13

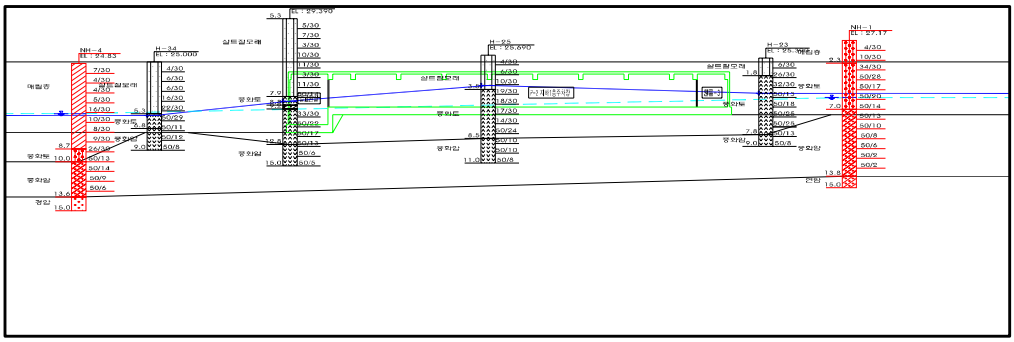
추가로 실시한 시추조사결과와 당초 조사된 시추조사결과를 분석하여 지하주차장 평면도, 횡단과 종단상에 도시하면 아래와 같다.



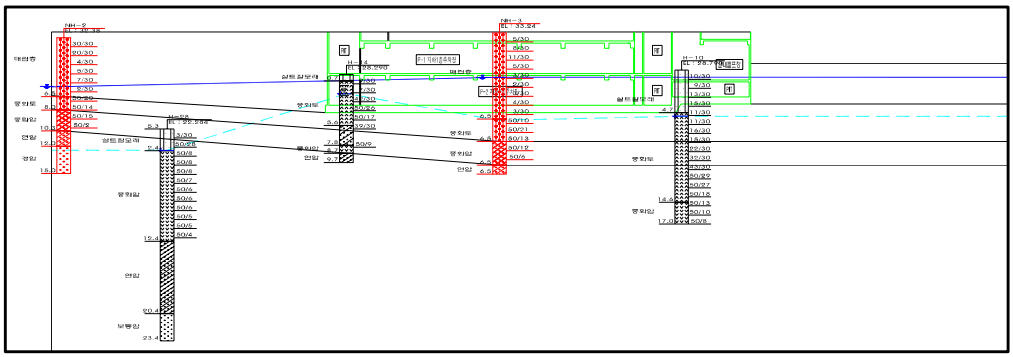
[그림 6-30] 시추조사 위치



(a) 지하주차장 횡단면도



(b) P-2 지하주차장 종단면도



(c) P-1 지하주차장 종단면도

[그림 6-31] 시추 조사결과

4.2.2 현장투수시험결과

현장투수시험은 추가로 시추한 시추공 4공에 대해서 실시하였으며, 현장투수시험을 통해 지하주차장 주변지반에 대한 투수계수를 분석하여 지하수 유동분석 및 침투해석시 입력자료로 활용하였다. 현장투수시험결과를 요약하여 정

리하면 아래표와 같으며, 지하주차장 주변지반에 대한 각 지층별 투수계수를 정리하면 다음과 같다.

[표 6-7] 현장투수시험결과 요약

측정 조사공	측정심도 (GL-m)	지 층	투수계수 (cm/sec.)	비 고
NH-1	9.0 ~ 10.0	풍 화 암	2.50×10^{-5}	
NH-2	3.0 ~ 4.0	매 립 층	7.56×10^{-4}	
	7.0 ~ 8.0	풍 화 토	3.77×10^{-4}	
NH-3	13.0 ~ 14.0	풍 화 암	3.47×10^{-4}	
NH-4	1.0 ~ 2.0	매 립 토	1.20×10^{-5}	
	9.0 ~ 10.0	풍 화 토	4.93×10^{-5}	

[표 6-8] 지하주차장 주변지반의 투수계수

지 층	투수계수 (cm/sec.)			비 고
	최 소	최 대	평 균	
매 립 토	1.20×10^{-5}	7.56×10^{-4}	3.84×10^{-4}	
풍 화 토	4.93×10^{-5}	3.77×10^{-4}	2.13×10^{-4}	
풍 화 암	2.50×10^{-5}	3.47×10^{-4}	1.86×10^{-4}	

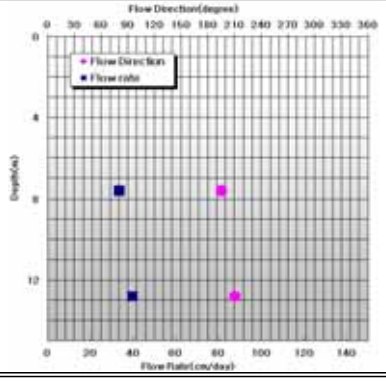
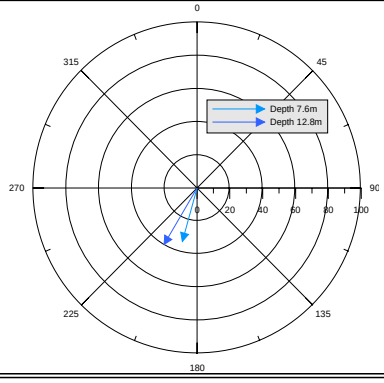
4.2.3 지하수 유향 · 유속시험결과

추가로 조사한 시추공 및 P-2 지하1층 주차장 바닥 천공부에서 실시한 지하수 유향, 유속 시험결과를 요약하여 정리하면 다음과 같다. 지하주차장 주변지반의 지하수 흐름은 주로 SW~SSW방향으로 조사되었다. 상세한 분석결과를 정리하면 아래 표와 같다.

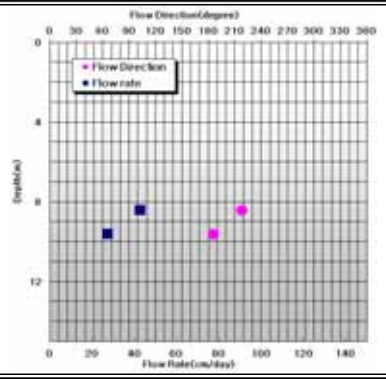
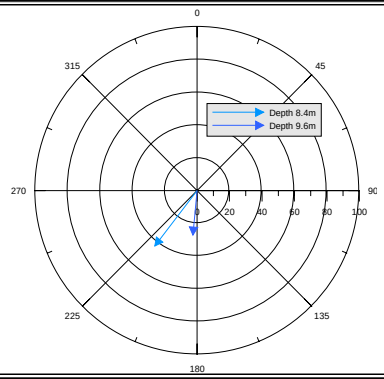
[표 6-9] 지하수 유향, 유속 시험결과 요약

측정 조사공	측정심도 (GL-m)	지 층	유 향 (MN)	유 속 (㎝/day)	주흐름 방향
NH-1	7.6	풍 화 암	195.5 °	33.5	S~SSW
	12.8	풍 화 암	210.6 °	39.6	
NH-2	8.4	풍 화 암	217.6 °	42.7	S~SW
	9.6	풍 화 암	185.5 °	27.4	
NH-3	10.2	풍 화 토	155.8 °	85.3	SSE~SE
	13.5	풍 화 암	145.4 °	70.1	
NH-4	5.8	매 립 층	202.6 °	54.9	SSE~SSW
	12.5	풍 화 암	165.3 °	70.0	
P-2 지하1층 주차장	0.6		192.0 °	112.8	S~SSW
	0.7		203.8 °	125.0	

[표 6-10] 지하수 유향 유속 시험결과 상세분석 1

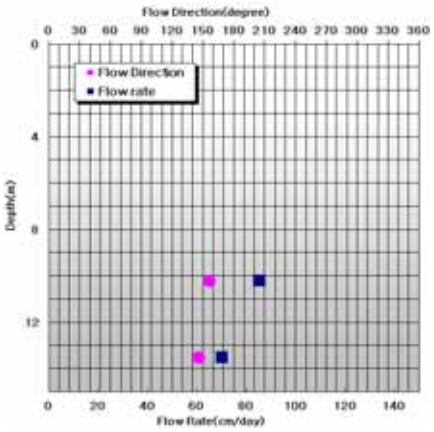
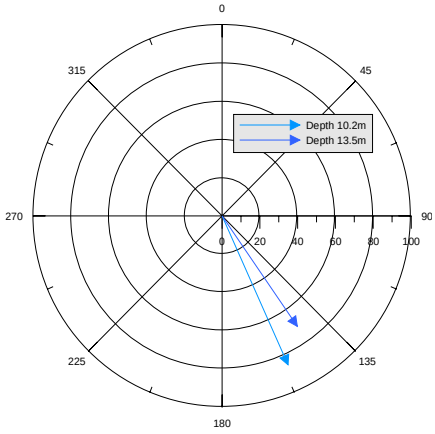
심도별 Diagram 분석결과 NH-1	주 흐름방향 분석
	

조사공에 풍화토 및 풍화암에서 대표적인 지점(GL-7.6m ~ 12.8m)을 대상으로 측정한 지하수의 유향은 195.5 ~ 210.6° 로 S ~ SW방향으로 흐르는 것으로 확인되었으며 유속의 경우는 33.5cm/day ~ 39.6cm/day으로 일반적인 지하수의 평균유속에 비해 다소 느린편으로 나타났다.

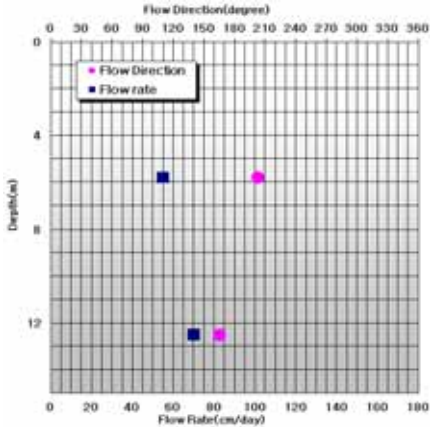
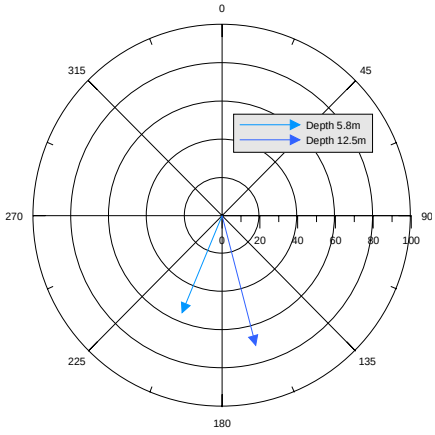
심도별 Diagram 분석결과 NH-2	주 흐름방향 분석
	

조사공에 풍화토 및 풍화암에서 대표적인 지점(GL-8.4m ~ 9.6m)을 대상으로 측정한 지하수의 유향은 217.6 ~ 185.5° 로 S ~ SW방향으로 흐르는 것으로 확인되었으며 유속의 경우는 27.4cm/day ~ 42.7cm/day으로 일반적인 지하수의 평균유속에 비해 다소 느린편으로 나타났다.

[표 6-11] 지하수 유향, 유속 시험결과 상세분석 2

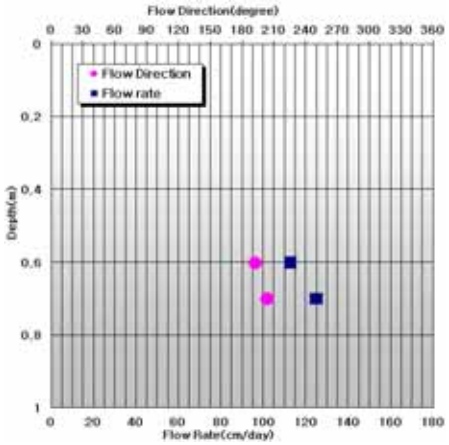
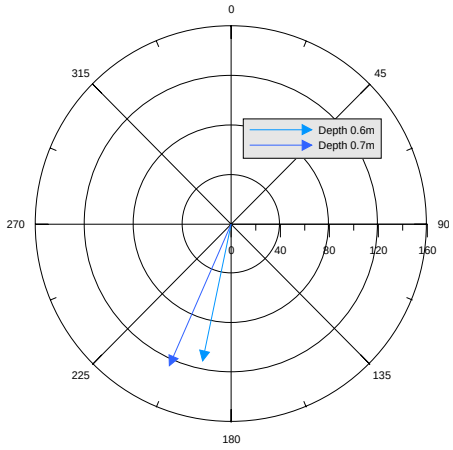
심도별 Diagram 분석결과 NH-3	주 흐름방향 분석
	

조사공에 풍화토 및 풍화암에서 대표적인 지점(GL-10.2m ~ 13.5m)을 대상으로 측정한 지하수의 유향은 145.4 ~ 155.8° 로 SSE ~ SE방향으로 흐르는 것으로 확인되었으며 유속의 경우는 70.1cm/day ~ 85.3 cm/day으로 일반적인 지하수의 평균유속 정도의 흐름을 나타내고 있다.

심도별 Diagram 분석결과 NH-4	주 흐름방향 분석
	

조사공에 풍화토 및 풍화암에서 대표적인 지점(GL-5.8m ~ 12.5m)을 대상으로 측정한 지하수의 유향은 192.0 ~ 203.8° 로 SSE ~ SW방향으로 흐르는 것으로 확인되었으며 유속의 경우는 54.9cm/day ~ 70.0 cm/day으로 일반적인 지하수의 평균유속 정도의 흐름을 나타내고 있다.

[표 6-12] 지하수 유향, 유속 시험결과 상세분석 3

심도별 Diagram 분석결과 NH-B2	주 흐름방향 분석
	

아파트 지하 2층 주차장 시험공 하부 지점(바닥슬라브-0.6 ~ 0.7m)을 대상으로 측정한 지하수의 유향은 192 ~ 103.8° 로 S ~ SSW방향으로 흐르는 것으로 확인되었으며 유속의 경우는 112.8cm/day ~ 125.0 cm/day으로 일반적인 지하수의 평균유속에 비해 다소 빠른 유속을 나타내고 있다.

4.3 과거 강우자료 분석결과

당 현장의 인근에 해당하는 천안지역의 기상청 강우기록자료 중 연도별 최대 시간강우강도, 연도별 최대 일강우량 및 2011~2012년도 일강우량을 분석하여 정리하면 아래와 같다. 천안지역의 과거 강우자료 중 최대 시간강우강도는 90mm/hr.로 우수관로의 설계 강우강도 145mm/hr. 보다는 적은 강우기록을 나타내고 있다.

[표 6-13] 연도별 최대 시간강우강도 (천안) (단위:mm)

1971 년			1972 년			1973 년			1974 년			1975 년		
값	월	일	값	월	일	값	월	일	값	월	일	값	월	일
			39.0	07	08	43.0	08	23	27.5	07	09	24.0	07	16
1976 년			1977 년			1978 년			1979 년			1980 년		
값	월	일	값	월	일	값	월	일	값	월	일	값	월	일
90.0	08	14	40.0	09	06	50.0	07	12	53.0	08	03	46.0	07	14
1981 년			1982 년			1983 년			1984 년			1985 년		
값	월	일	값	월	일	값	월	일	값	월	일	값	월	일
28.0	07	09	45.5	07	28	27.2	06	29	43.0	07	04	33.0	10	10
1986 년			1987 년			1988 년			1989 년			1990 년		
값	월	일	값	월	일	값	월	일	값	월	일	값	월	일
68.0	08	01	45.0	07	21	26.5	07	10	24.5	08	20	37.0	06	23
1991 년			1992 년			1993 년			1994 년			1995 년		
값	월	일	값	월	일	값	월	일	값	월	일	값	월	일
24.5	09	06	31.5	08	27	43.0	09	17	44.0	08	01	67.5	08	09
1996 년			1997 년			1998 년			1999 년			2000 년		
값	월	일	값	월	일	값	월	일	값	월	일	값	월	일
48.5	07	21	43.0	07	01	55.5	08	06	41.0	08	02	40.0	08	29
2001 년			2002 년			2003 년			2004 년			2005 년		
값	월	일	값	월	일	값	월	일	값	월	일	값	월	일
42.0	08	07	46.5	08	07	50.0	09	05	32.5	07	12	75.5	09	17
2006 년			2007 년			2008 년			2009 년			2010 년		
값	월	일	값	월	일	값	월	일	값	월	일	값	월	일
32.0	07	28	45.5	08	04	36.0	07	13	34.0	07	12	44.0	07	23
2011 년														
값	월	일												
39.5	07	27												

천안지역의 과거 강우자료 중 최대 일강우량은 273.5mm로 나타났으며, 당 현장의 지하주차장의 누수가 발생한 2011년도 7월중 강우기록을 살펴보면 일 강우량은 과거 기록자료로 볼 때 크지는 않았지만 6월 22일부터 8월 25일 까지의 누적 강우량은 1,251.3mm로서 작은 강우강도로 강우가 빈번하게 발생했던 것으로 나타났다. 따라서 잦은 강우발생에 따른 누적강우량에 의해 지하수위의 상승에 의한 영향은 미쳤을 것으로 판단된다.

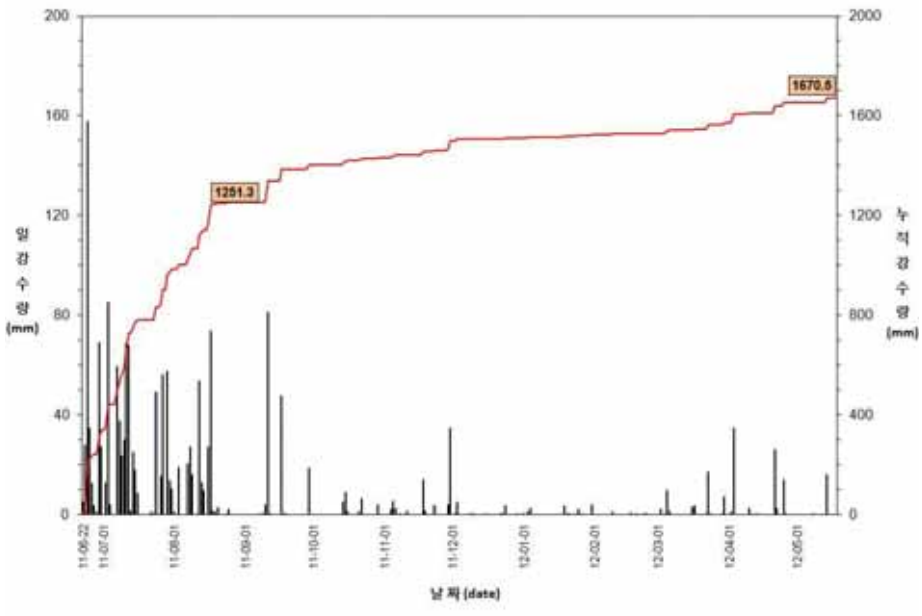
[표 6-14] 연도별 최대 일강우량 (천안) (단위:mm)

1971 년			1972 년			1973 년			1974 년			1975 년		
값	월	일	값	월	일	값	월	일	값	월	일	값	월	일
						90.2	08	23	111.6	07	09	66.5	07	28
1976 년			1977 년			1978 년			1979 년			1980 년		
값	월	일	값	월	일	값	월	일	값	월	일	값	월	일
126.6	08	14	147.2	09	06	123.0	08	16	120.0	06	26	108.5	07	14
1981 년			1982 년			1983 년			1984 년			1985 년		
값	월	일	값	월	일	값	월	일	값	월	일	값	월	일
89.7	07	12	134.0	07	28	69.4	07	19	157.5	07	04	110.0	10	10
1986 년			1987 년			1988 년			1989 년			1990 년		
값	월	일	값	월	일	값	월	일	값	월	일	값	월	일
126.2	07	19	154.0	07	21	63.0	07	11	96.0	09	14	112.5	06	19
1991 년			1992 년			1993 년			1994 년			1995 년		
값	월	일	값	월	일	값	월	일	값	월	일	값	월	일
80.0	05	26	162.5	08	27	110.5	07	13	141.5	06	30	273.5	08	09
1996 년			1997 년			1998 년			1999 년			2000 년		
값	월	일	값	월	일	값	월	일	값	월	일	값	월	일
94.0	06	17	142.5	07	01	176.0	09	30	135.5	08	02	108.5	08	20
2001 년			2002 년			2003 년			2004 년			2005 년		
값	월	일	값	월	일	값	월	일	값	월	일	값	월	일
130.0	08	07	240.5	08	07	124.0	06	27	97.5	06	19	162.0	09	17
2006 년			2007 년			2008 년			2009 년			2010 년		
값	월	일	값	월	일	값	월	일	값	월	일	값	월	일
137.5	07	16	144.5	08	04	85.0	07	19	102.0	07	12	104.0	09	11
2011 년														
값	월	일												
157.5	06	24												

[표 6-15] 2011년도 일강우량 (천안) (단위:mm)

	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
1일			3.0		3.5	36.5		1.0				
2일							13.0					0.4
3일							85.0	19.0				5.0
4일							4.0				2.0	
5일	0.2										5.5	
6일	0.0				0.1						2.5	
7일				14.0	0.1		59.5	20.5				
8일	0.0						37.5	27.0	0.2		0.4	0.0
9일	0.0				0.1		23.5	16.0	0.5			0.1
10일				0.5	54.5		30.0		4.0			0.1
11일	1.3				27.5		68.5	0.5	81.0		1.5	0.0
12일					1.0		68.0	53.5	0.5			
13일						0.1	1.5	13.0				
14일	0.0	0.0					25.0	9.5		5.0		
15일	0.4						18.0			9.0		0.0
16일	0.0	0.0					8.5	27.0		1.0		0.5
17일		2.0						73.5	47.5		0.0	
18일				0.4				1.5	0.5		14.0	0.0
19일	0.0							1.0	0.5		1.5	
20일	0.0		14.5		3.0			3.0			0.0	
21일				0.0	7.0					1.0		0.0
22일	0.0			20.5		5.0	1.0			6.5		0.5
23일	3.9					28.0	0.1			0.0	3.5	0.3
24일	1.7		9.0	0.1		157.5	49.0	0.2		0.0		3.5
25일	0.0			0.5		34.5		2.0				
26일	0.0			0.5	5.0	12.5	15.5					
27일		28.5		0.2		3.5	56.0					
28일		0.5		1.0		1.0	0.0					0.0
29일	0.4			3.0		69.0	57.5		18.5	4.0	0.4	0.1
30일	0.0			92.5		27.0	13.5				34.5	
31일					1.5		10.5					
합계	7.9	31.0	26.5	133.2	103.3	374.6	645.1	268.2	153.2	26.5	65.8	10.5

또한 2011년 6월 22일부터 2012년 5월 18일 까지의 일강우과 누적강우량을 분석하면 그림 4.3.1과 같다. 강우량 분석결과 2011년 6월 22일 ~ 2012년 5월 18일 까지의 누적강우량인 1,670.5mm이고, 2011년 6월 22일 ~ 8월 25일 까지의 누적강우량은 1,251.3mm로서 전체강우량의 74.9%를 차지하는 것으로 분석되었다.

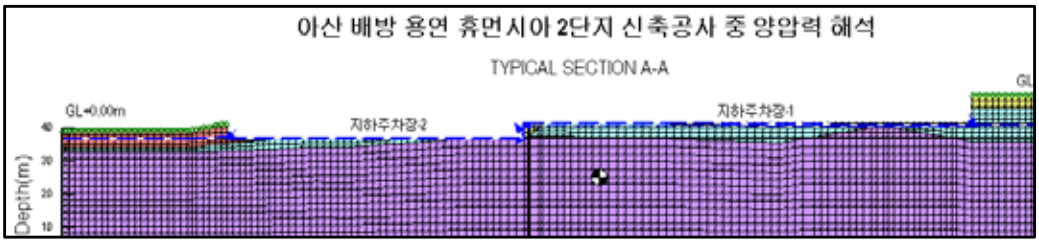


[그림 6-32] 강우자료 분석 (2011년 6월 ~ 2012년 5월)

4.4 지하수 침투해석결과

4.4.1 해석개요

지하주차장 주변지반의 투수성 및 조사된 현 지하수위 측정결과를 바탕으로 지하수 흐름에 대한 침투해석결과를 분석하였다. 침투해석에 사용한 해석프로그램은 SEEP/W 프로그램으로 지반의 침투해석시 범용으로 사용하고 있는 해석프로그램이다. 해석에 사용한 격자요소망은 다음과 같다.



[그림 6-33] 침투류 해석에 사용한 격자요소망

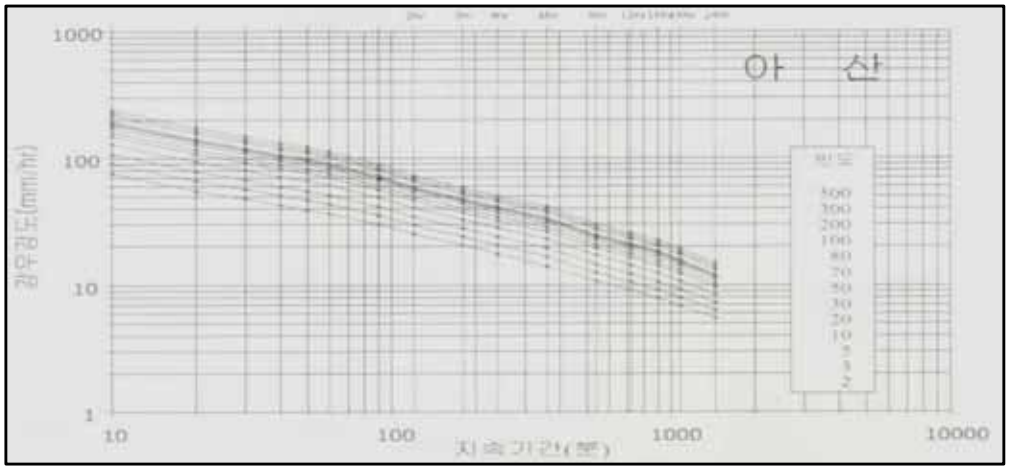
4.4.2 지반의 투수계수

추가로 실시한 4개의 시추공을 이용하여 현장투수시험을 실시한 결과를 참고하여 투수계수를 산정하였으며, 침투해석에 적용한 지반의 투수계수는 다음과 같다.

[표 6-16] 침투해석에 적용한 지반의 투수계수

지 층	해석모델	투수계수, k (cm/sec)	비 고
성 토 층 되메우기층	Saturated Only	3.00×10-2	
매 립 층	Saturated Only	3.84×10-4	
풍 화 토	Saturated Only	2.13×10-4	
풍 화 암	Saturated Only	1.86×10-4	
연 암	Saturated Only	1.00×10-6	추가산정

4.4.3 강우에 따른 지하수위 변화

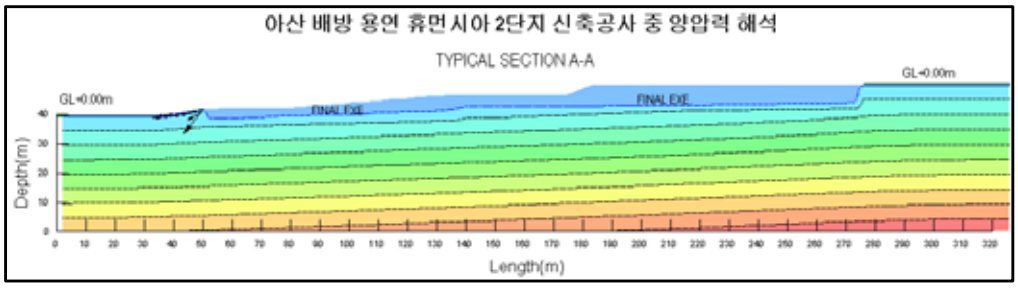


[그림 6-34] 아산지점의 강우강도, 지속기간, 빈도곡선

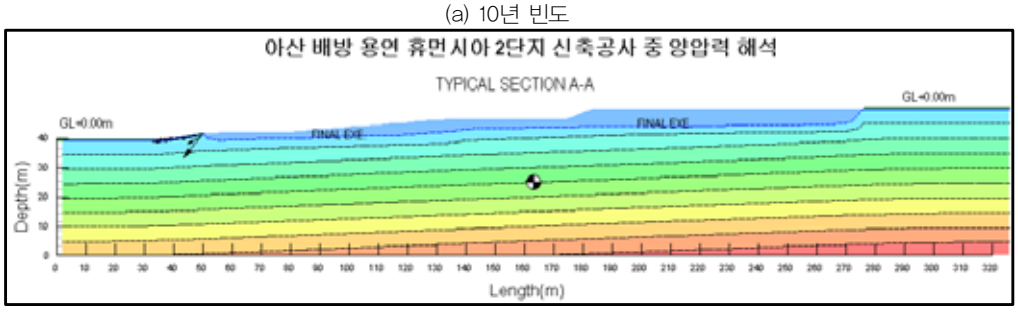
아산지점의 강우에 따른 지하수위 변화를 검토하기 위해 아산지점의 강우강도-지속기간-빈도 곡선을 참고하여 아산지점의 10년 빈도, 20년 빈도, 30년 빈도의 강우강도를 해석에 적용하였다. 해석에 적용한 빈도별 강우강도-지속기간은 아래와 같다.

[표 6-17] 아산지점의 확률강우 빈도별 강우강도, 지속시간

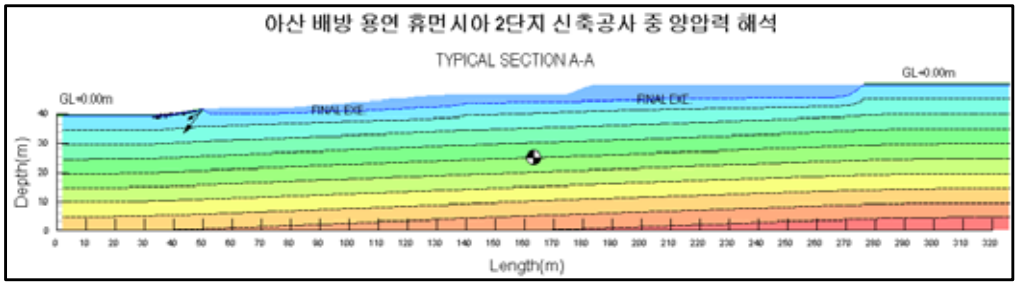
확률강우빈도	강우강도(mm/hr)	강우지속기간(hr)	비 고
10년	8.4	24	
20년	9.6	24	
30년	10.0	24	



(a) 10년 빈도



(b) 20년 빈도

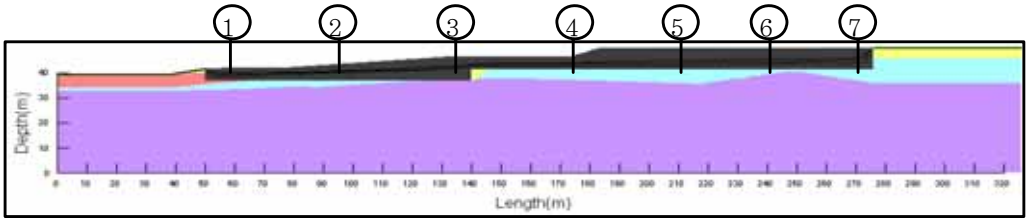


(c) 30년 빈도

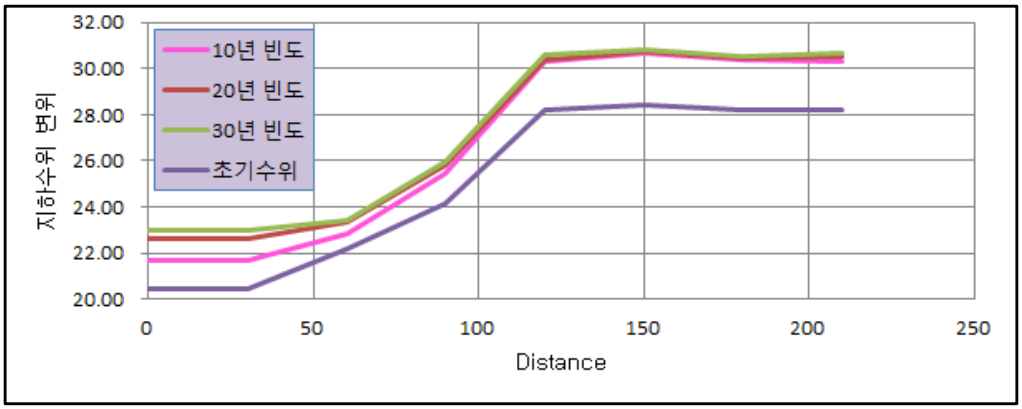
[그림 6-35] 아산지점의 빈도별 강우량 적용시 해석결과

[표 6-18] 아산지점의 빈도별 강우량 적용시 해석결과

측정위치		기준		10년 빈도		20년 빈도		30년 빈도	
		공내 수위 (EL,m)	초기 수위 (EL,m)	지하 수위 (EL,m)	수위 상승고 (m)	지하 수위 (EL,m)	수위 상승고 (m)	지하 수위 (EL,m)	수위 상승고 (m)
①	NH-24	19.534	20.46	21.67	1.21	22.62	2.16	23.00	2.54
②	NH-25	22.590	22.23	22.83	0.60	23.35	1.12	23.39	1.16
③	NH-29	24.080	24.16	25.44	1.28	25.80	1.64	25.97	1.81
④	NH-30	24.460	28.20	30.34	2.14	30.37	2.17	30.59	2.39
⑤	NH-31	23.380	28.41	30.66	2.25	30.74	2.33	30.79	2.38
⑥	NH-32	23.600	28.23	30.40	2.17	30.45	2.22	30.55	2.32
⑦	NH-33	23.650	28.20	30.31	2.11	30.56	2.36	30.65	2.45



[그림 6-36] 측정위치



[그림 6-37] 지하수위 변위 그래프

1) 아산지점의 강우에 따른 지하수위 변화를 검토한 결과는 아래와 같다.

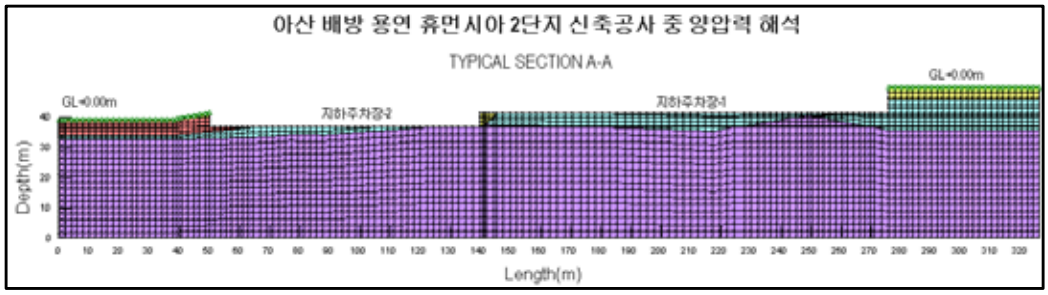
2) 구조물 완공후 30년 빈도를 검토한 결과 지하수위 상승은 최대2.54m정도 증가하는 것으로 검토되었으며 특히 구조물 외곽부로 갈수록 증가량이 많은 것을 알 수 있다. 이에 따라서 영구배수 설계시 외곽부터 배수재를 설치하여 구조물의 안정성을 확보하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

4.5 구조물하부에 작용하는 양압력 검토

4.5.1 검토개요

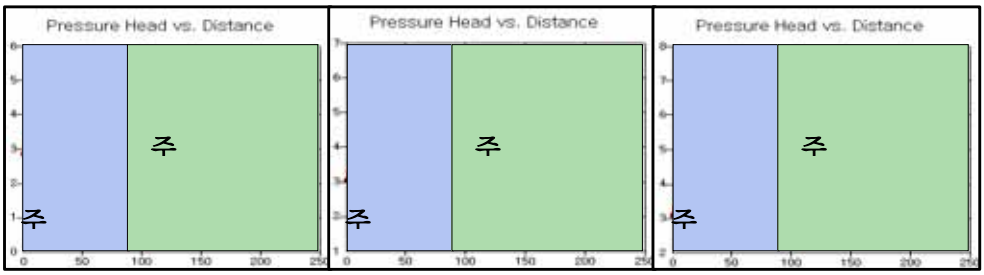
구조물 자체가 부력에 저항할 수 있는 충분한 자중일지라도 기초 건물 바닥에 작용하는 양압력 문제는 발생된다. 따라서 부력 및 양압력을 극복하기 위한 대책이 필요하다.

4.5.2 양압력 검토



[그림 6-38] 양압력 해석

① 기초 바닥에 배수재 미 설치시 작용하는 양압력



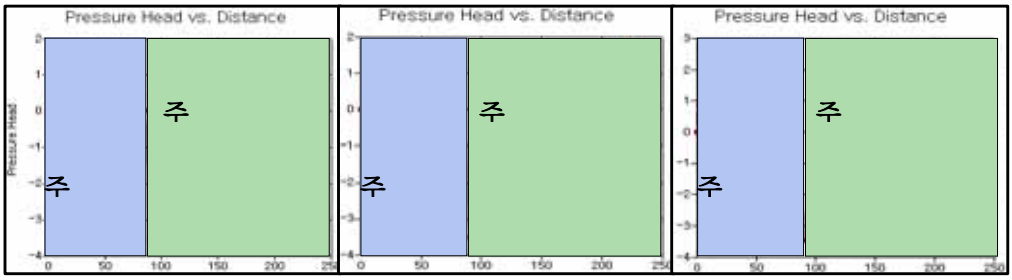
10년 빈도 20년 빈도 30년 빈도

[그림 6-39] 기초 바닥에 배수재 미설치시 작용하는 양압력

[표 6-19] 기초 바닥에 배수재 미설치시 작용하는 양압력 검토 결과

구 분	양압력 검토 결과			비 고
	10년 빈도	20년 빈도	30년 빈도	
주차장-1	MAX : 47.0 kN	MAX :65.0 kN	MAX : 73.0 kN	
주차장-2	MAX : 52.0 kN	MAX :61.0 kN	MAX : 68.0 kN	

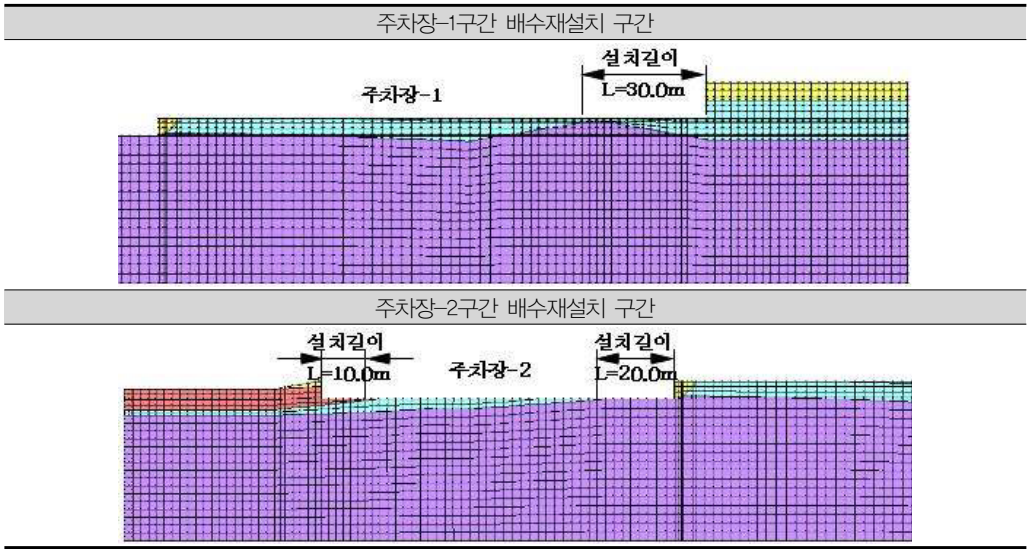
② 기초 바닥에 배수재 설치시 작용하는 양압력



10년 빈도 20년 빈도 30년 빈도

[그림 6-40] 기초 바닥에 배수재 설치시 작용하는 양압력

③ 지하수 상승에 따른 배수재 설치 구간



[그림 6-41] 지하수 상승에 따른 배수재 설치 구간

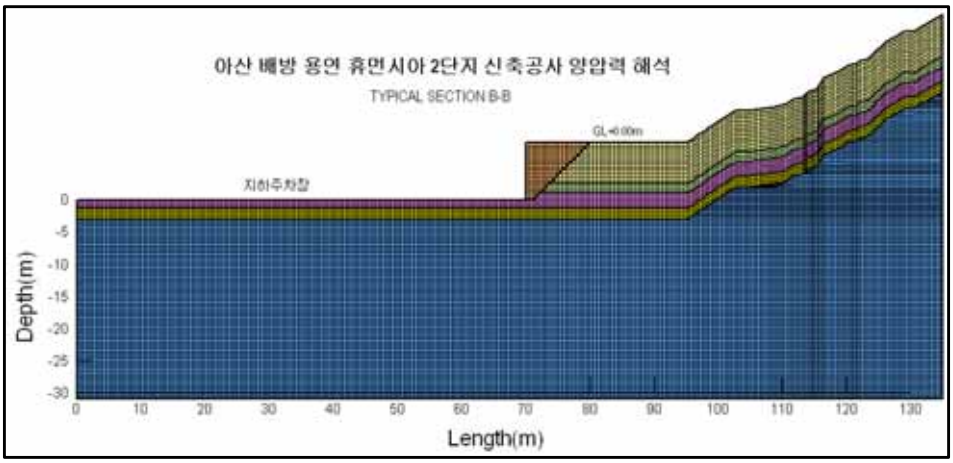
[표 6-20] 지하수 상승에 따른 배수재 설치구간별 양압력 검토

구 분	양압력 검토 결과			비 고
	5.0m 상승시	10.0m 상승시	15.0m 상승시	
주차장-1	설치구간 : 30.0m	설치구간 : 50.0m	설치구간 : 80.0m	외곽부
주차장-2	설치구간 : 20.0m	설치구간 : 47.5m	설치구간 : 65.0m	중앙부
	설치구간 : 10.0m	설치구간 : 18.0m	설치구간 : 30.0m	외곽부

4.6 구릉지 및 절개지에 구조물 신축시 영구배수 검토

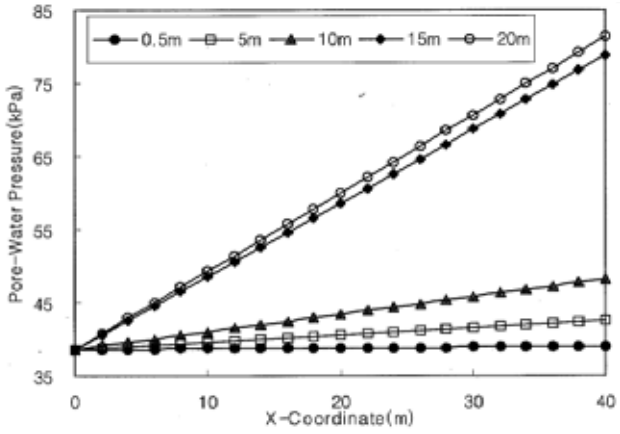
4.6.1 검토개요

구조물 신축시 인근지형이 구릉지 및 산악지역에 택지조성을 실시하여 구조물을 신축하는 경우가 증가하고 있으며, 우기시 절개구간 및 협곡구간으로 유입수가 유입되어 부력 및 양압력에 의해 구조물 안전성에 문제가 발생할 수 있다. 따라서, 부력 및 양압력에 의해 구조물의 안정성을 도모하기 위한 대책이 필요할 것으로 판단된다.



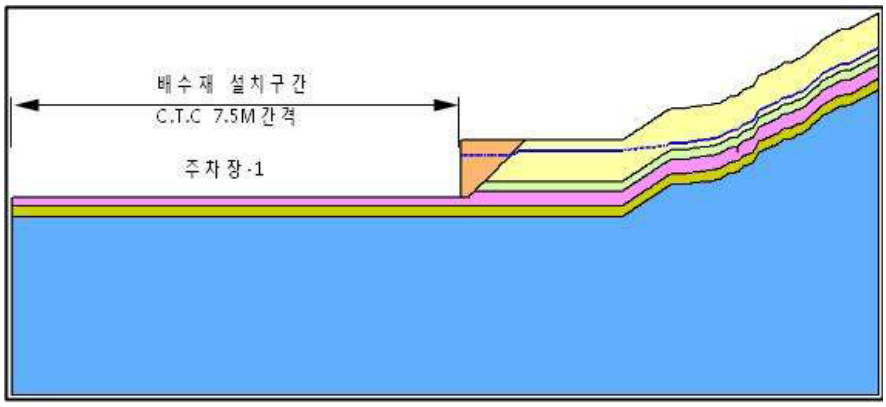
[그림 6-42] 침투류 해석에 사용한 격자요소망

① 우기시 절개구간 및 협곡구간으로 유입수에 의한 지하수 상승 검토 결과



[그림 6-43] 구조물바닥에 작용하는 양압력 변화

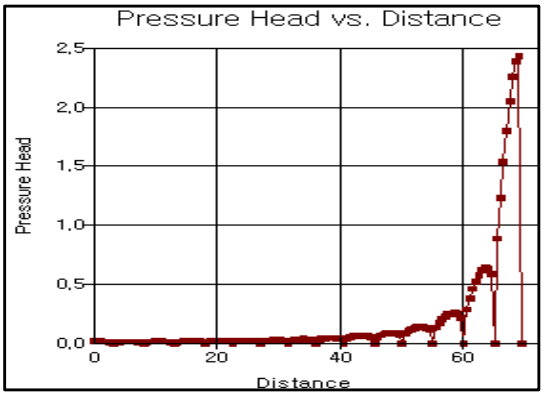
② 지하수위 10m 이상 상승시 영구배수시스템 적용에 따른 양압력 검토결과



[그림 6-44] 지하수위 10m 이상 상승시 영구배수시스템 적용에 따른 양압력 검토결과

[표 6-21] 지하수위 10m 이상 상승시 영구배수시스템 적용에 따른 양압력 검토결과

구 분	양압력 검토 결과	비 고
주차장	MAX :2.40tf/㎡	



[그림 6-45] 배수재 설치후 양압력 검토

영구배수시스템 적용후 우기시 절개구간 및 협곡구간으로 유입수에 위해 작용하는 부력 및 양압력 검토결과 위의 그림과 같이 극감하는 것으로 검토되었다. 이는 배수재를 설치하므로써 지하수위 흐름속도를 증가시켜 상향수압에 의한 양압력을 빠르게 소산시켜 준 것으로 판단된다.

제 7 장

지하수위에 따른 지하주차장의 구조적 안전성 검토

7

제7장 지하수위에 따른 지하주차장의 구조적 안전성 검토

1. 개 요

2. 지하수 흐름에 따른 구조체 영향분석

2.1 개 요

가. 수치해석 검토

현행 설계시, 지하수위는 보링주상결과를 바탕으로 하고 있으나 일반적인 방법으로는 지하수위를 GL = -1.0~-1.5 정도를 주로 사용하여 설계를 수행하고 있으며, 지하구조체 외벽에 작용하는 토류입자내 수압은 정수압으로 가정하여 설계를 하고 있는 실정에 있다. 하지만, 지하주차장 주변이 하천이나 산지 구릉지와 같은 경사지에서의 경우에는 지반내 지하수위 변동에 따른 토류입자의 유동성에 대한 수치해석을 하지 않고 있는 실정이므로 투수층 증가 및 지하수위 변동에 따른 정수압수준의 설계개념에서 지하수위변동이 큰 하천지역이나 산지 구릉지 등의 경사 지역에서는 동수압을 고려한 지하구조물에 대한 구조적 안정성 검토가 필요하다.

부력에 대한 영향으로는 크게 4가지로 대별되며, 이는 다시 다음과 같은 사항으로 검토되고 있으며, 시공중과 시공후의 안전율(S.F. 1.1⇒1.2)에 대한 차이가 있는 것으로 설계를 수행하고 있으나 이또한 관행적으로 안전율을 1.25 정도 두면 안전하다고 판단하고 있다.

① 지하 피압수에 의한 부상요인으로는 압력수두차에 의해 건물의 기초저면이 뜨는 현상이 발생

② 지하수위 변동(자유수)의 사항으로는 1)매립지대·계곡지대 등에 건물이 위치할때 우기시 지하수위 상승으로 부력이 발생하고, 2)지반 조사시 지하수위 상부에 건축물 형성하였으나 암반층에 터파기하여 공사 완료 후 지하수위(자유수) 발생하여 건축물 부상

③ 지반여건으로는 1)건물의 불투수층이 강한 점토층에서 부력 발생, 2)암반층에 위치할 때 물의 유입으로 인한 수위증가로 기초저면에 부력 발생

④ 건물의 자중문제로는 부력보다 건물의 자중이 적을때 건물이 떠오르는 현상 발생

수치해석 모델링은 대규모 복잡한 지하수 유동체계를 지닌 실제 현상을 더욱 간편하게 분석할 수 있는 장점이 있으며, 지하주차장에 대한 수치 해석적 방법을 통하여 현재 보편적으로 사용하고 있는 지하수 유동 현상을 해석하는데 대표적으로 사용되고 있는 수치해석 프로그램인 MODFLOW[9] 등을 활용한 해석 수행이 필요하며, 이를 통하여 기존의 정수압설계 개념에서 탈피한 유체동역학적 분석에 대한 기법을 도입하여 분석하고자 한다.

나. 시공에 대한 검토

시공단계별로 살펴보면 지하주차장의 시공중과 후의 안전율은 차이가 있으며, 또한 설계시 이를 반영하고 있으나 현장에서 이를 검증할 수 있는 방법이 없는 실정이므로 공사중과 공사후에 대한 안전율(S.F. 1.1⇒1.2)변동에 대한 검토를 통하여 구조체의 안전성 확보, 부력에 대한 안전율 검토 등을 시공단계별로 구분하여 안전성 검증 필요하다.

본 장에서는 지하수의 수위 변동성을 고려한 지하구조물의 설계방안 수립하기 위하여 정수압수준의 설계개념에서 지하수위변동이 큰 하천지역이나 산지 구릉지 등의 경사 지역에서는 동수압 고려 여부 검토하고자 한다.
또한, 지반내 지하수위 변동에 따른 토류입자의 유동성에 대한 수치해석으 위하여 수치해석 모델링은 대규모 복잡한 지하수 유동체계를 간단히 구현하고

9) MODFLOW : 지하수 모델링 해석프로그램으로서 지하수의 유동, 입자추적, 용질이동 해석이 가능하고 지하수의 흐름을 공극내를 통과하는 연속체의 개념인 유한차분법적 3D 해석방법임

기존의 정수압설계 개념에서 탈피한 유체동역학적 분석에 대한 기법도입 여부 검토하고자 한다.

그리고 아래와 같은 부력에 대한 4가지 사항에 대한 종합적인 검토가 필요하다고 판단되어진다.

① 지하 피압수에 의한 부상요인으로는 압력수두차에 의해 건물의 기초저면이 뜨는 현상

② 지하수위 변동(자유수)의 사항으로는 1)매립지대·계곡지대 등에 건물이 위치할때 우기시 지하수위 상승으로 부력이 발생하고, 2) 지반 조사시 지하수위 상부에 건축물 형성하였으나 암반층에 터파기하여 공사 완료 후 지하수위(자유수) 발생하여 건축물 부상

③ 지반여건으로는 1)건물의 불투수층이 강한 점토층에서 부력 발생, 2)암반층에 위치할때 물의 유입으로 인한 수위증가로 기초저면에 부력 발생

④ 건물의 자중문제로는 부력보다 건물의 자중이 적을때 건물이 떠오르는 현상 발생 (시공 stage 별로 검토 필요)

마지막으로 시공 중과 시공 후의 안전율(S.F. 1.1⇒1.2)에 대한 검토가 필요하다고 판단되어진다. 관행적으로 안전율을 1.25 정도 두면 안전하다고 판단하는 자료를 검토토록 하고 특히 경사지 및 하천 인접지 등에 시공되는 구역에 대한 자료 검토토록 하였다.

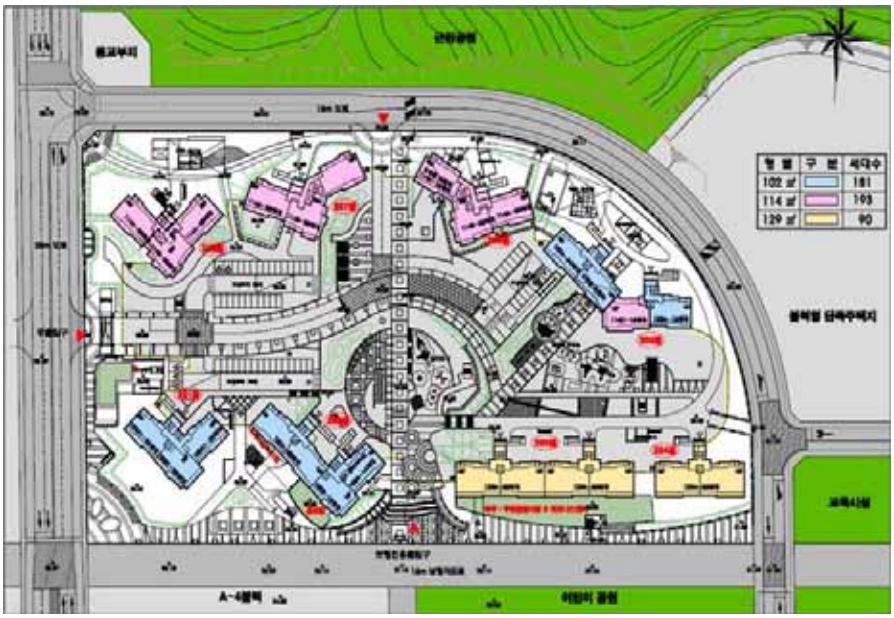
다. 연구대상 시설물의 개요

본 과업의 대상구조물인 OO단지(OO지구)의 주변상황, 단지배치도, 지하주차장의 횡/종단면도 등은 아래와 같으며, 대상구조물에 대한 주요 사항은 다음과 같다.

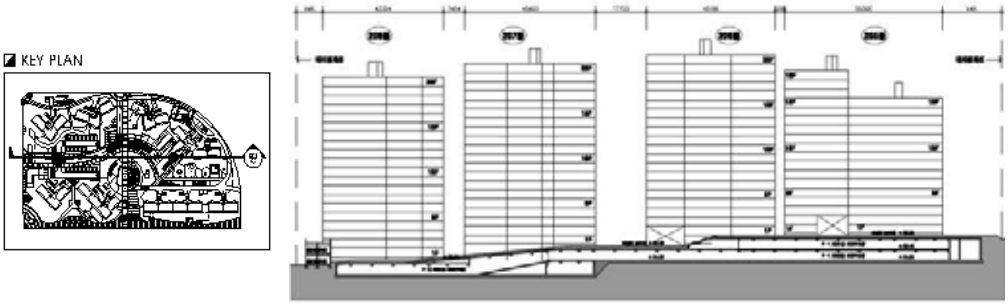
- 단지명 : OO단지(OO지구)
- 위 치 : 충남 아산시
- 구 조 : 철근콘크리트 구조물(RC구조)
- 규 모 : 지하2층(p-1 주차장), 지상1층(P-2 주차장)
- 용 도 : 주차시설



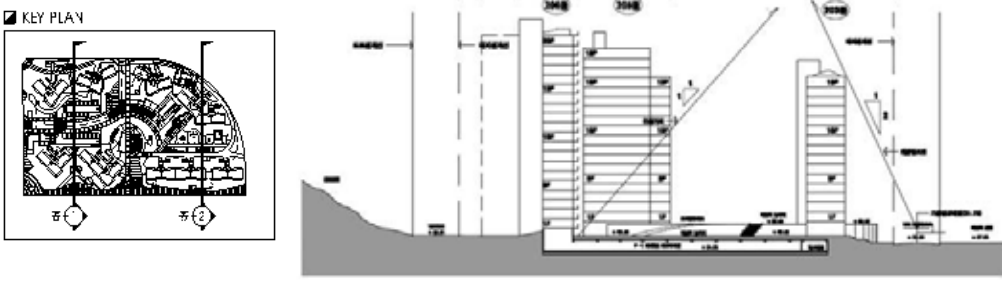
[그림 7-1] 대상구조물의 주변 환경



[그림 7-2] 단지배치도

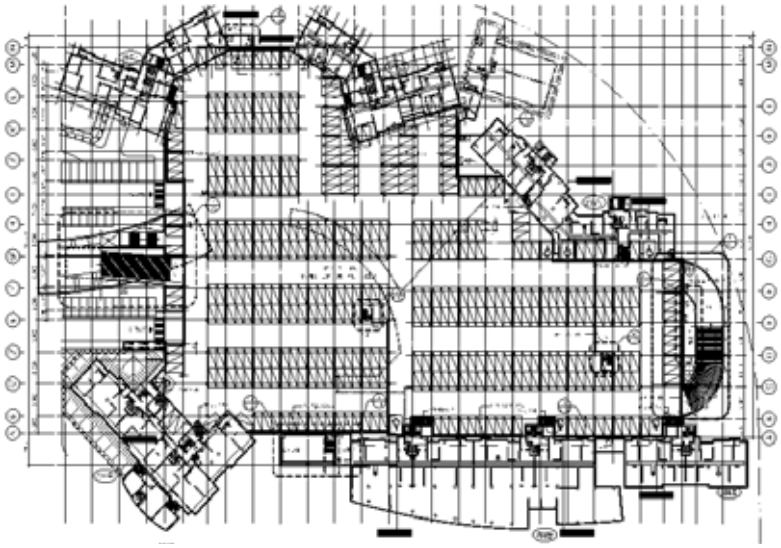


(a) 횡단면도

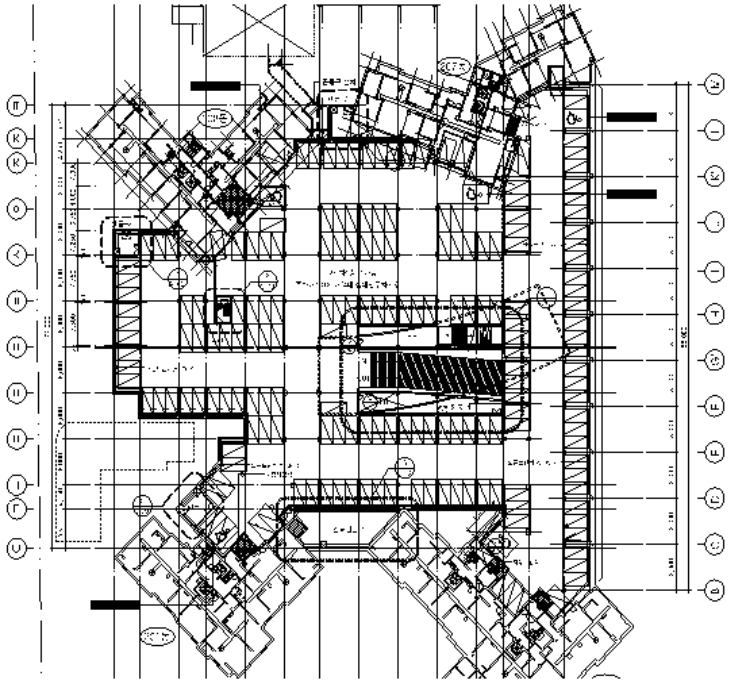


(b) 종단면도

[그림 7-3] 지하주차장의 횡/종단면도



(a) P–1 지하2층



(b) P–2 지하1층

[그림 7–4] 지하 주차장 평면도

2.2 연구대상지반의 지층조건 및 지반물 성치

2.2.1 지형 및 지질

2.2.1.1 지형

본 조사지역은 행정구역상 충청남도 아산시 배방읍 장재리 일대로 충청남도의 북단에 위치하고 있으며, 낮은 구릉성 산지로 이루어져 있다.

본 조사지역의 산계는 지형상 차령산맥의 동남부에 위치하고 있다. 침식작용에 비교적 저항력이 강한 편마암류가 남단을 점하고 있어 광덕산(▲699m), 망경산(▲601m)의 연봉이 높으며, 서부에는 그보다 좀 낮으나 흑성산(▲519m), 운주산(▲459m)등이 있다. 중앙상반부와 북서상반부는 침식에 약한 화강암류가 점하고 있어 구릉화되고 있다. 각 지역은 남반부와 동반부는 장년기 후기 지형을 중앙부와 북서부는 노년기 지형의 양상을 띤다.

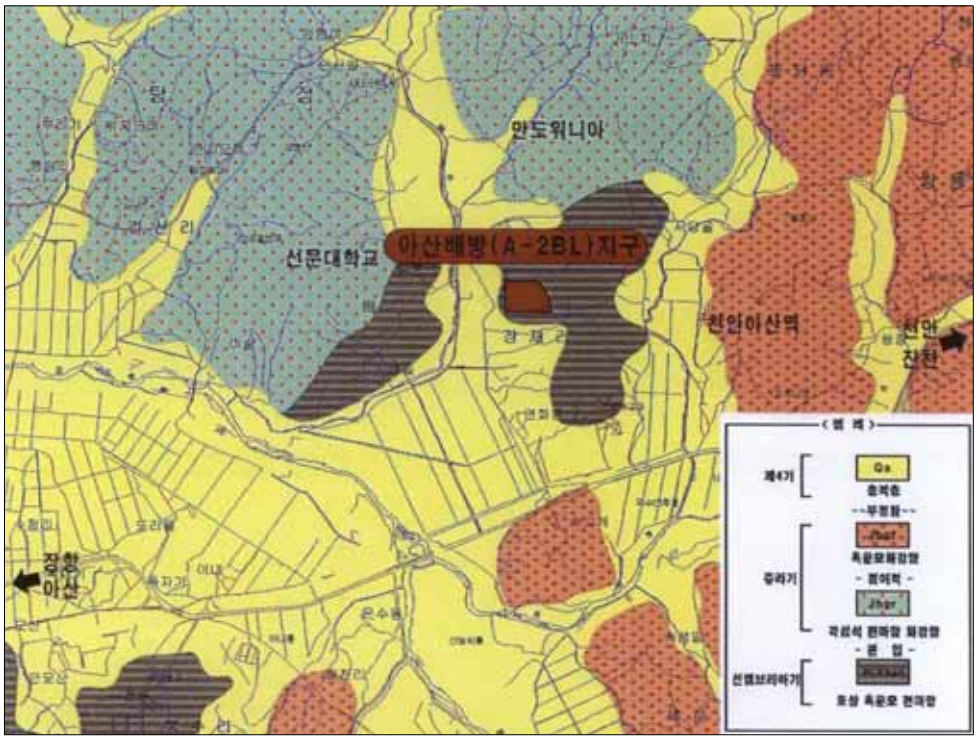
수계는 삽교천의 상류지역에 속하며, 아산시의 중앙부를 지나 남쪽으로 흘러가는 곡교천이 주류가 되어서 탕정평야의 중심을 흐른다. 그 지류인 온양천은 광덕산 운주산에서 합작하여 북서방향으로 흘러내려가며 금곡천을 합류한다. 금곡천은 망경산, 운주산 및 배방산의 계곡을 흘러서 온양천을 이루고 마침내는 곡교천으로 합류하여진다. 이 밖에 풍서천, 승대천 등이 곡교천에 합류되며, 전체적으로 수지상 아수지상 내지 직교상 하계를 형성하고 있다. 또한 농사에 이용되는 인공적인 수로망이 발달해 있다.

2.2.2.2 지질

본 조사지역의 지질은 대체로 선캠브리아기의 편마암류와 이를 관입한 중생대의 화강암류로 양분된다. 편마암류의 일반적인 주향은 북북동~남남서의 방향성을 뚜렷하게 나타내며, 편마암류를 규제하고 있는 화강암류도 이와 비슷한 방향성을 유지하며 분포하고 있다. 북동부에는 편마암류와 남동부의 편마암류를 관입한 복운모화강암, 북서부일대에 널리 분포하는 단상화강암, 흑운모화강암류로 크게 분류할 수 있으며, 북서부에는 예산도폭 북동부에서 연장 발달되어지는 화강편마암의 분포가 소규모로 보여진다. 또한 북동부에는 소규모이면서도 편암류가 보이고 그 밖에 산성 또는 염기성 암맥들이 보이기도 한다. 지질도에서 살펴본 조사부지가 위치한 곳의 기반암은 호상흑운모편마암이나, 시추조사결과 화강편마암과 화강암이 관찰되었으며, 풍화대에서는

Dyke의 관입이 관찰되었다. 위 내용은 1979년에 발간된 천안지질도폭을 참고하였다.

1) 흑운모화강암 : 각섬석편마상화강암과는 풍화로 인해 그 경계가 뚜렷하지 않다. 주성분광물은 석영, 장석, 흑운모이며 부성분광물로는 각섬석, 스핀(sphene), 녹니석 등이 포함되어 있다. 조직은 세립~중립질인것, 조립질인 것, 완정질인 것으로 구분되어 입자가 큰 것은 1~1.5cm에 이르는 것도 있다.
2) 각섬석편마상화강암 : 완정질 중~조립의 암석이며 풍화되어 있어 흑운모화강암과의 경계를 쉽게 알아볼 수 없다. 주구성광물은 석 영, 장석, 흑운모, 각섬석이다.



[그림 7-5] 지질도

2.2.2 과거 강우자료 분석

당 현장의 인근에 해당하는 천안지역의 기상청 강우기록자료 중 연도별 최대 시간강우강도, 연도별 최대 일강우량 및 2011~2012년도 일강우량을 분석하여 정리하면 아래와 같다. [표 4-1]에서 알 수 있듯이 천안지역의 과거 강우자료 중 최대 시간강우강도는 90mm/hr로 우수관로의 설계 강우강도 145mm/hr 보다는 적은 강우기록을 나타내고 있다.

[표 7-1] 연도별 최대 시간강우강도 (천안) (단위 : mm)

1971 년			1972 년			1973 년			1974 년			1975 년		
값	월	일	값	월	일	값	월	일	값	월	일	값	월	일
			39.0	07	08	43.0	08	23	27.5	07	09	24.0	07	16
1976 년			1977 년			1978 년			1979 년			1980 년		
값	월	일	값	월	일	값	월	일	값	월	일	값	월	일
90.0	08	14	40.0	09	06	50.0	07	12	53.0	08	03	46.0	07	14
1981 년			1982 년			1983 년			1984 년			1985 년		
값	월	일	값	월	일	값	월	일	값	월	일	값	월	일
28.0	07	09	45.5	07	28	27.2	06	29	43.0	07	04	33.0	10	10
1986 년			1987 년			1988 년			1989 년			1990 년		
값	월	일	값	월	일	값	월	일	값	월	일	값	월	일
68.0	08	01	45.0	07	21	26.5	07	10	24.5	08	20	37.0	06	23
1991 년			1992 년			1993 년			1994 년			1995 년		
값	월	일	값	월	일	값	월	일	값	월	일	값	월	일
24.5	09	06	31.5	08	27	43.0	09	17	44.0	08	01	67.5	08	09
1996 년			1997 년			1998 년			1999 년			2000 년		
값	월	일	값	월	일	값	월	일	값	월	일	값	월	일
48.5	07	21	43.0	07	01	55.5	08	06	41.0	08	02	40.0	08	29
2001 년			2002 년			2003 년			2004 년			2005 년		
값	월	일	값	월	일	값	월	일	값	월	일	값	월	일
42.0	08	07	46.5	08	07	50.0	09	05	32.5	07	12	75.5	09	17
2006 년			2007 년			2008 년			2009 년			2010 년		
값	월	일	값	월	일	값	월	일	값	월	일	값	월	일
32.0	07	28	45.5	08	04	36.0	07	13	34.0	07	12	44.0	07	23
2011 년														
값	월	일												
39.5	07	27												

천안지역의 과거 강우자료 중 최대 일강우량은 273.5mm로 나타났으며, 당 현장의 지하주차장에 누수가 발생한 2011년도 7월중 강우기록을 살펴보면 일

강우량은 과거 기록자료로 볼 때 크지는 않았지만 6월 22일부터 8월 25일까지의 누적 강우량은 1,251.3mm로서 강우가 빈번하게 발생했던 것으로 나타났다.

[표 7-2] 연도별 최대 일강우량 (천안) (단위 : mm)

1971 년			1972 년			1973 년			1974 년			1975 년		
값	월	일	값	월	일	값	월	일	값	월	일	값	월	일
						90.2	08	23	111.6	07	09	66.5	07	28
1976 년			1977 년			1978 년			1979 년			1980 년		
값	월	일	값	월	일	값	월	일	값	월	일	값	월	일
126.6	08	14	147.2	09	06	123.0	08	16	120.0	06	26	108.5	07	14
1981 년			1982 년			1983 년			1984 년			1985 년		
값	월	일	값	월	일	값	월	일	값	월	일	값	월	일
89.7	07	12	134.0	07	28	69.4	07	19	157.5	07	04	110.0	10	10
1986 년			1987 년			1988 년			1989 년			1990 년		
값	월	일	값	월	일	값	월	일	값	월	일	값	월	일
126.2	07	19	154.0	07	21	63.0	07	11	96.0	09	14	112.5	06	19
1991 년			1992 년			1993 년			1994 년			1995 년		
값	월	일	값	월	일	값	월	일	값	월	일	값	월	일
80.0	05	26	162.5	08	27	110.5	07	13	141.5	06	30	273.5	08	09
1996 년			1997 년			1998 년			1999 년			2000 년		
값	월	일	값	월	일	값	월	일	값	월	일	값	월	일
94.0	06	17	142.5	07	01	176.0	09	30	135.5	08	02	108.5	08	20
2001 년			2002 년			2003 년			2004 년			2005 년		
값	월	일	값	월	일	값	월	일	값	월	일	값	월	일
130.0	08	07	240.5	08	07	124.0	06	27	97.5	06	19	162.0	09	17
2006 년			2007 년			2008 년			2009 년			2010 년		
값	월	일	값	월	일	값	월	일	값	월	일	값	월	일
137.5	07	16	144.5	08	04	85.0	07	19	102.0	07	12	104.0	09	11
2011 년														
값	월	일												
157.5	06	24												

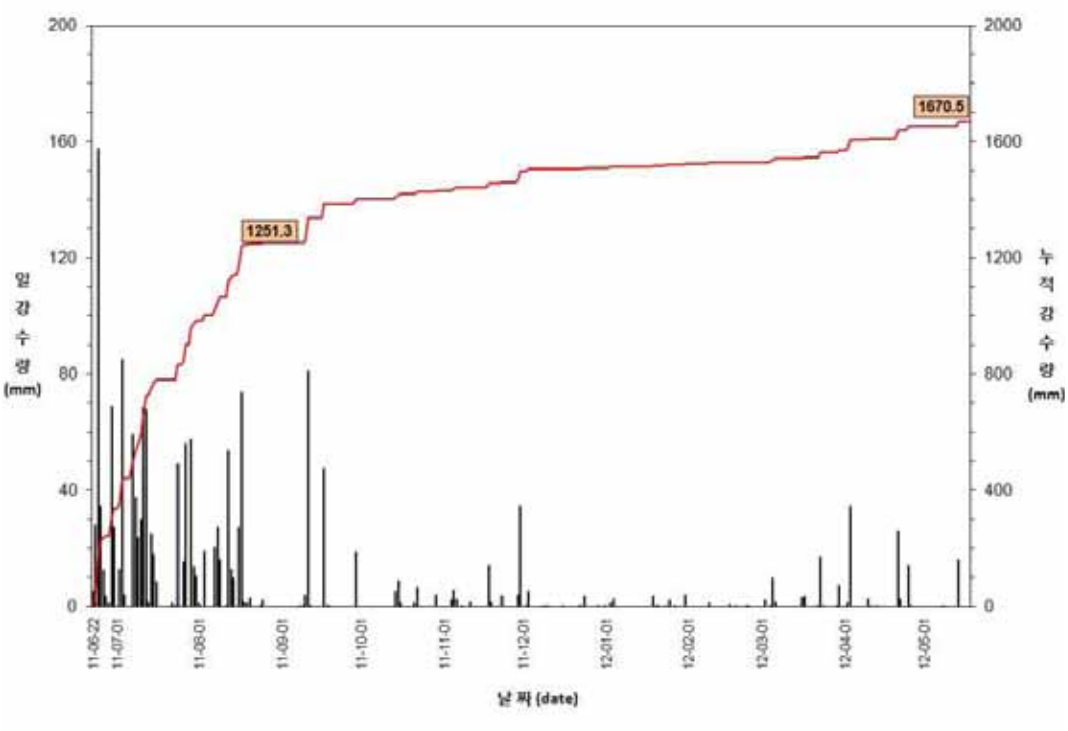
[표 7-3] 2011년도 일강우량(mm) (천안)

	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
1일			3.0		3.5	36.5		1.0				
2일							13.0					0.4
3일							85.0	19.0				5.0
4일							4.0				2.0	
5일	0.2										5.5	
6일	0.0				0.1						2.5	
7일				14.0	0.1		59.5	20.5				
8일	0.0						37.5	27.0	0.2		0.4	0.0
9일	0.0				0.1		23.5	16.0	0.5			0.1
10일				0.5	54.5		30.0		4.0			0.1
11일	1.3				27.5		68.5	0.5	81.0		1.5	0.0
12일					1.0		68.0	53.5	0.5			
13일						0.1	1.5	13.0				
14일	0.0	0.0					25.0	9.5		5.0		
15일	0.4						18.0			9.0		0.0
16일	0.0	0.0					8.5	27.0		1.0		0.5
17일		2.0						73.5	47.5		0.0	
18일				0.4				1.5	0.5		14.0	0.0
19일	0.0							1.0	0.5		1.5	
20일	0.0		14.5		3.0			3.0			0.0	
21일				0.0	7.0					1.0		0.0
22일	0.0			20.5		5.0	1.0			6.5		0.5
23일	3.9					28.0	0.1			0.0	3.5	0.3
24일	1.7		9.0	0.1		157.5	49.0	0.2		0.0		3.5
25일	0.0			0.5		34.5		2.0				
26일	0.0			0.5	5.0	12.5	15.5					
27일		28.5		0.2		3.5	56.0					
28일		0.5		1.0		1.0	0.0					0.0
29일	0.4			3.0		69.0	57.5		18.5	4.0	0.4	0.1
30일	0.0			92.5		27.0	13.5				34.5	
31일					1.5		10.5					
합계	7.9	31.0	26.5	133.2	103.3	374.6	645.1	268.2	153.2	26.5	65.8	10.5

[표 7-4] 2012년도 일강우량(mm) (천안)

	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
1일	0.5											
2일			2.0	1.0								
3일	1.0			34.5								
4일	2.4		0.3									
5일			9.5									
6일			1.5									
7일												
8일					0.3							
9일		1.0										
10일				2.5								
11일				0.5								
12일												
13일				0.1								
14일					16.0							
15일												
16일			3.0									
17일		0.6	3.5									
18일												
19일	3.5	0.1										
20일	0.2											
21일	0.5			26.0								
22일			0.1	2.5								
23일		0.1	17.0									
24일	0.2	0.5	0.5									
25일	2.2			14.0								
26일				0.5								
27일	0.1											
28일												
29일			0.5									
30일			7.0									
31일	3.9											
합계	14.5	2.3	44.9	81.6	16.3							

또한 2011년 6월 22일부터 2012년 5월 18일 까지의 일강우와 누적강우량을 분석하면 아래와 같다. 강우량 분석결과 2011년 6월 22일 ~ 2012년 5월 18일 까지의 누적강우량인 1,670.5mm이고, 2011년 6월 22일 ~ 8월 25일 까지의 누적강우량은 1,251.3mm로서 전체강우량의 74.9%를 차지하는 것으로 분석되었다.



[그림 7-6] 강우자료 분석(2011년 6월 22일 ~ 2012년 5월 18일)

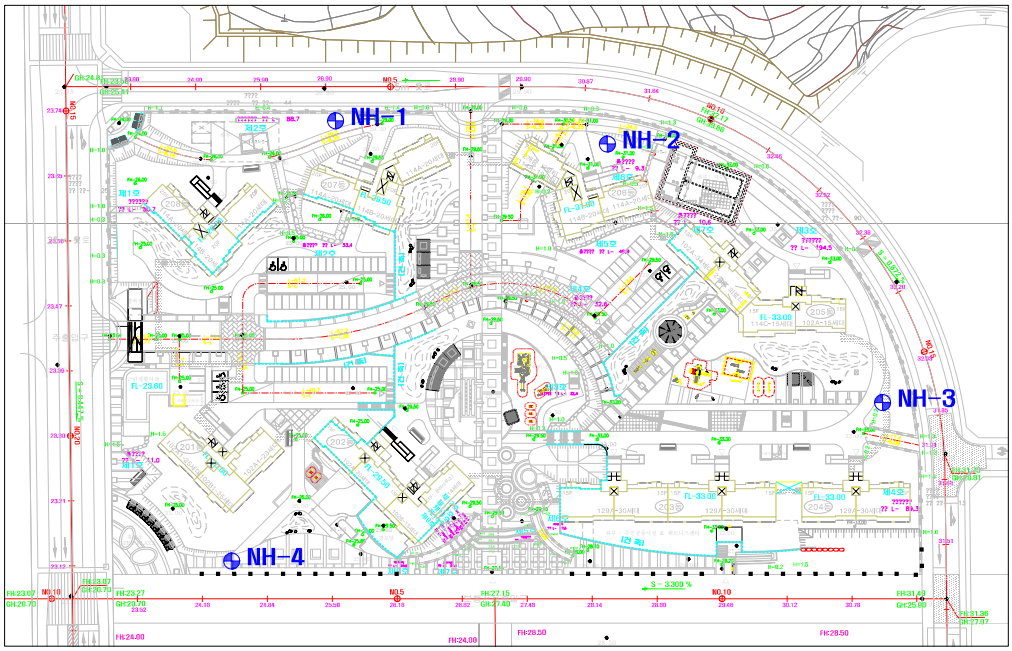
2.2.3 지반물성치 산정

2.2.3.1 시추조사

가. 시추조사 위치도

OO단지(OO지구)의 지하주차장 구조안정성검토(대한토목학회, 2012)에 수록된 시추조사결과를 이용하여 본 지역의 지층구조를 파악하고자 함

본 지역은 총 4공의 시추조사가 기수행되었으며 (대한토목학회, 2012) 시추조사 위치도는 아래와 같다.



[그림 7-7] 시추조사 위치(대한토목학회, 2012)

나. 지층현황 및 표준관입시험결과

본 지역에서 NX size의 규격으로 총 4공의 시추조사가 기수행하였으며(대한토목학회, 2012) 각 지역별 시추조사 결과 나타난 지층구성상태 및 표준관입시험 수행내용을 요약정리하면 아래와 같다.

[표 7-5] 지층현황 (대한토목학회, 2012)

구 분	층후(m)				시추심도 (m)	표준관입시험 (회)
	매립층	풍화토	풍화암	기반암		
NH-1	0.0~2.3 (2.3)	2.3~7.0 (4.7)	7.0~13.8 (6.8)	13.8~15.0 (1.2)	15.0	13
NH-2	0.0~6.5 (6.5)	6.5~8.0 (1.5)	8.0~10.3 (2.3)	10.3~15.0 (4.7)	15.0	10
NH-3	0.0~9.5 (9.5)	9.5~12.0 (2.5)	12.0~14.6 (2.6)	14.6~15.6 (1.0)	15.6	14
NH-4	0.0~8.7 (8.7)	8.7~10.0 (1.3)	10.0~13.6 (3.6)	13.6~15.0 (1.4)	15.0	13

2.2.3.2 현장투수시험결과

현장투수시험은 시추공 4공에 대해서 기실시하였으며(대한토목학회, 2012), 현장투수시험을 통해 지하주차장 주변지반에 대한 투수계수를 분석하여 침투해석시 입력자료로 활용하였다.

현장투수시험결과를 요약하여 정리하면 [표 4-6]과 같으며, 지하주차장 주변지반에 대한 각 지층별 투수계수를 정리하면 [표 4-7]과 같다.

[표 7-6] 현장투수시험결과 요약(대한토목학회, 2012)

측정 조사공	측정심도 (GL-m)	지 층	투수계수 (cm/sec.)	비 고
NH-1	9.0 ~ 10.0	풍 화 암	2.50×10-5	
NH-2	3.0 ~ 4.0	매 립 층	7.56×10-4	
	7.0 ~ 8.0	풍 화 토	3.77×10-4	
NH-3	13.0 ~ 14.0	풍 화 암	3.47×10-4	
NH-4	1.0 ~ 2.0	매 립 토	1.20×10-5	
	9.0 ~ 10.0	풍 화 토	4.93×10-5	

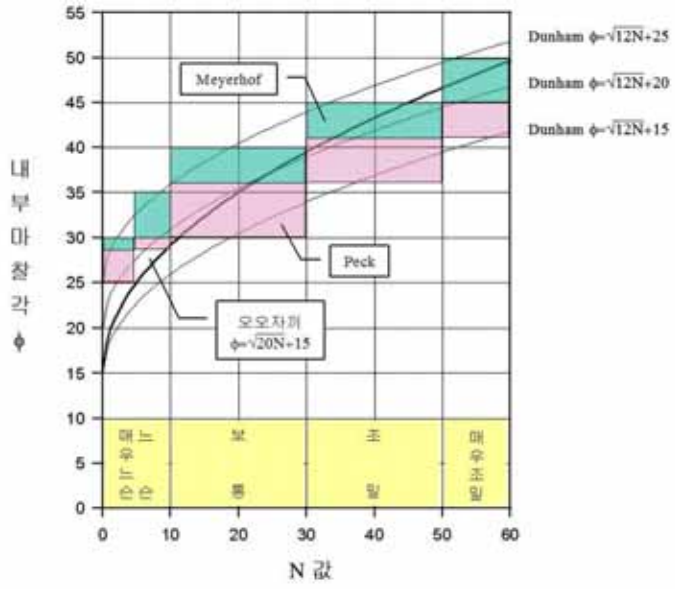
2.2.3.3 지반강도정수 산정

본 검토에 적용할 토사의 강도정수를 결정하기 위해 본 지역에서 조사된 지질조사를 토대로 토질정수를 결정하였다. 표준관입시험을 통해 얻은 N값을 토대로 지반의 강도수정 등을 추정하는 방법으로는 Peck및 Meyerhof가 제안한 상대밀도 Dr, 내부마찰각ø 의 관계는 아래와 같다.

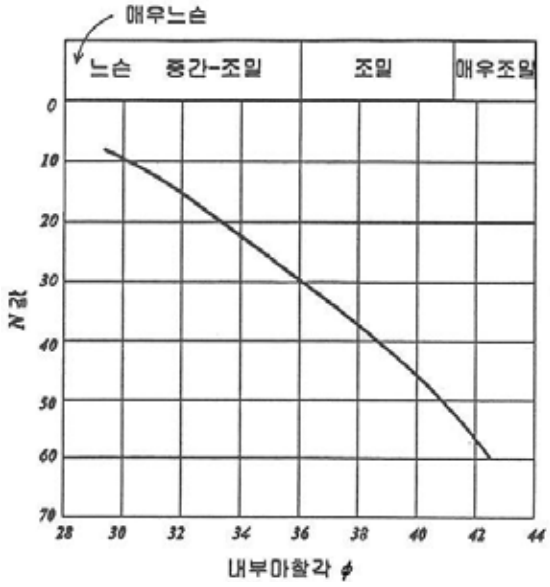
[표 7-7] N값, 상대밀도및 내부마찰각

N 값	상 대 밀 도(Dr)		내부마찰각 (ø)	
			Peck	Meyerhof
0 ~ 4	매우느슨	0.0 ~ 0.2	28.5 ° 이하	30° 이하
4 ~ 10	느 슨	0.2 ~ 0.4	28.5° ~ 30°	30° ~ 35°
10 ~ 30	보 통	0.4 ~ 0.6	30° ~ 36°	35° ~ 40°
30 ~ 50	조 밀	0.6 ~ 0.8	36° ~ 41°	40° ~ 45°
500|상	매우조밀	0.8 ~ 1.0	41° 이상	45° 이상

또한 Dunham, Meyerhof, Peck & Ohsaki 등이 제안한 N값과 내부마찰각ø 의 관계는 아래와 같다.



[그림 7-8] N값과 내부마찰각과의 관계곡선



[그림 7-9] 사질토의 N값과 내부마찰각과의 관계곡선

또한 지반조사에 의한 N값을 Dunham, Meyerhof, Peck & Ohsaki 등이 제안한 N값에 대입하면 매립층 및 풍화토층의 내부마찰각은 아래와 같다.

[표 7-8] 지층별 내부마찰각의 추정 (단위 : °)

관계식		매립층	풍화토층	비 고
평균 N		7.6	45	
Dunham(1954)	$\phi = \sqrt{12N} + 20$	29.5	43.2	
Meyerhof	$\phi = 0.25N + 32.5$	34.4	43.8	
Peck(1953)	$\phi = 0.3N + 27$	29.3	40.5	
Ohsaki(1959)	$\phi = \sqrt{20N} + 15$	27.3	45	
적용내부마찰각		27.0	40.0	

시추조사 결과에 의하면 매립토 및 풍화토는 실트질 모래(SM)가 우세한 것으로 분석되었으며, 일반적인 토사의 강도정수 및 단위중량과 내부마찰각과의 관계는 아래 표와 같다.

[표 7-9] 지반의 특성치

종 류		재료의 상태	단위체적 중량 (kN/m3)	내 부 마찰각 (ϕ °)	점착력 c (kN/m2)	통 일 분 류 기 호
자 연 지 반	자 갈	밀실한 것, 입도가 좋은것	20	40	0	GW, GP
		밀실하지 않은 것, 입도가 나쁜것	18	35	0	
	자갈섞인 모래	밀실한 것	21	40	0	GW, GP
		밀실하지 않은 것	19	35	0	
	모 래	밀실한 것, 입도가 좋은 것	20	35	0	SW, SP
		밀실하지 않은 것, 입도가 나쁜 것	18	30	0	
	사질토	밀실한 것	19	30	300이하	SM, SC
		밀실하지 않은 것	17	25	0	
	점성토	굳은 것(손가락으로 강하게 눌러 조금 들어감)	18	25	500이하	ML, SC
		약간 무른 것(손가락 중간정도의 힘으로 들어감)	17	20	300이하	
		무른 것(손가락이 쉽게 들어감)	17	20	150이하	
	점 토 및 실 트	굳은 것(손가락으로 세게 눌러 조금 들어감)	17	20	500이하	ML, CH, MH
		약간 무른 것(손가락의 중간정도 힘으로 들어감)	16	15	300이하	
		무른 것(손가락이 쉽게 들어감)	14	10	150이하	

본 검토에 적용할 암반의 지반정수를 결정하기 위하여 아래 표의 서울시 지반조사편람에 수록된 지반정수를 참고하였다.

[표 7-10] 서울시 지반조사편람의 지반정수 적용범위

지반명	단위중량 γ (tf/m3)	점착력 c (tf/m2)	내부마찰각 ϕ (°)	변형계수 E (×103 t/m2)	포아송비 ν	비 고
풍화토	1.7~2.0	0.0~10.0	25~30	2.0~4.0	0.5	
풍화암	2.0~2.2	10.0~30.0	30~35	10.0~20.0	0.3~0.4	
연 암	2.3~2.5	30.0~60.0	30~40	20.0~40.0	0.25~0.30	
보통암	2.4~2.6	60.0~150.0	35~40	40.0~100.0	0.25	
경 암	2.5~2.7	150.0~200.0	35~45	100.0~400.0	0.2	
극경암	2.6~2.7	200.0~500.0	40~45	400.0~800.0	0.2	

따라서, 지반해석시 적용한 지반정수는 아래와 같다.

[표 7-11] 해석에 적용한 설계지반정수

지 층	단위중량 γ (tf/m3)	점착력 c (tf/m2)	내부마찰각 ϕ (°)	탄성계수 E (tf/m2)	포아송비 ν
매립층	1.7	0	27	3,000	0.35
풍화토	1.9	0	40	8,000	0.32
풍화암	2.1	5.0	35	10,000	0.30
연 암	2.4	10.0	40	20,000	0.28

2.3 침투 및 응력~변위해석에 의한 안정검토

2.3.1 해석 프로그램

2.3.1.1 Seep/W

가. 서론

SEEP/W는 흙이나 암과 같은 다공성 재료내에서의 거동과 간극수압 소산을 모델링하는데 사용되는 유한요소 프로그램이다. 지반내의 간단한 침투 문제 뿐만 아니라 복잡한 침투문제를 해석할 수 있다. SEEP/W는 지질공학, 토목공학, 수공학 및 광산공학 시설물의 해석 및 설계에 적용된다.

나. 특징 및 기능

SEEP/W의 중요한 특징 및 기능은 다음과 같다.

- 포화토 및 불포화토의 흐름해석
- 정상류 상태와 부정상류 상태
- 2차원 문제 및 축대칭 문제
- 자유흐름문제와 피압 대수층에서의 흐름문제
- 무한요소를 이용한 무한 흐름 문제
- 다층지반
- 비등방성 투수계수
- 투수방향 및 유량
- 부정상류 경계조건
- 문제 기하학의 그래픽적인 설정

•유한요소 Mesh 설정
•요소의 단계적인 추가 및 제거
•Mesh 절점 번호의 정렬 및 최적화
•그림의 선택적 보기 및 출력
•그림의 문자 표시
•주 계산과정의 정지 및 재시작
•계산된 Parameter의 등고선도 출력
•벡터로 흐름방향 표시
•거리 또는 시간에 따른 상호작용적인 그래픽
•모들 절점 및 요소에서 정보의 상호작용적인 표시
•문제를 한정한는데 쓰이는 요소, 절점 및 재료 형태의 특별한 제한이 없다.
•사면안정, 응력~변형, 그리고 오염물 전이 해석 프로그램과의 통합

다. 전형적인 문제

SEEP/W로 해석되고 모델링될 수 있는 전형적인 문제들은 다음과 같다.
•지역으로 구분된 흙댐을 통과하는 흐름
•초기 저류 이후에 댐을 통과하는 상류면의 이동
•저수면 강하 이후의 초과 간극수압의 소산
•재하 또는 제하로 인한 간극수압 소산(압밀)
•강우의 유입으로 인한 흙 사면 내부 간극수압 조건의 변화
•지표면 유입과 증발로 인한 지하수위 변동
•사장 말뚝을 통과는 유입의 이동
•표면 배수와 주입우물의 영향
•대수층으로부터의 양수로 인한 수위 강하
•자연적인 지하수 흐름체계의 시뮬레이션
•굴착부분으로의 침투량
•석호나 테일링 연못과 같은 저류 구조물 하부 지하수의 유입과 막음

라. 불포화토의 투수계수

포화, 불포화 침투과정의 해석에는 투수계수와 간극수압의 관계를 파악해야

한다. 불포화토의 투수계수와 간극수압측정방법은 아래와 같다.

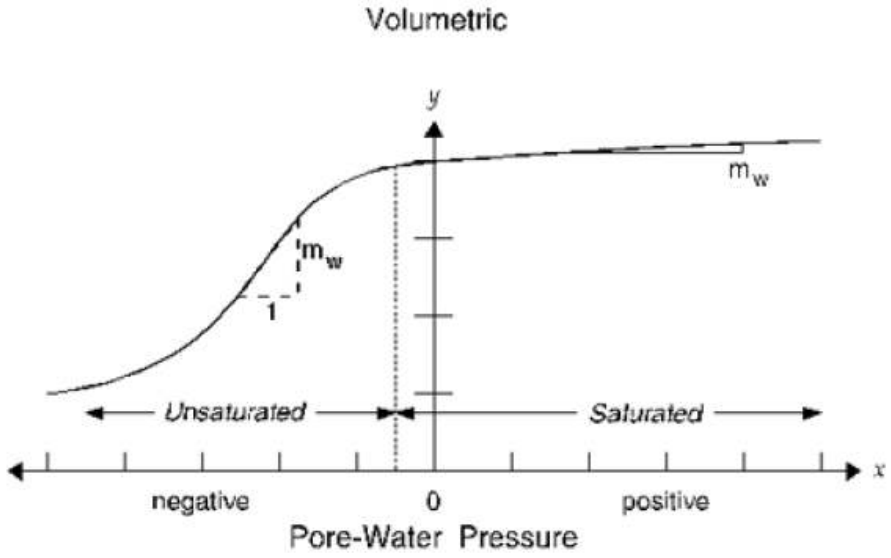
1) 직접측정

투수계수와 간극수압의 관계는 실험실에서 직접 측정하여 구할 수 있는데, 다양한 부(-)의 간극수압단계에서 흙 시료의 투수계수를 측정하는 것을 말한다. 불포화 투수계수의 측정기술은 Klut(1965)에 의해 제시되었는데, 여기에는 기초적인 실험장비와 절차도 포함되어 있다. 이에 관한 논문으로 Corey(1957)에 의해 제안된 것도 있다. Hillel(1980)은 현장에서 불포화 투수계수의 측정에 대하여 언급하였다.

불포화 투수계수의 측정은 매우 복잡하고 힘든 일이다. 측정의 어려움은 Brooks와 Corey(1966) 그리고 Green과 Corey(1971)에 의해 언급되었는데, 이러한 측정의 어려움은 일반적으로 공기소산과 작은 흐름량으로부터 측정해야 한다는 것이다.

2) 예측방법

불포화 투수계수는 직접 측정하기가 어려워서 때로는 아래 그림과 같이 흙-물 특성함수로부터 투수계수를 예측한다. 흙-물 특성 함수를 설정하는 것이 불포화 투수계수를 직접 측정하는 것보다 상대적으로 간단하다. 결과적으로 적절한 예측모델이 유용하다면 이 방법이 선호되는 접근방법이다.



[그림 7-10] 함수량에 따른 간극수압

흙-물 특성 함수로부터 불포화 투수계수를 예측하는 방법은 Green과 Corey (1971)에 의해 제안되었다. Green과 Corey는 그들의 방법이 대부분의 현장에서 충분히 정확하다고 결론지었다. Elzeftawy와 Cartwright(1981)는 다양한 흙에서 불포화 투수계수를 측정한 값과 Green and Corey 방법으로 예측된 값을 비교하여 같은 결과가 나타남을 밝혔다. Green and Corey 방정식은 다음과 같다.

$$k(\Theta)_i = \frac{k_s}{k_{sc}} \cdot \frac{30\,T^2}{\mu g \eta} \cdot \frac{\xi^p}{n^2} \cdot \sum_{j=1}^{n} \left[(2j+1-2i)\, h_i^{-2} \right]$$

여기서, $k(\Theta)$: 특정함수량 또는 부(-)의 간극수압에서 계산된 투수계수

$\frac{k_s}{k_{sc}}$: 측정된 포화상태 투수계수 / 계산된 포화상태 투수계수

i : 가장 최근의 함수량의 상태,

즉 $i = 1$ 은 함수량이 최저일때의 간극,

$i = m$ 은 포화상태일때의 간극단계

h_i : 주어진 물이 찬 간극에 대한 부(-)의 간극수압 수두

n : Θ_o와 Θ_s 사이의 간극단계의 총 수

Θ : 함수량

Θ_o : 경험곡선에서 가장 작은 함수량

Θ_s : 포화 함수량

T : 물의 표면장력

ξ : 물로 포화된 간극율

η : 물의 점성

g : 중력가속도

μ : 물의 밀도

p : 간극단계의 상호작용을 설명하는 계수

다음은 여러 학자들에 의해 다르게 주장되고 있는 p 값이다.

제안자	p
Marshall	2.0
Millington and Quirk	1.3
Kunze, et. al	1.0

위의 식에서 투수계수함수의 형태는 $\sum_{j=1}^{n}\left[(2j+1-2i)h_i^{-2}\right]$항에 의하여 조절된다. $\frac{30\,T^2}{\mu g \eta}\cdot\frac{\xi^p}{n^2}$ 항은 특별한 함수에서는 일정한 값이고, 투수계수 함수의 형태를 결정할 때에는 1.0으로 취할 수 있다. 이것은 SEEP/W의 가정사항이다.

SEEP/W는 우선 입력값이 0인 곳에서는 다음 식을 이용하여 투수계수를 계산한다.

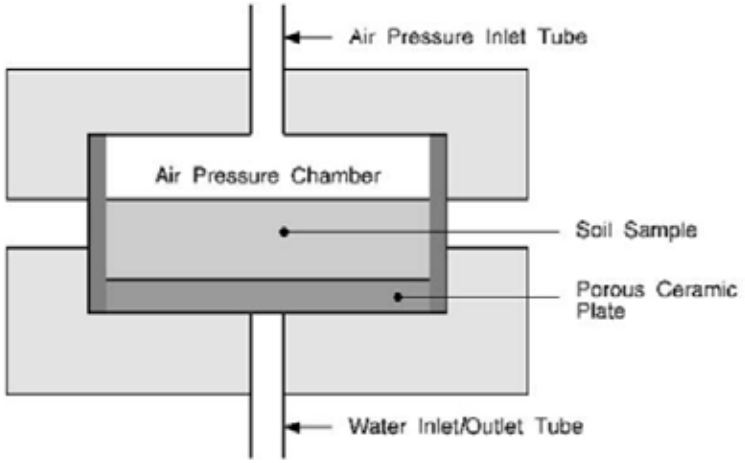
$$k_{sc}=\sum_{j=1}^{n}\left[(2j+1-2i)h_i^{-2}\right]$$

SEEP/W에서의 포화상태 투수계수는 사용자가 정의한 k_s 값을 이용한다. 투

수계수 k_s 가 결정되면 일정한 비 $\frac{k_s}{k_{sc}}$ 값에 의하여 모든 투수계수함수가 올라가거나 또는 내려가게 된다. 요약하면, SEEP/W에서는 Green and Corey 방정식으로 투수계수 함수의 형태를 결정하고, 함수가 사용자가 정의한 k_s 값을 통과하기 위해 곡선이 위아래로 움직인다.

3) 함수량 함수의 측정

어는 특정 부(-)의 간극수압 상태에서의 흙의 함수량은 TEMPE 압력셀로 측정된다. TEMPE 압력셀의 단면은 다음 그림과 같다.



[그림 7-11] TEMPE 압력셀의 단면

셀의 바닥에는 다공 세라믹판이 있고, 이것이 반투수성 멤브레인 역할을 한다. 일정 압력까지 올라가면 이 판에 공기는 흐르지 않고 물만 흐를 것이다. 이 현상으로 셀 안의 흙 시료 속으로 물이 유입되거나 또는 배수된다. 기압이 커지면 함수량은 줄어 들고, 기압이 작아지면 함수량은 커진다. 함수량 대 부(-)의 간극수압관계와의 관계는 결과적으로 흙의 습윤조건이 다양한 Cell 압력에서 평형을 이루게 되는 것으로 결정될 수 있다. 시료의 함수량은 각각의 압력단계에서 평형을 이룬 후 전체무게를 재서 구한다. 시험의 마지막에 측정된 시료의 건조중량에 따른 셀의 중량과의 변화는 다양한 적용 압력에서 함수량을 계산하는데 사용될 수 있다.

4) 물질 특성 함수의 예

SEEP/W에는 7개의 체적함수량 함수와 투수계수 함수가 포함되어 있다. 그 함수들은 균등모래에서 점토질 실트까지 변화하는 흙들이 대표적인 것이다. 체적함수량 함수는 제안된 숫자로부터 취해지고, 투수계수 함수는 SEEP/W의 예측 특성을 사용하여 예측된다. 어떤 경우에는 부드러운 함수를 함수를 만들기 위해 투수계수 함수들은 예측된 데이터 점으로부터 약간 조절된다. 함수 데이터는 FN_METRE.SEP와 FN_FEET.SEP SEEP/W 데이터 파일에 포함되어 있는데 함수들은 각각 미터 단위와 영국 단위의 항으로 제시되어 있다. 이 함수들은 해석하고 있는 문제에 불러올 수 있고, 그런 후 필요에 따라 주어진 상황에 맞게 수정할 수 있다. 예를 들어 해석하고 있는 것과 비슷한 특성을 가진 함수를 불러온 후 의도하는 포화투수계수에 맞게 전체 함수를 상향이나 하향으로 이동시킬 수 있다. 이런 예제 함수들은 어떠한 다른 데이터도 가지고 있지 않을때 함수를 지정하는데 도움을 준다. 지반공학적 문제에 불포화 흐름이 포함되어 있다면 개략적인 함수를 사용하는 것이 하나의 값을 가진 함수를 사용하는 것 보다 더 실제적인 결과를 얻을 수 있다. 24개의 다른 흙에 대한 자료에 대한 투수계수와 체적 함수량 함수의 그래프가 제시되어 있다.

[표 7-12] 24개 지반종류에 따른 포화투수계수와 간극율

No.	지반의 종류	포화투수계수(m/s)	간극율
1	Uniform Fine Sand #1	2.15×10-5	0.30
2	Uniform Fine Sand #2	1.13×10-6	0.38
3	Sandy Loam	5.83×10-6	0.38
4	Very Fine Sand	2.00×10-8	0.42
5	Sandy Silt (Coarse Tails)	4.80×10-7	0.45
6	Silty Sand	5.00×10-7	0.51
7	Well-graded #1	1.00×10-7	0.41
8	Well-graded #2	1.50×10-8	0.40
9	Silt #2	1.00×10-6	0.44
10	Glacial Till (Uncompacted)	5.00×10-6	0.30
11	Glacial Till (Compacted)	1.00×10-7	0.23
12	Silt Loam	7.00×10-7	0.45
13	Sandy Silty Clay	1.40×10-7	0.42
14	Silty Clay (Fine Tails)	3.00×10-8	0.50
15	Uniform Silt	1.00×10-8	0.49
16	Clay / Silt	2.50×10-8	0.38
17	Well-graed #3 (High Clay)	7.00×10-10	0.35
18	Uniform Sand	1.00×10-4	0.35
19	Sand	5.40×10-5	0.39
20	Fine Sand	4.30×10-6	0.35
21	Silt	2.50×10-7	0.38
22	Silt (Tailings)	5.80×10-8	0.39
23	Sandy Clayey Silt	1.50×10-8	0.35
24	Clayey Silt	8.40×10-9	0.41

2.3.1.2 Plaxis 2D v9.x

가. 서론

PLAXIS 는 연약지반의 압밀거동 뿐만 아니라 과압밀 점토 그리고 사질토 및 암반지반에도 적용이 가능한 다양한 재료모형을 갖고 있다. 연약지반에 강하다는 점은 매우 작은 전단강도의 지반에 굴착 또는 성토하는 경우에 지반의 붕괴를 포함한 변형해석이 가능할 뿐만 아니라 압밀침하 및 점성침하 등의 복잡한 지반변형을 계산할 수 있음을 의미한다.

복잡한 비선형 거동을 구하기 위하여 PLAXIS에는 다양한 구성(재료) 모형과 탄소성 상태에서 평형상태에 도달하기 위한 즉, 수렴(convergence)을 돕는 강력한 알고리즘을 보유하고 있으며, 요소망 자동생성 등 매우 쉬워 보이는 사용자 인터페이스와 복잡한 연약지반 거동분석 문제를 간단하게 해결하는 해석기능, 그리고 강도감소법 등 실무에 꼭 필요한 기능을 포함하고 있는 것이 PLAXIS의 특징이다. 2003년 하반기부터 출시된 Version 8.x 부터는 절리성 암반을 포함한 사용자 정의 재료모형(user defined material model)의 적용이 가능하며, 시공단계에 따른 침투해석과 그에 따른 유효응력해석 기능도 추가되었다. 터널 단면을 쉽게 생성할 수 있는 Tunnel Designer기능과 하중분배율 기능으로 쉴드터널은 물론 NATM터널의 해석이 가능하다.

또한, PLAXIS 프로그램은 아래와 같은 독립적인 4개의 프로그램으로 구성되어있다.

1) PLAXIS Input
2) PLAXIS Calculations
3) PLAXIS Output
4) PLAXIS Curve

나. 특징 및 기능

Plaxis 2D v9.x의 중요한 특징 및 기능은 다음과 같다.

1) PLAXIS Input

•기하형상을 먼저 입력한 후 요소망은 자동생성

•지표면, 지층경계선, 토류벽, 앵커, 버팀대, 터널, 록볼트 등의 형상은 직선

또는 곡선으로 입력

•단 한 번의 명령으로 요소망 자동생성

•요소망을 전체적으로 또는 부분적으로 세분화 가능

•초기 간극수압 및 초기 응력의 정의 가능

•물성치의 데이타베이스화 가능

•Tunnel Designer 기능 : 원형 단면 또는 마제형 단면(NATM) 등 터널단면을 손쉽게 생성

2) PLAXIS Calculations

•평면변형 및 축대칭 해석

•시공단계해석 (시공단계별 추가요소와 제거요소를 마우스로 클릭하여 지정)

•자중하중은 자동적용

•Large displacement 해석 기능 (Small strain해석시에 변위가 많이 발생하면, Updated Mesh기능을 이용하여 좌표를 Update해가며 해석)

•해석이 진행됨에 따라 간극수압도 자동 Update

•고차요소(15절점 삼각형 요소)의 사용으로 매우 심한 비선형 거동 해석 용이

•Hardening Soil Model로 대부분의 지반변형 특성을 상당히 정확히 구현

•Cam-clay Model / Creep Model

•Mohr-Coulomb Model / Jointed Rock Model

•인터페이스 고려 (Beam-지반 간, Geogrid-지반 간 인터페이스 고려가능)

•벽체나 라이닝과 같은 휨부재는 Beam요소로 모형화

•앵커나 버팀대는 특수하게 개발된 Spring요소로 모형화

•보강토 공법의 Geogrid는 특수한 인장전용 Geo-grid 요소로 모형화

•강도감소 기능 (전단강도를 감소시켜가며 파괴상태를 추적하여 안전율을 자동으로 구하는 기능)

•압밀해석 (최종압밀상태 및 시간단계별 압밀상태 해석)

•해석의 중지 및 재시작

•동해석 및 지진 해석 (Option)

3) PLAXIS Output

•변형 및 응력의 Contour, Vector, Graph 출력

•간극수압 출력 (Positive/Negative Pore Water Pressure)

•소성영역 출력 / 변형형상 출력 (True scale, Auto scale, Manual scale)

•전단변형률 증분 Contour로 부터 전단파괴면(활동면) 예측 가능

•하중-변위 곡선 생성

4) PLAXIS Curve

•시공단계별 / 해석 방법별 결과를 그래프화 시켜 비교

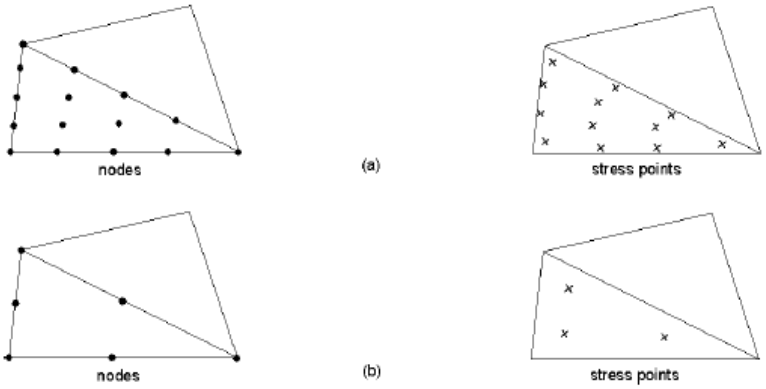
다. 모델링에 관한 일반적인 사항

새로운 Project를 수행하기 위해서 가장 먼저 선행되어야 할 작업은 기하형상을 생성하는 것이다. 이 작업에서는 3차원 문제를 2차원으로 표현해야 하는 것 그리고 점, 선, 영역(clusters)의 구성 등을 다룬다. 또한, 지층 구분 및 각 지층 세부 분할, structural objects, 시공 단계, 재하 조건 등의 작업을 다룬다. 해석 결과에 영향을 미치지 않을 정도로 충분한 크기로 경계면을 설정해주어야 한다. 기하형상에 가장 기본적인 3가지 요소인 점, 선, 영역에 대해서는 아래와 같이 세부적으로 설명하였다.

1) 점 (Points) : 점은 선의 시작과 끝을 구성하기 위해 필요하다. 또한, 앵커, 외부하중 등의 사용시 그 위치를 나타내기 위해서도 필요하다.
2) 선 (Lines) : 선은 지층의 구분 등 기하형상의 물리적 경계면을 정의하기 위해서 필요하다. 선은 몇 개의 function 및 properties를 가질 수 있다.
3) 영역 (Clusters) : 영역은 선에 의해 폐합된 면적을 의미한다. PLAXIS에서는 선의 입력에 의해서 자동적으로 영역을 인식된다. 정해진 영역 내에 지층의 물성치는 homogeneous하다.

기하형상 생성 후에 유한요소는 선과 영역의 구성을 바탕으로 자동 생성될 수 있다. 유한요소 메쉬는 3가지의 구성 요소로 이루어져 있고, 그에 대한 기술은 아래와 같다.

1) 요소 (Elements) : Mesh가 생성되는 동안 clusters는 삼각형 유한요소로 나누어진다. 15절점 요소 및 6절점 요소로 선택할 수 있다. 15절점 요소로 선택하면 더 정확한 해석 결과를 얻을 수 있고, 6절점 요소로 선택을 하면 빠른 해석 결과를 얻을 수 있다. 동일 조건에서 15절점 요소로 해석하는 것이 6절점 요소로 해석하는 것보다는 좀 더 정확한 해석을 할 수 있지만, 시간이 상당히 소요되는 단점이 있다.



[그림 7-12] Nodes and stress points

2) 절점 (Nodes) : 15절점 요소는 15개의 절점을 가지고 있고, 6절점 요소는 6개의 절점을 가지고 있다. 그 위치는 [그림 4-12]에서 보는 바와 같다. 유한요소 해석 동안 이 절점에서 변위(u_x, u_y)가 계산된다.

3) Stress Points : 변위가 절점에서 계산되는 반면에, 응력과 변형율은 [그림 4-12]에서 보는 것처럼 stress points에서 계산된다. [그림 4-12]의 (a)에서 보는 것처럼 15절점 각 요소의 stress points는 12개이고, [그림 4-12]의 (b)에서 보는 것처럼 6절점 각 요소의 stress points는 3개로 구성된다. 그 위치는 그림에서 확인할 수 있다. 이 stress points는 해석 후 stress path 또는 stress -strain diagram 등을 작성할 수 있도록 해석 전에 미리 선택해놓을 수 있다.

2.3.1.3 PFC2D/3D

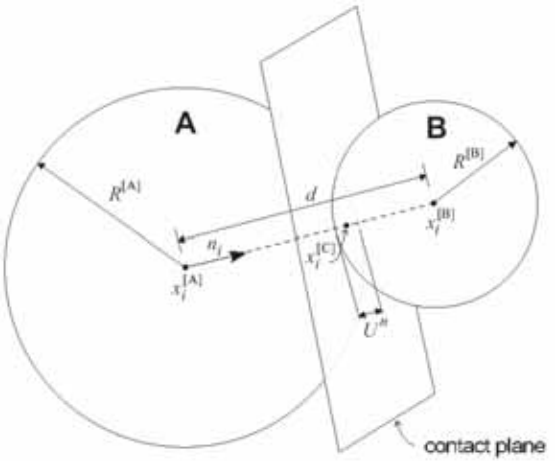
가. 서론

PFC 2D/3D는 원형 요소를 이용한 개별 요소 해석프로그램 (Distinct Element Method, DEM)으로 모델의 기본 요소는 Ball과 Wall을 사용한다. Ball은 Newton의 운동방정식을 따르며 Ball-Ball 또는 Ball-Wall 상호 접촉 및 작용으로 요소끼리 거동한다. 원형 입자를 사용하는 이유는 원형 입자간 접촉여부 판단이 용이하여 해석 수행이 효율적이기 때문이다. 개별 요소 해석에 특성상 변위 크기에 제한이 없으며, 블록 형태로 파괴 모델링 가능하다.
PFC 2D/3D는 암반 블록의 파괴 및 붕락, 터널링, 균열해석, 물체 충격거동의 해석 및 설계에 적용된다.

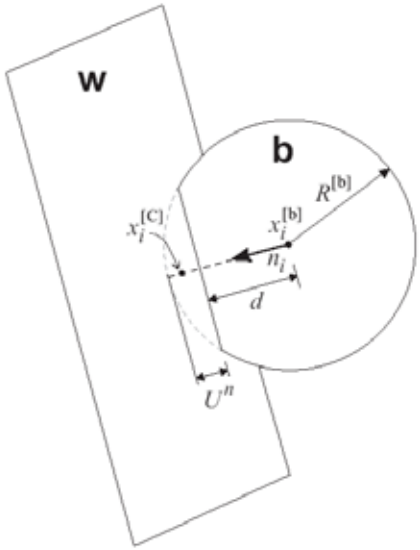
나. 특징 및 기능

PFC2D/3D의 중요한 특징 및 기능은 다음과 같다.

•PFC 해석의 기본 요소는 ball과 wall로 구성
•각각의 볼은 강성체로 가정
•볼과 볼의 접촉 발생시 법선 및 전단방향으로의 스프링 강성 발현
•볼과 볼의 접촉에 결합강도 구현 가능
•Ball은 Newton 운동방정식에 의한 거동
•Wall은 운동방정식과 무관
•Wall에 속도 경계 조건 부여 가능
•Ball과 Ball 또는 Ball과 Wall의 상호 접촉 및 작용
•Ball과의 상호 접촉 및 작용, Wall과 Wall간은 무관
•접촉 입자간의 파괴 여부는 결합 강도로 규정
•해석 요소를 이루는 각 Ball은 강성체
•각 Ball 간의 접촉형태는 극히 작은 면적 즉, 점으로 간주되며, 접촉점에서 서로 다소의 중첩허용
•중첩량은 접촉력과 힘-변위 관계식에 의해 계산되며, 입자 크기에 비해 매우 작은 값임.



[그림 7-13] 입자요소와 입자요소의 접촉형태



[그림 7-14] 입자요소와 wall요소의 접촉형태

다. Cluster 구조 및 미세 균열

•Ball 요소는 사용되는 결합 모델에 따른 일정한 결합강도를 발현

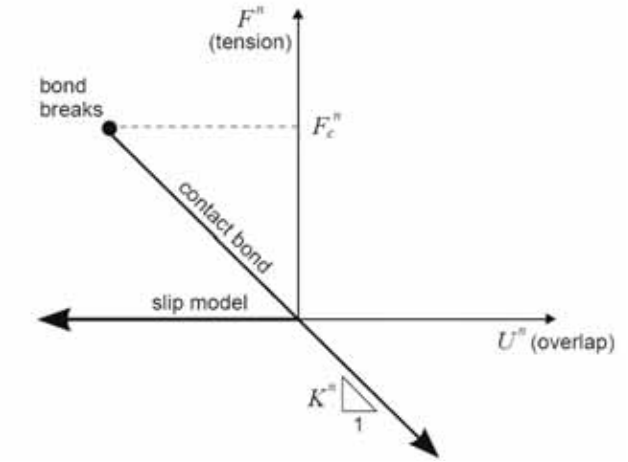
•Ball 요소에 작용하는 외력이 Ball 사이에 존재하는 결합력을 초과하는 순간 Ball 요소는 개별 및 블록 형태의 분리 파괴가 발생함

•Cluster 구조는 분리된 Ball 요소 중 블록 형태로 분리된 입자들의 집합체를 나타내며, Cluster 내부는 결합 강도를 발현하고 다른 인접한 Ball 요소 및

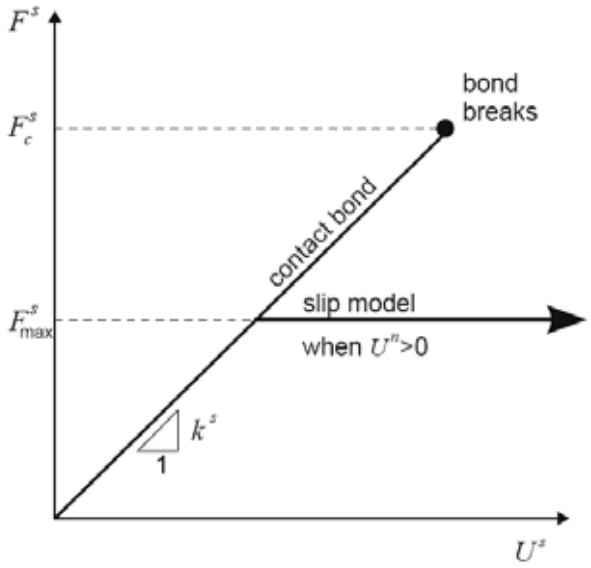
Cluster와 상호 간섭 및 운동을 일으킴

•입자와 입자 사이 결합력의 분리 여부를 PFC의 Fish 함수를 통해 평가하여 법선 및 전단방향으로 분리가 발생한 개별 요소의 접촉을 미세 균열로 표현

•Cluster 요소에 의해 분리된 블록의 형태를, Fish를 통한 미세 균열을 통해 교란 영역을 산정 가능



[그림 7-15] Ball과 Ball의 분리거동 : 법선방향 힘-변위 관계

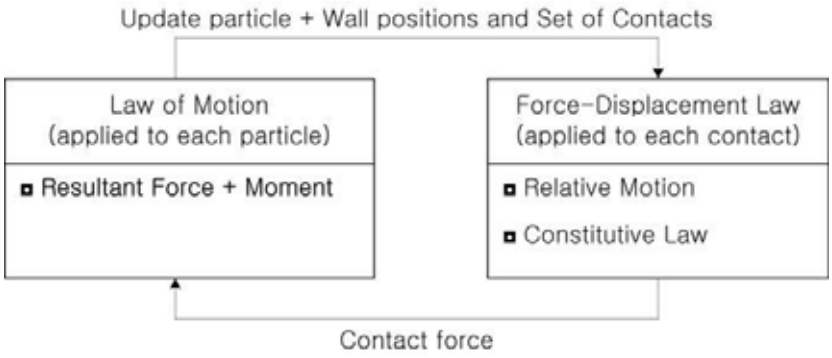


[그림 7-16] Ball과 Ball의 분리거동 : 전단방향 힘-변위 관계

라. PFC 해석 계산 과정

PFC는 ball과 wall요소로만 이루어져 있고, ball의 개별운동을 운동방정식에 의해 순차적으로 해석하여 전체 모델의 거동을 해석하고, 계산과정은 아래 그림과 같다.

•Ball의 운동 방정식과 접촉점에서의 힘-변위관계식의 적용
•Ball 요소와 Wall 요소의 위치좌표로부터 접촉상태 점검
•힘-변위 관계식으로부터 각 접촉점의 접촉력 계산.
•운동방정식을 통한 외력, 모멘트, 속도, 위치 계산



[그림 7-17] PFC 프로그램에서 계산과정

마. PFC 설계 정수

PFC는 ball과 wall요소로만 이루어져 있는 개별 요소 해석 프로그램으로, 해석에 사용되는 입자의 물성치는 FEM 해석과 같은 연속체 해석에서 사용되는 물성치와 다르다. 실험실이나 현장에서 구한 물성치 값을 바탕으로 PFC내에서 실내시험을 반복적으로 묘사해서, 실험실이나 현장에서 구한 물성치와 유사한 거동을 나타내는 PFC의 물성치를 계산해서 사용한다.

•균등 입자를 갖는 압축 및 간접인장시험 시편 모델링
•구속압에 따른 일축시험을 모사하여 Young's Modulus(E), Poisson Ratio (ν)에 적합한 kn, ks 산정
•Young's Modulus(E)는 kn의 크기에, Poisson Ratio(ν)는 kn/ks에 따라

변화

•반복재하 및 간접인장시험을 모사하여 c, φ 에 적합한 Bond Stress(Bond Strength) 산정

•지반강도에 따라 Contact Bond Model, Parallel Bond Model 선택적 사용

[표 7-13] 해석에 적용한 설계지반정수

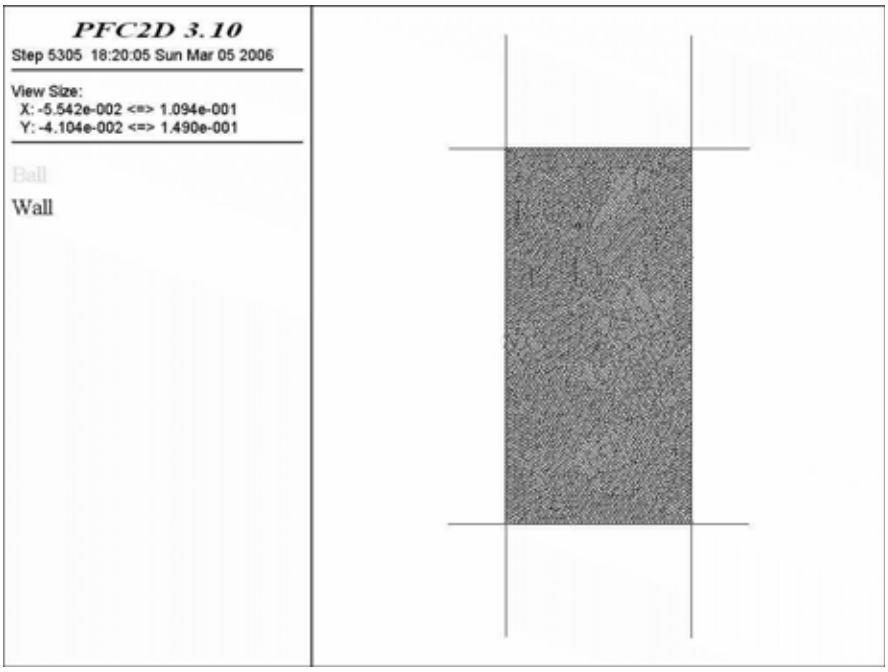
지 층	단위중량 γ (tf/m3)	점착력 c (tf/m2)	내부마찰각 ϕ (°)	탄성계수 E (tf/m2)	포아송비 ν
매립층	1.7	0	27	3,000	0.35
풍화토	1.9	0	40	8,000	0.32
풍화암	2.1	5.0	35	10,000	0.30
연 암	2.4	10.0	40	20,000	0.28

[표 7-14] Contact Bond Model

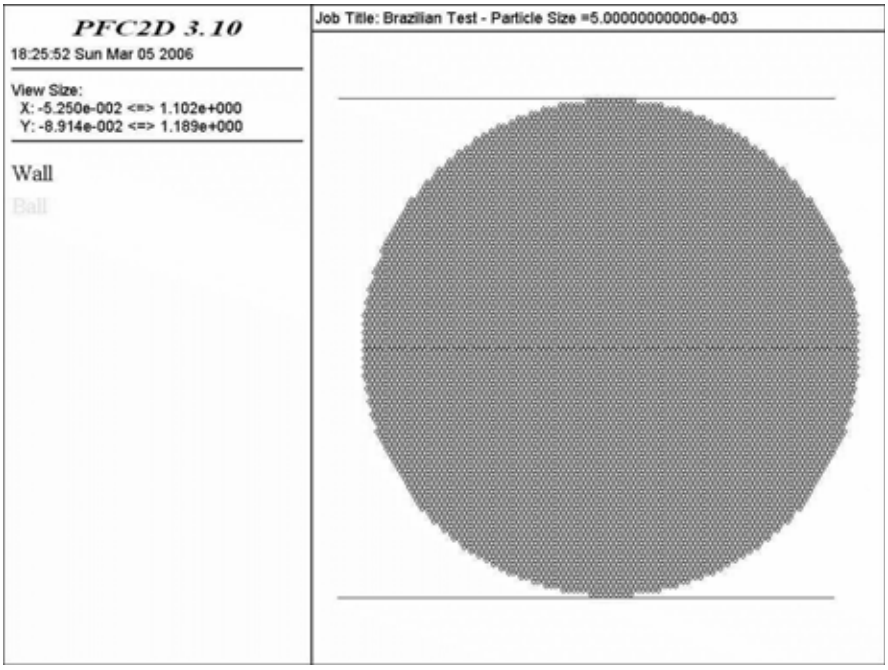
구 분	kn(MN/m)	ks(MN/m)	마찰계수(μ)	법선점착력 (MN/m)	전단점착력 (MN/m)
풍화토	7.34e2	7.67e2	0.4	0.8	0.1
매립층	4.21e2	4.06e2	0.4	0.5	0.35

[표 7-15] Parallel Bond Model

구 분	kn (MN/m)	ks (MN/m)	마찰계수 (μ)	pb_kn (MPa/m)	pb_ks (MPa/m)	법선점착강도 (MPa/m)	전단점착강도 (MPa/m)
풍 화 암	6.24e3	6.30e3	0.5	280	305	2.7	0.25
연암	1.65e4	1.51e4	0.5	3,762	4,625	61	3

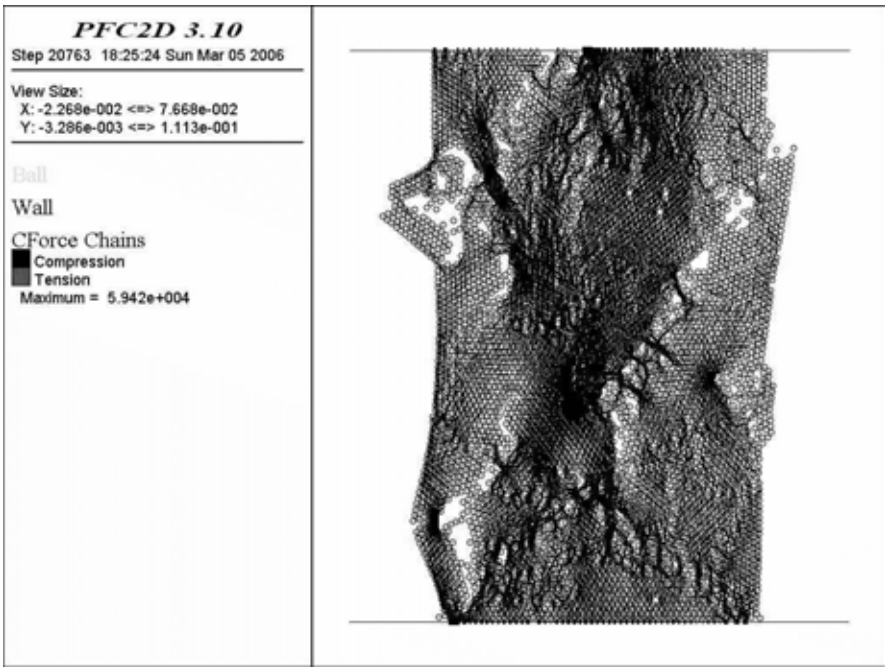


(a) 일축압축모델

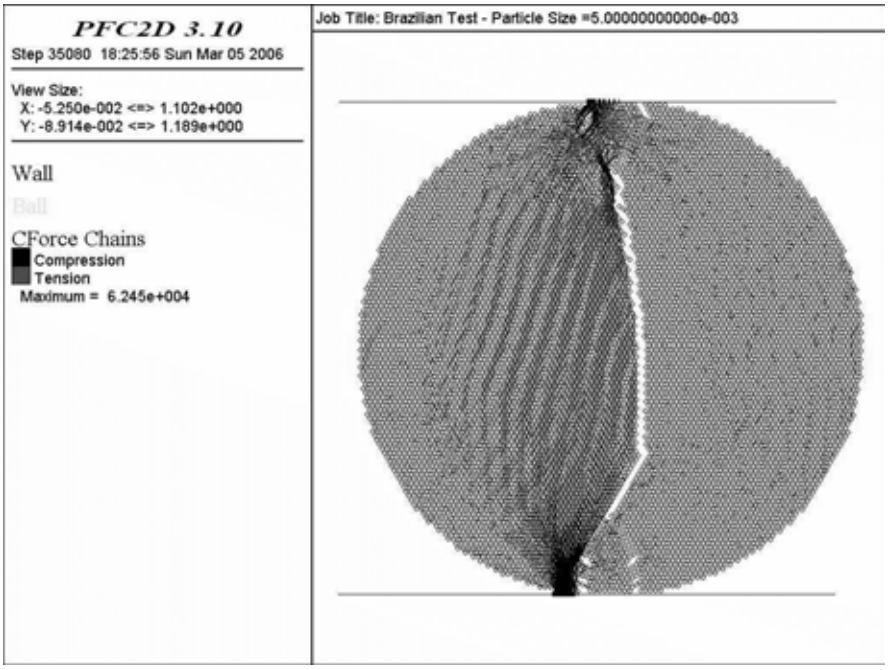


(b) 인장 실험 모델

[그림 7-18] 물성치 보정 실험 모델

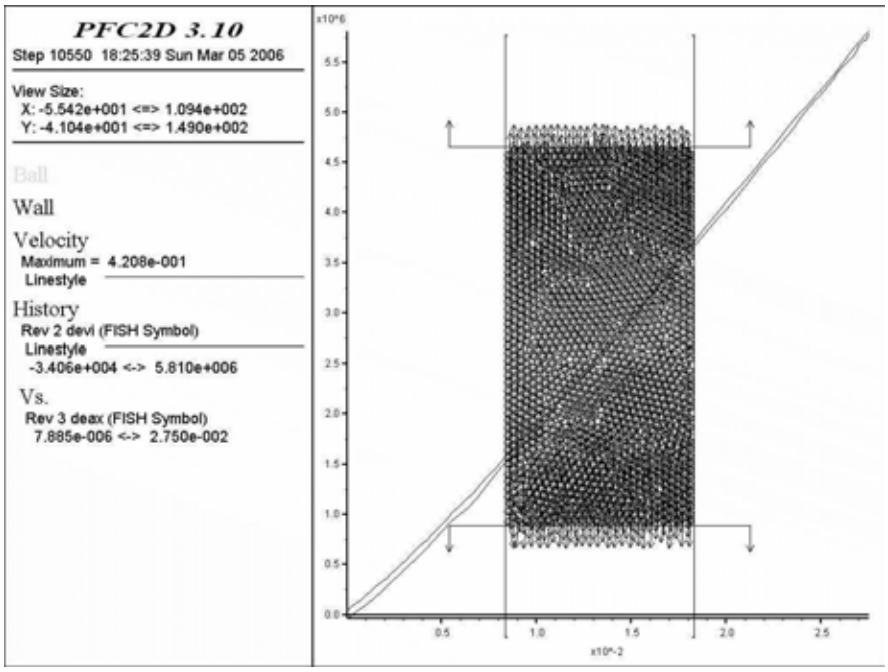


(a) 일축압축모델

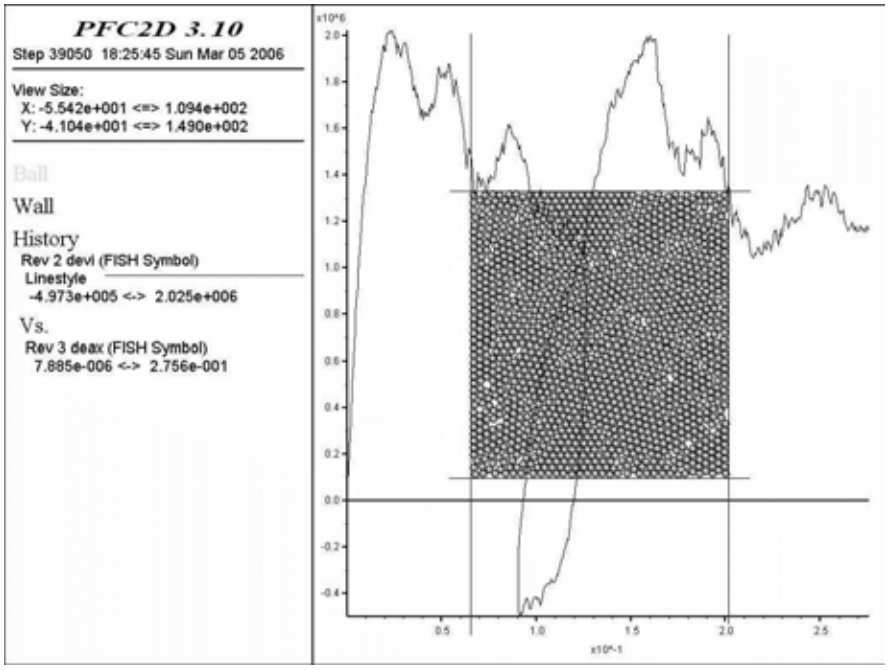


(b) 인장 실험 모델

[그림 7–19] 물성치 보정 실험 결과



(a) 일축압축 실험결과 (탄성계수)



(b) 삼축압축 실험결과 (강도정수)

[그림 7–20] 물성치 보정 실험 결과

2.3.2 부력과 양압력에 따른 지반–구조물 안정검토

2.3.2.1 부력과 양압력

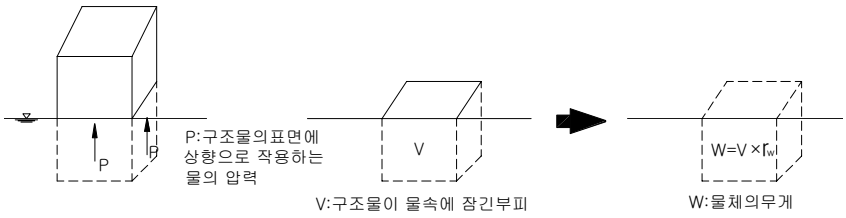
가. 부력

물체가 유체속에 잠겨있을 때 물속에 잠긴 물체의 표면에 상향으로 작용하는 물의 압력을 말하며, $F_s = \frac{W+Q}{u} \geq 1.2$으로 나타낸다.

여기서, W : 구조물의 자중 + 흙하중

Q : 구조물과 주변지반과의 마찰저항 u : 부력 $(\gamma_w V)$,

γ_w : 물의 단위중량, V : 물 속의 구조물체적

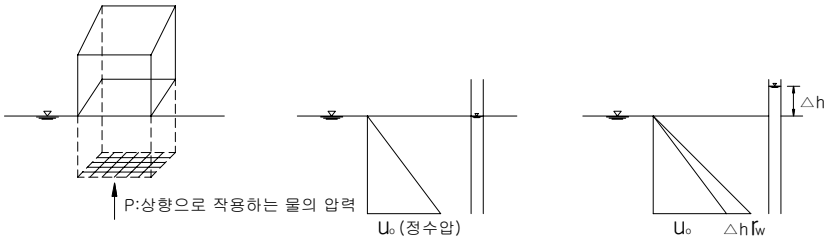


(a) 부력의 정의 (b) 부력의 크기

[그림 7–21] 부력의 정의 및 부력의 크기

나. 양압력

구조물이 지하수위 하부에 있을 때 구조물 저부에서 작용하는 상향의 물의 압력을 말하며, 물이 수위차가 없을 경우 양압력은 정수압과 같고 물의 수위차가 있을 경우 양압력은 정수압+침투압으로 정의된다.



(a) 양압력의 정의 (b) 수위조건에 따른 양압력의 크기

[그림 7–22] 양압력의 정의 및 양압력의 크기

현재 지하수위 이하의 구조물을 설계시 양압력 검토는 정수압 조건일 때 구

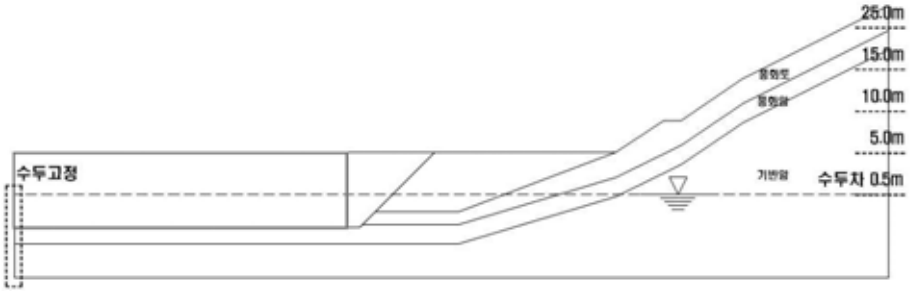
조물저면에 작용하는 양압력은 $\gamma_w H$로 적용하지만, 침투압이 존재할 경우에도 $\gamma_w H$으로 동일하게 적용하고 있는 실정이다. 하지만, 수두차에 의한 침투압이 존재할 경우 정수압보다 큰 압력이 존재하므로 이를 고려하여야 할 것으로 판단되며, 그 영향을 분석하고자 침투해석과 응력~변위를 고려한 수치해석을 수행하였다.

2.3.2.2 배면 수위차에 따른 양압력의 변화검토

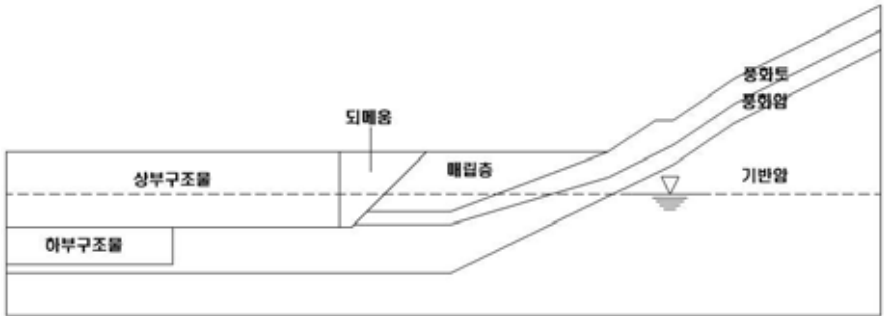
지하주차장 배면 수위차에 따른 양압력변화를 파악하기 위하여 Seep/W를 수행하였다.

가. 검토단면 및 수위차

구조물배면 원지반 수위는 약 4.0m이며, 산지의 수위를 변화시켜가면서, 구조물배면에 작용하는 양압력의 변화를 파악하였다. 원지반 수위와 산지의 수위차는 0.5m, 5.0m, 10.0m, 11.0m, 12.0m, 13.0m 14.0m 15.0m, 20.0m로 적용하였고, 이를 아래 그림과 같이 나타내었다.



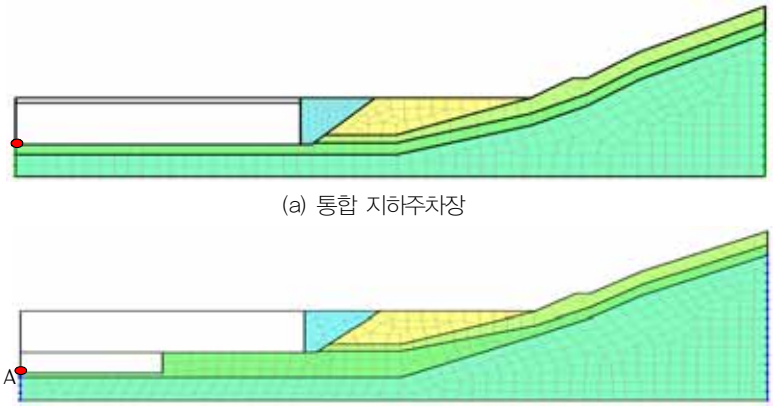
(a) 통합 지하주차장



(b) 가변형 통합 지하주차장

[그림 7-23] 원지반 수위와 산지의 수위차

나. 침투해석을 위한 유한요소망

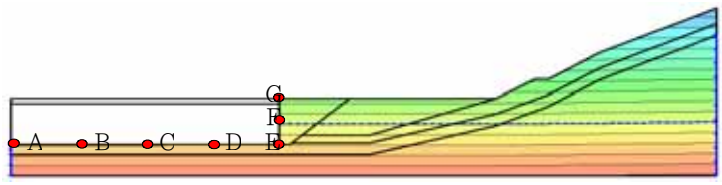


(a) 통합 지하주차장

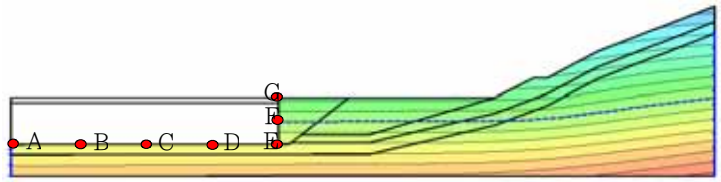
(b) 가변형 통합 지하주차장

[그림 7-24] 침투해석을 위한 유한요소망

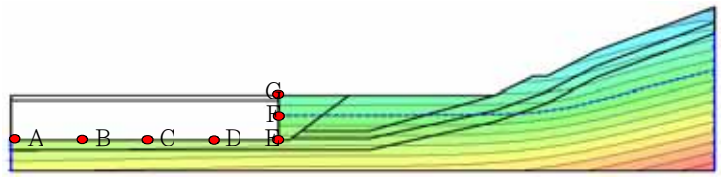
다. 수위차에 따른 간극수압의 등고선



(a) 수두차 0.5m

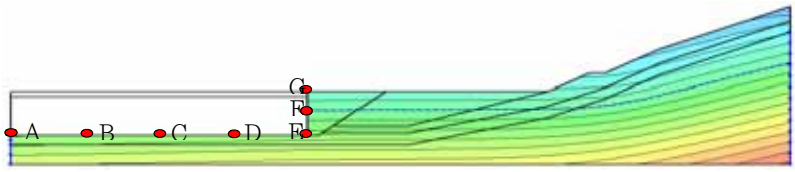


(b) 수두차 5.0m

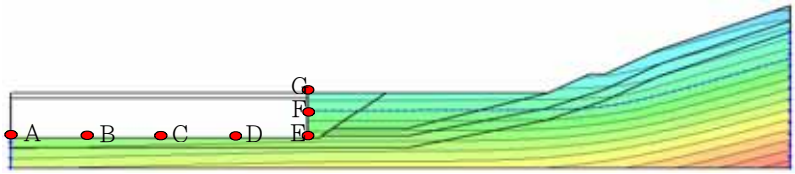


(c) 수두차 10.0m

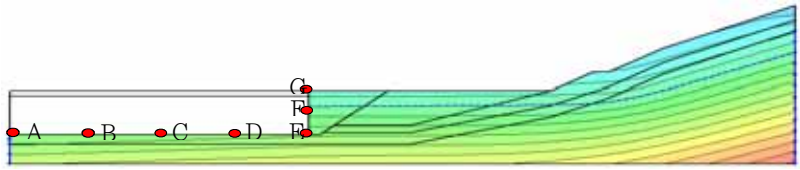
[그림 7-25] 통합지하주차장의 수위차에 따른 간극수압의 등고선 1



(d) 수두차 11.0m

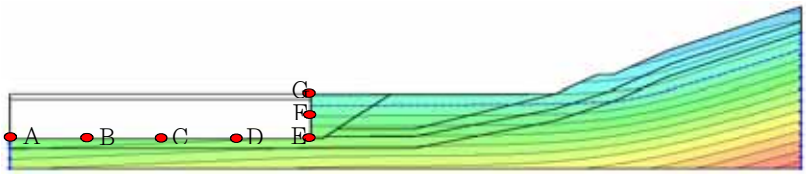


(e) 수두차 12.0m

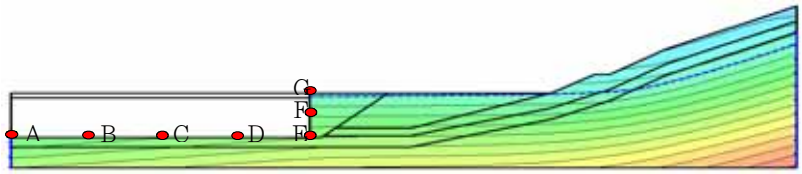


(f) 수두차 13.0m

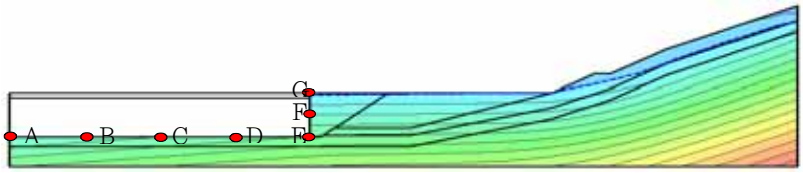
[그림 7-26] 통합지하주차장의 수위차에 따른 간극수압의 등고선 2



(g) 수두차 14.0m

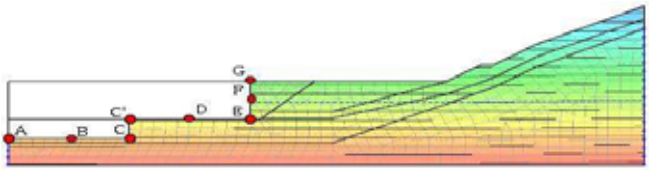


(h) 수두차 15.0m

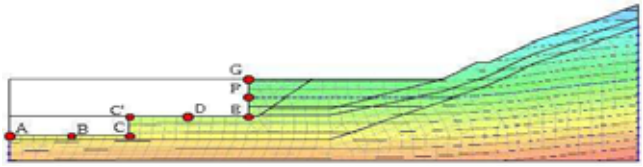


(i) 수두차 20.0m

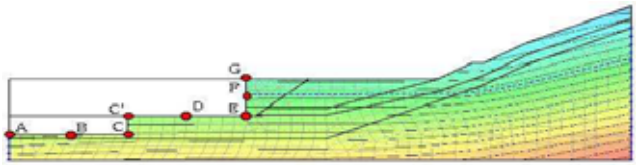
[그림 7-27] 통합지하주차장의 수위차에 따른 간극수압의 등고선 3



(a) 수두차 0.5m

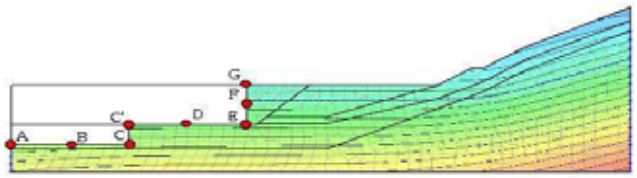


(b) 수두차 5.0m

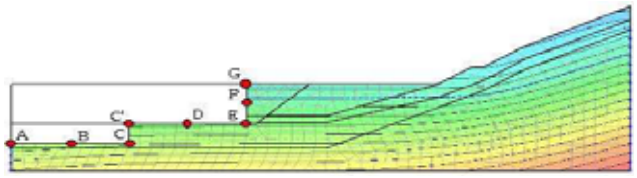


(c) 수두차 10.0m

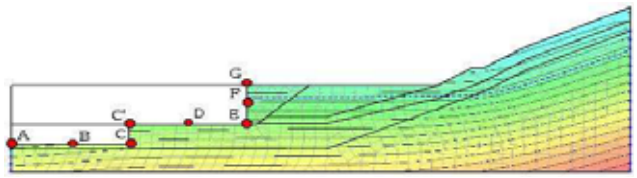
[그림 7-28] 가변형 통합지하주차장의 수위차에 따른 간극수압의 등고선 1



(d) 수두차 11.0m

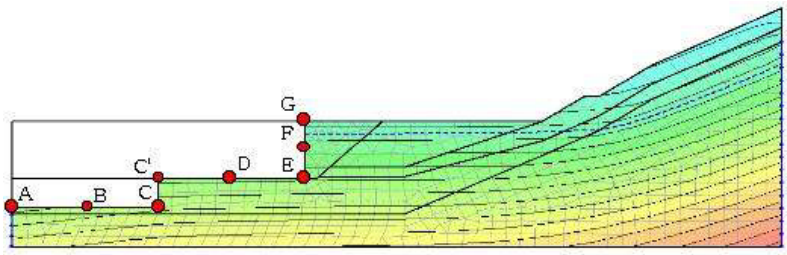


(e) 수두차 12.0m

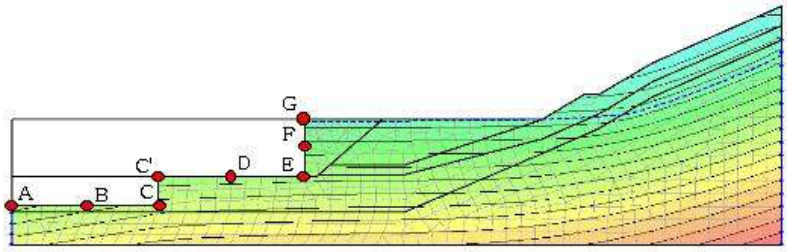


(f) 수두차 13.0m

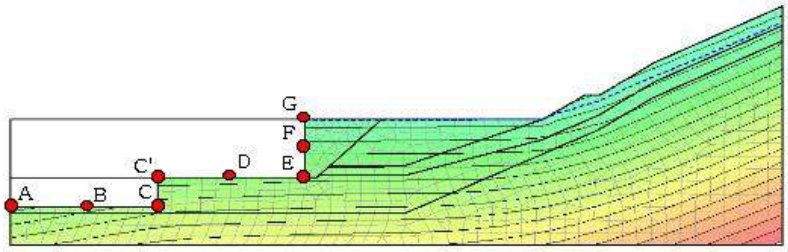
[그림 7-32] 가변형 통합지하주차장의 수위차에 따른 간극수압의 등고선 2



(g) 수두차 14.0m



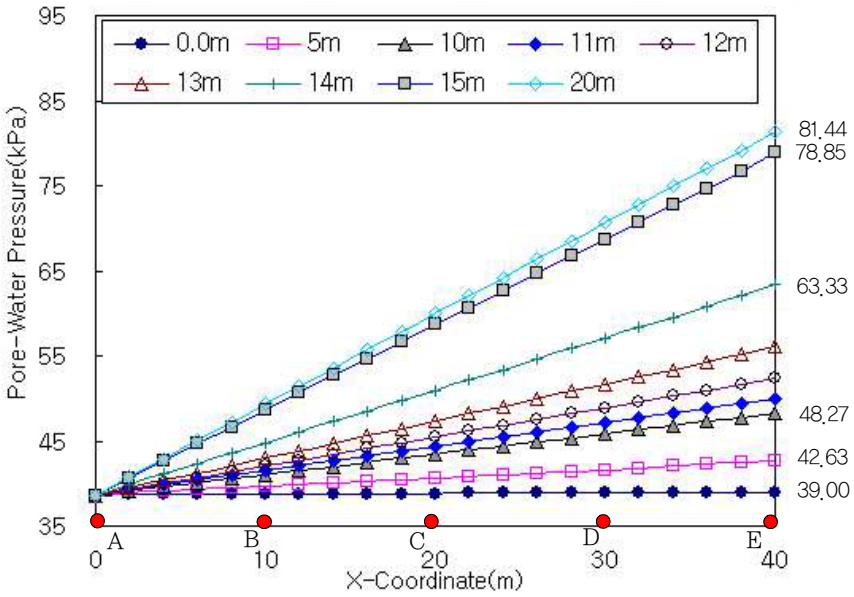
(h) 수두차 15.0m



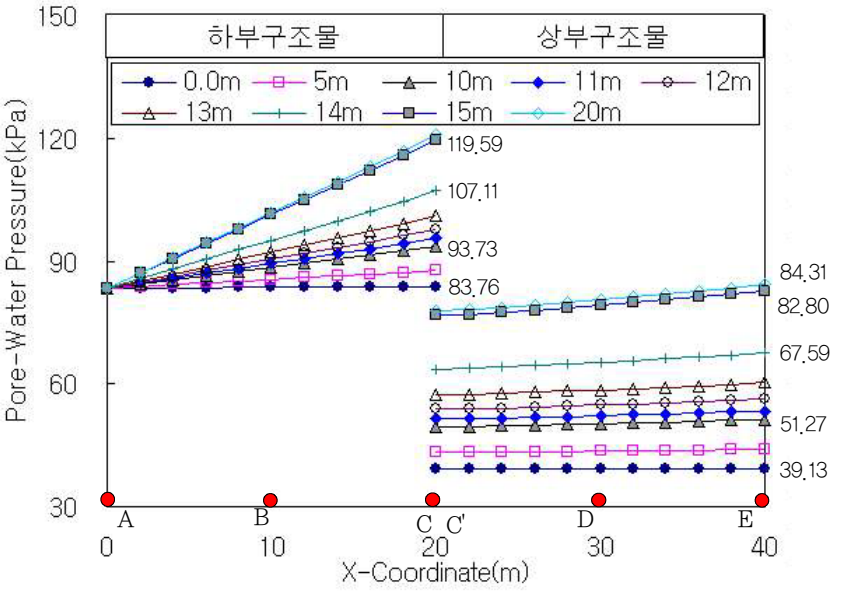
(i) 수두차 20.0m

[그림 7-36] 가변형 통합지하주차장의 수위차에 따른 간극수압의 등고선 3

마. 구조물 측면에 작용하는 양압력의 변화



(a) 통합 지하주차장



(b) 가변형 통합 지하주차장

[그림 7-40] 구조물 바닥에서 작용하는 양압력의 변화

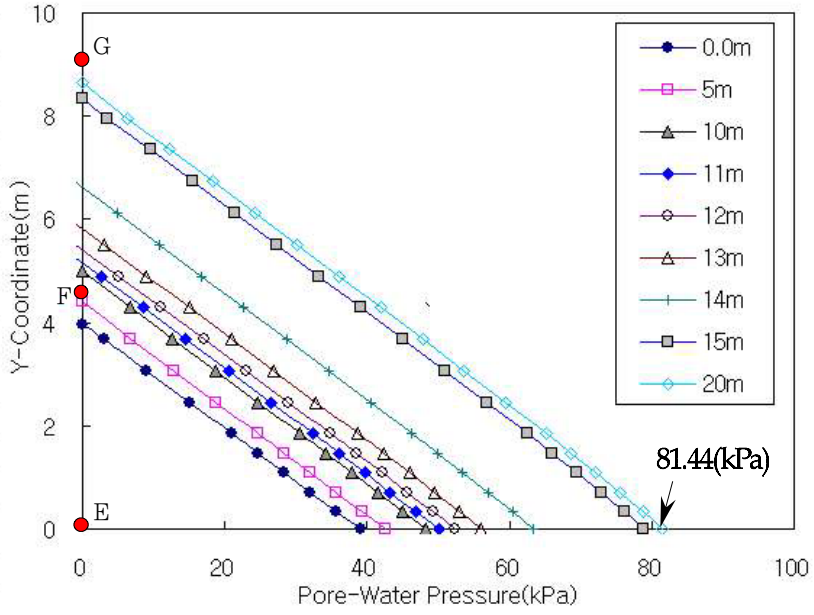
[표 7-16] 구조물 바닥에서 작용하는 양압력(kPa)의 변화 (통합 지하주차장)

수두차. / X-Coor(m)	0.0m	5m	10m	11m	12m	13m	14m	15m	20m	비고
0	38.64	38.64	38.64	38.64	38.64	38.64	38.64	38.64	38.64	A
2	38.66	38.84	39.12	39.21	39.32	39.51	39.87	40.64	40.77	
4	38.68	39.04	39.60	39.77	40.01	40.38	41.10	42.65	42.91	
6	38.69	39.24	40.08	40.34	40.69	41.25	42.33	44.65	45.04	
8	38.71	39.43	40.56	40.91	41.37	42.12	43.56	46.66	47.17	
10	38.73	39.63	41.04	41.47	42.06	42.98	44.79	48.66	49.31	B
12	38.75	39.83	41.52	42.04	42.74	43.85	46.02	50.66	51.44	
14	38.77	40.03	42.00	42.60	43.42	44.72	47.26	52.67	53.57	
16	38.78	40.23	42.48	43.17	44.10	45.59	48.49	54.67	55.71	
18	38.80	40.43	42.96	43.74	44.79	46.46	49.72	56.68	57.84	
20	38.82	40.63	43.44	44.30	45.47	47.33	50.95	58.68	59.98	C
22	38.84	40.83	43.92	44.87	46.15	48.20	52.18	60.69	62.11	
24	38.86	41.02	44.40	45.44	46.84	49.07	53.41	62.69	64.24	
26	38.88	41.22	44.88	46.00	47.52	49.93	54.64	64.69	66.38	
28	38.89	41.42	45.36	46.57	48.20	50.80	55.87	66.70	68.51	
30	38.91	41.62	45.84	47.14	48.89	51.67	57.10	68.70	70.64	D
32	38.93	41.82	46.32	47.70	49.57	52.54	58.33	70.71	72.78	
34	38.95	42.02	46.80	48.27	50.25	53.41	59.56	72.71	74.91	
36	38.97	42.22	47.28	48.84	50.94	54.28	60.80	74.72	77.05	
38	38.98	42.42	47.76	49.40	51.62	55.14	62.02	76.71	79.17	
40	39.00	42.63	48.27	50.00	52.34	56.07	63.33	78.85	81.44	E

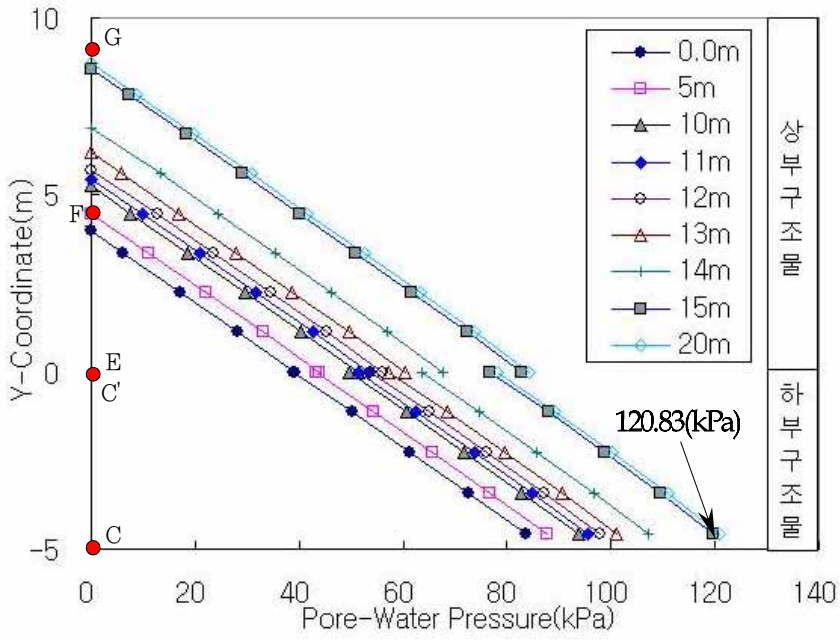
[표 7-17] 구조물 바닥에서 작용하는 양압력(kPa)의 변화 (가변형 통합 지하주차장)

수두차. / X-Coor(m)	0.0m	5m	10m	11m	12m	13m	14m	15m	20m	비고
0	83.36	83.36	83.36	83.36	83.36	83.36	83.36	83.36	83.36	A
2	83.40	83.79	84.39	84.56	84.78	85.12	85.71	86.94	87.07	
4	83.44	84.22	85.41	85.76	86.21	86.87	88.06	90.53	90.77	
6	83.48	84.66	86.44	86.96	87.63	88.63	90.41	94.12	94.48	
8	83.52	85.09	87.46	88.16	89.06	90.39	92.76	97.70	98.19	
10	83.56	85.52	88.49	89.36	90.49	92.14	95.11	101.29	101.90	B
12	83.60	85.95	89.51	90.56	91.91	93.90	97.46	104.87	105.61	
14	83.64	86.38	90.54	91.76	93.34	95.66	99.81	108.46	109.32	
16	83.68	86.82	91.57	92.97	94.77	97.42	102.18	112.06	113.04	
18	83.72	87.25	92.61	94.18	96.20	99.19	104.54	115.68	116.78	
20	83.76	87.72	93.73	95.49	97.76	101.11	107.11	119.59	120.83	C
20	39.06	43.23	49.54	51.39	53.78	57.30	63.61	76.73	78.03	C'
22	39.06	43.25	49.59	51.46	53.86	57.40	63.74	76.93	78.24	
24	39.07	43.31	49.73	51.61	54.04	57.63	64.05	77.40	78.72	
26	39.08	43.38	49.89	51.81	54.28	57.92	64.43	77.98	79.32	
28	39.08	43.46	50.08	52.02	54.53	58.23	64.84	78.61	79.97	
30	39.09	43.53	50.26	52.24	54.79	58.54	65.27	79.26	80.65	D
32	39.10	43.61	50.45	52.46	55.05	58.87	65.70	79.92	81.33	
34	39.10	43.69	50.64	52.68	55.31	59.19	66.13	80.58	82.01	
36	39.11	43.77	50.83	52.90	55.58	59.52	66.57	81.25	82.70	
38	39.12	43.86	51.03	53.13	55.85	59.85	67.02	81.94	83.41	
40	39.13	43.96	51.27	53.42	56.19	60.27	67.59	82.80	84.31	E

바. 구조물 측면에 작용하는 수압의 변화



(a) 통합 지하주차장



(b) 가변형 통합 지하주차장

[그림 7-41] 구조물 측면에 작용하는 수압의 변화

[표 7-18] 구조물 측면에 작용하는 수압(kPa)의 변화 (통합 지하주차장)

0.0m		수두차 5m		수두차 10m		수두차 11m		수두차 12m	
Y-Coor (m)	P.W.P (kPa)	Y-Coor (m)	P.W.P (kPa)	Y-Coor (m)	P.W.P (kPa)	Y-Coor (m)	P.W.P (kPa)	Y-Coor (m)	P.W.P (kPa)
-	-	-	-	-	-	5.51	0.00	5.51	0.00
-	-	-	-	5.00	0.00	4.90	2.57	4.90	5.06
3.96	0.00	4.40	0.00	4.29	6.73	4.29	8.56	4.29	11.04
3.68	2.97	3.68	6.77	3.68	12.72	3.68	14.55	3.68	17.02
3.06	8.97	3.06	12.77	3.06	18.69	3.06	20.52	3.06	22.98
2.45	14.97	2.45	18.76	2.45	24.66	2.45	26.48	2.45	28.93
1.84	20.97	1.84	24.74	1.84	30.61	1.84	32.42	1.84	34.86
1.47	24.65	1.47	28.40	1.47	34.25	1.47	36.05	1.47	38.48
1.09	28.33	1.09	32.06	1.09	37.88	1.09	39.67	1.09	42.09
0.72	32.00	0.72	35.71	0.72	41.49	0.72	43.27	0.72	45.67
0.34	35.68	0.34	39.35	0.34	45.08	0.34	46.85	0.34	49.22
0.00	39.00	0.00	42.63	0.00	48.27	0.00	50.00	0.00	52.34

수두차 13m		수두차 14m		수두차 15m		수두차 20m	
Y-Coor (m)	P.W.P (kPa)	Y-Coor (m)	P.W.P (kPa)	Y-Coor (m)	P.W.P (kPa)	Y-Coor (m)	P.W.P (kPa)
				8.33	0.00	8.65	0.00
				7.96	3.50	7.96	6.29
				7.35	9.48	7.35	12.27
		6.74	0.00	6.74	15.45	6.74	18.23
6.12	0.00	6.12	4.79	6.12	21.41	6.12	24.19
5.51	3.03	5.51	10.77	5.51	27.35	5.51	30.12
4.90	9.01	4.90	16.74	4.90	33.28	4.90	36.04
4.29	14.99	4.29	22.70	4.29	39.18	4.29	41.94
3.68	20.95	3.68	28.64	3.68	45.07	3.68	47.81
3.06	26.90	3.06	34.56	3.06	50.92	3.06	53.66
2.45	32.84	2.45	40.45	2.45	56.74	2.45	59.46
1.84	38.74	1.84	46.31	1.84	62.50	1.84	65.21
1.47	42.35	1.47	49.88	1.47	66.00	1.47	68.69
1.09	45.93	1.09	53.43	1.09	69.46	1.09	72.14
0.72	49.49	0.72	56.94	0.72	72.85	0.72	75.52
0.34	53.01	0.34	60.39	0.34	76.16	0.34	78.79
0.00	56.07	0.00	63.33	0.00	78.85	0.00	81.44

[표 7-19] 구조물 측면에 작용하는 수압(kPa)의 변화 (가변형 통합 지하주차장)

0.0m		수두차 5m		수두차 10m		수두차 11m		수두차 12m	
Y-Coor (m)	P.W.P (kPa)	Y-Coor (m)	P.W.P (kPa)	Y-Coor (m)	P.W.P (kPa)	Y-Coor (m)	P.W.P (kPa)	Y-Coor (m)	P.W.P (kPa)
				5.25	0.00	5.46	0.00	5.70	0.00
4.01	0.00	4.48	0.00	4.48	7.63	4.48	9.83	4.48	12.67
3.36	6.19	3.36	11.11	3.36	18.59	3.36	20.79	3.36	23.62
2.24	17.17	2.24	22.08	2.24	29.53	2.24	31.72	2.24	34.55
1.12	28.15	1.12	33.04	1.12	40.44	1.12	42.61	1.12	45.42
0.00	39.06	0.00	43.23	0.00	49.54	0.00	51.39	0.00	53.78
0.00	39.13	0.00	43.96	0.00	51.27	0.00	53.42	0.00	56.19
-1.14	50.24	-1.14	54.40	-1.14	60.71	-1.14	62.56	-1.14	64.95
-2.28	61.42	-2.28	65.56	-2.28	71.83	-2.28	73.68	-2.28	76.05
-3.42	72.59	-3.42	76.68	-3.42	82.88	-3.42	84.69	-3.42	87.04
-4.56	83.76	-4.56	87.72	-4.56	93.73	-4.56	95.49	-4.56	97.76

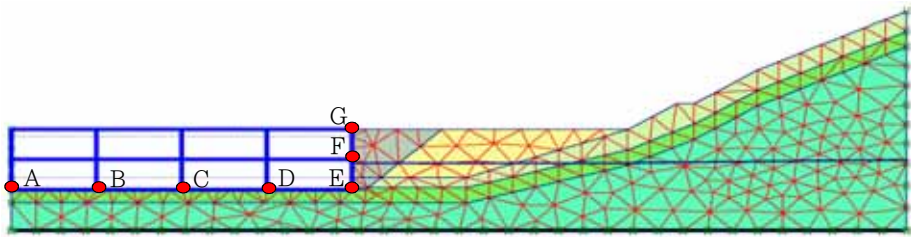
수두차 13m		수두차 14m		수두차 15m		수두차 20m	
Y-Coor (m)	P.W.P (kPa)	Y-Coor (m)	P.W.P (kPa)	Y-Coor (m)	P.W.P (kPa)	Y-Coor (m)	P.W.P (kPa)
				8.54	0.00	8.73	0.00
				7.84	7.27	7.84	8.83
6.22	0.00	6.90	0.00	6.72	18.22	6.72	19.77
5.60	5.91	5.60	13.44	5.60	29.14	5.60	30.70
4.48	16.87	4.48	24.38	4.48	40.04	4.48	41.59
3.36	27.80	3.36	35.30	3.36	50.89	3.36	52.44
2.24	38.71	2.24	46.17	2.24	61.70	2.24	63.23
1.12	49.56	1.12	56.96	1.12	72.38	1.12	73.90
0.00	57.30	0.00	63.61	0.00	76.73	0.00	78.03
0.00	60.27	0.00	67.59	0.00	82.80	0.00	84.31
-1.14	68.47	-1.14	74.77	-1.14	87.88	-1.14	89.18
-2.28	79.55	-2.28	85.82	-2.28	98.87	-2.28	100.16
-3.42	90.50	-3.42	96.69	-3.42	109.57	-3.42	110.84
-4.56	101.11	-4.56	107.11	-4.56	119.59	-4.56	120.83

2.4 배면 수위차에 따른 구조물의 안정성 검토

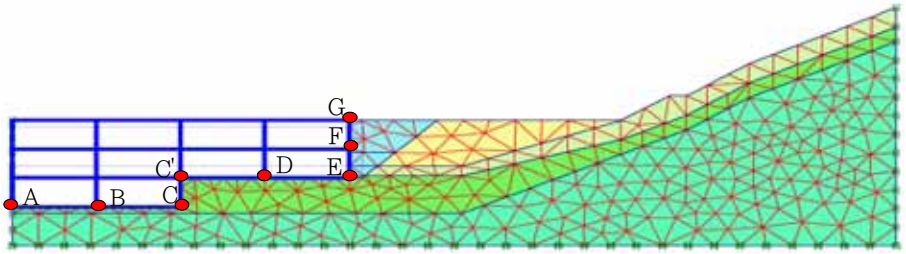
지하주차장 배면 수위차에 따른 양압력 변화로 인한 구조물의 응력-변위관계를 파악하기 위하여 Plaxis를 수행하였다.

2.4.1 검토단면 및 수위차

구조물배면 원지반 수위는 약 4.0m이며, 산지의 수위를 변화시켜가면서, 구조물배면에 작용하는 양압력의 변화를 파악하였다. 원지반 수위와 산지의 수위차는 0.5m, 5.0m, 10.0m, 11.0m, 12.0m, 13.0m 14.0m 15.0m, 20.0m로 적용하였고, 이를 〈그림 3.2.3-1〉에 나타내었다.



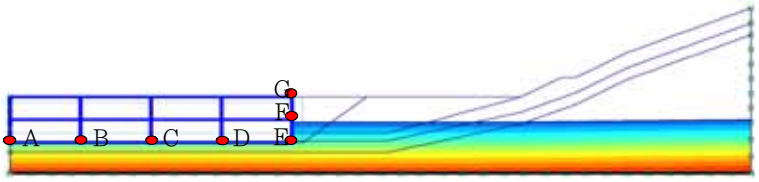
(a) 통합 지하주차장



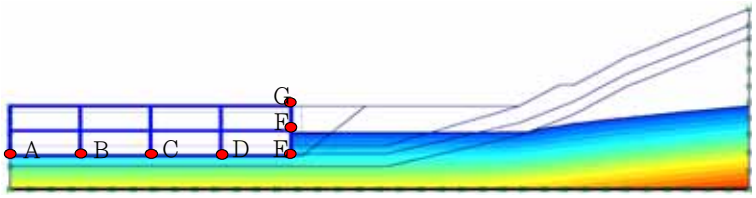
(b) 가변형 통합 지하주차장

[그림 7-42] 배면수위차 발생시 응력-변위관계 파악을 유한요소망

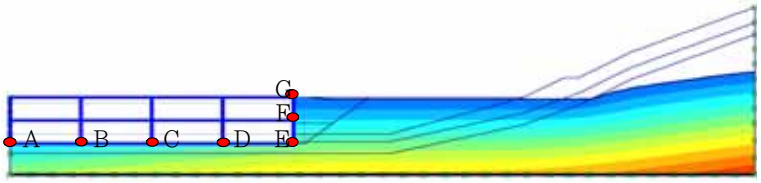
2.4.2 수위차에 따른 간극수압의 등고선



(a) 수두차 0.5m

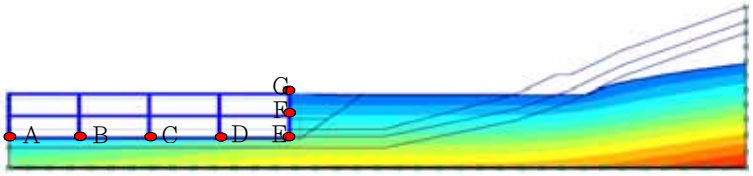


(b) 수두차 5.0m

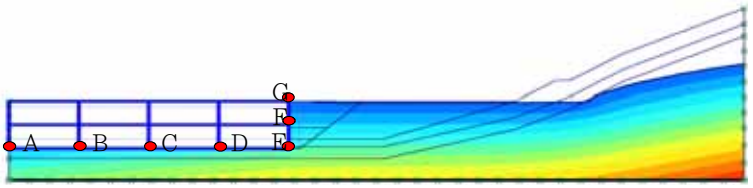


(c) 수두차 10.0m

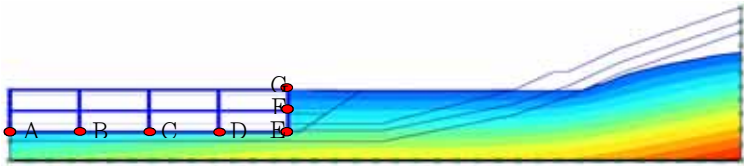
[그림 7-43] 통합 지하주차장 수위차에 따른 간극수압의 등고선 1



(d) 수두차 11.0m

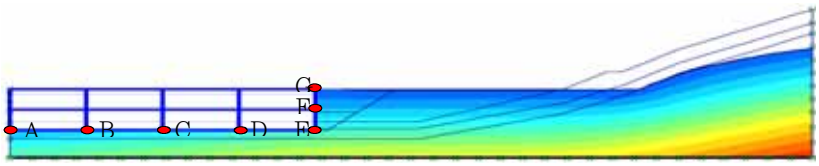


(e) 수두차 12.0m

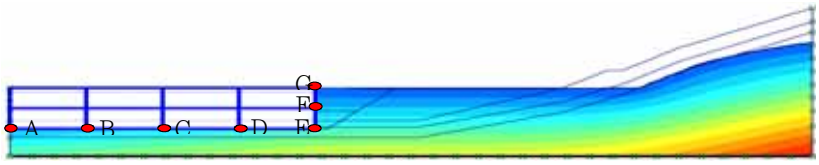


(f) 수두차 13.0m

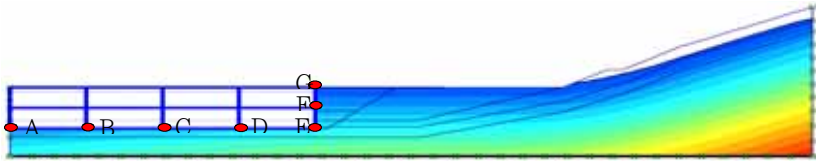
[그림 7-44] 통합 지하주차장 수위차에 따른 간극수압의 등고선 2



(g) 수두차 14.0m

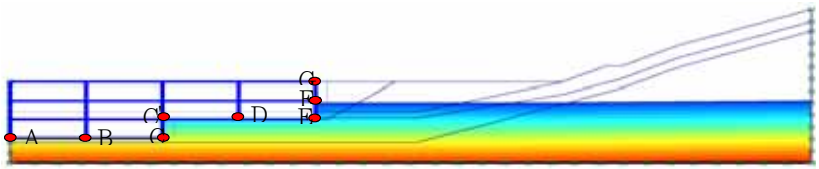


(h) 수두차 15.0m

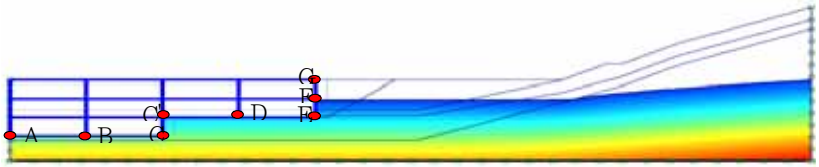


(i) 수두차 20.0m

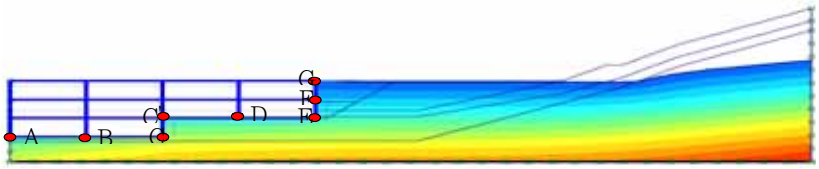
[그림 7-45] 통합 지하주차장 수위차에 따른 간극수압의 등고선 3



(a) 수두차 0.5m

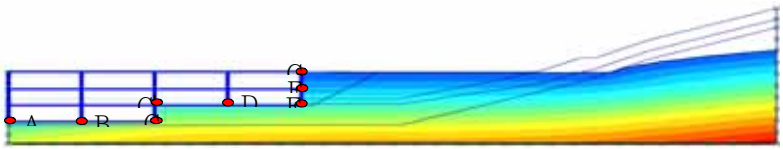


(b) 수두차 5.0m

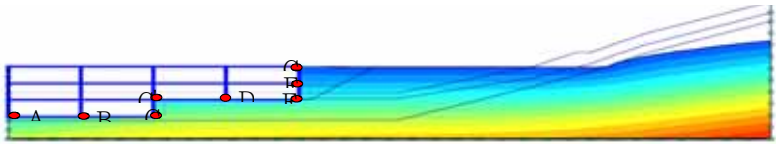


(c) 수두차 10.0m

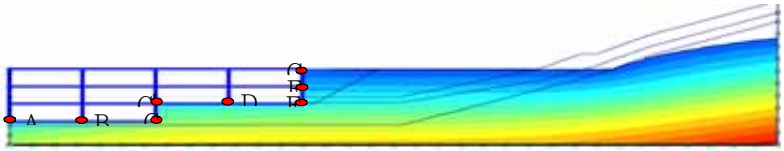
[그림 7-46] 가변형 통합 지하주차장 수위차에 따른 간극수압의 등고선 1



(d) 수두차 11.0m

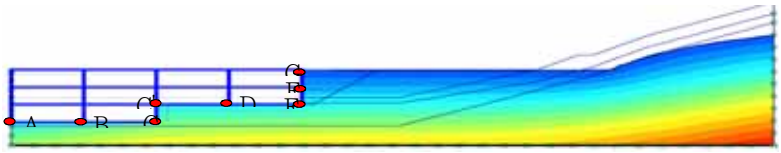


(e) 수두차 12.0m

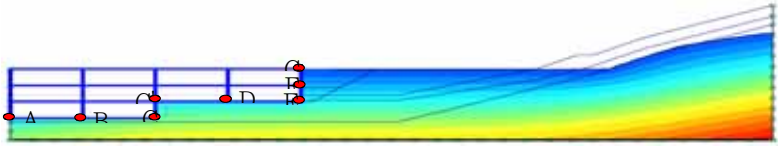


(f) 수두차 13.0m

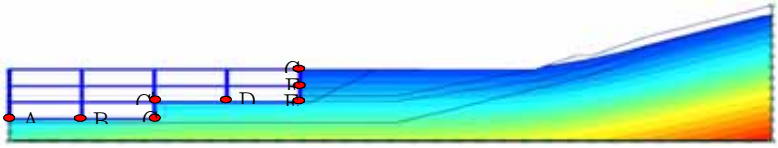
[그림 7-47] 가변형 통합 지하주차장 수위차에 따른 간극수압의 등고선 2



(g) 수두차 14.0m



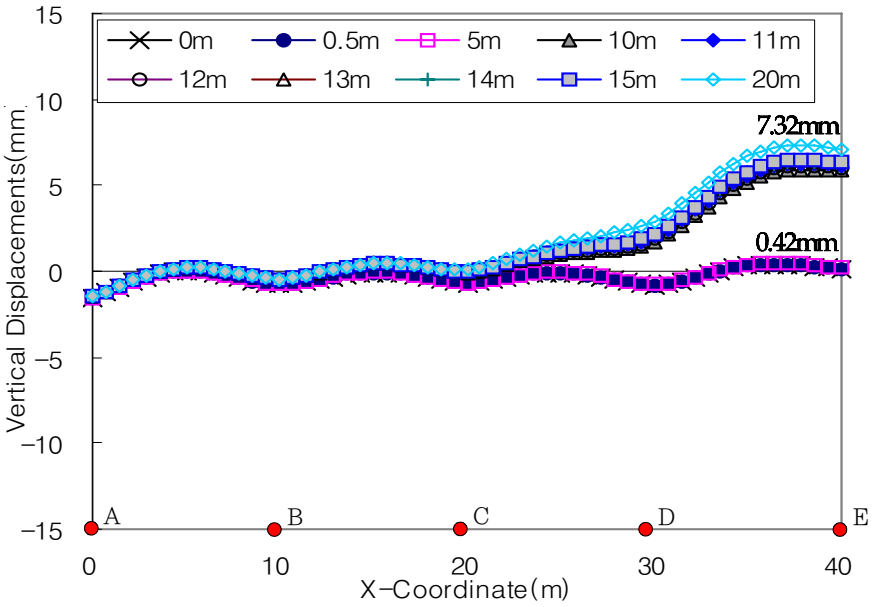
(h) 수두차 15.0m



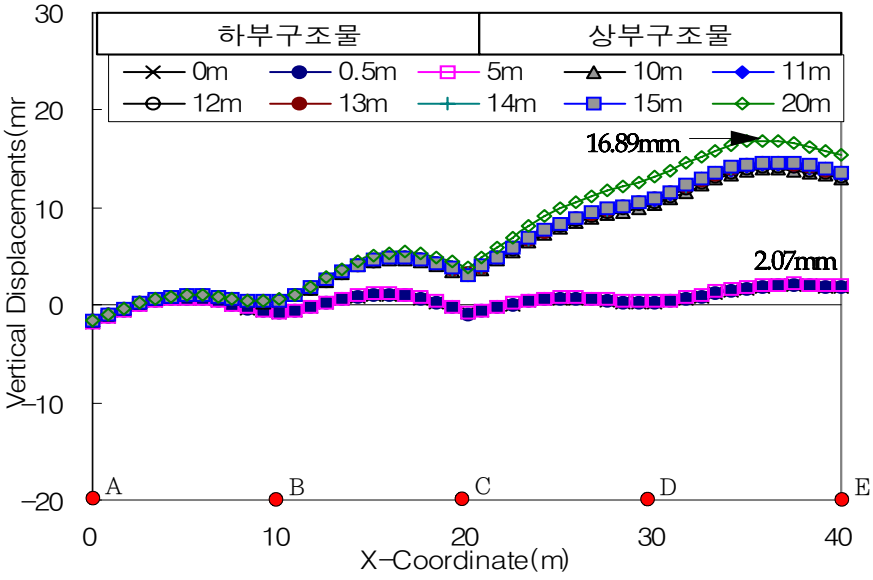
(i) 수두차 20.0m

[그림 7-48] 가변형 통합 지하주차장 수위차에 따른 간극수압의 등고선 3

2.4.3 수위변화로 인한 구조물 저면의 연직변위 및 휨모멘트



(a) 통합 지하주차장



(b) 가변형 통합 지하주차장

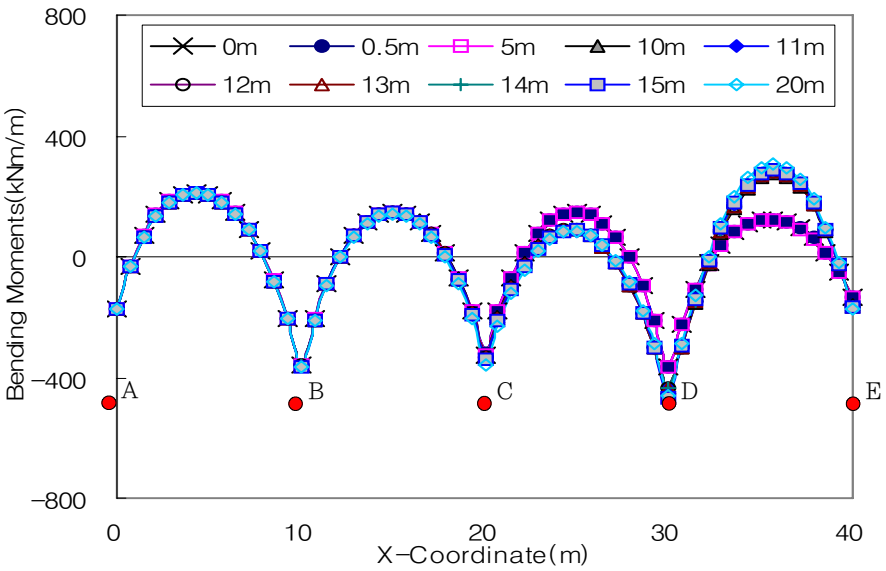
[그림 7-49] 양압력 변화로 인한 구조물 저면의 변위

[표 7-20] 양압력 변화로 인한 구조물 저면의 변위(mm)(통합 지하주차장)

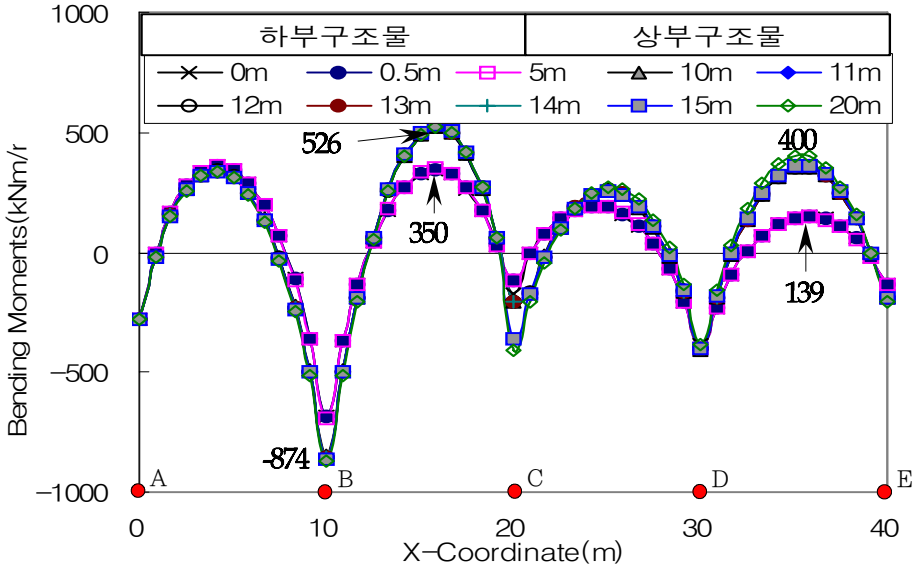
수두차. / X-Coor(m)	0.0m	5m	10m	11m	12m	13m	14m	15m	20m	비고
0.00	-1.59	-1.58	-1.49	-1.49	-1.49	-1.49	-1.49	-1.49	-1.49	A
1.43	-0.92	-0.92	-0.81	-0.81	-0.81	-0.81	-0.81	-0.81	-0.80	
2.86	-0.35	-0.35	-0.22	-0.22	-0.22	-0.22	-0.22	-0.22	-0.21	
4.29	-0.03	-0.02	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.14	
5.00	0.02	0.03	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.21	
6.43	-0.08	-0.07	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	
7.86	-0.37	-0.36	-0.12	-0.12	-0.12	-0.12	-0.12	-0.12	-0.12	
8.57	-0.54	-0.53	-0.27	-0.27	-0.27	-0.27	-0.27	-0.27	-0.27	
10.00	-0.78	-0.76	-0.46	-0.46	-0.46	-0.46	-0.46	-0.46	-0.46	B
11.43	-0.60	-0.58	-0.23	-0.23	-0.23	-0.23	-0.23	-0.23	-0.23	
12.86	-0.30	-0.28	0.11	0.11	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	
13.57	-0.18	-0.16	0.26	0.26	0.26	0.27	0.26	0.27	0.27	
15.00	-0.06	-0.04	0.42	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0.44	
16.43	-0.15	-0.12	0.39	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.43	
17.86	-0.39	-0.37	0.19	0.20	0.20	0.20	0.22	0.22	0.27	
18.57	-0.53	-0.51	0.07	0.09	0.09	0.09	0.11	0.11	0.17	
20.00	-0.72	-0.69	-0.07	-0.04	-0.04	-0.04	-0.01	-0.01	0.10	C
21.43	-0.53	-0.51	0.18	0.23	0.22	0.22	0.27	0.27	0.45	
22.86	-0.26	-0.23	0.55	0.63	0.61	0.61	0.69	0.69	0.96	
23.57	-0.15	-0.12	0.73	0.82	0.79	0.79	0.89	0.90	1.21	
25.00	-0.07	-0.04	0.99	1.13	1.08	1.07	1.22	1.23	1.64	
26.43	-0.20	-0.16	1.14	1.32	1.25	1.23	1.43	1.45	1.96	
27.86	-0.47	-0.43	1.24	1.47	1.37	1.35	1.59	1.61	2.22	
28.57	-0.62	-0.58	1.32	1.57	1.46	1.43	1.70	1.73	2.38	
30.00	-0.80	-0.75	1.70	2.00	1.87	1.83	2.14	2.17	2.91	D
31.43	-0.54	-0.50	2.63	2.97	2.82	2.78	3.12	3.15	3.96	
32.86	-0.15	-0.11	3.76	4.13	3.97	3.92	4.29	4.33	5.19	
33.57	0.03	0.08	4.30	4.68	4.52	4.46	4.85	4.88	5.76	
35.00	0.31	0.35	5.19	5.58	5.42	5.35	5.75	5.79	6.68	
36.43	0.41	0.46	5.73	6.11	5.96	5.89	6.28	6.32	7.20	
37.86	0.36	0.42	5.92	6.27	6.14	6.07	6.44	6.48	7.32	
38.57	0.30	0.36	5.91	6.25	6.13	6.06	6.42	6.45	7.27	
40.00	0.18	0.25	5.84	6.15	6.05	5.98	6.31	6.34	7.10	E

[표 7-21] 양압력 변화로 인한 구조물 저면의 변위(mm)(가변형 통합 지하주차장)

수두차 / X-Coor(m)	0.0m	5m	10m	11m	12m	13m	14m	15m	20m	비고
0.00	-1.78	-1.77	-1.63	-1.64	-1.64	-1.63	-1.63	-1.63	-1.65	A
1.67	-0.55	-0.53	-0.37	-0.37	-0.37	-0.37	-0.37	-0.37	-0.38	
3.33	0.38	0.40	0.62	0.61	0.61	0.62	0.62	0.62	0.61	
4.17	0.62	0.64	0.90	0.89	0.89	0.90	0.90	0.90	0.89	
5.00	0.70	0.72	1.02	1.01	1.02	1.02	1.02	1.03	1.02	
6.67	0.39	0.42	0.85	0.85	0.85	0.86	0.86	0.86	0.87	
8.33	-0.27	-0.24	0.43	0.43	0.44	0.45	0.46	0.47	0.49	
9.17	-0.58	-0.55	0.32	0.33	0.33	0.35	0.36	0.37	0.41	
10.00	-0.73	-0.69	0.43	0.45	0.45	0.48	0.48	0.50	0.57	B
11.67	-0.18	-0.12	1.70	1.74	1.73	1.78	1.79	1.82	1.95	
13.33	0.62	0.69	3.32	3.38	3.37	3.44	3.45	3.50	3.72	
14.17	0.92	1.00	3.99	4.06	4.05	4.13	4.14	4.19	4.46	
15.00	1.10	1.18	4.48	4.56	4.54	4.63	4.64	4.69	5.02	
15.83	1.12	1.21	4.73	4.82	4.81	4.90	4.91	4.96	5.34	
17.50	0.69	0.78	4.52	4.63	4.62	4.71	4.72	4.77	5.27	
19.17	-0.22	-0.13	3.56	3.69	3.68	3.77	3.78	3.83	4.45	
20.00	-0.94	-0.85	2.99	3.13	3.12	3.20	3.21	3.11	3.80	C
21.67	-0.20	-0.10	4.62	4.82	4.80	4.90	4.92	4.96	5.90	
23.33	0.39	0.52	6.43	6.69	6.66	6.79	6.81	6.86	8.07	
24.17	0.58	0.70	7.23	7.52	7.48	7.62	7.64	7.69	9.05	
25.00	0.67	0.80	7.91	8.24	8.19	8.34	8.36	8.41	9.92	
26.67	0.61	0.75	8.93	9.31	9.24	9.42	9.46	9.51	11.26	
28.33	0.34	0.49	9.62	10.04	9.95	10.15	10.20	10.25	12.22	
29.17	0.22	0.37	9.95	10.38	10.27	10.49	10.55	10.60	12.65	
30.00	0.20	0.35	10.35	10.79	10.67	10.90	10.97	11.02	13.14	D
31.67	0.64	0.80	11.62	12.07	11.92	12.18	12.27	12.31	14.55	
33.33	1.26	1.42	12.91	13.37	13.20	13.49	13.59	13.63	15.91	
34.17	1.53	1.69	13.42	13.87	13.69	13.99	14.10	14.13	16.41	
35.00	1.75	1.92	13.78	14.22	14.04	14.35	14.46	14.49	16.74	
35.83	1.91	2.07	13.97	14.40	14.22	14.53	14.65	14.68	16.89	
37.50	2.01	2.19	13.89	14.28	14.11	14.43	14.55	14.57	16.65	
38.33	1.98	2.16	13.66	14.03	13.87	14.18	14.30	14.32	16.32	
40.00	1.87	2.07	13.07	13.39	13.25	13.56	13.67	13.69	15.50	E



(a) 통합 지하주차장



(b) 가변형 통합 지하주차장

[그림 7-50] 양압력 변화로 인한 구조물 저면의 휨모멘트

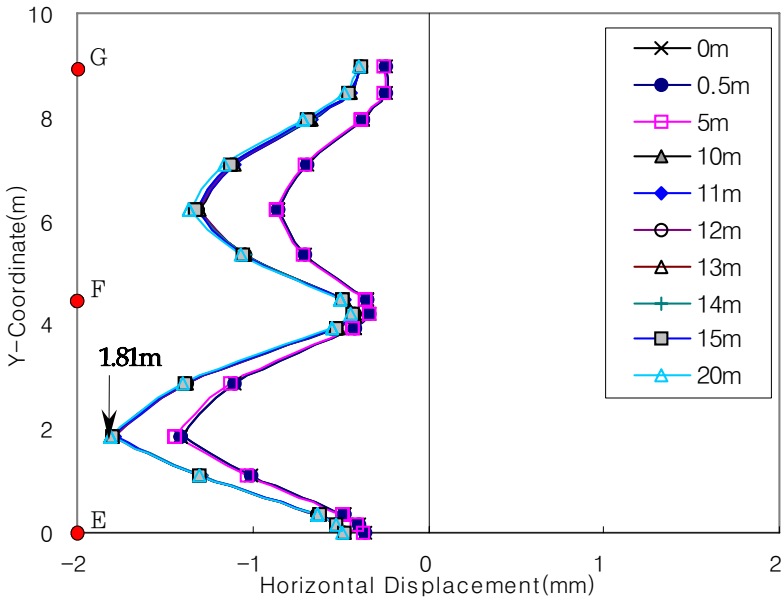
[표 7-22] 양압력 변화로 인한 구조물 저면의 휨모멘트(kN·m/m)(통합 지하주차장)

수두차 / X-Coor(m)	0.0m	5m	10m	11m	12m	13m	14m	15m	20m	비고
0.00	-171.29	-171.48	-174.98	-174.91	-175.00	-175.04	-174.95	-174.94	-174.91	A
1.43	70.94	70.71	65.76	65.78	65.72	65.70	65.75	65.74	65.81	
2.86	184.22	184.00	179.23	179.28	179.21	179.19	179.27	179.27	179.46	
4.29	214.35	214.17	210.47	210.56	210.49	210.47	210.59	210.60	210.94	
5.00	205.56	205.41	202.32	202.43	202.36	202.33	202.47	202.48	202.86	
6.43	145.64	145.55	143.50	143.59	143.54	143.53	143.64	143.64	143.99	
7.86	17.94	17.91	16.24	16.16	16.21	16.23	16.16	16.14	16.17	
8.57	-78.73	-78.74	-80.61	-80.85	-80.72	-80.67	-80.90	-80.94	-81.26	
10.00	-357.62	-357.70	-359.43	-360.21	-359.80	-359.67	-360.46	-364.18	-365.59	B
11.43	-89.55	-89.58	-91.30	-91.75	-91.56	-91.52	-91.97	-92.01	-93.34	
12.86	67.84	67.83	68.30	67.79	67.97	67.95	67.42	67.41	65.26	
13.57	112.74	112.74	113.81	113.15	113.37	113.35	112.64	112.63	109.74	
15.00	148.87	148.88	150.32	149.12	149.52	149.51	148.22	148.19	143.17	
16.43	118.27	118.29	119.02	117.05	117.72	117.75	115.60	115.55	107.77	
17.86	15.13	15.14	14.01	11.17	12.16	12.25	9.13	9.02	-1.56	
18.57	-70.24	-70.25	-72.82	-76.03	-74.89	-74.76	-78.31	-78.45	-90.06	
20.00	-323.12	-323.30	-330.32	-333.86	-332.57	-332.32	-336.30	-342.26	-357.18	C
21.43	-69.32	-69.42	-95.54	-103.27	-99.73	-98.69	-107.04	-107.76	-123.67	
22.86	77.94	77.89	35.62	28.49	33.15	35.03	26.50	25.39	17.04	
23.57	119.37	119.34	70.71	65.23	69.31	71.45	64.51	63.53	57.86	
25.00	148.75	148.76	88.91	86.18	88.33	89.78	87.27	86.59	86.14	
26.43	111.91	111.97	35.03	34.42	34.66	35.40	36.32	36.01	39.79	
27.86	-1.65	-1.51	-94.53	-93.26	-94.65	-94.46	-91.43	-91.34	-84.39	
28.57	-93.57	-93.37	-188.77	-186.61	-188.64	-188.69	-185.02	-184.75	-176.64	
30.00	-367.69	-367.51	-438.14	-434.41	-437.27	-437.67	-433.47	-468.35	-463.44	D
31.43	-108.61	-108.75	-152.22	-145.52	-149.85	-150.22	-144.27	-143.41	-130.64	
32.86	40.20	39.71	79.72	90.19	84.44	83.72	92.58	93.72	111.85	
33.57	83.20	82.52	162.40	174.11	168.03	167.07	177.05	178.21	197.94	
35.00	123.30	122.20	259.49	272.01	266.07	264.39	275.72	276.74	297.45	
35.71	123.63	123.29	273.21	285.21	279.71	277.61	288.97	289.84	309.87	
37.86	60.85	58.90	170.47	176.97	173.92	171.11	178.62	178.93	191.29	
38.57	13.12	11.11	86.08	89.84	87.96	85.52	90.51	90.63	98.27	
40.00	-133.26	-134.65	-162.08	-163.97	-163.27	-163.49	-165.16	-165.48	-170.17	E

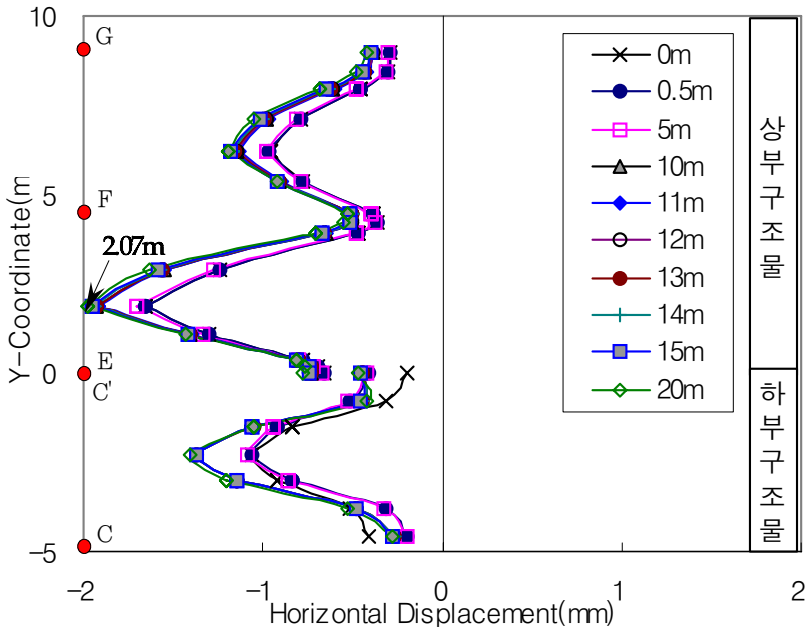
[표 7-23] 양압력 변화로 인한 구조물 저면의 휨모멘트(kN·m/m)(가변형통합 지하주차장)

수두차 / X-Coor(m)	0.0m	5m	10m	11m	12m	13m	14m	15m	20m	비고
0.00	-276.10	-276.73	-281.18	-280.89	-281.06	-281.05	-281.14	-281.10	-281.48	A
1.67	169.27	168.49	154.27	154.43	154.32	153.91	153.87	153.61	153.76	
3.33	338.05	338.08	321.99	321.26	321.39	320.80	320.85	320.32	319.12	
4.17	359.62	360.08	341.33	339.98	340.33	339.61	339.69	339.00	336.66	
5.00	343.67	344.22	317.79	315.97	316.46	315.48	315.56	314.66	311.05	
6.67	199.20	198.67	137.83	135.45	136.00	134.08	133.94	132.52	125.92	
8.33	-113.24	-115.26	-226.48	-229.39	-228.79	-232.20	-232.66	-234.84	-245.39	
9.17	-361.34	-363.75	-492.29	-495.56	-494.83	-498.60	-499.19	-501.43	-513.86	
10.00	-687.29	-690.37	-848.43	-852.24	-851.41	-855.60	-856.40	-858.72	-873.82	B
11.67	-131.02	-133.59	-189.83	-191.81	-191.19	-191.72	-192.02	-191.48	-202.84	
13.33	177.88	179.55	259.23	258.82	257.75	261.46	261.59	264.07	255.41	
14.17	271.00	275.11	402.74	402.91	401.59	406.39	406.64	409.68	402.23	
15.00	326.53	332.00	490.76	491.46	490.16	495.40	495.74	499.04	492.93	
15.83	344.47	350.14	522.26	523.39	522.25	527.39	527.81	531.06	526.28	
17.50	267.44	269.83	411.29	412.85	412.03	415.91	416.34	418.78	416.22	
19.17	31.00	28.75	61.17	62.71	62.45	63.46	63.70	64.20	63.68	
20.00	-115.45	-120.09	-206.33	-205.24	-205.20	-205.71	-205.99	-360.48	-407.88	C
21.67	78.69	78.94	-15.14	-19.72	-16.56	-19.22	-20.46	-19.98	-41.73	
23.33	176.22	177.91	184.62	185.59	188.88	187.53	185.40	186.11	185.95	
24.17	192.32	194.16	234.83	238.06	241.08	240.24	237.90	238.63	247.31	
25.00	187.73	189.54	251.77	256.87	259.49	259.00	256.60	257.34	273.35	
26.67	112.66	114.15	185.14	192.70	194.27	193.96	191.96	192.80	218.63	
28.33	-67.33	-66.22	-16.84	-8.78	-8.12	-8.90	-9.91	-8.86	20.02	
29.17	-206.68	-205.73	-169.12	-161.64	-161.56	-162.40	-162.78	-161.65	-133.83	
30.00	-398.41	-397.97	-407.09	-401.76	-401.48	-403.15	-403.60	-402.33	-383.75	D
31.67	-96.32	-96.50	-13.62	-5.94	-9.25	-7.73	-6.34	-5.52	28.96	
33.33	70.04	69.23	239.48	247.59	241.79	246.53	249.09	248.98	291.32	
34.17	115.48	114.33	312.78	320.61	314.25	319.99	322.83	322.40	365.16	
35.00	140.86	139.34	350.20	357.51	351.12	357.24	360.08	359.66	400.52	
35.83	148.26	146.35	351.50	358.17	352.15	358.02	361.04	360.57	397.11	
37.50	108.94	106.26	245.90	250.94	246.18	250.41	252.79	252.02	274.41	
38.33	57.48	54.53	138.80	142.03	138.50	141.52	142.97	141.91	154.75	
40.00	-132.30	-134.67	-186.45	-188.48	-188.47	-189.24	-189.85	-190.82	-202.64	E

2.4.5 수위변화로 인한 구조물 측면의 변위



(a) 통합 지하주차장



(b) 가변형 통합 지하주차장

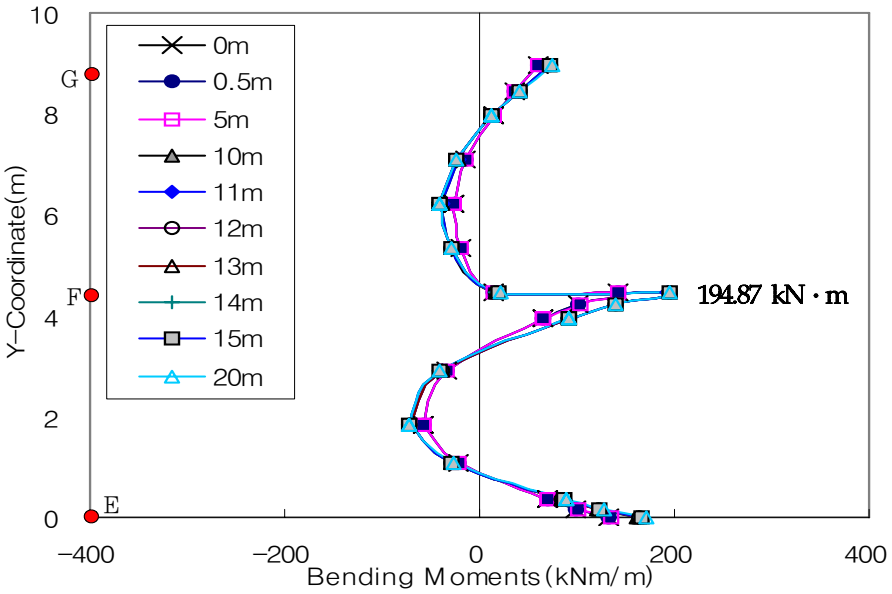
[그림 7-51] 수위변화로 인한 구조물 측면의 변위

[표 7-24] 수위변화로 인한 구조물 측면의 변위(mm)(통합 지하주차장)

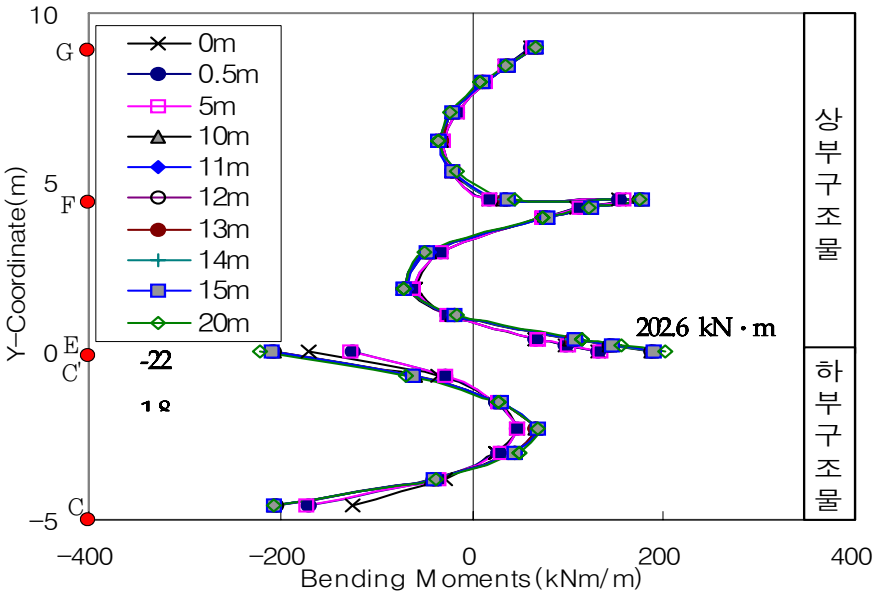
수두차 / Y-Coor(m)	0.0m	5m	10m	11m	12m	13m	14m	15m	20m	비고
8.96	-0.25	-0.25	-0.38	-0.38	-0.38	-0.39	-0.39	-0.39	-0.40	G
8.46	-0.24	-0.25	-0.44	-0.45	-0.45	-0.45	-0.46	-0.46	-0.48	
7.96	-0.38	-0.39	-0.66	-0.67	-0.67	-0.68	-0.68	-0.69	-0.71	
7.96	-0.38	-0.39	-0.66	-0.67	-0.67	-0.68	-0.68	-0.69	-0.71	
7.09	-0.69	-0.70	-1.10	-1.11	-1.12	-1.12	-1.12	-1.13	-1.16	
6.22	-0.86	-0.87	-1.31	-1.31	-1.32	-1.32	-1.33	-1.33	-1.36	
6.22	-0.86	-0.87	-1.31	-1.31	-1.32	-1.32	-1.33	-1.33	-1.36	
5.35	-0.70	-0.71	-1.04	-1.04	-1.05	-1.05	-1.05	-1.05	-1.07	
4.48	-0.35	-0.36	-0.48	-0.48	-0.48	-0.49	-0.49	-0.49	-0.50	F
4.48	-0.35	-0.36	-0.48	-0.48	-0.48	-0.49	-0.49	-0.49	-0.50	F
4.21	-0.33	-0.34	-0.42	-0.42	-0.42	-0.43	-0.43	-0.43	-0.44	
3.94	-0.42	-0.43	-0.52	-0.52	-0.52	-0.52	-0.53	-0.53	-0.54	
3.94	-0.42	-0.43	-0.52	-0.52	-0.52	-0.52	-0.53	-0.53	-0.54	
2.89	-1.11	-1.13	-1.37	-1.37	-1.38	-1.38	-1.38	-1.38	-1.40	
1.84	-1.42	-1.44	-1.80	-1.79	-1.80	-1.81	-1.80	-1.80	-1.81	
1.84	-1.42	-1.44	-1.80	-1.79	-1.80	-1.81	-1.80	-1.80	-1.81	
1.09	-1.01	-1.03	-1.30	-1.29	-1.30	-1.31	-1.30	-1.30	-1.30	
0.34	-0.48	-0.49	-0.63	-0.62	-0.63	-0.63	-0.62	-0.62	-0.63	
0.34	-0.48	-0.49	-0.63	-0.62	-0.63	-0.63	-0.62	-0.62	-0.63	
0.17	-0.40	-0.41	-0.52	-0.52	-0.52	-0.52	-0.52	-0.52	-0.53	
0.00	-0.37	-0.37	-0.47	-0.48	-0.48	-0.48	-0.48	-0.48	-0.49	E

[표 7-25] 수위변화로 인한 구조물 측면의 변위(mm)(가변형통합 지하주차장)

수두차. / X-Coor(m)	0.0m	5m	10m	11m	12m	13m	14m	15m	20m	비고
8.96	-0.29	-0.30	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	G
8.46	-0.30	-0.32	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.5	-0.5	
7.96	-0.46	-0.48	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.7	
7.96	-0.46	-0.48	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.7	
7.09	-0.79	-0.81	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.1	
6.22	-0.96	-0.98	-1.1	-1.1	-1.1	-1.2	-1.2	-1.2	-1.2	
6.22	-0.96	-0.98	-1.1	-1.1	-1.1	-1.2	-1.2	-1.2	-1.2	
5.35	-0.77	-0.79	-0.9	-0.9	-0.9	-0.9	-0.9	-0.9	-0.9	
4.48	-0.39	-0.39	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	F
4.48	-0.39	-0.39	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	F
4.21	-0.36	-0.37	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.6	
3.94	-0.47	-0.48	-0.6	-0.7	-0.7	-0.7	-0.7	-0.7	-0.7	
3.94	-0.47	-0.48	-0.6	-0.7	-0.7	-0.7	-0.7	-0.7	-0.7	
2.89	-1.24	-1.28	-1.5	-1.6	-1.6	-1.6	-1.6	-1.6	-1.6	
1.84	-1.66	-1.71	-1.9	-1.9	-1.9	-1.9	-1.9	-2.0	-2.0	
1.84	-1.66	-1.71	-1.9	-1.9	-1.9	-1.9	-1.9	-2.0	-2.0	
1.09	-1.30	-1.33	-1.4	-1.4	-1.4	-1.4	-1.4	-1.4	-1.4	
0.34	-0.78	-0.80	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	
0.34	-0.78	-0.80	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	
0.17	-0.70	-0.71	-0.7	-0.7	-0.7	-0.7	-0.7	-0.7	-0.8	
0.00	-0.66	-0.68	-0.7	-0.7	-0.7	-0.7	-0.7	-0.7	-0.8	E
0.00	-0.41	-0.42	-0.4	-0.4	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	C'
-0.76	-0.52	-0.53	-0.5	-0.4	-0.5	-0.4	-0.5	-0.5	-0.4	
-1.52	-0.92	-0.94	-1.1	-1.1	-1.1	-1.1	-1.1	-1.1	-1.1	
-1.52	-0.92	-0.94	-1.1	-1.1	-1.1	-1.1	-1.1	-1.1	-1.1	
-2.28	-1.06	-1.09	-1.4	-1.4	-1.4	-1.4	-1.4	-1.4	-1.4	
-3.04	-0.83	-0.86	-1.1	-1.1	-1.1	-1.1	-1.1	-1.1	-1.2	
-3.04	-0.83	-0.86	-1.1	-1.1	-1.1	-1.1	-1.1	-1.1	-1.2	
-3.80	-0.32	-0.33	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	
-4.56	-0.19	-0.20	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	C



(a) 통합 지하주차장



(b) 가변형 통합 지하주차장

[그림 7-52] 수위변화로 인한 구조물 측면의 휨모멘트

[표 7-26] 수위변화로 인한 구조물 측면의 휨모멘트(kN·m/m)(통합 지하주차장)

수두차 / Y-Coor(m)	0.0m	5m	10m	11m	12m	13m	14m	15m	20m	비고
8.96	59.87	60.09	72.95	72.97	73.20	73.21	73.22	73.28	73.60	G
8.46	35.34	35.30	40.32	40.20	40.21	40.09	40.08	40.05	39.81	
7.96	13.99	13.81	13.09	12.90	12.78	12.59	12.54	12.43	11.76	
7.96	13.99	13.81	13.09	12.90	12.78	12.59	12.54	12.43	11.76	
7.09	-14.07	-14.32	-22.46	-22.66	-22.90	-23.09	-23.18	-23.32	-24.23	
6.22	-27.42	-27.61	-39.63	-39.68	-39.92	-40.01	-40.06	-40.18	-40.87	
6.22	-27.42	-27.61	-39.63	-39.68	-39.92	-40.01	-40.06	-40.18	-40.87	
5.35	-20.14	-20.11	-29.96	-29.71	-29.86	-29.72	-29.56	-29.53	-28.99	
4.48	15.21	15.63	16.23	16.96	17.00	17.51	18.06	18.37	21.30	F
4.48	141.26	143.32	194.01	193.44	194.43	194.69	194.14	194.35	194.87	F
4.21	101.09	102.53	139.75	139.22	140.00	140.15	139.64	139.78	139.82	
3.94	65.11	65.97	91.33	90.85	91.44	91.50	91.05	91.11	90.77	
3.94	65.11	65.97	91.33	90.85	91.44	91.50	91.05	91.11	90.77	
2.89	-32.78	-33.42	-39.32	-39.51	-39.51	-39.69	-39.82	-39.91	-40.81	
1.84	-57.24	-58.24	-73.14	-72.83	-73.23	-73.45	-73.12	-73.21	-73.39	
1.84	-57.24	-58.24	-73.14	-72.83	-73.23	-73.45	-73.12	-73.21	-73.39	
1.09	-21.09	-21.63	-29.14	-28.34	-28.91	-29.03	-28.27	-28.26	-27.12	
0.34	69.85	70.45	84.12	85.66	84.96	85.04	86.42	86.63	90.08	
0.34	69.85	70.45	84.12	85.66	84.96	85.04	86.42	86.63	90.08	
0.17	99.56	100.54	120.79	122.50	121.80	121.94	123.47	123.73	127.79	
0.00	133.26	134.65	162.08	163.97	163.27	163.49	165.16	165.48	170.17	E

[표 7-27] 수위변화로 인한 구조물 측면의 휨모멘트(kN·m/m) (가변형통합 지하주차장)

수두차 / X-Coor(m)	0.0m	5m	10m	11m	12m	13m	14m	15m	20m	비고
8.96	62.77	63.15	66.1	65.6	65.7	66.0	66.2	66.3	65.5	G
8.46	35.73	35.62	36.8	36.6	36.4	36.5	36.5	36.3	35.2	
7.96	12.85	12.47	12.0	11.9	11.6	11.5	11.4	11.0	9.6	
7.96	12.85	12.47	12.0	11.9	11.6	11.5	11.4	11.0	9.6	
7.09	-16.31	-16.83	-19.7	-19.6	-20.0	-20.2	-20.5	-20.9	-22.4	
6.22	-29.62	-29.97	-33.5	-33.2	-33.4	-33.7	-34.0	-34.2	-34.4	
6.22	-29.62	-29.97	-33.5	-33.2	-33.4	-33.7	-34.0	-34.2	-34.4	
5.35	-21.18	-21.06	-20.2	-19.5	-19.4	-19.5	-19.6	-19.4	-16.7	
4.48	17.47	18.43	33.3	34.3	35.1	35.3	35.7	36.8	44.4	F
4.48	154.06	157.39	176.8	175.1	176.0	176.7	177.4	178.0	175.8	F
4.21	111.23	113.57	124.3	122.8	123.5	124.0	124.5	124.8	122.2	
3.94	72.86	74.24	77.7	76.4	76.8	77.1	77.5	77.6	74.7	
3.94	72.86	74.24	77.7	76.4	76.8	77.1	77.5	77.6	74.7	
2.89	-32.29	-33.34	-45.5	-45.8	-46.1	-46.2	-46.3	-46.6	-49.2	
1.84	-60.52	-62.15	-70.1	-69.7	-70.2	-70.3	-70.5	-70.9	-70.8	
1.84	-60.52	-62.15	-70.1	-69.7	-70.2	-70.3	-70.5	-70.9	-70.8	
1.09	-25.21	-26.08	-19.5	-18.5	-18.9	-18.9	-18.9	-19.0	-15.7	
0.34	67.10	68.14	103.7	105.5	105.2	105.7	106.1	106.7	115.6	
0.34	67.10	68.14	103.7	105.5	105.2	105.7	106.1	106.7	115.6	
0.17	97.55	99.21	142.8	144.6	144.5	145.1	145.6	146.4	156.7	
0.00	132.30	134.67	186.5	188.5	188.5	189.2	189.9	190.8	202.6	E
0.00	-124.13	-127.27	-205.7	-207.9	-207.4	-208.5	-208.8	-208.8	-221.8	C'
-0.76	-27.55	-28.21	-59.9	-61.2	-61.0	-61.4	-61.7	-61.7	-69.2	
-1.52	26.46	27.24	31.4	30.7	30.6	30.6	30.8	30.7	28.8	
-1.52	26.46	27.24	31.4	30.7	30.6	30.6	30.8	30.7	28.8	
-2.28	46.32	47.54	67.7	67.5	67.3	67.5	67.8	67.7	69.7	
-3.04	28.59	29.31	45.4	45.7	45.7	45.7	45.9	45.8	50.1	
-3.04	28.59	29.31	45.4	45.7	45.7	45.7	45.9	45.8	50.1	
-3.80	-34.40	-34.83	-41.5	-40.8	-40.6	-40.8	-41.0	-41.0	-36.7	
-4.56	-170.70	-172.86	-206.3	-205.2	-205.2	-205.7	-206.0	-206.6	-206.3	C

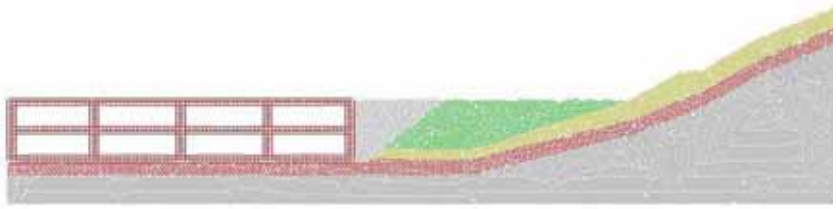
2.5 배면 수위차에 따른 구조물의 균열 안정성 검토

지하주차장 배면 수위차에 따른 양압력 변화로 인한 구조물의 균열 안정성을 검토하기 위하여 PFC2D를 수행하였다.

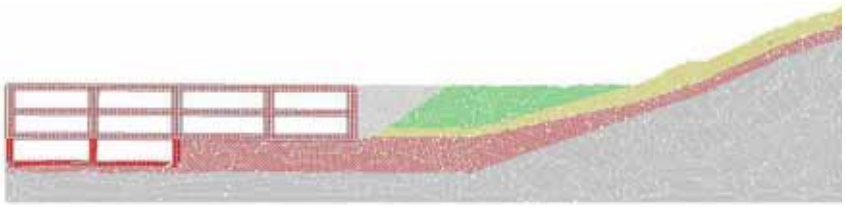
가. 검토단면 및 수위차

구조물배면 원지반 수위는 약 4.0m이며, 산지의 수위를 변화시켜가면서, 구조물배면에 작용하는 양압력의 변화를 파악하였다.

원지반 수위와 산지의 수위차는 10.0m, 15.0m, 20.0m로 적용하였고, 이를 〈그림 3.2.2-7〉에 나타내었다.



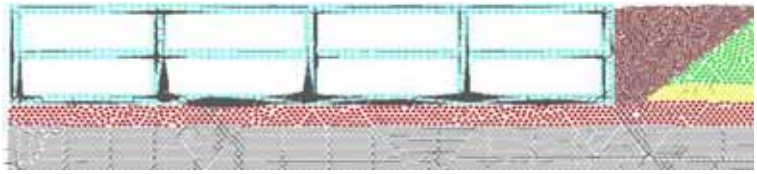
(a) 통합 지하주차장



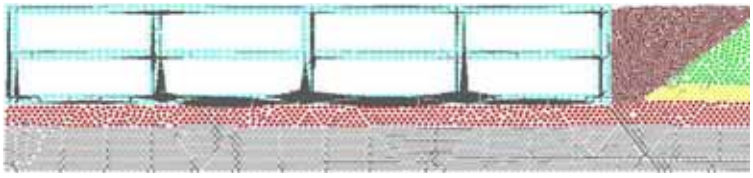
(b) 가변형 통합 지하주차장

[그림 7-53] 배면수위차 발생시 안정성 검토를 위한 입자모델

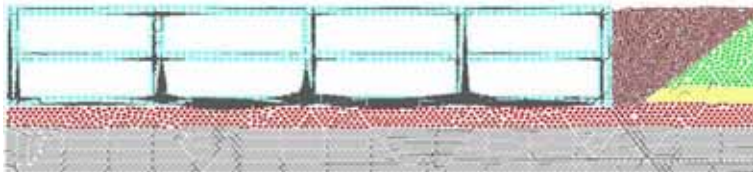
나. 수위차에 따른 입자 접촉력(contact force) 변화



(a) 수두차 10.0m

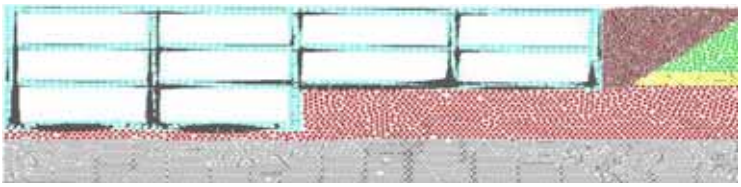


(b) 수두차 15.0m

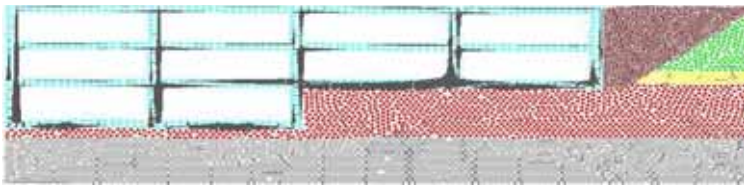


(c) 수두차 20.0m

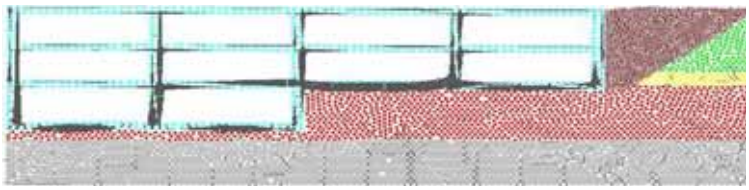
[그림 7-54] 통합 지하주차장 수위차에 따른 접촉력



(a) 수두차 10.0m



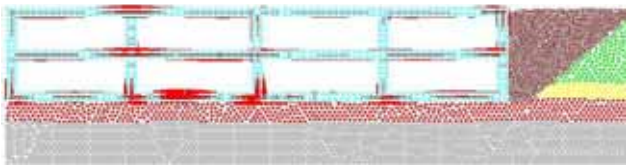
(b) 수두차 15.0m



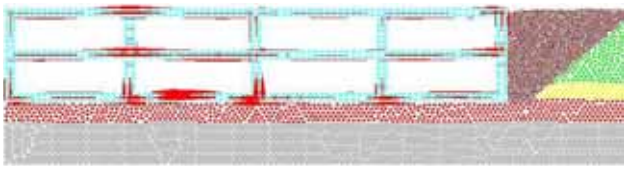
(c) 수두차 20.0m

[그림 7-55] 가변형 통합 지하주차장 수위차에 따른 접촉력

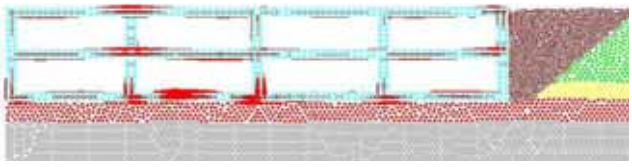
다. 수위차에 따른 입자 결합력(bonding force) 변화



(a) 수두차 10.0m

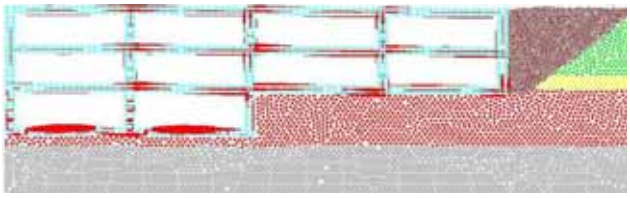


(b) 수두차 15.0m

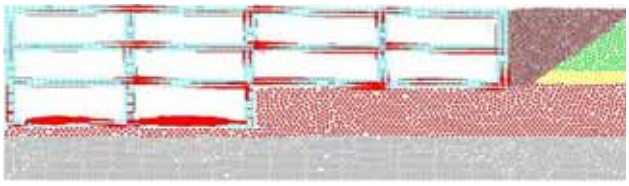


(c) 수두차 20.0m

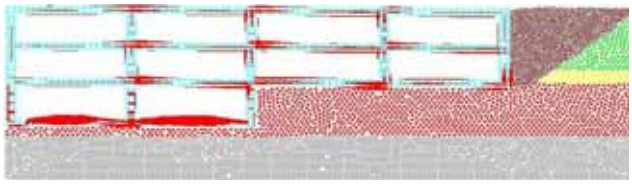
[그림 7-56] 통합 지하주차장 수위차에 따른 결합력



(a) 수두차 10.0m



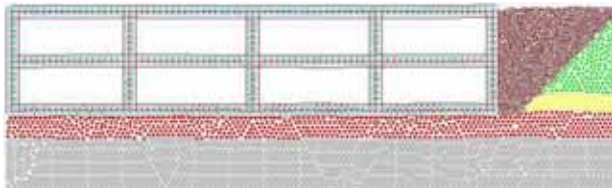
(b) 수두차 15.0m



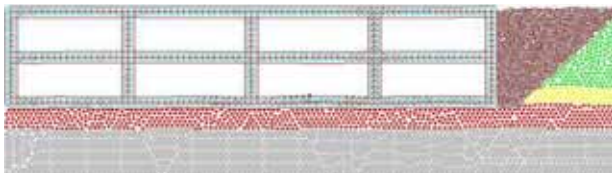
(c) 수두차 20.0m

[그림 7-57] 가변형 통합 지하주차장 수위차에 따른 결합력

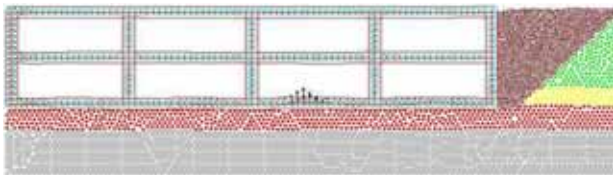
라. 수위차에 따른 입자 결합상태 검토



(a) 수두차 10.0m

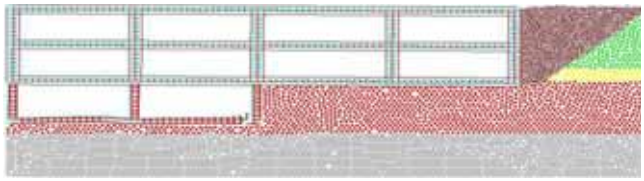


(b) 수두차 15.0m

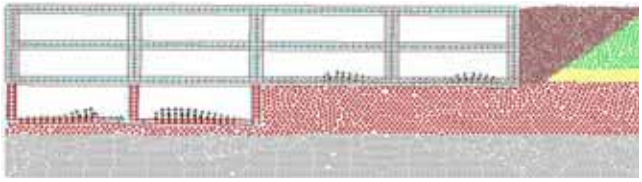


(c) 수두차 20.0m

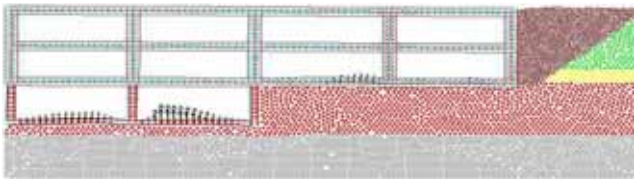
[그림 7-58] 통합 지하주차장 수위차에 따른 결합상태 및 변위



(a) 수두차 10.0m



(b) 수두차 15.0m



(c) 수두차 20.0m

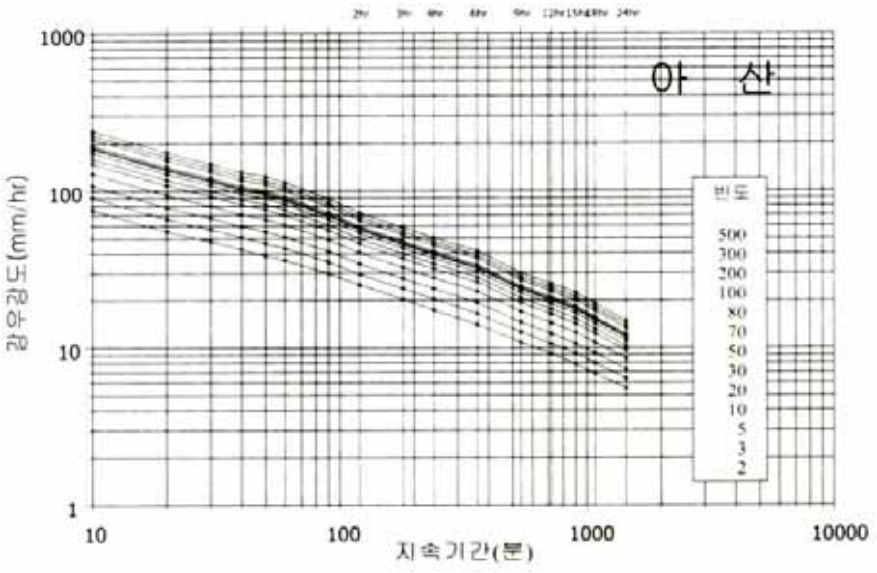
[그림 7-59] 가변형 통합 지하주차장 수위차에 따른 결합상태 및 변위

2.6 강우강도에 따른 구조물의 안정성 검토

2.6.1 개 요

강우강도가 크고, 강우지속시 지하수위는 상승하게 된다. 이로 인해 구조물 저면 및 측벽에 작용하는 수압이 증가하여, 지하구조물의 내구성을 저하시켜 균열을 유발할 수 있다. 따라서, 아산지점의 강우강도를 고려한 침투해석을 실시하여 강우강도~지속시간에 따른 수위변화 및 양압력을 파악하고, 이를 구조물의 안정에 미치는 영향을 분석코자 한다.

2.6.2 적용 강우강도



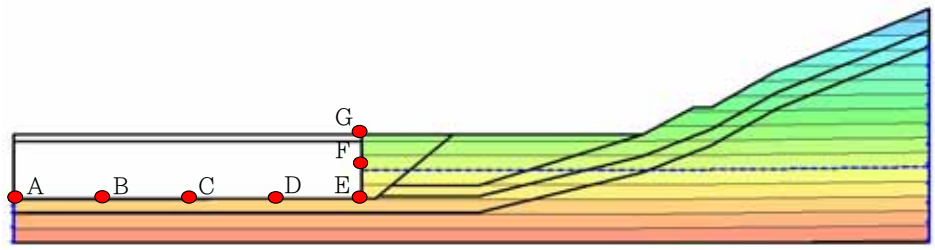
[그림 7-60] 아산지역 강우지속시간-강우강도

[표 7-28] 적용 강우강도

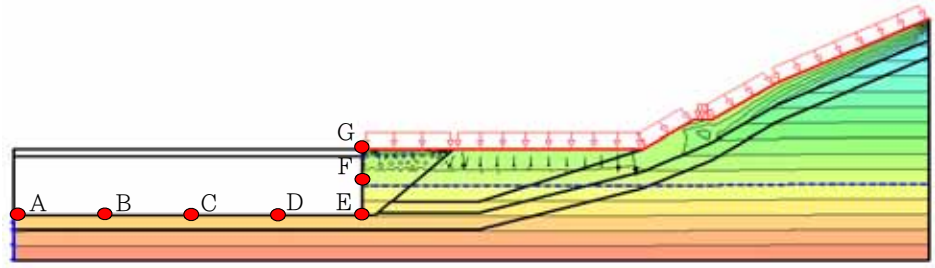
강우지속기간		1시간	6시간	12시간	24시간
확률빈도 강우강도(mm/hr)	30년	75.7	28.1	17.5	10.3
	100년	91.6	33.8	20.9	12.2

2.6.3 강우강도에 따른 구조물 바닥에서의 양압력 변화

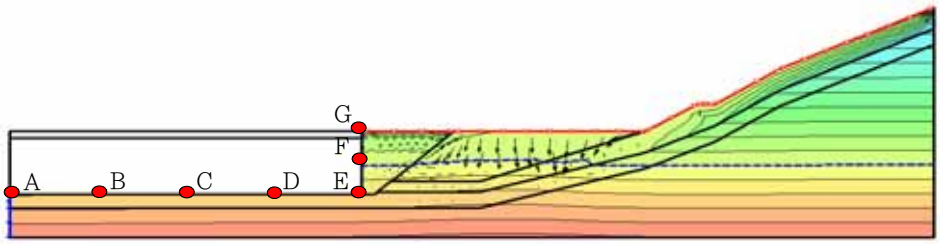
가. 강우에 따른 지하수위의 변화



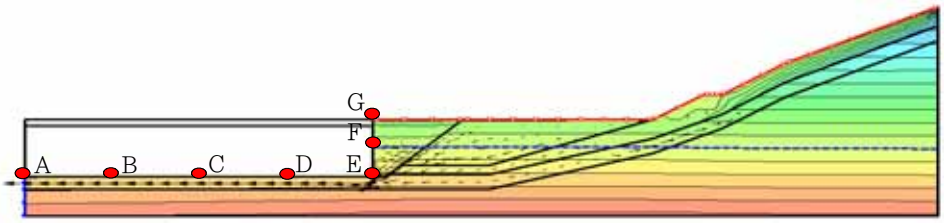
(a) 초기조건



(b) 강우시작

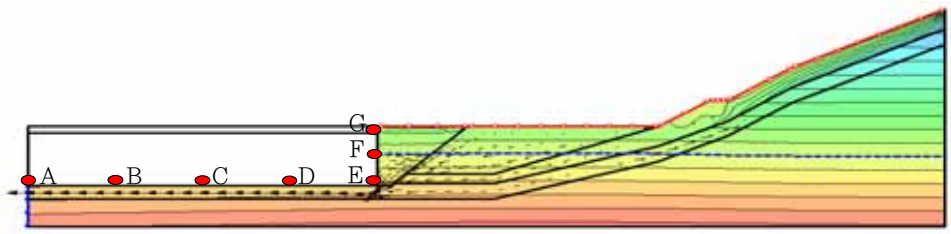


(c) 강우종료(1일)

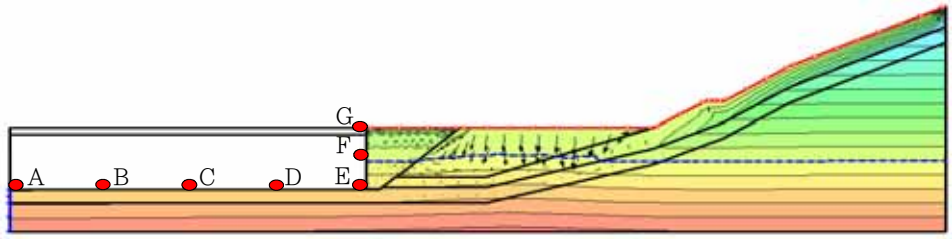


(d) 강우종료후 60일 경과

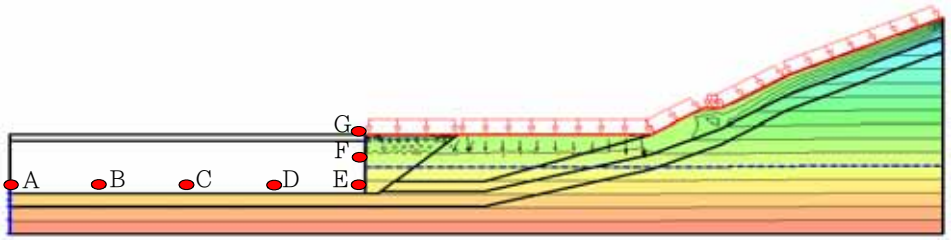
[그림 7-52]강우에 따른 지하수위의 변화(강우강도 30년 빈도)



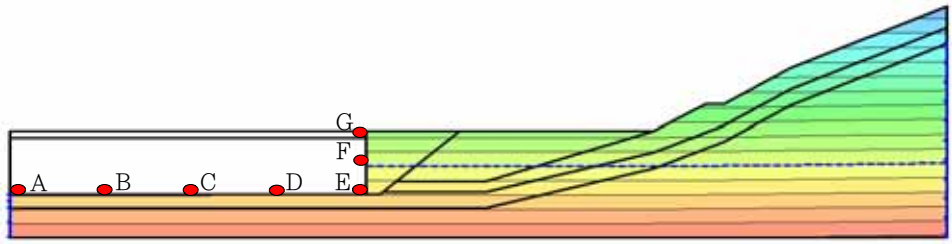
(a) 초기조건



(b) 강우시작



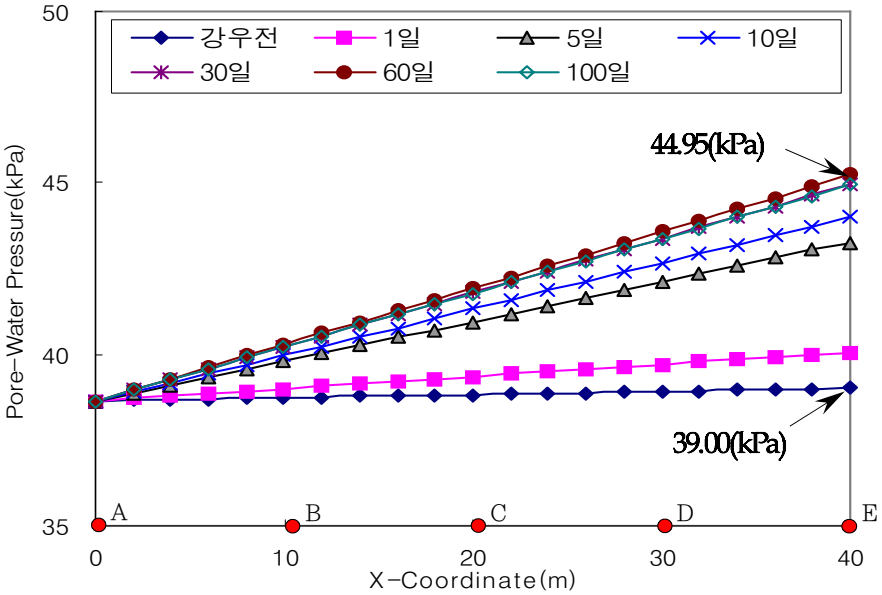
(c) 강우종료(1일)



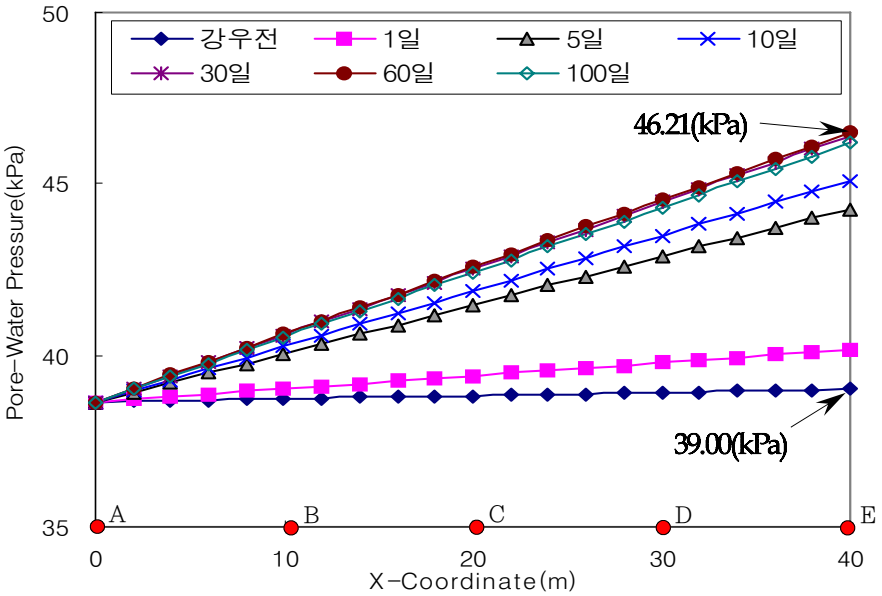
(d) 강우종료후 60일 경과

[그림 7-53] 강우에 따른 지하수위의 변화(강우강도 100년 빈도)

나. 구조물 저면에 작용하는 양압력과 측면에 작용하는 수압의 변화



(a) 강우강도 30년 빈도



(b) 강우강도 100년 빈도

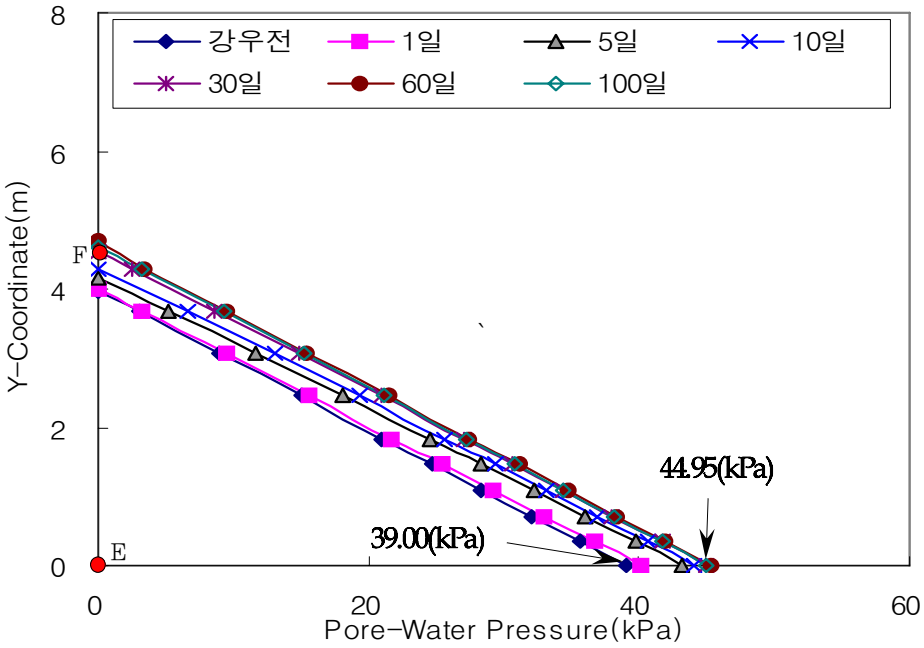
[그림 7-54] 강우시 구조물 바닥에서 작용하는 양압력의 변화

[표 7-29] 강우시 구조물 바닥에서 작용하는 양압력(kPa)의 변화 (30년 빈도)

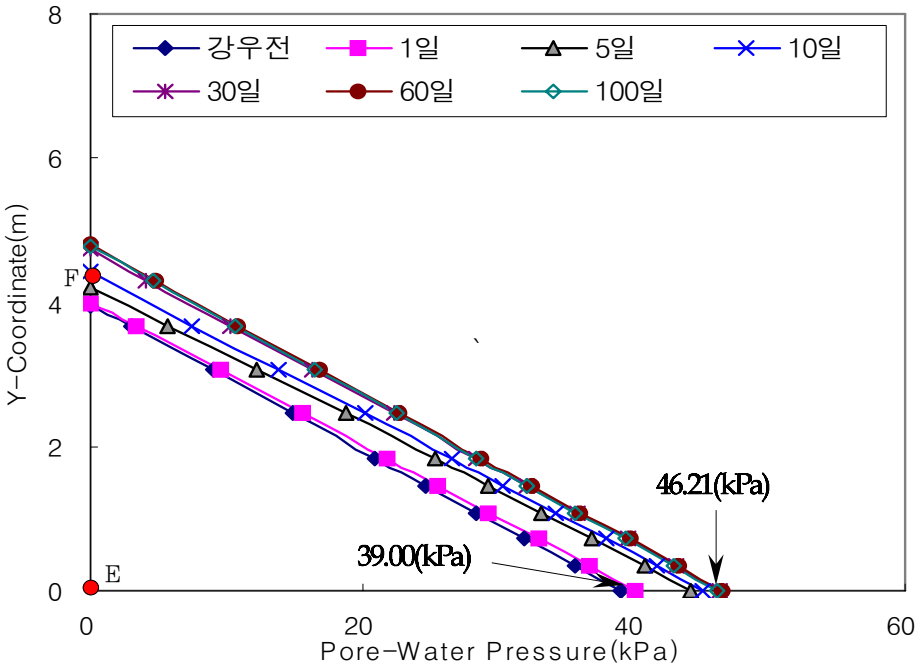
강우지속시간 / X-Coor(m)	강우전	강우후 1일 경과	강우후 5일 경과	강우후 10일 경과	강우후 30일 경과	강우후 60일 경과	강우후 100일 경과	비고
0	38.64	38.64	38.64	38.64	38.64	38.64	38.64	A
2	38.66	38.71	38.87	38.91	38.96	38.97	38.95	
4	38.68	38.78	39.10	39.17	39.27	39.30	39.27	
6	38.69	38.85	39.33	39.44	39.59	39.63	39.58	
8	38.71	38.92	39.56	39.71	39.90	39.95	39.90	
10	38.73	39.00	39.80	39.98	40.22	40.28	40.21	B
12	38.75	39.07	40.03	40.24	40.54	40.61	40.53	
14	38.77	39.14	40.26	40.51	40.85	40.94	40.84	
16	38.78	39.21	40.49	40.78	41.17	41.27	41.16	
18	38.80	39.28	40.72	41.05	41.49	41.60	41.47	
20	38.82	39.35	40.95	41.31	41.80	41.93	41.79	C
22	38.84	39.42	41.18	41.58	42.12	42.25	42.10	
24	38.86	39.49	41.41	41.85	42.44	42.58	42.41	
26	38.88	39.56	41.65	42.12	42.75	42.91	42.73	
28	38.89	39.64	41.88	42.39	43.07	43.24	43.04	
30	38.91	39.71	42.11	42.65	43.38	43.57	43.36	D
32	38.93	39.78	42.34	42.92	43.70	43.90	43.67	
34	38.95	39.85	42.57	43.19	44.02	44.23	43.99	
36	38.97	39.92	42.80	43.46	44.33	44.55	44.30	
38	38.98	39.99	43.03	43.72	44.65	44.88	44.62	
40	39.00	40.06	43.25	43.98	44.98	45.23	44.95	E

[표 7-30] 강우시 구조물 바닥에서 작용하는 양압력(kPa)의 변화 (100년 빈도)

강우지속시간 / X-Coor(m)	강우전	강우후 1일 경과	강우후 5일 경과	강우후 10일 경과	강우후 30일 경과	강우후 60일 경과	강우후 100일 경과	비고
0	38.64	38.64	38.64	38.64	38.64	38.64	38.64	A
2	38.66	38.72	38.92	38.96	39.03	39.03	39.02	
4	38.68	38.79	39.20	39.29	39.42	39.43	39.39	
6	38.69	38.87	39.49	39.61	39.80	39.82	39.77	
8	38.71	38.95	39.77	39.93	40.19	40.21	40.15	
10	38.73	39.02	40.05	40.26	40.58	40.60	40.53	B
12	38.75	39.10	40.33	40.58	40.97	41.00	40.90	
14	38.77	39.18	40.62	40.90	41.35	41.39	41.28	
16	38.78	39.25	40.90	41.23	41.74	41.78	41.66	
18	38.80	39.33	41.18	41.55	42.13	42.18	42.04	
20	38.82	39.41	41.46	41.87	42.52	42.57	42.41	C
22	38.84	39.48	41.75	42.20	42.91	42.96	42.79	
24	38.86	39.56	42.03	42.52	43.29	43.36	43.17	
26	38.88	39.64	42.31	42.84	43.68	43.75	43.55	
28	38.89	39.71	42.59	43.17	44.07	44.14	43.92	
30	38.91	39.79	42.87	43.49	44.46	44.54	44.30	D
32	38.93	39.87	43.16	43.81	44.84	44.93	44.68	
34	38.95	39.94	43.44	44.14	45.23	45.32	45.05	
36	38.97	40.02	43.72	44.46	45.62	45.72	45.43	
38	38.98	40.10	44.00	44.78	46.01	46.11	45.81	
40	39.00	40.17	44.26	45.10	46.41	46.52	46.21	E



(a) 강우강도 30년 빈도



(b) 강우강도 100년 빈도

[그림 7-55] 강우시 구조물 측면에서 작용하는 수압의 변화

[표 7-31] 강우시 구조물 측면에서 작용하는 수압(kPa)의 변화 (30년 빈도)

강우전		강우후 1일 경과		강우후 5일 경과		강우후 10일 경과	
Y-Coor (m)	P.W.P (kPa)	Y-Coor (m)	P.W.P (kPa)	Y-Coor (m)	P.W.P (kPa)	Y-Coor (m)	P.W.P (kPa)
3.965	0.00	4	0.00	4.17	0.00	4.29	0.00
3.676	2.97	3.676	3.28	3.676	5.11	3.676	6.66
3.064	8.97	3.064	9.45	3.064	11.66	3.064	13.02
2.452	14.97	2.452	15.60	2.452	18.11	2.452	19.32
1.84	20.97	1.84	21.73	1.84	24.50	1.84	25.57
1.465	24.65	1.465	25.48	1.465	28.38	1.465	29.37
1.09	28.33	1.09	29.23	1.09	32.22	1.09	33.15
0.715	32.00	0.715	32.96	0.715	36.04	0.715	36.90
0.34	35.68	0.34	36.69	0.34	39.84	0.34	40.64
0	39.00	0	40.06	0	43.25	0	43.98

강우후 1일 경과		강우후 5일 경과		강우후 10일 경과	
Y-Coor (m)	P.W.P (kPa)	Y-Coor (m)	P.W.P (kPa)	Y-Coor (m)	P.W.P (kPa)
4.55	0.00	4.7	0.00	4.6	0.00
4.288	2.51	4.288	3.48	4.288	3.26
3.676	8.67	3.676	9.48	3.676	9.25
3.064	14.80	3.064	15.48	3.064	15.23
2.452	20.90	2.452	21.46	2.452	21.20
1.84	26.97	1.84	27.44	1.84	27.17
1.465	30.68	1.465	31.09	1.465	30.82
1.09	34.37	1.09	34.74	1.09	34.46
0.715	38.05	0.715	38.38	0.715	38.10
0.34	41.71	0.34	42.00	0.34	41.72
0	44.98	0	45.23	0	44.95

[표 7-32] 강우시 구조물 측면에서 작용하는 수압(kPa)의 변화 (100년 빈도)

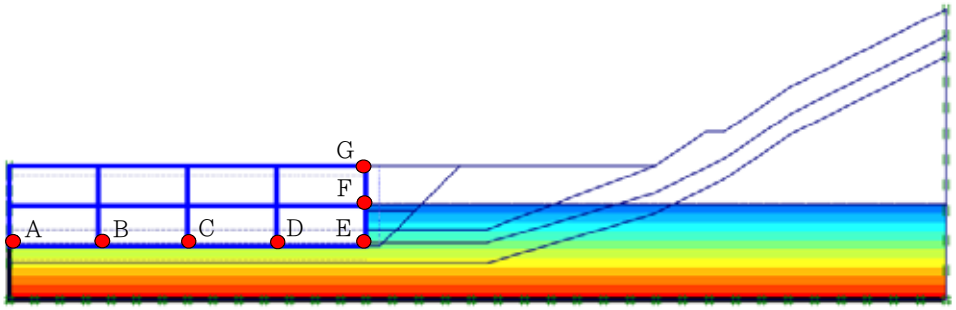
강우전		강우후 1일 경과		강우후 5일 경과		강우후 10일 경과	
Y-Coor (m)	P.W.P (kPa)	Y-Coor (m)	P.W.P (kPa)	Y-Coor (m)	P.W.P (kPa)	Y-Coor (m)	P.W.P (kPa)
3.965	0.00	4	0.00	4.2	0.00	4.42	0.00
3.676	2.97	3.676	3.31	3.676	5.60	3.676	7.40
3.064	8.97	3.064	9.50	3.064	12.28	3.064	13.87
2.452	14.97	2.452	15.66	2.452	18.85	2.452	20.25
1.84	20.97	1.84	21.81	1.84	25.33	1.84	26.57
1.465	24.65	1.465	25.57	1.465	29.26	1.465	30.40
1.09	28.33	1.09	29.32	1.09	33.15	1.09	34.21
0.715	32.00	0.715	33.06	0.715	37.01	0.715	37.99
0.34	35.68	0.34	36.79	0.34	40.83	0.34	41.74
0	39.00	0	40.17	0	44.26	0	45.10

강우후 1일 경과		강우후 5일 경과		강우후 10일 경과	
Y-Coor (m)	P.W.P (kPa)	Y-Coor (m)	P.W.P (kPa)	Y-Coor (m)	P.W.P (kPa)
4.75	0.00	4.8	0.00	4.76	0.00
4.288	4.06	4.288	4.82	4.288	4.61
3.676	10.21	3.676	10.82	3.676	10.59
3.064	16.33	3.064	16.82	3.064	16.56
2.452	22.42	2.452	22.81	2.452	22.53
1.84	28.48	1.84	28.78	1.84	28.49
1.465	32.17	1.465	32.43	1.465	32.13
1.09	35.86	1.09	36.07	1.09	35.77
0.715	39.52	0.715	39.70	0.715	39.39
0.34	43.17	0.34	43.31	0.34	43.00
0	46.41	0	46.52	0	46.21

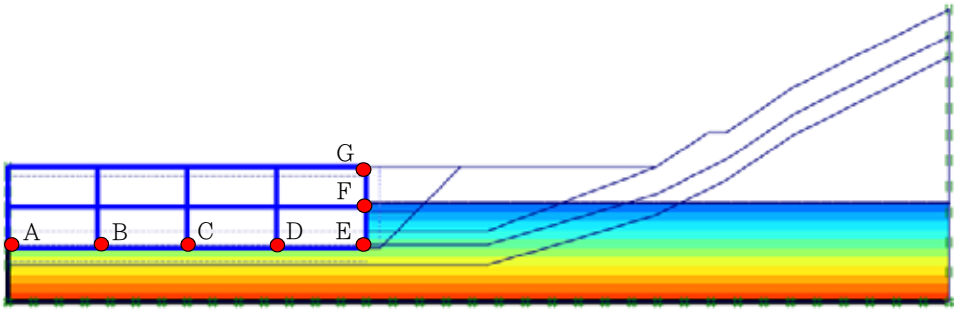
2.7 강우강도에 따른 구조물 바닥 및 측벽에서의 변위 및 휨모멘트

가. 강우강도에 따른 구조물의 응력-변위 거동

강우강도에 따른 구조물 바닥 및 측벽에서의 변위(연직 및 수평) 및 휨모멘트 변화를 파악하기 위하여 Plaxis를 이용하여 응력-변위해석을 실시하였다. 해석에 적용된 강우강도는 30년빈도와 100년빈도에 대해 수치해석을 수행하였으며, 해석결과는 아래 그림에 나타내었다.



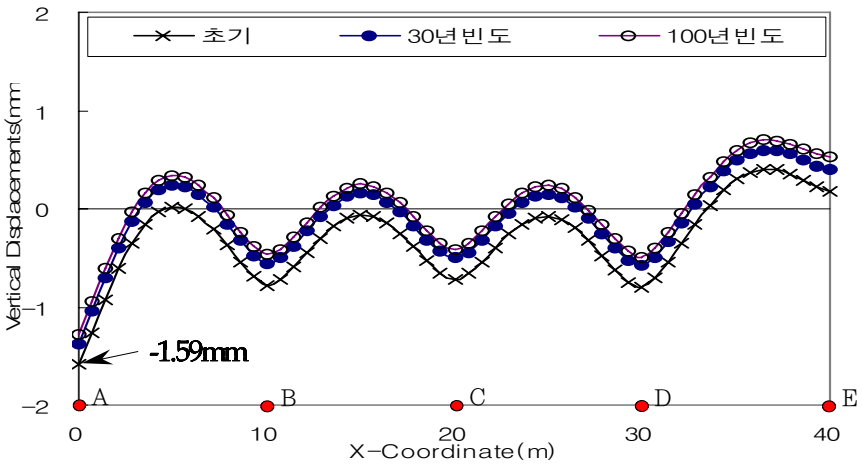
(a) 강우강도 30년 빈도



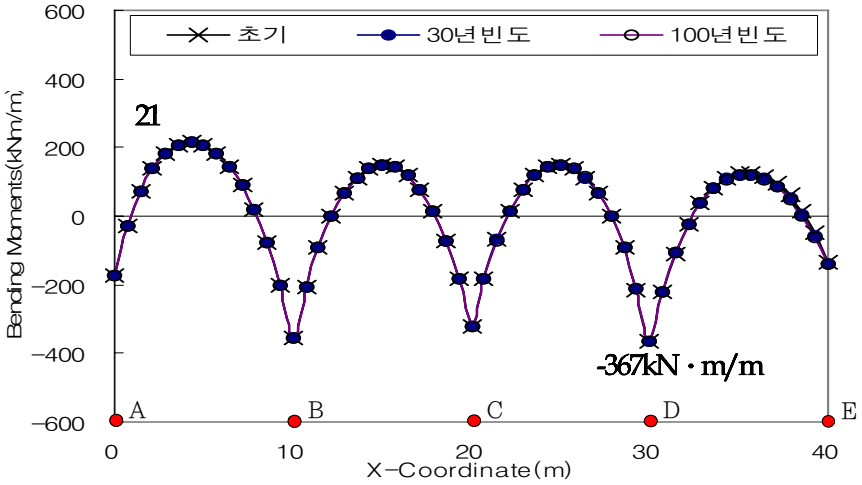
(b) 강우강도 100년 빈도

[그림 7-56] 강우강도에 따른 구조물 배면에서의 간극수압 분포도

나. 강우강도에 따른 구조물 바닥 및 측벽에서의 변위 및 휨모멘트



(a) 연직변위



(b) 휨모멘트

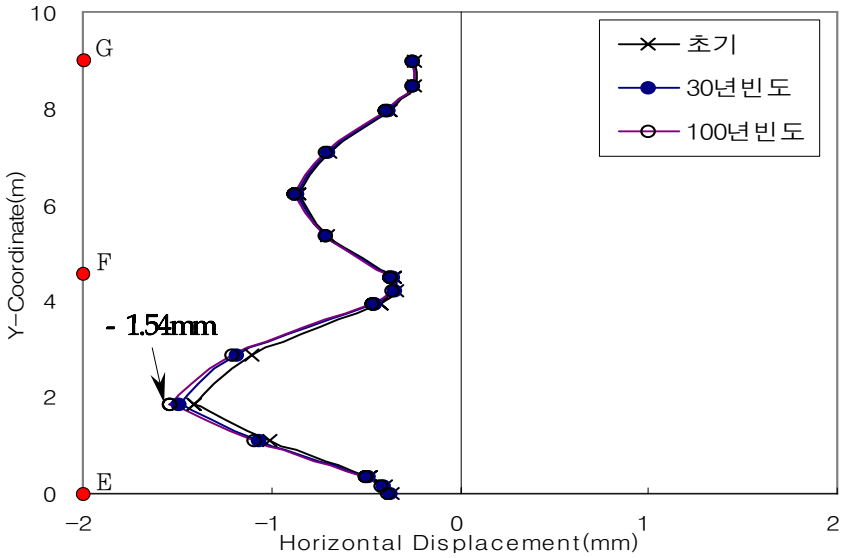
[그림 7-57] 강우강도에 따른 구조물 바닥에서의 연직변위 및 휨모멘트

[표 7-34] 강우강도에 따른 구조물 바닥에서의 연직변위(mm)

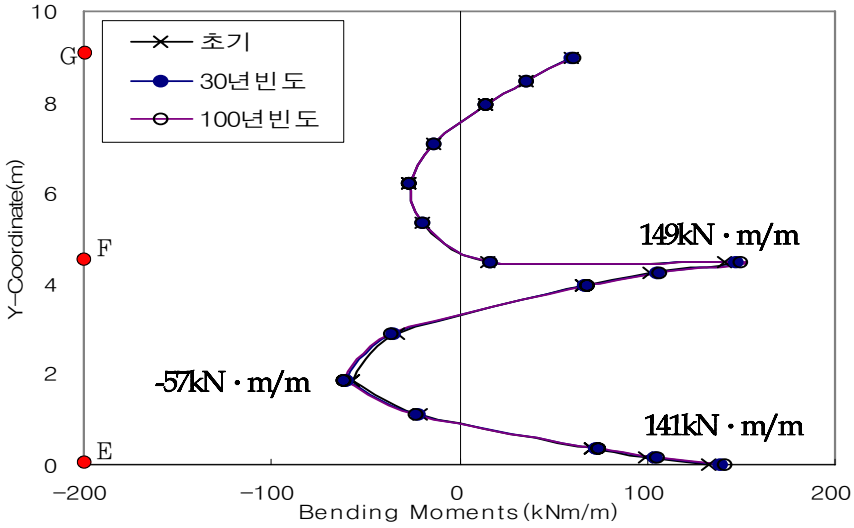
수두차 / X-Coor(m)	초기	30년 빈도	100년 빈도	비고
0.00	-1.59	-1.37	-1.27	A
1.43	-0.92	-0.70	-0.61	
2.86	-0.35	-0.13	-0.04	
4.29	-0.03	0.19	0.28	
5.00	0.02	0.24	0.33	
6.43	-0.08	0.14	0.24	
7.86	-0.37	-0.15	-0.06	
9.29	-0.69	-0.48	-0.38	
10.00	-0.78	-0.56	-0.47	B
11.43	-0.60	-0.38	-0.29	
12.86	-0.30	-0.08	0.01	
14.29	-0.10	0.12	0.21	
15.00	-0.06	0.15	0.25	
15.71	-0.08	0.14	0.23	
17.14	-0.26	-0.04	0.06	
18.57	-0.53	-0.32	-0.22	
20.00	-0.72	-0.50	-0.41	C
21.43	-0.54	-0.32	-0.22	
22.86	-0.26	-0.04	0.05	
23.57	-0.16	0.06	0.16	
25.00	-0.08	0.14	0.24	
26.43	-0.20	0.02	0.12	
27.86	-0.47	-0.25	-0.16	
28.57	-0.62	-0.40	-0.31	
30.00	-0.80	-0.58	-0.49	D
31.43	-0.55	-0.34	-0.24	
32.86	-0.15	0.05	0.14	
33.57	0.03	0.23	0.32	
35.00	0.30	0.50	0.59	
36.43	0.41	0.60	0.70	
37.86	0.36	0.55	0.66	
38.57	0.29	0.50	0.61	
40.00	0.17	0.39	0.52	E

[표 7-35] 강우강도에 따른 구조물 바닥에서의 휨모멘트(kN·m/m)

수두차 / X-Coor(m)	초기	30년 빈도	100년 빈도	비고
0.00	-171.27	-171.24	-171.25	A
1.43	70.96	71.04	71.03	
2.86	184.24	184.16	184.16	
4.29	214.36	214.29	214.29	
5.00	205.57	205.55	205.55	
6.43	145.65	145.58	145.59	
7.86	17.95	17.98	17.99	
9.29	-202.23	-202.20	-202.17	
10.00	-356.20	-357.54	-357.49	B
11.43	-89.54	-89.47	-89.43	
12.86	67.84	67.87	67.90	
14.29	139.33	139.32	139.35	
15.00	148.87	148.85	148.87	
15.71	141.87	141.85	141.86	
17.14	77.13	77.06	77.03	
18.57	-70.24	-70.38	-70.47	
20.00	-323.72	-323.36	-323.55	C
21.43	-69.32	-69.56	-69.65	
22.86	77.94	77.82	77.79	
23.57	119.38	119.40	119.39	
25.00	148.75	149.23	149.26	
26.43	111.90	112.76	112.84	
27.86	-1.67	-0.55	-0.37	
28.57	-93.59	-92.37	-92.12	
30.00	-366.67	-366.08	-365.65	D
31.43	-108.59	-107.64	-107.86	
32.86	40.24	40.64	39.75	
33.57	83.26	83.03	81.78	
35.00	123.40	120.99	118.96	
36.43	115.10	109.50	106.65	
37.86	61.02	52.45	49.03	
38.57	13.30	4.33	0.89	
40.00	-133.14	-138.99	-141.11	E



(a) 수평변위



(b) 휨모멘트

[그림 7-58] 강우강도에 따른 구조물 측벽에서의 수평변위 및 휨모멘트

[표 7-36] 강우강도에 따른 구조물 측벽에서의 수평변위(mm)

수두차 / X-Coor(m)	초기	30년 빈도	100년 빈도	비고
8.96	-0.25	-0.25	-0.26	G
8.46	-0.24	-0.25	-0.26	
7.96	-0.38	-0.39	-0.39	
7.96	-0.38	-0.39	-0.39	
7.09	-0.69	-0.70	-0.71	
6.22	-0.86	-0.87	-0.88	
6.22	-0.86	-0.87	-0.88	
5.35	-0.70	-0.71	-0.72	
4.48	-0.35	-0.36	-0.37	F
4.48	-0.35	-0.36	-0.37	F
4.21	-0.33	-0.35	-0.36	
3.94	-0.42	-0.45	-0.47	
3.94	-0.42	-0.45	-0.47	
2.89	-1.11	-1.18	-1.21	
1.84	-1.41	-1.50	-1.54	
1.84	-1.41	-1.50	-1.54	
1.09	-1.01	-1.06	-1.09	
0.34	-0.47	-0.49	-0.51	
0.34	-0.47	-0.49	-0.51	
0.17	-0.40	-0.41	-0.42	
0	-0.37	-0.37	-0.38	E

[표 7-37] 강우강도에 따른 구조물 측벽에서의 휨모멘트(kN·m/m)

수두차 / X-Coor(m)	초기	30년 빈도	100년 빈도	비고
8.96	59.85	60.04	60.23	G
8.46	35.35	35.18	35.17	
7.96	14.00	13.71	13.63	
7.96	14.00	13.71	13.63	
7.09	-14.04	-14.28	-14.38	
6.22	-27.40	-27.48	-27.56	
6.22	-27.40	-27.48	-27.56	
5.35	-20.14	-19.74	-19.71	
4.48	15.17	16.01	16.14	F
4.48	141.08	147.04	149.85	F
4.21	100.96	104.87	106.75	
3.94	65.03	67.10	68.18	
3.94	65.03	67.10	68.18	
2.89	-32.73	-35.19	-36.16	
1.84	-57.15	-60.43	-61.87	
1.84	-57.15	-60.43	-61.87	
1.09	-21.04	-22.42	-23.16	
0.34	69.79	72.75	73.72	
0.34	69.79	72.75	73.72	
0.17	99.48	103.80	105.31	
0	133.14	138.99	141.11	E

2.8 되메움토의 다짐조건에 따른 지반구조물의 안정성 검토

2.8.1 개 요

국내 시방서에는 구조물 주변 다짐도 기준은 95%로 제시되어 있음. 이는 구조물 주변 되메움시 다짐도를 95%이상으로 함으로써 구조물에 작용하는 토압을 최소화하여 구조물의 장기안정성을 확보하기 위함이다. 따라서, 국내에서 제시된 다짐후 되메움토의 공학적 특성을 분석하고, 설계 및 시공에 이용된 되메움토의 공학적특성을 분석하여 설계기준 만족여부를 파악코자 한다. 또한, 되메움토의 공학적 특성이 설계기준을 만족하지 못할 경우 수치해석을 통해 그 영향을 분석하고자 한다.

2.8.2 설계기준에서 제시된 되메움토의 공학적 특성

국토해양부(2000)에서 발간된 도로설계편람에서는 되메움토의 공학적 특성은 최소 아래 표를 만족하도록 규정하고 있다.

[표 7-38] 되메움토의 단위중량, 내부마찰각, 점착력(국토해양부, 2000)

흙의 종류	상태		단위중량 (tf/m3)	내부마찰각 (°)	점착력 (tf/m2)
자갈섞인 모래	다져진 것		2.0	40.0	0
모래	다져진 것	입도가 좋은 것	2.0	35.0	0
		입도가 나쁜 것	1.9	30.0	0
사질토	다져진 것		1.9	25.0	3 이하
점성토	다져진 것		1.8	15.0	5 이하

모래를 되메움토로 다질 경우 내부 마찰각이 30o이상일 경우 설계기준을 만족하고 있으며, 국내설계시 되메움토의 토질정수는 일반적으로 단위중량은 1.9t/m3, 내부마찰각은 30o ~ 35o , 점착력은 0으로 적용하고 있음

2.8.3 설계 및 시공사례 분석을 통한 흙종류별, 다짐도별 강도정수

사례분석결과, 95%이상의 다짐도를 확보함에도 설계기준을 만족하지 못하고, 90% 다짐시에도 설계기준을 만족하는 것을 나타나고 있다. 다짐도 95%로 설

계를 하였으나, 실제 이 보다 작을 경우에는 구조물에 작용하는 토압이 증가하여 균열 등이 발생할 수 가 있고, 다짐도 90%를 적용하였음에도 설계기준을 만족한다면 경제적인 설계가 가능하다. 따라서, 구조물 되메움 다짐은 일관된 95%다짐보다는 각 현장에서 사용되는 재료를 이용하여 다짐시험을 실시한 후 설계기준 만족여부를 파악함이 필요하다. 이를 통해 과소설계에 의한 구조물 피해를 방지하고, 과다짐으로 인한 경제적 손실을 방지할 수 있다.

[표 7-39] 사례분석을 통한 흙 종류별, 다짐도별 강도정수

사업명	시료	통일 분류	다짐도 95%			다짐도 90%		
			φ, (°)	C, (tf/m2)	설계기준 만족여부	φ, (°)	C, (tf/m2)	설계기준 만족여부
OO 연도교 가설공사	TP-1	SC-SM	34.5	0.73	적 합	32.6	0.69	적 합
	TP-2	SC-SM	30.8	0.82	적 합	29.1	0.78	부적합
	TP-3	SC-SM	27.9	0.97	부적합	26.4	0.92	부적합
OO외곽 순환 고속도로	TP-2	SM	28.9	0.48	부적합	27.4	0.45	부적합
	TP-3	SM	30.9	0.19	적 합	29.3	0.18	부적합
	TP-4	SM	30.2	0.29	적 합	28.6	0.27	부적합
	TP-5	SM	28.8	0.48	부적합	27.3	0.45	부적합
OO 도로 건설공사	TP-1	SM	30.8	1.77	적 합	29.2	1.67	부적합
	TP-2	SM	31.0	1.75	적 합	29.3	1.66	부적합
	TP-3	SM	30.2	1.44	적 합	28.6	1.37	부적합
	TP-4	SM	32.3	1.13	적 합	30.6	1.07	적 합
	TP-5	SM	32.0	1.51	적 합	30.3	1.43	적 합
	TP-6	SM	32.5	1.57	적 합	30.8	1.49	적 합
OO 2교 가설공사	TP-1	SM	34.2	1.41	적 합	32.4	1.34	적 합
	TP-2	SM	35.1	1.10	적 합	33.2	1.04	적 합
	TP-3	SM	33.1	0.94	적 합	31.3	0.89	적 합
	TP-4	SM	34.8	1.09	적 합	32.9	1.03	적 합

2.8.4 다짐도 변화에 따른 구조물에 미치는 영향

가. 다짐도에 따른 되메움토의 설계정수

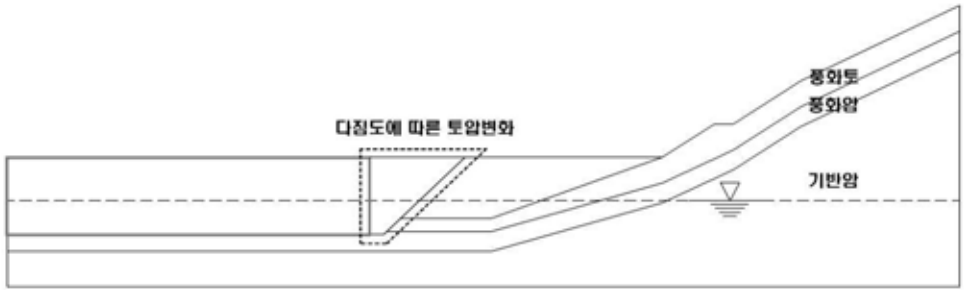
되메움토의 설계정수는 되메움토의 종류, 다짐도, 함수비, 다짐에너지 등에 따라 변화하며, 원칙적으로는 시험에 의해 산정하여야 하나, 본 연구에서는 설계기준과 기존사례를 참조하여 적용하였다. 국내 설계시 되메움토의 토질정수는 일반적으로 단위중량 1.9tf/m³, 내부마찰각 30o~35o, 점착력을 0tf/m²으로 적용하고 있고, 본 연구에서는 수평토압에 영향이 큰 내부마찰각의 변화에 따라 구조몰에 미치는 영향을 파악하였다. 따라서, 내부마찰각은 다짐도

95%일 때 30o를 적용하였으며, 다짐도가 감소할수록 내부마찰각을 감소시켜 적용하였다.

[표 7-40] 다짐도에 따른 되메움토의 설계정수

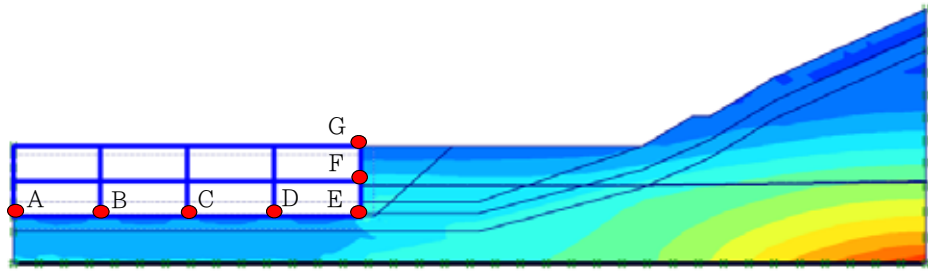
다짐도 (%)	단위중량 γ (tf/m3)	점착력 c (tf/m2)	내부마찰각 ϕ (°)	탄성계수 E (tf/m2)	포아송비 ν	투수계수, K (cm/sec)
95	1.9	0	30	1500	0.35	1.05×10-4
90	1.9	0	28.4	1500	0.35	1.00×10-4
85	1.9	0	26.8	1500	0.35	9.50×10-4
80	1.9	0	25.2	1500	0.35	9.00×10-4

또한, 다짐도에 따라 단위중량, 점착력, 내부마찰각, 탄성계수, 포아송비, 투수계수가 변화하나, 본 연구에서는 내부마찰각만 변수로 하여 수치해석을 실시하였다. 구조물 주면 되메움시 다짐도를 95%, 90%, 85%, 80%로 변화시켜 가면서 구조물에 미치는 영향을 파악하고자 한다.

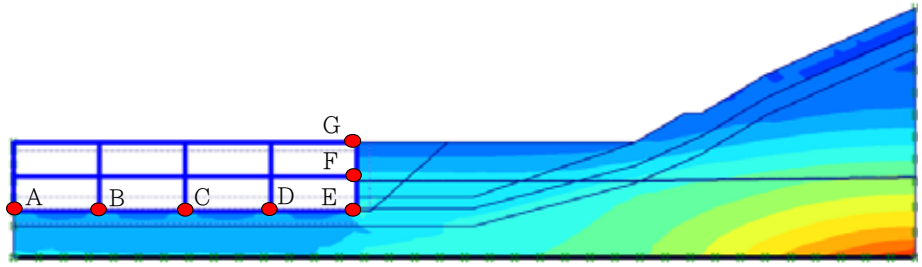


[그림 7-59] 구조물 주변 되메움 영역

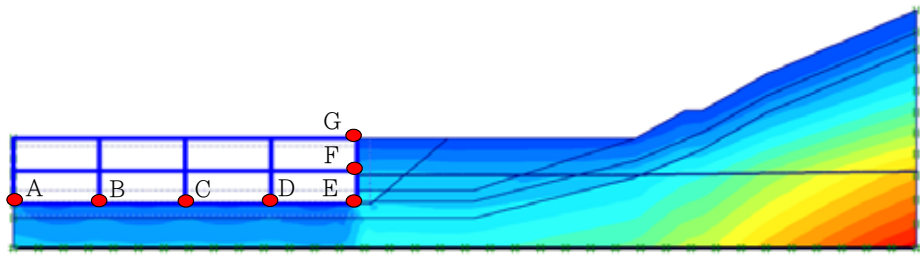
나. 다짐도에 따른 응력-변위 등고선



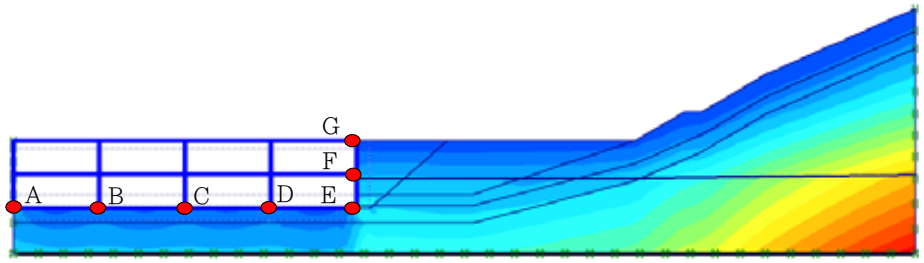
(a) 다짐도 80%



(b) 다짐도 85%



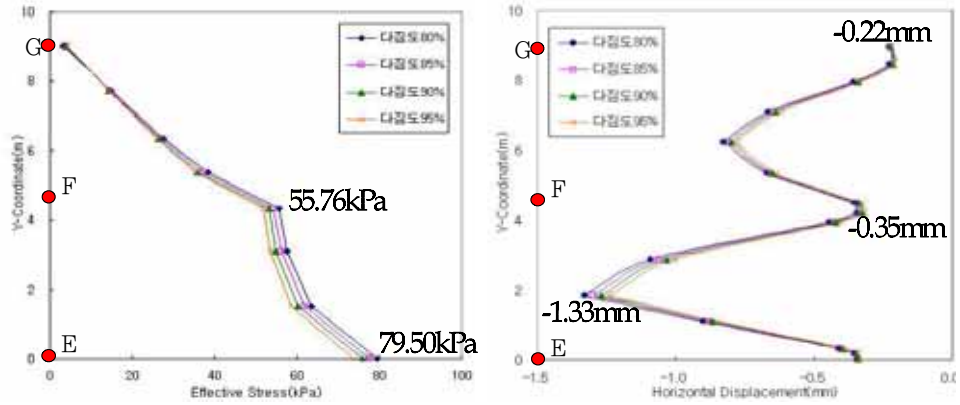
(c) 다짐도 90%



(d) 다짐도 95%

[그림 7-60] 다짐도에 따른 응력-변위 등고선

다. 다짐도에 따른 구조물 측면에 발생하는 수평토압 및 수평변위



(a) 수평토압 (b) 수평변위

[그림 7-61] 다짐도에 따른 구조물 측면에 발생하는 수평토압 및 수평변위

[표 7-41] 다짐도에 따른 구조물 측면에 발생하는 수평토압(kPa)

수두차. / X-Coor(m)	다짐도 95%	다짐도 90%	다짐도 85%	다짐도 80%	비고
9.00	4.28	3.98	3.65	3.33	G
7.74	14.34	14.41	14.67	14.82	
6.34	25.86	26.47	27.01	27.63	
5.38	35.32	35.89	37.34	38.31	
4.31	51.91	53.24	54.43	55.76	F
3.08	53.52	54.81	56.18	57.57	
1.49	58.75	60.24	61.83	63.43	
0.00	73.80	75.82	77.52	79.50	E

[표 7-42] 다짐도에 따른 구조물 측면에 발생하는 수평변위(mm)

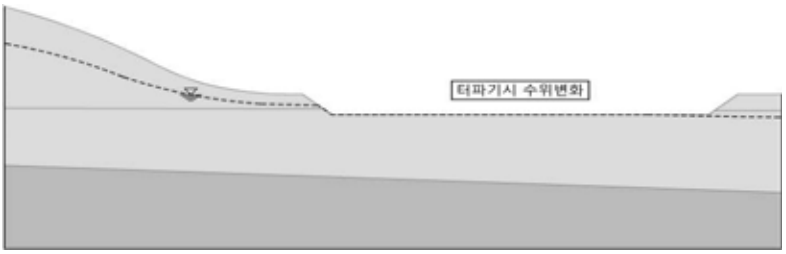
수두차. / X-Coor(m)	다짐도 95%	다짐도 90%	다짐도 85%	다짐도 80%	비고
8.96	-0.22	-0.22	-0.22	-0.22	G
8.46	-0.21	-0.22	-0.22	-0.23	
7.96	-0.33	-0.34	-0.35	-0.36	
7.96	-0.33	-0.34	-0.35	-0.36	
7.09	-0.62	-0.64	-0.65	-0.67	
6.22	-0.78	-0.80	-0.81	-0.83	
6.22	-0.78	-0.80	-0.81	-0.83	
5.35	-0.64	-0.65	-0.66	-0.67	
4.48	-0.33	-0.34	-0.35	-0.35	F
4.48	-0.33	-0.34	-0.35	-0.35	F
4.21	-0.32	-0.33	-0.34	-0.35	
3.94	-0.41	-0.42	-0.43	-0.44	
3.94	-0.41	-0.42	-0.43	-0.44	
2.89	-1.01	-1.04	-1.06	-1.09	
1.84	-1.24	-1.27	-1.30	-1.33	
1.84	-1.24	-1.27	-1.30	-1.33	
1.09	-0.84	-0.86	-0.88	-0.90	
0.34	-0.39	-0.40	-0.40	-0.41	
0.34	-0.39	-0.40	-0.40	-0.41	
0.17	-0.34	-0.35	-0.35	-0.35	
0.00	-0.34	-0.34	-0.34	-0.35	E

2.9 시공단계를 고려한 지하수위 및 양압력의 변화

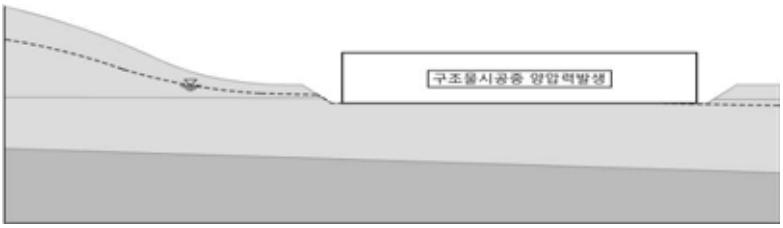
2.9.1 개 요

실제현장은 굴착, 기초처리, 구조물축조, 되메움, 구조물 사용단계로 시공단계가 구분되어져 있다. 따라서, 실제현장의 시공단계를 반영한 수치해석을 통해 시공중 및 공용중 안정성을 분석하여 굴착중 유입수량, 수위회복에 따른 양압력 발생시점을 파악하여 시공중 및 공용중 유지관리시 기초자료로 활용하기 위함이다.

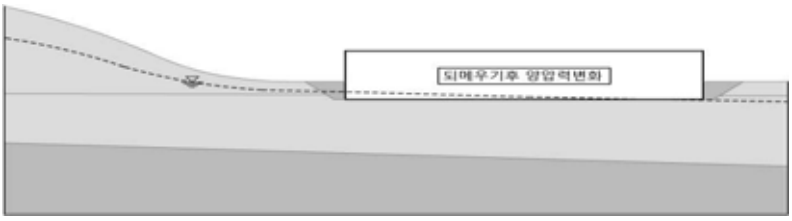
2.9.2 시공순서



(a) 터파기 단계



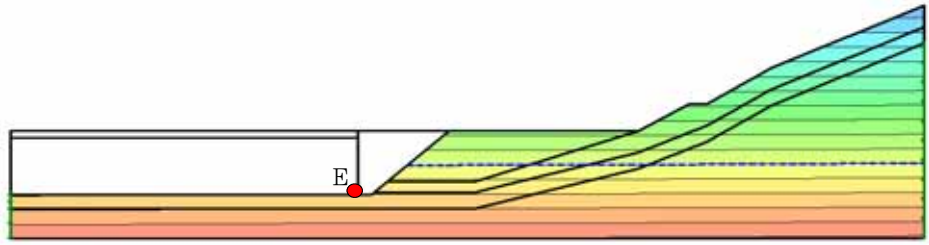
(b) 구조물 시공단계



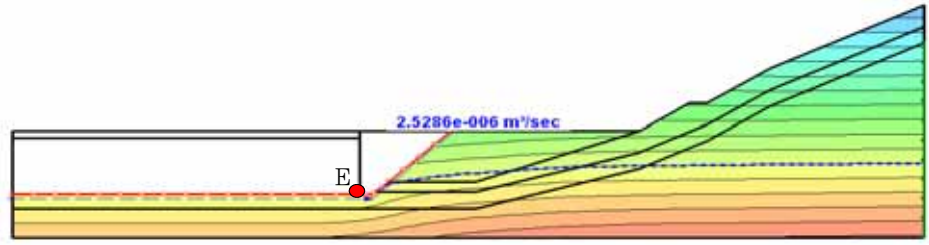
(c) 구조물 되메움 및 공용단계

[그림 7-62] 지하구조물 시공순서도

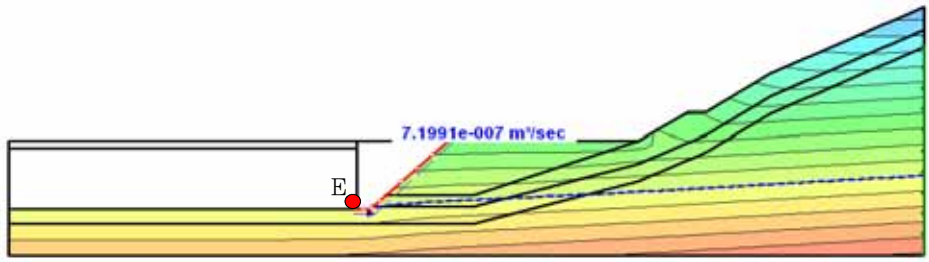
2.9.3 시공단계에 따른 유입수량 검토 및 양압력의 변화



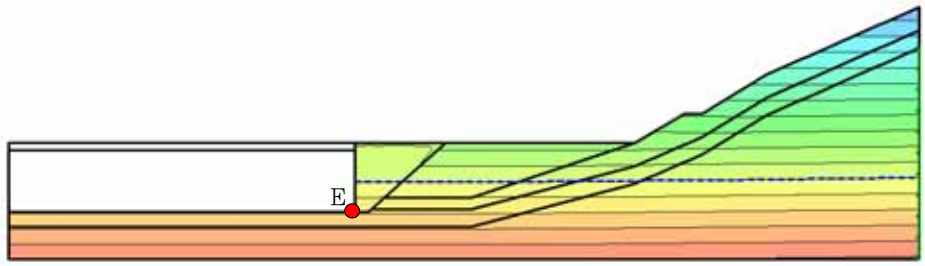
(a) 초기조건



(b) 터파기



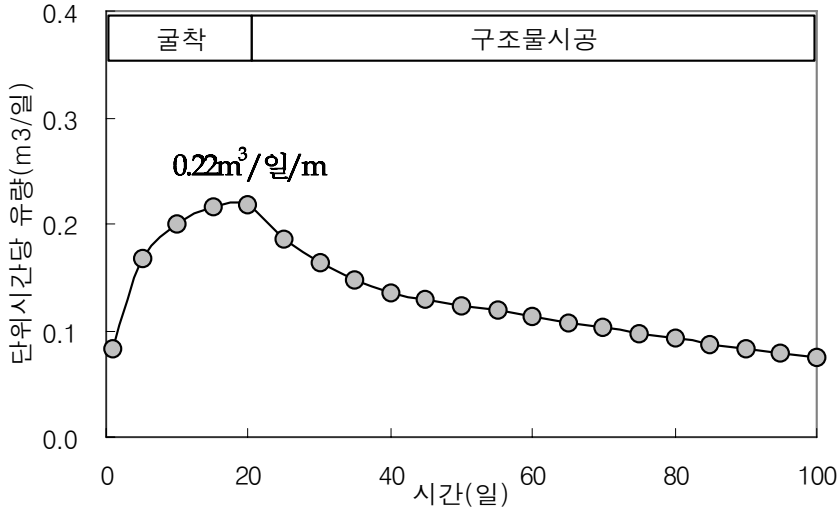
(c) 구조물 시공



(d) 구조물 되메움

[그림 7-63] 시공단계에 따른 지하수위의 변화

2.9.4 침투유량 검토

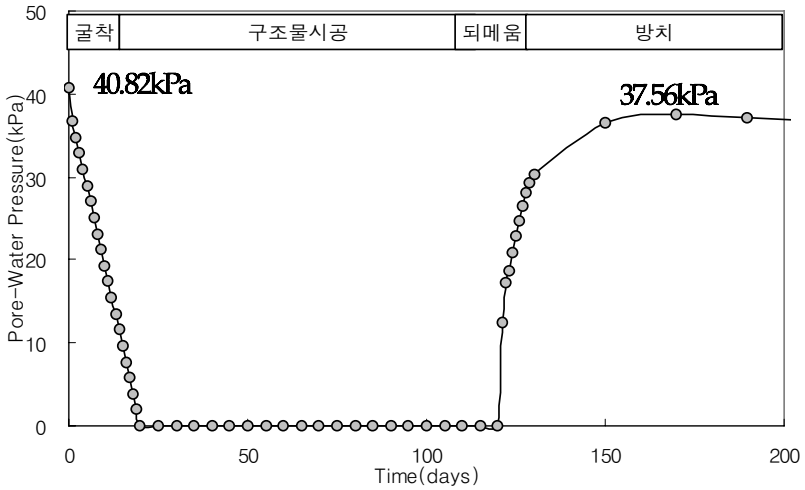


[그림 7-64] 시간에 따른 단위시간당 유출유량 검토

[표 7-43] 시간에 따른 단위시간당 유출유량

경과시간 (일)	단위시간당 유출유량 (m3/일/m)	경과시간 (일)	단위시간당 유출유량 (m3/일/m)
0	0.00	50	0.12
1	0.08	55	0.12
5	0.17	60	0.11
10	0.20	65	0.11
15	0.22	70	0.10
20	0.22	75	0.10
25	0.18	80	0.09
30	0.16	85	0.09
35	0.15	90	0.08
40	0.14	95	0.08
45	0.13	100	0.08

2.9.5 구조물 축조후 양압력 변화



[그림 7-65] 시공단계에 따른 구조물 저면에서의 양압력 변화

[표 7-44] 시공단계에 따른 구조물 저면에서의 양압력

시간 (일)	양압력 (kPa)	시간 (일)	양압력 (kPa)	시간 (일)	양압력 (kPa)	시간 (일)	양압력 (kPa)	시간 (일)	양압력 (kPa)
0.00	40.82	14.00	11.59	60.00	0.00	122.00	17.21	248.89	36.57
1.00	36.71	15.00	9.66	65.00	0.00	123.00	18.77	268.70	36.71
2.00	34.78	16.00	7.73	70.00	0.00	124.00	20.88	288.52	36.88
3.00	32.84	17.00	5.80	75.00	0.00	125.00	22.83	308.33	37.04
4.00	30.91	18.00	3.86	80.00	0.00	126.00	24.65	328.15	37.21
5.00	28.98	19.00	1.93	85.00	0.00	127.00	26.57	347.96	37.36
6.00	27.05	20.00	0.00	90.00	0.00	128.00	28.13	367.78	37.51
7.00	25.12	25.00	0.00	95.00	0.00	129.00	29.27	387.59	37.65
8.00	23.18	30.00	0.00	100.00	0.00	130.00	30.23	407.41	37.79
9.00	21.25	35.00	0.00	105.00	0.00	149.81	36.55	427.22	37.92
10.00	19.32	40.00	0.00	110.00	0.00	169.63	37.56	447.04	38.05
11.00	17.39	45.00	0.00	115.00	0.00	189.44	37.13	466.85	38.17
12.00	15.46	50.00	0.00	120.00	0.00	209.26	36.67	486.67	38.30
13.00	13.52	55.00	0.00	121.00	12.37	229.07	36.52	506.48	38.42

2.10 구조물 균열에 따른 천정 및 측벽부 지하수 유입량 검토

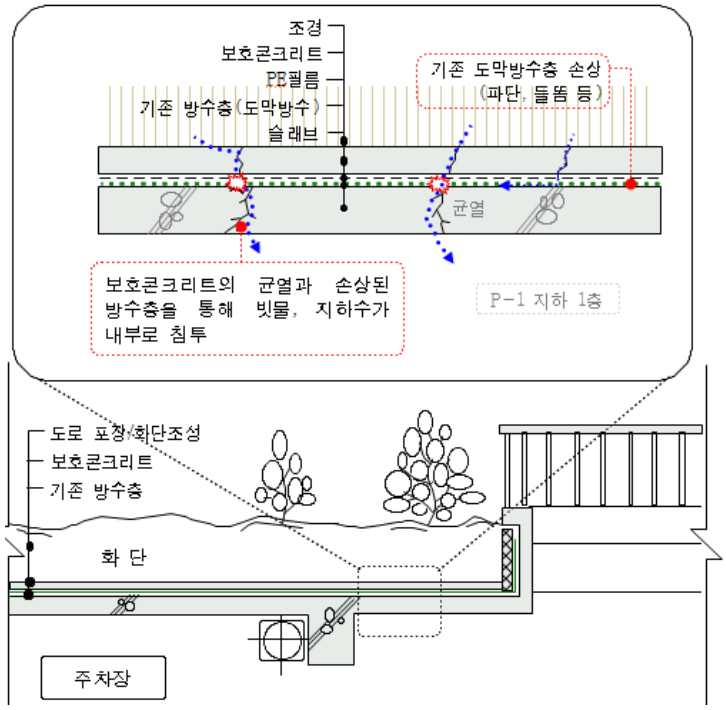
2.10.1 개 요

실제 사례로부터 구조물 천정 및 측벽부에서의 누수원인을 분석하고, 이를 근거로 하여 수치해석을 실시하여 누수량을 예측하고자 한다. 수치해석으로 얻어진 해석결과를 참조하여 구조물 천정 및 측벽부에서 누수 발생시, 침투유량을 예측하여 유지관리 자료로 활용하기 위함이다.

2.10.2 천정 및 측벽부 누수원인

가. 천정부 누수원인

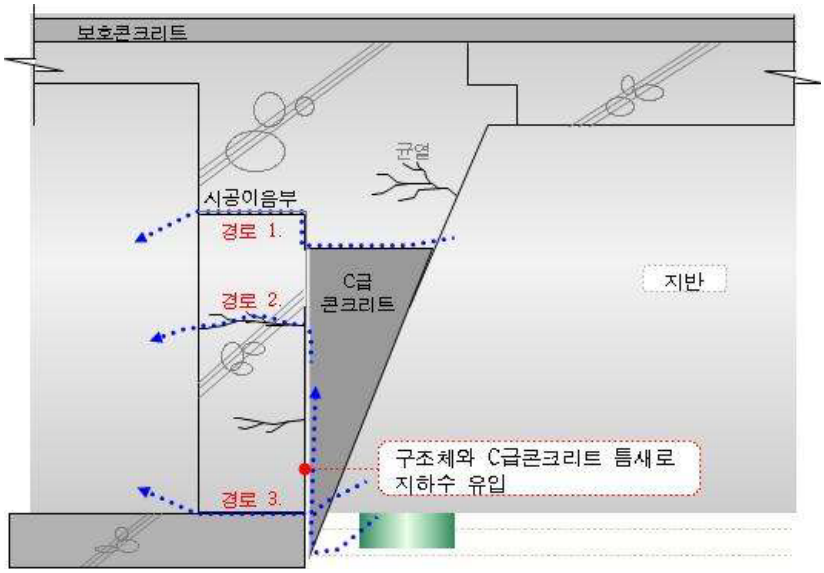
지하주차장 상부슬래브(조경부, 높이터 등)의 시공이음부, 균열부에서 누수가 진행. 지하 1층 주차장 상부 슬래브의 누수 원인은 현장 타설 콘크리트의 건조수축, 온도에 따른 수축팽창, 진동 등에 의해 발생



[그림 7-66] 지하 1층 상부 슬래브 누수경로

나. 측벽부 누수원인

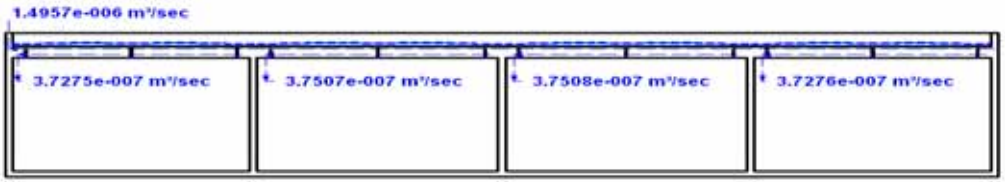
측벽부는 구조형태상 지하수압의 영향을 받이 많는 부분이다. 측벽부는 일정 구간 C급 콘크리트로 뒷공간이 채워져있다. C급 콘크리트 되메움부는 일부구간에서 구조체와 일체화되지 못하고 분리되어 분리된 틈새로 지하수가 침투되어 누수가 발생되는 것으로 판단된다. 옹벽구간에서의 주요 누수경로는 "벽체 시공이음부에서 지하수 유입(경로 1)"과 "벽체 취약부(균열, 폼타이 등)에서의 지하수 유입(경로 2)", "기초바닥과 벽체의 시공이음부를 통한 지하수 유입(경로 3)"의 3가지 경로로 요약할 수 있다.



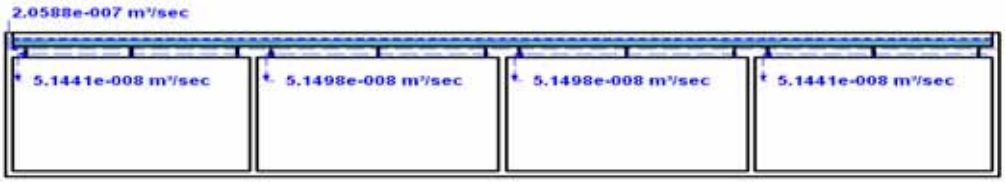
[그림 7-67] 측벽부 누수경로

2.10.3 천정부 균열에 따른 지하수 유입량 검토

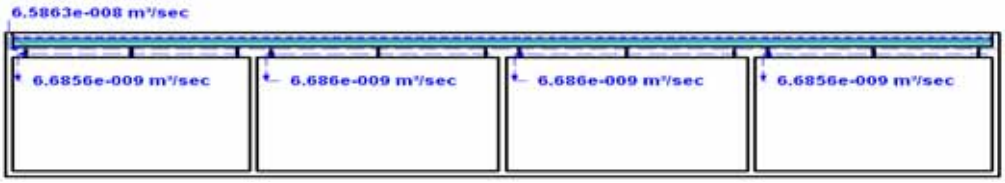
천정부 균열에 따른 지하수 유입량 검토는 상부 화단이 포화된 경우와 강우강도 30년빈도에 대해 수치해석을 실시하였다. 균열부 투수계수는 다양한 값(1.0×10-5 ~ 1.0×10-9m/sec)을 적용하여 침투안정검토를 실시하였다.



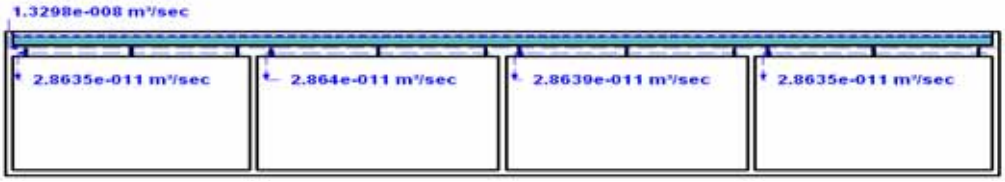
(a) K = 1.0×10-5 m/sec인 경우



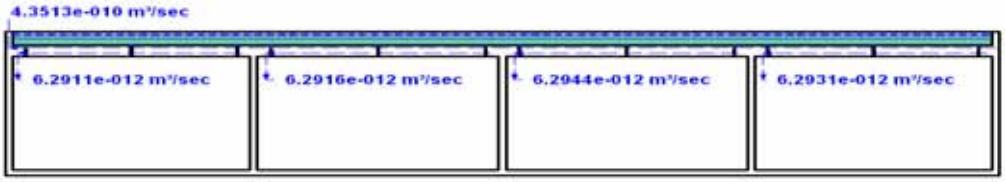
(b) K = 1.0×10-6 m/sec인 경우



(c) K = 1.0×10-7 m/sec인 경우

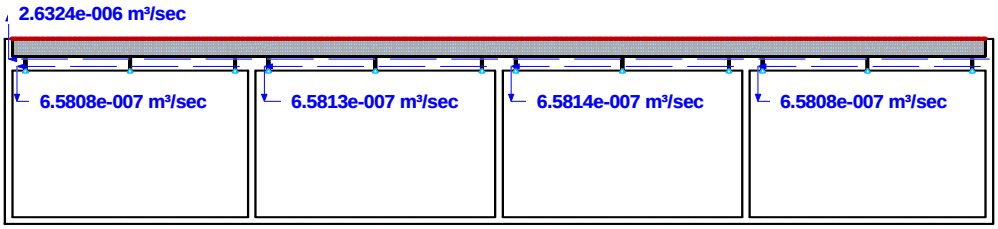


(d) K = 1.0×10-8 m/sec인 경우

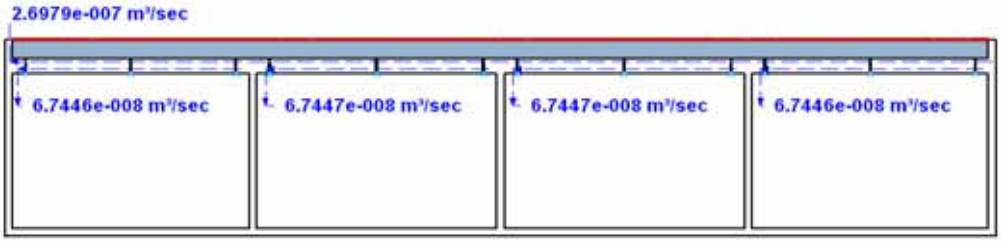


(e) K = 1.0×10-9 m/sec인 경우

[그림 7-68] 천정부 균열시 누수량(강우강도 30년빈도 적용시)



(a) K = 1.0×10–5 m/sec인 경우



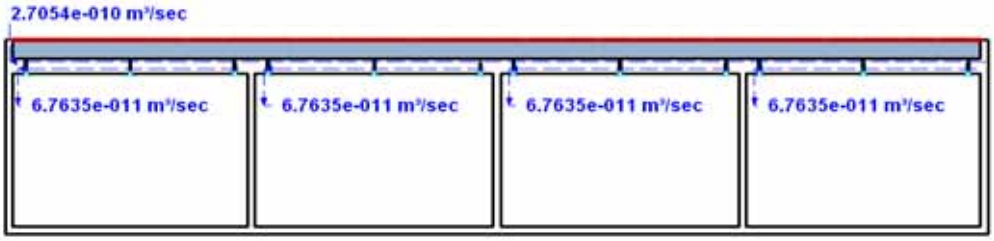
(b) K = 1.0×10–6 m/sec인 경우



(c) K = 1.0×10–7 m/sec인 경우

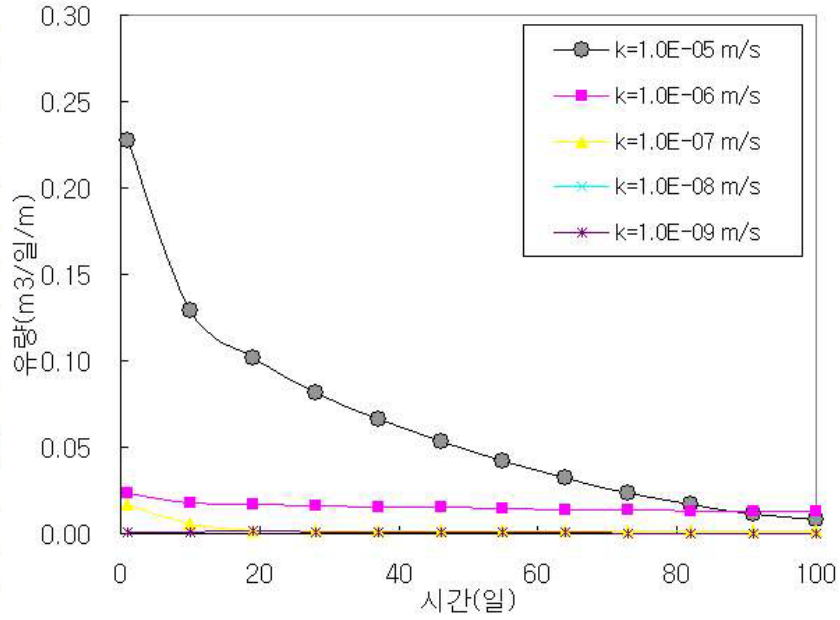


(d) K = 1.0×10–8 m/sec인 경우



(e) K = 1.0×10–9 m/sec인 경우

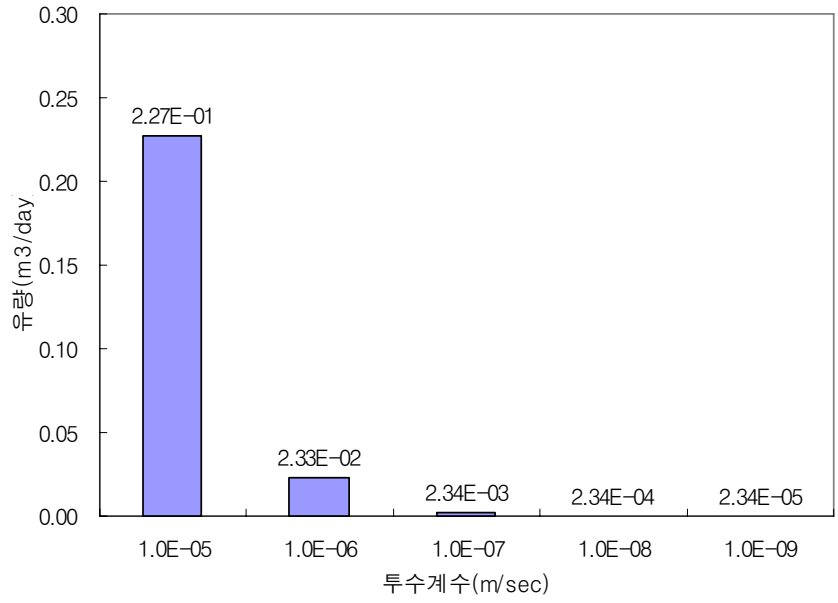
[그림 7–69] 천정부 균열시 누수량(상부 화단이 포화된 경우)



[그림 7-70] 투수계수에 따른 천정부 유출량(m3/day/m)(강우강도 30년빈도)

[표 7-45] 투수계수에 따른 천정부 유출량(강우강도 30년빈도)

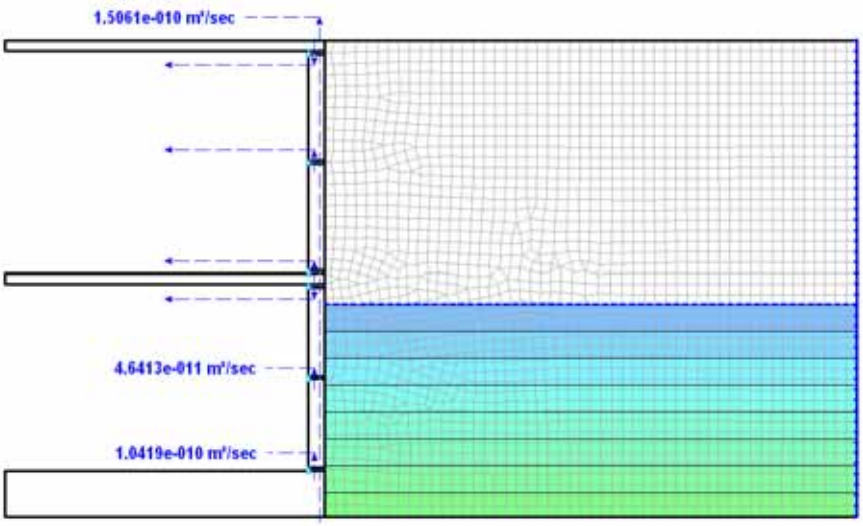
시간 (일)	k=1×10-5m/s		k=1×10-6m/s		k=1×10-7m/s		k=1×10-8m/s		k=1×10-9m/s	
	유출량 (m당)	유출량 (400m)	유출량 (m당)	유출량 (400m)	유출량 (m당)	유출량 (400m)	유출량 (m당)	유출량 (400m)	유출량 (m당)	유출량 (400m)
1	2.27E-1	90.98	2.33E-2	9.32	1.68E-2	6.74	5.41E-4	0.22	5.41E-4	0.22
10	1.29E-1	51.69	1.78E-2	7.12	5.69E-3	2.28	1.15E-3	0.46	1.15E-3	0.46
19	1.02E-1	40.75	1.68E-2	6.73	1.91E-3	0.76	1.23E-3	0.49	1.23E-3	0.49
28	8.13E-2	32.53	1.61E-2	6.44	1.86E-3	0.75	1.02E-3	0.41	1.02E-3	0.41
37	6.62E-2	26.48	1.55E-2	6.20	1.85E-3	0.74	8.70E-4	0.35	8.70E-4	0.35
46	5.34E-2	21.35	1.50E-2	5.99	1.83E-3	0.73	7.64E-4	0.31	7.64E-4	0.31
55	4.21E-2	16.82	1.45E-2	5.81	1.81E-3	0.73	6.75E-4	0.27	6.75E-4	0.27
64	3.21E-2	12.84	1.41E-2	5.63	1.80E-3	0.72	5.77E-4	0.23	5.77E-4	0.23
73	2.36E-2	9.43	1.37E-2	5.47	1.79E-3	0.71	3.99E-4	0.16	3.99E-4	0.16
82	1.67E-2	6.67	1.33E-2	5.32	1.77E-3	0.71	1.92E-4	0.08	1.92E-4	0.08
91	1.14E-2	4.58	1.29E-2	5.17	1.76E-3	0.70	1.88E-4	0.08	1.88E-4	0.08
100	7.68E-3	3.07	1.26E-2	5.04	1.75E-3	0.70	1.87E-4	0.07	1.82E-4	0.07



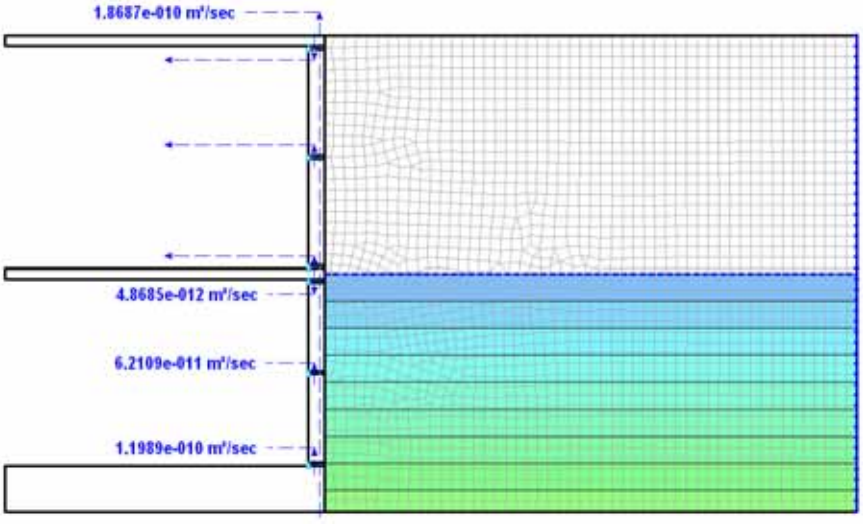
[그림 7-71] 투수계수에 따른 천정부 유출량(m3/day/m)(상부 화단이 포화된 경우)

2.10.4 측벽부 균열에 따른 지하수 유입량 검토

측벽부 균열에 따른 지하수 유입량 검토는 원지반 수위와 산지에서의 수위차를 0.5m, 5.0m, 10.0m, 11.0m, 12.0m, 13.0m, 14.0m, 15.0m, 20.0m로 변화시키면서 침투해석을 수행하였으며, 이때 균열부 투수계수는 다양한 값(1.0× 10−5 ~ 1.0× 10−9m/sec)을 적용하여 침투안정검토를 실시하였다.

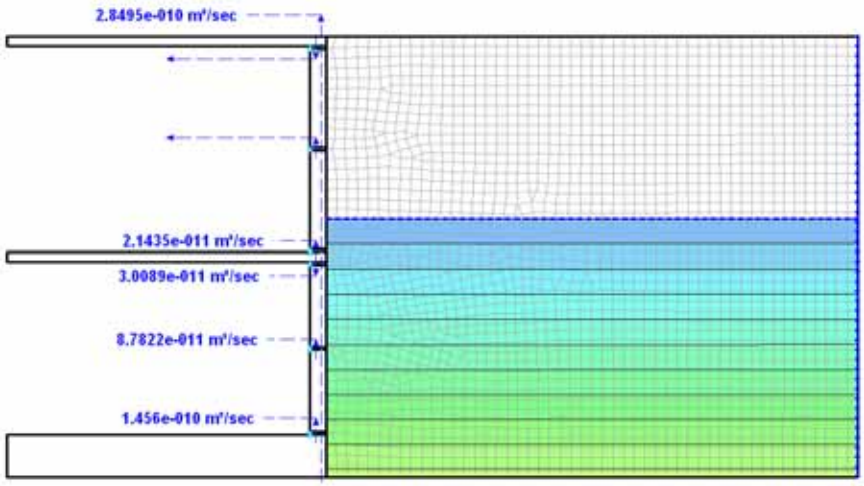


(a) 수두차 0.5m

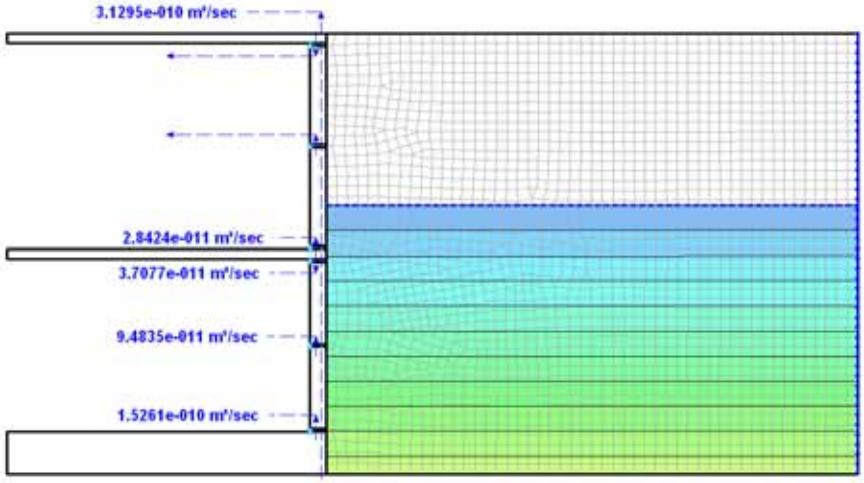


(b) 수두차 5.0m

[그림 7-72] 수두차에 따른 측벽부 누수량(균열부 K=1.0×10−9m/sec)

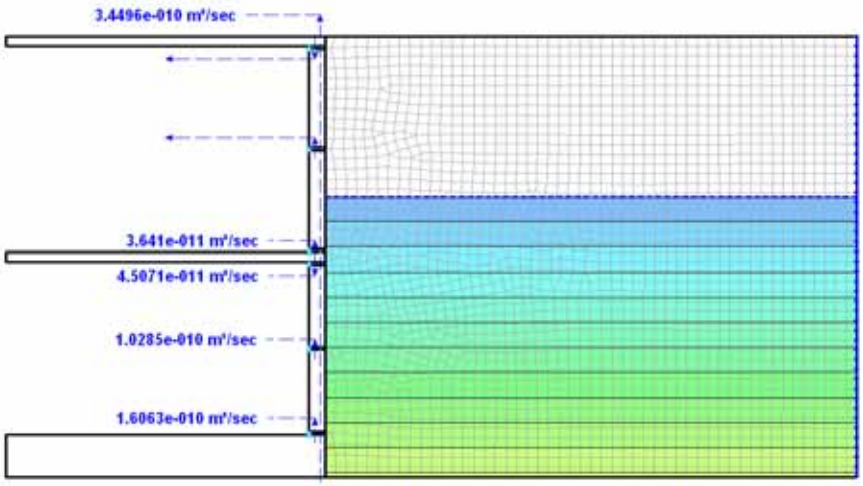


(c) 수두차 10.0m

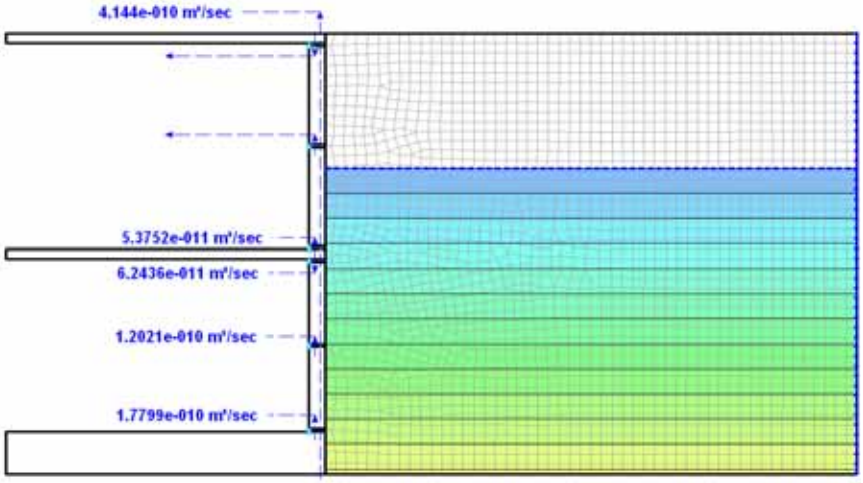


(d) 수두차 11.0m

[그림 7-73] 수두차에 따른 측벽부 누수량(균열부 K=1.0×10-9m/sec)

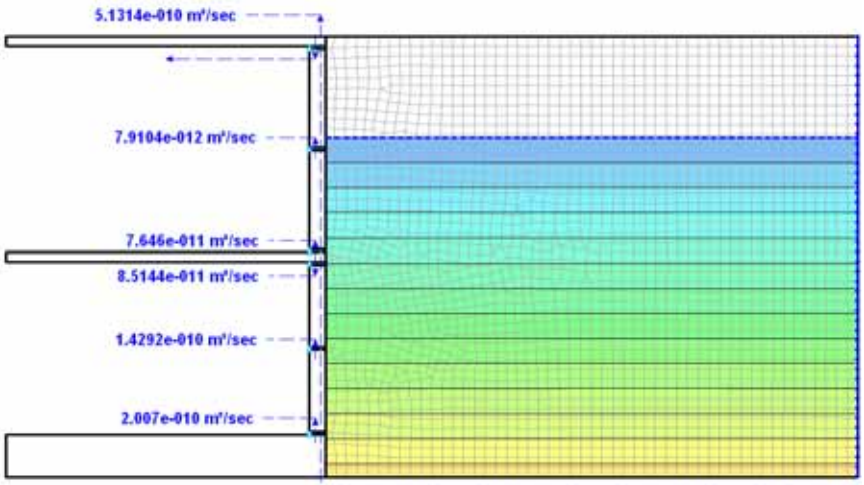


(e) 수두차 12.0m

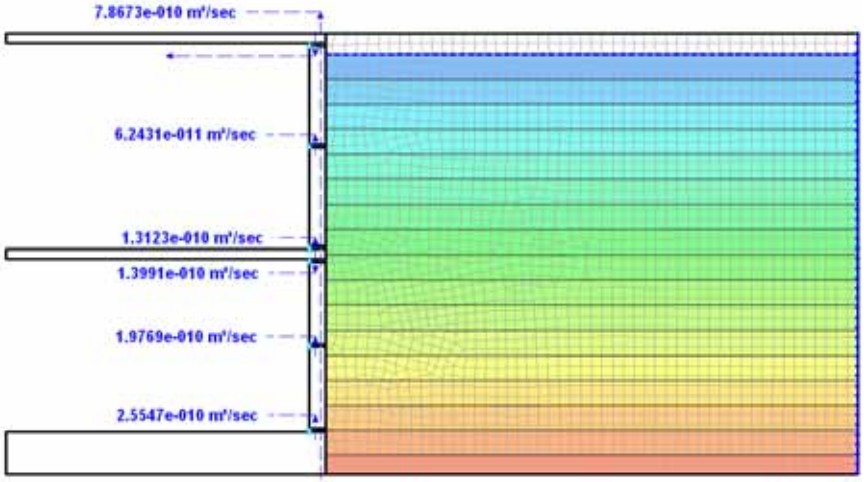


(f) 수두차 13.0m

[그림 7-74] 수두차에 따른 측벽부 누수량(균열부 K=1.0×10-9m/sec)

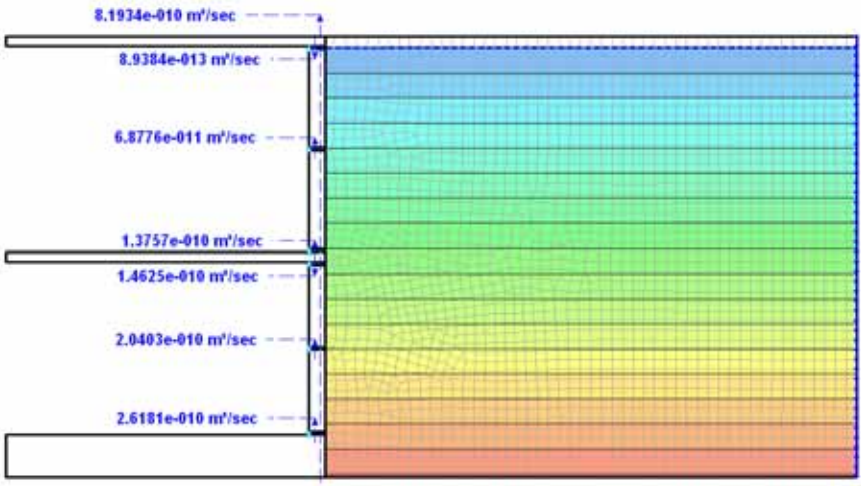


(g) 수두차 14.0m



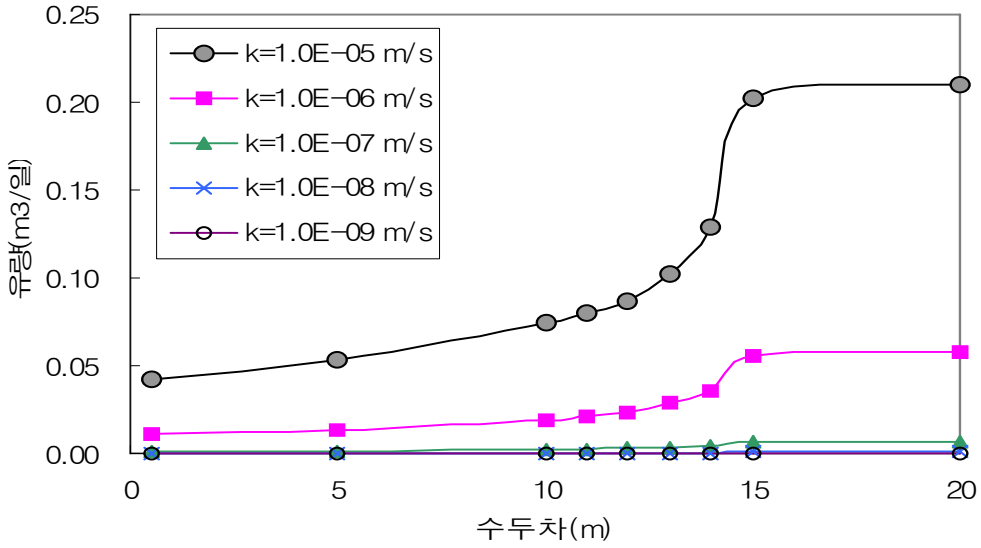
(h) 수두차 15.0m

[그림 7-75] 수두차에 따른 측벽부 누수량(균열부 K=1.0×10-9m/sec)



(i) 수두차 20.0m

[그림 7-76] 수두차에 따른 측벽부 누수량(균열부 K=1.0×10-9m/sec)



[그림 7-77] 수두차에 따른 균열부 투수계수별 측벽부 누수량

[표 7-46] 수두차에 따른 균열부 투수계수별 측벽부 누수량

수두차 (m)	k=1×10-5m/s		k=1×10-6m/s		k=1×10-7m/s		k=1×10-8m/s		k=1×10-9m/s	
	유출량 (m당)	유출량 (400m)	유출량 (m당)	유출량 (400m)	유출량 (m당)	유출량 (400m)	유출량 (m당)	유출량 (400m)	유출량 (m당)	유출량 (400m)
0.5	4.23E-2	16.91	1.09E-2	4.37	1.28E-3	0.51	1.30E-4	0.05	1.30E-5	0.01
5	5.37E-2	21.48	1.34E-2	5.34	1.58E-3	0.63	1.61E-4	0.06	1.61E-5	0.01
10	7.40E-2	29.61	1.94E-2	7.75	2.40E-3	0.96	2.46E-4	0.10	2.46E-5	0.01
11	7.98E-2	31.91	2.14E-2	8.56	2.64E-3	1.05	2.70E-4	0.11	2.70E-5	0.01
12	8.65E-2	34.58	2.37E-2	9.50	2.91E-3	1.16	2.97E-4	0.12	2.98E-5	0.01
13	1.02E-1	40.83	2.89E-2	11.55	3.50E-3	1.40	3.57E-4	0.14	3.58E-5	0.01
14	1.28E-1	51.36	3.56E-2	14.26	4.32E-3	1.73	4.42E-4	0.18	4.43E-5	0.02
15	2.02E-1	80.79	5.53E-2	22.11	6.65E-3	2.66	6.78E-4	0.27	6.80E-5	0.03
20	2.10E-1	83.95	5.76E-2	23.05	6.92E-3	2.77	7.06E-4	0.28	7.08E-5	0.03

2.11 소 결

가. 양압력에 따른 지반구조물의 안정성 검토

1) 주변지반의 수위와 구조물 저면의 수위차가 10.0m이상일 경우 양압력(통합:48.27kPa, 가변형:93.73kPa)은 점점 증가하고 있으며, 14.0m이상에서는 양압력(통합:63.33kPa, 가변형:107.11kPa) 급증함으로 반드시 함을 알 수 있었다. 따라서, 주변지반의 수위와 구조물 저면의 차가 10m이상일 경우 반드시 양압력을 고려하여 구조물의 안정성 검토가 필요함
2) 주변지반의 수위와 구조물 저면의 수위차로 인해 증가한 양압력에 대한 입자모델 해석 결과, 구조물의 변형 및 균열 가능성을 파악할 수 있었다.
3) 특히 통합 지하주차장보다 가변형 통합 지하주차장이 영향이 크므로 주의가 필요함

나. 강우강도에 따른 구조물 측벽 및 저면에서 작용하는 수압영향 검토

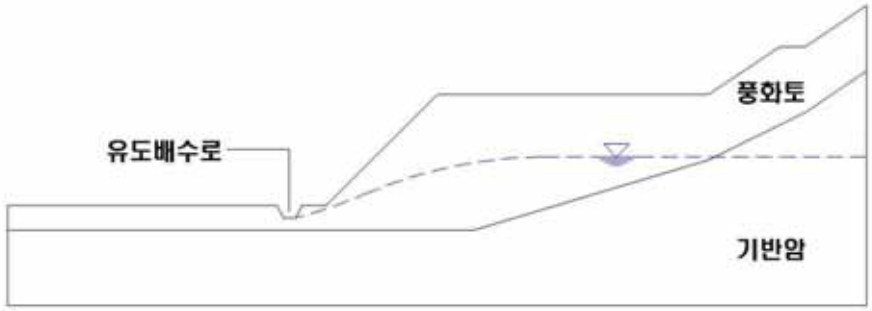
1) 강우강도에 따른 구조물 바닥에서 발생하는 연직변위는 강우로 인한 수위상승으로 인해 강우전 0.4mm, 30년빈도 강우시 0.6mm, 100빈도 강우시 0.7mm로 증가하나 그 영향이 크지 않음을 알 수 있다.
2) 하지만, 강우에 의한 지반–구조물의 영향은 지반의 투수계수에 의존하므로 투수계수가 큰 모래, 자갈층에서는 다소 영향이 있을 것으로 추측된다.
3) 따라서, 기초지반이 투수성이 클 경우 강우강도를 고려한 침투해석을 통해 구조물의 안정성 검토를 추천하며, 이때 강우강도는 구조물의 내구연한(약 30년)을 고려할 때 30년 빈도를 적용할 수 있다.

다. 되메움토의 다짐조건에 따른 지반구조물의 안정성 검토

1) 구조물 되메움 다짐은 획일화된 95%다짐보다는 각 현장에서 사용되는 재료를 이용하여 다짐시험을 실시한 후 설계기준 만족여부를 파악함이 필요하다.
2) 이를 통해 과소설계에 의한 구조물 피해를 방지하고, 과다짐으로 인한 경제적 손실을 방지할 수 있다.

라. 시공단계를 고려한 지하수위 및 양압력의 변화검토

1) 굴착중 유도배수로 설치, 되메움시 기초 콘크리트의 손상억제를 위한 양압력 저감 시설이 필요함



[그림 7-78] 구조물 균열에 따른 천정 및 측벽부 지하수 유입량 검토

마. 구조물 균열에 따른 천정 및 측벽부 지하수 유입량 검토

1) 균열로 인한 유출량은 균열부의 폭과 투수계수에 비례하여 증가

2) 수치해석결과와 실제 현장에서의 유출량과의 비교를 통한 균열부의 투수계수 파악이 필요하며, 이를 이용하여 향후 균열부의 개수 파악으로 유출량의 추정이 가능할 것으로 판단됨.

제8장
결 론

8

제8장 결 론

1. 콘크리트 재료 물성에 따른 무근콘크리트

가. 지하주차장 콘크리트의 특성

1) 지하주차장 바닥 콘크리트 균열 원인

지하주차장의 균열발생의 대부분은 소성수축 및 건조수축이며,

지하주차장 바닥 콘크리트 균열 저감 방법은 재료적, 배합설계적, 시공적 측면으로 분류됨

- 재료적 측면의 경우, 와이어메쉬 혹은 섬유보강재 등을 사용하여 균열 저항성 증가시킴
- 배합설계적 측면은 단위수량 조절 및 혼화제 등을 사용하여 수축 제1원인인 물의 양 조절
- 시공적 측면은 균열유발줄눈을 설치하여 균열을 계획된 곳에 발생시켜 균열을 저감 시킴
- 섬유보강재 물성 성능평가 시험결과, 섬유 혼입시, 슬럼프 제외 콘크리트 기본 물성에는 영향을 미치지 않는 것으로 나타남.

나. 섬유보강콘크리트의 실험 (실험종료 후 작성)

2. 배수 및 방수에 대한 고려

가. 누수 원인

1) 바닥부분의 누수원인은 되메우기 공사후 우수유입량 증가에 의해 배수판 하부로 배수되게 되어 있는 우수가 수위 상승으로 지하 2층으로 배출이 원인으로 나타났으며,

㉠ 지리적 특성

- 단지 입지여건의 경우 북쪽의 고지대에서 남쪽으로 향하는 경사지형에 위

치하고 있는 특성상 지하수 및 표층수의 영향을 받을 수 있는 여건임

㉡ 지하주차장 구조 및 배치상의 원인

– 누수현상이 나타나고 있는 지하주차장의 형상은 남북방향으로 장방형을 이루고 있으며 특히 지형을 따라 지하주차장 2개 층이 단계적으로 형성되어 있는 특징이 있음

– 누수현상이 발생한 지하2층 주차장의 북측 외벽의 경우 고지대의 지하수가 저지대로 흐르는 중심부에서 위치하는 구조적 특성이 있다고 판단됨.

– 이에 따라 지하수가 정체하면서 수위가 상승하게 되어 지하1층 및 2층 주차장의 슬랩바닥 배수판 및 외벽 쪽으로 수위상승현상이 발생

2) 누수관련 주요 특징

누수와 관련하여 다음과 같은 특징이 있다고 판단됨

㉠ 누수현상 관련

- 지하주차장의 바닥이라는 특정부위, 일부구간에서 누수발생(외벽은 유도배수 처리)
- 특히 지하2층 지반과 접해 있는 옹벽 쪽 데크플레이트 슬랩에서 누수현상이 나타나고 있음
- 누수원인은 지하 1층 슬랩 바닥유도배수공법과 관련성이 높음

㉡ 구조물 관련

- 지하주차장의 규모가 크고 복잡한 편임
- 지하주차장의 횡단면은 하부에서 상부방향으로 계단식 2개층 구성
- 바닥슬래브 평면이 비대칭, 장방형의 기하학적 형태

㉢ 구조물 사용환경

- 누수발생으로 인한 내부습도 증가 우려
- 누수된 수분에 의한 습도증가에 따른 결로발생 가능성 증가
- 주차장의 특성상 자동차의 주행에 따른 진동, 충격, 소음 발생

㉣ 방수공법의 적용성

- 방수대상이 되는 지하구조물은 바닥슬랩이 시공된 상태이고 사용중이므로 유도배수공법 등 적용가능

3) 보수방안 및 대책

가) 누수보수공법 검토시 고려사항

지하주차장에 누수가 발생한 환경적 요인을 근거로 누수보수를 위한 적정 공법 선정을 위하여 우선적으로 고려되어야 할 사항은 다음과 같음.

㉠ 구조물의 사용성 측면

- 지하주차장은 공사가 완료되어 거주자가 사용하는 구조물이므로 지하공간의 사용성을 만족할 수 있는 조치나 대책이 고려되어야 함.

㉡ 환경적 측면

- 구조물의 방수공사 대상부위는 주로 지하층구간으로 콘크리트 구조로 된 주차장의 사용환경과 관련하여 차량의 주행에 따른 진동에 충분한 대응력을 갖춘 보수공법을 검토함과 동시에 장마시 폭우에 의한 급격한 지하수위 상승에 대한 대응력이 충분한가를 우선적으로 고려하여야 함.

㉢ 건설공정 및 구조물의 측면

- 지하층의 방수공사(특히 유도배수공법의 경우)는 지하주차장의 층높이가 한정적이므로 건축법적으로 유효층고의 확보를 고려한 방수상의 고려가 되어야 함.

㉣ 시공성

- 구조물 방수공사 중 작업 위험성, 온습도 환경변화에 따른 시공성 및 시공가능성 여부에 관한 고려도 필요함.

- 특히, 지하주차장은 고지대를 배경으로 한 경사지형에 위치하고 있어 상대적으로 낮은 지하층은 지속적인 수분의 영향을 받을 수 있고 누수로 인하여 습도가 높은 상황에 있으므로 이러한 환경을 고려한 시공상의 검토가 필요함.

㉤ 보수성 및 향후 유지관리 특성

- 지하주차장의 경우 쾌적하고 안전한 사용 환경을 창출한다는 측면에서 보수후 사용 중에 만일의 손상시 적절한 재 보수가 가능한 유지관리성도 고려하여야 함.

- 이에 따라 방수층 손상 시 보수 공법의 적용 용이성과 함께 향후의 유자관리적 측면에 관해서도 검토할 필요

3. 지하수위에 대한 고려

가. 양압력에 따른 지반구조물의 안정성 검토

1) 주변지반의 수위와 구조물 저면의 수위차가 10.0m이상일 경우 양압력(통합:48.27kPa, 가변형:93.73kPa)은 점점 증가하고 있으며, 14.0m이상에서는 양압력(통합:63.33kPa, 가변형:107.11kPa) 급증함으로 반드시 함을 알 수 있었다. 따라서, 주변지반의 수위와 구조물 저면의 차가 10m이상일 경우 반드시 양압력을 고려하여 구조물의 안정성 검토가 필요함
2) 주변지반의 수위와 구조물 저면의 수위차로 인해 증가한 양압력에 대한 입자모델 해석 결과, 구조물의 변형 및 균열 가능성을 파악할 수 있었다.
3) 특히 통합 지하주차장보다 가변형 통합 지하주차장이 영향이 크므로 주의가 필요함

나. 강우강도에 따른 구조물 측벽 및 저면에서 작용하는 수압영향 검토

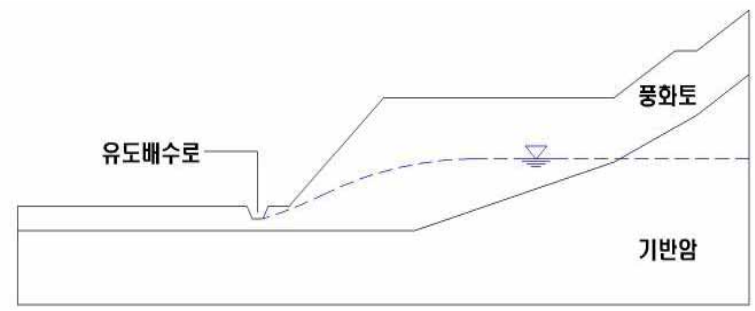
1) 강우강도에 따른 구조물 바닥에서 발생하는 연직변위는 강우로 인한 수위상승으로 인해 강우전 0.4mm, 30년빈도 강우시 0.6mm, 100빈도 강우시 0.7mm로 증가하나 그 영향이 크지 않음을 알 수 있다.
2) 하지만, 강우에 의한 지반-구조물의 영향은 지반의 투수계수에 의존하므로 투수계수가 큰 모래, 자갈층에서는 다소 영향이 있을 것으로 추측된다.
3) 따라서, 기초지반이 투수성이 클 경우 강우강도를 고려한 침투해석을 통해 구조물의 안정성 검토를 추천하며, 이때 강우강도는 구조물의 내구연한(약 30년)을 고려할 때 30년 빈도를 적용할 수 있다.

다. 되메움토의 다짐조건에 따른 지반구조물의 안정성 검토

1) 구조물 되메움 다짐은 획일화된 95%다짐보다는 각 현장에서 사용되는 재료를 이용하여 다짐시험을 실시한 후 설계기준 만족여부를 파악함이 필요하다.
2) 이를 통해 과소설계에 의한 구조물 피해를 방지하고, 과다짐으로 인한 경제적 손실을 방지할 수 있다.

라. 시공단계를 고려한 지하수위 및 양압력의 변화검토

1) 굴착중 유도배수로 설치, 되메움시 기초 콘크리트의 손상억제를 위한 양압력 저감 시설이 필요함



마. 구조물 균열에 따른 천정 및 측벽부 지하수 유입량 검토

1) 균열로 인한 유출량은 균열부의 폭과 투수계수에 비례하여 증가

2) 수치해석결과와 실제 현장에서의 유출량과의 비교를 통한 균열부의 투수계수 파악이 필요하며, 이를 이용하여 향후 균열부의 개수 파악으로 유출량의 추정이 가능할 것으로 판단됨.

4. 배수판 설치에 따른 무근콘크리트 역학적 수치 해석

현행 기준에서 제시하고 있는 등분포 하중과 집중&이동하중을 재하한 경우에 대해서 비교 검토한 결론은 다음과 같다.

1) 현행(KBC2009) 기준에서 제시한 등분포 하중으로 슬래브를 일률적으로 적용하여 설계시 실제로 발생하는 슬래브에 직접 작용하는 이동 하중에 비해 슬래브 중앙부 정모멘트가 과소평가되어 단변 중앙부에 과소철근배근이 될 수 있다.

2) 등분포 하중과 집중&이동하중에 대해 부모멘트 비교시 비슷한 결과값으로 나타나 부모멘트 설계시 현행기준인 일률적인 등분포 하중으로 설계하여도 무방한 것으로 판단된다.

3) 활하중 최대 처짐 비교시 기준에 제시하고 있는 값에 비해 여유가 있어 사용성 검토에서는 문제가 되지 않는 것으로 사료된다.

지하주차장 설계는 정모멘트 구간에서 집중&이동하중에 대한 영향을 고려하여 설계되어야 하며, 합리적인 등분포하중을 찾기 위해 향후 충분한 추가 검증이 있어야 될 것으로 판단됨

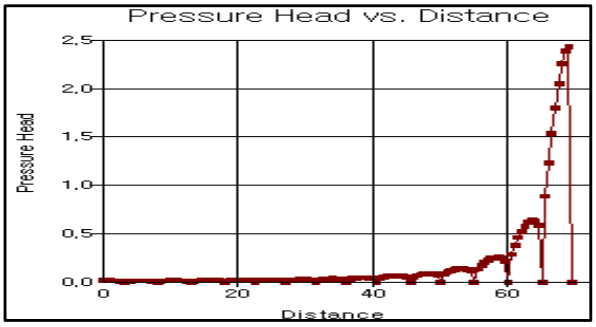
4) 차량 하중에 의해서 발생하는 모멘트(M_u)는 균열 모멘트(M_{cr})보다 작으므로, 배수판 위의 보강 시공된 90mm무근 콘트리트에는 차량 하중에 의해서는 이론상 사용성 균열이 발생하지 않음

5) 배수재 설치에 대한 자료제시

지하수위 10m 이상 상승시 영구배수시스템 적용에 따른 양압력 검토를 통하여 적절한 배수재를 하단에 시공할시에 양압력을 소산시키는 방법에 대한 자료를 마련(안)으로 제시하였으며,

구 분	양압력 검토 결과			비 고
	5.0m 상승시	10.0m 상승시	15.0m 상승시	
지하-1층	설치구간 : 30.0m	설치구간 : 50.0m	설치구간 : 80.0m	외곽부
지하-2층	설치구간 : 20.0m	설치구간 : 47.5m	설치구간 : 65.0m	중앙부
	설치구간 : 10.0m	설치구간 : 18.0m	설치구간 : 30.0m	외곽부

지하 10m에 대하여 양압력 MAX :2.40tf/㎡의 하중에 대한 검토시 적절한 배수재 산정에 대한 사례를 제시하였으며, 배수재를 60m설치시 소산으로 인한 양압력의 감소를 유도할 수 있음.



참고문헌

참고문헌

국내문헌

한국콘크리트학회, 2009,「콘크리트 표준시방서」

대한건축학회, 2013「건축공사 표준시방서」

대한토목학회, 2012,「아산배방 용연마을 2단지 지하주차장 구조안전성 검토」

국토해양부,「한국형 포장설계법 개발과 포장성능개선방안 연구」

SH공사,「건축공사 시방서 - 폴리아미드 섬유보강 콘크리트」

SH공사,「건축공사 구조물 부상방지 대응 설계기준」

청주대학교 2005,「나일론 섬유보강재를 이용한 콘크리트의 기초적 특성과 균열성상에 관한 연구」

건국대학교, 2000,「콘크리트 보강재로서 셀룰로오스 섬유제조방법 개발 및 적용성에 관한 연구」

동양구조이앤알, 2012,「아산배방 휴먼시아 2단지 지하주차장 정밀안전진단」

롯데건설 2009,「무근콘크리트의 균열저감을 위한 재료설계 및 시공시스템의 제안」

코오롱건설 2008,「분산제 코팅 및 단일형상을 가진 균열저감용 폴리아미드 섬유보강 콘크리트 기술」

시지엔지니어링, 2008,「영구배수공법-부력(양압력) 처리에 관련 설계 및 시공」

KG케미칼, 2005,「콘크리트 소성수축 균열저감을 위한 나일론 섬유보강재의 특성 연구」

삼성물산, 2004,「교면포장용 고성능 콘크리트 공법 개발」

대우건설, 2002,「오피스텔/주상복합 개선안(건축, 구조)」

김성철, 2012「아파트 지하주차장 슬래브 균열 저감을 위한 시공 관리방안 개선 연구」

박용규외, 2011,「셀룰로오스 섬유 종류에 따른 콘크리트의 기초 물성 평가에 관한 연구」,『한국시공학회』

전중규외, 2009,「공동주택 지하주차장 섬유보강 콘크리트에 관한 연구」,『한국콘크리트학회』

유승엽외, 2008,「섬유종류 변화에 따른 콘크리트의 역학적 특성에 관한 연구」,『한국콘크리트학회』

이도범외, 2005,「공동주택 지하주차장 누수하자 저감 방안에 관한 연구」

정순오외, 2002,「아파트 지하주차장의 균열방지 대책 」,『한국건설관리학회』

송동엽외, 2000,「작은 보를 가진 지하 주차장 슬래브의 이동 하중 적용을 통한 안전성 평가 사례」

곽효경외, 1998,「PC 지하주차장 구조물의 거동분석을 위한 실험적 연구」

해외문헌

ACI, 2002, 「State of the Report on Fiber Reinforced Concrete. ACI 544.1R」

ACI, 2002, 「Measurement of Properties of Fiber Reinforced Concrete. ACI 544.2R」

ACI, 2002, 「Reaport on Factors Affecting Shrinkage and Creep of Hardened Concrete. ACI 209.1R」

ASTM, 2002, 「Standard Specification for Fiber-Reinforced Concrete. ASTM C 1116」

ASTM, 2002, 「Standard Test Method for Stability of Cellulose Fibers in Alkaline Environments. ASTM D 6942」

ICC 2002, 「Acceptance Criteria For Concrete with Virgin Cellulose Fibers. ICC ES AC217」

GEO-SLOPE International Ltd. 2013. Feb. Fourth Edition, 「Seepage Modeling with SEEP/W」

GEO-SLOPE International Ltd. 2010. Feb. Fourth Edition, 「Stability Modeling with SLOPE/W」

PLAXIS BV., 2011, 「PLAXIS 2D Reference Manual」

PLAXIS BV., 2011, 「PLAXIS 2D Material Models Manual」

PLAXIS BV., 2011, 「PLAXIS 2D Scientific Manual」

Itasca Consulting Group Inc., USA, 2010, 「PFC2D User's Guide Manual」

Itasca Consulting Group Inc., USA, 2010, 「Fish in PFC2D」

부 록

A

부 록 A

1. 민간건설사 대상 지하주차장 무근콘크리트 품질관리 설문조사

1.1 설문조사

가. 대상 건설사 (총 7개사)

설문 참여 건 설 사
대림건설, 포스코건설, 코오롱건설, GS건설, 삼성물산, 현대건설, 대우건설

나. 설문조사 목적

㉠ 지하주차장 무근콘크리트 균열 저감을 위하여 민간건설사에서 적용하고 있는 방안에 대하여 조사

㉡ 지하주차장 무근콘크리트의 품질관리기준 및 방안에 대한 조사 및 지하주차장의 구조 방식 등에 대한 전반적인 조사

지하주차장 무근(누름)콘크리트 품질관리 설문조사

2013. 4

한국토지주택공사
토지주택연구원

한국토지주택공사는 공동주택 지하주차장 바닥에 80~150mm 두께의 무근(누름) 콘크리트를 타설하고 있습니다. 무근(누름)콘크리트의 배합은 별도의 기준 없이 일반콘크리트 배합(설계강도 24MPa, 슬럼프 150mm, 굵은골재 최대치수 25mm)을 기준으로 하고 있습니다. 콘크리트의 수축에 의한 균열을 저감하기 위하여 전통적으로 와이어메쉬(#8 150x150)를 설치하고 있으며, 2007년부터 섬유보강재에 대한 도입을 검토하고 일부 사용 중에 있으며 2012년 10월 이후부터 전면적인 확대 적용 중에 있습니다.

토지주택연구원에서는 무근(누름)콘크리트의 합리적인 품질관리를 위하여 와이어메쉬 및 섬유보강재 등과 같은 보강재료에 대한 검토, 단위수량, 혼화제 등의 배합설계 측면에서의 검토, 양생관리 및 균열유도줄눈 설치방법에 대한 연구를 수행 중에 있습니다.

향후 공동주택 지하주차장 무근(누름)콘크리트 품질관리지침 개정을 위하여 귀사의 사례에 대한 설문조사를 수행하고자 하오니 협조하여 주시면 감사드리겠습니다.

공동주택 지하주차장 무근(누름)콘크리트 일반사항

1. 공동주택 무근(누름)콘크리트 타설부위
   ① 지하주차장 최하층 바닥 ② 지하주차장 중간층 바닥
   ③ 옥상층 바닥 슬래브 ④ 기타 ( )

2. 지하주차장 바닥에 타설되는 무근(누름)콘크리트의 설계강도
   ① 18MPa ② 21MPa
   ③ 24MPa ④ 27MPa ⑤ 기타 ( )

3. 지하주차장 바닥에 타설되는 무근(누름)콘크리트의 설계 슬럼프 값
   ① 150mm이하 ② 150~180mm
   ③ 180~200mm ④ 200mm이상 ⑤ 기타 ( )

4. 지하주차장 바닥에 타설되는 무근(누름)콘크리트의 타설두께
   ① 50mm이하 ② 50~100mm
   ③ 100~150mm ④ 150~200mm ⑤ 기타 ( )

5. 지하주차장 바닥에 타설되는 무근(누름)콘크리트의 균열저감방안으로써, 보강재료
   ① 와이어메쉬 사용 ② 섬유보강재 사용
   ③ 와이어메쉬+섬유보강재 사용 ④ 미사용 ⑤ 기타 ( )

6. 공동주택 지하주차장 구조 구성
   가) 최하층
   ① 매트기초 + 무근(누름)콘크리트 + 마감재(에폭시 등)
   ② 매트기초 + 배수판 + 무근(누름)콘크리트 + 마감재(에폭시 등)
   ③ 기타 구성
   나) 중간층
   ① 슬래브 + 무근(누름)콘크리트 + 마감재(에폭시 등)
   ② 슬래브 + 마감재(에폭시 등)
   ③ 기타 구성

지하주차장 바닥 무근(누름)콘크리트 균열저감방안 - 와이어메쉬

1. 지하주차장 무근(누름)콘크리트에 와이어메쉬 설치 위치(무근콘크리트 하단기준)
   ① 무근콘크리트 두께 1/4 위치　② 무근콘크리트 두께 1/3 위치
   ③ 무근콘크리트 두께 1/2 위치　④ 무근콘크리트 두께 1/2 위치이상
   ⑤ 기타 ( )

2. 지하주차장 무근(누름)콘크리트에 와이어메쉬 설치방법
   ① 와이어메쉬 설치 후 콘크리트 타설
   ② 콘크리트 일부 타설 후 와이어메쉬 설치
   ③ 콘크리트 완전 타설 후 와이어메쉬 설치
   ④ 기타 ( )

3. 지하주차장 무근(누름)콘크리트에 와이어메쉬 설치 후 관리방법
   ① 스페이서 등을 통하여 와이어메쉬 위치 고정
   ② 가설다리 등을 설치하여 작업자로 인한 와이어메쉬 위치이탈 방지
   ③ 별도의 관리 없음
   ④ 기타 ( )

지하주차장 바닥 무근(누름)콘크리트 균열저감방안 - 섬유보강재

1. 지하주차장 무근(누름)콘크리트에 사용 중인 섬유보강재의 적용시작 시기
   ① 2000년도 이전　② 2001~2005년　③ 2006~2010년
   ④ 2011~2013년

2. 지하주차장 무근(누름)콘크리트에 사용 중인 섬유보강재 원재료
   ① 셀룰로오스 섬유　② 마섬유　③ 나일론 섬유
   ④ P.P(폴리프로필렌) 섬유　⑤ P.V.A(폴리비닐알코올) 섬유　⑥ 기타 ( )

3. 지하주차장 무근(누름)콘크리트에 사용 중인 섬유보강재 혼입량(콘크리트 1㎥ 기준)
   ① 0.6kg/㎥미만　② 0.6kg/㎥　③ 0.9kg/㎥　④ 1.2kg/㎥
   ⑤ 1.5kg/㎥　⑥ 1.8kg/㎥　⑦ 2.1kg/㎥이상　⑧ 기타 ( )

지하주차장 바닥 무근(누름)콘크리트 균열저감방안 - 배합설계

1. 지하주차장 무근(누름)콘크리트의 품질관리를 위한 별도의 품질기준항목
   ① 슬럼프 (　　mm)　　② 굵은골재 치수 (　　mm)
   ③ 단위수량 (　　kg/m³)　　④ 단위시멘트량 (　　kg/m³)
   ⑤ 물-시멘트비 (　　%)　　⑥ 블리딩량 (　　㎤/㎠)
   ⑦ 골재량 (　　%)　　⑧ 공기량 (　　%)
   ⑨ 건조수축률 (　　%)
   ⑩ 기타 (　　)

2. 지하주차장 무근(누름)콘크리트의 품질관리를 위하여 사용 중인 화학혼화제
   ① AE제　　② AE감수제　　③ PC계 고성능감수제
   ④ 준PC계 고성능감수제　　⑤ 수축저감제　　⑥ 팽창재
   ⑦ 기타 (　　)

지하주차장 바닥 무근(누름)콘크리트 균열저감방안 - 양생 및 줄눈설치

1. 지하주차장 무근(누름)콘크리트를 타설 후, 양생관리방법 및 계절별 별도 관리현황 및 방법
   가) 양생관리방법
   ① 시트(비닐)양생 (버블시트 등)
   ② 흙손질 등을 통한 관리
   ③ 기타방법
   나) 계절별 양생관리
   ① 동절기 :
   ② 하절기 :

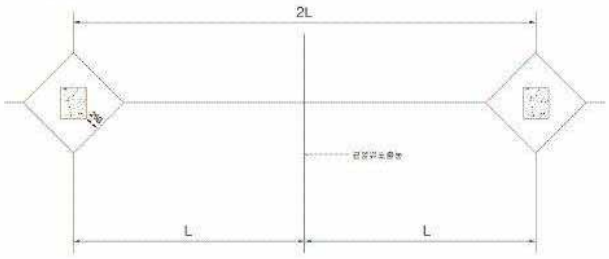
2. 지하주차장 무근(누름)콘크리트를 타설 후, 양생관리와 관련하여 타설 위치별 별도 관리현황 및 방법
   ① 지하 최하층 :
   ② 지하 1층 :
   ③ 지하주차장 출입 램프 부분 :
   ④ 지하주차장 계단실 등 :

3. 지하주차장 무근(누름)콘크리트를 타설시, 타설면적 분할 기준

4-1. 지하주차장 무근(누름)콘크리트를 타설 후, 설치하는 균열 유도줄눈 설치시기(일반 양생시, 콘크리트 강도 기준)
   ① 콘크리트 강도 3MPa 미만 ② 콘크리트 강도 3~5MPa
   ③ 콘크리트 강도 5~7MPa ④ 콘크리트 강도 7~10MPa
   ⑤ 콘크리트 강도 10MPa 이상 ⑥ 기타 ( )

4-2. 지하주차장 무근(누름)콘크리트를 타설 후, 설치하는 균열 유도줄눈 설치시기(일반 양생시, 양생일 기준)
   ① 타설 후, 24시간이내 ② 타설 후, 1~2일
   ③ 타설 후, 2~3일 ④ 타설 후, 3~5일
   ⑤ 타설 후, 5일후 ⑥ 기타 ( )

5. 지하주차장 무근(누름)콘크리트를 타설 후, 설치하는 균열 유도줄눈 설치 간격(L)
① 3m이내 ② 3~4m ③ 4~5m ④ 5m이상
⑤ 기타 ( )



6. 지하주차장 무근(누름)콘크리트 타설 후, 설치하는 균열유도줄눈 두께
① 3mm이내 ② 3mm ③ 4mm ④ 5mm이상
⑤ 기타 ( )

7. 지하주차장 무근(누름)콘크리트를 타설 후, 설치하는 균열 유도줄눈 깊이
① 무근콘크리트 두께(t)의 1/4 ② 무근콘크리트 두께(t)의 1/3
③ 무근콘크리트 두께(t)의 1/2 ④ 무근콘크리트 두께(t)의 1/2 이상
⑤ 기타 ( )

8. 지하주차장 무근(누름)콘크리트를 타설 후, 설치하는 Isolation Joint
① 10mm 이내로 설치 중에 있음 ② 10mm 이상으로 설치 중에 있음
③ 설치하지 않고 있음 ④ 기타 ( )

9. 지하주차장 무근(누름)콘크리트 균열유도줄눈 설치 후 실링재 주입
① 실링재 주입 중에 있음
② 별도의 실링재 주입하지 않음
③ 기타 방법을 적용 중에 있음

1.2 설문조사 결과

항 목			LH	대림건설	포스코건설		코오롱건설
일반사항	타설부위		최하층,중간층	최하층,중간층	최하층		최하층
	설계강도		24MPa	18MPa	18MPa		21MPa
	슬럼프		150mm	150~180mm	150mm이하		150~180mm
	타설두께		90~150mm	100~150mm	50~100mm		100~150mm
	배수판		50mm	50mm	50mm		사용
철망	설치위치		1/2t	–	–		–
	설치방법		설치후 타설	–	–		–
	관리사항		스페이서등 사용	–	–		–
섬유	원재료		셀룰로오스, 나일론	셀룰로오스	셀룰로오스, 나일론		나일론
	혼입량		0.6, 1.2kg/㎥	0.6kg/㎥	0.6kg/㎥		0.6kg/㎥
	적용시기		2007년	2006 ~10년	2006~10년		2011~13년
배합	단위수량		–	–	175kg/㎥		175kg/㎥
	공기량		3~6%	–	3~6%		3~6%
	W/C		–	–	62.5%		50%
	혼화제		–	준PC계	준PC계		준PC계
양생	양생방법			시트,흙손질,STF	STF		시트, 흙손질
	계절	冬	–	–	급열		시트
		夏	–	–	습윤		통상
	위 치		–	–	–		–
균열유도줄눈	시기	강도		5~7MPa	8MPa(건)	3MPa(습)	5–10MPa
		시간		2~3일	3일(건)	당일(습)	4~7일
	간 격			5m이상	4~5m		5.5m이하
	두 께			5mm이상	6mm		6mm이상
	깊 이			1/2t	1/3t		1/3t
	실링재			–	–		벽체,기둥
	I.Joint			10mm 이내	10mm 이내		사용

항 목			GS건설	삼성물산	현대건설	대우건설
일반사항	타설부위		최하층,중간층	최하층	최하층,중간층	최하층
	설계강도		21(램프),18MPa	18MPa	24MPa	18MPa
	슬럼프		120mm	150mm이하	150mm이하	150mm이하
	타설두께		100~150mm	100~150mm	100~150mm	100~150mm
	배수판		45mm	45mm	사용	45mm
철망	설치위치		–	1/2t	1/3t	1/2t
	설치방법		–	일부 타설후 설치	설치후 타설	설치후 타설
	관리사항		–	150mm겹침 이음	스페이서 사용	스페이서 사용
섬유	원재료		셀룰로오스(황마)	셀룰로오스	셀룰로오스, 나일론	셀룰로오스
	혼입량		0.9kg/㎥	1.2kg/㎥	0.6kg/㎥	1.2kg/㎥
	적용시기		2006~10년	2001~05년	2001~05년	2001~05년
배합	단위수량		170kg/㎥	162kg/㎥	170kg/㎥	185kg/㎥
	공기량		3~6%	4~5%	4.5%	3~6%
	W/C		48~50%	59.9%	48%	–
	혼화제		준PC계	준PC계	AE감수제,준PC	AE제
양생	양생방법		흙손질	시트	흙손질	흙손질
	계절	冬	보온,가열	천막,열풍기,시트	급열양생	극한기 피함
		夏	살수	살수(3일이상)	습윤양생	습윤양생
	위 치		–	방풍보양, 시트	–	–
균열유도줄눈	시기	강도	10MPa이상	3~5MPa	10MPa이상	3~5MPa
		시간	5일	계절 및 방법별	5일후	5일후
	간 격		3~4m	4~5m	5m이상	3~4m
	두 께		5mm이상	6mm(씰링), 3mm	5mm이상	3mm
	깊 이		1/2t	1/3t	1/4t	1/4t
	실링재		사용	–	X	X
	I.Joint		–	10mm이내	X	X

2. 무근콘크리트 균열저감용 섬유보강재 판매업체 조사

2.1 질의내용

가. 조사업체

㈜나이콘소재, ㈜덕창건업, ㈜케미우스코리아, ㈜코어이노베이션, ㈜콘테크

나. 조사 목적

㉠ 지하주차장 무근콘크리트 균열 저감을 위하여 사용되고 있는 섬유보강재 혼입량 조사 및 균열저감효과 조사

㉡ 섬유보강재의 년간 매출량 및 판매가격 등 조사

다. 질의서

무근(누름)콘크리트 균열저감용 섬유보강재 관련 질의서

본 질의서는 토지주택연구원 건설환경연구실에서 수행중에 있는 '공동주택 지하주차장 균열 및 누수 대책방안 연구'에서 검토 중인 섬유보강재를 사용한 지하주차장 무근(누름)콘크리트의 균열저감 관련입니다.
귀사에서 판매중인 제품에 대하여 답변을 부탁드리며, 현재 판매중인 섬유보강재 제품이 다수일 경우, 각 제품에 대한 답변을 각각 부탁드립니다.

1. 섬유보강재 회사개요

회 사 명	
대 표 자	
주 소	
연 락 처	
담 당 자	

2. 섬유보강재 관련 질의내용

제 품 명			
제품 원재료			
권장혼입량(kg/㎥)	kg/㎥	이유	
		근거	
최적혼입량(kg/㎥)	kg/㎥	이유	
		근거	
균열저감효과			
매출량 (2012년 기준)			
가 격 (kg당)	공시가	원	
	실판매가	원	
기타사항			

라. 질의결과

회사명	나이콘소재(주)		덕창건업(주)							
제품명	나이콘화이버		슈퍼콘셀		멀티콘셀		에코셀		아미콘화이버	
원재료	나일론(폴리아미드)		셀룰로오스		양마섬유		셀룰로오스		나일론	
권장혼입량(kg/㎥)	0.6	미국 사용량	1.2	시험 성적서	0.6	시험 성적서	0.6	시험 성적서	0.6	시험 성적서
최적혼입량(kg/㎥)	0.6	NET신기술 0290호 인증 시험	1.2	시험 성적서	0.6	시험 성적서	0.6	시험 성적서	0.6	시험 성적서
균열저감 효과	실내시험 70%저감효과		인장강도비 107%		인장강도비 148%		인장강도비 106%		–	
매출량(2012년)	약 100톤		380톤		45톤		50톤		47톤	
가격(원)(공시가/실판매가)	8,000/5,000		8,000/5,500		8,000/5,000		8,000/5,000		8,000/5,700	

회사명	케미우스코리아(주)		코어이노베이션(주)		콘테크(주)	
제품명	울트라화이버 500		코어셀		그린화이버	
원재료	셀룰로오스		야자 팜파이버		마섬유	
권장혼입량 (kg/㎥)	0.6	시험성적서	0.6	시험성적서	0.6~0.9	시험성적서
최적혼입량 (kg/㎥)	0.6	시험성적서	1.0	관련논문	0.9	시험성적서
균열저감 효과	소성수축균열80%감소 인장강도 105%		건조수축량 15%저감 인장강도 103%		건조수축량 15%저감 인장강도 110%	
매출량 (2012년)	200톤		–		315톤	
가격(원) (공시가/실판매가)	7,000/4,000		7,000/4,000		7,000/5,000	