

시멘트 분쇄공정에서의 예비분쇄기(Polycom) 설치효과

조 정 기

〈동양시멘트(주) 삼척공장〉

1. 서 론

당사는 6,7호 킬른의 신설에 따른 클링커 생산량의 증대로 기존 4기의 Cement mill(Tube mill system) 전 공정에 Roller press형 예비분쇄기인 Polycom(독일 KRUPP POLYSIUS SA. 공급)을 부설하여 시멘트 밀의 생산능력을 증대시켰다. Polycom 부설공사는 1991년 5월에 시작하여 각 밀별로 Polycom, Sepol-P(Polycom측 분급기), Sepol-M(Mill측 분급기) 순으로 밀 가동중에 단계적으로 신설 및 개체작업이 진행되었으며, 1992년 11월에 완료되어 본격적인 시운전에 착수하였다.

Polycom 및 Sepol 교체 공사 일정표

구 분	Polycom 연결공사	Sepol 교체공사	Load test
#2 C/M	'91. 12/ 9-12/14	'92. 9/16-11/14	~11/30
#3 C/M	'91. 11/18-11/23	'92. 6/22- 8/24	~ 9/16
#4 C/M	'91. 9/ 2- 9/ 9	'92. 4/ 7- 6/ 6	~ 6/22
#5 C/M	'91. 5/12- 5/20	'92. 1/ 7- 3/16	~ 4/ 6

당사의 Polycom 공정은 분급기가 설치된 폐회로 공정으로 기존의 폐회로 밀과 직렬로 연결되어 있으며, 밀 생산성이 Polycom 설치 전에 비하여 약 100% 향상되었다.

본 고에서는 설비전체에 대한 개략적인 소개와 시운전기간중 발생한 Polycom 공정의 주요설비의 문제점을 제시하고, 이를 해결하기 위하여 공정 및 시설에 대해 실시한 개선사례, 특히 공정실험(강구 배열, 분쇄조제 영향 등)을 통해 주요 조업변수의

특성을 고찰하여 시멘트 품질과 생산성을 향상시킨 점을 주안점으로 소개코자 한다.

2. 주요설비 개요 및 제원

회전하는 두 Roll 사이의 압축력을 이용하는 Grinding roll 분쇄방식은 볼밀의 분쇄능력을 향상 시키고, 분쇄에너지를 낮추기 위하여 볼밀 분쇄공정 전 단계에서 예비분쇄의 성격을 부여한 새로운 분쇄방식이다.

당 공장에 설치된 Polycom은 High-pressure grinding roll의 일종으로 POLYSIUS에서 원료 및 클링커의 효과적인 분쇄를 위하여 개발한 4가지의 공정(Pregrinding, Finish grinding, Hybrid grinding, Combi grinding) 중 당사의 경우 Combi grinding system을 채택하였다. (그림 1, 2, 3참조)

Sepol 앞에 위치한 Disagglomerator는 Polycom에서 분쇄되어 형성된 케익을 해체하여 Sepol

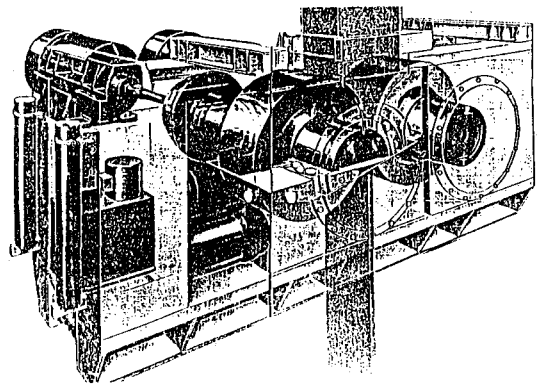


그림 1 High-pressure grinding roll 개략도

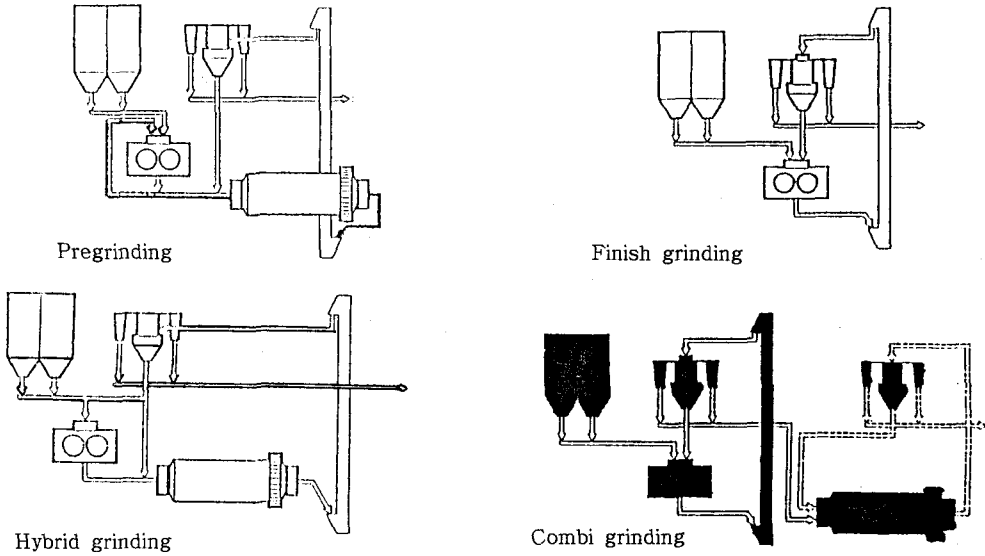


그림 2 예비분쇄기의 4가지 공정

에서 분급이 효과적으로 이루어질 수 있도록 해 준다. 또한 Sepol은 구조상 중력을 최대한 이용하여 분급되고, By-pass량을 줄일 수 있도록 설계되어 있으며, Rotor, 순환공기, 입자가 갖는 중력 등의 힘 방향이 자연스럽게 중복이 없기 때문에 효율이 높고 품질의 제어가 용이하다. 정분은 Sepol 내통의 중심부를 통해 아래로 유출되어 사이클론에서 포

집되며, 분말도는 Rotor의 회전과 순환 공기량의 제어로 조절할 수 있다. 또한 분쇄밀은 기존 Tube mill을 그대로 사용하였으며, 예비분쇄된 Polycom의 정분을 분쇄하게 되므로 강구충진 및 배열을 미 분쇄에 맞도록 재배열하였다.

다음은 주요설비 제원 및 강구충진 배열상태를 소개하였다.

● 주요설비 제원

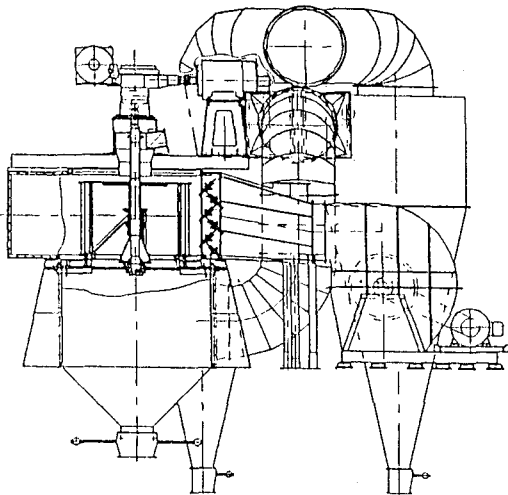


그림 3 Sepol (High-efficiency separator) 개략도

주요설비	Specification		
Roll	Dimension	φ2,000×ω 1,000mm	
	Speed	14.51rrv/min	
	분쇄용량	2×1,000Kw	
	Drive power		
Sepol	Polycom측	Sepol 290/4	Rotor φ2,900mm 4 Cyclone, Cyclone φ2,720
	Ball mill측	Sepol 250/4	Rotor φ2,500mm 4 Cyclone, Cyclone φ2,405
C/Mill	항목/Mill별	#2, 3, 4	#5
	Dimension	4.21Mφ×14.25ML	3.8Mφ×11.5ML
	Mill rpm	21.3	22.1
	Main motor	3,680Kw	2,200Kw
	공급사	FULLER	MITUBISHI 1

● 강구충진 및 배열

구 분	중 전					구 분	Polycom 설치 후				
	#2,3,4 C/M		#5 C/M				#2,3,4C/M		#5 C/M		
실별	φ	Ton	%	Ton	%	실별	φ	Ton	%	Ton	%
1실	90	30.0	42.86	17	31.48	1실					
	80	19.0	24.14	15	27.78						
	70	13.0	18.57	14	25.92		30	60	24.2	40	23.8
	60	8.0	11.43	8	14.81		25	22	8.8	14	8.3
	소계	70.0	31.50	54	32.70		소계	82	33.0	54	32.1
2실	60	-	-	11	9.19	2실	25	50	20.2	35	20.8
	50	13.5	8.88	35	31.53		20	69	27.8	47	28.0
	40	9.0	5.92	40	36.04		17	47	19.0	32	19.1
	30	20.0	13.16	25	22.52						
	25	11.0	7.24	-	-						
	20	30.0	19.74	-	-						
	17	68.5	45.07	-	-						
	소계	152.0	68.50	111			소계	166	67.0	114	67.9
	합 계	222	100	165	100		합 계	248	100	168	100

3. 주요설비 및 공정개선 사례

1) 주요설비 개선 : 설비개선은 주로 Polycom 및 Sepol의 가동율 향상 및 클링커 입자의 설비 마모를 최대한 방지하는 차원에서 이루어졌다.

① 철물 제거장치(비철금속 포함)

Polycom roll에 인입되는 철물은 Polycom 분쇄 공정의 안정조업을 위협하고, 심지어 이상마모 및 파손 등을 유발시켜 Roll의 수명을 단축시킨다. 당사는 Polycom roller의 철물인입을 막기위해 우선적으로 B/Conv' 주·부원료 공급라인에 Magnetic separator 및 영구자석을 추가로 설치하고, 철물을 효율적으로 분리·수거하기 위해 자석하부를 통과하는 원료의 안식각을 최대로 감소시켰으며, 자기반감효과를 방지코자 특수 Roller를 사용, 철물검출기능을 높였다. 또한 비철금속의 효율적인 분리수거를 위해 Metal detector phase 조정에 의한 Mild steel 감지기능을 강화하여 클링커 인출시 사전 검출하는 방안을 추진중에 있다.

② 설비마모 및 파손방지

초기 시운전시 설비마모 문제는 Polycom 전 라인에 걸쳐 매우 심각한 문제였으며, 특히 Sepol 및 예비분쇄라인 B/Elev'등의 집중마모로 인해 부분 임시보수가 불가피하여 가동율이 극히 저조하였다.

Sepol 외통 및 Duct의 마모방지를 위해 내부 라이나를 취부하고 Chute 등 극히 취약부위에는 고강도 내열 콘크리트를 부착, 약점을 보완하였으며, 특히 Sepol fan impeller는 구조개선(분배 Plate 삽입)을 통해 수명을 연장시켰다. 또한 Sepol rotor 하부의 Seal 간격조정으로 Sepol의 Selectivity를 증대시킴으로써 Impeller를 공격하는 Coarse한 Dust 입자를 감소시켰다.

B/Elev' Casing 마모문제는 원료 Flow의 정상화(설계 미스에 의한 원료편중현상 발생)를 위해 원료투입 낙구 슈트에 Guide plate보강 및 각도 조정을 통해 Overflow를 가급적 억제하고, Polycom 라인의 순환비를 감소시킴으로써 B/Elev' load를 줄여 설비마모를 둔화시켰다.

③ 설비개조 및 교체

설비개조 및 교체 역시 동기간에 같은 맥락으로 시행되었다. Polycom B/Elev'의 Bucket type을 개조하여 체인에 무리를 주지 않는 범위에서 Filling ratio를 높이고, 감속기 용량증대(국산대체)를 통해 B/Elev'의 가동율 향상을 꾀하였으며, 초기 운전시부터 계속 문제되어왔던 Desa' 하부 Pan/Conv'의 구조적 결함(Seal 미비로 인한 Dust 혼입으로 Roller B/R 파손 및 Roller의 기형적 마모 등)을 해소코자 새로운 Belt conv' type으로 전량 교체하였다.

2) 주요공정개선 : 공정개선은 생산성 증대와 품질향상을 목적으로 주요설비(Polycom, Sepol, Disagglomerator, B/Mill)의 효율을 높이고 공정 실험을 통해 주요 조업변수의 특성을 고찰기 위해 시행되었다.

① Polycom 분쇄효율 증대

이상적인 시멘트 품질은 집중 입도를 갖는 시멘트라고 할 수 있으며, 이를 위해서 Polycom 및 B/Mill의 분쇄효율 및 Sepol 효율증대는 선결과제가 아닐 수 없다. 당사는 Polycom의 분쇄효율의 증대를 위해 최적 Hydraulic pressure의 결정으로 당

사 조건에 맞는 Pm 값을 산출하였으며, 투입원료의 Segregation의 최소화로 Polycom의 파쇄효율을 증대키 위해 Polycom feed hop'를 개조(필요할 시 Slide gate 조정으로 투입점 변경)하여 Roller(고정측 & 유동측)의 Main motor Amp'의 균형유지(140A 이상 : 80%)로 예비분쇄효율을 증가시킬 수 있었다.

② Sepol의 효율증대

Sepol의 분급효율 증대를 위해 Sepol rotor 하부 Seal 간격을 5mm 이하로 줄여 Selectivity를 증대시키고 Sepol 라인의 Air balance 최적화 및 Sepol fan impeller와 Casing 간극 조정(<5mm)으로 Fan 효율을 극대화시켰으며, Cyclone별 품질편차 감소를 위해 분기지점에 Guide plate설치 및 Dp' 조정을 통해 Duct내 순환원료가 쌓이지 않도록 Separating air의 균형유지로 Cyclone 효율(4 Ea)의 평정을 유도하였다. 또한 클링커 물성차이에 의한 운전 조건 변화(Sepol rpm 증가 등)에 따른 순환로드의 탄력성을 확보하기 위해 Sepol 조분 A/Slide 용량은 기존 330 t/h에서 500 t/hr로 용량을 증대시켰다.

강구배열 전후 비교

<表-1>

실 별	변경 전	φ mm	Wt (ton)	%	총 %
1	변경 전	30	40	23.8	23.8
		25	14	8.3	32.1
	변경 후	50	10	5.9	5.9
		30	30	17.9	23.8
		25	14	8.3	32.1

강구재배열 전·후 품질비교

<表-2>

항 목 C/Mill	배열구분	N값	Blaine	강도발현		
				44μm	88μm	3~32μm비율
#2 C/M (200t/hr)	배열후	0.9903	3,185	12.4	1.2	78.4%
	배열전	0.9561	3,272	13.8	1.6	76.4%
	차 이	↑0.0342	↓87	↓0.4	↓0.4	↑2.0%
#5 C/M (159t/hr)	배열후	0.9795	3,153	1.5	1.5	78.1%
	배열전	0.9375	3,184	2.21	2.21	73.7%
	차 이	↑0.042	↓31	↓0.71	↓0.71	↑4.4%

③ 강구충진 및 배열

강구의 충진 및 배열상태는 시멘트 품질 및 생산성에 직접적인 영향을 미친다. 또한 분쇄공정의 특성에 맞는 최적배열을 구하는 것은 시멘트 밀을 담당하는 사람으로서는 가장 중요한 문제라 할 수 있으며, 그 방법은 매우 다양하리라 사료된다.

당사는 우선적으로 각 Mill별 인입원료(Polycom 정분)를 일정량 채취하여 품질항목을 평가하고 Test mill에 6가지의 강구배열 조건하에서의 공정 실험을 거쳐 최적의 조건을 산출, 공정에 적용하였다. 단, 본 실험은 1실에 한해 시도되었으며, 2실은 현 분급라이나 상태를 고려, 라이나 교체후 시도기로 하고 대상에서 제외시켰다.

그림 4는 당사 #5 C/M의 강구 배열을 보여주며, 표 1,2는 강구배열 전후 비교 Data를 수록하였다.

④ 분쇄조제 성능실험

예비분쇄기(Polycom)가 설치된 시멘트 분쇄공정에서의 분쇄조제 효과를 파악하기 위해 #4 C/Mill을 시작으로 전 Line에 분쇄조제 성능실험을 실시하였다.

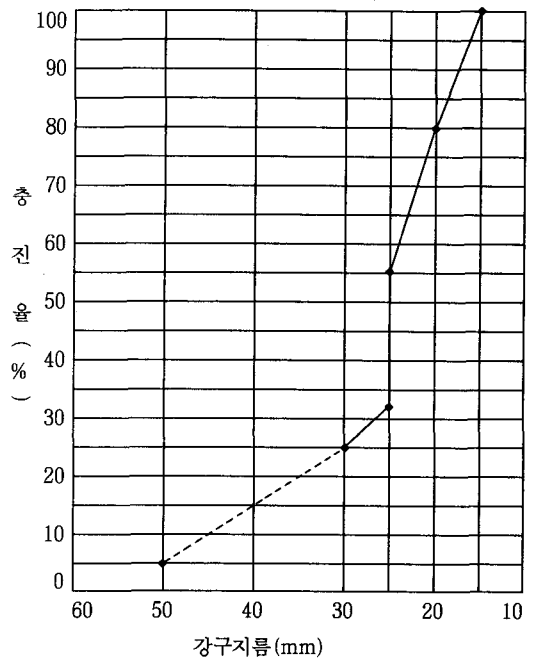


그림 4 #5 C/M의 강구배열

당 공장 Blaine 기준 3,200을 감안하여 분쇄조제 첨가량의 최대량을 산출하고, 이를 6가지 경우의 수로 나누어 첨가량에 변화를 주었다. 이 Test는 Mill 출구 B/Elev'의 Amp'를 분쇄조제 영향에 따른 순환비 증가에 관계없이 일정하게 유지하고, 특히 Mill 출구 Dedusting 및 출구압력 변동사항을 유의하며, 발전문제를 야기시키지 않는 범위에서 이루어졌다. 그 결과 시멘트 Blaine은 거의 대동소이하였고, 우려하였던 응결시간이나 주도는 별 영향이 없는 것으로 나타났으며, 분말도 및 강도증진 단위용적 중량의 증대 등 현저한 품질개선이 이루어졌다. 그림 5, 6은 분쇄조제 첨가량에 따른 분말도의 추이를 보여준다.

시험결과 분석에 따른 소견은 Polycom 생산량을 일정하게 할 경우 C/M은 분쇄조제의 영향으로 Mill측 Sepol의 분급성능이 현저히 개선되며, 이는 미립자의 아그로멜손이 지연되어 분쇄의 분산성 및 유동성을 향상시킨 이유로 사료된다. 단, 당사의

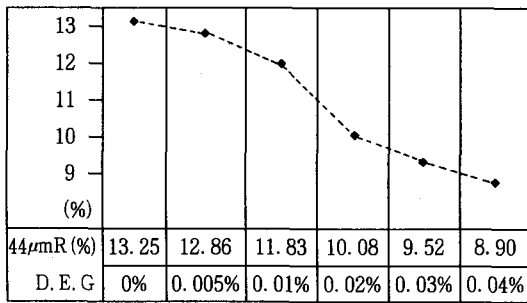


그림 5 분쇄조제 첨가량에 의한 44µm 잔사율 비교

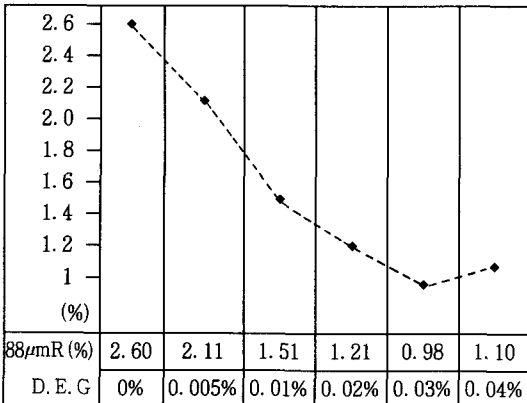


그림 6 분쇄조제 첨가량 변화에 따른 88µm 잔사율 비교

경우 분쇄조제량을 시멘트 대비 0.03% 이상 증가시킬 때 미분 함유도가 높은 공기의 발생으로 운전상 발전의 트러블을 야기시켜 집진향상에 대한 별도의 조치가 필요하였다. 표 3, 4는 분쇄조제 0.015% 사용했을때 당사의 작업결과를 소개하였다.

각 C/M별 기준생산성 및 품질(민수기준)

〈表-3〉

항목 C/M별	생산성 (t/hr)	분쇄조제 미사용			분쇄조제 0.015%사용				
		Blaine	44µm R (%)	88µm R (%)	K강도	Blaine	44µm R (%)	88µm R (%)	K강도
#2	200	3,280	13.1	2.1	378	3,354	10.1	1.7	395
#3	200	3,210	12.4	2.0		3,288	9.2	1.2	
#4	200	3,150	12.8	2.0		3,189	9.7	1.5	
#5	159	3,160	13.5	2.2	375	3,297	11.8	1.9	385

각 C/M별 전력원단위

〈表-4〉

공정별	부문별	#2C/M (200t/h)	#3C/M (200t/h)	#4C/M (200t/h)	#5C/M (159t/h)	비교
A/Sep	Cement	0.3	0.4	0.57	0.31	
	Polycom	0.05	0.05	0.05	0.12	
	계	0.35	0.45	0.62	0.43	
Fan	Cement	1.4	1.68	1.62	1.30	
	Polycom	1.8	2.00	2.11	2.15	
	계	3.2	3.68	3.72	3.45	
Polycom (A)		4.1	3.85	4.15	5.0	
Polycom (B)		4.084	3.82	3.93	5.09	
Disagglomerator		0.82	0.85	0.84	1.18	
계		30.45	30.55	30.96	27.45	

Pol. gurantee	30.75	30.75	30.75	28.50	
차 이	↓0.30	↓0.2	↑0.2	↓1.05	

4. 결 론

예비분쇄기(Polycom) 설치로 #2, 3, 4, 5 C/M의 성공적인 시운전에 이어 현재 같은 Polycom의 일종인 250 t/hr 규모의 신규 C/M(Hybrid grinding system)이 1994년 7월 운전을 목표로 건설 공사중에 있다.