

일본의 시멘트 원료공정

李 承 燾(編譯)

〈韓國洋灰工業協會 技術課 代理〉

1. 서 론

시멘트 원료공정에 채택된 분쇄 수단으로서 일본에서는 볼 밀(튜브 밀)이나 겹회전식 밀(Double rotator mill)의 사용으로부터 에너지 보존 잠재력이 매우 큰 롤러밀(수직밀)로의 교체 이루어지고 있다. 근래에 들어서 분쇄 기술의 획기적인 변화와 관련하여 에너지 보존에 대한 보편화된 인식은 더욱더 뚜렷해지고 있는데 이러한 최근의 경향과 더불어 에너지·자원의 보존과 생산원가의 절감이라는 산업동향이 반영되어 여러 종류의 원료가 사용되고 있다. 점토질 원료나 철 원료의 다양화는 이미 가장 널리 알려진 예라 하겠다.

본고에서는 일본 시멘트협회 시멘트제조기술 전문위원회가 이러한 산업배경을 전제로 하여 조사·보고한 바 있는 일본의 시멘트 원료공정 설비 및 현황을 간추려 소개해 보고자 한다. 조사자료는 85년도 실제 가동실적을 근거로 한 것이며 21개사 각 공장에 대한 것이다. 여기서 특히 강조된 원료밀은 같은 기간 동안 가동된 131대의 밀에 대한 것으로서 이중 90대는 볼 밀, 41대는 롤러밀이다. 90대의 볼 밀 중 26대는 겹회전식으로서 이 가운데 6대는 폐열 이용 전조를 겸하고 있다. 또한 볼 밀 중에는 석회석 또는 점토 전용밀이 3대, 직렬식 2조 볼 밀이 2대, 1실 또는 3실의 밀이 8대가 있는

것으로 보고되었다.

2. 설비 개요

1) 공장 개요

〈表-1〉은 원료밀, 혼합원료 저장고, 킨 등 21개사 41공장에 대한 현황이다. 원료밀로서 볼밀과 롤러밀의 보유대수 구성비는 69:31로서 볼밀이 더 많으나 능력비는 62:38로서 롤러밀의 단위 용량이 큰 것으로 나타났다. 한편 킨 능력에 대한 원료밀의 분쇄능력비를 환산하여 보면 평균 1.1의 정규 분포로 나타나며 최소 0.8, 최대 2.8배의 것도 각 1기씩 있다. 또한 혼합원료의 평균 저장 능력은 킨 능력의 32.9배로서 크링카 팩터를 1.55로 볼 때 약 21시간 계속 가동할 수 있는 저장능력으로 나타난다. 41공장 중 16공장이 가장 빈도 높은 20~30배로 나타나 있으며 가장 높은 공장으로서 167.3배의 것도 있다.

킨에 있어서 85년 1월 이후에 가동되지 않은 킨에 대해서는 산업구조법령(Industrial Structure Act)에 의해 폐쇄되었으므로 86년 3월말 현재 기존 98기 중에서 14기를 제외한 86기에 대해 조사한 바로는 NSP가 57기(69%), SP 13기(15%), Lepol 7기(8%), 기타 DB 7기(8%)로 나타났다.

공 장 개 요

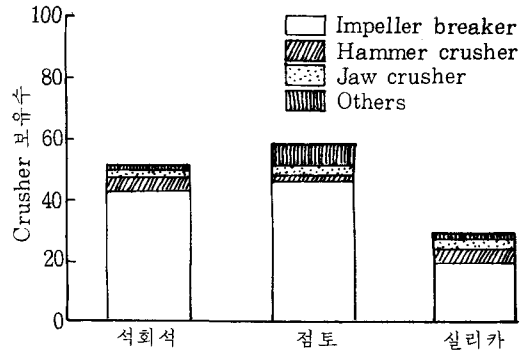
<表-1>

공장 No.	원 료 밀						혼합원료저장고		키 른 른				
	물 러 밀		분 밀		계 (t/h)	키 른 능력비	저장능력 (t/h)	키 른능력비 (h)	수 량				능 력 (t _{cl.} /h)
	수량	능력(t/h)	수량	능력(t/h)					NSP	SP	L	DB	
1			1	344	344	1.3	9,300	32.8	1				183
2	1	330	2	590	920	1.2	16,780	22.2	1	2			490
3			2	350	350	1.0	9,000	25.2	1				230
4			1	280	280	1.0	7,880	28.4	1				185
5	3	650			650	1.3	9,400	18.4	1				340
6	1	320	2	350	670	1.2	8,000	14.4	2				370
7			2	340	340	1.1	9,179	29.6	2				208
8	6	510			510	1.2	13,800	24.7	1	1			347
9			6	1,190	1,190	1.1	61,100	58.3	3				689
10			2	370	370	2.8	5,530	42.2	1				85
11			1	350	350	1.1	8,100	25.2	1				209
12	3	600	1	290	890	1.1	19,800	25.5	1				505
13	1	120			120	1.0	4,000	33.3	1				79
14	1	217	2	248	465	1.2	24,150	63.8	2				257
15	1	512	2	372	884	1.1	22,785	28.4	2				518
16	1	208	6	585	793	1.0	34,800	50.8	3				454
17			2	80	80	1.1	4,700	67.1			1		50
18			4	510	510	1.0	25,500	49.7	2				320
19	2	360	4	720	1,080	1.0	33,670	33.6	3				590
20			1	230	230	1.0	6,400	27.9		1			140
21			3	305	305	1.4	4,060	18.7		3			150
22	2	370			370	1.1	16,080	46.7	2				227
23	6	540			540	0.9	13,500	22.5				7	400
24	5	1,270			1,270	1.3	34,000	33.8	1	1			650
25	2	690			690	1.1	20,000	30.8	2				445
26			3	545	545	1.3	20,100	34.0	2				366
27	1	280			280	1.1	6,000	23.2	1				167
28			7	570	570	1.1	13,200	26.2	1	1			330
29			4	550	550	1.3	22,700	49.8	2				317
30			3	480	480	1.2	6,160	15.4	2				250
31			3	440	440	1.1	11,800	28.4	2	1			287
32	1	90	4	352	442	1.2	10,800	29.5	3				238
33			5	1,049	1,049	0.8	10,740	7.9	3	2			888
34	1	200			200	1.4	3,000	21.0	1				100
35			2	260	260	1.6	15,990	84.6	1				135
36			3	255	255	1.2	8,120	39.1			3		135
37	1	175	4	152	327	0.9	11,980	39.1	1		3		199
38			4	240	240	1.0	10,500	30.0	2	1			240
39			2	200	200	1.3	27,600	167.3					110
40			2	360	360	1.2	11,400	37.1	1				205
41	2	554			554	1.1	12,400	24.5	1				328
計	41	7,996	90	12,957	20,953	1.1	624,004	32.9	57	13	7	7	12,416

2) 원료분쇄 공정

(1) 크러셔(Crushers)

〈그림-1〉은 주요 원료에 사용되고 있는 크러셔의 종류별 보유대수를 모식적으로 나타낸 것이다. 석회석, 점토, 실리카에 대한 크러셔가 나타나 있으며 철 원료에 대한 크러셔는 없다. 가장 널리 사용되고 있는 Impeller breaker에 있어서 bar나 plate의 재질은 하이 망간강(High Mn cast steel)으로 제조된 것이 가장 많고(60%) 그 다음으로 하이 크롬강(High Cr cast steel)이 쓰이고 있으며(14%) 나머지는 저합금강으로 구성되어 있다.



〈그림-1〉 크러셔의 종류별 보유수

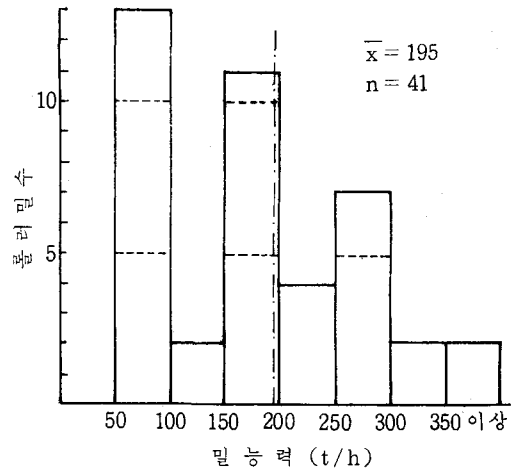
(2) 건조기(Dryers)

건조기는 Rotary형, Rapid형, Impact형의 3가지가 있으며 각각 59대(89%), 3대(5%), 4대(6%) 등 총 66대를 보유하고 있다.

(3) 롤러 밀(Roller mill : Vertical mill)

① 설비능력별 보유수

전체 41공장에서 롤러밀을 사용하고 있는 공장은 19개 공장으로서 그 보유대수 역시 41대로 조사되었다. 즉 롤러밀은 그 보유수에 있어서 전체의 30%, 능력으로는 40% 수준을 차지하고 있다. 〈그림-2〉는 능력별 보유수 분포를 나타낸다. 이들 롤러밀을 키른 능력에 대한 비율로서 분류해 보면 〈표-2〉와 같다.



〈그림-2〉 롤러밀의 설비능력

키른 능력에 대한 밀 능력 비율

〈표-2〉

Item	< 1.00	1.00 ~ 1.10	1.11 ~ 1.20	1.21 ~ 1.30	1.31 ~ 1.40
수량	5	13	8	9	6
%	12	32	19	22	15

② 밀 시스템

밀과 그 주변 설비에 대한 공정은 〈표-3〉에서 보는 바와 같다.

롤러밀 설비 제원

〈표-3〉

Item	Material charging method		Entrance chute air sealing method		Collecting equipment of mill products			Exhaust gas circulation		External circulation of materials		Roller pressurizing method	
	Side charge	Center charge	Material	Mechanical	Cyclone	EP	Bag filter	Yes	No	Yes	No	Hydraulic	Mechanical
Number	40	1	21	20	39	1	1	28	13	6	35	41	0
%	98	2	51	49	96	2	2	68	32	15	85	100	0

③ 롤러 및 테이블(Roller and Table)

롤러밀의 타이어 형식은 전체 41대 중 37대가 1개짜리이며 그외에는 12개짜리가 2대, 8개 및 4개 짜리가 각 1대이다. 재질에 있어서는 하이 망간강이 29대(71%)로서 가장 많고 그 다음으로는 하이 크롬강이 8대(20%), 기타 4기(9%)는 저합금강으로 되어 있다. 이를 Shore 경도별로 구분하여 보면 대부분이 27~35 Hs의 것이며 나머지(9대)는 70 Hs 이상의 높은 경도를 가진 것으로 나타났다.

테이블 라이나는 그 division별로 구분하여 볼 때 전체 41대 중 36대가 10 div. 로 되어 있고 그밖에 12 div.가 2대, 16 div.가 3대인 것으로 나타났다. 또한 그 재질은 타이어와는 달리 대부분이 하이 크롬강으로 되어 있으며(37대) 그밖의 것은 하이망간 또는 하이 니켈 강으로 되어 있다. Shore 경도에 있어서도 롤러보다 더욱 강한 70 Hs 이상의 것이 대부분이다.

④ 세퍼레이터(Separator) 형식

롤러밀에 부착된 세퍼레이터는 대부분이 회전식으로서 수압식보다는 기계식이 많으며 회전 날개에 있어서도 Angle 형이 많다. 형식별로 보면 <그림-3>과 같다.

Type	구성비(%)								
	10	20	30	40	50	60	70	80	90
분급 방식	회전식(40대)								고정식(1대)
운전 방식	전기식(30대)						수압식(10대)		
회전 조절 방식	VS 모터(14대)		주파수변환(11대)		Oil Rotor(10대)		저항(5)		
Blade 유형	Angle 형(38대)								Plate 형(2대)

<그림-3> 세퍼레이터의 유형별 보유수 구성

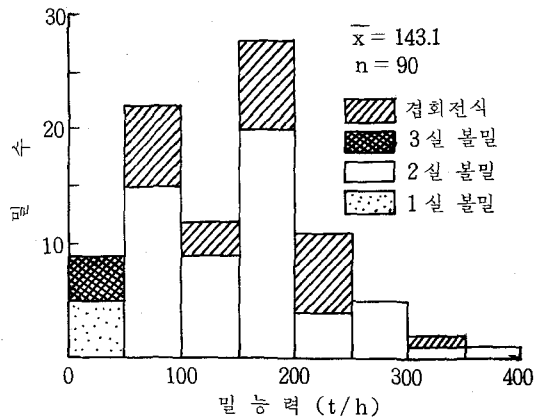
(4) 볼 밀(Ball mill : Tube mill)

① 능력

본 조사결과 볼 밀은 21개사 41공장 중 15개사 31공장에서 사용하고 있는 것으로 나타났다. 31공장에서 사용 중인 볼 밀은 총 90대로서 모두 폐회로 형식(Closed-circuit type)을 적용하고 있다. 그리고 전체의 29%를 차지하는 겹회전식(Double rator)은 26대인 것으로 나타났다. 이를 분포도로 나타낸 것이 <그림-4>이며, 볼 밀의 능력 및 형식별로 구분하여 보면 <表-4>와 같다.

② 볼밀과 세퍼레이터의 형식

볼밀에 적용되고 있는 세퍼레이터는 대체로 밀 1대당 평균 1.46기로 나타나 있으나 2실 볼밀의 경우는 1기의 Cyclone 형이 많고 구형인 겹회전식에서는 2기 이상의 Turbo형이 적용되어 있다. 최근에 와서는 구형모델에 대해 O-Sepa®, Sepax® 등의 최신 모델로 교체될



<그림-4> 볼밀의 설비능력

능력 (t/h)	볼 밀			겹회전식	평균
	1 실	2 실	3 실		
평균	40.0	154.6	29.3	156.1	143.1
최대	45	350	30	80	-
최소	20	50	29	320	-

밀 및 세퍼레이터 현황

세퍼레이터		밀				
형식 (보유수)	대수/밀	볼 밀			겹회전밀	계
		1실	2실	3실		
Cyclone (31)	1		29			29
	2		1			1
Sturvant (31)	1	4	9			13
	2		6		3	9
Gayco (16)	1		7	3		10
	2	1	1	1		3
	3		2			2
Turbo (53)	1					2
	2				18	18
	3				5	5
합 (131)	1.46	5	55	4	26	90

가능성도 없지 않다. 그 보유 현황은 <表-5>에서와 같다.

③ 밀 격막(diaphragm) 및 라이나의 재질

2실 볼밀 또는 겹회전식 밀의 출구 부분인 격막의 재질은 81개의 밀을 조사한 결과 하이 망간강이 1, 2실 공히 50% 정도를 차지하며 기타는 저합금강으로 되어 있는 것으로 나타났다.

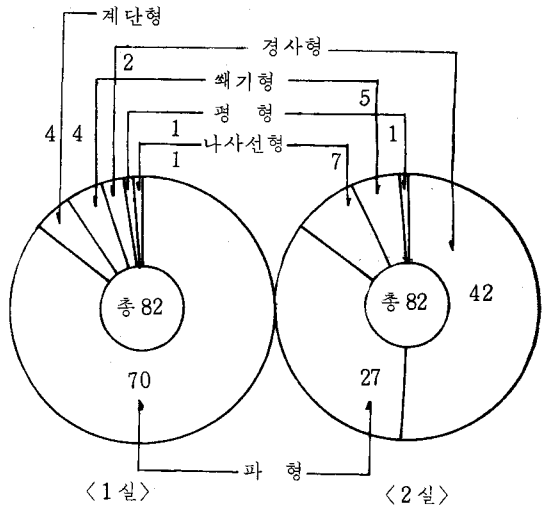
밀 라이나에 있어서는 하이 망간강의 사용비율이 더 높으며 특히 2실의 라이나에 있어서는 전체의 74%인 60기에서 사용하고 있다.

④ 밀 라이나의 형식

1실의 라이나 재질은 파형(波型: Corrugated type)이 대부분으로서 전체 82대 중 70대가 이러한 종류를 사용하고 있다. 그러나 2실의 경우에는 경사형(傾斜型: Slanted type)이 42대로 가장 많으며 다음 파형이 27대, 기타 나선형(Spiral type), 썸기형(Wedge bar type), 평형(平型: Flat type), 계단형(Stepped type)이 약간 있다. 그 라이나 형식에 대한 분포 및 형상은 <그림-5, 6>에서 보는 바와 같다.

⑤ 분쇄매체(Ball)

<그림-7>은 2실 볼밀과 겹회전식 밀의 각



<그림-5> 볼밀 라이나의 형식별 보유수

실에 사용되고 있는 볼 또는 실뿔(Cylpeps)의 재질을 도식화한 것이다.

3) 가스 조절 및 집진기

(1) 가스 조절장치

조사된 41개 공장에서 가스 조절장치가 있는 공장은 20개 공장으로서 34기를 보유하고 있다. 이는 총 84키른 중 35키른에 설치된 바 주로 NSP 키른에 31기, SP 키른에는 4기가 설치되어 있다. 가스 조절에는 Spray tower가 부족되며 Spray tower가 없는 키른은 가스 조절 역할로서 원료 건조기를 이용하는 것으로 보인다.

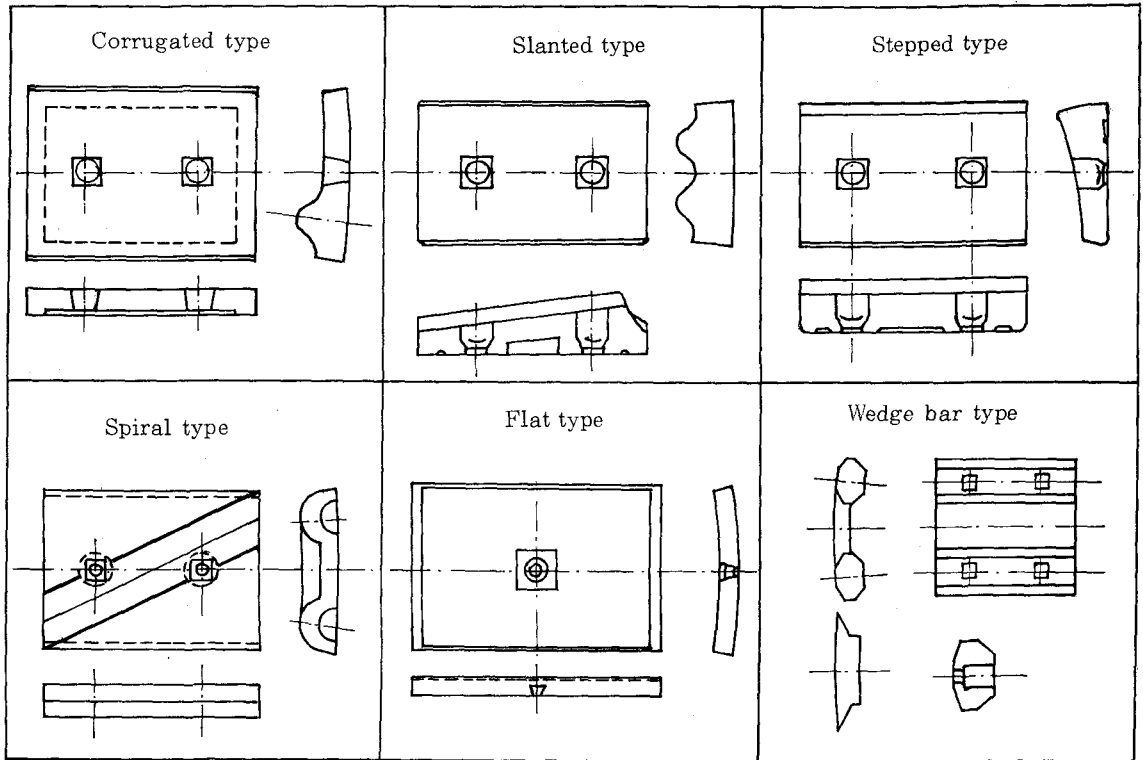
(2) 원료 밀 배가스용 집진기

<表-6>은 원료밀 배가스용 집진기의 종류별 능력을 나타낸다.

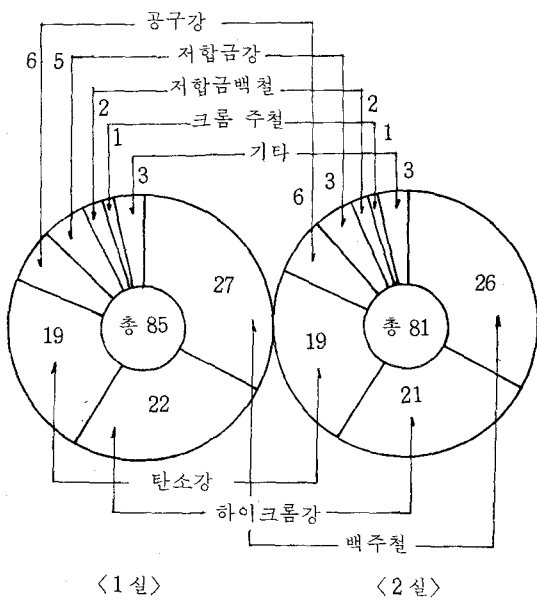
4) 혼합 사일로 및 저장 사일로

(1) 혼합 사일로

<表-7>은 키른 종류별 혼합방식에 따른 혼



〈그림-6〉 라이나의 여러가지 형식



〈1실〉

〈2실〉

〈그림-7〉 분쇄매체의 재질

합 사일로의 보유 현황이다.

(2) 저장 사일로

〈그림-8〉은 키른능력 및 원료밀 능력에 대한 저장 사일로의 능력별 보유 현황을 나타낸 것이다.

5) 원료 혼합시스템

(1) 컴퓨터

조사된 41개 공장 중 31공장이 원료 혼합 공정을 컴퓨터화 하고 있으며 이중 키른 자동화가 15건, 시멘트 밀 11건, 원료 밀 7건, 기타 선적, 혼합, 석탄 밀, 건조, 공해 방지 설비에 각 1건씩 적용하고 있다.

원료 밀 배가스용 집진기 현황

<表-6>

종 류		E P			Bag filter		
밀	종 류	롤러 밀	볼 밀	겹회전식밀	롤러 밀	볼 밀	겹회전식밀
수	량						
평균 Fan 용량 (m ³ /min)		8,555	4,641	6,496	3,200	860	0
평균 집진기 입구온도 (°C)		102	102	129	55	71	0

혼합 사일로 현황

<表-7>

키른종류		NSP	SP	DB	L	計
연속	속	31	7	-	1	39
고정	정	19	8	-	-	27
반연속	속	8	1	4	-	13
計		58	16	4	1	79

분석기기별 보유수 현황

<表-8>

원료 투입비 변화에 대한	자 동		수 동		계
	자동	수동	자동	수동	
Sample feeding					
Simultix	3	6	-	8(2)	17(2)
Lime meter	17	-	-	-	17
VXQ	4	3(2)	2	2(2)	11(4)
Flow flex	7	-	1	-	8
KGX	-	-	-	1	1
Simultaneous	-	-	-	1	1
計	31	9(2)	3	12(4)	55(16)

註: 수치는 Sampling On-line, ()는 Off-line.

태를 사용하는 추세에 있다. <表-8>은 분석 기기별 보유수 현황이다.

3. 운전 현황

1) 원 료

(1) 원료의 종류

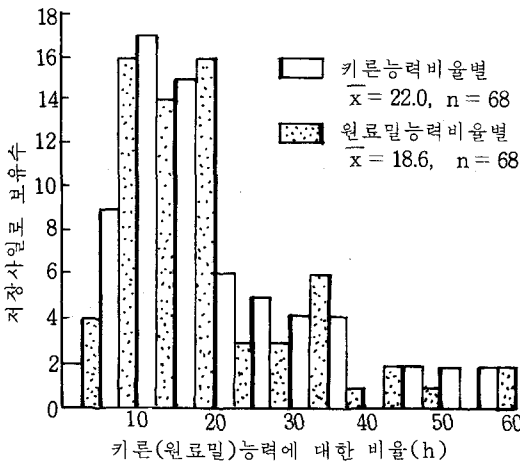
조사된 41개 공장에서 사용되고 있는 원료는 매우 다양하다. 점토질 원로나 철 원료는 산업 부산물의 이용이 가능하기 때문에 여러가지를 사용하고 있다. <表-9, 10>은 사용 중인 원료의 종류와 종류별 공장수를 나타낸다.

(2) 원료의 실제 화학분석치 <表-11>

2) 원료 분쇄 공정

(1) 혼합 원료

41공장의 90개 볼밀과 41개 롤러밀에서의 혼합원료에 대한 실측 평균치로서 Grinding work



<그림-8> 키른(원료밀) 능력비율에 대한 저장 사일로의 보유 현황

(2) 분석기기

원료 샘플은 분말형태 그대로 사용하고 있는 공장이 40%를 차지하며 Glass bead 형태가 33%, 압축 펠레트 형태가 17%를 점유하는 것으로 나타났다. 원료 물질의 다양화와 더불어 분석방법을 개선하기 위한 방법으로서 압축 펠레트 형태를 사용하는 것보다는 Glass bead 형

index (Wi)는 12.4 Kwh/t으로 나타났으며 최대입자 크기는 볼밀에서는 33 mm, 롤러밀에서는 59 mm인 것으로 조사되었다. 또한 밀 입구의 수분함량은 볼밀에서 1.8%, 롤러밀에서는 5.0%로 높게 나타났다. 이를 히스토그램으

로 나타낸 것이 <그림-9, 10>이다.

(2) 롤러 밀

① 건조용 가스

건조용 가스로는 큰 배가스, 콜라 배가스, 또는 가열기를 이용한 경우의 3가지로 사용되

<表-9> 일본에서 사용 중인 원료의 종류

원료	종류
석회석	석회석
점토	점토, 적토(Terra rossa), 경석, 혈암, 석탄재, 공냉 슬래그, 수냉 슬래그, 기타
실리카	규석, 규사, 연규사
철원료	동슬래그, 흑사(Black sand), 전로 슬래그, 전로 다스트, 아연 슬래그, 코로 슬래그, 코로 다스트, 공냉 슬래그, 철광석, 산화철, 모래분사(Sand blast), Dead roast.

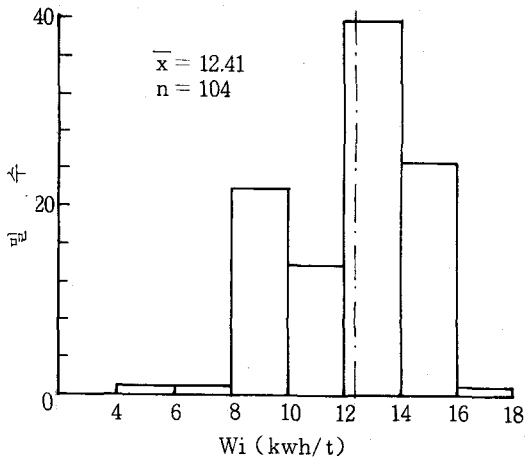
<表-10> 사용원료의 종류에 대한 공장수

원료	종류	공장수					
		없음	1종	2종	3종	4종	5종
석회석		-	36	5	-	-	-
점토		-	15	9	10	6	1
실리카		1	38	1	1	-	-
철분		-	18	16	3	4	-

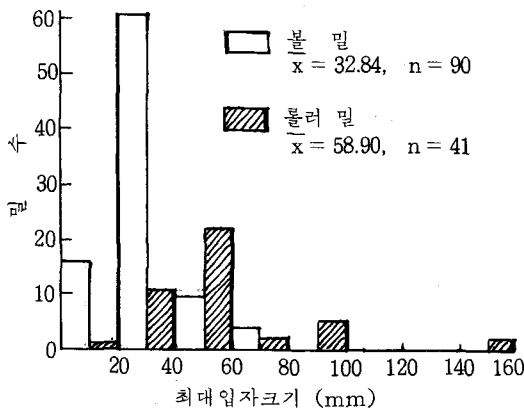
각 원료의 화학성분

<表-11>

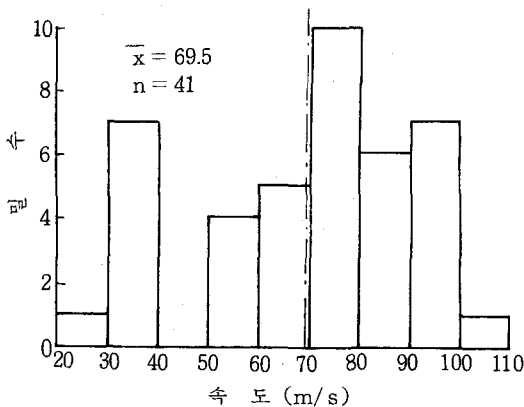
원료명	성분	종류수	평균(%)	표준편차	최대치	최소치	
석회석	CaO	46	53.0	1.9	55.4	46.9	
	MgO	45	0.7	0.3	1.5	0.2	
점토	점토	SiO ₂	44	63.8	6.0	77.6	45.4
		Al ₂ O ₃	44	16.5	2.8	26.3	10.4
		Na ₂ O	41	1.3	0.6	3.0	0.2
		K ₂ O	40	2.2	0.8	4.5	0.4
	슬래그	SiO ₂	25	34.3	2.0	41.5	30.3
		Al ₂ O ₃	25	14.6	1.1	17.1	12.4
		Na ₂ O	19	0.24	0.08	0.4	0.1
		K ₂ O	19	0.35	0.09	0.5	0.2
	경석	SiO ₂	13	51.6	6.1	68.6	44.8
		Al ₂ O ₃	13	19.8	3.3	25.6	15.4
		Na ₂ O	12	1.4	0.4	2.0	0.7
		K ₂ O	12	1.5	0.6	2.7	0.9
석탄재	SiO ₂	10	51.6	5.9	57.4	37.1	
	Al ₂ O ₃	10	25.9	3.7	32.2	21.0	
	Na ₂ O	7	1.1	0.7	2.6	0.5	
	K ₂ O	6	0.9	0.3	1.4	0.6	
실리카	SiO ₂	43	89.2	3.8	95.8	77.2	
철원료	Fe ₂ O ₃	73	48.7	16.2	95.8	9.5	
	ZnO	20	2.6	1.9	6.9	0.0	
	MnO	25	1.8	2.3	7.1	0.0	



〈그림 - 9〉 Grinding work index



〈그림 - 10〉 최대 입자크기 분포



〈그림 - 11〉 Nozzling ring에서의 가스유속

고 있으며 주로 키른 배가스만을 이용하는 공장이 34개(83%), 키른 배가스와 쿨라 배가스를 동시에 이용하는 곳이 4개(10%), 별도로 가열기를 사용하는 공장은 3개(7%)가 있다.

② 가스 유속

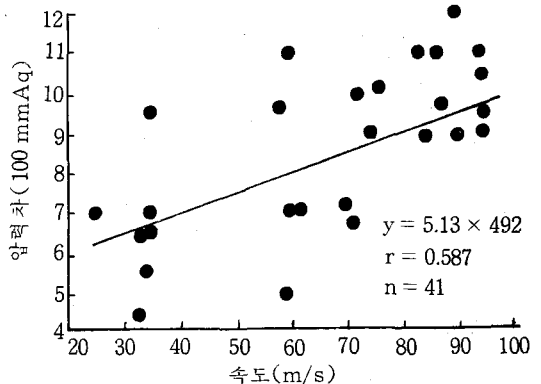
〈그림 - 11〉은 Nozzle ring에서의 가스 유속을 나타내며 〈그림 - 12〉는 밀의 입구와 출구 사이의 압력차를 나타낸 산포도이다. 밀 입출구의 압력차는 430~1,200 mmAq의 넓은 분포를 가지며 평균치는 854 mmAq로 나타났다.

③ 밀의 주수(注水) 및 진동

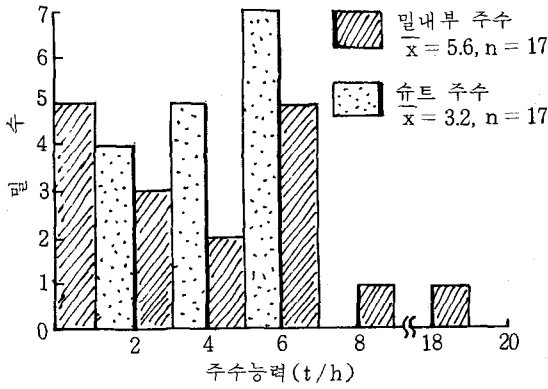
41대의 밀이 주수를 하고 있다. 이중 17기는 밀 내부에 직접 주수하며 다른 17기는 슈트에 주수한다. 또한 총 48대의 밀 중 30대는 수직방향 진동, 18대는 수평방향으로 진동하여 분쇄효율을 높이고 있다. 〈그림 - 13〉은 주수능력별 밀 보유수를 나타내며 〈그림 - 14〉는 밀의 진동분포별 보유수를 나타낸다.

④ 외부 순환

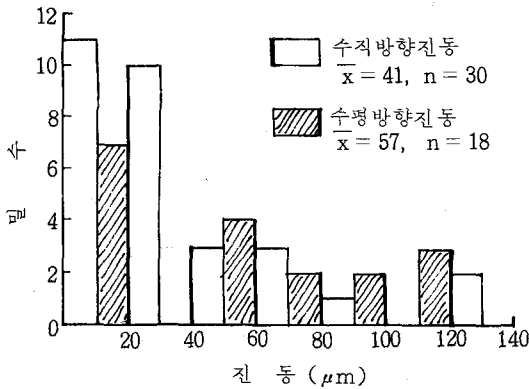
조사한 41대의 밀 중 6대가 50~170 t/h (평균 99 t/h) 능력의 외부순환장치를 보유하고 있으며 이중 2대는 100 t/h 미만, 4대는 그 이상의 것이다. 순환 하중에 있어서는 5대는 67~97%, 1대는 20% 정도이며 100% 이상의 하중을 부여하지는 않는 것으로 나타났다.



〈그림 - 12〉 밀 입·출구의 압력차에 대한 가스 유속



〈그림 - 13〉 주수방식별 현황



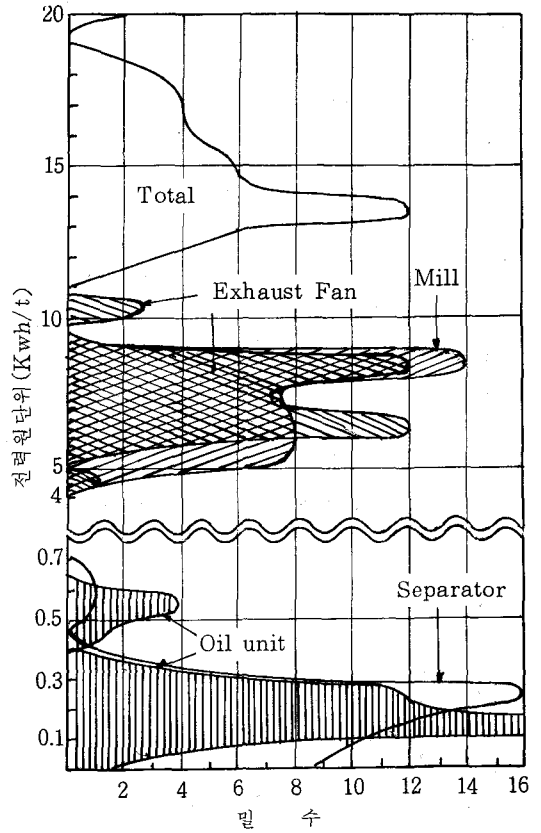
〈그림 - 14〉 밀 진동분포별 현황

⑤ 세퍼레이터의 샤프트 회전속도

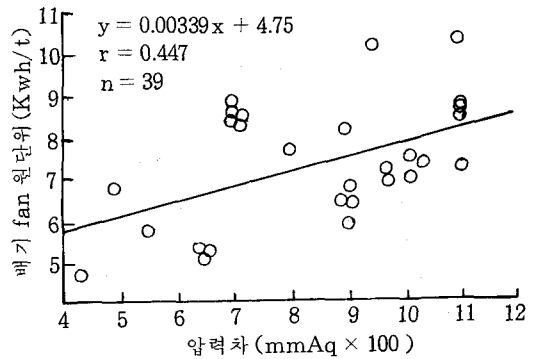
41대의 밀 중 40대가 회전식으로서 17~69 rpm의 회전속도를 가지며(평균 35 rpm), 60 rpm 이상의 것은 1대 보유하고 있다.

⑥ 전력원단위

〈그림 - 15〉는 밀, 배기 fan, 세퍼레이터, oil 설비의 밀 시스템에 대한 전력원단위 분포를 나타낸 것이며 〈그림 - 16〉은 밀의 압력차에 대한 배기 fan의 원단위와의 관계를 나타낸 것이다. 〈그림 - 15〉에서와 같이 배기 fan에서는 평균 7.57 Kwh/t, 밀에서는 7.02 Kwh/t의 수치를 나타내어 밀 시스템의 대부분을 차지하고는 있으나 그 분포는 쌍극점을 보여주고 있어



〈그림 - 15〉 밀 시스템의 전력원단위



〈그림 - 16〉 밀의 압력차에 따른 배기 fan의 전력원단위

큰쪽은 9 Kwh/t, 작은쪽은 6 Kwh/t 내외의 것이 많다.

그리고 세퍼레이터와 유류 연소장치 부분에는

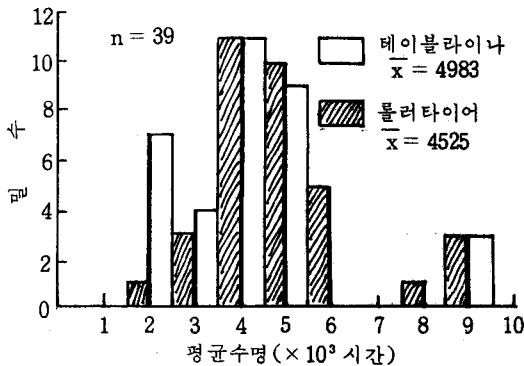
각각 0.22, 0.23 Kwh/t의 평균치를 보여주고 있다.

⑦ 롤러 타이어 및 테이블 라이나의 마모

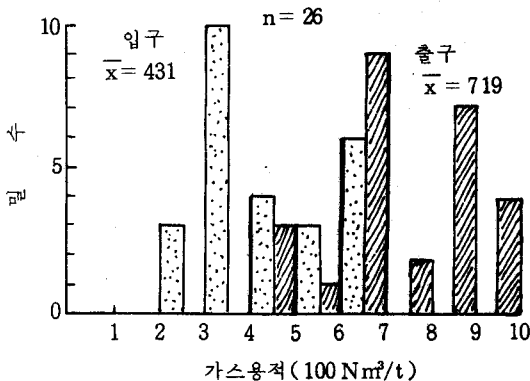
롤러 타이어의 평균 수명은 4,525시간, 테이블 라이나의 평균 수명은 4,983시간인 것으로 나타났다. <그림-17>은 기존 롤러밀의 타이어와 라이나의 수명을 시간으로 나타낸 것이다. 또한 롤러타이어의 마모율(원단위)은 평균 4.11 g/t_{Raw}이며 테이블 라이나의 마모율은 평균 2.54 g/t_{Raw}이 소요되고 있는 것으로 나타났다.

(3) 불 밀

전체 90대의 불 밀 중 hot gas 용 6대, 원



<그림-17> 테이블 라이나 및 롤러타이어의 평균수명



<그림-18> 밀 입구 및 출구에서 분당 분쇄능력에 대한 가스 용적

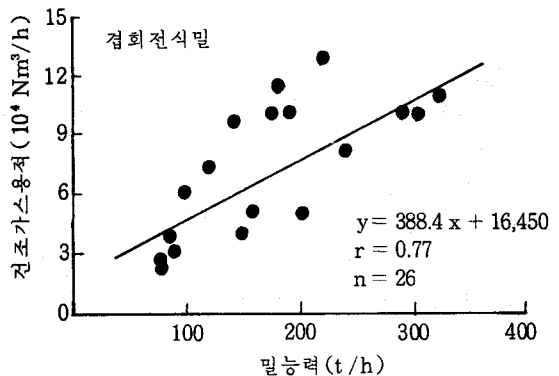
료 전용 3대, 직렬식 2대, 1실 또는 3실 밀 8대를 제외한 71대의 2실 밀과 겹회전식 밀을 대상으로 조사한 결과 2실 불밀의 경우 45대, 평균 능력은 157.4 t/h이며 겹회전식 밀은 169.7 t/h로 나타났다.

① 겹회전식 밀(Double rotator mill)

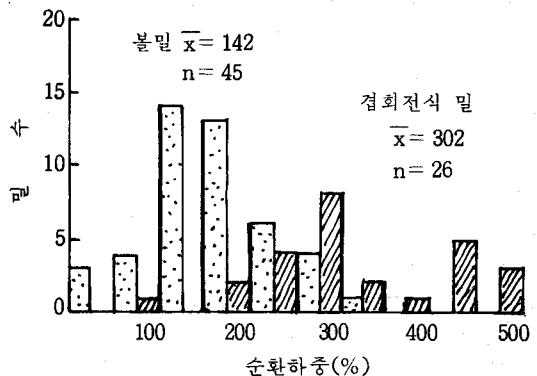
겹회전식 밀은 모두 건조용 열원으로서 커튼 배가스를 이용하고 있다. <그림-18>은 밀 입출구에서의 가스용적을 나타낸 것이며 <그림-19>는 건조가스 용적에 대한 밀 능력의 상관관계를 나타낸 것이다.

② 순환 하중

<그림-20>은 순환하중에 대한 히스토그램이다. 여기서 불밀은 평균 142%, 겹회전식 밀



<그림-19> 건조 가스 용적에 대한 밀능력 분포



<그림-20> 순환 하중별 분포

은 302%로서 100%를 넘지 않는 롤러 밀에 비해 대조적으로 나타나 있다.

③ 전력원단위

볼밀과 곽회전식 밀의 전력원단위와 그 부속 설비의 전력원단위 분포는 <그림-21>에서 보는 바와 같다. 밀 시스템 전체의 원단위는 볼밀의 경우 15.9 Kwh/t, 곽회전식 밀의 경우 16.5 Kwh/t로 나타났다. 이 중 밀 자체의 전력 소비는 볼밀의 경우 12.9 Kwh/t, 곽회전식 밀의 경우 12.3 Kwh/t 으로서 대부분을 차지하고 있다. 세퍼레이터의 소비는 1.0~1.1 Kwh/t 로서 양자의 차가 없으나 배기 fan의 경우는 볼 밀이 0.5 Kwh/t 인데 비해 곽회전식 밀은 2.7 Kwh/t 으로서 상당한 차이가 있음을 보여준다.

④ 분쇄 매체(볼 충전율)

1 실과 2 실의 볼 충전율에 있어서 볼밀은 각각 25.2, 22.8%로서 1 실의 충전율이 더 높은 반면 곽회전식 밀에 있어서는 각각 27.2, 27.4%로서 거의 차이가 없다. 또한 볼밀의 경우는 곽회전식 밀에 비해 그 산포가 넓게 분포되어 있다. <그림-22>는 볼 충전율의 분포를 나타낸 것이다.

(4) 밀 종류별 운전실적 비교

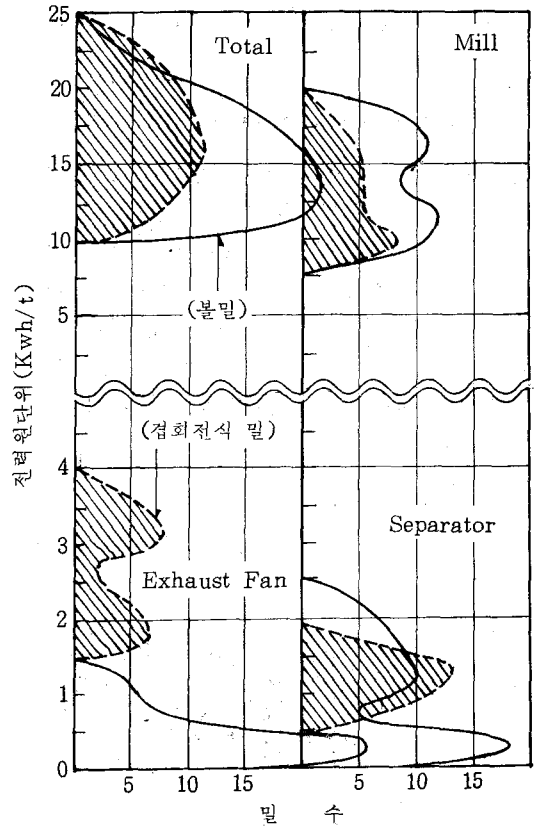
① 분쇄 능력

롤러밀, 볼밀, 곽회전식 밀의 평균 분쇄능력은 각각 193, 157, 170 t/h 로서 롤러밀이 가장 크다. 롤러밀의 경우에는 500 t/h 를 초과하는 것도 있다.

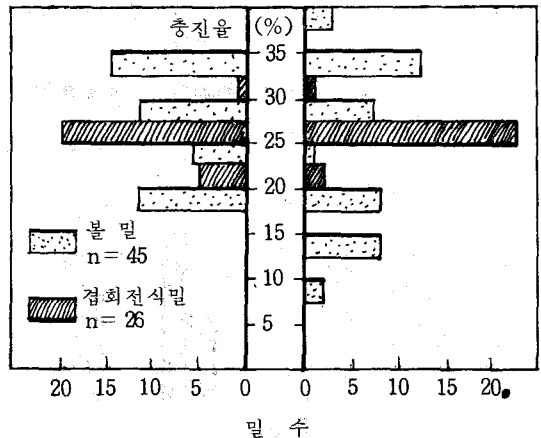
② 전력원단위 비교

현재까지 위 3 종류의 밀 중 가장 우수한 밀은 역시 롤러밀이다. 즉 롤러밀, 볼밀, 곽회전식 밀의 평균 분쇄 소요 원단위는 각각 14.9, 15.9, 16.5 Kwh/t 로서 이들은 대체로 10~25 Kwh/t 의 범위에 걸쳐 있다. <그림-23>은 전력원단위의 분포를 나타낸다.

③ 분말도

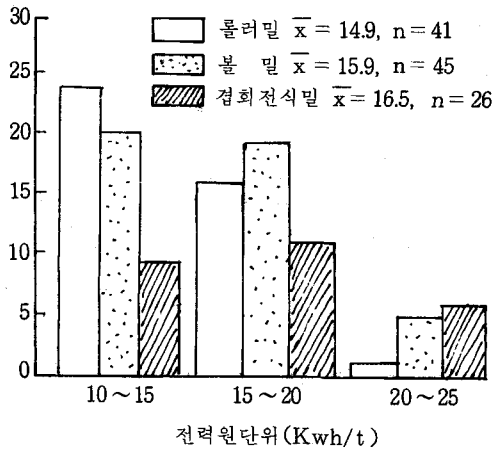


<그림-21> 밀 시스템의 전력원단위 분포



<그림-22> 볼 충전율 분포

3 종류의 밀에 대한 분말도는 전력원단위와는 반대로 되어 있다. 즉 롤러밀, 볼밀, 곽회전식 밀에 대한 88 μm 잔사는 각각 20.6, 15.4,



<그림 - 23> 각 밀에 대한 전력원단위 비교

14.5% (평균치)로서 롤러밀의 분말도가 낮게 나타나고 있다. 이를 좀 더 세분화한 입도분포를 <表 - 12>에 나타냈다.

④ 수분 함량

밀 종류에 따른 수분함량은 0.3%로서 거의 동일하다. 단지 불밀은 0.0~1.2까지 분포가 넓으며 롤러밀은 0.0~0.5, 곽회전식 밀은 0.0~0.7%까지의 비교적 좁은 분포로 나타나고 있다

3) 원료의 조성

총 126개의 밀을 대상으로 조사한 주요 원료의 투입비율에 있어서는 원료의 주성분 함량이 각 광물마다 상이하어 절대적인 비교는 할 수 없겠으나 대략 평균치로 보면 석회석이 78.1%, 점토 13.0%, 실리카 3.4%, 철 원료 2.3%, 기타 1.9%로 구성되어 있다.

4) 배가스 처리

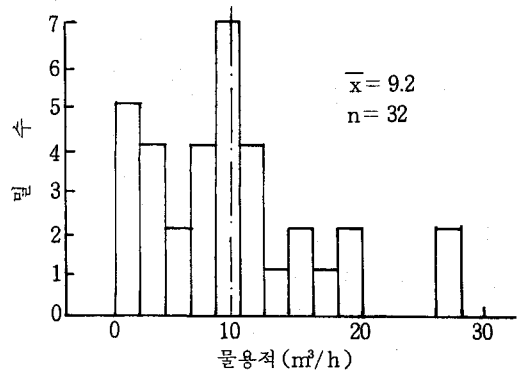
(1) 가스 조절탑(냉각탑)

<그림 - 24>는 가스 조절탑에서 물의 시간당 유입되는 용적 분포이며 <그림 - 25>는 물 1톤에 걸리는 열 부하(Thermal load) 분포를 나타낸다.

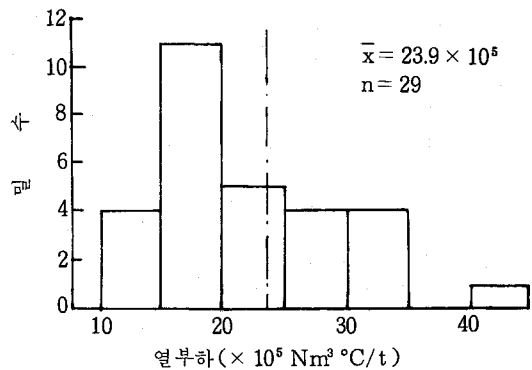
밀 종류별 입도분포 <表 - 12>

표준체 (μm)	잔 사 량 (%)		
	롤러 밀	불 밀	곽회전식밀
10.5	70.4	65.5	67.7
18.4	57.2	51.8	54.1
40.2	38.9	32.7	34.9
77.7	24.9	18.5	18.5
195.6	5.9	3.0	1.6
* Rosin - Rammmler 상수	K = 0.069 n = 0.724	K = 0.082 n = 0.737	K = 0.061 n = 0.813

註 : * $R_{(D_p)} = 100 \exp - K D_p^n$
 $R_{(D_p)}$ = 누적 잔사량
 D_p = 입자크기(μm)



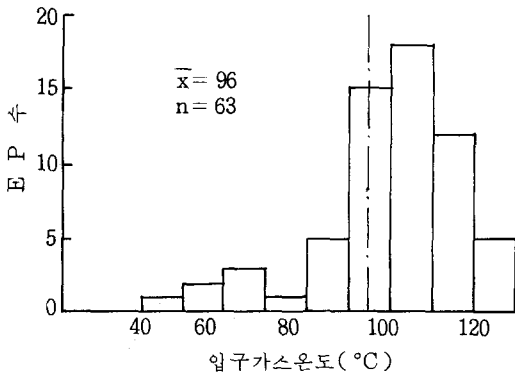
<그림 - 24> 물의 시간당 유입용적



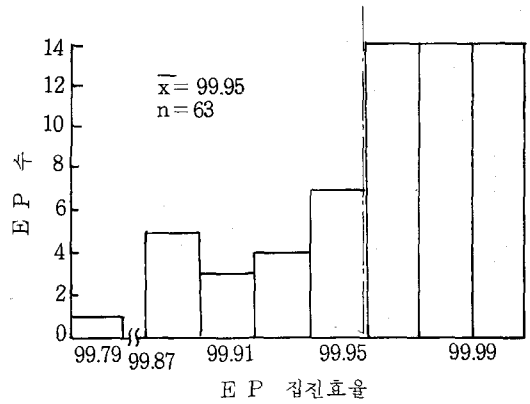
<그림 - 25> 물 1톤에 걸리는 열부하

(2) 전기 집진기(E P)

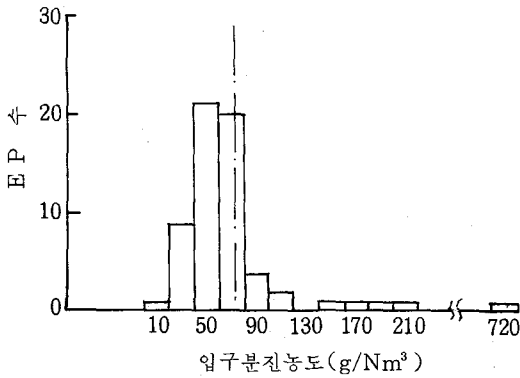
<그림 - 26~29>는 E P 입구 가스온도 및



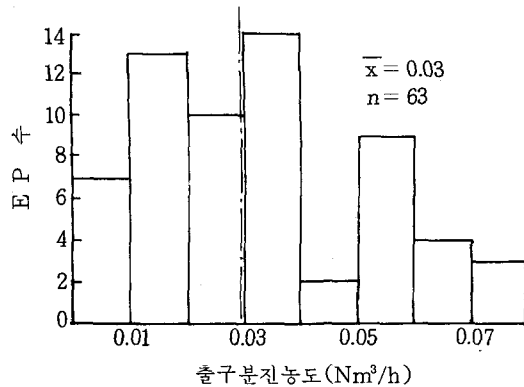
<그림 - 26> EP 입구 가스 온도



<그림 - 29> EP의 집진 효율



<그림 - 27> EP 입구 분진 농도



<그림 - 28> EP 출구 분진 농도

집진기 보유현황

<表 - 13>

집진기	EP		Bag filter		계
	수량	%	수량	%	
롤러 밀	23	88	3	12	26
불 밀	22	56	17	44	39
접회전식밀	18	75	6	25	24
합	63	-	26	-	89

원료 조합비율 (Modulus) 및 편차

<表 - 14>

		HM	SM	IM	
목 표 치		2.20	2.65	1.65	
월간 허용 오차		0.024	0.074	0.079	
실측치	월간변화	평균	2.21	2.67	1.64
		표준편차	0.023	0.056	0.058
	일일변화	평균	2.21	2.67	1.65
		표준편차	0.035	0.066	0.074

5) 혼합 사일로 및 혼합 효율

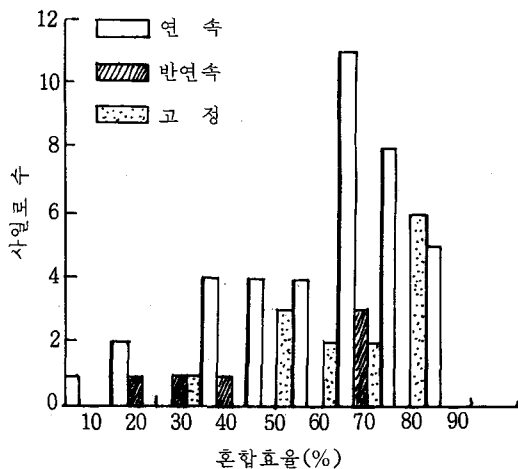
분진농도 그리고 집진효율을 나타내는 히스토그램이다. 또한 EP 및 Bag filter의 보유현황은 <表 - 13>에서 보는 바와 같다.

혼합방식에 따라 그 효율도 약간씩 차이가 나고 있다. 즉 연속 방식은 67%, 반연속 방식은 55%, 고정식은 70%의 평균치를 나타내며 이

혼합원료와 크링카의 실제 화학성분

<表-15>

화 학 성 분		혼 합 원 료			크 링 카		
		평 균	최 대	최 소	평 균	최 대	최 소
평균치	SiO ₂	21.9	22.4	21.4	22.4	22.8	21.9
	Al ₂ O ₃	5.1	5.4	4.9	5.3	5.5	5.0
	Fe ₂ O ₃	3.1	3.3	2.9	3.2	3.3	3.0
	CaO	66.4	67.0	65.8	65.6	66.2	65.0
	MgO	1.5	1.7	1.4	1.6	1.7	1.4
	Na ₂ O	0.3	0.4	0.2	0.3	0.4	0.3
	K ₂ O	0.5	0.6	0.4	0.5	0.6	0.4
	SO ₃	0.2	0.2	0.1	0.5	0.7	0.4
최 대 최 소 치 의 차	SiO ₂	1.1	2.7	0.3	0.9	2.1	0.3
	Al ₂ O ₃	0.5	1.0	0.1	0.5	0.9	0.1
	Fe ₂ O ₃	0.4	0.9	0.1	0.3	0.8	0
	CaO	1.2	3.0	0.4	1.1	3.6	0.3
	MgO	0.4	1.5	0	0.3	1.2	0
	SO ₃	-	-	-	0.3	0.7	0



<그림-30> 혼합방식에 따른 효율 분포

효율은 다음과 같은 식으로부터 도출한다.

$$\text{혼합 효율} = \frac{\text{입구의 HM 편차} - \text{출구의 HM 편차}}{\text{입구의 HM 편차}}$$

이러한 혼합방식에 따른 효율 분포는 <그림-30>에서 보는 바와 같으며 혼합원료의 각 Modulus 및 그 편차에 대한 현황은 <表-14>에

서와 같다.

6) 혼합 원료와 크링카의 품질

<表-15> 참조.

4. 결 론

일본의 시멘트 업체는 2차 석유파동 이후부터 현재에 이르기까지 계속되는 수요감퇴 현상과 달러 환율 인하 그리고 1984년에 제정된 산업구조 개편 법령으로 인해 일부 업체들이 공장 폐쇄 명령을 받아야 하는 매우 어려운 시련을 겪고 있다. 일본 시멘트 업체는 이러한 상황하에서는 설비개체와 기술개발을 통한 에너지·자원의 절약만이 회생될 수 있는 길임을 깨닫고 온갖 노력을 쏟고 있다. 본고에서의 조사 목적도 이러한 이유에서 설정되었음이 분명한 즉 동 자료가 국내 업체의 공정관리에 다소나마 보탬이 되었으면 한다. ♣

<資料 : 시멘트 제조기술 전문위원회 보고 T-17, Feb. 1988>