

조분 시멘트의 치환율 변화에 따른 저발열 콘크리트의 기초적 특성

Fundamental Properties of the Low Heat Concrete depending on the Coarse Particle Cement

노상균* 백대현* 차완호** 장덕배*** 한민철**** 한천구*****
 Noh, Sang-Kyun Baek, Dae-Hyun Cha, Wan-Ho Jang, Duk-Bae Han, Min-Cheol Han, Cheon-Goo

Abstract

This study investigates mechanical properties of the concrete using coarse particle cement which is manufactured by the classifying process. The variable factors are 3 types of W/C such as 40, 50, and 60% and 5 types of the replacement of the coarse particle cement such as 0, 25, 50, 75, and 100%. As the results, amount of SP agent to secure the target fluidity is gradually declined in accordance with increasing CC replacement. There is no special tendency for target air content, but setting time is delayed according to increasing CC content. The peak of the simple adiabatic temperature rise is gradually decreased in accordance with increasing CC content, and approach time to peak is slightly delayed. The compressive strength is comparatively delayed.

키워드 : 조분 시멘트, 단열온도 상승량, 압축강도, 저발열 콘크리트
 Keywords : Coarse Particle Cement, Adiabatic Temperature Rise, Compressive Strength, Low Heat Concrete

1. 서론

최근 국내 건설시장은 늘어나는 사용자의 요구 및 사회간접 자본사업이 활성화됨에 따라 구조물의 초고층화, 대형화, 장대화가 가속화되고 있다. 그에 따른 국내 건설공사 현장에서는 대규모 매스콘크리트 구조물을 시공하는 사례가 증가하고 있는데, 대규모 매스콘크리트 구조물을 시공할 경우 다량의 시멘트를 사용하게 되고 이로 인한 과도한 수화열이 발생하게 된다.

최근 생산되는 보통 포틀랜드시멘트(이하 OPC)는 강도의 커다란 향상과 연속적인 시멘트 입자분포 구조, 매우 높은 수준으로 분말도가 개선됨으로서 이러한 시멘트를 매스콘크리트에 사용할 경우 초기의 높은 수화열에 의한 균열은 피할 수 없는 상황으로, 이에 가장 효과적인 방법은 가능한 수화열이 적은 시멘트를 사용하거나 플라이애시, 고로슬래그 미분말 및 석회석 미분말 등의 광물질 혼화재를 치환하여 사용하는 것이다.

그러나 저발열 시멘트는 국내에서 거의 수요와 생산이 이루어지지 않고 있고, 가격이 고가이기 때문에 시멘트에 플라이애시나 고로슬래그 등을 치환하여 사용하는 경우가 주를 이루고 있는데, 플라이애시는 유연탄의 공급원 변화, 입도, 입형, 소성 상태 등 품질 불안정 요인이 많기 때문에 정제과정이 필연적으

로 뒤따라야 하고 중성화 등에 취약한 단점을 가지고 있으며, 고로슬래그 역시 이러한 문제에 대하여 자유로울 수 없는 실정이다.

이에 본 연구팀에서는 OPC 생산 과정 중 분쇄 공정을 통해서 분급된 분말도 1,600~2,100cm²/g 수준의 조분 시멘트(이하 CC)를 저발열 시멘트로서의 활용 가능성을 검토 중에 있다.

그러므로, 본 연구에서는 콘크리트의 수화반응의 지연과 함께 수화열을 저감시키기 위한 목적으로 상기의 공정을 통해 포집된 CC를 이용한 콘크리트를 대상으로 CC 치환율 변화에 따른 기초적 물성을 검토하고자 한다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

본 연구의 실험계획은 표 1과 같고, 배합사항은 표 2와 같다. 먼저, 배합사항으로 W/C는 고강도 영역과 일반강도 영역으로 나누어 30, 50%의 2수준으로 계획하였는데, W/C 30%의 경우 목표 슬럼프 플로우는 600±100mm, 목표 공기량은 3.0±1.0%로 계획하였고, W/C 50%의 경우 목표 슬럼프는 120±25mm, 목표 공기량은 4.5±1.5로 계획하였다.

먼저, CC의 경우 OPC에 대한 치환율을 0, 25, 50, 75 100%의 5수준으로 총 10배치를 실험계획 하였다.

실험사항으로 굳지않은 콘크리트에서는 슬럼프, 슬럼프 플로우, 공기량, 단위용적질량 및 응결시간을 측정하였고, 경화콘크리트에서는 압축강도 및 단열온도 상승량을 측정하였다.

* 청주대학교 대학원 석사과정, 정회원

** 아세아시멘트(주) 기술연구소, 정회원

*** 청주대학교 대학원 박사과정, 정회원

**** 청주대학교 건축공학과 전임강사, 공학박사, 정회원

***** 청주대학교 건축공학과 교수, 공학박사, 정회원

CC의 제조공정과 관련하여 그림 1은 포틀랜드 시멘트 생산 과정 중 분쇄 공정도를 나타낸 것이다. 시멘트 분쇄기(Tube mill)에 클링커 및 기타 원료가 투입되면 분쇄된 원료는 ①라인에서 Cyclone separator로 이동 되고 최종적으로 ⑥라인에서 집결하여 보통 포틀랜드 시멘트 제품이 생산된다. 이때 상대적으로 조립분인 ①라인 시멘트(Mill 출구)시료는 분말도 1,600~2,100cm²/g 수준의 조분 시멘트가 된다.

표 1. 실험계획

실험요인		실험수준	
배합사항	W/C(%)	30	50
	목표 유동성(mm)	600±100 (슬럼프 플로우)	120±25 (슬럼프)
	목표 공기량(%)	3.0±1.0	4.5±1.5
	CC 치환율(%)	0, 25, 50, 75, 100	
실험사항	굳지않은 콘크리트	• 슬럼프 • 슬럼프 플로우 • 공기량 • 단위용적질량 • 응결시간	
	경화 콘크리트	• 압축강도(1, 3, 7, 28일) • 간이 단열온도 상승량	

표 2. 콘크리트의 배합표

W/C (%)	CC 치환율(%)	S/a (%)	AE/C (%)	SP/C (%)	W (kg/m ³)	용적배합 (l/m ³)			
						C	CC	S	G
30	0	48	0.035	0.80	165	175	-	283	332
	25	48	0.040	0.60	180	143	46	281	305
	50	48	0.020	0.55	185	98	96	277	300
	75	52	0.020	0.50	185	49	143	301	277
	100	52	0.020	0.45	195	-	201	291	268
50	0	46	0.018	0.51	178	113	-	306	359
	25	46	0.020	0.51	178	85	28	306	359
	50	46	0.019	0.49	180	57	56	305	358
	75	45	0.019	0.48	185	29	86	295	360
	100	45	0.019	0.35	195	-	121	288	352

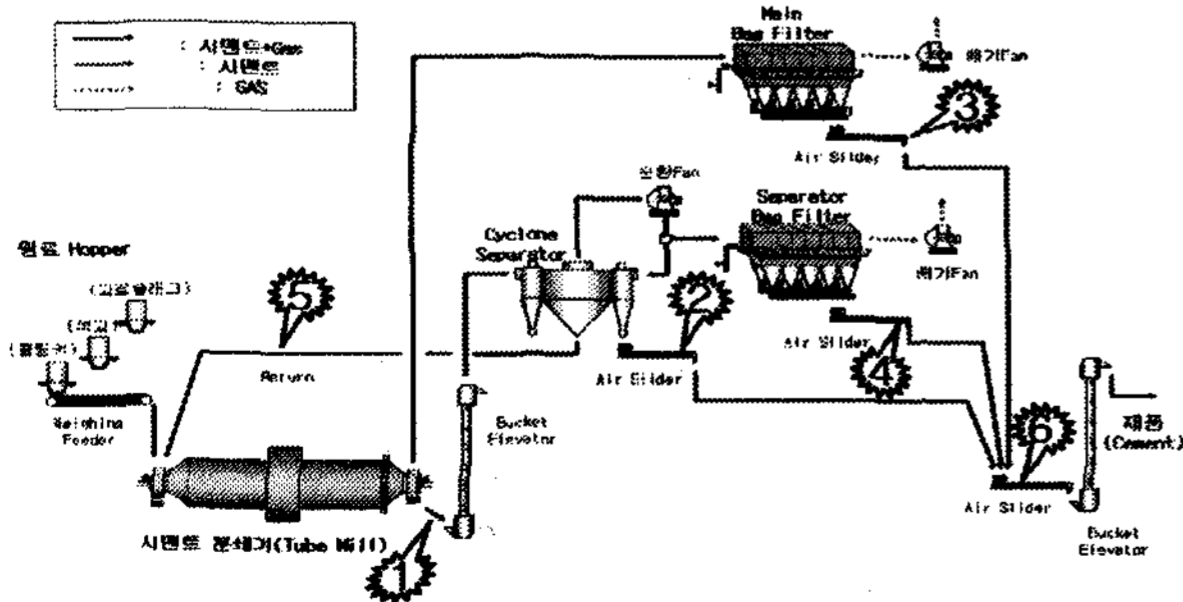


그림 1. 포틀랜드 시멘트의 분쇄 공정도

2.2 사용재료

본 실험에 사용한 재료의 물리적 성질은 표 3~6와 같다. 즉, 시멘트는 국내산 A시멘트사산 OPC를 사용하였고, CC는 시멘트 제조과정 중 ①라인(그림 1. 참조)에서 발생하는 국내

산 A시멘트사산을 사용하였다. 골재는 국내 B사의 골재를 사용하였으며, SP제는 국내 E사의 고성능 감수제(폴리칼본산계)를 사용하였고, AE제는 국내 E사의 제품을 사용하였다.

표 3. 시멘트 및 조분 시멘트의 물리적 성질

구분	밀도 (g/cm ³)	분말도 (cm ² /g)	안정도 (%)	응결시간(분)		압축강도(MPa)		
				초결	종결	3일	7일	28일
OPC	3.15	3,302	0.08	208	351	20.4	29.4	38.7
CC	3.23	1,908	-	242	393	9.8	17.1	26.3

표 4. 시멘트의 화학성분 구성

시료	화 학 성 분(%)								LSF	SM	M
	LOI	SO 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, M : 철률

표 5. 골재의 물리적 성질

구분	밀도 (g/cm ³)	조립률	흡수율(%)	0.08mm체 통과량(%)
잔 골재	2.59	2.67	1.11	1.12
굵은골재	2.71	7.01	1.18	0.11

표 6. 혼화제의 물리적 성질

구분	형태	주성분	색상	pH	밀도(g/cm ³)
고성능감수제	액상	폴리칼본산계	미백색	6.5	1.060
AE제	액상	음이온계	미백색	-	1.040

2.3 실험방법

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

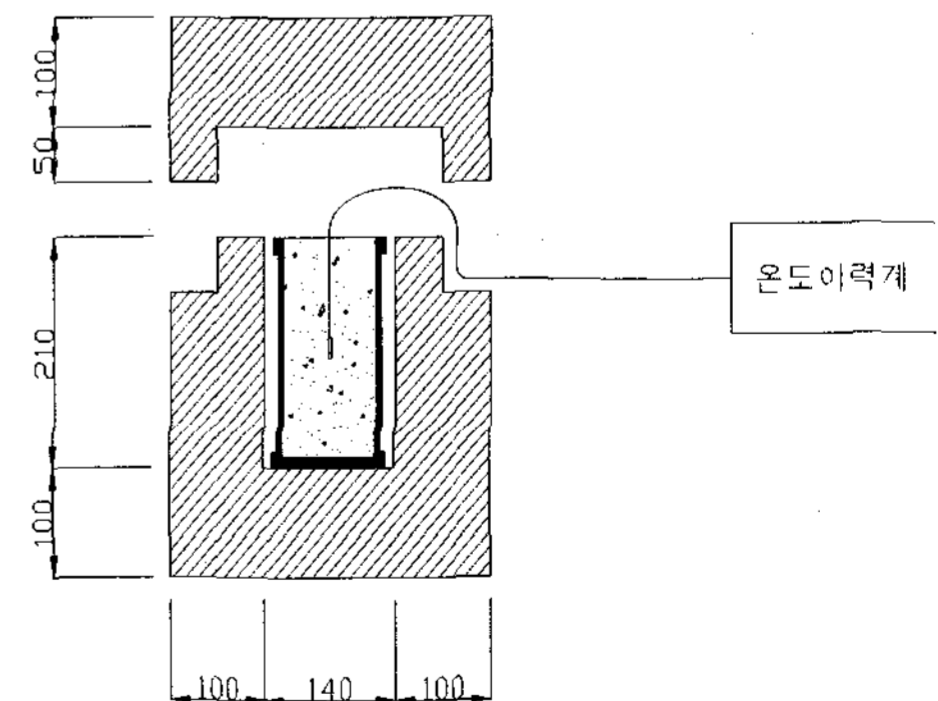


그림 2. 간이단열온도 상승시험 장치

굳지않은 콘크리트의 실험으로 슬럼프는 KS F 2402, 슬럼프 플로우는 KS F 2594에 의거 측정하였고, 공기량과 단위용적 질량은 KS F 2421에 의거 측정하였다. 또한, 응결시간은 KS F 2436에 의거 실시하였고, 경화콘크리트의 실험으로 압축강도는 KS F 2405의 시험방법에 의거 측정하였다.

콘크리트의 간이단열온도 상승량 시험은 그림 2와 같이 직접시험법으로 각 배합조건에 따라 제조한 Ø100×200mm 콘크

리트에 열전대선을 시험체 중앙에 매설한 후 두께 100mm의 단열재로 6면을 밀봉한 입방시험장치에 넣어 온도이력계에 의해 5일간의 온도변화를 1시간 간격으로 측정하였다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 굳지않은 콘크리트의 특성

3.1.1 유동성 및 공기량

표 7은 CC 치환율 변화에 따른 굳지않은 콘크리트의 특성을 나타낸 것이다.

대부분의 배합에서 배합설계를 실시하여 목표 유동성과 목표 공기량을 만족하였으나, 단, W/C 30%의 CC 치환율 75, 100%에서는 목표 유동성을 만족시키지 못하였다.

즉, CC 치환율에 따른 유동성 및 공기량을 검토하기 위해 혼화제의 사용량을 검토하였는데, 목표 유동성을 확보하기 위한 SP제 사용량은 CC 치환율이 증가함에 따라 점차 감소하는 것으로 나타났다. 이는 CC 치환율이 증가할수록 물과 접촉할 수 있는 비표면적이 작아지는 동시에 분체량이 저하하여 점성이 줄어들고 그로인해 유동성이 상대적으로 증가한 결과로 판단된다. 또한, AE제 사용량은 CC 치환율 25%에서 가장 많았으나, 특별한 경향은 나타나지 않았다.

한편, W/C 30%의 CC 치환율 75, 100%에서는 목표 유동성을 만족시키지 못하였는데, 이는 CC 치환율이 75% 이상이 되면 점성이 극히 저하하여 전단파괴 및 재료분리가 발생하였으며, 재료분리의 저항성을 높이기 위해 잔골재율을 높였으나 통상적인 범위를 벗어나는 비경제적인 배합이 되므로 최대 52%에서 적정 콘크리트 품질이 얻어질 수 있는 범위로 배합설계하였다. 따라서 W/C 30%에서 고유동 범위의 콘크리트 제조 시 CC 치환율 50%까지가 통상적인 수준에서 고려할 수 있는 한계 치환율로 사료된다.

표 7. 굳지않은 콘크리트의 특성

W/C (%)	CC 치환율 (%)	슬럼프 (cm)	슬럼프 플로우(cm)	공기량 (%)	단위용적질량 (kg/m ³)
30	0	25.0	64.5	2.7	2379
	25	23.4	55.7	3.7	2345
	50	22.0	51.8	2.9	2365
	75	4.3	21.2	3.6	2328
	100	5.6	21.8	3.8	2308
50	0	14.0	24.0	3.1	2335
	25	13.4	23.5	5.1	2267
	50	11.0	22.0	3.9	2289
	75	11.6	22.7	3.3	2364
	100	13.0	23.1	4.4	2277

3.1.2 응결시간

그림 1은 CC 치환율 변화에 따른 관입저항치로서 응결시간을 나타낸 그래프이다.

전반적으로 CC 치환율이 증가함에 따라 비례적으로 응결이 지연되었다. 이는 CC 치환율이 증가함에 따라 물과 접촉할 수 있는 비표면적이 작아져 수화반응이 지연된 결과로 사료된다.

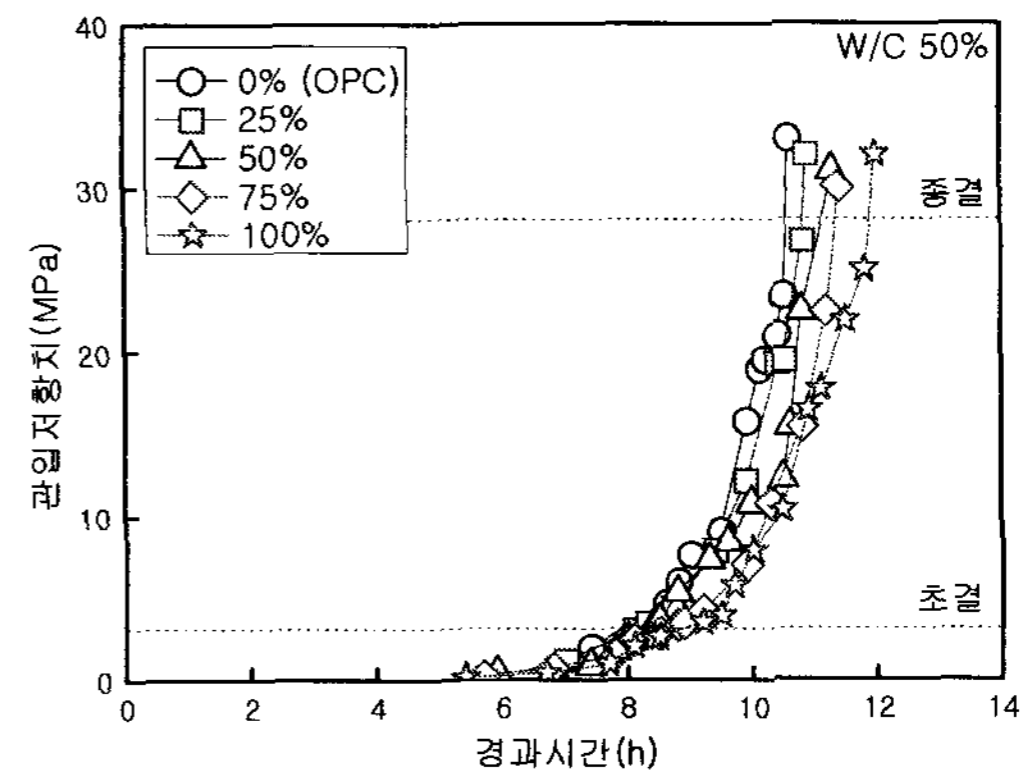
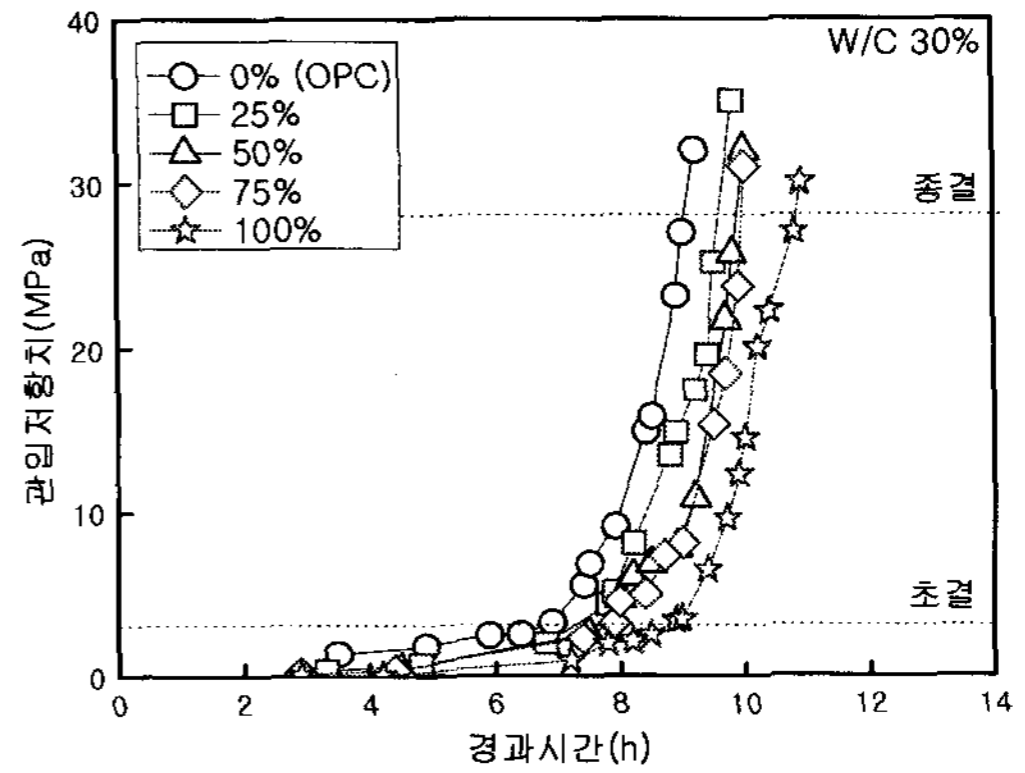


그림 1. CC 치환율에 따른 관입저항치

3.2 경화 콘크리트의 특성

3.2.1 단일온도상승량

그림 2는 CC 치환율 별 시간경과에 따른 간이단열온도 상승량을 W/C별로 구분하여 나타낸 그래프이고, 표 8은 간이단열온도 상승량의 피크온도 및 피크온도 도달시점을 나타낸 표이다.

전반적으로 CC 치환율이 증가할수록 피크온도는 감소하며 피크온도 도달시간도 미소하게나마 지연되는 것으로 나타났는데, 이는 분말도 저하에 의하여 수화반응이 비례적으로 지연되거나, 활성화 되지 못해 발생한 결과로 사료된다. CC 100%를 치환한 경우의 피크온도는 OPC에 비하여 대략 2~3℃정도 낮아지는 것으로 나타나 기대했던 것처럼 큰 온도저감효과는 나타나지 않았는데, 이는 비록 CC의 경우 분말도가 굵어 졌더라도, 주성분이 OPC와 유사하여 초기수화에 기여하기 때문으로 사료된다.

3.2.2 압축강도

그림 2는 CC 치환율 변화에 따른 압축강도를 나타낸 그래프이다.

당연한 결과로 CC 치환율이 증가할수록 압축강도는 비례적으로 저하하였는데, 먼저, W/C 30%의 CC 치환율 100%를 OPC와 비교하면 재령 1일에서 약 47.65%, 재령 28일에서는 약 78.29%의 강도발현율을 나타내었다. 또한, W/C 50%에서는 재령 1일에서 약 33.44%, 재령 28일에서는 약 72.61%의 강도발현율을 나타냈는데, CC 치환율이 증가할수록 재령경과에 따라 강도저하 폭이 감소함을 확인할 수 있었다.

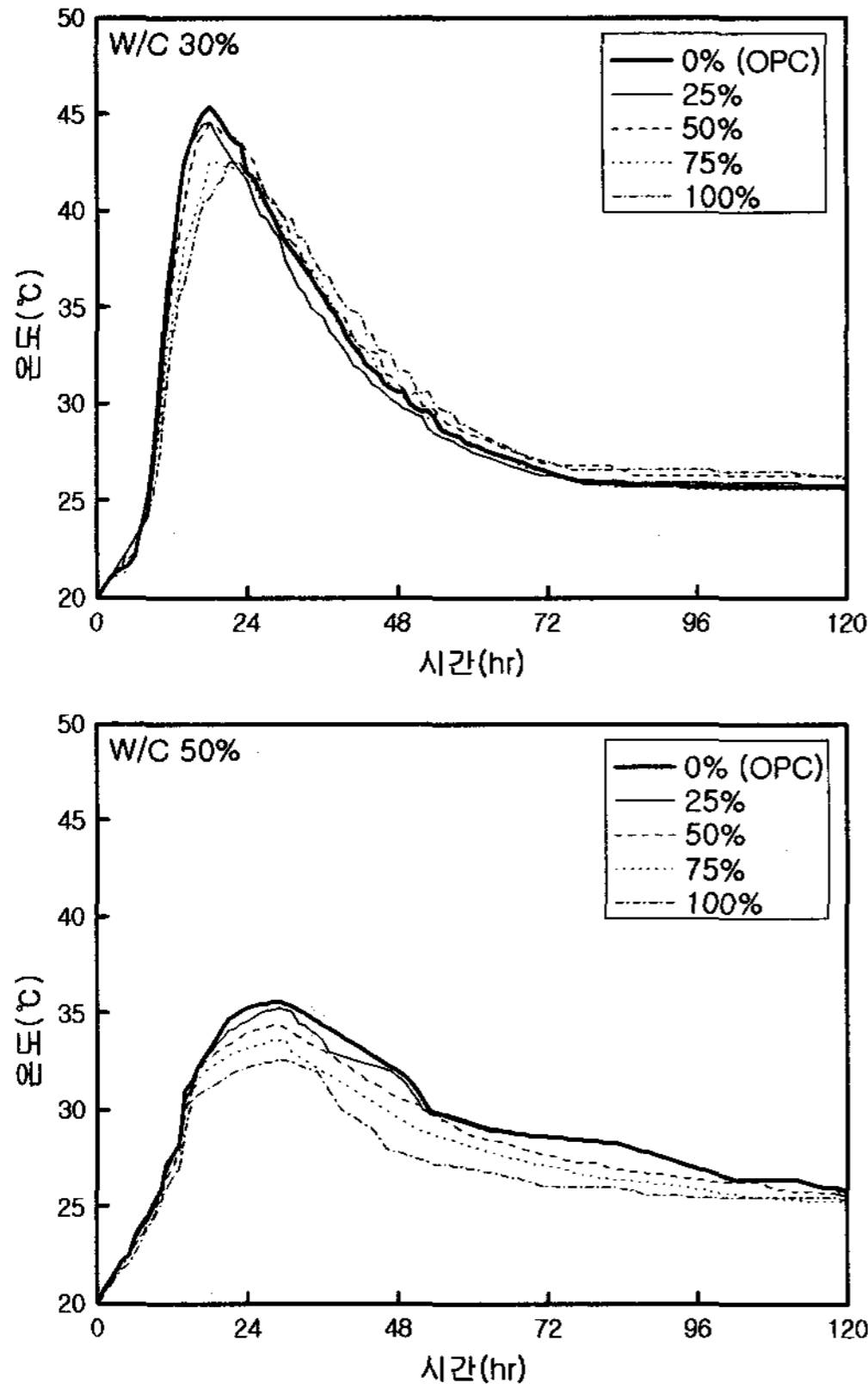


그림 2. CC 치환율에 따른 간이단열온도 상승량

표 8. 간이단열온도 상승량의 피크온도 및 피크온도 도달시점

W/C (%)	CC 치환율(%)	피크온도(°C)	피크온도도달시점(hr)
30	0	45.4	17
	25	44.6	18
	50	44.5	18
	75	42.5	19
	100	42.4	23
50	0	35.5	28
	25	35.3	29
	50	34.4	29
	75	33.6	30
	100	32.6	30

- 2) CC 치환율에 따른 응결시간은 치환율이 증가함에 따라 비례적으로 지연되었다.
- 3) CC 치환율에 따른 간이단열온도 상승량은 전반적으로 치환율이 증가할수록 피크온도는 감소하며 피크온도 도달시간도 미소하게나마 지연되는 것으로 나타났는데, 이는 분말도 저하에 의하여 수화반응이 비례적으로 더디거나 활성화 되지 못해 발생된 결과로 판단된다.
- 4) CC 치환율에 따른 압축강도는 치환율이 증가할수록 압축강도는 비례적으로 저하하였고, 재령경과에 따른 강도저하 폭은 감소하는 경향을 확인할 수 있었다.

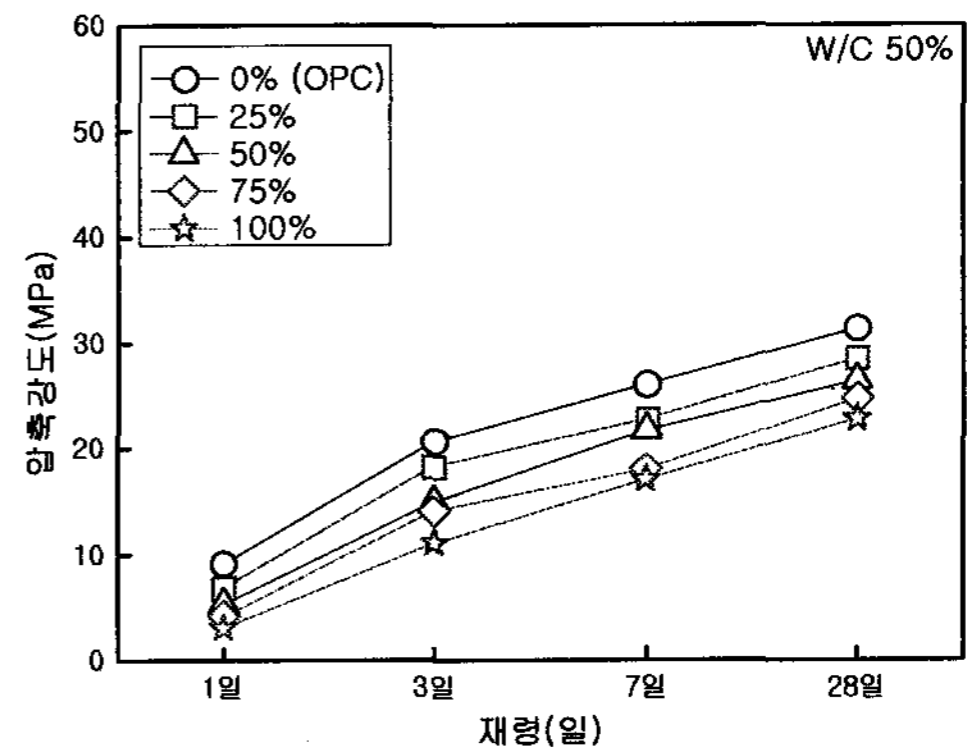
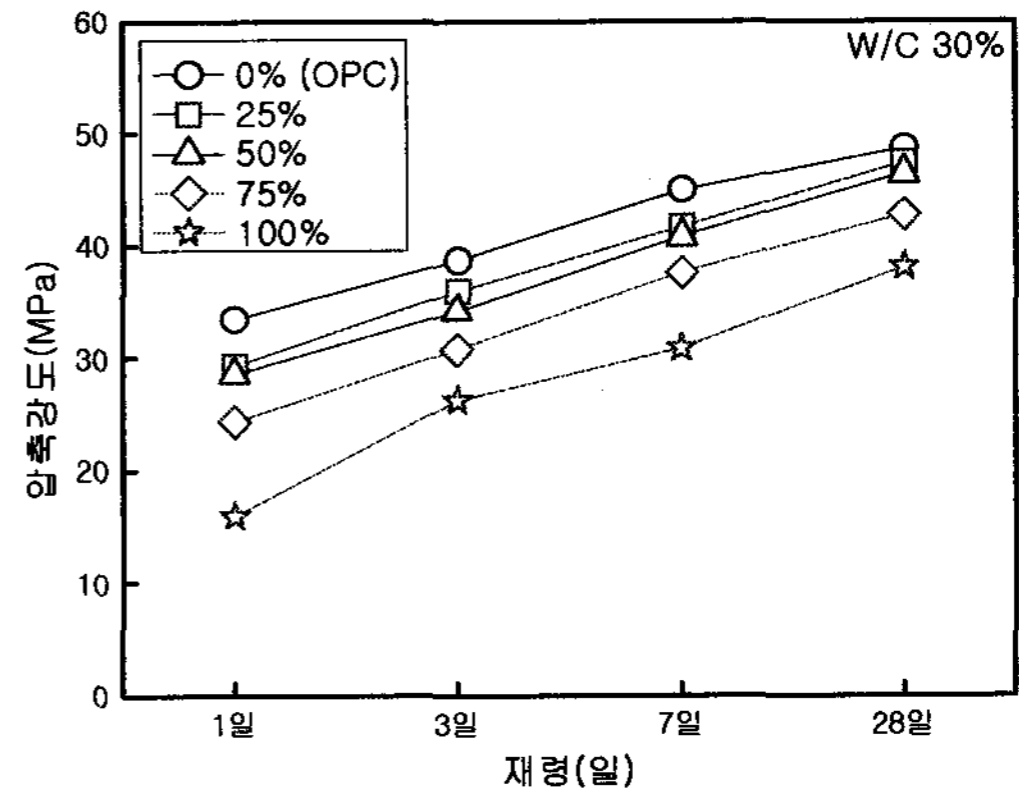


그림 3. CC 치환율에 따른 압축강도

감사의 글

본 연구는 산업자원부와 한국산업기술재단의 지역혁신인력 양성사업으로 수행된 연구결과임

4. 결론

본 연구에서는 CC의 치환율 변화에 따른 저발열 콘크리트의 치환율 변화에 따른 기초적 특성을 검토하였는데, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) CC 치환율이 증가할수록 목표 유동성을 확보하기 위한 SP제 사용량은 점차 감소하였는데, 이는 치환율이 증가할수록 물과 접촉할 수 있는 비표면적이 작아지는 동시에 분체량이 저하하여 점성이 저하한 것으로 판단된다. 목표 공기량을 만족하기 위한 AE제의 사용량은 치환율 25%일 때 가장 많았고 그 전후 간에는 특별한 경향이 없었다.