

# 4호 R/M 운전조건 및 방법 개선으로 생산효율 향상

도규문·이승용·육천수\*

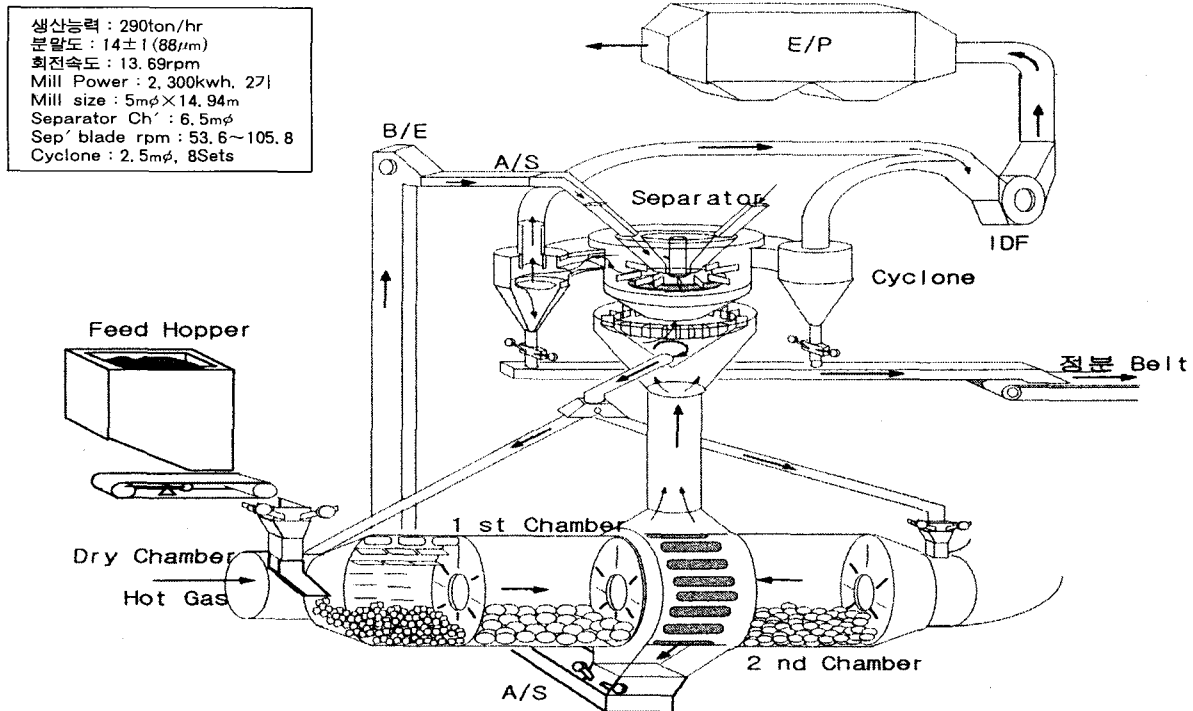
〈성신양회 단양공장〉

## 1. 서 론

성신양회(주) 단양공장 4호 R/M은 1985년 MHI(사)에서 공급된 분쇄기로 Center Discharge Type Mill에 분급과 포집이 하나의 System(Dual separator)으로 구성된 일체형 Mill이다. 본 설비는 종전의 Turbo Sep' Type Mill보다 압력손실과 에너지 소비가 작고, 분쇄·분급 효율이 우수하며 운전과 유지보수가 용이한 장점이 있다. 그러나 에너지 절감보다는 생산성 증대 측면에서만

Mill이 운전되어 왔다. 따라서 Mill의 생산성 향상은 물론 에너지 절감을 위해 운전 Data를 저장·분석하고, 이를 분석한 결과 분쇄 및 분급 효율과 에너지 저소비 측면에서, 운전공의 운전 방법과 석회석의 입도에 따라 상이한 결과를 얻을 수 있었다. 따라서 석회석의 입도와 운전에 관련된 운전경향을 Panel에서 운전공이 변화를 주고 최적의 운전조건을 분석 및 Data화 하여 능동적으로 적용함으로써 효율적인 설비관리와 에너지 소비를 줄일 수 있는 계기를 마련하였다.

## 2. 설비 현황(공정도)



〈그림 1〉 4호 R/M 공정도

<표 1> 석회석 입도에 따른 운전현황

석회석 30mm↑ %	원료 투입량 t/hr	IDF Damper %	Sep' Blade rpm	Mill Sound %	Sieve 88μm %	전 력 원 단 위 (kwh/ton-R.M)					Rotor 교환시점
						B/E	Sep	IDF	Mill	Total	
1.48	289.6	85	65.13	68.8	14.4	0.33	0.38	3.72	12.41	16.84	35만톤
2.45	288.4	85	68.11	68.2	14.5	0.40	0.42	3.59	12.37	16.58	
3.69	289.3	86	68.11	70.9	14.0	0.31	0.39	3.60	12.21	16.50	
6.08	271.3	85	71.53	65.3	14.7	0.35	0.47	3.81	12.90	17.53	42만톤

### 3. 운전 결과

본 실험은 크게 두가지로 하였다.

첫째는 석회석 입도에 따른 Mill의 분쇄성 파악과, 둘째는 Mill 운전 변화에 따른 효율 측정으로 최적의 운전조건을 찾아내는데 목적을 두고 실험하였다.

#### 3-1 석회석 입도에 따른 분쇄성 분석

석회석 분류기준을 30mm Over Size를 백분율로 적용하여 Mill의 운전경향을 검토한 것으로, <표 1>은 단순히 석회석 입도에 따른 Mill에서의 분쇄성을 파악하기 위해 Mill 가동시 Sieve 관리기준인 14±1% (88μm 잔사)를 유지코자 Sep' rpm만 조정하여 운전한 Data이며 기타 요인(부원료 투입비, 함수율, 기후조건, Shell Liner 등)은 제외하였다.

30mm Over Size의 석회석이 1.48~3.69%와 6.08%로 투입될 때 Mill에서 분쇄할 수 있는 투입량은 289t/hr에서 271t/hr으로 약 20t/hr 감소되었고, Mill Sound도 69%에서 약 4% 감소한

65%가 되었다.

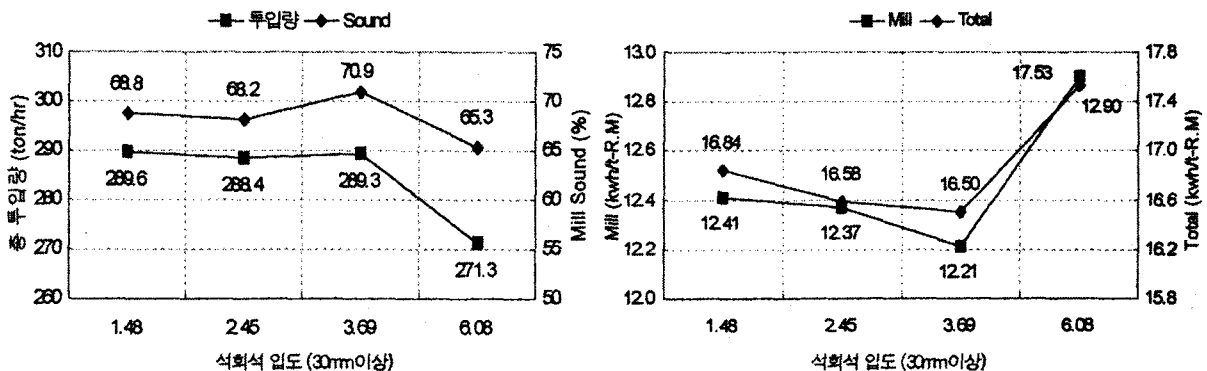
또한 Mill, Sep, IDF, B/E의 Total 전력원단위도 평균 0.89kwh/t-R.M가 증가된 17.53kwh/t-R.M로 나타났다.

<표 2>는 2000년 조쇄 및 4호 Mill Part의 전력원단위와 Rotor Hammer 교환주기를 조정(7.5회/년 → 8.6회/년) 2001년 4월 실적을 생산 목표치로 환산 비교한 Data이며, Rotor Hammer 1회 교환시기를 400,000ton에서 350,000ton으로 앞당기면, S/Crusher의 전력은 0.04kwh/t-L.S로 약간 상승하나 Mill에서 5ton/hr의 생산성 향상과 0.81kwh/t-R.M의 전력원단위가 감소되는 결과를 얻었다.

#### 3-2 R/M 운전변화에 따른 효율 측정

Mill 생산에 영향을 주는 요인들은 많이 있으나, 주요한 사항은 다음과 같다.

1. 원료의 성분, 입도, 경도, 함수율 등 원료의 요인
2. Mill 내부의 강구 충전율, Shell Liner 마모 상태 등 기계적인 요인



<그림 2> 석회석 입도에 따른 Mill 분쇄성 및 전력원단위

〈표 2〉 석회석 입도조정에 따른 효과

석 회 석 Sieve	R / Hammer 교환 주기		S / Crusher 전력 소비	Raw Mill 생산량	Raw Mill 전력 소비	비 고
30mm ↑	ton / 1 회	횟 수 / 년	kwh / t-L.S	ton / hr	kwh / t-R.M	실적 기준
4.8%	400,000	7.5회	2.13	285	17.55	2000년
3.8%	350,000	8.6회	2.17	290	16.74	2001년 4월

R / Hammer 교환 주기	작업 비용	S / Crusher 전력 소비	Raw Mill 전력 소비	Peak Time 적용 시간	비 고
ton / 회	천원 / 년	kwh / 년	kwh / 년	시간 / 월	2000년 실적치 환산적용 예상절감액 : 약 5000만원/년
400,000	39,750	6,390,000	26,594,000	35 시간	
350,000	45,580	6,510,000	25,366,000	48 시간	
차 이	-5,830	-120,000	+1,228,000	+13 시간	

3. IDF Damper 개도, Sep' rpm 조정 등의 운전형태 요인

4. Gas Flow 등 기타 부수적인 요인들이 영향을 준다.

본 측정에서는 1, 2, 4항의 요인들은 고려하지 않고 순수하게 운전공이 Panel에서 조치할 수 있는 3항의 운전방법 변화에 따른 운전방법으로 효율을 측정하여 Data를 얻었다.

특히, 기존에 계수화 되지 않은 경험치로만 운전되어 왔던 것을 IDF Damper 개도율에 따른 변화, Sep' rpm 변화, Lower Sep' Guide Vane 개도율에 따른 변화, Sep' Blade 수량변화 등 여러 측정을 통하여 최적의 운전조건을 찾는 데 주목적을 두었다.

### 3-2-1 Mill IDF Damper 개도 변화에 따른 분석

이 측정은 동일 운전조건에서 IDF Damper 개도만을 변화시켜 Mill의 분쇄성, Sieve, 원료의

흐름, 전력원단위 추이를 파악하였다.

〈표 3〉과 〈그림 3〉을 보면 IDF Damper 개도율이 높을수록 Total 전력과, 분쇄효율, Sieve는 상승한다.

Mill Sound는 개도율 73%에서 82%까지 점점 향상되었고, Sieve(88 $\mu$ m 잔사 기준) 측면에서 보면 72%에서 82%까지는 IDF Damper 개도에 따라 증가되었으나 82%에서 87%까지는 거의 영향을 미치지 못하고 단지 IDF 전력소비만 급격히 증가하여 전체적인 전력소비를 상승시킨 요인이 되었다.

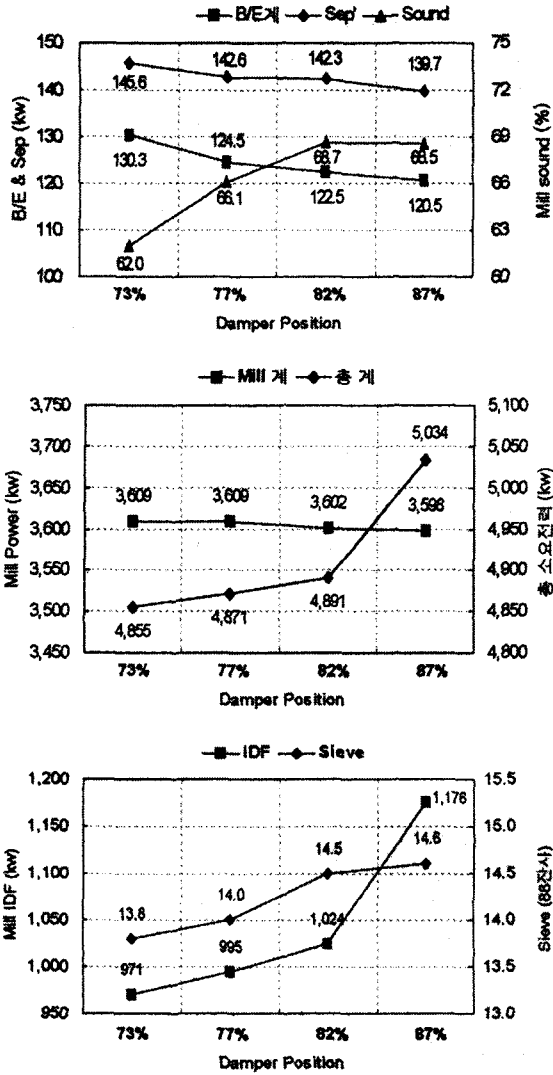
상기 측정 Data를 비교하면 IDF Damper 개도율이 증가할수록 Mill에서 원료의 체류시간이 짧아지고 Mill의 분쇄효율도 증가된다. 하지만 과도한 IDF Damper 개도 증가시 분쇄효율 감소와 Total 전력소비 증가의 결과를 가져왔다.

또한 IDF 전력소비 상승과 B/E 전력소비 감소는 분쇄된 원료중 상당량이 Gas에 혼입 이송되고 있음을 예측할 수 있다.

〈표 3〉 Mill IDF 개도율에 따른 운전변화

Damper	B/E계	Sep'	IDF	IDF	Mill	총 계	Sound	Sieve
%	Kw	Kw	A	Kw	Kw	Kw	%	88 $\mu$ m (%)
73 %	130.3	145.6	97.5	971	3,609	4,855	62.0	13.8
77 %	124.5	142.6	100.0	995	3,609	4,871	66.1	14.0
82 %	122.5	142.3	102.9	1,024	3,602	4,891	68.7	14.5
87 %	120.5	139.7	118.1	1,176	3,598	5,034	68.5	14.6

\* Mill 운전조건 : 투입량-296t/hr, Guide Vane-100% Open, Sep' Blade-15매, Sep' rpm-477



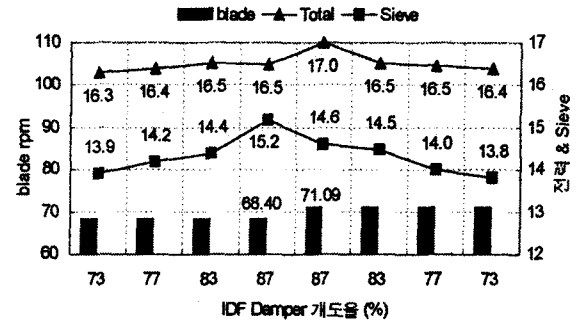
〈그림 3〉 Mill IDF 개도율에 따른 전력소비

3-2-2 Separator rpm 변화에 따른 분석

본 측정은 동일 투입량 조건에서 Sieve 조정시 Sep' rpm 조정과 IDF Damper 개도조정을 병행하여 Mill의 분쇄효율, Sieve, 전력원단위 추이를 파악하였다. 통상적으로 미분쇄된 원료의 Sieve 조정은 Sep' rpm, Blade 수량 및 길이 조절과 Guide Vane의 개도율 조정으로 수행된다.

〈표 4〉와 〈그림 4〉는 15.2% Sieve를 관리 기준치인  $14 \pm 1\%$  ( $88\mu m$  잔사)로 조정하기 위해 Sep' Blade rpm을 68.4 → 71.09 상향 조정할 때보다 IDF Damper 개도율을 87% → 83%로 낮추는 것이 Mill의 분쇄성, Sieve 조정, 전력원단위 측면에서 더욱 효과적임을 보여주고 있다. (전력원단위 0.5kw/ton-R.M 하락, 분쇄효율 4.4% 상승)

〈그림 5〉처럼 과도한 IDF Damper 증가와 Sep' Blade rpm 조정은 미분이 함유된 Gas의 흐름이 Sep' 하부 분산판으로 유도될 때 B/E에

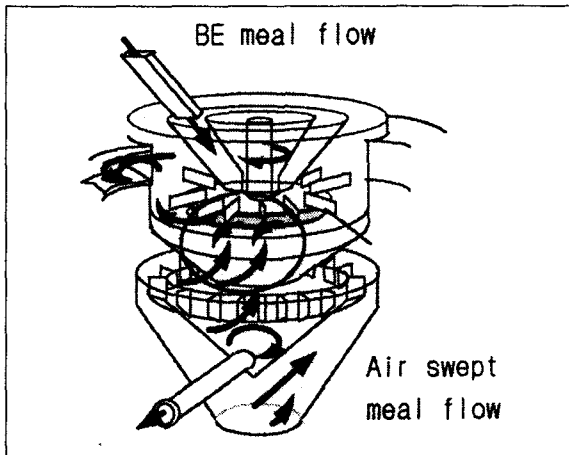


〈그림 4〉 Sep' & IDF Damper 조정시 Sieve 추이

〈표 4〉 Sep' Blade rpm & IDF Damper 변화에 따른 운전현황

조 정 법	Blade rpm	Blade 수 량	Blade 길 이	Guide Vane 개도
비 분 화	증 가	증 가	확 장	닫 음
조 분 화	감 소	감 소	축 소	열 음

투입량 t/hr	Guide %	Damper %	Blade rpm	Sound %	Sieve 88μm (%)	전 력 원 단 위 (Kwh/t-R.M)				
						B/E	Sep'	IDF	Mill	Total
296	100	73	68.40	64.1	13.9	0.44	0.45	3.30	12.12	16.31
296	100	77	68.40	65.4	14.2	0.41	0.46	3.40	12.14	16.41
296	100	83	68.40	70.0	14.4	0.39	0.43	3.58	12.12	16.52
296	100	87	68.40	72.9	15.2	0.37	0.43	3.57	12.12	16.49
296	100	87	71.09	68.5	14.6	0.41	0.47	3.97	12.16	17.01
296	100	83	71.09	68.7	14.5	0.41	0.48	3.46	12.17	16.52
296	100	77	71.09	66.1	14.0	0.42	0.48	3.36	12.19	16.46
296	100	73	71.09	62.0	13.8	0.44	0.49	3.28	12.19	16.40



<그림 5> Sep' 내부의 Gas & 원료 흐름

서 유도 분급된 조분과의 마찰로 정분의 흐름을 방해하여 정분의 재순환량이 증가됨을 예측할 수 있었다.

3-2-3 Guide Vane 개도를 변화에 따른 분석

본 실험을 동일한 Raw Mix 투입조건에서 Guide Vane 조정을 통하여 그 역할을 알아보고 IDF Damper 개도율과의 복합적인 관계를 Data 화 하고 Mill의 분쇄성과 전력원단위 추이를 살펴 보았다.

<표 5>와 <그림 6>은 IDF Damper 73%, Sep' rpm 66.17로 고정시키고 Guide Vane의 개도를 100%, 70%, 50%로 낮추었을 때 Sieve는 13.9%까지 낮아진 반면 분쇄 효율은 4.6% 하락하였다. Guide Vane과 IDF Damper 개도율의 관계를 보면 IDF Damper 개도 87%에서 77% 사이에서 Guide Vane을 70%와 50%로 변화를 주었을 경우 전력원단위, Sieve의 변화폭은 거의 없었으나 Damper 개도 73%에서 전력 변화없이 Guide Vane의 조정만으로 Sieve 조정이 가능했다.

3-2-4 Separator Blade 수량에 따른 변화

Sep' Blade 수량과 rpm에 따른 Blade 간격 (체간격)은 아래 식으로 환산할 수 있다.

$$BL = \frac{D \pi 60}{Bn^2 Rb}$$

BL : Blade 간격(mm/sec)

D : 직경

Bn : Blade 수량

Rb : Sep' Blade rpm

예) Blade 간격은

Blade 20매이고 rpm 60일 때

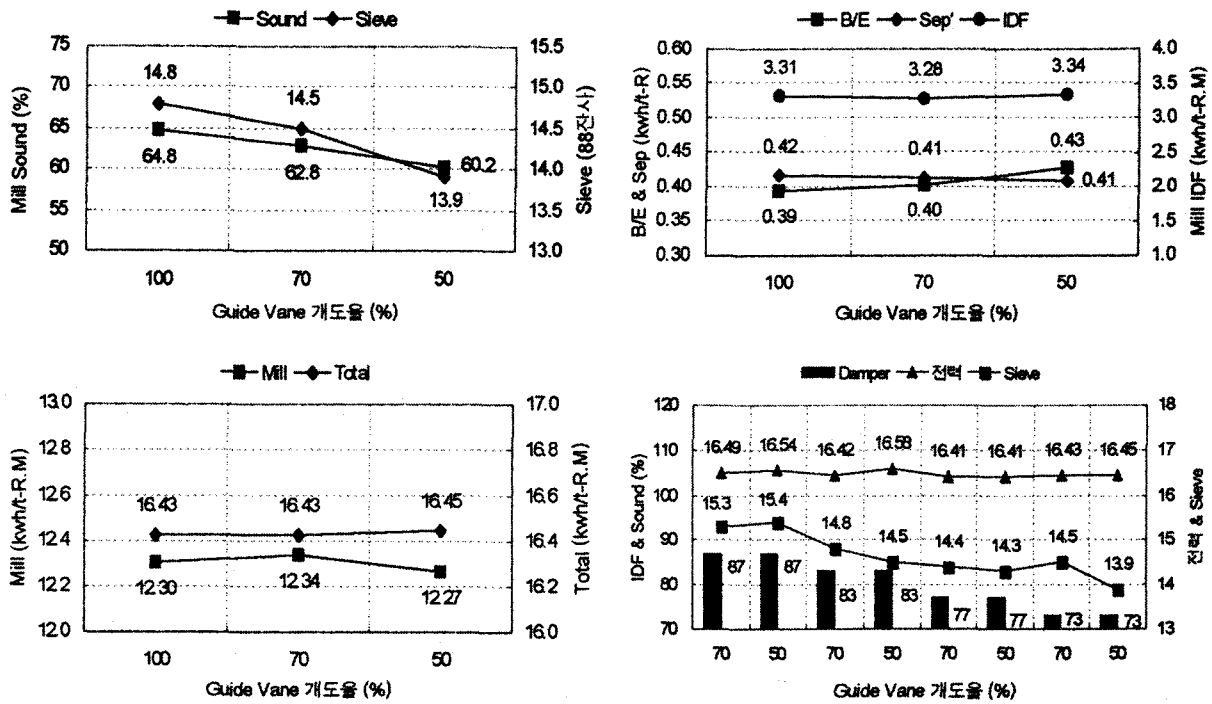
Blade 15매이고 rpm 106.7과 같다.

<표 5> Guide Vane 개도율에 따른 운전 Data

Guide %	Sound %	Sieve 88μm(%)	전 력 원 단 위 (Kwh/t-R.M)					Damper %	Blade rpm	투입량 t/hr
			B/E	Sep'	IDF	Mill	Total			
100	64.8	14.8	0.39	0.42	3.31	12.30	16.43	73	66.17	293
70	62.8	14.5	0.40	0.41	3.28	12.34	16.43	73	66.17	293
50	60.2	13.9	0.43	0.41	3.34	12.27	16.45	73	66.17	293

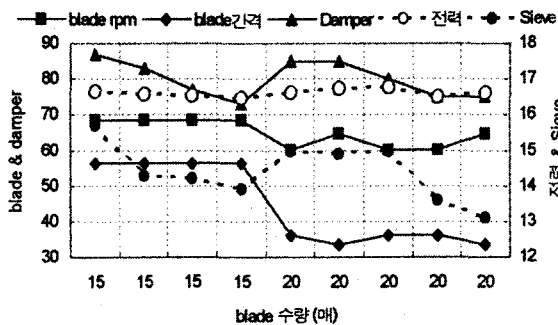
투입량 t/hr	Sieve 88μm(%)	Guide %	Damper %	Blade rpm	Sound %	전 력 원 단 위 (Kwh/t-R.M)				
						B/E	Sep'	IDF	Mill	Total
293	15.3	70	87	66.17	70.4	0.33	0.37	3.51	12.28	16.49
293	15.4	50	87	66.17	69.6	0.37	0.39	3.55	12.24	16.54
293	14.8	70	83	66.17	70.6	0.34	0.39	3.41	12.28	16.42
293	14.5	50	83	66.17	68.2	0.37	0.39	3.55	12.26	16.58
293	14.4	70	77	66.17	66.0	0.39	0.41	3.35	12.27	16.41
293	14.3	50	77	66.17	65.7	0.39	0.40	3.39	12.23	16.41
293	14.5	70	73	66.17	62.8	0.40	0.41	3.28	12.34	16.43
293	13.9	50	73	66.17	60.2	0.43	0.41	3.34	12.27	16.45



<그림 6> Guide Vane 개도율에 따른 변화추이

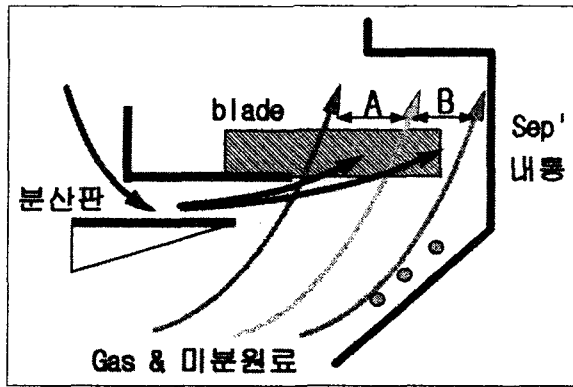
<표 6> Sep' Blade 수량에 따른 운전변화

Blade	Blade rpm	Blade 간격 mm/sec	투입량 t/hr	Sieve 88 $\mu$ m (%)	Guide %	Damper %	Sound %	전 력 원 단 위 (Kwh/t-R.M)				
								B/E	Sep'	IDF	Mill	Total
15	68.41	56.30	293	15.7	100	87	70.7	0.36	0.42	3.59	12.30	16.67
15	68.41	56.30	293	14.3	100	83	71.3	0.35	0.43	3.52	12.28	16.58
15	68.41	56.30	293	14.2	100	77	64.5	0.37	0.43	3.43	12.31	16.54
15	68.41	56.30	293	13.9	100	73	63.1	0.41	0.45	3.32	12.29	16.47
20	60.21	35.98	293	15.0	100	85	62.1	0.37	0.37	3.55	12.34	16.63
20	64.68	33.50	293	14.9	100	85	61.4	0.40	0.43	3.56	12.33	16.72
20	60.21	35.98	293	15.0	100	80	67.6	0.33	0.36	3.58	12.51	16.77
20	60.21	35.98	293	13.6	100	75	58.6	0.37	0.38	3.38	12.38	16.51
20	64.68	33.50	293	13.1	100	75	60.2	0.39	0.43	3.37	12.42	16.61



<그림 7> Sep' Blade 수량에 따른 운전변화

Blade를 15매에서 5매를 추가하여 20매로 설치할 경우 Blade rpm은 1.778배 Speed Up 효과를 예측할 수 있었기에, Sep' rpm 상승에 따른 전력소비를 방지하고자, Blade 수량 5매를 추가 설치하여 운전한 결과 15매 운전할 때보다 Sieve 조정이 어려웠고, 예상 Sep' Blade rpm 이상으로 회전속도를 증가시켜야만 관리기준치 Sieve를 얻을 수 있었다. 또한 이에 따른 전력원 단위도 약간 상승하였다.



<그림 8> Air Swept Meal Flow 예측 추이

<그림 8>처럼 Sep' Blade rpm이 높을 때 (20매 운용시) 미분의 흐름이 Sep' 내통벽쪽으로 (A 구간 → B구간) 유도되며, Gas의 흐름층이 축소된다. 또한 Blade의 회전으로 Turblence 형성과 적정 이상의 유속으로 Sep' Blade에 의한 Sieve 조정이 어려운 것으로 판단되었다.

### 3-3 Separator 내부 Gas Flow 개선을 위한 실험

본 실험은 앞장에서 언급한 Sep' 내부에서 Gas 및 미분쇄된 원료의 흐름개선과 운전효율 측정 중 조분의 분말도를 측정한 결과 조분속에 미분이 28% (88 $\mu$ m)가 함유되어 재순환되고 있어 이를 개선하고자 Sep' Blade를 변형운전하여 그 추이를 살펴보았다.

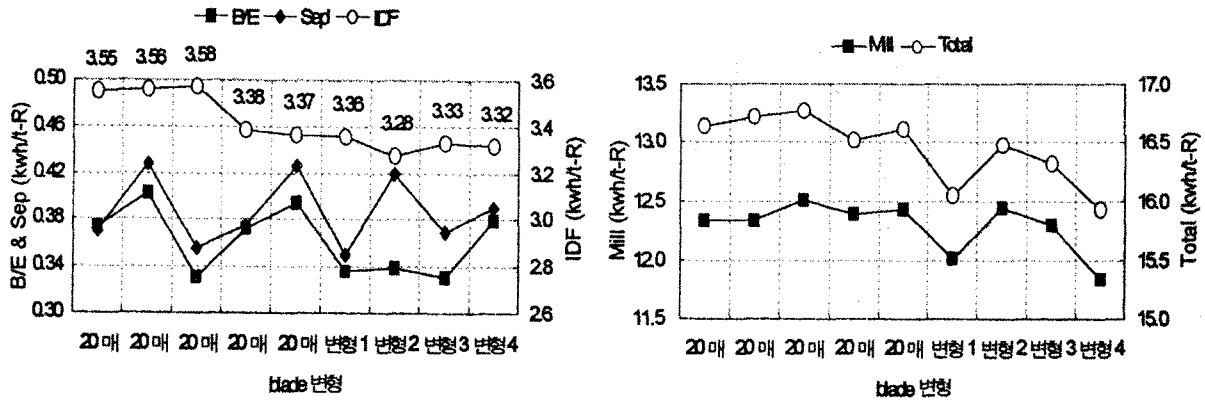
<표 7>과 <그림 10>은 Blade 변형운전 전·후 Data를 비교한 것이다. 통상적인 운전경험을 비추어 볼 때 Air Swept Meal의 감소시 IDF의 전력소비 감소와 BE Meal의 증가로 B/E 전력소비비가 증가된다. 하지만 본 실험결과 변형운전 중 IDF 전력소비 감소에 따른 B/E 전력소비 증가현상은 발생하지 않았고, Mill의 전력소비도 감소하여 전체 원단위가 감소하였다. 또한 조분속의 미분함량이 28%에서 약 6% 감소한 22%가 재순환되는 결과를 얻을 수 있었다. 이러한 효과를 정

변형 1	Blade 각도를 25°로 수정하여 20매중 4매를 설치함	
변형 3	Blade 각도를 25°로 수정하여 20매중 10매를 설치함	
변형 4	변형3의 조건에서 운전방법을 변형하여 운전함	
변형 2	Blade 끝부위 하단에 300×50의 철판을 25°각을 주어 10매 부착함	

<그림 9> Sep' Blade 변형 방법

<표 7> Sep' Blade 변형운전 전·후 운전 Data

구분	투입량 t/hr	Sieve 88 $\mu$ m (%)	Guide %	Damper %	Blade rpm	Sound %	전력원단위 (Kwh/t-R.M)					Blade 수량 변형운전
							B/E	Sep'	IDF	Mill	Total	
변형전	293	15.0	100	85	60.21	62.1	0.37	0.37	3.55	12.34	16.63	20
	293	14.9	100	85	64.68	61.4	0.40	0.43	3.56	12.33	16.72	20
	293	15.0	100	80	60.21	67.6	0.33	0.36	3.58	12.51	16.77	20
	293	13.6	100	75	60.21	58.6	0.37	0.38	3.38	12.38	16.51	20
	293	13.1	100	75	64.68	60.2	0.39	0.43	3.37	12.42	16.61	20
변형 1	290	14.4	100	82	60.66	62.1	0.34	0.35	3.36	12.01	16.05	20-4
변형 2	287	14.5	100	78	68.55	59.9	0.34	0.42	3.28	12.44	16.47	20-10A
변형 3	290	14.4	100	78	65.13	62.8	0.33	0.37	3.33	12.29	16.32	20-10B
변형 4	297	14.5	100	82	66.32	62.2	0.38	0.39	3.32	11.84	15.92	20-10C



<그림 10> Sep' Blade 변형운전 전·후 전력원단위 비교

<표 8> 효율적인 Mill 운전방법

구 분	석 회 석	Blade	Blade	Damper	Guide	Sieve
	30mm ↑	수 량	rpm	%	%	88μm (%)
1 Case	1~3%	15 대	68.00	73~77	100	14.4
2 Case	2~4%	15 대	69.00	77~82	100	14.4
3 Case	4~6%	15 대	70.00	77~82	70	14.6
4 Case	5~7%	15 대	69.00	77~82	60	14.6

확히 파악할 수 없었지만 기술검토를 통한 Sep'의 구조개선시 더 많은 효과를 기대할 수 있을 것으로 사료된다.

#### 4. 결 론

본 실험을 통하여 그동안 Mill의 운전 경험치를 수치상으로 Data하여 아래와 같이 유출함으로써 최적의 운전조건을 찾을 수 있었고, 효율적인 Mill 운전조건의 변화를 기할 수 있게 되었다.

1. 적정한 석회석 입도관리로 Rotor Hammer 교 환주기는 증가하나 R/M에서의 생산성 향상 및 전력원단위 절감으로 더 큰 효과를 얻을 수 있을 것으로 예측되었다.
2. IDF Damper 개도 82% 이상시에는 전력소비 만 급증하며 전반적인 영향을 주지 못하나 82% 이하 운전시 분쇄효율 향상과 Sieve 조정이

가능했다. 따라서 IDF Damper를 Mill의 운 전조건에 따라 73~82% 이하로 운전하는 것이 능률적인 것으로 판단된다.

3. Sieve는 Sep' rpm과 IDF Damper 개도를 통하여 조정하나, 전력원단위 및 분쇄효율을 고려한 조정이 되어야 한다.
4. IDF Damper 73%로 개도율이 낮아질 때 Guide Vane으로 Sieve 조정이 가능하다. (석회석 Size가 클 경우 Guide Vane의 개도율을 낮추 면 Mill의 효율이 좋다.)
5. Sep' Blade 수량이 15대 일 때 원활한 Si- eve 관리를 할 수 있었다.
6. 과다한 IDF Damper 개도증가는 미분이 함유 된 Gas의 흐름이 Sep' 하부 분산판으로 유도 될 때 B/E에서 유도분급된 조분과의 마찰로 정분의 흐름을 방해하여 정분의 재순환이 증가 한다. 따라서 Gas Flow 향상을 위한 Sep' 구조개선도 검토할 필요가 있다.