

# 시멘트硬化體의 半透過性에 의한 水分移動에 미치는 溶液濃度와 環境溫도의 影響

## Effect of Concentration of Solution and Temperature on Water Flux by Semi-Permeability of Hardened Cement Paste

배 기 선\* 오 상 근\*\* 김 무 한\*\*\*

Bae, Kee-Sun Oh, Sang-Keun Kim, Moo-Han

### ABSTRACT

It is well known that concrete is typical porous material. We pay attention to Hansen's idea<sup>1)</sup> that concrete may be expected to act as semi-permeable membrane, and report the effect of concentration of solution and temperature on water flux in forward osmosis. In order to measuring volume of water flux from distilled water to solution of sodium chloride through hardened cement paste, specially designed apparatus was constructed, and the following result were obtained: (1) Hardened cement paste acts as semi-permeable membrane, consequently, water flux in forward osmosis may occur. (2) Rate of water flux is proportion to concentration of dilute solution, and this suggests hardened cement paste is agreeable to the theory of membrane. (3) Effect of temperature on water flux is agreeable to Arrhenius equation and is great.

Key words: Hardened Cement Paste, Semi-Permeability, Concentration of Solution, Water Flux

### 1. 서론

多孔體인 시멘트경화체는 空隙의 連續性에 의해 水分, 가스, 이온등을 투과시키는 성질이 있으나 투과되는 물질의 종류 및 성질과 시멘트경화체의 공극의 物理的의 性狀이나 空隙表面의 化學的의 性質과의 相互性에 의해서 특정의 물질만을 選擇的으로 透過시키는 性質이 재기되고 있다. 이러한 성질은 에폭시수지바닥재의 附着力的 低下에 의한 性能低下 메카니즘의 설명으로서 提示되고있다. 즉 에폭시수지와 같은 마감재료가 콘크리트 바탕위에 시공된 경우 사용된 有機性的의 溶劑가 콘크리트중의 水分에 의해 溶解되어 高濃度의 物質이 되어 콘크리트의 水分은 透過시키나 溶液이나 이온은 透過시키기 어려운 半透過性에 의해 水分의 一方向移動을 誘發한다고 한다.<sup>1,2)</sup>

1) \* 東京工業大學 건축물리연구센터, 공학박사

2) \*\* 서울산업대학교 건축설계학과 조교수, 공학박사

3)\*\*\* 충남대학교 건축공학과 교수, 공학박사

본 연구는 콘크리트중의 水分의 移動을 유발하는 현상의 하나로서 시멘트硬化體가 半透過性을 가지고 있다는 Hansen<sup>3)</sup>의 觀點에서의 浸透現象에 의한 水分移動에 着目하였다. 실험에 있어서는 경화시멘트페이스트를 半透膜의 機能을 가지는 재료로 취급하여 경화시멘트페이스트에 의해 분리된 2相의 溶液濃度差 및 環境溫度가 水分의 移動現象에 미치는 영향을 고찰하고 浸透에 의한 膜透過의 現象으로서의 고찰을 더하였다.

## 2. 실험의 개요

### 2.1 실험의 요인과 범위

시멘트경화체를 膜的인 機能을 가지는 재료로서 취급할 경우 浸透에 의한 水分移動에 미치는 요인은 濃度差, 環境溫度등의 環境적인 요인과, 透過하는 物質을 選擇하는 역할을 가지는 시멘트경화체의 細孔構造와 같은 재료자체의 요인으로 대별된다. 이러한 요인중 본 연구에서는 후자에 대해서는 동일한 세공구조를 가지는 시멘트경화체에 한정하여 농도차 및 온도의 요인을 적용하였다. 여기서 농도차는 0.25-4.00mol/l, 온도는 5-60℃의 범위에서 水分移動現象을 검토하였다.

### 2.2 실험방법

#### (1) 시험체의 제작방법

보통포틀랜드시멘트(비중:3.16, 28일압축강도:419kgf/cm<sup>2</sup>)를 사용하여 표1과 같은 조건에 의해 소정의 시멘트페이스트를 기체비빔하여 직경10cm, 두께3cm의 형틀에 타설하여 28일간 密封養生을 행하였다. 도중 27일째에 두께 0.45cm의 경화체판을 콘크리트절단기에 의해 中層으로부터 절단하여 시험체로 사용하였다.

한편 제작된 경화시멘트페이스트시험체의 水銀壓入法에 의해 측정된 세공구조는 그림1과 같다.

#### (2) 水分의 一方向移動量的 측정

수분의 일방향이동량의 측정을 위하여 그림2 및 사진1에 나타내고 있는 장치를 제작하여 이온교환된 증류수의 용기로부터 시멘트경화체를 통하여 소정의 용액층으로 이동하는 수량을 水位差의 측정에 의해 구하였다. 溶液은 NaCl水溶液을 사용하여 용액농도를 검토하는 실험에서는 농도는 0.25, 0.5, 1.0, 2.0, 3.0, 4.0mol/l의 6수준이며 環境온도는 20℃로 정하였다. 또한 環境온도를 검토하는 실험에서는 環境온도는 5, 20, 40, 60℃의 4수준이며 농도는 0.5mol/l로 정하였다.

표1. 시험체의 조건

물시멘트비	비빔온도	양생조건	양생기간
60%	20℃	밀봉양생 (20℃)	28일

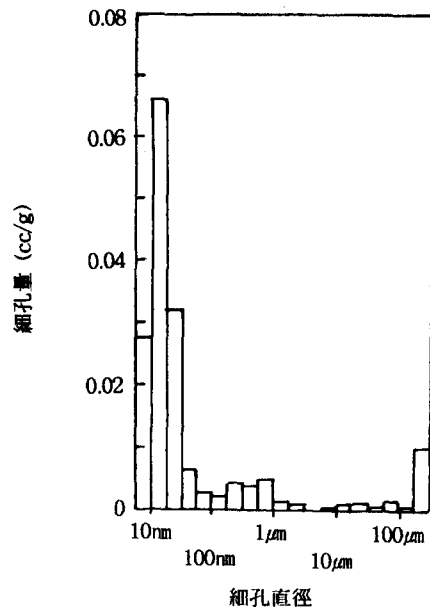


그림1. 시험체의 細孔構造

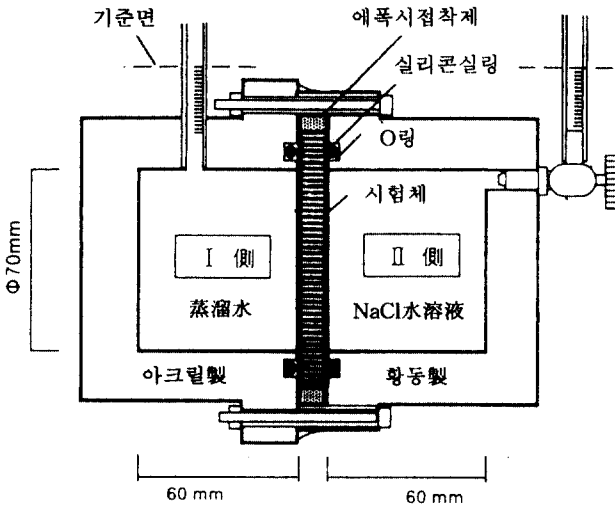


그림2. 水分移動量 測定裝置

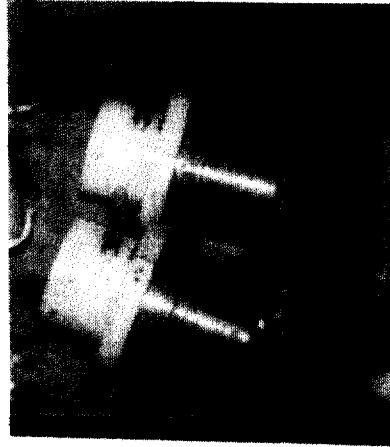


사진1. 水分移動量 測定裝置

### 3. 실험결과

그림3에는 용액농도의 차에 따른 수분이동량의 경시변화를 나타내며, 그림4에는 온도의 차에 따른 수분이동의 경시변화를 나타내고 있다. 각각의 그림으로부터 수분이동이 시간에 비례하여 거의 선형적으로 변화하고 있음을 알수있다. 이에따라 단위시간당 및 면적당의 수분이동량을 구하여 수분이동속도  $J_v$  (단위:  $\text{cc}/\text{cm}^2 \cdot \text{sec}$ )를 계산하였다. 그림5에는 용액농도와 수분이동속도의 관계, 그림6에는 온도와 수분이동속도의 관계를 나타내고있다.

### 4. 고찰

不可逆過程의 熱力學理論을 膜의 투과현상에 導入한 Sraverman<sup>4)</sup>의 膜透過理論에 의하면, 아래의 (1)식이 성립한다고 한다.

$$J_v = L_p(\Delta P - \sigma \Delta \pi) \quad \text{————— (1)}$$

여기서,

$J_v$  : 膜을 투과하는 용매의 투과속도( $\text{cc}/\text{cm}^2 \cdot \text{sec}$ )

$L_p$  : 용매의 투과계수( $\text{cm}/\text{sec}$ )

$\Delta P$  : 加水壓力(MPa)

$\sigma$  : 반발계수(膜의 半透過性的의 정도를 나타내는것으로서,  $0 \leq \sigma \leq 1$ )

$\Delta \pi$  : 浸透壓力差(MPa)

식(1)에 의하면 膜을 溶媒가 투과하는 속도는 加水壓, 浸透壓이라는 驅動力과 비례관계에 있음을 알수있다. 또한 浸透壓은 Vant Hoff<sup>5)</sup>에 의하면 다음의 (2)식이 성립한다고 한다.

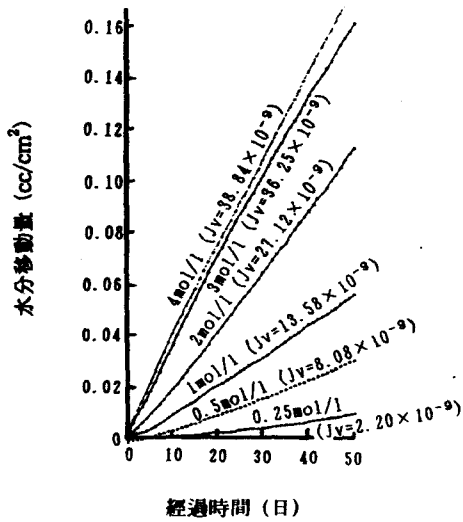


그림3. NaCl溶液濃도에 따른 水分移動量の 변화

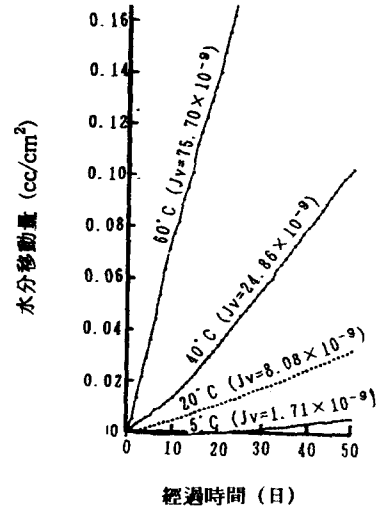


그림4. 環境溫度에 따른 水分移動量の 변화

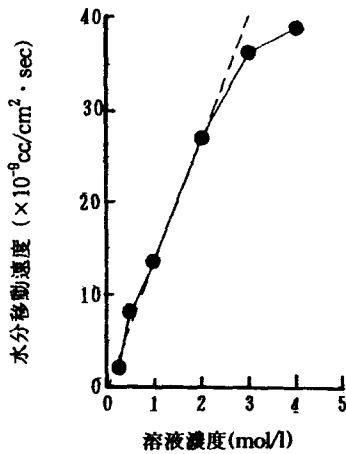


그림5. 水分移動速度와 溶液濃度の 관계

$$\Delta \pi = \Delta cRT \quad (2)$$

여기서,

$\Delta \pi$  : 浸透壓力差(MPa)

$\Delta c$  : 容量物濃度(mol/l)

R : 氣體定數(J/K · mol)

T : 絕對溫度(K)

식(1) 및 식(2)에 의해서 膜에 의해 分割된 2相의 溶液의 濃도차  $\Delta c$ 와 막을 透過

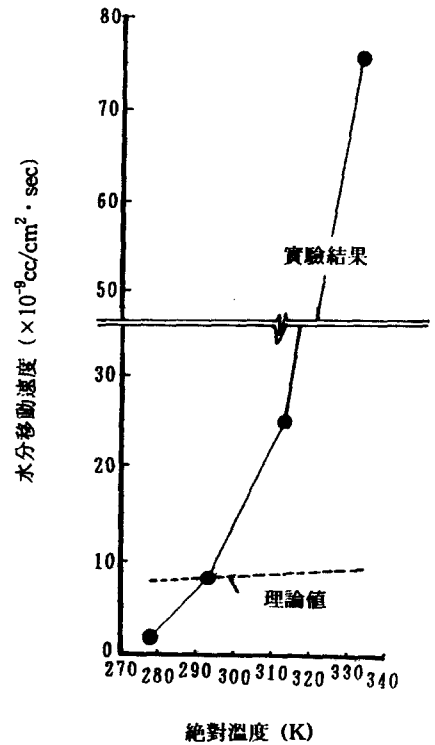


그림6. 水分移動速度와 溫度의 관계

하는 용媒의 透過速度는 비례관계를 나타내고 있음을 알 수 있다. 또한 절대온도도 침투압형성에 관여할 경우 투과속도와 비례관계에 있음을 알 수 있다. 이러한 관계를 본 실험의 결과로부터 고찰한다.

(1) 용액농도와 수분이동의 관계

그림5에 의하면 수분이동속도는 2mol/l 이하의 비교적 희박한 NaCl용액에서는 농도와 원점을 지나는 비례관계에 있음을 알 수 있다. 이러한 결과로부터 시멘트경화체를 膜的인 재료로서 취급할 경우 식(1) 및 식(2)에서 제시되고있는 膜透過의 概念을 적용할수 있음을 알 수 있다.

(2) 환경온도와 수분이동의 관계

그림6에서의 점선은 식(1) 및 식(2)에 의해 침투현상에 기여하는 온도의 영향을 고려하여 수분 이동속도가 절대온도에 비례한다고 가정하여 20℃의 경우를 기준으로 하여 산출한 온도와 수분이동속도와의 관계를 나타내고 있다. 이에 따르면 환경온도가 수분이동현상에 미치는 영향은 침투현상의 발생에 기여할뿐 만 아니라 온도의존성이 매우 높다는 사실도 알 수 있다.

여기서 이러한 이동현상의 온도에 대한 의존성을 추가로 검토하기 위하여 水分移動速度의 自然對數를 취하여 절대온도의 역수1/T에 대한 관계를 그리면 그림7과 같은 직선관계가 성립함을 알 수 있다. 이에 따른 수분이동속도는 다음의 (3)식으로서 나타낼 수 있다.

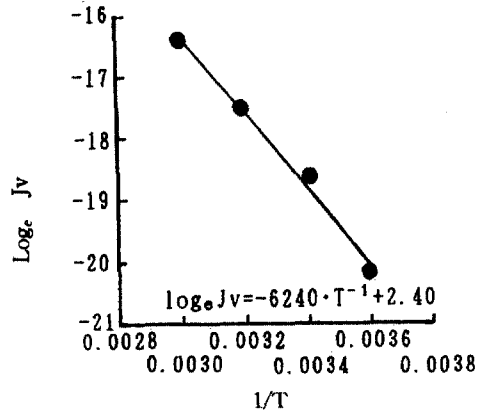


그림7. LogeJv와 1/T의 관계

$$Jv = 11.0 \cdot \exp\left(-\frac{6240}{T}\right) \quad (3)$$

식(3)은 침투에 의한 수분이동이 Arrhenius式<sup>5)</sup>의 형태로 나타낼수 있음을 의미하고 있다.

5. 결론

시멘트 硬化體를 膜的機能을 가지는 재료로서 취급하여 浸透現象에 의한 水分移動現象을 관찰하고 검토한 결과는 다음과 같이 요약할 수 있다.

- (1) 시멘트경화체를 膜的으로 취급하면 浸透現象에 의해 水分의 移動을 誘發시키게 된다.
- (2) 水分의 移動現象에 대한 溶液濃度의 영향은 비교적 희박한 용액의 농도에 대하여 1次的으로 반응하고 있으며 Staverman의 膜透過理論의 개념을 따르고 있다고 생각된다.
- (3) 水分의 移動現象에 대한 온도의 영향은 Arrhenius式의 형태로 나타낼수 있으며 그 依存性이 매우 높음을 알았다.

<감사의 글>

본 연구의 수행에 있어서 지도 및 협력해주신 東京工業大學 建築物理研究센터의 田中享二 교수님, 日本大學 生産工學部 湯淺 昇선생님, 清水建設技術研究所 橋田 浩씨께 깊은 감사를 드립니다.

<참고문헌>

- (1) 田中享二 外 ; 塗り床のふくれ發生機構の一考察, 日本建築學會構造系論文報告集, 第488号, pp.25-30,

1996.10

- (2) 田中享二, 裏基善 外 ; 塗り床のふくれ発生に及ぼす下地コンクリートの影響, 日本建築學會構造系論文報告集, 第493号, pp.1-7, 1997.3
- (3) W.J.Warlow and P.W.Pye ; Osmosis as a cause of blistering of in situ resin flooring on wet concrete, Magazine of Concrete Research, Vol.30, No. 104, pp. 152-156, 1978
- (4) 妹尾 學 ; 1膜透過に関する理論, A非平衡の熱力學と現象論的方程式, 學會出判センター 化學總攬, No.45, pp.1-10, 1974
- (5) 萩原文二, 橋本光一; 膜による分離法, 講談社, pp.16-129, 1974