

Research Paper

콘크리트 바탕면의 함수조건이 폴리 우레탄계 방수재 하자에 미치는 영향

Effect of Water-Containing Conditions on Concrete Substrates on Defects of Polyurethane-based Waterproofing Materials

이건철¹ · 김재엽^{1*} · 김영민² · 홍성록³ · 김영삼⁴ · 신흥철⁴

Lee, Gun-Cheol¹ · Kim, Jae-Yeob^{1*} · Kim, Young-Min² · Hong, Sung-Rok³ · Kim, Young-Sam⁴ · Shin, Hong-Chol⁴

¹Professor, Department of Architectural Engineering, Korea National University of Transportation, Chungju, 27469, Korea

²Doctoral Course, Department of Architectural Engineering, Korea National University of Transportation, Chungju, 27469, Korea

³Senior Research Engineer, Construction Material Center, Korea Conformity Laboratories, Cheongwon-gu, Cheongju, 28115, Korea

⁴Chief Research Engineer, Construction Material Center, Korea Conformity Laboratories, Cheongwon-gu, Cheongju, 28115, Korea

*Corresponding author

Kim, Jae-Yeob

Tel : 82-43-841-5203

E-mail : kimjy67@ut.ac.kr

Received : November 9, 2022

Revised : December 23, 2022

Accepted : January 2, 2023

ABSTRACT

This study is to analyze the cause of the defects in polyurethane waterproofing, a material commonly used on the roof of buildings, and to determine if it has a relation with the curing conditions of humidity and temperature and the moisture content of the base structure. As a result, it was confirmed that the waterproofing coating did not adhere when the moisture content of the base plate was 10% or more. When the temperature and humidity conditions were 20°C and 80%RH, none of the properties deteriorate but when the temperature was 40°C, 60%RH, air bubbles were formed on the surface, and at 40°C and 80%RH, the basic properties of the dry coating film were less than the KS F 3211 performance standard.

Keywords : polyurethane waterproofing, substrate condition, curing conditions, absolute humidity, bonding strength

1. 서론

건물에 대한 내구수명 100년을 목표로한 구조물의 성능향상에 관한 연구가 활발히 진행되고 있는 가운데 건설공사에 있어 방수공사의 하자는 건물의 내구수명을 단축시키고, 거주자의 쾌적도를 낮추는 등의 문제를 야기시켜 건물의 가치상승에 부정적 영향을 끼칠 수 있는 주요 원인으로 작용한다. 특히, 방수하자로 인한 누수 복구공사의 경우 초기 공사비 대비 30% 이상의 추가적인 비용이 소요된다고 보고되고 있어 방수공사의 초기 품질 확보 및 유지관리는 건축공사 전반에 걸친 중요한 관리항목이라고 볼 수 있다.

한편 옥상 방수로 많이 적용되는 폴리 우레탄 방수재의 우레탄 수지는 분자 중에 우레탄 결합을 가지고 있는 고분자 화합물로서 폴리이소시아네이트(Polyisocyanate)와 폴리올(Polyol)을 주원료로 한 중부가반응의 합성체이며, 폴리 우레탄(Polyurethane)은 화학적으로 고분자 사슬 내에 우레탄 결합(~NH-COO~)을 가지므로 인장강도, 인열강도, 신율, 내마모성 등의 기계적 강도가 우수한 것으로 알려져 있다.

그러나 이러한 방수재의 경우라도 시공단계에서의 외부환경조건 이거나 바탕면의 함수상태 등에 따라 하자가 발생할 수 있는데, 하자발생의 주요 원인으로서는 방수층 파단, 방수층 부풀음(Air pocket) 현상, 외기온 변화에 따른 수축·팽창 응력으로



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

인한 방수층 박리 및 들뜸 등이 대표적인 사례이다[1,2]. 이 중 방수층 부풀음 현상은 방수공사 하자중 가장 일반적인 하자 유형으로써 방수재 시공 전 콘크리트 바닥 표면의 건조 상태에 따라 좌우되며, 표면상으로 건조되었더라도 시공 후 콘크리트 내부에 존재하는 수분이 증발과정에서 수증기압을 형성시켜 부풀음을 발생시키는 것으로 알려져 있다. 특히, 방수공정에서는 방수재의 도포에 앞서 바탕면의 레이턴스, 취약층, 돌기물, 거푸집 박리제, 그 밖의 이물질 등의 제거를 목적으로 그라인딩 또는 고압수 세척을 실시하고 있는데 이런 과정들이 콘크리트 내부의 함수율을 증가시키는 원인이 되기도 한다.

이와 관련하여 Ko et al.[3] 은 방수층 부풀음을 유발하는 콘크리트 층의 문제점으로 콘크리트 강도 부족, 콘크리트면의 함수율 과다, 콘크리트 공극 및 표면요철 등을 언급하였는데, 슬래브나 누름 콘크리트 면과 같은 부위에서는 블리딩이 발생하기 쉽고, 재료 분리가 발생한 경우 표면 경도 부족 및 모세관 공극 증가로 함수율이 높아질 수 있음을 시사하였다.

한편, 방수재 시공 전 콘크리트 바탕면의 함수상태에 대한 기준으로 표준시방서[4]에서는 8% 이하가 되도록 하고 있고, KS F 9003[5]의 도막 방수재 도포방법 시공 표준에서는 모르타르 수분계로 표면 함수율이 10% 이하임을 확인하거나 투명 비닐시트로 콘크리트 표면을 덮고 주변을 실링하여 16시간이 경과 후 수분에 의한 결로가 없는 것을 확인 하도록 하고 있으나, 시공현장 조건에서는 보다 다양한 변수가 존재하게 된다.

따라서, 본 연구에서는 방수공사 과정에서 방수재 도포 전 콘크리트 바탕면의 함수상태가 방수재 표면의 품질에 미치는 영향을 실험적으로 검증하기 위하여 바탕면의 함수조건, 양생 환경조건에 따른 방수재 표면의 육안관찰 및 기계적 성능평가를 진행하였다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

본 연구는 폴리 우레탄 방수재의 하자원인을 분석하기 위하여 시공조건 중 바탕판의 함수조건, 도막 양생 시의 온습도 조건에 따라 부착강도, 인장강도 등의 역학적 성능을 평가하였으며 실험계획은 Table 1과 같다. 양생 시 온습도 조건은 시공 시 일반적 기상조건인 온도 0, 20 및 40°C로 하였고, 각 상대습도는 20, 60 및 80% RH 수준으로 설정하였다. 바탕판의 함수상태는 기건상태, 표건상태, 습윤상태로 하였다. 또한 각 조건에 대한 바탕판의 함수조건을 정량화하기 위하여 현장에서 일반적으로 사용하는 K사의 모르타르 수분계(Hi-520-2)로 함수율 측정하였으며 7일간의 건조 질량변화를 측정하여 함수변화에 대해 비교하였다.

본 연구에 사용된 폴리우레탄 방수재는 KS F 3211[6] 건설용 도막방수재 중 우레탄 고무계 1타입, 2타입 각 1종을 선정하여 실험을 하였다. A의 경우 옥외로 주로 사용하는 방수재이며 B의 경우 신장율이 높은 방수재이다.

Table 1. Experimental design

Substrate condition	Curing condition		Evaluation items
	Temperature(°C)	Relative Humidity(%)	
Dry(D)	0	20	• Visual inspection & Microscope(×40)
Surface dry(SD)	20	60	• Bonding strength(MPa)
Wet(W)	40	80	• Tensile strength(MPa)
			• Elongation percentage(%)

2.2 시험체 제작방법

바탕판으로 사용되는 모르타르 시험체는 내부 함수상태에 따른 영향을 검토하기 위하여 $\varnothing 150\text{mm} \times 50\text{mm}$ 원통형으로 제작하여 28일간 수중 양생을 실시하였다. 바탕판은 기건상태, 표면상태, 습윤상태로 건조하여 사용하였으며 바탕판의 함수상태에 대한 제작방법은 Table 2와 같다. 바탕판의 함수조건을 확인하기 위하여 바탕판을 24시간 침지 후, 1일, 3일, 6일 및 7일 건조 후의 질량변화를 측정하여 건조일수에 따른 함수변화를 확인하였다. 또한 표면 함수조건에 따른 부착강도를 확인하기 위하여 건조조건별 바탕판 상부면에 우레탄 방수재를 도포하였으며, 사용된 우레탄 방수제의 특성은 Table 3과 같다. 양생환경조건에 따른 기초물성을 평가하기 위하여 동일한 조건에서 시료를 제작하여 7 수준으로 각각 다른 환경조건을 설정한 챔버에서 7일간 양생을 실시하였다. 7일 양생 후 표면상태, 기포발생의 육안관찰과 부착강도, 인장강도를 측정하였다.

Table 2. The moisture content of the base plate

Substrate condition(symbol)	Procedure
Dry(D)	Wipe the surface after immersion for 7 days and drying 1 day
Surface dry(SD)	Wipe the surface after immersion for 7 days and drying 1 hour
Wet(W)	Wipe the surface after immersion for 7 days

Table 3. Polyurethane waterproofing membrane coating

Polyurethane waterproofing	Coating type	Properties
A	I type	Tensile strength : 2.5MPa, Elongation: 500%, Exposed outdoor
B	II type	Tensile strength : 2.0MPa, Elongation: 550%

2.3 시험방법

2.3.1 부착강도

바탕판과 도막간의 부착강도를 평가하기 위하여 KS F 9001 콘크리트용 에폭시 수지계 방수·방식도료 도포방법 시공표준 부착강도 시험방법[7]에 따라 (40×40)mm의 어태치먼트를 에폭시 수지 접착제로 접착한 후 충분한 강도가 확보될 때까지 경화시켰다. 이후 어태치먼트 주변을 바탕판에 닿을 때까지 힘을 파고 현장용 단축 인장시험 장치(유압식)로 부착강도를 측정하였다.

2.3.2 인장강도

양생 환경조건별 도막의 인장성능을 평가하기 위하여 KS M 6518 인장시험에 규정하는 아령형 3호로 시험편을 샘플링하여 인장강도 및 신장율을 측정하였다. 측정에 있어 물림간 간격이 60mm가 되도록 시험편을 설치하고, 500mm/min의 인장속도로 시험편이 파단될 때 까지 인장하여 최대하중을 측정하였다. 인장강도와 신장율 평가방법은 각 식 (1), (2)로 나타내었다.

$$T_B = \frac{P_B}{A} \quad (1)$$

여기에서

T_B : Tensile strength(MPa)

P_B : Maximum load(N)

A : Section area(mm²)

$$E_B (\%) = \frac{(L_B - L_0)}{L_0} \times 100 \tag{2}$$

여기에서

E_B : Elongation at failure(%)

L_B : Distance between marks at failure(mm)

L_0 : Distance between marks(mm)

3. 실험결과 및 고찰

3.1 바탕판 함수상태

Figure 1은 건조일수에 따른 바탕면의 함수상태를 정량화하기 위하여 질량변화 결과를 나타낸 것이고, Table 4는 모르타르 수분계를 사용하여 바탕면의 함수율을 측정한 결과이다. 시험체 질량변화는 7일까지 약 1.3% 정도 감소하는 경향을 보였으며, 자연건조 상태에서 1일 이후 수렴하는 경향을 나타내었다.

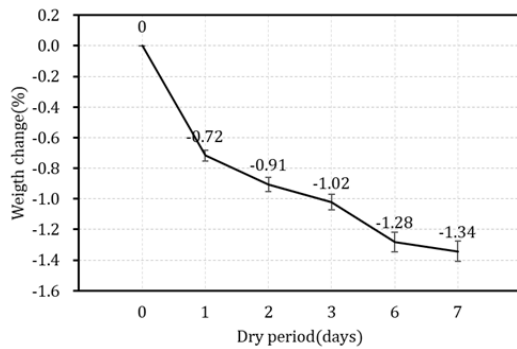


Table 4. Moisture content

Drying period	Moisture content(%)
1day	5.8
1hr	8.2
Immediately	10.2

* Model : Hi-520-2



Figure 1. Variance in base plate according to drying period

3.2 육안관찰

Figure 2 및 Figure 3은 양생 환경조건(D, SD, W)에 따른 방수재 표면상태를 육안관찰한 결과이다. 먼저 바탕판의 함수조건, 방수재 종류에 상관없이 20°C 에서는 부풀음 또는 기포가 발생하지 않았다.

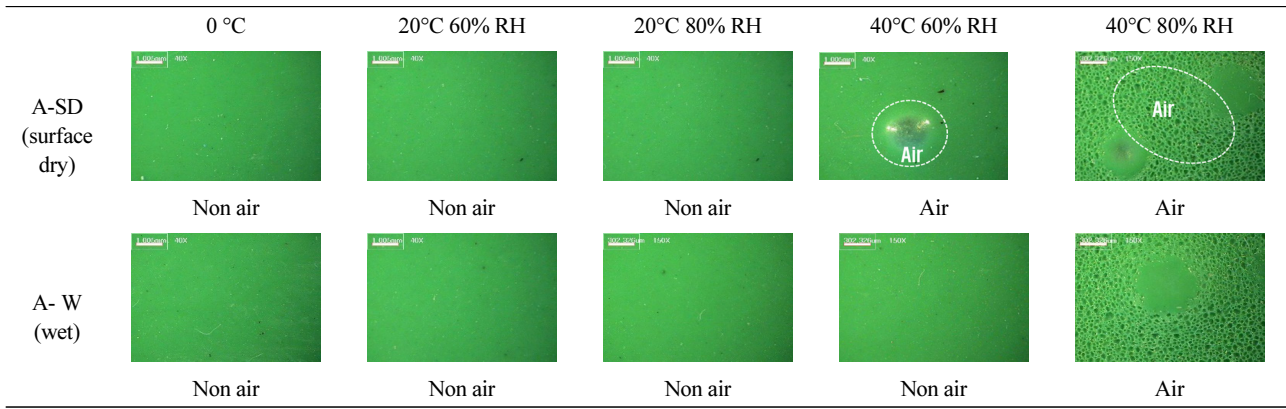


Figure 2. Surface depending on curing condition (Type A)

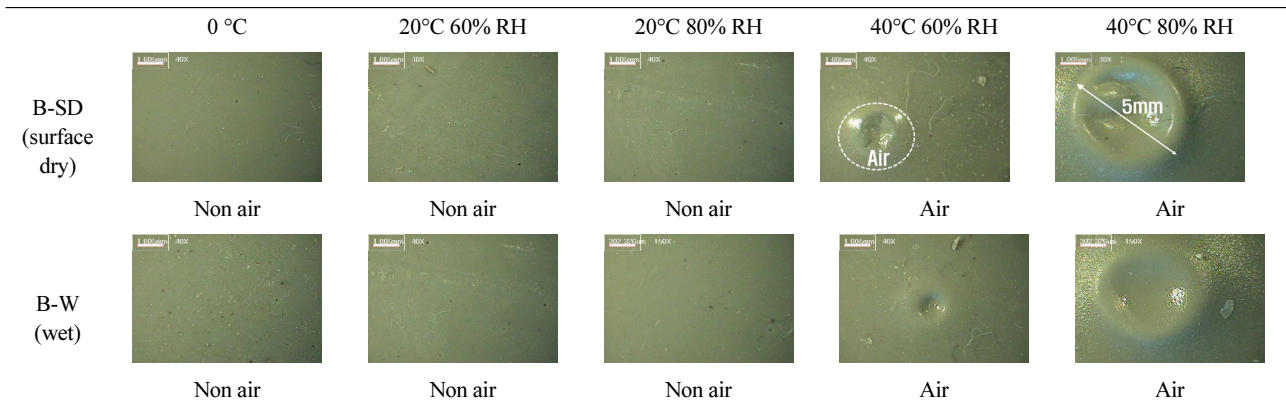


Figure 3. Surface depending on curing condition (Type B)

그러나 40°C 온도에서 60% RH 및 80% RH로 양생한 경우는 직경 2~5mm의 기포발생이 확인되었다. 특히 40°C 80% RH 경우 표면에 미세한 기포가 전반적으로 발생하여 사용자 측면에서 높은 하자발생 환경조건임을 확인하였다.

일반적으로 사용되는 습도는 상대습도로써 공기중 수증기량을 의미하는 절대습도는 다음 Table 5와 같다. 특히 동일한 상대습도라도 온도가 높으면 절대습도는 약 3배 정도 증가하는 것으로 나타났으며 이로 인하여 우레탄 경화 시 수분이 영향 인자로 작용하여 기포가 발생[8]한 것으로 판단된다.

Table 5. Absolute humidity according to curing condition

Curing condition	Absolute humidity(g/kg)	Curing condition	Absolute humidity(g/kg)
20°C 20% RH	2.88	40°C 20% RH	9.20
20°C 60% RH	8.73	40°C 60% RH	28.40
20°C 80% RH	11.70	40°C 80% RH	38.50

3.3 부착강도

Table 6과 Figure 4는 바탕판 함수조건에 따른 부착강도 측정결과를 나타낸 것이다. 바탕판 함수조건 중 기건 상태일 경우 양생조건과 관계없이 KS F 3211 부착성능기준인 0.7MPa 이상을 만족 하였다. 하지만 습윤상태일 경우 양생조건 중 고온 고

습조건에서 바탕판에 도막의 부착이 이뤄지지 않아 강도측정이 불가능하였다.

Table 6. Bonding strength according to the moisture content of the base plate (unit : MPa)

Substrate condition	Curing condition						
	0°C	20°C 20% RH	20°C 60% RH	20°C 80% RH	40°C 20% RH	40°C 60% RH	40°C 80% RH
Coating A							
A-D	1.067	1.054	0.971	0.908	0.998	0.952	0.915
A-SD	0.860	0.771	0.910	0.908	0.854	0.910	0.723**
A-W	0.319	0.204	N/A*	N/A	0.335	N/A	N/A
Coating B							
B-D	1.046	1.019	0.944	0.760	0.940	0.890	0.829
B-SD	0.765	0.806	0.758	0.760	0.765	0.808	0.821
B-W	0.317	0.235	N/A	N/A	0.358	N/A	N/A

* N/A : not attached to base plate, ** __ : fail

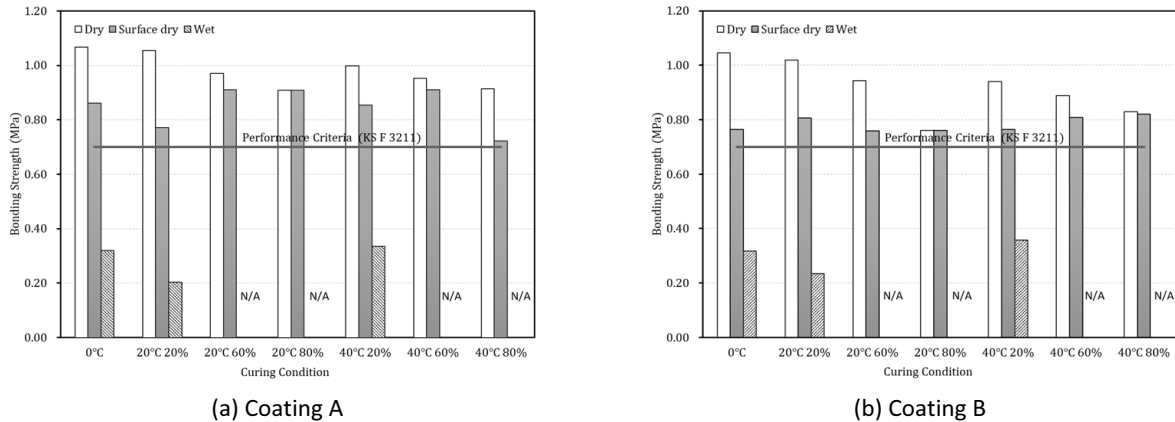


Figure 4. Bonding strength(MPa)

Figure 5는 탈락된 방수재면을 현미경(40배율)으로 관찰한 것으로 기포발생을 확인 할 수 있었다. 이를 통해 바탕판인 구조물 표면이 습윤인 경우 도막 부착 시 하자발생율이 높아 최소 1일 이상 바탕면의 건조가 필요하다. 또한 현장에서 모르타르 수분계로 측정하여 함수율이 8%이하로 나타났을 때 방수재 시공이 가능할 것으로 판단된다.

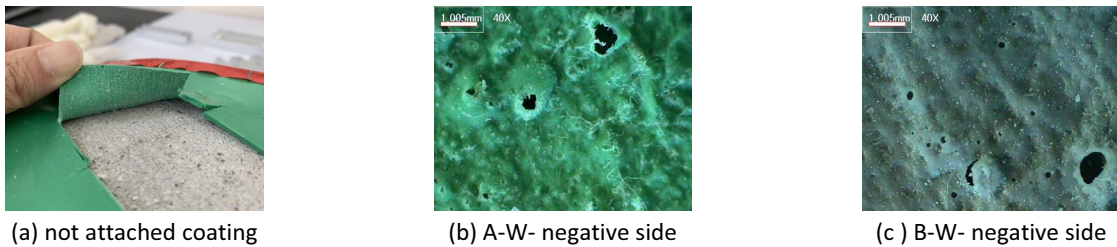


Figure 5. Adhesive failure side

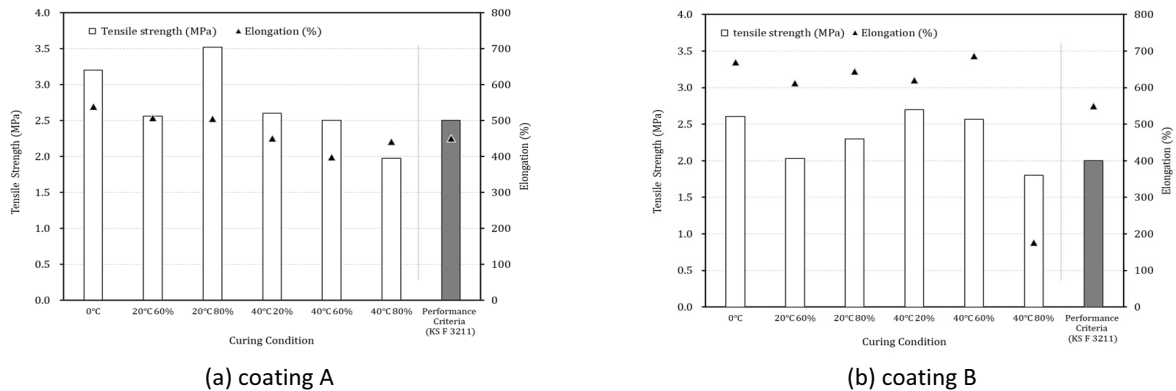
Table 7. Bonding strength according to the moisture content of the base plate

		Curing condition						Performance criteria
		0°C	20°C 60% RH	20°C 80% RH	40°C 20% RH	40°C 60% RH	40°C 80% RH	
Coating A	Tensile strength(MPa)	3.2	2.6	3.5	2.6	2.5	<u>2.0</u>	2.5
	Elongation(%)	538.5	507.5	505.1	<u>450.0</u>	<u>398.1</u>	<u>441.2</u>	450.0
Coating B	Tensile strength(MPa)	2.6	2.0	2.3	2.7	2.6	<u>1.8</u>	2.0
	Elongation(%)	669.6	612.3	644.0	621.0	687.1	<u>176.3</u>	550.0

* underbar : fail

3.4 인장강도

Table 7과 Figure 6은 양생조건에 따른 폴리 우레탄 방수재 도막의 인장강도 측정결과를 나타낸 것이다. KS F 3211 1타입인 A시료의 경우 양생조건 40°C 80% RH에서 인장강도와 신장율을 모두 성능기준 2.5MPa, 450%를 만족하지 못하였고 40°C 60% RH에서 인장강도는 만족하였으나, 신장율은 만족하지 못하였다. KS F 3211 2타입인 B시료의 경우 양생조건 40°C 80% RH에서 인장강도와 신장율을 모두 성능기준 2.0MPa, 550%를 만족하지 못하였다. 양생조건 0°C에서 A, B 시료 모두 인장강도, 신장율이 성능기준을 만족하는 것으로 나타났다.


Figure 6. Tensile strength(MPa) and Elongation(%)

4. 결론

본 연구는 방수공사의 하자 원인을 실험적으로 검증하기 위하여, 시공조건 중 바탕면 함수상태, 양생조건에 따른 육안관찰, 부착강도, 인장강도, 신장율을 평가하였으며, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 양생조건에 따른 표면상태를 육안관찰한 결과 바탕판의 함수조건, 시료의 종류에 관계없이 20°C에서는 기포가 발생하지 않았으나 40°C 60% RH, 80% RH에서는 시료 A, B 모두 기포발생이 확인되었다. 40°C 80% RH의 경우 전반적으로 미세한 기포가 발생됨에 따라 높은 하자발생 환경조건임을 확인하였다.
- 2) 바탕판 함수조건에 따른 부착강도 측정결과 기건상태일 때와 양생조건과 관계없이 KS F 3211 부착성능기준인 0.7MPa 이상을 만족하는 것으로 나타났다. 하지만 습윤상태일 경우 고온 고습조건에서 양생한 시험체는 바탕판에 도막의 부착이 이뤄지지 않아 강도측정이 불가능하였다. 따라서 표면의 수분은 최소 1일 이상 건조가 필요하며 현장에서 모르타

르 수분계로 8%이하를 확인하였을 때에 방수재 시공이 권장된다.

- 3) 폴리 우레탄 방수재 도막의 양생조건에 따른 인장강도를 측정된 결과 40°C 80% RH에서 인장강도와 신장을 성능기준을 만족하지 못해 하절기의 고온고습조건에서 충분한 우레탄 반응을 통한 도막의 물성확보를 위해서는 시공 시 현장 양생조건 관리가 필요할 것으로 판단된다.
- 4) 폴리 우레탄 방수재의 하자원인을 분석하기 위하여 시공조건 중 바탕판의 함수조건, 도막 양생시의 온습도 조건에 따라 부착강도, 인장강도 등의 역학적 성능 평가결과 바탕판의 습윤조건, 외기조건 중 40°C 60% RH 조건에서 초기하자 발생이 높을 것으로 판단된다.
- 5) 하자의 주요원인은 콘크리트 내부에 존재하는 습기에 의한 것으로 추정되며 보다 정밀한 검증을 위해서는 우레탄 방수재 양생조건에 따른 도막에 대한 결합구조(FTIR), 고분자량 분석(GPC) 등의 분석이 필요할 것으로 판단된다.

요약


본 연구에서는 보편적으로 건물의 옥상 등에 사용되는 폴리 우레탄 방수재의 바탕구조물의 함수정도와 시공환경조건에 따른 하자원인을 분석하기 위한 것으로 바탕판의 함수조건에 따른 부착강도, 표면상태를 육안관찰하였고, 온도, 습도의 양생조건에 따라서 방수재 도막의 기계적 성능을 평가하였다. 실험결과 바탕판의 함수상태가 10%이상일 때 도막의 부착이 이뤄지지 않음을 확인하였고, 온습도 조건이 20°C, 80% RH일때는 기초물성이 모두 확보되었으나, 40°C, 60% RH일 때 표면에 기포가 관찰되었으며, 40°C, 80% RH일 때 건조도막 기초물성이 KS F 3211 성능기준이하로, 우레탄 방수재 도포에 있어 시공환경조건에 따른 하자원인 중 바탕판의 함수조건 및 양생 시 절대습도가 중요한 요인임을 확인하였다.


키워드 : 우레탄 방수재, 함수조건, 양생조건, 절대습도, 부착강도

Funding


This research was supported by Korea Institute for Advancement of Technology(KIAT) grant funded by the Korea Government(TOTIE)(P0008500, The Competency Development Program for Industry Specialist).


ORCID


Gun-Cheol Lee,  <https://orcid.org/0000-0003-4743-6373>

Jae-Yeob Kim,  <https://orcid.org/0000-0001-9660-9897>

Young-Min Kim,  <https://orcid.org/0000-0001-5096-8309>

Sung-Rok Hong,  <http://orcid.org/0000-0002-6945-2991>

Young-Sam Kim,  <http://orcid.org/0000-0001-9328-7175>

Hong-Chol Shin,  <http://orcid.org/0000-0001-7377-1154>

References

1. Shin HJ. A Study on the defect causes type for poly-urethane waterproofing in roof. Journal of the Korea Institute of Construction Engineering and Management. 2005 Jun;6(3):128-34.

2. Kim GR. A study on the prevention of defects for the roof waterproofing-focusing on urethane waterproofing [dissertation]. [Kunsan (Korea)]: Kunsan National University; 2019. 83 p.
3. Ko JS, Yun JW, Lee SB, Lee MW. Prevention technology for air pocket of membrane waterproofing in concrete structures. Magazine of the Korea Concrete Institute. 2007 Jul;19(4):59-65. <https://doi.org/10.22636/MKCI.2007.19.4.59>
4. Korean construction specification, General waterproofing [Internet]. Goyang (Korea): Korea institute of civil engineering and building technology. 2021 - [cited 2021 Aug 13]. Available from: <https://www.kcsc.re.kr/StandardCode/Viewer/40474/414001>
5. KS F 9003 : 2017 Standard coating method of liquid-applied waterproofing membrane [Internet] Eumseong (Korea): Korean Agency for Technology and Standards. 2017 - [cited 2017 Oct 31]. Available from: <https://e-ks.kr/streamdocs/view/sd;streamdocsId=72059265886901342>
6. KS F 3211 : 2021 Waterproofing membrane coating for construction [Internet] Eumseong (Korea): Korean Agency for Technology and Standards. 2021 - [cited 2021 Jan 25]. Available from: <https://e-ks.kr/streamdocs/view/sd;streamdocsId=72059205343666033>
7. KS F 9001: 2019 Standard coating method of epoxy resin paints for waterproof and anticorrosion of concrete structures [Internet]. Eumseong (Korea): Korean Agency for Technology and Standards. 2019 - [cited 2019 Dec 31]. Available from: <https://e-ks.kr/streamdocs/view/sd;streamdocsId=72059198500814254>
8. Chae WB, Choi ES, Park SJ, Oh SK, Seo SK, A study on the performance evaluation of surface finishing material for parking slab mixed with cementitious powder component to polyurethane resin. Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction. 2011 Jan;27(1):111-28.