

# 공동주택 지하주차장 외방수공법의 적용성 검토에 관한 연구

An Evaluation on Applicability of External Waterproofing Membranes  
for Underground Parking Lots in Multi-Residential Building

이수규

김태호

이희수



연구관리 2024-115호

공동주택 지하주차장 외방수공법의 적용성 검토에 관한 연구

---

지은이	이수규, 김태호, 이희수
발행인	정 창 무
발행처	한국토지주택공사 토지주택연구원
주 소	(34047) 대전 유성구 엑스포로 539번길 99
홈페이지	<a href="http://lhri.lh.or.kr">http://lhri.lh.or.kr</a>
전화번호	042-866-8583
이메일	<a href="mailto:glee@lh.or.kr">glee@lh.or.kr</a>

이 출판물은 우리 공사의 업무상 필요에 의하여 연구·검토한 기초자료로서 공사나 정부의 공식적인 견해와 관계가 없습니다.

우리 공사의 승인 없이 연구내용의 일부 또는 전부를 다른 목적으로 이용할 수 없습니다.

## 참여연구진

### 연구책임

이수규 LH 토지주택연구원 수석연구원

### 연구진

김태호 LH 토지주택연구원 수석연구원

이희수 LH 경영관리본부 인사처

### 연구심의위원

김균태 LH 설계검증처 팀장

김병문 LH 스마트주택기술처 팀장

김상연 LH 토지주택연구원 수석연구원

박종배 LH 토지주택연구원 선임연구위원

이동현 LH 스마트주택기술처 처장

이명래 그린마이스터건축사무소 대표

신홍철 한국건설생활환경시험연구원 센터장

전주영 LH 토지주택연구원 실장

최승영 LH 세종특별본부 주택사업처 팀장





## ■ 연구의 필요성 및 목적

지하주차장 등 지하공간은 활용성이 높아지고 있으며, 주변 토사와 지하수위에 접해 있는 공간인 만큼 쾌적한 지하공간을 위해서는 방수성능의 확보가 무엇보다 중요하다. 지하공간에 적용 가능한 방수공법은 콘크리트를 밀실하게 타설하여 자체로 방수성능을 확보하고, 일부 유입수를 배수 처리하는 내방수공법과 구조물 외부에 연속적인 방수층을 형성하여 누수를 차단하는 외방수공법으로 구분된다.

LH 공사는 2014년 지하구조물 수직부재에 있어 내방수공법에서 누수를 원천 차단할 수 있는 외방수공법으로 설계를 변경하여 반영하고 있다. 이로써 수평부재는 시트방수로 시공하고, 수직부재는 점착계 복합시트 방수를 적용하고 있다. 수평부재의 경우 점착계 복합시트를 포함한 단일계 시트, 보강복합형 시트 등 총 10종의 시트소재의 적용이 가능하지만, 수직부재는 시공 환경과 유지관리를 고려하여 10종 중 비경질 점착젤을 도포한 점착계 복합시트방수 2종만을 적용하고 있다.

[표] 시트방수 설계지침

명칭	소재(공법)	
시트방수(10종) (지하주차장 최상층, 슬래브)	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 개량아스팔트 시트방수</li> <li>· 폴리우레탄 방수</li> <li>· 자착형 시트 방수</li> <li>· 도막-시트 일체형 복합방수</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 합성고분자계 보강복합형 시트 방수</li> <li>· 점착형 EVA 복합 시트방수</li> <li>· 단열 보완형 PVC 복합방수</li> <li>· CIA 조인트 이중보강 복합방수</li> </ul>
외방수(2종)	· 점착젤-시트 복합방수	· 점착형 합성고무계 복합시트 방수

외방수공법의 전문시방서(LHCS) 설계기준에서 제시하고 있는 방수재의 성능기준이 재료의 고유물성 기준으로 설정되어, 인장강도, 인열성능 등 유사항목의 성능기준값이 재료에 따라 차이를 나타내고 있다. 지하주차장의 시공방법 및 환경 등을 고려하여 지하주차장에서 실제 요구되는 성능 항목의 설정이 필요하다.

구조물 측면에서 지하주차장의 필요한 요구성능을 도출하여 점착계 복합시트 이외 단일시트계 또는 보강복합형 시트계의 수직부재 적용 가능성을 검토하고자 한다.

## ■ 공동주택 지하주차장 하자현황

### 1) 공동주택 누수하자 분석

2014년 이후 외방수공법이 적용된 10개 단지의 하자 현황을 분석한 결과, 주된 하자는 누수를 동반하지 않는 균열하자로 전체 하자 중 606건으로 76%를 차지하였다. 반면 균열의 관통으로 인하여 누수를 동반한 누수균열은 총 159건으로 전체 하자 중 20%를 차지하였다. 누수를 동반하지 않는 균열을 주로 외벽과 바닥에서 사선균열과 수직균열, 수평균열의 형태로 각각 386건, 169건, 51건이 발생하였으며, 누수하자는 주로 외벽과 상부 슬래브에서 각각 90건과 65건이 발생하였다.

외방수공법이 적용된 단지의 경우 외부 구조체에 적용된 시트방수의 하자보단 시트방수가 접해지는 접합부(슬래브-외벽, 보-슬래브 등)에서 누수가 발생한 것으로 판단된다. 이는 접합부의 콘크리트 단면 변화에 따른 균열발생과 더불어 부착된 시트방수의 접합부의 들뜸 등의 발생하여 외부 유입수가 누수된 것으로 판단된다. 이외 토사와 접해진 최하층 바닥판에서 유입된 수분이 모세관 현상에 의하여 벽을 따라 흡수되는 흡습누수도 일부 단지에서 발생하였다.

### 2) 지하주차장 방수공사 설계지침 비교분석

LH와 민간 종합건설사의 지하주차장 방수공법의 비교 결과, 지하주차장 최상부층은 시트방수로 유사한 공법이 적용되는 것으로 나타났으나 수직부재인 외벽방수의 공법에 차이를 보인다. LH의 경우 지하공간과 PIT, 전기실 등 전면부를 외방수공법이 시트방수를 적용하지만 민간 건설사는 기본적으로 전면 시멘트 액체방수와 내부 벽체 배수판을 시공하고 취약부위에 있어 국부방수를 시공하여 내부 결로수 및 유입수를 처리하고 있다. 다만, 민간 건설사 또한 주요 시설이나 필요한 부위에 한해 시트방수를 적용하고 있다.

[표] LH와 민간건설사의 지하주차장 설계지침 비교

구분	수평부		수직부	
	최상층	최하층	내벽	(흙에 접한면)외벽
LH	시트방수	바닥 배수판	PVC 배수판	외방수공법(시트방수)
민간 종합건설사	복합방수/자칫식 시트 OR (일반) 이중복합방수 (식재) 방근방수공법	복합방수/폴리우레탄 OR 국부방수+배수판	시멘트블록/배수판	(고지하수 취약부위) 국부방수+공간벽 OR 고무아스팔트/우레탄

## ■ 외방수 공법 특성 분석

LH공사의 외방수공법은 비경질형 점착겔을 개량 아스팔트 시트에 도포한 점착계 복합시트방수이다. 일반 단일시트계와 보강복합형 시트방수와의 차이점으로 점착계 복합시트방수는 비경질형 점착겔을 점착제로 사용한다는 것이다.

고점착성과 유동성을 지닌 비경질형 점착겔을 자착식 시트의 점착제와 달리 점착력(Adhesive)와 응집력(Cohesive)의 특성을 가진 점탄성 자재이다. 점착겔의 점착 특성으로 인하여 점착겔이 도포된 시트는 자착식 시트와 같이 열을 가하거나 별도의 공정없이 이형지를 제거한 후 바탕면에 부착할 수 있어 시공성을 높여준다. 점착겔의 응집력은 점착겔 내부 분자간 결합력으로 진동과 충격 흡수성이 우수하여 빈번한 차량 이동과 지반침하 등 진동으로 인하여 발생하는 균열과 내부에 발생한 균열을 통해 유입된 누수의 흐름을 차단할 수 있다. 점착겔을 포함한 복합시트 방수는 외부하중이 재하 되었을 때 방수층과 콘크리트 바탕의 계면에서 파괴가 발생하는 기존 자착식 시트와 달리 점착겔 내부 응집력이 하중에 저항하여 내부적 응집 파괴 먼저 발생하여 콘크리트 계면에서 부착력을 유지할 수 있어 계면의 들뜸, 박리 등의 하자를 최소화 할 수 있다.

외방수공법은 ‘점착겔-시트 복합방수’와 ‘점착형 합성고분자계 시트방수’로 시공의 방법에 따라 차이를 가진다. ‘점착겔-시트 복합방수’는 점착겔과 시트가 분리되어 생산되어 시공현장에서 점착겔을 바탕면에 도포 후 시트를 부착시키는 방수자재이며, ‘점착형 합성고분자계 시트방수’는 점착겔이 시트에 도포되어 생산되는 일체형 방수자재이다.

## ■ 외방수공법 적용성 검토

LH 표준상세도에 명시된 공동주택 방수에 사용 가능한 시트방수재 10종에 대하여 지하주차장에 적용되는 방수재의 필요 성능항목을 도출하여 역학적 성능평가를 시행하고 콘크리트 바탕판에 부착 후 물리적 상태변화를 평가하였다.

- ① 구조물 거동 대응성능, ② 부착 안정성능, ③ 투수 저항성능, ④ 온도 의존성능, ⑤ 접합 안정성능, ⑥ 전단 점착강도, ⑦ 내열성능, ⑧ 시공성

구조물 거동 대응성능을 포함하여 총 8가지의 평가항목에 대하여 10종의 시트방수

재를 대상으로 지하구조물 수직부재의 적용 가능성을 평가하였다. KS 산업규격의 성능 평가 기준으로 부착 안정성과 접합 안정성을 평가하였으며, KS 비규격 시험은 점착형 합성고무계 시트방수의 성능을 기준으로 평가하였다. 실험은 10종의 서로 다른 종류의 시트방수 성능을 상대적으로 비교 분석하기 위하여 총 8종의 시험항목을 설정하고 각 단일 시험방법으로 성능을 평가한 것으로, 시트방수에 대한 표준화된 고유의 산업표준 규격에서 지정하고 있는 시험방법이 아니므로 성능 평가 결과를 바탕으로 해당 시트방수의 성능 기준 만족여부를 판단하기에는 한계가 있다.

[표] 시트방수 접합 안정성 시험결과

구 분	평가항목	구조물 거동대응	부착 안정성	투수 저항성	온도 의존성	접합 안정성	전단 접착강도	내열성	시공성
	가중치	0.2515	0.0965	0.1491	0.0634	0.1040	0.1589	0.1767	0.1429
개량 아스팔트 시트		X	X	O	O	O	O	O	X
폴리우레탄 시트		-	-	-	-	-	-	X	O
아스팔트계 자착식 시트		O	O	O	O	O	O	△	O
도막-시트 복합시트		O	X	O	O	O	O	O	O
합성고분자계 복합시트		-	X	O	O	-	-	O	-
단열 PVC 복합시트		X	X	△	O	O	O	O	△
CIA 조인트 이중복합 방수		O	X	O	O	O	X	O	△
점착젤-시트 복합방수		O	O	O	O	O	O	O	△
점착형 합성고무계 시트방수		O	O	O	O	O	O	X	O

범례 : ○ - 양호(1.0), △ - 보통(0.75), X - 검토 필요(0.5)

\* 폴리우레탄 시트는 자재 수급 불가로 내열성을 제외한 성능평가에서 제외함

\*\* 점착형 EVA 복합 시트방수는 자재 수급 불가로 검토 대상에서 제외함

14인의 전문가 설문결과, 시트방수로 구성된 외방수공법의 성능을 평가하기 위한 평가항목은 구조물 거동 대응성, 내열성, 전단 접착성, 부착 성능으로 시트 방수와 콘크리트 바탕면과의 부착력이 중요한 것으로 나타났다. 성능평가에 가중치를 반영한 결과, 기존 점착젤 복합시트 이외 자착식 시트 또한 적용이 가능할 것으로 판단된다. 다만, 방수층의 성능 확보를 위하여 기존 구조물 거동 대응성 시험의 기준을 통과한 자재로 한정할 필요가 있다. LHCS 전문시방서에 명시된 10mm의 구조물 대응 성능의 반복 거동 폭은 철근 콘크리트 구조물의 구조적 균열 폭(0.3mm)과 국내외 유사 성능평가 규격의 조건(2.5mm)을 고려했을 때 5mm로의 축소에 대한 논의가 필요하다.

## ■ LHCS 전문시방서 개선 방안

LHCS 전문시방서는 방수층의 시공 절차, 품질 관리 및 재료 성능 기준 등을 다루고 있다. 연구결과와 KCS 표준시방서의 세부사항을 바탕으로 LHCS의 3가지 개선 방안을 제시하고자 한다.

### 1) 개량 아스팔트 시트 외 방수층의 다양화 검토

10종 시트방수에 대한 8가지의 성능평가 결과, 점착젤을 도포한 복합방수 이외 자착식 형태의 시트방수도 적용 가능할 것으로 보인다. 다만, 자착식 시트방수가 부착의 형태로 구분되어 다양한 시트가 있는 바, 점착계 복합방수의 성능 기준을 만족하는 자착식 시트 적용의 검토가 필요하다. 또한 점착계 복합방수의 성능 기준 중 구조물 거동 대응성능의 반복거동 폭을 10mm에서 5mm로 축소할 필요가 있다. ‘점착젤 시트 복합방수’와 같이, KS F 4935의 성능을 만족하는 비경질형 점착젤을 방수층 형성의 사전처리 자재로 개정하면 후속으로 부착되는 시트를 다양화 할 수 있는 바, LHCS 41 40 13 05의 ‘점착젤 시트 복합방수’의 개정 검토가 필요하다.

### 2) 점착젤 복합방수 시공 후 되메우기 기한 추가 검토

점착 복합 방수층은 지하구조물 외부에 부착되어 외기에 직접 노출되는 만큼, 시공 후 관리가 필요하나 LHCS 전문시방서에는 되메우기의 구체적인 기한이 명시되지 않아 방수층의 흘러내림, 파손 등의 하자가 있어 “5일 이내 되메우기 또는 마감 시공을 수행”한다는 국토교통부의 점착유연형 시트 방수의 표준시방서를 준용하여 되메우기 기한의 검토가 필요하다.

### 3) 부착형 방수층 보호재 이외 자립형 방수층 보호재 적용 검토

방수층 보호재의 경우, 기존 방수층 부착식의 폴리프로필렌(PP) 복합패널 방수층 보호재 이외 방수층과 절연되어 되메우기 시 토사의 과다토압, 흡서기 장기간 외기 노출로 인한 방수층 부착력 저하 등의 외부 요인으로 영향력을 최소화 할 수 있는 자립형 방수층 보호재 방식 등의 추가적인 검토가 필요하다.

## 주제어

공동주택, 지하주차장 방수, 외방수공법, 성능평가, 요구성능



---

## 차례 Contents

제1장 서론 .....	1
1. 연구의 배경 및 목적 .....	1
1.1 연구의 배경 .....	1
1.2 연구의 목적 .....	2
2. 연구내용 및 방법 .....	3
2.1 연구내용 .....	3
2.2 연구수행방법 .....	3
3. 선행연구와의 차별성 .....	4
3.1 자재의 성능 검토 .....	4
3.2 방수성능 평가지표에 관한 연구 .....	5
제2장 지하주차장 방수공법 및 하자 현황 .....	7
1. LH 및 종합건설사의 지하주차장 방수공법 .....	8
1.1 LH 지하주차장 방수 설계지침 .....	8
1.2 종합건설사의 설계지침 .....	10
2. 공동주택 지하주차장 누수하자 .....	11
2.1 지하주차장 누수하자 현황 .....	11
2.2 공동주택 외방수 하자사례 .....	16
3. 소결 .....	19

제3장 외방수공법 특성 분석 .....	21
1. 시트방수 공법에 대한 분석 .....	22
2. LH 외방수공법에 대한 분석 .....	22
3. 점착유연형 시트 방수의 종류 .....	24
3.1 점착유연형 시트방수의 구성 .....	24
3.2 점착층에 대한 품질 기준 분석 .....	24
3.3 점착층 특성 분석 .....	24
3.4 점착젤 관련 국내 특허현황 .....	26
4. 외방수 공법 관련 국내 신기술 .....	27
5. 소결 .....	32
제4장 시트방수 자재 성능 평가 .....	33
1. 시트방수 자재의 요구성능 평가항목 선정 .....	33
2. 시공환경을 고려한 시트방수 자재의 물리적 성능 평가 .....	36
2.1 구조물 거동 대응성 평가 .....	36
2.2 습윤면 부착 안정성 .....	41
2.3 투수저항 성능 .....	47
2.4 온도 의존성 .....	50
2.5 접합부 접합 .....	53
2.6 전단 접착 강도 .....	58
2.7 부착 후 내열성 .....	61
2.8 시트방수재의 시공성 .....	64
3. 시트방수 요구성능의 가중치 산정 .....	66
4. 성능평가 결과 .....	70
5. 소결 .....	71



제5장 LH 전문시방서 개선 방향 .....	73
1. KCS 41 40 13 .....	74
2. LHCS 41 40 13 .....	76
3. LHCS 41 40 13 15 .....	78
4. LHCS 전문시방서 개정(안) .....	79
4.1 LHCS 41 40 13 05 개정(안) .....	79
4.2 LHCS 41 40 13 10 개정(안) .....	79
4.3 LHCS 41 40 13 15 개정(안) .....	79
5. 소결 .....	80
 제6장 결론 .....	 81
1. 개량 아스팔트 시트 외 다양한 시트의 적용에 관한 개선방안 .....	81
2. 점착계 복합방수 시공 후 되메우기 기한에 관한 개선방안 .....	82
3. 자립형 방수층 보호재 적용에 관한 개선방안 .....	82
 참고문헌 .....	 83

## 표차례 List of Tables

[표 1-1] 시트방수 설계지침 .....	1
[표 1-2] 지하주차장 수직부 점착겔-시트 복합방수 개요 .....	1
[표 1-3] 방수시트별 LH 설계지침의 요구성능 중 일부 .....	2
[표 2-1] LH공사 지하주차장 부위별 방수공법 .....	8
[표 2-2] LH공사 방수공법에 사용되는 시트방수 .....	9
[표 2-3] 점착유연형 시트 복합방수에 관한 LH 전문시방서 .....	9
[표 2-4] 종합건설사 지하주차장 수평부 및 수직부 방수 설계지침 .....	10
[표 2-5] 외방수공법 적용 10개 단지의 지하주차장 부위별 하자현황 .....	12
[표 2-6] 외방수공법 적용 10개 단지의 지하주차장 공간별 하자현황 .....	13
[표 3-1] 외방수공법과 내방수공법에 대한 특성비교 .....	21
[표 3-2] 시트방수 공법의 장단점 .....	22
[표 3-3] 산업표준 규격별 시트방수의 주요 성능 기준 .....	22
[표 3-4] 점착형 겔 방수재의 종류 .....	23
[표 3-5] 점착유연형 시트 방수공사의 덧붙임용 시트의 종류 .....	23
[표 3-6] LH 전문시방서 중 시트방수 관련 전문시방서 및 관련 기준 .....	23
[표 3-7] 점착겔 컴파운드 관련 국내 특허 현황 .....	26
[표 3-8] 점착겔 시트방수층 관련 국내 특허 .....	28
[표 4-1] LH 전문시방서의 점착겔 컴파운드의 품질기준 .....	33
[표 4-2] 개량 아스팔트 비노출 복층 A종 2류 방수시트 .....	34
[표 4-3] 시트방수 성능평가 시험항목 및 시험내용 .....	35
[표 4-4] 구조체 거동 대응성 시험결과 .....	40
[표 4-5] 시트방수의 부착성능 평가 결과 .....	43
[표 4-6] 시트방수재 부착에너지 평가결과 .....	46
[표 4-7] 자착식 시트의 무처리 점접착 응집력 평가 .....	46

[표 4-8] 시트방수 접합부 황산 열화 침지 후 투수저항성능 평가 .....	48
[표 4-9] 시트방수 접합부의 온도 의존성능 시험결과 .....	51
[표 4-10] 시트방수 접합 안정성능 시험결과 .....	54
[표 4-11] 시트방수 전단 접착강도 시험결과 .....	59
[표 4-12] 시트방수 내열성능 평가결과 .....	63
[표 4-13] 시트 종류별 소요 인력 .....	64
[표 4-14] 시트방수재별 시공항목 평가결과 .....	65
[표 4-15] 가중치 선정 방법의 비교 요약 .....	66
[표 4-16] 방수재 성능평가 항목별 엔트로피 가중치 결과 .....	68
[표 4-17] 구조물 거동대응 성능의 적정 반복거동의 폭에 대한 설문 결과 .....	68
[표 4-18] 공동주택 지하구조물의 적정 방수공법에 대한 설문 결과 .....	69
[표 4-19] 공동주택 지하구조물 대상의 적정 시트방수에 대한 설문 결과 .....	69
[표 4-20] 시트방수 성능평가 시험결과 .....	70
[표 4-21] 시트방수 성능평가 시험결과(가중치 적용) .....	70
[표 5-1] 유사 표준시방서와 전문시방서의 주요 차이점 .....	73
[표 5-2] 점착형 겔 방수재의 종류 .....	74
[표 5-3] 점착형 복합 시트층의 적용 .....	74
[표 5-4] 치켜 올림부 및 외벽부위의 방수층의 종류별 점착형 복합 방수시트 공정 .....	75
[표 5-5] 점착형 합성고무계 복합시트의 제품규격 .....	76
[표 5-6] 점착형 합성고무계 복합시트 점착겔의 품질기준 및 시험항목 .....	76
[표 5-7] 점착겔 관련 표준시방서와 전문시방서 비교 .....	77
[표 5-8] 외방수공법의 방수재 보호층의 두께 및 규격 .....	78

## 그림차례 List of Figures

[그림 2-1] 1980년 이후 우리나라 자동차 등록현황 .....	7
[그림 2-2] 지하주차장 접합부 누수균열 .....	11
[그림 2-3] 외방수공법 적용 단지의 지하주차장 부위별 하자현황 .....	12
[그림 2-4] 외방수공법 적용 단지의 공간별 하자 발생 현황 .....	13
[그림 2-5] 철근-콘크리트 구조의 누수 개념도 .....	14
[그림 2-6] 철근-콘크리트 PC구조의 누수 개념도 .....	15
[그림 2-7] 공동주택 지하주차장 흡수누수 사례 .....	16
[그림 2-8] 외방수 시트방수층 박리 손상 .....	16
[그림 2-9] 외방수 시트 방수의 주요하자 원인 .....	18
[그림 3-1] 점착유연형 시트 방수 .....	27
[그림 3-2] 점착형 합성고무계 복합시트 .....	27
[그림 4-1] 거동 대응성 시험 상부 시편 상세도 .....	37
[그림 4-2] 거동 대응성 시험체 방수층 시공범위 .....	37
[그림 4-3] 제작된 시험체의 시험판 결합 .....	38
[그림 4-4] 거동 대응 시험 셋팅 장치 .....	39
[그림 4-5] 구조물 거동 대응 시험 결과 .....	39
[그림 4-6] 습윤면 바탕 시험체의 프라이머 박리 현상 .....	39
[그림 4-7] 부착 안정성능 시험 전경 및 시험체 .....	41
[그림 4-8] 부착 안정성능 시험결과 .....	42
[그림 4-9] 점착형 합성고분자계 시트 대비 시트별 습윤면 부착강도비 .....	42
[그림 4-10] 습윤면 부착 안정성능 평가 결과 .....	43
[그림 4-11] 부착 안정성능 평가 시험 결과 .....	44
[그림 4-12] 부착 안정성능의 응집력 평가 .....	45
[그림 4-13] 투수저항 성능 시험전경 및 황산 침지 처리 .....	47

[그림 4-14] 황산 침지 후 시트방수 접합부의 투수저항 성능 시험결과 .....	49
[그림 4-15] 열화(온도변화) 후 시트방수 접합부의 온도의존 성능 시험결과 .....	52
[그림 4-16] 열화처리 후 접합부 안정성능 평가 .....	54
[그림 4-17] 접합 안정성능 평가 시험 결과 .....	56
[그림 4-18] 시트의 접합 안정성능 시험결과 .....	57
[그림 4-19] 전단접착 강도 시험체 및 시험현황 .....	58
[그림 4-20] 점착형 합성고분자계 기준 전단 접착강도비 시험결과 .....	59
[그림 4-21] 전단접착 성능 평가 시험 결과 .....	60
[그림 4-22] 가속 노화 온도조건(80도 ~ -20도) .....	61
[그림 4-23] 가속화 노화시험기 전경 및 콘크리트 바탕판 부착 후 전경 .....	62
[그림 4-24] 시트방수재 부착을 위한 사전 프라이머 도포 .....	62
[그림 4-25] 10일차 70도에 노출된 시트방수재의 흘러내림 결과 .....	63
[그림 4-26] 방수공법, 시트방수 종류 및 구조물 거동 대응성능의 균열 폭에 대한 설문결과 .....	69



# 제1장 서론

## 1. 연구의 배경 및 목적

### 1.1 연구의 배경


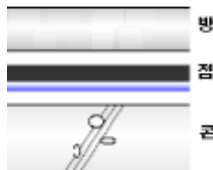
LH 공동주택 지하주차장에 적용되는 시트방수는 [표 1-1]과 같이 총 10종이다. 이 10종은 최상층과 중간층 등 수평부재에 적용이 가능하다. 외벽 등의 수직부재 방수의 경우 LH 지하주차장 수직부재의 방수설계가 기존 시멘트 액체방수 및 이중벽에서 전면 외방수 공법으로 변경되었다.

도막방수, 시멘트 액체방수, 복합시트방수 등 7종의 방수공법에 대한 방수성능, 시공성, 경제성을 종합적으로 고려하여 최종 ‘점착겔-시트 복합방수’와 ‘점착형 합성 고무계 복합시트 방수’를 선정하였으며, [표 1-2]에 나타난 것과 방수층을 형성하는 시트에 점착겔을 도포한 점착겔-시트 복합방수 2종을 선정하였다.

[표 1-1] 시트방수 설계지침

명칭	자재(공법)	
시트방수(10종) (지하주차장 최상층, 슬래브)	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 점착겔-시트 복합방수</li> <li>· 개량아스팔트 시트방수</li> <li>· 폴리우레탄 방수</li> <li>· 자착형 시트 방수</li> <li>· 도막-시트 일체형 복합방수</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 점착형 합성고무계 복합시트 방수</li> <li>· 합성고분자계 보강복합형 시트 방수</li> <li>· 점착형 EVA 복합 시트방수</li> <li>· 단열 보완형 PVC 복합방수</li> <li>· CIA 조인트 이중보강 복합방수</li> </ul>
외방수(2종)	· 점착겔-시트 복합방수	· 점착형 합성고무계 복합시트 방수

[표 1-2] 지하주차장 수직부 점착겔-시트 복합방수 개요

구 분		점착겔-시트 복합방수	점착형 합성고무계 복합시트 방수
공법 개요		점착, 유연성을 반영구적으로 부여한 겔재를 선시공하고 개량아스팔트 시트를 후시공하는 복합 방수공법	점착, 유연성을 반영구적으로 부여한 겔재와 개량아스팔트 시트를 합지해서 공장생산하여 한번에 시공하는 복합시트 방수공법
			
방수 특성	구성층	점착겔 도막 + 개량아스팔트 시트	점착겔 도막층 + 개량아스팔트 시트
	시공방식	(先)점착겔, (後)시트층 2단계 시공	점착겔-아스팔트시트 1단계 시공
	두께	3.5mm 이상(점착겔 1.5mm 이상)	3.0mm 이상(점착층 1.0mm 이상)
	부착방식	점착형	점착형

현재 지하주차장 외방수공법과 관련하여 LH공사의 전문시방서(LHCS)의 설계기준에서 제시하고 있는 방수재료의 성능기준이 재료의 고유물성 기준으로 설정되어, [표 1-3]과 같이 유사한 항목이라 하더라도 재료에 따라 기준값의 차이가 크게 나타난다.

[표 1-3] 방수시트별 LH 설계지침의 요구성능 중 일부(출처: 한국산업표준)

시험규격	인장성능		인열성능	온도의존성	
	인장강도	신장률		인장강도 (60℃)	신장률 (-20℃)
점착겔-시트 복합방수	8	12	20	-	-
점착형 합성고무계 복합시트	8	12	20	-	-
개량 아스팔트 방수시트	8	12	20	-	-
합성 고분자계 방수시트	6	250	30	2	4
폴리우레탄 시트방수	30	250	30	11.8	50
도막-시트 일체형 복합방수	5	15	20	-	-
합성 고분자계 보강 복합형 시트방수	24	15	50	-	-
자착형 시트방수	3	400	25	2	5
점착형 EVA 복합 시트방수	3	400	25	2	50
단열 보완형 PVC 복합 방수	24	15	50	10	7.5
CIA 조인트 이중보강 복합형 시트방수	5	15	50	-	-

따라서, 본 연구에서 하자 및 민원 감소와 신공법(자재) 개발 등의 기준으로 활용할 수 있도록, 지하주차장의 시공방법 및 환경 등을 고려하여 지하주차장에서 실제 요구되는 성능 항목 및 기준의 설정이 필요하다.

## 1.2 연구의 목적

본 연구의 목적은 다음과 같다.

- 1) 국내 공동주택 지하주차장에 적용되는 공법을 조사 및 분석하고
- 2) 공동주택 지하주차장에서 발생하는 하자의 유형과 원인에 대한 분석을 통하여
- 3) 지하주차장을 포함한 지하구조물이 지하공간에서 방수성능을 확보하기 위하여 요구되는 실질적인 성능의 항목을 도출하여
- 4) 외방수공법에 적용 가능한 방수공법을 도출하고 이를 바탕으로 설계기준 및 시방서에 반영하는 것이다.



## 2. 연구내용 및 방법

### 2.1 연구내용

- 지하주차장 방수공법 및 하자 현황조사
  - LH 및 종합건설사의 지하주차장 방수공법 관련 문헌고찰
  - LH 지하주차장 주변 환경 조사 및 누수하자 사례 조사
- 방수성능 확보를 위한 지하주차장 방수공법의 검토
  - LH 및 종합건설사 지하주차장 방수 설계기준 검토 및 분석
  - 외방수 및 기존 방수시트의 품질 기준 비교 검토
- 지하주차장 최소 요구성능 도출을 위한 자재 성능 평가
  - 방수시트의 외방수 자재 요구 성능 항목 시험
  - 시공환경 구현용 기후환경챔버를 활용한 시트방수재의 요구성능 항목 실험
- 성능평가 결과를 바탕으로 지하주차장 외방수 공법의 설계기준 개선(안) 제시

### 2.2 연구수행방법

- (문헌조사) 현행 외방수공법, 국내·외 설계현황 등 자료 조사·분석
  - (조사·자문) 전문가 자문을 통한 국내 주요건설사의 지하주차장 방수 설계기준 조사 및 인터넷 검색을 통한 지하주차장 외방수 관련 KS 규격, 시방서 기준 및 방수재 요구성능 선정 배경 조사
- (시험) 자재품질 및 시공환경을 고려한 자재 성능 평가
  - (자재 품질 시험) 결과의 객관성 확보를 위해 공신력 있는 외부기관 의뢰
  - (구조물 요구성능 시험) 기후환경챔버 활용을 위하여 연구진 자체 시험수행
- (시공환경 검토) 지하주차장 방수공법의 시공환경 검토
  - 종합건설사 및 방수관련 연구수행 및 실무경험이 있는 전문가 자문수행
- (설계기준 개선) 실무부서와의 협의를 통한 설계 기준 개선(안) 제시

### 3. 선행연구와의 차별성

시트방수 관련 연구는 외방수재 자재의 성능 검토, 성능평가 지표 개발을 주축으로 수행되어오고 있다. 시트방수 자재의 성능 검토는 대다수 연구에서 KS 규격에서 규정하고 있는 자재의 품질성능을 기준으로 평가되고 있다.

#### 3.1 자재의 성능 검토

김수연(2021)은 외방수재의 성능 평가 항목 중 하나인 구조물 거동대응성능을 건설표준(안)인 점착형 복합 방수시트에 반영하고자 구조물 거동 대응성능 시험 방법을 현장시공성, 시험결과의 정량화 등 개선사항을 검토하였다

박진상(2018)은 개량아스팔트시트와 매스틱을 복합화한 방수공법의 누유현상에 대하여 원인을 분석하여 누유 발생 예측 모델을 제시하였다. 누유 현상의 원인은 “구성 성분간 분리”로 판단하였으며, 이는 정치시일이 경과할수록 아스팔트 매스틱의 Filler 성분이 침강되었기 때문으로 판단하였다. 28일 정치 후 상하부 시료의 Filler 함량차이는 최대 23.8%로 나타났다.

최수영(2020) 12개월 동안 온도 및 화학적 열화에 노출된 다양한 접합부의 접합 인장성능 평가를 수행하였다. 겹침 구조의 접합부가 맞댐 구조의 접합부보다 접합 인장성능이 높은 것으로 나타났으며, 저온과 알칼리 열화 요인은 접합 인장성능에 미미한 영향을 미치는 반면 황산 열화(44%), 고온 열화(31%), 염화나트륨 열화(15%) 순으로 겹침 겹침 구조에서 접합 인장성능이 저하되는 것으로 나타났다.

송제영(2005)는 지하구조물에 적용되는 역타설용 방수시트재의 성능을 부착 박리 시험, 투수시험, 내충격성, 인장시험, 인열시험, 온도의존성, 열화처리 후 조인트투수시험으로 구분하여 성능을 평가하였다. 역타설용 방수시트재는 각 시험 기준을 만족하며, 성능시험 중 들뜸이나 파단 등은 없는 것으로 나타났다.

정현상(2010)은 자착형 방수시트를 대상으로 바탕면의 습윤정도, 수증기 분산 및 배출정도의 콘크리트 구조물의 환경조건별 적용성을 평가하였다. 고무 아스팔트계, 아스팔트 유동성 자착형 방수시트, 부틸고무계 방수시트는 건조 바탕면에서는 모두 충분한 접착성능을 보인 반면 습윤 바탕면에서 일부 박리 및 박락 현상이 발생하였고 부틸고무계 자착형 방수시트는 습윤 바탕면에서 부착되지 않았다.

### 3.2 방수성능 평가지표에 관한 연구

오상근(2009)은 지하 외방수용 자착식 방수시트를 대상으로 저온환경에서 부착 특성을 평가해서 부착의 한계온도를 확인하고, 이를 통해 자착식 방수시트의 저온상태에서의 시공 및 관리 기준의 근거를 마련하였다. KS 성능 기준값(1.5N/mm) 이상의 값을 갖는 각 방수시트의 온도는 복합형 자착시트, 고무 아스팔트계 방수시트 부틸 고무계 방수시트 각각  $-1^{\circ}\text{C}$ (3.31N/mm),  $1^{\circ}\text{C}$ (1.78N/mm),  $1^{\circ}\text{C}$ (1.68N/mm)으로 나타났으며, 부착온도는 각각  $3^{\circ}\text{C}$ ,  $5^{\circ}\text{C}$  이상으로, 통상적인 현장 시공 조건인  $5^{\circ}\text{C}$  이상을 준수하여 시공하면 부착성능 확보가 가능할 것으로 판단했다.

김운호(2009)는 10년간 구축한 총 4종의 자착식 방수시트의 기본적 물성평가 데이터를 바탕으로 평균, 표준편차, 효율분산을 통해 특정 평가지표를 도출하였다. 이 평가지표는 Z-점수를 적용하여 실험자재의 상대적 비교를 가능하게 하고, 자착식 방수시트의 품질과 성능을 데이터기반으로 객관적으로 평가할 수 있는 표준화된 평가방식을 제공하였다.

정현상(2011)은 자착형 방수시트의 성능평가 지표를 현장의 시공환경을 고려하여 방수시트의 성능에 영향을 미칠 수 있는 요인을 다기준 의사결정기법(AHP)으로 분석하여 온도에 따른 환경, 습도에 따른 환경, 거동 및 진동환경 총 3가지 환경조건을 도출하였다. 이를 통한 환경 성능 지표의 타당성을 온습도에 따른 변화 검토를 위해 Peel-out 실험과 거동 및 진동환경 검토를 위해 구조물 거동성 대응성능 실험을 통하여 검증하였다.

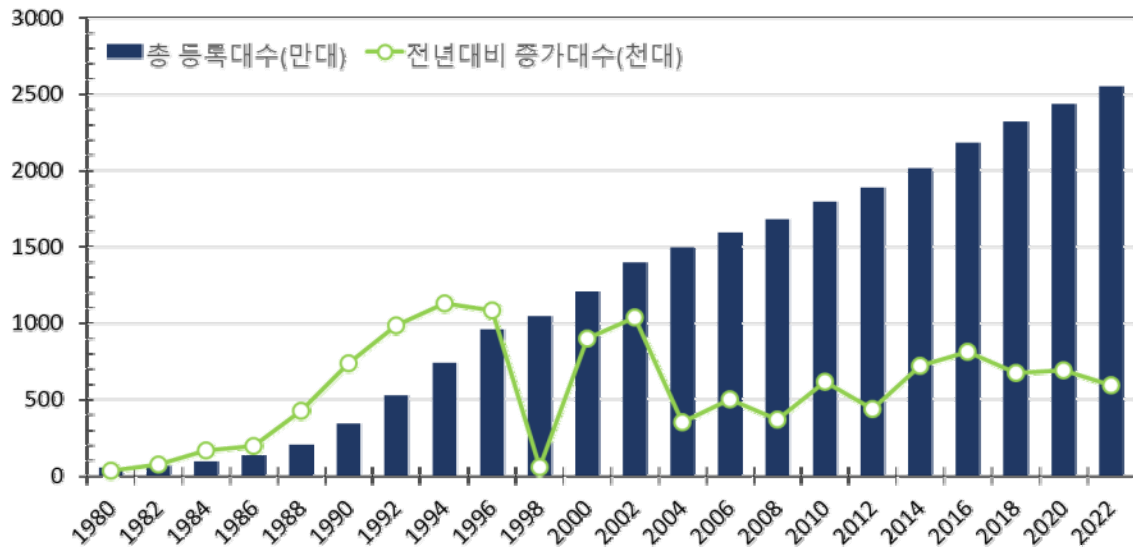
전준홍(2023)는 비경화 점탄성 합성고분자계 고무겔의 도막층과 시트층을 적층한 복합방수시트의 부착성능을 검증하기 위한 실험방법을 제안하였다. 시험방법은 길이 150mm와 폭 100mm 면적의 모르타르에 복합방수시트를 부착시킨 후  $180^{\circ}$  수직으로 벗기면서 10개 구간에서 박리하중(N)을 측정하였다. 점탄성 부착강도(N/mm)는 박리 하중의 평균값을 폭 100mm로 나누어 산정하였다.

안영찬(2022) 방수시트 3종(자착식 부틸고무, 자착식 아스팔트, 점착식 복합방수시트)에 대한 부착강도를 측정하여 각 방수시트의 재료적 부착특성을 비교하고 분석하였다.



## 제2장 지하주차장 방수공법 및 하자 현황

우리나라 공동주택의 지하주차장은 1984년 「주택건설기준」 법규가 제정되면서 본격적으로 건설되기 시작되었다.



[그림 2-1] 1980년 이후 우리나라 자동차 등록현황(출처: 국토교통 통계누리)

[그림 2-1]과 같이 우리나라는 1980년 이후 급속한 경제성장과 건설기술의 발달 등에 의하여 지하공간은 방공호, 지하주차장 등으로 활용도가 높아졌다. 또한, 경제성장에 따른 마이카시대가 도래함에 따라 자동차 보유 대수가 급격하게 증가하면서, 단지 내 주차공간의 확보가 중요해졌으며, 1994년 「주택건설촉진법」이 개정되어 지하주차장의 설치 의무 비율이 확대와 더불어 대지 조정 및 녹지 공간 확보가 강조되면서 지하주차장 설치는 단순한 주차 공간 제공을 넘어 환경적인 요소가 되었다. 최근들어 일부 건설사에서는 지하주차장 중 일부의 공간을 세대별 3m<sup>2</sup> 정도 공간 지하창고를 제공한다. 대표적인 지하공간인 지하주차장 공사는 전체 공동주택의 공사 중 15% 정도 내외로 지상부와 달리 지하주차장은 지하수위나 토립자에 노출되어 있어 콘크리트의 시공품질이 하자와 직접 연결되는 만큼 콘크리트 타설 시 시공 관리를 통한 품질관리가 필요하며, 더불어 주변환경을 고려한 적정 방수공법의 적용이 필수적이다(강지훈, 2000)

# 1. LH 및 종합건설사의 지하주차장 방수공법

LH와 민간의 종합건설사의 지하주차장의 방수공법을 비교·분석하였다.

## 1.1 LH 지하주차장 방수 설계지침

LH의 지하주차장 방수공법은 [표 2-1]과 같이 적용 부위에 따라 내방수공법(바닥 배수판, 시멘트 액체방수)과 외방수공법으로 구분된다.

[표 2-1] LH공사 지하주차장 부위별 방수공법[출처: LH공사 설계지침]

구분		방수공법
지하주차장 바닥	최상층	시트방수
	중간층	시트방수
	최하층	바닥배수판
지하주차장 벽		외방수층+방수층 보호재
지하주차장 램프		시멘트 액체방수
PIT	바닥	시멘트 액체방수
	벽	외방수층+방수층 보호재

지하주차장 최하층 바닥은 시공 가능성과 방수성능을 고려하여 배수판과 유도배수를 적용하고 있으며, 수평부재(최상층, 중간층)와 수직부재(외벽)는 시트방수로 적용되는 외방수공법을 적용하고 있다. 지하주차장 램프, PIT층 바닥에는 폴리머계 시멘트 액체방수를 적용하였으며, 최하층 바닥에는 시멘트 액체방수 이외 결로 및 유입수를 배수처리 처리하기 위한 바닥 배수판과 이중벽을 적용하였다.

내방수 공법은 지하주차장 구조체 내부에 시공하는 공법으로 시공성과 유지보수가 용이하지만 일부 유입수를 허용한다는 측면에서 절토사면에 지하주차장을 시공하거나 지하수위가 높은 시공현장에서는 유입수에 대한 대응이 어려움이 있다(이수규, 2024). 내부로 유입된 수분으로 인하여 지하주차장 내 습도가 높아져 결로 발생에 취약하다. 유지관리 측면에서 내부 누수 하자에 대한 보수 처리 비용은 초기 방수 시공 시보다 2배에서 최대 14배까지 발생할 수 있다(김수연, 2018).

이에 LH는 2014년 내방수공법에서 지하구조물 외부에 시트방수를 부착하여 누수를 차단하는 외방수공법으로 변경하였다. 외방수공법은 구조물 외부에 연속적인 방수층 막을 형성하는 공법으로 지하구조물의 내구성 유지 측면에서 장점이 있으나, 도심지의 협소한 현장과 같이 외부의 충분한 공간이 확보되지 않는다면 적정 방수성능이 구현될 수 없을 뿐 아니라, 방수 시공 후 되메우기 등 후속 공정에서 방수층이 파손될 수 있어 주의를 요구하는 공법이다(이수규, 2024)

[표 2-2] LH공사 방수공법에 사용되는 시트방수[출처: LH공사 전문시방서]

연번	분류	시트방수 명칭	LHCS 코드	비고
1	단일시트계	개량아스팔트 시트 방수	LHCS 41 40 03	수평부재
2		폴리우레탄 시트 방수	LHCS 41 40 04 05	
3		자착형 시트방수	LHCS 41 40 05	
4	보강-복합계	도막 시트 일체형 복합시트방수	LHCS 41 40 07 05	
5		합성고분자계 보강복합형 시트방수	LHCS 41 40 07 10	
6		단열보완형 PVC 복합시트방수	LHCS 41 40 07 15	
7		CIA 조인트 이중보강 복합형 시트방수	LHCS 41 40 07 30	
8	점착 복합계	점접착 EVA 복합 시트방수	LHCS 41 40 07 25	수평 · 수직부재
9		점착겔 시트 복합방수	LHCS 41 40 13 05	
10		점착형 합성고무계 복합시트방수	LHCS 41 40 13 10	

LH공사의 전문시방서 LHCS 41 40 13으로 구분되는 외방수공법은 ‘점착겔-시트 복합방수(LHCS 41 40 13 05)’와 ‘점착형 합성고무계 복합시트 방수(LHCS 41 40 13 10)’ 2종이 있으며 시공 방법에 따라 분리형과 일체형으로 구분된다. [표 2-3]와 같이 일체형 점착계 복합시트는 제조사에서 점착겔을 도포하여 일체화시킨 방수재이며, 분리형 점착계 복합시트는 점착겔을 콘크리트 바탕면에 도포 후 개량 아스팔트 시트를 부착하는 방수재이다. 두 점착계 복합방수공법의 구성재료는 동일하며 점착겔은 비경질형 점착 유연형 겔재로써 KS F 4935 규격의 성능을 만족해야 하고 방수층은 개량 아스팔트 시트로 KS F 4917 규격의 성능을 만족해야 한다.

[표 2-3] 점착유연형 시트 복합방수에 관한 LH 전문시방서(출처: LHCS 41 40 13)

구 분		점착겔-시트 복합방수	점착형 합성고무계 복합시트 방수
공법 개요		점착, 유연성을 반영구적으로 부여한 겔재를 선시공하고 개량아스팔트 시트를 후시공하는 복합 방수공법	점착, 유연성을 반영구적으로 부여한 겔재와 개량아스팔트 시트를 합지해서 공장생산하여 한번에 시공하는 복합시트 방수공법
방수 특성	구성층	점착겔 도막 + 개량아스팔트 시트	점착겔 도막층 + 개량아스팔트 시트
	시공방식	(先)점착겔, (後)시트층 2단계 시공	점착겔-아스팔트시트 1단계 시공
	두께	3.5mm 이상(점착겔 1.5mm 이상)	3.0mm 이상(점착층 1.0mm 이상)
	부착방식	점착형	점착형

## 1.2 종합건설사의 설계지침

국내 종합건설사의 지하주차장 수평부재와 수직부재의 설계지침을 [표 2-4]에 정리하여 나타내었다.

[표 2-4] 종합건설사 지하주차장 수평부 및 수직부 방수 설계지침

건설사	부위	수평부		수직부	
		최상층	최하층	내벽	(흙에 접한면)외벽
건설사 A		복합방수	복합방수/폴리우레탄	시멘트블록/배수판	-
건설사 B		복합방수	국부방수+배수판	블록/배수판	(취약부위) 국부방수+공간벽
건설사 C		복합방수	-	시멘트블록/배수판	-
건설사 D		U&P, A&P	폴리우레탄	폴리우레탄	-
건설사 E		자착식 시트	복합방수/폴리우레탄	시멘트블록/배수판	-
건설사 F		복합방수	배수판+누름콘크리트	방수없음	(고지하수 취 약부위) 국부방수+공간벽
건설사 G		(일반)이중복합방수 (식재) 방근방수공법	-	-	(취약부위) 고무아스팔트/우레탄
건설사 H		복합방수	배수판+무근콘크리트	PVC배수판	이중벽

대부분의 종합건설사의 지하주차장 방수공법은 복합방수와 유도배수로 구분된다. 최상층 슬래브의 경우 대부분 자착식 시트방수 또는 복합방수를 적용하는 반면 중간층 슬래브는 에폭시 마감 등으로 별도의 방수처리는 하지 않으며, 외벽에 발생하는 결로수를 처리하기 위하여 바닥에 트렌치를 조성하여 최하층으로 결로수 및 유입수를 처리한다. 최하층의 경우, 대부분 배수판과 누름콘크리트, 집수정을 통한 유도배수로 유입수 및 결로수를 처리한다.

지하주차장 외벽부재는 토사로부터 유입되는 유입수를 내부에서 처리하는 내방수 공법을 대다수 건설사에서 적용하고 있으며, 결로 및 유입수 배수처리를 위해 시멘트블록 또는 PVC 벽체 배수판을 설치한다. 일부 건설사에서 재료분리 부위, 폼타이 부위, 콜드조인트, 시공조인트 등 취약부위에 국부적으로 방수를 하고 내부 공간벽을 설치하여 결로수 및 유입수를 처리하고 있으며, 시공환경에 따라 지하수위가 높거나 누수의 우려가 높은 현장에 한하여 외방수공법을 적용한다.

산비탈 또는 지하수위가 높은 지형에 시공되는 공동주택 지하주차장의 경우, 절토 후 옹벽 등 시공 시 지하수의 유입을 막는 Sheets 파일 등을 영구매립하는 형태로 지하수의 유입을 차단하기도 하며, 지하구조물 콘크리트 타설 시 콘크리트 품질관리를 통하여 수밀성을 확보여 취약부위 이외 균열 발생을 최소화하여 유입수를 차단하기도 한다.



## 2. 공동주택 지하주차장 누수하자

### 2.1 지하주차장 누수하자 현황

2014년 이후 외방수공법이 반영된 공동주택 10단지에 대한 지하주차장 누수 하자 현황을 2년차 하자만료 점검보고서를 통하여 정리하였다.

총 795건의 하자 중 누수를 동반하지 않는 균열이 606건으로 전체 하자 중 76%이며, 누수를 동반한 균열이 159건으로 전체 하자 중 20%이다. 누수를 동반하지 않는 균열은 수직균열, 수평균열과 사선균열로 구분되며 외벽에서 발생한 균열은 각각 125건, 8건, 196건이다. 사선균열이 전체 균열 중 동 60%를 차지하였으며, 수직균열이 38% 발생하였다. 누수를 동반한 균열은 주로 외벽과 슬래브에서 발생하였으며, 발생빈도는 각각 90건과 65건이다. 외벽에서 발생한 누수하자는 외벽 중앙부에 콘크리트를 관통하여 발생한 누수보단 보-슬래브 접합부와 보-외벽의 접합부에서 발생한 누수 균열이 대다수이다.



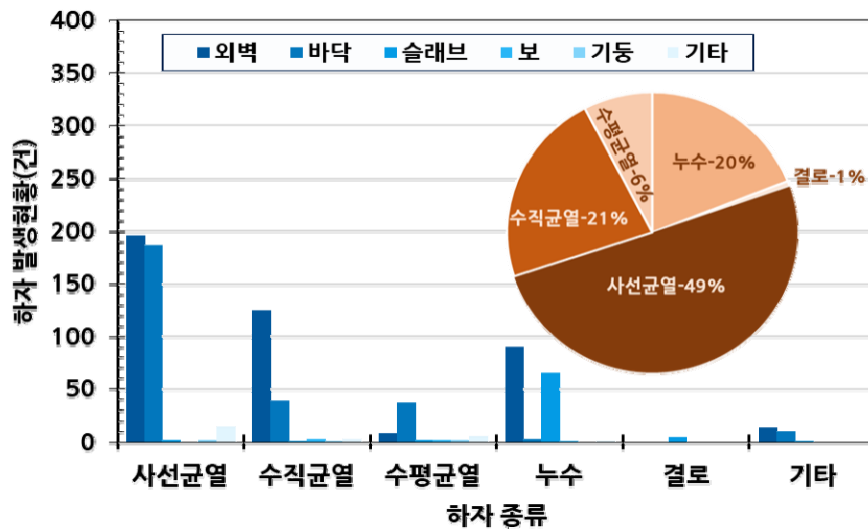
(a) 보-외벽 접합부 단면 누수



(b) 보-외벽 접합부 단면 누수

[그림 2-2] 지하주차장 접합부 누수균열

외벽 이외 바닥, 슬래브, 보에 발생한 하자는 275건, 76건, 6건으로 전체 중 45%이다. 사선균열, 수직균열 및 수평균열은 각각 186건, 39건, 37건이 발생하였으며 대부분 바닥에 마감에 발생하였다. 누수하자는 65건으로 대부분 슬래브에서 발생하였다.

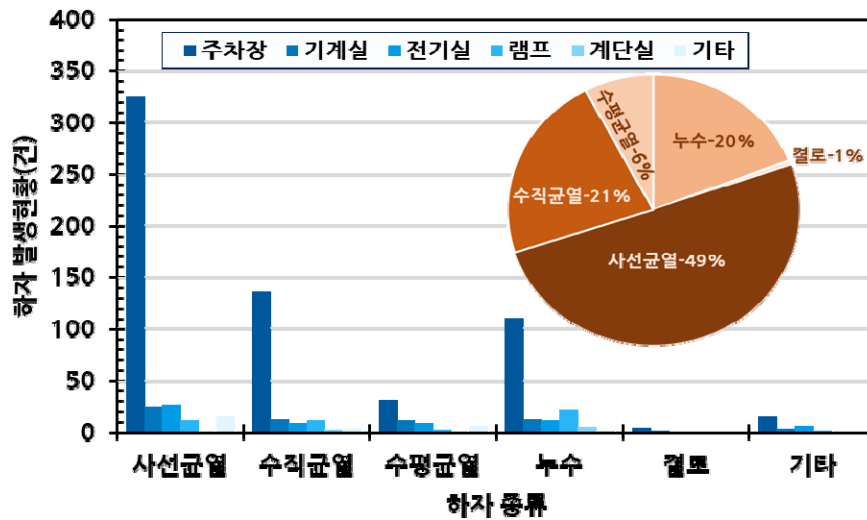


[그림 2-3] 외방수공법 적용 단지의 지하주차장 부위별 하자현황

[표 2-5] 외방수공법 적용 10개 단지의 지하주차장 부위별 하자현황

구분		외벽	바닥	슬래브	보	기둥	부위별 계
균열	사선균열	196	186	2	0	2	386
	수직균열	125	39	1	3	1	169
	수평균열	8	37	2	2	2	51
누수		90	3	65	1	0	159
결로		0	0	5	0	0	5
기타		14	10	1	0	0	25
하자종류 계		433	275	76	6	5	795

공간별 하자발생 현황은 [표 2-6]에 정리하여 나타내었다. 면적이 가장 넓은 지하 주차장에서 795건 중 620건으로 가장 많은 균열과 누수 등의 하자가 발생하였으며, 이 중 누수를 동반하지 않는 균열하자가 총 491건 발생하였으며 누수를 동반한 균열하자는 110건이 발생하였다. 이외 기계실, 전기실, 램프 및 계단 등 지하주차장 주변 구조물에서 115건의 누수를 동반하지 않는 균열과 49건의 누수를 동반한 균열하자가 발생하였다. 지하주차장 이외 지하주차장으로 연결되는 램프구간에서 누수하자가 21건 발생하였으며, 누수를 동반하지 않는 균열이 24건 발생하였다. 지하주차장 램프구간은 주변에 토사로 둘러쌓여 있으며 지하주차장 최상층의 수목 등 상시 수분을 함유하고 있는 주변 환경에 의하여 콘크리트 균열을 통해 누수가 내부로 유입된 것으로 보인다.



[그림 2-4] 외방수공법 적용 단지의 공간별 하자 발생 현황

현장조사 결과, 공통적으로 외방수공법이 적용된 단지의 외벽에 누수를 동반하는 균열을 관찰되지 않았다. 대부분 지하주차장 부등침하 등에 의한 사선균열, 수직균열 등 균열이 발생된 것으로 나타났다. 하지만, 10개 단지 전체에 외부 흠에 접한면에 결로 방지를 위한 벽체 배수판이 설치되어 벽체에 발생하는 균열누수를 확인할 수 없는 한계가 있다.

10개 단지에 공통적으로 발생하는 누수하자는 외벽과 슬래브보다 슬래브-외벽 접합부 또는 보-외벽, 보-슬래브 접합부 등 단면의 변화가 발생하거나 이어치기 부분 등 누수 취약부위에서 발생하였으며, 최하층 바닥판을 통해 집수된 유입수가 트렌치에 정치되어 있어 외벽을 타고 수분이 함습되는 함습누수가 발생하였다.

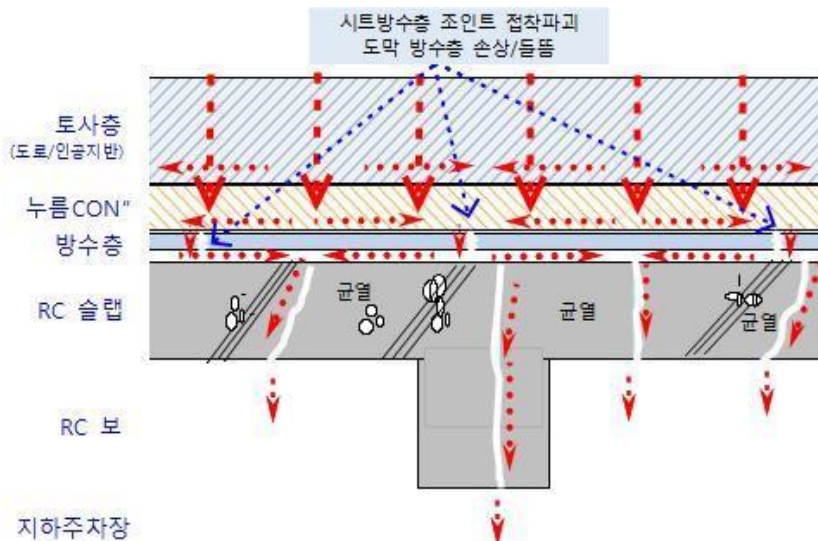
[표 2-6] 외방수공법 적용 10개 단지의 지하주차장 공간별 하자현황

구분		주차장	기계실	전기실	램프	계단실	발생공간 계
균열	사선균열	325	24	26	11	0	386
	수직균열	136	12	8	11	2	169
	수평균열	30	11	8	2	0	51
누수		110	12	11	21	5	159
결로		4	1	0	0	0	5
기타		15	3	6	1	0	25
하자종류 계		620	63	59	46	7	795

### 1) 지하주차장 접합부 누수

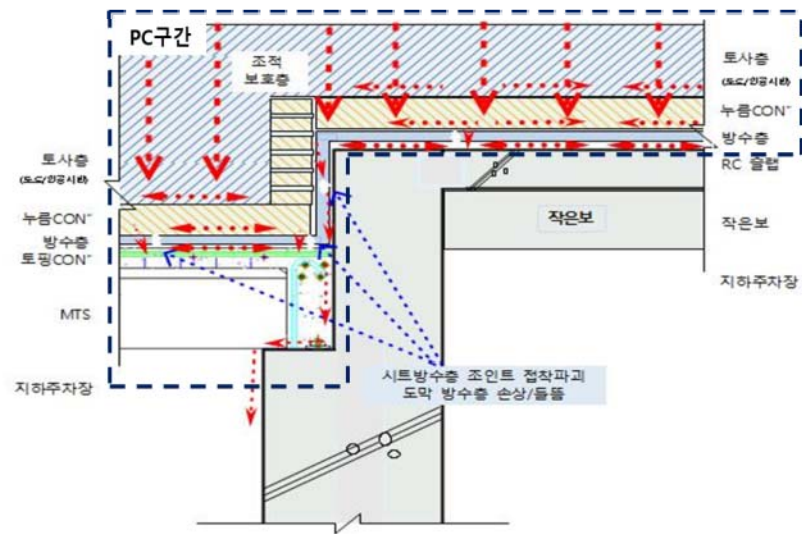
지하주차장의 접합부는 복합구조로 되어 단면의 변화, 시공의 어려움 등으로 누수 발생에 취약하다. 지하주차장 슬래브-보와 슬래브-외벽의 접합부는 거푸집 탈형 시 자중에 의한 전단 균열이 발생할 수 있고 이 전단균열은 시공 후 누수의 경로가 될 수 있다.

일반적인 공동주택 지하주차장은 현장의 시공여건에 따라 철근-콘크리트 현장 타설과 철근-콘크리트 PC부재 조립으로 시공된다. [그림 2-5]와 같이 현장타설 철근-콘크리트 구조에서 발생하는 접합부 균열은 손상된 방수층을 통하여 슬래브 상부로 유입된 수분은 콘크리트의 재료분리 등의 낮은 시공품질과 단면변화로 인한 응력집중 등의 균열을 통하여 내부 누수수로 진행되는 경우이다.



[그림 2-5] 철근-콘크리트 구조의 누수 개념도(이수규, 2019)

반면 철근-콘크리트 PC 구조의 접합부는 시공 시 재료불량, 바탕처리 미흡, 시공 불량 및 구조체 변형 등 외부적 요인에 취약하여 이는 결국 접합부 누수로 이어진다. 즉 PC 구조에서 누수의 경로는 손상된 방수층을 통하여 내부로 유입된 물명수가 PC 슬래브 상부로 유입되고 부재 접합부를 통하여 내부로 유출된다.



[그림 2-6] 철근-콘크리트 PC구조의 누수 개념도(이수규, 2019)

## 2) 지하주차장 외벽 하단 흡습누수

지하층이 포화토의 지반에 놓여 있거나 지하수면 이하에 잠겨 있을 경우 상시로 흡습상태의 누수로 인한 습기문제가 발생할 수 있다. 이는 기초판 슬래브를 포함한 지하벽체의 균열이나 콘크리트의 미세공극 등을 통해 발생한다.

흡습 누수는 벽체가 외부에서 유입되는 습기를 흡수하여 표면 및 내부에 축적되는 현상으로 공기 중 높은 습도, 배면의 지하수압, 유입수 및 결로수의 내부 배수처리 미흡 등의 물리적 원인과 외방수층 손상 등의 구조적 결함에 의하여 발생할 수 있다. 또한 콘크리트 타설 시 물-시멘트비가 높아 콘크리트 내 다공성이 증가하거나, 불충분한 다짐으로 콘크리트 내부 미세공극이 많아져 배면수 또는 내수 유입수의 흡습이 발생할 가능성이 높다.

이러한 흡수 누수는 유입수의 차단을 목적으로 하는 균열보수나 방수층의 피막 형성 등만으로는 모세관 현상에 의한 누수가 주된 원인으로 제어하는데 한계가 있다. 따라서 모세관 현상으로 흡수된 유입수를 건조 시키거나 콘크리트 공극을 통해 유입되기 전에 바닥 배수판을 통해 유도배수 처리하는 것이 필요하다.



[그림 2-7] 공동주택 지하주차장 흡수누수 사례

## 2.2 공동주택 외방수 하자사례

### 1) 지하 외벽 시트 방수층 박리

#### (1) 하자 원인

공동주택 지하구조물에 적용된 외방수공법의 대표적인 하자 원인은 콘크리트 바탕층에 부착된 시트층이 박리되어 치지는 현상이다. 이러한 현상의 원인은 시트방수층 시공 시 말단부위 처리불량, 콘크리트 바탕층의 사전 처리불량, 시트방수층의 외기 노출로 인한 부착성능 저하, 토사 되메우기 시 시방서 미준수로 구분할 수 있다.



[그림 2-8] 외방수 시트방수층 박리 손상

① 콘크리트 바탕층의 사전 처리불량

초기 방수시트 시공 시 콘크리트 바탕면의 레이턴스 미제거로 인한 방수시트의 부착능이 저하되어 계면에서 박리가 발생할 수 있으며, 시트방수층 부착 전 콘크리트 표면에 프라이머 도포 시 콘크리트 바탕층의 함수율<sup>1)</sup>이 초과하여 부착면 들뜸, 부착강도 저하 등의 하자가 발생할 수 있다.

② 시트방수층 시공 시 말단부위 처리불량

시트방수층의 시공 시 말단부위 보양대책 등 처리가 미흡하면 말단부위 들뜸이 발생할 수 있으며, 들뜸이 발생한 부위에 우수 등 수분이 흡수되어 콘크리트 바탕면과의 박리가 가속화 될 수 있다.

③ 장기간 시트방수층의 외기 노출로 부착성능 저하

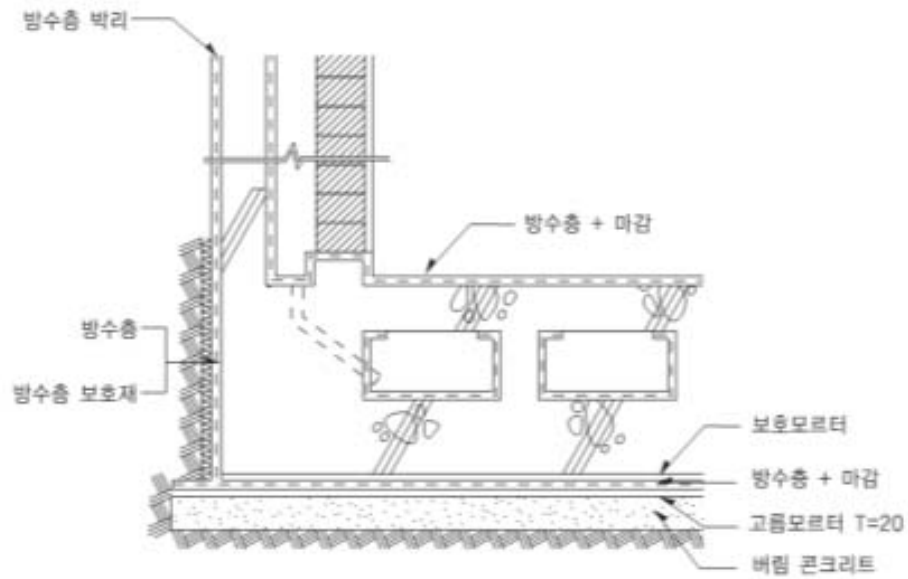
혹서기 후속공정 지연 등의 현장여건에 따라 장기간 방수시트가 외기에 노출될 경우 콘크리트 바탕층과 자착식 시트 계면에서 박리가 발생하거나, 비경질 점착겔이 혹서기 외기의 기온이나 자외선의 낮은 감온성으로 인한 흘러내림으로 방수시트의 흘러내림이 발생할 수 있다.

④ 토사 되메우기 시 시방 미준수로 인한 방수층 흘러내림

되메우기 시 과도한 토사 매립은 시트방수와 콘크리트 표면의 접착력 이상의 과도한 마찰력이 수직 압력으로 작용하여 방수층이 수직 방향으로 밀려 끌려 내려지거나 손상될 수 있다. 이를 방지하기 위하여 토사 매립을 30cm로 규정하고 있다.

---

1) 대다수 방수 자재 제조사는 콘크리트 바탕면의 함수율 8% 이하에서 방수재 시공을 권장하고 있다(안영찬, 2022)



[그림 2-9] 외방수 시트 방수의 주요하자 원인(LH 내부자료)

## (2) 설계 방안

시공된 시트방수에서 하자 발생을 최소화 하기 위하여

- ① 시트방수 시공 전 콘크리트 바탕층의 레이턴스 등을 제거하며 바탕의 건조 상태를 시공 전 확인하여 프라이머를 도포한다.
- ② 방수층은 들뜸없이 콘크리트 바탕면과 밀착될 수 있도록 롤러 등을 사용하여 시공하며, 쥘대 등을 통한 말단부 고정장치를 사용한 말단부 보양대책을 수립하고 G.L. 선상 위로는 벽돌 쌓기 등의 보호층을 시공하여 토사 매립 등 외부 요인으로부터 시트를 보호한다.
- ④ 지하구조물 외벽에 시트방수 시공 후 가급적 바로 되메우기가 시행될 수 있도록 설계단계에서 공공간 일정을 조율한다.



### 3. 소결

LH는 2014년 이후 균열을 통해 내부로 유입된 유입수를 배수처리하는 내방수공법에서 외부에서 원천적으로 유입수를 차단하는 외방수공법을 적용하고 있다. 대표적으로 점착겔-시트 복합방수 및 점착형 합성고무계 복합시트방수가 있다. 반면, 종합건설사의 지하구조물 방수공법은 복합공법과 내방수공법이 주로 적용되고 있다. 지하주차장 최상층의 수평부재의 경우 시트방수를 활용한 복합방수공법이 적용되고 있으며, 수직부재는 배수판 등을 적용한 내방수공법이 적용되고 있다. 일부 취약부위에 국부방수를 적용하고 있으며 중요시설에 한하여 외방수공법을 적용하고 있다.

2014년 이후 외방수공법이 적용된 10개 단지의 2년차 하자현황을 분석한 결과, 주된 하자는 누수를 동반하지 않는 균열하자로 전체 하자 중 606건으로 76%를 차지하였다. 반면 균열의 관통으로 인하여 누수를 동반한 누수균열은 총 159건으로 전체 하자 중 20%를 차지하였다. 누수를 동반하지 않는 균열을 주로 외벽과 바닥에서 사선균열과 수직균열, 수평균열의 형태로 각각 386건, 169건, 51건이 발생하였으며, 누수하자는 주로 외벽과 상부 슬래브에서 각각 90건과 65건이 발생하였다. 외방수공법이 적용된 단지의 경우 외부 구조체에 적용된 시트방수의 하자보단 시트방수가 접해지는 접합부(슬래브-외벽, 보-슬래브 등)에서 누수가 발생한 것으로 판단된다. 이는 접합부의 콘크리트 단면 변화에 따른 균열발생과 더불어 부착된 시트방수의 접합부의 들뜸 등의 발생하여 외부 유입수가 누수된 것으로 판단된다. 이외 토사와 접해진 최하층 바닥판에서 유입된 수분이 모세관 현상에 의하여 벽을 따라 흡수되는 흡습누수도 일부 단지에서 발생하였다.

지하주차장의 외방수공법이 방수성능을 확보하고 이로 인한 시공 후 유지보수 비용 절감에 효과적인 것으로 판단되나, 보와 슬래브 접합부, 슬래브와 외벽의 접합부 등 구조체의 단면이 변화하는 구간에서 누수가 발생하여 방수 취약성이 나타난 바 이를 보완하기 위한 접합부 및 지하구조물의 설계상 외방수공법의 시공성이 확보되지 않는 공간에 대한 보강 공법과 별도의 적정 방수공법에 관한 추가적인 검토가 필요하다.

또한, 현재 외방수공법에서 발생하는 외기 노출된 방수층의 흘러내림 등의 하자에 대하여 방수층 접착력 보강 또는 점탄성 강도 향상 등 흘러내림을 최소화 할 수 있는 재료적 그리고 시공적 공법의 개발이 필요할 것으로 판단된다.



## 제3장 외방수공법 특성 분석

지하구조물은 포화된 토사와 지하수에 노출되는 경우가 많아 외부로부터 침투수를 방지할 목적으로 방수공법이 적용되고 있다. 방수공법의 적용은 콘크리트 구조물의 내구성을 확보할 수 있어 콘크리트 열화로 인한 유지보수 비용을 줄일 수 있고, 콘크리트 생애주기적 관점에서 장기간의 구조적 안정성능을 확보할 수 있어 필수적인 공종 중 하나이다. 우리나라는 공동구, 지하철, 지하터널 등의 인프라 시스템과 공동주택 지하주차장 등의 지하공간의 활용이 높아 더욱이 지하구조물의 방수에 대한 필요성이 대두되고 있다.

지하구조물의 주요 방수공법은 지하구조물 시공 시 터파기 등 여유 시공공간이 확보된 경우 외부에 방수막(Waterproofing Membrane)을 시공하여 침투수를 원천 차단하는 외방수공법과 도심지 공동주택 지하주차장과 같이 터파기 등 외방수를 시공할 수 있는 공간이 확보되지 않는 경우 지하구조물 내부에서 콘크리트의 수밀성을 증대시켜 유입수를 차단하고, 균열 또는 신축이음부, 폼타이 등의 국부적 균열을 통해 유입된 유입수를 집수정으로 유도하여 배수처리하는 내방수공법이 있다.

본 장에서는 지하구조물을 대상으로 유입수를 원천 차단할 수 있는 외방수공법에 대하여 LH공사의 기준과 특성에 대하여 기술하고자 한다.

[표 3-1] 외방수공법과 내방수공법에 대한 특성비교(출처: 국토교통부)

구분	외방수공법(후행방수*)	내방수공법
개요	방수층을 구조체의 외부에 시공하는 공법	방수층을 구조체의 실내에 시공하는 공법
특성	지하공간의 작업공간 여부에 따라 선행방수와 후행방수로 구분됨	외벽에 공간확보가 어려운 도심지 구조물의 지하방수에 주로 적용됨
방수의 신뢰성	○	X
지하수압에 대한 저항성	○	X
구조물 보호	○	X
방습효과	○	X
작업성	△	○

○ : 양호, △ : 보통, X : 나쁨

\* 후행방수 : 먼저 지하 외벽 구조체(콘크리트)를 시공한 후 구조체 바깥쪽에 직접 방수층을 시공하는 공법  
(예: 공동구, 지하주차장 등 방수층 시공 공간이 확보된 지하구조물을 대상으로 터파기 후 방수층 시공)

## 1. 시트방수 공법에 대한 분석

시트방수공법은 수분의 이동을 방지하기 위하여 콘크리트 바탕층에 불투수층을 형성하는 막으로 아스팔트방수공법, 시트방수공법, 도막방수공법 중 일부이다.

열공법인 아스팔트 방수공법과 도막방수공법에 비하여 시공이 용이한 장점은 있으나, 지하구조물에 시공되는 시트방수는 되메우기 과정에서 방수재 손상, 흘러내림 등과 흙의 되메움 후에는 방수층의 보수가 불가능에 가까운 점 등의 단점이 있다.

[표 3-2] 시트방수 공법의 장단점

방수공법	장점	단점
시트방수	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 고신율로 균열에 대한 추종성이 높음</li> <li>- 내후성이 높아 노출공법에 적용가능</li> <li>- 경량/상온 시공 가능으로 적용범위가 넓음</li> <li>- 공정수가 적어 시공의 용이성이 높음</li> <li>- 감온성이 낮아 날씨의 영향이 적음</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 바탕면 조건의 영향을 많이 받음</li> <li>- 시트 상호간의 접합부가 누수에 취약함</li> <li>- 손상 후 부분 보수가 불가능함</li> <li>- 드레인 주변부의 수밀성 확보가 어려움</li> <li>- 실내 및 지하에서 시공성이 낮음</li> </ul>

## 2. LH 외방수공법에 대한 분석

LH 공동주택의 지하주차장 및 지붕층 수평부재에 적용가능한 시트방수는 총 10종으로 구성된다. 시트방수의 전문시방서는 적용범위, 참고 기준, 자재, 요구성능 등 공법에 대한 시공에 관한 필요 자재부터 시공방법까지 상세하게 다루고 있다. LH 전문시방서 상 시트방수에 관한 요구성능은 한국 산업표준 규격<sup>2)</sup>을 준용하여 작성되어 있지만, 산업표준 규격이 실제 적용대상의 구조물의 요구성능 중심으로 구성된 것이 아닌 자재의 성능 위주로 기준값이 작성되어 있어 [표 3-3]에 나타난 것과 같이 유사한 성능 항목에서도 상이한 기준값을 보이고 있다.

[표 3-3] 산업표준 규격별 시트방수의 주요 성능 기준

구분		KS F 4911	KS F 4917	KS F 4934
인장성능	인장강도	24(N/cm) 이상	5(N/mm) 이상	3.0(N/mm) 이상
	신장률	15(%) 이상	15(%) 이상	400(%) 이상
인열 성능		50(N/mm) 이상	20(N) 이상	25(N) 이상
접합 성능		24(N/mm)이상(가열처리)	5(MPa) 이상	1.5(N/mm) 이상

2) 시트방수에 명시된 성능 기준과 관련된 산업표준 규격은 다음과 같다.

KS F 4911(합성 고분자계 방수 시트), KS F 4917(개량 아스팔트 방수 시트), KS F 4919(시멘트 혼입 폴리머계 방수재), KS F 4934(자착식 방수 시트), KS F 4935(점착 유연형 고무 아스팔트계 누수보수용 주입형 실링제)

점착겔을 도포한 복합시트방수의 LHCS 전문시방서와 KCS 표준시방서 또한 시트 자재 및 점착겔의 종류에서 차이를 보인다. KCS 표준시방서 KCS 41 40 13의 점착 유연형 복합 시트방수 시방에서 규정하고 있는 점착겔은 [표 3-4]와 같이 고무 아스팔트계, 부틸 고무계, 천연 고무계 3종류로 구분하고 있으며, 덧붙임용 시트는 [표 3-5]와 같이 KS F 4911, KS F 4917, KS F 4934 등에 적합한 것으로 하고 있다.

[표 3-4] 점착형 겔(Gel) 방수재의 종류(출처: KCS 41 40 19)

종류	약칭	주원료
고무 아스팔트계	고무 아스팔트	아스팔트, 스틸렌부타디엔 고무, 유동화제, 폐고무 등
부틸 고무계	부틸 고무	부틸고무, 에틸렌프로필렌 고무, 클로로술폰화 폴리에틸렌 등
천연 고무계	천연 고무	천연고무, 천연 재생고무, 에틸렌프로필렌 고무, 유동화제 등

[표 3-5] 점착유연형 시트 방수공사(KCS 41 40 19)의 덧붙임용 시트의 종류(출처: KCS 41 40 19)

종류	산업표준	시트 종류
합성고분자계 방수 시트	KS F 4911	균질 시트(가황 고무계, 비가황 고무계, 염화비닐 수지계, 에틸렌아세트산 비닐 수지계), 복합시트(일반 복합형, 보강복합형)
개량아스팔트 방수 시트	KS F 4917	개량 아스팔트 시트(노출 및 비노출 단층, 노출 및 비노출 복층)
자착식형 방수 시트	KS F 4934	자착 특성을 갖는 고무화 아스팔트, 합성고무 소재로 조성된 방수재

반면, LHCS의 외방수공법은 개량 아스팔트 시트로 시트재를 한정하고 있어, 국토교통부의 표준시방서인 점착유연형 복합 시트방수와 같이 비경질 점착겔을 점착제로 하는 다양한 종류의 시트의 적용을 검토할 필요가 있다.

외방수공법과 관련한 LHCS 전문시방서에 대하여 유사한 KCS 표준시방서를 [표 3-6]에 정리하여 나타내었다.

[표 3-6] LH 전문시방서 중 시트방수 관련 전문시방서 및 관련 기준

구분	코드	시방서명	관련 기준	접합방식
1	LHCS 41 40 13 05	점착겔 시트 복합방수	KCS 41 40 07 시트 및 도막 복합방수공사 KS M 3705 점착제의 일반 시험방법 KS F 4917 개량 아스팔트 방수 시트 KS F 4935 점착 유연형 고무 아스팔트계 누수보수용 주입형 실링재	점착 방식
			LHCS 41 40 03 개량아스팔트 시트 방수	
2	LHCS 41 40 13 10	점착형 합성고무계 복합시트방수	KS F 4917 개량 아스팔트 방수 시트 KS F 4935 점착 유연형 고무 아스팔트계 누수보수용 주입형 실링재	점착 방식
			LHCS 41 40 03 개량아스팔트 시트 방수	

### 3. 점착유연형 시트 방수의 종류

#### 3.1 점착유연형 시트방수의 구성

KCS 표준시방서 상 점착유연형 시트방수와 LHCS 전문시방서 상 점착형 합성고무계 복합시트방수, 점착겔 시트 복합방수는 비경질형 점착소재로 구성된 점착층과 부직포를 중심재로 아스팔트 컴파운드, 합성고무, 기타 고분자 수지를 함침하여 제조한 시트로 구성된다.

#### 3.2 점착층에 대한 품질 기준 분석

점착겔을 포함한 복합시트는 개량 아스팔트 시트방수와 겔(Gel) 타입의 비경질성 점착유연형 소재로 구성된다. 멤브레인 형태의 시트방수를 통하여 차수성능을 확보할 뿐만 아니라, 콘크리트 바탕판에 겔(Gel) 타입의 비경질성 점착유연형 소재를 도포함으로써 콘크리트 바탕판과 멤브레인 시트 사이에 발생할 수 있는 물길을 차단하여 시트방수의 내구성 저하를 방지할 수 있다.

점착겔 컴파운드는 고점착성과 유동성을 지닌 겔 형태의 점착제로, 주로 방수 시트와 결합하여 사용된다. 이러한 조합은 구조물의 거동에 대한 대응성, 자가 복원력, 습윤면 부착 성능 등을 향상시켜 지하 구조물의 방수 성능을 극대화 할 수 있다.

점착층의 구성요소는 방수 성능 및 내구성 확보를 위하여 스트레이트 아스팔트(soft asphalt)와 브로운 아스팔트(blow asphalt)가 혼합된 아스팔트와 점착성 및 신축성 향상을 위하여 SBS (스타이렌-부타디엔-스타이렌), SEBS (스타이렌-에틸렌-부타디엔-스타이렌) 등의 열가소성 탄성체를 개질재로 사용하며, 겔의 유연성을 높이고 필요에 따라 물리적 특성을 조정하기 위하여 아크릴계, 실리콘계, 또는 고무계 가소제 사용한다. 이외 점착성을 조정하고 비용 절감 및 기계적 강도 보완을 위하여 탄산칼슘( $\text{CaCO}_3$ ), 실리카( $\text{SiO}_2$ ), 벤토나이트 등의 충전제(Filler)와 점착력을 증가시키기 위하여 천연 수지나 합성 수지의 점착 부여제(Tackifier)를 사용한다. 또한 사용 환경에 따라 항산화제, UV 안정제, 방습제 등의 혼화제를 혼합할 수 있다.

#### 3.3 점착층 특성 분석

외방수공법에는 개량 아스팔트 시트에 비경화형 합성고무겔 등의 점착겔을 도포하는 복합방수층이 적용되고 있다. 이 복합방수층에 도포되는 점착겔은 합성고무계 겔, 아스팔트 컴파운드 등을 조합하여 생산된다. 이러한 비경질 점착겔은 비경화형

점착섬재는 구조물과 방수층 간의 밀착성을 유지하고 균열 추종성을 높이는 역할을 한다. 비경화형 점착섬재인 점착층은 다음의 물리적 특성을 가진다.

#### 1) 비경화성

비경화형 점착섬재는 시공 후 시간이 경과되도 경화되지 않고 지속적인 점성을 유지하는 특성을 가진다. 이는 방수층이 구조물과의 밀착력을 유지하는 데 중요한 요소로 작용하며, 외부 충격이나 구조물의 미세 변형에도 방수 성능을 유지할 수 있도록 한다.

#### 2) 균열 추종성

비경화형 점착층은 유연성을 유지하면서 지반 침하, 온도 변화, 구조적 응력 등에 의하여 발생하는 균열을 따라 확장되며 방수 기능을 지속적으로 유지할 수 있다.

#### 3) 점착력 및 응집성

비경화형 점착층은 콘크리트에 우수한 점착력을 제공하여 방수층과 구조물이 일체화되도록 밀착하여 외부로부터 유입수의 침투를 최소화한다. 또한, 외부 충격이나 진동이 발생해도 방수층이 쉽게 떨어지지 않는다.

#### 4) 방수성 및 내수성

비경화형 점착섬재는 높은 방수성을 제공하며, 방수층의 손상으로 콘크리트 바탕면과 방수층 계면으로 유입된 수분을 가두는 역할을 하여 수분에 노출되더라도 성능 저하 없이 지속적인 방수 효과를 유지한다. 이는 지하수 압력이 높은 환경에서도 효과적으로 적용될 수 있도록 한다.

#### 5) 진동 및 충격 흡수성

비경화형 점착섬재는 유연성이 뛰어나 진동과 충격을 흡수하여 방수층이 손상되는 것을 방지할 수 있다.

#### 6) 내화학적 및 내구성

비경화형 점착섬재는 산성비, 염분, 토양 내 화학 물질 등 다양한 화학적 요인에 대한 저항성이 높아 부식이나 변형 없이 장기적인 성능을 유지할 수 있다.

비경화 점착셀재는 자착식 시트에 적용되는 접착 컴파운드와 재료적으로 차이를 가진다. 그 차이는 바로 응집력(Cohesion)이다. 응집성이란 재료의 내부 입자간 결합력으로 이는 분자사이의 인력으로 발생한다. 자착식 시트의 접착력(Adhesion)은 콘크리트 바탕체 표면과 시트의 컴파운드 계면 즉 이질재료의 계면에서 발생한다. 접착력을 초과하는 하중 재하 시, 일반적으로 바탕체와 시트방수 계면에서부터 시트방수의 박리가 발생하는 계면파괴(Interface failure)가 발생하게 된다. 반면 비경질형 점착셀재는 점탄성 재료로 내부 응집력에 의하여 콘크리트 바탕면과 시트방수의 계면에서 접착력보다 점착셀재의 내부 응집력이 먼저 하중을 받게되어 응집성이 저하되며 응집파괴(Cohesive failure)가 먼저 발생한다(안영찬, 2022).

### 3.4 점착젤 관련 국내 특허현황

방수용 점착 컴파운드와 관련된 대표적인 국내 특허를 [표 3-7]에 정리하여 나타내었다.

[표 3-7] 점착젤 컴파운드 관련 국내 특허 현황

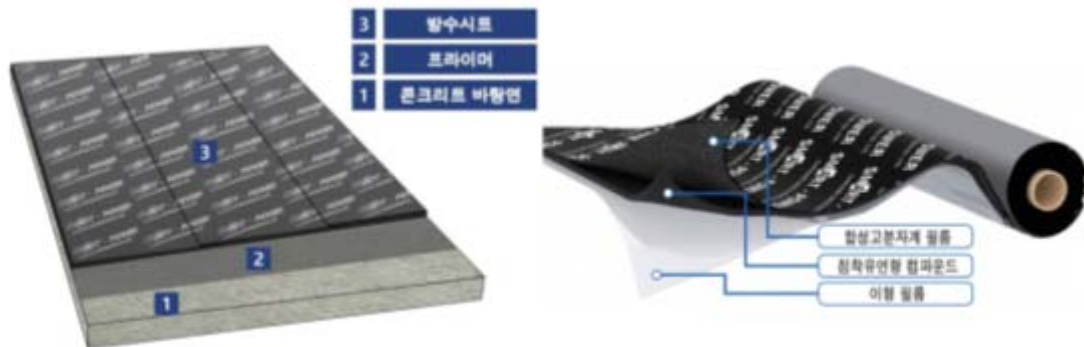
구분	특허 등록번호	등록일	특허명
1	KR102393059B1	2022-04-29	습윤면 부착 성능이 우수한 고점착 고유동성 젤 점착형 컴파운드 조성물 및 그 제조방법
2	KR101682679B1	2016-12-05	합성고무 폴리머 점착젤 타입의 방수제 및 실링용 방수제, 그 제조방법
3	KR101682679B1	2016-12-05	합성고무 폴리머 점착젤 타입의 방수제 및 실링용 방수제, 그 제조방법, 시공방법 및 시공 구조체
4	KR101603874B1	2016-03-15	자기 팽창형 컴파운드 조성물을 이용한 누수 차단형 자착식 시트 방수재 및 이의 시공방법
5	KR101532175B1	2015-06-26	비노출용 양면 점착형 방수시트 및 이를 이용한 비노출용 아스팔트 복합방수공법
6	KR20100096761A	2010-09-02	저응점 개질아스팔트 도막방수제와 양면규사시트의 접착을 이용한 복합방수구조체 및 그 시공방법
7	KR101976185B1	2019-05-09	자착형 부틸고무계 컴파운드 조성물을 이용한 방수·방근 시트, 방수 테이프 및 그 제조방법
8	KR102006275B1	2019-08-01	아스팔트 자착식 방수방근시트 및 이를 이용한 방수방근공법
9	KR102006272B1	2019-08-01	부틸 자착식 방수방근시트 및 이를 이용한 방수방근공법
10	KR101831673B1	2018-02-23	자착식형 고무화 아스팔트 방수시트
11	KR101805764B1	2018-01-10	도로 균열부의 보수 및 방수 시공용 자착식 테이프 및 이의 제조 방법
12	KR101507301B1	2015-03-25	점착성 하이드로젤 조성물 및 이를 이용한 점착성 하이드로젤 시트의 제조방법



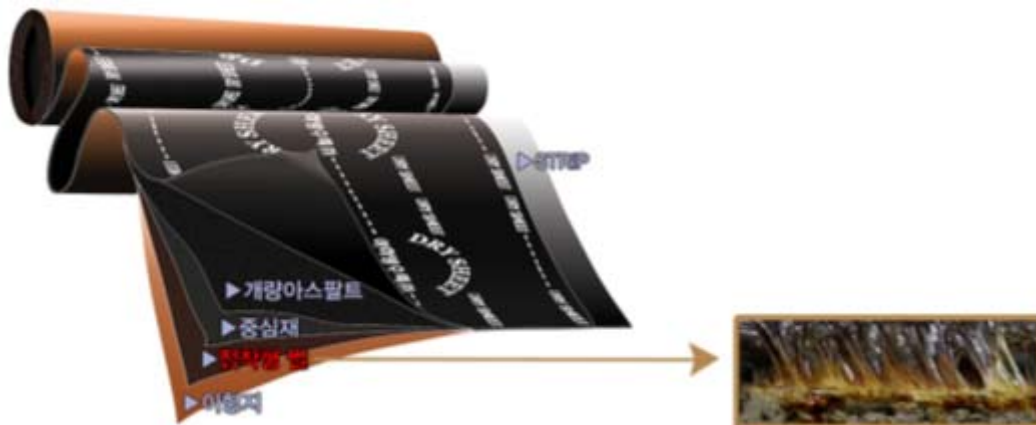
#### 4. 외방수 공법 관련 국내 신기술

국내 점착겔을 도포한 시트방수는 단일 시트 또는 도막방수의 기존의 방수공법의 한계를 보완하고, 복합 방수층으로 부착강도, 접합부 접합 강도 등 물리적 강도와 방수능을 향상시키기 위하여 2010년 초부터 복합 방수공법의 개발 필요성이 대두되었고 점착겔-시트 복합방수가 개발되어 적용되기 시작하였다. 2013년 LH 전문시방서 제정과 2021년 “점착유연형 시트 방수공사(KCS 41 40 19)”의 제정을 통해 복합방수 기술의 표준화 작업이 시작되었다. 2020년 이후, 국가건설기준(KCS)과 LH 전문시방서의 코드체계 통합 작업이 진행되며, 점착겔 시트방수가 국내 주요 방수 공법 중 하나로 자리 잡게 되었다.

외방수 공법 관련 국내 신기술은 [표 3-8]에 정리하였다. 대표적인 외방수공법 관련 신기술은 점착겔을 시트에 도포한 형태의 복합시트이다.



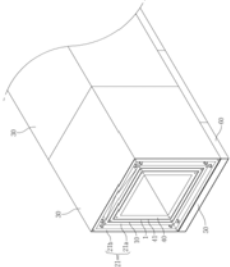
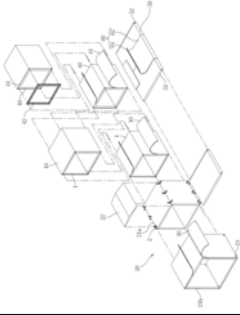

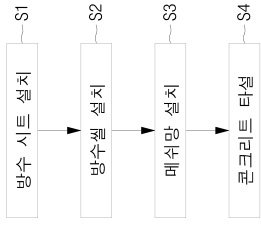

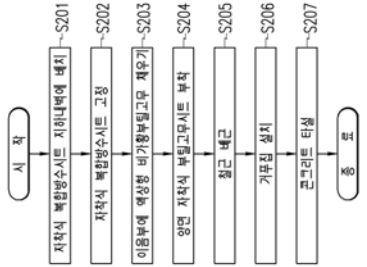
[그림 3-1] 점착유연형 시트 방수(출처: A사 웹사이트)

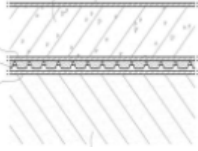
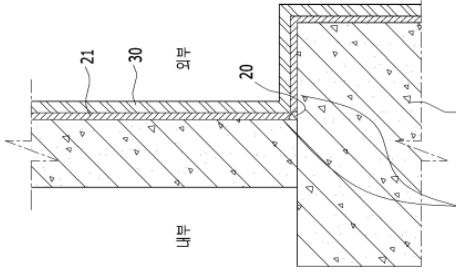


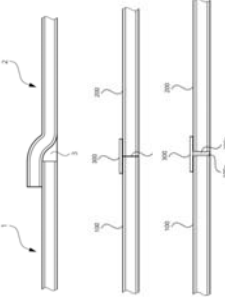

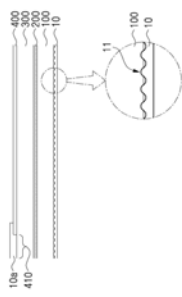


[그림 3-2] 점착형 합성고무계 복합시트(출처: B사 홈페이지)

[표 3-8] 점착셀 시트방수층 관련 국내 특허

구분	기술명	기술내용	기초기술 도면	비 고
1	지하 공동구 구조	지하 외벽체와 공동구와의 접합이 실내측에서 이루어짐으로써 건물 지하의 외벽체와 공동구와의 접합부에 발생하기 쉬운 방수 문제를 제거한다. 또한 지하 외벽체와 공동구와의 접합부에 지수판을 설치함으로써 2단계 방수를 실현하며, 외부에서 침입하는 지하수를 트랜치로 유도하여, 집수정으로 이동시킬 수 있어 방수하자로 발생하는 백화현상, 각종 누전을 사전에 방지하는 기술		특허등록 10-0403779 동부건설(주)
2	지하 공동구의 방수구조 및 공법	기초바닥 콘크리트 판넬의 상면에 놓여져 설치되는 공동구는 전·후면을 제외한 사방의 테두리에 방수시트 커버와 방수 시트 보호용 커버를 순차적으로 감싸 설치함		특허등록 10-0592104 (주)금성종합건축사사무소
3	콘크리트 구조물의 다기능 복합 방수 공법	우레탄 폼을 단열재로 이용하고, 터보 씰(Turbo seal) 및 터보 시트(Turbo sheet)를 방수재로 이용하여, 지상이나 지하 콘크리트 구조물에 대한 단열층과 이중 방수층을 형성하는 콘크리트 구조물의 다기능 복합 방수 공법		

구분	기술명	기술내용	기초기술 도면	비 고
4	방수 구조를 갖는 지하 공동구	지하 공동구의 내부로 침투되는 물을 공동구의 하부로 흘러내려 갈 수 있도록 하여, 내부로 침투되는 물의 양을 최소화 시킬 수 있으며, 효율적으로 흡수할 수 있음.	 	특허등록 10-0926183 협성개발(주)
5	콘크리트 역 타설 구간 방수시공방법	합벽, 터널, 바닥 등 방수층을 선 시공한 다음 콘크리트를 타설하는 역타설 방수공법으로서 선 시공하는 방수층의 손상을 방지하고 후 타설되는 콘크리트와의 안정된 접착을 확보하는 역 타설 구간의 방수 시공 방법	 	특허등록 10-0930421 (주)리뉴시스텍
6	자칫식 복합방수시트를 이용한 역방수방법	지하내벽에 누수 된 물을 배수시키기 위한 트랜치 등의 구조물을 형성할 필요가 없으며, 지하 내벽에서 누수 된 물을 원천적으로 방수할 수 있어 시공기간 및 비용이 최소화됨	 	특허등록 10-0978890 (주) 오피, 김원준

구분	기술명	기술내용	기준기술 도면	비 고
7	지하 구조물의 외방수 시공 방법	토사의 유입을 방지하도록 설치된 토류판에 보드를 부착하고, 보드에 단열재를 부착하여, 단열재에 방수층을 시공하고, 방수층에 접하도록 지하 구조물의 외벽을 시공하며 토류판을 지지하는 H빔 제거가 가능하여 지하수 오염 등 환경 문제를 해결할 수 있는 시공 방법	<div>시 작</div> <div>흙막이 공사 시공</div> <div>토류판에 시멘트 보드 부착</div> <div>시멘트 보드에 XPS 부착</div> <div>방수층 시공</div> <div>지하 외벽 시공</div> <div>종 료</div> 	특허등록 10-1181230 현대엔코(주), 한국그레이스(주), 지에스건설(주)
8	합성고무 폴리머 점착제 타입의 방수제 및 실링용 방수제, 그 제조방법, 시공방법 및 시공 구조	조성물들이 서로 상응 작용을 하여 더욱 빠른 사용 조건에서도 장기간 방수 성능을 발휘할 수 있는 합성고무 폴리머 점착제 타입의 방수제 제조방법을 제공하는 것임. 합성고무 폴리머 점착제 타입의 방수제 제조방법을 제시하고 있음	 <div>그외벽, 보강 층외벽, 지중 아스팔트 등 외부부 중의 50%이하 이나외 중의 조장제를 내부 층외벽을 통하여 혼합</div> <div>층외 조장제 중 중량 90% 이상외의 방수제 사용</div> <div>혼합된 재료는 120°C 이하로 10분 이상 조장제를 투입하고 혼합하여, 120~150°C로 조장제 방수제를 투입하여 3~10분 혼합</div> <div>혼합된 재료에 10% 이상 조장제를 1~5cm의 층을 투입하고 혼합</div> <div>혼합된 재료에 10% 이상 조장제를 투입하여 90~110°C로 조장제 투입하여 2~3분 동안 혼합</div> <div>최종 혼합된 재료는 120~140°C에서 2~8시간 건조를 사용</div>	특허등록 10-1682679 쥬스마트에스지

구분	기술명	기술내용	기초기술 도면	비 고																																																		
9	습윤면 부착 성능이 우수한 고점착 고유동성 점착형 컴파운드 조성물 제조방법 및 제 형 컴파운드 조성물을 이용한 복합시트 제조방법	스트레이트아스팔트, 브라운아스팔트 및 스타이렌부타디엔스타이렌이 5:3:2의 부피비로 혼합 된 복합물이 제조되는 단계와; 상기 복합물 100 중량부에 복합물 100 중량부를 기준으로 에틸아세테이트 70-90 중량부, 벤즈알데하이드 60-80 중량부, 디메틸테라프탈레이트 50-70 중량부, 싸이클로펜타디엔 40-60 중량부, 말 레이언하이드라이드 30-50 중량부, 탄산칼슘 20-40 및 프로세스오일 10-30 중량부가 혼합되는 단계를 포함하는 점착형 컴파운드 조성물 제조방법	<table><tr><th>시험항목</th><th>실시에 1</th><th>실시에 2</th><th>실시에 3</th><th>시제품</th></tr><tr><td rowspan="2">인장 성능</td><td>인장강도(길이) (N/mm)</td><td>6.2</td><td>7.5</td><td>5.9</td><td>2.5</td></tr><tr><td>신장률(길이) (%)</td><td>1100</td><td>1200</td><td>1000</td><td>370</td></tr><tr><td>인면 강도(길이) (N)</td><td>37</td><td>47</td><td>39</td><td>23</td><td></td></tr><tr><td rowspan="2">온도 의존 성능 (60℃)</td><td>인장강도(길이) (N/mm)</td><td>3.8</td><td>4.2</td><td>3.5</td><td>2.7</td></tr><tr><td>신장률(길이) (%)</td><td>410</td><td>450</td><td>380</td><td>200</td></tr><tr><td rowspan="2">온도 의존 성능 (-20℃)</td><td>인장강도(길이) (N/mm)</td><td>11.0</td><td>12.5</td><td>10.9</td><td>7.9</td></tr><tr><td>신장률(길이) (%)</td><td>150</td><td>280</td><td>130</td><td>80</td></tr><tr><td>습윤면 부착 성능</td><td>이상없음</td><td>이상없음</td><td>이상없음</td><td>부착 불가</td><td></td></tr></table>	시험항목	실시에 1	실시에 2	실시에 3	시제품	인장 성능	인장강도(길이) (N/mm)	6.2	7.5	5.9	2.5	신장률(길이) (%)	1100	1200	1000	370	인면 강도(길이) (N)	37	47	39	23		온도 의존 성능 (60℃)	인장강도(길이) (N/mm)	3.8	4.2	3.5	2.7	신장률(길이) (%)	410	450	380	200	온도 의존 성능 (-20℃)	인장강도(길이) (N/mm)	11.0	12.5	10.9	7.9	신장률(길이) (%)	150	280	130	80	습윤면 부착 성능	이상없음	이상없음	이상없음	부착 불가		특허등록 10-2393059 성주현
시험항목	실시에 1	실시에 2	실시에 3	시제품																																																		
인장 성능	인장강도(길이) (N/mm)	6.2	7.5	5.9	2.5																																																	
	신장률(길이) (%)	1100	1200	1000	370																																																	
인면 강도(길이) (N)	37	47	39	23																																																		
온도 의존 성능 (60℃)	인장강도(길이) (N/mm)	3.8	4.2	3.5	2.7																																																	
	신장률(길이) (%)	410	450	380	200																																																	
온도 의존 성능 (-20℃)	인장강도(길이) (N/mm)	11.0	12.5	10.9	7.9																																																	
	신장률(길이) (%)	150	280	130	80																																																	
습윤면 부착 성능	이상없음	이상없음	이상없음	부착 불가																																																		
10	고점착 특성을 갖는 복합 방수 시트제 및 이를 이용한 방수 시공방법	본 발명은 내부에 중심재가 배치된 아스팔트층, 상기 아스팔트층의 상부에 배치되는 상부필름, 상기 아스팔트층의 하부에 배치되는 점착제층 및 상기 점착제층의 하부에 배치되는 이형 필름을 포함하는 복합방수시트를 제공	 	특허등록 10-2504170 안동수																																																		
11	점착형 친환경 복합방수시트 및 이의 시공방법	점착형 친환경 복합방수시트에 관한 것으로서, 개량 아스팔트 방수시트와 점착 유연형 아스팔트 도막재를 함지시켜 복합방수시트형태로 제조함으로써 콘크리트 바탕면에 프라이머 도포 없이 시공 가능한 점착형 친환경 복합방수시트 및 이의 시공방법에 관한 것으로서, 방수시공시 콘크리트 바탕면에 별도의 프라이머 도포 및 열기구 사용없이 시공할 수 있어 시공의 편의성 및 시공기간의 단축으로 인하여 시공비용을 절감할 수 있음	   <p>제1도 및 제2도: 본 발명의 점착형 친환경 복합방수시트의 표면 구조를 보여주는 사진이다. 제1도는 거친 표면을, 제2도는 매끄러운 표면을 보여준다.</p>	특허등록 10-1613305 (주)페트로산업																																																		

## 5. 소결

외방수공법은 시트방수 공법 중 하나로 2014년 구조물 내부에 시공하여 유입된 일부 수분을 트렌치 등의 배수처리 시스템으로 처리하는 내방수공법에서 지하주차장 시공 현장에 적합하게 개선된 LH의 지하구조물 방수공법이다. 비경질형 점착겔을 도포한 방수시트로 점착 복합계열의 시트방수재로 구분된다.

외방수공법에 적용되는 비경질형 점착겔은 고점착성과 유동성을 지닌 겔 형태의 점착제로, 주로 방수 시트와 결합하여 구조물의 거동에 대한 대응성, 자가 복원력, 습윤면 부착 성능 등을 향상시켜 지하 구조물의 방수 성능을 확보할 수 있다. 이러한 점착겔로 구성된 시트방수의 점착층은 비경질성으로 점착력과 응집력을 가진 점탄성 재료이다. 진동 및 충격 흡수성이 뛰어나 차량의 이동, 지반침하 등 진동에 상시 노출되는 지하주차장에 적합한 구성요소이다. 점착겔을 포함한 복합시트 방수는 외부하중이 재하되었을 때 방수층과 콘크리트 바탕의 계면에서 파괴가 발생하는 기존 자착식 시트와 달리 점착겔 내부 응집력이 하중에 저항하여 내부적 응집 파괴가 발생한다. 이는 방수층과 콘크리트 계면에서 부착력을 확보하여 시트방수의 주요 하자 원인인 들뜸을 최소화 할 수 있다.

이처럼 LHCS 전문시방서의 외방수공법은 비경질형 점착겔로 도포된 개량 아스팔트 복합 방수공법으로 시공방법에 따라 제조사에서 일체형으로 제작되어 합성고분자계 방수시트, 개량아스팔트 방수시트, 자착식형 방수시트를 방수층으로 사용할 수 있는 국토교통부의 점착유연형 시트 방수와는 차이점을 지닌다. 지하구조물의 요구성능을 바탕으로 평가하여 다양한 시트방수의 자재별 성능항목, 시공 성능, 유지관리성능 등을 종합적으로 고려하여 LHCS 전문시방서 상 외방수공법에 적용할 수 있는 방수층의 다양성을 검토할 필요가 있다.

## 제4장 시트방수 자재 성능 평가

### 1. 시트방수 자재의 요구성능 평가항목 선정

현재 LH공사 설계지침에서 제시하고 있는 공동주택 수직부재에 사용 가능한 외방수 공법은 “점착겔 복합 시트 방수”와 “점착형 합성고분자계 복합시트” 2종이다.

상기 두 종류의 복합 시트방수는 시공방법으로 구분되며 분리형 복합시트와 일체형 복합시트로 구분된다. 분리형 복합시트는 점착겔과 시트 부착 시공을 나누어 시공하는 것이며, 일체형 복합시트는 공장에서 복합시트 생산 시 점착겔 컴파운드가 개량아스팔트 시트에 부착되어, 시공 시 이형지 제거 후 바탕면에 부착 시공을 한다.

점착겔을 점착제로 하는 시트방수 공법에서 요구하는 성능은 점착겔 컴파운드와 시트 성능으로 구분되며 각각의 요구성능은 다음과 같다.

점착겔은 KS F 4935와 KS M 3705의 산업표준을 준용하여 품질기준이 수립되었다.

[표 4-1] LH 전문시방서의 점착겔 컴파운드의 품질기준(LHCS 41 40 13 05)

시험항목	단위	규격	품질기준
고형분	%	KS M 3705	85 이상
점도	cPs	KS M ISO 2555	2,000,000 이상
투수저항성능	-	KS F 4935	투수되지 않을 것
습윤면부착성능	-	KS F 4935	60 초 이내에 시험체 밑판이 탈락하지 않을 것
구조물거동대응성능	-	KS F 4935	투수되지 않을 것
수중유실저항성능	%	KS F 4935	질량변화율이 -0.1 % 이내일 것
내화학성능	%	KS F 4935	질량변화율이 -0.1 % 이내일 것
온도 의존성능	-	KS F 4935	투수되지 않을 것

점착겔 복합시트의 시트성능은 개량 아스팔트 시트인 KS F 4917을 준용하였으며, 품질 기준은 다음과 같다.

[표 4-2] 개량 아스팔트 비노출 복층 A종 2류 방수시트(KS F 4917 산업규격 중 일부 발췌)

시험항목		단위	규격	품질기준
인장 성능	인장강도	N/mm	KS F 4917	(무처리) 5.0 이상
				(가열 후, 알칼리 침지 후) 무처리 시험치의 80 % 이상
	신장률	%	KS F 4917	(무처리) 15 이상
				(가열 후, 알칼리 침지 후) 무처리 시험치의 80 % 이상
	항정적	N · %/mm	KS F 4917	200 이상
인열 성능		N	KS F 4917	20 이상
내열 성능	흘러내림길이	mm	KS F 4917	5 이하
	겉모양	-	KS F 4917	흘러내리거나 발포되지 않을 것
내피로 성능		-	KS F 4917	잔금, 찢김, 파단이 생기지 않을 것
치수 안전성	치수 변화율	%	KS F 4917	0.0 ± 1.0
	겉모양	-	KS F 4917	이상한 주름, 휨, 층간의 박리가 생기지 않을 것
접합 성능		N/mm	KS F 4917	5.0 이상 또는 너비 방향 무처리 인장강도의 70 % 이상
내움폭패임 성능		-	KS F 4917	구멍이 생기지 않을 것

국토교통부의 표준시방서의 점착유연형 복합시트는 점착겔의 종류를 “천연 고무계, 부틸 고무계, 합성 고무계로 구분하였으며, 점착겔이 부착되는 시트는 산업표준에 근거한 시트방수재를 적용할 수 있도록 하고 있다. 하지만, 현재 LHCS 전문시방서 2절 자재에는 “개량 아스팔트 시트”와 “합성고무 폴리머 점착겔”로 품질기준이 지하구조물 수직부재에서 요구하는 성능이 아닌 방수 소재의 성능을 기준으로 제시하고 있으며, 소재의 종류를 지정하다보니 이외 소재의 적용이 제한되는 한계가 있다.

이에, 외방수공법을 위한 지하구조물 수직부재의 요구성능에 대한 기존 문헌이 부재함에 따라 콘크리트 바탕면에 부착되어 점착 성능을 구현하는 점착겔에 대한 부착성능 평가와 더불어 온도변화에 따른 점착겔-시트 접합 안전 성능, 지하구조물에서 발생할 수 있는 균열에 대한 추종성능을 평가하는 구조물 거동 대응성 등 점착겔과 시트의 복합 성능을 평가할 수 있는 시험항목을 점착겔-시트 복합방수의 전문시방서와 국토교통부 “공동주택 지하구조물 방수설계 가이드라인”을 인용하여 총 6가지의 평가항목을 도출하였다. 세부적인 시험항목과 시험내용은 [표 4-3]에 정리하여 나타내었다.



[표 4-3] 시트방수 성능평가 시험항목 및 시험내용

구분	시험항목	시험규격	시험내용
1	구조물 거동 대응성	AIK-S-001	시험체 크기 : AIK-S-001 규격 참조 시험체 개수 : 건조바탕면, 습윤바탕면 각 3EA 처리조건 : 건조바탕면, 습윤 바탕면 시공※(각 3ea) 시험방법 : 수중 30회, -10℃ 기중 50회, 수중 30회 반복 거동(거동폭 2.5mm, 5.0mm) 시 누수발생 여부 확인
2	습윤면 부착 안정성	KS F 4934	시험체 크기 : 70×210×25mm(바탕체), 50×180mm(시험체) 시험체 개수 : 3EA 처리조건 : 습윤 바탕면 시공 ※, 수중침지 30일(4주) 시험방법 : 수중 침지 후 방수층의 부풀음, 들뜸 등 변화여부 확인 후 Peel-Out 평가
3	투수저항성능	KS F 4934	시험체 크기 : Ø100mm(바탕체 및 시험체 동일, 접합부 30mm 조성) 시험체 개수 : 3EA 처리조건 : 접합부 조성 후 황산침지 30일(4주) 시험방법 : 황산침지 후 투수시험(3kgf/cm <sup>2</sup> , 3시간)으로 투수여부 확인
4	온도의존성능	KS F 4934	시험체 크기 : Ø100mm(바탕체 및 시험체 동일, 접합부 30mm 조성) 시험체 개수 : 3EA 처리조건 : 20℃에서 60℃로 올리는데 1시간 30분, 60℃에서 2시간 방치, 60℃에서 -20℃로 내리는데 1시간 30분, -20℃에서 2시간 방치, 20℃에서 20℃로 올리는데 1시간 30분을 1Cycle로 50Cycle 반복 시험방법 : 온도처리 후 투수시험(3kgf/cm <sup>2</sup> , 3시간)으로 투수여부 확인
5	접합 안전 성능	KS F 4917	시험체 크기 : 200×50mm(시험체, 접합부 50mm 조성) 시험체 개수 : 3EA 처리조건 : 4. 온도의존성능 처리조건과 동일 시험방법 : 접합성능 평가
6	전단접착 강도	KS F 4931	시험체 크기 : 100×100×50mm(바탕체), 200×50mm(시험체, 접착면적 100×50mm) 시험체 개수 : 3EA 처리조건 : 없음 시험방법 : 접착면과 평행방향으로 전단인장 후 최대 전단 접착강도 산정(시험체의 인장 파단 방지를 위해 접착면을 제외한 보강 가능)

## 2. 시공환경을 고려한 시트방수 자재의 물리적 성능 평가

본 절에서는 1절에서 선정된 7가지 평가항목에 대하여 10종의 시트방수에 대하여 균열 추종성, 부착성능, 접합성능 등 역학성능을 평가하였다.

### 2.1 구조물 거동 대응성 평가

#### 1) 평가 목적

구조물 거동 대응성 평가시험은 구조체에 발생한 균열, 콜드조인트(타설이음부), 신축줄눈, 폼타이 부위 등 누수에 취약할 수 있는 부위에 시공된 방수층이 구조물 외력으로 인하여 발생하는 거동에 의하여 찢김, 들뜸 등의 손상이 발생하는 지를 평가하며, 또한 영하의 온도와 수중 노출된 방수층의 누수여부를 평가하는 것으로 방수층의 방수성능의 정도를 평가하기 위한 시험이다.

#### 2) 평가 필요성

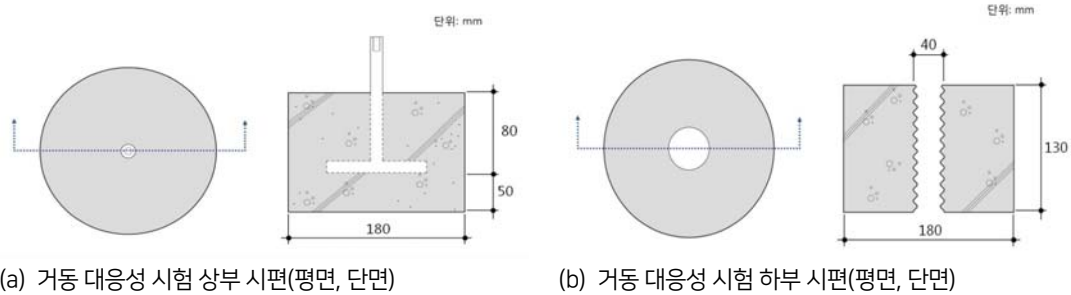
균열, 콜드조인트, 신축줄눈, 폼타이 등은 지하구조물 내외부에서 발생하는 진동, 온도 변화, 지반으로 인한 부등침하 등에 따라 수축과 팽창이 빈번히 발생하는 부위로 이는 빈번한 변위로 방수층의 피로도를 가중시켜 들뜸, 손상 등을 야기할 수 있어 방수층이 이에 대응할 수 있는 없다면 이는 누수로 이어질 수 있다. 이에, 방수층을 콘크리트 시험체에 부착 후 온도변화, 수직 변형, 뒤틀림 등 극한 조건에 방수층의 성능을 평가하고 복합적으로 균열 추종성을 평가하기 위하여 구조물 거동 대응성능의 평가가 필요하다.

#### 3) 시험체의 제작

시험체는 한건축학회 기술표준(AIK-S-001-2019)<sup>3)</sup> 시험규격에 따라 제작되었다. 건조 및 습윤 바탕면에 사용되는 상부 시험체의 지름과 높이는 각각  $(180 \pm 2)$  mm,  $(130 \pm 2)$  mm의 원형몰드로 제작한다. 지름  $(100 \pm 2)$  mm 원판을  $(150 \pm 2)$  mm 높이의 T자형 원형 봉에 부착하여 원형 몰드 최하단에서  $(50 \pm 2)$  mm의 높이 위에 고정시키고 모르타르로 타설한다.

3) 대한건축학회 기술표준(AIK-S-001-2019), '복합열화 및 구조체 거동이 동시 작용하는 환경에서의 방수층 성능 시험방법'

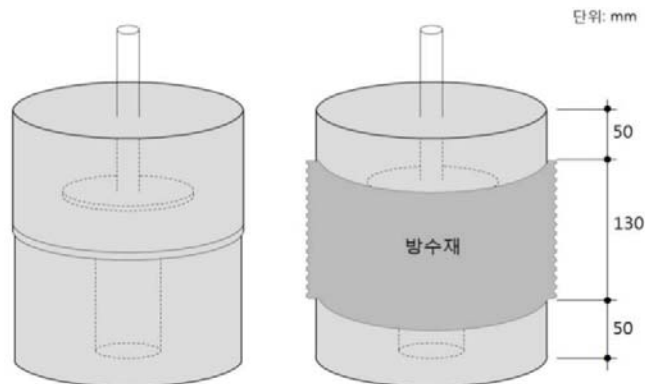
건조 및 습윤 바탕면에 사용되는 하부시험체는 지름과 높이가 각각  $(180 \pm 2)\text{mm}$ ,  $(130 \pm 2)\text{mm}$ 로 제작된 원형몰드에 지름과 높이가 각각  $(40 \pm 2)\text{mm}$ ,  $(130 \pm 2)\text{mm}$ 인 원형파이프를 고정시키고 모르타르를 타설한다. 이때 원형파이프 내부에는 시험판과 연결할 수 있도록 나사 탭을 생성한다.



[그림 4-1] 거동 대응성 시험 상부 시편 상세도(출처: 대한건축학회)

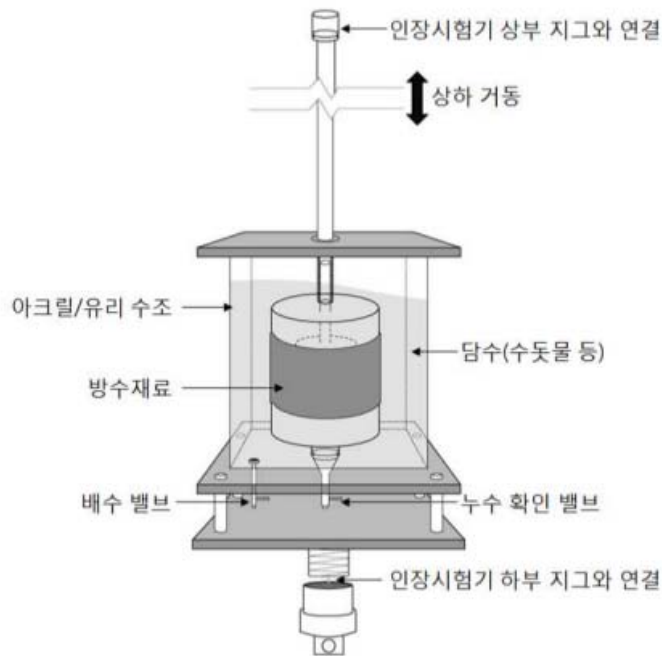
시험체 제작조건은 건조바탕과 습윤바탕으로 구분한다.

건조 바탕 시험체는 탈영 후 레이턴스를 제거하지 않고 건조기에서  $(80 \pm 2)^{\circ}\text{C}$  내부 온도를 유지한 채 48시간동안 완전 건조한다. 습윤 바탕 시험체는 탈영 후 레이턴스를 제거하지 않은 상태로  $(20 \pm 2)^{\circ}\text{C}$  수중에서 48시간 동안 침지시켜 시험체를 완전 포화시킨다. 이후 시험체 표면의 물기를 형짚 등을 이용하여 30초 동안 닦아 낸다. 건조바탕과 습윤바탕 시험체는 [그림 4-2]와 같이 상하부를 포갠 시험체의 최상단과 최하단으로부터 각각  $(50 \pm 2)\text{mm}$ 를 제외한 중앙부위에 방수층을 시공한다. 방수층의 시작부와 끝단 부의 겹침 폭은 해당 방수공법 제조사의 특기시방서 기준에 따라 시공한다.



[그림 4-2] 거동 대응성 시험체 방수층 시공범위(출처: 대한건축학회)

#### 4) 시험방법



[그림 4-3] 제작된 시험체의 시험판 결함(설치완료)(출처: 대한건축학회)

상하 자동 거동 반복장치로 구성된 만능시험기기를 통해 최대  $5.0\text{mm}(\pm 0.2\text{mm})$ 의 거동을  $50\text{mm}/\text{min}$ 의 속도로 50회 반복 시험한다. 시험 중 방수층의 들뜸, 파손 등을 육안으로 관찰하고 누수 확인밸브를 통하여 누수여부를 관찰한다. 저온 평가시험은 시험체를  $-10^{\circ}\text{C}$ 에서 1시간 정치한 후 상온 평가와 동일한 방법으로 평가한다.

구조물 거동대응 시험은 3단계로 구성되며 단계 순으로 진행된다. 단계마다 누수 여부를 확인하며 누수 발생 시 시험을 중지하고 해당 단계와 반복횟수를 기록한다.

(1단계) 시험체 내부에 현장수를 채운 후  $(20 \pm 3^{\circ}\text{C})$ 의 상온 상태에서 최대  $5.0\text{mm}(\pm 0.2\text{mm})$ 의 거동폭을  $50\text{mm}/\text{min}$ 의 거동속도로 50회 반복 시험한다.

(2단계) 시험체로부터 현장수를 제거한 후 챔버 내부 온도를  $-10^{\circ}\text{C}$ 로 천천히 하강시키며, 설정온도 도달 시 1단계와 동일한 최대  $5.0\text{mm}(\pm 0.2\text{mm})$ 의 설정 거동폭을  $50\text{mm}/\text{min}$ 의 거동속도로 30회 반복 시험한다.

(3단계) 다시 시험체 내부에 현장수를 채우고  $(20 \pm 3^{\circ}\text{C})$ 의 상온 상태에서 최대  $5.0\text{mm}(\pm 0.2\text{mm})$  설정 거동폭을  $50\text{mm}/\text{min}$ 의 거동속도로 50회 반복 시험한다.



(A) 구조물 거동 대응 시험기



(B) 구조물 거동 대응 시험현황

[그림 4-4] 거동 대응 시험 셋팅 장치

### 5) 시험결과

총 10종의 시트방수재에 대하여 건조바탕면과 습윤바탕면에 부착하여 2.5mm와 5.0mm의 균열폭으로 구조물 거동 대응 성능 시험을 수행하였다. 시험결과는 [표 4-4]에 정리하여 나타내었다.

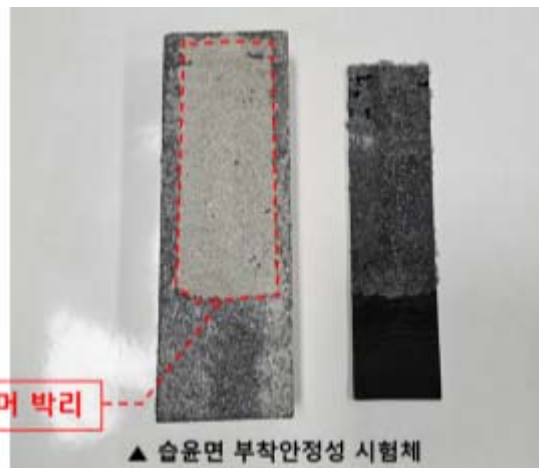


(a) 건조바탕 누수되지 않음



(b) 습윤바탕 누수발생(2.5mm)

[그림 4-5] 구조물 거동 대응 시험 결과



[그림 4-6] 습윤면 바탕 시험체의 프라이머 박리 현상

[표 4-4] 구조체 거동 대응성 시험결과

구 분	균열폭(mm)																		특이사항
	2.5						5.0						10.0						
	건조			습윤			건조			습윤			건조			습윤			
	1차	2차	3차	1차	2차	3차	1차	2차	3차	1차	2차	3차	1차	2차	3차	1차	2차	3차	
개량 아스팔트 시트	○	X	○	X	○	X	○	-	X	-	X	-	-	-	-	-	-	-	
폴리우레탄 시트	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	평가제외
자착식 시트(부틸고무계)	○	○	○	X	X	X	○	○	○	-	-	-	○	○	○	-	-	-	프라이머 박락
자착식 시트(아스팔트계)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
도막-시트 복합방수	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
합성고분자계 시트방수	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	기계적 부착
단열 PVC 복합방수	X	X	X	X	X	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
CIA 조인트 보강 복합방수	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
점착겔 시트 복합방수	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
점착형 합성고분자계 시트	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	

\* 10mm 균열폭의 결과는 제조사에서 의뢰한 구조물 거동대응성능 시험 성적의 결과임

\* 폴리우레탄 시트의 자재 수급 불가로 평가제외

시험결과, 아스팔트계 자착식 시트방수와 도막-시트 복합방수, CIA 조인트 보강 복합방수, 점착겔 시트 복합방수, 점착형 합성고분자계 시트 총 5종에서 건조바탕면과 습윤바탕면에 부착하여 2.5mm와 5.0mm의 반복거동 하중에서 누수가 발생하지 않았다.

반면, 개량 아스팔트 시트의 경우 2.5mm 반복거동폭에서 건조바탕면에서 2차 시편에서 누수가 발생하였으며, 습윤면에서 1차와 3차 시편에서 누수가 발생하였다. 부틸고무계 자착식 시트의 경우 건조면에서 2.5mm부터 10mm(제조업체에서 수행한 기존 시험결과) 반복 거동 시 누수가 발생하지 않았으나, 2.5mm 반복거동 폭으로 3차례 수행된 습윤바탕면에 부착된 부틸고무계 자착식 시트에서 누수가 발생하였다. 이는 부틸고무계 시트의 접착성능 확보를 위하여 사전에 도포하는 프라이머가 완전 포화된 습윤바탕판에서 경화되지 않아 화학적 부착성능을 발휘하지 못하여 박리된 것으로 판단된다.

## 2.2 습윤면 부착 안정성

### 1) 평가 목적

습윤면 부착 안정성 시험은 습윤면에서의 부착 안정성을 평가하기 위한 시험으로 시트방수의 점착층이 습윤한 표면에서도 충분한 접착력을 발휘하는지 확인한다.

### 2) 평가 필요성

표준시방서에는 “강우·강설시 또는 강우·강설이 예상되는 경우, 바탕이 건조되지 않은 경우 시공해서는 안된다”라고 시공 환경조건에 명시하고 있지만 실제 시트방수를 시공하는 현장은 토사, 지하수 등 습기에 상시 노출될 수 있으므로 건조되지 않은 바탕면의 시트방수 방수층의 부풀음, 들뜸 등과 부착성능을 평가할 필요성이 대두된다.

### 3) 시험체 제작

습윤면 부착 안정성 시험편은 폭-높이-너비가 각각 70mm, 25mm, 210mm인 사각 콘크리트 기둥을 바탕체로 가로-세로 각각 50mm와 180mm의 시트를 시험체에 부착한다. 콘크리트 바탕체를 제작한 후, 30일간 수중침지하여 표면을 습윤 상태로 유지한다. 바탕체의 부착면을 형짚으로 닦은 후 시험체를 부착한다.



(a) 부착 안정성능 시험 전경



(b) 부착 안정성능 시험체

[그림 4-7] 부착 안정성능 시험 전경 및 시험체

### 4) 시험방법

24시간 상온에서 시험체를 정치시킨 후 시트 방수층의 부풀음, 들뜸 등 상태변화를 확인한 후 Peel-out 평가를 통하여 부착성능을 평가한다.

## 5) 시험결과



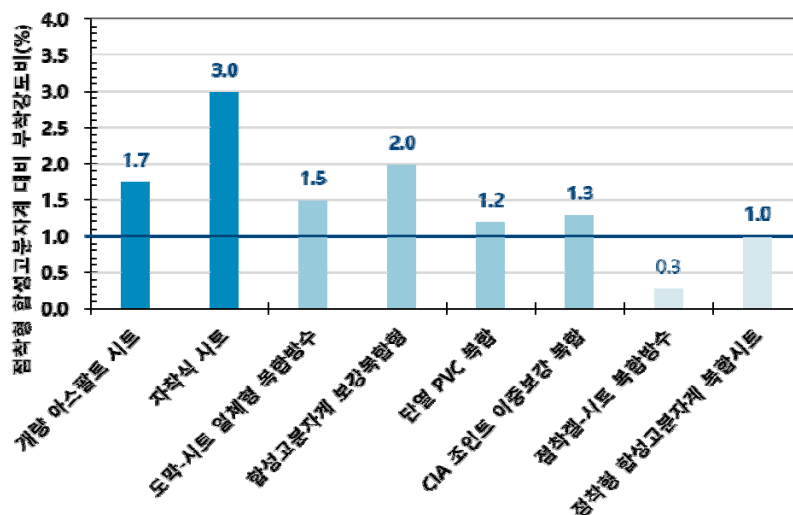
(a) 무처리 시험체



(b) 열화처리 시험체

[그림 4-8] 부착 안정성 시험결과

부착 안정성능의 평가 결과를 아래 [표 4-5]에 정리하여 나타내었다. KS F 4934 자착식 시트의 부착 성능(Peel-out) 평가방법을 준용했으며, KS F 4934 산업표준의 기준은 1.5 N/mm의 성능값을 요구하고 있다. 자착식 시트방수의 부착성능을 기준으로 부착강도를 평가한다면, 아스팔트계 자착식 시트, 부틸고무계 자착식 시트는 기준보다 35%, 110% 상회하는 것으로 나타났다. 하지만 이는 자착식 시트 자재의 평가로 비경질형의 점착젤로 도포된 복합방수에 적용하기에는 한계가 있다. 점착형 합성고분자계 시트방수의 부착강도를 기준으로 단일시트계와 보강복합계 시트의 부착강도비는 1.19부터 2.98로 평균 1.41배 큰 것으로 나타났다.

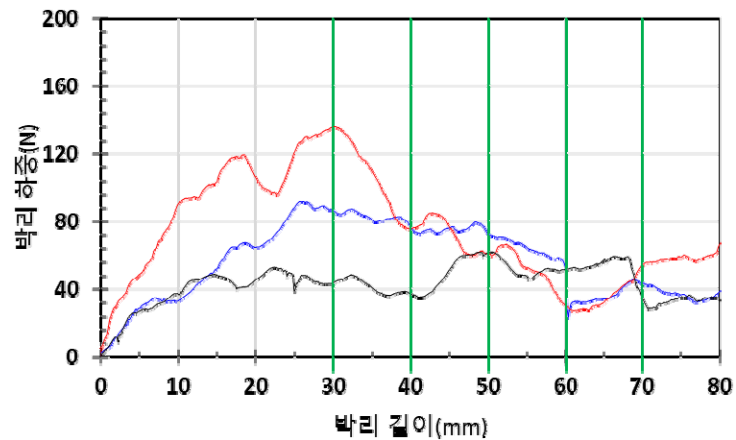


[그림 4-9] 점착형 합성고분자계 시트 대비 시트별 흡윤면 부착강도비

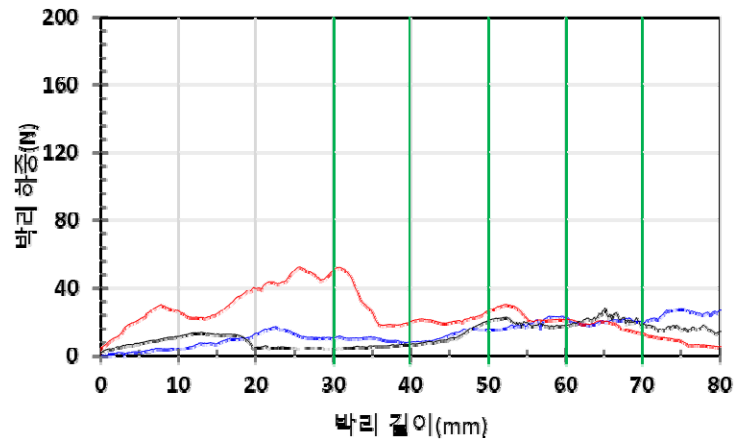


[표 4-5] 시트방수의 부착성능 평가 결과

구분	시트 종류	상태변화 (부풀음, 들뜸 등)	부착강도(N/mm)		비고
			무처리	습윤처리	
단일시트계	개량 아스팔트 시트	이상없음	1.18	0.37	평가제외
	폴리우레탄 시트	-	-	-	
	아스팔트계 자착식 시트	이상없음	2.02	0.40	
	부틸고무계 자착식 시트	박리현상	3.15	1.71	
보강/복합계	도막-시트 복합시트	이상없음	1.01	0.31	
	합성고분자계 복합시트	이상없음	1.34	1.89	
	단열 PVC 복합시트	이상없음	0.80	0.10	
	CIA 조인트 복합 이중보강시트	이상없음	0.87	0.23	
점착 복합계	점착겔-시트 복합방수	이상없음	0.18	0.67	수중침지(30일)으로 점착겔 일부 경화
	점착형 합성고분자계 시트방수	이상없음	0.68	1.71	수중침지(30일)으로 점착겔 일부 경화



(a) 개량 아스팔트 시트(무처리)



(b) 개량 아스팔트 시트(열화처리)

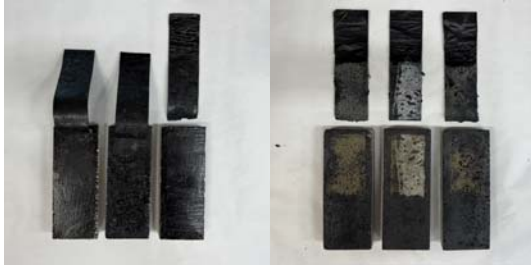
[그림 4-10] 습윤면 부착 안정성능 평가 결과



(a) 개량 아스팔트 시트



(c) 아스팔트계 자착식 시트



(e) 도막-시트 복합방수



(g) 단일 PVC 복합방수



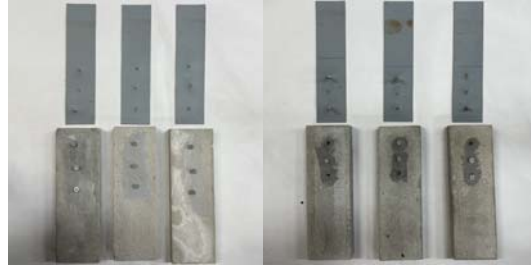
(i) 점착겔-시트 복합방수



(b) 폴리우레탄 시트



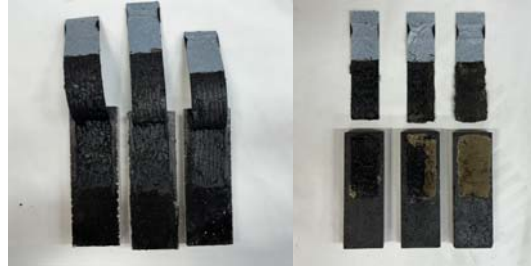
(d) 부틸 고무계 자착식 시트



(f) 합성 고분자계 복합시트



(h) CIA 이중보강 복합시트



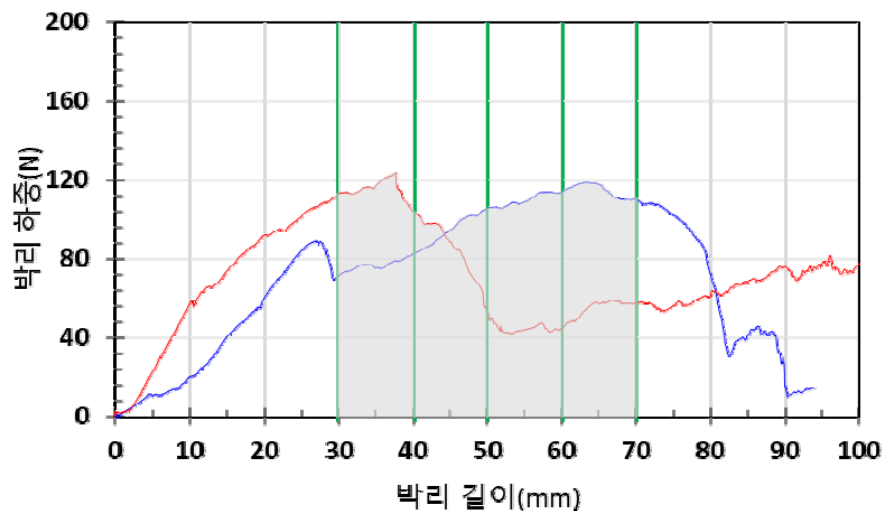
(j) 점착형 합성고분자계 시트방수

[그림 4-11] 부착 안정성능 평가 시험 결과

지하주차장을 포함한 지하구조물의 콘크리트 외벽은 시공 중 지하수, 포화된 주변 토사, 유입수 등에 의하여 상시 습윤상태일 경우를 고려했을 때, 습윤면 상태의 구조물 거동 대응성능은 검토가 필요한 항목이라고 판단된다.

현재 LHCS 전문시방서의 습윤면 부착 성능 기준은 KS F 4935 : 2023 ‘점착 유연형 고무 아스팔트계 누수보수용 주입형 실링재’의 준용하여 “60초 이내에 시험체 밀판이 탈락하지 않을 것”으로 정량적 기준이 아니다. 부착 안정성능평가는 비경질형 점착겔을 포함하고 있는 시트에서 기준 성능(1.5N/mm) 이상의 값을 갖는 것으로 나타났다. 아스팔트계와 부틸고무계로 구성된 자착식 시트는 각각 1.3배와 2.1배 높은 것으로 나타났다. 이외, 우레탄 계열의 점착겔을 사용한 점착제-시트 복합방수에서 2.5배와 점착형 합성고분자계 시트 방수에서 1.1배 기준 성능보다 높은 것으로 나타났다. 다만, 본 시험방법은 자착식 시트를 대상으로 평가하는 시험방법으로 비경화형 점착겔 형태의 점착겔을 도포한 시트는 부착강도 발현 매커니즘이 자착식 시트와 차이가 있어, 단순한 비교 평가는 적절하지 않다. Peel-out 시험으로 자착식 시트의 부착력은 콘크리트 표면과 점착제 컴파운드 계면에서 발생하는 점착력(Adhesive)을 평가하지만, 점착겔을 도포한 시트의 점접착력은 점탄성 필재 내부의 점착겔의 응집력(Cohesive)을 평가하게 된다.

응집력 평가를 위하여 하중-변위 그래프의 면적을 산출하여 아래 [표 4-6]에 정리하여 나타내었다. 응집력 평가는 [그림 4-12]와 같이 30mm 변위부터 70mm 변위까지 부착강도의 합으로 산출하였다.



[그림 4-12] 부착 안정성능의 응집력 평가

[표 4-6] 시트방수재 부착에너지 평가결과

시트 종류	부착에너지(N·mm)		비고
	무처리	습윤처리	
개량 아스팔트 시트	2,409.70	707.39	
폴리우레탄 시트	-	-	평가제외
아스팔트계 자착식 시트	4,176.07	783.36	
부틸고무계 자착식 시트	6,384.01	3,475.66	프라이머 박리
도막-시트 복합시트	1,932.63	603.10	
합성고분자계 복합시트	-	-	기계적 접착
단열 PVC 복합시트	1,580.43	187.88	
CIA 조인트 복합 이중보강시트	1,732.94	437.71	
점착겔-시트 복합방수	7,580.82	712.68	
점착형 합성고무계 복합시트	3,434.15	1,316.55	

[표 4-7] 자착식 시트의 무처리 점접착 응집력 평가

구분	점접착 에너지(N·mm)				결과(N·mm)	
	E1 (30-40mm)	E2 (40-50mm)	E3 (50-60mm)	E4 (60-70mm)		
시편1	1,517.77	1,580.83	1,576.46	1,538.05	6,213.10	6384.01
시편2	1,562.03	1,630.82	1,638.19	1,634.08	6,465.12	
시편3	1,550.11	1,646.11	1,645.35	1,632.24	6,473.82	

점착겔 합성고무계 복합시트의 값을 기준으로 평가했을 때, 아스팔트계와 부틸 고무계 자착식 시트는 각각 1.2배와 1.9배 응집력이 높은 것으로 나타났으며, 우레탄 계열의 점착겔을 도포한 점착겔-시트 복합방수가 2.2배의 높은 응집력을 나타냈다.

습윤면 상태의 바탕체에 부착된 시트방수의 응집력 결과는 점착형 합성고무계 복합시트를 기준으로 부틸 고무계 자착식 시트가 2.6배 높은 응집력을 보이는 것으로 나타났다.

건조 바탕면과 습윤 바탕면의 응집력 결과, 점착형 합성고무계 복합시트 대비 자착식 시트의 응집력이 1.2배에서 2.6배까지 큰 것으로 나타났다.

## 2.3 투수저항 성능

### 1) 시험 목적

투수성능 시험은 방수재가 물의 침투를 효과적으로 차단할 수 있는 지를 평가하는 시험이다. 이를 통해 방수재가 설계 기준과 시방서에서 요구하는 성능을 충족하는지 확인하고, 다양한 환경 조건(압력, 습도, 온도 등)에서의 내구성과 기능성을 검증하는 것을 목적으로 한다.

### 2) 시험 필요성

투수성능을 확보하지 못하는 방수재는 시공 품질과 안전성을 저하시키므로 투수성능 시험은 방수재가 실제 현장의 다양한 기상 및 물리적 조건에서도 적합하게 작동하는지 검증할 수 있어 평가의 필요성이 대두된다.

### 3) 시험체 제작

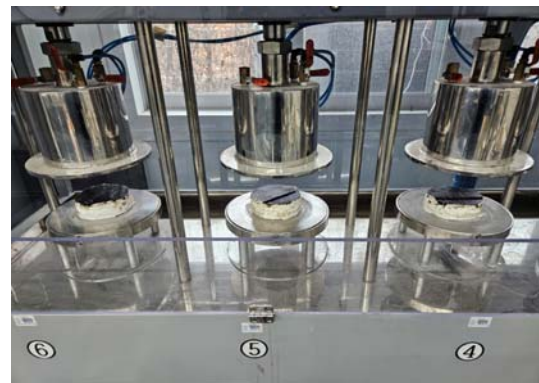
지름 100mm, 높이 30mm의 원형 모르타르 바탕체를 24시간 동안 침지시킨다. 그 후 방수재를 도포 및 접착시키기 전에 물에서 꺼내어 바탕체의 물기를 형짚 등으로 제거하고 제조자가 지정하는 방법에 접합부가 형성되도록 시험체를 제작한 후 기건양생을 7일동안 시행한다.

### 4) 처리조건 및 시험방법

- 처리조건 : 접합부 조성 후 황산침지 30일(4주)
- 시험방법 : 황산침지 후 투수시험( $3\text{kgf}/\text{cm}^2$ , 3시간)으로 투수여부 확인



(a) 황산침지 30일 후



(b) 투수 저항성능 시험

[그림 4-13] 투수저항 성능 시험전경 및 황산 침지 처리

## 5) 시험결과

10종의 시트방수 접합부의 투수저항성능은 시험결과 10종 모두 투수가 되지 않았으며, 부풀음, 들뜸, 등의 황산 침지에 따른 상태변화도 없었다.

[표 4-8] 시트방수 접합부 황산 열화 침지 후 투수저항성능 평가

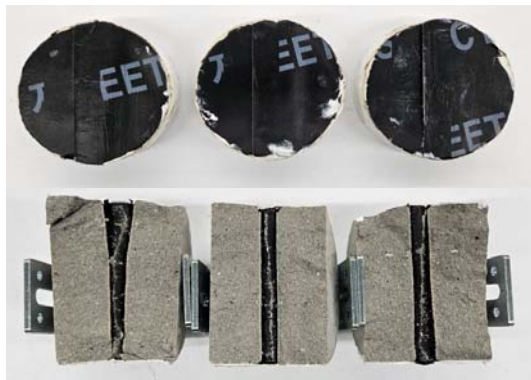
시트 종류	상태변화	투수여부	비고
개량 아스팔트 시트	이상없음	투수되지 않음	평가제외
폴리우레탄 시트	-	-	
아스팔트계 자착식 시트	이상없음	투수되지 않음	프라이머 박리
부틸고무계 자착식 시트	이상없음	투수되지 않음	
도막-시트 복합시트	이상없음	투수되지 않음	
합성고분자계 복합시트	이상없음	투수되지 않음	
단열 PVC 복합시트	이상없음	투수되지 않음	
CIA 조인트 복합 이중보강시트	이상없음	투수되지 않음	
점착젤-시트 복합방수	이상없음	투수되지 않음	데이터 확인 필요
점착형 합성고분자계 시트방수	이상없음	투수되지 않음	



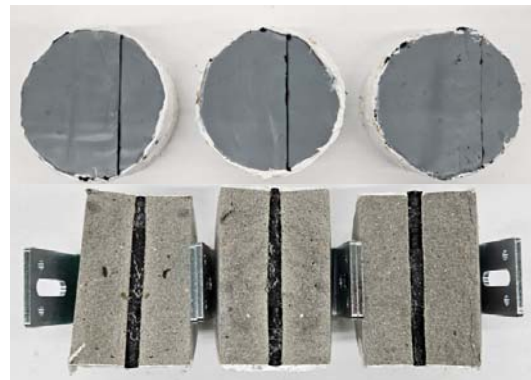
(a) 개량 아스팔트 시트

평가제외

(b) 폴리우레탄 시트

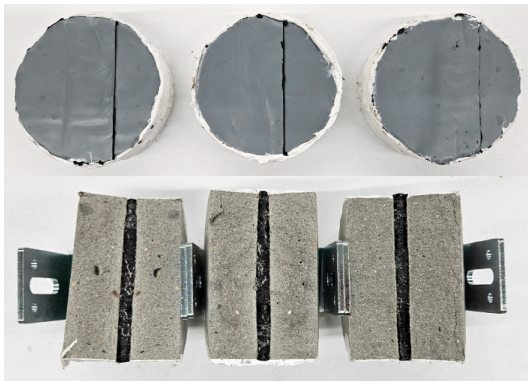


(c) 아스팔트계 자착식 시트

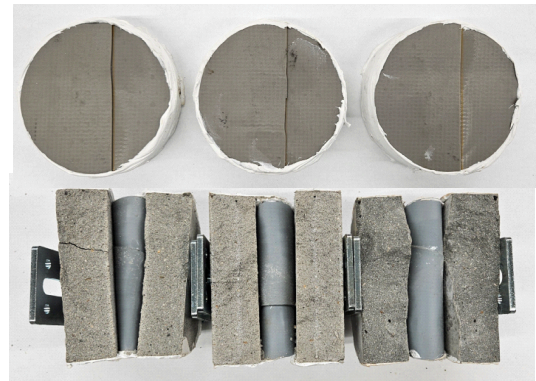


(d) 부틸 고무계 자착식 시트





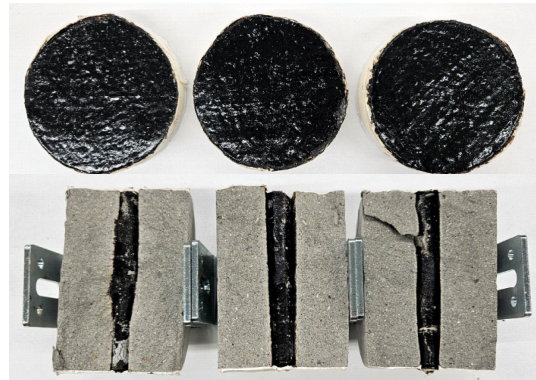
(e) 도막-시트 복합방수



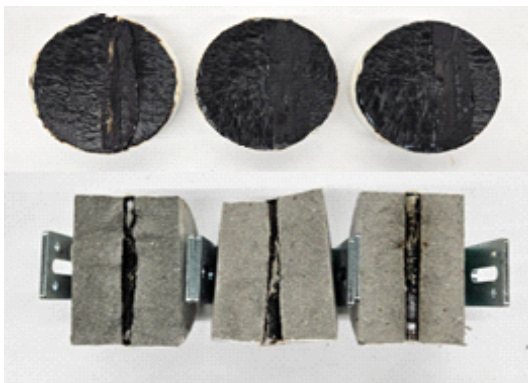
(f) 합성 고분자계 복합시트



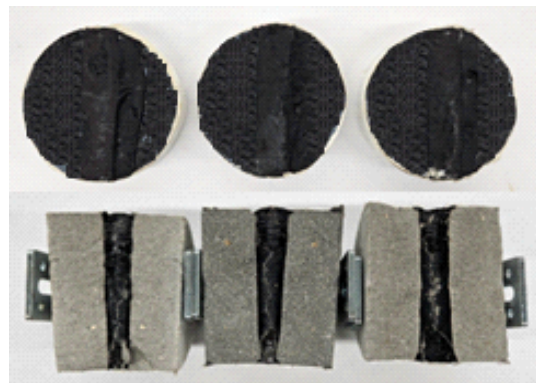
(g) 단열 PVC 복합방수



(h) CIA 이중보강 복합시트



(i) 점착겔-시트 복합방수



(j) 점착형 합성고분자계 시트방수

[그림 4-14] 황산 침지 후 시트방수 접합부의 투수저항 성능 시험결과

## 2.4 온도 의존성능

### 1) 평가 목적

온도의존성 시험은 방수층이 온도 변화에 따라 물리적, 화학적 성질이 변하지 않고 안정적인 방수 성능을 유지할 수 있는지 평가하기 위한 시험이다.

### 2) 평가 필요성

방수층은 실사용 환경에서 극한의 온도 변화(고온, 저온)로 연화 또는 경화 등 물리적 변화를 겪는다. 이러한 변화는 방수층의 균열, 접합부 손상, 방수 성능 저하로 이어질 수 있다. 따라서 온도 의존성 시험은 방수층이 극한의 기후 조건에서도 방수 성능과 내구성을 유지할 수 있는 지에 대한 평가가 필요하다.

### 3) 시험체 제작

지름 100mm, 높이 30mm의 원형 모르타르 바탕체를 24시간 동안 침지시킨다. 그 후 방수재를 도포 및 접착시키기 전에 물에서 꺼내어 바탕체의 물기를 형짚 등으로 제거하고 제조자가 지정하는 방법에 접합부가 형성되도록 시험체를 제작한 후 기건 양생을 7일동안 시행한다.

#### - 전처리 조건: 냉 · 온 반복처리(아래의 조건으로 50 Cycle 반복처리)

본 시험에서 전처리 종류로 동결융해 처리를 선정하여 수행하였다. 지하구조물 수직부재에 적용되는 시트방수재는 시트 시공 후 되메우기까지 공사관리로 인한 장기간 되메우기가 시행되지 않는 경우 등을 고려하여 동결융해 처리로 외기 온도에 따른 변화로 설정하였다.

- 1시간 30분 온도변화( $20^{\circ}\text{C} \rightarrow 60^{\circ}\text{C}$ ) 적용, 이후  $60^{\circ}\text{C}$ 에서 2시간 정치
- 1시간 30분 온도변화( $60^{\circ}\text{C} \rightarrow -20^{\circ}\text{C}$ ) 적용, 이후  $-20^{\circ}\text{C}$ 에서 2시간 정치
- 1시간 30분 온도변화( $-20^{\circ}\text{C} \rightarrow 20^{\circ}\text{C}$ ) 적용, 이후  $20^{\circ}\text{C}$ 에서 2시간 정치

### 4) 시험 방법

투수 시험기 및 시험방법에 따라 시험한다( $0.3 \text{ N/mm}^2$ , 3시간 가압)

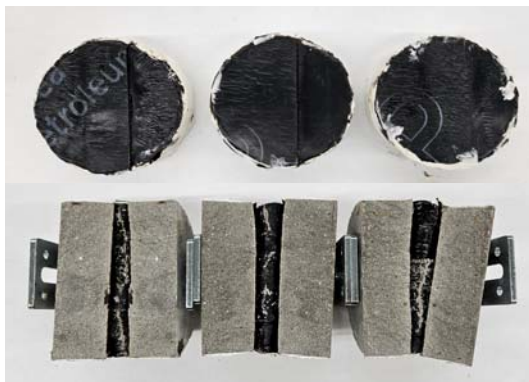


## 5) 시험결과

10종의 시트방수재에 대한 결과는 무처리와  $-20^{\circ}\text{C} \sim 60^{\circ}\text{C}$ 로 반복 열화처리한 시편 모두 상태변화가 없었으며 접합부 투수가 발생하지 않았다.

[표 4-9] 시트방수 접합부의 온도 의존성 시험결과

시트 종류	결모양	투수여부	비고
개량 아스팔트 시트	이상없음	투수되지 않음	평가제외
폴리우레탄 시트	-	-	
아스팔트계 자착식 시트	이상없음	투수되지 않음	
부틸고무계 자착식 시트	이상없음	투수되지 않음	
도막-시트 복합시트	이상없음	투수되지 않음	
합성고분자계 복합시트	이상없음	투수되지 않음	
단열 PVC 복합시트	이상없음	투수되지 않음	
CIA 조인트 복합 이중보강시트	이상없음	투수되지 않음	
점착겔-시트 복합방수	이상없음	투수되지 않음	
점착형 합성고분자계 시트방수	이상없음	투수되지 않음	



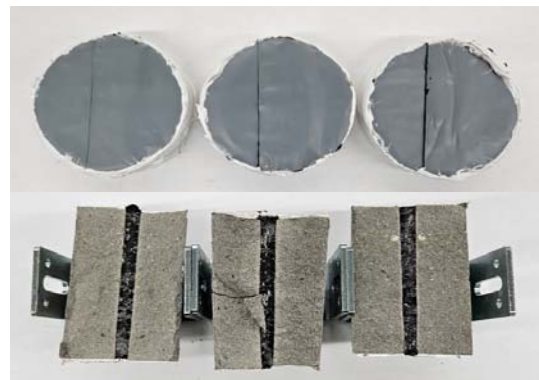
(a) 개량 아스팔트 시트

평가제외

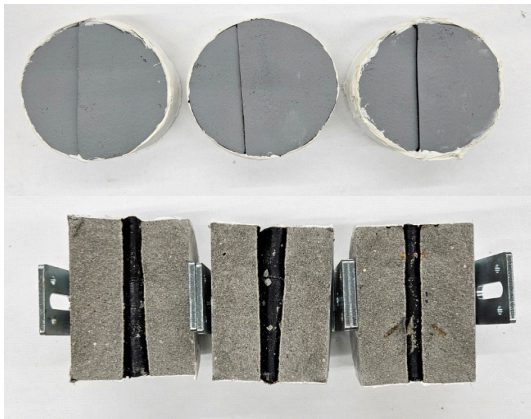
(b) 폴리우레탄 시트



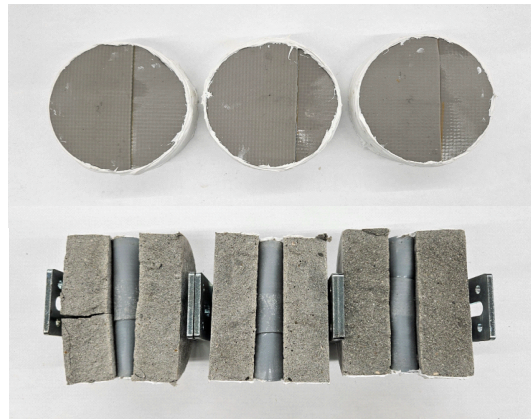
(c) 아스팔트계 자착식 시트



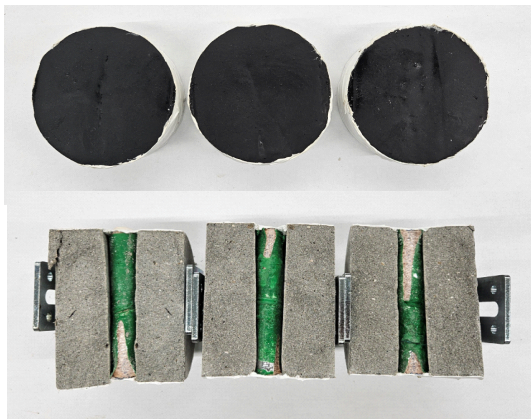
(d) 부틸 고무계 자착식 시트



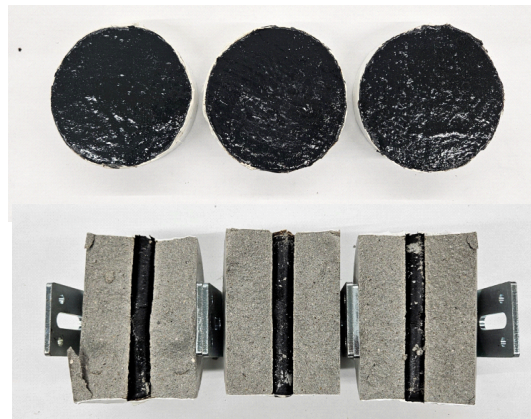
(e) 도막-시트 복합방수



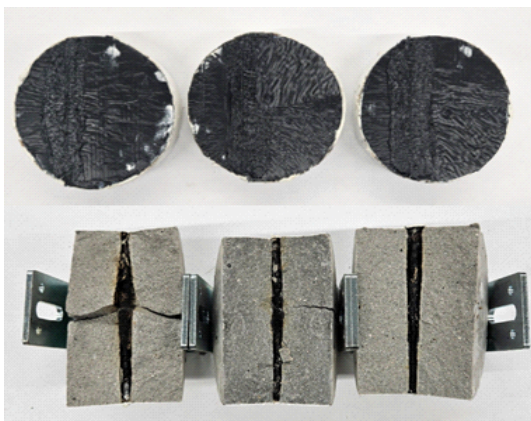
(f) 합성 고분자계 복합시트



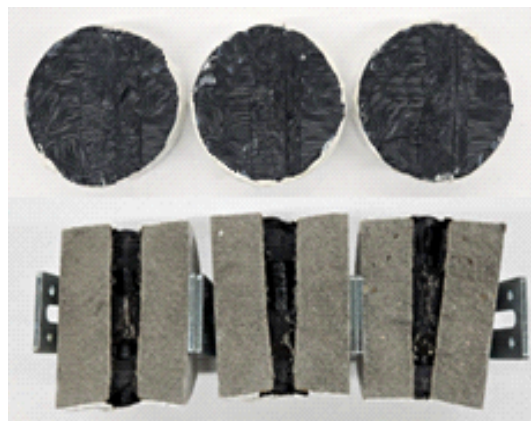
(g) 단열 PVC 복합방수



(h) CIA 이중보강 복합시트



(i) 점착겔-시트 복합방수



(j) 점착형 합성고분자계 시트방수

[그림 4-15] 열화(온도변화) 후 시트방수 접합부의 온도의존 성능 시험결과

## 2.5 접합부 접합

### 1) 평가 목적

방수시트의 접합 안정성능 평가는 접합부의 방수 성능과 내구성을 확인하여 구조물의 누수를 방지하고 시공 품질을 보장하기 위한 것이다.

### 2) 평가 필요성

방수시트 접합 안정성능 평가는 취약부의 누수를 예방하고, 현장 조건과 설계 기준에 부합하는 시공 품질을 확보하기 위해 필요하다.

### 3) 시험체 제작방법

1m 단위폭의 시트방수재에서 폭과 길이 50mm, 200mm 시편 2개로 재단하여, 제조사가 지정하는 방법에 따라 재단된 2편의 방수재를 겹침 폭 50mm로 접합부를 조성한다. 시편을 제조한 후 ( $20\pm3^{\circ}\text{C}$ )의 상온 상태에서 24시간 동안 정치한다.

### 4) 시험방법

열화처리가 끝난 시험체를 KS F 4917에 규정된 방법 및 시험기로 시험한다.

- 열화 반복처리 : 상온 기건 상태에서 방수재를 24시간 방치 후 항온기에서 아래의 조건으로 50Cycle 반복시험

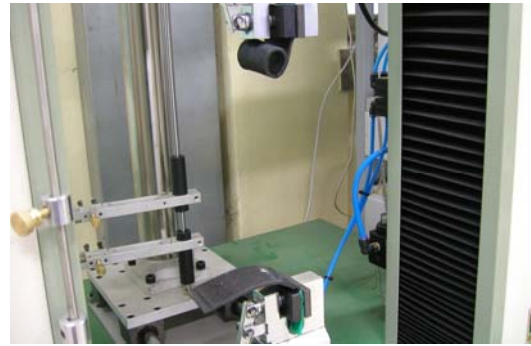
본 시험에서 전처리 종류로 동결융해 처리를 선정하여 수행하였다. 지하구조물 수직부재에 적용되는 시트방수재는 시트 시공 후 되메우기까지 공사관리로 인한 장기간 되메우기가 시행되지 않는 경우 등을 고려하여 동결융해 처리로 외기 온도에 따른 변화로 설정하였다.

- 1시간 30분 온도변화( $20^{\circ}\text{C} \rightarrow 60^{\circ}\text{C}$ ) 적용, 이후  $60^{\circ}\text{C}$ 에서 2시간 정치
- 1시간 30분 온도변화( $60^{\circ}\text{C} \rightarrow -20^{\circ}\text{C}$ ) 적용, 이후  $-20^{\circ}\text{C}$ 에서 2시간 정치
- 1시간 30분 온도변화( $-20^{\circ}\text{C} \rightarrow 20^{\circ}\text{C}$ ) 적용, 이후  $20^{\circ}\text{C}$ 에서 2시간 정치

열화 후  $20\pm 3^{\circ}\text{C}$ 의 수중에서 30일 동안 장기 침수 후 상온에서 건조



(a) 접합 안정성능




(b) 접합부 파단

[그림 4-16] 열화처리 후 접합부 안정성능 평가

#### 4) 시험결과

접합 안정성능의 시험결과를 [표 4-20]에 나타내었다. 부틸고무계 자착식 시트는 접합 성능은 KS F 4917의 접합 안정 성능 방법으로 평가한 결과로 자착식 시트의 평가방법이 아닌 점을 참고하여야 한다.

[표 4-10] 시트방수 접합 안정성능 시험결과

구 분	시 험 결 과			비 고
	결모양	접합성능(N/mm)		
		무처리	열화처리	
개량 아스팔트 시트	이상없음	10.72	9.71	
폴리우레탄 시트	평가제외			
아스팔트계 자착식 시트	이상없음	7.09	6.16	
도막-시트 복합시트	이상없음	15.18	13.29	
합성고분자계 복합시트	이상없음	27.25	28.75	
단열 PVC 복합시트	열화 처리 후 수포발생	7.25	7.22	
CIA 조인트 이중복합 방수	이상없음	13.32	9.74	
점착겔-시트 복합방수	이상없음	7.09	5.94	점접착제의 성능기준 4N/mm
접착형 합성고무계 복합 시트	이상없음	4.03	5.10	점접착제의 성능기준 4N/mm

[표 4-10] 시트방수 접합 안정성능 시험결과(이어서)

구 분		겉모양	시 험 결 과		비 고
			접합성능(N/mm)		
			무처리	열화처리	
개량 아스팔트 시트	1	이상없음	10.94	9.19	
	2		10.46	9.44	
	3		10.76	10.51	
	평균		10.72	9.71	
폴리우레탄 시트	1	평가제외	평가제외		
	2				
	3				
	평균				
아스팔트계 자착식 시트	1	이상없음	7.39	5.98	
	2		6.94	6.04	
	3		6.95	6.46	
	평균		7.09	6.16	
도막-시트 복합시트	1	이상없음	15.28	12.87	
	2		15.20	12.66	
	3		15.06	14.34	
	평균		15.18	13.29	
합성고분자계 복합시트	1	이상없음	22.60	28.93	
	2		28.80	27.85	
	3		30.36	29.47	
	평균		27.25	28.75	
단열 PVC 복합시트	1	열화 처리 후 수포발생	8.05	7.01	
	2		6.64	7.19	
	3		7.07	7.47	
	평균		7.25	7.22	
CIA 조인트 이중복합 방수	1	이상없음	12.83	9.27	
	2		13.53	9.86	
	3		13.59	10.09	
	평균		13.32	9.74	
점착겔-시트 복합방수	1	이상없음	7.09	6.00	
	2		6.83	6.05	
	3		7.35	5.77	
	평균		7.09	5.94	
점착형 합성고무계 복합 시트	1	이상없음	4.11	5.11	
	2		4.00	4.92	
	3		3.98	5.26	
	평균		4.03	5.10	





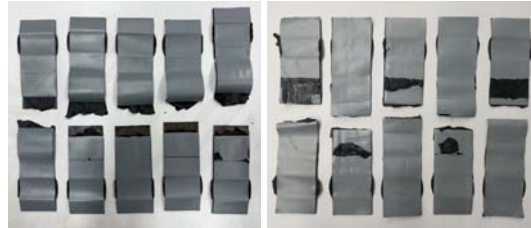
(a) 개량 아스팔트 시트

자재 수급 불가로 평가제외

(b) 폴리우레탄 시트



(c) 아스팔트계 자착식 시트



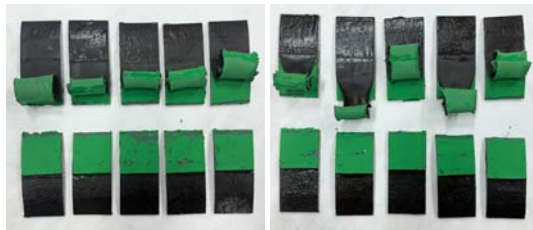
(d) 부틸 고무계 자착식 시트



(e) 도막-시트 복합방수



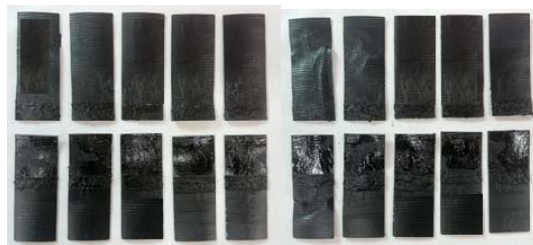
(f) 합성 고분자계 복합시트



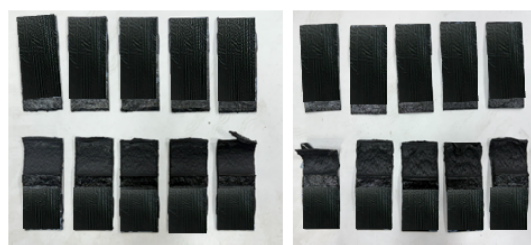
(g) 단열 PVC 복합방수



(h) CIA 이중보강 복합시트



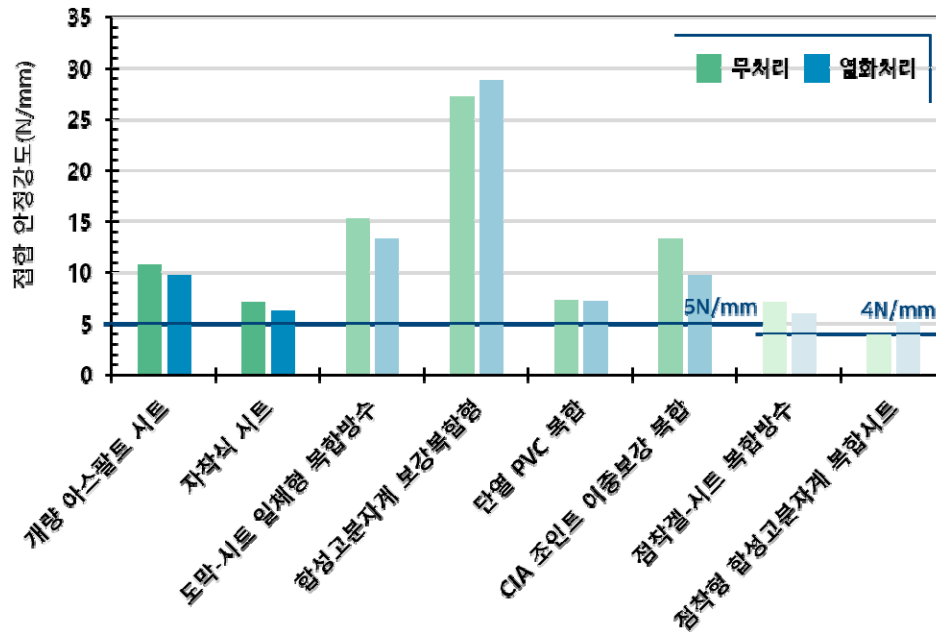
(i) 점착겔-시트 복합방수



(j) 점착형 합성고무계 복합시트

[그림 4-17] 접합 안정성능 평가 시험 결과

KS F 4917 규격에 의한 성능 기준은 5N/mm이며, 점접착제인 점착겔로 도포한 시트방수재의 접합부의 성능 기준은 4N/mm이다. KS F 4917의 성능 기준으로 10종 시트방수재의 접합 안정 성능을 검토한 결과, 열융착된 개량 아스팔트 시트의 접합 성능은 무처리와 열화처리 각각 2.1배와 1.9배 성능 기준 대비 높게 나타났으며, 아스팔트계 자착식 시트는 무처리와 열화처리 각각 1.4배와 1.2배 기준 대비 높은 것으로 나타났다. 부틸고무계 자착식 시트는 안정 성능 기준 성능 대비 0.7배와 0.6배로 접합 안정성능에 대한 추가적인 검토가 필요하다. KS F 4917 접합 안정 성능의 기준 성능에서 비경질형 점착겔을 사용한 자착식 시트의 경우, 5N/mm 대신 4N/mm로 규정하고 있다. 우레탄 계열의 점착겔을 사용한 점착겔-시트 복합방수와 점착형 합성고무계 복합 시트는 기준 성능(4N/mm) 대비 무처리조건에서 각각 1.8배와 1.0배로 나타났으며, 열화조건에서 1.5배와 1.3배로 나타났다.



[그림 4-18] 시트의 접합 안정성능 시험결과

## 2.6 전단 접착 강도

### 1) 평가 목적

방수시트의 전단 접착 강도 평가는 콘크리트 바탕층에 부착된 시트방수의 흘러내림에 대하여 저항할 수 있는 성능을 평가하기 위함이다.

### 2) 평가 필요성

시트방수재를 콘크리트 바탕면에 시공 후 토사의 되메우기 등에 의하여 시트의 흘러내림이 발생할 수 있어 흘러내림의 저항성 평가가 필요하다.

### 3) 시험체 제작방법

가로와 세로 모두 100mm 높이 50mm의 정사각 모르타르 바탕체에 가로 50mm 세로 200mm 시트방수재를 가로 50mm와 세로 100mm 접착면을 바탕체 중앙부에 부착한다.

### 4) 시험방법 및 시험기

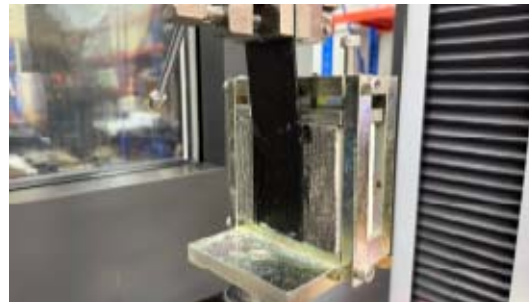
시험체를 KS F 4932에 규정된 방법 및 시험기로 시험한다. 접착면과 평행방향으로 전단인장 후 최대 전단 접착강도 산정(시험체의 인장 파단 방지를 위해 접착면을 제외한 보강 가능)한다.

### 5) 전처리 조건

콘크리트 바탕면의 전처리 조건은 없으며, 시트방수재를 부착 후 상온에서 24시간 정치 후 전단 접착강도 시험을 수행한다.



(a) 전단접착 강도 시험체



(b) 전단접착강도 시험

[그림 4-19] 전단접착 강도 시험체 및 시험현황



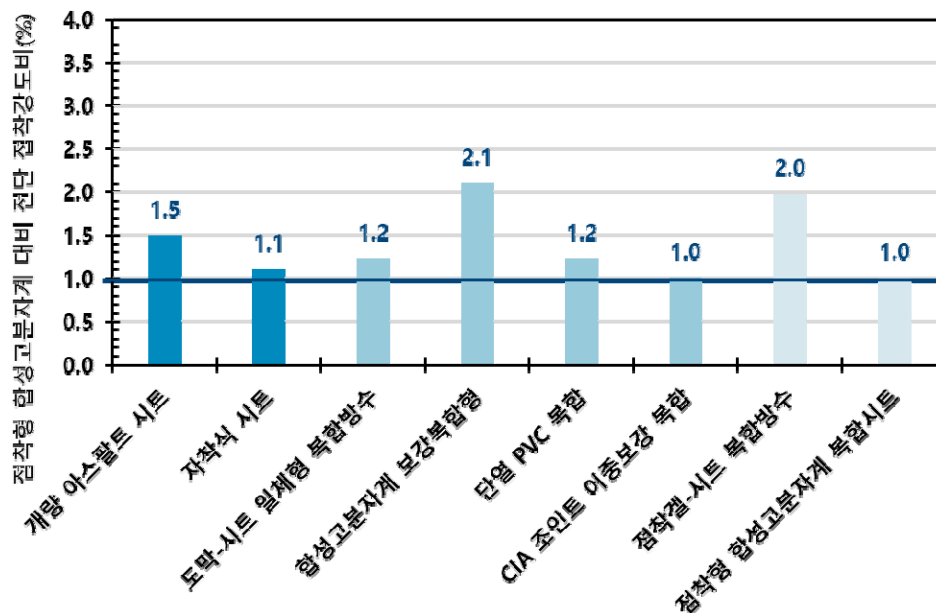
## 6) 시험결과

[표 4-11]과 [그림 4-20]에 전단 접착 강도의 결과를 정리하여 나타내었다. 점착형 합성고무계 시트 방수의 전단 접착 강도를 기준으로 점착강도를 상대적으로 비교했을 때, 개량 아스팔트 시트와 자착식 시트의 단일시트계는 1.1과 1.5로 높게 나타났다으며, 보강복합계 시트방수는 1.2와 2.1로 점착형 합성고분자계 복합시트의 전단 접착강도보다 높은 것으로 나타났다.

[표 4-11] 시트방수 전단 접착강도 시험결과

구 분	시 험 결 과								
	전단강도(KPa)				전단 강도비	변위(mm)			
	1차	2차	3차	평균		1차	2차	3차	평균
개량 아스팔트 시트	254.2	254.5	228.2	245.6	1.49	2.0	2.3	1.6	1.9
폴리우레탄 시트	평가제외								
자착식 시트	99.5	103.1	103.2	103.2	1.10	16.3	8.6	17.3	14.1
도막-시트 복합방수	120.6	107.8	107.6	112.0	1.22	19.8	15.4	17.7	17.7
합성고분자계 시트방수	186.2	232.5	165.5	194.7	2.10	36.4	37.7	36.1	36.7
단열 PVC 복합방수	118.4	119.8	98.0	112.1	1.22	16.4	15.9	16.1	16.1
CIA 조인트 보강 복합방수	88.2	79.0	109.8	92.3	1.00	34.5	29.1	44.8	36.1
점착겔 시트 복합방수	124.6	143.4	135.8	134.6	1.97	24.6	35.3	41.7	33.8
점착형 합성고분자계 시트	83.4	98.6	95.9	92.6	1.00	43.3	50.9	42.1	45.4

\* 폴리우레탄 시트는 방수재 수급 불가로 평가 제외



[그림 4-20] 점착형 합성고분자계 기준 전단 접착강도비 시험결과



(a) 개량 아스팔트 시트



(c) 아스팔트계 자착식 시트



(e) 도막-시트 복합방수



(g) 단일 PVC 복합방수



(i) 점착겔-시트 복합방수

평가제외

(b) 폴리우레탄 시트



(d) 부틸 고무계 자착식 시트



(f) 합성 고분자계 복합시트



(h) CIA 이중보강 복합시트



(j) 점착형 합성고분자계 시트방수

[그림 4-21] 전단접착 성능 평가 시험 결과

## 2.7 내열성능

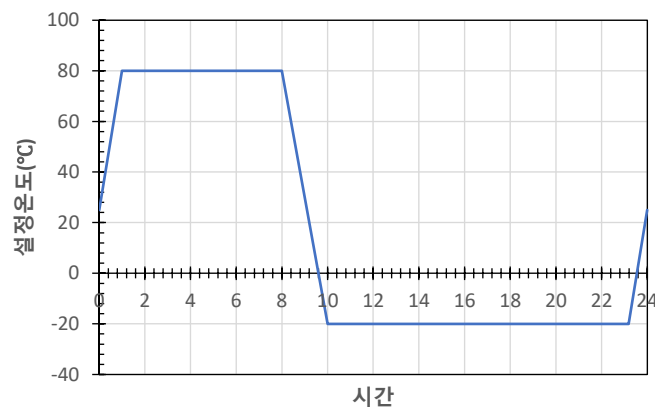
시트방수재 시공 후 바로 되메우기 후속공정이 시행되지 않는다면 비노출 방수재는 높은 고온에 노출되고 이는 흘러내림의 주요 원인이 되며, 지하구조물의 누수하자로 이어지게 된다. 따라서 콘크리트 바탕면에 부착 후 고온에 노출시켜 흘러내림을 평가하는 시험은 방수재가 고온 환경에서도 부착성능을 유지하며 흘러내림이나 물리적 변형없이 지하구조물의 방수성능을 확보할 수 있는지를 평가하는 주요 평가항목이다.

### 1) 시험체 제작방법

너비와 길이 각각 500mm와 1600mm로 제작된 시트방수재를 제작사의 시방에 따라 바탕면에서 밀실하게 시공한다. 시트방수재 표면의 온도를 측정하기 위하여 콘크리트 바탕면 중앙에 K타입의 열전도계를 부착한 후 시트방수재를 부착한다.

### 2) 시험 온도 조건

[그림 4-22]과 같이 25도에서 1시간 동안 80도까지 가열하여 7시간 고온에서 정지한 후 2시간 동안 -20도까지 냉각시킨다. 이후 14시간동안 -20도를 유지하고 다시 1시간동안 25도로 가열하여 1cycle을 마친다. 5회 반복 극한온도를 구현한다.



[그림 4-22] 가속 노화 온도조건(80도 ~ -20도)

5회 극한 사이클 온도에 노출된 시트방수에 흘러내림, 들뜸 등의 상태변화가 관찰되지 않아, 혹서기 장기간 고온에 노출되는 환경을 모사하기 위하여 70°C로 실내 챔버온도를 설정한 후 15일간 시트방수재를 노출시켰다.

## 2) 시험방법 및 시험기

콘크리트 바탕면 부착 후 내열성능 등을 평가하는 산업규격이 부재함에 따라, 혹서기에 외기에 노출된 아스팔트 시트의 표면온도(55℃)에 따라 가속화 노화 시험기의 내부 온도를 설정하여 흘러내림을 평가한다<sup>4)</sup>.

챔버 내부 설정온도가 70℃에 도달하였을 때, 내부 콘크리트 바탕판 중앙부의 표면온도가 55℃로 유지되었다. 따라서 우리나라 혹서기 콘크리트 표면 최대온도 55℃로 모사하기 위하여 챔버 내부온도를 70℃로 15일간 유지하였다(엄태호, 2018).



(a) 가속화 노화시험기



(b) 콘크리트 바탕체 부착 후

[그림 4-23] 가속화 노화시험기 전경 및 콘크리트 바탕판 부착 후 전경



(a) 아스팔트 프라이머 도포



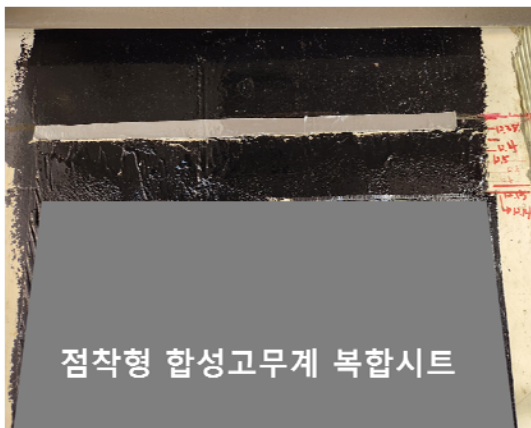
(b) 에폭시 프라이머 도포

[그림 4-24] 시트방수재 부착을 위한 사전 프라이머 도포

4) 엄태호 외(2018), 온도조건에 따른 외벽방수용 아스팔트 썰게 재료의 흘러내림 특성에 관한 실험, 한국구조물진단유지관리공학회, 22(1). pp 1-5

#### 4) 시험결과

[그림 4-25]과 [표 4-12]과 같이 폴리우레탄 시트와 점착형 합성고분자계 시트 방수에서 각각 26mm와 71mm의 흘러내림이 발생하였다. 시트의 처짐보단 고온(표면온도 55℃)에 노출된 점착제와 점착겔이 고온에 용융되면서 흘러내림이 발생한 것으로 판단된다. 점착겔의 흘러내림과 동시에 시트의 처짐을 최상단, 중간지점, 최하단 3곳을 측정하였으나, 온도 변화에 따른 시트의 처짐현상은 발생하지 않았다. 점착형 합성고분자계 시트방수 또는 점착겔-시트 복합방수는 시공현장에서 보호재의 부착으로 자중이 증가하여 온도변화에 의한 처짐이 더 크게 발생할 것으로 판단된다.



(a) 점착형 합성고무계 복합시트 흘러내림



(b) 폴리우레탄 시트 흘러내림

[그림 4-25] 10일차 70도에 노출된 시트방수재의 흘러내림 결과

[표 4-12] 시트방수 내열성능 평가결과

구 분	누적 흘러내림 길이(mm)						비 고
	1일차	2일차	3일차	5일차	7일차	10일차	
개량 아스팔트 시트	5	0	0	0	0	0	
폴리우레탄 시트	12	19	26	26	26	26	
아스팔트계 자착식 시트	5	5	5	5	5	5	
도막-시트 복합시트	2	2	2	2	2	2	
합성고분자계 복합시트	-	-	-	-	-	-	기계적 부착
단열 PVC 복합시트	0	0	0	0	0	0	
CIA 조인트 이중복합 방수	0	0	0	0	0	0	
점착형 합성고무계 시트방수	10	21	32	45	60	71	

## 2.8 시트방수재의 시공성

시공품질과 시공 현장에서의 작업용이성 즉 시공성은 시트방수재의 방수 성능에 직접적인 영향을 미친다. 시공성 향상은 작업자의 피로도를 감소시켜 작업효율을 증가시키며, 이로 인해 시공 시 발생할 수 있는 결함을 감소시킬 수 있다. 방수층 형성단계가 적을수록, 그리고 시공성이 높을수록 시공자의 숙련도가 미치는 영향력이 적어 일관된 시공품질을 확보할 수 있다. 이렇듯 시공성의 중요도에 따라, 다음과 같은 평가항목으로 시트방수재의 시공성을 평가하였다.

### 1) 평가항목

방수층 형성단계, 부착형태, 이음부 접착방식 3가지로 평가항목을 선정하였다.

#### ① 방수층형성 공정 수

시트방수층 형성을 위한 공정 수를 의미하며, 단일공정을 상으로, 공정 수가 증가할수록 작업효율이 감소하기 때문에, 공정 수가 2개 이상 3개 미만을 중으로, 공정 수가 3개 이상인 시트방수재를 하로 기준을 정하였다.

#### ② 부착형태

부착형태에 따른 표준품셈에서 제시하고 있는 소요인력에 따라 부착형태별 시공성의 기준을 산정하였다(건설공사표준품셈).

[표 4-13] 시트 종류별 소요 인력(출처: 건설공사표준품셈)

공법	구분	단위	수직부
가열식시트 붙임	방수공	인	0.080
	보통인부	인	0.040
	[주] ① 본 품은 토치로 가열하여 접착시키는 시트 1겹 붙임을 기준으로 함 ② 방수시트는 두께 2.5~3.0mm, 폭 1.0m를 기준으로 함		
접착식시트 붙임	방수공	인	0.046
	보통인부	인	0.025
	[주] ① 본 품은 전용 접착제로 접착시키는 시트 1겹 붙임을 기준으로 함 ② 방수시트는 두께 1.0~2.0mm, 폭 1.0m를 기준으로 함		
자착식 시트 붙임	방수공	인	0.036
	보통인부	인	0.020
	[주] ① 본 품은 자착형 시트 1겹 붙임을 기준으로 함 ② 방수시트는 두께 1.4~3.0mm, 폭 1.0m를 기준으로 함		

자착식시트, 접착식시트, 가열식시트 순으로 소요인력이 증가하므로, 각각을 상중하로 기준을 정하였다.

### ③ 이음부 접착방식

제조사에서 제작하는 시트방수재는 대부분 1m 단위폭을 기준으로 생산된다. 따라서 지하구조물 외벽에 시트방수층을 형성하기 위하여 지하구조물 외벽의 폭 만큼 시트방수재의 끝단을 겹침방식으로 접합하여 시공한다. 이 때 접합부의 시공방식은 시트방수재 전체의 시공성에 영향을 미칠 수 있다. 자착식 시트와 접착식 시트에서 사용하는 접착방식은 시트의 겹침 부위를 밀착시켜 접착시키는 방식으로 시트지에 합침된 접착제를 사용하므로 시공성이 우수하다. 열융착 방식은 겹침 부위에 열을 가하여 녹여 접합하는 방식으로, 방수성능과 내구성이 높은 장점이 있지만 겹침 부위를 녹이기 위한 열풍기 운영과 작업자가 화기에 노출될 경우 안전상의 문제가 발생할 수 있는 단점이 있다. 기계적 고정방식은 나사나 클립을 사용하여 겹침 이음부를 물리적으로 고정하는 방식이다. 따라서, 접착방식을 상, 기계적 방식을 중, 열융착 방식을 하로 기준을 정하였다. 이음부 접착방식은 제조사의 전문시방서에서 제시하고 있는 방식에 따라 분류하였다.

[표 4-14] 시트방수재별 시공항목 평가결과

구 분	공정수	부착형태	이음부 접착방식	시공성
개량 아스팔트 시트	중	하	하	X
폴리우레탄 시트	상	상	상	O
아스팔트계 자착식 시트	상	상	상	O
부틸고무계 자착식 시트	상	상	상	O
도막-시트 복합시트	상	상	상	O
합성고분자계 복합시트	중	중	중	△
단열 PVC 복합시트	하	상	상	△
CIA 조인트 이중복합 방수	하	상	상	△
점착겔-시트 복합방수	중	상	상	△
접착형 합성고무계 시트방수	상	상	상	O

○ : 양호, △ : 보통, X : 어려움

### 3. 시트방수 요구성능의 가중치 산정

다양한 평가항목에 대한 중요도 또는 가중치를 산정하는 방법은 대표적으로 엔트로피 방법, AHP(Analytic Hierarchy Process) 방법, 매트릭스 평가표에 의한 가중치 산정 방법 등이 있다. 각 중요도 평가방법에 대하여 개요, 장단점 및 활용분야에 대하여 간략히 정리하면 아래 [표 4-15]와 같다.

[표 4-15] 가중치 선정 방법의 비교 요약

구분	엔트로피 방법	AHP	매트릭스 평가
개요	데이터의 분산도(불확실성)를 기준으로 가중치 산출	계층적 구조와 쌍대비교를 통해 주관적 판단을 정량화	점수화된 평가표를 기반으로 가중치를 반영하여 최적 대안 선택
장점	객관적, 정보 분산 반영, 데이터 기반	체계적 분석, 주관성 반영, 일관성 검토 가능	간단하고 직관적, 다양한 기준 결합, 빠른 적용 가능
단점	데이터 의존성, 정규화 필요, 해석 어려움	시간 소모, 주관적 편향 가능, 계산 복잡	주관적 판단 개입, 정보 손실 가능성, 가중치 설정 어려움
활용분야	다기준 의사결정, 환경 관리, 리스크 평가	공공정책, 경영 의사결정, 위험 분석	제품 비교, 성과 평가, 프로젝트 관리

#### 1) 엔트로피 산정방법(Entropy Weight Method)

엔트로피 가중치 산정방법은 새년(Shannon)의 정보이론을 바탕으로 통계학 및 의사결정 이론에서 많이 사용하는 가중치 계산 방법으로 데이터 표준화 등 정규화 과정을 통하여 수학적으로 가중치를 산정하므로 연구자의 주관을 배제하고 객관적으로 가중치를 산정할 수 있는 장점이 있다(Sun et al., 2022). 엔트로피의 각 항목 가중치는 지표 값의 분산도(불확실성)를 기반으로 산출되며, 지표 값의 분산도가 클수록 불확실성이 낮아지므로 가중치가 높게 설정된다. 반면, 지표 값이 고르게 분포할수록(즉, 분산도가 작을수록) 데이터의 불확실성이 커지게 되므로 가중치는 낮게 산출된다. 엔트로피 방법을 통한 가중치 산정 방법은 다음과 같다.

#### ① 엔트로피 가중치 산정 과정

각 항목이 서로 다른 척도와 단위를 가질 수 있으므로, 데이터를 0~1 사이의 값으로 정규화 한다.

지표의 수를  $m$ , 전문가의 수를  $n$ 이라고 가정하여  $R = (r_{ij})_{m \times n}$ 을 산정할 수 있으며, 여기서  $r_{ij}$ 는 평가항목  $i$ 에 대한 전문가  $j$ 의 평가 값을 나타내며 식 (5.1)을 사



용하여 정규화하여 정규화 행렬  $R' = (R'_{ij})_n$  을 산정할 수 있다.

$$r'_{ij} = \frac{\max_j(r_{ij}) - r_{ij}}{\max_j(r_{ij}) - \min_j(r_{ij})}, (i = 1, 2 \dots n, j = 1, 2 \dots m) \quad (4.1)$$

식 (4.1)에 따라 산정한 데이터를 정규화한 후 식 (4.2)와 같이 세부 지표별 엔트로피 값( $H_j$ )을 산정한다.

$$H_j = -k \sum_{i=1}^n f_{ij} \ln(f_{ij}) \quad (i = 1, 2 \dots n, j = 1, 2 \dots m) \quad (4.2)$$

여기서,  $f_{ij} = r'_{ij} / \sum_{i=1}^n r'_{ij}$  로 산정할 수 있으며, 평가항목  $r'_i$ 의  $j$ 번째 전문가 평가 값이 전체  $r'_i$ 값 중에서 차지하는 비율이다.  $k = 1/\ln(n)$ 로 산정할 수 있으며, 엔트로피 값을 표준화하여 비교 가능하게 만들기 위한 것으로 각 성능항목의 불확실성을 동일한 기준에서 평가할 수 있으며 가중치를 계산할 때 일관성과 정확성을 높일 수 있다.

산정된 엔트로피 값을 활용하여 지표 속성 값의 다양성 ( $1 - H_j$ )을 산정한 후 식 (4.3)을 통해 평가항목 가중치( $w_j$ )를 산정할 수 있다.

$$w_j = \frac{1 - H_j}{\sum_{j=1}^m (1 - H_j)} = \frac{1 - H_j}{m - \sum_{j=1}^m (H_j)}, (i = 1, 2 \dots n, j = 1, 2 \dots m) \quad (4.3)$$

## ② 엔트로피를 활용한 성능평가 항목별 가중치 산정결과

14명의 전문가를 대상으로 한 설문의 결과를 엔트로피 가중치 산정방법을 활용하여 외방수공법의 7가지의 성능 평가항목에 대한 가중치를 산정하였다. 성능항목별 가중치 결과는 구조물 거동 대응성능(0.2515)이 가장 높았으며, 흘러내림 등의 내열성능(0.1767), 전단 접착성능(0.1589), 투수 저항성능(0.1491), 접합 안정성능(0.1040), 부착 안정성능(0.0965), 온도의존성능(0.0634) 순으로 가중치가 산정되었다. 가중치가 높다는 것은 해당 지표가 전체 데이터에서 상대적으로 변별력이 크다는 것을 의미한다. 엔트로피 가중치 산정결과에 따르면, 14명의 전문가는 구조물 거동대응 성능과 내열성능, 전단 접착성능의 평가항목을 지하구조물 외벽 방수층의 성능을 평가하는 데 중요한 것으로 응답하였다.

[표 4-16] 방수재 성능평가 항목별 엔트로피 가중치 결과

구분	평가항목	가중치( $w$ )	중요도 순위
1	구조물 거동 대응	0.2515	1
2	부착 안정성능	0.0965	6
3	투수 저항성능	0.1491	4
4	온도 외존성능	0.0634	7
5	접합 안정성능	0.1040	5
6	전단 접착성능	0.1589	3
7	내열성능(흘러내림)	0.1767	2

LHCS에 명시된 구조물 거동 대응성능의 반복 거동폭은 10mm로 규정하고 있다. 구조물 거동 대응성능의 주요 목적은 부등침하, 지진 등의 외력에 의한 구조물에 발생하는 균열에 대응하여 비경질 점착젤과 시트방수의 복합거동으로 방수성능을 확보하여 차수하는 것이나, 10mm의 균열폭은 대변위 이외 실제적인 지하구조물에서 발생할 수 있는 확률이 적을 것으로 판단되며, 콘크리트구조 사용성 설계기준(KDS 14 20 30:2021)의 습윤환경의 철근콘크리트 구조물의 허용균열<sup>5)</sup>과 2.5mm의 KS F 4917의 내피로 성능의 거동 폭과 유럽의 EOTA 규격<sup>6)</sup>에서 적용하고 있는 균열폭이 2mm임을 고려했을 때 반복 거동 폭에 대한 검토가 필요하다.

14인의 전문가 중 64%에 해당하는 9인의 전문가가 기존 10mm의 반복거동 폭을 5mm를 축소하는 것이 적정하다고 응답하였으며, 반복거동 폭 10mm 가 적정하다고 응답한 전문가는 21%인 3인과 반복거동 폭 2.5mm와 7.5mm가 적정하다고 각각 1인의 전문가가 응답하였다.

[표 4-17] 구조물 거동대응 성능의 적정 반복거동의 폭에 대한 설문 결과

반복거동 폭(mm)	2.5	5.0	7.5	10.0
응답수	1	9	1	3

5) 철근콘크리트 구조물의 내구성 확보를 위한 허용균열폭  $w_a$  (mm) (KDS 14 2 30:2021, 4.1.2 허용균열폭 중 일부 발췌)

강재의 종류	강재의 부식에 대한 환경조건			
	건조 환경	습윤 환경	부식성 환경	고부식성 환경
철근	0.4 mm와 $0.006C_c$ 중 큰 값	0.3 mm와 $0.005C_c$ 중 큰 값	0.3 mm와 $0.004C_c$ 중 큰 값	0.3 mm와 $0.0035C_c$ 중 큰 값

6) EOTA(2018), EAD 030378-00-0605, Fully Bonded, Pre-applied Flexible Sheet for Waterproofing, 16. Crack bridging ability

공동주택 지하구조물의 적정 방수는 방수시트로 구성된 외방수공법이 57%로 가장 응답율이 높았으며, 국부방수와 유도배수로 처리되는 내방수공법이 29%, 외방수공법과 유도배수로 처리되는 공법이 14%로 응답되었다.

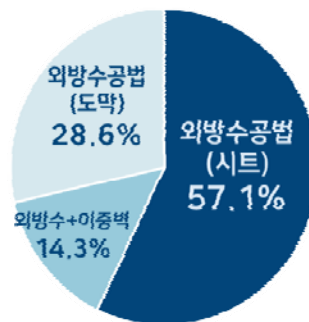
[표 4-18] 공동주택 지하구조물의 적정 방수공법에 대한 설문 결과

방수공법	외방수공법(시트)	외방수공법(도막)	외방수공법+이중벽	내방수공법 (유도배수+국부방수)
응답수	8	0	2	4

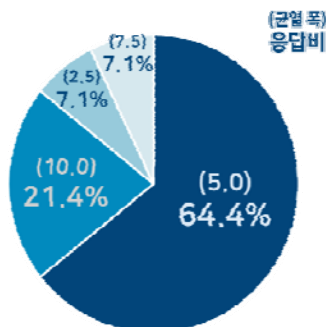
공동주택 지하구조물을 대상으로 방수공사를 시행할 때 적절한 시트방수의 종류에 관한 설문 결과는 [표 4-19]와 같이 자작형 시트가 57%로 가장 응답률이 높았으며, 보강-복합시트와 점착유연형 시트가 각각 3인으로 21%로의 응답률을 보였다.

[표 4-19] 공동주택 지하구조물 대상의 적정 시트방수에 대한 설문 결과

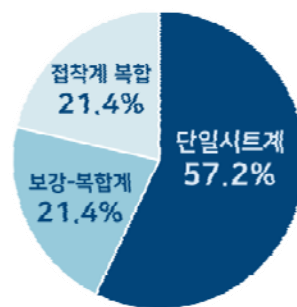
시트종류	단일시트계			보강복합계	점착계 복합
	개량 아스팔트시트	합성고분자계 시트	자작형 시트	시트 및 도막복합시트	점착유연형 시트
응답수	0	0	8	3	3



(b) 지하구조물의 적정 방수공법



(a) 구조물 거동대응 성능의 균열 폭



(c) 지하구조물의 적정 시트방수 종류

[그림 4-26] 방수공법, 시트방수 종류 및 구조물 거동 대응성능의 균열 폭에 대한 설문결과

## 4. 성능평가 결과

구조물 거동 대응성능부터 시공성까지 총 8개 항목의 성능평가 결과를 아래 [표 4-20]에 정리하여 나타내었다. 또한 엔트로피의 가중치 산정결과를 반영하여 시트 종류별로 적용순위를 평가하였다.

[표 4-20] 시트방수 성능평가 시험결과

구 분	구조물 거동대응	부착 안정성능	투수 저항성능	온도 의존성능	접합 안정성능	전단 접착강도	흘러내림	시공성
개량 아스팔트 시트	X	X	O	O	O	O	O	X
폴리우레탄 시트	-	-	-	-	-	-	X	O
아스팔트계 자착식 시트	O	O	O	O	O	O	△	O
부틸고무계 자착식 시트	△	△	O	O	X	X	O	O
도막-시트 복합시트	O	X	O	O	O	O	O	O
합성고분자계 복합시트	-	X	O	O	-	-	O	-
단열 PVC 복합시트	X	X	△	O	O	O	O	△
CIA 조인트 이중복합 방수	O	X	O	O	O	X	O	△
점착겔-시트 복합방수	O	O	O	O	O	O	O	△
점착형 합성고무계 시트방수	O	O	O	O	O	O	X	O

범례 : ○ - 양호(1.0), △ - 보통(0.75), X - 검토 필요(0.5)

\* 폴리우레탄 시트 자재 수급 불가로 성능평가 항목 평가 제외

[표 4-21] 시트방수 성능평가 시험결과(가중치 적용)

구 분	평가 항목	구조물 거동대응	부착 안정성능	투수 저항성능	온도 의존성능	접합 안정성능	전단 접착강도	내열성능	시공성
	가중치	0.2515	0.0965	0.1491	0.0634	0.1040	0.1589	0.1767	0.1429
개량 아스팔트 시트		0.1258	0.0483	0.1491	0.0634	0.1040	0.1589	0.1767	0.0714
폴리우레탄 시트		-	-	-	-	-	-	0.0884	0.1429
아스팔트계 자착식 시트		0.2515	0.0965	0.1491	0.0634	0.1040	0.1589	0.1325	0.1429
부틸고무계 자착식 시트		0.1886	0.0724	0.1491	0.0634	0.0520	0.0795	0.1767	0.1429
도막-시트 복합시트		0.2515	0.0483	0.1491	0.0634	0.1040	0.1589	0.1767	0.1429
합성고분자계 복합시트		0.1258	0.0483	0.1491	0.0634	0.0520	0.0795	0.1767	0.0714
단열 PVC 복합시트		0.1258	0.0483	0.1118	0.0634	0.1040	0.1589	0.1767	0.1072
CIA 조인트 이중복합 방수		0.2515	0.0483	0.1491	0.0634	0.1040	0.0795	0.1767	0.1072
점착겔-시트 복합방수		0.2515	0.0965	0.1491	0.0634	0.1040	0.1589	0.0884	0.1072
점착형 합성고무계 시트방수		0.2515	0.0965	0.1491	0.0634	0.1040	0.1589	0.0884	0.1429

성능평가 항목에 대하여 가중치를 반영한 결과, 자착식 시트와 점착겔을 도포한 복합시트, 보강 복합형 시트방수 순으로 적용 순위가 책정되었다.

기존 점착겔-시트 복합방수와 점착형 합성고무계 시트방수 이외 지하구조물 수직부재에 적용 가능한 방수층으로 자착식 부착형태를 가진 시트방수 또한 적용 가능할 것으로 판단된다.

## 5. 소결

LH 표준상세도에 명시된 공동주택 방수에 사용 가능한 시트방수재 10종에 대하여 역학적 성능평가와 콘크리트 바탕판에 부착된 시트방수재의 물리적 상태변화를 평가하였다. 구조물 거동 대응성능을 포함하여 시공성까지 총 8가지의 평가항목으로 10종의 시트방수재의 수직부재 적용 가능성을 평가하였다. KS 산업규격의 성능 평가 기준으로 부착 안정성능과 접합 안정성능을 평가하였으며, KS 비규격 시험은 점착형 합성고무계 시트방수의 성능을 기준으로 평가하였다. 실험은 10종의 서로 다른 종류의 시트방수 성능을 상대적으로 비교 분석하기 위하여 총 7종의 시험항목을 설정하고 각 단일 시험방법으로 성능을 평가한 것으로, 시트방수 고유의 산업표준 규격에서 지정하고 있는 시험방법이 아니므로 해당 시트방수의 성능 기준 만족여부를 판단하기에는 한계가 있다.

[표] 시트방수 접합 안정성능 시험결과

구 분	구조물 거동대응	부착 안정성능	투수 저항성능	온도 의존성능	접합 안정성능	전단 접착강도	내열성능	시공성
개량 아스팔트 시트	X	X	O	O	O	O	O	X
폴리우레탄 시트	-	-	-	-	-	-	X	O
아스팔트계 자착식 시트	O	O	O	O	O	O	△	O
부틸고무계 자착식 시트	△	△	O	O	X	X	O	O
도막-시트 복합시트	O	X	O	O	O	O	O	O
합성고분자계 복합시트	-	X	O	O	-	-	O	-
단열 PVC 복합시트	X	X	△	O	O	O	O	△
CIA 조인트 이중복합 방수	O	X	O	O	O	X	O	△
점착겔-시트 복합방수	O	O	O	O	O	O	O	△
점착형 합성고무계 시트방수	O	O	O	O	O	O	X	O

범례 : O - 양호(1.0), △ - 보통(0.75), X - 검토 필요(0.5)

14인의 전문가 설문결과, 시트방수로 구성된 외방수공법의 성능을 평가하기 위한 평가항목은 구조물 거동 대응성능, 내열성능, 전단 접착성능, 부착 성능으로 시트방수와 콘크리트 바탕면과의 부착력이 중요한 것으로 나타났다. 성능평가에 가중치를 반영한 결과, 기존 점착겔 복합시트 이외 자착식 시트 또한 적용이 가능할 것으로 판단된다. 다만, 방수층의 성능 확보를 위하여 기존 구조물 거동 대응성능 시험의 기준을 통과한 자재로 한정할 필요가 있다. 또한 LHCS에 명시된 10mm의 구조물 대응 성능의 반복 거동 폭은 통상 철근 콘크리트 구조물의 구조적 균열 폭과 국내외 유사 성능평가 규격의 조건을 고려했을 때 5mm로 축소하는 것이 합리적일 것으로 판단된다.



## 제5장 LH 전문시방서 개선 방향

본 절에서는 LH 공동주택 지하주차장 수직부재에 적용 가능한 LHCS 전문시방서 3종과 국토교통부의 상위 표준시방서에 대하여 분석하고, 4장의 실험결과를 바탕으로 개선 방향을 도출하고자 한다.

공동주택 지하주차장의 외방수공법과 관련한 KCS 표준시방서와 LHCS 전문시방서의 유사점은 두 시방서 모두 방수공법 적용 부위를 공동주택으로 구체적으로 명시하고, 방수층 시공의 요구사항을 명시하고 있다. 적용 부위는 지하구조물, 외부 벽체 등으로 이외 취약 부위인 파이프 주변에 대한 처리 방안을 포함한다. 적용 자재는 두 시방 모두 점착형 점착겔을 도포한 방수 시트를 주요 재료로 시트 복합 방수공법을 적용하고 있다.

두 시방의 차이점은 국토교통부의 표준시방서의 적용 자재의 범위가 LHCS 전문시방서 보다 포괄적이다. KCS 표준시방서에는 건축공사 전반 적용할 수 있도록 방수 시트의 종류 즉 시트 성분에 대하여 포괄적으로 적용하였으나, LHCS 전문시방서는 LH 공사의 내부 지침서의 일종으로 개량 아스팔트 방수 시트로 방수 시트의 종류를 특화하였으며 방수 시트의 두께와 점착겔의 종류 또한 KCS 표준시방서에서 고무 아스팔트계, 합성 고무계, 천연 고무계로 다양화한 반면, LHCS에서는 합성고무 폴리머 점착겔로 특화되어 있다. 이는 시공 현장 특성을 고려한 공사 내부 지침으로 관리 및 감독의 효율성과 시공성 등 다각적인 검토로 특화한 것으로 판단된다.

KCS 표준시방서에 시공 환경과 관련하여 요구사항을 간략히 언급한 것과 달리, LHCS 전문시방서에 기온, 강우·강설 등에 따른 작업 가능 여부를 규정하였다.

[표 5-1] 유사 표준시방서와 전문시방서의 주요 차이점

구분		KCS 41 40 13	LHCS 41 40 13
적용 자재	시트	경질 또는 연질 시트방수재	개량 아스팔트 비노출 단층(A종 2류)
	점착겔	고무 아스팔트계, 부틸 고무계, 천연 고무계	합성고무 폴리머 점착겔
시공 두께		점착형 복합 방수시트(총 두께): 3.0mm 이상. 점착형 겔층 두께: 1.0mm 이상. 부틸 및 천연 고무계(총 두께): 2.0mm 이상. 점착형 겔층 두께: 1.7mm 이상.	총 두께: 3.5mm 이상. 점착겔 두께: 1.5mm 이상. 개량 아스팔트 시트 두께: 2.0mm 이상.
보호 및 마감		보호층(보호재) 시공 후 5일 이내 되메우기 시공(5일 넘을 경우 별도 조치)	시공두께 13mm 이상의 폴리프로필렌(PP) 복합패널

## 1. KCS 41 40 13<sup>7)</sup>

KCS 41 40 19는 ‘점착유연형 시트 방수공사’으로 건축공사에 있어 방수를 필요로 하는 부위에 적용하며, 고체형 방수물질과 유체형 방수 물질을 상관시켜 각각의 고유 성능을 발현 유지되도록 구성된 복합 방수시트이다.

공법에 적용된 자재는 점착형 복합 방수시트, 덧붙임용 시트, 보강용 겔(gel), 보호용 마감재, 누름고정판, 성형 보강철물이다. 주요 자재인 점착형 복합 방수시트는 고무 아스팔트계, 부틸 고무계, 천연 고무계로 구분하였으며([표 5-2]) KS 품질기준에 적합한 것을 사용한다. 적용부위는 아래 [표 5-3]에 정리된 것과 같다.

[표 5-2] 점착형 겔(Gel) 방수재의 종류

종류	약칭	주원료
고무 아스팔트계	고무 아스팔트	아스팔트, 스틸렌부타디엔 고무, 유동화제, 폐고무 등
부틸 고무계	부틸 고무	부틸고무, 에틸렌프로필렌 고무, 클로로술폰화 폴리에틸렌 등
천연 고무계	천연 고무	천연고무, 천연 재생고무, 에틸렌프로필렌 고무, 유동화제 등

[표 5-3] 점착형 복합 시트층의 적용(출처: 표준시방서 KCS 41 40 19)

종별		고무 아스팔트계		부틸 고무계		천연 고무계	
적용 부위	부위	비노출	노출 <sup>2)</sup>	비노출	노출	비노출	노출
지붕	RC	○	-	○	-	○	-
	PC <sup>1)</sup>	○	-	○	-	○	-
	ALC	-	-	-	-	-	-
지하외벽(외부)		RC	-	○	-	○	-
실 내	욕실 등	RC	-	○	-	○	-
	주차장	RC	-	○	-	○	-
바탕(바닥)의 물매		1/100~1/50					

범례 ○: 적용, -: 표준 외

주: 1) PC 부재 조인트의 거동에 대한 보강 설계가 이루어져야 함

2) 설계도 및 공사시방서에 따른 보호 마감층이 있는 공사에 한함

7) 국토교통부(2021), 점착형 복합 시트 방수공사(KCS 41 40 19: 2021)



치켜 올림부와 외벽부위의 방수층 종류별 공정표는 아래 [표 5-4]에 정리하였다.

[표 5-4] 치켜 올림부 및 외벽부위의 방수층의 종류별 점착형 복합 방수시트 공정(출처: 표준시방서 KCS 41 40 19)

공정		종류	고무 아스팔트계 점착형 복합 방수시트	부틸 고무계 점착형 복합 방수시트:	천연 고무계 점착형 복합 방수시트
1			프라이머 공정 없음 <sup>1)</sup>		
2			총 두께 3.0 mm 이상 (단, 방수시트의 점착형 겔층 두께 1.0 mm 이상) <sup>2)</sup>	총 두께 2.0 mm 이상 (단, 방수시트의 점착형 겔층 두께 1.7 mm 이상) <sup>2)</sup>	총 두께 2.0 mm 이상 (단, 방수시트의 점착형 겔층 두께 1.7 mm 이상) <sup>2)</sup>
보호 및 마감	벽		PP복합패널, 발포PE시트 등	PP복합패널, 발포PE시트 등	PP복합패널, 발포 PE시트 등

- 주 : 1) 점착형 겔(gel)의 특성상 제 1공정 프라이머 바르기는 없음. 단, 외벽 등 수직부에서는 부착강도를 높이기 위해 프라이머를 바를 수 있으며, 필요시에는 담당원과 협의한다.
- 2) ( ) 안의 두께 수치는 방수성능 확보를 위한 해당 제품의 표준적인 기준을 의미하고, 관련 전문시방서, 공사시방서, 특기시방서에서 요구하는 수치와 다를 수 있다.
- 3) 치켜올림 및 감아내림부는 누름고정판으로 고정하고 실링재로 마감한다. 다만, 실내에서 방수층의 치켜올림 높이가 낮을 경우에는 누름고정판을 제외할 수도 있다.
- 4) 오목모서리에는 미리 너비 200 mm 정도의 덧붙임용 시트를 붙여준다. 단, 바탕면상태가 좋지 않거나 누수의 우려가 있는 경우 코너부위 안쪽에 보강용 겔(gel)을 이용하여 50 mm×50 mm 정도 채워넣고 그 상부에 덧붙임용 시트를 붙인다.
- 5) 보행용 전면점착(M-PrF) 공법에서 치켜올림부의 보호 및 마감을 마감도로 또는 하지 않을 경우에는 평면의 공정 3의 점착형 복합 방수시트를 오목모서리 앞에서 바름을 멈추고, 두께 3 mm 이상의 점착형 복합 방수시트를 200 mm 걸쳐 붙인 다음에 치켜올림부를 붙인다.
- 6) 드레인 주변에는 500 mm 각 정도의 덧붙임용 시트를 붙이고 보강용 겔(gel) 등을 이용하여 밀실하게 보강한다.
- 7) 파이프 주변에는 덧붙임용 시트를 적절하게 혼합하여 사용하고 보강용 겔(gel)등을 이용하여 밀실하게 보강한다.
- 8) PC 또는 ALC 패널의 이음줄눈부는 덧붙임용 시트로 양쪽으로 100 mm 정도씩 걸쳐 붙인다.
- 9) 마감 공정에 사용되는 공법은 방수 제조사의 지정에 따른다.

점착형 복합 시트 방수층의 보호 및 마감은 KCS 41 40 01의 표 3.1-1, 표 3.1-2에 따르며, 보호층(보호재) 시공 후 늦어도 5일 내에 되메우기 또는 마감 시공이 이루어져야 한다. 5일이 넘을 경우 담당원과 협의하여 별도 보호를 조치한다.

## 2. LHCS 41 40 13<sup>8)</sup>

점착겔을 도포한 복합 시트방수와 관련된 LHCS 전문시방서는 LHCS 41 40 13 10 점착형 합성고무계 복합시트방수와 LHCS 41 40 13 05 점착겔 시트 복합방수이다. 두 시방서의 차이는 분리형과 일체형으로 시공방법의 차이가 있다. 이외 적용범위, 적용 자재 등 시방에 나열된 항목은 동일하다.

전문시방서에 적용된 시트방수는 KS F 4917의 개량 아스팔트 방수 시트이며, 이중 비노출 단층 방수용 A종 2류에 적합한 것으로 두께 기준은 아래 [표 5-5]와 같다.

[표 5-5] 점착형 합성고무계 복합시트의 제품규격

구 분	규 격	비 고
점착형 합성고무계 복합시트	점착 복합시트: 3.0 mm 이상 (점착층 1.5 mm 이상)	시트규격 : 1 m×10 m/롤 (제조사별)

도포된 점착겔은 고분자 수지 및 점착 유연형 첨가제 또는 고무계열을 연화시켜 상시적 유동성을 지닌 친수성 고점착겔로 점착겔이 확보하여야 할 성능 기준은 아래 [표 5-6]과 같다.

[표 5-6] 점착형 합성고무계 복합시트 점착겔의 품질기준 및 시험항목

시험항목		단위	시험방법	성능기준
고형분(불휘발분)		%	KS M 3705	85 이상
점 도		cPs	KS M ISO 2555	2,000,000 이상
투수 저항 성능		-	KS F 4935	투수되지 않을 것
습윤면 부착 성능		-	KS F 4935	60초 이내에 시험체 밑판이 탈락하지 않을 것
구조물 거동 대응성능	공장 생산시	-	KS F 4935	투수되지 않을 것
	현장 반입된 일체화된 시트	-	KS F 4935 공동구 설계기준 (국토교통부, 2016) 시험방법	
수중 유실 저항 성능		%	KS F 4935	질량변화율이 -0.1 % 이내일 것
내화학 성능		%	KS F 4935	질량변화율이 -0.1 % 이내일 것
온도 의존 성능		-	KS F 4935	투수되지 않을 것

두 시방서의 차이점 비교를 아래 [표 5-7]에 정리하여 나타내었다.

8) 한국토지주택공사(2020), LHCS 41 40 13 점착겔을 도포한 시트방수에 대한 표준시방서 2종

[표 5-7] 점착젤 관련 표준시방서와 전문시방서 비교

구분	KCS 41 40 19	LHCS 41 40 13
주재료	점착형 복합 방수시트	합성고무 폴리머 점착젤 + 개량 아스팔트 시트
주성분	고무 아스팔트, 부틸고무, 천연 고무	합성고무, 아스팔트
총 두께	2.0 ~ 3.0mm 이상	3.5mm 이상
젤층 두께	1.0 ~ 1.7mm 이상	1.5mm 이상
시트 두께	2.0mm 이상	2.0mm 이상
특징	사용 부위에 따라 다양한 방수재 사용 가능	복합 방수 구조로 시공 정밀도 향상
부재료	덧붙임용 시트, 보강용 겔, 보호재	고정재료, 보조 자재

LHCS 전문시방서의 상위 시방인 KCS와의 정합성을 고려하였을 때, 현재 개량 아스팔트 시트 비노출 단층 A류 2종으로 특화되어 있는 시트에 대하여 적용 시트의 다양화 등 확대 방안에 대한 검토가 필요하다. 성능평가 결과를 바탕으로 확대 가능한 방수층의 종류는 자착식 시트방수이다. 기존 점착젤을 포함한 복합방수 대비 방수성능이 유사하고 특히 시공성과 내열성능이 우수하여 수직부재에 적용 가능할 것으로 판단된다. 다만, 자착식 시트는 부착의 형태를 의미하는 것으로 다양한 종류의 자착식 시트가 있는 바 방수 성능 확보를 위하여 기존 점착젤 복합방수의 성능항목을 준용하여 성능 기준 이상의 시트가 적용되어야 할 것으로 판단된다.

또한, 점착젤을 콘크리트 바탕면에 선 시공한 후 개량 아스팔트 시트를 부착하는 기존의 점착젤 시트복합 방수와 같이 점착젤을 사전처리용으로 적용하는 방안을 검토할 수 있다.

또한, 점착젤-시트 방수는 지하구조물 외부에 적용되는 비노출 시트방수로 시트방수 시공 후 보호재를 시공하도록 폴리프로필렌 복합패널 방수층 보호재(LHCS 41 40 13 15)에서 규정<sup>9)</sup>하고 있다. 하지만, 되메우기 시기가 정확히 명시되지 않고 “폴리프로필렌(PP) 복합패널 보호재 시공 후 가능한 한 빨리 되메우기를 시행한다”고 되어 있어, 되메우기 기간의 제시가 필요하다.

9) 폴리프로필렌(PP) 복합패널 방수층 보호재는 폴리에틸렌(PE) 보호재에 되메우기시 파손 및 흘러내림 방지를 위한 폴리프로필렌 표면판을 일체화한 제품으로 방수재 보호재는 폴리에틸렌을 주 원료로 두께 10mm 이상인 발포성 자재이어야 한다. 또한, 폴리프로필렌판 표면판은 되메우기 시 토사압력에 의한 마찰력을 최소화 할 수 있는 제품으로 중공층을 가진 3mm 두께로 구성되어야 하며, 폴리에틸렌(PE) 방수층 보호재와의 부착면은 부직포 합지 또는 점착제, 열공법 등을 적용하여 부착성을 높인 제품으로 800g/m<sup>2</sup> 이상의 무게를 가져야 한다.

### 3. LHCS 41 40 13 15

LH공사의 외방수공법은 지하에 매설되는 구조물 외부에 비경질 점착겔로 도포된 시트 방수층을 시공하여 원천적으로 외부로부터 유입되는 누수수를 차단하는 공법이다. 따라서 외방수공법은 되메우기용 토사와 지하수 등 외부요인에 노출되어 있다. 토사 중 각진 골재 등은 방수층에 손상을 일으켜 누수의 원인이 될 수 있어 시트 방수층에 대한 보호가 필요하다. 이에 폴리프로필렌 복합패널 보호재(LHCS 41 40 13 15)를 지하구조물 방수층 보호재로 적용하고 있다. 방수층 보호재의 주요 내용은 다음과 같다.

폴리프로필렌(PP) 복합패널 방수층 보호재는 폴리에틸렌(PE) 보호재에 되메우기 시 파손 및 흘러내림 방지를 위한 중공층을 가진 골구구조의 폴리프로필렌 표면판을 일체화한 제품이다(LHCS).

[표 5-8] 외방수공법의 방수재 보호층의 두께 및 규격(출처: LHCS 41 40 13 15)

구 분	규 격	비 고
폴리프로필렌(PP) 복합패널 방수층 보호재	시공두께 : 13 mm 이상 (폴리에틸렌(PE) 보호재 10 mm 이상, 폴리프로필렌(PP) 표면판 3 mm 이상)	

폴리프로필렌 표면판은 중공층을 가진 3mm 두께의 폴리프로필렌판으로 되메우기 시 토사압력에 의한 마찰력이 최소화 될 수 있는 판으로, 방수층 보호재와 부착면은 부착력 확보를 위하여 부직포 합지 또는 점착제, 열공법 등을 적용하여 부착성을 높인 제품으로 무게는 800 g/m<sup>2</sup> 이상이어야 한다. 이 때 사용되는 점착제는 핫멜트계 등 내수성 점착제를 사용한다.

복합패널 보호재 시공 후 과다토압, 장기적 노출, 바탕면의 평활도 부족 등 보호재의 들뜸, 밀림 등이 예상될 시 복합패널 보호재에 와서못 고정 등 방수성능이 저하되지 않는 범위의 보강방안을 강구하여 감독자의 승인을 득한 후 시공해야 한다.

현장에서 전문시방서에 따라 방수층 보호재로 PP 복합패널을 사용하고 있지만, 복합패널의 자중과 되메우기 시 발생하는 과다토압, 혹서기 55℃도 이상의 표면 온도로 인한 방수층의 흘러내림 등 하자가 발생하고 있다. 이에, 방수층 부착식 보호재 방식 이외 자립형 방수층 보호재 방식 등의 방수층에 절연되어 방수층의 부착력에 영향을 최소화 할 수 있는 방식의 추가적인 고려가 필요하다. 자립형 방수층 보호재의 경우 기초저면부터 쌓기 방식으로 하중을 지탱하여 방수층을 보호하므로 되

매우기 시 과다토압으로 인한 보호재의 처짐 또는 변형을 방지할 수 있고 충분한 강성의 단열재 또는 벽돌 등의 연전도율이 낮은 보호재를 사용함으로써 외기에 장기간 노출 시 방수층으로 전달되는 열을 최소화하여 방수층의 부착성능을 확보할 수 있다.

#### 4. LHCS 전문시방서 개정(안)

##### 4.1 LHCS 41 40 13 05 개정(안)

현 행	개 정 안	사유
제2조(자재) 2.1 점착겔-시트 복합방수 2.1.2 개량아스팔트 시트 (1) KS F 4917의 비노출 단층 방수용 A 중 2류에 적합한 것으로 하며, 두께기준은 2.1.1 점착겔-시트 복합방수에 따른다.	제2조(자재) 2.1 점착형 합성고무계 복합시트 2.1.2 시트방수재 (1) 경질 혹은 연질형 시트방수재는 아스팔트계 시트재, 합성고분자계 시트재등 관련 KS 품질기준에 적합한 것으로 하며, 두께기준은 2.1.1 점착겔-시트 복합방수에 따른다.	상위 시방의 정합성 확보 및 시트방수재 다양화

##### 4.2 LHCS 41 40 13 10 개정(안)

현 행	개 정 안	사유
제2조(자재) 2.1.2 개량아스팔트 방수시트 (1) KS F 4917의 비노출 단층 방수용 A 중 2류에 적합한 것으로 하며, 두께기준은 2.1.1 점착겔-시트 복합방수에 따른다.	제2조(자재) 2.1.2 시트방수재 (1) 경질 혹은 연질형 시트방수재는 아스팔트계 시트재, 합성고분자계 시트재등 관련 KS 품질기준에 적합한 것으로 하며, 두께기준은 2.1.1 점착겔-시트 복합방수에 따른다.	상위 시방의 정합성 확보 및 시트방수재 다양화

##### 3.3 LHCS 41 40 13 15 개정(안)

현 행	개 정 안	사유
3. 시공 (1) 폴리프로필렌(PP) 복합패널 방수층 보호재와 방수층과의 접착에 방해가 되는 방수층 표면의 습기나 이물질을 제거한다. ③ 폴리프로필렌(PP) 복합패널 보호재 시공 후 가능한 한 빨리 되메우기를 시행한다.	3. 시공 (1) 폴리프로필렌(PP) 복합패널 방수층 보호재와 방수층과의 접착에 방해가 되는 방수층 표면의 습기나 이물질을 제거한다. ③ 폴리프로필렌(PP) 복합패널 보호재 시공 후 늦어도 5일 내에 되메우기 또는 마감 시공이 이루어져야 하며, 5일이 넘을 경우 감독자와 협의하여야 한다.	되메우기 기한 추가

## 5. 소결

KCS 41 40 19와 LHCS 41 40 13 05는 모두 방수 성능을 강화하기 위한 시방서로, 방수층의 시공 절차, 품질 관리 및 재료 성능 기준 등을 다루고 있다. KCS는 일반 건축공사에 적합한 범용성을 제공하며 다양한 방수재와 공법을 수용할 수 있는 유연성을 지닌 반면, LHCS는 LH 공사에 특화되어 복합방수 공법을 통해 내구성과 방수 성능을 극대화하며 구체적인 시공 요건을 나타낸다. 이에, 본 장에서 제안한 개선 사항은 총 3건으로 다음과 같다.

### 1) 개량 아스팔트 시트 외 방수층의 다양화 검토

10종 시트방수에 대한 8가지의 성능평가 결과, 기존 점착젤을 도포한 복합방수 이외 자착식 형태의 시트방수도 적용 가능할 것으로 판단된다. 다만, 자착식 시트방수가 부착 형태로 구분되어 다양한 종류의 시트가 있는 바, 기존의 점착 복합방수의 기준 성능을 만족하는 자착식 시트 적용의 검토가 필요하다.

또한, 기존 비경질 점착젤을 콘크리트 바탕면에 도포한 후 개량 아스팔트 시트를 부착하는 ‘점착젤 시트 복합방수’와 같이, KS F 4935의 산업규격의 성능을 만족하는 비경질형 점착젤을 방수층 형성의 사전처리 자재로 규정한다면 후속으로 부착되는 시트를 다양화 할 수 있는 바, LHCS 41 40 13 05의 ‘점착젤 시트 복합방수’의 전문시방서 개정의 검토가 필요하다.

### 2) 점착젤 복합방수 시공 후 되메우기 기한 추가 검토

점착 복합 방수층은 지하구조물 외부에 부착되어 외기에 직접 노출되는 만큼, 시공 후 관리가 필요하나 LHCS 전문시방서에는 되메우기의 구체적인 기한이 명시되지 않아 방수층의 흘러내림, 파손 등의 하자가 있어 “5일 이내 되메우기 또는 마감 시공을 수행”한다는 국토교통부의 점착유연형 시트 방수의 표준시방서를 준용하여 되메우기 기한의 검토가 필요하다.

### 3) 부착형 방수층 보호재 이외 자립형 방수층 보호재 적용 검토

방수층 보호재의 경우, 기존 방수층 부착식의 폴리프로필렌(PP) 복합패널 방수층 보호재 이외 방수층과 절연되어 되메우기 시 토사의 과다토압, 흡수기 장기간 외기 노출로 인한 방수층 부착력 저하 등의 외부 요인으로 영향력을 최소화 할 수 있는 자립형 방수층 보호재 방식 등의 추가적인 검토가 필요하다.

## 제6장 결론

본 연구는 LH 공동주택 지하주차장 방수 성능 확보를 위한 지하주차장의 필요 요구항목을 도출하고 8종의 요구항목에 대한 기존 10종의 시트방수에 대한 성능 평가 결과를 종합적으로 분석하여, LHCS 전문시방서 외방수공법의 고도화를 위하여 3가지 개선방안을 제시하였다. 연구의 주요 결론은 다음과 같다.

### 1. 개량 아스팔트 시트 외 다양한 시트의 적용에 관한 개선방안

공동주택 지하주차장의 요구성능으로 도출된 8가지 성능항목에 대하여 10종의 기존 시트방수 자재의 성능을 상대 평가한 결과, 자착식 부착형태를 가진 단일계 시트방수 중 자착식 시트의 일부가 기존 점착계 복합방수 시트보다 종합적인 성능이 우수한 것으로 나타났다. 다만, 자착식 시트방수가 부착 형태로 구분되어 다양한 종류의 시트가 있는 바, 기존의 점착 복합방수의 기존 성능을 만족하는 자착식 시트 적용의 검토가 필요하다. 또한 성능 항목 중 산업표준규격(KS)에 명시되어 있는 시험방법을 준용한 경우 KS의 성능 기준값으로 상대비교 하였지만, 이는 고유 자재의 특성을 근거로 작성된 기준값으로 표준화된 기준이 될 수 없으므로 성능 결과를 바탕으로 한 자재 평가는 추가적인 검토가 필요하다.

비경질 점착겔을 콘크리트 바탕면에 도포한 후 개량 아스팔트 시트를 부착하는 ‘점착겔 시트 복합방수’와 같이, KS F 4935의 산업규격의 성능을 만족하는 비경질형 점착겔을 방수층 형성의 사전처리 자재로 규정한다면 후속으로 부착되는 시트를 다양화 할 수 있는 바, LHCS 41 40 13 05의 ‘점착겔 시트 복합방수’의 전문시방서 개정의 검토가 필요하다.

[표 6-1] 시트방수 설계지침

명칭	자재(공법)	
시트방수(10종) (지하주차장 최상층, 슬래브)	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 개량아스팔트 시트방수</li> <li>· 폴리우레탄 방수</li> <li>· 자착형 시트 방수</li> <li>· 도막-시트 일체형 복합방수</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 합성고분자계 보강복합형 시트 방수</li> <li>· 점착형 EVA 복합 시트방수</li> <li>· 단열 보완형 PVC 복합방수</li> <li>· CIA 조인트 이중보강 복합방수</li> </ul>
외방수(2종)	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 점착겔-시트 복합방수 (점착겔 + 개량 아스팔트 시트)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 점착형 합성고무계 복합시트 방수 (점착겔 + 개량 아스팔트 시트)</li> </ul>

## 2. 점착계 복합방수 시공 후 되메우기 기한에 관한 개선방안

지하주차장 외방수공법의 적용 이후 현장에서 빈번하게 발생하는 하자는 방수층의 흘러내림, 벗겨짐 또는 주름현상이다. 이와 같은 하자는 점착젤로 도포된 방수층을 시공한 후 단 시간에 되메우기가 시행되지 않아 장기적으로 외기에 직접 노출되어 콘크리트 바탕면과 점착젤 사이의 부착성능이 저하되어 발생하게 된다. 이렇듯 방수층의 손상을 최소화 하기 위해서는 되메우기 또는 마감작업의 신속한 시공이 필요하나 LHCS 전문시방서에는 되메우기의 구체적인 기한이 명시되지 않았다. 이에 KCS 표준시방서의 「점착유연형 시트 방수공사」(KCS 41 40 19)와의 정합성을 고려하여 “5일 이내 되메우기 또는 마감 시공을 수행”으로 되메우기 구체적인 기한을 추가하는 것에 대한 검토가 필요하다.

## 3. 자립형 방수층 보호재 적용에 관한 개선방안

2014년 이후 점착계 복합방수인 외방수공법이 반영된 공동주택 지하주차장의 하자발생 현황을 분석한 결과, 외벽, 슬래브 및 바닥에서 누수를 동반하지 않는 균열이 606건으로 전체 발생한 하자 795건 중 76%였다. 반면 누수를 동반한 균열은 159건으로 전체 하자 중 20%를 차지하였다. 누수하자의 주요 발생 부위는 방수재의 처짐 등 하자가 발생할 수 있는 접합부(보-슬래브, 슬래브-외벽)이다. 이는 콘크리트 구조물 설계 상 접합부는 복잡한 부위로 급격한 단면 변화 등으로 전단 균열 등 관통균열의 발생이 상대적으로 쉽고, 콘크리트 접합부에 시공된 방수층은 방수층 보호재의 부착 불량 등의 하자로 흘러내림, 들뜸 등이 발생하여 외부 지하수가 방수층 내부로 유입되어 발생한 균열을 통해 구조체 내부로 유입될 수 있다.

기존 방수층 보호재는 폴리프로필렌 패널로 구성되어 토사에 의한 마찰력이 적고 충분한 강성을 가진 자재를 사용하도록 전문시방서에서 명시하고 있다. 하지만 이는 방수층이 계면과의 충분한 부착성능이 확보 되었을 때 방수층 보호재로써 역할을 다 할 수 있다. 따라서, 기존 방수층 부착식의 폴리프로필렌(PP) 복합패널 방수층 보호재 이외 방수층과 절연되어 되메우기 시 토사의 과다토압, 혹서기 장기간 외기 노출로 인한 방수층 부착력 저하 등의 외부 요인으로 영향력을 최소화 할 수 있는 자립형 방수층 보호재 방식 등의 추가적인 검토가 필요하다.



---

## 참고문헌 References

### 연구보고서

LH 토지주택연구원(2019), 공동주택 지하주차장의 방수성능 유지관리 개선방안에 관한 연구

### 학술논문

고상웅, 김경훈, 김영삼, 신흥철, 김진만(2018). 지하 콘크리트 구조물 외벽 방수용 아스팔트 찰재 복합방수 공법의 흘러내림 특성에 관한 실험. 한국건설순환자원학회논문집, 6(4), 297-303.

김수연, 김병일, 오상근(2018). 콘크리트 구조물 균열 누수에 사용되는 주입형 보수재료의 부착 성능과 거동대응 성능평가의 상관성 분석 연구. 한국콘크리트학회 학술대회 논문집 30(2), 705-706.

김수연, 박종선, 오상근(2021). 점착형 복합 방수시트의 표준 (안) 제정을 위한 구조물 거동대응성능 시험방법 개선 및 검증 평가 연구. 한국건축사공학회지. 21(4), 377-386.

김윤희, 이선규, 최성민, 오상근(2009). 지하 외방수 자착식 시트의 성능설계를 위한 등급선정 방법에 관한연구. 한국구조물진단유지관리공학회 학술발표회 논문집, 13(2), 509-512.

박진상, 김동범, 박완구, 오상근(2018). 콘크리트 구조물에 사용되는 개량아스팔트 시트와 아스팔트 매스틱을 복합화한 방수공법의 누유현상 원인 분석, 18(4), 337-345

엄태호, 김영삼, 신흥철, 조재우, 김영근(2018), 온도조건에 따른 외벽방수용 아스팔트 찰재 재료의 흘러내림 특성에 관한 실험, 한국구조물진단유지관리공학회, 22(1). pp 1-5

송제영, 곽규성, 김정일, 오상근(2005). 지하구조물에 적용되는 역타설용 방수시트재의 성능 평가에 관한 연구. 한국콘크리트학회 2005년도 봄 학술발표회 논문집(2), 17(1-2)

최수영, 박완구, 이상욱, 김동범, 박진상, 김병일(2020). 접합부 형태별 온도 및 화학적 열화에 따른 복합방수공법의 접합인장강도 특성. 12(1), 99-107.

오상근, 최성민, 이정훈(2010). 저온 환경에서의 자착형 방수시트의 부착 특성에 관한 연구. 대한건축학회 논문집-구조계, 26(1), 113-120.

이수규, 김태호(2024). 공동주택 지하주차장 방수공법 현황 및 개선방향. 한국복합신소재구조학회 학술발표회, p.95

정현상, 박진상, 오상근, 임남기(2010). 콘크리트 구조물의 환경조건에 따른 자착형 방수시트의 적용성 평가에 관한 연구. 대한건축학회 논문집-구조계, 26(12), 159-166.

정현상, 오상근, 임남기(2011). 콘크리트 구조체 시공 현장 환경을 고려한 자착형 방수시트의 성능평가 지표 제안 연구. 대한건축학회 논문집-구조계, 27(11), 127-134.

### 학위논문

안영찬(2022), 자착식 방수시트와 점착식 복합방수시트의 부착 특성 분석, 국내석사학위논문 서울과학기술대학교 주택도시대학원, 서울

전준홍(2023), 비경화 고점착 복합방수재료의 점탄성 부착강도 성능평가 연구. 국내박사학위논문 서울과학기술대학교 주택도시대학원, 서울

### 시험규격

한국표준협회(2023), KS F 4911 폴리우레탄 시트

한국표준협회(2022), KS F 4917 개량 아스팔트 방수 시트

한국표준협회(2024), KS F 4934 자착식 방수 시트

한국표준협회(2023), KS F 4935 점착 유연형 고무 아스팔트계 누수보수용 주입형 실링재

유럽시험규격위원회(EOTA)(2018), EAD 030378-00-0605, Fully Bonded, Pre-applied Flexible Sheet for Waterproofing, 16. Crack bridging ability.

### 시방서

국토교통부(2021), 점착유연형 시트 방수공사(KCS 41 40 19)

국가건설기준센터(2021), 콘크리트구조 사용성 설계기준(KDS 14 20 30:2021)

한국토지주택공사(2020), 점착겔 시트 복합방수(LHCS 41 40 13 05)

한국토지주택공사(2020), 점착형 합성고무계 시트(LHCS 41 40 13 10)

한국토지주택공사(2020), 폴리프로필렌 복합패널 방수층 보호재(LHCS 41 40 13 15)

#### 기타자료

국토교통부(2016), “공동주택 지하구조물 누수 예방을 위한 방수설계 가이드라인”

국토교통 통계누리(모빌리티자동차국 자동차운정보험과, 자동차등록현황보고), 2024.06.01.

강지훈, 박철웅(2000). 공동주택 지하주차장 구조물의 균열과 예방. 쌍용건설 기술강좌3

