

## 분쇄조건의 최적화에 의한 시멘트 품질개선 연구

최 정 완  
쌍용중앙연구소

### The improvement of cement qualities by optimization of grinding conditions

CHOI, J. W  
Ssangyong Research Center

#### 1. 서론

시멘트 품질에 미치는 영향인자로서는 시멘트의 화학적·광물학적 특성뿐만 아니라 입도특성도 많은 영향을 미친다. 따라서 시멘트 제조공정에서 시멘트 클링커 분쇄조작 (size reduction) 은 피분쇄물의 입도를 미세하게 하여 반응속도를 증대시키거나 요구하는 품질을 얻기 위해서는 반드시 필요하며 다량의 전력에너지를 사용한다는 점에서 중요한 공정의 하나이다.

본 연구의 목적은 SSY사 B공장의 시멘트 밀에서 다양한 시멘트를 생산하기 위해 분쇄설비 운전조건의 최적화가 필요함에 따라 통계적 기법 적용으로 시멘트 분쇄효율 개선 및 품질개선을 도모코자 하였다.

#### 2. 이론적 배경

시멘트 품질특성에는 시멘트 광물학적·화학적 조성이 영향을 미칠 뿐만 아니라 입도특성도 많은 영향을 미친다. 시멘트 분말도(Specific surface area, Blaine) 가 증가하면 물과의 접촉면적이 크므로 수화반응이 진행되기 쉽고, 또한 콘크리트 및 몰탈에 있어서는 골재와의 혼합이 균일하게 됨과 동시에 결합력이 견고하게 되어 압축강도는 증가된다. 그러나 시멘트 분말도를 극단적으로 증가시키는 것은 분쇄 소요동력이 증가되고 콘크리트 건조 수축이 커져 좋지 않다.

입도특성이 시멘트 물성에 미치는 영향은 분말도도 중요하지만 입도분포가 더욱 중요한 역할을 한다. 시멘트의 입도특성을 나타내는 지수로는 44 $\mu$ m 잔사와 Rosine-Rammler 지수 등이 있다. Air jet sieve로 측정하는 44 $\mu$ m 잔사는 측정이 간편함에 따라 현장에서 품질 특성치로 관리되고있다. 또한 1927년 독일의 Rosine과 Rammler가 발표한 입도분포 법칙인 Rosine-Rammler 지수는 잔사율 R% 와 입경  $x$  를 다음식으로 표현하며

$$\log(2 - \log R) = \log(b \log e) + n \log x$$

$\log(2 - \log R)$  과  $\log x$  는 직선관계를 나타내므로 기울기로 부터 Rosine-Rammler 지수인  $n$  을 얻을 수 있다. 시멘트 입도분포는 비교적 이 법칙을 잘 따르는 것으로 알려져 있다. 이들 지수에 따른 시멘트 압축강도 특성을 살펴보면 44 $\mu$ m 잔사가 감소(44 $\mu$ m 통과량 증대)하거나 R-R 지수가 증가하면 강도발현 특성은 증가한다. 시멘트 분쇄공정에 있어서 입도 및 단위생산량에 영향을 줄 것으로 고려되는 인자는 기타 많은 인자가 있지만 분급부(separator)에 의한 주요인자는 표.1과 같다.

표.1 시멘트 입도 및 단위생산량에 영향을 주는 인자

영향 인자	비 고
Separator 분급 성능	<ul style="list-style-type: none"> <li>o 순환풍량 (F.C.F damper 개도)</li> <li>o Blade 수 및 폭, 길이, 매수</li> <li>o 냉풍유입방법 (Sep' 배기, 냉풍 damper 개도)</li> </ul>
Grit separator	<ul style="list-style-type: none"> <li>o Guide vane damper 개도</li> <li>→ B.F 포집분 입도</li> </ul>
Mill 통풍량	<ul style="list-style-type: none"> <li>o Mill I.D.F damper 개도</li> <li>o Grit sep' damper + sep' 배기 damper 개도</li> </ul>
Material balance	<ul style="list-style-type: none"> <li>o Separator 입분(mill 출분) 입도</li> <li>o Separator feed rate</li> </ul>
분쇄 조제	<ul style="list-style-type: none"> <li>o 투입 비율 및 산포</li> </ul>

### 3. 실험방법

SSY 사 B 공장의 시멘트 밀을 대상으로 운전조건 최적화하기 위해 우선 1차 실험으로 표.2와 같은 5인자 3수준을  $L_{27}(3^{13})$  직교배열법을 사용하여 주인자를 배치하였고, 교호작용은 DXF, AXF, AXD 를 배치하여 실험수준당 8시간으로 실험순서를 random 하게 실시하였다. 특성치로는 시멘트 단위생산량, 시멘트 입도분포( $44 \mu R$ , R-R 지수) 그리고 시멘트 28일 압축강도를 측정하였다.

표.2 실험인자와 수준

인자 \ 실험 수준	No.	수 준		
		0	1	2
F.C.F damper (%)	A	100	85	70
Sep' 배기 damper(%)	B	20	35	50
Sep. 냉풍 damper (%)		40	70	100
Grit sep' damper (%)	C	30	50	70
I.D.F damper (%)	D	100	85	70
Total flow (T/H)	F	300	340	380

### 4. 결과고찰

#### 4.1 1차 실험결과

$L_{27}(3^{13})$  직교배열표에 배치한 각 인자의 여러 특성치에 대한 유의 수준을 25, 10, 5, 1%으로 검정한 결과를 표.3에 종합적으로 나타내었다.

표.3 각 인자의 여러 특성치에 대한 유의수준 검정 결과

특성치 인 자		단위생산량 ( T/H )	입 도 분 포		28일 압축강도
			44 $\mu$ R (%)	R. R Index	
F.C. F damper	A <sub>0</sub>	148.5	5.5	0.9583	437.2
	A <sub>1</sub>	148.8	5.2	0.9584	438.6
	A <sub>2</sub>	150.8 <sup>△</sup>	5.3	0.9689	454.1 *
Sep' 배기 / 냉풍 damper	B <sub>0</sub>	151.0 °	5.3	0.9686	437.6
	B <sub>1</sub>	149.0	5.4	0.9652	451.1 °
	B <sub>2</sub>	148.2	5.5	0.9518	441.1
Grit sep' damper	C <sub>0</sub>	148.3	5.2	0.9761 *	446.4
	C <sub>1</sub>	151.1	5.5	0.9436	439.4
	C <sub>2</sub>	150.6	5.4	0.9660	444.0
I.D.F sep' damper	D <sub>0</sub>	151.2 *	5.0 °	0.9709	437.0
	D <sub>1</sub>	149.5	5.6	0.9601	441.0
	D <sub>2</sub>	147.5	5.3	0.9545	451.9 °
Total flow (F)	F <sub>0</sub>	149.6	5.6	0.9547	441.4
	F <sub>1</sub>	149.2	5.4	0.9677	448.1
	F <sub>2</sub>	149.2	5.0	0.9632	440.3
교 호 작 용	AXF	A <sub>2</sub> F <sub>1</sub> *			
	AXD		A <sub>2</sub> D <sub>0</sub> *		
	DXF				

<sup>△</sup> : 유의수준 25%, ° : 유의수준 10%, \* : 유의수준 5%, \*\* : 유의수준 1%

#### 4.2 2차 실험조건 선정 및 실험결과

1차 실험에서 최적 운전 조건을 압축강도, 단위 생산 및 시멘트 입도 분포가 현조건 대비 양호한 A<sub>2</sub>B<sub>1</sub>C<sub>0</sub>D<sub>0</sub>F<sub>1</sub> 으로 판단되나 이를 확인코자 2차 현장실험을 상기 4가지 조건과 현조건을 추가하여 실시하였다.

표.4 2차 실험조건 및 결과

No	실험조건	단위생산량 (T/H)	입 도 분 포		28일 압축강도	
			44 $\mu$ R	R-R Index	Motor	Concrete
Case I	A <sub>2</sub> B <sub>0</sub> C <sub>0</sub> D <sub>0</sub> F <sub>1</sub>	168	7.6	0.9257	445	270
Case II	A <sub>2</sub> B <sub>1</sub> C <sub>0</sub> D <sub>0</sub> F <sub>1</sub>	167	7.3	0.9433	450	278
Case III	A <sub>2</sub> B <sub>0</sub> C <sub>0</sub> D <sub>2</sub> F <sub>1</sub>	168	7.5	0.9300	442	259
Case IV	A <sub>2</sub> B <sub>1</sub> C <sub>0</sub> D <sub>2</sub> F <sub>1</sub>	162	7.6	0.9554	453	276
Case V	A <sub>2</sub> B <sub>1</sub> C <sub>0</sub> D <sub>0</sub> F <sub>0</sub>	167	8.0	0.9415	449	274

2차 확인 실험결과 단위생산량은 case IV를 제외하고는 각 case가 거의 유사하게 167-168 T/H 으로 1단계에 비하여 약 10% 증가하였는데 이는 2차 실험 시 시멘트 분말도 하향관리(1차 3350cm<sup>3</sup>/g → 3250cm<sup>3</sup>/g) 에 기인한다. 입도분포 측면에서 1차 및 2차 실험 모두 case II가 가장 양호하며 시멘트 강도 발현 특성에서는 case IV가 motar 강도에서 가장 높으나 case II도 역시 motar 및 콘크리트 강도발현 특성이 양호하다. 따라서 상기 결과를 종합적으로 고찰해 볼때 case IV가 시멘트 강도발현 특성이 양호한 수준이나 단위생산량이 가장 낮으므로 case II가 단위생산량, 입도특성 그리고 강도발현 특성으로 볼때 1차 실험결과와 마찬가지로 case II이 적정운전조건으로 선정되는 것이 바람직하다.

5. 결론

1차 및 2차 실험결과 선정된 최적운전조건 case II로 3개월간 장기 운전한 결과를 표.5 에 나타내었다.

시멘트 분말도 관리수준은 1차실험 3350cm<sup>3</sup>/g 과 달리 2차 실험과 마찬가지로 3200cm<sup>3</sup>/g 으로 운전한 결과 시멘트 단위생산은 10 T/H 증산되었으며 시멘트 품질측면에서 44μ 잔사는 오히려 1.2% 낮아졌고, 시멘트 28일 압축강도는 2kg/cm<sup>2</sup> 상승되었다.

따라서 B 시멘트 분말도가 하향되었음에도 불구하고 최적조건으로 장기 운전한 결과 시멘트 입도분포 특성은 오히려 양호해졌고 시멘트 압축강도는 종전과 거의 동등수준으로 나타났다.

표.5 최적운전조건으로 장기 운전 결과

구 분 \ 항 목	44 μR	28일 강도	비 고
종 전 조 건	8.6	432	- Blaine 3350 → 3200 cm <sup>3</sup> /g - 단위생산량 : 10 T/H ↑
최 적 조 건	7.4	430	
증 감	1.2 ↓	2 ↑	

6. 참고문헌

- 1) 박성현, 현대실험계획법, 대명사, 1981
- 2) 시멘트 화학총론, 쌍용중앙연구소, 1994
- 3) せメント 기술총론, 산업도서주식회사(일본), 1980