

# 콘크리트와 도막 방수층 계면에 발생하는 수증기압에 관한 실험적 연구

## An Experimental Study of Water Vapor Pressure that occurs at the Interface of a Fluid-Applied Membrane and Concrete

고진수\*  
Ko, Jin-Soo

김문희\*\*  
Kim, Mun-Hee

이성복\*\*\*  
Lee, Sung-Bok

신윤호\*\*\*\*  
Shin, Yun-Ho

### Abstract

Of the total defects that have occurred recently in the Korean construction market, over 30% are caused by the construction of defective waterproofing, and the phenomenon of air pockets in the waterproofing layer, which is caused by the concrete vapor pressure, is known to be the primary cause of defective waterproofing.

Accordingly, in this study the theory about the relationship between water pressure and temperature as well as the damp-proofing volume of concrete and, then, the change of vapor pressure volume was measured and analyzed by making a test sample after spraying a dampness remover and a waterproofing material to a prepared test body.

As a result of measuring the water vapor pressure for the surface temperature of the waterproofing layer with the fluid-applied membrane temperature based on about 10°C, which is the average temperature of Seoul, it was found that first, the fluid-applied membrane elevated up to about 40°C, and the water vapor pressure generated from the fluid-applied membrane was about 0.3kgf/cm<sup>2</sup> when the surface temperature of the waterproofing layer was raised up to about 80°C.

Second, when the fluid-applied membrane temperature of the waterproofing layer was raised from 30°C to 35°C, about 0.1kgf/cm<sup>2</sup> of water vapor pressure was generated, and when supplying a thermal source to raise the fluid-applied membrane temperature of the waterproofing layer from 35°C to 40°C, approximately 0.05kgf/cm<sup>2</sup> of water vapor pressure was generated.

키워드 : 도막방수, 수증기압, 부풀음현상

Keywords : fluid-applied membrane, Water Vapor Pressure, air pockets

## 1. 서론

### 1.1 연구의 목적

건축물의 방수공사는 사용자의 거주성과 쾌적성 그리고 건축물의 안전성 관점에서 중요한 공종이나 건설공사에서 발생하는 하자의 약 30% 이상을 차지하고 있다. 방수공사의 하자는 대부분 시공 부주의로 발생되어 사전대비가 가능하나, 도막방수층과 콘크리트 계면에서 발생하는 방수층의 부풀음 현상(Air Pocket)은 자연발생적인 현상으로 대안을 찾기가 어려운 하자이다.

콘크리트 속에는 다양한 형태의 공극들이 존재하고 있으며, 그 중에서 모세관 공극이 대부분을 차지한다. 그 크기는 약 1/500~10 $\mu$ m정도로, 보통 콘크리트에 0.1~0.2cm<sup>3</sup>/g의 공극이 존재하고 있다. 이와 같이 콘크리트 내부의 공극은 배합과정에서

포함된 배합수와 강우, 강설에 의해 흡수된 수분들을 포함하고 있어서 표면이 건조한 상태에서 방수공사를 했다 하더라도 사용환경에 따른 습도 차이에 의해 도막방수층 계면에 수증기압이 발생되어 방수공사의 하자로 이어지고 있다.

따라서, 본 연구에서는 콘크리트 구조체와 도막 방수층 계면에서 발생하는 수증기압을 측정하고 그 변동 추이를 파악하여, 향후 콘크리트 구조물의 방수공법 적용 기준에 대한 기초 자료로 제시하고자 한다.

### 1.2 연구의 방법 및 절차

본 연구는 콘크리트 구조체와 도막 방수층 계면에서 발생하는 수증기압 변화에 관한 연구로서 수행방법은 다음과 같다.

- ① 콘크리트의 공극율과 수증기압과 온도와의 관계에 대한 이론을 고찰하고자 한다.
- ② 외기에 노출되어 있는 콘크리트 구조물에 탈기구와 도막 방수재를 도포하여 외기온도 변화에 따른 수증기압을 측정한다.

\* (주)미림 대표이사, 공학박사

\*\* (주)케미콘 기술연구소 책임연구원, 공학석사

\*\*\* 대한주택공사 주택도시연구원 수석연구원, 공학박사

\*\*\*\* (주)미림 기술연구소, 공학석사

③ 실험실 내에서 콘크리트 바탕 시험체 위에 탈기구와 도막 방수재를 도포하여 열원의 크기에 따른 콘크리트 바탕 시험체의 표면, 계면, 콘크리트 내부 온도 변화와 수증기압과의 상관관계를 측정토록 한다.

## 2. 콘크리트의 공극율과 수증기압에 대한 이론적 고찰

본 장은 콘크리트의 공극율과 수증기압에 관한 이론적 고찰로서 콘크리트의 전체 공극율과 자유 공극율 및 수증기압과 온도와의 관계를 고찰하고자 한다.

### 2.1 콘크리트의 공극율과 물 흡수 계수<sup>1)</sup>

건축 재료를 물에 침지시킨 상태에서 진공을 가하면 시험체 내부에 존재하는 공기가 빠져나오고 그 자리를 물이 채우게 되는데, 이러한 방법으로 산출한 공극율을 “전체 공극율” 이라 하고, 단지 모세관 현상을 통한 물 이동에 관여하는 공극율을 “자유 공극율” 이라고 한다.

아래의 그림 1은 콘크리트의 자유 공극율과 물흡수 계수를 나타내는 것으로, 물시멘트비에 차이가 있으나, 콘크리트 내부에 약 8% 내·외의 자유 공극이 존재하는 것을 알 수 있으며, 물시멘트비가 높게 제작된 콘크리트일수록 자유공극율과 물흡수 계수가 점차 증가한다. 즉 물시멘트비와 물흡수성능은 상호 비례관계에 놓여 있는 것을 알 수 있다.

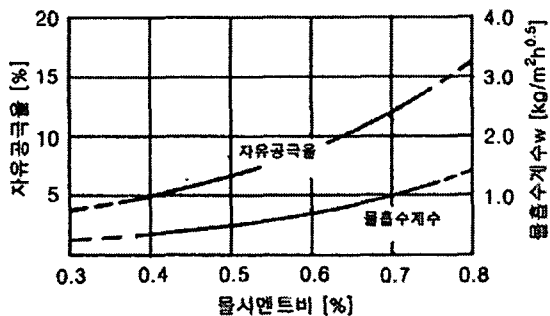


그림 1. 콘크리트의 자유 공극율과 물흡수 계수

### 2.2 수증기압과 온도와의 관계

우리나라 서울지역의 평균 일교차는 약 6~10℃며, 일년 중 일교차가 크게는 약 16℃까지 차이가 나는 것으로 조사되었다.<sup>2)</sup>

표 1. 서울지역의 월별 평균 일교차

구분(월)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	평균
일교차(℃)	7.7	7.6	8.7	9.2	9.9	8.2	6.2	6.4	7.1	8.8	8.3	7.3	6~10

그리고 여름철 직사광선을 받는 방수층의 표면의 경우에는 약 60℃까지 온도가 상승한다. 아래의 그림은 수증기압과 온도와의 관계를 나타내는 것으로, 방수층 표면에서 발생하는 온도차를 그림에 대입할 경우, 약 0.05N/mm<sup>2</sup>의 수증기압이 발생하는 것을 알 수 있다.

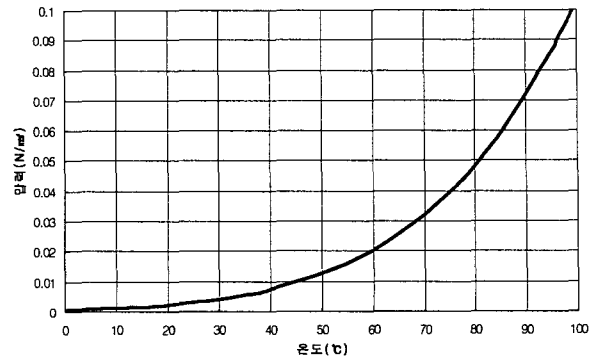


그림 2. 수증기압과 온도와의 관계

## 3. 실험계획 및 방법

### 3.1 실험계획

본 연구의 실험은 온도차에 따른 콘크리트와 도막방수층 계면사이에서 발생하는 수증기압을 규명하는데 그 목적이 있다. 먼저, 실험 I 은 외기에 노출되어 있는 콘크리트 바탕 위에 탈기구와 시료 A의 도막 방수재 2mm를 도포하여 외기온도변화에 따른 수증기압을 측정하였다.

다음으로, 실험 II는 실험실내에서 콘크리트 바탕 시험체 위에 탈기구와 시료 A, B의 도막 방수재 2mm를 각각 도포하여 실험에 쓰일 바탕 시험체를 제작한 후, 열원의 높낮이를 조절함으로써 바탕 시험체의 표면온도, 계면온도, 콘크리트 내부온도 변화와 수증기압과의 상관관계를 측정하였다.

표 2. 실험계획

시험체 종류	평가항목	측정방법
폴리 우레탄 도막 방수재(A)	수증기압	U자관 압력계
	표면온도	적외선 온도계
폴리 우레아 도막 방수재(B)	계면온도	T-type Thermocouple
	콘크리트 내부온도	

### 3.2 시험체 제작 및 사용재료

#### 3.2.1 시험체 제작

실험 II에서 사용 될 바탕 시험체는 물시멘트비 50%, 시멘트:모래:자갈의 중량비를 1 : 2.5 : 3으로 하여 제작하였으며, 탈형 후 28일 동안 수중 양생을 시켜 시험체로 사용하였다. 시험체를 온도 20±5%, 습도 60±5%의 실에서 7일간 방치시킨 후 그 위에 탈기구와 A, B 두 종류의 도막 방수재를 각각 2mm 두께로 도포하여 일반 대기조건에서 양생시켰다.

#### 3.2.2 사용재료

본 실험에서는 국내 A사에서 생산되는 폴리우레탄 조성물과 B사에서 생산되는 폴리우레아 조성물을 사용하였으며, 실험 I에서는 시료 A를 실험II에서는 시료 A, B를 사용하였다. 사용재료의 물리적 성질은 다음과 같다.

표 3. 사용재료의 물성

구분	A사 폴리우레탄 조성물	B사 폴리우레아 조성물
외관	칼라 / 2액형	칼라 / 2액형
성분	폴리우레탄 조성물	폴리우레아 조성물
비중	1.5±0.1	1.05±0.05
점도	90±5 KU/25℃	500±100 CPS/25℃
고형분	98%	99%
가사시간	50±10(분)	3초 이내
경화시간	24~48(시간)	1분 이내

### 3.3 실험방법

#### 3.3.1 수증기압 변화량 측정방법

도막 방수층의 온도 및 경시변화에 따른 콘크리트 구조체와 도막 방수층 계면사이에서 발생하는 수증기압의 변화량을 측정하기 위해서 바탕 시험체 위에 탈기구와 U자관을 설치하였다. 수증기압의 측정은 U자관에 물을 주입하여 물의 높이차에 의한 압력 변화로 나타내었으며, 측정결과를 바탕으로 수증기압은 다음 식에 의해 산출하였다.

$$P_1 - P_2 = (r - r_1)h \quad (1)$$

- 여기서, r : 측정 용액체의 비중량(N/mm<sup>3</sup>)
- P1, P2 : 양단에 걸리는 압력(N/mm<sup>2</sup>)
- r1 : 압력을 측정하는 액체의 비중량(N/mm<sup>3</sup>)
- h : 액주차(mm)

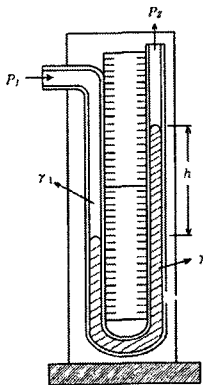


그림 3. U자 압력계

#### 3.3.2 계면, 표면 및 콘크리트 깊이별 온도 측정방법

콘크리트 구조체와 도막 방수층 계면사이의 온도변화 및 콘크리트 깊이별 온도변화를 측정하기 위해서 탈기구 주위 2곳에 T-type Thermocouple 온도센서를 설치하여 YOKOGAWA사의 온도 측정장치를 사용하여 계면온도를 측정하였으며, 콘크리트 깊이별 온도변화는 콘크리트 타설 전에 표면으로부터 1~6cm 깊이에 각각의 T-type Thermocouple 온도센서를 설치하여 위와 같은 방법으로 온도 변화를 측정하였다. 경시변화에 따른 방수층의 표면온도 변화는 FLUKE사의 적외선 온도계를 사용하여 대표점 4곳의 측정치를 평균값으로 나타냈었다. 또한, 실험 II에서 시험체 표면온도를 변화시키기 위해서 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105, 120, 135, 150, 160cm의 높이에서 램프를

사용하여 약 30분 간격으로 일정량의 열원을 공급하였다.

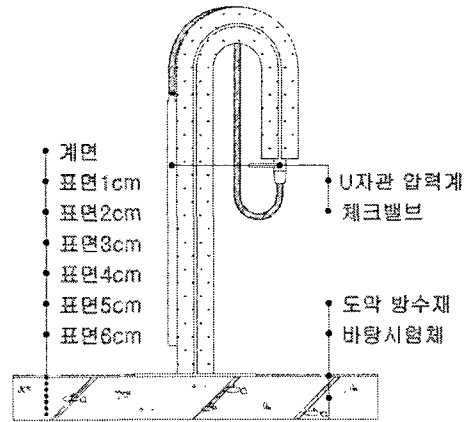


그림 4. 탈기구 전경

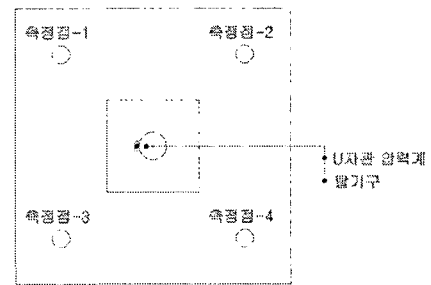


그림 5. 표면온도 측정위치

### 3.4 측정결과

#### 3.4.1 실험 I

실험 I의 실험결과를 그림 6과 7에 나타낸다. 실험 I은 외기에 노출되어 있는 콘크리트 바탕 위에 탈기구를 설치한 후, 외기온도 변화에 따른 도막방수층 계면에서 발생하는 수증기압의 변화에 대한 것이다. 측정결과는 각각 특성 있는 기후 조건에 따라 맑은날, 흐린날, 그름이 많은 날, 비가 온 날로 구분하였다. 그림에서 방수층 내부에서 발생한 수증기압이 외기온도 변화와 유사한 경향을 나타내, 외기온도와 수증기압이 비례관계에 있음을 알 수 있었다. 이때 외기온도와 방수층 표면온도의 상관관계를 다음 그림 8에 나타내었다. 직사일광을 받는 경우 외기온도보다 방수층의 표면온도가 다소 높은 경향을 나타내었다.

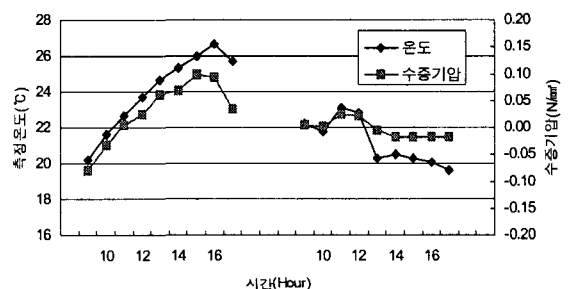


그림 6. 맑은날과 흐린날의 측정결과

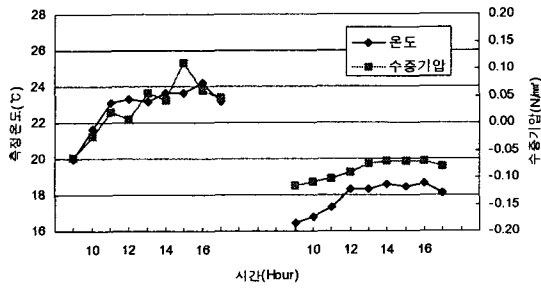


그림 7. 구름 많은날과 비온 날의 측정결과

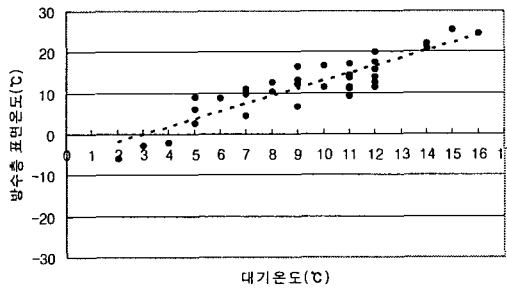


그림 8. 대기온도와 방수층 표면온도 측정결과

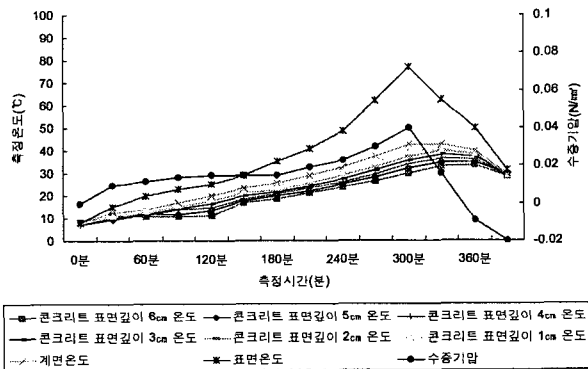


그림 9. 방수층의 열원분포와 탈기압

### 3.4.2 실험 II

실험 II의 실험결과를 그림 8과 9에 나타낸다. 실험 II의 경우 열원의 기준을 방수층 표면으로 하여 온도범위를 10~80°C로 하고, 각 온도의 정치 시간을 30분으로 설정하여 실험을 실시하였다. 실험결과 온도를 서서히 상승시키면 수증기압도 서서히 상승하여, 방수층의 표면온도가 10°C에서 80°C까지 상승하는 과정에 탈기압력은 약 0.04N/m<sup>2</sup> 상승하는 것으로 측정되었다.

## 4. 결 론

본 연구는 온도 및 경시변화에 따른 방수층과 콘크리트 계면에서 발생하는 수증기압 변화에 대해서 실험을 실시한 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 기후 조건에 따라 외기에 노출되어 있는 콘크리트 구조물에 탈기구와 도막 방수재를 도포하여 외기온도 변화에 따른 수증기압의 변화를 측정해 본 결과, 외기온도 변화와 수증기압의 변화가 상호 비례관계에 있음을 알 수 있었다.
- 2) 방수층 표면과 계면의 온도를 서울지역 연평균 온도인 약 10°C를 기준으로 실험실 내에서 수증기압을 측정 한 결과, 방수층 표면온도를 약 80°C까지 상승 시켰을 때, 계면온도는 약 40°C까지 상승하였으며, 이때 계면에서 발생하는 수증기압은 약 0.03N/m<sup>2</sup>로 나타났다.
- 3) 방수층의 계면온도가 30°C에서 35°C까지 상승하였을 때, 약 0.01N/m<sup>2</sup>의 수증기압이 발생되었으며, 방수층의 계면온도 35°C에서 40°C까지 열원을 공급 하였을 때 약 0.005N/m<sup>2</sup> 수증기압이 발생하였다.
- 4) 방수층의 계면온도가 상승함에 따라 수증기압도 일정하게 증가하며, 수증기압의 변동은 도막방수층의 표면온도 변화보다 계면온도 변화에 영향이 큰 것으로 나타났다.

이상과 같이 도막방수층의 계면에서 발생하는 수증기압이 도막방수층의 부풀음현상(Air Pocket)의 주된 원인으로 보고되고 있으며, 본 연구에서는 기존 옥상 도막방수층에서 발생하는 수증기압의 변동추이를 정량적으로 측정하여, 도막방수층의 내구성확보를 위한 유용한 자료로 제시하고자 한다.

## 참 고 문 헌

- 1) 이민석, 시멘트모탈 이질복합체의 흡수특성에 관한 연구, 대한건축학회논문집, 제21권 11호, 2005
- 2) 기상청, <http://www.kma.go.kr>, 월별일 최고·최저 기온, 2005
- 3) 백용관 외, 포러스콘크리트의 강도증진에 미치는 이온공극율 및 실리카흄 대체율의 영향에 관한 실험적 연구, 대한건축학회논문집, 제 20권 1호, 2000
- 4) 고진수 외, 일액형 우레탄 복합소재를 사용한 균열보수 재료 및 공법 개발, 대한주택공사, 2006