



## 투수성 폴리머 시멘트 콘크리트의 기공적 성질

이윤수<sup>1)\*</sup> · 주명기<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>주성대학 토목공학과 <sup>2)</sup>강원대학교 석재복합신소재제품연구센터

(2002년 1월 3일 원고접수, 2002년 3월 25일 심사완료)

## Fundamental Properties of Water-Permeable Polymer-Modified Concrete

Youn-Su Lee<sup>1)\*</sup> and Myung-Ki Joo<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Dept. of Civil Engineering, Juseong College, Chongwon, 363-794, Korea

<sup>2)</sup> Research Center for Advanced Mineral Aggregate Composite Products Kangwon National University, Chuncheon, 200-701, Korea

(Received January 3, 2001, Accepted March 25, 2002)

### ABSTRACT

The permeable polymer-modified concrete has a lot of internal voids, which has more excellent performance in permeability and durability than asphalt and cement concrete. Therefore, the purpose of this study is to ascertain the strength properties of water-permeable polymer concretes with SBR latex and redispersible polymer powder. The water-permeable polymer concretes using SBR latex and redispersible polymer powder with water-binder ratio of 29 %, polymer-cement ratios of 0, 5, 10, 15 and 20 % are prepared, and tested for compressive strength, splitting tensile strength, flexural strength, water permeability. From the test results, improvements in the strength properties of the water-permeable polymer concretes due to the addition of the SBR latex and redispersible polymer powder are discussed.

**Keywords:** water permeability, polymer-modified concrete, SBR latex, redispersible, polymer powder

### 1. 서 론

최근들어 투수성 포장공법에 관한 투수성 시멘트 콘크리트의 연구가 활발하게 진행되고 있으며<sup>1,2)</sup> 보도를 중심으로 한 생활관련 도로, 주차장 그리고 고속도로에도 시공이 이루어지고 있다<sup>3,4)</sup>. 또한, 도로의 포장에는 불투수성의 아스팔트 포장과 콘크리트 포장이 주로 사용되고 있으나, 불투수성 포장체들은 강우시, 배수시설이 없거나 배수가 완벽하지 못한 경우 물이 잘 빠지지 못하고 도로표면에 고임으로서 통행에 막대한 지장을 초래하고 있을 뿐만 아니라 미끄럼 저항성이 떨어지는 등의 결점을 가지고 있다. 또한 물을 땅속에 침투시키지 못하고 배수로나 하천 등으로 유입됨으로써 지하수가 고갈되고 폭우시 하천에의 물 유입이 늘어남에 따라 하천의 범람을 일으키고 미생물의 서식을 저해함으로써 자연생태계 보호차원의 문제점이 제기되고 있다<sup>5,6)</sup>.

이러한 여러 가지 문제점을 해소하기 위한 방안으로 외국에서는 투수성 아스팔트와 투수성 콘크리트를 개발하여 인도, 광장 및 주차장 등의 포장에 사용하고 있으며, 우리

나라에서도 투수성 콘크리트 포장에 대한 많은 연구가 이루어지고 있다. 한편 폴리머 시멘트 콘크리트에 투수성을 부여하게 되면 기존의 투수성 아스팔트나 투수성 콘크리트보다 우수한 강도 및 내구성을 가질 것이라 판단된다.

따라서 본 연구에서는 폴리머 시멘트 콘크리트의 우수한 재료 특성을 투수성 폴리머 시멘트 콘크리트의 제조에 응용하기 위한 기초자료마련 및 현장시공이 가능한 폴리머 시멘트 콘크리트를 개발하기 위하여 시멘트 혼화용 폴리머 중에서 가장 많이 사용되고 있는 SBR과 EVA 분말수지를 결합재로 사용하고 폴리머-시멘트비가 투수성 폴리머 시멘트 콘크리트의 공극률, 투수성, 압축강도, 인장강도, 휨강도 및 동결융해 저항성에 미치는 영향등을 실험적으로 구명하였다.

### 2. 사용재료

#### 2.1 시멘트

본 실험에 사용된 시멘트는 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였다.

#### 2.2 골재

\* Corresponding author

Tel : 043-210-8373 Fax : 043-210-8373

E-mail : ysllee@jsc.ac.kr

본 실험에 사용된 잔골재는 쇄사(입경 : 5.0 mm이하)를 사용하였다.

### 2.3 시멘트 혼화용 폴리머

시멘트 혼화용 폴리머 디스퍼션으로서는 스틸렌 부타디엔 고무 (SBR) 라텍스를 사용하였다. 또한 시멘트 혼화용 재유화형 분말수지로서는 에칠렌 초산 비닐 (EVA) 재유화형 분말수지를 사용하였다. 본 실험에 사용된 SBR 라텍스 및 EVA 재유화형 분말수지의 성질은 Table 1 및 2와 같다.

## 3. 시험 방법

### 3.1 공시체 제작

일본 콘크리트공학협회 (JCI) 에코콘크리트 연구위원회의 「포러스 콘크리트의 공시체 제작법」에 의하여 잔골재 : 굵은골재를 1:5(중량비), 폴리머-시멘트계 결합재를 16% (질량비)로 하고, 시멘트에 대해서 폴리머량을 0, 5, 10, 15 및 20%로 혼입한 결합재를 물-결합재비 29%로 조정하여 강제식 믹서로 3분간 비빔을 실시하여 투수성 콘크리트를 제작하였다. 제작한 투수성 콘크리트를 치수 Ø10×20 cm(압축강도 및 인장강도), Ø10×20 cm (투수시험용), 10×10×40 cm(휨강도 시험용)의 몰드에 3층으로 나누어 다진후 성형하였다. 양생방법으로서는 {2d, 습윤 [20℃, 80%(RH)]+5 d, 수중(20℃)+21 d, 건조[20℃, 50%(RH)]}의 28일간 양생을 실시하여 공시체를 제작하였다.

### 3.2 공극률 시험

투수성 콘크리트의 공극률은 식(1)에 의하여 계산하였으며, 이때 절대단위용적중량 (공극률을 0으로 한 중량)은 콘크리트 구성재료의 비중에 의하여 계산한 중량을 말한다. 이때 단위용적중량시험은 KS F 2409에 의하여 측정하였다.

$$\text{공극률(\%)} = 100 - \frac{\text{투수성 콘크리트의 단위용적중량}}{\text{절대 단위용적중량}} \times 100 \quad (1)$$

Table 1 Properties of SBR latex

Type of polymer dispersion	Density (g/cm <sup>3</sup> )	pH (20℃)	Viscosity (20℃, mPa · s)	Total solids (%)
SBR	1.00	9.4	78	50.0

Table 2 Properties of redispersible EVA powder

Type of polymer	Appearance	Average particle size (µm)	Glass transition point (°C)	pH [10% water dispersion] (20℃)
EVA	White powder	400	0	9.1

### 3.3 연속공극률

원주형 공시체의 측면과 바닥을 완전히 밀봉하고 상부에서 물을 주입하여 공시체를 완전히 흡수시켜 물로 채운 중량을 측정하고, 값과 콘크리트 중의 물을 충분히 배수시킨 상태의 중량을 측정하여 그 차이를 공시체의 용적으로 나눈 값을 백분율로 나타내었다.

### 3.4 투수계수 시험

KS F 2322 흙의 정수위 투수시험방법에 의하여 Ø10×20 cm의 콘크리트 공시체를 제조하여 제령 28일에 투수계수를 측정하였다. 투수계수 시험장치는 Fig. 1과 같다.

### 3.5 압축강도 시험

KS F 2405 (콘크리트의 압축강도 시험방법)에 의하여 공시체의 압축강도 시험을 행하였다.

### 3.6 쪼갬 인장강도 시험

KS F 2423 (콘크리트의 쪼갬 인장강도 시험방법)에 의하여 공시체의 인장강도 시험을 실시하였다.

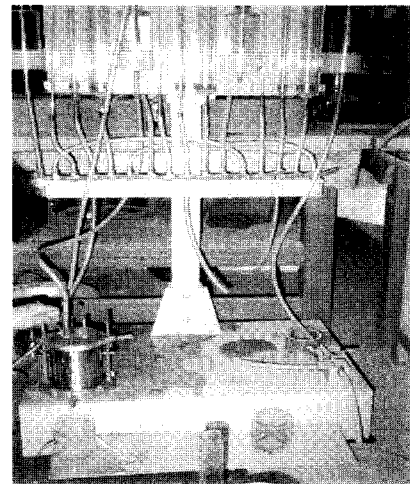


Fig. 1 Device of water-permeability test

### 3.7 휨강도 시험

KS F 2408 (콘크리트의 휨강도 시험방법)에 의하여 공시체의 휨강도 시험을 실시하였다.

### 3.8 동결융해 시험

동결융해시험은 KS F 2456 (급속동결융해에 대한 콘크리트의 저항 시험방법)에 준하여 수중 급속 동결융해시험을 하였으며, 이때 공시체의 온도는 동결시 -18℃, 융해시 4℃가 되게 하였다. 시험동안 매 50사이클 간격으로 측정하였으며, 동결융해의 반복이 300사이클이 되었을 때 시험을 완료하였다. 이때의 중량감소, 초음파 전파속도, 상대 동탄성 계수 및 내구성 지수는 다음 식으로 산출하였다.

#### 3.8.1 중량감소시험

중량감소시험은 동결융해 매 50사이클 간격으로 중량을 측정하여 다음 식으로 산출하였다.

$$W = \frac{(W_0 - W_1)}{W_0} \times 100 \quad (2)$$

여기서, W : 동결융해 C 사이클 후의 중량 감소율 (%)

W<sub>0</sub> : 동결융해 0 사이클에서의 중량 (g)

W<sub>1</sub> : 동결융해 C 사이클에서의 중량 (g)

#### 3.8.2 초음파전파속도시험

초음파 전파속도는 10×10×40 cm의 공시체에 PUNDIT를 사용하여 KS F 2418 (콘크리트 중의 펄스속도 시험방법)에 준하여 측정후 다음 식으로 산출하였다.

$$V_p = \frac{L}{T} \quad (3)$$

여기서, V<sub>p</sub> : 초음파 전파속도 (m/s)

L : 공시체 길이 (m)

T : 측정치 (s)

#### 3.8.3 상대동탄성 계수 시험

동탄성 계수는 10×10×40 cm인 공시체의 길이방향 양면 중앙에 종진동에 의한 공명진동을 측정하여 BS 1881 (콘크리트의 동탄성 계수 측정방법)에 준하여 측정하였으며, 상대 동탄성 계수는 다음 식으로 산출하였다.

$$P_c = (n_1^2/n^2) \times 100 \quad (4)$$

여기서, P<sub>c</sub> : 동결융해 C 사이클 후의 상대 동탄성 계수 (%)

n : 동결융해 0 사이클에서의 가로 1차 진동 주파수 (Hz)

n<sub>1</sub> : 동결융해 C 사이클 후의 가로 1차 진동 주파수 (Hz)

#### 3.8.4 내구성 지수

내구성 지수는 동결융해의 반복이 300 사이클 (KS F 2456 (급속 동결융해에 대한 콘크리트의 저항 시험방법))로 완료되었을 때 다음 식으로 산출하였다.

$$DF = PN / M \quad (5)$$

여기서, DF : 내구성 지수

P : N 사이클에서의 상대동탄성 계수 (%)

N : P가 시험을 단속시킬 수 있는 소정의 최소 값이 된 순간의 사이클 수 또는 동결융해의 노출이 끝나게 되는 순간의 사이클 수

M : 동결융해의 노출이 끝날 때의 사이클 수

## 4. 시험결과 및 고찰

### 4.1 투수성 폴리머 시멘트 콘크리트의 투수특성

Fig. 2, Fig. 3 및 Fig. 4는 투수성 폴리머 시멘트 콘크리트의 공극률, 연속공극률 및 투수계수와 폴리머-시멘트 비의 관계를 나타낸 것이다. SBR 및 EVA 혼입 투수성 폴리머 시멘트 콘크리트의 공극률, 연속공극률 및 투수계수는 폴리머-시멘트비가 증가함에 따라 감소하는 경향을 나타냈다. 이것은 폴리머를 혼입하는 경우 폴리머 시멘트 콘크리트 내부에 형성되는 폴리머 필름에 의하여 콘크리트 내부의 공극이 감소되기 때문이라 생각된다.

일본도로협회의 투수성 아스팔트 혼합물의 배합설계기준에서 투수계수의 기준치는 0.01 cm/s 이상이며, 일반적으로 투수성이 요구되는 투수성 콘크리트나 투수성 아스팔트의 경우 시공직후의 투수계수는 0.1 cm/s 정도가 바람직하다<sup>6)</sup>.

본 연구에 한하여 투수성 폴리머 시멘트 콘크리트에 있어서도 같은 수준의 투수계수가 요구된다고 한다면 폴리머-시멘트비는 15%이내가 사용 가능한 범위라고 생각된다.

Fig. 5는 투수성 폴리머 시멘트 콘크리트의 연속 공극률과 투수계수와 관계의 관계를 나타낸 것이다. 투수성 폴리머 시멘트 콘크리트의 연속 공극률과 투수계수와 관계는 비례관계에 있다는 것을 알 수 있었다.

### 4.2 강도특성

Fig. 6, Fig. 7 및 Fig. 8은 투수성 폴리머 시멘트 콘크

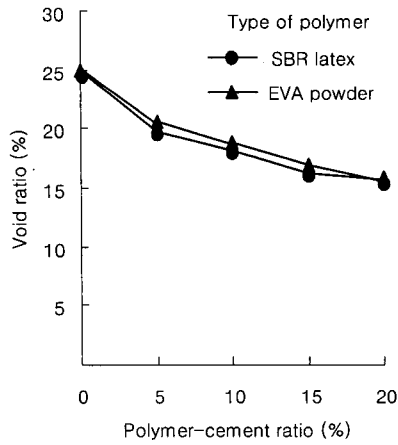


Fig. 2 Polymer-cement ratio versus void ratio of water-permeable polymer-modified concretes

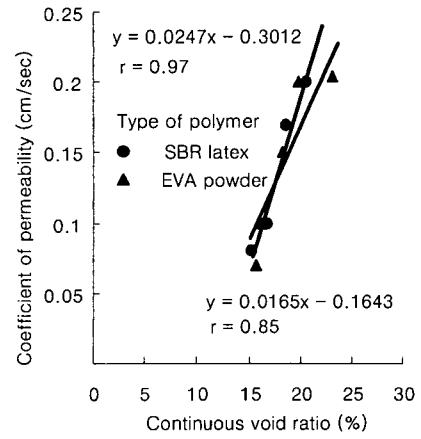


Fig. 5 Continuous void ratio versus coefficient of permeability of water-permeable polymer-modified concretes

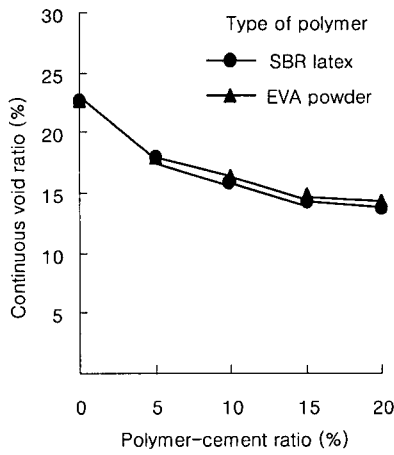


Fig. 3 Polymer-cement ratio versus continuous void ratio of water-permeable polymer-modified concretes

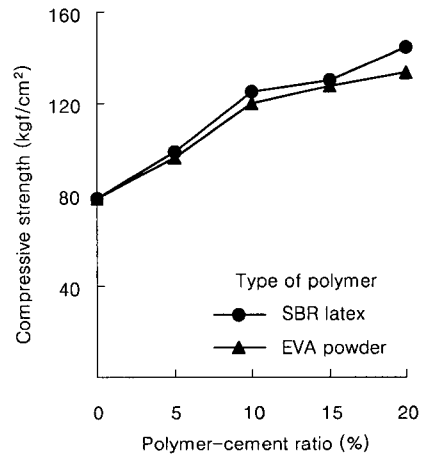


Fig. 6 Polymer-cement ratio versus compressive strength of water-permeable polymer-modified concretes

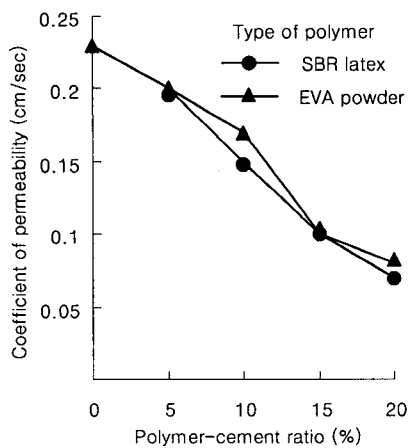


Fig. 4 Polymer-cement ratio versus coefficient of permeability of water-permeable polymer-modified concretes

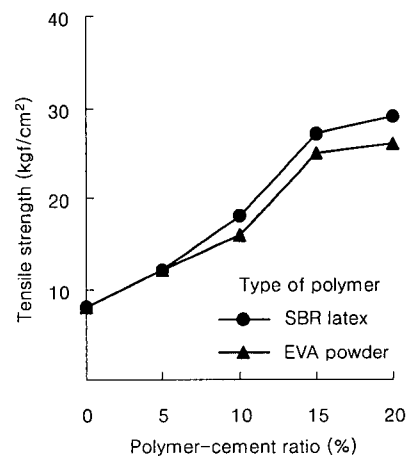


Fig. 7 Polymer-cement ratio versus tensile strength of water-permeable polymer-modified concretes

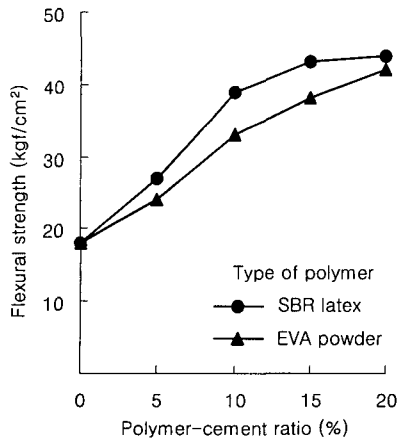


Fig. 8 Polymer-cement ratio versus flexural strength of water-permeable polymer-modified concretes

리트의 압축, 인장 및 휨강도와 폴리머-시멘트비와의 관계를 나타낸 것이다. SBR 및 EVA 혼입 투수성 폴리머 시멘트 콘크리트의 압축강도는 폴리머-시멘트비가 증가함에 따라 약간 증가하는 경향을 보였다. 이것은 앞서 서술한 공극률에서와 마찬가지로 폴리머 혼입에 따른 시멘트 수화물과 골재간의 접착성이 개선되어 치밀한 내부구조가 형성되기 때문이라 판단된다. SBR 및 EVA 혼입 투수성 폴리머 시멘트 콘크리트의 인장 및 휨강도는 폴리머-시멘트비의 증가에 따라 증가하였다. 또한, 폴리머-시멘트비 20%인 투수성 폴리머 시멘트 콘크리트의 인장 및 휨강도는 폴리머-시멘트비 0%인 투수성 시멘트 콘크리트보다 각각 3배이상의 높은 강도를 발현하였다. 이것은 폴리머의 혼입에 따른 폴리머 필름에 의한 폴리머의 인장강도 부여 및 시멘트 수화물과 골재간의 접착이 현저히 개선되기 때문이라 판단된다<sup>7)</sup>.

Fig. 9, Fig. 10 및 Fig. 11은 투수성 폴리머 시멘트 콘크리트의 압축, 인장 및 휨강도와 투수계수와의 관계를 나타낸 것이다. 투수성 폴리머 콘크리트의 압축, 인장 및 휨강도는 투수계수가 증가함에 따라 감소하는 경향을 보였다.

### 4.3 동결융해 시험

#### 4.3.1 중량감소율

Fig. 12는 투수성 폴리머 시멘트 콘크리트의 중량감소율과 동결융해 사이클과의 관계를 나타낸 것이다. SBR 및 EVA 혼입 투수성 폴리머 시멘트 콘크리트의 중량감소율은 폴리머-시멘트비의 증가에 따라 감소폭은 줄어들었다. 투수성 폴리머 시멘트 콘크리트의 중량감소율은 투수성 시멘트 콘크리트(P/C, 0%)의 중량감소율보다 150사이클에서 약 1/2정도의 낮은 감소율을 보였다. 이것은 폴리머의 접착성이 우수하기 때문에 시멘트 수화물과

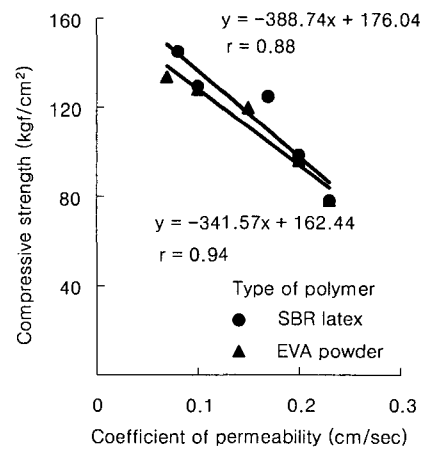


Fig. 9 Relationship between compressive strength and coefficient of permeability

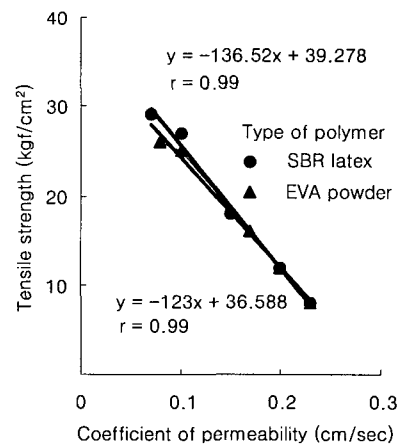


Fig. 10 Relationship between tensile strength and coefficient of permeability

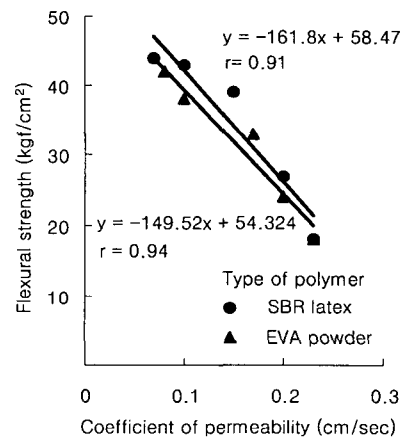


Fig. 11 Relationship between flexural strength and coefficient of permeability

골재의 사이에 균열이 일어나지 않아 동결융해작용이 진행되는 동안 물의 침투를 억제하는 것에 기인된다고 판단

된다.

#### 4.3.2 초음파 전파속도

Fig. 13은 투수성 폴리머 시멘트 콘크리트의 초음파 전파속도 감소율과 동결융해 사이클과의 관계를 나타낸 것이다. 폴리머 종류에 관계없이 투수성 폴리머 시멘트 콘크리트의 초음파 전파속도 감소율은 22~32%로 투수성 시멘트 콘크리트의 감소율보다 낮았다. 또한 투수성 폴리머 시멘트 콘크리트의 초음파전파속도는 폴리머-시멘트비의 증가에 따라 감소하는 경향을 보였다. 이것은 투수성 폴리머 시멘트 콘크리트 내부에 형성된 폴리머 필름에 의해서 공시체에 물의 침투를 억제하여 내부에서의 동결융해의 반복작용을 감소시켰기 때문이라 판단된다.

#### 4.3.3 상대동탄성 계수

Fig. 14는 투수성 폴리머 시멘트 콘크리트의 상대동탄성 계수와 동결융해 사이클과의 관계를 나타낸 것이다. 폴리머의 종류별 300사이클에서 투수성 폴리머 시멘트 콘크리트의 상대동탄성계수는 68~79%로 보통 투수성 폴리머 시멘트 콘크리트의 상대동탄성 계수보다 높게 나타났다. 또한 폴리머의 종류에 관계없이 투수성 폴리머 시멘트 콘크리트의 상대동탄성 계수는 폴리머-시멘트비의 증가에 따라 증가하는 경향을 보였다.

#### 4.3.4 내구성 지수

Fig. 15는 투수성 폴리머 시멘트 콘크리트의 내구성 지수와 폴리머-시멘트비와의 관계를 나타낸 것이다. 투수성 폴리머 시멘트 콘크리트의 내구성 지수는 폴리머-시멘트비의 증가에 따라 증가하는 경향을 나타냈다. 또한 투수성 폴리머 시멘트 콘크리트의 내구성 지수는 투수성 시멘트 콘크리트보다 약 2배 이상으로 크게 나타났다.

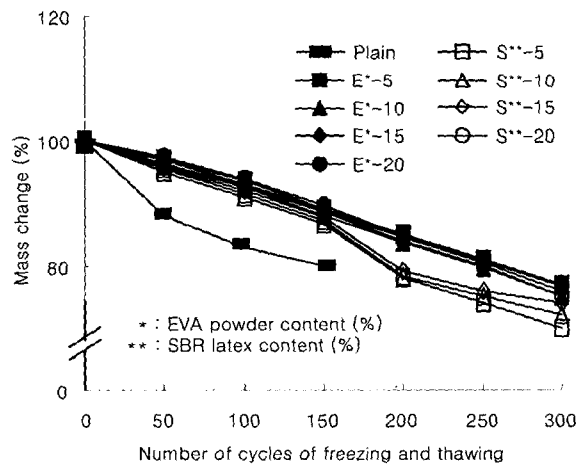


Fig. 12 Number of cycles of freezing and thawing versus mass change of water-permeable polymer-modified concretes

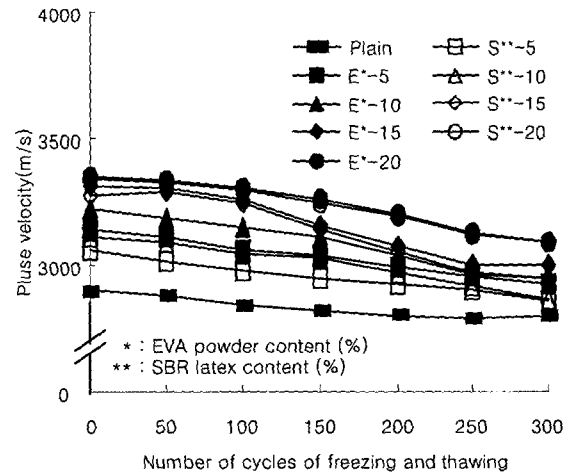


Fig. 13 Number of cycles of freezing and thawing versus pulse velocity of water-permeable polymer-modified concretes

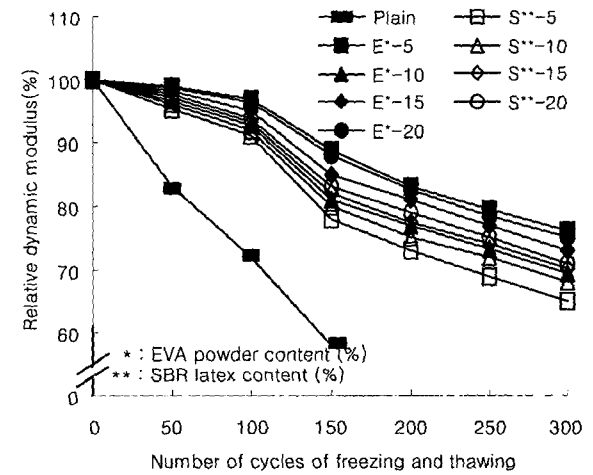


Fig. 14 Number of cycles of freezing and thawing versus relative dynamic modulus of water-permeable polymer-modified concretes

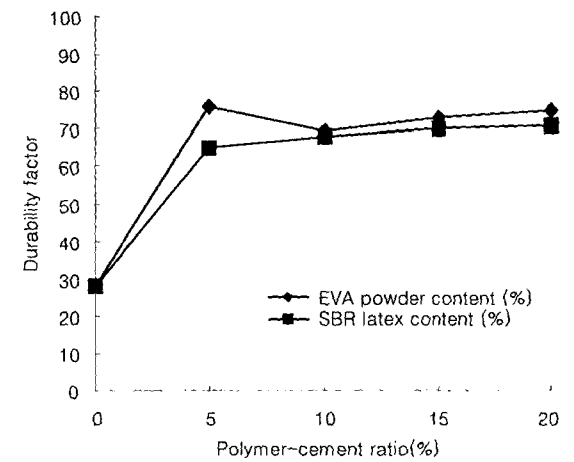


Fig. 15 Polymer-cement ratio versus durability factor of water-permeable polymer-modified concretes

이상의 시험결과로 볼 때 투수성 시멘트 콘크리트에 폴리머를 혼입함으로써 동결융해 저항성이 개선됨을 알 수 있었다.

## 5. 결 론

본 연구는 투수성 폴리머 시멘트 콘크리트의 제조를 위한 기초자료를 마련하기 위하여 시멘트 혼화용 폴리머 중의 SBR 라텍스 및 EVA 분말수지를 사용하여 연구한 결과로서 얻어진 결론은 다음과 같다.

1) 투수성 폴리머 시멘트 콘크리트의 공극률, 연속공극률 및 투수계수는 폴리머-시멘트비가 증가함에 따라 감소하는 경향을 나타냈다. 또한 투수성 폴리머 시멘트 콘크리트의 공극률과 투수계수는 비례관계를 보였다.

2) 투수성 폴리머 시멘트 콘크리트의 압축, 인장 및 휨강도는 폴리머-시멘트비의 증가에 따라 증가하였으나, 투수계수가 증가함에 따라서는 감소하였다.

3) 동결융해시험에서 투수성 폴리머 시멘트 콘크리트의 중량 감소율 및 초음파 전파속도 감소율은 투수성 시멘트 콘크리트보다 낮은 감소율을 보였고, 그 상대동탄성 계수 및 내구성 지수는 투수성 시멘트 콘크리트보다 크게 나타났다.

## 감사의 글

본 연구는 흥진산업(주)과 2001년도 충북지역 산·학·연 지역컨소시엄사업을 수행한 연구결과의 일부분으로서 지원에 감사드립니다.

## 참고문헌

1. 出村克宣, 大濱嘉彦, 佐藤文人, 土棚久輝, “ガラスカレットを用いた化粧性傾斜機能透水舗装の開発,” 日本建築學會東北支部研究報告集, No. 64, 2001, pp.235~236.
2. 채창우, 정문영, 이형우, “투수 콘크리트의 물리적 특성에 관한 실험적 연구,” 한국콘크리트학회 학술발표회 논문집, Vol. 11, No. 1, 1999, pp.166~170.
3. 出村克宣, 大濱嘉彦, 小林利充, 濱津政美, 野中正規, “ポリマー混入透水コンクリートの開発,” セメント・コンクリート論文集, No. 47, 1993, pp.226~231.
4. (社)コンクリート工學協會エココンクリート研究委員會, “エココンクリート研究委員會報告書,” 日本コンクリート工學協會, 東京, 1995, pp.23~78.
5. 三浦裕二, “透水性舗装と土壤生物,” 舗装, Vol. 19, No. 2, 1984, pp.18~20.
6. 安岐裕, “透水性コンクリート舗装の適用性に關する實驗,” 道路建設, 1988, pp.52~56.
7. 大濱嘉彦, 出村克宣, 林志翔, “超高強度モルタルの強度性狀に及ぼす調合要因及び養生條件の影響,” セメント技術大會講演集, No. 44, 1990, pp.674~679.

## 요 약

본 연구에서는 SBR 라텍스 및 재유화형 EVA 분말수지를 혼입한 투수성 폴리머 시멘트 콘크리트를 제조하여 투수성 폴리머 시멘트 콘크리트의 공극률, 투수계수, 강도 및 동결융해 저항성에 미치는 폴리머-시멘트비의 영향을 구명하였다. 그 결과, 투수성 폴리머 시멘트 콘크리트의 공극률, 연속공극률 및 투수계수는 폴리머-시멘트비의 증가에 따라 감소하는 경향을 보였으며, 압축, 인장 및 휨강도는 폴리머-시멘트비의 증가에 따라 증가하였다. 또한 투수성 폴리머 시멘트 콘크리트의 동결융해 저항성 역시 폴리머의 혼입에 따라 증진되었다. 이와 같은 효과는 폴리머의 혼입에 의해 시멘트 수화물과 골재간의 접착성이 개선되기 때문이라 판단된다.

**핵심용어** : 투수성, 폴리머 시멘트 콘크리트, SBR 라텍스, 재유화형 EVA분말수지