

# Roller Mill 공정개선으로 생산성 향상

김 선 기

<쌍용양회 동해공장>

## 1. 서 론

본 설비는 1992년 동해공장 #1K/L을 SP Type에서N-MFC Type으로 개조하여 생산용량을 증대하는 과정에서 K/L 소비 원료를 공급해 주기 위해 기존 Ball Mill 이외에 일본 UBE 사로부터 Roller Mill을 도입, 설치 운용하고 있다.

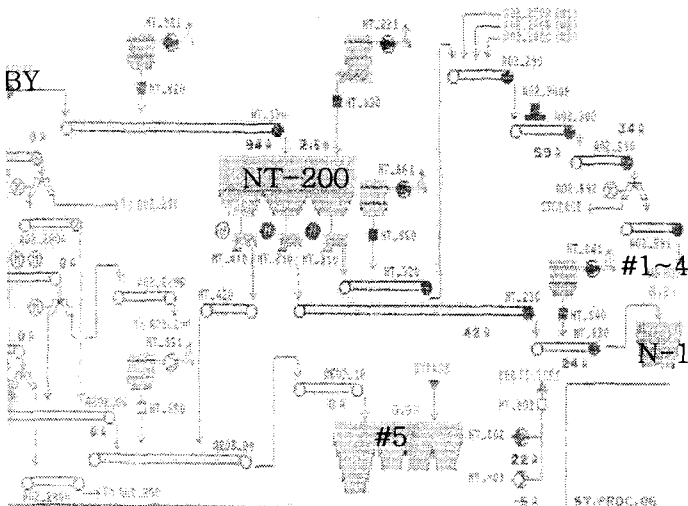
현재 전 세계적으로 국지적인 전쟁이 끊임없이 발생하고 있어 연료 수급이 불안정하게 되었고 산업화의 가속화에 따른 에너지 수요가 지속적으로 증가 하는등 외부 여건의 변화에 따라

에너지 비용이 상승하고 있으며. 특히 Cement 제조산업은 대표적인 에너지 다소비 업종으로 이러한 외부 여건 변화에 민감하게 반응할 수밖에 없으며, 결과적으로 제조원가의 상승으로 이어지게 된다.

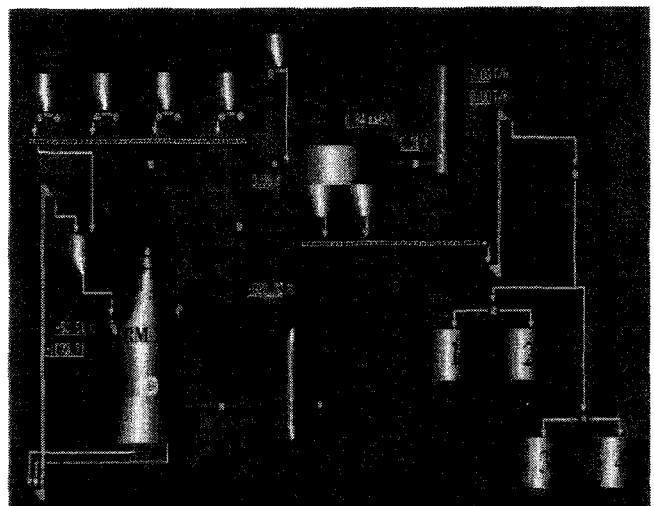
이러한 외부 여건 변화에 의한 원가상승 요인을 극복하기 위해 10여년간 설비를 운용하면서 축적된 Know-how를 바탕으로 대규모 투자나 개조 없이 문제점 및 모순점을 도출하고 해결하여 Loss를 최소화하고 제조원가를 저감하고자 하였다.

## 2. 현 황

### 2-1. 공정 Flow



<그림 1> 석회석 수송 Line



<그림 2> Roller Mill 공정 Line

2-2. 원료 Mill 주요설비 Spec' <표 1>

설비	Type	Spec.	Capacity	Maker	설계 입도
# 1~4R/M	Ball Mill	Φ4 ×10.82ML	100T/H	MHI	25mm Over10%이내
#5R/M	Ball Mill	Φ4.8 ×15ML	300T/H	Polysius	25mm Over 0%이내
#N-1R/M	Roller Mill	LM45.40	407T/H	UBE	25mm Over 25% 이내 (Max 80mm)

2-3. 사용 주부원료 <표 2>

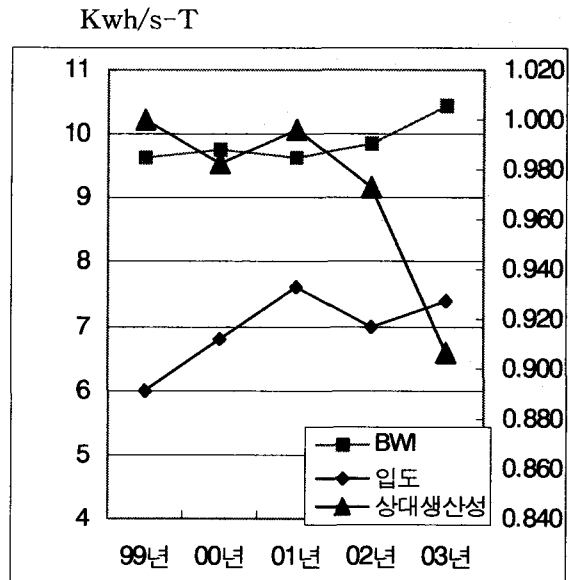
	석회석	철광석	규석	쉐일	F/Ash	폐주물사
배합비(%)	86.4	1.0	6.0	2.7	2.9	1.1

\* '03. 5월 기준

2-4. 석회석 변화 추이 <표 3>

구분	혼합비(%)		피분쇄성 (BWI)	25mmOver er%	상대 생산성
	신광산	기존			
99년	46.5	53.5	9.63	30%	1.000
00년	47.1	52.9	9.69	34%	0.991
01년	46.6	53.4	9.65	38%	0.996
02년	52.6	47.4	9.84	35%	0.973
03년	70.0	30.0	10.45	37%	0.906

\* '96년 동해공장 신광산 석회석 분석  
 신광산 석회석 BWI : 11.5KWH/T  
 기존 광산 석회석 BWI : 8.0KWH/T  
 Bond 분쇄이론( $E_p = C_b \times (1/\sqrt{P_1}/\sqrt{F})$ ) 적용  
 상대 생산성은 석회석의 BWI 와 입도에  
 의한 따른 가중치



<그림 3> 입도 및 피분쇄성 그래프

2-5. Roller Mill 설비 Trouble

발생 현황 <표 4>

	'99년	'00년	'01년	'02년	비고
운휴 횟수	92	77	19	13	

### 3. 운용상의 문제점 <표 5>

	문 제 점	원 인
1	Sep'Blade 편마모	비정상적으로 높은 차압유지 및 기류편중
2	Triple Gate Cycle Over	Blade 마모에 의한 벽체와 Blade 사이 원석 낚
3	Drag Chain Conveyor Trouble 빈발	국부적인(Shackle) 마모 및 점검 곤란
4	Rubber Sheet 파공(29회/년)	가동중 Roller 측 과 Upper Casing 사이 Alignment 불량
5	Mill 진동 상승에 의한 생산성 저하	Mill Spec'(LM45) 과 Roller Size(LM48)의 Unbalance에 의한 공간부족
6	석회석 공급입도 Unbalance(Ball Mill 대비)	NT200 Hop'상부 석회석 공급위치 불합리

### 4. 문제점 개선현황

90년대 중반이후 동해지구 광산 채광량 감소로 인한 신기광산 석회석 혼합 비율이 점차적으로 증가하여 피분쇄성이 저하 하였고[표 3 석회석 변화 추이 참조] K/L 공정개선을 통한 생산능력 향상으로 원석 수급 물량 Balance가 악화(여유율 감소)되었다.

또한 Roller Mill 공정 Line에서 설치 당시 설비 Spec'의 Unbalance외에 설비 운용상의 문제점으로 인해 생산성 저하 및 Trouble이 지속적으로 발생하고 있어 합리적인 대책수립을 수립하여 개선하고자 하였다.

#### 4-1. Mill 내부 기류 분산 개선

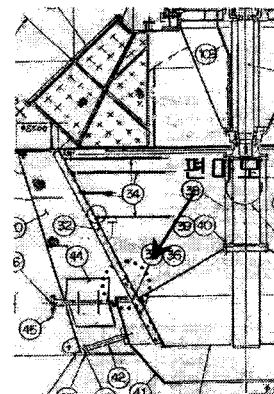
Roller Mill은 Mill차압에 따라 원료 투입량을 PID Control 하도록 되어 있으며 기류의 흐름을 조절하는 Guide Vane이 45°의 각도로 설치되어 있다.

당사 N-1R/M은 단위생산 증대를 위해 동일 유형의 Mill 대비 Roller Size를 크게 설치하고, Mill 차압을 상승시켜 운전하도록 설계되었다.

그러나 장기간 설비 가동결과 Sep' 하부에서 편마모 현상이 극심하게 발생하는 것이 확인 되었다.

	영월#3	영월#7	N-1R/M
Model 명	LM40.40	LM40.40	LM45.40
단위 생산	290T/H	320T/H	407T/H
Mill 차압	600mmAq	760mmAq	980mmAq
Sep'Type	LVT	LVT	Conventional
유 량	6,075Nm <sup>3</sup> /Min	6,383Nm <sup>3</sup> /Min	7,946Nm <sup>3</sup> /Min
Guide Vane 선단유속	10.6m/Sec	11.1m/Sec (10.2m/Sec)	13.8m/Sec

( ) : LVT 개조전 선단 유속



<그림 4> Sep' 개요도

이는 비정상적으로 높은 Mill 출구 압력에 의해 빨라진 Gas 흐름이 Guide Vane을 통해 적절히 분산되지 못하고 Sep'의 하부에 집중되어 Sep' Blade의 편마모가 발생한 것으로 추정하였다.

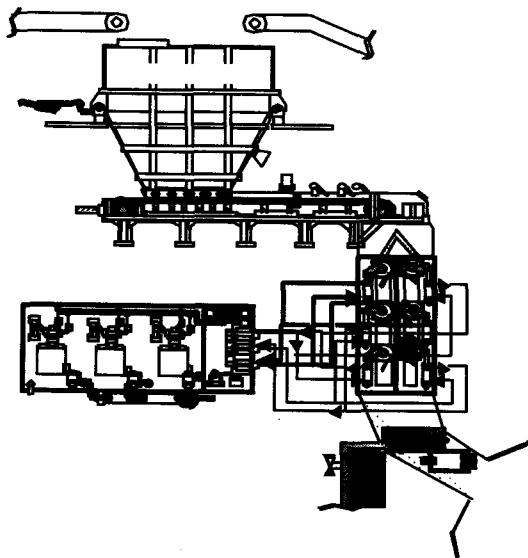
이에 따라 Guide Vane의 각도를 45° 에서 30°로 변경하여 가동한 결과 Sep' blade 편마모 현상을 개선할 수 있었으며 Gas 흐름과 Sep'의 접촉면적 확대(기계적으로는 변화 없음)로 분급 단면적 증대 효과인 잔사를 16%에서 15%까지 낮출 수 있었다.

<표 7> 개선 전후 비교

	단위 생산(T/H)	Sep' RPM	잔 사(%)
개선전	410	780 ±20	16~17%
개선후	416	780 ±20	15%

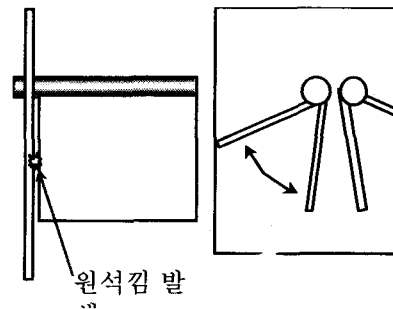
4-2. Triple Gate Cycle Over 발생 감소

Triple Gate는 원료 Surge Bin으로부터 Mill로 원료를 공급 할 때 Fresh Air의 유입을 차단하는 기능을 수행하는데 이 설비로 인해 년 30회 이상의 일시정지 운휴가 발생하고 있어 고질적인 Trouble 설비로 관리되어 왔다.



<그림 5> Mill 입구 공정도

Triple Gate에서 발생하는 Trouble의 90% 이상이 Damper Plate와 측면 벽 사이에 이물질 낚이로 인한 Cycle Over 현상으로 보수 작업시 Triple Gate Damper와 Blade간의 긴밀한 Gap(5mm이내)을 유지하도록 작업을 실시하고 있으나 가동시간의 경과에 따라 마모가 진행되어 석회석 및 이물질이 마모부위에 <그림 6>과 같은 낚 현상으로 <표 8>과 같은 일시정지 Trouble이 발생되고 있었음.

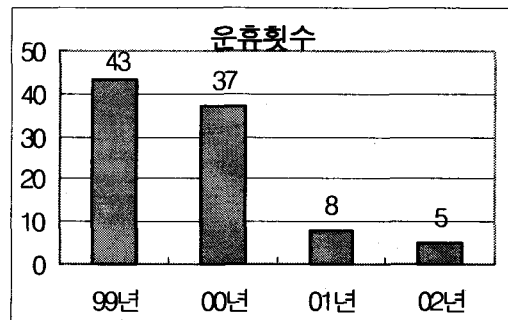


<그림 6> Trouble 발생 현황도

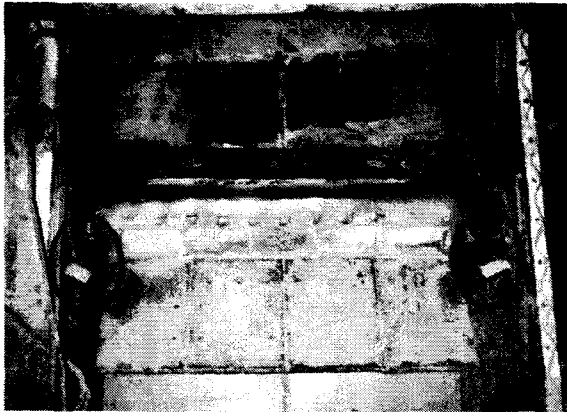
<표 8> Triple Gate Cycle Over 발생현황

년 도	99년	00년	비 고
운휴횟수	43	37	

따라서 Triple Gate Close시 원석이 Blade와 벽체사이 Gap에 접근하지 못하도록 우측 <그림 8>과 같이 Blade Gap Cover를 설치하여 원석 및 이물질의 근접을 차단 Trouble 발생을 년 5회 이내수준으로 감소시켰다.



<그림 7> T/G 운휴 발생 추이



<그림 8> Triple Gate 개선 현황도

그러나 현재 근본적인 Triple Gate Trouble을 방지하기 위해 Triple Gate가 없이 원료공급 및 Fresh Air 유입을 차단할 수 있는 System으로의 전환을 검토중에 있다.

4-3. ECS Line Trouble 방지

Roller Mill 은 Roller 와 Table 간의 압착력에 의해 원료를 압착, 전단 및 Grinding을 통해 목표된 Size의 원료로 분쇄하는데 Mill에 투입된 원료가 Roller와 Table 사이에서 가압력을 받더라도 원료의 밀도와 입도분포등에 의해 충분히 분쇄되지 못하고 Table 외부로 밀려날 때 상승기류에 편승하지 못한 원료는 ECS로 낙하하는데(투입량의 70~80% 정도) ECS Line은 이 원료를 Mill로 재투입 할 수 있도록 이송해 주는 역할을 수행한다.

<표 9> ECS Line 설비 Trouble 발생 현황

	'99년		'00년		비 고
	Trouble	시간	Trouble	시간	
DCC	27	79:10	22	85:40	
B/E	12	22:50	8	46:50	
B/C	-	-	-	-	
계	39	102:00	30	132:30	

이 ECS Line은 Mill 하부의 DCC(Drag Chain Conveyor), 원료를 상승시키는 B/E, Mill 전단 Bin으로 투입하는 B/C로 구성되어 있는데 위 <표 9>에서 볼 수 있는 바와 같이 DCC는 Shackle부위의 절단 및 여러가지 요인에 의해 연간 20회 이상의 Trouble이 발생되며 ECS Line에서 발생하는 Mill 운휴의 70%이상을 발생시키고 있었다.

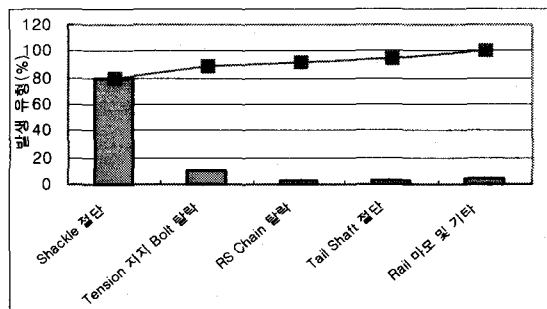
또한 DCC에서 발생하는 고장 유형을 증별한 결과 <표 10> 로 볼 수 있는데 MTBF 주기에 가까워 질수록 마모나 이물질에 의한 Trouble이 증가하였다

또한 <그림 9>에서 같이 Mill에서 DCC로 낙하하는 Chute에 설치된 Cylinder Damper 오동작에 의한 Trouble 이 1회/주 이상 빈번하게 발생하고 있었다.

따라서 <그림 10>과 같이 밀폐형으로 가동중 점검이 곤란한 DCC를 철거하고 Open Type으로 점검이 용이한 B/C 로 교체하였고 별도의 구동설비가 필요한 Air Cylinder 형 F/D를 Double Flap Damper로 개조 하였다.

<표 10> DCC 설비 Trouble 유형

유 형	비 율(%)
Shackle 절단	79
Tension 지지 Bolt 탈락	10
RS Chain 탈락	3
Tail Shaft 절단	3
Rail 마모 및 기타	5





<그림 9> Chute 사진



<그림 10> ELS Line 개조

설비 개조 결과 ECS Line중 DCC 부분에서 발생하던 운휴 및 오작동 Trouble을 100% 제거 할수 있었으며 부가적으로 DCC 설비 운용시 16~20A까지 소비하던 전력이 B/C로 교체후 14A로 하락하여 동력비 저감 효과(900천원/년) 까지 달성할 수 있었다.

<표 11> DCC 설비 Troublr 발생 현황

	99년	00년	01년	02년	03년	비고
운휴 횟수	27	22	0	0	0	

#### 4-4. Roller Rubber Seal 개선으로 Fresh Air 유입 방지

UBE사의 Roller rubber Seal은 UP & Down 을 반복하는 Roller의 유동성을 보장하고 Fresh Air의 유입을 차단하는 기능을 수행한다.

이 Rubber Seal의 초기 Setting은 <그림 12>

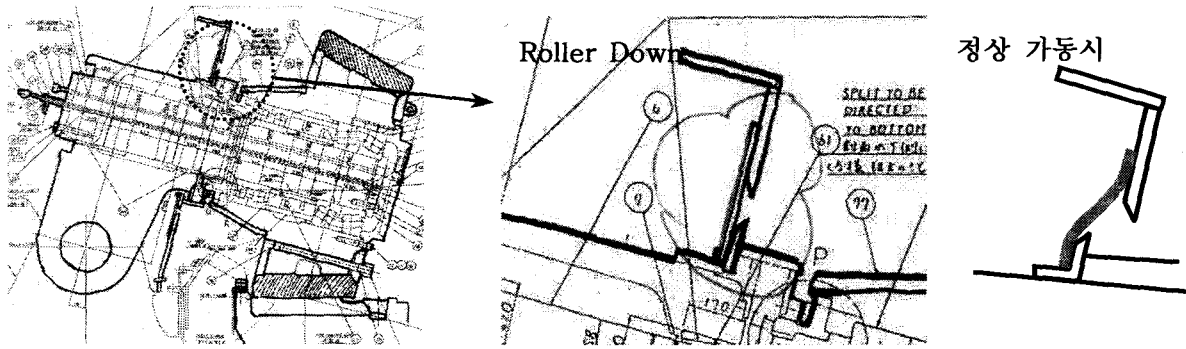
에서 보이는 것처럼 Roller를 완전 Down 시켰을 때 Roller부와 Upper Casing이 일직선을 형성하므로 실제 원료를 투입하고 정상 가동시 형성된 Bed에 의해 Table로부터 40~60mm 상승하여 가동하므로 다음과 같은 문제점들이 발생되고 있었다.

- 가동시 Roller 와 Upper Casing 사이의 Seal 부분의 정렬 차이발생으로 Fresh Air 의 다량 유입
- Mill Stop시 Rubber 와 Upper Casing 사이 원석 낙출  
(9 Kg/회 × 300회/년 ≒ 2.7톤/년)
- 가동시 정렬상태 불량 및 Roller 움직임에 의한 Roller Rubber Seal 과 지지판 사이 국부적인 마찰로 조기 마모  
('00년 실적 기준 : 29 Set/년)

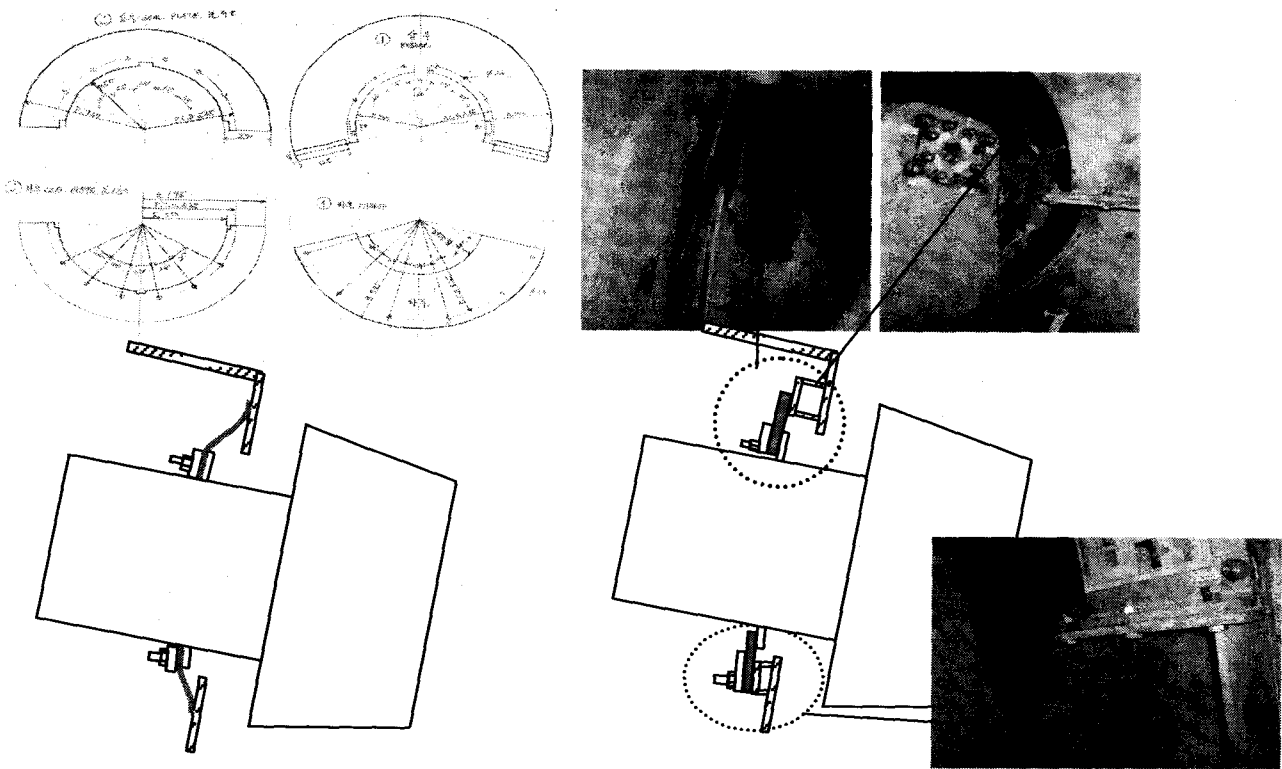


<그림 11> Roller Rubber 파공 사진

따라서 자주개선을 통하여 다음과 같이 Rubber Seal을 개선 하였으며 개조 결과, Roller rubber seal 과 Upper Casing 사이 접촉면적을 확대시켜 Fresh Air 유입을 최소화하였고 가동시 Alignment 개선으로 국부적인 마찰을 없애 조기마모 방지로 Rubber Seal의 수명을 3배이상 연장(1.7개월 → 6개월) 시켰으며 고가의 Ceramic Ball Rubber 재질 (4백만원/Set)에서 철심 Rubber 재질(20만원/Set)로 개선 할 수 있었고 하루 Rubber seal의 고정부를 Upper Casing으로 변경하여 원료 낱 방지에 의한 원료낙출을 100% 방지하였다.



<그림 12> Roller Rubber Sheet 정렬 상태



<그림 13> 개조 전후 Roller Rubber Seal

<표 12> Rubber Seal 개조 전후 비교

구 분		전	후	비 고
Upper Casing 조절판		무	유	Rubber Seal의 Alignment를 Roller Down시에서 정상 가동기준(Bed 50mm)으로 Setting
Rubber Size	상부	180도	210도	Roller 부와 Rubber의 밀착을 개선을 위해 보조 지지판 설치
	하부	180도	150도	
고정위치	상부	Roller측	Roller측	하부 Rubber Seal측고정부를 Upper Casing 상부에 설치하여 원석 체류 방지
	하부	Roller측	Body측	

<표 13> 설비 개조 결과 비교

	개선 전	개선 후	대 비	비 고
단위생산(T/H)	416	421	↑5	
전력원단위(Kw/T))	21.42	19.94	↓1.48	
도급비(백만원/년)	116	1.6	↓114.4	Rubber Seal 재료비 기준

※ Fresh Air의 유입량은 60%이상 감소하였을 것으로 추정되나 정확한 측정방법이 없어 생략함.  
개조 전후 1개월('00.11월, '01.2월) 가동기준

#### 4-5. Center Cone 설치로 원료 Bed 형성 개선

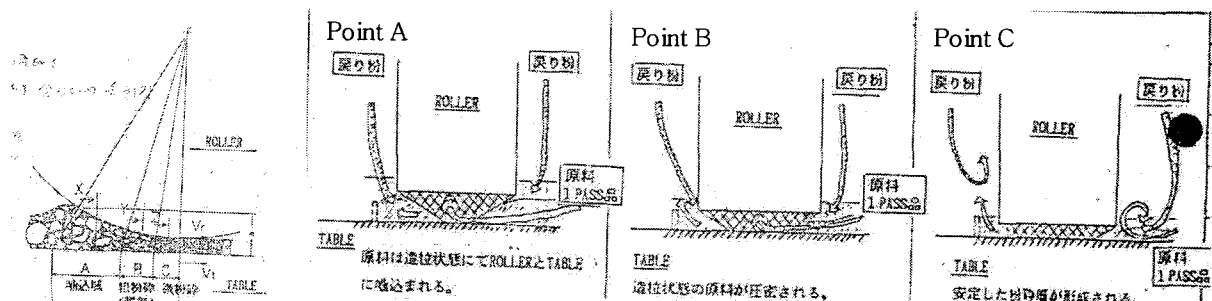
Roller Mill은 Roller와 Table 사이에 Bed를 형성하고 있는 원료가 Roller의 가압에 의해 압착과 전단응력에 의해 분쇄되고, 원료 상호간의 위치 이동시 마찰에 의해 Grinding이 이루어진다. 따라서 최적의 생산성을 위해서는 충분히 높은 분쇄 압력, 충분한 접촉 포인트와 입자간의 접촉면적, 충분한 입자 상호간의 이동가능성의 조건이 갖추어 질 때 생산성은 증대된다.

그러나 당사에 설치되어 있는 N-1R/M은 '92년 NSP 과정에서 Mill Line은 LM 45.40이나 Roller Tyre만 LM48 Model Size로 선정하여 Mill내부 Dimension 대비 Roller Size가 커서 보조 Cylinder로 Roller를 Up 할 때 걸림

현상이 발생, Mill 설계시 Center Cone을 제외, 실제 설치시에도 Center Cone 없이 설치하였다.

Center Cone이 없기 때문에 원료 Chute 끝단 부가 Table로부터 2.8m 상부에 위치하게 되어 가동시 투입되는 원료의 성장, 기류의 변화, 수분의 정도에 영향을 받아

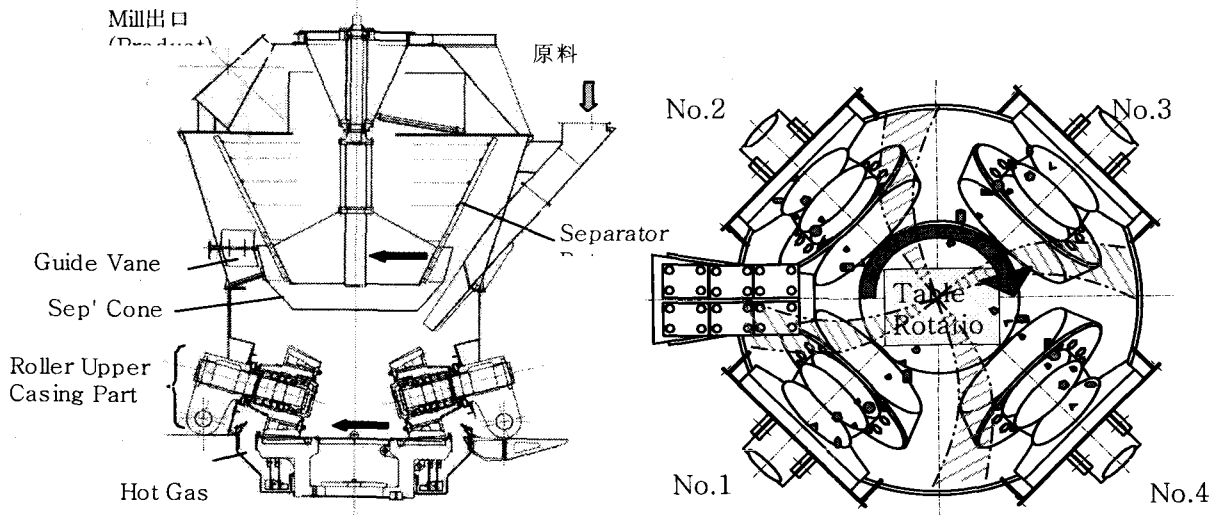
- 낙하속도 및 관성력 차이에 의한 입도 분리
- 낙하하는 원료의 속도와 Table의 회전에 의해 텅김 현상으로 Bed 형성 불량
- 낙하하는 원료의 관성에 의해 3번과 4번 Roller 사이에 집중적으로 투입되어 #1,4번 Roller에 부하 편중 현상 발생.



- Point A : 원료가 조립상태로 Roller 와 Table사이로 유입된다.
- Point B : 조립상태의 원료가 압축, 밀착된다.
- Point C : 안정된 분쇄층이 형성된다.

<그림 14> Roller Mill 분쇄 진전도, UBE사 자료





<그림 15> Roller Mill 내부 구조도

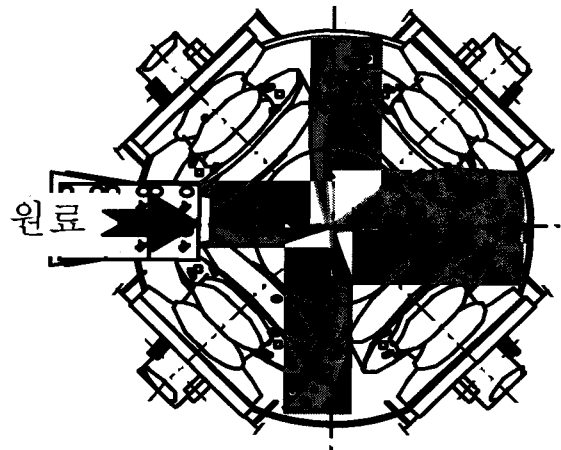
진동 수준이 50~80 $\mu$ m으로 높게 유지되고 200  $\mu$ m이상의 진동으로 Roller Up, Main Motor Trip 등 생산성 향상에 저해 요인으로 작용하였다.

상기의 문제점을 해결하기 위해 <그림 15>와 같이 Center Cone의 형태를 8각형의 형태를 갖도록 설계하여 Roller up 시에도 간섭받지 않고 정상작동이 되도록 제작 설치하였으며 Center Cone의 높이는 영월 #3R/M의 원료의 이동속도를 고려 250mm로 설정하였다.

Center Cone 설치 후 Water Spray방식을 기존방식으로 하며(Mill 입구Chute Spray) 시운전 중 Center막힘 현상이 발생되어 Center Cone의 높이를 350mm로 Setting 후 재 시운전 결과 Chute 막힘은 개선 되었으나 ECS 순환량이 다시 증가하고 진동 폭도 증가 하였다.

Water Spray Line을 Mill입구 Chute에서 하던 것을 Center Cone 둘레에 균형되게 도포 될

수 있도록 Line을 구성하고 Center Cone 높이를 250mm로 복원 하였다.

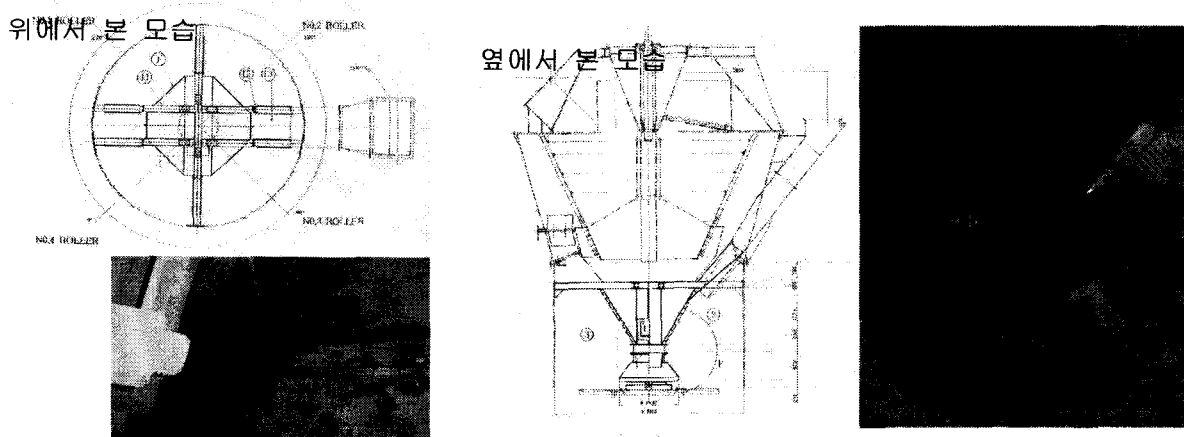


<그림 16> Mill 내부 원료 분산도

<표 14> Center Cone 설계 기준 비교

	LM40.40	N-1 R/M	비 고
Center Cone 높이/직경	180 mm/1900mm	250 mm/1910mm	
원료 이동속도	0.12 M/S	0.12 M/S	

계산 근거 : (원료투입량 + 순환량) / 원료비중 / ( $\pi$ ×Center Cone 직경 × Center Cone 높이)



<그림 17> Center Cone 개조도, 사진

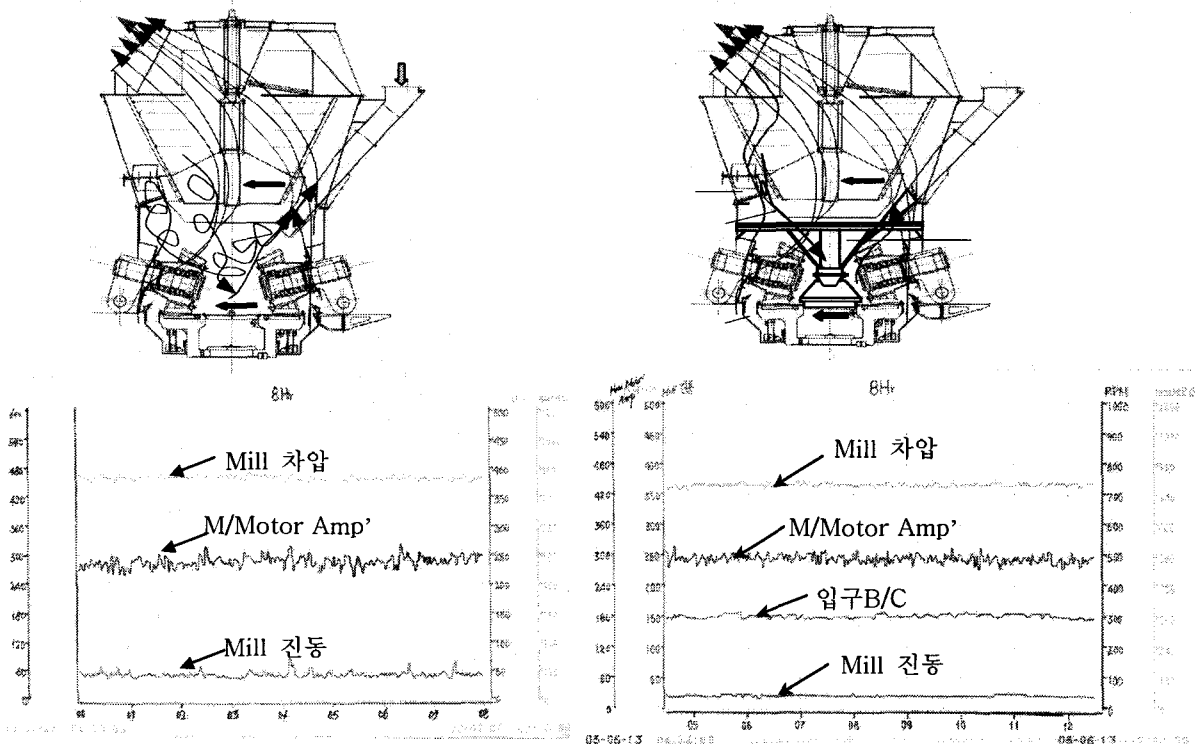
설비 개선 결과, Mill로 투입되는 원료의 방향성을 최소화하여 원료 분산효율을 개선, 4개의 Roller에 동일 수준의 부하를 부여하고 원료 Chute 끝과 Table 간의 거리를 없애 입도에 따른 분리현상을 방지, 분쇄 효율을 개선할 수 있었고 Water Spray의 균일성을 보완하여 Bed 형성의 안정성을 갖추게 되었다.

	개조전	개조후	대비	비고
단위생산 (T/H)	408	425	↑ 17	
전력원단위 (Kw/T)	19.20	18.94	↓ 0.26	
진동 (μm)	50	25	↓ 25	

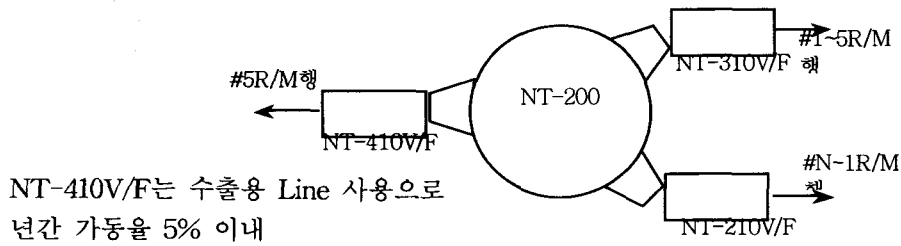
\* 개조 전후 1개월('02.8월, '02.10월) 가동 기준

개조전('02.7월)

개조후('03.6월)



<그림 18> 개조 전후 Data 및 Mill 운전 Trend



NT-410V/F는 수출용 Line 사용으로  
 연간 가동을 5% 이내

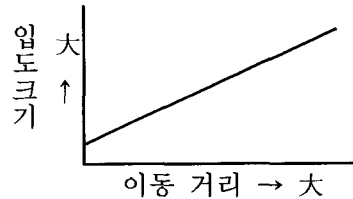
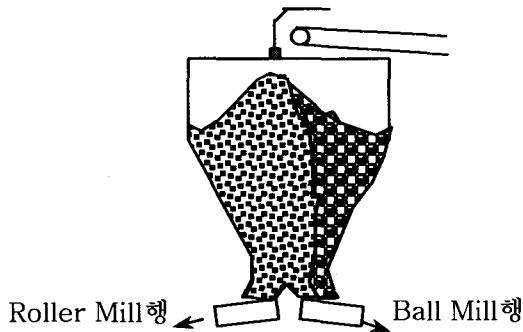
<그림 19> NT-200 Hopper 하부 인출 Line

4-6. 석회석 공급 입도 개선(NT-200 Hop')

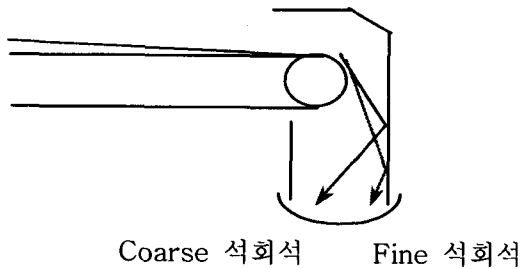
<그림 19>에서 볼 수 있는 NT-200 Hopper  
 는 PBY(Pre-blending yard)에서 인출한 석회석  
 을 각 R/M로 분배하여 공급하는 Cushion Bin  
 기능을 수행한다.

석회석을 투입 Level에 따라 Hopper 내부에서  
 입도분리 현상이 발생하게 되는데 Ball Mill로

공급하는 석회석 사용량이 Roller Mill 대비 많  
 아 항상 상대적으로 낮은 Level을 유지하고 있  
 고 낙하지점으로부터 거리도 멀어 상대적으로  
 유동성이 좋은 Oversize가 Ball Mill로 투입되고  
 Undersize가 Roller mill에 집중 투입되어 Ball  
 Mill에서는 분쇄불량, Roller Mill에서는 진동 증  
 가로 생산성이 저하되고 있음.



<그림 20> NT-200 Hop 석회석 입도분포 추정도



<그림 21> NT-200 공급 B/C 석회석 적재 현상

NT-200 Hop'로 석회석을 이송과정에서 B/C의 연결이 직각으로 구성되어 있어 석회석과 후단 Belt의 이동 방향의 차이와 Coarse 석회석과 Fine 석회석의 관성의 차이가 석회석의 입도 분리를 일으켜 <그림 21>과 같이 NT-200 Hopper에 공급하게 된다.

Hopper 내부에서 원석의 입도분리를 막을 수 없는 상황에서 Roller Mill의 원석요구 조건과 Ball Mill의 원석요구 조건이 차이가 있으므로 석회석의 입도분리를 가장 유리한 방향으로 유도하기 위해서 다음과 같이 개조하였다.

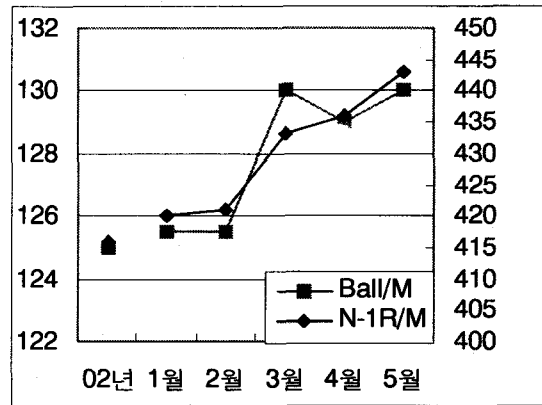
<표 15> Mill Type별 원석 최적 입도분포 요구사항

Roller Mill	상대적 대석을 양호하게 처리할 수 있으며 Coarse Size 최적 분쇄와 Fine Size의 적절한 분포가 분쇄성 향상에 유리 <문헌참고 : Holderbank Roller Mill 생산성 과 원료 입도 관계 >
Ball Mill	Over size 석회석의 비율이 낮을수록 유리

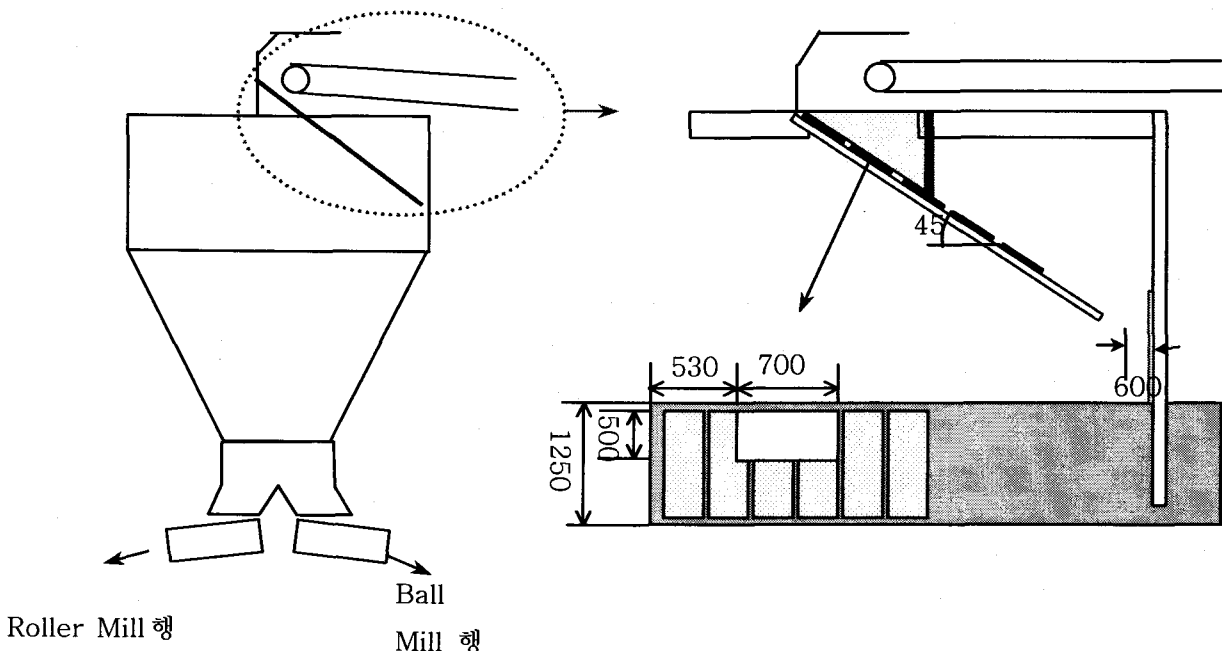
NT-200 Hop'로 투입되는 원석의 낙하지점을 개선 후 공급입도를 분석한 결과 <표 16>과 같이 당초 목적에 부합하는 결과를 얻을 수 있었으며 동일한 공급조건에서 Mill 특성에 맞는 입도의 분리공급으로 단위생산 증대를 가져올 수 있었음.

<표 16> 석회석 입도 측정 결과

	개선 전	개선 후	대 비
Ball Mill	32%	18%	▽14%
Roller Mill	21%	37%	▲16%



<그림 23> Mill 단위생산 Trend



<그림 22> NT-200 Hopper Chute 개조도

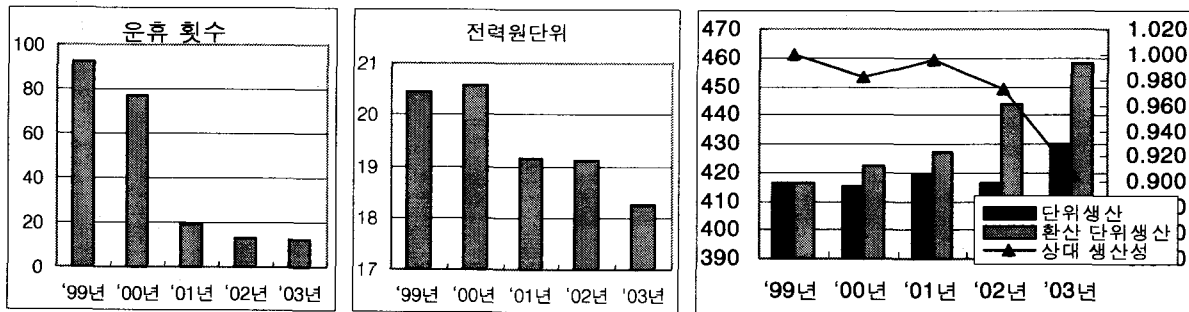
### 5. 설비개선 결과 종합

이상과 같이 '01년부터 원료 공급 Line에서 분쇄공정까지 고질적인 문제점들을 개선한 결과 운휴횟수가 획기적으로 감소하였으며 석회석 피분쇄성 저하에도 불구하고 공정안정화와 공운전

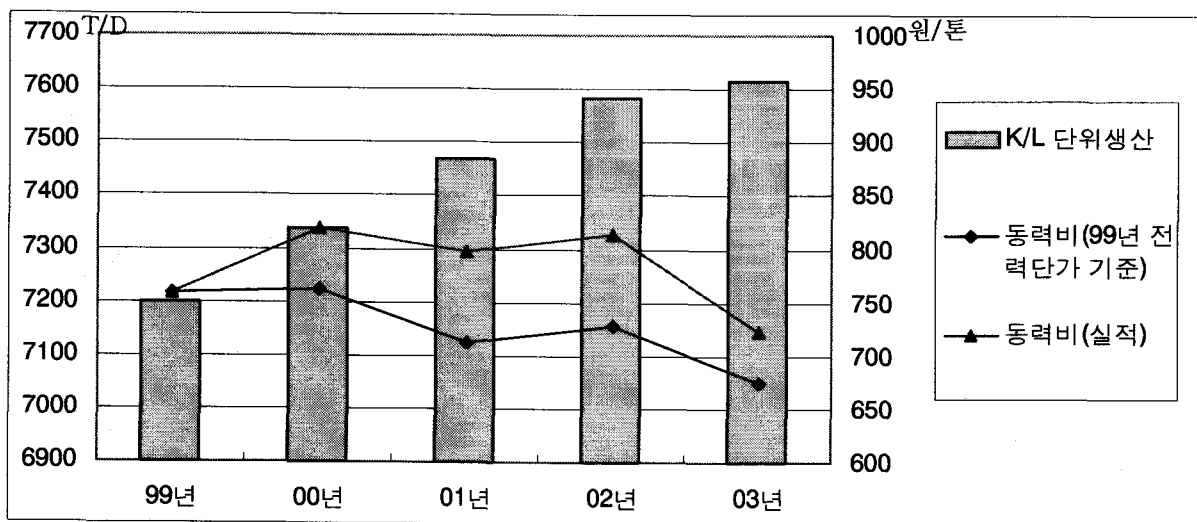
Loss 감소를 통한 생산성 향상으로 K/L원료를 안정적으로 공급할 수 있었을 뿐만 아니라 저효율 설비(Ball Mill)의 가동을 감소 및 부하대 관리향상으로 동력비를 저감 할 수 있었다.

<표 17, 그림 24> Roller Mill 운휴/원단위

	'99년	'00년	'01년	'02년	'03. 1~5월	대비	
						'99년	'00년
운휴 횟수(회/년)	92	77	19	13	5(12)	▼80	▼65
단위생산(T/H)	416	415	419	416	430	▲14	▲15
전력원단위(Kwh/T)	20.44	20.58	19.14	19.11	18.48	▼1.96	▼2.10



※ 환산 단위생산 : '99년 원석의 공급입도, 피분쇄성을 기준으로 환산한 수치임.

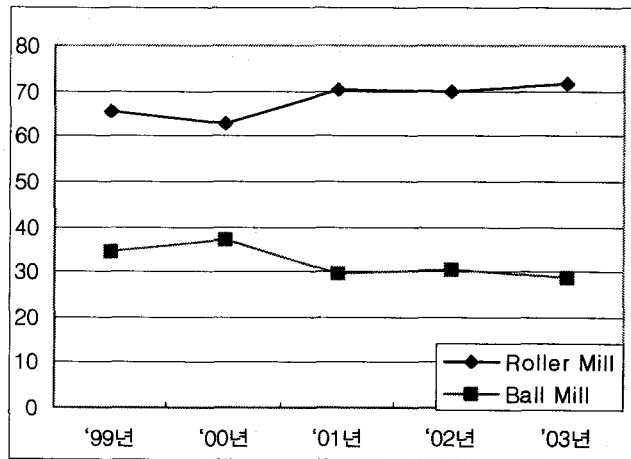


<그림 25> K/L 단위생산 vs. 원료분쇄 동력비

<표 18, 그림 26> 호기별 #1 K/L 원료 공복 비율

(단위 : %)

	99년	00년	01년	02년	03년 1~5월
Roller Mill	65.5	62.9	70.2	69.7	71.4
Ball Mill	34.5	37.1	29.8	30.3	28.6



## 6. 향후방향

지금까지는 원료의 공급여건의 악화로 Mill 공정 Line 또는 설비의 불합리를 도출, 개선하여 생산성을 향상 시켰으며 수송 Line의 한계에 도달, 대규모 설비 투자 없이는 추가적인 생산성 향상을 도모할 수 없는 상황에 도달 하였다.

따라서 향후에는 생산성 향상 보다는 추가적인 제조원가를 저감 할 수 있는 폐주물사, F/A, Jarosite 등 Recycle 자원을 안정적으로 사용할 수 있도록 공정/설비를 보완하여 품질을 안정시키고, 잔사 하향 관리 등 품질의 개선을 통해 후단 공정의 생산성을 향상 할 수 있도록 설비개선을 추진하고자 함.