

## 상변화물질을 사용한 반강성 포장용 초속경시멘트 페이스트 재료의 성능평가

김성수<sup>1</sup>, 이병재<sup>2</sup>, 방진욱<sup>3</sup>, 김윤용<sup>4\*</sup>

# Material Characteristics of Rapid Hardening Cement Paste Using Phase Change Material for Semi-rigid Pavement

Seung-Su Kim<sup>1</sup>, Byung-Jae Lee<sup>2</sup>, Jin-Wook Bang<sup>3</sup>, Yun-Yong Kim<sup>4\*</sup>

**Abstract:** A study to apply phase change material(PCM) to rapid hardening cement paste forming semi-rigid pavement was carried out. The characteristics fresh and hardened paste were evaluated through the experiment for a total of 6 mixtures according to the cement type and the substitution of phase change material for acrylate. The fluidity by substituting phase change material for acrylate satisfied the target flow time of 10 to 13 seconds. In case of setting time, it was possible to secure the performance of rapid hardening cement by substituting phase change material, and if the substitution ratio over 60%, the initial set occurred 1 to 2 minutes faster than other mixtures. In case of compressive strength and bond strength, it showed similar strength characteristics with the plain mixture, and it satisfied both the target compressive and bonding strength of 36MPa and 2MPa. The mixture substituting phase change material showed higher resistance to chloride ion penetration than the mixture only using acrylate and the OPC level was insufficient. From the results of physical and mechanical performances of semi-rigid pavement cement paste, the phase change material substitution rate of 20% was effective in the range of this study.

**Keywords:** Ultra rapid hardening cement, Grout, Phase change material, Hydration heat control

## 1. 서 론

최근 서해 및 남해의 관광활성화를 위하여 연륙·연도교가 2020년 까지 36개 이상 개발이 계획되어 있는 등 대형교량의 건설이 시행되거나 추진되고 있다. 이렇게 건설되는 교량의 포장체에 대한 연구가 국내·외에서 활발히 진행되어 충격, 우수, 염화물, 환경조건 등으로부터 교량의 바닥판을 보호할 수 있는 공법이 요구되고 있다. 현재 일반 포장용으로서 널리 사용되고 있는 아스팔트 경우 연성이 우수하여 높은 주행성을 지니고 있으나 강성이 부족하여 내구성이 낮은 특성을 가지고 있으며, 콘크리트 포장의 경우 이와는 상반된 낮은 연성과 높은 강성의 특성을 가지고 있다. 그러므로 상당수의 교량 표층 포장은 이 두 가지 포장의 장단점을 보완포장의 극대화시켜 반강성 포장을 이용하고 있다(Lee et al., 2013; Park et al.,

2010; Lee et al., 2012; Park, 2008; Baek, 2010).

그러나 높은 내구성의 특성을 취한 반강성 포장이라도 반강성 포장체의 주입재로 쓰이는 초속경시멘트의 높은 수화열로 인하여 미소수축이 발생되어, 아스팔트 모체와 주입재간의 부착이 원활히 이루어지 못하는 등의 문제점이 발생하고 있다. 이러한 미소균열은 교량 슬래브로 수분과 염분 등을 침투시켜 구조물의 열화를 촉진시키는 주요 원인이 되고 있다.

한편, 근래 잠열재의 한종류로 개발된 상변화물질(PCM, Phase Change Material)은 상변화 물질로서 다양한 건설재료 분야에 적용되고 있다. PCM은 일정 온도에서 고체에서 액체, 액체에서 기체 혹은 그 반대로의 상이 변하면서 열을 흡수, 방출하는 잠열 및 축열 또는 열조절 기능을 하는 혁신적인 온도 조절 물질이다(Khil et al., 2011; Kim et al., 2009). 이 물질은 사용목적에 따라 용융점의 변환이 가능한 장점을 가지고 있어 열교환 도료 등으로 주로 활용되고 있으며, 콘크리트용 혼화재료로서 스트론튬계 잠열재를 사용하여 매스콘크리트 수화열 저감 관련 건설신기술이 개발되어 있는 등 다양한 분야에서 활용되고 있는 건설재료이다.

PCM은 어떤 물질이 고체에서 액체로, 또는 액체에서 기체로 상(phase)이 변하면서 열을 흡수하거나 방출하는 잠열 특성을 활용하는 재료를 말하며, 상전이 물질이라고도 한다.

<sup>1</sup>정회원, 충남대학교 토목공학과 박사과정

<sup>2</sup>정회원, (주)제이엔티아이엔씨 기술연구소 선임연구원

<sup>3</sup>정회원, 충남대학교 토목공학과 박사후연구원

<sup>4</sup>정회원, 충남대학교 토목공학과 교수, 교신저자

\*Corresponding author: yunkim@cnu.ac.kr

Chungnam National University, Department of Civil Engineering

•본 논문에 대한 토의를 2016년 8월 1일까지 학회로 보내주시면 2016년 9월 호에 토론결과를 게재하겠습니다.

PCM의 용해열은 물질의 고유 특성이며, 물질에 따라서 상전이 온도와 용해열이 다르므로, 사용 목적에 따라 적절한 잠열재를 활용한다면 다양한 분야에서 유효할 것으로 기대된다. 일례로 건축분야에서는 보일러, 경량벽체 등의 냉난방시스템에 이미 활용되고 있는 사례가 있으며, 첨단산업, 의류산업 및 에너지 분야 등에서 주로 활용되고 있다(Kim et al., 2007).

이러한 잠열재기능을 가지는 PCM을 반강성 포장체의 주입재에 적용이 가능하면 초속경시멘트의 수화발열로 인한 미소균열억제가 가능할 것으로 판단되며, 미소균열이 감소되면 모체 콘크리트와의 부착성능이 증대될 뿐만 아니라 포장체의 매트릭스가 밀실하게 되어 내구성 증대를 도모할 수 있을 것으로 판단된다. 또한, 주입재의 수화반응이 종료된 이후에는 도심지에 건설되는 반강성 포장체가 잠열 및 축열 기능을 가지게 되어 도심지 열섬현상의 저감을 기대할 수도 있을 것으로 판단된다(Lee et al., 2012).

따라서, 본 연구에서는 반강성 포장체의 주입재로 사용되는 초속경시멘트의 수화열저감을 통한 반강성 포장체 성능향상을 목적으로 상변화 물질인 PCM의 적용성을 검증하고자 한다.

## 2. 실험계획 및 방법

### 2.1 실험요인 및 배합

반강성 포장용 시멘트 주입재의 배합요인별 물리·역학적 특성을 분석하기 위하여 사전실험을 통해 초속경시멘트의 혼합비율을 선정하였다. PCM의 적용 가능성을 평가하기 위하여 아크릴레이트의 대체비율(0, 15, 30, 60%, 100%)을 변화시켜 배합을 실시 하였으며, 배합표는 Table 1과 같다.

Table 1 Mix proportions

Mix No.	W/B (%)	PCM Content (%)	Unit Weight (kg/m <sup>3</sup> )				
			C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	W	A	PCM
I-0 (OPC)		-	1,388	-	555.2	-	-
I-1 (Plain)		-	-	1,150	319.5	255.5	-
I-2	40	10	-	1,150	319.5	229.9	25.6
I-3		20	-	1,150	319.5	204.4	51.1
I-4		40	-	1,150	319.5	153.3	102.2
I-5		60	-	1,150	319.5	102.2	153.3
I-6		100	-	1,150	319.5	0	255.5

PCM : phase change material, C<sub>1</sub> : ordinary portland cement  
C<sub>2</sub> : ultra rapid hardening cement, A : Acrylate

한편, 염해저항성 평가시 아크릴레이트의 혼입유무에 따른 영향을 평가하기 위하여 보통포틀랜드시멘트(OPC)를 사용한 W/B 40%의 페이스트를 추가로 제작하여 검토하였다. 믹싱은 시멘트의 분산성을 높이기 위하여 스탠드형 믹서를 사용하여 먼저 물, 아크릴레이트, PCM을 투입하고 750rpm으로 60초간 혼합한 후 초속경시멘트를 투입한 후 다시 120초 동안 혼합하는 분할투입방법으로 혼합을 실시 하였다.

반강성 포장용 시멘트 주입재는 유동성이 높기 때문에 다짐은 따로 하지 않으나, 아크릴레이트로 인한 거품이 발생하므로 믹싱 후 약 5분간 용기에 보관 후 상부의 거품을 걷어낸 후 몰드에 타설 하였다. 타설된 공시체는 온도 25°C, 습도 60%의 조건에서 기건양생을 실시하였다.

### 2.2 사용재료

#### 2.2.1 시멘트

이 연구에 사용된 시멘트는 반강성 포장체의 주입재로 제조시 초기강도 확보를 위하여 국내 J사에서 생산되는 밀도 2.7g/cm<sup>3</sup>, 분말도 4,480cm<sup>2</sup>/g의 초속경시멘트를 사용하였으며 초속경시멘트의 화학적 특성은 Table 2에 나타내었다. 또한, 염해저항성 평가를 위해 사용된 OPC는 국내 D사의 밀도 3.14g/cm<sup>3</sup>, 분말도 3,200cm<sup>2</sup>/g의 보통포틀랜드시멘트를 사용하였다.

#### 2.2.2 아크릴레이트

이 연구에서는 반강성 포장체 주입재로 사용시 균열억제 등의 목적으로 시멘트 혼화용 제유화제 수지로서 아크릴공중합체를 주성분으로 하는 아크릴레이트를 사용하였으며, 그 특성은 Table 3과 같다.

#### 2.2.3 PCM

이 연구에서 사용한 상변화물질인 PCM은 열교환도료에 주로 적용되는 국내 M사 제품을 사용하였다. 열교환도료는

Table 2 Chemical composition of cement

Item	NaO <sub>2</sub>	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O
component ratio(%)	0.3	1.1	16.1	11.7	15.3	0.5
Item	TiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CaO	Ig.loss	Total
component ratio(%)	0.8	2.4	0.1	47.2	4.5	100

Table 3 Properties of acrylate

Item	Appearance	Solid contents	Viscosity	pH	Ionicity	Density
Acryl emulsion	White liquid	45.3%	360cps	8.5	Anionic	1g/cm <sup>3</sup>

**Table 4** Properties of PCM

Item	Appearance	Solid contents	Viscosity	pH
Acril emulsion Silica type	White liquid	50.0%	200cps	8.0



**Fig. 1** Flow test

아크릴수지를 기본으로 하여 우레탄수지와 열에너지교환제를 혼합한 상태의 액상 수지로서 일반 아스팔트포장에 도포 시 15°C이상의 열저감효과를 나타내는 물질이다. 이 열교환도료는 반강성 포장체에 적용되는 아크릴레이트와 유사한 접착성능을 가짐으로서, 강도와 내구성을 저하시키지 않으면서 수화열 감소효과를 가질수 있는 최적의 재료로 판단된다. 본 연구에서 사용된 PCM의 물리적 특성은 Table 4에 제시한 바와 같다.

## 2.3 시험방법

### 2.3.1 유동특성

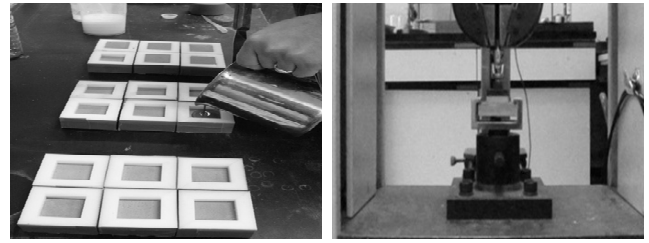
반강성 포장용 주입재의 유동특성 평가는 ASTM C939:10 「Standard Test Method for Flow of Grout for Preplaced-Aggregate Concrete」에 의하여 수행하였으며, 시험용 기구는 Fig. 1에 나타낸 바와 같다. 용기에 주입용 굳지 않은 시멘트 페이스트를 일정 높이까지 채운 후 유출하고, 유출시 페이스트가 처음 끊어질 때까지의 시간을 측정하여 평가하였다.

### 2.3.2 응결시간

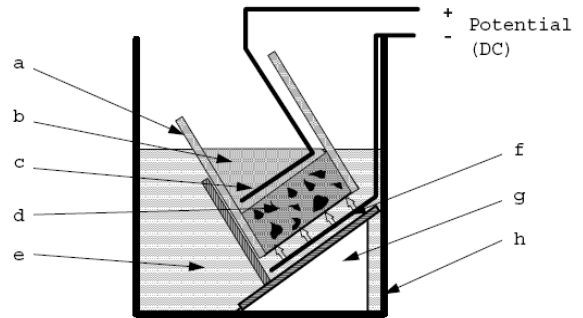
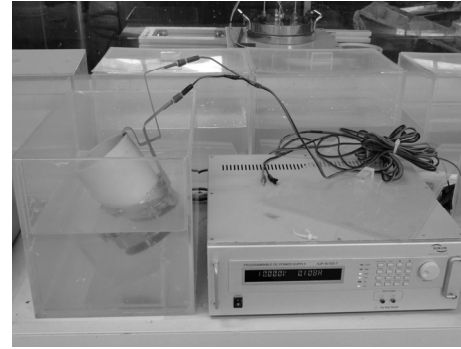
반강성 포장용 시멘트 주입재의 작업시간 확보와 조기강도 확보정도를 평가하기 위하여 시멘트 페이스트의 응결시간을 측정하였다. 측정은 KS L 5108 「비카트 침에 의한 수경성 시멘트의 응결시간 시험 방법」에 준하여 측정하여 분석하였다.

### 2.3.3 압축강도 및 휨강도

반강성 포장용 시멘트 주입재의 강도특성 평가는 KS L ISO 679 「시멘트의 강도 시험 방법」에 준하여 300kN 용량의 유



**Fig. 2** Bond strength test



- a. Rubber sleeve
- b. Anolyte
- c. Anode
- d. Specimen
- e. Catholyte
- f. Cathode
- g. Plastic support
- h. Plastic box

**Fig. 3** Migration coefficient apparatus

압식 만능시험기를 사용하여 휨강도와 압축강도를 측정하였다.

### 2.3.4 부착강도

배합조건별 공시체의 부착강도 시험은 KS F 2476 「폴리머 시멘트 모르타르의 시험 방법」에 준하여 측정하였으며, Fig. 2와 같이 제작하여 측정하였다. 시험체는 70×70×20mm의 표준모르타르 베드를 제작하여 7일 이상 양생한 후, 40×40×10mm 크기의 몰드를 베드 위에 설치한 뒤 시멘트 주입재를 타설하여 재령 28일에 측정하였다.

### 2.3.5 염해저항성

콘크리트에서 염화물이온의 중요한 침투과정은 확산현상

이기 때문에 확산계수를 사용하여 염화물이온의 농도추정 및 염해에 대한 내구성을 평가하였다. 본 연구에서는 시험체의 염화물 확산계수 측정을 위해 유럽의 Duracrete 모델에 적용되는 전기적 촉진시험방법인 NT Build 492 「Chloride Migration Coefficient from Non-Steady-State Migration Experiments」에 준하여 시험을 실시하였으며 시험 장치는 Fig. 3과 같다. 시험을 위해  $\Phi 100 \times 200$ mm 원주형 공시체를 두께  $50 \pm 2$ mm로 절단하여 rubber sleeve와 조립하였다. 양극(+)에는 0.3M의 NaOH 수용액, 음극(-)에는 10%의 NaCl 수용액을 채워 전기적 전위차를 가하였으며 초기 전압은 30V로 하여 최초 인가시의 전류값을 측정하고 그에 따른 인가전압을 설정하여 전류값에 따른 시험시간을 결정하였다. 시험 종료 후 시험체를 쪼갠 면에 0.1N의 질산( $\text{AgNO}_3$ ) 수용액을 분무하여 은색의 염화물 침전물이 육안으로 확실하게 나타날 때, 대략 10mm 간격으로 염화물 침투깊이를 측정한 후 평균값을 산출하였다. 염화물 확산계수는 다음 식(1)을 사용하여 계산하였다.

$$D_{nssm} = \frac{RT}{zFE} \cdot \frac{x_d - \alpha \sqrt{x_d}}{t} \quad (1)$$

$$\text{여기서, } E = \frac{U-2}{L}, \alpha = 2\sqrt{\frac{RT}{zFE}} \cdot \text{erf}^{-1}\left(1 - \frac{2c_d}{c_0}\right)$$

- $D_{nssm}$  : 비정상상태에서의 염화물 확산계수,  $\text{m}^2/\text{s}$
- $z$  : 이온의 원자가, (염소이온의 경우  $z = 1$ )
- $F$  : 패러데이 상수,  $F = 9.648 \times 10^4 \text{J} \cdot \text{mol}$
- $U$  : 양극과 음극 사이의 전압차, V
- $R$  : 기체 상수,  $R = 8.314 \text{J/K} \cdot \text{mol}$
- $T$  : 애노드 용액(양극셀)의 초기 및 마지막 온도의 평균값, K
- $L$  : 시편의 두께, m
- $x_d$  : 염화물 침투깊이의 평균값, m
- $t$  : 시험 지속시간, seconds
- $\text{erf}^{-1}$  : Error function
- $c_d$  : 질산에 의한 반응 농도, 0.07N
- $c_0$  : 캐소드 용액(음극셀)의 염화물 농도, 2N

### 2.3.6 단열온도상승시험

초속경 시멘트 주입재에 적용한 PCM의 수화열 저감효과를 평가하기 위하여 간이단열온도상승시험을 수행하였다. 시험은 Fig. 4와 같이 내경  $150 \times 150 \times 150$  mm, 두께 50 mm로 제작된 단열재 박스를 제작하고 중심부에 열전대를 설치하여 시간경과에 따른 시멘트 페이스트의 수화열을 측정하였다.

## 3. 시험 결과 및 고찰

### 3.1 유동특성

반강성 포장용 시멘트 주입재의 균열억제 등의 목적으로 혼입되는 아크릴레이트를 상변화물질(PCM)로 10%~100% 까지 대체하여 유동특성을 검토한 결과는 Fig. 5와 같다.

국내의 반강성 포장용 주입재의 유동특성 기준은 10~14초이며, 일본의 경우 9~13초로 규정하고 있어, 본 연구에서는 국내의 기준을 모두 만족할 수 있는 10~13초를 목표로 하였다.

시험결과, 아크릴레이트에 대한 PCM의 대체율 증가에 따른 유하시간은 10.21~10.54초로서 유사한 결과를 나타내어 국내의 기준을 모두 만족하는 것으로 나타났다. 이는 당초 사용되는 아크릴레이트와 동일 계열의 아크릴수지를 기반으로 한 PCM을 사용하였기에 초속경 시멘트 페이스트의 유동성 정도 유사한 결과를 나타낸 것으로 판단된다.

### 3.2 응결시간

반강성 포장용 시멘트 주입재의 응결시간을 측정하기 위하여 주입재의 배합 후 10분 후부터 비카트 침 장치를 이용하여 시험을 수행하였다. 비카트 침 방법에 의해 초결 및 종결을 측



Fig. 4 Apparatus of simplified adiabatic temperature rise test

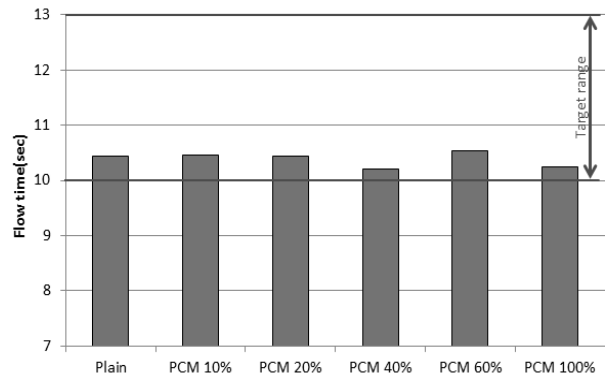


Fig. 5 Comparisons of flow time

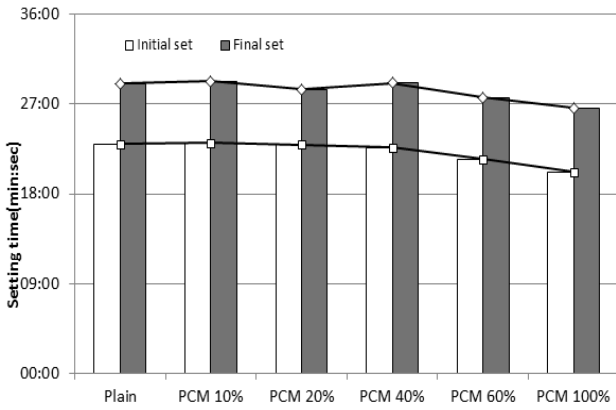


Fig. 6 Comparisons of setting time

정한 결과는 Fig. 6과 같다. 배합조건별 초결은 모든 조건에서 30분 이내에 이루어졌으며, 초결 후 약 10분 내에 종결이 이루어져 초속경시멘트의 성능을 확인 할 수 있었다.

또한, 아크릴레이트에 대한 PCM의 대체율에 따른 영향을 검토해보면, PCM을 60%이상 혼합하였을 경우, 초결이 21분 정도에 이루어져 다른 배합조건(22~23분)에 비해 빠른 초결 시간을 나타내었다. 이는 아크릴레이트에 비해 고형분이 높은 PCM을 사용함에 따라 수분량이 일부 감소되어 초결이 빨리 나타난 것으로 판단된다.

### 3.3 강도특성

반강성 포장용 주입재의 아크릴레이트에 대한 PCM의 대체율별 압축강도 및 휨 시험결과는 Fig. 7~Fig. 8에 나타낸 바와 같다. 압축강도의 국내 도로교통협회에서 제안한 기준은 7일강도 기준으로 10~30MPa이며, 일본교통협회의 경우 15~36MPa로 규정하고 있다. 본 연구에서는 긴급 도로보수 등 교통개방시기의 조절을 위하여 3시간 기준으로 21MPa 이상, 7일 기준 36MPa 이상을 목표로 하여 제작하였다.

아크릴레이트에 대한 PCM의 대체율에 따른 압축강도 실험결과를 평가한 결과, PCM의 대체율 40%정도까지는 Plain에 비하여 압축강도가 증가하는 경향을 나타내었지만, 그 이상에서는 강도 증가 추세가 둔화되었다. 이는 초기 PCM혼입으로 일부 고형분 증가로 인해 강도가 초기 증가되는 경향을 나타내었지만 필요이상의 혼입은 강도 증가를 나타내지 못한 것으로 판단된다.

이 연구에서 목표를 한 기준으로 평가하였을 때에는 모든 배합조건에서 압축강도가 3시간 21MPa, 7일 36MPa의 조건을 만족하는 것으로 나타났다.

휨강도의 국내 도로교통협회에서 제안한 기준은 7일에서 2MPa 이상으로 규정되어 있다. 배합조건별 휨강도 특성을 분석한 결과, PCM의 혼입률 증가에 따라 휨강도가 감소하는 경

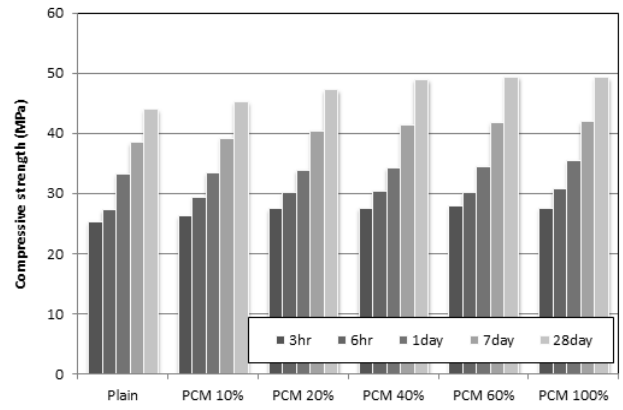


Fig. 7 Comparisons of compressive strength

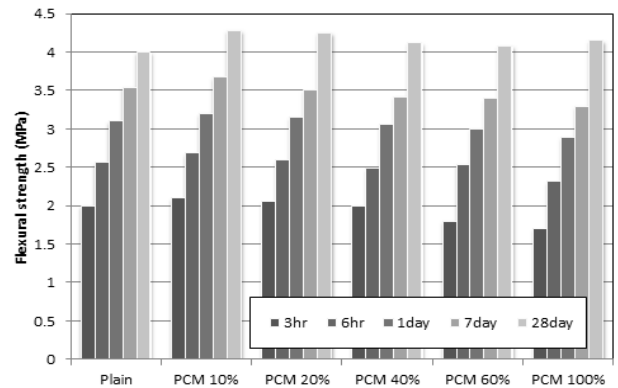


Fig. 8 Comparisons of flexural strength

향을 나타내었지만, 재령 1일 후 국내 도로교통협회에서 제안한 2MPa를 모두 만족하는 것으로 나타났다.

### 3.4 부착강도

시멘트 주입재와 개립도 아스팔트간의 부착성능 평가를 위하여 시멘트 주입재를 KS F 4716에 의해 제작된 베드(모르타르) 위에 타설하여 공시체를 제작하였으며, 28일간 온도 25°C, 습도 60%의 조건에서 양생을 하였다. 양생이 완료된 시험체의 상단에 접착제(에폭시)를 도포하고 인장용 지그를 접착하여 24시간 후에 부착강도를 측정하였으며 그 결과는 Fig. 9와 같다.

아크릴레이트에 대한 PCM의 대체율에 따른 부착강도 경향을 분석해 보면, 대체율의 증가에 따라 부착강도는 증가하는 것으로 나타났다. 하지만, PCM대체율 40%까지는 증가율이 뚜렷하였으나, 그 이상에서는 둔화되는 경향을 나타내었다. 이는 아크릴레이트에 대한 PCM의 대체율 증가에 따라 초속경 시멘트 페이스의 수화열이 일부 저감되어 주입재 매트릭스 내부의 미소균열이 저감됨으로서 부착성능이 개선된 것으로 판단된다. 하지만, 일정수준 이상의 대체에서는 부착강

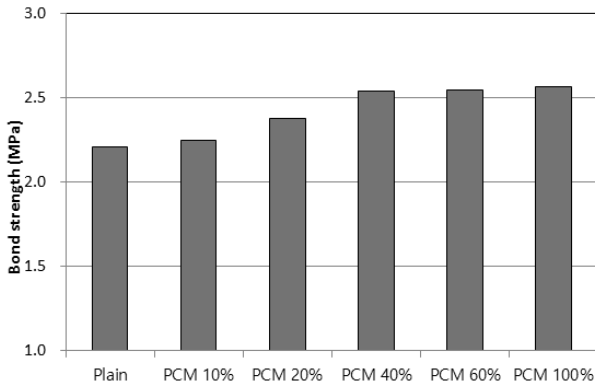


Fig. 9 Comparisons of bond strength

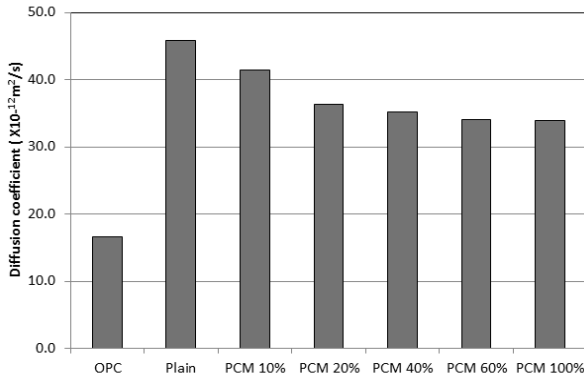


Fig. 10 Result of chloride ion diffusion coefficient test

도 개선에 영향을 미치지 못하는 것으로 판단된다. 부착강도에 대한 국내외 기준은 없으나, 모르타르 보수재의 부착강도 기준이 1MPa 이상임을 감안할 때 반강성 포장용 시멘트 주입재의 부착성능은 모든 배합조건에서 우수한 것으로 판단된다.

### 3.5 염소이온침투저항성

겨울철 제설제로 사용되는 염소이온의 영향으로 포장체에서 주로 발생하는 포트홀 등의 열화가 발생하는 것을 방지하기 위하여, 반강성 포장용 주입재의 염소이온 침투저항성을 염화물 확산계수 시험으로 평가하였으며 그 결과는 Fig. 10과 같다.

염소이온침투저항성 평가를 위하여 시멘트 주입재 배합 외에 OPC로 아크릴레이트를 혼합하지 않은 공시체(I-0, OPC 배합)를 제작하여 아크릴레이트의 염해저항성을 동시에 평가하였다. 아크릴레이트를 혼합하지 않은 OPC 배합에 비하여 아크릴레이트를 혼합한 Plain의 배합에서는 염소이온 확산계수가 2.8배 증가하여 염소이온침투 저항성이 취약해지는 것으로 나타났다. 이는 아크릴레이트의 경우 물에 포화되면 공시체가 팽창하는 특성을 나타내기 때문에 시멘트 페이스트의 매트릭스가 느슨해져 염해저항성이 저하된 것으로 판단된다.

아크릴레이트에 대한 PCM의 대체율 증가에 따른 경향은

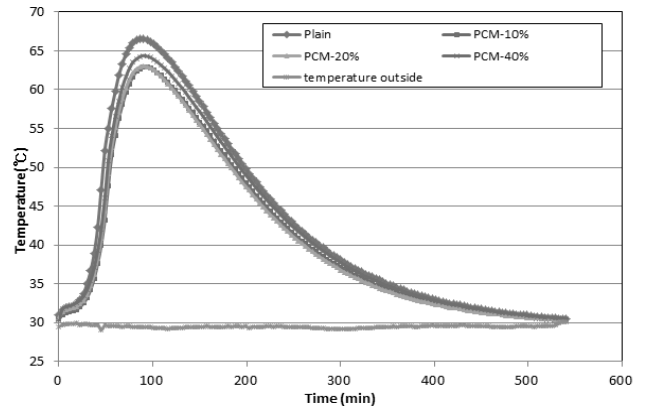


Fig. 11 Results of adiabatic temperature rise test

대체율 증가에 따라 염소이온침투 저항성은 증대되었으며, PCM 대체율 60% 이상에서는 증가 경향이 둔화되는 것으로 나타났다.

### 3.6 수화열 특성

초속경 시멘트의 수화열저감을 위해 잠열재의 배합조건별 수화발열특성을 검토하기 위해 Fig. 4에서 제시한 간이단열 온도시험장치를 이용하여 평가한 결과는 Fig. 11과 같다.

모든 배합조건에서 배합 후 약 40분부터 발열온도가 상승하기 시작하여 약 90~100분경에 가장 높은 온도를 나타내었으며, 약 500분 이후에 온도가 외기온도와 같이 수렴되는 것으로 나타났다.

반강성 포장용 초속경시멘트 주입재의 아크릴레이트에 대한 PCM의 대체율에 따른 수화발열 특성은 10% 및 20% 혼입 시 우수한 수화열 저감효과를 나타내어 Plain에 비하여 최대 8.9°C의 온도 저감효과를 나타내었다. 반면 PCM의 대체율 40% 이상에서는 오히려 수화열 저감성능이 일부 저하되는 경향을 나타내었다.

## 4. 결론

이 연구에서는 반강성 포장체의 주입재로 사용되는 초속경 시멘트의 수화열저감을 통한 반강성 포장체의 성능향상을 목적으로 상변화 물질인 PCM의 적용성을 검토하기 위하여 주입재의 물리 역학적 성능을 평가하였으며, 본 연구의 범위 내에서 얻어진 결과는 다음과 같다.

- 1) 반강성 포장용 시멘트 주입재의 유동성 및 응결특성 평가 결과, 아크릴레이트에 대한 PCM 대체율과 상관없이 국내외 품질기준을 모두 만족하는 것으로 나타났으며, 60%이

- 상 대체시 응결시간이 일부 촉진 되는 것으로 나타났다.
- 2) 강도특성 평가 결과, 압축강도와 부착강도는 PCM대체를 증가에 따라 강도가 미소하지만 증가되는 경향을 나타냈고, 60%이상에서는 증가율이 둔화되었다. 휨강도 결과는 압축강도와 달리 20%이상 혼입시 오히려 강도가 저하되는 결과를 나타냈다. 하지만, 모든 배합조건에서 국내 품질기준을 만족하였다.
  - 3) 반강성 포장용 시멘트 주입재의 단점인 염해저항성 평가 결과, PCM 혼입률 증가에 따라 염소이온침투저항성이 증대되는 것으로 나타났으나, 모든 배합조건에서 일반 OPC에 비해서는 낮은 염소이온침투저항성을 나타내었다.
  - 4) 수화열 저감성능 검토결과, 주입재의 아크릴레이트 대체재로서 PCM 20% 혼입시 가장 우수한 수화열 저감 효과를 나타내었으며, 40% 혼입시 효과가 둔화되는 것으로 나타났다.
  - 5) 반강성 포장용 시멘트 주입재의 아크릴레이트 대체재로서 PCM의 활용가능성을 평가한 결과, 역학적 성능과 수화열저감성능은 확보되는 것으로 확인하였으나, 추후 내구성 및 경제성에 대한 추가 검토가 필요한 것으로 사료된다.

## 감사의 글

이 논문은 2015학년도 충남대학교 교육공무원 국외파견 연구경비 지원사업에 의하여 수행된 연구결과입니다.

## References

Lee, B. J., Lee, J., Hyon, J. H., and Kim, Y. Y. (2013), Properties of SPE-Based Cement Grout for Semi-Rigid Pavements, *Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection*, 17(4), 57-65.

Park, K. Y., Lee, J. J., Kwon, S. A., and Jeong, J. H. (2010), Evaluation of Functional and Structural Performance of Semi Rigid Overlay Pavements, *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, 30(3D), 271-278.

Lee, B. J., Bang, J. W., Hyun, J. H., Kim, Y. Y., Noh, J. H., and Lee, J. (2012), Flowing and Strength Properties of Cement Concrete Grouts for Bridge Deck Pavements using Sulfur Polymer Emulsion, *Proceedings of the Korea Concrete Institute*, 24(2), 261-262.

Park, T. S. (2008), Evaluation of the Performance and Moisture Retaining Ability in Semi-Rigid Pavement, *Korean Society of Road Engineers*, 10(1), 69-79.

Baek, S. H. (2010), Fracture Toughness of Semi-Rigid Asphalt Concrete, Kangwon national university graduate school, 42-45.

Khil, B. S., Yun, H. D., and Jeong, O. R. (2011), Field Application of Low Heat Concrete Using Strontium Hydroxide Based Latent Heat Material, *Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection*, 15(5), 218-226.

Kim, Y. R., Kim, D. S., Khil, B. S., Kim, O. J., and Lee, D. B. (2009), Experimental Study on the Generation of Hydration Heat of Binder using Latent Heat Material, *Journal of The Korean Institute of Building Construction*, 9(3), 103-107.

Kim, H. I., Jin, X. Z., Choi, H. W., and Park, S. M. (2007), Preparation of Polyurea Microcapsules Containing Phase Change Material and their Application on Fiber Composites, *The Korean Society Of Dyers And Finishers*, 19(1), 37-44.

Lee, B. J., Jang, Y. I., Bae, J. Y., Bang, J. W., Kim, Y. Y., and Kim, J. H. (2012), Experimental Study on the Strength Properties of Porous Concrete Using Surface Coated Recycled Aggregate, *Proceedings of the Korea Concrete Institute*, 24(2), 727-728.

NT-Build 492 (1999), Concrete, Mortar and Cement-Based Repair Materials : Chloride Migration Coefficient from Non-Steady-State Migration Experiments, *Nordtest, Finland*.

ASTM C 939:10 (2010), Standard Test Method for Flow of Grout for Preplaced-Aggregate Concrete (Flow Cone Method), *American Society of Testing Materials*.

Received : 02/15/2016  
 Revised : 03/07/2016  
 Accepted : 03/09/2016

**요 지 :** 본 연구에서는 상변화물질(PCM)을 반강성 포장체를 구성하는 초속경시멘트 페이스트 주입재에 적용하기 위한 연구를 수행하였다. 반강성포장용 주입재의 아크릴레이트를 PCM으로 치환에 따른 총 6종류의 주입재 배합에 대하여 경화 전·후 특성을 실험을 통해 평가하였다. 아크릴레이트를 PCM으로 치환하여 유동성을 평가한 결과 본 연구에서 목표로한 유하시간 10~13 초를 모두 만족시킬 수 있는 것으로 나타났다. 응결시간의 경우 PCM으로 치환하더라도 초속경 시멘트의 성능을 확보할 수 있는 것으로 나타났고, PCM 치환 60%이상의 경우 초결시간이 다른 배합에 비해 1~2분 빨리 발생되었다. 압축강도 및 부착강도의 경우 Plain 배합과 유사한 강도특성을 나타내었고, 본 연구에서 목표로 하는 압축강도 36MPa, 부착강도 2MPa를 모두 만족시켰다. PCM으로 치환한 배합은 아크릴레이트만을 사용한 배합에 비해 우수한 염소이온침투저항성을 나타내었으나, OPC수준에는 미흡하였다. 반강성 포장용 주입재에 대한 물리·역학적 성능평가 결과, 이 연구의 범위내에서는 PCM 대체율 20% 수준이 효과적인 것으로 판단된다.

**핵심용어 :** 초속경시멘트, 주입재, PCM, 수화열저감