

광물질 혼화재를 혼합한 초속경시멘트의 성능개선에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Enhanced Performance of Regulated Set Cement Using Mineral Admixtures

원종필* 공태웅** 박찬기*** 서정민** 조용진** 성상경**

Won, Jong-Pil Kong, Tae-Woong Park, Chan-Gi Seo, Jung-Min Cho, Yong-Jin Sung, Sang-Kyoung

ABSTRACT

According to demand the increase of the rate of strength development for rapid constructions and repairs, many efforts have progressed to improve on performance of concrete. The use of regulated set cement helps make it possible to increase the rate of strength development. However it has some problems as like increasing its permeability and accelerate its long-term deterioration caused by internal and external factors. The purpose of this study is to improve the performance of regulated set cement, which mixed with the mineral admixtures. In this paper, setting time, compressive/flexural strength and chloride permeability of mortar according to the substitute ratio of SF, FA and BS in the range of 5~20% were conducted. Based on the test results, 5% substitute of silica fume for binder was showed good performance.

1. 서론

최근 건축물의 외벽, 건물옥상의 상판이나 도로 및 교량 노면의 보수 등 시멘트 콘크리트 구조물의 긴급 보수공사에 있어 초속경시멘트의 수요가 증가하고 있는 실정이다.⁽⁵⁾ 하지만 초속경시멘트의 사용은 장기적인 측면에서 볼 때 몇 가지 문제점을 가지고 있다. 초속경시멘트를 사용한 콘크리트는 조기에 빠른 강도발현에는 효과적이거나 양생 초기 일반시멘트에 비해 상대적으로 높은 수화열과 건조수축으로 인해 구조물 내에서 열과 수분의 이동으로 인한 수축이 내·외부적 요인에 의해 구속됨으로써 미소균열이 발생하기 쉽다.^(1,2) 이러한 미소균열은 콘크리트 매트릭스 내의 투수성을 증가시키고 다양한 형태의 파괴를 유도함으로써 구조물의 역학적 특성 및 내구성 저하에 직접적인 원인이 될 수 있어 구조물의 안정성에 심각한 영향을 미칠 수 있다.⁽⁶⁾ 따라서 본 연구에서는 이러한 문제점을 지니고 있는 초속경시멘트의 내구성능을 향상 시키고자 광물질 혼화재인 실리카흄, 플라이애시 및 고로슬래그 미분말을 시멘트 중량에 대해 5~20% 치환 첨가한 모르타르의 성능을 평가함으로써 초속경시멘트의 강도특성 및 내구성능에 관하여 검토하였다.⁽³⁾

* 정회원, 건국대학교 사회환경시스템공학과 교수

** 정회원, 건국대학교 사회환경시스템공학과 석사과정

*** 정회원, 건국대학교 사회환경시스템공학과 박사 후 과정

2. 실험계획 및 방법

2.1 사용재료

본 연구에서 사용된 시멘트는 초속경시멘트이며, 광물질 혼화재로서 실리카흙은 분말도가 약 240,000cm²/g인 독일 A사 제품을 사용하였고, 플라이애시는 보령 화력발전소에서 부생되는 플라이애시를 사용하였다. 고로슬래그 미분말은 광양제철에서 부생되는 것을 사용하였으며, 각각에 대한 화학 성분 및 물리적 특성은 Table 1과 같다. 잔골재로는 KS L 5100(시멘트 강도 시험용 표준사)에 의한 비중 2.62의 주문진산 천연사를 사용하였다.

Table 1 Physical and chemical properties of Silica fume(SF), Fly ash(FA) and Blast-furnace slag(BS)

Items Types	Physical properties			Chemical properties (%)							
	Specific gravity	Ig.loss	Fineness(cm ² /g)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	K ₂ O	NaO ₂
SF	2.20	2.80	240,000	94.0	0.3	0.8	-	0.3	0.4	0.8	0.2
FA	2.14	3.28	3,400	58.12	23.56	7.69	1.05	2.59	1.12	1.42	0.31
BS	2.91	0.50	4,500	31.10	14.69	0.31	-	47.00	3.50	0.39	0.44

2.2 실험배합

본 연구는 시멘트:모래 비를 1:2로, W/C비를 0.41로 고정하여 실험을 실시하였다. 또한 초속경 시멘트에 대해 실리카흙(SF)을 5~15%, 플라이애시(FA)를 5~15%, 고로슬래그 미분말(BS)을 10~20%로 치환하였으며, 이에 대한 실험배합은 Table 2와 같다.

Table 2 Mixture proportions

	W/C	Cement	SF	FA	BS	Sand	Water
Plain	0.41	1500	0	0	0	3000	615
SF5		1425	75	0	0		
SF10		1350	150	0	0		
SF15		1275	225	0	0		
FA5		1425	0	75	0		
FA10		1350	0	150	0		
FA15		1275	0	225	0		
BS10		1350	0	0	150		
BS15		1275	0	0	225		
BS20		1200	0	0	300		

2.3 실험방법

2.3.1 응결시간

광물질 혼화재의 치환율에 따른 초속경시멘트의 응결특성을 알아보기 위하여 KS L 5103(길모어 침에 의한 시멘트의 응결 시간 시험 방법)에 준하여 모르타르의 응결시간을 측정하였다. 초속경시멘트는 물과 접촉함과 동시에 급속한 수화작용이 발생하여, 즉시 경화가 시작되는 특성을 지니고 있기 때문에, 가사시간을 조절할 수 있고 강도발현에 큰 영향을 미치지 않는 범위에서 응결지연제(setting retarder)를 사용하였다.

2.3.2 압축강도

광물질 혼화재의 치환율에 따른 초속경시멘트의 압축강도 특성을 알아보기 위하여 KS L 5105(수경성 시멘트 모르타르의 압축강도 시험방법)에 준하여 압축강도실험을 실시하였다. 50×50×50mm의 입방체 물드를 제작하여 재령 3시간, 7일 및 28일의 압축강도를 측정하였으며, 공시체는 온도 20±2℃, 상대습도 50%의 양생실에서 1일 초기양생 후 20±2℃의 항온조건으로 수중양생을 하였다.

2.3.3 휨강도

광물질 혼화재의 치환율에 따른 초속경시멘트의 휨강도 특성을 알아보기 위하여 ASTM C 348 (Standard Test Method for Flexural Strength of Hydraulic-Cement Mortars)에 준하여 휨강도를 측정하였다. 본 실험은 40×40×160mm 공시체를 3개씩 제작하여 재령 3시간, 7일 및 28일의 휨강도를 측정하였고, 공시체는 온도 20±2℃, 상대습도 50%의 양생실에서 1일 초기양생 후 20±2℃의 항온조건으로 수중양생을 하였다.

2.3.4 염소이온 침투성

투수성은 강도뿐만 아니라 내구성에서도 중요한 의미를 갖는다. 투수성의 증가는 균열의 확장에 의해 강도를 저하시키는 작용뿐만 아니라 동결·융해 및 마모 등의 내구성능을 악화시킨다. 따라서 본 연구에서는 광물질 혼화재의 치환율에 따른 초속경시멘트의 투수성을 평가하기 위해 ASTM C 1202-94 (Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration)에 따라 각 재령(3시간, 7일, 28일)에서 실험을 실시하였다.⁽⁴⁾

3. 시험결과

3.1 응결시간

초속경시멘트를 사용한 모르타르에 대한 응결시간 시험결과는 Fig 1과 같다. 광물질 혼화재의 치환율이 증가함에 따라 응결시간도 증가하였지만, 전반적으로 초결이 20~30분, 종결이 30~40분에서 발생했다. 이와 같이 초결과 종결의 시간간격이 짧은 것이 초속경시멘트의 특징이라 할 수 있다.

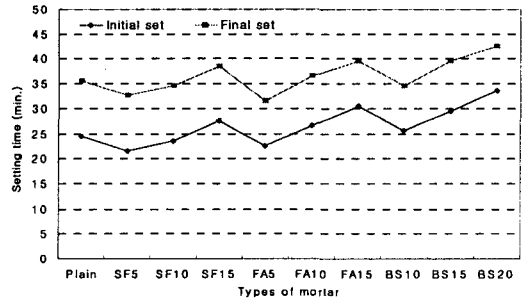


Fig 1 Results of setting time

3.2 압축강도

초속경시멘트를 사용한 모르타르의 재령에 따른 압축강도 특성은 Fig 2와 같다. 재령 3시간에서 SF10, SF15, FA15, BS15, BS20 배합을 제외하고는 Plain 배합과 유사한 압축강도를 나타냈다. 또한 광물질 혼화재의 치환율이 높아질수록 Plain배합에 비해 초기강도와 장기강도에서 모두 낮은 압축강도를 나타냈는데, 이는 초속경시멘트 내에서 높은 강도를 발현시키는 성분들의 상대적인 감소로 인해 $3CaO \cdot SiO_2$ 의 수화가 다소 지연되고 C-S-H 겔 등의 수화생성물의 생성을 억제함으로써 강도발현을 저해한 결과라고 사료된다.

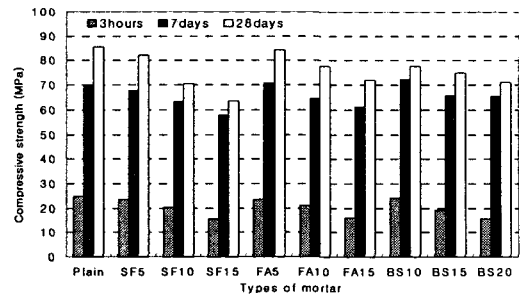


Fig 2 Results of compressive strength

3.3 휨강도

초속경시멘트를 사용한 모르타르의 재령에 따른 휨강도 특성은 Fig 3과 같다. 재령 3시간에서 SF10, SF15, FA15, BS15, BS20 배합을 제외하고는 Plain 배합과 유사한 휨강도를 나타냈다. 광물질 혼화재의 치환율이 높아질수록 Plain배합에 비해 초기강도와 장기강도에서 모두 낮은 휨강도를 나타냈는데, 이는 압축강도와 마찬가지로 초속경시멘트 내에서 높은 강도를 발현시키는 성분들의 상대적인 감소로 인해 $3CaO \cdot SiO_2$ 의 수화가 다소 지연되고 C-S-H 겔 등의 수화생성물의 생성을 억제함으로써 강도발현을 저해한 결과라고 사료된다.

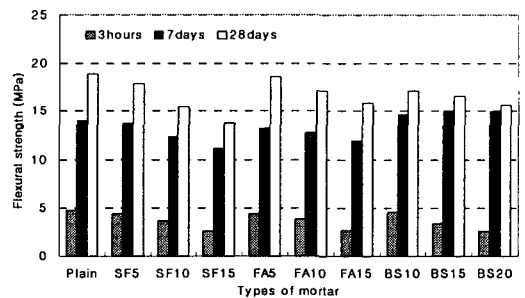


Fig 3 Results of flexural strength

3.4 염소이온투과

초속경시멘트를 사용한 모르타르의 재령에 따른 염소이온투과시험의 결과는 Fig 4와 같다. 3시간 재령시 모든 배합이 Plain배합에 비해 높은 투수성을 나타내었는데, 이는 실리카흙, 플라이애시 및 고로슬래그가 초기에 높은 수화열을 억제시켜 강도발현과 함께 미소공극을 충전시킴으로써 조직을 치밀하게 하는 칼슘알루미늄모노설페이트(calcium aluminum monosulfate) 수화물($C_3A \cdot CS \cdot H_{12}$)이나 에트린자이트($3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3CaSO_4 \cdot 32H_2O$)의 생성을 방해했기 때문으로 사료된다. 하지만 재령이 지날수록 점차적으로 에트린자이트의 생성으로 인해 투수성이 감소하였다. 또한 광물질 혼화재의 치환율이 증가함에 따라 투수성도 증가하였는데, 이는 광물질 혼화재의 과다한 양으로 인해 초속경시멘트의 경화를 억제했기 때문으로 사료된다.

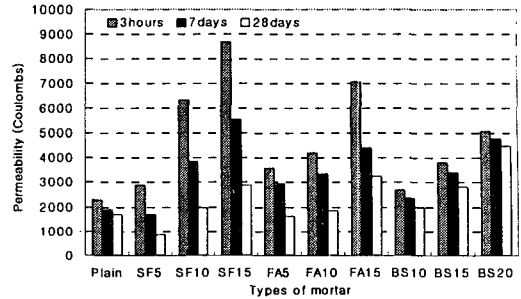


Fig 4 Results of chloride permeability

4. 결론

- 1) 광물질 혼화재의 혼합은 압축강도 및 휨강도에 큰 영향을 미치지 않았다. 또한 광물질 혼화재의 치환율이 높아질수록 Plain배합에 비해 초기강도와 장기강도에서 모두 낮은 압축강도를 나타냈는데, 이는 초속경시멘트 내에서 높은 강도를 발현시키는 성분들의 상대적인 감소로 인해 수화반응이 지연되고 수화생성물의 발생을 억제함으로써 강도발현을 저해한 결과이다.
- 2) 염소이온투과 시험결과 광물질 혼화재의 치환율이 증가할수록 높은 투수성을 나타냈다. 하지만 재령이 지날수록 점차적으로 에트린자이트(ettringite)의 생성으로 인해 공극이 치밀해 지면서 투수성이 감소하였다.
- 3) 실리카흙을 초속경시멘트에 대해 5% 치환한 배합의 경우 Plain배합과 비교하여 볼 때 압축강도 및 휨강도의 경우 모두 우수하게 나타났다. 또한 투수성의 경우는 재령 7일에는 Plain배합과 유사한 결과를 보였으며, 재령 28일에는 통과전하량이 ASTM 기준에 따라 매우 낮은 범위로 나타남으로써 Plain배합보다 우수한 결과를 나타내었다.

참 고 문 헌

1. D. Whiting, M. Nagi and P.A Okamoto, "Early Strength Gain of Rapid High Repair Concrete", Concrete International Vol.16, No.8, August, pp.28-35, 1994
2. Parviz Soroushian and Siavosh Ravanbakhsh, "High-Early-Strength Concrete : Mixture Proportioning with Processed Cellulose Fibers for Durability", ACI Materials Journal / September-October, pp.593-599, 1999
3. Kefeng Tan and Xincheng Pu, "Strength Effects of Finally Ground Fly Ash, Granulated Blast Furnace Slag and Their Combination", Cement and Concrete Research, Vol.28, No.12, pp.1819-1825, 1998
4. Feldman, R. F., Chan, G. W., Brousseau, R. J. and Tumigajski, P. J., "Investigation of the Rapid Chloride Permeability Test", ACI Materials Journal, Vol.91, No.2, pp.246-255
5. 이운수외, "초속경 폴리머 시멘트 모르타르의 내구성", 한국콘크리트학회 가을 학술발표회 논문집, pp.153-158, 2001
6. 윤경외, "초속경 및 일반시멘트를 이용한 라텍스개질 콘크리트의 건조수축 특성", 한국콘크리트학회 제 15권 1호, pp.95-101, 2003