실용과제 연구관리 2026-045

LH 주택유형에 따른 태양광 발전설비 기초공법 제안

Proposal for the Foundation Method of Photovoltaic(PV) Systems According to LH Housing Types

권석민 이수규
박시현 김민준
오정민 최영주
장범용

LHRI-P
Land Housing Research Institute Practical
LH 토지주택연구원

연구관리 2026-045

LH 주택유형에 따른 태양광 발전설비 기초공법 제안

지 은 이 권석민 이수규 박시현 김민준 오정민 최영주 장범용
발 행 인 김용운
발 행 처 한국토지주택공사 토지주택연구원
주 소 (34047) 대전 유성구 엑스포로 539번길 99
홈페이지 http://lhri.lh.or.kr

이 출판물은 우리 공사의 업무상 필요에 의하여 연구·검토한 기초자료로써 공사나 정부의 공식적인 견해와 관계가 없습니다.
우리 공사의 승인 없이 연구내용의 일부 또는 전부를 다른 목적으로 이용할 수 없습니다.

연구관리 2026-045

LH 주택유형에 따른 태양광 발전설비 기초공법 제안

Proposal for the Foundation Method of Photovoltaic(PV) Systems According to LH Housing Types

권석민·이수규·박시현·김민준·오정민·최영주·장범용

LH 토지주택연구원

참여 연구진

연구책임

권석민 LH 토지주택연구원 수석연구원

연구진

이수규 LH 토지주택연구원 수석연구원
박시현 LH 토지주택연구원 수석연구원
김민준 LH 토지주택연구원 수석연구원
오정민 LH 토지주택연구원 전임연구원
최영주 LH 주거복지본부 임대자산관리처 차장
장범용 LH 주거복지본부 임대자산관리처 차장

연구심의위원(가나다순)

박종배 LH 토지주택연구원 건설기술연구실장(심의위원장)
김승훈 한밭대학교 교수
이동건 LH 토지주택연구원 수석연구원
최하진 숭실대학교 교수

자문위원(가나다순)

구보경 한국건설기술연구원 수석연구원
김창혁 인하대학교 교수
신홍철 한국건설생활환경시험연구원 센터장
엄재용 이건창호 수석연구원
이수진 이화여자대학교 교수
이준호 삼성물산 프로
주현진 한경국립대학교 교수
최보혜 이화여자대학교 박사

위탁연구기관

(사)한국구조물진단유지관리공학회(용역책임: 이정윤 성균관대학교 교수)

LH 주택유형에 따른 태양광 발전설비 기초공법 제안

권석민 수석연구원 (연구책임) | 이수규 수석연구원 | 박시현 수석연구원 | 김민준 수석연구원
이수규 수석연구원 | 오정민 전임연구원 | 최영주 차장 | 장범용 차장

공동주택 태양광 발전설비는 확대되고 있으나, 기존 기초공법은 구조 및 방수 측면에서 한계

- 공동주택 태양광설비 적용이 증가 추세이나, 대부분 슬래브 일체형 독립기초 공법을 적용함
- 태양광 하중이 슬래브로 직접 전달되는 구조로 인해 슬래브 균열 및 변형이 발생하며, 앵커 시공 과정에서 방수층 손상으로 인한 누수 가능성이 존재함
- 특히 슬래브-기초-베이스플레이트 연결부에서 하중이 집중되어 구조적 취약성이 발생함
- 이에 따라 구조 안전성 및 내구성 확보를 위한 기초공법 개선이 필요한 상황임

구조성능 평가결과, 앵커 정착조건과 하중전달 구조가 구조 안정성의 핵심 지배요소임

- 앵커 매입깊이에 따라 내력 및 파괴모드가 크게 변화하는 것으로 나타남
- 매입깊이가 부족한 경우 기초부에서 파괴가 발생하고 내력이 저하되는 경향을 보임
- 슬래브-기초-베이스플레이트 연결부가 주요 취약부로, 하중 집중에 따른 국부 파괴가 발생함
- 설계기준 검토 결과 기준 매입깊이를 확보한 경우 구조 안전성 확보가 가능한 것으로 나타남
- 따라서 앵커 정착조건 확보와 하중 전달 구조 개선이 기초공법 설계의 핵심 요소로 도출됨

슬래브 하중 저감을 위해 PC 기반 독립기초 공법을 제안하고, 구조·방수·시공 성능을 검증

- 기존 습식공법을 대체하는 PC(Precast Concrete) 기반 독립기초 공법을 제안함
- 기초를 공장에서 제작 후 현장에 설치하고, 슬래브와 분리된 구조를 적용함
- 태양광설비 하중을 독립기초, 슬래브로 단계적 하중전달경로를 적용하여 슬래브 작용하중 저감
- 구조성능 평가 결과, 앵커 정착조건 확보 시 설계기준을 만족하는 안정적인 거동을 보였으며 매입깊이에 따른 내력 변화 경향이 명확히 확인됨
- 방수성능 평가 결과, 앵커부 및 기초-슬래브 계면에 대한 방수 상세 적용 시 담수 및 하중 작용 이후에도 수밀성이 유지되는 것으로 나타남
- 단열성능에서 일부 열교 증가 경향이 있으나 전체 열관류율 및 결로 기준을 만족하는 것으로 분석됨
- 공장 제작 기반 시공은 품질의 균일성 확보 및 시공 오차 감소, 공기 단축의 장점을 가짐

슬래브 하중저감을 위한 PC 기반 독립기초 공법을 제안하고, 구조·방수·시공 성능을 검증

- 건설형 임대주택은 구조도면 확보와 구조검토가 용이하여 PC 기초공법 적용이 유리함
- 매입형 임대주택은 내력 구조물의 정보 확보 수준이 불균일하고 일부 대상에서 슬래브 내력이 부족한 사례가 확인됨
- 따라서 매입형 임대주택은 구조검토 또는 안전진단 결과에 기반한 선택적 적용이 필요함
- 본 연구는 기존 기초공법의 구조 및 방수 한계를 개선하고, 하중 전달 구조를 기초 중심으로 전환함으로써 구조 안전성, 방수성능 및 시공성을 동시에 확보할 수 있는 기초공법을 제시함
- 향후 현장 실증 및 설계기준 반영을 통해 공동주택 태양광 발전설비 적용을 위한 표준 기초공법으로 활용 가능할 것으로 판단됨

CONTENTS

❶ 기존 태양광 발전설비 기초공법의 구조적 문제 및 한계 분석
❷ PC 기반 독립기초 공법 제안 및 구조 개념 개선
❸ 구조·방수·단열 성능 검증 및 주택유형별 적용성 평가

태양광발전설비 #PC기초공법 #앵커정착성능 #구조안전성 #방수성능

1 연구배경 및 필요성

■ 공동주택 태양광 설비 적용 확대에 따른 구조기준 필요

○ 신재생에너지 확대 정책으로 공동주택 태양광 설비 적용 증가

- 설치 절차 및 기술기준은 제시되어 있음
- 건축구조와 연계된 기초공법 기준은 미흡

→ 구조 안전성 및 내구성 확보를 위한 설계기준 필요

■ 기존 연구 및 기술의 한계

○ 태양광 관련 연구는 발전성능 중심으로 수행

- 구조성능, 기초설계, 시공성 검토 부족
- 방수 및 단열 성능에 대한 통합 검토 미흡

→ 건축 구조와 연계된 실증 기반 연구 필요

2 연구 목적 및 범위

■ 주택유형별 적용 가능한 기초공법 제안

○ LH 임대주택(건설형, 매입형)의 구조 특성 반영

- 기존 기초공법의 문제점 분석
- 적용 가능한 개선 기초공법 도출

→ 실무 적용 가능한 설계 기준 제시

■ 성능 기반 검증 수행

○ 구조성능, 방수성능, 단열성능 및 시공성 검증

- 현장조사, 구조해석 및 실험 수행

→ 공법의 적용성 및 신뢰성 확보

3 연구 수행 체계

■ 기존 공법 분석 및 현장조사

○ 태양광 발전설비 기초 형식 및 적용 현황 분석

- 슬래브 두께, 재료강도, 앵커 정착 상태 조사

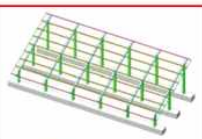
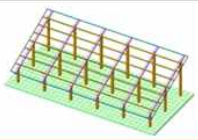
→ 구조적 취약요인 도출

■ 기초공법 제안 및 성능 검증

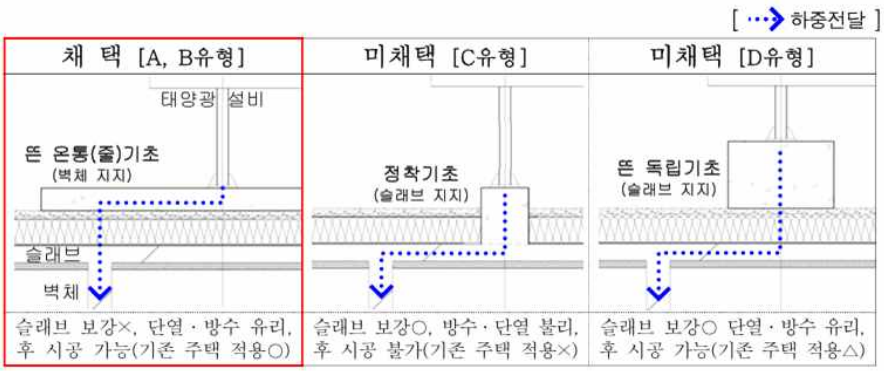
○ **주택유형별 맞춤형 기초공법 제안**

- 구조성능 평가 실험 수행
- 방수 및 단열 성능 검증 병행

→ 통합 성능 검증 체계 구축

태양광 기초 형식		형 상	특 징	비고
하부 벽체 지지형	[A 유형] 뜬 가로줄기초		· 슬래브 보강 불필요 · 정형 평면에 적합(일방향 기초)	채택 (안정)
	[B 유형] 뜬 온통기초		· 슬래브 보강 불필요 · 비정형 평면에 적합(양방향 배근)	채택 (안정)

(a) 뜬구조 형식



(b) 슬래브와의 정착 상세

[그림 1] 기존 태양광 발전설비 기초 형식

4 기존 기초공법 분석 및 문제점

■ 기존 기초공법 적용 특성

○ 슬래브 일체형 독립기초 방식 적용

- 옥상 슬래브에 후시공 앵커 정착

→ 태양광 하중이 슬래브로 직접 전달

■ 구조적 문제

○ 슬래브 하중 집중 발생

- 균열 및 변형 발생 가능성
- 슬래브-기초-베이스플레이트 연결부 취약

→ 구조적 안전성 저하

■ 방수 및 내구성 문제

○ 앵커 시공 시 방수층 손상 가능성

- 장기적으로 누수 발생 가능

→ 유지관리 및 내구성 저하

5 구조성능 평가 결과

■ 앵커 정착조건의 영향

○ 앵커 매입깊이에 따라 내력 및 거동 변화

- 매입깊이 부족 시 기초부 파괴 발생

→ 정착조건이 구조성능 결정 주요 변수

■ 구조 취약부 도출

○ 슬래브-기초-베이스플레이트 연결부

- 하중 집중 및 파괴 발생 위치

→ 설계 시 주요 검토 대상

■ 구조성능 확보 조건

○ 앵커 정착조건 확보 시 구조성능 만족

- 설계 기준 만족 여부는 매입깊이에 의존

→ 기준 매입깊이 확보 필요

6 개선 기초공법 제안

■ PC(Precast Concrete) 기반 독립기초 공법 적용

○ 슬래브와 기초를 분리한 구조 적용

-기초부를 공장 제작 후 현장 설치

→ 시공 방식 개선

■ 하중 전달 구조 개선

○ 태양광 하중을 기초로 직접 전달

- 기초에서 슬래브로 하중 분산

→ 슬래브 작용 하중 저감

■ 구조 및 시공 개선 효과

○ 슬래브 균열 저감 및 구조 안정성 향상

○ 공장 제작을 통한 품질 균일성 확보

○ 현장타설 대비 시공오차 감소 및 공기 단축

[표 1] 주택 유형별 특성을 반영한 태양광발전설비 기초공법 제안(안)

주택유형	기초형식	고려사항
신규 건설임대 (신축 아파트)	기존 LH 적용 뜬구조 형식	신규 주택설계 발주 시 뜬구조 기초 포함 구조설계 발주
기존건설임대 (기축 아파트)	옥상 슬래브 정착형 독립기초 (현장타설)	건축연령, 사용재료강도(철근, 콘크리트), 옥상 슬래브 두께, 단열, 방수, 시공성 고려
매입형임대 (필로티형 포함)	옥상 슬래브 정착형 독립기초 (PC공법)	

7 성능 검증 결과

■ 구조성능

○ 앵커 매입깊이 및 정착조건에 따라 내력 변화
- 설계 기준 만족 시 안정적 거동 확보

→ 구조 적용 가능성 확인

■ 방수성능

○ PC 기초 적용 시 방수 상세 적용
- 앵커부 및 계면부 수밀성 확보
- 하중 작용 이후에도 방수층 건전성 유지

→ 방수 성능 확보

■ 단열성능

○ 일부 열교 증가 경향 확인
- 전체 열관류율 및 결로 기준 만족

→ 단열 성능 유지

■ 시공성 및 품질

○ 공장 제작 기반 시공 적용
- 품질 균일성 확보
- 시공성 향상 및 공기 단축

○ 슬래브와 기초를 분리한 구조 적용
- 기초부를 공장 제작 후 현장 설치

8 주택유형별 적용성 검토

■ 건설형 임대주택

○ 구조도면 확보 및 구조검토 가능
- 슬래브 안전성 검토 용이

→ PC 기초공법 적용 유리

■ 매입형 임대주택

○ 구조정보 확보 제한

- 일부 대상 슬래브 내력 부족 확인

→ 구조검토 또는 안전진단 기반 적용 필요

9 결론 및 시사점

■ 기존 기초공법 한계

○ 슬래브 일체형 구조

○ 구조정보 확보 제한

- 구조 및 방수 성능 저하 요인 존재

→ 개선 필요

■ 기술적 개선 방향

○ PC 기반 독립기초 공법 적용

○ 구조정보 확보 제한

- 하중 분산을 통한 구조 안정성 확보

○ 구조정보 확보 제한

- 방수 및 시공성 개선

■ 적용 전략

○ 주택유형별 맞춤형 적용 필요

○ 구조정보 확보 제한

- 건설형: 적용 확대

○ 구조정보 확보 제한

- 매입형: 구조검토 기반 선택 적용

→ 구조안전성, 방수성능, 시공성을 동시에 확보하기 위한 기초공법 전환 필요

LHRI Practical Report

차례

Ⅰ. 연구 배경 및 목적 ····· 1

Ⅱ. 태양광발전설비 선행 연구 검토 ····· 7

Ⅲ. 기존 태양광발전 설비 기초공법 조사 ····· 11

Ⅳ. 태양광발전설비 기초공법 개선안 제시 및 성능 평가 ····· 21

Ⅴ. 태양광 발전설비의 LH 주택 적용성 검토 ····· 65

Ⅵ. 결론 ····· 73

표차례

[표 1-1] LH 임대주택 태양광발전설비 설치현황 ····· 2
[표 1-2] 태양광 발전설비 기초 설계 시 고려 사항 ····· 4
[표 1-3] 주택 유형별 특성을 반영한 태양광발전설비 기초공법 제안(안) ····· 4

[표 2-1] 태양광 발전설비 관련 국내 연구동향 ····· 8
[표 2-2] 태양광 발전설비 관련 국외 연구동향 ····· 10

[표 3-1] 현장조사 장비 ····· 12
[표 3-2] 대상동 리스트 ····· 13
[표 3-3] 현장조사 내용 체크리스트 요약 ····· 19

[표 4-1] 풍압에 의한 횡력 산정 계산 결과 ····· 26
[표 4-2] 실험체 일람표 ····· 32
[표 4-3] 실험체 별 앵커 내력 산정 결과 ····· 33
[표 4-4] 실험체 일람표 ····· 51
[표 4-5] 지역별 건축물 부위의 열관류율표 ····· 57
[표 4-6] 단열재의 두께 - 최상층에 있는 거실의 지붕(외기에 직접 면하는 경우) ··· 57
[표 4-7] 재료별 적용된 물성치 ····· 57
[표 4-8] 실내외 경계조건[EN ISO 6946] ····· 57
[표 4-9] 전열해석결과 ····· 58

그림차례

[그림 1-1] LH의 임대주택 유형 ····· 2
[그림 1-2] 기존 태양광 발전설비 기초 형식 ····· 3
[그림 1-3] 태양광 발전설비 연구수행 로드맵 ····· 6

[그림 3-1] 매입임대주택 코어유형별 분류(국토교통부) ····· 12
[그림 3-2] 현장조사 체크리스트 ····· 14
[그림 3-3] 현장조사 체크리스트 ····· 15
[그림 3-4] 건설형 임대주택 현장조사 사진 ····· 16

[그림 4-1] 태양광발전설비 기초 설치 ····· 22
[그림 4-2] 태양광발전설비 기초 구성 ····· 22
[그림 4-3] 매입임대주택 기초 현황 ····· 22
[그림 4-4] PC 기초 공법 ····· 23
[그림 4-5] 태양광발전설비 기초 설치 ····· 25
[그림 4-6] 국가건설기준에 따른 지역별 기본풍속 ····· 25
[그림 4-7] 구조성능평가 실험체 상세 ····· 42
[그림 4-8] 실험장치 셋팅 ····· 43
[그림 4-9] 구조성능평가 하중-변위 관계 ····· 47
[그림 4-10] 변수에 따른 하중-변위 관계 비교 ····· 47
[그림 4-11] 실험체 파괴 형상 ····· 49
[그림 4-12] 방수성능실험체 상세 ····· 52
[그림 4-13] 방수성능실험 순서 ····· 53
[그림 4-14] 방수성능평가 하중-변위 관계 비교 ····· 54
[그림 4-15] SW-시리즈 방수실험결과 ····· 55

[그림 5-1] 매입형 임대주택 슬래브 안전성 검토결과 ····· 67
[그림 5-2] 국내 건축물 내진설계 변천사 ····· 68
[그림 5-3] 지역별 연간일조시간 ····· 71

Ⅰ 연구배경 및 목적

Key Point

- LH는 기축 및 신축 임대주택을 대상으로 태양광발전설비 적용을 지속 확대 중
- 주택 유형별 특성을 반영한 맞춤형 적용 전략 수립이 필요

1 연구배경

1) 공동주택 태양광발전설비 적용을 위한 LH의 노력

■ 공동주택 태양광발전설비 확대 적용을 위한 정책 및 적용 현황

○ 국토교통부는 탄소중립 로드맵(ZEB 의무화 로드맵)을 발표(2021.12)하고 2030 온실가스 감축목표를 공동주택에도 적용하고 있음

○ LH는 대규모 공동주택을 공급 및 관리하는 국내 최대의 공공기관으로서, 국가정책에 부응하기 위하여 2018년 하반기부터 공동주택에 태양광설비를 적용하고 있으며, 이를 통해 입주민의 에너지 복지 향상 및 신재생에너지 보급 확대를 추진 중임

○ [표 1-1]과 같이 LH는 기축 및 신축 임대주택을 중심으로 태양광발전설비를 설치하고 있으나, 적용 대상의 대부분이 아파트에 집중되어 있어, 태양광발전설비 적용의 한계가 존재하는 것으로 판단됨

○ 따라서 LH가 건설 및 관리하는 다양한 주택 유형에 태양광발전설비를 확대 적용하기 위해서는, 주택유형별 특성을 고려한 맞춤형 적용 방안 마련이 필요한 것으로 판단됨

[표 1-1] LH 임대주택 태양광발전설비 설치현황

(단위 : MW)

년도	~ '17년	'18년	'19년	'20년	'21년	'22. 6월	합 계
기축	14.7	2.1	4.1	2.9	1.5	1.7	27.0
신축*	-	0.9	1.1	2.7	5.7	2.0	12.4
합계	14.7	3.0	5.2	5.6	7.3	3.7	39.4

* (설계기준) 18년부터 공동주택 태양광발전 130W/호 전면 적용 → '21년도 200W



(a) 건설형 임대주택 (b) 매입형 임대주택

[그림 1-1] LH의 임대주택 유형

2) LH 주택 유형별 특성을 반영한 태양광발전 기초설비 기술개발 필요성

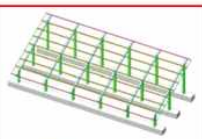
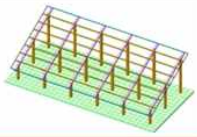
■ LH 공동주택 태양광발전설비 기초 설계기준

○ LH는 2019년 「태양광 전면적용에 따른 주거 기본성능 및 품질 개선방안(`18. 08)」의 후속조치로, 태양광발전설비 기초에 관한 구조설계기준을 수립하였음

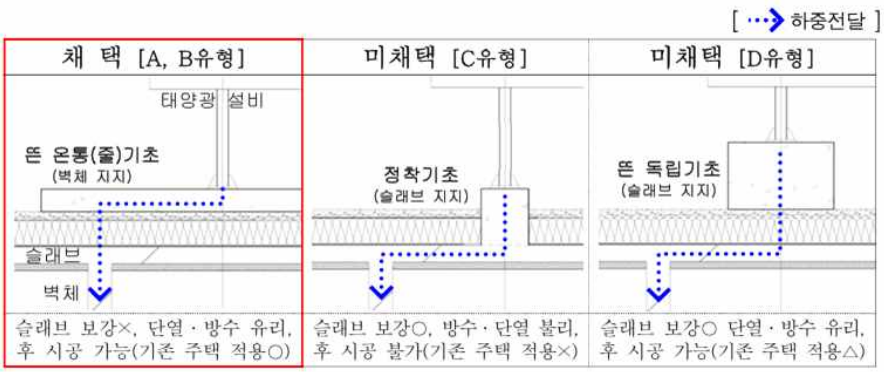
○ 해당 기준은 신규 설계지구의 태양광발전설비 기초 적용 시 구조·방수·단열 등 주택 성능 확보를 목적으로 하나, 매입임대주택에는 적용되지 않고 있음

○ 2019년 수립된 기준에서는 태양광발전설비 기초형식을 아파트 옥상 벽체(파라펫)에 지지하는 “뜬구조(슬래브 비정착형)” 형태([그림1-2])의 줄기초 및 온통기초를 제안하였으며, 이는 옥상 슬래브의 단열 및 방수 성능 확보 측면에서 유리한 특징이 있음

○ 그러나 해당 기준은 특정 주택 유형(신규 공동주택 등)에 한정되어 있어, 다양한 주택 유형에 대한 적용에는 한계가 존재함

태양광 기초 형식		형 상	특 징	비고
하부 벽체 지지형	[A 유형] 뜬 가로줄기초		· 슬래브 보강 불필요 · 정형 평면에 적합(일방향 기초)	채택 (안정)
	[B 유형] 뜬 온통기초		· 슬래브 보강 불필요 · 비정형 평면에 적합(양방향 배근)	채택 (안정)

(a) 뜬구조 형식



(b) 슬래브와의 정착 상세

[그림 1-2] 기존 태양광 발전설비 기초 형식

LH 주택 유형별 특성을 반영한 태양광발전설비 기초공법 개발 필요성

○ 태양광발전설비 기초는 설비의 수명 및 구조적 안정성에 결정적인 영향을 미치는 요소로, 건축물의 구조적 특성을 고려하여 설계되어야 함

○ 일본의 경우, 태양광발전설비의 구조 설계 및 시공 미흡이 사고 및 분쟁의 주요 원인으로 보고된 바 있음[1)]

○ 태양광발전설비 기초 설계 시 [표 1-2]와 같은 하중조건을 고려하여야 함

[표 1-2] 태양광 발전설비 기초 설계 시 고려 사항

하중	특성	고려사항
고정하중	태양광 모듈 및 건축물의 자중	주택 유형 및 옥상 평면에 영향을 받음
풍하중	지역별 최대 풍속 고려 필요	-
적설하중	지역별 최대 적설 고려 필요	-
지진하중	지역별 지진계수 적용	주택 유형에 따른 내진설계 특성 검토 필요
활하중	유지보수 등 작업자 하중	-

○ 신규 건설형 임대주택 이외의 경우, 태양광발전설비 기초 설계 시 건설연령을 고려한 구조적 안정성 및 재료강도에 대한 면밀한 검토가 필요함

○ 특히, 매입형 임대주택(필로티형 포함)의 경우 건설형 임대주택에 비해 구조적으로 취약하고 규모가 작아, 기존 뜬구조형 태양광발전설비 기초 적용이 제한될 가능성이 높음

○ 이에, 본 연구에서는 [표 1-3]과 같이 주택 유형별 특성에 부합하는 태양광발전설비 기초공법을 제안함

[표 1-3] 주택 유형별 특성을 반영한 태양광발전설비 기초공법 제안(안)

주택유형	기초형식	고려사항
신규 건설임대 (신축 아파트)	기존 LH 적용 뜬구조 형식	신규 주택설계 발주 시 뜬구조 기초 포함 구조설계 발주
기존건설임대 (기축 아파트)	옥상 슬래브 정착형 독립기초 (현장타설)	건축연령, 사용재료강도(철근, 콘크리트), 옥상 슬래브 두께, 단열, 방수, 시공성 고려
매입형임대 (필로티형 포함)	옥상 슬래브 정착형 독립기초 (PC공법)	

1) 태양광발전설비의 구조물과 기초, 오쿠지 마코토 외, 2023

2 연구목적

1) 연구목적

■ LH 주택 유형별 태양광발전설비 기초공법의 적용성 및 구조성증 검증

○ LH 주택 유형에 부합하는 태양광발전설비 기초 공법을 제안하고, 구조적 안전성, 시공성, 단열·방수 성능 등을 종합적으로 검증하는 것을 본 연구의 주요 목적으로 함

○ 특히, 다양한 매임임대주택의 유형을 고려하여 기존 기초공법의 적용 한계를 분석하고 이에 대응 가능한 기초 공법을 도출함

■ 주택 유형별 맞춤형 태양광발전설비 기초공법 제안 및 기술 검증

○ 현장조사를 통해 유형별 고주 특성 및 시공 조건을 분석하고, 이를 반영한 맞춤형 기초공법을 제안함

○ 제안된 기초공법에 대하여 구조 성능시험, 방수 성능평가 및 단열 열전달 해석을 수행하여 기술적 타당성을 검증함

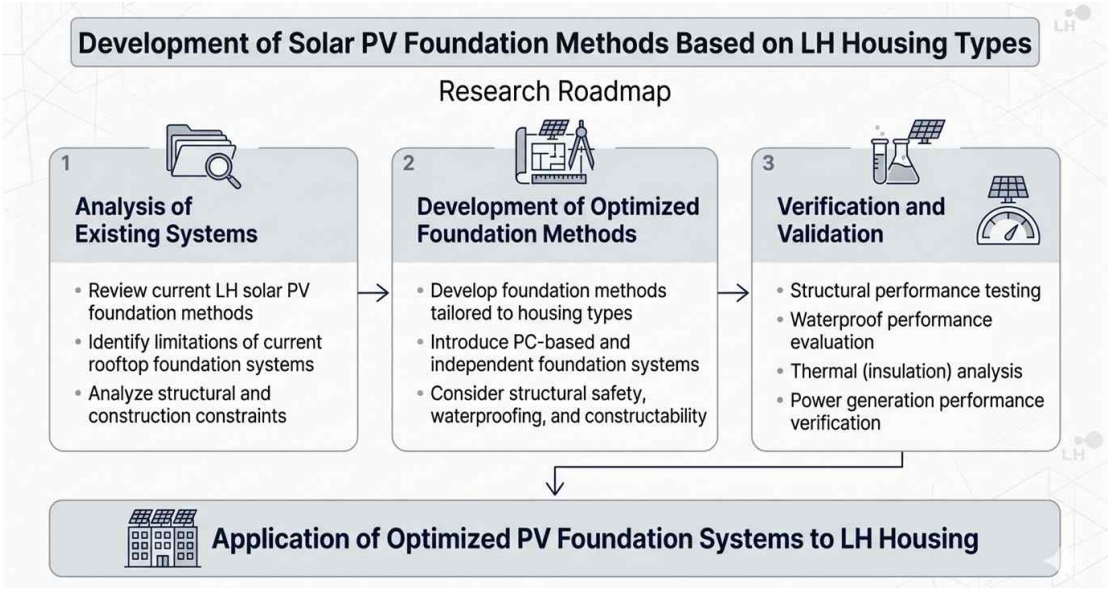
■ LH 실무 적용을 위한 정량적 성능 데이터 확보 및 기준 마련 지원

○ 태양광발전설비 기초공법의 적용성 검토 결과를 기반으로 구조 안전성 및 성능에 대한 정량적 데이터를 확보함

○ 향후 LH 설계기준 및 시방서 마련에 활용 가능한 기술자료를 제공하여 실무 적용 기반을 구축함

2) LH 주택유형별 태양광발전설비 기초공법 개발

■ 연구 수행 로드맵



[그림 1-3] 태양광 발전설비 연구수행 로드맵

■ 기존 태양광발전설비 기초공법분석

○ LH 적용 태양광발전설비 기초공법 현황 분석

○ 기존 옥상 설치 기초공법의 한계 도출

○ 구조적·시공적 제약조건 분석

■ 주택 유형별 맞춤형 기초공법 개발

○ PC 기반 독립기초 공법 적용 방 안 제시

○ 구조안전성, 방수성 및 시공성 고려

■ 기초공법 성능 검증

○ 구조 성능 시험 및 방수성능 평가

○ 단열(열전달)해석

○ 발전성능 검증

II 태양광발전설비 선행 연구 검토

Key Point

- 태양광 발전설비 적용 확대를 위한 국내·외 설치 기준 및 사례 체계적 분석 필요
- 기존 시스템 중심 연구에서 벗어나, 구조·기초 및 현장 적용성 중심의 기술 검토 필요

1 태양광발전설비 선행 연구 검토

1) 관련제도 및 LH 기준현황

■ 신재생에너지 설비 지원 등에 관한 지침(2025.03.24. 개정)

○ 「신재생에너지 설비의 지원 등에 관한 규정」에 따라 태양광 발전설비의 정의, 설치 기준 및 준수사항을 규정하고 있음

○ 태양광 발전설비의 설치 절차, 기술 기준 및 유지관리 사항을 포함하여 설비 적용의 기본 방향을 제시하고 있음

→ 태양광 설비 적용을 위한 국가 차원의 기본 기준 및 관리체계 마련

■ 서울특별시 태양광설비의 설치와 관리 등에 관한기준(2023.11.19. 개정)

○「서울특별시 에너지 조례」에 따라 태양광설비의 설치기준, 관리기준 및 시공기준을 구체적으로 규정하고 있음

○ 건축물 유형별 설치 기준 및 안전관리 기준을 포함하여 지역 단위의 실질적 적용기준을 제시하고 있음

→ 지자체 차원의 구체적 설치·시공 및 유지관리 기준 제시

■ LH-ESG 경영실천을 위한 태양광발전설비 설계기준 개선(안)(2023.01.16.)

○ 2030 온실가스 감축 목표에 따른 제로에너지건축 의무화 정책에 대응하여 '23년 사업계획 승인 대상부터 ZEB 인증 의무 적용(신축 건설임대주택)

○ 태양광 발전 고도화 및 잉여전력 활용을 통해 그린에너지 플러스 하우스 기반 구축 추진

→ LH 차원의 ESG 대응 및 태양광 설비 확대 적용 방향 제시

■ 시사점

○ 태양광 설비 관련 제도 및 기준은 마련되어 있으나, 구조 안전성 및 기초 설계에 대한 세부 기준은 미흡한 실정임

2) 관련연구 현황

■ LH 내부수행 연구

○ LH의 관련연구는 총 6건 수행되었으며, 태양광발전의 설치 위치 다양화, 시스템 구성 및 에너지 자립률 향상 중심으로 수행됨

○ BIPV 적용, 발전량 분석 및 제로에너지건축 대응 등 계획 및 운영 중심 연구가 주를 이룸

○ 반면, 태양광발전설비의 기초·구조·안전성, 하중검토 및 시공 상세 기준에 대한 연구는 수행되지 않음

→ 기존 연구는 시스템 및 에너지 성능 중심으로 편중

[표 2-1] 태양광 발전설비 관련 국내 연구동향

저자	년도	선행연구명	시사점
곽병창 외	2024	공동주택 태양광 발전 능력 향상을 위한 설치 위치 다각화 연구	BIPV 루버 및 발코니 난간을 대상으로 실증 모니터링을 진행하고, 태양광 발전 시스템 검증을 위한 기초 연구임
박시현 외	2023	제로에너지건축물 BIPV 단열 외피시스템 제안	제로에너지 공동주택 보급확산을 위해 BIPV를 적용한 단열 외피시스템의 대안을 제시하고, 대안별 단열성능 등 종합성능 평가 결과를 분석함
김길태 외	2023	조치원읍 상리 에너지자립마을 리빙랩 운영 및 평가	세종시 조치원읍 상리 지역 에너지자립마을을 대상으로 제로에너지건축물 3등급을 달성하고, 거주민들의 생활환경이 반영된 모니터링 연구를 진행 중임
김종엽 외	2020	조치원읍 상리 도시재생뉴일사업 에너지자립마을 기획설계	목표 에너지자립률 달성을 위해 대상 건물에 적용 가능한 패시브, 액티브 기술, 에너지 생산 기술을 검토함
유정현 외	2020	공동주택의 에너지 자립 수준 향상방안 연구	태양광, 지열, 연료전지 적용에 따른 에너지 자립률 달성에 대해 분석하고, 제로에너지건축물 인증 의무화 대응하고자 함
LH 공공주택 전기처	2023	제로에너지주택 구현을 위한 태양광발전 대응전략 수립 연구	에너지 자립률 확보를 위해 태양광 발전량 분석, 시뮬레이션을 통해 다양한 PV 및 BIPV 설치위치를 검토함

[표 2-1] 태양광 발전설비 관련 국내 연구동향(계속)

저자	년도	선행연구명	시사점
박광필 외	2025	진동 저감 댐퍼를 적용한 500 W급 태양광 발전 설비 지지구조물 구조해석	진동 저감 댐퍼를 적용한 500 W급 태양광 발전 설비의 지지 구조물에 대한 구조 해석을 수행하여, 댐퍼 적용 유무에 따라 풍하중에 의한 지지구조물 파손 여부를 분석함
김시원 외	2024	기계학습 모델을 활용한 공장지붕형 태양광 구조물의 안전성 평가	기계학습 모델을 활용하여 건축물 지붕 태양광 구조물의 안정성을 평가하고, 의사결정 모델을 제시함
이효문 외	2022	실측을 통한 북향 설치 PV 시스템의 발전성능 평가	북향으로 설치된 지붕형 태양광 발전 시스템(PV 시스템)의 타당성을 평가하고, 전라북도 완주군에 위치한 지붕형 PV 시스템을 대상으로 남향 및 북향 경사에 대한 성능을 비교 분석함
원종연 외	2021	제로에너지건축물 인증을 고려한 공동주택 태양광 발전시스템 적용 방안	공동주택 2개 단지를 대상으로 태양광 발전 시스템의 용량 검토와 실현가능한 제로에너지 건축물 인증 등급 수준을 분석함
이응직	2016	평지붕 설치 태양광시스템의 표면형태 조사.분석	평지붕에 설치된 태양광 발전 시스템의 시설 실태와 거치 구조물 제작 및 설치에 다른 장단점을 분석함
고재우 외	2013	태양광 모듈의 구조디자인과 설치각도에 따른 출력예측	설치 각도와 모듈 구조 디자인이 태양광 출력에 미치는 영향을 분석하고, 이론적 예측값과 실제 출력과의 특성을 비교함
이소미 외	2008	공동주택의 태양광발전설비 적용을 위한 설계방법에 관한 연구	태양광 발전 시스템을 효과적으로 적용하기 위한 공동주택의 특성을 분석하고, 맞춤형 설계 기법을 제안함

외부수행 연구-국외

○ 외부기관에서는 태양광발전설비의 성능 평가, 설치방식 및 에너지 자립률 분석 중심의 연구가 수행됨

○ 일부 연구에서는 구조해석 및 안정성 평가가 수행되었으나, 특정 조건(댐퍼 적용, 기계학습 기반 등)에 한정된 연구임

○ 태양광 구조물의 구조해석 연구는 존재하나, 건축물 적용을 위한 일반화된 설계 및 시공기준은 제시되지 않음

→ 국내 연구는 성능 및 적용성 중심으로 수행

외부수행 연구-국외

○ 국외 연구는 태양광발전설비의 기초 및 구조안정성에 대한 연구가 일부 수행되었으며, 주로 지상형 태양광 설비 중심으로 수행됨

○ 말뚝기초 등 지지구조에 대한 구조실험 및 해석 연구가 수행되었으나, 특정 지반조건 및 설치환경에 한정된 연구임

○ 공동주택 등 건축물 적용을 위한 구조 설계 및 시공 기준으로 활용하기에는 한계가 있음

→ 국외 연구는 지상형 구조 및 실험 중심으로 수행

[표 2-2] 태양광 발전설비 관련 국외 연구동향

저자	년도	선행연구명	시사점
OWINO, O. A	2019	Development of New Technology for Design of Solar Support Structures	복합 단일 말뚝 기초의 설계 및 시험을 통해 강도 요소, 지지력, 안전율 등을 종합적으로 분석, 연구에서는 말뚝 길이 1.4m, 직경 0.26m의 말뚝 요소를 사용해 횡방향 지지력과 인발력(pull-out capacity)을 평가
Lutenegger, A. J.	2016	Foundation alternatives for ground mount solar panel installations	지상 설치형 태양광(PV) 패널 시스템을 경제적으로 지지하기에 적합한 다양한 기초 시스템의 거동을 평가

시사점

○ 국내외 연구 모두 태양광 설비의 성능 및 시스템 중심으로 수행되었으며, 건축물 적용을 위한 구조 안전성 및 기초설계, 시공 기준 정립 연구는 부족한 실정임

III 기존 태양광발전 설비 기초공법 조사

Key Point

- 슬래브 일체형 기초로 인한 내구성 및 방수 성능 개선 필요
- 구조정보 부족에 따른 구조 안전성 검토 기반 확보 필요

1 현장조사 개요 및 대상 선정

1) 현장조사 개요

■ 조사 목적

○ 기존 태양광발전설비 기초공법의 하자 발생 여부를 조사하여 개선 필요사항 도출

○ 기 설치 설비의 구조적 안정성 검증을 위한 구조해석 수행 기반 마련

○ 기초공법 제안을 위한 구조 성능평가용 실험체 계획 수립에 필요한 기초자료 확보

→ 기초공법 개선 및 성능검증 기반 마련을 위한 현장 데이터 확보

2) 현장조사 대상 선정

■ 대상 선정 기준

○ 임대주택 유형(건설형, 매입형), 구조형식, 기초유형(독립기초, 줄기초, 매트기초), 코어 위치, 건설연도 및 지역을 종합적으로 고려

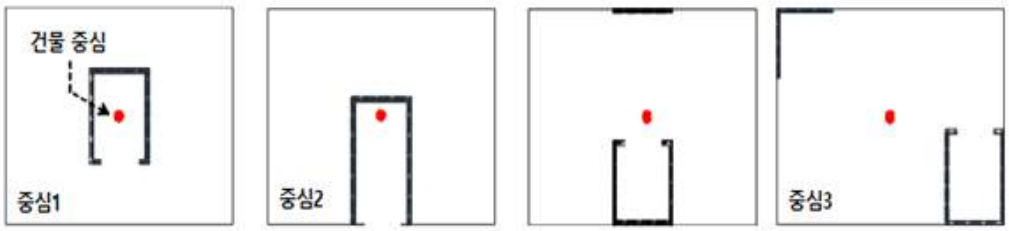
→ 주택 유형별 특성을 반영한 대표성 확보

■ 조사 대상

○ 건설형 5개 단지(단지별 1개동 이상), 매입형 15개동으로 총 20개동 구성

○ 매입형 1개동 조사 불가로 대체동 1개동 추가 선정

→ 유형별 균형 있는 조사 데이터 확보



[그림 3-1] 매입임대주택 코어유형별 분류 - 국토교통부

[표 3-1] 현장조사 장비

실측조사	균열 및 상태	콘크리트 강도	철근배근현황
· DISTO, 줄자 :부재 단면크기 및 span 측정	· Thickness gauge :균열폭 확인	· DIGI-SCHMIDT 2000 :반발경도법 적용	· Profometer5 +scaniog :내부철근 배근측정
			

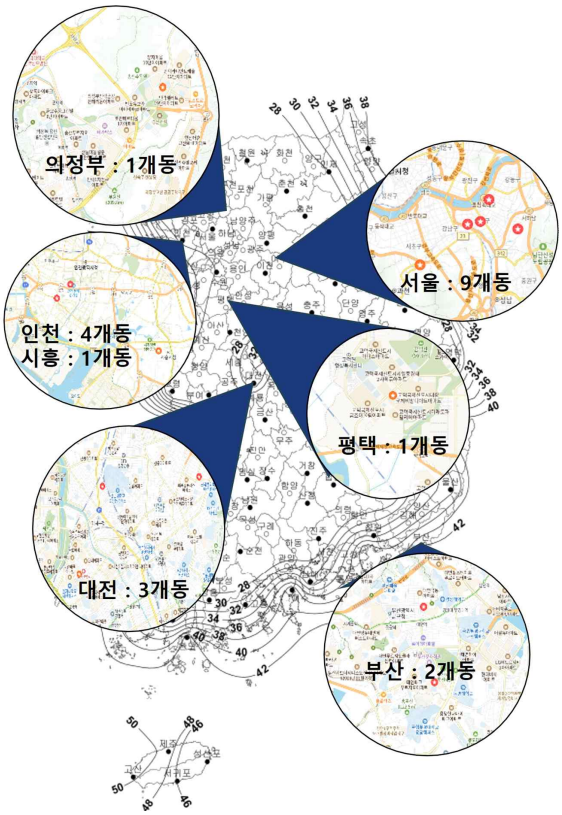
3) 조사 대상동

■ 대상동 구성 및 선정

○ 현장조사 대상은 매입형 임대주택 15개동, 건설형 임대주택 5개동으로 총 20개동으로 구성함

○ 매입형 임대주택 중 1개동은 현장조사가 불가하여 유사 조건의 대체동 1개동을 추가 선정함(최종 선동된 대상동은 [표 3-2]에 제시

[표 3-2] 대상동 리스트

연 번	주 소	위치
매입 01	서울특별시 송파구 ****	
매입 02	서울특별시 송파구 ****	
매입 03	서울특별시 송파구 ****	
매입 04	서울특별시 송파구 ****	
매입 05	서울특별시 송파구 ****	
매입 06	서울특별시 송파구 ****	
매입 07	서울특별시 송파구 ****	
매입 08	인천광역시 연수구 ****	
매입 09	인천광역시 연수구 ****	
매입 10	인천광역시 미추홀구 ****	
매입 11	인천광역시 미추홀구 ****	
매입 12	대전광역시 대덕구 ****	
매입 13	대전광역시 대덕구 ****	
매입 14	부산광역시 남구 ****	
매입 15	부산광역시 남구 ****	
매입 16	서울특별시 송파구 ****	
건설 01	경기도 의정부시 ****	
건설 02	서울특별시 서초구 ****	
건설 03	경기도 시흥시 ****	
건설 04	경기도 평택시 ****	
건설 05	대전시 중구 ****	

4) 체크리스트 작성

■ 조사 방법

○ 현장조사 체크리스트를 활용하여 조사(현장조사 체크리스트 제안(그림 3-2)

○ 기본 조사항목 및 특이사항 기록, 구조물 평면도 포함 작성

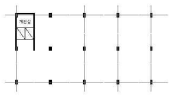
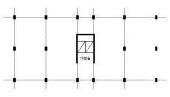
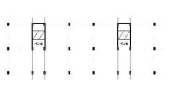
◆ 현장조사 체크

▣ 대상건물 개요(건설임대(아파트)[ ] 매입임대(필로티)[○])				동번호	매입 08
건물명	연수동 472-6	주소 (도로명)	인천광역시 연수구 비류대로331번길 7		
준공년도(사용승인)	1995	옥상크기 (mm)	X축: 15,500 Y축: 9,800	옥상면적 (m^2)	151.9

▣ 현장조사 항목

건물층수	지하 1층 지상 3층		지상1층 층고(m) *필로티의 경우만 작성	
사용재료	도면	콘크리트강도:	철근강도:	
	현장조사	콘크리트강도:	철근강도:	

코어 배치 유형

A[ ]	B[ ]	C[○]	D[ ]	E[ ]
				기타

옥상 방수 형식	도장[○] 기타[ ]	태양광발전설비 구조형식	철골[○] 콘크리트[ ] 기타[ ]
태양광발전설비 기초 형식	철골[ ] 콘크리트[○]		
	온통[ ] 줄기초[ ] 독립기초[○] 기타[ ]		

태양광발전설비 규격

출력(W)	400	크기(mm)	1000*2015*40
효율(%)	19.85	총 적용용량(kW)	4

▣ 옥상층 도면 작성

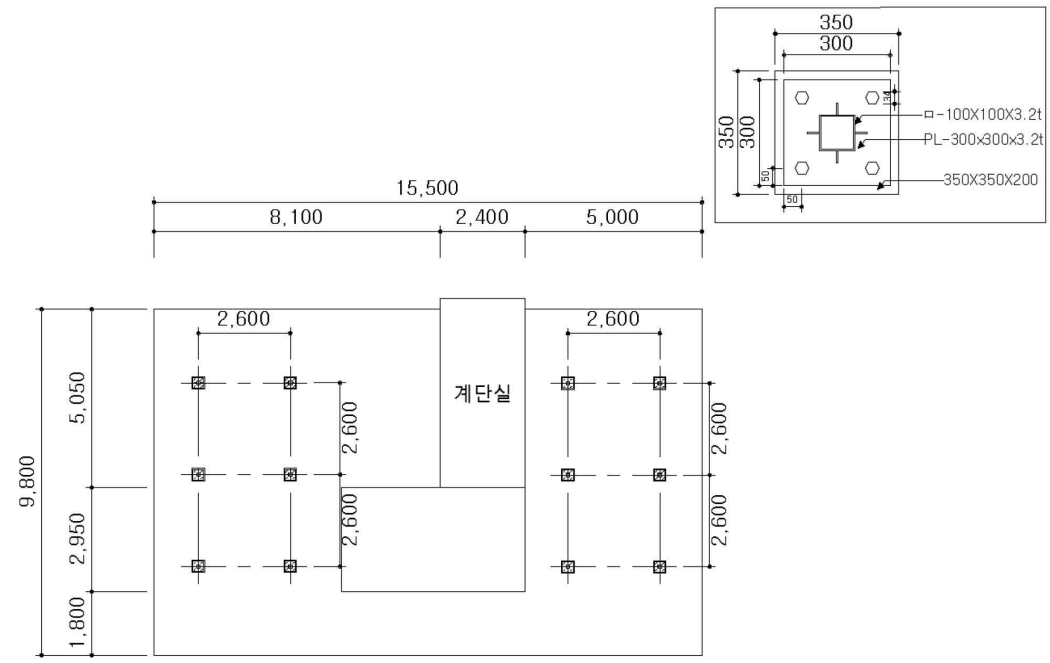
기초 수(개) 및 크기(mm)	수: 24	파라펫 유무	O
	크기: 350*350	파라펫 높이(mm)	945 (경사길이 : 1093)
기초 간격(mm)	X축: 2,600 Y축: 2,610	슬래브 두께(mm)	
기초 정착 위치	슬래브[○] 벽체[ ] 보[ ] 기둥[ ] 정착없음[ ] 기타[ ] (추정)		

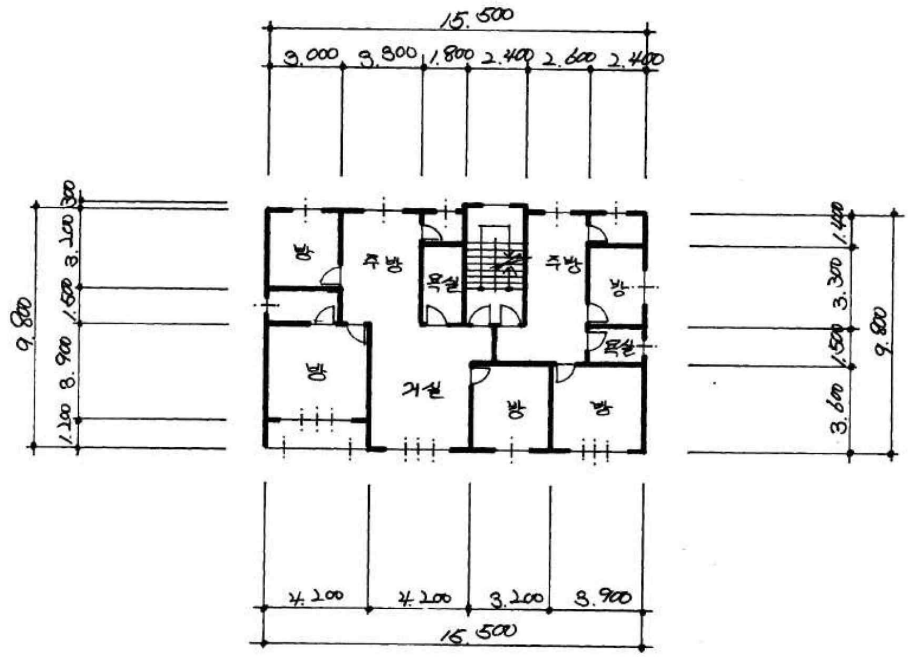
▣ 특이사항

- 태양광 각도 : 15.6°(추정)
- 볼트의 캡 직경 : 34mm

[그림 3-2] 현장조사 체크리스트

◆ 대상 구조물 평면도





<지상 3층 평면도>

[그림 3-3] 현장조사 체크리스트

2 건설형 임대주택 기초공법 및 현황조사

1) 건설형 임대주택 현장조사 결과

■ 구조 및 자료 확보

○ 비교적 최근 준공된 단지가 많아 구조도면 및 태양광발전설비 관련 자료 확보가 용이함

○ 재료강도 및 슬래브 두께 등 구조정보 활용이 가능한 상태로 확인됨

■ 기초공법 현황

○ 태양광발전설비 기초형태는 대부분 슬래브와 일체화된 독립기초 형식으로 조사됨

○ 후시공 앵커를 통해 지붕슬래브와 일체화된 구조로 추정됨

○ 평택고덕 Aa58(2025년 설계)의 경우 LH 벽체 지지형 기초설계기준(2019)이 적용된 슬래브 분리형 온통기초 확인됨

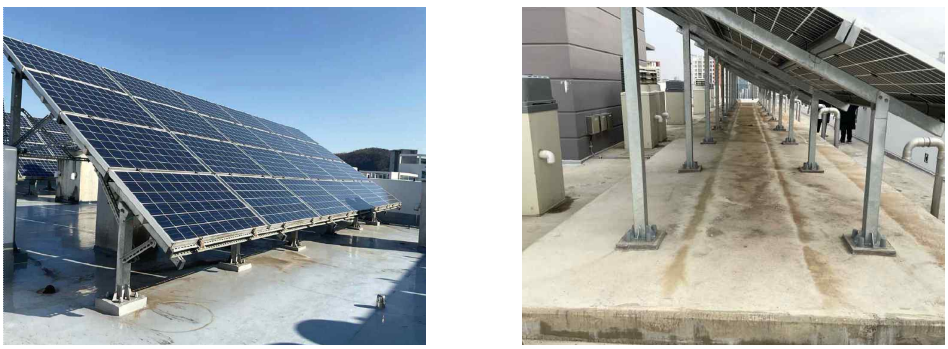
■ 구조 및 시공 특성

○ 기초 간격 : 2.0 ~ 3.2m

○ 태양광 패널 각도 : 30°~35°

○ 기둥 부재 : 100×100 각형강관

○ 주각부 접합 : M16 또는 M20 볼트



[그림 3-4] 건설형 임대주택 현장조사 사진

3 매입형 임대주택 기초공법 및 현황 조사

1) 매입형 임대주택 현장조사 결과

■ 구조정보 확보 한계

○ 대부분 도면 확보가 어려우며, 확보 시에도 건축도면 위주로 구조정보 부족

○ 슬래브 배근 상태 확인에 어려움 존재

■ 구조 및 재료 특성

○ 슬래브 두께 : 120 mm 또는 150 mm

○ 콘크리트 강도 : 평균 약 24 MPa

○ 일부 구간은 마감 및 코어벽체 영향으로 조사 제한

■ 배치 및 설치 특성

○ 코어 배치 유형 : 코너형 및 중앙형이 주요 유형

○ 코어 위치에 따라 설비가 한쪽 집중 또는 분산 배치

■ 기초공법 및 하자 특성

○ 태양광발전설비는 슬래브 일체형 독립기초 형식 적용

○ 후시공 앵커를 통해 기존 구조물과 일체화된 구조

○ 구조물 하중 부담 최소화를 위한 설계로 판단됨

○ 독립기초에 균열 및 방수층 손상이 매우 큰 것으로 나타남

■ 구조 및 시공 특성

○ 기초 간격 : 2.0 ~ 3.2 m

○ 태양광 패널 각도 : 12° ~ 18°

○ 기둥 부재 : 100×100 각형강관

○ 주각부 접합 : M16 볼트

4 현장조사 결과 분석 및 구조적 개선 요구사항 도출

1) 종합 분석

■ 기초공법 특성

○ 대부분 슬래브 일체형 독립기초 형식 적용

○ 기존 구조물 하중 증가를 최소화하기 위한 설계 방식으로 판단됨

○ 다만 대부분의 독립기초에 균열 및 도막방수층의 하자가 확인됨

■ 최근 적용 사례

○ 최근 설계된 건설형의 경우 LH 벽체 지지형 기초설계기준(2019)이 적용됨

○ 슬래브와 분리된 온통기초 형식으로 조사됨

■ 설비 배치 특성

○ 태양광발전설비의 설치 위치는 코어 위치에 따라 태양광 패널 크기에 맞춰 결정됨

○ 하부 구조부재에 따라 위치하지는 않는 것으로 조사됨

○ 태양광발전설비의 부재 크기 및 기초 간 간격은 전체적으로 크게 다르지 않음

○ 태양광 패널의 각도 또한 층수에 따라 유사한 범위로 나타남

■ 조사 수행 결과 및 한계

○ 현장조사를 통해 해석 및 실험에 필요한 데이터 확보에는 큰 어려움이 없었음

○ 앵커 설치 깊이 산정을 위한 슬래브 두께 및 마감 두께 확인에 어려움이 있었음

○ 슬래브 안전성 평가를 위한 배근 상태 확인에도 한계가 있었음

■ 매입형 임대주택 특성

○ 건설형 임대주택 대비 건설연도가 오래되어 도면 확보가 어려운 경우가 많음

○ 확보된 경우에도 구조도면이 없는 사례가 대부분임

○ 도면 확보가 어려운 경우 슬래브 및 마감 두께와 배근 상태 확인을 위한 별도의 안전진단이 필요할 것으로 판단됨

○ 독립기초는 대부분 균열과 도막방수층이 손상된 것으로 확인됨

[표 3-3] 현장조사 내용 체크리스트 요약

항목	내용	비고
조사대상	총 21개소 조사	건설임대 5개소, 매입임대 16개소
조사가능여부	20개소는 설비 제원 및 설치현황 확인, 1개소는 조사 불가	옥상 폐기물 적치로 확인 불가
건축물 특성	건설임대는 2012~2025년, 중·고층 중심 / 매입임대는 1993~2004년, 저층 중심	건설임대는 5~25층, 매입임대는 주로 3~5층
코어유형	C형 10개소, A형 6개소, E형 5개소	매입임대는 A·C형, 건설임대는 E형 비중이 큼
옥상방수형식	도막방수 18개소, 기타 3개소	에폭시 도막방수 지배적
설비기초형식	독립기초 19개소, 온통기초 1개소, 확인 불가 1개소	독립기초가 지배적
태양광 설비 규모	모듈 출력 250~550 W, 총 설치용량 4.00~21.45 kW	평균 설치용량 약 9.57 kW
패널 설치각도	12.5~32.86°, 평균 18.61°	건설임대 평균 약 29.35°, 매입임대 평균 약 15.03°
앵커 및 부대조건	볼트는 M16 16개소, M20 4개소	파라펫 높이는 0.50~1.66 m, 평균 약 1.11 m
특이사항	일부 도장 미시공, 콘크리트 덧침, 설비 2기 배치 상이, 구조도면 보유 사례 확인	현장별 유지관리 조건 차이 존재

Ⅳ 태양광발전설비 기초공법 개선안 제시 및 성능 평가

Key Point

- 슬래브 일체형 기초로 인한 내구성 및 방수 성능 개선 필요
- 구조정보 부족에 따른 구조 안전성 검토 기반 확보 필요

1 기존 기초공법 및 문제점

1) 기존 기초공법 개요

■ 시공 방식

○ 기존 태양광발전설비 기초공법은 앵커를 선시공한 후 무수축 모르타르 현장 타설을 통해 기초를 형성하는 방식으로 적용됨[그림 4-1]

○ 습식 공사 방식으로 시공되는 구조임

■ 구조적 특성

○ 외부 하중이 작용할 경우 하중이 슬래브로 전달되는 구조임[그림 4-2]

○ 이로 인해 슬래브 및 표면 방수층에 영향을 미치는 것으로 나타남

■ 문제점

○ 하중 전달에 따라 슬래브 및 방수층에 균열이 발생하는 것으로 확인됨

○ 기존 기초부에서는 균열이 다수 발생한 상태로 조사됨

○ 도막 방수층이 전반적으로 파손된 상태로 확인됨[그림 4-2]

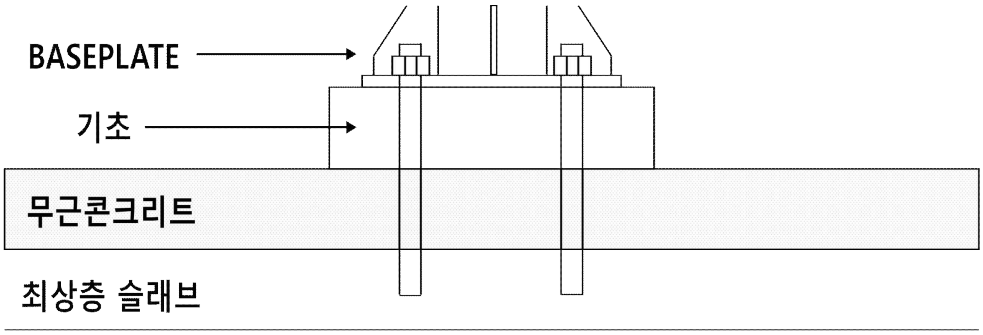


(a) 앵커시공



(b) 기초시공(현장타설)

[그림 4-1] 태양광발전설비 기초 설치



[그림 4-2] 태양광발전설비 기초 구성



[그림 4-3] 매입임대주택 기초 현황

2 개선 기초공법 제안

1) PC 기초공법 적용 개요

■ 공법개요

○ 기존 습식공법이 아닌 PC(Precast Concrete) 공법을 적용한 기초공법을 제안함[그림 4-4]

○ 기초부를 공장 제작 후 현장 설치하는 방식으로 적용함

○ 공장 제작을 통해 일정한 품질 확보 및 기초부 형상·성능의 정밀한 관리가 가능함

2) 구조적 개선 개념

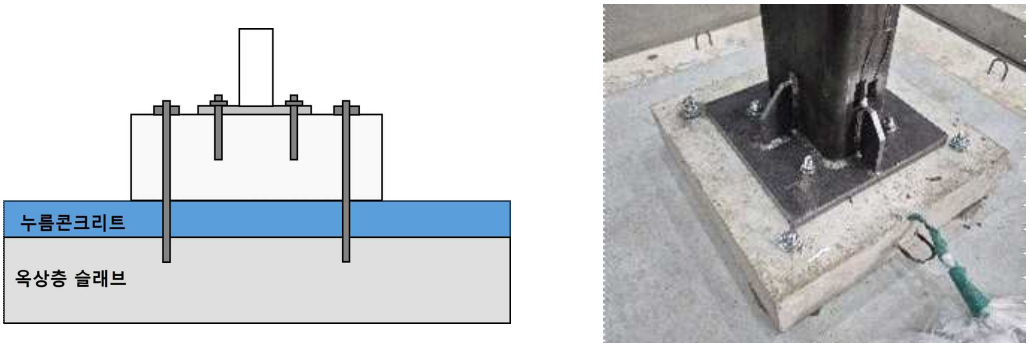
■ 하중 전달 방식 개선

○ 태양광발전설비에서 발생하는 하중이 슬래브가 아닌 PC기초로 직접 전달되도록 설계함

○ PC 기초 자체가 하중을 지지하고, 일부 하중만 슬래브로 분산 전달되도록 계획함

○ PC 기초에서 슬래브로 전달되는 하중을 분산시켜 슬래브에 작용하는 하중을 저감함

○ 이를 통해 슬래브 균열 발생을 방지하도록 계획함



(a) PC 기초 개념도 (b) PC 기초 실물

[그림 4-4] PC 기초 공법

3) 시공 및 품질 개선 효과

■ 품질 및 시공성 개선

○ 공장 생산 방식 적용으로 품질 균일성 확보

○ 현장타설 공정 제거를 통해 시공 품질 저하 문제를 방지함

○ 기초 형상 및 치수 정밀도 확보가 가능하여 시공 오차를 최소화함

○ 현장 시공 공정 단순화로 시공시간 단축이 가능함

○ 기상 조건에 따른 시공 품질 변동 영향이 감소됨

3 PC 기초의 구조성능평가

1) 태양광 설비 시스템 구조해석 및 앵커 매입깊이에 따른 구조성능 평가

■ 태양광 패널 각도 설정

○ 현장조사 결과 태양광 패널 설치각도는 12.5°~32.86° 범위에 분포하는 것으로 확인됨

○ 선행연구의 지역별 최적각도는 남부 및 제주권 약 30°~32°, 중부권 약 32°~34°, 북부·동해안·강원권 약 34°~36° 수준으로 제시됨

○ 이에 따라 본 과업에서는 실제 현장 최대 설치각도 32.86°와 지역별 최적각도 중 최대값인 36.0°를 주요 검토 각도로 설정함

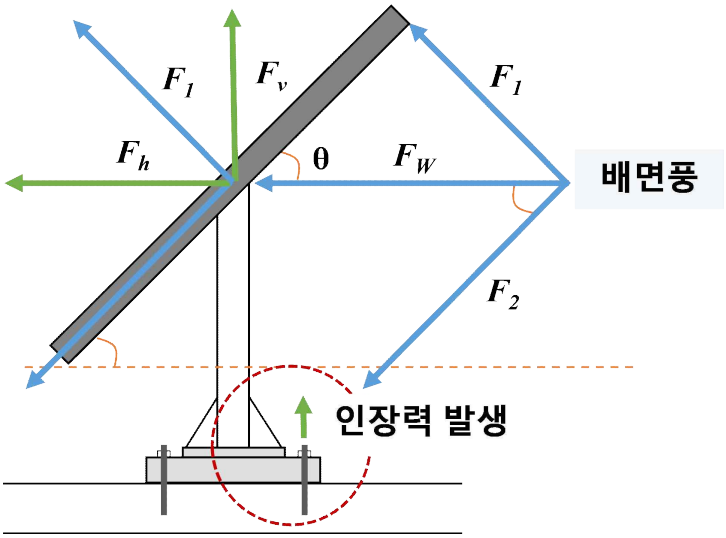
■ 풍하중 조건 설정

○ 풍하중은 KDS 41 12 00의 옥상건축구조물 및 옥상설치물 관련 기준을 참조하여 산정함 [그림4-5, 그림4-6]

○ 보다 불리한 조건을 검토하기 위하여 실제 극한 기상 사례를 반영함

○ 2003년 태풍 매미 통과 시 제주 및 고산 지역에서 순간최대풍속 60 m/s가 관측된 사례를 적용함

○ 구조물에 대해 불리한 풍속 조건을 가정하여 풍하중을 산정함



[그림 4-5] 태양광발전설비 기초 설치



[그림 4-6] 국가건설기준에 따른 지역별 기본풍속

구조해석 조건

○ 풍하중 산정 시 지역은 제주, 지표면조도는 C, 중요도계수는 0.9, 지형계수는 1.0으로 설정함

○ 건축물 조건은 높이 16.0 m, 건축 폭 16.7 m, 건물 깊이 23.6 m, 지붕경사 높이 1.7 m로 설정함

○ 하중분담폭 3.0 m, 경간 4.0 m 조건을 적용함

[표 4-1] 풍압에 의한 횡력 산정 계산 결과

구분	최대각도	qh (kN/m^2)	Wh (kN)	F_2 (kN)	F_h (kN)
현장조사	32.86	2.09	25.91	14.06	7.63
지역별 최적각도	36.00		28.05	16.49	9.69

2) KDS 앵커 설계 기준식에 의한 내력평가 및 검토

앵커 내력평가 개요

○ 앵커 내력평가는 인장력과 전단력이 동시에 작용하는 조건을 기준으로 수행함

○ 인장에 대해서는 강재강도와 콘크리트 브레이크아웃강도를 검토함

○ 전단에 대해서는 강재강도, 콘크리트 브레이크아웃강도 및 프라이아웃강도를 검토함

○ 부착식 앵커의 경우 공칭부착강도까지 고려하여 지배 파괴모드를 확인함

○ 이는 실제 태양광 구조물의 앵커가 수평풍하중에 의해 전단력과 동시에 기초 인장력을 받기 때문에 필요한 검토임

인장력을 받는 앵커의 강재강도

○ 콘크리트용 앵커의 강도설계는 KDS 14 20 54(4.3)에서 정하는 파괴유형에 적합한 실험결과에 따라 설계함

○ 강재의 파괴에 의해 결정되는 앵커의 공칭인장강도 Nsa는 앵커의 재질과 치수를 근거로 계산하며 식 (1)값 이하이어야 함

$$N_{sa} = A_{se,N} f_{uta} \tag{1}$$

○ $A_{se,N}$는 인장에 대한 단일 앵커의 유효단면적이며, f_{uta}는 $1.9f_{ya}$ 또는 860MPa 중 작은 값 이하이어야 함

인장력을 받는 앵커의 콘크리트 브레이크아웃강도

○ 인장력을 받는 단일 앵커 또는 앵커 그룹의 공칭 콘크리트 브레이크아웃강도 N_{cb} 또는 N_{cbg}는 다음 값 이하이어야 함

(단일 앵커)

$$N_{cb} = \frac{A_{Nc}}{A_{Nco}} \psi_{ed,N} \psi_{c,N} \psi_{cp,N} N_b \tag{2}$$

(앵커 그룹)

$$N_{cbg} = \frac{A_{Nc}}{A_{Nco}} \psi_{ec,N} \psi_{ed,N} \psi_{c,N} \psi_{cp,N} N_b \tag{3}$$

○ 계수 $\psi_{ec,N}$, $\psi_{ed,N}$, $\psi_{c,N}$ 및 $\psi_{cp,N}$은 아래에 정의된 값을 적용함

○ 앵커의 중심(앵커 그룹에서는 최외곽 앵커 열의 중심선)으로부터 $1.5h_{ef}$ 밖으로 투영하여 만들어진 브레이크아웃파괴 단면인 사각형상을 기초로 하여 계산된 단일 앵커 또는 앵커 그룹 브레이크아웃 파괴면의 투영면적을 A_{Nc}라고 하며, A_{Nc}는 nA_{Nco} 이하여야 함

○ n은 그룹에서 인장을 받는 앵커의 수이며, A_{Nco}는 연단거리가 $1.5h_{ef}$ 이상인 단일 앵커에 대한 콘크리트 브레이크아웃 파괴면의 투영면적으로서 식 (4)에 따름

$$A_{Nco} = 9h_{ef}^2 \tag{4}$$

○ 균열 콘크리트에서 인장력을 받는 단일 앵커의 기본 콘크리트 브레이크아웃 강도 N_b는 식 (5) 값을 초과할 수 없음

$$N_b = k_c \lambda_a \sqrt{f_{ck}} h_{ef}^{1.5} \tag{5}$$

○ 선설치앵커에 대해서 $k_c = 10$이며, 후설치앵커에 대한 $k_c = 7$

○ 후설치앵커의 k_c 값은 별도의 제품 시험에 근거하여 7 이상의 값을 사용할 수 있으나, 10을 초과할 수 없음

○ 묻힘깊이가 280 mm $\leq h_{ef} \leq$ 635 mm인 선설치 헤드스터드와 헤드볼트에서 N_b는 식 (6) 값 이하 적용

$$N_b = 3.9 \lambda_a \sqrt{f_{ck}} h_{ef}^{5/3} \tag{6}$$

○ 앵커가 세 개 또는 네 개의 가장자리부터 $1.5h_{ef}$보다 짧은 거리에 위치한 경우, A_{Nc} 산정시의 h_{ef}와 식 (2)부터 식 (9)까지의 h_{ef}는 $c_{a,\max}/1.5$와 앵커 그룹의 경우 최대 앵커 간격의 1/3 중 큰 값 적용

○ 인장력 편심이 있는 앵커 그룹의 수정계수는 식 (7)에 따라 산정함

$$\psi_{ec,N} = \frac{1}{\left(1 + \frac{2e'_N}{3h_{ef}}\right)} \tag{7}$$

○ 여기서, $\psi_{ec,N}$은 1보다 클 수 으며 앵커 그룹에서 일부의 앵커에만 인장력이 가해질 경우 식 (7)에 사용되는 e'_N의 결정과 식 (3)에서 N_{cbg}의 계산은 인장을 받는 앵커에 대해서만 고려하며, 두 축에 대하여 편심 하중이 존재하는 경우 수정계수 $\psi_{ec,N}$은 각 축에 대하여 독립적으로 계산하고, 이 계수의 곱을 식 (3)에서 $\psi_{ec,N}$으로 사용함

○ 인장력을 받는 단일 앵커 또는 앵커 그룹의 가장자리 영향에 관한 수정계수는 식 (8)과 식 (9)에 의해 계산함

($c_{a,\min} \geq 1.5h_{ef}$인 경우)

$$\psi_{ed,N} = 1 \tag{8}$$

($c_{a,\min} < 1.5h_{ef}$인 경우)

$$\psi_{ed,N} = 0.7 + 0.3\left(\frac{c_{a,\min}}{1.5h_{ef}}\right) \tag{9}$$

○ 부재가 사용하중을 받을 때 콘크리트에 균열이 발생하지 않는다고 해석된 위치에 설치된 앵커는 다음 수정계수를 사용할 수 있음.

(선설치앵커 사용시 $\psi_{c,N} = 1.25$)

(식 (5)의 k_c로 7을 사용한 후설치앵커, $\psi_{c,N} = 1.40$)

○ 여기서, 식 (5)에 사용되는 후설치앵커의 k_c 값은 비균열 콘크리트와 균열 콘크리트에 대하여 별도의 제품 평가 보고서에 의해 산정할 수 있으며, 이때 $\psi_{c,N}$는 1.0을 적용하여야 함

○ 사용하중을 받을 때 균열이 발생하는 경우에는 $\psi_{c,N}$은 선설치앵커와 후설치앵커 모두 1.0을 적용하여야 하고, 후설치앵커를 균열 콘크리트에 사용하려면 사전에 그 성능이 입증되어야 함

○ 콘크리트에서 균열은 KDS 14 20 20(4.2.3)에 따라 배치된 휨보강철근 또는 구속철근에 의해 제어되어야 함

○ 쪼개짐을 제어하기 위한 보조철근을 사용하지 않는 비균열 콘크리트에 사용되는 후설치앵커의 수정계수는 다음과 같음

($c_{a,\min} \geq c_{ac}$인 경우)

$$\psi_{cp,N} = 1.0 \tag{10}$$

($c_{a,\min} < c_{ac}$인 경우)

$$\psi_{cp,N} = \frac{c_{a,\min}}{c_{ac}} \tag{11}$$

○ 여기서, 식 (11)로 산정된 $\psi_{cp,N}$은 $1.5h_{ef}/c_{ac}$ 이상이어야 하며, 위험연단거리 c_{ac}는 KDS 14 20 54 4.6(7)에 정의되어 있음

○ 선설치앵커를 포함한 다른 모든 경우에 $\psi_{cp,N}$은 1.0을 적용하여야 함

○ 플레이트나 와셔가 앵커의 헤드에 부착되어 있는 경우 브레이크아웃 파괴면의 투영면적은 그 플레이트나 와셔의 유효경계부터 $1.5h_{ef}$ 밖으로 투영된 브레이크아웃 파괴면에 대해 계산할 수 있음. 이때 유효경계는 그 앵커 헤드의 바깥쪽 가장자리부터 와셔나 플레이트의 두께를 더한 값을 초과할 수 없음

○ 앵커철근이 콘크리트 브레이크아웃 파괴면을 기준으로 양쪽으로 KDS 14 20 52에 따라 정착되어 있으면, 앵커철근의 설계강도는 콘크리트 브레이크아웃강도를 대신하여 ϕN_n 계산에 사용될 수 있음. 앵커철근 설계에 강도감소계수는 0.75를 사용

인장력을 받는 앵커의 뽑힘강도

○ 선설치앵커, 후설치 확장앵커 및 언더컷 앵커의 공칭뽑힘강도 Npn은 식 (12) 이하이어야 함

$$N_{pn} = \psi_{c,p} N_p \tag{12}$$

○ 여기에서, ψc,p는 부재가 사용하중을 받을 때 균열이 없는 것으로 해석된 위치의 단일 앵커에 대하여 1.4를 적용하고, 균열이 발생될 경우 1.0을 적용

○ 후 설치 확장앵커, 언더컷앵커의 경우 Np의 값은 별도의 실험과 평가를 통해 5%를 기초로 하며 이러한 앵커들의 인장에 대한 뽑힘강도는 계산값이 허용되지 않음

3) 구조성능평가 실험체 계획 및 실험방법

■ 실험체 계획 개요

○ 구조성능평가 실험체는 슬래브 및 누름콘크리트, 기초 형식, 각형강관 기둥, 슬래브 앵커 및 기초 앵커 정착상세를 변수로 하여 계획함[표 4-2]

■ 실험체 구성

○ S-P1-S80-F70, S-R2-S80, S-P2-S80-F70, S-P2-S30-F70, S-P2-S80-F30, S-P2-S80-F40, S-P2-S80-F50, S-N2-S80으로 구성함

■ 슬래브 및 누름콘크리트 조건

○ 슬래브 : 1300×1300×120 mm

○ 누름콘크리트 : 900×900×30 mm

○ 슬래브 배근 : D10@200

○ 콘크리트 강도 : fck 15 MPa

○ 철근 강도 : fy 350 MPa

■ PC기초 조건

○ 기초 크기 : 450×450×100 mm

○ 배근 : 용접철망

○ 콘크리트 강도 : fck 35 MPa

■ 앵커 조건

○ 슬래브 정착 앵커 : M16

○ 기초 정착 앵커 : M12

○ e=70 계열 실험체의 기초 M12 앵커 정착길이 : 70 mm

[표 4-2] 실험체 일람표

<table>
<tr><th rowspan="2">실험체</th><th rowspan="2">기초</th><th rowspan="2">각형 기둥</th><th rowspan="2">습식/
PC</th><th colspan="2">매입앵커 정착위치</th></tr>
<tr><th>슬래브</th><th>기초</th></tr>
<tr><td>S-P1-S80-F70</td><td rowspan="9">크기:
(L)450×450
(t)100 mm
배근:
용접철망
재료: f_{ck}
(35MPa)</td><td>100*100*6
(SRT275)</td><td>PC</td><td rowspan="3">직경 : M16
매입깊이 :
80mm</td><td>직경 : M12
매입깊이 :
70mm</td></tr>
<tr><td>S-R2-S80</td><td rowspan="8">200*100*9
(SRT550)</td><td>습식</td><td>없음</td></tr>
<tr><td>S-P2-S80-F70</td><td>PC</td><td rowspan="2">직경 : M12
매입깊이 :
70mm</td></tr>
<tr><td>S-P2-S30-F70</td><td>PC</td><td>직경 : M16
매입깊이 :
30mm</td></tr>
<tr><td>S-P2-S80-F30</td><td>PC</td><td rowspan="4">직경 : M16
매입깊이 :
80mm</td><td>직경 : M12
매입깊이 :
30mm</td></tr>
<tr><td>S-P2-S80-F40</td><td>PC</td><td>직경 : M12
매입깊이 :
40mm</td></tr>
<tr><td>S-P2-S80-F50</td><td>PC</td><td>직경 : M12
매입깊이 :
50mm</td></tr>
<tr><td>S-N2-S80</td><td>기초 없음
(슬래브 정착)</td><td>PC</td><td>없음</td></tr>
</table>

슬래브/누름콘크리트: 크기: (L)1300×1300 (t) 120mm,
배근: D10@200, 재료: fck (15MPa), fy (350MPa),
크기: (L)900×900, (t)30mm, 배근: 없음, 재료: fck (15MPa)

[표 4-3] 실험체 별 앵커 내력 산정 결과

	Foundation-Slab Anchor			Base Plate-Foundation Anchor			Failure Location
	Failure mode	V_n (kN)	ϕV_n (kN)	Failure mode	V_n (kN)	ϕV_n (kN)	
S-P1-S80-F70	Con'c fry out	37.02	16.66	Con'c fry out	14.87	6.69	Base Plate -Foundation
S-R2-S80		19.38	8.72	-			Foundation -Slab
S-P2-S80-F70		37.02	16.66	Con'c fry out	14.87	6.69	Base Plate -Foundation
S-P2-S30-F70		10.09	4.54		14.87	6.69	Foundation -Slab
S-P2-S80-F30		37.02	16.66		1.07	0.48	Base Plate -Foundation
S-P2-S80-F40		37.02	16.66		3.18	1.43	Base Plate -Foundation
S-P2-S80-F50		37.02	16.66		4.24	1.91	Base Plate -Foundation
S-N2-S80		19.38	8.72	-			Foundation -Slab

ex) S-P2-S80-F70 실험체 Base Plate - Foundation(M12) 앵커 내력 산정

★ Base Plate -Foundation 앵커 : $A_{se} = 84.3mm^2, f_{ya} = 440MPa, h_{ef} = 70.0mm, n = 2, s = 160mm$

★ 최외각 앵커 : $c'_N = 80mm, c_{a,\min} = 45mm, f_{ck} = 39.8MPa, c_{a1} = 305mm, c_{a2} = 145mm, l_e = 70mm$
$d_a = 14mm, c_{Na} = 107.7mm, M_x = 111.44kN.m \quad s > 3c_{a1}$ ∴ 앵커그룹

1) 인장력을 받는 앵커

$N_{sa} = 0.6A_{se}f_{uta} = 84.3 \times 836 \times 10^{-3} = 70.47kN$ ※ $f_{uta} = \min(1.9 \times f_{ya}, 860)$

$\therefore N_{cbg} = \frac{A_{Nc}}{A_{Nco}}\psi_{ec,N}\,\psi_{ed,N}\,\psi_{c,N}\,\psi_{cp,N}N_b = \frac{136.9}{441.0} \times 0.57 \times 0.83 \times 1.00 \times 1.00 \times 20688.43 \times 10^{-3} = 30.20kN$

$\therefore N_{ag} = \frac{A_{Na}}{A_{Na0}}\psi_{ec,Na}\,\psi_{ed,Na}\,\psi_{cp,Na}N_{ba} = \frac{141.0}{46.4} \times 0.57 \times 0.83 \times 1.0 \times 2586.16 \times 10^{-3} = 3.72kN$

2) 전단력을 받는 앵커

$V_{sa} = 0.6A_{se}f_{uta} = 0.6 \times 84.3 \times 836 \times 10^{-3} = 42.28kN$ ※ $f_{uta} = \min(1.9 \times f_{ya}, 860)$

$\therefore V_{cbg} = \frac{A_{Vc}}{A_{Vco}}\psi_{ec,V}\,\psi_{ed,V}\,\psi_{c,V}\,\psi_{h,V}\,V_b = \frac{45.0}{418.6} \times 1.0 \times 0.8 \times 1.0 \times 2.14 \times 83260 \times 10^{-3} = 15.22kN$

$\therefore V_{cpg} = k_{cp}N_{cp} = 2 \times 3.72 = 7.44kN$

3) 앵커 내력 산정

- 인장력: $N_n = \min(N_{sa}, N_{cbg}) = \min(70.47, 30.20) = 30.20kN$
- 전단력: $V_n = \min(V_{sa}, V_{cbg}, V_{cpg}) = \min(42.28, 15.22, 7.44) = 7.44kN$

$\therefore \phi \times n \times V_n = 0.45 \times 2 \times 7.44 = 6.69kN$

철근 및 강재 물성

○ 슬래브 주철근 D10(SD400)

- 평균 탄성계수 : 181,934 MPa
- 평균 항복강도 : 452.5 MPa
- 항복변형률 : 2,487 με

○ PC 독립기초 용접철망 D6(SD300)

- 평균 탄성계수 : 134,295 MPa
- 평균 항복강도 : 332.4 MPa
- 항복변형률 : 2,475 με

○ 각형강관 기둥 100×100×6(SRT275)

- 평균 항복강도 : 309.8 MPa

○ 각형강관 기둥 200×100×9(SRT550)

- 항복강도 : 558.3 MPa

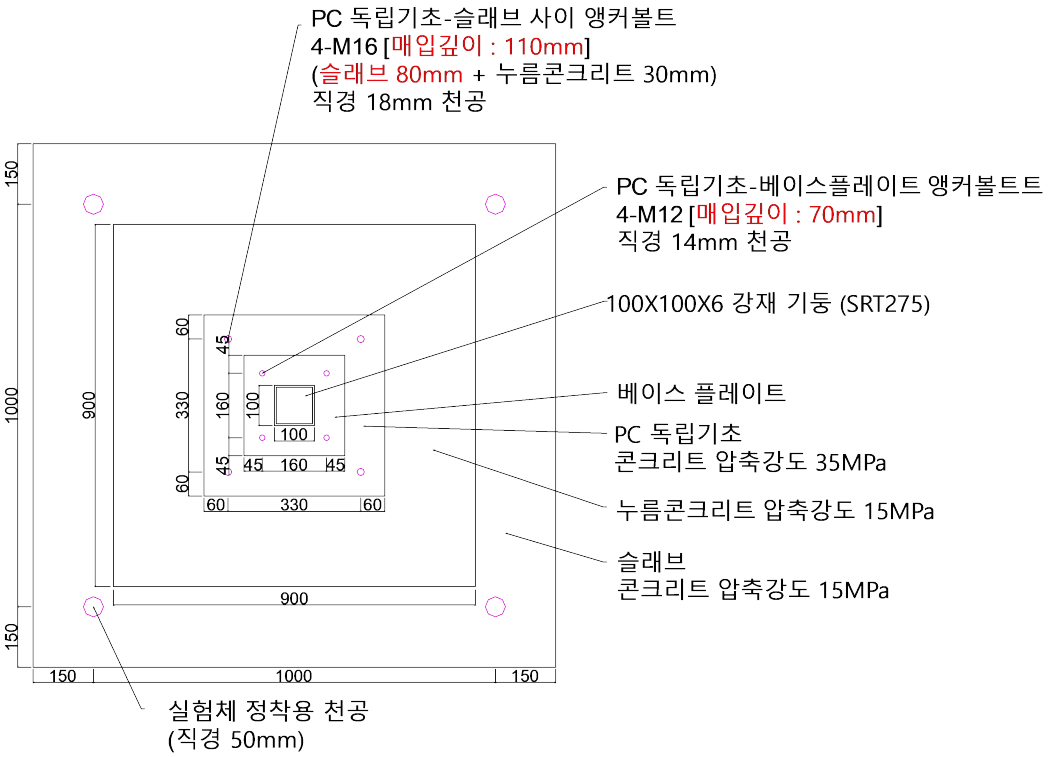
콘크리트 및 모르타르 물성

○ 슬래브 콘크리트 압축강도 : 19.1 MPa

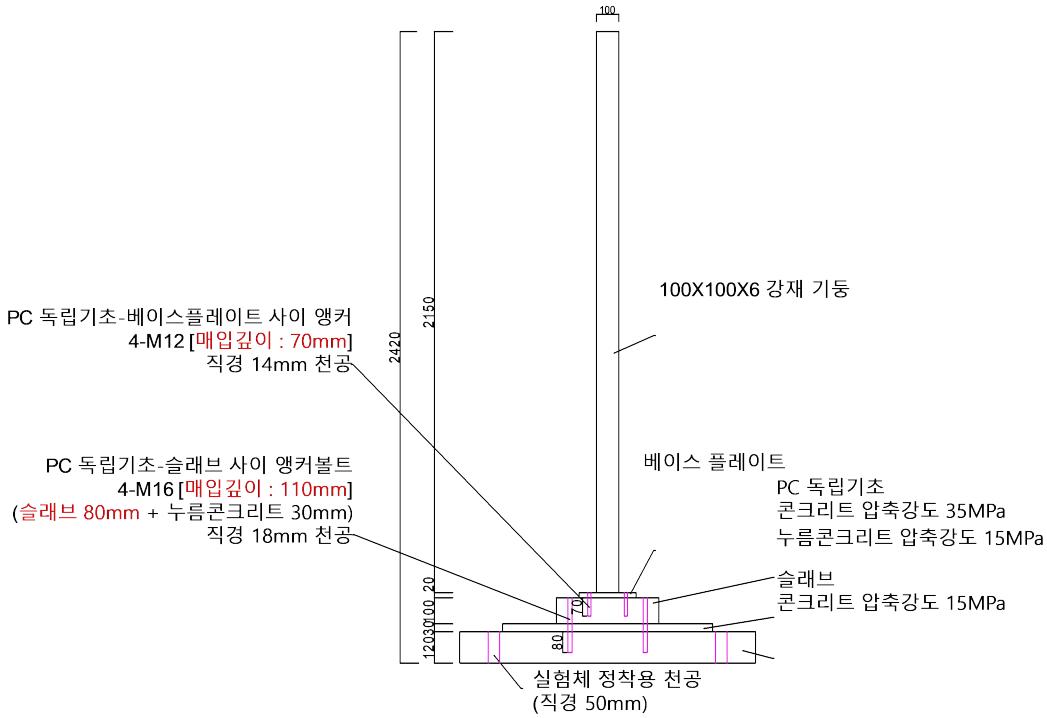
○ 누름콘크리트 압축강도 : 19.6 MPa

○ PC 독립기초 콘크리트 압축강도 : 41.8 MPa

○ 기존 습식 독립기초 무수축 모르타르(MR4000) 압축강도 : 38.2 MPa



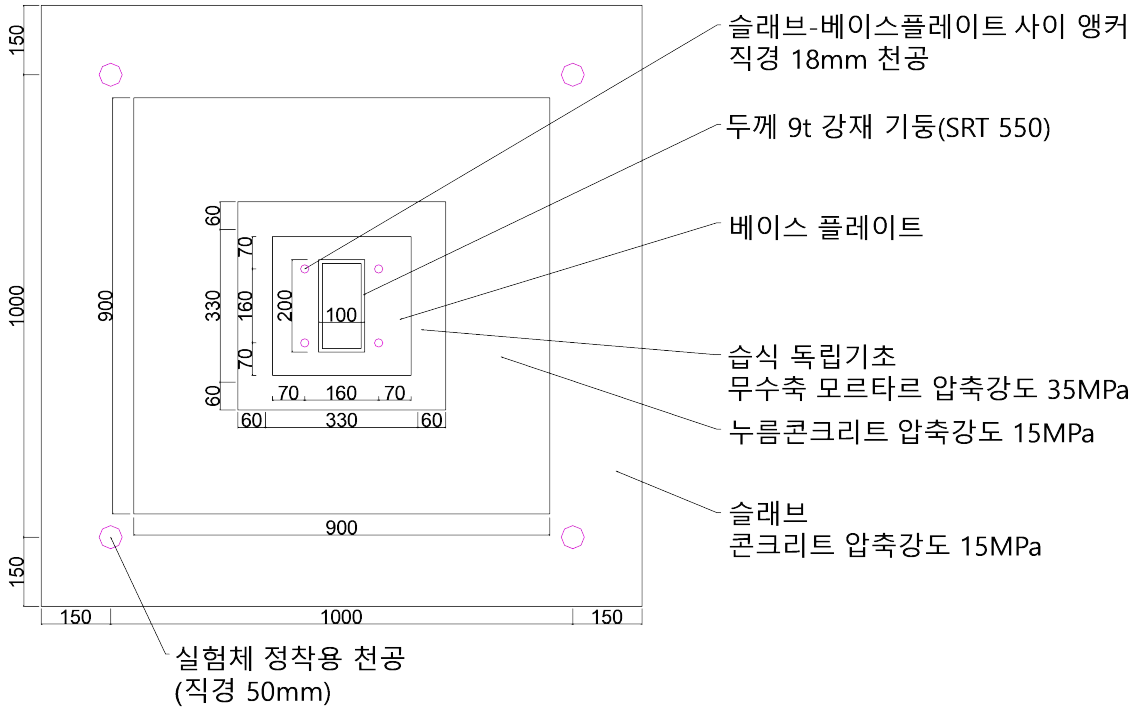
(a) 평면도



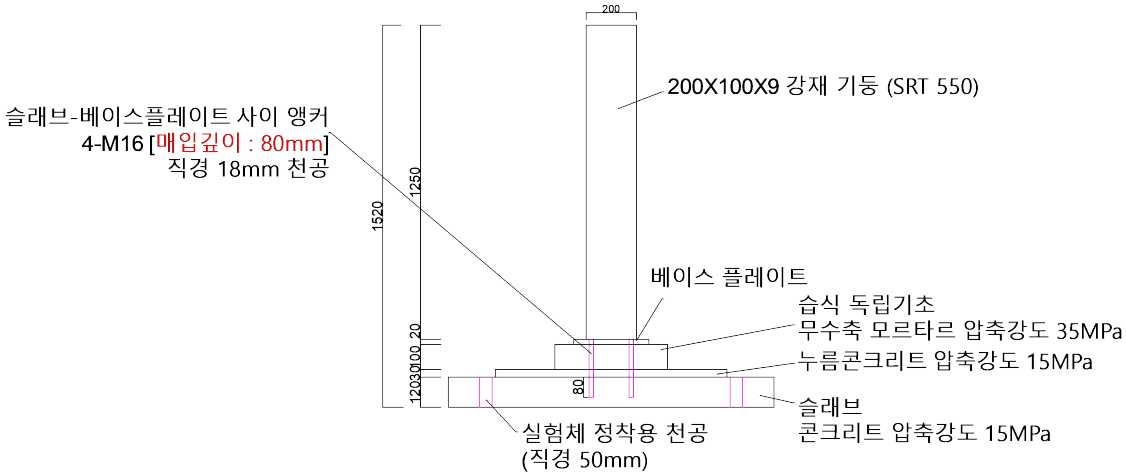
(b) 측면도

(1) S-P1-S80-F70

[그림 4-7] 구조성능평가 실험체 상세(단위: mm) (계속)



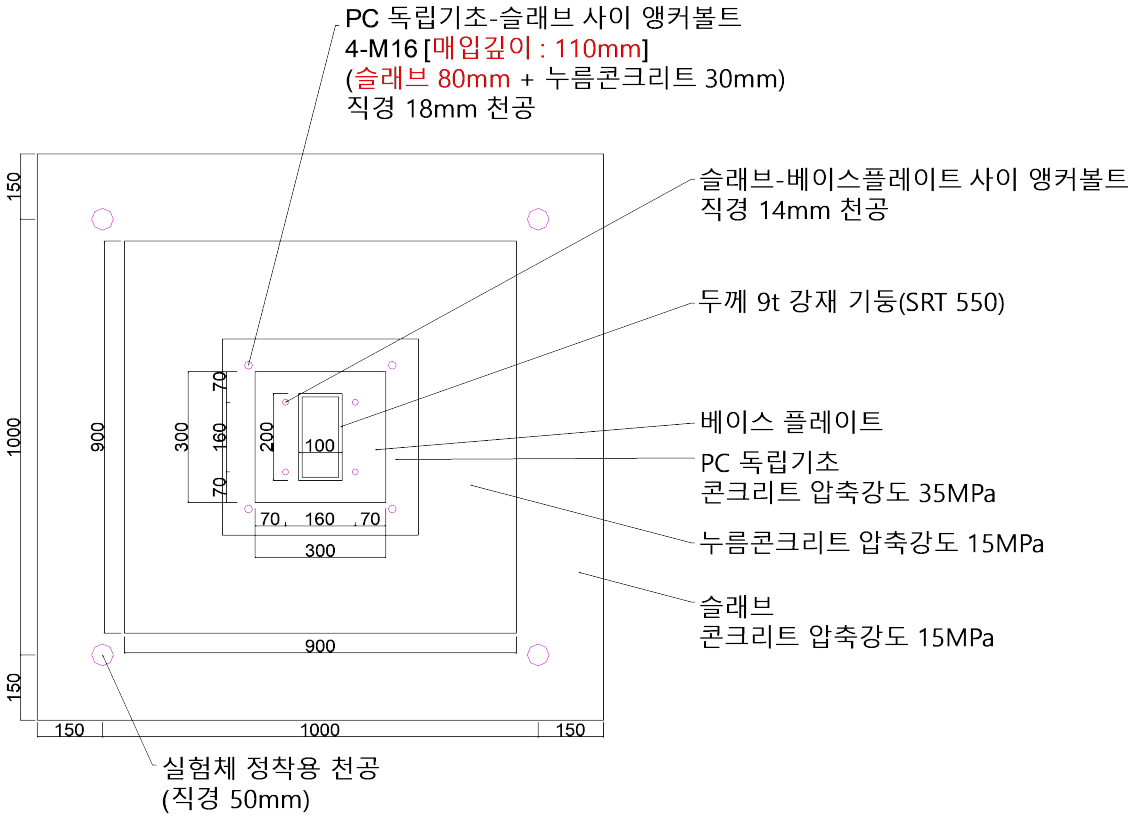
(a) 평면도



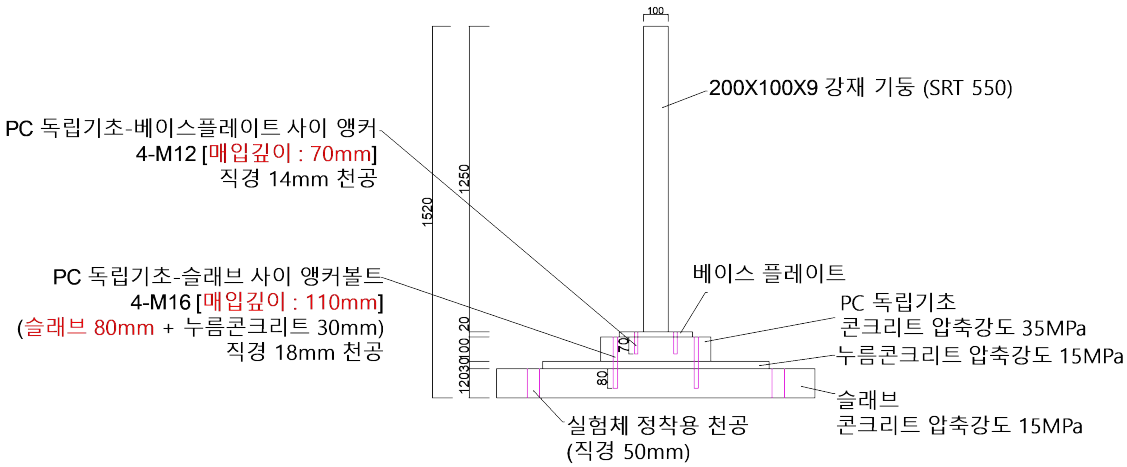
(b) 측면도

(2) S-R2-S80

[그림 4-7] 구조성능평가 실험체 상세(단위: mm) (계속)



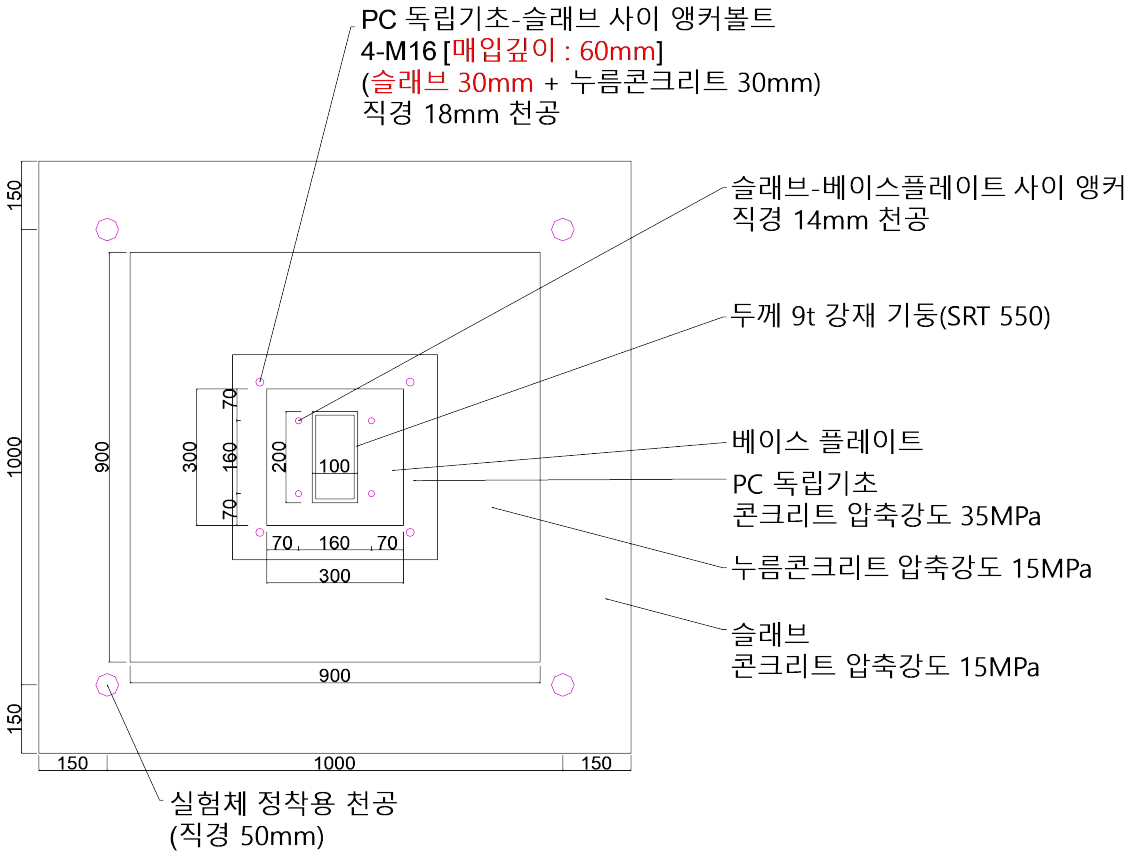
(a) 평면도



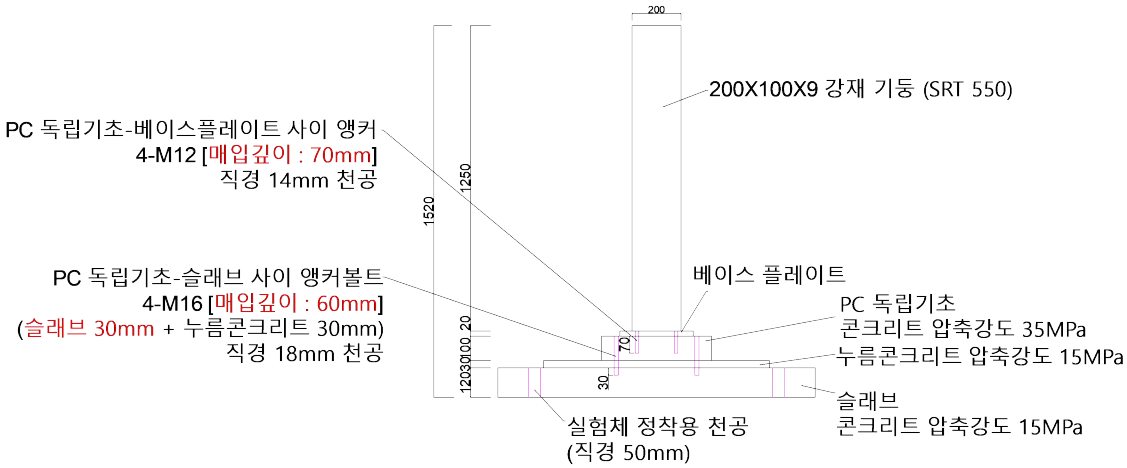
(b) 측면도

(3) S-P2-S80-F70

[그림 4-7] 구조성능평가 실험체 상세(단위: mm) (계속)



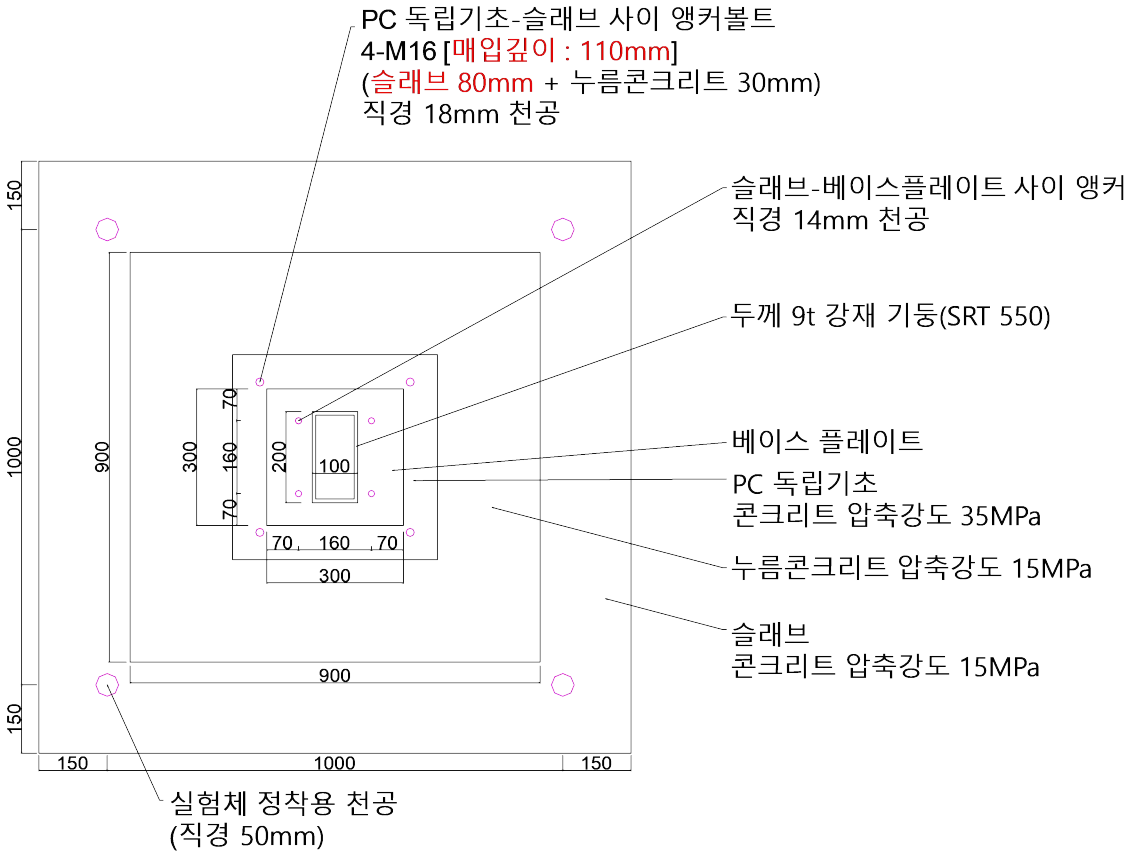
(a) 평면도



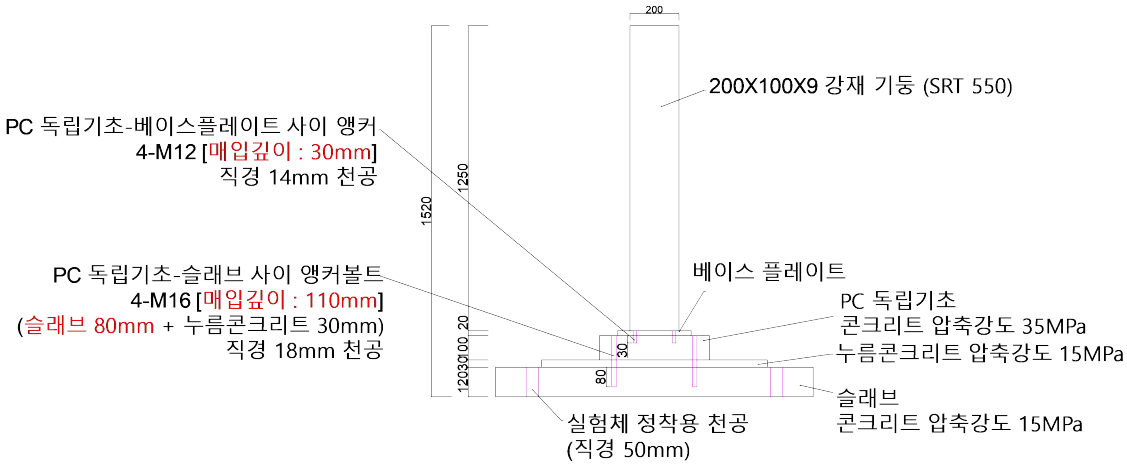
(b) 측면도

(4) S-P2-S30-F70

[그림 4-7] 구조성능평가 실험체 상세(단위: mm) (계속)



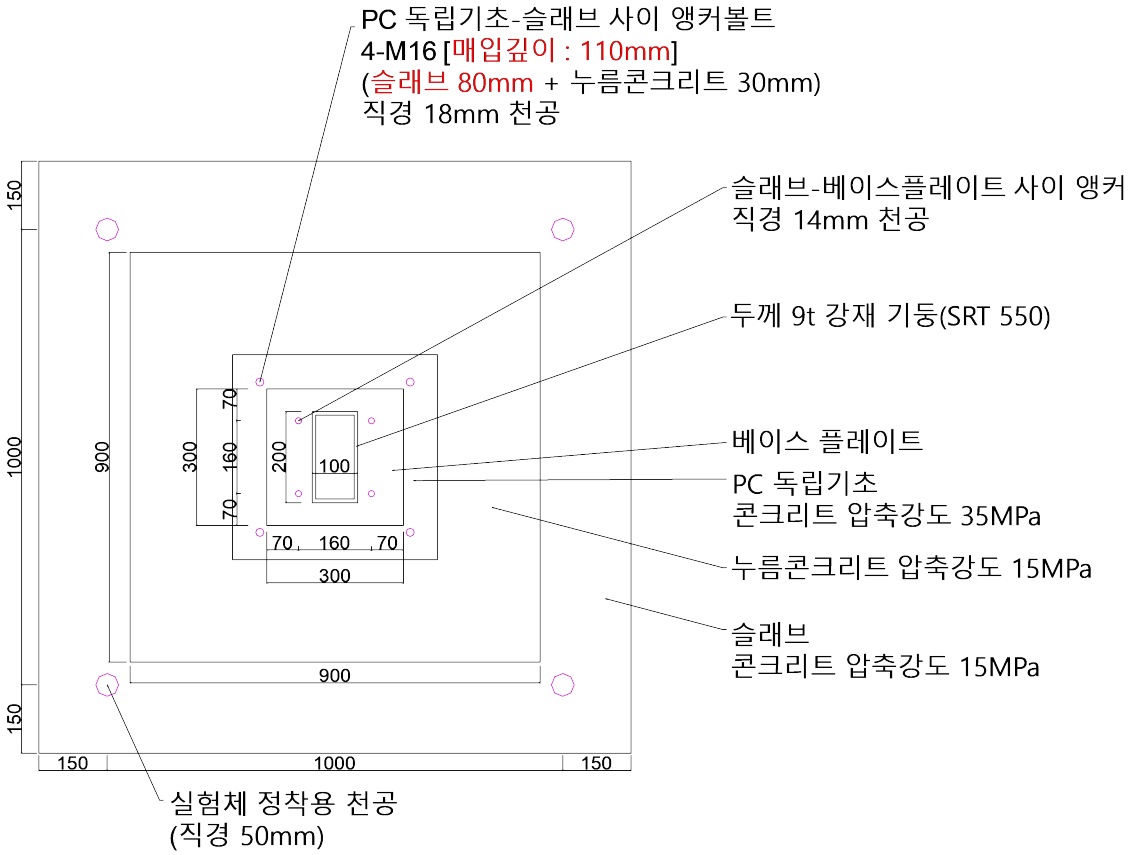
(a) 평면도



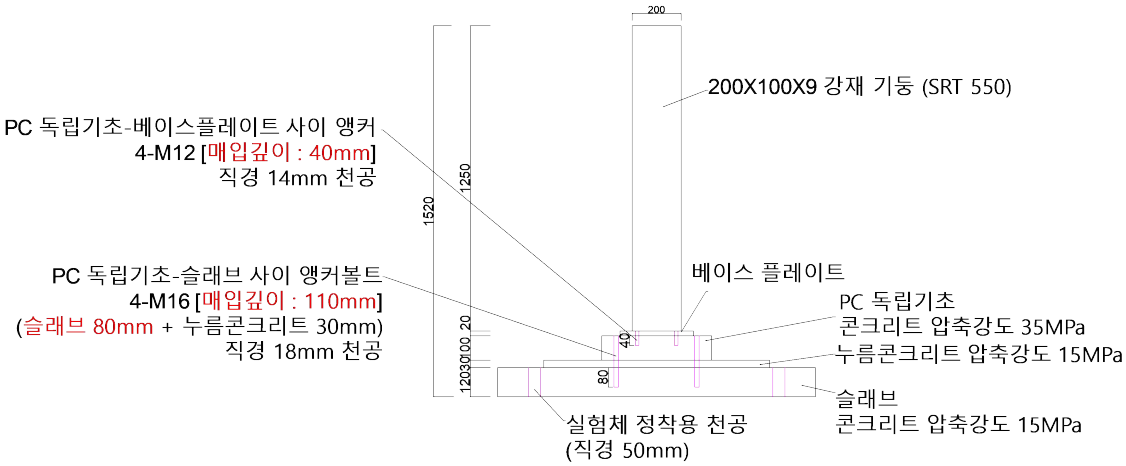
(b) 측면도

(5) S-P2-S80-F30

[그림 4-7] 구조성능평가 실험체 상세(단위: mm) (계속)



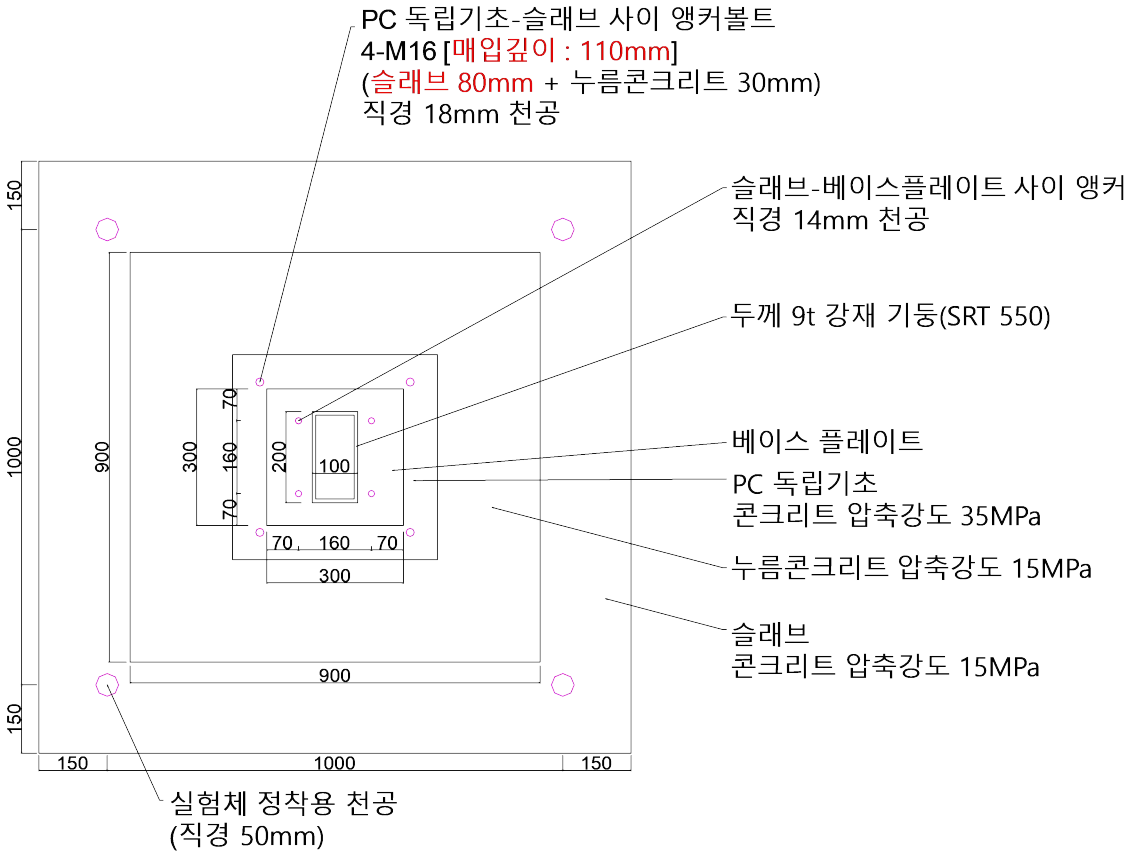
(a) 평면도



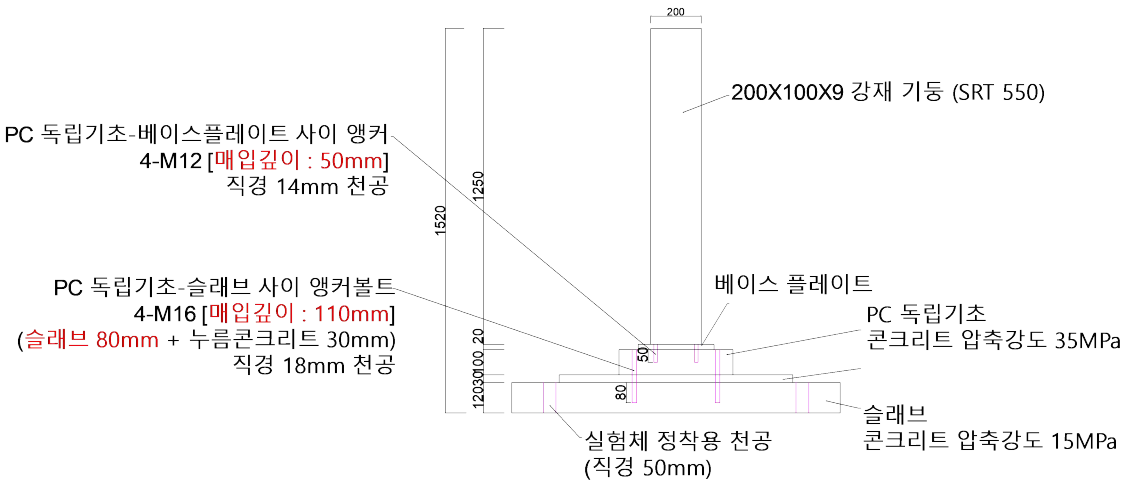
(b) 측면도

(6) S-P2-S80-F40

[그림 4-7] 구조성능평가 실험체 상세(단위: mm) (계속)



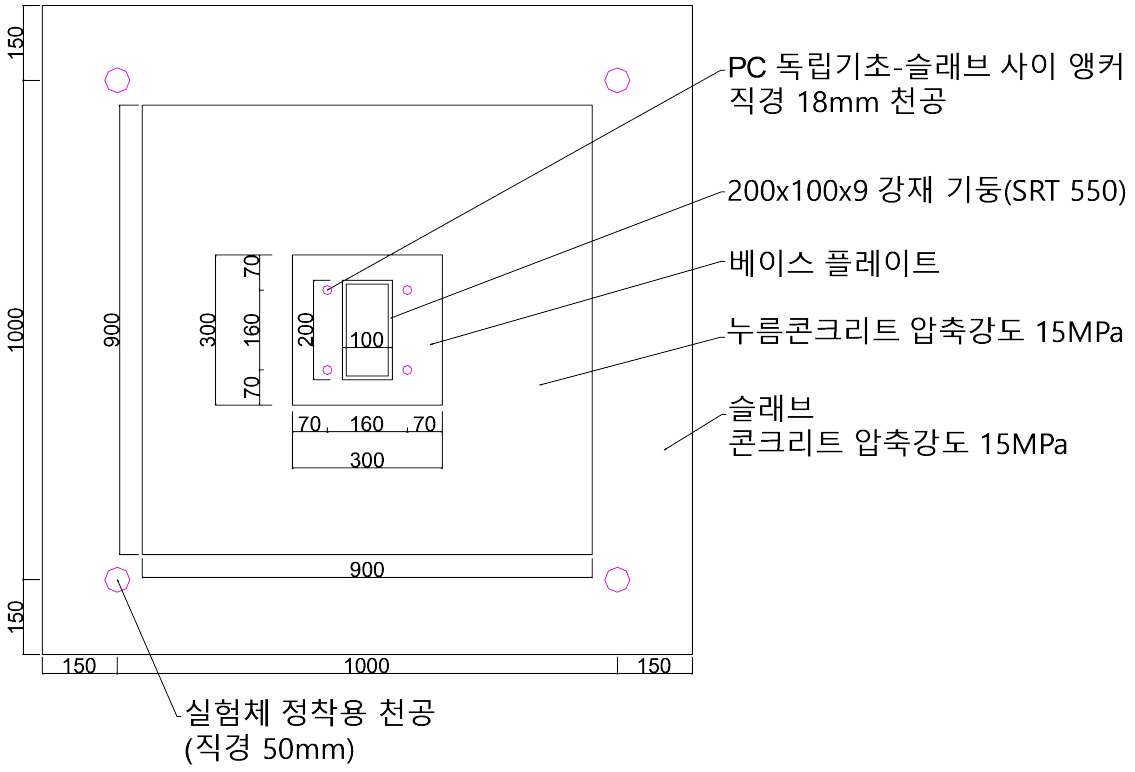
(a) 평면도



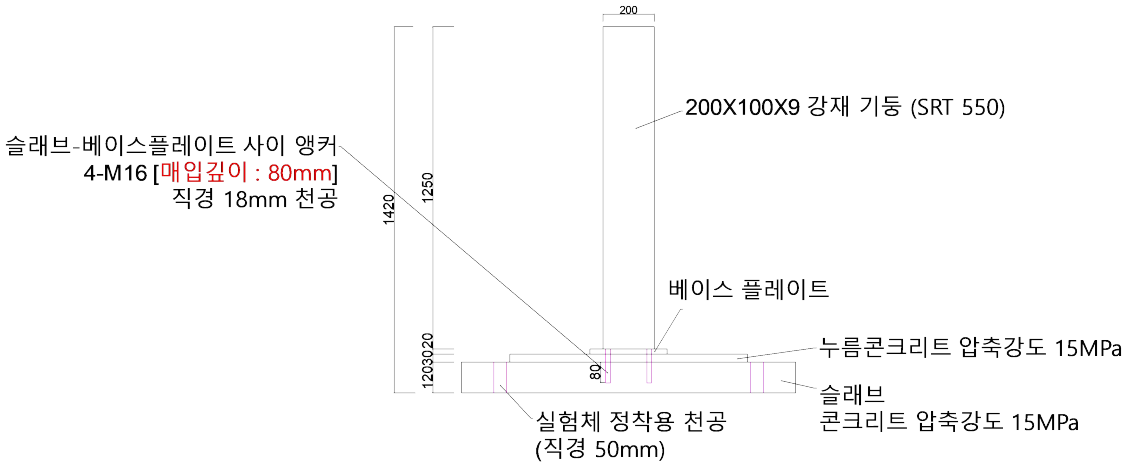
(b) 측면도

(1) S-P2-S80-F50

[그림 4-7] 구조성능평가 실험체 상세(단위: mm) (계속)



(a) 평면도



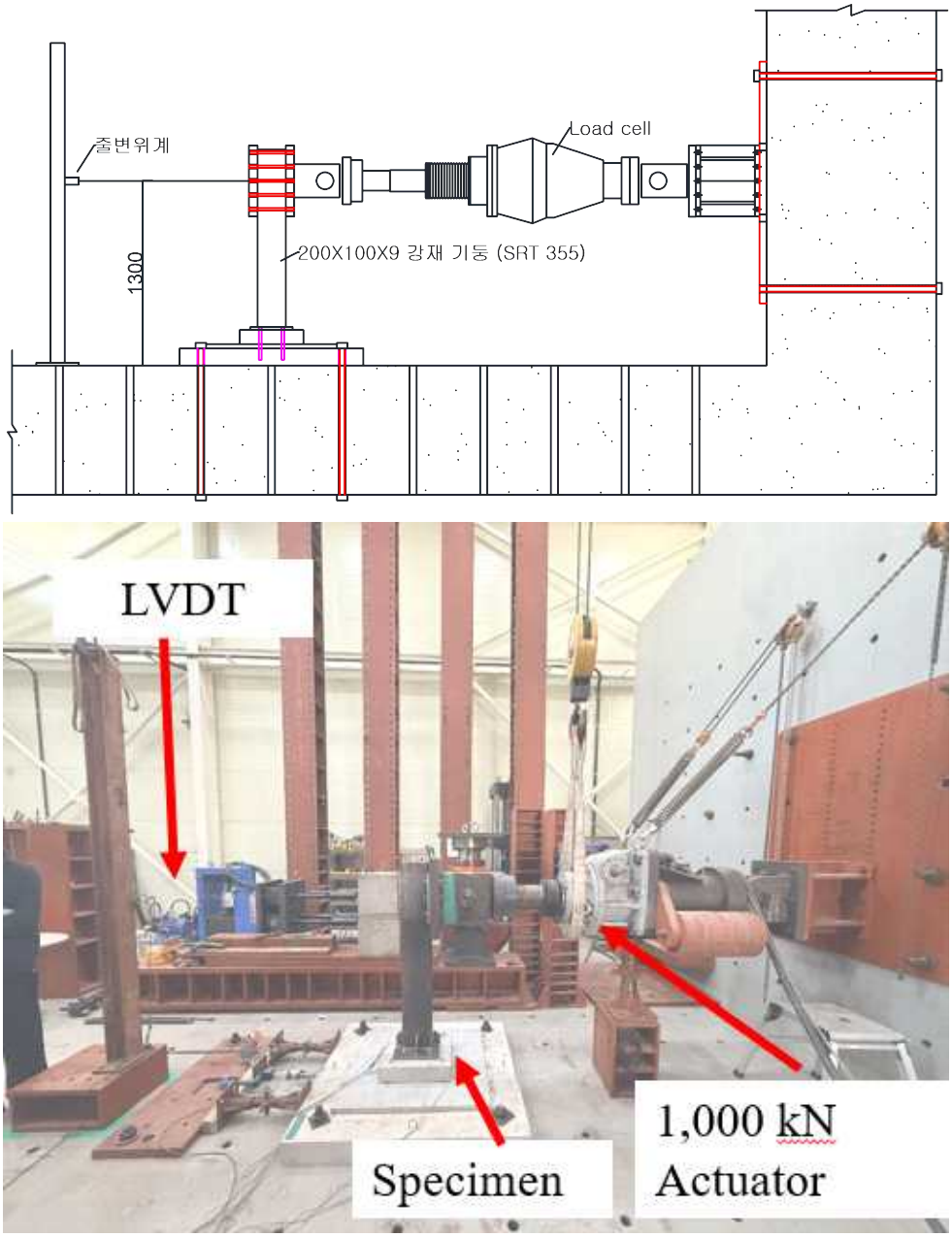
(b) 측면도

(6) S-N2-S80

[그림 4-7] 구조성능평가 실험체 상세(단위: mm)

실험방법

○ 실험은 [그림 4-8]과 같이 1,000 kN 액추에이터, 반력벽 및 반력 슬래브를 활용한 수평가력 방식으로 수행함



[그림 4-8] 실험장치 셋팅

■ 가력 프로토콜

○ 변위제어 방식으로 Drift ratio 기준 적용

- 1/300 (4.33 mm)
- 1/150 (8.67 mm)
- 1/100 (13 mm)
- 1/75 (17.33 mm)
- 1/50 (26 mm)
- 1/25 (52 mm)
- 1/10 (130 mm)

■ 계측 및 평가방법

○ 변위계를 설치하여 하중-변위 관계를 도출함

○ 최대하중을 비교하여 구조성능을 평가함

4) 구조성능평가 결과

■ KDS 기준 검토 결과

○ S-P2-S80-F70

- Foundation-Slab Anchor 측 설계전단강도 : 16.66 kN
- Base Plate-Foundation 측 설계전단강도 : 6.69 kN

→ 지배 파괴위치 : Base Plate-Foundation

○ S-P2-S30-F70

- 슬래브 측 설계전단강도 : 4.54 kN
- 기초 측 설계전단강도 : 6.69 kN

→ Foundation-Slab Anchor 취약

○ S-R2-S80

- Foundation-Slab Anchor 측 설계전단강도 : 8.72 kN

- Base Plate-Foundation 해당 없음

→ 지배 파괴위치 : Foundation-Slab Anchor

○ S-N2-S80

- Base Plate-Slab Anchor 측 설계전단강도 : 8.72 kN

→ 슬래브 정착부 지배형

○ S-P2-S80-F30, S-P2-S80-F40, S-P2-S80-F50

- Base Plate-Foundation 측 설계전단강도 : 0.48 kN, 1.43 kN, 1.91 kN

→ 기초 앵커 정착길이 부족 시 기초 측 취약성 증가

■ 하중-변위 관계 비교 결과

○ PC 기초 앵커 매입깊이에 따른 최대하중 비교

- S-P2-S80-F70 : 11.00 kN
- S-P2-S80-F50 : 8.47 kN
- S-P2-S80-F40 : 5.36 kN
- S-P2-S80-F30 : 4.55 kN

→ 기초 앵커 매입깊이 감소 시 최대내력 감소 경향 확인

○ 슬래브 앵커 매입깊이 비교

- S-P2-S80-F70 : 11.00 kN
- S-P2-S30-F70 : 11.19 kN

→ 최대하중은 유사하나 설계강도 검토 시 S-P2-S30-F70의 슬래브 정착부 취약성 증가

■ 종합평가

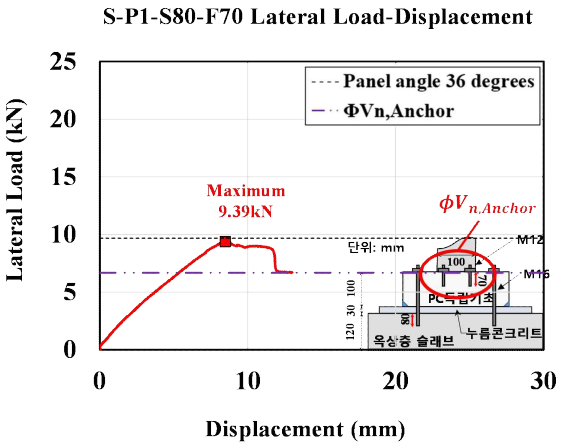
○ 설치각도 약 32° 및 최대 36° 조건, 제주 60 m/s 풍하중 적용 시

- S-P2-S80-F70은 슬래브-기초부 16.66 kN, 베이스플레이트-기초부 6.69 kN 확보

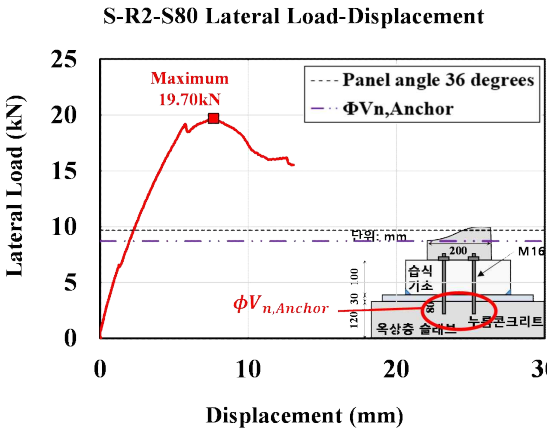
→ KDS 앵커설계 기준 만족

○ 앵커 매입깊이가 설계 요구조건에 미달할 경우

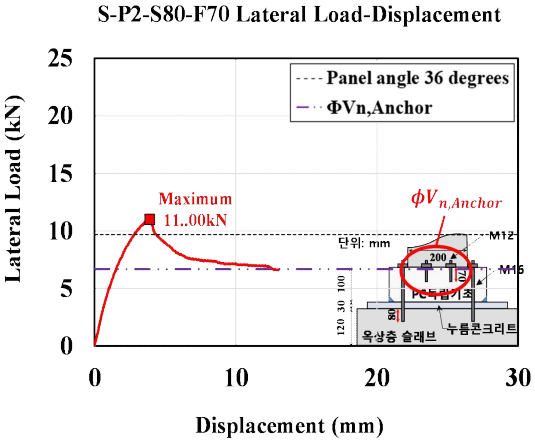
→ 정착 및 인발성능 확보 곤란



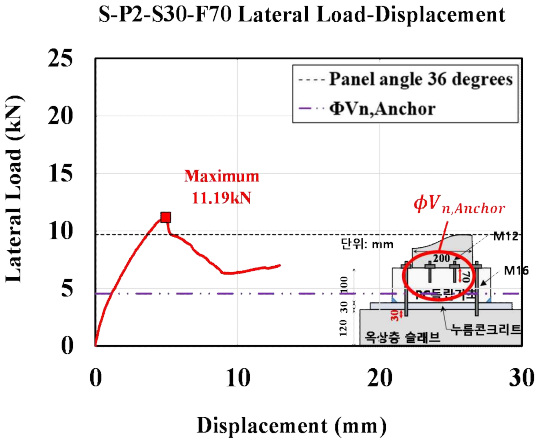
(a) S-P1-S80-F70



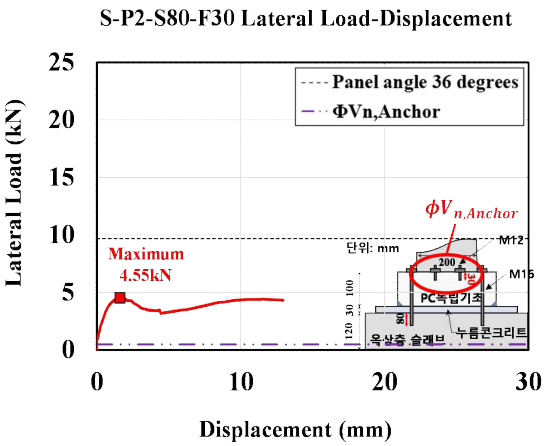
(b) S-R2-S80



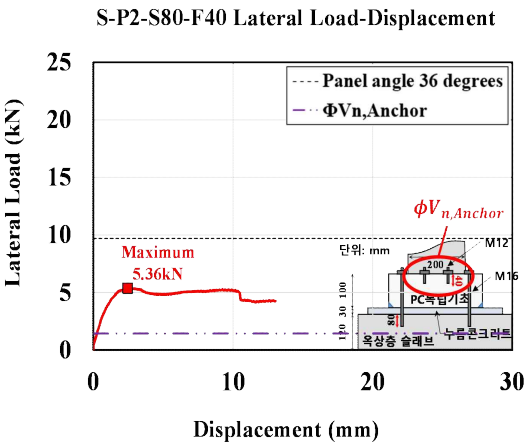
(c) S-P2-S80-F70



(d) S-P2-S30-F70

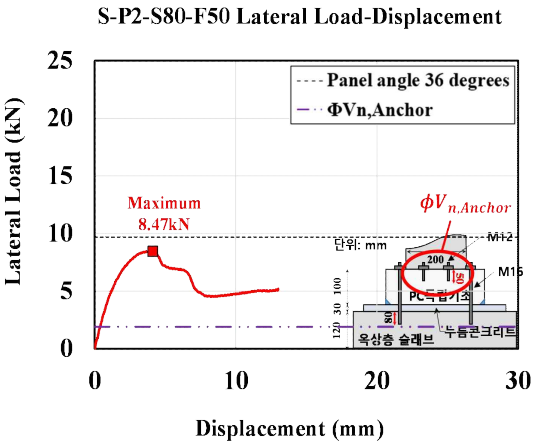


(e) S-P2-S80-F30

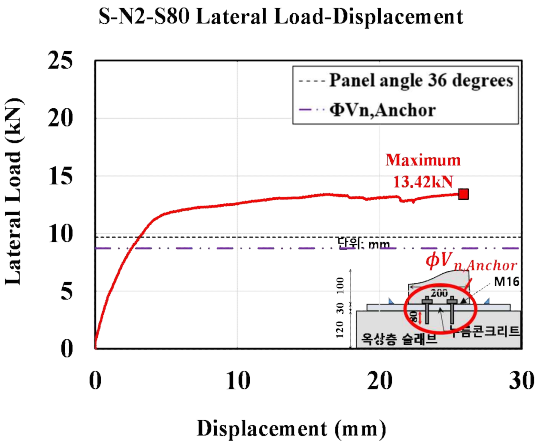


(f) S-P2-S80-F40

[그림 4-9] 구조성능평가 하중-변위 관계

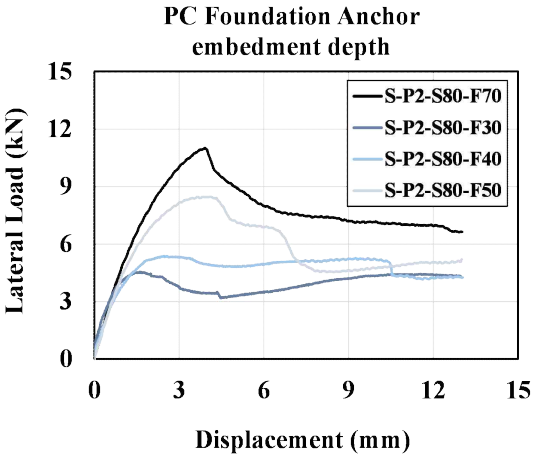


(g) S-P2-S80-F50

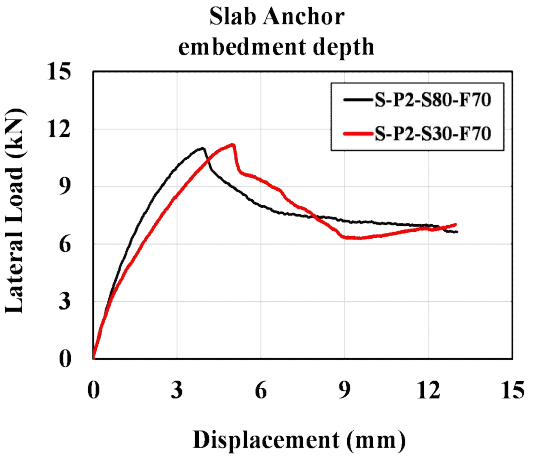


(h) S-N2-S80

[그림 4-9] 구조성능평가 하중-변위 관계



(a) 독립기초에 정착된 앵커 깊이 비교



(b) 슬래브에 정착된 앵커 깊이 비교

[그림 4-10] 변수에 따른 하중-변위 관계 비교

파괴모드

○ 각 실험체의 파괴양상은 앵커 정착조건 및 기초 형식에 따라 뚜렷한 차이를 보임

○ 전반적으로 앵커의 정착성능이 지배적인 영향을 미치는 것으로 확인됨

○ 대부분의 실험체에서 앵커의 프라이아웃(pry-out)파괴가 주요 파괴모드로 나타남

○ 최대 내력 이후 급격한 강도 저하와 일관된 경향을 보임

PC 독립기초(P 계열) 파괴특성

○ 앵커 매입깊이에 따라 파괴양상이 민감하게 변화함

○ S-P2-S80-F70, S-P2-S80-F40, S-P2-S80-F50

- 인장측 앵커 2개에서 프라이아웃 파괴 발생
- 모멘트 작용으로 인장측 앵커에 응력 집중
- 압축측 앵커는 안정적 거동 유지

→ 인장측 국부 콘크리트 파괴에 의해 전체 파괴 발생

○ S-P2-S80-F30

- 매입깊이가 가장 작은 조건
- 인장측 및 압축측 포함 4개 앵커 모두 프라이아웃 파괴 발생

→ 매입깊이 부족 시 콘크리트 구속효과 감소

→ 하중 재분배 능력 저하 및 전반적 파괴 발생

습식 독립기초(R 계열) 파괴특성

○ S-R2-S80

- 앵커 프라이아웃 파괴 발생

→ Foundation-Slab Anchor 측이 지배적 취약부로 작용

→ 앵커 정착조건 미확보 시 동일 파괴 가능성 확인

독립기초 미적용(N 계열) 파괴특성

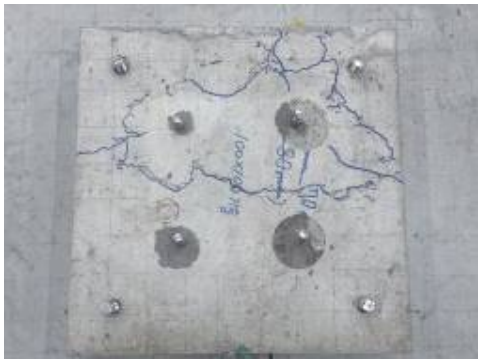
○ S-N2-S80

- 앵커 손상 및 프라이아웃 파괴 없이 실험 종료
- 슬래브 상부 누름콘크리트 탈락 발생

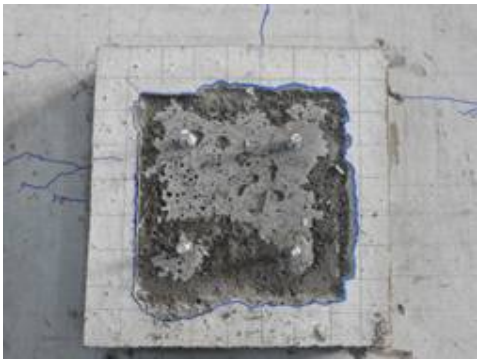
→ 앵커 정착성능은 확보

→ 상부 콘크리트 국부 압괴 및 박락에 의해 구조적 연속성 상실

→ 파괴가 콘크리트 재료 취약성에 의해 지배됨



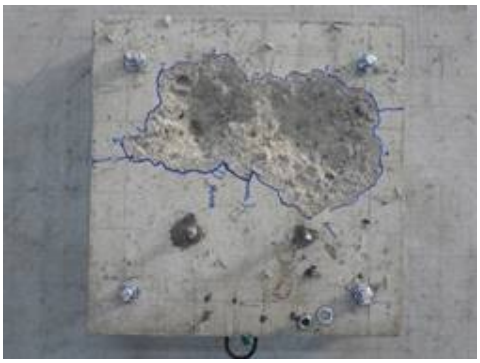
(a) S-P1-S80-F70



(b) S-R2-S80



(c) S-P2-S80-F70



(d) S-P2-S30-F70



(e) S-P2-S80-F30



(f) S-P2-S80-F40



(g) S-P2-S80-F50



(h) S-N2-S80

[그림 4-11] 실험체 파괴 형상

종합 분석

○ 앵커 매입깊이는 태양광 발전설비 기초의 파괴모드를 결정하는 주요 인자임

○ 앵커 매입깊이 부족 시 국부 파괴 선행 후 전반적 파괴로 전이됨

○ 하중 전달 경로상 취약부는 앵커 또는 상부 콘크리트로 이동 가능함

4 태양광발전설비 PC기초 방수성능 평가

1) 방수성능평가 실험계획

실험 개요

○ 방수성능평가는 기초공법을 도입한 실험체를 제작한 후 KCS 41 40 01:2021 「방수공사일반」을 준용한 수밀성 시험으로 수행함

○ 시험체는 총 4체로 구성하였으며, 기초종류는 PC 독립기초와 콘크리트 기초로 구분함

○ 시험조건은 에폭시 방수제 도포 후 담수시험을 수행하는 기본시험과 하중 작용 후 담수시험으로 구성함

→ 하중 조건은 태풍 매미급 하중 또는 앵커 파괴 수준을 반영

실험체 구성

○ SW-R1-S80, SW-P1-S80-F70, W-R1-S80, W-P1-S80-F70으로 구성됨

○ SW 계열은 구조성능 및 방수성능을 함께 평가하는 실험체임

- SW-R1-S80 : 습식 기초
- SW-P1-S80-F70 : PC 기초

○ W 계열은 방수성능만을 평가하는 실험체임

- W-R1-S80 : 습식 기초
- W-P1-S80-F70 : PC 기초

■ 주요 변수 조건

○ 슬래브 앵커 : M16, hef=80 mm (동일 적용)

○ PC 기초 계열 기초 앵커 : M12, hef=70 mm

○ 각형강관 기둥 : 100×100×6 적용

[표 4-4] 실험체 일람표

Specimen	Method	Slab Anchor (M16) hef	Foundation Anchor (M12) hef	Rectanglur Hollow Section (RHS)
SW-R1-S80	Wet	80mm	-	100x100x6
SW-P1-S80-F70	PC	80mm	70mm	100x100x6
W-R1-S80	Wet	80mm	-	100x100x6
W-P1-S80-F70	PC	80mm	70mm	100x100x6

* 독립 기초 및 슬래브 상세는 구조실험체와 동일함.
** 각형강관 기둥 상세는 CTRL 실험체와 동일함.
***습식: 도막방수 마감
**** PC: 앵커볼트부, 기초바닥-슬래브 계면 방수처리, 앵커 매입부 방수
***** SW 시리즈 실험체의 경우 태풍 매미기준 하중까지 가력 후 방수성능평가 진행
- 모든 실험체 방수 처리 공법 적용

2) PC 독립기초 담수 및 방수성능 평가

■ 방수 공법 적용

○ 모든 실험체에 방수처리 공법 적용

○ 습식 기초 : 도막방수 마감

○ PC 기초 :

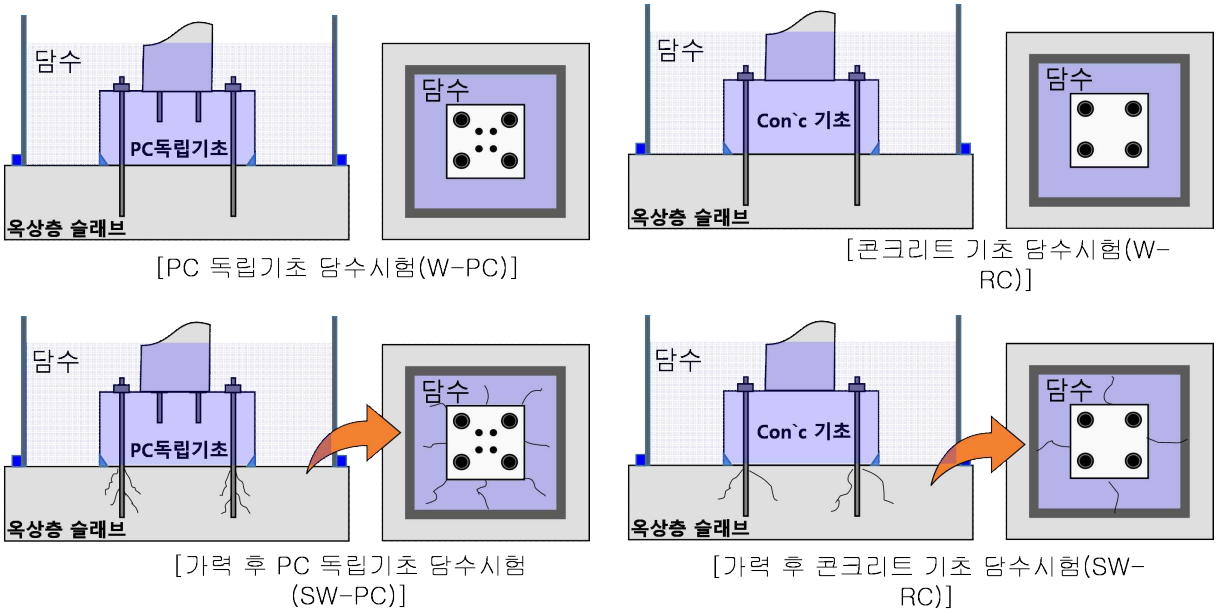
- 앵커 볼트부 방수처리
- 기초 바닥-슬래브 계면 방수처리
- 앵커 매입부 방수처리

계면부 방수 상세

○ 계면부 방수는 백업재와 실란트를 적용

○ 백업재는 PE 소재를 1:2 비율로 삽입 후 실란트 마감

→ 기초 바닥부와 슬래브 계면 수밀성 저하 방지 목적

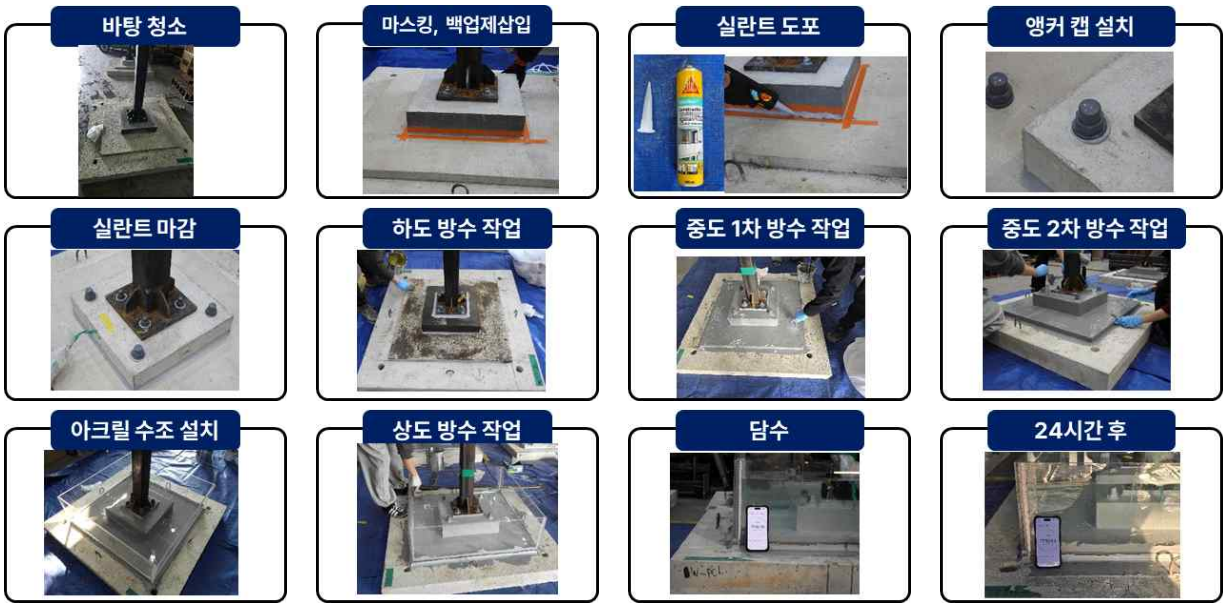


[그림 4-12] 방수성능실험체 상세

방수 시공 순서

○ 바탕 청소 → 마스킹 및 백업재 삽입 → 실란트 도포 → 앵커 캡 설치 → 앵커 캡 설치 → 실란트 마감 → 하도 방수 작업 → 중도 1차 방수 → 중도 2차 방수 → 아크릴 수조 설치 → 상도 방수 → 담수

→ 24시간 후 관찰 (방수층 연속성과 접합부 품질 확보 목적)



[그림 4-13] 방수성능실험 순서

기본 담수시험 결과

○ W-R1-S80 : 240 mm → 239 mm

○ W-P1-S80-F70 : 210 mm → 209 mm

- 48시간 후 약 1 mm 감소
- 자연기화에 의한 수위 저하로 판단
- PC 기초 및 콘크리트 기초 모두 초기 수밀성 확보

3) 기초균열 발생 후 방수 성능 저하 및 평가

구조성능 기반 하중 가력

○ SW 계열 실험체는 태풍 매미 기준 하중까지 가력 후 방수성능 평가 수행

○ SW-R1-S80

- Foundation-Slab Anchor : Vn 19.38 kN, ϕVn 8.72 kN
- 지배 파괴위치 : Foundation-Slab Anchor

○ SW-P1-S80-F70

- Foundation-Slab Anchor : Vn 37.02 kN, ϕVn 16.66 kN

- Base Plate-Foundation : Vn 8.87 kN, ϕVn 3.99 kN
- 지배 파괴위치 : Base Plate-Foundation

→ SW-P1-S80-F70은 기초 접합부 취약 조건

하중-변위 결과

○ SW-R1-S80

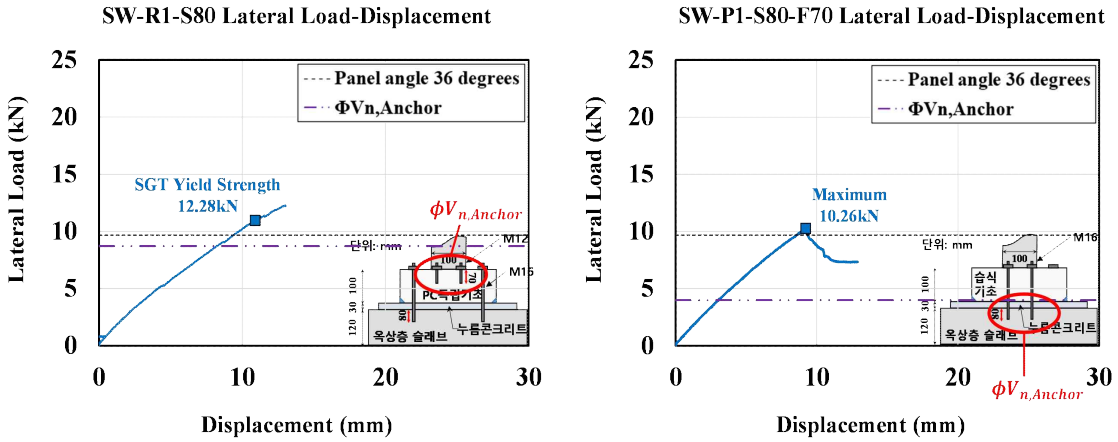
- 최대 수평하중 : 12.28 kN
- 최대변위 : 13.00 mm

○ SW-P1-S80-F70

- 최대 수평하중 : 10.26 kN
- 최대변위 : 9.22 mm
- 파괴모드 : Concrete Fry-out

→ 두 실험체 모두 Pu > 풍하중(Fh, 36.0°)

→ 구조적으로 풍하중 조건 상회



(a) SW-R1-S80 (b) SW-P1-S80-F70

[그림 4-14] 방수성능평가 하중-변위 관계 비교

가력 후 담수시험 결과

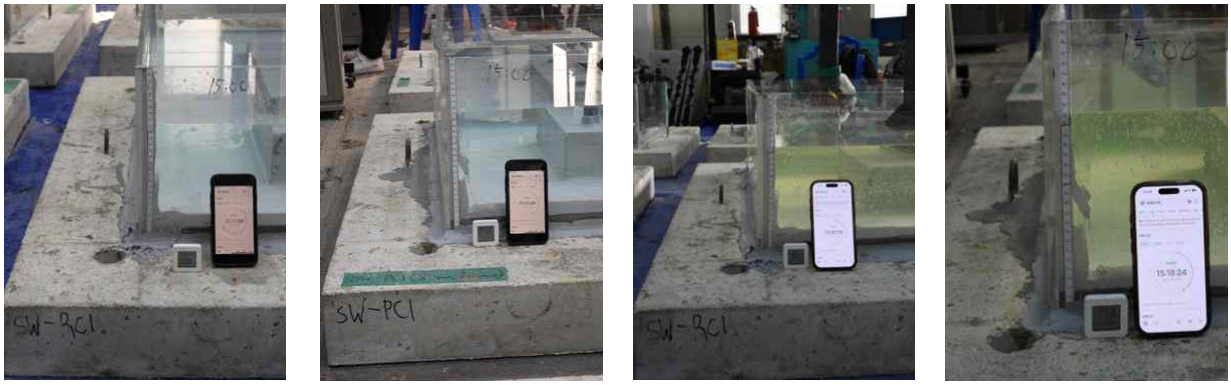
○ SW-R1-S80 : 211 mm → 210 mm

○ SW-P1-S80-F70 : 211 mm → 210 mm

-약 1 mm 감소

→ 자연기화에 의한 수위 저하로 판단

→ 에폭시 균열 및 들뜸 미발생



(a) SW-R1-S80 211mm (b) SW-P1-S80-F70 211mm (c) SW-R1-S80 210mm (d) SW-P1-S80-F70 210mm

[그림 4-15] SW-시리즈 방수실험결과

종합 평가

○ 하중 작용 후에도 방수층 성능 저하 미발생

- 즉각적인 방수성능 저하 없음

○ PC 독립기초 정착부

- 에폭시 균열, 박리 및 들뜸 미발생
- 양호한 방수성능 확보

○ 다만, 실제 현장 적용 시

- 시공품질 편차 및 장기 열화 고려 필요
- 표준 시공순서 준수 및 유지관리 점검 필요

5 PC 기초 적용에 따른 옥상슬래브 앵커 단열성능 평가

1) 3차원 열전달 해석프로그램을 이용한 옥상 슬래브 앵커 단열성능평가

■ 시뮬레이션 프로그램

○ 본 연구에서는 국제 표준에 부합하는 계산 알고리즘을 적용한 Physibel사의 BISCO 및 TRISCO 프로그램을 사용함

○ BISCO는 건축 부재의 수평 또는 수직 단면에 대한 2차원 정상상태 열전달 해석 수행

○ TRISCO는 복잡한 접합부에 대해 3차원 공간 기반 열류 해석 수행

-2차원 해석의 한계를 보완하여 접합부 열교 평가 가능

○ 참고기준

- 열교해석 및 열손실 계산 : EN ISO 10211
- 건물 구성요소 열관류율 : EN ISO 6946
- 열 및 습기 수송 : EN ISO 13788 기준

■ 시뮬레이션 경계조건 및 해석조건

○ 열전달 해석 입력조건은「건축물의 에너지절약설계기준」기반으로 설정함

○ 기후 조건은 중부1지역 기준 적용

- 보수적 열적 조건 반영

○ 건축물 부위별 열관류율 기준 적용 [표 4-5]

○ 단열재 두께 기준 적용 [표 4-6]

- 최상층 거실 반자 또는 외기에 직접 면하는 지붕 기준

○ 구조체는 실제 적용 재료로 모델링

○ 재료별 열전도율 적용 [표 4-7]

○ 실내·외 경계조건(EN ISO 6946 기준 적용)[표 4-8]

- 실외 : 0°C / 25.0 W/m²K
- 실내 : 20°C / 7.7 W/m²K

[표 4-5] 지역별 건축물 부위의 열관류율표(단위:W/m^2·K)

지역 / 건축물의 부위	중부1지역	중부2지역	남부지역	제주도
최상층에 있는 거실의 반자 또는 지붕, 외기에 직접 면하는 경우	0.170 이하		0.180 이하	0.250 이하

[표 4-6] 단열재의 두께 - 최상층에 있는 거실의 지붕(외기에 직접 면하는 경우)

지역	단열재 등급별 허용 두께			
	가	나	다	라
중부1지역	220	260	295	330
중부2지역	220	260	295	330
남부지역	180	215	245	270
제주도	130	150	175	190

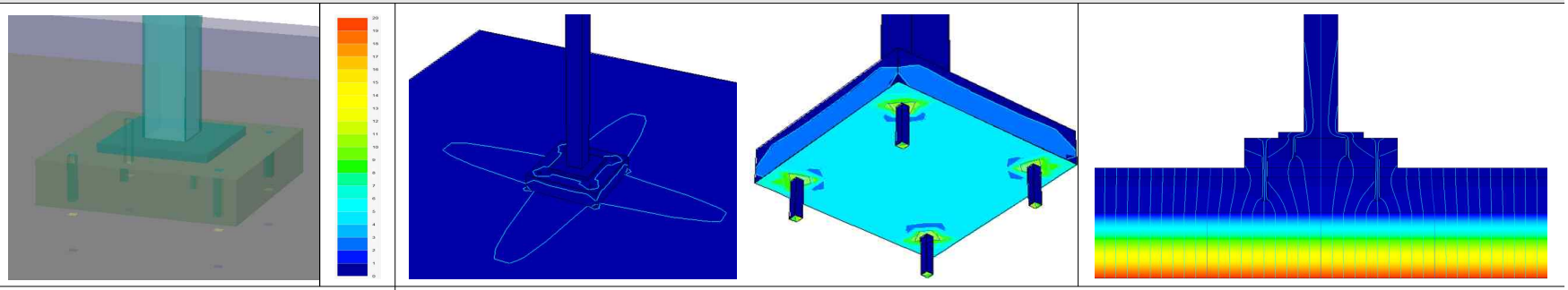
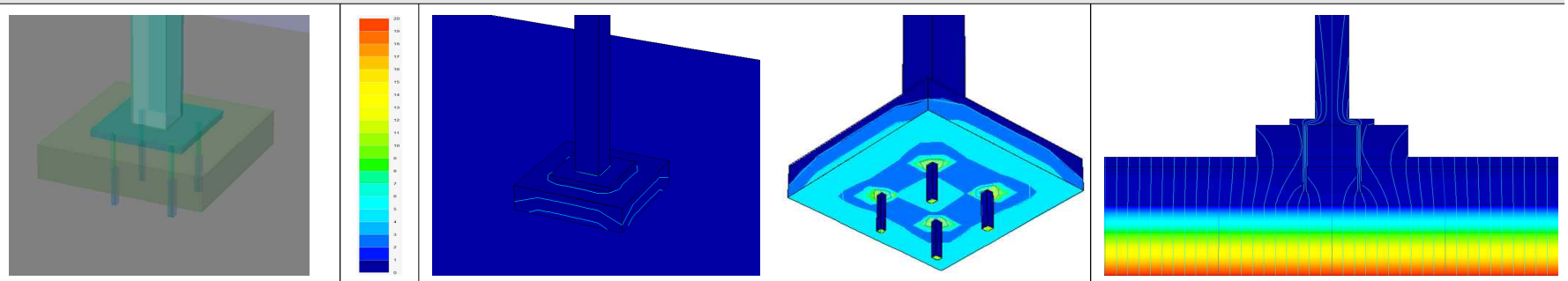
[표 4-7] 재료별 적용된 물성치

재료	열전도율 [W/mK]	두께 [mm]
단열재	0.034	220
슬래브 콘크리트	2.50	120
누름콘크리트	2.00	30
습식 독립기초	1.35	100
베이스 플레이트	50.00	20
기둥	50.00	2150
앵커	50.00	-

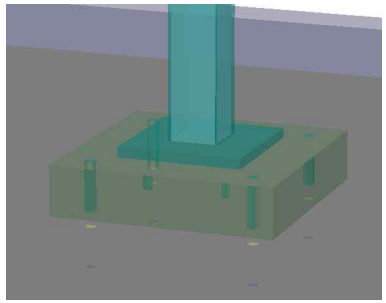
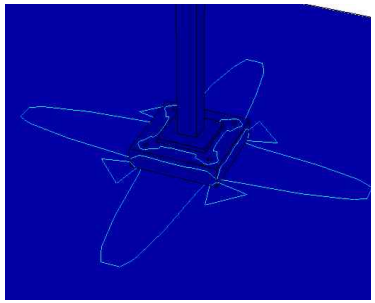
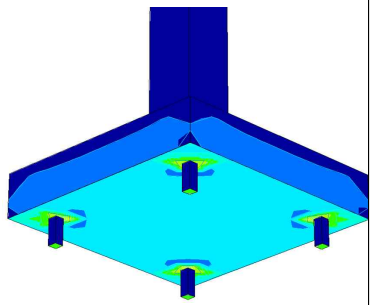
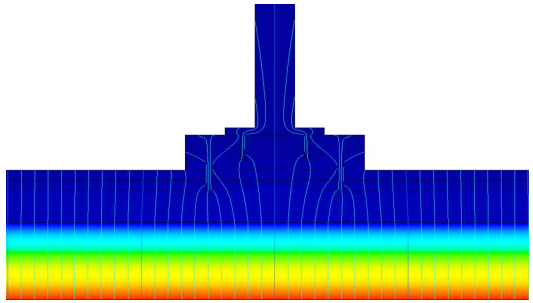
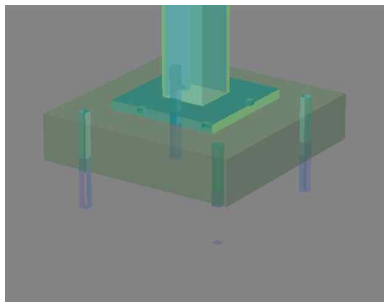
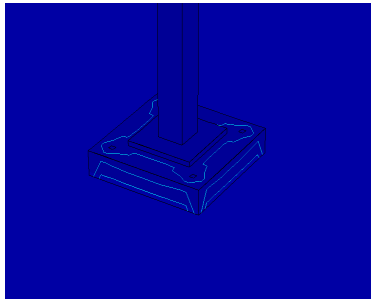
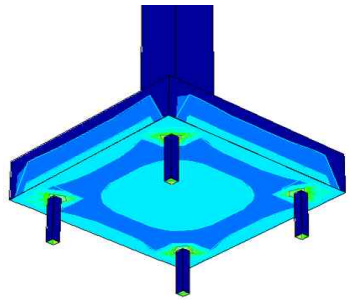
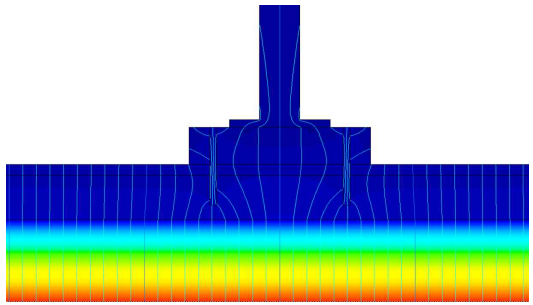
[표 4-8] 실내외 경계조건 [EN ISO 6946]

구분	온도 조건 [oC]	표면 열전달계수 [W/m^{2}K]
실외	0	25.0
실내	20	7.7

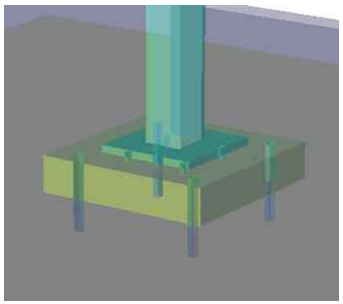
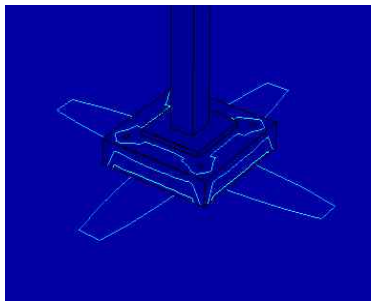
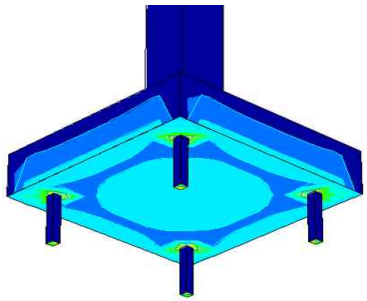
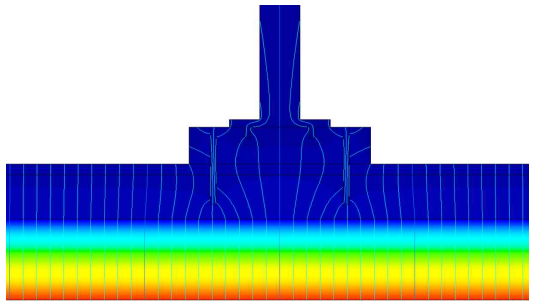
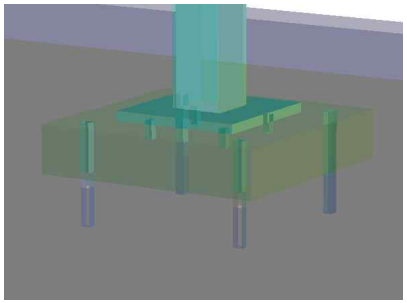
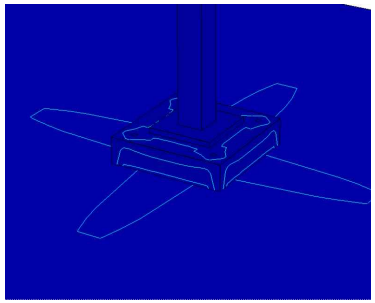
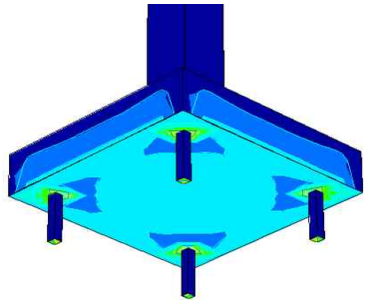
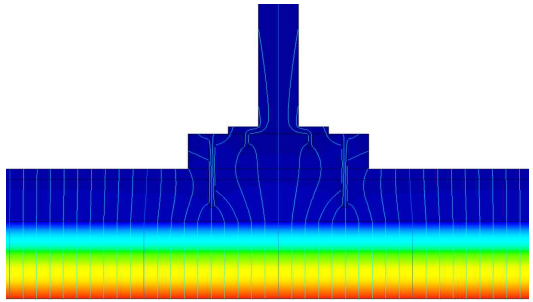
[표 4-9] 전열해석결과

S-P1-S80-F70	
	
열관류율	0.149 W/m^2·K
선형열관류율	0.152 W/(m.K)
결로판정	Surface condensation if RH > 98 % (at 20.00°C)
S-R2-S80	
	
열관류율	0.149 W/m^2·K
선형열관류율	0.159 W/(m.K)
결로판정	Surface condensation if RH > 98 % (at 20.00°C)

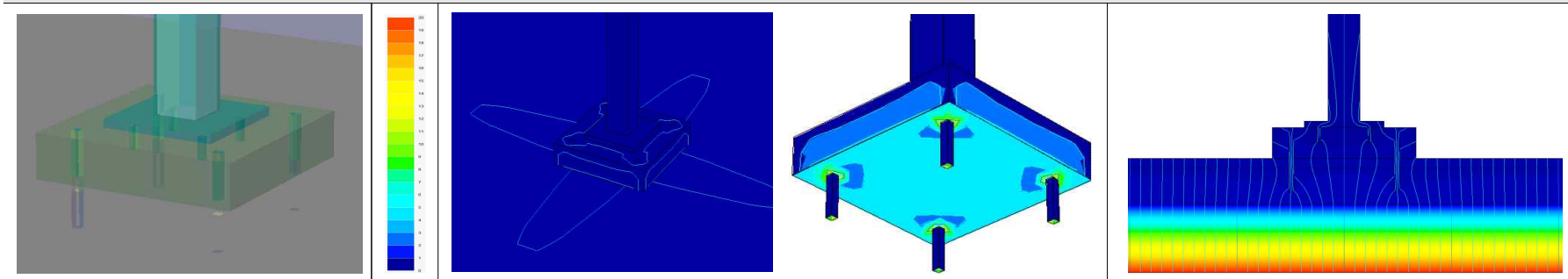
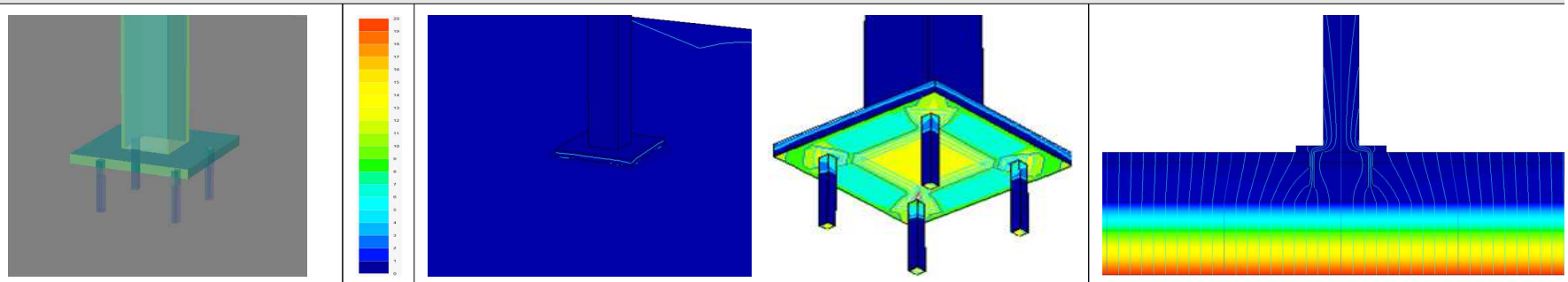
[표 4-9] 전열해석결과(계속)

S-P2-S80-F70				
				
열관류율	0.149 W/m^2·K			
선형열관류율	0.159 W/(m.K)			
결로판정	Surface condensation if RH > 98 % (at 20.00°C)			
S-P2-S30-F70				
				
열관류율	0.149 W/m^2·K			
선형열관류율	0.159 W/(m.K)			
결로판정	Surface condensation if RH > 98 % (at 20.00°C)			

[표 4-9] 전열해석결과(계속)

S-P2-S80-F30				
				
열관류율	0.149 W/m^2·K			
선형열관류율	0.159 W/(m.K)			
결로판정	Surface condensation if RH > 98 % (at 20.00°C)			
S-P2-S80-F40				
				
열관류율	0.149 W/m^2·K			
선형열관류율	0.159 W/(m.K)			
결로판정	Surface condensation if RH > 98 % (at 20.00°C)			

[표 4-9] 전열해석결과(계속)

S-P2-S80-F50	
	
열관류율	0.149 W/m^2·K
선형열관류율	0.159 W/(m.K)
결로판정	Surface condensation if RH > 98 % (at 20.00°C)
S-N2-S80	
	
열관류율	0.149 W/m^2·K
선형열관류율	0.195 W/(m.K)
결로판정	**Surface condensation if RH > 98 % (at 20.00°C)**

단열 성능 해석 결과

○ 모든 모델 열관류율 : 0.149 W/m²·K

○ 선형열관류율(Ψ)

- S-P1-S80-F70 : 0.152 W/m·K
- S-R2-S80 : 0.159 W/m·K
- S-N2-S80 : 0.195 W/m·K

○ 결로 판정

- 모든 모델 : RH 98% 이상 조건에서만 표면 결로 발생

→ 전반적으로 결로 안전성 확보

열교 및 단열 성능 비교 분석

○ 선형열관류율(Ψ) 비교

- S-R2-S80 : 0.152 W/m·K (최소)
- PC 모델 : 0.159 W/m·K (약 5% 증가)
- S-N2-S80 : 0.195 W/m·K (약 28% 증가)
- 구조 디테일 변화에 따른 열교 증가 확인

○ 등가 열관류율(Uf)

- S-R2-S80 : 0.459 W/m²·K (최우수)
- PC 모델 : 0.490 W/m²·K (약 7% 저하)
- S-N2-S80 : 0.684 W/m²·K (약 49% 증가)

○ 단위 길이당 열손실(Q)

- 일반 모델 : 약 5.97 W/m
- S-N2-S80 : 약 6.15 W/m (약 3% 증가)

→ 일반 구조 변화는 열손실 영향 미미

→ 특정 구조 결함 시 열손실 증가

결로 및 열적 안정성 평가

○ 온도계수(f-value)

- 모든 모델 약 0.98 수준

→ RH 98% 이상 조건에서만 결로 발생

종합분석

○ 접합부 디테일에 따라 열교 및 단열 성능 차이 발생

- 단순 열저항보다 열 흐름 경로(thermal path)가 중요

○ S-N2-S80 모델

- 열교 증가 + Uf 및 Q 동시 증가
- 단열재 연속성 저하 및 금속부 직접 열전달 영향

→ 국부 설계 결함이 전체 에너지 성능 저하로 이어짐

V 태양광 발전설비의 LH 주택 적용성 검토

Key Point

- 기존 옥상슬래브 구조안전성 확보 여부가 태양광 설비 적용의 선행조건
- 주택유형 및 도면 확보 수준에 따라 PC 기초공법의 선택적 적용 필요
- 태양광 발전설비의 발전량에 영향을 미치는 요인 분석 및 발전량 예측

1 태양광 발전설비 적용을 위한 옥상 슬래브 구조안전성 검토

1) 옥상 슬래브 구조안전성 검토 개요

■ 검토 개요

○ 태양광 발전설비의 LH 주택 적용은 건축물의 기초 성능뿐 아니라 기존 옥상 슬래브의 구조안전성에 의해 좌우됨

○ 이에, 기존 LH 주택의 옥상 슬래브를 대상으로 태양광 발전설비의 적용에 따른 구조적 요구 성능 만족 여부를 검토

→ 검토는 범용전산구조해석 프로그램을 사용하였음

○ 검토하중

- 수직하중 : 태양광 발전설비 및 부대하중을 포함하여 고정하중 0.2 kN/㎡
  활하중 1.0 kN/㎡ 적용
- 바닥하중 : 마감하중 및 슬래브 자중 반영, 활하중 3.0 kN/㎡ 적용
- 풍하중 : KDS 41 12 00 5.12.2 기준 적용 (수직 및 수평 풍하중 산정)

○ 태양광 발전설비 하중

- 이 연구에서 제안된 태양광 발전설비의 모델링을 통해 산정된 반력을 집중하중으로 슬래브에 반영

■ 구조 검토 특성

○ 매입형 임대주택은 동일 유형 내에서도 구조도면 확보 수준이 상이함

→ 주택유형별 슬래브 형식, 스팬, 두께 및 하부 지지조건 차이에 따른 검토 필요

○ 일부 대상은 건축도면 및 단면도만으로 슬래브 두께만 확인 가능

- 구조배근까지 확인 가능한 경우에 한하여 정밀 구조검토 가능

■ 도면 확보 현황

○ 매입형 임대주택 15개동 중 9개동 도면확인 가능

○ 슬래브 두께는 건축도면 및 단면도로 확인 가능

○ 구조배근 확인 가능한 동 : 3개동

■ 기초 형식

○ 건설형 및 매입형 임대주택 모두 태양광 기초는 대부분 독립기초 형태

○ 주택유형에 따른 설비는 규모 차이를 제외하면 큰 차이가 없음

2) 옥상 슬래브 구조안전성 검토 결과

■ 검토 결과

○ 구조안정성 검토의 신뢰성 확보를 위하여 슬래브 두께 및 구조배근의 확인 가능한 건축물을 대상으로 검토(3개동)

○ 구조안정성 만족 건축물

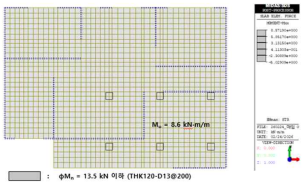
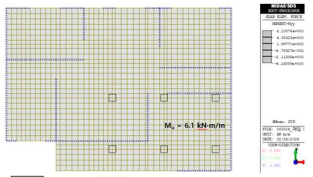
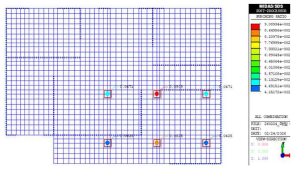
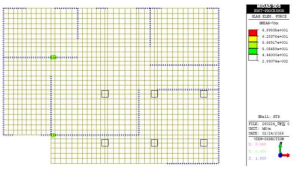
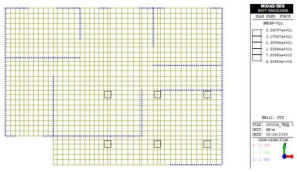
- 하부 벽체 위치에 태양광 발전설비 기초 설치 시 대체로 안전성 확보
- X, Y 방향 휨 및 전단 모두 내력 만족
- 편심 ratio 0.09 (OK 수준)
- 휨 및 전단 모두 내력 만족

→ 태양광 발전설비에 작용되는 하중이 하부 벽체로 전이되어 구조안정성 확보가능

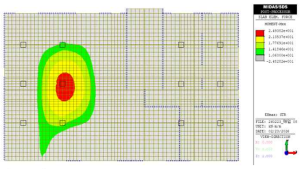
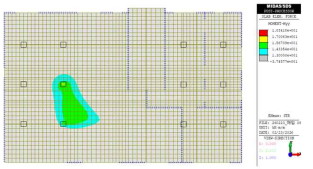
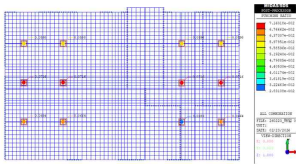
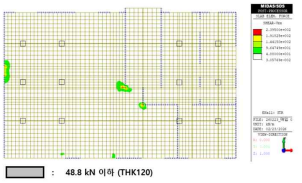
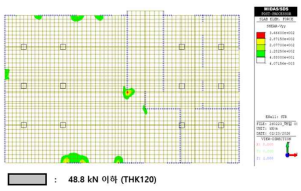
○ 구조안정성 불만족 건축물

- 하부 일부 벽체 조적벽체로 계획
- 슬래브 스팬 증가

- 휨 및 전단 내력 부족 발생
- 편심 ratio 0.07 (OK 수준)
- 전체적으로 구조적 요구성능 미만

	X방향	Y방향	편칭검토
휨 검토			
전단 검토			
검토결과	태양광 설치 위치 하부 슬래브 검토 결과 휨, 전단 모두 내력을 만족함		

(a) 구조안정성 만족

	X방향	Y방향	편칭검토
휨 검토			
전단 검토			
검토결과	지붕층 하부 일부 벽체가 조적벽체로 계획되어 슬래브 스팬이 넓어 휨 및 전단에서 내력부족		

(b) 구조안정성 불만족

[그림 5-1] 매입형 임대주택 슬래브 안전성 검토결과

2 LH 주택 유형에 따른 태양광 발전설비 적용 기준(안)

1) 주택유형별 적용 기준 및 방향

적용 기준

○ 구조도면 확보 및 배근 확인 가능한 동에 한하여 태양광 발전설비 설치 필요

○ 구조도면 확보가 어려운 경우, 안전진단을 통한 슬래브 안전성 검토 선행 필요

적용 방향

○ 건설형 임대주택

- 구조도면 확보 용이하여 구조검토의 간략화 가능
- 코어의 위치가 유사하여 배치할 수 있는 태양광 발전설비의 개수 균일
- PC 독립기초 적용 우선 검토 가능

○ 매입형 임대주택

- 구조도면 확보 수준이 불균일하여 개별 구조검토 또는 안전진단 결과 필요
- 코어의 위치에 따라 배치할 수 있는 태양광 발전설비의 개수 차이 발생
- PC 독립기초 적용 우선 검토 가능

2) 건설연령에 따른 태양광 발전설비 적용

건축물 구조성능 저하

○ LH 주택유형에 관계없이 건설연령이 증가할수록 구조성능 저하

○ 특히 [그림 5-2]와 같이 건설연령이 오래된 매입임대 주택의 경우 내진설계 미반영



[그림 5-2] 국내 건축물 내진설계 변천사

건축물 정보 부재

○ 건설연령이 오래된 건축물의 경우 건축물 정보 부재

- 건축물 평면도, 구조도면, 설비 도면 등

○ 태양광 발전설비 적용을 위한 건축물 구조 조사 추가로 필요

건설연령을 고려한 태양광 발전설비 적용

○ 국내 건축물 내진설계 의무화가 2017년 이후 시행되어, 최근 10년 내 건설 임대 및 매입임대 건축물을 대상으로 태양광 발전설비 적용 권고

→ 건축물 도면 확보로 태양광 발전설비 적용의 시공성 및 경제성 확보 가능

3 태양광 발전설비의 발전량 검토

1) 태양광 발전설비의 발전량에 영향을 미치는 요인

■ 일사량

○ 태양광 발전설비에 도달하는 일사량은 전기 생산량에 가장 큰 영향을 미치는 요소이며, 일사량이 클수록 발전설비는 최대 성능을 발휘할 수 있음

○ 흐린 날에도 태양광 발전설비는 작동하지만, 발전량이 맑은 날보다 크게 줄어듬

■ 태양광 패널 특성

○ 단결정, 다결정, 박막형 등 다양한 유형의 태양광 패널이 있으며,

○ 단결정 패널은 다른 유형보다 효율적으로 전기를 생산할 수 있으며, 패널의 물리적 크기 및 태양전지의 구성 방식도 발전량에 영향을 미침

○ 대부분의 상업용 태양광 패널의 에너지 효율은 약 15%에서 22% 사이임

○ 태양광 발전설비는 시간이 지남에 따라 발전 능력이 점차 감소하며, 평균적으로 태양광 발전설비의 발전량은 연간 약 0.5%의 속도로 성능이 저하됨

■ 설치 위치 및 방향

○ 태양광 발전설비가 설치되는 위치의 일사량과 패널의 방위각 및 경사각, 음영 여부도 발전량에 큰 영향을 미침

○ 남향에 그늘 없이 설치하는 것이 가장 이상적이며, 동향이나 서향은 남향에 비해 약 80% 정도의 발전량을 보이고 북향은 더욱 낮아짐

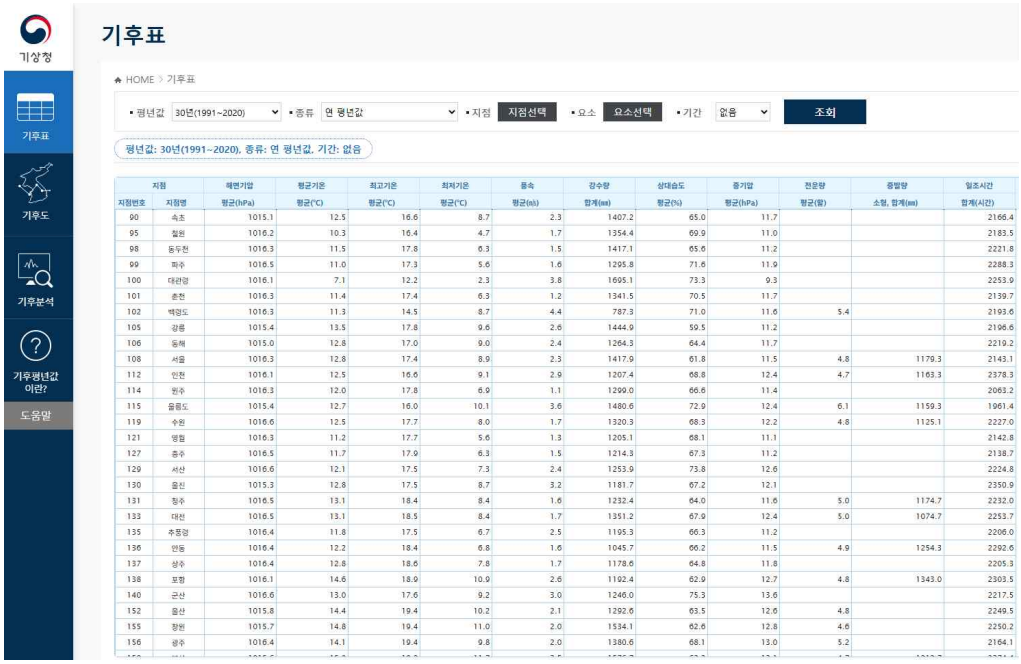
2) 태양광 발전설비의 발전량 계산 방법

■ 일조시간 기반 계산 방법

○ 태양광 발전설비가 설치된 건축물의 지역별 일조시간에 기반한 발전량 계산 방법으로 다음과 같은 식 (5-1)을 사용함. 지역별 연간일조시간은 [그림 5-3]과 같이 기상청 데이터를 사용가능함

$$E = P \times H \times K \quad (5\text{-}1)$$

여기서, E는 일일발전량(kWh/day), P는 태양광모듈의 설치용량(kWp), H는 지역별 일평균 일조 시간(hr), K는 시스템 효율임



[그림 5-3] 지역별 연간일조시간

○ 식 (5-1)에서 시스템효율(K)은 태양광 발전설비에서 생산된 전기의 각종 손실을 반영한 값으로, 인버터효율, 온도, 배선, 오염 및 음영에 따른 손실이 있음

○ 식 (5-1)은 태양광 발전설비의 일일 발전량 예측식으로 일(日) 수를 고려하여 연간 및 월간 발전량을 예측할 수 있으며, 정확한 발전량 예측은 전문 태양광 발전량 예측 프로그램 등을 이용한 방법이 요구됨

3) 태양광 발전설비 발전량 향상을 위한 설계 방안

설치각도

○ 우리나라의 위도를 고려하여 태양광 발전설비의 각도를 30°~35°로 설치하여 연중 일사량을 최대한 적용

방위각

○ 정남향을 기준으로 설치하되, 건축물의 위치, 인동간격등을 고려하여 남동향, 남서향 등 설치, 동향이나 서향으로 치우칠 경우 발전량 손실 우려가 있어 최대한 지양

이격거리(인동간격)

○ 매입형 임대주택은 인동간격이 좁아 건축물의 음영에 태양광 발전설비가 영향을 받을 수 있으므로, 건축물의 음영에 영향을 주지 않도록 태양광 발전설비의 이격거리 및 높이 조절이 필요

지역

○ 태양광 발전설비의 최적 발전량을 도출하기 위해서는 일조시간 5시간 이상, 연속일조 2시간 이상의 설치 가능한 지역 확보가 필요

Ⅵ 결 론

Key Point

- 슬래브 일체형 기초공법의 구조·방수 취약성으로 PC 기초공법 전환 필요
- 주택유형별 구조검토 및 앵커 정착조건 확보 기반의 선택적 적용 필수

1 연구결과 종합

1) 기초공법 구조적 문제 및 개선 필요성

■ 기존 태양광 기초공법 한계

○ 태양광 발전설비의 대부분 슬래브 일체형 독립기초 적용 중

○ 앵커 정착 및 하중 전달 과정에서 슬래브에 직접 하중 작용

■ 구조 및 내구성 문제

○ 슬래브 균열 및 변형 발생

○ 방수층 파손 및 누수 발생 가능성 확인

2) 구조성능 평가 결과

■ 앵커 정착조건 영향

○ 앵커 매입깊이에 따라 내력 및 파괴모드 크게 변화

○ 매입깊이 부족 시 기초부 파괴 지배

■ 구조 취약부 도출

○ 슬래브-기초-베이스플레이트 연결부가 주요 취약부

○ 앵커 설계가 구조 안전성 확보의 핵심 변수로 확인됨

3) PC 기초공법 적용 기대 효과

■ 구조적 개선 효과

○ 하중을 슬래브가 아닌 PC 기초로 분산 전달

○ 슬래브 균열 저감 및 구조 안전성 확보 가능

■ 시공 및 품질 개선

○ 공장 제작을 통한 품질 균일성 확보

○ 현장타설 대비 시공오차 감소 및 공기 단축 가능

4) 방수 및 단열 성능 검증

■ 방수성능

○ 앵커부 및 계면부 방수 상세 적용 시 수밀성 확보

○ 하중 작용 이후에도 방수층 건전성 유지

■ 단열성능

○ 일부 열교 증가 경향 존재

○ 전체 열관류율 및 결로 안전성 기준 만족

5) 최종 적용 방향

■ 태양광 기초공법 전환 필요

○ 기존 슬래브 일체형 기초공법의 구조적 한계 존재

○ PC 기초공법으로 전환하여 시공성, 구조안정성 확보 가능

■ PC 기초 공법 적용 핵심 조건

○ LH 주택유형, 건설연령, 사용재료강도 기반의 구조안정성 검토 선행

○ 각형강관의 베이스 플레이트-PC기초-구조체 슬래브의 앵커 정착조건 확보 필수

- 각형강관의 베이스 플레이트-PC기초 앵커 묻힘깊이 최소 70mm
- PC기초-구조체 슬래브 앵커 묻힘깊이 최소 80mm

LH 주택유형 및 건설연령에 따른 태양광 발전설비의 선별적 적용 필요

○ 건설연령이 오래된 주택의 경우 설계도면의 미확보 가능성 존재

○ 또한, 설계도면의 불일치, 재료강도 저하 등의 발생으로 추가적인 구조안정성 조사 필요

- 최근 건설된 건축물을 대상으로 선별적 사업 진행 필요

○ 매입임대 주택은 코어의 위치에 따라 태양광 발전설비의 개수의 편차가 발생하여 시공성 및 경제성 저하 우려

참고문헌

국토교통부, “건축물 설계하중(KDS 41 12 00 : 2024)”, 국가건설기준센터, 2024.

국토교통부, “방수공사 일반(KCS 41 40 01 : 2021)”, 국가건설기준센터, 2021.

국토교통부, “건축물의 에너지절약설계기준”, 국토교통부, 2025.

International Organization for Standardization (ISO), Thermal bridges in building construction — Heat flows and surface temperatures — Detailed calculations (ISO 10211:2017), ISO, 2017.

International Organization for Standardization (ISO), Building components and building elements — Thermal resistance and thermal transmittance — Calculation methods (ISO 6946:2017), ISO, 2017.

김진철, “태양광 시스템의 지역별 최적 방향 및 각도 연구” 신재생에너지, 2018. Vol.14,No.2

How Much Energy Does A Solar Panel Produce? - SolarReviews. (n.d.). Retrieved(https://www.solarreviews.com/blog/how-much-electricity-does-a-solar-panel-produce)

부 록 I Appendix I

주택유형에 따른 태양광 발전설비 발전량 예측 예시

개요

○ 발전량 예측 예시는 본문 5장의 식 (5-1)을 기반으로 건설형 및 매입형으로 구분하여 작성

○ 주택유형에 따른 태양광 발전설비 발전량은 실제 건축물의 위치, 태양광 발전설비 수, 모듈 효율 등을 모두 고려 해야 함

- 실제 발전량은 전문 태양광 발전량 예측 프로그램 등을 이용한 방법으로 산정 필요

○ 식 (5-1)을 기반으로 다음과 같이 발전량 산정

① 태양광 모듈 1장의 1일 발전량 예측

② 건설임대 1개동 120호, 매입임대 1개동 15호 대상 발전량 산정

③ K 값은 0.7~0.8 사이의 값을 사용할 수 있으며 태양광 발전설비의 특성에 따라 K 값 변동 가능

태양광 모듈 1장의 일일발전량 예측

○ LH의 태양광발전설비 설계기준 개선(안)(2023)에서는 공동주택의 ZEB 5등급 인증을 위한 태양광 발전설비 설치용량으로 호당 300W이상 제시하고 있고, 태양광 패널의 경우 양면모듈 0.58kW를 적용하고 있으므로, 이를 식 (5-1)에 대입하여 식 (A-1)과 같이 태양광 모듈 1장 당의 발전량 예측이 가능함

$$E = 0.58kW \times 6.6h \times 0.8 = 3.06kWh \quad \text{(A-1)}$$

여기서, E는 태양광 모듈 1장 당 일일발전량(kWh/day), 지역은 서울로 지정

건설형 임대주택 1개동의 일일발전량 예측

○ 건설형 임대주택 1개동 120세대(8호 조합 15층)의 경우 필요한 태양광 발전량은 120세대×300W=36kW이므로 0.58kW의 태양광 모듈이 63장 필요함

○ 건설형 임대주택 1개동에 태양광 모듈 63장이 설치가 가능할 경우, 식 (A-1)를 적용하여 태양광 발전설비의 일일발전량은 3.06kWh×63=192kWh가 될 것으로 예측



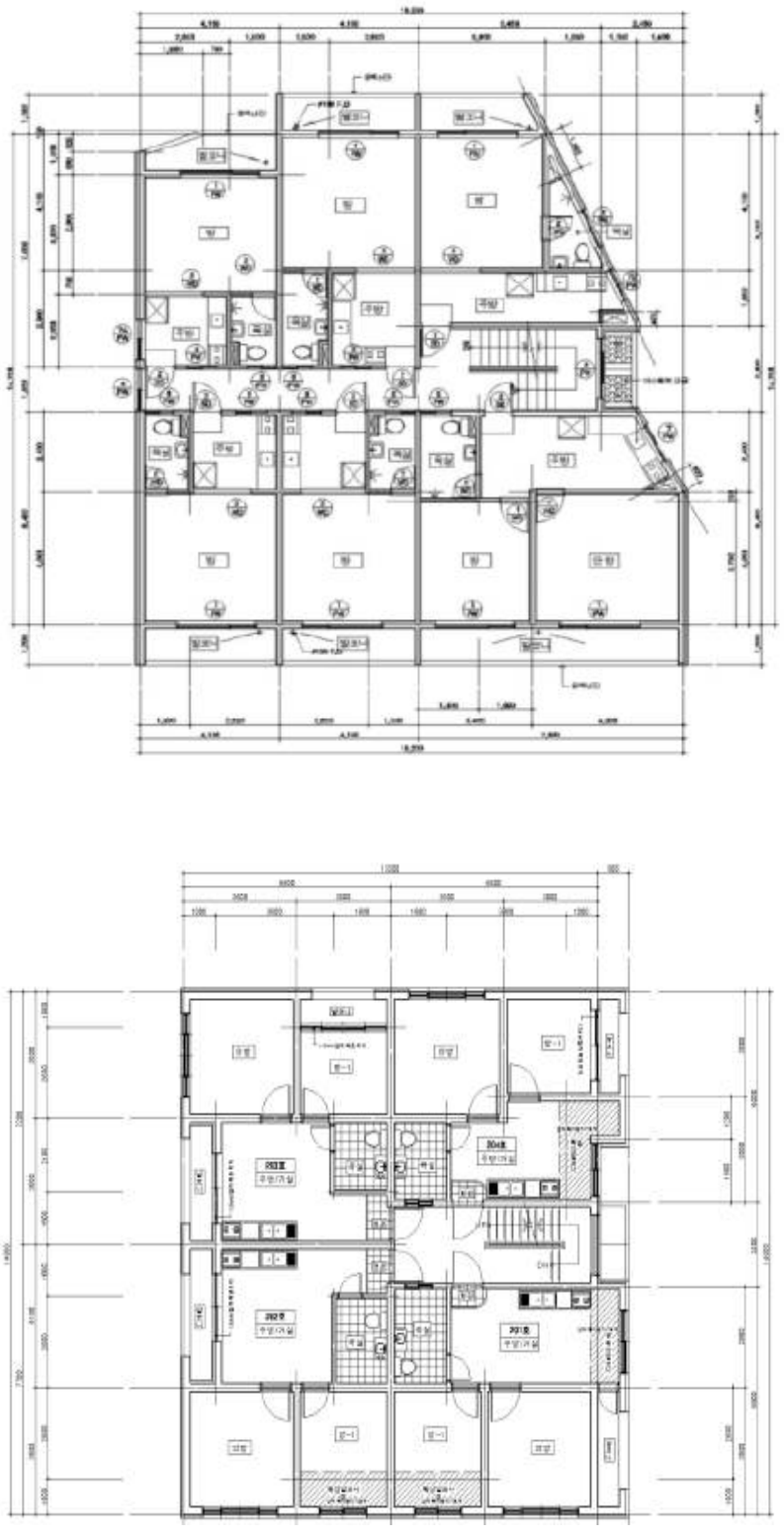
[그림 A1] 건설형 임대주택 태양광 발전설비 예시

매입형 임대주택 1개동의 일일발전량 예측

○ 매입형 임대주택의 태양광 모듈의 설치용량을 1세대당 300W로 가정할 때, 식 (A-1)와 같이 태양광 모듈 1장의 일일발전량은 3.06kWh가 됨

○ 매입형 임대주택의 1개동에 배치된 세대 수를 15호라 가정할 때, 필요한 발전량은 15세대×300W=4.5kW이므로 0.58kW의 태양광모듈 8장이 필요함

○ 매입형 임대주택 1개동에 태양광 모듈 8장 설치가 가능할 경우, 식 (A-1)를 적용하여 태양광 발전설비의 일일발전량은 3.06kWh×8=24.5kWh가 될 것으로 예측



[그림 A-2] 매입형 임대주택 도면 예시

부 록 Ⅱ Appendix Ⅱ

태양광 PC 독립기초 시공지침

1. 적용범위

○ 기축 건물 옥상층 태양광 설비용 PC 독립기초 설치에 적용

○ PC 독립기초 설치를 위한 재료 사양, 앵커 설치 기준, 시공방법, 품질관리 및 유의사항 제시

○ 건물 도면이 확보된 건물에 적용 원칙

○ 건물 도면 미확보 시 발주처 승인 후 적용 가능

2. 재료

2.1 후시공 앵커

○ 앵커로드: 앵커강도 8.8 등급 이상 제품 사용

○ PC독립기초-베이스 플레이트: M12 케미컬 앵커

○ PC독립기초-슬래브 접합부: M14 케미컬 앵커

○ 동등 성능 이상의 제품 사용 가능

2.2 실란트

○ 적용 부위

- PC 독립기초 외곽부
- 앵커 관통부
- 베이스플레이트 주변부

○ 실란트 깊이: 최소 8mm 이상 또는 폭:깊이 = 2:1 기준 적용

○ 실란트 하부: 비통기성 PE 폼 백업재 삽입

2.3 방수재

○ 기준 제품: KS 1류 방수재K

○ 동등 성능 이상의 2액형 폴리우레탄 도막방수재 사용 가능

○ 앵커 관통부 및 PC 독립기초 외곽부 보강도막 추가 시공

3. 시공순서

3.1 사전 확인

○ 건물 구조도면 및 옥상층 관련 도면 확인

○ PC 독립기초 설치 위치 확인

○ 앵커 설치 위치 철근탐사 실시

○ 마감 콘크리트 및 누름콘크리트 두께 확인

○ 구조슬래브 위치 및 앵커 유효 매입깊이 확보 여부 확인

○ 기존 방수층 상태 및 손상 가능 부위 확인

○ 철근 간섭 발생 시 앵커 위치 조정 또는 발주처 승인 후 시공

3.2 앵커 설치 기준

○ PC 독립기초와 베이스플레이트 접합부

- 앵커 수량: 4-M12
- 천공 직경: Ø14mm
- 유효 매입깊이: 70mm 이상

○ PC 독립기초와 옥상 슬래브 접합부

- 앵커 수량: 4-M16
- 천공 직경: Ø18mm
- 구조슬래브 내 유효 매입깊이: 80mm 이상

○ 누름콘크리트가 있는 경우

- 누름콘크리트 두께 확인
- 누름콘크리트 두께만큼 추가 천공
- 구조슬래브 내 유효 매입깊이 80mm 이상 확보

3.3 위치 표시 및 천공

○ PC 독립기초 설치 위치 및 앵커 천공 위치 표시

○ 도면, 철근탐사 결과, 태양광 구조물 배치도 확인

○ 철근 간섭이 없도록 앵커 위치 확정

○ 확정 위치에 앵커 규격별 천공 실시

○ 천공 시 철근 손상 방지

3.4 천공홀 청소 및 케미컬 주입

○ 천공 후 홀 내부 분진 및 이물질 제거

○ 제조사 시공지침에 따른 브러싱 및 에어블로잉 실시

○ 청소 완료 후 케미컬 앵커 주입

○ 케미컬 주입량, 주입 방향, 노즐 사용방법은 제조사 시공지침 준수

○ 홀 내부 케미컬 충분 충전 확인

3.5 앵커로드 삽입 및 양생

○ 케미컬 주입 후 앵커로드 삽입

○ 앵커로드를 회전시키면서 천천히 삽입

○ 앵커로드 위치, 돌출 길이, 수직도 및 케미컬 충전 상태 확인

○ 제조사 기준에 따른 양생시간 준수

○ 양생 중 앵커에 충격, 진동 및 하중 작용 금지

3.6 PC 독립기초 설치

○ 앵커 양생 완료 후 PC 독립기초 설치

○ 설치 전 슬래브 바탕면의 이물질, 돌출부, 들뜸 부위 제거

○ PC 독립기초 설치 시 슬래브와 독립기초가 수평을 이루도록 조치

○ 바탕면 단차 또는 불균형 발생 시 채움 모르타르 등을 활용하여 수평 및 밀착 상태 확보

○ 채움 모르타르 사용 시 충분한 충전 및 양생 상태 확인 후 후속 공정 진행

3.7 베이스플레이트 설치 및 체결

○ PC 독립기초 상부에 베이스플레이트 설치

○ 앵커 체결 실시

○ 제조사 시공지침 및 설계기준에 따른 체결

○ 너트 체결 상태 확인

○ 베이스플레이트 들뜸 여부 확인

○ 기초 위치 변동 여부 및 접합부 이상 여부 확인

3.8 실란트 및 방수 시공

○ PC 독립기초 외곽부, 앵커 관통부 및 베이스플레이트 주변부 실란트 시공

○ 실란트 시공 전 바탕면 먼지, 수분, 기름 및 이물질 제거

○ 앵커 관통부, PC 독립기초 외곽부, 베이스플레이트 주변부 방수재 시공

○ 기존 방수층과 신규 방수층 접합부 방수재 시공

○ 방수 시공 순서

① 바탕면 정리

② 프라이머 도포

③ 1차 도막 시공

④ 보강도막 시공

⑤ 2차 도막 시공

⑤ 양생 및 마감상태 확인

4. 품질관리

○ 앵커 규격, 설치 수량, 천공 직경 및 매입깊이 확인

○ 앵커로드 위치, 돌출 길이, 수직도 및 케미컬 충전 상태 확인

○ 제조사 기준 양생시간 준수 여부 확인

○ PC 독립기초 설치 위치, 수평 상태, 앵커 관통 상태 및 들뜸 여부 확인

○ 슬래브와 PC 독립기초 간 수평 및 밀착 상태 확인

○ 채움 모르타르 사용 시 충전 상태 및 양생 상태 확인

○ 베이스플레이트 설치 상태 및 앵커 체결 상태 확인

○ 실란트 충진 상태 확인

○ 방수재 도막 상태 확인

○ 앵커 관통부 및 기존 방수층 복구 부위 누수 가능성 확인

○ 필요 시 사진대지 및 시공기록 작성·관리

5. 유의사항

○ 앵커 설치 전 철근탐사 및 두께 확인 필수

○ 천공, 청소, 케미컬 주입, 앵커로드 삽입, 양생 및 체결은 제조사 시공지침 준수

○ 누름콘크리트는 구조체로 보지 않음

○ 앵커 유효 매입깊이는 구조슬래브 내에서 확보

○ 누름콘크리트가 있는 경우 누름콘크리트 두께만큼 추가 천공

○ PC 독립기초 설치 시 슬래브와 독립기초의 수평 및 밀착 상태 확보

○ 슬래브 바탕면 단차 또는 불균형 발생 시 채움 모르타르 등을 활용하여 보정

○ 기존 방수층 훼손 부위는 반드시 보강 방수처리

○ 도면과 현장 조건이 상이한 경우 임의 시공 금지

○ 현장 변경사항 발생 시 관련 내용 기록 및 발주처 승인 후 후속 공정 진행

구분	적용사양	기준 및 비고
PC 독립기초 타공 및 앵커	**PC 독립기초-베이스플레이트 접합부** - **앵커**: M12 케미컬 앵커 - **케미컬**: 부착강도 N/mm² - **타공크기**: Φ 14mm - **볼트크기**: M12 - **앵커강도**: 8.8 등급 이상 - **매입깊이**: 70 mm 이하 - **설치토크**: 40 N·m 이하 - **앵커간격**: 60 mm 이상 - **연단거리**: 45 mm 이상	- **앵커 강도**: f_{uk}=800MPa(인장), f_{yk}=640MPa(항복) 이상 - **케미컬**: (M12 기준) 콘크리트 강도 25MPa로 적용할 경우, 비균열시 부착강도 $\tau_{Rk,u_{cr}}$ = 18N/mm² 이상의 성능확보) - **M12 기준** - **천공직경**: Φ 14mm, 볼트크기: M12 - **유효 매입 깊이**: 70~240mm - **최대 설치토크**: 40N·m - **최소 앵커간격**: 60mm 이상 - **최소 연단거리**: 45mm 이상 * 앵커와 케미컬은 동등 성능 이상 제품을 사용할 수 있다.
슬래브 타공 및 앵커	**PC 독립기초-슬래브 접합부** - **앵커**: M14 케미컬 앵커 - **케미컬**: 부착강도 N/mm² - **타공크기**: Ø18mm - **볼트크기**: M16 - **앵커강도**: 8.8 등급 이상 - **구조슬래브 내 유효 매입깊이**: 80mm 이상 - **누름콘크리트 포함 총 천공깊이**: 110mm * 누름30mm로 상정 - **설치토크**: 80N·m 이하 - **최소 앵커간격**: 75mm 이상 - **최소 연단거리**: 50mm 이상	- **앵커강도:** f_{uk}=800MPa (인장), f_{yk}=640MPa(항복) 이상 - **케미컬**: (M12 기준) 콘크리트 강도 25MPa로 적용할 경우, 비균열시 부착강도 $\tau_{Rk,u_{cr}}$ = 18N/mm² 이상의 성능확보) - **M16 기준** - **천공직경**: Φ 18mm, 볼트크기: M16 - **유효 매입깊이**: 80~320mm - **최대 설치토크**: 80N·m - **최소 앵커간격**: 75mm 이상 - **최소 연단거리**: 50mm 이상 * 앵커와 케미컬은 동등 성능 이상 제품을 사용할 수 있다.
실란트	**접합부 실란트** - **실란트**: 1액형 습기경화형 고탄성 폴리우레탄 조인트 실란트 - **적용부위**: PC 독립기초 외곽부, 앵커 관통부, 베이스플레이트 주변부,방수층 절단·보수부	- **허용움직임**: ISO 9047 기준 ±25%, ASTM C719 기준 ±35% - **조인트**: 최소 8mm 이상 또는 폭:깊이 = 2:1 기준으로 설계하고, 하부에는 closed-cell polyethylene foam backing rod 적용 - **백업재**: 비통기성 PE 폼 백업재 * KS F 4910 F-25LM, ASTM C920 class 35, EN 15651-1 등 동등 성능 이상 제품을 사용할 수 있다.
방수재	**방수재** - **방수재**: KS 1류 방수재K (2액형 폴리우레탄 도막방수재) - **방수층 구성**: 바탕정리 → 프라이머 → 실란트 충전 → 1차 도막 → 보강도막 또는 보강포 → 2차 도막 → 상도 또는 보호마감 - **적용부위**: PC 독립기초 외곽부, 앵커 관통부, 베이스플레이트 주변부, 기존 방수층 절단부 - **도막두께**: 건조도막두께 3mm - **보강부위**: 앵커 관통부와 PC 기초 모서리부는 보강도막 추가	- **방수재**: KS 1류 방수재K (폴리우레탄 수지를 주성분으로 한 2액형 도료) - KS F 3211-1류 수평부 규격을 만족하는 옥상 및 기타부위 방수재 - **도막두께**: 건조도막두께 3mm 이상(기준 약 4.2kg/m² 이상) * 콘크리트 표면은 레이턴스, 먼지, 유분 등 오염물을 제거한 후 시공

태양광 PC 독립기초설치 현장품질 체크리스트

구분	점검항목	확인기준	확인
사전확인	도면 및 설치 위치 확인	구조도면, 옥상층도면, 태양광 배치도 확인	□ 적합 □ 부적합
	철근탐사 및 두께확인	앵커위치 철근간섭, 마감·누름콘크리트 두께 확인	□ 적합 □ 부적합
앵커	앵커재료 확인	앵커 항복강도 및 케미컬 강도 확인	□ 적합 □ 부적합
	앵커규격 확인	4-M12, Ø14mm, 매입깊이70mm 이상/ 4-M16, Ø18mm, 구조슬래브내매입깊이80mm 이상	□ 적합 □ 부적합
	천공·청소·주입·양생	제조사 시공지침에따라 천공, 청소, 케미컬주입, 앵커삽입 및 양생	□ 적합 □ 부적합
기초설치	PC 독립기초 설치상태	위치, 수평, 앵커관통상태확인	□ 적합 □ 부적합
	수평 및 밀착 확보	슬래브와 독립기초가 수평을 이루도록설치, 단차발생시 채움 모르타르 등으로 보정	□ 적합 □ 부적합
체결	베이스플레이트 체결	너트체결, 들뜸, 위치변동, 접합부 이상 여부 확인	□ 적합 □ 부적합
방수마감	실란트시공	PC 기초외곽부, 앵커관통부, 베이스 플레이트 주변부 시공	□ 적합 □ 부적합
	방수보강	앵커관통부및PC 기초 외곽부 보강 도막시공, 누수 우려 없음	□ 적합 □ 부적합
기록	사진 및 시공기록	철근탐사, 천공, 앵커, 기초설치, 방수사진 및 기록확보	□ 적합 □ 부적합

종합판정

○ **최종판정**: □ 적합 □ 조건부적합 □ 부적합

○ **특이사항**

○ **보완사항**

점 검 일 자 : 년 월 일
점 검 자 : (서명)
확 인 자 : (서명)