

# 시멘트 분쇄공정별 물성에 관한 기초적 연구

## A Fundamental Study on the Properties of Cement Collected at Different Process Line

○ 김 종 백\*  
Kim, Jong-Back

차 완 호\*\*  
Cha Wan-Ho

권 오 봉\*\*  
Kwon O-Bong

한 민 철\*\*\*  
Han, Min-Cheol

한 천 구\*\*\*\*  
Han, Cheon-Goo

### Abstract

This paper is to investigate the chemical composition and physical properties of cements collected at different crushing process line of ordinary portland cement to verify the possibility for producing special purpose cement based on the particle distribution technique. According to test results, six different cement samples with different blaine were gathered. loss on ignition and chemical composition of cements gathered were satisfied with KS L 5201. Cement collected at line 5 had the lowest blaine value while cement at line 4 had the highest blaine value. The coarser the cement particle is, the larger the fluidity of cement is. The compressive strength of cement was highly affected by the blaine value of cement. It is confirmed that the use of cement produced by the process of particle distribution control may be applied for special purpose cement without modification of chemical composition.

키워드 : 시멘트, 분말도, 페이스트 플로우, 압축강도  
Keywords : Cement, Blaine, Paste Flow, Compressive Strength

## 1. 서 론

지구상에는 보통포틀랜드 시멘트를 근간으로 하여 성분 및 제조방법에 따라 약 100여종 이상의 시멘트가 개발되어 사용되어지고 있다. 반면 우리나라에서는 시멘트 생산과 관련하여 KS L 5201에서 5종의 포틀랜드 시멘트와 KS L 5210 및 KS L 5211 등의 고로슬래그 및 플라이애시 혼합시멘트 등 대략 7~8종이 규정되어 있으나, 현재 우리나라에서 생산되거나, 혹은 대부분의 콘크리트 공사현장에서 사용되는 시멘트는 보통포틀랜드 시멘트 한 종류에만 거의 국한되어 있는 실정이다.

그런데, 우리나라의 건설공사 현장에서는 공기단축 및 구조물의 긴급보수를 요하는 현장과 함께 대규모 매스콘크리트 구조물 등 다양한 수요에 부응하는 특수시멘트의 요구가 증대되고 있다.

그러나, 아직까지 대부분의 일선 시공현장에서는 보통포틀랜드 시멘트를 사용하고 있는 실정이며, 이에 따라 다양한 구조물에 요하는 성능이 발휘되지 않을뿐더러, 대량의 시멘트를 사용함에 따라 과도한 수화열로 인하여 균열 발생 및 강도저하 등의 문제점이 발생되고 있는 실정이다.

현재, 우리나라의 각 시멘트회사에서는 보통포틀랜드 시멘

\* 정회원, 청주대학교 대학원 석사과정

\*\* 정회원, 아세아 시멘트(주), 기술연구소

\*\*\* 정회원, 정회원, 청주대학교 전임강사, 공박

\*\*\*\* 정회원, 청주대학교 교수, 공학박사

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

트 생산설비 시스템 이외의 특수시멘트 생산설비는 거의 없는 실정으로 이러한 특수 용도에 사용되는 특수시멘트의 생산 및 사용은 매우 힘든 상황이다.

본 연구팀에서는 이러한 문제점을 해결하고자 기존의 보통포틀랜드 시멘트 생산설비에서 입자분포별 분급을 통한 최적의 성능을 발휘하는 시멘트 입자분포대를 결정하여 이를 이용한 조강/저발열 시멘트를 제조하는 일련의 연구를 진행중에 있다.

그러므로 본 연구에서는 각각의 시멘트 분쇄 공정라인에서 시멘트 샘플을 채취하여 시멘트의 화학조성 및 물성에 관한 기초적 연구를 진행하여, 우리나라 실정에 맞는 특수 시멘트의 새로운 제조 방법을 검토 하고자 한다.

## 2. 시멘트의 제조 및 분쇄

### 2.1 시멘트의 제조 공정

그림 1은 포틀랜드 시멘트의 제조 공정을 나타낸 것이다. 일반적으로 포틀랜드 시멘트는 그림 1과 같이 석회석을 채석한 뒤 조쇄 과정을 거쳐 석회석 혼합 및 원료 분쇄를 거쳐 혼합 사일로에 저장된다. 이후 예열기를 거쳐 시멘트 제조공정 중 제일 핵심부위인 소성로에서 클링커가 생성된 후, 냉각기를 거쳐 클링커 사일로에 저장된다. 마지막으로 시멘트 미분쇄기(Cement mill)에서 클링커에 석고를 적정량 혼합 후 미분쇄시켜 시멘트를 만들어 시멘트 사일로에 저장 후 출하되는 공정으로 구성되어 있다.

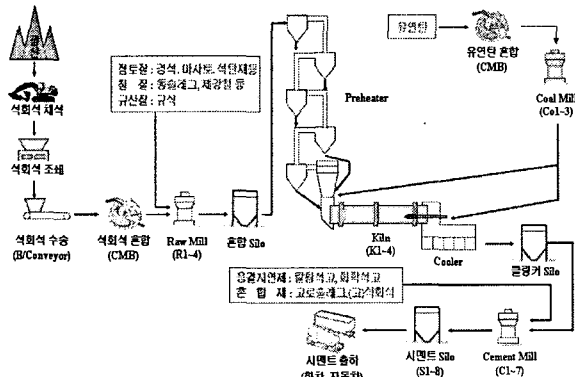


그림 1. 포틀랜드 시멘트의 제조 공정도

## 2.2 시멘트의 분쇄 공정

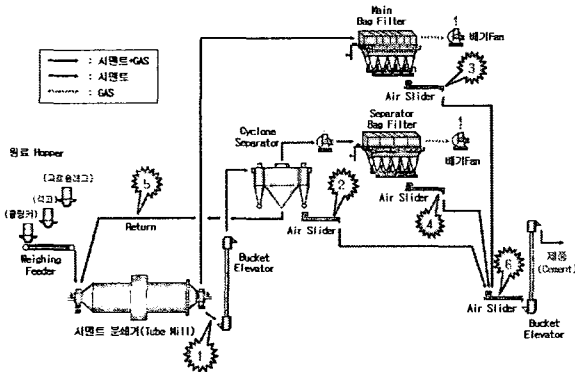


그림 2. 포틀랜드 시멘트의 분쇄 공정도

그림 2는 포틀랜드 시멘트의 분쇄 공정도를 나타낸 것이다. 시멘트 분쇄기(Tube Mill)에 클링커 및 기타 원료가 투입되면 분쇄된 원료는 ①라인에서 Cyclone Separator로 이동 된다. 이때 충분한 분쇄가 이루어지지 않은 조분은 다시 ⑤라인으로 역송되며 시멘트 분쇄기(Tube Mill)에서 다시 분쇄 과정을 거치게 된다. 그리고, 제품수준으로 분쇄된 미분은 Cyclone에서 집진되어 ②라인을 통하여 시멘트 Silo로 투입되고, 과 분쇄된 미분은 공기와 함께 ④라인의 Separator Bag Filter로 유입되어 집진된다. 이와 함께 시멘트 분쇄기(Tube Mill)에서 공기와 함께 이동한 시멘트는 Main Bag Filter에서 집진되어 ③라인으로 이동, 최종적으로 ⑥라인에서 집결하여 보통포틀랜드 시멘트 제품이 생산된다.

이를 정리하면 ①라인은 혼합형(조분+미분) 성격의 시멘트로 구분되며, ④라인 시멘트는 극 미분 시멘트로 구분할 수 있다.

## 3. 실험계획 및 방법

### 3.1 실험계획

본 연구의 시멘트 시험계획은 표 1과 같다.

표 1. 시멘트 시험 계획

시험 요인		시험 수준	
시멘트 채취 라인 위치 (그림 2. 참고)	6	①라인 : Mill 출구	
		②라인 : C/Sepra	
		③라인 : Main B/F	
		④라인 : Sepra B/F	
		⑤라인 : C/Sepra역송	
		⑥라인 : 제품	
시험 사항	화학적 성분 분석	8	강열감량, 화학 성분분석
	물리적 실험	5	분말도, 페이스트 플로우, 수화온도측정(24h-최고온도측정) 압축강도(1, 3, 7, 28일)



사진 1. 시멘트 분쇄기(Tube Mill)

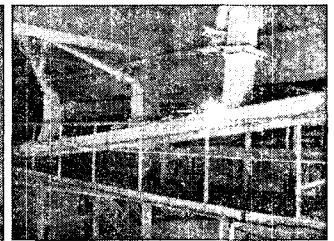


사진 2. 시멘트 배송관



사진 3. ①라인 시멘트 배송관



사진 4. 시멘트 시료 채취

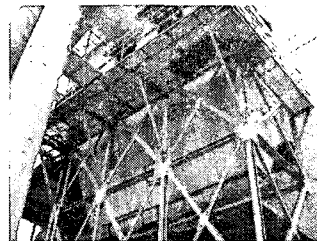


사진 5. Separator Bag Filter



사진 6. Separator Bag Filter 시멘트 시료 채취

### 3.2 실험방법

실험방법으로 먼저, 각각의 시멘트분쇄 ① ~ ⑥ 라인별(그림 2 참고) 시멘트 시료를 KS L 5101에 따라 채취하여 화학성분 분석 및 물리적 실험을 진행하였다. 화학성분 분석으로는 강열감량 및 구성성분 분석을 KS L 5120에 따라 실시하였다.

시멘트의 물리적 실험으로 분말도 시험은 KS L 5106, 페이스트 플로우 측정은 JASS 15M-103, 응결시간 측정은 KS L 5103, 압축강도는 실험계획된 재령에서 KS F 5105 규정에 의거 실시하였다.

수화온도 측정은 24시간 동안 자동 온도기록계를 사용하여 측정하였으며, 피크온도를 기록하였다.

### 4. 실험결과 및 분석

#### 4.1 분쇄공정별 시멘트 화학성분 분석

표 2는 각각의 분쇄 공정별 시멘트의 화학조성을 나타낸 것이다.

표 2. 시멘트 분쇄공정 위치별 시멘트 화학성분 분석

구분		화학성분(%)							
		강열감량	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O
①	Mill 출구	0.22	22.34	5.11	3.80	64.42	1.97	1.12	0.87
②	C/Sepra	0.36	22.00	4.99	3.65	64.13	1.93	1.89	0.90
③	Main B/F	0.33	22.05	5.09	3.74	64.24	1.95	1.58	0.88
④	Sepra B/F	0.66	21.37	4.96	3.67	62.93	1.92	3.17	1.18
⑤	C/Sepra역송	0.19	22.47	5.16	3.80	64.76	1.96	0.75	0.76
⑥	제품	0.41	22.00	4.96	3.66	64.07	1.92	1.92	0.91

먼저, 각각의 분쇄 공정라인에서 생산되는 시멘트의 강열감량은 0.19~0.41%를 나타내고 있어 KS L 5201 기준을 만족하는 것으로 나타났다.

또한, 포틀랜드 시멘트의 주요성분인 SiO<sub>2</sub>(21.37~22.47%), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(5.16~4.96%), Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(3.65~3.80%), CaO(62.93~64.76%)의 범위도 대체로 만족하는 것으로 나타났으며, 미량성분인 MgO(1.92~1.96%), SO<sub>3</sub>(0.75~3.17%), K<sub>2</sub>O(0.75~1.18%)의 기준치 범위도 KS L5201을 만족하는 것으로 나타났다. 다만, ④번 라인 Separater Bag Filter에서 채집한 시멘트의 성분 중 SO<sub>3</sub>가 다른 라인보다 높은 범위를 나타내고 있는데, 이는 연질인 석고의 재료적 특성상 Tube Mill에서 미세하게 분쇄되어 Cyclone Separater 공정과정 중 공기와 함께 Separater Bag Filter로 이동하여 집진되었기에 높은 범위를 나타내고 있다고 사료된다.

#### 4.2 분쇄공정별 시멘트의 물리적 특성

표 3은 각각의 분쇄 공정별 시멘트의 물리적 특성 실험결과를 나타낸 것이다.

표 3. 시멘트 분쇄공정 위치별 시멘트의 물리적 특성

구분	Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	분말도		피크 온도 (°C)	페이스 플로우	응결 (분)		압축강도 (일) (MPa)				
		44 (µmR)	88 (µmR)			초결	종결	1	3	7	28	
		①	Mill 출구			1,990	45.0	11.1	31	209	255	425
②	C/Sepra	3,280	6.9	0.5	45	176	220	315	13.3	23.3	30.1	35.0
③	Main B/F	3,880	3.8	0.0	47	155	218	305	14.9	26.8	33.6	40.2
④	Sepra B/F	6,550	4.6	0.2	52	140	195	255	21.8	31.7	36.9	45.8
⑤	C/Sepra 역송	1,190	45.7	6.6	28	170	330	500	1.8	2.8	5.8	10.2
⑥	제품	3,320	6.6	0.4	44	177	225	315	14.2	24.0	31.4	39.2

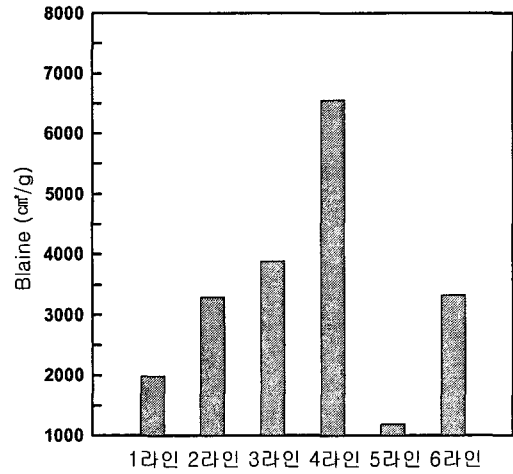


그림 3. 시멘트 분쇄공정 라인별 Blaine 측정

그림 3은 시멘트 분쇄 공정라인별 Blaine을 측정한 그래프이다.

우선, Blaine은 ⑤라인에서 가장 낮은 경향을 보이고 있는데, 이는 Tube Mill에서의 피분쇄물중에서 미분을 분리한 후, 조분만을 Tube Mill로 재역송 하는 흐름 이므로 가장 낮은 Blaine을 보이고 있는 것으로 사료된다. 또한, ①라인의 Blaine도 1,990cm<sup>2</sup>/g으로 ⑤라인 보다는 다소 높지만 전체적으로는 낮은 Blaine을 보여주고 있다. 그러나, ②, ③라인에서의 Blaine은 제품으로 출하되는 포틀랜드 시멘트와 유사한 Blaine치를 나타내고 있으며, ④번 라인에서의 Blaine은 Cyclone Separater 공정을 거쳐 Separater Bag Filter로 이동하여 집진된 극 미분 이므로 가장 높은 Blaine치를 보이고 있다.

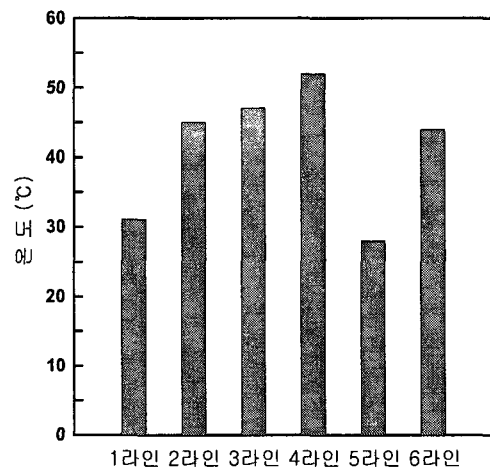


그림 4. 시멘트 분쇄공정 라인별 수화온도 측정

그림 4는 각각의 시멘트 분쇄 공정라인에서 채집한 시멘트의 수화온도를 24시간동안 측정하여 피크온도를 기록한 그래프이다. 수화열은 Blaine과 유사한 상관성을 나타내고 있는데, Blaine이 낮으면 수화열 이 낮고, Blaine이 높으면 수화열이 높게 측정되는 것으로 나타났다.

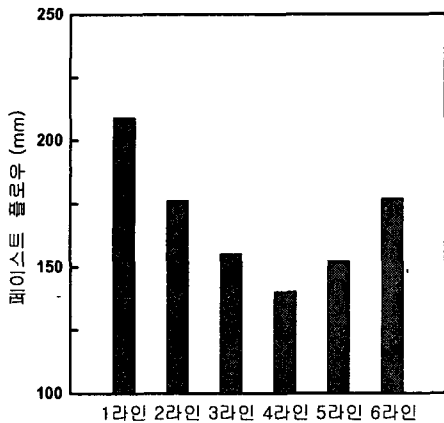


그림 5. 시멘트 분쇄공정 라인별 Paste Flow 측정

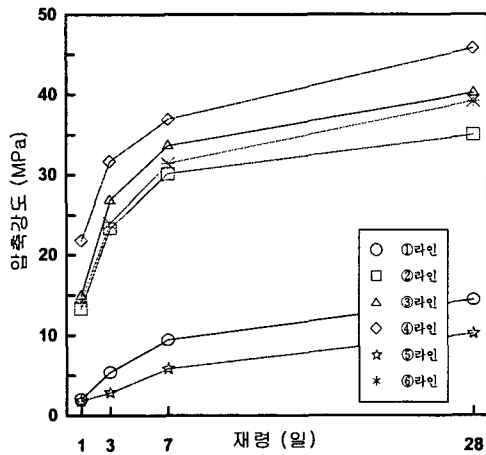


그림 6. 시멘트 분쇄공정 라인별 압축강도 측정

그림 5는 각각의 시멘트 분쇄 공정라인에서 채집한 시멘트의 페이스트 플로우를 측정하여 나타낸 그래프이다. 전반적으로 시멘트 입자가 굵을수록 유동성이 증가하는 경향을 보이고 있으며, 미립 시멘트는 분말도가 커지면서 물과의 접촉 면적이 넓어져 혼화제의 흡착량을 증가시켜 유동성을 저하시키는 것으로 판단된다.

그림 6은 각각의 시멘트 분쇄 공정라인에서 채집한 시멘트의 1, 3, 7, 28일 압축강도를 측정하여 나타낸 그래프이다. 압축강도는 Blaine값이 높게 측정되는 분쇄라인인 ④, ③, ⑥에서 채집된 시멘트가 여타의 경우보다 높게 나타나는 것을 알 수 있었다.

반면, ①, ⑤라인에서 채집된 조분 시멘트는 여타의 경우에 비하여 매우 낮은 강도를 갖는 것을 확인할 수 있었다.

이상을 종합하면, 보통포틀랜드 시멘트 생산설비 중 분쇄 공정라인별로 시멘트를 채취할 경우 다양한 Blaine치를 갖는 시멘트를 확보할 수 있는 것으로 나타났는데, 분쇄공정라인 종류에 관계없이 제반물성은 보통포틀랜드 시멘트 규정을 만족함을 알 수 있었고, 기존의 포틀랜드 시멘트 생산라인을 통해 조강성 확보를 위한 높은 Blaine치 시멘트와 저발열을 위한 낮은 Blaine치 시멘트를 생산할 수 있었다. 따라서, 생산된 특수 시멘트를 목표 요구성능에 맞게 기존의 보통포틀랜드 시멘트에 치환하여 사용할 경우 조강성 및 저발열성을 갖는 배합을 결정할 수 있을 것으로 사료된다.

## 5. 결 론

본 연구에서는 각각의 시멘트 분쇄 공정라인에서 시멘트 샘플을 채취, 시멘트의 화학조성 및 물성에 관한 기초적 연구를 진행하였는데, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 보통 포틀랜드 제조공정 설비 중 각각의 분쇄 공정라인에서 채집된 시멘트의 강열감량 및 포틀랜드 시멘트의 주요 화학성분 범위는 KS L5201을 만족하는 것으로 나타났다.
- 2) Blaine은 역송 라인인 ⑤라인에서 가장 낮은 값을 보이고 있고, ④번 라인에서 가장 높은 Blaine치를 나타내고 있다. 또한, 수화온도는 Blaine과 유사한 상관성을 나타내고 있다.
- 3) 시멘트 입자가 굵을수록 유동성이 증가하는 경향을 보이고 있으며, 미립 시멘트와 같이 분말도가 커지면 유동성이 저하된다. 압축강도는 Blaine이 높게 측정되는 시멘트일수록 높게 나타났다.

## 참 고 문 헌

1. 한천구; 콘크리트 특성과 배합설계, 기문당, 1998
2. 대한건축학회; 건축재료, 기문당, 2002
3. 한국콘크리트학회; 최신콘크리트공학, 기문당, 2005