

# 시멘트의 입도분포와 몰탈 압축강도

## 장      봉      규

〈동양시멘트(주) 삼척공장〉

### 1. 서    론

시멘트 제품의 품질을 관리하는 가장 큰 목적은 압축강도에 있다. 압축강도는 제반 조건이 같을 때 사용 크링카의 화학적·광물학적 조성에 가장 큰 영향을 받고 압축강도 발현의 정도는 시멘트의 비표면적으로부터 영향을 받는다. 그러나 사용 크링카가 동일하고 비표면적이 같아도 압축강도에서 차이를 나타내는 경우가 있다.

시멘트의 입도분포와 압축강도에 관한 연구는 여러가지가 있으나 본 실험에서는 시멘트의 분말도 조성이 시멘트 몰탈의 압축강도에 미치는 영향에 대하여 고찰하여 시멘트의 품질향상 및 Steel ball 배열, 분쇄성 향상을 위한 방안을 제시코자 한다.

압축강도에 영향을 주는 인자를 최소화하기 위하여 시험에 사용하는 크링카 및 석고는 전 시험에 걸쳐 동일한 원료를 사용하였고 입도분포가 서로 다른 시멘트를 조제하기 위하여 Steel ball의 배열을 바꾸었으며 비표면적을 동일한 수준으로 유지하기 위하여 분쇄시간을 조절하였다.

조제된 시멘트에 대하여 시멘트 몰탈의 압축강도시험, 입도분포, Rosin-Rammler 식에 의한 n-value 등을 구하고 압축강도와의 관계를 고찰하였다.

### 2. 실    험

#### 1) 사용원료

크링카 : 포틀랜드시멘트 1종 크링카(동양시멘트)

석    고 : 천연석고(태국산 수입품)

#### 2) 화학성분

	크링카	석    고		크링카
LOI	0.27	20.27	HM	2.10
SiO <sub>2</sub>	21.72	1.36	SM	2.40
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.64	0.12	IM	1.65
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.42	0.08	AI	3.83
CaO	64.49	32.00	LSF	92.4
MgO	2.82	-	C <sub>3</sub> S	53.4
SO <sub>3</sub>	0.44	45.44	C <sub>2</sub> S	22.0
K <sub>2</sub> O	0.98	-	C <sub>3</sub> A	9.2
Na <sub>2</sub> O	0.04	-	C <sub>4</sub> AF	10.4

#### 3) 시험요인 및 수준

요    인	수                    준
크링카	동일한 크링카 사용
석    고	동일한 석고 사용
Blaine	일정한 수준 (3,300 cm <sup>2</sup> /g)
입    도	Ball 배열 10회 × 분쇄 4회

#### 4) 시험방법

크링카 및 석고를 Jaw crushing 하여 체 분리하고 2.83 mm 통과분과 석고 4%를 용량 30 kg의 Test mill에서 일정한 Blaine 을 얻을 때까지 분쇄하여 시멘트를 제조하고 KS L 5105 (수경성 시멘트 모르타의 압축강도시험방법)에 따라 압축강도 및 입도분포(Glanulometer : CILAS 715)를 시험하였다.

#### Test mill의 Steel ball 배열

<표-1>

No.	Steel ball의 크기 및 구성비(%)					
	50mm	40mm	30mm	25mm	20mm	17mm
1	0		6	12	41	41
2	0		5	5	45	45
3	0		5	15	35	45
4	0			0	50	50
5	0		5	15	40	40
6	0		30	30	40	0
7	10	15	25	25	15	10
8	10	10	10	10	20	40
9	0	20	30	25	15	10
10	33.3	33.3	33.4	0	0	0

시료의 입도분포를 변화시키기 위하여 <표-1>과 같이 Steel Ball을 배열하고 매 시료마다 Blaine 값이 3,300 cm<sup>2</sup>/g 수준을 유지하도록 분쇄시간을 조절하였다.

### 3. 결과 및 고찰

조제된 시멘트의 시험결과는 <표-2>와 같으며 동일한 분말도 수준에서도 시멘트의 압축강도는 380~416 kg/cm<sup>2</sup>의 범위로 나타나고 있으므로 조건별로 고찰하고자 한다.

<표-2>의 n값은 Rosin-Rammler식에서 얻어진 균일계수이다.

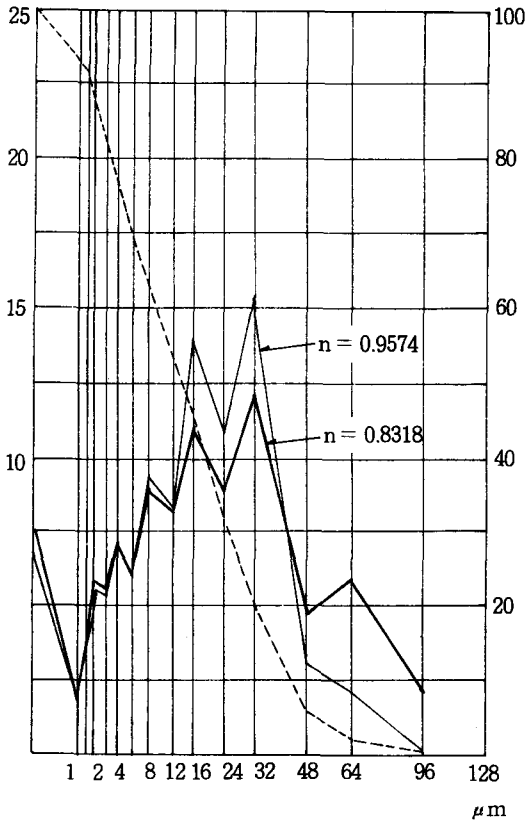
#### 1) 시멘트의 입도분포와 압축강도

Steel ball 배열에 따라 분쇄된 시멘트의 구간별 입도분포는 <표-3>과 같으며 균일계수 n 값이 가장 큰 것과 적은 것을 <그림-1>에 나타내었다. 16 μm 이하에서는 거의 차이가 없고 16 μm 이상의 입도에서 큰 차이가 나고 있다. 특히 16~44 μm와 44 μm 이상의 입도 변화는 44 μm 입자량이 감소할 때 16 μm~44 μm 구간의 입자가 증가하고 16 μm 이하에서는 큰 변화가 없었다.

### 시멘트의 시험 결과

<표-2>

시료 No.	n 값	Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	주 도 (%)	응 결 시 간		압 축 강 도(kg/cm <sup>2</sup> )		
				초 결	종 결	3 일	7 일	28 일
1	0.9574	3310	24.0	3 : 30	5 : 37	225	322	416
2	0.9470	3291	23.5	3 : 25	5 : 37	220	327	409
3	0.9417	3291	24.0	3 : 30	5 : 39	223	328	411
4	0.9275	3310	24.0	3 : 24	5 : 35	223	322	410
5	0.9179	3291	24.0	3 : 25	5 : 37	220	318	405
6	0.9081	3310	23.5	3 : 23	5 : 35	221	310	401
7	0.8946	3279	23.5	3 : 23	5 : 25	221	309	396
8	0.8898	3310	24.0	3 : 24	5 : 25	218	305	398
9	0.8775	3270	23.0	3 : 23	5 : 20	219	306	392
10	0.8318	3310	23.5	3 : 24	5 : 29	216	287	381



<그림-1> n 값의 최대치와 최소치에 있어서의 입도 분포

kg/cm<sup>2</sup>

구간별 입자량과 압축강도

<표-3>

시료 No.	n 값	16 μm 이하	16~44 μm	44 μm 이상	압축강도 (kg/cm <sup>2</sup> )		
					3d	7d	28d
1	0.9574	54.4	36.6	9.0	225	322	416
2	0.9479	54.1	36.6	9.3	220	327	409
3	0.9417	53.5	37.5	9.0	223	328	411
4	0.9275	55.0	34.4	10.6	223	322	410
5	0.9179	54.7	34.5	10.8	220	318	405
6	0.9081	54.5	33.7	11.8	221	310	401
7	0.8946	53.7	33.2	13.1	221	309	396
8	0.8898	55.0	32.0	13.0	218	305	398
9	0.8775	55.0	31.1	13.9	219	306	392
10	0.8318	53.3	31.7	15.0	216	287	381

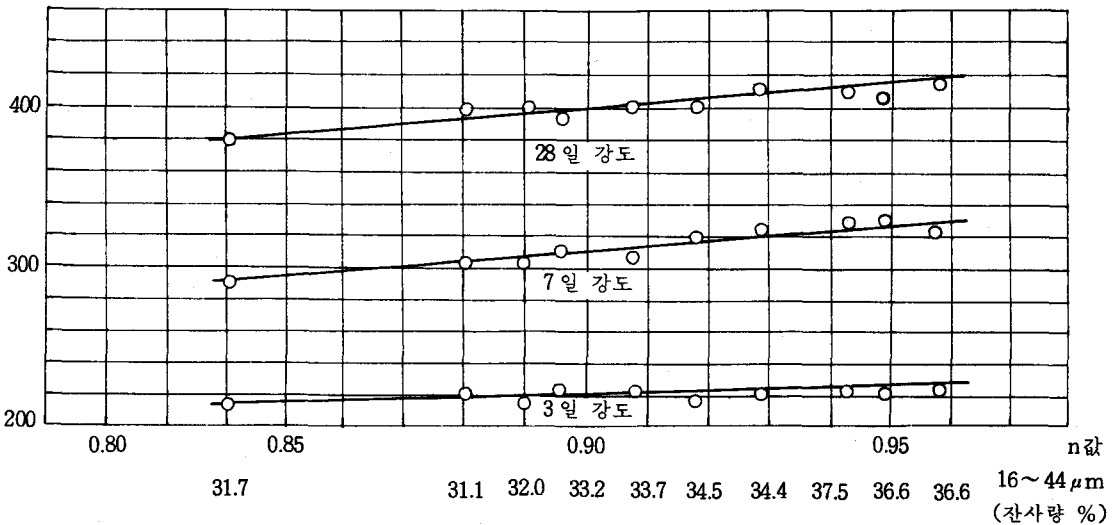
<표-3>의 데이터를 수식으로 표현하면

$$S_{28} = 5.12 (16 \sim 44 \mu m \%) + 225$$

$$S_{28} = 2.56 (16 \sim 44 \mu m \%) - 2.40 (> 44 \%) + 341$$

$$S_{28} = 278.58 n + 148$$

즉 시멘트의 28일 압축강도는 동일한 Blaine 수준에서 16~44 μm 입자량 1% 변화에 따라 5 kg/cm<sup>2</sup> 씩 변하여 n 값이 0.1 증가함에 따



<그림-2> n 값에 따른 압축강도 변화

## Steel ball 배열 현황

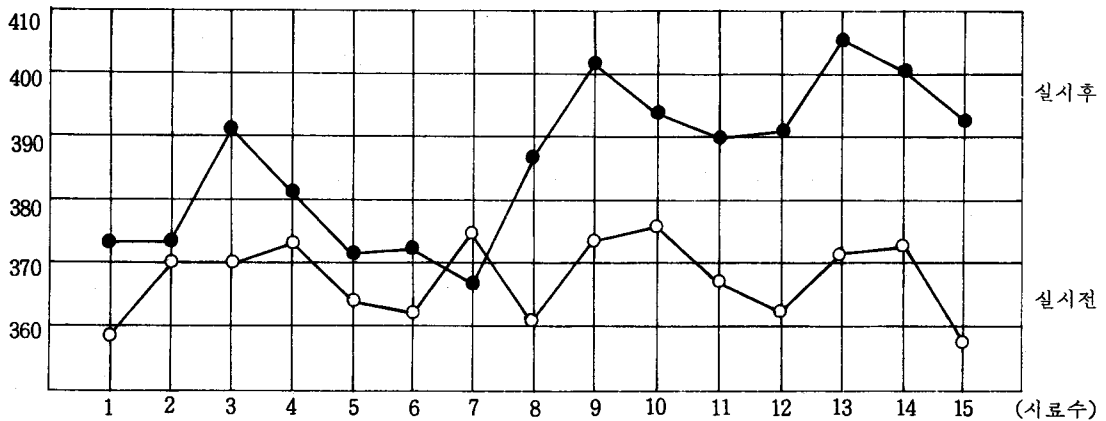
〈표-4〉

구분	φmm	1 실					2 실						
		90	80	70	60	계	50	40	30	25	20	17	계
실시전(%)		31.5	27.8	25.9	14.8	32.7	9.9	31.5	36.0	22.6	-	-	67.3
실시후(%)		31.5	27.8	25.9	14.8	32.7	4.5	14.4	16.3	10.8	27.0	27.0	67.3

## 실시전·후의 데이터 변화

〈표-5〉

	입자량(%)			n 값	Blaine (cm <sup>2</sup> /g)		평균강도 (28일) (kg/cm <sup>2</sup> )
	3~6 μm	16~44 μm	44 μm 이상		평균	표준편차	
실시전	34.8	36.1	13.9	0.9326	3,301	55	368
실시후	33.7	39.2	11.4	0.9529	3,322	29	387

kg/cm<sup>2</sup>

〈그림-3〉 실시전·후의 압축강도 변화

라 28 kg/cm<sup>2</sup> 정도 증가를 보이고 있다.

〈그림-2〉에서 n값(또는 16~44 μm 입자량)의 증가에 비하여 3일 강도의 차이가 적은 것은 초기강도에 영향을 주는 3 μm 및 16 μm 이하의 입자량이 비슷하기 때문이며 7일, 28일 압축강도는 현저히 증가하고 있다.

## 2) Steel ball 배열과 입도분포

최근 시멘트 분쇄공정에서 고효율 Separator를 사용함으로써 생산량, 동력원단위, 품질 등이 향상되어 왔으나 본 실험에서는 기존의 시설에 Steel ball의 배열을 검토하여 시멘트의 입도분포가 적절한 수준을 유지하도록 재배열함으로써 시멘트 압축강도를 향상시키는 방법을 모색하였다(〈표-4〉 참조).

결국 시멘트 압축강도는 입도분포가 연속적이고 3~16 μm, 16~44 μm에 집중되는 정도에

따라서 큰 영향을 받고 있다. Test mill (〈표-1〉 참조)에서의 Ball 배열을 검토해 본 바에 의하면 n값이 0.9이하인 것은 Ball의 종류가 많거나 큰 Ball의 구성비가 높고 n값이 0.9이

하인 것은 중간 크기와 작은 크기의 Ball로서 작은 Ball의 구성비가 높게 나타났다.

시멘트 분쇄 Mill의 Steel ball 배열을 검토하여 44 $\mu\text{m}$  이상의 잔사량을 줄이고 16~44 $\mu\text{m}$ 의 입자량을 증가시키는 방법이 시멘트 압축강도를 향상시키는 한 방법이라 하겠다.

본 실험을 토대로 하여 60 t/h급 Tube mill과 Turbo separator를 갖춘 실제 공정에서의 예를 〈표-4, 5〉 및 〈그림-3, 4〉에 나타내었다.

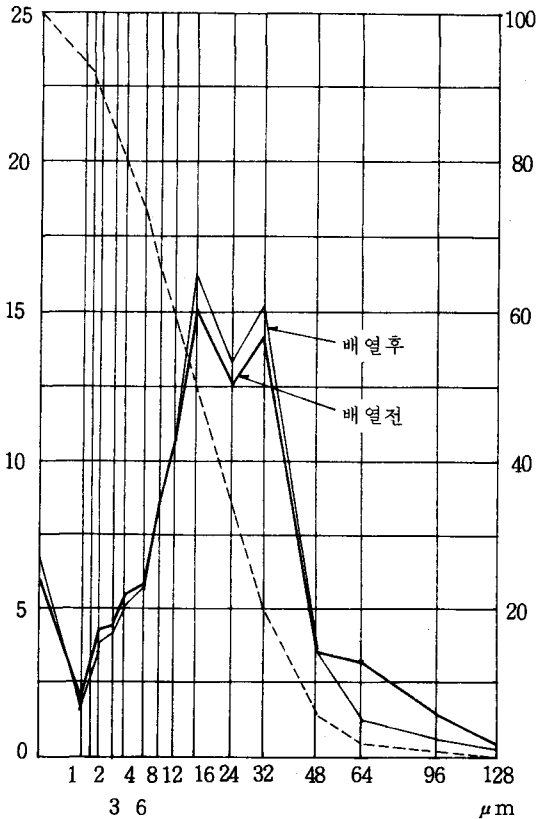
#### 4. 결 론

1) 동일한 시멘트 Mill에서 동일한 Blaine 값을 갖도록 분쇄된 시멘트의 입도분포는 Steel ball의 배열을 변화시켜도 16 $\mu\text{m}$  이하의 입자량에는 큰 차이가 없으나 16 $\mu\text{m}$  이상의 입자량에는 큰 차이를 나타내었다.

2) 16~44 $\mu\text{m}$  입자량 및 균일계수 n값의 증가는 7, 28일 압축강도 향상에 크게 기여하며 이와 같은 영향은 입도분포가 연속적이며 16~44 $\mu\text{m}$ 에 치밀하게 집중되어 있을 때 그 영향이 크다.

3) 시멘트의 최적 입도분포는 연속적이며 3~32 $\mu\text{m}$ 의 입자가 65% 이상이고 그중에서도 16~24 $\mu\text{m}$ 에 집중되어 있어야 하며 3 $\mu\text{m}$  이하의 입자량은 10% 이하가 최적치이다.

4) 실제 공정시험에서 Steel ball의 배열과 압축강도에 대하여 검토하였으나 Steel ball의 재배열에 따른 생산량의 변화는 없었다.



〈그림-4〉 Steel ball의 재배열에 따른 입도 분포