

굵은 입자 시멘트 및 플라이애시를 복합 사용한 콘크리트의 Mock-up Test

Mock-up Test of Concrete using Combined Coarse Particle Cement and Fly-Ash

이 충 섭* 이 재 윤* 장 덕 배** 김 영 필*** 한 민 철**** 한 천 구****
 Lee, Chung Sub Lee, Jae Youn Jang, Duk Bae Kim, Young Pil Han, Min Cheol Han, Cheon Goo

Abstract

This study investigates possibility for practical use through small sized test with OPC and substituted fly ash 10% and return coarse cement (RCC), classed 1100~1200 cm²/g, which is made by Cyclone Separator at cement producing process 20% (CF) for OPC. The experimental factors are 48% of W/B and OPC and 2 kinds of concrete proportions. The target slump and air content are 150±25 mm and 4.5±1.5 %. For the results, the flowability and air content of CF are less than OPC because it needs more superplasticiser and air-entraining agent. The temperature history of CF is lower than OPC about 6~10 °C. For the strength properties, CF is less than OPC, but their gap is declined at 28 days. The strength of the specimens are ordered by standard curing, field cured specimens, and core specimens.

키워드 : 매스 콘크리트, 플라이애시, 조분시멘트, 단열온도상승량
 Keywords : mass concrete, fly ash, coarse particle cement, adiabatic temperature rise

1. 서 론

최근 국내의 건설공사 현장에서는 건축물이 초고층화, 대형화됨에 따라 공기 단축 및 수화열 저감 등 특수한 목적에 부응할 수 있는 고성능, 다기능화 콘크리트의 개발이 요구되고 있다. 이를 위해서는 콘크리트의 주원료인 시멘트의 성능이 가장 중요한 요인이지만, 국내의 시멘트 생산업체는 이와 같이 다양한 수요자의 요구에 부응할 수 있는 시멘트의 개발 및 생산은 미미한 실정이다. 그러나 현재 생산 중인 특수 시멘트는 보통 포틀랜드 시멘트(이하 OPC)의 2배 이상 가격이 책정되어 실무의 범용적 사용에는 한계가 있는 실정이다.

특히 현재 세계적으로 활발하게 진행 중인 초고층 건축물의 경우 구조 내력상 거대해지는 기초 매트 부재는 수화열로 인한 균열이 큰 문제점으로 대두되고 있지만, 이에 부응하기 위한 시멘트의 개발은 미미하며, 일선 현장에서는 주로 OPC에 플라이애시(이하 FA) 및 고로 슬래그 미분말 등 혼화재를 치환하여 사용하는 재료적인 측면의 수화열 저감 방법이 주를 이루고 있다. 하지만 혼화재를 치환하는 경우에는 다량의 혼화재로 인하여 증성화 등의 내구성에 큰 영향을 미치게 되는 문제점이 있다.

따라서 본 연구팀에서는 별도의 생산 설비를 필요로 하지 않으면서, 큰 시공 비용이 들지 않는 방법으로 OPC 제조 공정 중 입도 분급을 통하여 채취한 굵은 입자 시멘트를 이용하여 초기수화 반응을 지연시켜 수화열을 저감하는 방법에 대하여 연구 중에 있다.

그러므로 본 연구에서는 선행 연구에서 우수한 수화열 저감 효과를 보인 Cyclone Separator에서 분쇄밀로 역송되는 분말도 1100~1200 cm²/g 수준인 굵은 입자 시멘트(이하 RCC) 20 %와 FA 10 %를 OPC에 대하여 치환한 콘크리트(이하 CF)를 실구조체로 가정한 모의 부재에 타설하여 이들의 제반 공학적 특성을 분석함으로써 실용화 가능성을 검토하고자 한다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

본 연구의 실험계획은 표 1과 같고, 배합사항은 표 2와 같다. 먼저, 실험요인으로 W/B는 실무 현장에서 쓰이고 있는 호칭강도 24MPa 배합을 참조하여 48 %로 하였고, 각 구조체는 OPC를 단독 사용한 콘크리트를 타설한 부재와 CF를 타설한 부재의 총 2수준으로 변화시켰다.

* 청주대학교 석사과정, 정회원

** 청주대학교 박사과정, 정회원

*** 아세아 시멘트(주), 기술연구소 연구원

**** 청주대학교 건축공학과 조교수, 공학박사, 정회원

***** 청주대학교 건축공학과 교수, 공학박사, 정회원

표 1. 실험계획

구분	실험요인	실험수준
배합사항	W/B(%)	48
	목표 슬럼프(mm)	150±25
	목표 공기량(%)	4.5±1.5
실험사항	배합 변수	• OPC 100 % • CF (RCC 20 % + FA 10 %)
	굳지 않은 콘크리트	• 공기량 • 단위용적질량 • 슬럼프
실험사항	경화 콘크리트	• 내부 수화온도 측정 • 압축강도 - 표준양생(1, 3, 7, 14, 28일) - 구조체 관리용(1, 3, 7, 14, 28일) - 코어(7, 14, 28일)

표 2. 콘크리트의 배합표

기호	W/B (%)	W (kg/m³)	S/a (%)	AE/C (%)	SP/C (%)	용적배합(ℓ/m³)				
						OPC	RCC	FA	S	G
Plain	48	178	46	0.012	0.35	113	0	0	305	359
CF	48	178	46	0.02	0.37	79	21	16	304	357

이때 각 구조체의 목표 슬럼프는 150±25 mm로 하였고, 목표 공기량 4.5±1.5 %를 만족하도록 배합설계 하였다.

실험사항으로 굳지 않은 콘크리트에서는 슬럼프, 공기량 및 단위용적질량을 측정하였고, 경화 콘크리트에서는 압축강도를 표준양생공시체, 구조체 관리용 공시체 및 코어로 나누어 계획된 재령에 따라 측정하였으며, 각 구조체 별 수화온도를 측정 하였다.

2.2 사용재료

본 연구의 사용재료로써, 시멘트는 국내산 A사의 OPC를 사용하였고, RCC는 A사의 OPC 제조 공정 중 Cyclone Separator에서 분쇄밀로 역송(그림 1 참조)되는 상대적으로 입자가 굵은 시멘트를 포집하여 사용하였는데, 시멘트의 물리적 성질은 표 3과 같다.

표 3. 시멘트의 물리적 성질

종류	밀도 (g/cm³)	분말도 (cm²/g)	안정도 (%)	응결시간(분)		압축강도(MPa)		
				초결	종결	3일	7일	28일
OPC	3.15	3 144	0.18	230	375	20.9	28.4	38.9
RCC	3.42	1 087	-	325	547	5.7	11.7	19.7

혼화재로 FA는 국내산 K사의 제품을 사용하였고, 물리·화학적 성질은 표 4와 같다. 한편 골재로써 잔골재는 국내산 B사의 부순 잔골재와 천연 잔골재를 6 : 4로 혼합한 혼합 잔골재를 사용하였고, 굵은 골재는 부순 굵은 골재를 사용하였다. SP제는 국내 E사의 폴리칼본산계를 사용하였고, AE제는 국내 E사의 음이온계를 사용하였는데, 물리적 성질은 표 5 및 6과 같다.

표 4. 플라이애시의 물리·화학적 성질

밀도 (g/cm³)	분말도 (cm²/g)	강열감량 (%)	습분 (%)	SiO₂ (%)	활성도지수 (%)	플로우값비 (%)
2.20	4 081	3.4	0.1	54.1	97	101

표 5. 골재의 물리적 성질

구분	밀도 (g/cm³)	조립률 (FM)	흡수율 (%)	단위용적 질량 (kg/m³)	0.08 mm체 통과량 (%)
잔골재	2.58	2.21	0.46	1 518	0.30
부순 골재	2.58	3.26	0.46	1 684	0.32
굵은 골재	2.62	6.48	0.58	1 564	0.40

표 6. 혼화제의 물리적 성질

구분	주성분	형태	색상	밀도(g/cm³)
SP제	폴리칼본산계	액상	연노란색	1.05
AE제	음이온계	액상	미백색	1.04

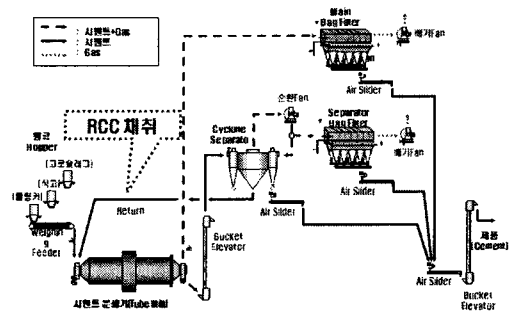


그림 1. 포틀랜드 시멘트의 제조 공정도

2.3 실험방법

본 연구의 실험방법으로 콘크리트의 혼합은 강제식 2축 믹서를 사용하였다. 굳지 않은 콘크리트의 실험으로 슬럼프는 KS F 2402 규정에 의거 실시하였고, 공기량 및 단위용적질량은 KS F 2421 및 2409의 규정에 따라 실시하였다. 경화 콘크리트의 실험으로 압축강도는 KS F 2405 규정에 의거하여 구조체 관리용 공시체, 표준양생 공시체 및 코어 공시체를 채취하여 계획된 재령에서 측정하였다.

한편 Mock-up 실험을 위한 모의 부재는 그림 2~4 및 사진 1과 같이 800×800×800의 정방형 시험체를 2개 제작하여 OPC와 CF를 각각 타설하는 것으로 하였으며, 매스 기초의 연속체를 상정하여 부재의 2면은 단열재를 부착하였다. 구조체의 양생은 2중 버블시트를 이용한 단열 보온 양생을 7일간 실시하였다.

콘크리트의 수화온도 측정은 각각의 구조체 내부에 열전대선(Thermocouple T-type)를 매설한 후 데이터 로거에 의해 5일간의 온도 변화를 1시간 간격으로 측정하였다.

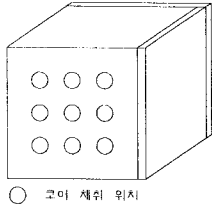


그림 2. 구조체의 입체도

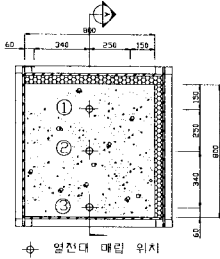


그림 3. 열전대 측정위치(평면도)



사진 1. 타설전 거푸집

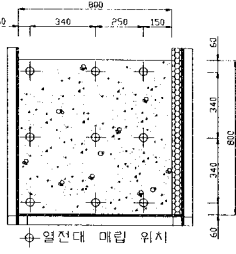


그림 4. 열전대 매설위치(단면도)

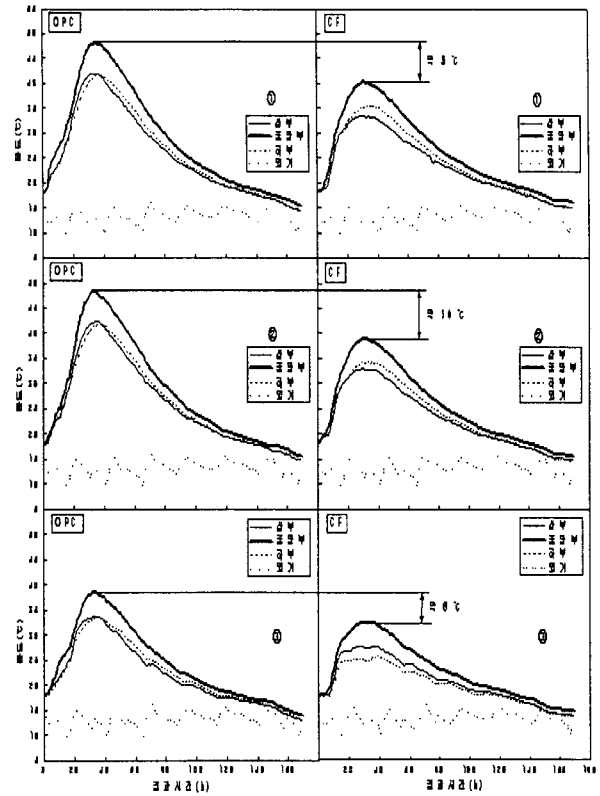


그림 5. 각 구조체 부위 별 경과시간에 따른 온도 이력

3. 실험결과 및 분석

3.1 굳지 않은 콘크리트의 특성

표 7은 굳지않은 콘크리트의 실험결과를 나타낸 것이다.

표 7. 굳지 않은 콘크리트의 실험결과

구분	슬럼프 (mm)	공기량 (%)	단위 용적 질량 (kg/m ³)
OPC	160	5.2	2245
CF	140	3.7	2265

본 연구에서는 목표 슬럼프 및 공기량을 만족하도록 배합 설계 한 것으로 모두 목표치를 만족하는 것으로 나타났다.

단, 표 2의 배합표를 토대로 목표 슬럼프 및 공기량을 만족 하기 위한 SP제량 및 AE제 사용량은 Plain에 비하여 CF일때

SP제량과 AE제량이 더 소요되는 것을 알 수 있었다. 이는 RCC의 경우 분쇄 과정 중 충분한 분쇄가 이루어지지 않아 각 지고 모난 입형으로 인하여 유동성이 저하하는 것으로 사료되고, FA의 미연소 탄분에 의한 AE제 흡착작용에 기인하여 공기량이 감소한 것으로 사료된다.

3.2 경화 콘크리트의 특성

3.2.1 온도 이력

그림 5는 구조체 각 부위 별 경과시간에 따른 온도 이력을 나타낸 것이다.

전체적으로 CF가 OPC 보다 낮은 온도 이력을 나타냈다. 또한 각각의 부위에서 OPC와 CF와의 온도차를 보면, 연속체로

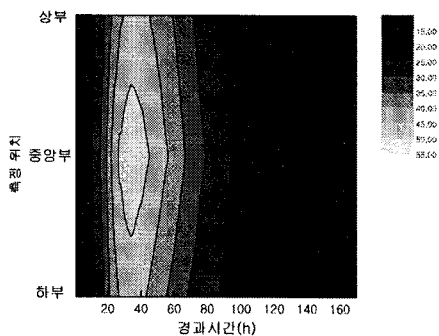


그림 6. OPC를 타설한 콘크리트 부재 ②의 온도 분포

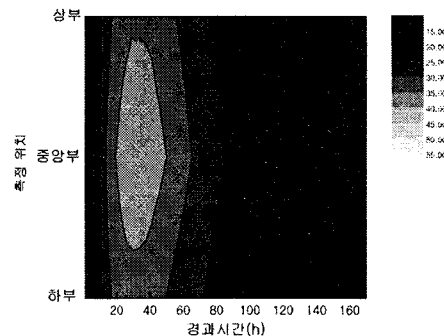


그림 7. CF를 타설한 콘크리트 부재 ②의 온도 분포

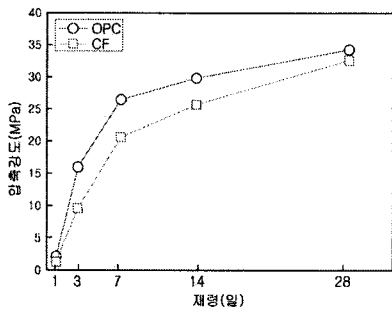


그림 8. 구조체 관리용 압축강도

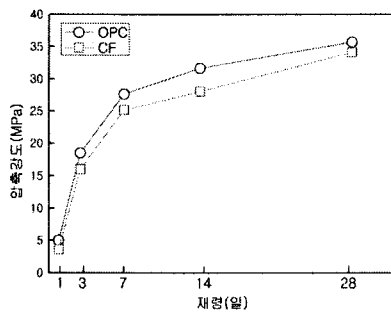


그림 9. 표준양생 압축강도

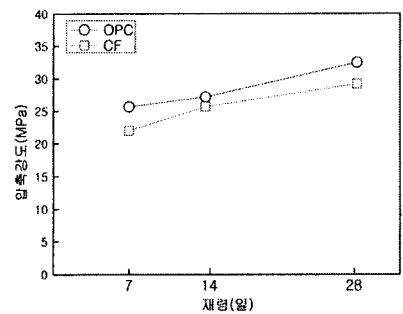


그림 10. 코어 압축강도

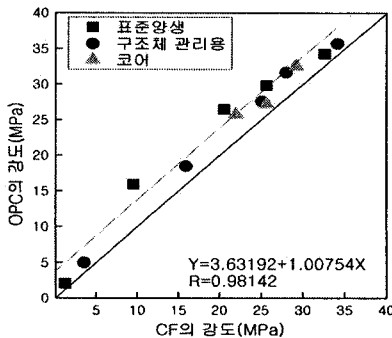


그림 11. CF와 OPC의 압축강도 비교

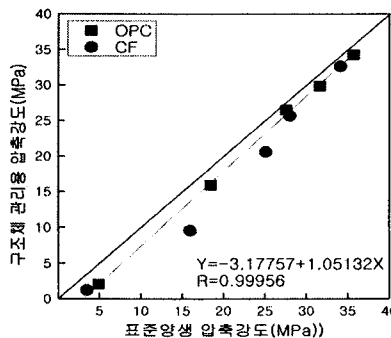


그림 12. 표준 양생 압축강도와 코어 압축강도 비교

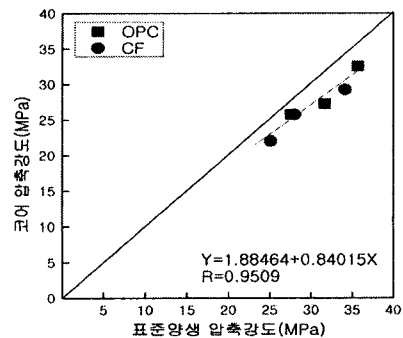


그림 13. 표준양생 압축강도와 코어 압축강도 비교

상정하여 온도 이력을 측정된 중심부 ①위치에서는 약 8 ℃ 정도를 보였고, 중간부인 ②위치에서는 약 10 ℃, 표면부인 ③ 위치에서는 약 6 ℃ 정도를 보여 OPC 보다 현저한 온도 저감 효과를 확인 할 수 있었다.

이는 OPC에 비하여 입자가 굵은 RCC로 인하여 초기의 수화 반응이 지연되고, FA를 치환함에 따라 OPC의 절대량이 감소하여 수화열이 저감된 것으로 사료된다.

그림 6 및 7은 각각의 구조체 평면상 중심부 단면상에서의 최고 온도분포를 상부, 중앙부 및 하부의 온도를 이용하여 등온선으로 나타낸 그래프이다.

등온선의 간격을 보면, OPC를 타설한 콘크리트 부재가 CF를 타설한 콘크리트 부재보다 간격이 좁은 것을 알 수 있었다. 또한 CF에서는 최고 온도 및 높은 영역의 온도가 OPC에 비하여 낮고, 넓게 분포하여 나타났다.

따라서 매스 콘크리트에서 급격한 온도 상승과 하강을 나타내는 Plain에 비하여 CF를 사용할 경우 수화열 균열이 발생할 확률을 줄일 수 있을 것으로 사료된다.

3.2.2 압축강도

그림 8~10은 구조체 관리용, 표준 양생 및 코어 공시체의 압축강도를 나타낸 그래프이고, 그림 11은 CF와 OPC와의 압축강도를 비교하기 위하여 산점도로 나타낸 그래프이다.

전체적으로 CF가 OPC 보다 낮은 강도 값을 나타내고 있으

나 28일에서는 강도 차가 줄어드는 것을 알 수 있었다. 이는 CF의 경우 초기 수화반응은 지연되지만, 미수화 된 시멘트 입자의 지속적인 수화반응과 FA의 포졸란 반응에 의해 재령이 경과할수록 압축강도 발현이 높게 나타남에 기인한 것으로 사료된다.

그림 12~13는 표준양생 공시체와 구조체 관리용 공시체 및 코어 공시체의 압축강도를 비교하기 위하여 산점도로 나타낸 그래프이다.

각 압축강도 간의 관계를 보면 표준양생 공시체의 압축강도가 구조체 관리용의 압축강도보다 크고, 구조체 관리용 공시체의 압축강도는 코어 공시체의 압축강도 보다 크게 나타남을 알 수 있었는데, 이는 구조체 관리용 공시체의 경우 낮은 외기 온도의 영향으로 사료되고, 코어 공시체의 경우는 코어 채취 시의 진동 등으로 인하여 낮게 나타난 결과로 사료된다.

4. 결 론

본 연구에서는 기초 매트 구조 매스 콘크리트의 수화열을 저감시키기 위해 CF를 치환한 콘크리트의 현장 적용을 위한 Mock-up Test에 대하여 검토하였는데, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 혼화제 사용량을 검토한 결과 CF는 OPC에 비하여 SP제 및 AE제의 사용량이 다소 증가하는 경향을 나타냈다.
- 2) 온도 이력은 CF가 OPC에 비하여 약 6 ~ 10 ℃정도 낮은 최고 온도 성상을 나타냈다. 또한 각 부재 중심부의 온도 분포에서 OPC의 경우는 급격한 온도의 상승과 저하를 나타냈고, 최고 온도 분포의 폭도 좁게 나타난 반면, CF의 경우는 OPC에 비하여 완만한 온도의 상승과 저하를 나타냈고, 최고온도 분포의 폭도 넓게 나타났다.
- 3) 압축강도는 CF가 OPC에 비하여 낮은 강도 값을 나타냈으나, 재령 28일에서는 강도의 폭이 좁혀지는 것으로 나타났다. 또한 표준양생 공시체와 구조체 관리용 및 코어 공시체의 압축강도 관계에서는 표준양생, 구조체 관리용, 코어의 순으로 높게 나타났다.

종합적으로 CC 20 % + FA 10 %를 치환하여 사용한 콘크리트는 OPC를 단독 사용한 콘크리트와 비교하여 양호한 수화열 저감 효과를 확인 할 수 있었으며, 유의해야 할 만한 문제점은 나타나지 않았다.

감사의 글

본 연구는 교육과학기술부와 한국산업기술재단의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구결과임.