

# 수경성 광물질 혼합재를 사용한 교면 덧씌우기용 고성능 콘크리트의 내구성능에 관한 실험적 연구

## Experimental Study on Durability Properties of High Performance Concrete on Using Hydraulic Mineral Admixtures for Bridge Deck Overlay

(Received May 30, 2011 / Revised June 22, 2011/ Accepted June 30, 2011)

김기형<sup>1)\*</sup> 손형호<sup>2)</sup> 정호진<sup>2)</sup> 이재남<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>여주대학 토목과 <sup>2)</sup>SGS건설시험연구원

Ki-Hyung Kim<sup>1)\*</sup> Hyung-Ho Son<sup>2)</sup> Ho-Jin Jung<sup>2)</sup> Jae-Nam Lee<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Dept. of Civil Engineering, Yeosu Institute of Technology, Gyeonggi-Do, 469-705, Korea

<sup>2)</sup>SGS Construction Quality Test & Analysis, Gyeonggi-Do, 451-851, Korea

### Abstract

In this study, it is evaluated on the properties of mechanical performance, autogenous shrinkage and chloride resistance for application of high performance concrete for bridge deck overlay used slag powder and fly ash as a representative by-product of industrialization. According to test results, it is evaluated that the durability of concrete is improved the properties of chloride resistance, autogenous shrinkage and alkali aggregate reaction by using hydraulic mineral admixtures. It is considered to have a green construction and an economic feasibility on recycling of by-product as a improved concrete for durability and efficiency in materials and constructions.

**키워드** : 교면 덧씌우기, 고성능 콘크리트, 슬래그 미분말, 플라이애쉬, 내구성

**Keywords** : Bridge Deck Overlay, High Performance Concrete, Slag powder, Fly ash, Durability

## 1. 서론

교면 덧씌우기는 포장은 교량의 상판을 보호하고, 쾌적성과 주행성, 안전성을 확보하는 것을 목적으로 한 구조물로서, 일반적으로 두께 5~10cm 정도의 아스팔트나 콘크리트 혼합물 층이 교량의 바닥판에 하중을 전달하는 구조이다. 교면 덧씌우기는 얇은 판상의 구조를 가지므로, 공용기간동안 차량의 하중 및 주행과정에서의 표면마모와 같은 물리적인 요인 외에도 제설제 사용 및 동결융해의 지속적인 반복작용 등 외부 요인에 의한 영향으로 타 구조물 부위보다 가혹한 환경에 노출되어 있다. 따라서 교량의 수명 및 공용기간의 연장을 위해 교면 덧씌우기용 콘크리트의 내구성 확보가 대단히 중요하다.

현재 교량 바닥판의 보호와 주행성을 위해 사용되는 덧씌우기 공법으로는 아스팔트 교면 덧씌우기가 가장 널리 사용되며, 최근에는 교면 덧씌우기 공법으로 아스팔트 대신 SBR 라텍스나 고강도, 고내구성 확보를 위해 실리카폼을 이용한 콘크리트가 활발히 사용되고 있다. 최근에는 저탄소, 친환경 콘크리트 제조와 알칼리골재 잠재 반응 억제를 위해 대표적인 수경성 광물질 혼화재료인 플라이애쉬와 슬래그분말을 동시에 사용한 고성능콘크리트가 개발되어 사용이 증가하는 추세에 있다.

본 연구에서도 자원 재활용과 이산화탄소 배출 저감을 고려한 고성능 콘크리트 개발의 일환으로서 분말도가 4,000~5,000 cm<sup>2</sup>/g 범위에 있는 고로슬래그 미분말과 Type 2종 플라이애쉬를 사용한 3성분계 콘크리트에 대해 역학적, 자기수축거동 특성 및 내염, 내알칼리골재반응 특성 등에 대한 성능을 평가하여 교면 덧씌우기용 고성능 콘크

\* Corresponding author  
E-mail: yitkim@yit.ac.kr

리트로의 활용 가능성을 검토하고자 한다.

## 2. 교면 덧씌우기용 공법의 특성

아스팔트 덧씌우기는 교량 바닥판 상면에 방수층을 설치한 후 아스팔트 콘크리트를 사용하여 덧씌우기를 하는 공법으로서 주행성이 좋고 시공이 간편한 장점이 있으나, 교량 바닥판의 노후화 징후를 예측, 파악하기가 곤란하고 염화물의 침투로 인한 철근 부식 및 콘크리트 열화현상 발생, 공용기간이 짧아 잦은 보수로 인한 차량 통행의 정체 발생, 방수층 시공에 따른 시공성 불량 등의 문제점이 발생하여 교량의 수명과 공용성을 저하시킨다.

이러한 문제로 인해 최근에는 교면 덧씌우기 공법으로 아스팔트 대신 콘크리트를 이용한 공법이 주로 적용되고 있다.

1980년대부터 미국에서 널리 사용된 SBR라텍스를 사용한 콘크리트 덧씌우기 공법이 국내에서도 2000년대 초반부터 활용되고 있다. 이 공법은 콘크리트 배합시 미립자의 라텍스 고형분이 콘크리트 내부에 골고루 분산되어 시멘트 수화물과 콘크리트 공극 사이를 라텍스 고분자 필름이 채움으로써 부착성, 휨강도, 인장강도, 동결융해저항성, 내투수성, 방수성 등이 향상되는 장점이 있다. 하지만 이 공법은 특수한 전용 시공 장비로 사용해야 하며, 고가의 SBR 라텍스를 대량 사용하여 비용의 부담이 크고, 온도와 기후 조건에 민감한 라텍스의 특성상 기후조건변동이 심한 조건에서의 시공시 품질의 저하가 발생할 위험이 있다.

또한 최근에는 실리카폼을 이용한 고성능 콘크리트의 교면 덧씌우기 공법이 개발되어 사용되고 있다. 이 공법은 시멘트 결합제의 일부를 실리카폼으로 대체하여 사용하는

것을 특징으로 하는데 교면 덧씌우기 공법으로서 재료비가 저렴하여 경제적이며, 별도의 전용 장비 없이 현장 배치 플랜트나 레미콘에서 대량 생산이 가능하여 시공성이 우수한 장점이 있다. 특히 성능 측면에서 포졸란 반응성이 우수한 실리카폼을 사용함으로써 고강도, 수밀성, 차염성을 확보할 수 있다. 그러나 이 공법은 높은 수준의 결합재량과 초미립분의 실리카폼의 사용으로 인한 콘크리트의 고점성화에 의한 표면 마무리, 교량 바닥판과의 부착성 등에서 문제점이 발생할 수 있다.

최근 선진국에서는 플라이애쉬와 슬래그분말을 같이 사용한 고성능콘크리트가 개발되어 사용되고 있다. 이 공법은 재료와 시공 측면에서 내구성과 효율성을 개선시킨 공법으로서 플라이애쉬를 사용함으로써 워커빌리티 향상에 의한 단위수량 감소, 포졸란 반응에 의한 수밀성 증대 효과와 고미분말의 슬래그를 사용함으로써 염소이온의 흡착 및 침투를 차단하는 효과를 가진다. 또한 전체 결합재량에서 일정 부분 플라이애쉬와 슬래그분말을 치환함으로써 시멘트의 사용량을 감소시켜 알카리골재 잠재반응 저항성, 자기수축에 대한 저항성의 증대, 콘크리트 경화조직의 치밀화와 폐자원의 활용으로 이산화탄소 배출 저감 등의 친환경성 증진과 경제성까지 확보할 수 있다.

## 3. 실험 계획

### 3.1 사용재료

본 연구에서 사용한 시멘트는 보통포틀랜드시멘트(국내 H사), 수경성 광물질 혼화제로서 고미분말의 고로슬래그 분말(Type 3종, S사)과 2종 플라이애쉬(S사)를 사용하였으며, 혼화제(국내 D사)는 폴리카르본산계 고성능 감수제와

Table 1 콘크리트 교면 덧씌우기 공법 비교 및 기술동향

단계	공법	장점	단점
1	Low Slump, Dense 콘크리트	경제성 우수	내구성, 장기공용성 저하
2	SBR 라텍스혼입 콘크리트	우수한 방수,내염성 교량의 공용기간 증가	고가의 공사비, 전용제조장비 사용
3	실리카폼 일부 치환 콘크리트	성능은 SBR 라텍스혼입 콘크리트와 유사, 경제성 우수	균열, 박락, 작업성 등의 문제
4	플라이애쉬,고미분말슬래그 콘크리트	균열저감, 작업성 개선 효과 경제성 우수	차염성능 다소 저하

빈줄계 AE제를 사용하였다. 또한 잔골재는 태안산 세척사(밀도 2.59), 굵은골재는 최대치수 13mm의 경기도 화성 비봉산 부순골재(밀도 2.62)를 사용하였다.

혼화재료로서 사용된 고로슬래그분말(Type 3종)과 2종 플라이애쉬의 물리·화학적 품질 기준은 Table 2, 3과 같다.

Table 2 고로슬래그 분말(Type 3)의 품질 기준

항목		기준값
밀도, (g/m <sup>3</sup> )		2.80 이상
비표면적, (cm <sup>2</sup> /g)		4,000~6,000
활성도 지수, (%)	재령 7일	55 이상
	재령 28일	75 이상
	재령 91일	95 이상
플로값비, (%)		95 이상
MgO, (%)		10.0 이하
SO <sub>3</sub> , (%)		4.0 이하
강열감량, (%)		3.0 이하
Cl <sup>-</sup> , (%)		0.02 이하

Table 3 2종 플라이애쉬의 품질 기준

항목		기준값
SiO <sub>2</sub> , (%)		45 이상
수분, (%)		1 이하
강열감량, (%)		5 이하
밀도, (g/m <sup>3</sup> )		1.95 이상
분말도	비표면적, (cm <sup>2</sup> /g)	3,000 이상
	45 $\mu$ m, (%)	40 이하
플로값비, (%)		95 이상
활성도 지수, (%)	재령 28일	80 이상
	재령 91일	90 이상

Table 4 콘크리트 배합수준

Type	Gmax (mm)	Slump (mm)	Air (%)	W/B (%)	S/a (%)	Unit Weight(kg/m <sup>3</sup> )					
						W	C	Slag	F/A	S	G
P <sub>100</sub> S <sub>0</sub> F <sub>0</sub> (OPC)	13	180	6.0	39.4	54.0	168	426	0	0	905	780
P <sub>75</sub> S <sub>15</sub> F <sub>10</sub>							319	64	43	894	771
P <sub>70</sub> S <sub>15</sub> F <sub>15</sub>							298	64	64	890	767
P <sub>60</sub> S <sub>30</sub> F <sub>10</sub>							255	128	43	892	768
P <sub>55</sub> S <sub>30</sub> F <sub>15</sub>							234	128	64	888	765

### 3.2 실험수준 및 콘크리트 배합조건

고로슬래그분말과 플라이애쉬를 사용한 고성능 콘크리트의 제조를 위한 배합수준은 Table 4와 같다. 이 때 고로슬래그 치환량은 15~30%. 플라이애쉬는 10~15%를 치환 사용하였다. 콘크리트의 배합조건은 배출 후 슬럼프 180±25 mm, 공기량 6.0±1.0 %, 단위결합재량 426 kg/m<sup>3</sup>로써 물-결합재비 40%이하, 28일 압축강도 40~45 MPa, 휨강도 6.5~7.0 MPa를 만족하도록 배합하였다.

### 3.3 성능평가

#### 3.3.1 역학적 특성

고성능 콘크리트의 역학적 특성을 평가하기 위하여 KS F 2405에 의한 압축강도와 KS F 2408에 의한 휨강도를 측정하였다.

각각  $\phi$ 100×200 mm 원주형 공시체, 150×150×550 mm 각주형 공시체를 제작하여 재령 7일과 28일에 3개씩 실험을 실시하였다.

#### 3.3.2 자기수축 거동 특성

콘크리트 자기수축 시험방법은 현재 국내에 특별한 규정이 마련되어 있지 않아 일본콘크리트 공학협회의 자기수축 위원회에서 제시한 방법에 따라 측정하였다. Fig.1과 같이 양단 중심에 구멍이 뚫린 100×100×400 mm의 철제 각주형 몰드를 사용하였다. 몰드의 바닥과 양단에 1 mm 두께의 테프론 시트를 깔아서 공시체의 이동이 몰드에 구속을 받지 않도록 하였다. 그 다음 게이지플러그를 몰드 축에 일치하도록 몰드 양쪽 자유단에 설치하고 콘크리트를 타설한 다음 표면에서의 수분 증발 및 흡수를 방지하기 위하여 폴리에스테르 필름으로 덮었다. 콘크리트의 자기수축은 외부로부터 수분 공급이 없을 경우 수화반응이

진행됨에 따라 공극내의 상대습도가 감소하면서 발생하는 체적감소로서, 물-결합재비(W/B)가 낮고 슬래그 사용량이 많은 콘크리트일수록 자기수축이 크게 발생하여 재령 초기에서의 균열 발생 가능성이 커진다. 따라서 본 연구에서는 고로슬래그 미분말을 사용하는 교면 덧씌우기용 콘크리트의 자기수축량을 예측하기 위해 온도가 20°C, 상대습도가 50%가 유지되는 항온항습조건에서 몰드를 방치하고, 분해능이 1/1000 mm인 다이얼게이지를 몰드 양단 게이지 플러그에 부착하여 배합 조건별로 재령 56일까지 측정하였다. 콘크리트 자기수축은 시멘트의 수화반응이 시작되면 일어나므로 콘크리트의 초결 시간이 일어나는 시점을 측정하여 이를 기준으로 하였다.

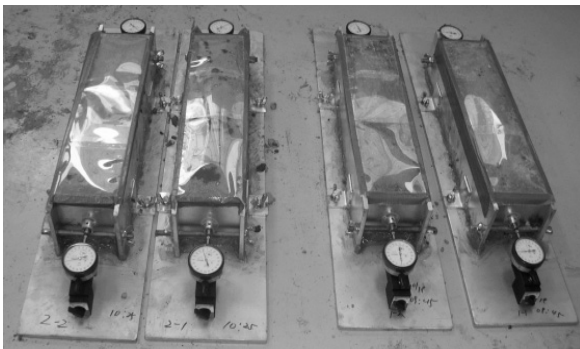
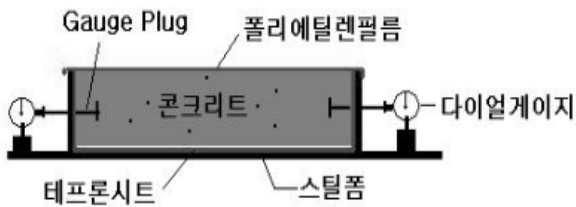


Fig. 1 자기수축 시험 모식도 및 사진

### 3.3.3 콘크리트의 내염 특성

교면 덧씌우기 콘크리트부위는 동절기에 잦은 제설제의 살포로 인해 염화칼슘이나 염화나트륨과 같은 염분에 의한 침식을 가장 많이 받는 곳이다. 이에 따라 교면 덧씌우기 콘크리트의 우수한 내염특성은 중요한 요구 성능중의 하나이다.

콘크리트의 내염성능을 평가하는 방법은 여러 가지가 있지만 본 연구에서는 Fig.2과 같이 가장 널리 사용되고 있는 전기전도도에 의한 염소이온 침투저항성 시험(ASTM C 1202)과 염소이온 침투깊이에 의한 염소이온 확산계수 시험(NT Build 492T) 두가지 방법을 사용하였으며, 배합 조건별로 재령 28일과 56일에 측정하였다.



Fig. 2 내염특성 시험 사진

### 3.3.4 알칼리골재 반응 저항성

콘크리트의 내구성을 저하시키는 요인 중의 하나인 알칼리-실리카 반응(ASR)은 콘크리트 구조물에 장기적으로 균열 및 누수를 일으킨다. 최근 쇄석 골재의 사용으로 발생할 수 있는 알칼리-실리카 반응은 비결정질의 실리카를 함유한 특정 골재와 시멘트의 알칼리 금속이온( $\text{Na}^+$  또는  $\text{K}^+$ )이 수분의 존재하에서 반응하여 알칼리-실리케이트 겔이 생성되고, 이 겔이 팽창하여 구조물에 악영향을 미치는 것으로 알려져 있다.

본 연구에서는 대표적인 광물질 혼화재료인 플라이애쉬와 고로슬래그 미분말을 사용한 교면 덧씌우기용 고성능 콘크리트의 알칼리-실리카 반응에 대한 팽창 저감효과를 평가하기 위해 반응성으로 판정된 골재를 대상으로 배합 조건별로 시편을 제작한 후 ASTM C 1260에 따라 Fig.3과 같이 재령 28일까지 모르타르 봉의 길이변화를 측정하였다.

ASTM C 1260에서는 재령 14일 후 알칼리-실리카 반응에 의한 길이 팽창정도를 측정하여 팽창률이 0.2% 이상이면 “potentially deleterious expansion(잠재적 유해)”, 0.1% 미만이면 “innocuous behavior(무해함)”, 0.1~0.2% 사이로 측정되면 “innocuous and deleterious(무해 또는 유해)” 이나 재령 28일까지 측정하여 판정하도록 되어 있다.



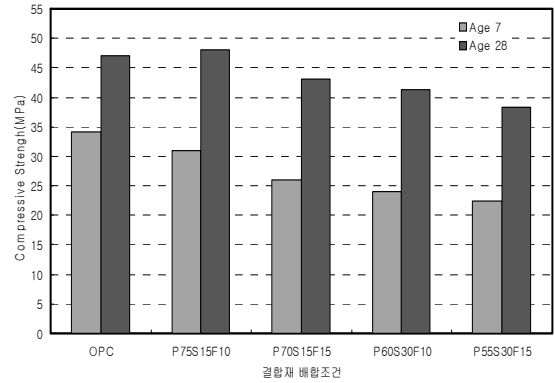
Fig. 3 알칼리-실리카 반응 시험 사진

## 4. 실험 결과 분석 및 고찰

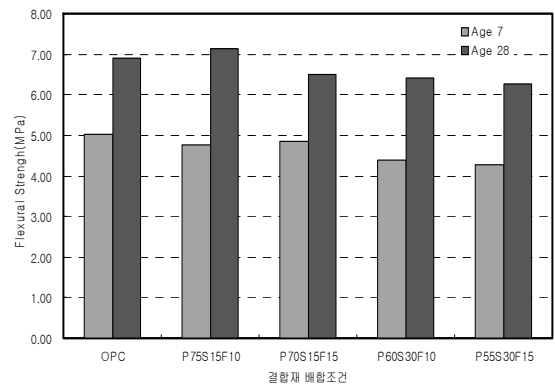
### 4.1 역학적 특성 실험 결과

플라이애쉬와 고로슬래그 미분말을 배합 조건별로 치환하여 제작한 교면 덧써우기용 고성능 콘크리트의 압축강도와 휨강도를 측정된 결과는 Fig.4와 같다.

동일한 배합조건에서 결합재 혼합비율에 따른 압축강도, 휨강도 특성은 OPC 단독조건과 비교할 때 Slag 15% 조건에서 Fly-ash를 첨가한 배합이 Slag 30% 조건보다 우수한 것으로 나타났다. 또한 Fly-ash의 혼합량이 증가할수록 포졸란 반응에 의한 초기 수화반응 지연으로 초기강도는 저하되나 장기강도에서는 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.



(a) 압축강도 시험 결과



(b) 휨강도 시험 결과

Fig. 4 배합 조건에 따른 역학적 특성

### 4.2 자기수축 거동특성

Fig.5는 배합 조건별 콘크리트의 자기수축특성을 비교한 것이다.

전체 결합재량은 동일한 조건에서의 실험결과이며, 시멘트를 단독 사용하는 OPC 조건에서 자기건조수축 변형률이 가장 높은 것으로 나타났다. 또한 광물질 혼화재료를 치환 사용하는 3성분계에서는 초기재령에서의 자기수축 변형률이 OPC 단독조건보다 모두 낮게 나타나고 있으나 재령 경과에 따라 증가되는 기울기는 커지고 있다. 광물질 혼화재 중에서 고로슬래그미분말의 치환량이 높을수록 장기재령에서의 자기수축량이 높아지고 플라이애쉬의 치환량이 많을수록 작아지는 경향을 보이고 있어, 자기건축 저감 측면에서는 고로슬래그 미분말보다는 플라이애쉬가 효과가 있는 것으로 나타났다. 이는 장기재령에서는 고로슬래그미분말의 치환율이 높을수록 잠재수경성반응으로 강도증진에 따라 자기수축 변형률이 커지는 것으로 판단된다.

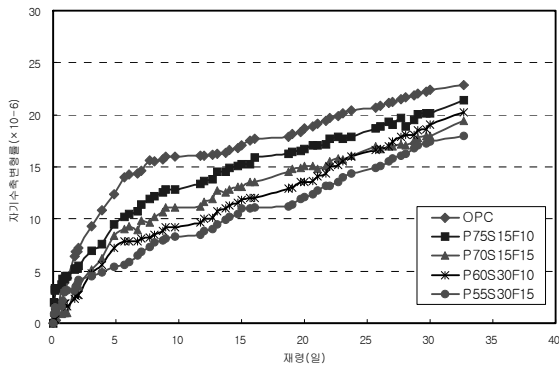


Fig. 5 배합 조건별 자기수축 특성

### 4.3 콘크리트의 내염특성

제설제 및 외부 환경에 의한 염화물 이온에 대한 저항 성능 평가를 위해 배합 조건별로 시편을 제작하여 재령 28일과 56일에서 ASTM C 1202에 의한 염소이온침투저항성과 NT Build 492T에 의한 염소이온확산계수 시험을 진행하였으며, 그 결과를 Fig 6에 나타내었다.

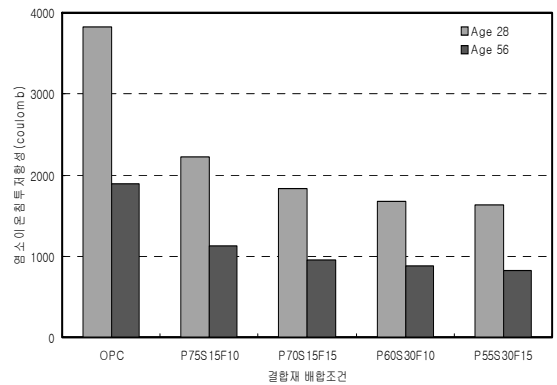
콘크리트의 내염특성 시험결과 염소이온침투저항성 및 염소이온 확산계수의 수치가 결합재 대비 슬래그분말의 치환량이 높을수록 감소하고 있으며, 플라이애쉬 치환량은 56일 장기재령 양생후에 내염성이 향상되는 것으로 나타났다.

고로슬래그 미분말과 플라이애쉬를 치환한 콘크리트는 시멘트 단독 사용조건에 비해 염화물 이온의 침투에 대한 저항 성능이 약 2배 이상 우수한 것으로 나타났다.

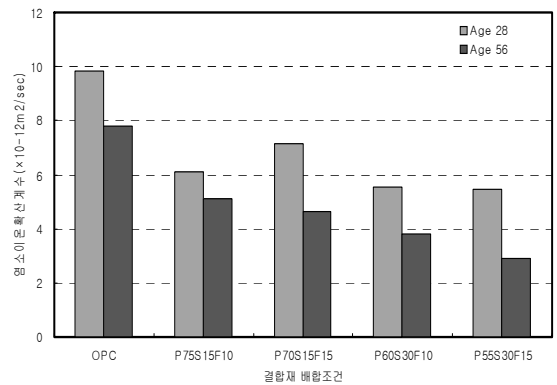
### 4.4 반응성 골재에 대한 알칼리-실리카 반응 저항성

알칼리골재 잠재반응에 대한 저항성 평가를 위해 알칼리-실리카 반응성이 있는 것으로 판정된 골재를 대상으로 배합 조건별로 시편을 제작한 후 ASTM C 1260에 따라 알칼리 잠재반응에 의한 모르타르 길이변화를 측정하였으며, 그 결과를 Fig. 7에 나타내었다.

시험결과 알칼리 반응성이 큰 골재에 OPC단독 사용조건은 팽창량 0.44%로 매우 높게 나타나는데 반해 3성분계 혼합 사용조건은 1/4이하로 팽창량이 크게 감소하고 있으며, 광물질 혼화제의 사용량이 증가할수록 골재의 알칼리 반응에 대한 저항성 효과는 크게 나타났다.



(a) 염소이온 침투저항성 시험 결과



(b) 염소이온 확산계수 시험 결과

Fig. 6 배합 조건별 내염 특성

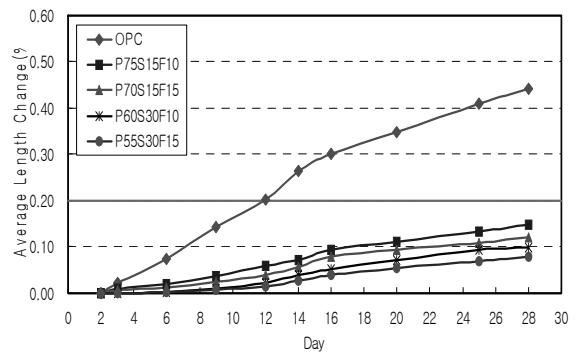


Fig. 7 배합 조건별 내알칼리골재 잠재반응 특성

## 5. 결론

내구성이 우수한 교면 덧씌우기용 고성능 콘크리트로의 활용을 위해 고로슬래그 미분말과 플라이애쉬 등의 광물질 혼화재를 이용하여 콘크리트의 역학 특성과 자기수축 특성 및 내구특성을 실험을 통하여 평가한 결과는 다음과 같다.

1) 결합재 혼합조건별 압축강도, 휨강도 특성은 OPC 단독조건(P100S0F0)에 비해 슬래그 분말 15%, 플라이애쉬 10~15% 조건이 가장 우수한 것으로 나타났다.

2) 자기수축 특성은 OPC 단독조건에 비해 광물질 혼화재를 사용하는 것이 수축량이 감소하며, 고로슬래그 미분말보다는 플라이애쉬가 자기수축저감에 효과가 있는 것으로 나타났다.

3) 내염 특성은 슬래그 치환량이 높을수록 우수하며, 플라이애쉬 치환량은 56일 장기재령 양생 후에 내염성 향상에 효과가 있는 것으로 나타났다.

4) 내알칼리골재반응 특성은 결합재 대비 고로슬래그분말과 플라이애쉬의 치환량이 높을수록 콘크리트의 알칼리성을 저하시키는 효과로 인해 알칼리반응에 대한 저항성이 크게 증대되어 알칼리골재 잠재반응에 의한 팽창량도 OPC 단독조건에 비해 약 1/3 수준으로 저감되는 것으로 나타났다.

5) 3성분계 결합재를 사용한 교면 덧씌우기용 고성능 콘크리트를 현장에 적용하기 위한 최적 배합 도출을 위해 동결융해 저항성, 스킨링 저항성 등의 추가적인 내구성능

에 대한 연구가 필요할 것으로 사료된다.

## 참고문헌

- 1) 김성권, 국내 광물성 혼화재의 종류 및 혼입률에 따른 알칼리 - 실리카 반응 특성, 한국콘크리트학회 논문집, Vol.23 No.1, pp. 49~55, 2011
- 2) 김준범, 흡수저감제와 섬유보강재 사용이 고미분말슬래그 및 플라이애시가 혼합된 고성능 콘크리트의 특성에 미치는 영향, 대한토목학회 정기학술대회논문집, pp. 3462~3465, 2008
- 3) 김성욱, 초기재령 고강도 콘크리트의 자기수축 예측기술, 한국콘크리트학회지, Vol.17 No.4, pp. 34~40, 2005
- 4) 김홍삼, 콘크리트의 염소이온 확산계수 평가를 위한 촉진시험 및 침지시험법 비교, 대한토목학회 정기학술대회 논문집, pp. 2652~2655, 2008
- 5) 신재경, 혼화재 종류 및 치환율 변화에 따른 고강도 콘크리트의 자기수축 특성, 한국콘크리트학회 가을학술대회 논문집, Vol.21 No.2, pp. 385~386, 2009
- 6) 윤경구, ASTM C 1260 실험에 의한 국내 골재의 알칼리-실리카 반응 팽창 특성, 한국콘크리트학회 논문집, Vol.20 No.4, pp. 431~437, 2008
- 7) 이광명, 고로슬래그를 함유한 콘크리트의 자기수축 특성, 한국콘크리트학회 논문집 : Vol.16 No.5, pp. 621~626, 2004

### 수경성 광물질 혼화재를 사용한 교면 덧씌우기용 고성능 콘크리트의 내구성능에 관한 실험적 연구

본 연구에서는 대표적인 콘크리트용 산업부산자원인 플라이애쉬와 고로슬래그미분말을 교면 덧씌우기용 고성능 콘크리트에 적용하기 위하여 배합조건별 역학특성과 자기수축 특성 및 내염특성을 평가하였으며, 평가결과 수경성 광물질 혼화재의 혼합사용은 염분과 알칼리 골재 반응에 대한 저항성 개선효과로 내구성 증진에 크게 기여하고 자기수축 변형에 대한 저항성 개선에도 효과가 있는 것으로 나타났다. 이 고성능 콘크리트는 재료와 시공 측면에서 내구성과 효율성을 개선시킨 콘크리트로서 폐자원의 활용으로 인한 친환경, 경제성까지 확보할 수 있을 것으로 사료된다.