

조분시멘트와 플라이애시를 조합 사용한 콘크리트의 수화발열 특성

Generation of Hydration Heat of the Concrete Combined Coarse Particle cement and Fly ash

이 충 섭* 백 대 현** 차 완 호*** 권 오 봉**** 한 민 철***** 한 천 구*****
Lee, Chung Sub Baek, Dae Hyun Cha, Wan ho Kwon, O Bong Han, Min Cheol Han, Cheon Goo

ABSTRACT

This study, having combined and displaced fly ash known as admixture material that delays hydration reaction with coarse particle cement("CC" hereinafter) collected in particle classification method during ordinary portland cement("OPC" hereinafter), reviewed the hydration heat characteristics affecting the concrete. To reduce hydration heat, the study plain-mixed which used 100% OPC for WB 50% level 1, displaced CC at level 3 of 25%, 50% and 75% for OPC, and by displacing FA with admixture material at level 5 of 0%, 10%, 20%, 30% and 40%, experimented totally 16 batches. As a result of experiment, in the case of flow, the more CC displacement rate increased, the more it tended to decrease, and the more FA displacement rate increased, the more it decreased. As for simple adiabatic temperature rise by the CC and FA displacement rates, it decreased as displacement rate increased, and particularly in the case of FA40, temperature rise amount, 5.8~7.4°C, was very low. Compressive strength decreased in proportion to displacement rate, however strength reduction increment was shown to decrease with age progress.

요 약

본 연구는 보통포틀랜드 시멘트(이하 OPC)의 제조과정 중 입도 분급에 의해 포집된 조분시멘트(이하 CC)와 저발열 혼화재료인 플라이애시(이하 FA)를 조합 치환하여 콘크리트에 미치는 수화발열특성에 대해 검토하고자 하였다. 실험은 W/B 50% 1수준에 대하여 OPC를 100% 사용한 것을 Plain 배합으로 하고, CC를 OPC에 대하여 25, 50, 75%의 3수준으로 치환하고, 혼화제로 FA를 0, 10, 20, 30, 40%의 5수준으로 치환하여 총 16배치를 계획 하였다. 실험결과로 유동성의 경우는 CC 치환율이 증가할수록 점점 감소하는 경향을 나타냈고, FA의 치환율이 증가할수록 증가하였다. CC 및 FA 치환율 별 간이단열에 의한 온도 상승량은 치환율이 증가할수록 감소하였는데, 특히 FA40의 경우 CC치환율에 관계없이 최대 피크온도가 7.3~8.9°C로 45%정도 아주 낮게 나타났다. 초기 압축강도는 CC 및 FA치환율 증가에 따라 비례적으로 저하하였는데, 재령경과에 따라 강도저하 폭은 감소하는 것으로 나타났다.

- * 정회원, 청주대 대학원 석사과정
- ** 정회원, 청주대 대학원 박사과정
- *** 정회원, 아세아시멘트(주) 연구개발팀 차장
- **** 정회원, 아세아시멘트(주) 연구개발팀 팀장
- ***** 정회원, 청주대 건축공학부 전임강사, 공학박사
- ***** 정회원, 청주대 건축공학부 교수, 공학박사

1. 서론

현재 실무현장에서 사용되는 보통 포틀랜드시멘트는 매우 높은 수준으로 분말도가 개선됨으로서 이를 매스콘크리트에 적용할 경우 초기 수화열에 의한 균열은 불가피한 경우가 발생할 수 있다. 이에 대한 가장 효과적인 방법은 가능한 수화열이 적은 시멘트 및 광물질 혼화재료를 사용하는 것이 양호할 수 있겠지만, 국내실무의 경우는 재료적 측면은 거의 고려되지 않고, 시공단계에서의 프리쿨링, 분할타설 및 파이프 쿨링 등의 복잡한 별도의 조치를 취하고 있는 실정이다.

그러므로 본 연구에서는 수화반응의 지연과 함께 수화열을 저감시키기 위한 목적으로 보통 포틀랜드 시멘트 분쇄과정 중 발생하는 조분 시멘트와 플라이애시를 조합 치환함에 따른 콘크리트의 수화 발열 특성에 대해 검토하고자 한다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

본 연구의 실험계획은 표 1과 같다. 배합사항으로 W/B는 50% 1수준에 대하여, 보통포틀랜드시멘트(이하 OPC)를 100% 사용한 것을 Plain배합으로 하고 OPC에 대하여 조분 시멘트(이하 CC)를 25, 50, 75% 3수준으로 치환하고, 혼화제로 플라이애시(이하 FA)를 시멘트(OPC+CC)에 대하여 0, 10, 20, 30, 40%의 5수준으로 치환하여 총 16배치 실험계획 하였다. 이때 배합사항으로 Plain 콘크리트는 목표 슬럼프 120±25mm, 목표 공기량 4.5±1.5%를 만족하도록 배합설계 하였다.

2.2 사용재료

본 실험에 사용한 재료로써 먼저, 시멘트는 국내산 A사의 OPC (밀도: 3.15g/cm³, 분말도: 3, 302cm²/g)를 사용하였고, CC(밀도: 3.12g/cm³, 분말도: 1,908cm²/g)는 OPC 제조과정 중 시멘트 분쇄기 출구(그림 1 참조)에서 발생하는 시멘트를 포집하여 사용하였으며, 혼화제로 FA(밀도: 2.20g/cm³, 분말도: 4,012cm²/g)는 국내산 K사의 제품을 사용하였다. 한편, 골재로써 잔골재는 국내산 B사의 부순잔골재와 천연잔골재를 50:50으로 혼합한 잔골재(밀도: 2.58g/cm³, 조립율: 2.70)를 사용하였고, 굵은골재는 부순 굵은골재(밀도: 2.62g/cm³, 조립율: 6.48)를 사용하였다. SP제는 국내 E사의 나프탈렌계를 사용하였고, AE제는 국내 E사의 음이온계를 사용하였다.

표 1. 실험계획

실험요인		실험수준	
배합사항	W/B(%)	1	50
	목표 슬럼프 (mm)		120±25
	목표 공기량 (%)		4.5±1.5
	CC 치환율 (%)	3	25, 50, 75
	FA 치환율 (%)	5	0, 10, 20, 30, 40
실험사항	굳지않은 콘크리트	4	· 슬럼프 · 슬럼프 플로우 · 공기량 · 단위용적질량
	경화 콘크리트	2	· 압축강도(1, 2, 3, 7일) · 간이단열에 의한 온도상승량

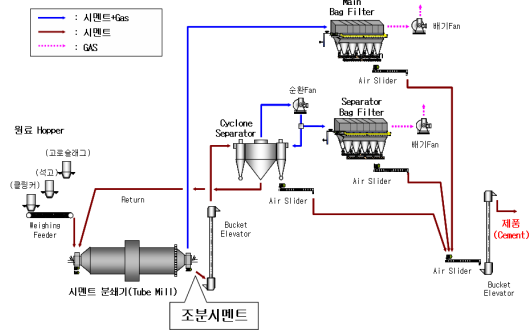


그림 1. 포틀랜드 시멘트의 제조 공정도

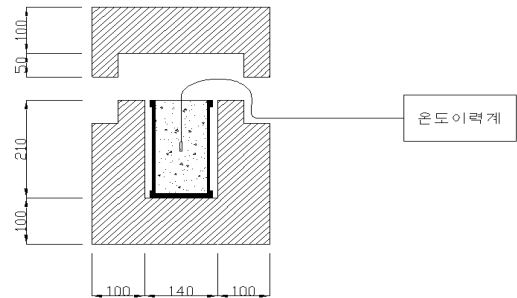


그림 2. 간이단열에 의한 온도 상승량 시험

2.3 실험방법

본 연구의 실험방법으로 콘크리트의 혼합은 강제식 2축 믹서를 사용하였다.

굳지않은 콘크리트의 실험으로 슬럼프는 KS F 2402, 슬럼프 플로우는 KS F 2594에 의거 측정하였고, 공기량과 단위용적질량은 KS F 2421에 의거 측정하였다. 또한, 경화콘크리트의 실험으로 압축강도는 KS F 2405의 시험방법에 의거 측정하였다.

콘크리트의 간이단열에 의한 온도 상승량 시험은 그림 2와 같이 직접시험법으로 각 배합조건에 따라 제조한 $\varnothing 100 \times 200 \text{mm}$ 콘크리트 공시체에 열전대를 시험체 중앙에 매설한 후 두께 100mm의 단열재로 6면을 밀봉한 입방 시험장치에 넣어 온도이력계에 의해 7일간의 온도변화를 1시간 간격으로 측정하였다.

3. 실험 결과 및 분석

3.1 굳지 않은 콘크리트의 특성

3.1.1 유동성 및 공기량

표 2는 CC 및 FA 치환율 별 굳지않은 콘크리트의 특성을 나타낸 것이다.

먼저 유동성의 경우는 CC 치환율이 증가할수록 점차 감소하였고, FA의 치환율이 증가 할수록 유동성은 증가하였는데, 이는 CC의 경우 충분한 분쇄가 이루어지지 않은 입자의 각지고 모난 입형으로 인하여 유동성이 저하한 것으로 사료되고, FA의 경우는 불베어링 작용에 의하여 유동성이 증가한 것으로 사료된다. 한편, 공기량은 CC 치환율이 증가함에 따라 미소하게나마 감소하는 경향을 나타냈고, FA 치환율이 증가함에 따라서는 FA의 성분 중 미연소탄분의 AE제 흡착 작용에 기인하여 크게 저하한 것으로 분석된다.

3.2 경화 콘크리트의 특성

3.2.1 간이단열에 의한 온도 상승량

그림 3은 CC 및 FA 치환율 별 경과시간에 따른 간이단열에 의한 온도 상승량을 나타낸 그래프이다.

전반적으로 CC 및 FA 치환율이 증가할수록 피크온도는 감소하였으며, 피크온도 도달시간도 미소하게나마 지연되는 것으로 나타났고 이후 온도 저하가 완만해 지는 경향을 보였다. 이는 CC 치환율이 증가함에 따라 시멘트의 분말도 저하에 의하여 초기수화반응이 비례적으로 지연되거나, 활성화 되지 못한 결과로 사료되며, FA의 치환율이 증가 함에 따라 초기수화 저하에 영향을 미쳐 FA의 치환율이 증가할수록 피크온도가 낮아지는 것으로 사료된다. 특히, CC 치환율에 관계없이 FA가 40% 치환된 경우는 온도 상승량이 여타의 경우보다 약 7~9°C 정도로 45%정도 낮아지는 것을 알 수 있었다.

표 2. 굳지않은 콘크리트의 특성

W/B (%)	CC 치환율 (%)	FA 치환율 (%)	슬럼프 (cm)	슬럼프 플로우 (mm)	공기량 (%)	단위용적 질량 (kg/m ³)	
50	0	0	11.5	224	3.9	2265	
		25	0	10.8	217	4.1	2245
			10	11.1	224	2.4	2278
			20	11.5	227	1.8	2280
			30	14.0	234	1.7	2284
	40	15.7	250	1.5	2288		
	50	50	0	5.8	198	4.0	2244
			10	6.4	208	2.4	2277
			20	8.6	216	2.1	2279
			30	9.9	217	1.8	2281
			40	11.1	223	1.5	2286
		75	0	2.6	206	3.8	2266
10			3.8	207	2.2	2279	
50	75	20	4.5	209	1.8	2281	
		30	6.3	215	1.4	2284	
		40	7.8	219	1.3	2285	

표 3. 간이단열에 의한 온도 상승량의 피크온도 및 피크온도 도달시점

W/B (%)	CC 치환율 (%)	FA 치환율 (%)	피크온도 (°C)	피크온도도달시점 (hr)	
50	0	0	14.7	18	
		25	0	14.6	29
			10	14.4	28
			20	13.6	29
			30	12.0	29
	40	7.4	35		
	50	50	0	12.5	36
			10	11.5	34
			20	11.1	34
			30	10.5	41
			40	6.3	45
		75	0	11.4	38
10			11.1	42	
50	75	20	10.7	38	
		30	9.8	44	
		40	5.8	55	

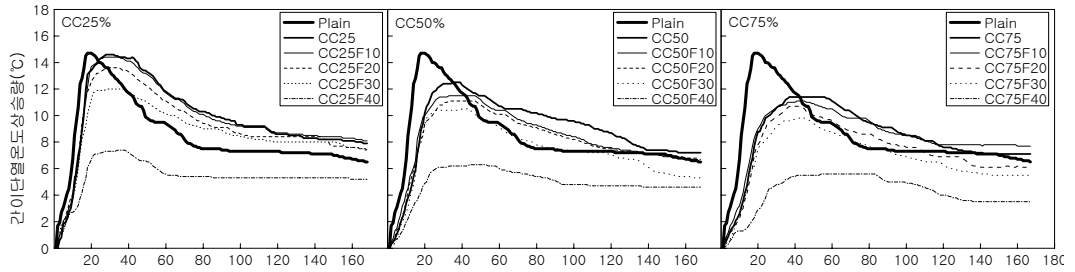


그림 3. 재령경과에 따른 간이단열에 의한 온도 상승량

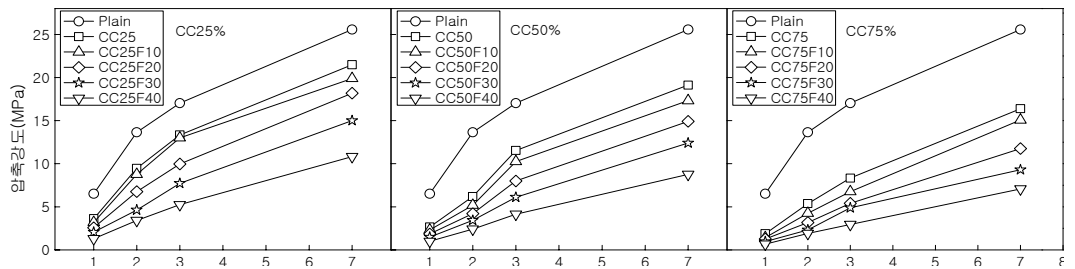


그림 4. 재령경과에 따른 압축강도

3.2.2 압축강도

그림 4는 CC 및 FA의 치환율 별 재령경과에 따른 압축강도를 나타낸 그래프이다.

당연한 결과로 CC 및 FA 치환율이 증가할수록 압축강도는 저하하였는데, CC50%의 경우 Plain에 비해 FA의 치환율이 증가함에 따라 재령 1일에서의 압축강도는 Plain의 약 15~40% 수준의 강도 발현율을 나타냈고, 재령 7일에서는 34~74%의 강도 발현율을 나타내 재령이 경과함에 따라 강도저하 폭이 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 이로 미루어 볼 때 추후 장기재령으로 갈수록 Plain과 유사하거나 동등 이상의 강도 발현율을 나타낼 것으로 예상된다.

4. 결론

본 연구에서는 CC와 FA를 조합 사용한 콘크리트에 대해 수화 발열 특성을 분석하였는데, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 유동성의 경우 CC 치환율이 증가할수록 점점 감소하였고, FA 치환율이 증가 할수록 유동성은 증가하였으며, 공기량의 경우 CC 치환율이 증가함에 따라 미소하게나마 감소하는 경향을 나타냈고, FA 치환율이 증가함에 따라서는 크게 저하하였다.

2) 간이단열에 의한 온도 상승량은 전반적으로 CC 및 FA 치환율이 증가할수록 피크온도는 감소하였는데, 이는 시멘트의 분말도 저하에 의한 수화반응 지연 및 FA에 의한 초기수화 저하의 영향으로 간이단열에 의한 온도 상승량이 낮아지는 것으로 사료된다.

3) 경화콘크리트의 특성으로 압축강도는 CC 및 FA 치환율이 증가할수록 비례적으로 저하하였으나, 재령이 경과함에 따라 압축강도의 저하 폭은 감소하는 경향을 나타냈다.

감사의 글

이 연구는 산업자원부와 한국 산업 기술재단의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구결과임.