

# 수분확산에 의한 폴리머 시멘트 모르타의 건조수축과 확산계수에 관한 연구

A Study on the Dry Shrinkage and Moisture Diffusion Coefficient of  
Polymer-Modified Mortars by the Moisture Diffusion



조영국\*

Jo, Young-Kug



소양섭\*\*

Soh, Yang-Seob

## 요 약

폴리머 시멘트 모르타는 보수성 및 방수성이 우수한 재료로서 모르타 내부의 수분의 확산거동에 대한 연구는 중요하다. 본 연구에서는 건조조건을 달리한 폴리머 시멘트 모르타의 수분확산에 영향을 미치는 상대습도와 내부함수율의 변화에 따른 수분의 확산계수와 건조수축과의 관계에 대해 고찰하였으며, 수분확산에 영향을 미치는 내부의 세공조직의 분포를 측정하였다. 본 실험결과, 폴리머 시멘트 모르타의 수분확산에 영향을 미치는 요인과 결과는 상호 상관관계를 나타내며, 건조수축과 수분확산계수는 보통 시멘트 모르타에 비해 아주 적었으며 상대습도, 폴리머 시멘트비 및 세공의 분포에 영향을 받는다.

## Abstract

Polymer-modified mortars have an excellent water proofness and water retentivity. Therefore, the study on the moisture diffusion behavior is very important.

The purpose of this study is to investigate the effects of relative humidity and

\* 정회원, 시설안전기술공단, 공학박사

\*\* 정회원, 전북대학교 건축공학과 교수, 공학박사

• 본 논문에 대한 토의를 1996년 12월 30일까지 학회로 보내주시면 1997년 2월호에 토의회답을 게재하겠습니다.

moisture content in mortars on the moisture diffusion, and the relationship between the shrinkage and moisture diffusion coefficient of polymer-modified mortars cured at 20°C 50% R.H and 80% R.H. The pore size distribution of the polymer-modified mortars was also measured.

From the test results, the relative humidity and moisture content in mortars influenced on the moisture diffusion of polymer-modified mortars. The shrinkage and moisture diffusion coefficient of polymer-modified mortars cured at 20°C 50% R.H. was bigger than that cured at 20°C 80% R.H., and decreased with increasing polymer-cement ratio regardless of polymer type.

**Keywords :** Polymer-modified mortars, moisture diffusion coefficient, polymer-cement ratio, dry shrinkage

## 1. 서 론

시멘트 콘크리트 및 모르타르중의 수분의 확산거동을 이해하는 것은 구조물의 균열 및 내구성능을 평가하는데 중요한 요인이다. 건조수축에서는 모세관수 및 겔수를 수축응력 발생의 주원인으로 생각할 수 있으며 구조물의 균열을 발생시키는 건조수축은 시멘트 콘크리트 및 모르타르 내부의 함수상태의 변화에 의한 체적변화가 직접적인 원인이고 중성화, 동결융해, 염분침투 등 구조물의 내구성능을 떨어뜨리는 각종 현상의 진행에는 함수상태가 영향을 미치는 것으로 보고되어 있다.<sup>1-3)</sup> 본 연구는 건조과정 중을 통한 폴리머 시멘트 모르타르의 수분확산 거동의 연구<sup>4)</sup> 일환으로 건축·토목 분야에서 보수 및 마무리재로 널리 쓰이고 있는 폴리머 시멘트 모르타르 내부의 함수율의 변화에 따른 건조수축과 수분확산계수와의 관계를 명확히 하며, 상대습도와 모르타르 내부의 세공의 분포가 수분의 확산에 미치는 영향에 대해 고찰하였다.

## 2. 실험계획

### 2.1 실험개요

본 연구는 폴리머 시멘트 모르타르의 건조과정에 있어서의 수분의 확산거동을 파악하기 위해서 실시되었다. KS F 2476(시험실에서 폴리머 시멘트 모

르타르를 만드는 방법)에 준하여, 시멘트:모래 = 1:3(중량비)으로 하여 플로우치 170±5가 되도록 물시멘트비를 조정하였으며 치수 40×40×160mm에 성형한 후, 2일 습공(20°C, 80%R.H.), 5일 수중(20°C)양생을 하였다. 수중양생후의 포수상태의 공시체를 Fig.1의 (a)와 같이 한쪽 단부를 건조면으로 하여 나머지 5면을 폴리염화 비닐리덴 [-CH<sub>2</sub>CCl<sub>2</sub>-]<sub>n</sub> 필름으로 싸고, 그 위에 다시 파라핀으로 실링하였다. 공시체를 온도 20°C 상대습도 50% 및 80%의 조건에서 1년간 건조양생을 하여 양생재령 7일, 14일, 28일 및 1년에 있어서 공시체의 단부로부터 2cm 간격으로 절단하여 내부 상대함수율을 측정하였으며 내부 상대함수율의 변화로부터 수분의 확산계수를 산출하였다.<sup>4)</sup> 또한 Fig.1

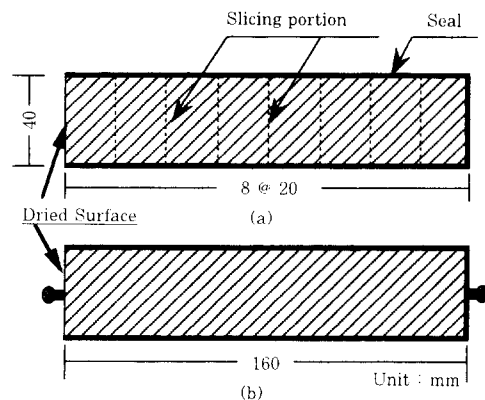


Fig. 1 Specimens for moisture content and dry shrinkage tests

(b)의 공시체에 대해 건조수축율을 측정하였으며 공시체 내부의 세공경의 분포를 파악하여 수분의 확산과 세공경의 분포와의 관계를 검토하였다. 이러한 결과로부터 건조과정에 있어서의 수분의 확산 거동에 영향을 미치는 여러 인자의 상관관계를 파악하였다.

## 2.2 사용재료

### 2.2.2 시멘트 및 골재

시멘트는 보통포틀랜드 시멘트를 골재는 표준사를 사용하였다.

### 2.2.3 시멘트 혼화용 폴리머

시멘트 혼화용 폴리머 디스퍼션으로는 스틸렌 부다디엔 고무(SBR) 라텍스, 에틸렌 초산 비닐(EVA)에틸렌 및 폴리아크릴산 에스테르(PAE) 에멀전을 사용하였으며, 이때 폴리머 디스퍼션의 전고형분에 대해 실리콘 에멀전 소포제를 0.7% 첨가하였다. 에폭시 수지로는 비스페놀 A형(Diglycidyl Ether of Bisphenol A, 약칭 : DGEBA)을 사용하였으며 경화제는 첨가하지 않았다. Table 1과 Table 2에는 시멘트 혼화용 폴리머의 성질을 나타낸다.

Table 1 Properties of polymer dispersions

Type of Polymer	Specific Gravity (20℃)	pH (20℃)	Viscosity (mPa · s, 20℃)	Total Solids (%)
SBR	1.020	9.70	64	44.6
EVA	1.060	5.70	1588	44.2
PAE	1.072	9.90	80	44.8

Table 2 Properties of epoxy resin

Exoxide Equivalent	Molecular Weight	Hue (Gardner)	Specific Gravity (20℃)	Viscosity (mPa · s, 20℃)
185	380	0.2~0.4	1.17	13100

## 3. 실험방법

### 3.1 수분의 확산계수

건조에 따른 모르타르 내부의 수분이동을 확산계수

로 표현, Bazant<sup>5)</sup>의 상대습도에 대하여 확산계수의 관계식으로 부터 阪田<sup>6)</sup>와 같이 Boltzmann의 변환<sup>7)</sup>을 응용하여 확산계수를 구하였다.<sup>8)</sup>

## 3.2 건조수축

건조수축 측정용 공시체에 대해 KS F 2424(모르타르 및 콘크리트의 길이변화 시험방법)에 따라 실링한 공시체를 20℃, 상대습도 50% 및 80%의 건조조건 하에서 건조시켜 건조재령 1, 3, 7, 21, 28 일, 6개월 및 1년에 있어서의 건조수축율을 측정하였다.

## 3.2 세공분포측정

온도 20℃ 상대습도 50% 및 80%의 건조조건하에서 1년간 건조시킨 폴리머 시멘트 모르타르 공시체를 건조면에서 2cm까지의 부분(No.1), 7cm에서 9cm까지의 부분(No.2), 그리고 14cm에서 16cm까지의 부분(No.3)에서 절단하였다. 시료를 입경 약 3mm가 되도록 분쇄하여 에탄올로 수화를 정지시킨후, 진공 건조 시스템에서 건조시켜 수은 포로시메타를 이용하여 세공 반경 3.75nm에서 7500nm 사이의 범위의 세공분포를 측정하여 전세공용적을 구하였다.

## 4. 실험결과 및 고찰

Fig. 2는 상대습도 50%와 80%에서 건조시킨 폴리머 시멘트 모르타르의 건조재령에 따른 건조수축을 나타내고 있다. 에폭시 시멘트 모르타르의 폴리머 시멘트비 15% 및 20%를 제외하면, 건조재령에 따른 건조수축이 보통시멘트 모르타르에 비해 약간 크다. 여기에서 에폭시 수지를 혼입한 폴리머 시멘트 모르타르의 경우에 6면 건조의 경우에는 초기재령에서도 재령의 증가와 함께 건조수축량이 증가하는 경향을 보였다. 에폭시 수지는 경화제를 첨가하지 않을 경우 시멘트의 수화의 결과로 생긴 수산화물 이온의 촉매작용으로 에폭시 수지가 경화하는데, 본 실험과 같은 1면 건조의 경우 내부의 높은 함수율의 상태에서 수분이 에폭시 수지의 경화에 영향을

미치며 미세한 내부팽창을 보였다고 사료된다. 이것은 폴리머 시멘트비를 조정함으로써 극복할 수 있다. 상대습도 50%의 건조조건에서의 건조수축은 폴리머 시멘트 모르타르 종류에 관계없이 상대습도 80%에서 보다 훨씬 크게 나타났다. 또한 보통 시멘트 모르타르는 폴리머 시멘트 모르타르 보다 재령에 따른 건조수축이 약간 컸으며 폴리머 시멘트 모르타르는 폴리머 시멘트비가 증가할 수록 건조수축이 작아짐을 알 수 있었다. 이것은 폴리머 내부에 형성된 폴리머 필름의 보수성에 기인한 것으로 생각되며 폴리머 종류에 따라 내부에 형성되는 폴리머 형태가 약간의 차이를 보이거나 성능면에서는 거의 차이가 없는 것으로 판단된다. 상대습도 50%에서는 SBR을 사용한 폴리머 시멘트 모르타르의 건조수축이 다른 폴리머를 사용한 경우에 비해 건조수축이 훨씬 작게 나타났으나 상대습도 80%에서는 폴리머의 종류에 따른 차이는 거의 보이지 않았다. 또한 Fig.3에서 알 수 있는 바와 같이 수분의 증발에 따른 중량 감소와 함께 공시체의 건조수축은 증가하고 폴리머 시멘트비에 의해 영향을 받는 것으로 나타

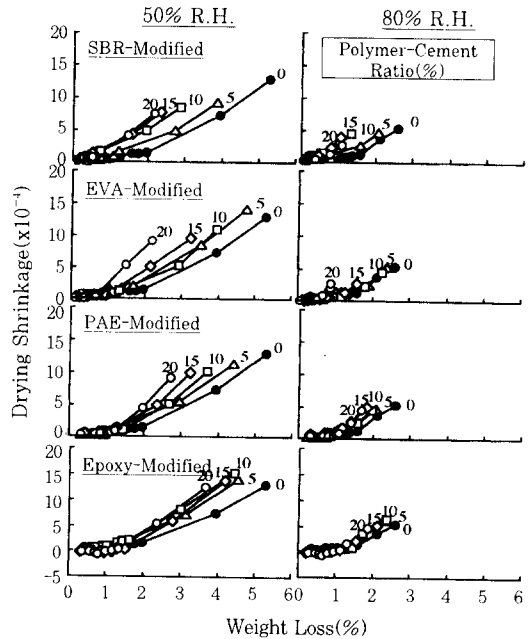


Fig. 3 Weight loss vs. drying shrinkage of polymer-modified mortars cured at 20°C, 50% and 80% R.H. (Logarithmic Scale)

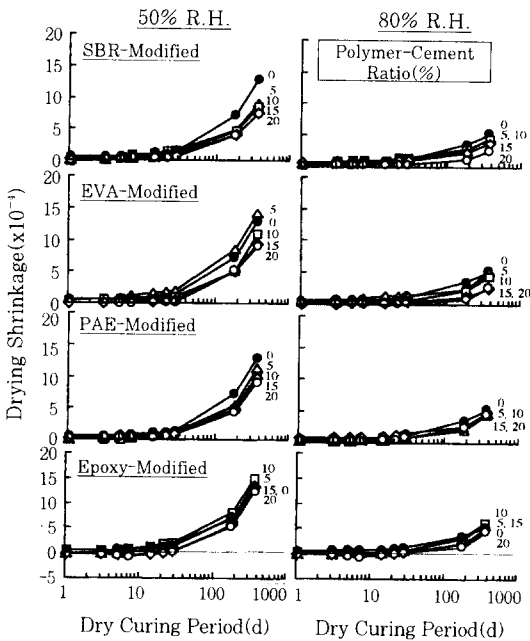


Fig. 2 Dry curing period vs. drying shrinkage of polymer-modified mortars cured at 20°C, 50% and 80% R.H. (Logarithmic Scale)

났다. 상대습도 80%의 경우가 상대습도 50%의 경우에 비해 약 1/2의 정도로 건조수축이 작게 나타났는데 이는 모르타르 내부의 수분의 확산에 주변의 상대습도가 커다란 영향을 미친다는 것을 보여준다. 폴리머 종류에 따라서는 경향이 거의 비슷하게 나타나고 있다. 보통 시멘트 모르타르의 상대습도 50%의 경우 수분의 손실율이 2%까지는 건조수축이 작게 나타나고 있으나, 건조재령의 증가와 함께 수분의 손실율이 2% 이상으로 되면 큰 건조수축을 나타내고 있다. 상대습도 80%의 경우에는 보통 시멘트 모르타르 및 폴리머 시멘트 모르타르는 거의 같은 경향을 보이고 있으며, 폴리머 시멘트비에 따라 건조수축 및 수분의 손실율이 작아지나 상대습도 50%에 비해 그의 차는 적게 나타나고 있다.

Fig.4는 상대습도 50%와 80%에서 건조시킨 폴리머 시멘트 모르타르의 상대함수율의 변화와 건조수축과의 관계를 나타내고 있다. 여기에서 건조수축과 상대함수율과의 사이에는 2차함수로 표현되는 높은 상관관계가 있음을 알 수 있다. 보통 시멘트 모르타르와 폴리머 시멘트 모르타르의 경향은 비슷하게

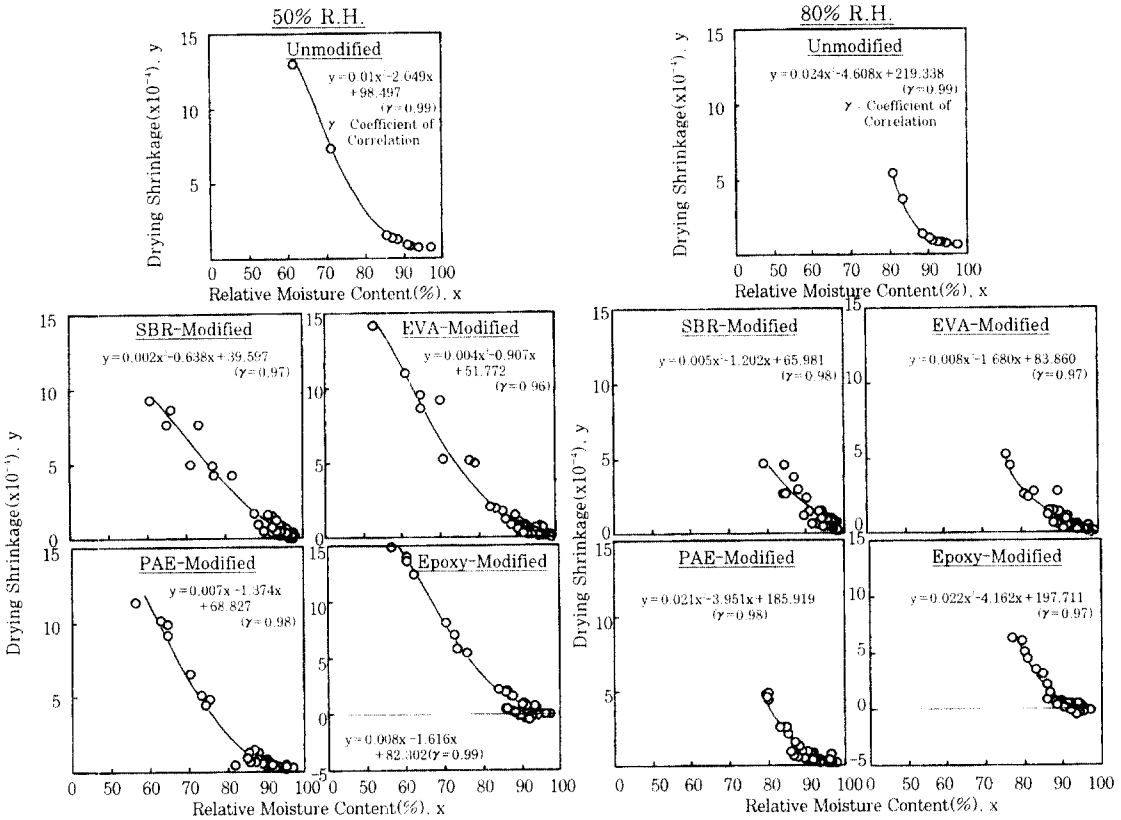


Fig. 4 Relative moisture content vs. drying shrinkage of polymer-modified mortars cured at 20°C, 50% and 80% R.H.

나타났으며, 상대습도가 높은 건조 초기재령에서는 건조수축이 작고 점점 수분의 증발과 더불어 상대습도의 감소와 함께 건조수축은 증가함을 볼 수 있다. 모르타 내부의 상대습도의 범위는 같은 재령에서 상대습도 50%에서 건조시킨 경우 약 55%-100% 사이인데 반해 1년간의 건조재령에도 불구하고 상대습도 80%에서 건조시킨 경우는 약 80%-100%의 높은 함수율을 나타냈다.

Fig.5는 상대습도 50%와 80%의 건조조건에서의 폴리머 시멘트 모르타의 확산계수와 건조수축과의 관계를 나타내고 있다. 이 그림에서 건조수축과 확산계수가 높은 상관관계를 보이고 있으며 확산계수가 클 때는 건조 초기재령으로서 공시체의 내부 습도가 클 때이며, 그때는 건조수축이 물론 작고, 건조재령이 증가하여 확산계수가 작아진 경우의 내부 습도가 작을 때는 총 건조수축량이 증가함을

보이고 있다. Fig.6은 1년간의 건조재령에 있어서의 건조수축을 매 1일에 있어서의 건조수축계수로 표현하여 확산계수와와의 관계를 나타내고 있다. Fig.5에서의 건조수축은 계속 건조재령의 증가와 함께 총 건조수축량을 표현한 것이므로 확산계수가 커지면 건조수축도 커진다는 일반적인 이해가 어렵기 때문에 Fig.6과 같이 건조수축계수로 표현하였다. 에폭시 시멘트 모르타의 폴리머 시멘트비 15% 및 20%를 제외하면, 매 1일의 건조수축 계수는 확산계수의 증가와 함께 증가하는 비례관계를 보이며 상관계수도 비교적 높은 91% 이상으로 나타났다.

Fig.7은 폴리머 시멘트 모르타의 수분확산에 따른 여러가지 요인들의 관계를 함수로서 표현하였다. 식 ①은 확산계수와 총 건조수축, 식 ②는 확산계수와 건조수축계수, 식 ③은 확산계수와 수분손실율, 식 ④는 모르타 내부의 상대습도와 건조수

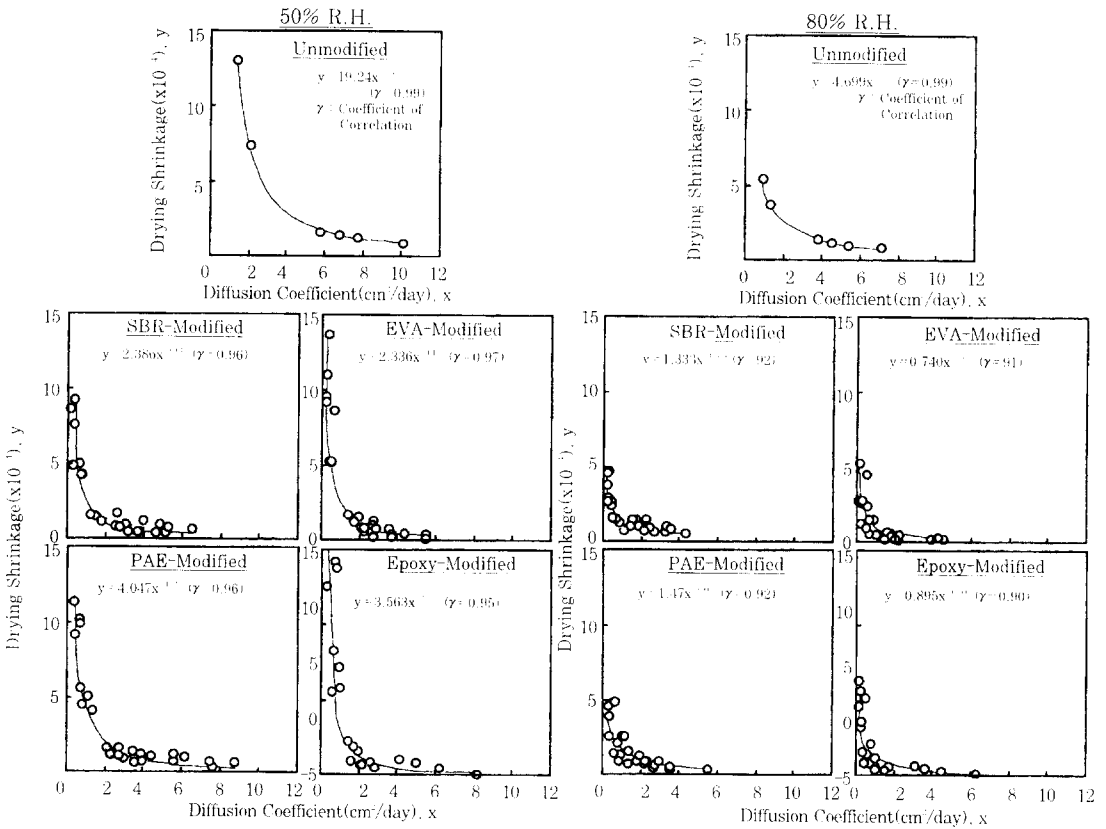


Fig. 5 Diffusion coefficient vs. drying shrinkage of polymer-modified mortars cured at 20°C, 50% and 80% R.H.

축, 식 ④는 모르터 내부의 상대습도와 수분손실율, 식 ⑤는 건조수축과 수분손실율, 식 ⑥는 확산계수와 상대습도의 관계를 나타내며 ⑧, ⑨, ⑩, ⑪는 상대습도의 증감에 따른 건조수축, 상대습율, 수분손실율 및 확산계수와와의 관계를 나타내고 있다. 여기에서 알 수 있는 것은 모르터 내부에서의 수분의 확산은 여러가지의 복합적인 요인에 의해 영향을 받으며 그 결과는 서로 상관관계를 갖고 있음을 알 수 있었다.

Fig.8은 건조재령 1년에 있어서 폴리머 시멘트 모르터의 세공경 분포를 나타내며 Fig.9는 상대습도에 따른 폴리머 시멘트비와 전세공용적과의 관계를 나타내고 있다. 폴리머 종류에 관계없이 20°C, 상대습도 50%에서 건조한 폴리머 시멘트 모르터의 전세공용적은 폴리머 시멘트비의 증가에 따라 감소하고, 또한 건조면에서 모르터의 내부로 갈수록 전세공용적은 감소하는 경향을 보이고 있다. 이것은

다양한 요인이 있을 것으로 생각되나, 모르터 내부의 많은 수분의 존재하에서 시멘트가 수화를 계속하여 모르터 조직이 치밀하게 된 것으로 추측된다. 그러나 20°C 상대습도 80%에서 건조한 폴리머 시멘트 모르터의 경우의 일부 모르터는 건조면 7cm에서 9cm 부분(No.2)의 전세공 용적이 약간 큰 경향을 보이고 있다. 이것은 M. Fortes와 M.R. Okaos<sup>10)</sup>의 물의 활성도에서 설명된 바와 같이 건조면의 상대습도가 80%로 높아 수분의 확산이 건조면과 모르터 내부로 흡착이 동시에 이루어지는 복잡한 관계를 보여기 때문으로 설명되며 또한 모르터 내부에 형성된 폴리머 필립의 형태 차이로 생각된다. 폴리머 시멘트 모르터의 전 세공 용적은 폴리머 시멘트비의 증가에 따라 감소하며 下材<sup>11)</sup>는 세공반경이 1000~10000nm의 큰 세공이 물의 침투에 큰 영향을 부여하는 것으로 보고하고 있다. 그러나 본 실험에서의 실험조건은 차이가 있으나 20°C, 상

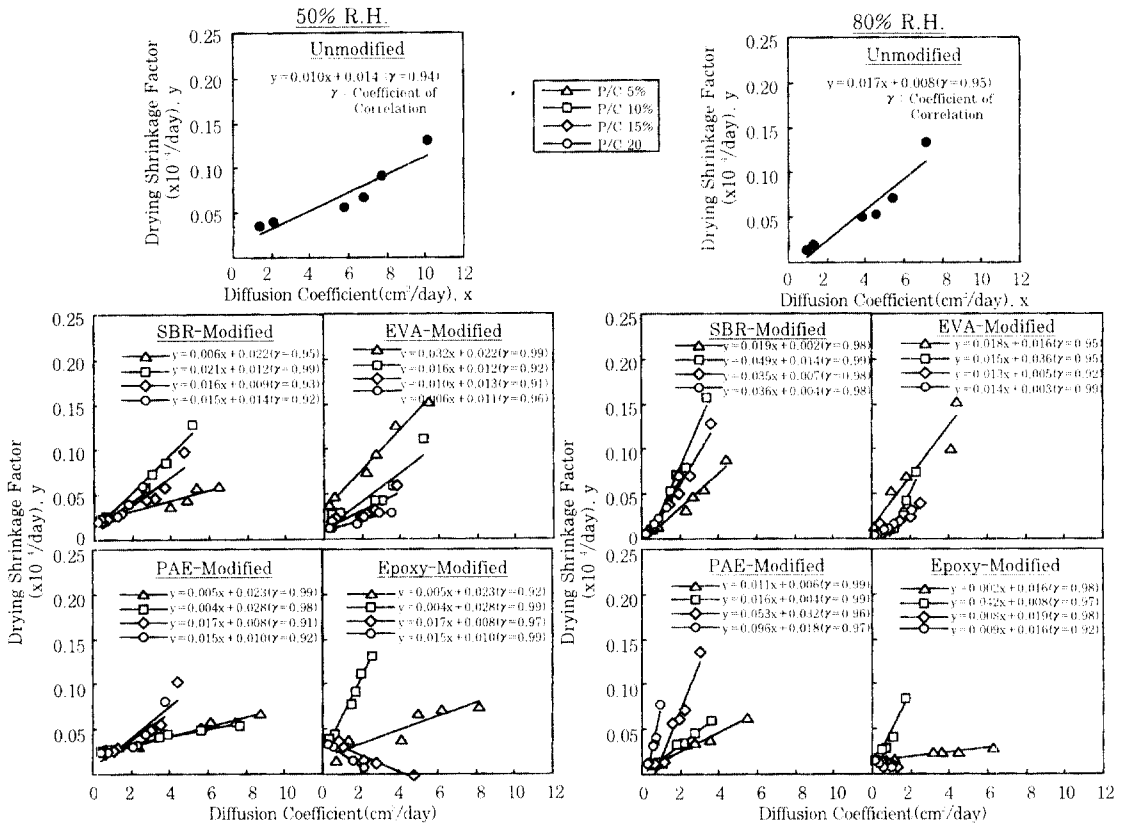


Fig. 6 Diffusion coefficient vs. drying shrinkage factor of polymer-modified mortars cured at 20°C, 50% and 80% R.H.

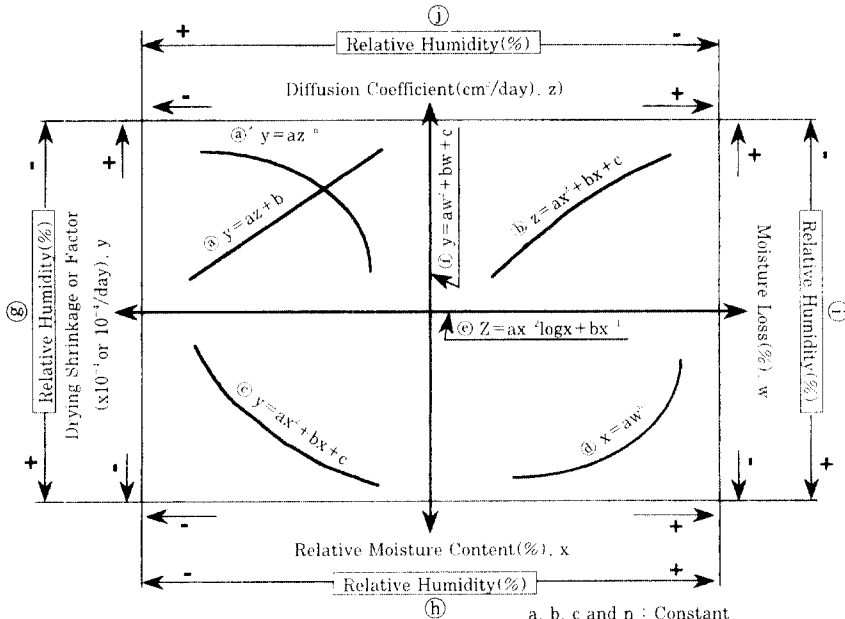


Fig. 7 Concept figures on the moisture diffusion of polymer-modified mortars

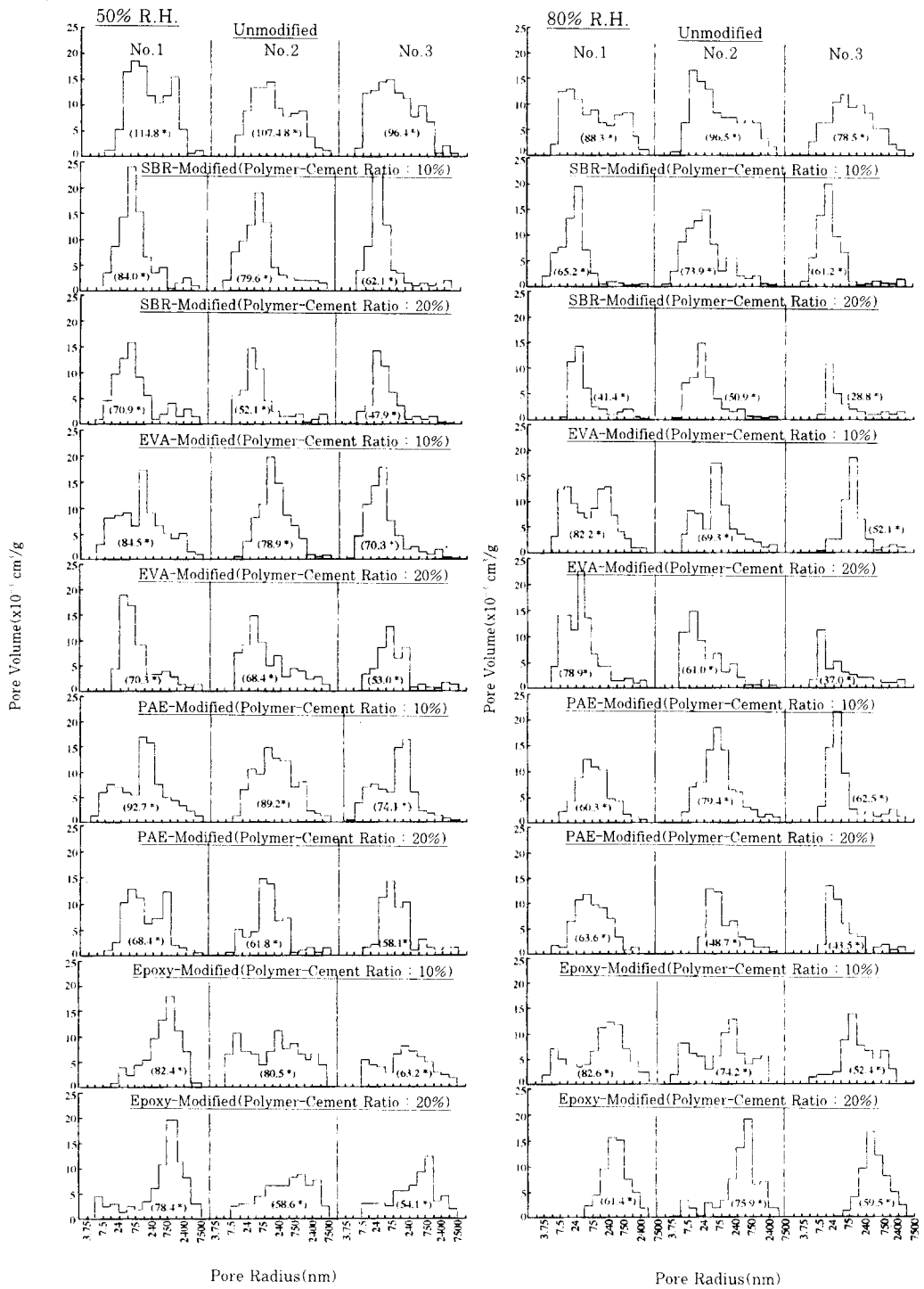


Fig. 8 Pore size distribution of polymer-modified mortars cured at 20°C, 50% and 80% R.H. for 1 Year.  
 Note \* : Total Pore Volume(x10<sup>-3</sup> cm<sup>3</sup>/g)



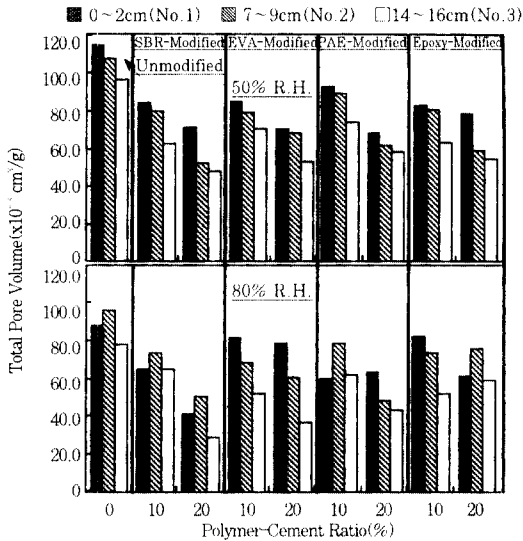


Fig. 9 Polymer-cement ratio vs. total pore volume of unmodified and polymer-modified mortars cured at 20°C, 50% R.H. and 80% R.H.

대습도 80%에서 건조한 폴리머 시멘트 모르타의 세공 반경 430nm이상의 세공량이 20°C 상대습도 50%에서 건조한 것보다 현저하게 적게 나타났으며 건조면에서 모르타의 내부에 갈 수록 그 경향은 크게 나타났다. 시멘트 모르타는 복합적 재료이기 때문에 모르타 내부에 존재하는 세공의 크기 및 분포를 정확히 파악하기는 어려운 문제점이 있다. 따라서 수분의 확산을 평가 분석하기 위해서는 보다 더 여러가지의 복합적인 요인을 파악하는 것이 중요하다고 사료된다. 본 실험의 결과에서는 상대습도 50%와 80%의 건조조건에서는 수분의 확산에 영향을 미치는 세공반경은 반경 430nm 이상의 큰 세공인 것으로 추정할 수 있었다.

## 5. 결 론

이상의 실험 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 온도 20°C, 상대습도 50%의 건조조건에서의 건조수축은 폴리머 시멘트 모르타 종류에 관계없이 상대습도 80%에서 보다 훨씬 컸으며 일부 모르타를 제외하면 폴리머 시멘트 모르타는 보통 시멘트 모르타에 비해 건조 재령에 따른 건조수축이 작았고 폴리머 시멘트비가 증가할 수록 감소하였다.

(2) 이것은 폴리머 내부에 형성된 폴리머 필름의 보수성에 기인한 것으로 생각되며 폴리머 종류에 따라 내부에 형성되는 폴리머 형태는 약간의 차이가 있으나 성능면에서는 거의 차이가 없는 것으로 판단된다.

(3) 폴리머 시멘트 모르타 내부의 상대습율은 1년간의 건조재령에도 불구하고 상대습도 80%에서 건조시킨 경우 약 80%~100%로 높게 나타났으며 이것이 모르타의 건조수축에 영향을 미친다는 것을 알 수 있었다.

(4) 건조수축계수는 확산계수의 증가와 함께 증가하는 비례관계를 보이며 상관계수도 비교적 높은 91% 이상으로 나타났다.

(5) 상대습도 50%와 80%의 건조조건에서 수분의 확산의 영향을 미치는 세공반경은 반경 430nm 이상의 큰 세공인 것으로 추정된다.

## 참 고 문 헌

1. 伊藤洋, 坂口雄彦, 前村辰二, 藤原愛, 콘크리트 표면からの水分蒸發過程による透水性評價實驗, 콘크리트工學年次論文報告集, Vol. 15, NO. 1, 1993, pp. 507-512.
2. Pickett, G., Shrinkage Stress in Concrete, Journal of ACI, Vol. 17, No. 3, 1946, pp. 165-195.
3. 三橋博三 외 2인, 硬化水分逸散移動及壓縮應力影響, 日本建築學會構造係論文報告集, 第443號, 1993, pp. 11-16.
4. 조영국, 소양섭, 건조과정에 있어서 폴리머 시멘트 모르타의 수분확산에 관한 연구, 콘크리트학회지, Vol. 8, No. 5, 1996, 10
5. Z. P. Bazant and L. J. Najjar, Nonlinear Water Diffusion in Nonsaturated Concrete, Materials and Structures, Vol. 5, 1972, pp. 3-20.
6. Z. P. Bazant and L. J. Najjar, Drying of Concrete as a Nonlinear Diffusion Problem, Cement and Concrete Research, Vol. 1, No. 5, 1971, pp. 461-473.
7. 阪田憲次, 藏本 修, 乾燥に伴うコンクリート中の水分逸散と乾燥收縮に關する研究, 土木學會報集, 第316號, 1981, 145-152.

8. J. Crank. The mathematics of Diffusion. Oxford at the Clarendon Press, 1955. pp. 148-149.
9. M. Fortes and M.R. Okaos. Drying Theories, their Bases and Limitations as Applied to Foods and Grains, Chapter 5, pp. 119-154 in the book "Advances in Drying", Vol.1, ed. by A.S. Mujumdar, Hemisphere Publishing Corp., New York, 1980.
10. 下村 匠, 小 尺一雅, 細孔構造モデルによるコンクリート中の水分解析, 콘크리트工学年次論文報告集, Vol.14, No.1, June 1992, pp.631-636.  
(접수일자 : 1996. 8. 7)