

조분 시멘트와 고로슬래그를 조합 사용한 콘크리트의 수화발열 특성

Generation of Hydration Heat of the Concrete Combined Coarse Particle Cement and Blast Furnace Slag

노 상 균* 백 대 현** 장 덕 배** 김 영 필*** 차 완 호**** 한 천 구*****
Noh, Sang-Kyun Baek, Dae-Hyun Jang, Duk-Bae Kim, Young-Pil Cha, Wan-Ho Han, Cheon-Goo

Abstract

This study, having combined and displaced blast furnace slag("BS" hereinafter) 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 W/B 50% level 1, displaced CC at level 3 of 25%, 50% and 75% for OPC, and by displacing BS with admixture material at level 5 of 0%, 20%, 40%, 60% and 80% for cement(OPC+CC), 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 BS displacement rate increased, the more it decreased. Also, as for simple adiabatic temperature rise by the CC and BS displacement rates, it decreased as displacement rate increased, and particularly in the case of displaced BS of 80%. It showed temperature reduction effect of about 63% companing with plain. Compressive strength decreased in proportion to displacement rate, however strength reduction increment was shown to decrease with age progress.

키 워 드 : 조분 시멘트, 고로슬래그, 단열온도 상승량, 수화열, 압축강도

Keywords : Coarse Particle Cement, Blast Furnace Slag, Adiabatic Temperature Rise, Hydration Heat, Compressive Strength

1. 서 론

최근 도심지의 건축물은 인구밀도의 증가 및 건설기술의 발달 등으로 고층화, 대형화가 가속화되고 있다. 이로 인해 건설 공사현장에서는 대규모 매트기초의 시공이 증가하고 있는데, 이 경우 다량의 시멘트를 사용하게 되고, 이로 인한 과도한 수화열이 발생한다. 이러한 수화열은 콘크리트의 내·외부 온도차를 발생시켜 온도응력에 의한 균열발생의 원인이 되기 때문에 수화열을 저감하는 것은 해결해야 하는 중요한 과제로 등장하였다.

그러나 국내 건설공사현장에서 적용하는 매스콘크리트의 수화열 저감 방안은 시공단계에서의 프리쿨링, 파이프쿨링 및 분할타설 등의 방식이 주로 적용되고 있는데, 이와 같은 방식은 공기지연 및 경제성 저하 등의 문제점이 제기 되고 있어,

콘크리트의 수화열을 제어할 수 있는 보다 효과적인 기법의 개발이 요구되고 있다.

이에 본 연구팀에서는 선행연구¹⁾에서 OPC 생산과정 중 분쇄공정을 통해서 분급된 분말도 1,600~2,100cm²/g 수준의 조분 시멘트를 저발열 시멘트로서의 활용 가능성을 검토한바 있다. 그 결과 조분 시멘트의 치환율이 높아질수록 간이단열 온도 상승량의 피크온도는 감소하며 피크온도 도달시간도 미소하게나마 감소하는 것을 확인할 수 있었는데, 기대했던 것처럼 큰 온도저감효과는 나타나지 않았다.

그러므로 본 연구에서는 수화반응의 지연과 함께 수화열을 저감시키기 위한 목적으로 조분 시멘트의 치환과 함께 수화반응을 지연시키는 혼화재료로 알려진 고로슬래그를 조합 치환하여 삼성분계의 결합제 조합이 콘크리트에 미치는 수화발열 특성에 대해 검토하고자 한다.

2. 실험계획 및 방법

* 청주대학교 대학원 석사과정, 정회원
** 청주대학교 대학원 박사과정, 정회원
*** 아세아시멘트(주) 제천공장 기술연구소 연구원, 정회원
**** 아세아시멘트(주) 제천공장 기술연구소 책임연구원, 정회원
***** 청주대학교 건축공학과 교수, 공학박사, 정회원

2.1 실험계획

본 연구의 실험계획은 표 1과 같고, 배합사항은 표 2와 같다. 먼저, 배합사항으로 W/B 50% 1수준에 대하여, 보통포틀랜드 시멘트(이하 OPC)를 100% 사용한 것을 플레인으로 하고 OPC에 대하여 조분 시멘트(이하 CC)를 25, 50, 75% 3수준으로 치환하고, 혼화제로 고로슬래그(이하 BS)를 시멘트(OPC+CC)에 대하여 0, 20, 40, 60, 80%의 5수준으로 치환하여 총 16배치를 실험계획하였다. 이때 플레인은 목표 슬럼프 120±25mm, 목표 공기량 4.5±1.5%를 만족하도록 배합설계하였다.

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
BS 치환율(%)	4		0, 20, 40, 60, 80
실험사항	굳지않은 콘크리트	5	· 슬럼프 · 슬럼프 플로우 · 공기량 · 단위용적질량
	경화 콘크리트	2	· 압축강도(1, 3, 7, 28일) · 간이단열에 의한 온도상승량

표 2. 콘크리트의 배합표

W/B (%)	CC 치환율 (%)	BS 치환율 (%)	S/a (%)	AE/C (%)	SP/C (%)	W (kg/m³)	용적배합(ℓ/m³)				
							C	CC	BS	S	G
50	플레인		47	0.012	0.65	182	116	-	-	309	348
	25	0	47	0.012	0.65	182	87	29	-	309	348
		20	47	0.012	0.65	182	69	23	25	308	347
		40	47	0.012	0.65	182	52	18	50	307	346
		60	47	0.012	0.65	182	35	12	75	306	345
		80	47	0.012	0.65	182	17	6	100	305	344
	50	0	47	0.012	0.65	182	58	58	-	309	348
		20	47	0.012	0.65	182	46	47	25	308	347
		40	47	0.012	0.65	182	35	35	50	307	346
		60	47	0.012	0.65	182	23	23	75	306	345
80		47	0.012	0.65	182	12	12	100	305	344	
75	0	47	0.012	0.65	182	29	88	-	309	348	
	20	47	0.012	0.65	182	23	70	25	308	347	
	40	47	0.012	0.65	182	17	53	50	307	346	
	60	47	0.012	0.65	182	12	35	75	306	345	
	80	47	0.012	0.65	182	6	18	100	305	344	

실험사항으로 굳지않은 콘크리트에서는 슬럼프, 슬럼프 플로우, 공기량 및 단위용적질량을 측정하였고, 경화콘크리트에서는 간이단열에 의한 온도상승량 및 압축강도를 측정하였다.

2.2 사용재료

본 실험에 사용한 재료의 물리적 성질은 표 3~7과 같다. 즉, 시멘트는 국내 A사의 OPC 및 CC를 사용하였고, 골재로 잔골재는 국내 B사의 부순잔골재와 천연잔골재를 50:50으로 혼합한 잔골재를 사용하였으며, 굵은골재는 부순 굵은골재를 사용하였다. 고로슬래그는 국내 K사의 제품을 사용하였고, 혼화제로 고성능 감수제는 국내 E사의 나프탈렌계를 사용하였으며, AE제는 국내 E사의 음이온계를 사용하였다.

CC의 제조공정과 관련하여 그림 1은 OPC 생산과정 중 분쇄 공정도를 나타낸 것이다. 시멘트 분쇄기(Tube Mill)에 클링커 및 기타 원료가 투입되면 분쇄된 원료는 Cyclone Separator로 이동되고, Bag Filter를 통하여 최종적으로 집결하여 OPC가 생산된다. 이때 상대적으로 조립분인 시멘트 분쇄기(Tube Mill)출구에서 포집된 시멘트시료를 분말도 1,600~2,100cm²/g 수준의 조분 시멘트로 활용하게 된다.

표 3. 시멘트 및 조분 시멘트의 물리적 성질

구분	밀도 (g/cm³)	분말도 (cm²/g)	안정도 (%)	응결시간(분)		압축강도(MPa)		
				초결	종결	3일	7일	28일
OPC	3.15	3,144	0.08	230	375	20.9	28.4	38.9
CC	3.12	1,908	-	242	393	9.8	17.1	26.3

표 4. 시멘트의 화학성분 구성

시료	화 학 성 분 (%)								LSF	SM	IM
	LOI	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O			
OPC	0.35	21.88	5.02	3.66	64.18	2.01	1.83	0.92	90.44	2.52	1.37
CC	0.18	22.18	5.17	3.82	64.44	2.05	1.14	0.87	90.03	2.47	1.35

LOI : 강열감량, LSF : 석회포화도, SM : 규산률, IM : 철률

표 5. 골재의 물리적 성질

구분	밀도 (g/cm³)	조립률	흡수율 (%)	0.08mm체통과량 (%)
잔 골 재	2.58	2.74	0.46	0.31
굵은골재	2.62	6.48	0.58	0.40

표 6. 고로슬래그의 물리적 성질

밀도 (g/cm³)	분말도 (cm²/g)	염기도	강열감량 (%)	화 학 성 분 (%)		
				MgO	SO ₃	Cl
2.90	4,254	1.91	0.23	5.26	1.95	0.002

표 7. 혼화제의 물리적 성질

구분	형태	주성분	색상	pH	밀도(g/cm ³)
고성능감수제	액상	나프탈렌계	암갈색	7.7	1.20
AE제	액상	음이온계	미백색	-	1.04

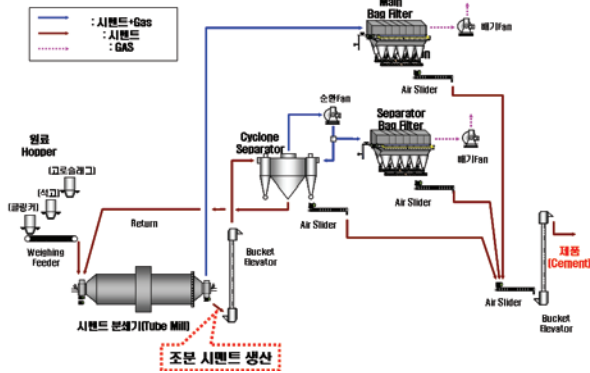


그림 1. 포틀랜드 시멘트의 분쇄 공정도

리트의 실험으로 압축강도는 KS F 2405의 시험방법에 의거 측정하였다.

콘크리트의 간이단열온도 상승량 시험은 그림 2와 같이 직접시험법으로 각 배합조건에 따라 제조한 Ø100×200mm 콘크리트에 열전대선을 시험체 중앙에 매설한 후 두께 100mm의 단열재로 6면을 밀봉한 입방시험장치에 넣어 온도이력계에 의해 7일간의 온도변화를 1시간 간격으로 측정하였다.

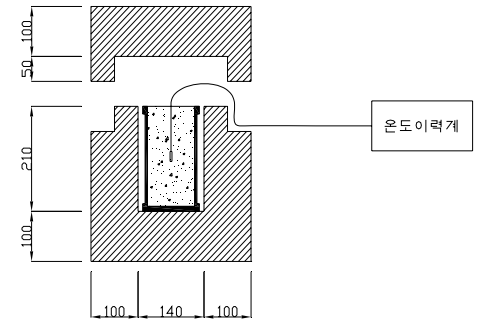


그림 2. 간이단열온도 상승시험 장치

2.3 실험방법

본 연구의 실험방법으로 콘크리트의 혼합은 강제식 2축 믹서를 사용하여 혼합하였다.

굳지않은 콘크리트의 실험으로 슬럼프는 KS F 2402, 슬럼프 플로우는 KS F 2594에 의거 측정하였고, 공기량과 단위용적질량은 KS F 2421에 의거 측정하였다. 또한, 경화콘크

3. 실험결과 및 분석

3.1 굳지않은 콘크리트의 특성

표 8은 CC 및 BS 치환율 변화에 따른 굳지않은 콘크리트

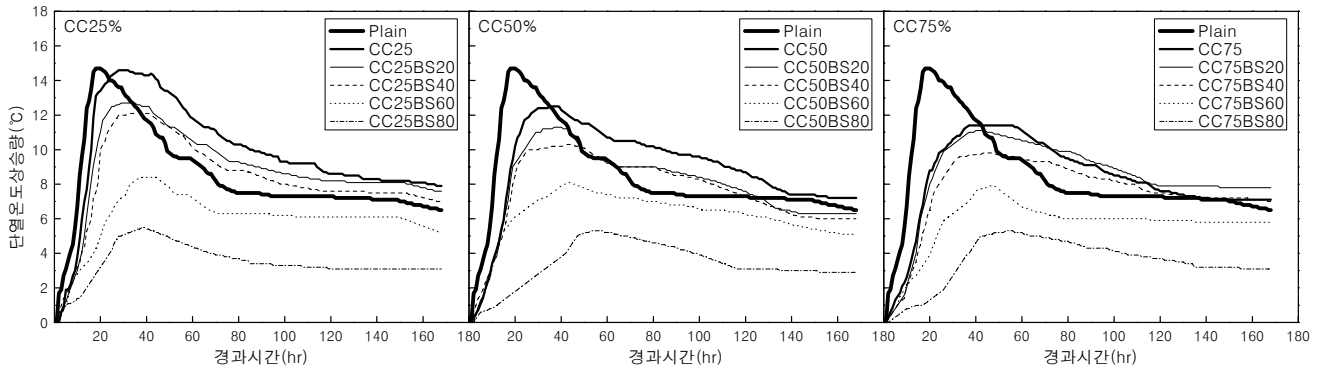


그림 3. 경과시간 따른 간이단열에 의한 온도상승량

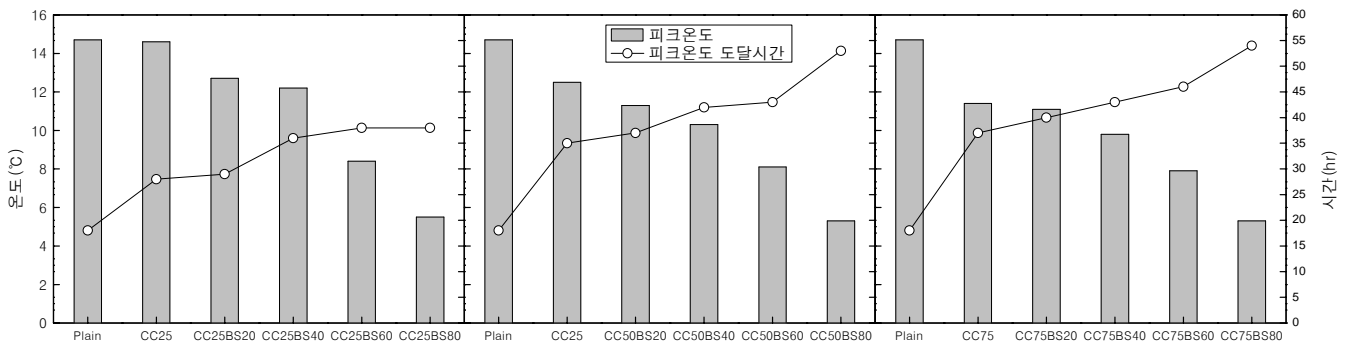


그림 4. 간이단열에 의한 온도상승량 피크온도 및 피크온도 도달시간

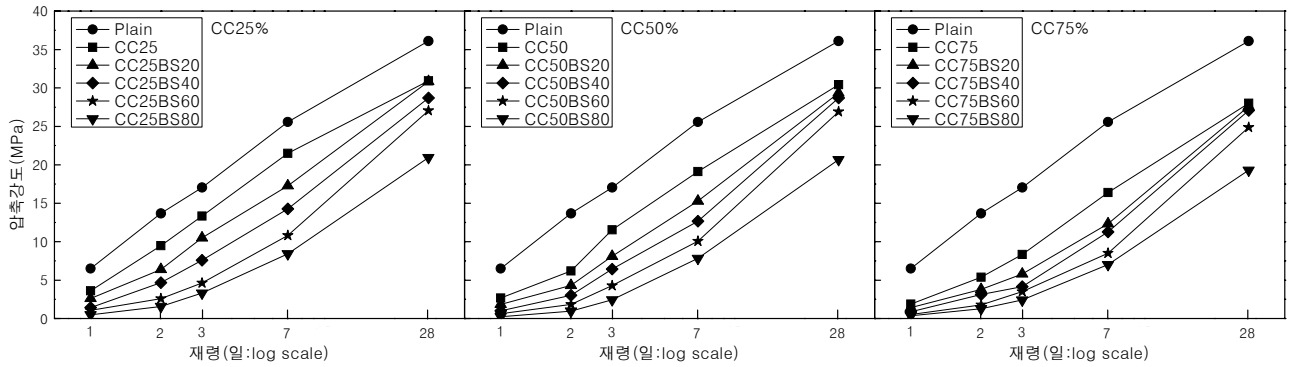


그림 5. 재령경과에 따른 압축강도

의 특성을 나타낸 것이다.

먼저, 유동성은 CC의 치환율이 증가할수록 감소하였고, BS의 치환율이 증가할수록 유동성은 증가하였는데, 이는 CC의 경우 충분한 분쇄가 이루어지지 않은 입자의 각지고 모난 입형으로 인하여 유동성이 저하한 것으로 사료되고, BS의 경우 BS의 유리질표면 및 큰 분말도에 의하여 유동성이 증가한 것으로 사료된다.

한편, 공기량은 CC의 치환율이 증가할수록 미소하게 감소하는 경향을 나타내었고, BS의 치환율이 증가할수록 감소하였는데, 이는 BS의 큰 분말도에 의해 시멘트 입자사이의 공극을 채워 공기량이 감소한 것으로 사료된다.

표 8. 굳지않은 콘크리트의 특성

W/B (%)	CC 치환율 (%)	BS 치환율 (%)	슬럼프 (mm)	슬럼프 플로우 (mm)	공기량 (%)	단위용 적질량 (kg/m ³)
50	플레인		115	224	3.9	2265
	25	0	108	217	4.3	2245
		20	114	225	4.1	2247
		40	115	227	3.9	2248
		60	119	232	3.4	2256
		80	127	235	2.8	2268
		80	127	235	2.8	2268
	50	0	58	198	4.0	2244
		20	81	212	3.9	2270
		40	101	220	3.9	2276
		60	101	223	3.3	2283
		80	111	216	2.9	2284
		80	111	216	2.9	2284
	75	0	26	206	3.8	2259
		20	33	209	3.6	2264
		40	70	209	3.4	2266
		60	80	212	3.4	2288
		80	91	216	2.4	2297
80		91	216	2.4	2297	

3.2 경화 콘크리트의 특성

3.2.1 단일온도상승량

그림 3은 경과시간에 따른 간이단열에 의한 온도상승량을

나타낸 그래프이고, 그림 4는 간이단열에 의한 온도상승량 피크온도 및 피크온도 도달시간을 나타낸 그래프이다.

전반적으로 CC 및 BS의 치환율이 증가할수록 피크온도는 감소하며, 피크온도 도달시간은 지연되는 것으로 나타났고, 시간이 경과할수록 온도저하가 완만해지는 경향을 나타내었다. 이는 CC의 치환율이 증가할수록 시멘트의 분말도 저하에 의하여 초기수화반응이 지연되거나, 활성화되지 못한 결과로 사료되며, BS의 치환율이 증가할수록 단위시멘트량의 감소 및 BS의 잠재수경성반응이 초기수화 저하에 영향을 미쳐 피크온도가 낮아지고 수화반응이 지연되는 것으로 사료된다. 특히, BS의 치환율 80%의 경우는 피크온도가 플레인에 비해 약 9℃정도 낮게 나타나 63%의 온도저감효과를 나타내는 것을 확인할 따르면 온도에 민감한 특성에 기인하여 외기온도에 따라 수화열저감 효과의 변동이 큰 것으로 보고되고 있다.²⁾

한편, BS의 치환율 20% 및 40%의 경우 60% 및 80%의 경우와 달리 0%와 유사한 단일온도상승량곡선을 나타내어 온도저감효과가 크지 않은 것으로 나타났는데, 이는 소량의 BS의 경우 클링커 광물의 수화를 촉진하기 때문에 단위시멘트량의 감소에도 불구하고 큰 온도저감효과는 나타내지 않은 것으로 사료된다.

3.2.2 압축강도

그림 5는 CC 및 BS의 치환율 별 재령경과에 따른 압축강도를 나타낸 그래프이다.

당연한 결과로 CC 및 BS의 치환율이 증가할수록 압축강도는 비례적으로 저하하였는데, CC50%의 경우 플레인에 비해 BS의 치환율이 증감함에 따라 재령 1일에서의 압축강도는 플레인의 약 4~41% 수준의 강도발현율을 나타냈고, 재령 28일의 경우 57~84%의 강도 발현율을 나타내어 재령이 경과함에 따라 강도저하폭이 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 이는 BS를 치환함에 따라 초기에는 단위시멘트량이 상대적으로

부족하여 강도발현이 늦어지지만 후기재령으로 갈수록 고로슬래그의 잠재수경성 반응에 의해 강도가 증진된 것으로 분석된다. 이로 미루어 볼 때 추후 장기재령으로 갈수록 플레인과 유사하거나 동등 이상의 강도발현율을 나타낼 것으로 예상된다.

4. 결 론

본 연구에서는 CC와 BS를 조합 치환한 콘크리트에 미치는 수화발열 특성을 분석하였는데, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 굳지않은 콘크리트의 특성으로 유동성의 경우 CC의 치환율이 증가할수록 감소하였고, BS의 치환율이 증가할수록 유동성은 증가하였으며, 공기량의 경우 CC의 치환율이 증가할수록 미소하게 감소하는 경향을 나타냈고, BS의 치환율이 증가할수록 공기량은 감소하였다.
- 2) 간이단열에 의한 온도상승량은 전반적으로 CC 및 BS의 치환율이 증가할수록 피크온도는 감소였고, 피크온도 도달시간은 지연되었으며, 시간이 경과할수록 온도저하가 완만해지는 경향을 나타냈다. 이는 시멘트의 분말도 저하에 따른 초기수화반응 지연 및 BS에 의한 초기수화반응 저하에 영향을 미쳐 간이단열에 의한 온도상승량이 낮아지는 것으로 사료된다.
- 3) 경화 콘크리트의 특성으로 압축강도는 CC 및 BS의 치환율이 증가할수록 비례적으로 저하하였으며, 재령이 경과함에 따라 압축강도의 저하 폭은 감소하는 것으로 나타났다.

감사의 글

본 연구는 교육과학기술부와 한국산업기술재단의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구결과임

참 고 문 헌

1. 노상균, 백대현, 차완호, 장덕배, 한민철, 한천구, 조분 시멘트의 치환율 변화에 따른 저발열 콘크리트의 기초적 특성, 한국건축시공학회 학술.기술논문발표회 논문집, 7권, 2호, pp.45~48, 2007. 11
2. 日本建築學會, マスコンクリートにおける技術の現状, 2001. 6