

## 복합열화 환경을 받는 콘크리트 시설물을 위한 보수용 폴리머 시멘트 복합체의 내구성능 향상에 관한 연구

### Enhanced Durability Performance of Polymer Modified Cement Composites for Concrete Repair Under Combined Aging Conditions

원 종 필\* · 박 찬 기\*\*

Won, Jong Pil · Park Chan Gi

#### Abstract

The purpose of this study is to improve the durability performance of polymer modified cement composites for repair of concrete under combined aging conditions.

The experimental procedure was divided into three parts. First, the replacement level of mineral admixtures in polymer modified cement composites were determined in an experimental study based on a Box Behnken design. Second, the flow value, compressive strength and chloride permeability test of sixteen types of mixtures were conducted. Test results show that the polymer modified cement composites were effected on the improvement of the compressive strength and permeability performance. Third, the effects on the replacement level of silica fume mixture was evaluated by the compressive strength, chloride permeability, chemical resistance and repeated freezing and thawing cycles test. They demonstrated that the polymer modified cement composites using mixture of silica fume, fly ash, and blast furnace slag improved the durability performance.

*Keywords* : Box Behnken design, Chloride permeability, Chemical resistance, Durability, Mineral admixtures, Premix type polymer mortar.

#### I. 서 론

시멘트 복합체의 성능저하는 내구성 저하로 인해 나타나는 경우가 대부분이며 내구성에 영향을 미치

는 인자는 매우 다양하고 복합적으로 작용하고 있다.<sup>16)</sup> 특히, 하수종말처리장과 같은 하수처리시설, 쓰레기 소각장 등은 시멘트 복합체의 열화를 촉진시킬 수 있는 다량의 유해물질을 함유하고 있어 각종 손상을 발생시킨다. 손상된 시멘트 복합체는 재시공에 따른 경제적 손실로 인하여 보수를 통해서 본래의 기능을 회복하여야 하나 보수재료 역시 일반 구조물에 적용하는 재료를 사용하게 되면 재보수기간이 짧아져 경제적, 환경적 손실을 야기시킬

\* 건국대학교 사회환경시스템공학과 부교수

\*\* 건국대학교 전임연구원

\* Corresponding author. Tel.: +82-2-450-3750

Fax: +82-2-2201-0907

E-mail address: jpwon@konkuk.ac.kr

수 있다. 하수종말처리장과 같은 하수처리시설용 시멘트 복합체의 열화를 일으키는 원인을 살펴보면 각종 산, 염류, 알칼리류 혹은 특수한 유지를 취급하는 공장에서 배출되는 폐수 그리고 축사 등에서 배출되는 오염물질 등이 있다. 이러한 물질들은 시멘트 복합체에 작용하여 구조물의 침식을 촉진시킨다.<sup>7)</sup> 유해이온에 의한 콘크리트의 침식 메커니즘은 주로 시멘트 화학적 개념으로 해석되어 왔으나 황산염이온과 시멘트 수화물의 반응으로 인하여 시멘트 경화체에 팽창성 물질이 생성되어 균열을 일으키게 됨으로써 과도할 경우 팽창 붕괴를 일으키게 된다고 한다.<sup>11),12),13)</sup> 이런 화학적 침식이 시멘트 복합체의 성능저하를 유발할 정도로 그 피해가 심각하지만 많은 인식부족으로 적절한 규정조차 확립하지 못하고 있을 뿐만 아니라 지금까지의 연구결과들에서도 화학적 침식에 대한 정확한 원인과 메커니즘 규명에 있어 많은 논란을 거듭하고 있는 실정이다.<sup>11),12),13),15)</sup> 현재 국내·외적으로 화학적 침식의 문제점을 해결하기 위하여 시멘트 복합체에 혼화재를 첨가하여 고밀도의 제품을 만들거나 시멘트 자체 성질의 개선을 통한 재료의 개발 등 다각적인 연구가 진행되고 있지만 현재까지도 확실한 해결책이 마련되지 않고 있다.<sup>3),9),15),17)</sup>

또한, 화학적 침식에 의해서 내구성능이 감소한 시멘트 복합체의 보수는 일반 환경에 노출된 시멘트 복합체와 다른 보수재료를 사용하여야 한다. 그 이유는 보수재료 역시 화학적 침식에 의해서 지속적으로 성능 감소 가능성을 가지고 있기 때문이다. 현재 하수종말처리장과 같은 하수처리시설은 화학적 침식을 받는 구조물로 이에 사용되는 시멘트 복합체의 경우 화학적 침식에 대한 저항성을 확보하고자 내화산업 시멘트를 사용하거나 보통포틀랜드 시멘트에 플라이애시, 고로슬래그 등 광물질 혼화재를 첨가하여 사용하고 있다.<sup>8),9),10)</sup> 따라서, 화학적 침식을 받는 구조물의 보수재료 역시 내구성능 향상을 위하여 광물질 혼화재를 적용하여 저항성을 확보하는 것은 매우 유용한 방법이라 할 수 있을

것이며, 광물질 혼화재의 사용은 경제성 향상 효과도 추가적으로 얻을 수 있다.<sup>8),10),17)</sup>

현재 국내에서는 성능이 감소한 콘크리트 구조물의 보수재료로 폴리머 시멘트 복합체가 널리 사용되고 있다.<sup>2),6),14)</sup> 보수용 폴리머 시멘트 복합체의 적용은 작업현장에서 시멘트계 분말 시료와 액상 폴리머를 현장에서 배합하는 재료가 많은데, 이러한 재료는 현장작업자의 숙련도에 따라 품질의 차이를 보일 수 있는 단점이 있다.<sup>1)</sup> 이와 같은 문제점을 해결하기 위하여 분말로 건조된 폴리머를 시멘트계 분말재료와 미리 혼합한 프리믹스 제품을 현장에서는 일정량의 물만 혼합하여 사용하고 있는 프리믹스 타입 보수용 폴리머 시멘트 복합체가 개발되어 적용되고 있다.

폴리머 시멘트 복합체에 광물질 혼화재의 영향을 평가한 국내 연구는 고로슬래그 미분말을 시멘트 중량의 50%까지 사용하여 폴리머 시멘트 복합체의 성능을 향상시키기 위한 연구 등이 있다.<sup>7)</sup> 이와 같은 연구의 결과를 살펴보면 고로슬래그 미분말의 치환율이 증가할수록 폴리머 시멘트 복합체가 성능이 향상되는 것으로 보고하고 있다.<sup>7)</sup> 그러나 이와 같은 연구들의 대부분은 보수용 폴리머 시멘트 복합체에 대한 것이라기보다는 일반 폴리머 시멘트 복합체에 대한 것이다.

따라서, 본 연구에서는 화학적 침식을 받는 하수종말처리장과 같은 환경기초시설물의 내구성능 향상을 위한 보수재료로 폴리머 시멘트 복합체를 적용함에 있어 화학적 침식에 대한 저항성을 강화하고자 플라이애시 및 고로슬래그 등 광물질 혼화재의 사용량을 결정하고자 한다.

## II. 사용재료 및 시험방법

### 1. 폴리머 시멘트 복합체/광물질 혼화재

본 연구에 사용된 폴리머 시멘트 복합체는 국내 A사의 제품으로 프리믹스 타입이며, 제조사에서 제

Table 1 Properties of premix type polymer composites

Property	Value
Based polymer	Vinylacetate-ethylene copolymer
Largest sand grain size	2 mm
Apparent density	approx. 2.0 ton/m <sup>3</sup>
Average compressive strength	after 1 day 13.0 MPa after 7 days 47.0 MPa after 28 days 59.0 MPa
Average flexural strength	after 7 days 11.0 MPa after 28 days 13.0 MPa

시험 주요 특성은 Table 1과 같다.

본 연구에서는 광물질 혼화재로서 실리카 폼, 플라이애시 및 고로슬래그 미분말을 사용하였으며, 각각의 물리적 성질과 화학적 성분은 Table 2와 같다.

## 2. 시험 방법

### 가. 흐름시험

프리믹스 타입 폴리머 시멘트 복합체의 목표 흐름 값은 보수용 뿔어 붙이기 모르타르의 적정한 흐름 값인 170±5 mm로 설정하였으며, 목표 값을 만족하게 맞추기 위하여 유동화제를 추가로 첨가하지 않고 배합수의 양을 증가시켰다.

흐름 시험은 KS L 5105(수경성 시멘트 모르타르의 압축강도 시험방법) 및 KS L 5111(시멘트 시험용 플로우 테이블)에 준하여 실시하였다.

### 나. 압축강도 시험

압축강도 특성을 알아보기 위하여 KS L 5105(수경성 시멘트 모르타르의 압축강도 시험방법)에 의하여 복합체의 압축강도를 측정하였다.

### 다. 염소이온투과 시험

보수용 폴리머 시멘트 복합체의 투수성능은 ASTM C 1202(Standard Test Method for Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration)의 시험방법에 준하여 평가하였다. Fig. 1은 염소이온투과시험 모습을 나타낸 것이다.

### 라. 내약품성

본 연구의 내약품성 시험은 기존 연구자들의 화학적 환경에서 콘크리트의 영향 등을 연구한 결과를 기초로 하여 시험방법을 설정하였다.<sup>4),5)</sup> 50 mm 입방체 공시체를 제작하여 1일후 탈형하여 5일간 수중양생을 한 후, 나머지 재령 28일간 기건

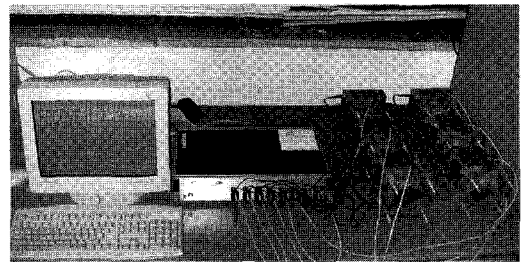


Fig. 1 Photo of chloride ion penetration test

Table 2 Physical properties and chemical composition of mineral admixture

	Physical properties			Chemical composition (%)							
	Specific gravity	Ig. loss	Fineness (cm <sup>2</sup> /g)	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O
SF*	2.2	2.8	240,000	94.0	0.3	0.8	-	0.3	0.4	0.8	0.2
FA**	2.14	3.28	3400	58.12	23.56	7.69	1.05	2.59	1.12	1.42	0.31
BFS***	2.91	0.5	4500	31.10	14.69	0.31	-	47.00	3.50	0.39	0.44

\* silica fume, \*\* fly ash, \*\*\* blast furnace slag

양생을 실시하였다. 내약품성시험은 재령 28일간 양생 후 염(10%의  $\text{CaCl}_2$ ), 염기(10%의  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) 및 산(5%의  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) 용액에 침지시킨 후 0, 30, 40 및 50일까지의 잔류 압축강도를 측정하였다.

**마. 동결융해저항성**

KS F(급속 동결 융해에 대한 콘크리트의 저항 시험 방법)에 준하여 동결융해저항성 시험을 실시하였다. 동결융해저항성을 측정하기 위하여 50×50×50 mm의 공시체를 제작하여 강도감소율을 측정하였다. 일반적으로 동결융해저항성을 평가하는 방법은 상대 동탄성계수를 구하여 내구성 지수를 분석 결정한다. 그러나 본 연구에서는 직접압축강도를 측정하여 동결융해저항성을 평가하였다. 이는 상대 동탄성계수의 평가는 파괴시험으로 파괴시험과 다르고 콘크리트와 달리 복합체의 경우 입방체 물드를 이용하기 때문에 동결융해 시험 후 압축강도를 측정할 수 있는 충분한 공시체를 확보할 수 있기 파괴시험인 압축강도를 측정하여 동결융해저항성을 평가하였다.

**Ⅲ. 시험계획 및 배합설계**

본 연구는 환경기초시설물의 내구성 향상을 위한 보수재료의 성능을 향상시키고자 기존 보수용 폴리머 모르타르에 3가지 종류의 광물질 혼화재를 혼합하여 내구성능을 평가하였다. 이를 위하여 첫 번째 과정으로 예비시험을 실시하였는데 실리카 폼, 플라이애시 및 고로슬래그 미분말 등 세가지 혼화재료를 변수로 통계적인 방법의 하나인 Box Behnken 설계법을 사용하여 기본 배합을 설계하였다. 설계된 배합을 바탕으로 흐름시험, 압축강도, 염소이온투과시험을 실시하였으며 예비시험결과를 기본으로 하여 광물질 혼화재 사용량을 결정 한 후 2차 내구성 시험을 실시하여 가장 우수한 내구성능을 가지는 광물질혼화재의 사용량을 결정하였다. Fig. 2는 본 연구의 시험계획을 나타낸다.

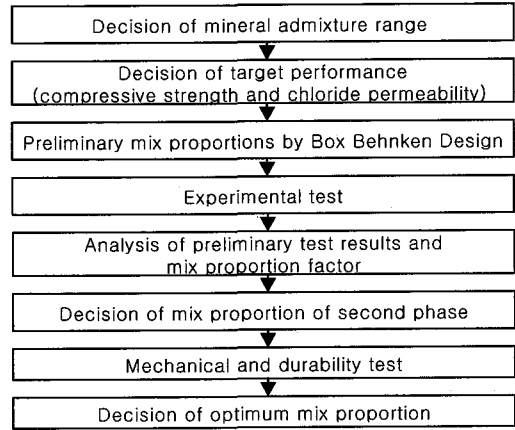


Fig. 2 Experimental flow

보수용 폴리머 시멘트 모르타르의 성능 목표 값은 재령 28일의 압축강도는 50 MPa, 염소이온투과 저항성은 1,000 Coulombs 이하로 하였다.

예비시험 결과 압축강도 및 염소이온투과저항성은 실리카 폼의 사용량에 영향을 받음을 알 수 있었다. 또한, 경제성에 영향을 미치는 재료는 폴리머 복합체와 실리카 폼이다. 즉, 폴리머 복합체의 양과 실리카 폼의 사용량이 많아지면 경제성이 악화된다. 그러나 이와 반대로 고로슬래그와 플라이애시의 양이 증가하면 경제성은 좋아진다. 따라서 배합중 폴리머 모르타르 및 실리카 폼의 양은 작을수록 플라이애시와 고로슬래그의 양은 증가할수록 경제성이 좋아진다. 따라서 예비시험결과를 바탕으로 경제성을 고려하여 Table 2의 A1 배합과 같은 폴리머 모르타르, 실리카 폼, 플라이애시 및 고로슬래그 미분말의 양을 결정하였다. 또한 실리카 폼의 양에 따라 폴리머 모르타르의 성능에 영향을 받는 것으로 나타난 예비시험결과에 따라 실리카 폼의 사용량 변화에 따른 내구성 시험을 실시하였다. 즉, A1 배합을 기준으로 프리믹스 타입 폴리머 시멘트 복합체의 양을 고정하고 실리카 폼의 양은 4%, 5%, 7%로 하여 성능을 평가하였다.<sup>15),16)</sup> 이때 증가된 양 만큼 플라이애시나 고로슬래그의 양을 감소시키는 방법으로 배합설계를 실시하였다. Table

Table 3 Mix proportions of second phase of experiment

(g)

Type of mixture	Polymer mortar	Silica fume	Fly ash	Slag
A1	1,762.5	87.5 (5%)*	300 (17%)	350 (20%)
A2	1,762.5	100 (6%)	300 (17%)	337.5 (19%)
A3	1,762.5	100 (6%)	287.5 (16%)	350 (20%)
A4	1,762.5	125 (7%)	300 (17%)	312.5 (18%)
A5	1,762.5	125 (7%)	262.5 (15%)	350 (20%)
A6	1,762.5	175 (10%)	300 (17%)	262.5 (15%)
A7	1,762.5	175 (10%)	212.5 (12%)	350 (20%)

\* ( ) 폴리머 모르타르에 대한 중량비

3은 실리카 폼의 사용량 변화에 따른 본 시험에 사용된 배합이다.

#### IV. 실험 결과 및 고찰

##### 가. 압축강도

압축강도 시험결과 Fig. 3과 같이 기준배합인 A1 배합에 비하여 대부분의 비교 공시체가 초기 압축강도가 증가함을 알 수 있다. 장기강도는 대부분의 배합에서 기준배합과 동등하거나 약간 증가하는 것으로 나타났다.

##### 나. 염소이온투과저항성

염소이온투과저항성 시험결과는 Fig. 4와 같다. 기준배합과 비교하여 염소이온투과저항성이 상당히 감소함을 알 수 있다. 특히, A6~A7 배합의 경우 다른 배합과 비교하여 500 Coulombs 이하의 통과 전하량을 보여줌으로써 매우 우수한 염소이온투과저항성을 보여줌을 알 수 있다.

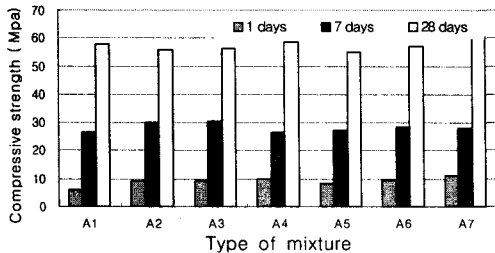


Fig. 3 Compressive strength test results

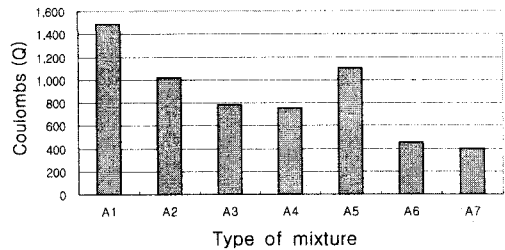


Fig. 4 Chloride ion permeability test results

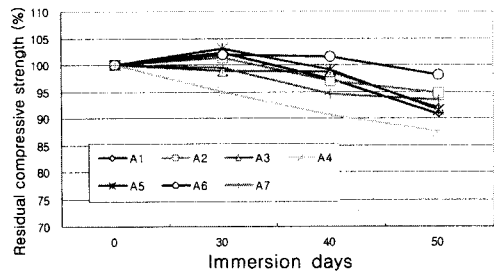


Fig. 5 Residual compressive strength rate after CaCl<sub>2</sub> solutions immersion

##### 다. 내약품성

CaCl<sub>2</sub> 용액에 노출 후 잔류 압축강도 시험결과는 Fig. 5와 같다. 시험결과 A4 배합을 제외한 모든 배합에서 90% 이상의 잔류 압축강도를 보여줌에 CaCl<sub>2</sub> 용액에 대한 저항성은 우수하다고 판단된다. A4 배합의 경우 역시 약 87%의 잔류 압축강도를 보여줌에 A6 배합(98%)보다는 떨어지지만 A2 배합(94%), A3 배합(91%), A5 배합(91%)

및 A7 배합(93%)와 비교하여서는 큰 차이를 보여 주지 않았다. A6 배합의 경우 플라이애시의 양은 기준배합과 같고 고로슬래그의 양의 감소분만큼 실리카 폼을 혼합함으로써 잔류 압축강도를 크게 증가시킬 수 있었는데 이는 CaCl<sub>2</sub> 용액에 대한 저항성을 확보하기 위해서는 실리카 폼의 사용량을 증가시키는 것이 유리하며 고로슬래그 보다는 플라이애시를 사용하는 것이 효과적이라는 것을 나타낸다. 또한 A2 배합의 결과로 보아 고로슬래그의 효과를 얻기 위해서는 고로슬래그의 혼합량을 어느 정도 이상으로 증가시킬 필요가 있다. 즉 수중콘크리트의 경우 고로슬래그의 효과를 획득하기 위해서는 적어도 40~50% 이상 사용하여야 한다는 시험결과와 비슷한 결과를 할 수 있다.

Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 용액에 노출 후 잔류 압축강도 시험결과는 A4 배합(84%)을 제외한 모든 배합에서 90% 이상의 잔류 압축강도를 보여주어 Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>에 대한 저항성이 우수하게 나타났다(Fig. 6). 또한 A6 배합은 CaCl<sub>2</sub> 용액에서와 마찬가지로 약 98%의 잔류 압축강도를 보여주어 가장 우수한 결과를 보여주었으며, A2 배합역시 97%의 잔류 압축강도를 보여주었다. 그리고 A4 배합은 CaCl<sub>2</sub> 용액보다는 떨어지지만 A1 배합(90%), A3 배합(91%), A5 배합(91%) 및 A7 배합(92%)과 비교해서는 10%보다 작은 잔류압축강도의 차이를 보여주었다. A6 배합의 경우 플라이애시의 양은 기준배합과 같고 고로슬래그의 양의 감소분만큼 실리카 폼을 혼합함으로써 잔류 압축강도를 크게 증가시킬 수 있었다. 또한 A2 배합의 경우 플라이애시의 양은 A6 배합과 실리카 폼의 양은 작으며, 고로슬래그의 양은 크다. 그러나 잔류압축강도의 크기가 비슷하게 나타난 것으로 보아 플라이애시의 양을 고정하였을 때 고로슬래그의 효과를 얻기 위해서는 어느 정도 이상으로 고로슬래그의 양을 증가시킬 필요가 있다는 것을 알 수 있다. 즉 수중콘크리트의 경우 고로슬래그의 효과를 획득하기 위해서는 적어도 40~50% 이상 사용하여야 한다는 시험결과와 비슷한

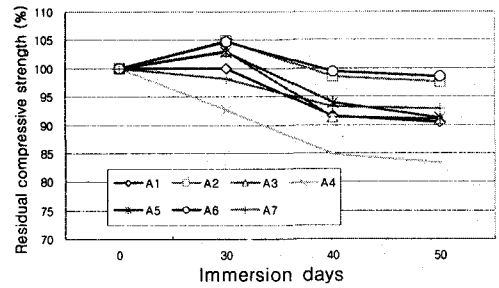


Fig. 6 Residual compressive strength rate after Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> solutions immersion

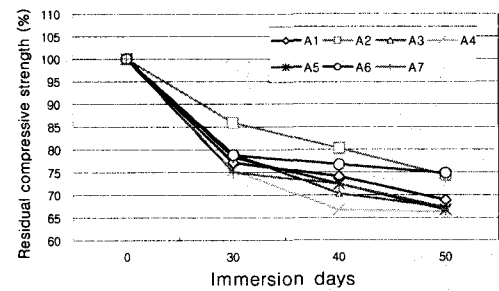


Fig. 7 Residual compressive strength rate after H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> solutions immersion

결과라 할 수 있다.

H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 용액에 노출 후 압축강도 시험결과는 잔류 압축강도가 약 65~75% 정도로 나타났다(Fig. 7). 특히, A2, A6 배합을 제외한 배합은 60% 이하의 잔류 압축강도를 보여주어 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 용액에 대한 영향을 크게 받음을 알 수 있었다. 그러나 A2 및 A6 배합은 75% 정도의 잔류 압축강도를 보여주어 다른 배합보다는 우수한 저항성을 가지고 있음을 알 수 있었다. 이는 CaCl<sub>2</sub> 용액 및 Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 용액에 노출 후 잔류 압축강도 시험결과와 동일한 이유에서 발생한 효과라 판단된다.

#### 라. 동결융해저항성

각 배합에 대한 동결융해저항성 시험결과는 Fig. 8과 같다. 동결융해저항성 시험결과를 살펴보면 모두 배합에서 상대 압축강도 90% 이상을 보여주어 동결융해에 대한 영향은 거의 받지 않는 것으로 나타났다. 따라서 동결융해에 대한 저항성은 모든 배

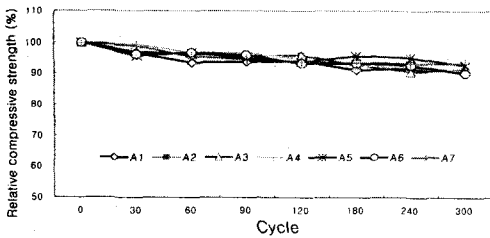


Fig. 8 Relative compressive strength after repeated freezing and thawing cycle

합에서 매우 우수한 성능을 발휘하였다고 할 수 있다.

### V. 결 론

본 연구는 하수처리시설과 같은 화학적 침식 작용을 받는 구조물의 보수재료가 내구성능이 감소되는 문제점을 해결하기 위하여 보수용 폴리머 시멘트 복합체에 실리카 폼, 고로슬래그, 플라이애시 등과 같은 광물질 혼화재를 첨가하여 역학적 성능 및 내구성능을 강화하기 위한 것이다. 실험결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 예비시험결과 흐름값, 압축강도 및 염소이온 투과저항성은 실리카 폼의 혼입률에 영향을 받고 있음을 알 수 있었다. 이는 실리카 폼이 매우 미세한 비정질의 실리카로 되어 있어 미세 공극을 감소시켜 시멘트 복합체의 구조를 보다 치밀하게 하여 투과성을 감소시켰기 때문이다.
2. 예비시험결과를 기본으로 경제성과 성능이 우수한 A1 배합을 기본배합으로 결정하고, 실리카 폼, 플라이애시 및 고로슬래그의 양을 조정하여 본 시험을 실시하였다.
3. 본 시험결과 염소이온투과 시험결과 매우 우수한 염소이온투과저항성의 향상을 보여주었다. 특히, A6 및 A7 배합의 경우 통과 전하량이 500 Coulombs 이하로 매우 우수한 결과를 보여주었다.
4. 내화학적 시험결과  $CaCl_2$  및  $Na_2SO_4$  용액에 노출후 잔류 압축강도는 모두 90%를 상회하는 우수한 결과를 보여주었다. 그러나  $H_2SO_4$  용액에서

는 A2 및 A6 배합에서는 잔류 압축강도가 약 75%를 보여주었으나, 다른 배합에서는 70% 이하를 보여주었다.

5. 동결융해저항성 시험결과 모든 배합에서 잔류 압축강도가 90% 이상으로 동결융해 반복은 본 연구에서 사용된 배합에서는 거의 영향을 미치지 않음을 알 수 있었다.

6. 상기와 같은 결과로 볼 때 본 연구에서는 A6 배합(폴리머 시멘트 복합체: 1,762.5 kg, 실리카 폼: 175 kg, 플라이애시: 300 kg, 고로슬래그: 262.5 kg)이 염소이온투과저항성 및 내약품성이 가장 우수하게 나타났으며, 동결융해에 대한 영향도 거의 받지 않아 화학적 침식 환경에 노출되었을 때 가장 우수한 배합이라 할 수 있다.

### 감사의 글

이 논문은 2005년도 건국대학교 학술진흥연구비 지원에 의한 논문임

### References

1. Austin, S.A. and Robins, P.J., 1999, Wet process sprayed concrete technology for repair, final report of EPSRC grant, April 1999.
2. Chandra, S. and Ohama, Y., 1994, Polymers in concrete, CRC Press.
3. Donald F. Griffin and Robert L. H., 1963, Effect of salt in concrete on compressive strength, water vapor transmission and corrosion of reinforcing steel, Proceedings, ASTM, Vol. 63
4. Fontana, J. and Reams, W., 1985, The Effect of moisture on the physical and durability properties of methyl methacrylate polymer concrete, Polymer Concrete: Uses, Materials and Properties, SP-89-5, pp. 91-103
5. Heikal, M., Aia, I and Shoaib, M. M., 2001,

- Physico-chemical characteristics of some polymer cement composites", *Journal of Materials Chemistry and Physics*, Vol. 71, pp. 76-83
6. Ji, K. Y., Yeon, K. S., Lee, Y. S. and Jun, C. S., 1999, Fundamental properties of polymer composite materials for concrete repair, *Proceedings of KCI*, Vol. 11 No. 2, pp. 319~322. (in Korean)
  7. Joo, M. K., Yeon, K. S., and Lee, Y. S., 2001, Properties of polymer-modified mortars using ground granulated blast-furnace slag, *Proceedings of KCI*, Vol. 13, No. 1, pp. 1035-1040. (in Korean)
  8. Li, G., 2003, A new way to increase the long-term bond strength of new to old concrete by the use of fly ash, *Journal of Cement and Concrete Research* Vol. 33, pp. 799-806
  9. Moon, H. Y. and Kim, S. S., 2001, Concrete admixtures, Korea concrete institute
  10. Moon, H. Y. and Kim, S. S., 2001, Civil engineering materials, Gumibook.
  11. Miller, D. G. and Manson, P. W., 1951, Long Time tests of concretes and mortars exposed to sulphate waters, *Bull. Min. Agric. Exp. Stn.*, No. 124
  12. Metha, P. K., 1983, Mechanism of sulfate attack on portland cement-another look, *Cement and Concrete Research*, Vol. 13, pp. 401-406
  13. Metha, P. K., 1986, Effect of fly ash composition on sulfate resistance of cement", *ACI Journal*, Nov.-Dec, pp. 401-406.
  14. Schulze, J., 1999, Influence of water-cement ratio and cement content on the properties of polymer-modified mortar, *Cement and Concrete Research*, Vol. 29, pp. 909-915.
  15. Won, J. P., Lee, C. M. and Park, C. G., 2003, Durability characteristics of blended cement mortars, *Journal of KSAE*, Vol. 45, No. 3, pp. 41-49. (in Korean)
  16. Won, J. P. and Kong, T. W., 2005, Permeability of jet set cement concrete with mineral admixtures, *Journal of KSAE*, Vol. 47, No. 3, pp. 41-48. (in Korean)
  17. Vuk, T., Gaborovsek, R. and Kaucic, V., 2002, The Influence of mineral admixtures on sulfate resistance of limestone cement pastes aged in cold  $MgSO_4$  solution, *Cement and Concrete Research*, Vol. 32, pp. 943-948