

입도분급 시멘트의 분말도 변화에 따른 고강도 콘크리트의 기초적 특성

Fundamental Properties of High Strength Concrete Depending on the Blaine of Cement Particle Classifying

최성용* **김성환*** **차완호**** **권오봉**** **한민철***** **한천구******
Choi, Sung-Yong Kim, Seong-Hwan Cha, Wan-Ho Kwon, O-Bong Han, Min-Cheol Han, Cheon-Goo

Abstract

This study investigates the fundamental properties of high strength concrete made with various blaine values of cement, manufactured by the particle screening method in a pulverizing process. Test showed that concrete using lower blaine of cement, such as large particle (L) and both ordinary and large particle (OL), increased the fluidity of fresh concrete. As time progressive, it was noticeable that the specimens using ordinary cement (OPC) gradually decreased the fluidity, but the other specimens showed the sudden decline until 30 minutes, which is followed by a gradual decrease after 60 minutes. For the setting time, higher blaine of cement accelerated the initial and final setting time, especially concrete using minute size of cement (M) was 10 hours faster than OPC. Compressive strength of L exhibited similar value at 1 days as to that of strength in OPC at 3 days. Importantly, the specimens using M also revealed the similar strength value, regardless of curing temperature between -5°C and 20°C, which means that using this minute particle of cement in concrete can secure the strength development even in the lower temperature circumstance. Therefore it is clear that using OPC+M simultaneously at cold weather concreting can resist the early frost and develop the early strength of concrete.

키 워 드 : 고성능 시멘트, 조강 시멘트, 분말도

Keywords : High Performance Cement, High Early Strength Cement, Blaine

1. 서 론

전 세계적으로 건설공사 현장에 사용되는 시멘트는 보통 포틀랜드 시멘트(OPC)를 근간으로 하여 성분 및 제조방법에 따라 약 100여종 이상의 시멘트가 개발되어 사용되어지고 있다. 그런데, 우리나라에서는 시멘트 생산과 관련하여 KS L 5201에서 5종의 포틀랜드 시멘트와 KS L 5210 및 KS L 5211에서 고로슬래그 및 플라이애시 혼합시멘트 등 대략 7~8종이 규정되어 있으나, 현재 우리나라에서 생산되거나, 혹은 대부분의 콘크리트 공사현장에서 사용되는 시멘트는 보통 포틀랜드 시멘트 한 종류에만 거의 국한되어 있는 실정이다.¹⁾

그런데, 우리나라의 건설공사 현장에서는 공기단축 및 구조물의 긴급보수를 요하는 현장과 함께 대규모 매스콘크리트 구조물 등 다양한 수요에 부응하는 시멘트의 요구가 증대되고 있다. 그러나, 아직까지 대부분의 일선 시공현장에서는 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하고 있는 실정이며, 이에 따라 다양한

구조물에 요하는 성능이 발휘되지 않을뿐더러, 대량의 시멘트를 사용함에 따라 과도한 수화열로 인하여 균열 발생 및 강도 저하 등의 문제점이 발생되고 있는 실정이다.

이러한 문제점을 해결하고자 기존의 보통 포틀랜드 시멘트 생산설비 중 분쇄라인에서 입도분급에 의하여 입자크기별로 시멘트를 제조한 다음 미립자와 굵은입자로 구분하여 조강형 및 저열 시멘트를 제조하기위한 일련의 연구를 진행 중에 있는데, 미립자 시멘트의 경우 기존의 조강 포틀랜드 시멘트와 유사한 성능을 갖고 있으며, 굵은입자 시멘트의 경우 저열 포틀랜드 시멘트와 유사한 성능을 갖고 있다는 것을 확인 할 수 있었다.

따라서, 본 연구에서는 이러한 입도 분급에 의해 제조된 시멘트를 단독으로 사용하거나 혹은 조합 사용에 따른 고강도 콘크리트의 공학적 특성에 미치는 영향을 분석하고자 한다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

본 연구의 실험계획은 표 1과 같다. 먼저, W/C는 30%의 1수준에 대하여 플레인 배합의 경우 OPC를 단독 사용한 것으로 하고, 시멘트 종류의 경우 A사의 보통 포틀랜드 시멘트 제조공

* 청주대학교 건축공학과 석사과정, 정회원

** 아세아시멘트(주) 기술연구소 책임연구원, 정회원

*** 청주대학교 건축공학과 전임강사, 정회원

**** 청주대학교 건축공학과 교수, 정회원

이 연구는 2006년 한국산업기술재단 지원 '지역혁신인력양성사업'의 1차년도 연구과제로 수행되고 있습니다.

정 설비 중 각각의 분쇄 공정라인에서 OPC, 미립자 시멘트, 굵은입자 시멘트 등 총 3종류에 대한 샘플을 채취하여, OPC(이하 O), 미립자 시멘트(이하 M) 및 굵은입자 시멘트(이하 L)를 단독으로 사용하는 경우와, OPC+미립자 시멘트(이하 OL), OPC+굵은입자 시멘트(이하 OM), 미립자 시멘트+굵은입자 시멘트(이하 ML)를 조합하는 6수준으로 변화시켜 총 6배치를 실험계획 하였다. 이때, 플레인 배합은 목표 슬럼프플로우 600±100mm, 목표공기량 3.0±1.0%를 만족하도록 배합설계 한 다음, 시멘트 종류에 관계없이 모든 배합에 동일하게 적용시키는 것으로 하였다.

실험사항으로는 굳지않은 콘크리트에서 슬럼프플로우, 50cm 도달시간, 공기량, 단위용적질량의 경시변화 및 응결시간을 측정하였고, 경화 콘크리트에서는 압축강도의 양생온도 -5℃ 및 20℃에서의 압축강도를 측정하는 것으로 하였다. 배합사항은 표 2와 같다.

표 1. 실험계획

배합사항	실험요인		실험수준	
	W/C(%)	1	30	
목표 플로우(mm)	1	600±100		
목표 공기량(%)	1	3.0±1.0		
시멘트 종류변화	6	O, M, L, OM, OL, ML		
실험사항	굳지않은 콘크리트	5	· 슬럼프플로우(경시변화 0, 30, 60) · 50cm 도달시간 · 공기량 · 단위용적질량 · 응결시간	
	경화 콘크리트	1	· 압축강도(양생온도 : -5, 20℃)	

* O : OPC, M : 미립자시멘트, L : 굵은입자시멘트
 OM : OPC+미립자시멘트(1:1), OL : OPC+굵은입자시멘트(1:1),
 ML : 미립자시멘트+굵은입자시멘트(1:1)

표 2. 배합사항

W/C (%)	단위 수량 (kg/m³)	S/a (%)	SP/C (%)	시멘트종류 변화	질량배합 (kg/m³)				
					C			S	G
					O	M	L		
30	175	46	1.3	O	583	0	0	714	854
				M	0	583	0		
				L	0	0	583		
				OM	292	292	0		
				OL	292	0	292		
				ML	0	292	292		

2.2 사용재료

본 연구의 사용재료로써 시멘트는 국내산 A사의 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였고, 아올러 입도분급에 의하여 제조된 미립자 시멘트와 굵은입자 시멘트를 사용하였으며, 각각의 물리적 성질은 표 3과 같다. 잔골재는 충북 옥산산 혼합모래를 사용하였고, 굵은골재는 충북 옥산산 20mm 부순 굵은골재를 사용하였으며, 그 물리적 성질은 표 4와 같다. 혼화제로 고성능

감수제와 AE제는 국내산 U사의 제품을 사용하였고, 그 물리적 성질은 표 5와 같다.

표 3. 시멘트의 물리적 성질

구분	밀도 (g/cm³)	분말도 (cm²/g)	응결시간(분)		압축강도(MPa)		
			초결	종결	3일	7일	28일
OPC	3.15	3,324	228	337	23	30	39
미립자시멘트 (M)	3.15	6,479	180	279	36	43	49
굵은입자시멘트 (L)	3.15	1,813	242	393	10	17	26

표 4. 골재의 물리적 성질

구분	밀도 (g/cm³)	조립률	흡수율 (%)	0.08mm체 통과량 (%)
잔골재	2.61	2.7	0.7	4.7
굵은골재	2.66	6.56	0.6	3.9

표 5. 혼화제의 물리적 성질

구분	주성분	형태	색상	밀도(g/cm³)
고성능 감수제	폴리칼본산계	액상	연노랑색	1.05
AE제	음이온계	액상	미황색	1.12

2.3 실험방법

본 연구의 실험방법으로 콘크리트의 혼합은 강제식 팬타입 믹서를 사용하여 혼합하였다. 굳지않은 콘크리트의 실험으로 슬럼프플로우는 KS F 2594, 50cm 도달시간은 JASS 5 및 JSCE의 SCC 성능평가 기준을 참고하여 측정하였고, 공기량과 단위용적질량은 KS F 2421, 응결시간은 KS F 2436에 의거하여 측정하였으며, 경화 콘크리트의 실험으로 압축강도는 KS F 2405의 시험방법에 의거 실시하였다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 굳지않은 콘크리트의 특성

3.1.1 유동성

그림 1은 시멘트 종류 변화에 따른 슬럼프플로우를 나타낸 것이다.

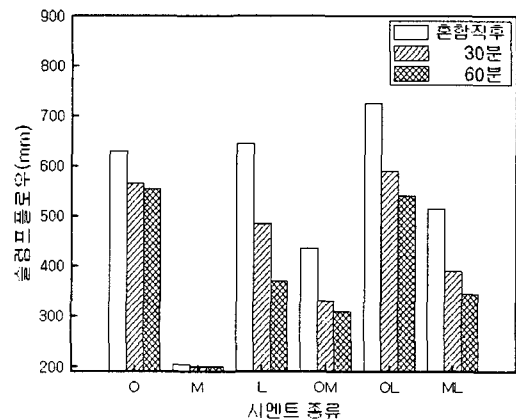


그림 1. 시멘트 종류 변화에 따른 슬럼프플로우

먼저, 플레인 배합은 배합설계에 의해 목표 슬럼프플로우인 600±100mm를 만족하는 것으로 나타났으나, 시멘트 종류에 따라서는 슬럼프플로우 값이 다소 차이를 보이고 있는데, 전반적으로 Blaine치가 낮은 L 및 OL이 슬럼프플로우 값이 크게 나타났다. 이는 시멘트 입자가 굵을수록 물과 접할 수 있는 비표면적이 작아지는 동시에 연속입도분포에 의해 유동성이 증가하기 때문에 슬럼프플로우 값이 증가한 것으로 판단되고, M을 사용한 경우 슬럼프플로우 값이 매우 낮게 나타났는데, 이는 M의 높은 Blaine치에 의하여 물과의 접촉면적이 커져서 수분의 흡착량을 증가시켜 유동성이 저하한 것으로 판단된다.

한편, 경시변화에 따른 시멘트 종류 변화별 유동성은 OPC를 사용한 경우 시간 경과에 따라 서서히 유동성이 저하하였으나, 여타의 경우는 혼합직후부터 30분까지 급격한 유동성 감소를 보이다가 60분 경과시에는 완만하게 감소하는 것으로 나타났다.

그림 2는 시멘트 종류 변화에 따른 50cm 도달시간을 나타낸 것이다.

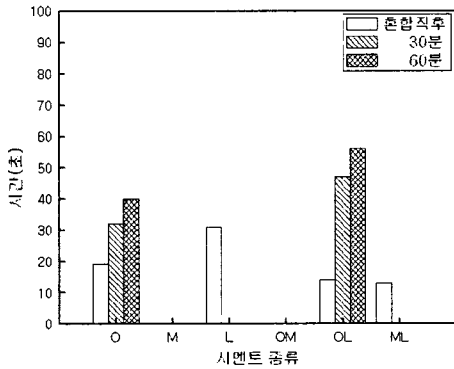


그림 2. 시멘트 종류 변화에 따른 50cm 도달시간

먼저, OPC를 사용한 경우에 비하여 미립자 시멘트인 M 및 OM을 사용한 콘크리트의 경우는 슬럼프플로우가 50cm에 도달하지 못하여 측정이 불가능하였고, 굵은입자 시멘트인 OL을 사용한 콘크리트가 대략 10초 전후로 가장 빠른 도달시간을 보였으며, ML, OPC 및 L의 순으로 빠르게 나타났다. 한편, 경시변화에 따른 50cm 도달시간의 경우 시간경과에 따라 유동성 저하로 도달시간이 크게 증가하는 것으로 나타났는데, L 및 ML을 사용한 콘크리트의 경우 시간경과에 따른 50cm측정이 불가능하였다.

3.1.2 공기량 및 단위용적질량

그림 3과 4는 시멘트 종류 변화에 따른 공기량 및 단위용적질량을 나타낸 것이다.

먼저, OPC의 경우 배합설계에 의하여 목표공기량을 만족하는 것으로 나타났고, 미립자 시멘트인 M을 사용한 경우 공극충진 효과에 기인하여 약간 감소하는 것으로 나타났으나, 굵은입자 시멘트인 L의 경우 목표 공기량보다 크게 나타났으며, 특히 OM 및 ML의 경우 6% 이상의 공기량을 갖는 것을 확인할 수 있었다. 경시변화에 따른 공기량의 경우 시간경과에 따라 감소하는 경향을 나타내고 있었다. 한편, 단위용적질량은 공기량과

반대의 경향을 나타냈다.

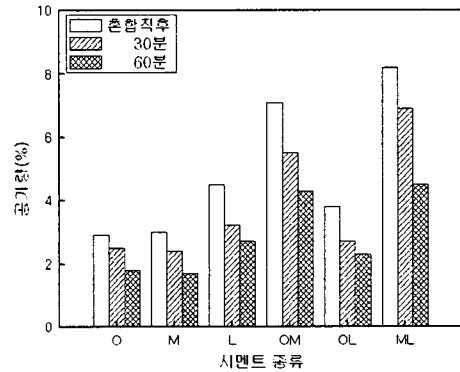


그림 3. 시멘트 종류 변화에 따른 공기량

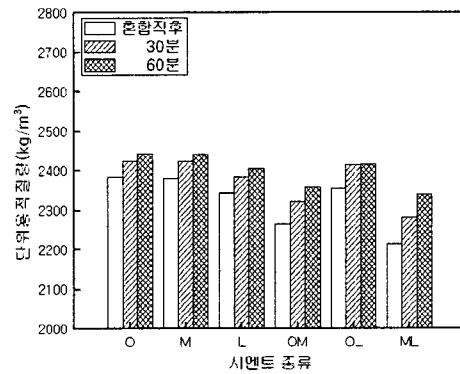


그림 4. 시멘트 종류 변화에 따른 단위용적질량

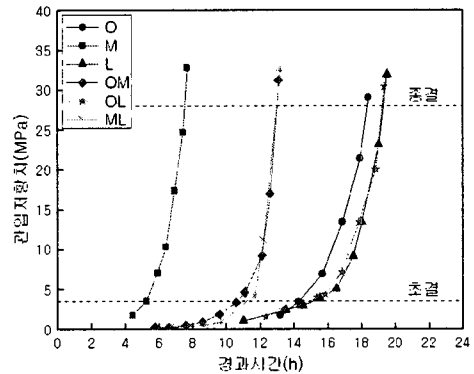


그림 5. 경과시간에 따른 관입저항치

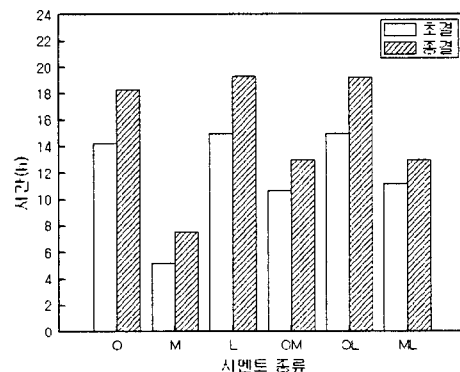


그림 6. 시멘트 종류 변화에 따른 초결 및 종결시간

3.1.3 응결시간

그림 5와 6은 경과시간에 따른 응결시간을 나타낸 것이다. 시멘트 종류 변화별 응결특성으로는 Blaine치가 가장 큰 시멘트 M이 가장 빠른 응결성상을 나타냈으며, ML, OM, O, OL, L의 순으로 느린 응결성상을 나타냈는데 이는 Blaine치에 의한 영향으로 사료된다.

특히, M의 경우 큰 Blaine치로 인하여 물과 접촉할 수 있는 비표면적이 넓어짐에 따라 수화반응이 촉진되어 응결시간이 OPC의 경우보다 10시간 정도 단축된 것으로 나타났다.

3.2 경화 콘크리트의 특성

그림 7과 8은 양생온도별 재령경과에 따른 압축강도를 나타낸 것이다.

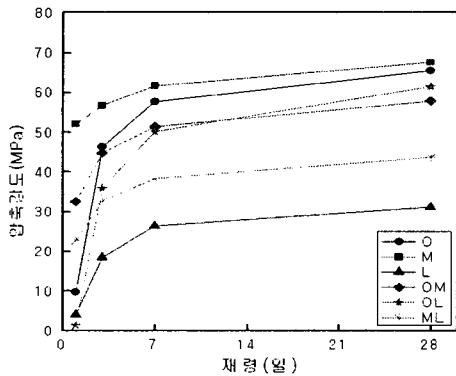


그림 7. 재령경과에 따른 압축강도(양생온도 20°C)

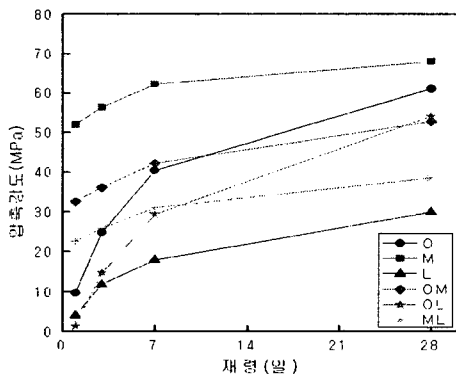


그림 8. 재령경과에 따른 압축강도(양생온도 -5°C)

전반적으로 재령이 경과할수록 압축강도는 증가하였고, 당연한 결과겠지만 Blaine치가 클수록 강도가 증가하는 것으로 나타났다. 또한, 양생온도에 관계없이 모든 재령에서 M이 가장 높은 압축강도를 나타내고 있으며, 다음으로 O, OL, OM, ML, L의 순으로 나타났다. 재령 1일의 강도는 M, OM, ML 등 미립자 시멘트를 사용한 경우 OPC보다 크게 나타났지만, 이후 재령경과에 따라 M을 제외하고는 OPC보다 낮아짐을 확인할 수 있었는데, 이 중 OM의 경우 OPC보다 높은 Blaine치를 갖는 미립자 계열의 시멘트로서 OPC보다 높은 강도가 예상되었지만, 배합에서의 공기량 과다에 의하여 강도가 저하한 것으로 사료되며 동일한 공기량 조건일 경우 OPC보다 높은 강도가 예상된다. 특히, 시멘트 M을 사용한 경우 1일 압축강도(51.98MPa)는

시멘트 O의 3일 압축강도(46.29MPa)와 유사한 경향을 보이고 있어 조강성이 매우 우수함을 알 수 있었다.

양생온도별로는 양생온도 -5°C에서 M의 경우 양생온도 20°C의 압축강도와 유사한 강도를 나타내고 있어 저온에서도 높은 압축강도를 확보할 수 있을 것으로 판단되며 M에 OPC를 혼합한 ML을 사용한 경우도 OPC보다 높은 초기강도를 갖는 것을 알 수 있어 현중 시공시 OPC에 M을 치환하여 사용할 경우 초기동해 방지 및 높은 초기강도 발현성능을 확보할 수 있을 것으로 사료된다.

종합적으로 본 연구에서 검토한 조강성 시멘트를 사용할 경우 OPC보다 높은 압축강도를 발휘하는 것으로 나타났으나, 경제성 및 현장수요에 따른 원활한 공급을 위하여는 OPC와 미립자 시멘트를 혼합하여 사용하는 것이 조강성 확보 차원에서 바람직할 것으로 사료된다.

4. 결 론

본 연구는 시멘트 분쇄 공정라인에서 채취한 OPC, 미립자 시멘트 및 굵은입자 시멘트의 단독사용 및 조합사용에 따른 고강도콘크리트의 공학적 특성에 대하여 검토하였는데, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 미립자 시멘트 콘크리트의 경우 Blaine에 기인하여 유동성이 저하하는 경향을 보이고 있으나, 굵은입자 시멘트 콘크리트는 증가하는 경향을 나타내고 있다. 또한, 경시변화에 따른 유동성은 시간경과에 따라 저하하는 경향이 나타났다.
- 2) 공기량은 미립자 시멘트 M을 사용할 경우 약간 감소하였고, 굵은입자 시멘트 L의 경우 목표 공기량보다 크게 나타났으며, OPC에 M 및 L을 치환할 경우 공기량 변동이 있음을 확인할 수 있었다.
- 3) 응결특성으로 Blaine치가 큰 M이 가장 빠른 응결성상을 나타냈고, O, L의 순으로 나타났는데, M은 물과 접촉할 수 있는 비표면적이 넓어짐에 따라 수화반응이 촉진되어 응결시간이 O보다 10시간정도 단축된 것으로 사료된다.
- 4) 압축강도는 Blaine치가 가장 큰 M을 사용한 콘크리트가 압축강도가 가장 크게 나타났고, M과 OM이 OPC보다 높은 조강성을 나타내고 있으며, 양생온도 -5°C와 20°C에서의 압축강도가 유사한 강도를 나타내고 있어 저온에서도 높은 강도를 확보할 수 있을 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

1. 日本セメント協會 ; セメント・コンクリート化學と應用, 1994