

Dopol Kiln 工程改善을 통한 效率向上

卞 大 洙

〈亞細亞시멘트工業(株) 提川工場〉

1. 서 론

시멘트 공업에 있어서 에너지 절감은 국내외를 막론하고 가장 큰 과제 중의 하나일 것이다. 특히 소성공정에 있어서 에너지 절감에 대한 기술적 범주는,

- 폐 Gas 온도 하락을 위한 다단 Cyclone 의 활용

- 전열효율 향상 및 저질탄 다량 사용을 위한 Calciner 개선

- 저압손 고집진 Cyclone 채용

- 냉각효율 향상 등

부연료 사용에서부터 설비개조에 이르기까지 매우 다양하게 검토 또는 개조되어지고 있다.

당공장에서는 Dopol Kiln 효율향상을 위한 일련의 공정개선을 소성로(K-2) 대보수 기간을 이용하여 추진한 바, 현재 만족할만한 성과를 거두고 있다.

본문에서는 공정개선에 대한 전반적인 개요 및 전후 운전실적을 종합분석 소개하고자 한다.

2. 설비개조 내역

1) 설비명 : 소성로 2호

- Type: Polisius Dopol - AS

- Size : 3.7 mφ × 50 m L

- Cap : 1965 t/d

2) 개조기간 : 1986년 2월(대보수 병행 실시)

3) 투자비용 : 160,000,000 원

4) 개조내역

항 목	개 조 방 향
1차공기 열풍화 System	1) A.Q.C 폐 Gas 사용 Duct 연결 2) Primary Fan 교체(고온용)
Kiln 동체 Lifting 연화 사용	1) 동체 29-41m 지점 축로 2) 사용 연화 : MINO -SIC
Calcinator 용적 증대	1) Calcinator 높이 2.5 m 상승 (484m ³ → 582m ³)
Cyclone 저압 손화	1) Top Cyclone 개조 - Guide Vane 설치 - 입구 단면적 증대 - 원통부 길이 연장 2) 3 Stage Cyclone 개조 - Deeping Pipe 개조 - Guide Vane 설치
Kiln I.D.F. 적정 용량화	1) Dimension 재설정 Fan 교체

3. 추진사항에 대한 개요 및 분석

1) 1차공기 열풍화 System

(개) 개요

Rotary Kiln 의 Main Burner 에 투입되는 1차 공기를 고온의 A.Q.C 열풍을 사용함으로써 열 소비절감 및 화염온도 상승에 따른 Clinker 품질 향상 도모.

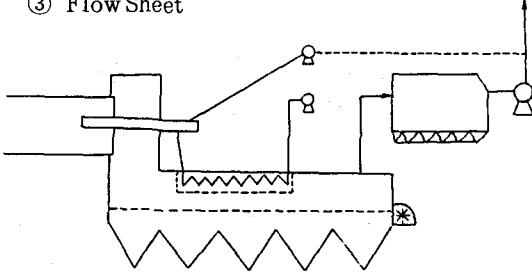
(내) 개조사항

① A.Q.C-IDF Stack 에서 Primary Fan Suction Duct 연결

② Primary Fan 고온용으로 교체

항 목	단 위	개조전	개조후	비 고
온 도	℃	-	200	
압 력	mmAq	2,000	1,500	
풍 량	m ³ /min	100	100	

③ Flow Sheet



(A) A.Q.C제 Gas 투입 System : 저온용 150~300℃

(B) 열교환기 이용 System : 고온용 300~600℃

(내) 전후 운전실적

항 목	단 위	개조전	개조후	비 고
온 도	℃	35	150	
압 력	출구	mmAq	1,250	1,250
	입구	"	-	-100
풍 량	m ³ /m	67	78	
	Nm ³ /m	70	56	
Power	Kw/h	37.5	38	
화염온도	℃	1,640	1,660	

① 고온용 Fan 으로 교체 운전함으로써 1차 공기를 150℃로 예열할 수 있음은 물론 2차 공기증대(840 Nm³/h)로 열소비는 약 5 Kcal/Kg-cl (추정치) 정도 절감효과를 가져왔으며 미분탄연소효율 증대 및 화염온도 상승 등 Clinker 품질 향상에도 기여한 것으로 사료됨.

② 일반적으로 열풍 사용시 Fan 의 부하는 하락되는 것이 당연하나 상기 Data 와 같이 실제 소비 전력이 증가된 것은 Suction Duct 의 압력 손실 및 Fan 설계 제작상의 원인으로 추정됨.

2) Kiln 동체 Lifting 연와(배화, 단열) 축로

개 개요

예열 또는 가스대에서 원료의 교환을 효과적으로 수행하여 열교환 효율을 증대시키고 Kiln Housing 부 및 Inlet 주위 온도를 하락시켜 Coating 형성방지 및 단열효과 도모.

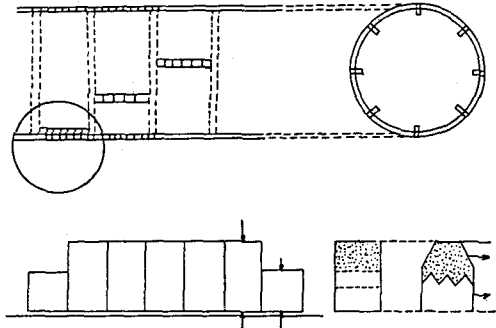
(내) 개조사항

① Kiln 동체 29-41 m 지점 연와 교체

Base : Hi - Al

Lifting : SIC 및 단열

② 축로 개략도



주 : Lifting 연와의 축로에 있어서 들기수의 결정은 Kiln Dia 5.4φm 이상은 12점, 3.7φm 이상은 8점을 대체적으로 사용하고 있으며 연와배열은 원료흐름 방향의 반대방향으로 Spiral 하게 시공한다. 또한 시공위치는 Kiln 길이에 비례하며 일 반식은 다음과 같다.

$$L = 0.6A + 1.1D$$

L : Kiln Inlet로부터 교반부까지의 거리

A : 교반연와 시공길이

D : Kiln 의 직경

(내) 천후분석

Lifting 연와 사용후 Kiln Inlet 온도는 30℃ 정도 하락되었으며(980 ± 30℃ → 950 ± 30℃), 열소비는 12 Kcal/Kg-cl 정도 기여한 것으로 추정될 뿐만 아니라 Coating Trouble 감소 등 공정의 안정화에도 기여하리라 사료됨.

3) Calcinator 증대

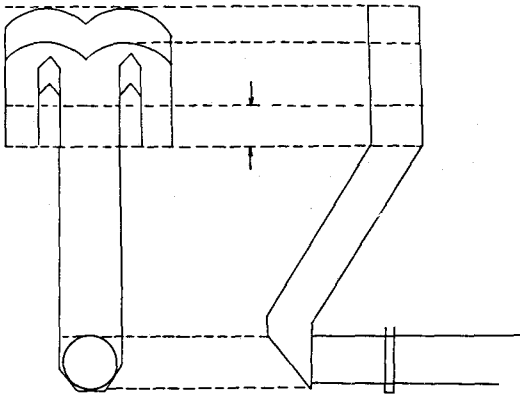
개 개요

원료 및 연료의 체류시간을 증가시켜 저질탄 사용증가에 따른 미연탄소에 의한 Inlet 온도 상승 및 CO 증가 등의 문제점을 해결하고 열교환 효율향상 도모.

(내) 개조사항

① Calcinator 2.5 m 상승

② 개조 개략도



(대) 전후 운전실적

항 목	단 위	개조전	개조후	비고
체 적	m ³	211	245	(16%)
Gas 체류시간	Sec	1.6	1.9	
미분탄 Main	%	62	58	
투입비 Prepol	%	38	42	
1 단 Cyclone 출구온도	°C	860	860	
Vortex CO	%	0.20	0.15	
Gas O ₂	%	2.50	2.00	
가 소 율	%	83	85	
압 력 손 실	mmAq	60	80	

① 공정상으로는 큰 변화가 분석되지 않으나 Calcinator 부위에서의 체류시간 연장으로 인한 연소효율 증대로 Prepol 에서의 연소비율 증가 등 공정의 안정화에 크게 기여하였다.

② 저질탄 및 Coarse Coal 사용증대를 기할 수 있는 여건조성으로 향후 저질탄 등 투입비증대에 의한 원가절감이 기대됨.

③ 용적 증대에 의한 압력손실은 20mmAq 상승

4) Cyclone 저압손화

(개) 개요

Suspension Preheater에 있어서 Energy 절감을 목적으로 한 Cyclone 의 저압손화 및 고집진 효율에 대한 연구 검토 자료의 수집

(내) 개조사항

① Top Cyclone

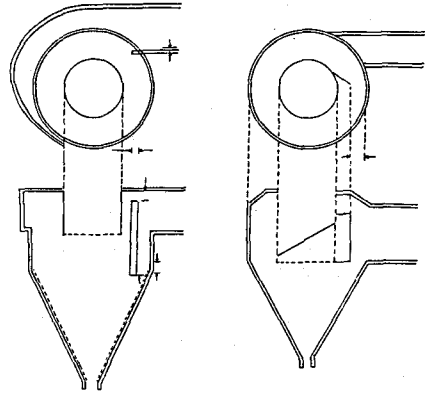
- 입구부 단면적 증대(16%)
- 입구부 Guide Vane 설치(300W×3,650L)

-원통부 길이 증대(1,000 mm)

② Middle(3st) Cyclone

- Deeping Pipe 개조
- Deeping Pipe 에 Guide Vane 부착

③ 개조 개략도



(대) 전후 운전실적

항 목	단 위	개조전	개조후	비고	
Top Cyclone	입구단면적	m ²	2.13	2.47	
	입구유속	m/s	24.3	20.6	
	압 손	mmAq	175	120	(55↓)
	함진농도	g/Nm ³	80	90~100	
Mid-Cyclone 압손	mmAq	75	70	(5↓)	

① Guide Vane 부착 및 입구단면적 증대를 실시한 Top-Cyclone 에서는 압력손실이 55mmAq (32%) 하락되었으나 집진효율은 기대치보다 저조한 결과를 나타냈음. 이에 따라 집진효율 향상을 위한 재검토가 진행 중임.

② Middle Cyclone에서는 압력손실이 5mmAq (7%) 정도 하락이 된 것으로 분석이 되었으나 큰 영향을 발견하지 못하였음.

③ 상기와 같은 압손 감소로 인하여 Kiln IDF 부하감소를 가져왔으나 Kiln IDF 개조에 따라 실적 분석이 곤란함.

5) Kiln IDF 교체

(개) 개요

운전조건 변경에 따라 과잉으로 설치되어 있는 Kiln IDF를 현운전조건에 의한 적정용량으로 교체함으로써 동력비 절감.

(내) 개조사항

-Kiln IDF Specification

항 목	단 위	개조전	개조후	비 고
온 도	℃	360	350	
압 력	mmAq	-860	-720	
증 량	m ³ /min	6,167	5,333	

(대) 전후 운전실적

항 목	단 위	개조전	개 조 후	
			실 적	Fan Test
Damper	%	48	70	100
온 도	℃	345	335	365
압 력	mmAq	820	780	880
증 량	m ³ /min	5,050	4,940	5,800
	Nm ³ /min	2,050	2,050	2,270
Power	Kw/h	900	770	890

① Kiln IDF를 적정용량으로 교체후 동일 운전조건하에서 소비전력은 130 Kwh 정도 하락되는 양호한 실적을 보였다.

② 적정용량 교체후 Damper 손실을 최대로 감소시키기 위하여 Damper가 90%에서 Control 되기를 기대하였으나 실제 운전은 70% 수준에서 Control되는 관계로 Damper Loss에 의한 손실을 배제하지 못하였다. 이는 상기 Data에서와 같이 Fan 제작을 요구 사양보다 10%정도 여유율을 감안, 설계제작된 것으로 사료됨.

4. 운전결과 종합분석

1) 열소비

열소비는 개조사항이 많은 관계로 개조부분별로 분석하기는 매우 곤란하다. 따라서 전후 운전실적을 기준하여 종합분석한 결과는 다음과 같다.

항 목	단 위	개조전	개조후	증 감	비 고
Fuel	Kcal/Kg-cl'	796	763	33 ↓	
Coal	"	20	28	8 ↑	
Shale	"				
계	"	816	791	25 ↓	

상기 Data 와 같이 열소비는 33 Kcal/Kg-cl' 하락되었으나 경석을 감안한 실질적 공정개선

〈표 1〉

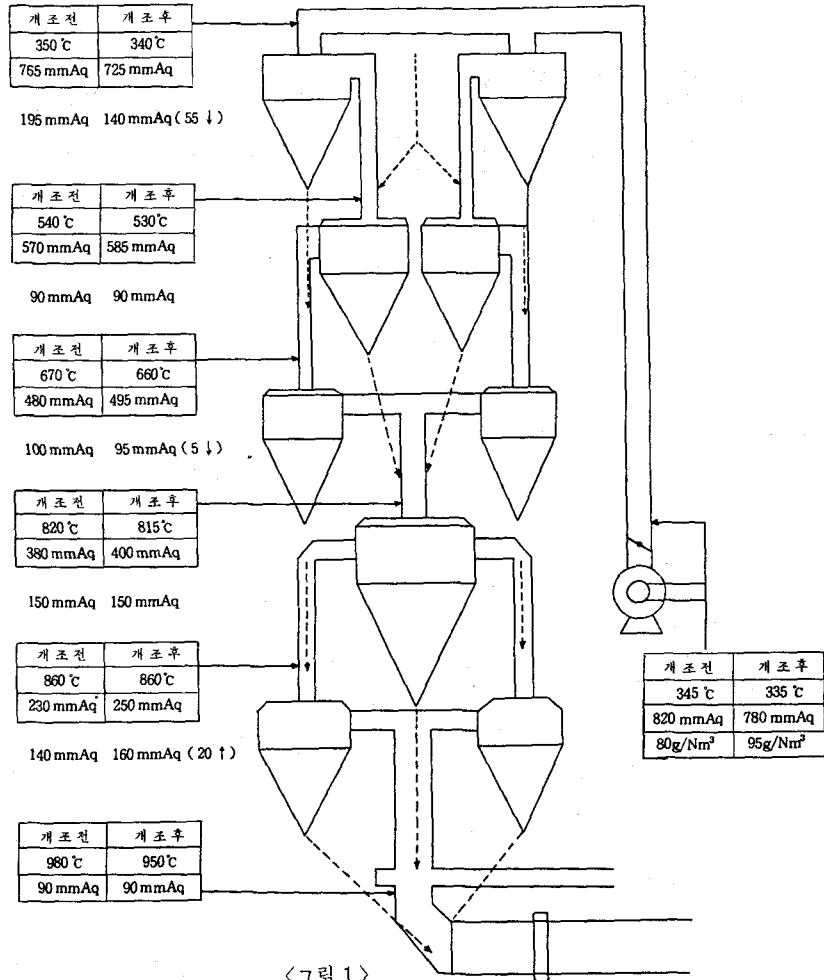
항 목		단 위	개조전	개조후
운전조건	생산성	RM-t/h	125	125
	열소비	Kcal/Kg-cl'	796	763
Coal	투입비	%	4.0	5.0
	발열량	Kcal/Kg	550	600
미분탄	Main	t/h	5.90	5.17
	Prepol	"	3.66	3.85
	비율	M : P	62:38	58:42
	발열량	Kcal/Kg-cl'	6,421	6,527
RawMix	L. S. F.		95.78	95.60
	S. M		2.47	2.46
	I. M		1.52	1.50
	H. M		2.15	2.15
Clinker	L. S. F.		90.80	90.72
	S. M		2.41	2.40
	F-Lime	%	0.75	0.75
	용 중	S / L	1,320	1,320
	온 도	℃	140	140
Kiln Inlet 온도		℃	980±30	950±30
가 소 율		%	83	85
Vortex Gas	CO	%	0.15	0.10
	O ₂	%	2.50	2.00
1차공기	온 도	℃	35	150
	증 량	Nm ³ /min	70	56
2차공기	Kiln	℃	950	950
	Prepol	℃	700	700
KilnIDF	Damp'	%	48	70
	온 도	℃	345	335
	압 력	mmAq	820	780
	증 량	m ³ /min	5,050	4,940
	Power	Kw/h	900	770
합 진 능 도		g/Nm ³	8	90-100

다른 열소비 하락치는 25 Kcal/Kg-cl' 정도 기여한 것으로 추정된다.

2) 전력

항 목	단 위	개조전	개조후	증 감
Kiln I.D.F.	Kw/h	900	770	130 ↓
Primary Fan	"	37.5	38.0	0.5 ↑
계	"	937.5	808.0	139.5 ↓

Cyclone 저압손화(40 mmAq) 및 Kiln IDF의 적정용량으로 교체한 결과 130 Kw/h의 전력을 절감하였으나 전장에서 설명한 바와 같이 Fan



<그림 1>

설계 제작상의 문제점은 향후 개선하여야 할 과제 중의 하나이다.

3) 경제성 분석

항 목	단 위	실 적	비 고
절감사항	열소비	Kcal/Kg-cl'	25
	전 력	Kw/t-cl	1.6
년간절감	열소비	천원 /년	120,000
	전 력	"	44,000
예상금액	계	"	164,000
투 자 비	천 원	160,000	
투자 회수 기간	년	1.1	(금리감안)

<부대효과>

⑦ 공정의 안정화

㉔ 저질탄 사용증대 가능에 따른 원가절감도 모

5. 결 론

상기와 같이 열소비에서 25 Kcal/Kg-cl', 전력 소비에서 1.6 Kw/t-cl 정도 하락되어 연간 164,000 원의 절감효과가 기대될 뿐만 아니라 경제성면에서도 투자비에 대한 회수기간이 1년 1개월 정도로 매우 좋은 결과를 가져왔다. 또한 공정 상태를 종합하여 볼 때 공정의 안정화를 기하고 특히 저질탄 사용증대에 의한 원가절감에 크게 기여하리라고 사료되나 집진효율 저하에 대한 지속적인 검토는 추가로 진행되어야 할 것이다.