

건조과정에 있어서 폴리머 시멘트 모르타의 수분확산에 관한 연구

A Study on the Water Diffusion of Polymer-Modified
Mortars in Drying Process



조영국*



소양섭**

Jo, Young-Kug Soh, Yang-Seob

요 약

콘크리트 및 모르타중의 수분의 확산 거동은 탄성계수, 크리프, 건축수축 등의 역학적 성질에 큰 영향을 미친다. 일반적으로 건조과정에서 폴리머 시멘트 콘크리트와 모르타의 수분의 증발에 의한 증량감소는 내부의 폴리머 필름형성에 의한 보수효과로 보통 시멘트 콘크리트 및 모르타에 비해 월등히 적다. 본 연구는 폴리머 시멘트 모르타 내부의 수분의 확산 과정을 확인하기 위하여 3종류의 폴리머 디스퍼션과 에폭시 수지를 사용한 폴리머 시멘트 모르타를 제조하여 건조조건에 따른 수분의 확산 정도를 확산계수로 평가하였다. 실험결과, 폴리머 시멘트 모르타의 수분확산은 보통 시멘트 모르타에 비하여 아주 적었으며 폴리머 시멘트비에 따라 감소하였다.

Abstract

Diffusion of water in hardened cement concrete and mortar influences on the dry shrinkage, creep, modulus of elasticity, etc. In general, water loss through drying process in polymer-modified concrete and mortar is small compared with that of

* 정회원, 시설안전기술공단, 공학박사
** 정회원, 전북대학교 건축공학과 교수, 공학박사

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

unmodified concrete and mortar due to the films formed by polymer as cement modifier. The purpose of this study is to investigate the diffusion process of water in the polymer-modified mortars. The polymer-modified mortars using three polymer dispersions and epoxy resin are prepared with various polymer-cement ratios, and water diffusion coefficient of polymer-modified mortars according to inside water content is calculated. From the test results, the water diffusion coefficient of polymer modified mortars is smaller than that of unmodified mortars and decreases with increasing polymer cement ratio.

Keywords : polymer-modified mortar, water diffusion coefficient, polymer dispersion, epoxy resin, polymer-cement ratio

1. 서 론

콘크리트와 같은 다공질체중의 수분의 거동은 탄성계수, 크리프, 건조수축 등 역학적으로 큰 영향을 미치는 것으로 보고되었다.¹⁾ 더우기 수분이동의 메카니즘이 상세하게 알려지면 그것이 열적성질에 미치는 영향, 염해에 있어서 염분의 이동 또는 알칼리 골재 반응의 진행정도 등을 연구하는데 도움이 될 수 있다.²⁾ 콘크리트의 내부 수분은 건조에 의해 증발하고 이 증발의 정도는 다양한 환경조건에 따라 다르며 콘크리트 내부의 수분 증발에 의한 콘크리트는 용적변화에 의해 수축 및 균열을 발생시킨다. 또한 콘크리트 경화체에는 성분이 다른 많은 세공이 존재하고 있으며, 이 세공을 통하여 수분, 기타의 물질이 이동하여 콘크리트 구조물의 내구성에 영향을 미친다. 따라서 콘크리트중의 수분이동 및 건조수축을 논할 경우, 콘크리트 경화체중의 세공 구조를 정확히 파악하는 것은 매우 중요하다. 한편, 콘크리트중의 수분의 이동을 설명할 때, 콘크리트의 수분 이동을 단순히 확산계수 현상으로 보고 선형 확산 방정식에 의한 해석이 불가능하고, 높은 함수상태에 있어서 모세관수 이동, 낮은 함수상태에 있어서 수증기 확산 등의 다른 이동형태가 포함되기 때문에 확산계수를 함수상태의 함수로 나타내는 비선형 확산 방정식의 적용이 논의되고 있다.³⁻⁵⁾ 지금까지 콘크리트 내부의 수분의 거동에 대하여는 많은 연구자에 의해 연구가 활발히 진행되고 있으나 철근콘크리트 구조물의 내구성을 개선할 목적적

로 보수 및 마무리 재료로서 널리 사용되고 있는 폴리머 시멘트 모르타르중의 수분의 거동에 대한 연구는 거의 없는 실정이다.

본 연구에서는 폴리머 시멘트 모르타르 중의 수분 이동을 정량적으로 파악할 목적으로 온도 20℃, 상대습도 50% 및 80%의 건조과정을 통하여 수분의 이동을 모르타르 내부의 함수율 분포의 변화로 보고 모르타르의 할열방법에 의해 수분의 확산 정도를 파악하였다.

2. 사용재료

2.1 시멘트 및 잔골재

시멘트는 보통포틀랜드 시멘트를, 잔골재는 표준사를 사용하였다.

2.2 시멘트 혼화용 폴리머

시멘트 혼화용 폴리머 디스퍼션으로는 스틸렌 부다지엔 고무(SBR) 라텍스, 에틸렌 초산 비닐(EVA)에멀전 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. 폴리머 디스퍼션의 성질을 Table 1에, 에폭시 수지의 성질을 Table 2에 나타냈다.

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

Epoxyde 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 공시체 제작

KS F 2476(시험실에서 폴리머 시멘트 모르타르를 만드는 방법)에 준하여 Table 3과 같은 배합의 모르터를 플로우치 170±5가 되도록 비벼, 치수 40×40×160mm에 성형한 후, 2일 습공(20℃, 80% R.H.), 5일 수중(20℃)양생을 하였다. 치수 40×40×160mm의 공시체의 크기는 시멘트 모르터의 수분의 확산 정도를 파악하기에 충분하다고

Table 3 Mix proportions of polymer-modified mortars

Type of Mortar	Cement: Sand (By Weight)	Polymer-Cement Ratio(%)	Water-Cement Ratio(%)	Flow
Unmodified	1:3	—	75.5	170
		5	62.6	168
		10	59.7	170
		15	55.8	170
SBR-Modified	1:3	20	51.9	170
		5	66.8	170
		10	65.2	174
		15	60.5	168
EVA-Modified	1:3	20	56.8	169
		5	63.1	166
		10	59.8	174
		15	57.2	174
PAE-Modified	1:3	20	54.8	170
		5	75.5	170
		10	75.5	172
		15	75.5	171
Epoxy-Modified	1:3	20	75.5	171

사료되며 콘크리트의 경우에는 골재 크기에 대한 영향으로 보다 큰 공시체를 사용하는 것이 타당하다고 사료된다. 또한 본 실험에서의 폴리머 시멘트 비는 시멘트 중량에 대한 폴리머 고형분의 중량 백분율로 나타냈다. 본 실험에서 행한 양생방법은 폴리머 시멘트 모르터중에 형성되는 폴리머 필름때문에 건조양생 후, 폴리머 시멘트 모르터를 포수상태로 만드는 것은 매우 어렵고 폴리머 시멘트 모르터의 이상적인 양생방법은 2일 습공(20℃, 80% R.H.), 5일 수중(20℃), 21일 건조(20℃, 50% R.H.) 양생이기 때문에 이 방법을 택하였다. 또한 Table 3에 나타난 배합은 폴리머 시멘트 모르터 사용시의 워커빌리티를 고려한 것으로, 본 실험에서는 물시멘트비의 차이에 따른 함수율을 상대함수율로서 표시하여 수분의 확산을 평가하였다.

3.2 포수상태의 함수율 측정

수중양생후의 공시체의 중량을 포수상태의 중량으로 하고, 공시체를 80℃의 건조로에서 항량이 되도록 건조시킨 중량을 이용하여 다음식에 의해 공시체의 함수율을 산출하였다.

$$\text{포수상태에서의 함수율(\%)} = \frac{W1 - W2}{W2} \times 100 \quad (1)$$

여기에서,

W1 : 수중양생(포수상태) 후의 공시체의 질량 (g)

W2 : 건조후의 공시체의 질량 (g)

3.3 건조과정에 있어서 공시체의 상대함수율의 측정

수중양생후의 포수상태의 공시체를 Fig.1과 같이 한쪽 단부를 건조면으로 하여 나머지 5면을 폴리염화 비닐리덴[-CH₂CCl₂-]_n 필름으로 싸고, 그 위에 다시 파라핀으로 실링하였다. 공시체를 온도 20℃ 상대습도 50% 및 80%의 조건에서 7일, 14일, 28일 및 1년간 정치하여 각 건조재령에서 Fig.1과 같이 공시체의 단부로 부터 2cm 간격으로 콘크리트 컷터를 사용하여 절단하였다. 절단한 중량과 80℃에서 절건한 공시체의 중량으로부터 모르터의 함수

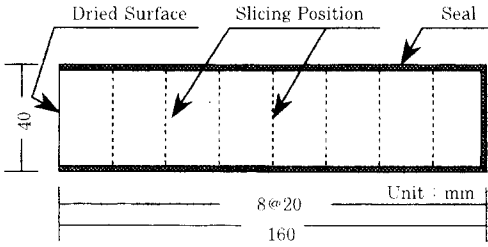


Fig. 1 Specimen for moisture movement

을 구하였다.

여기에서 공시체의 실링효과를 확인하기 위하여 전면을 실링한 공시체에 대하여 건조후의 중량감소율을 측정된 결과, 3개월에 0.1%로 미세한 것으로 판단하였다. 이 결과로 수화에 대한 수분의 손실은 무시하고 실험을 행할 수 있었다. 또한 시험전에 있어서의 각 모르터의 함수율이 폴리머 종류 및 폴리머 시멘트비에 따라 다르므로 모르터 내부의 함수율 변화를 포수상태의 함수율에 대하여 상대함수율의 변화로 생각하였다. 상대함수율은 다음식에 의해 산출하였다.

$$\text{상대함수율}(\%) = \frac{R1}{R2} \times 100 \quad (2)$$

여기에서,

R1 : 각 재령에 있어서 절단후의 모르터의 함수율 (%)

R2 : 포수상태의 모르터의 함수율 (%)

3.4 건조과정에 있어서 수분의 확산계수

건조에 따른 모르터 내부의 수분이동을 확산계수로 표현하여, Bazant^{3,6)}의 상대습도에 대한 확산계수의 관계식으로 부터 阪田⁵⁾와 같이 Boltzmann의 변환⁷⁾을 응용하여 함수율 측정치를 기본으로 확산계수를 구하였다. 즉, 건조과정이 확산방정식으로 표현될때 그 현상이 1차원의 경우 상대함수율 R을 확산량으로 하면 비선형 확산방정식은 다음과 같이 얻어진다.⁸⁾

$$\frac{\partial R}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D \frac{\partial R}{\partial x} \right) \quad (3)$$

여기에서, t : 건조시간(일)

x : 건조면으로 부터의 거리(cm)

D : 확산계수 (cm²/day)

윗식을 Boltzmann 변환을 하면 확산계수에 대하여 다음과 같은 식이 얻어진다.

$$D = 2 \left(\frac{d\eta}{dR} \right) \eta dR \quad (4)$$

여기에서, 변수 $\eta = x/2\sqrt{t}$

4. 실험결과 및 고찰

4.1 함수율과 상대함수율

Fig.2는 수증양생후의 포수상태에 있어서 폴리머 시멘트 모르터의 함수율과 폴리머 시멘트비의 관계를 표시한다. 폴리머 시멘트 모르터의 포수상태에 있어서 함수율은 보통시멘트 모르터 보다 작고 폴리머 시멘트비의 증가에 따라 약간 감소한다.

Fig.3에서 Fig.6은 건조면으로 부터의 거리에 따른 폴리머 시멘트 모르터의 상대함수율을 표시한다. 폴리머 시멘트 모르터의 상대함수율과 건조면으로 부터의 거리와의 곡선은 폴리머 시멘트 모르터의 종류에 관계없이 비슷한 경향을 보이고 있다. 건조재령 28일까지의 폴리머 시멘트 모르터의 상대함수율은 건조면 부근에서 크게 변화하고 건조면으로 부터 모르터 내부로 갈수록 거의 일정하게 되나 건조재령 1년에 있어서의 상대함수율은 건조면으로 부터의 거리에 따라 약간의 차가 보인다. 또한 온도 20℃ 상대습도 50%의 건조조건에 비해 상대습도 80%에서 폴리머 시멘트 모르터의 종류에 관계없이 상대함수율이 약간 높다. 그러나 건조재령 28일에 있어서도 건조면으로 부터 약 6cm 이상 모르터 내부로 가면 그 차이는 보이지 않고 건조재령 1년이 되어야 상대습도의 영향이 확실히 인식됨을 알 수 있다. 더우기 모든 폴리머 시멘트 모르터에 있어서도 폴리머 시멘트비의 증가에 따라 상대함수율은 높아지는 경향이 있고 모르터 내부의 건조 진행이 큰 폭으로 지연되는 것을 알 수 있다. 또한 건조 재

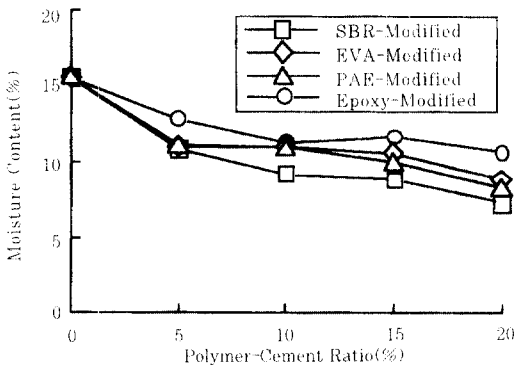


Fig. 2 Moisture content of polymer-modified mortars in saturated wet condition

령이 증가함에 따라 보통 시멘트 모르타와 폴리머 시멘트 모르타의 상대습도의 차는 크게 된다. 이것은 폴리머 시멘트중에서 형성된 폴리머 필름에 의해 모르타 내부의 수분의 증발이 억제되기 때문이다. 이상으로 폴리머 시멘트 모르타 내부의 수분의 증발은 폴리머 시멘트비와 상대습도에 따라 큰 영향을 받는 것으로 확인되었다. 일반적으로 상대습도가 수분의 증발에 미치는 영향은 Fig.7에 표시한 바와 같이 M. Fortes와 M. R. Okaos⁴⁾의 물의 활성도에 의해 수분특성을 모식화한 곡선에 의해 설명할 수 있는데, 상대습도 20% 이하에서는 물분자가 강하게 구속된 A범위구간, 상대습도 20-50%

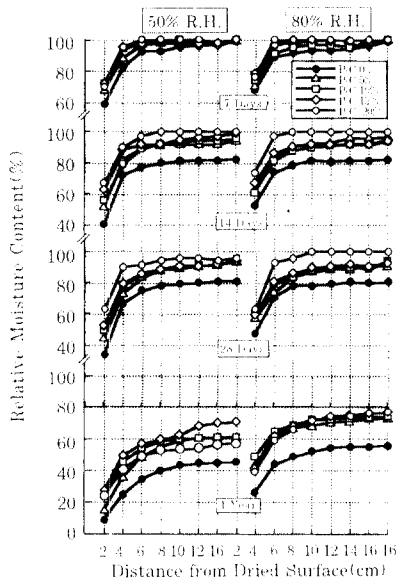


Fig. 3 Distance from dried surface vs. relative moisture content of SBR-modified mortars

에서는 흡착층이 다층으로 되어 물분자가 보다 구속이 적은 상태로 되는 B범위, 또 상대습도가 60% 이상에서의 물이 보다 큰 모세관에도 존재하고 화학반응에 대해서도 상대적으로 자유롭게 되기 때문에 용액으로서 활동하고 있는 C범위로 분류하여 보고하고 있다. 또한 본 실험의 결과에서도 상대습도가 보통 시멘트 모르타 및 폴리머 시멘트 모르타의 내부의 수분확산에 크게 영향을 미치는 것을 알 수 있었다.

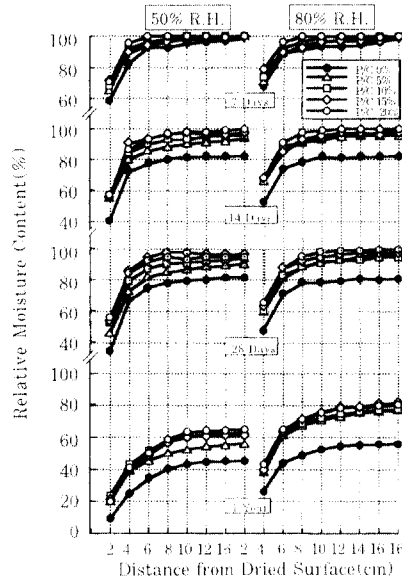


Fig. 4. Distance from dried surface vs. relative moisture content of EVA-modified mortars

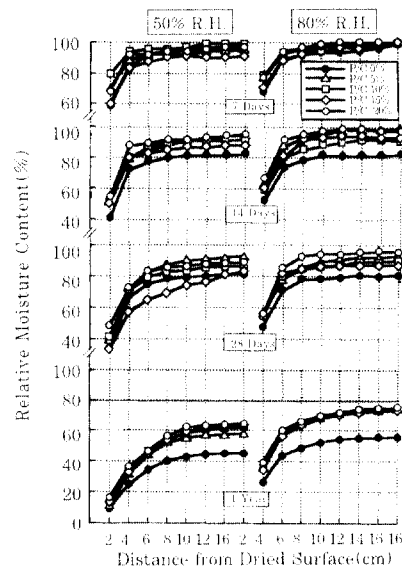


Fig. 5 Distance from dried surface vs. relative moisture content of PAF-modified mortars

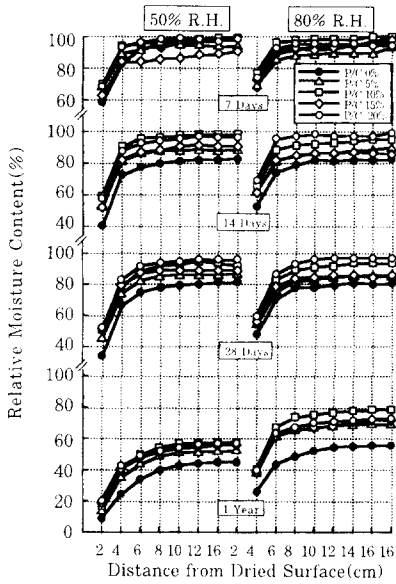


Fig. 6 Distance from dried surface vs. relative moisture content of epoxy-modified mortars

4.2 수분의 확산계수

전술한 식(4)의 확산계수를 구하기 위해서는 상대습도 R 과 변수 η 와의 관계를 알 필요가 있다. 여기에서 실험치를 회귀분석의 측정치 계산법⁹⁾을 이용하여 근사곡선을 구한 결과는 Fig.8과 같은 쌍곡선에서 가장 근사치를 얻을 수 있었다. 근사한 쌍곡선 식은 다음과 같이 표현된다.

$$R = \frac{\eta}{a + b\eta} \quad (5)$$

여기에서, R : 상대습도(%)
 η : 변수(= $x / 2\sqrt{t}$)
 a, b : 실험상수

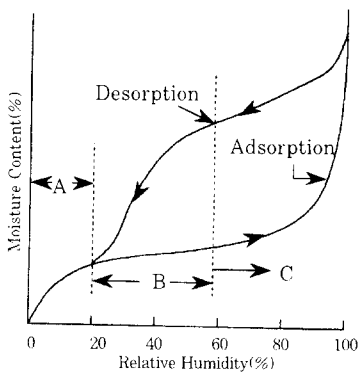


Fig. 7 Characteristic curves for moisture

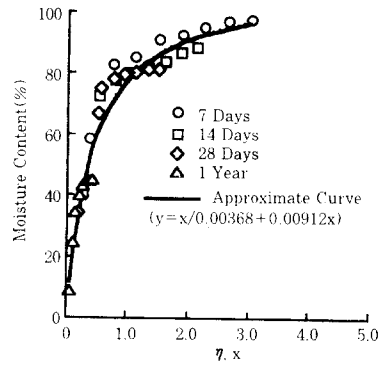


Fig. 8 Relationship between relative moisture content and η of unmodified mortars

이 근사식을 식 (4)에 이용하면 수분의 확산계수를 모르타르중의 상대습도의 관계로 표현된다. 그 결과를 Fig.9에서 Fig.12에 나타내며, 또한 Y축의 확산계수를 0에서 0.4cm²/day까지 확대하여 나타냈다. 본 시험의 결과로서, 모르타르중의 상대습도가 95% 이상에 있어서는 수분의 확산계수의 계산치가 너무 크기 때문에 Fig.9에서 Fig.12에는 모르타르의 상대습도가 90% 이하에 있어서는 수분의 확산계수를 표시하고 있다. 폴리머 시멘트 모르타르의 수분의 확산계수는 내부의 상대습도가 높으면 높을수록 크게 나타났다. 보통 시멘트 모르타르의 수분의 확산계수는 건조조건 20℃, 상대습도 50%에

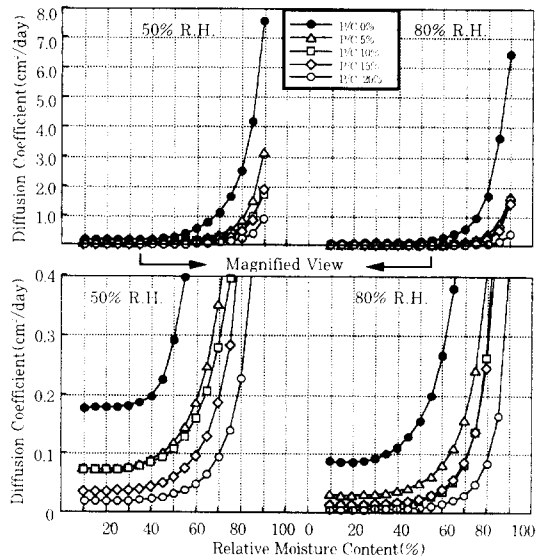


Fig. 9 Diffusion coefficient of SBR-modified mortars through drying process in 20°C, 50% R.H. and 20°C, 80% R.H.

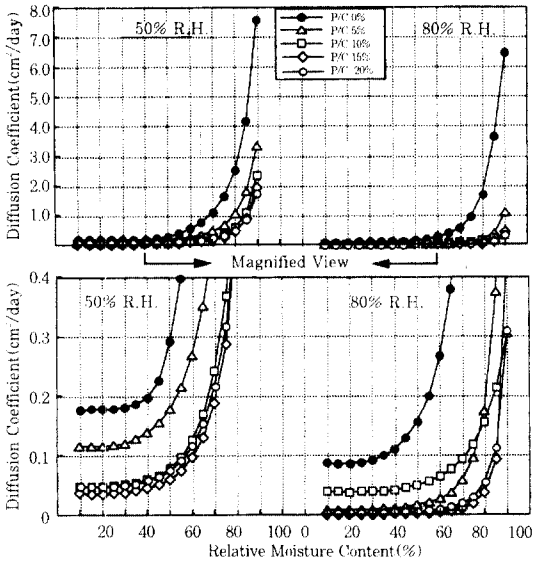


Fig. 10 Diffusion coefficient of EVA-modified mortars through drying process in 20°C, 50% R.H. and 20°C, 80% R.H.

서 내부 상대습도를 50% 이상, 또 건조조건 20°C, 상대습도 80%에서는 상대습도를 60% 이상에서 급격히 크게 된다. 그러나 폴리머 시멘트 모르타르의 경우 수분의 확산계수는 각각 60% 및 80% 이상의

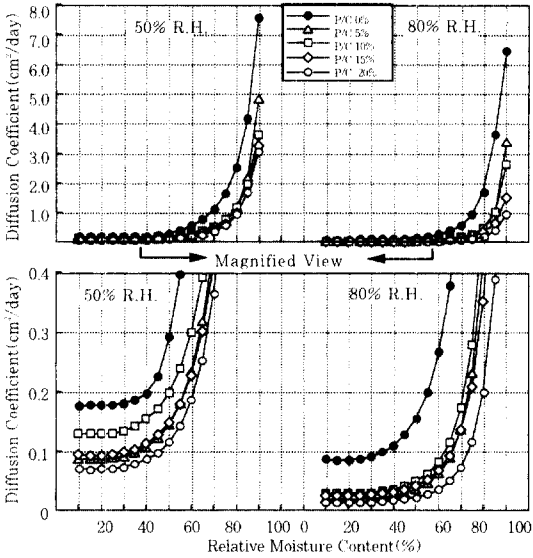


Fig. 11 Diffusion coefficient of PAE-modified mortars through drying process in 20°C, 50% R.H. and 20°C, 80% R.H.

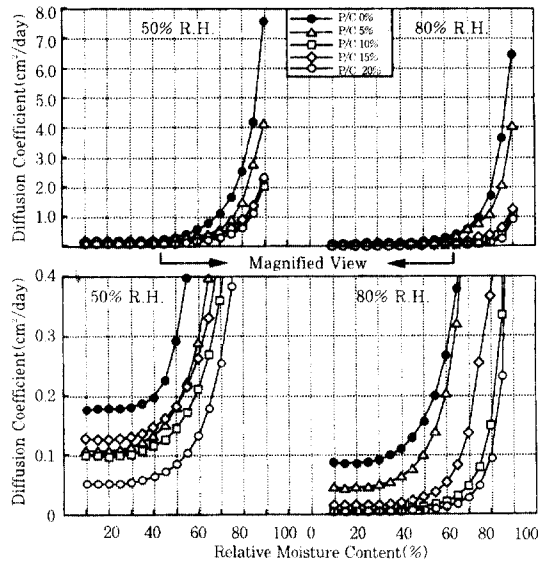


Fig. 12 Diffusion coefficient of epoxy-modified mortars through drying process in 20°C, 50% R.H. and 20°C, 80% R.H.

보통 시멘트 모르타르 보다 높은 상대습도에서 크게 된다. 에폭시 시멘트 모르타르의 확산계수는 폴리

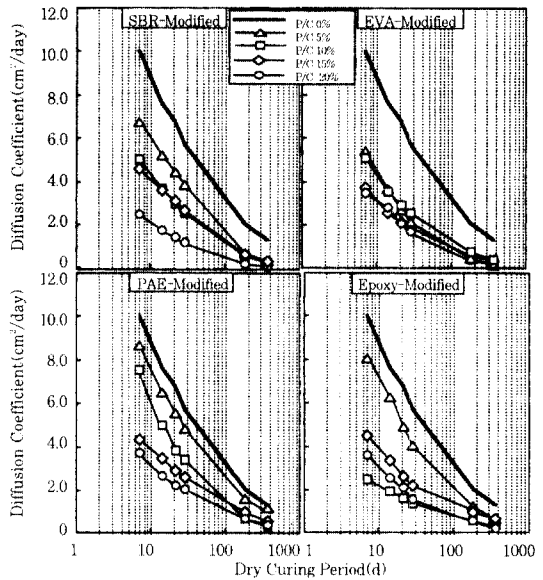


Fig. 13 Dry curing period vs. diffusion coefficient of polymer-modified mortars through drying process in 20°C, 50% R.H. (Logarithmic scale)

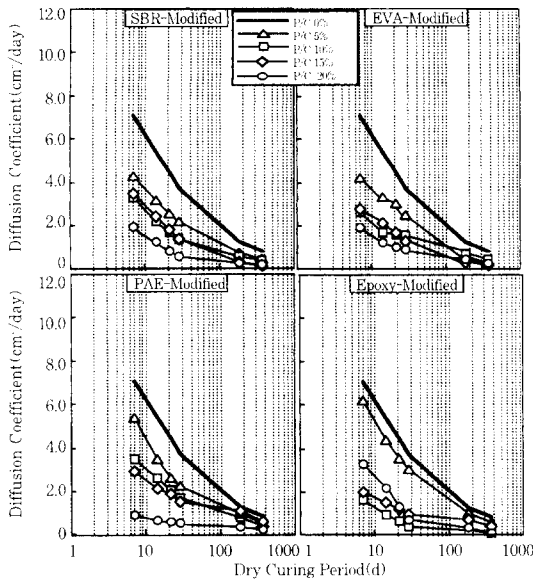


Fig. 14 Dry curing period vs. diffusion coefficient of polymer-modified mortars through drying process in 20°C, 80% R.H. (Logarithmic scale)

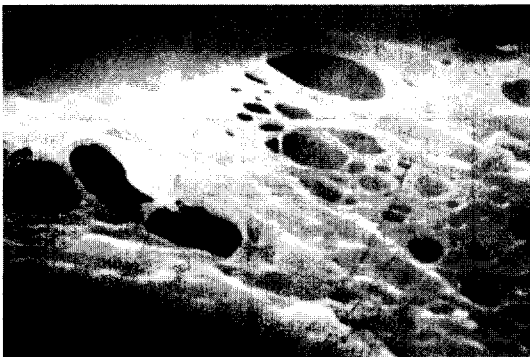


Photo 1 Polymer films formed in SBR-modified mortars(x3000)

머 시멘트비에 의해 약간 차이가 있으나 상대습도가 50%의 경우, 상대습율 40% 이하, 또 상대습도 80%의 경우는 상대습율 60% 이하에 있어서 거의 일정치로 되고 그때 수분의 확산계수는 약 0.1 및 0.03cm²/day로서 보통 시멘트 모르타의 그것과 비교하여 약 1/2의 값이다. 또한 수성 폴리머 디스퍼션을 이용한 폴리머 시멘트 모르타의 확산계수는 에폭시 시멘트 모르타와 거의 같은 값을 나타내고 있으며 폴리머 시멘트비의 증가에 따라 수분

의 확산계수는 적어진다. 이상으로부터 폴리머 시멘트 모르타의 수분의 확산계수는 폴리머 시멘트비, 상대습도 및 모르타중의 상대습율에 의해 크게 영향을 받는다는 것을 알 수 있었다.

Fig.13과 Fig.14는 폴리머 시멘트 모르타의 건조재령과 확산계수와의 관계를 나타내고 있다. 폴리머 시멘트 모르타의 확산계수는 건조재령이 길수록 작아지며 폴리머 종류에 관계없이 보통 시멘트 모르타 보다 훨씬 작게 나타나고 있다. 즉, 공시체 내부의 함수율이 큰 초기 건조재령에서는 수분의 확산 속도가 큰 것을 알 수 있다. 또한 폴리머 시멘트비의 증가에 따라 확산계수도 작게 나타난 것은 Photo 1에서 관찰되는 것과 같이 시멘트 모르타중에 형성된 폴리머 필름이 수분의 확산을 막고 모르타 자체의 보수성 및 방수성을 증진시켰기 때문이다.

5. 결론

본 연구의 실험 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 건조과정에서 모르타 내부의 상대습율은 폴리머 시멘트비와 상대습도의 영향을 받는다.
- 2) 건조과정에 있어서 수분의 확산계수는 건조재령 및 폴리머 시멘트비의 증가에 따라 작게 되고, 상대습율이 높은 상태에서 크게 나타났다.
- 3) 폴리머 시멘트 모르타의 수분의 확산계수는 상대습도 50% 및 80%에서, 각각 모르타 내부의 상대습율이 40% 및 60% 이하일 때 거의 일정한 값을 보이고, 그 확산계수는 약 0.1~0.03cm²/day로서 보통 시멘트 모르타의 약 1/2이다.
- 4) 폴리머 시멘트 모르타의 확산계수가 보통 시멘트 모르타에 비해 현저하게 작은 것은 모르타 내부에 형성된 폴리머 필름에 의해 시멘트 모르타의 보수성이 증진된 결과로 볼 수 있다.

참고 문헌

1. F.H. 윌트만, 콘크리트의 내부구조와 물리적 특성, 콘크리트工学, Vol.21, No.3, 1983, pp.19-30.
2. 秋田 宏, 藤原忠司, 尾坂芳夫, モルタルの乾燥・吸

- 湿・吸水過程における水分の移動, 土木學會論文集, 第420號, Vol.13, 1990, pp.61-69.
3. Z. P. Bazant and L. J. Najjar, Nonlinear Water Diffusion in Nonsaturated Concrete, Materials and Structures, Vol.5, 1972, pp. 3-20.
 4. 永松静也, 佐藤嘉昭, 非線形擴散方程式によるコンクリートの脱水量の分布に関する研究, セメント技術年報, Vol.35, 1981, pp.162-165.
 5. 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関する研究, 土木學會論文報告集, 第316號, 1981, 145-152.
 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. J. Crank, The mathematics of Diffusion, Oxford at the Clarendon Press, 1955, pp. 148-149.
 8. M. Fortes and M. R. Okaos, Drying Theories, Their Bases and Limitations as Applied to Foods and Grains, Chapter 5, in the book "Advances in Drying", Vol. 1, ed. by A. S. Mujumdar, Hemisphere Publishing Corp., New York, 1980, pp. 119-154.
 9. 沼倉三郎, 測定値計算法, 森北出版, 1973, pp. 201-216. (접수일자 : 1996. 7. 15)