

Coal mill 시운전 결과 분석

항 용 북

〈 星信洋灰工業(株) 丹陽工場 〉

1. 서 언

당사는 연료 다소비 업체로서 70년대 말의 원유가격의 상승으로 인한 제조원가 상승을 벗어나고자 기존 cement mill 1기를 coal mill로 개조 운전하였다.

그러나 무리한 시설 개조로 여러번의 화재와 폭발 사고를 야기하였고 clinker 분쇄 용량의 감소 현상을 타개하기 위하여

25 t/h의 coal mill 2기를 Pol.사의 기술 협조 아래 82년 4월에 성능보증 시험을 마치게 되었다.

이곳에서는 coal mill의 시설 전반에 대한 약술과 성능보증시험 과정에서의 운전조건 변경과 설비 개조 사항을 기술하고자 한다.



2. 본 론

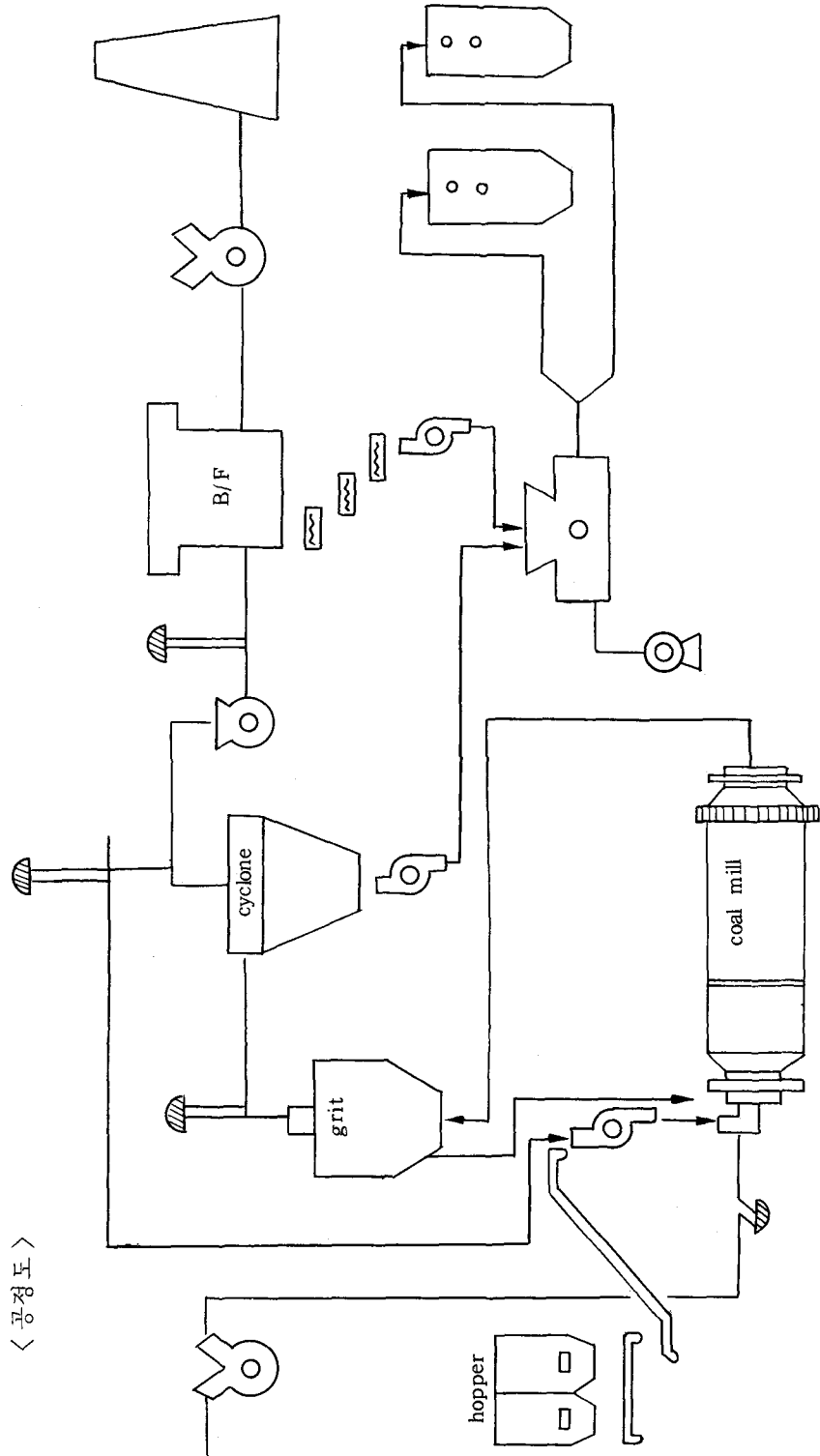
가. 공 정 도

(다음 페이지 참조)

나. 공 정 개 요

치장에 저장된 raw coal은 천정 crane에 의해서 4기 hopper에 투입된다. 투입된 raw coal은 extractor로 remote control 되어 긴 B/C를 통하여 분쇄기에 투입된다.

Mill에서 분쇄된 coal은 grit separator에서 정, 조분으로 분리되어 조분은 mill로 return 되고 정분은 cyclone과 B/F에서 포집되어 kynionpump로 coal bin에 수송되는 공정이다.



< 공정도 >

Item No.	Description	Spec.	Remarks
SC02	Extractor	Output: 0~35t/H	3.5Kw D.C. motor
SC04	B/C	Speed: 0.2m/sec.	
SC05	B/C	Speed: 1.2m/sec.	
SD01	Celluler Feeder	Output: 64m ³ /h	
SD01	Preheating Air fan	Output: 1500m ³ /h	
SD02	Mill 3.2mx6.5m	Output: 25T/H Speed: 18 r.p.m. filling: 29%	46 Ton
	Neck Bearing (1500x400)	Oil flow Amount: 45ℓ/min High pressure pump max pressure: 500 bars	
SD05	Mill Drive unit	Girth Gear: 400m/m 166teeth Pinion Gear: 400m/m 21teeth	Mill Main motor 670Kw 1184 r.p.m.
SD05	Dedusting	Content of dust out let Mill : 400g/Nm ³ Content of dust outlet Cyclone : 40g/Nm ³ Static Separator: 3m Cyclone: 3.75m	
SD07	Celluler feeder under Cyclone	Output: 46m ³ /h	
SD08	Mill I.D.F.	Output: D5,000m ³ /h	Motor: 250Kw
SD09		Static pressure: 650mmwg.	
SD09	Bag Filter	Air volume: 75,000m ³ /h Particle size: 44μ/% under Filter bag Media: Polyester felt Size: 156x3,000 Type: Cylindrical	
SD10	B/F I.D.F.	Output: 75,000m ³ /h	Motor: 110Kw
SD13	Hot Gas fan		Motor: 110Kw
SG02	Fuller Kynion pump	Output: 30T/h Air output: 1670m ³ /h Speed 900 r.p.m.	
SG04	Air comp	Output: 1,670 m ³ /h Pressure: 2.2 bars	

라. 설비 특기 사항

1) Raw coal 의 잡철

Raw coal 속에는 대석, 철판, 나무조각 비닐포대 등이 혼입되어 cellular feeder 를 차단시키거나 mill outlet pressure 를 급증시킨다.

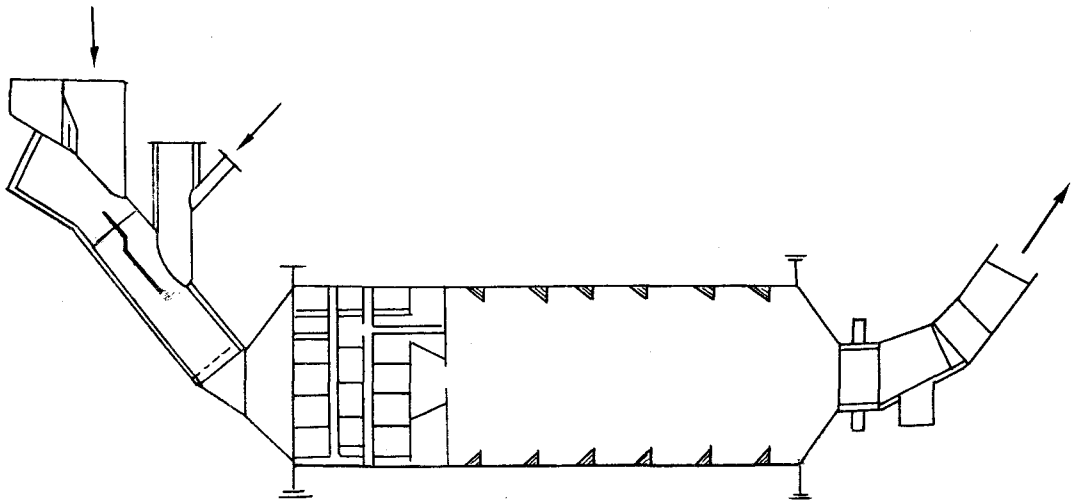
Coal hopper 상부에 110 m/m간격의 screen 과 짧은 B/C 하부 chute 에 60 m/m간격으로 screen 을 설치하였다.

2) Cellular feeder gate 의 차단

수분을 다량 함유한 raw coal 이 뭉쳐지거나 raw coal 자체의 점착성으로 gate 가 차단됨을 방지키 위해 preheating air fan 을 설치하여 hot gas를 rotor 중심부로 통과 시킴으로써 간접적으로 gate 벽을 가열시켜 gate가 차단되는 현상을 방지하였다.

3) Mill 입출구 (<그림-1>)

Mill 입 출구는 gas가 다량 흐르도록 설계하였고 원탄이 쉽게 미끄러져 내려 가도록 inlet box가 있고 mill 출구 elbow 는 ball 이 되돌아 가도록 제작되었다.

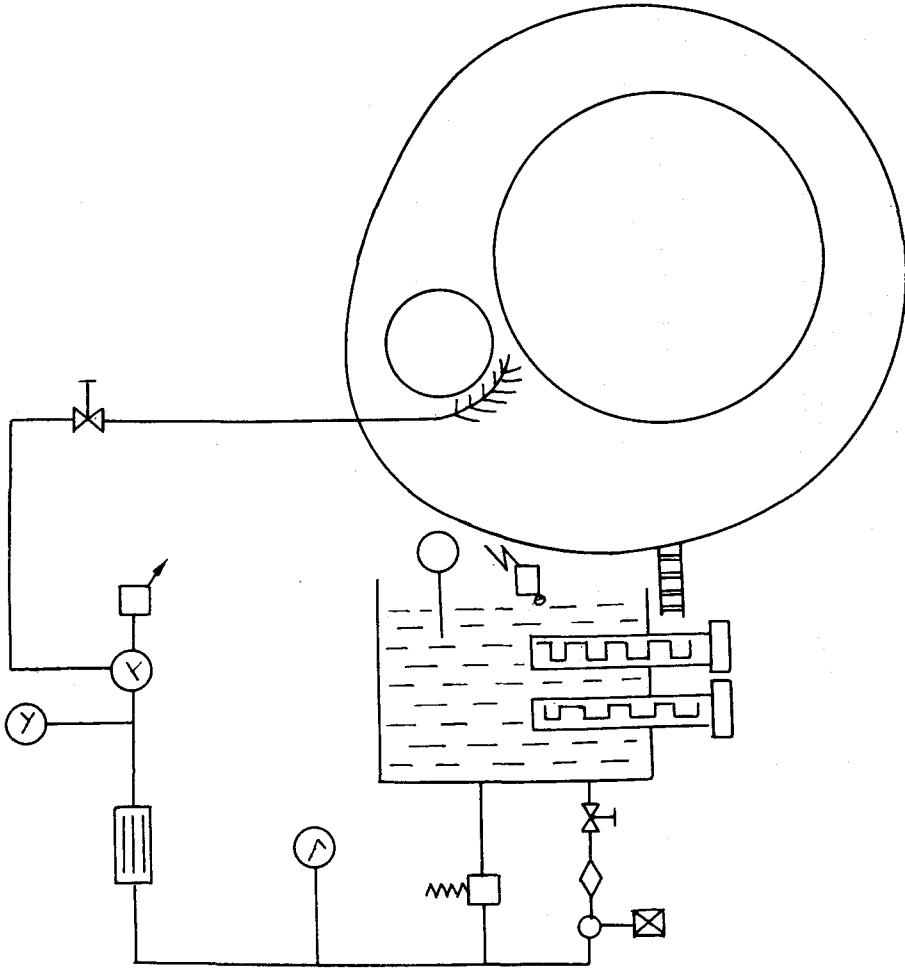


<그림-1> Mill 입출구

4) Girth gear 윤활 (<그림-2>)

Girth gear 와 pinion 의 윤활은 lube oil 로 행하여 진다.

Oil 은 girth gear 와 pinion gear 를 동시에 spray 하여 dia. 2.8 m/m spray nozzle



〈그림-2〉 Girth gear 운할

을 사용하며 oil cooler, oil heater, oil level indicator, 고압 pump가 설치되어 적정 유온, 유량 및 압력을 유지시킨다.

5) Bag filter

Bag filter air pulse type 이며 bag 은 방전용 부직포를 사용하고 있다. Cylinder 형 bag 에 부착된 미분탄은 각 chamber 별로 주기적으로 5 kg/cm^2 의 압축 공기로 pulse 하여 F-K pump 로 이송시킨다.

6) Coal mill 의 안정도

Coal mill 폭발의 요인은 미분탄의 농도 건조함량 온도로 요약할 수 있다.

6 시멘트 심포지움

유연탄 분쇄는 불활성 분위기(산소함량 14%, 온도 65℃ 이하)에서 분쇄가 이루어져야 하며 폭발시 압력이 대기중으로 빠져 나갈수 있어야 한다.

운휴시에 불활성 상태를 점검하는 것은 불가능하므로 운전중에 O₂ 함량, 온도, CO 함량으로 불활성 상태를 점검해야 한다.

폭발에 대비하여 모든 기체는 내압력 총격으로 설계되어 있으며, 압력 방출변이 설치되어 폭발시 방폭변의 파열막이 압력파에 의해서 폭발되어 압력을 방출한다.

방폭변 설치 장소는 mill inlet, cyclone, B/F grit separator, F-K pump 이다.

각 part 별로 N₂ gas line을 설치하여 화재와 소폭발에 대비하였다.

Gas dust 의 각을 급격화 하여 미분탄이 퇴적되는 것을 최대한으로 방지하였다. gas 의 압력과 온도는 자동조절이 가능하다.

Mill입 출구 차압에 의해서 coal feeding 이 자동 조정되며 mill 출구 온도에 따라 hot gas fan damper가 조정되고 B/F 입구 압력에 따라 순환 damper가 조정된다.

B/F 의 각실 cyclone grit separator 등 각 설비의 압력 온도가 setting 치를 상회하면 alam trip 이 되게 되며 비정상적인 정전으로 기체가 all stop 될 때 도 각 fan damper는 자동으로 close 된다.

마. 시운전 과정

1) 성능 보증 조건

- Capacity - 25 t/h
- Fineness - 12% R 4900 mesh/cm²
- Final Moisture - less than 1%
- Mill main motor power - 24.4 kwh/t - coal

2) 운전 조건 변경에 따른 변화

가. Fresh air damper 조작

	0%	15	30	45	60	100	비 고
t/h	22	22	22	22	22	22	
Cyclone Sieve	14.1	14.0	14.0	14.5	15.1	15.0	
B/F 출구 O ₂ Content	10	11	11.2	11.7	13.2	14.0	
Mill I. D. F Damper	14	16	16	20	20	23	

• Fresh air damper 조작은 생산량과 분말도에는 무관

• Damper open 시킴에 따라 B/F O₂ 함량이 증가하므로 가끔씩 열지 않는 것이 좋다

나. Mill I.D.F damper 변경에 따른 운전상태

	10	15	20	25	45
t/h	19.5	22.3	23	25.9	22.0
Cyclone sieve	14.5	15.4	16.4	19.1	24.3
B/F I. D. F Damper	20	29	32	89	90
Gas volume	35,000		54,600		65,000
Mill 출구 pressure	-210	-210	-230	-230	-340
Cyclone pressure	-42	-42	-50	-80	-80

- Mill I. D. F damper의 open에 따라 생산량은 증가하나 어느 선 이상 증가시 적정 분말도를 유지 시킬수 없다.
- Damper는 생산량에 맞추어 적정선을 유지시켜야 한다.

다. Recirculation damper 조작에 따른 운전 상태

	%	10	35	100
t/h		20.8	19.5	19.4
Sieve		16.8	14.5	16.4
Hot gas damper		3	5	10

- Damper의 조작은 mill 출구 온도의 조정에 사용된다.

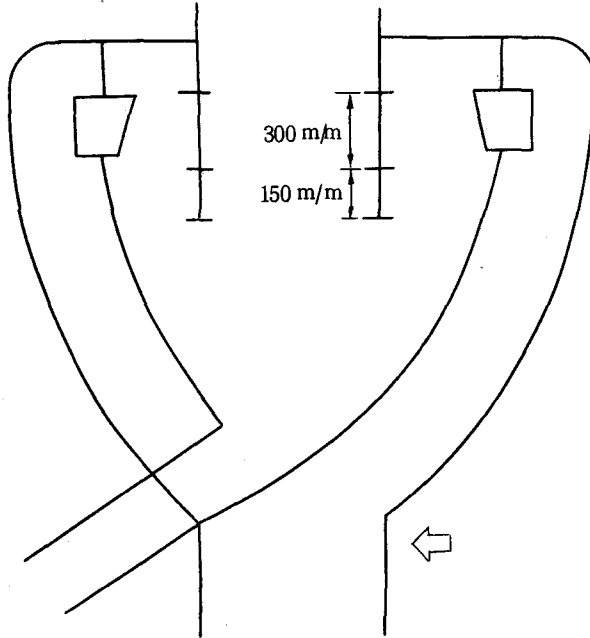
라. Mill 출구 온도 변경에 따른 운전 상태

	℃	75	80	85	비 고
t/h		20	20	20.5	
Sieve		16.8	14.5	15.4	
Hot gas damper		5	5	10	
Mill I. D. F damper		10	10	15	
B/F Temp		82	84	90	
Mill 입구 Temp		220	230	260	

- Mill 출구 온도의 상승은 생산량 분말도와 무관하며,
- 온도 상승으로 화재의 위험성을 증가시킬 수 있다.

3) 설비 개조에 따른 운전 현황

가. Grit separator 내통 300 m/m 연장 <<그림-3>>



<그림-3> Grit Sep. 내통연장

	개조전	개조후	비 고
t / h	19.4	22.5	
Sieve	17.3	15	
Mill I. D. F damper	9	15	
B/F I. D. F damper	20	28	
Hot gas damper	3	10	
Grit sep. vane	No. 2	No. 3	full open No. 24

- Grit sep 내통 연장으로 생산량은 증가 시켰으나 성능 보증의 수준에는 미달 하였고,
- Grit sep vane 을 예상대로 open 시키지 못했다.

나. Grit separator 내통 150 m/m 재연장 <<그림-3>>

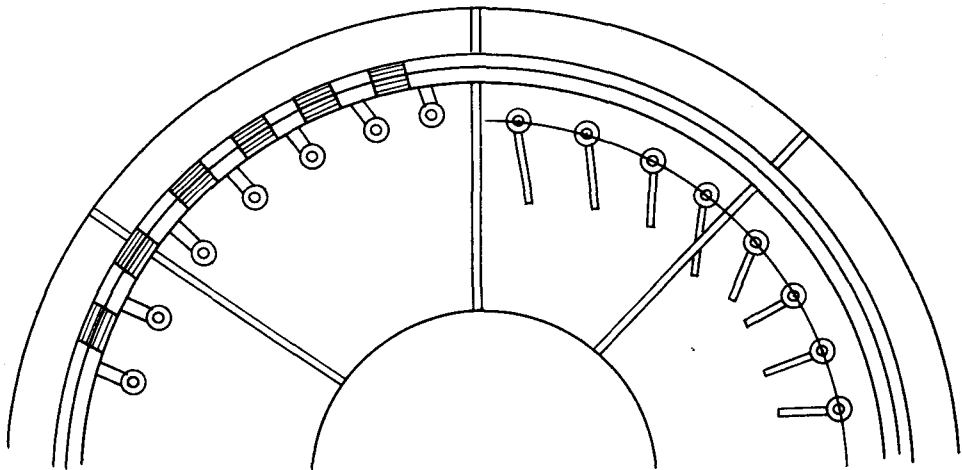
	개조전	개조후	비 고
t / h	22.5	22.4	
Sieve	15	15.1	
Mill I. D. F damper	15	15	
B/F I. D. F damper	28	32	
Hot gas damper	10	10	
Grit sep vane	No. 3	No. 4	

• 내통 150m/m 재 연장시키는 시도에서는 뚜렷한 개선 효과를 얻지 못했다.

다. Grit separator 내부 ring 부착 (80 × 10) (<그림-4>)

	개조전	개조후	비 고
t/h	22	25.4	
Sieve	15.1	11.8	
Mill I. D. F damper	15	20	
B/F I. D. F damper	32	30	
Hot gas damper	10	13	
Grit sep vane	No. 4	No. 13	

• Grit sep 내부 ring 부착으로 grit sep의 효율이 급증되어 vane을 open시킬 수 있고 이에 따라 각 I. R. F damper를 open시켜서 25 t/h 이상의 생산이 가능해졌다.



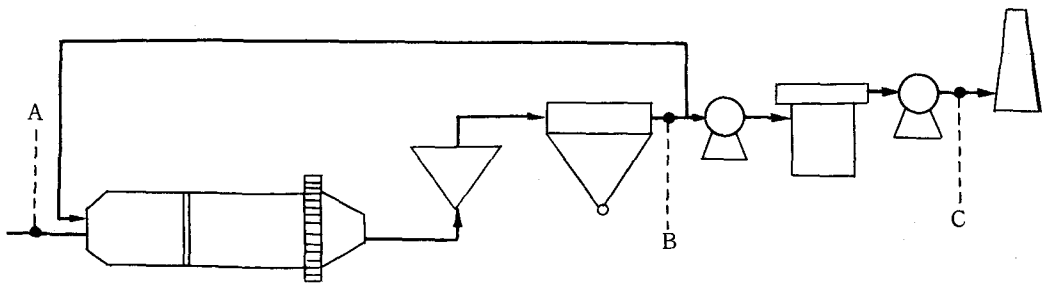
<그림-4> Grit Sep. 내부 ring 부착

4) 최적 운전 조건

- Feeding coal - 27 t/h
- Hot gas damper - 13 % open
- Fresh air damper - 0 %
- Mill I. D. F damper - 20 % open
- Recirculation damper - 100 % open
- B/F I. D. F damper - 30 % open

- Hot gas temp - 260 °C
- Mill out let temp - 85 °C
- Δp of mill pressure - 230 mmwg.
- B/F O₂ content - 10 %
- Mill I.D.F gas volumn - 54,600 Am³/h
- Mill main motor power - 650 kw
- Cyclone sieve - 12.1 %

바. Air heat balance



<측정 data>

측정 지점		Gas volume	Temp.	Pressure	Remarks
A	Hot gas	58,000 m ³ /H	240	- 20	
B	Mill 출구	56,700 "	85	- 290	
C	B/F 출구	44,000 "	80	- 50	

- Raw coal feeding : 27 t/h
- Raw coal moisture : 8 %
- Fine coal moisture : 1.5 %
- Temp. : 20 °C

1) Air balance

측정치를 STP 상태로 환원하면

$$\text{Hot gas} : 58,000 \times \frac{273}{273+240} \times \frac{10,330-20}{10,330} = 31,000 \text{ Nm}^3/\text{h}$$

$$\text{Mill 출구} : 56,700 \times \frac{273}{273+85} \times \frac{10,330-290}{10,330} = 42,000 \text{ Nm}^3/\text{h}$$

$$B/F \text{ 출구} : 44,000 \times \frac{273}{273+80} \times \frac{10,330-50}{10,330} = 34,000 \text{ Nm}^3/\text{h}$$

$$\text{Fresh air 량} : 34,000 - 31,000 = 3,000$$

$$\text{수증기 량} : 27,000 \times \frac{8-1.5}{100} \times \frac{22.4}{18} = 2,184 \text{ Nm}^3/\text{h}$$

입 열	hot gas	31,000
	fresh air	3,000
	계	34,000
출 열	B/F 출구	34,000
return air		9,000

2) Heat balance

가) 입 열

- 공기현열 : $(31,000 \times 0.311 \times 240) + (3,000 \times 0.311 \times 20)$
 $= 2,332,500 \text{ kcal/h}$
- 원탄현열 : $27,000 \times 0.28 \times 20 = 151,200 \text{ kcal/h}$
- Mill 자체발생열 : $650 \times 0.6 \times 860 = 335,400 \text{ kcal/h}$

나) 출 열

- 수증기 현열 : $(2,184 \times 0.254 \times 80) + 2,184 + 539 = 1,239,027 \text{ kcal/h}$
- 배기 gas 현열 : $(33,000 - 2,184) \times 0.311 \times 80 = 766,702 \text{ kcal/h}$
- 미분탄 현열 : $27,000 \times (1 - \frac{8-1.5}{100}) \times 0.28 \times 60 = 424,116 \text{ kcal/h}$
- 기타 방산열

입 열	공 기 현 열	2,332,500
	원 탄 현 열	151,200
	mill 자체발생열	335,400
	계	2,819,100
출 열	수 증 기 현 열	1,239,027
	배 기 gas 현 열	766,702
	미 분 탄 현 열	424,116
	기 타	389,255
	계	2,819,100

사. Steel ball

1) 최대 ball size 결정

$$B = (F/K)^{\frac{1}{2}}(SW/100 Cs\sqrt{D})^{\frac{1}{3}}$$

B : 최대 ball size (inch)

F : 80 % 통과한 원료의 크기 (7,491 μ)

K : 상수 (335)

S : 비중 (1.63)

W : work index (11.37)

Cs : 입체 회전 비율 (0.71)

D : mill 유효 내경 (9,174 feet)

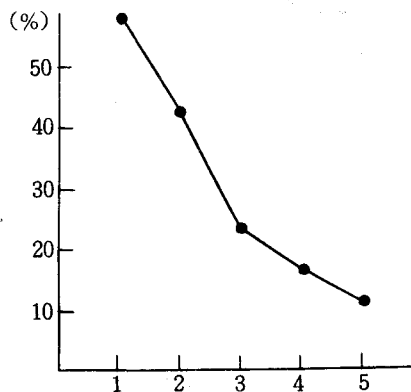
$$B = \left(\frac{7,491}{335}\right)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{1.67 \times 11.37}{100 \times 0.71 \times \sqrt{9,174}}\right)^{\frac{1}{3}} \times 2.54 = 53 \text{ mm} \approx 60 \text{ mm}$$

Pol.사 spec., steel ball 재고를 감안하여 다음과 같이 steel ball 을 투입하였다.

Size	Spec.	실 제	비 고
60 ϕ	7	6.4	
50 ϕ	13.5	14	
40 ϕ	13.5	12	
30 ϕ	12	11.6	
25 ϕ	-	6	
Total	46	50.9	

3) Mill 내부 sieve test

Sampling 지점	Sieve
1 m	58.8 %
2 m	43.7 %
3 m	23.8 %
4 m	16.6 %
5 m	10.4 %



- Mill 내부 sieve test 결과 강구 배열은 양호하며,
- 강구는 Hi-Cr 강구를 사용하였고,
- 충전율은 26.1%이며,
- Steel ball 마모량은 미분탄 수급 사정으로 정확한 검량을 실시치 못하였지만 문헌과 기존 coal mill 마모량을 감안하여 150 gr/t -coal로 추정하고 있다.

아. 전력 원단위 (Mill main motor)

- mill main motor countor : 15,855 kw/h
- Feeding coal : 622 m/t
- Feeding coal moisture : 7.8 %
- Fine coal : $662 \times (1 - 0.078) = 610 \text{ t/h}$
- Mill main motor 전력 원단위
 $15,855 \div 610 = 26 \text{ kwh/t -coal}$
- 성능 보증치인 24.4 kwh/t -coal 를 상회하는 이유는 시운전 과정에서 spec 치를 상회하는 강구 투입으로 인한 현상으로 생각된다.

3. 결 론

83년 1월 시운전을 시작한 이래 수차에 걸친 steel ball 재배열, grit separator 개조 등을 거쳐 83년 4월 성공리에 성능 보증 시험을 마친 결과 생산량은 보증치를 상회하고 있지만 mill main motor power 는 미달 되었다.

앞으로 전력 원단위를 down 시키기 위한 노력을 경주하여야 할 것이며 유연탄 공급 가격의 상승 등을 대비하여 연료 대체와 그 연구가 이루어져야 할 것이다.