#6 KILN CIS COOLER 개조 및 집진설비 개체사례

김우겸* · 김창용 · 이덕우
〈한일시멘트 단양공장〉

1. 서 론

시멘트 산업은 에너지 소비가 많은 산업으로서 에너지 절감을 통한 생산 원단위를 절감하여야만 생존할수 있다는 위기 의식속에서 에너지 절감을 위한 노력은 끊임없이 제조기술 및 시멘트 산업 전반에서 이루어지고 있으며, 또한 환경친화적 산업경영은 21C의 최대과제로서 후손에게 깨끗한 환경을 물려주기 위한 노력 또한 계속되어지고 있다.

이에 따라 당사는 #6 Kiln Cooler 설비의 보다 높은 Clinker 냉각효율과 이에 따른 높은 온도의 2차 공기를 Kiln으로 재순환하여 사용함으로써 에너지 절감을 득하고자 기존의 Fuller社 AQC Type 일부분을 CIS Type으로 개조하여 운전중에 있으며, 또한 환경 친화적인 경영의 일안으로 COOLER 집진설비를 노후된 기존의 G. B. F (Gravel Bed Filter) 에서 전기집진기 (E. P) 로 개체하여 사용중에 있으며 에너지 절감 및 집진효율의 결과가 기대이상으로 나타났기에 개조내용 및 그 결과를 소개하고자 한다.

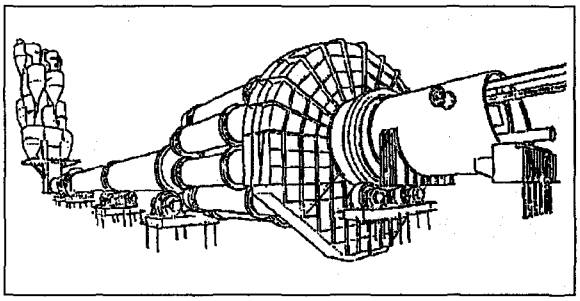
2. 개조공사 내용

2.1 고효율 C. I. S COOLER 개조

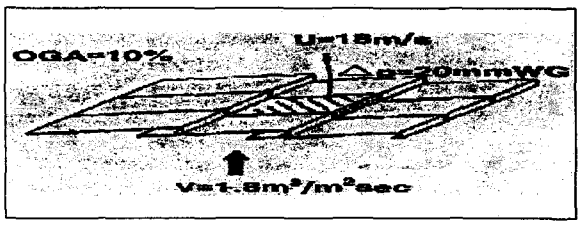
1) COOLER 종류 및 특성

(가) PLANATERY TYPE

본 Cooler는 Water Spray 냉각방식이며 Cooler 동체를 함께 구동해야 하므로 전력원단위 상승의 주요원인이 될 뿐더러 잦은 보수가 요구된다. 특히 클링커 냉각으로부터의 폐열회수 설비가 없는 단점을 갖고 있다.

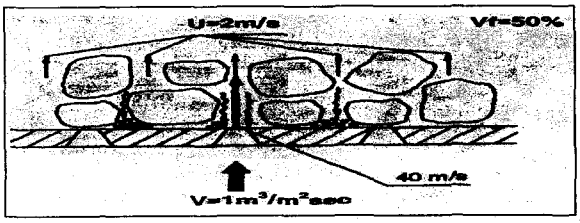


(나) CONVENTIONAL TYPE (MFG TYPE)



가장 일반적인 Type으로서 Grate Plate 표면에 Air가 통과할 수 있는 구멍이 있어 이 구멍을 통한 Cooling Air로 냉각하는 공냉식 Cooler이며 수직상승 냉공기로부터 고온의 폐열을 회수할 수 있는 장점이 있으나 높은 Clinker Bed층의 관리가 어려운 단점이 있다.

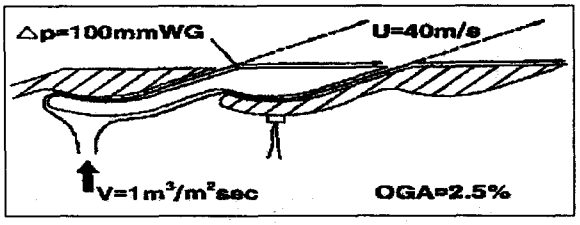
(다) CONTROL FLOW GRATE TYPE



Cooling Air를 공급하여 냉각하는 공냉식이며 Grate Plate로 Clinker를 이송하며 폐열을 회수할 수 있는 장점이 있으나 Grate Plate의 잦은

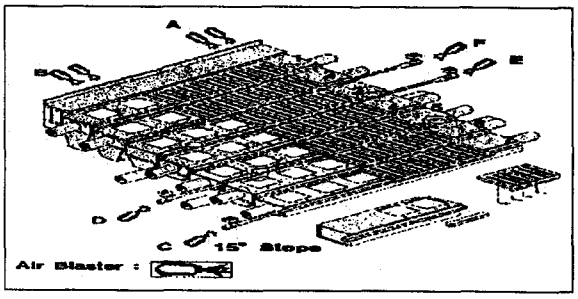
용손으로 인해 Life Time이 짧은 단점이 있다.

(라) I. K. N TYPE



Impact Zone이 Fixed Type인 Grate Plate 방식이며 Cooling Air를 공급하여 냉각하는 공냉식으로서 상기 그림에서와 같이 경사진 Air 통로를 통해 강한 Jet Air 발생으로 Clinker 수평분산 및 이송할 수 있는 기능을 갖고 있으며 높은 Bed층 형성으로 냉각효율 상승 및 고온의 폐열을 회수할 수 있는 장점이 있으나 통합된 Chamber로부터의 Air 공급을 함으로 인한 부분별 냉각관리가 안되는 것과 전면벽체에 발생되는 Coating Trouble이 단점이다.

(마) CONTROL IMPACTED SISTEM



Impact Zone이 Fixed Type인 Grate Plate 방식이며 Cooling Air를 공급하여 냉각하는 공냉식으로 상기 그림에서와 같이 경사진 Grate Plate 구조를 통한 강한 Air Blaster를 이용하여 Clinker를 수평분산 및 이송할 수 있는 기능을 갖고 있으며 높은 Bed층 형성으로 냉각효율 상승 및 고온의 폐열을 회수할 수 있는 장점이 있으며 Grate Plate 하부에 설치된 각각의 Air Duct에 의해 공급된 Air는 국부적인 냉각이 가능하다는 장점이 있으나, 전면벽체에 발생되는 Coating Trouble의 단점이 다소 있다.

2) 개조공사 요약

크링카 냉각효율을 향상시키고 고온의 일정한 2차공기를 COOLER로부터 KILN으로 공급하여 소성온도를 높이고 화염을 안정화시킴으로써 연소효율의 향상 및 공정 안정화를 통한 기계가동율 향상은 물론 열원단위, 전력원단위 하락에 의한 제조원가 절감을 위해 #6K/L COOLER #1실의 #1, 2 CHAMBER GRATE 9열을 FIXED GRATE TYPE인 CIS GRATE 7열로 개조한다.

(가) 개조공사 기간 : 1999. 7. 11. 23 : 30~1999. 9. 4. 08 : 45 (54일 9시간 15분간)

(나) 주요공사 내용

- ♦ #1실 FULLER MFG GRATE (9열) → FULLER CIS GRATE (7열)
- ♦ 기존 #1, 2 COOLING FAN → CIS 1L/1C/1R COOLING FAN
- ♦ PRESSURIZATION FAN 설치 : CIS GRATE와 Chamber간 밀폐 역할
- ♦ Air Blaster 12 Set 설치

(다) COOLER 개조공사 진행 일정

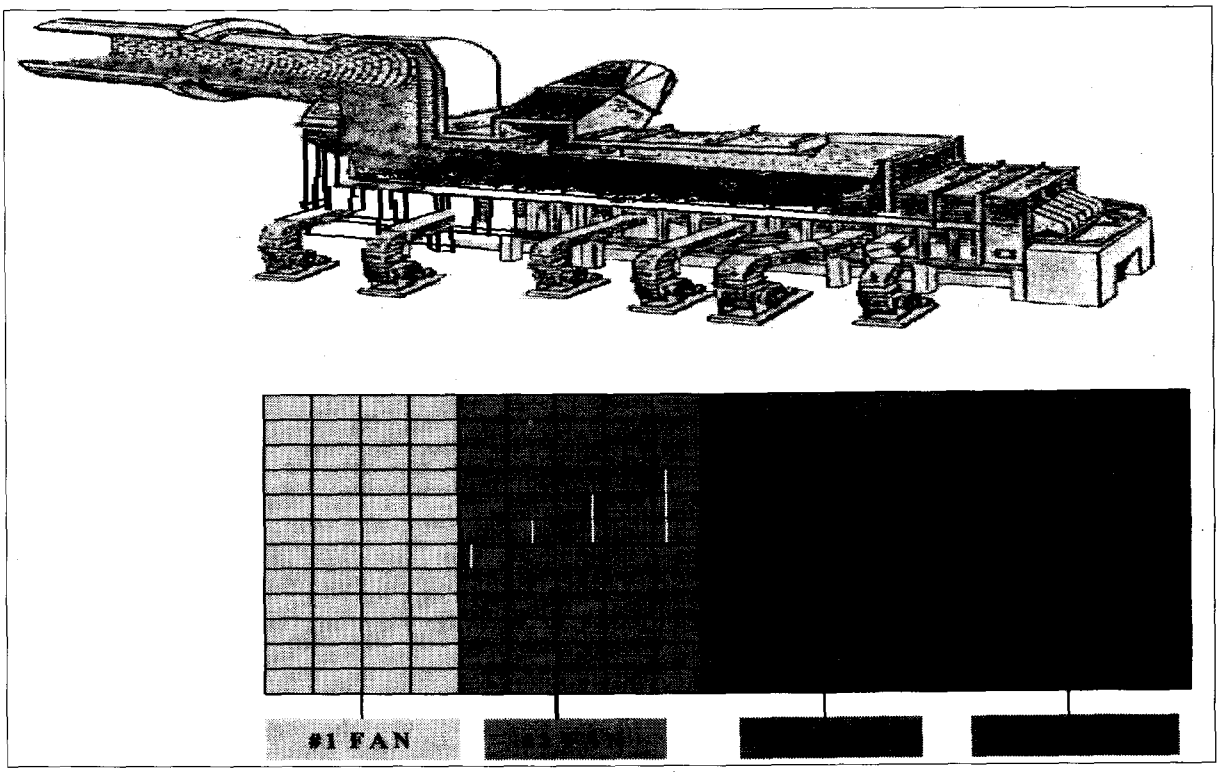
- ♦ 기존설비 (BED, CASING, FAN & DUCT 철거 : '99. 7/12~7/22
- ♦ BED, CASING, COOLING FAN & DUCT 설치 : '99. 7/23~8/13
- ♦ GRATE PLATE, BIN BLOWER 설치 : '99. 8/26~8/31
- ♦ CIS COOLER 시운전 : '99. 9/1~9/2

(라) COOLER COOLING AIR DESIGN (아래 〈표〉 참조)

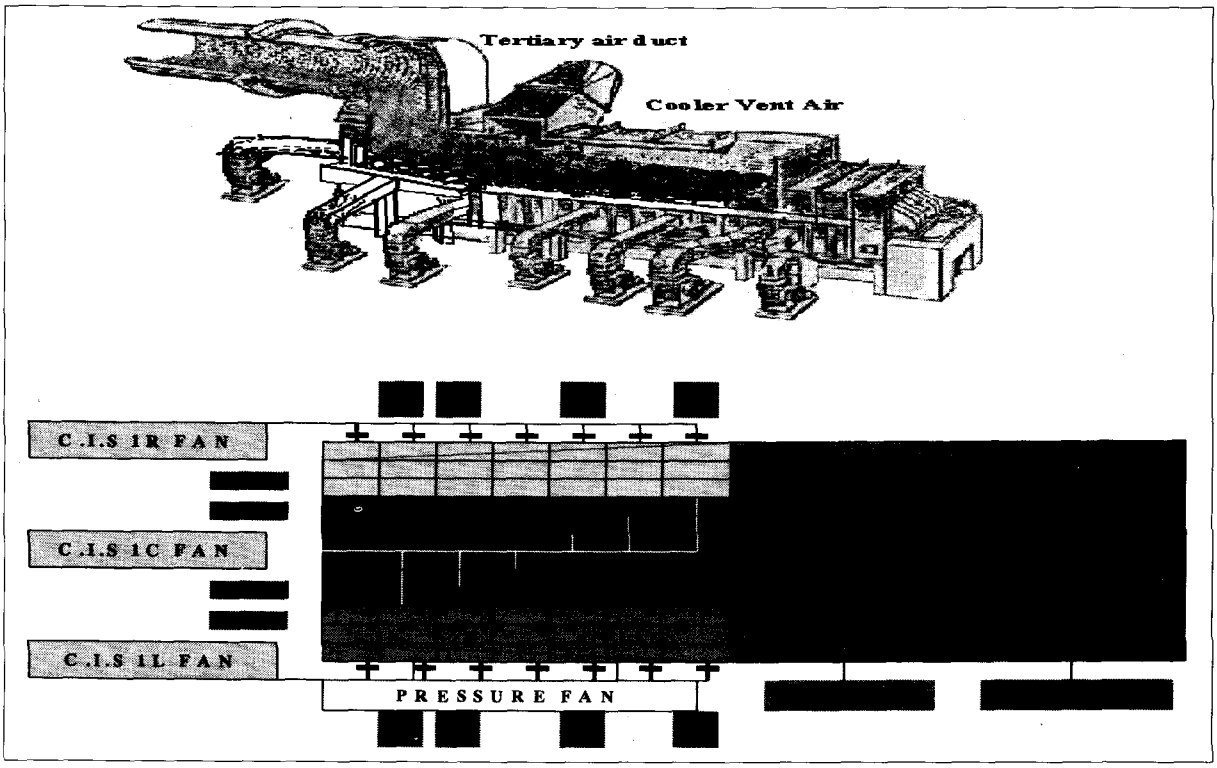
구 분	COOLING FAN 사 양					
	기 존 FAN		개 조 예 정 FAN			
Fan Designation	#1 FAN	#2 FAN	CIS "1L"	CIS "1R"	CIS "1C"	PRESS. FAN
Width (Grate Plates)	12	12	3	3	6	
Length (Grate Plates)	3	6	7	7	7	
Available Fan Air Volume (㎥/hr at ambient)	18, 643	35, 289	14, 100	14, 100	33, 900	6, 800
Design Cooling Air Volume (㎥/hr at ambient)	16, 214	30, 691	12, 700	12, 700	30, 500	
Undergrate Static Pressure (mmH_2O)	508	458	1, 000	1, 000	1, 000	
Air Load (㎥/hr/㎡) of Grate	5, 404	5, 124	6, 073	6, 073	5, 903	
Total Cooling Air Volume (㎥/hr at ambient)	46, 905		68, 900			

3) 개조공사

(가) 개조전 Cooler 모습



(나) 개조후 Cooler



2.2 COOLER 전기집진기(E.P) 개조

1) 개조공사의 필요성

KILN 냉각시설 분진 배출농도 허용기준이 100㎎/N㎥에서 50㎎/N㎥ 이내로 강화됨으로써 보다 높은 집진효율을 유지하여, 환경친화적인 기업목표에 부응하고자 #6K/L 증설 당시 COOLER 집진설비로 설치된 G.B.F(Gravel Bed Filter) 집진기를 전기집진기로의 개체가 요구된다.

2) 개조공사 요약

(가) 개체공사 기간 : 1999.4.14. 08:00~1999.9.4. 08:45(집진기 House 등의 선제작으로 인한 장시간 소요)

(나) COOLER 집진설비 주요 개체내용

- ◆ G.B.F(Gravel Bed Filter) → 한국코트렐 E.P(Electrostatic Precipitator)
- ◆ E.P 집진실수 : 4-FIELD
- ◆ E.P 입구온도 관리를 위한 냉공기 DAMPER : 기존설비 재사용
- ◆ E.P EXHAUST FAN
  - ▷ FAN IMPELLER 및 CASING 교체
  - ▷ MOTOR OVERHAULE 후 재사용
  - ▷ VOITH COUPLING(#5K/L 철거분) 설치
  - ▷ 기존 BECK DAMPER 재사용
  - ▷ 운전방식 : SPEED CONTROL(主) + DAMPER CONTROL(병행)
- ◆ E.P SCREW & GEARD MOTOR : G.B.F 철거분 재활용

(다) COOLER 전기집진기 개조공사 진행 일정

- ◆ E.P 기초/본체 제작 및 지상조립 : '99.4/14~'99.7/21
- ◆ G.B.F 철거 : '99.7/13~'99.7/17
- ◆ E.P SUPPORT & 본체 설치 : '99.7/18~'99.8/27
- ◆ E.P 집진관, 방전극 및 분전반 설치 : '99.7/28~'99.8/27
- ◆ E.P FLOW TEST/조정 및 가압 시운전 : '99.8/28~'99.9/2
- ◆ G.B.F FAN BED & IMPELLER 철거 : '99.7/17~7/25
- ◆ E.P FAN & VOITH COUPLING 설치 : '99.7/26~'99.8/24
- ◆ E.P FAN & VOITH COUPLING 시운전 : '99.8/25
- ◆ KILN START 및 E.P 부하운전 : '99.9/04

(라) E.P & E.P EXHAUST FAN DESIGN

구 분		OPERATING		DESIGN	
		Normal	Upset	Normal	Upset
E.P INLET	Gas Volume(A㎥/hr)	604,000	835,000	791,000	883,000
	Temperature(℃)	243	400	243	400
	Pressure(㎜WG)	-25.4	-25.4	-100	-100
E.P FAN INLET	Gas Volume(A㎥/hr)	605,000	837,000	795,000	887,000
	Temperature(℃)	243	400	243	400
	Pressure(㎜WG)	-50.6	-50.8	-150	-180

3. 개조전 · 후 운전결과 비교

1) 운전 및 공정상 특기사항

구 분	개조전	개조후	비 교
TERTIARY AIR 온도(℃)	661	775	⬆ 114
COOLER 출구온도(℃)	242	236	⬇ 6
CLINKER FREE-CaO(%)	0.94	0.77	⬇ 0.17
CLINKER 용중(㎏/ℓ)	1.27	1.36	⬆ 0.9

CIS COOLER 개조후 CIS GRATE 상부 크링카층이 높아지고 크링카 체류시간의 증가로 인하여 냉각 효율이 향상됨에 따라 TERTIARY AIR 온도가 약 100℃ 이상 증가되었고, COOLER 출구온도는 약 6℃ 정도 하락된 것으로 나타났으며, 또한 클링카 FREE-CaO가 약 0.17% 감소(표준편차 개조전(0.219) → 개조후(0.076) 하락 : 균일하고 안정된 품질의 크링카 생산)되고, 용중은 0.9㎏/ℓ 정도 상승됨으로써 클링카 품질도 상당부분 향상된 것으로 나타났다.

※ CIS GRATE 압력 상향 조정후 TERTIARY AIR 온도가 평균 880℃로 상승된다. (12월)

2) 열원단위 감소

(단위 : kcal/㎏-CL')

구 분	개조전 ('99.6월)	개조후 ('99.10/11월)	재조전·후 비 교	비 고
열원단위	712	695	⬇ 17	24시간 정상 운전실적 기준

개조후 COOLER CIS ZONE에서의 클링카 체

류시간이 증가됨에 따라 2차, 3차공기의 온도 및 공기량이 증가되어 KILN 및 PREHEATER로 안정적으로 공급됨으로써 열원단위는 약 17kcal/㎏-CL′ 하락된다.

3) 전력원단위 감소

전력원단위 개조전·후 비교를 PREHEATER, COOLER로 구분하여 살펴보면,

(단위 : kwh/T-CL′)

구 분			개조전 ('99. 6월)	개조후 ('99. 10/11월)	재조전·후 비교
전력원단위	TOWER	I.D FAN	5.97	6.17	⬆0.21
		D.C MOTOR	1.65	1.83	⬆0.18
		MCC	2.72	2.92	⬆0.20
		소 계	10.33	10.93	⬆0.59
	COOLER	G.B.F/E.P FAN	6.60	1.78	⬇4.82
		MCC 1	4.97	5.24	⬆0.27
		MCC 2, 3	3.16	3.86	⬆0.71
		소 계	14.72	10.88	⬇3.84
	합 계		25.05	21.81	⬇3.25

개조후 KILN 전체는 Preheater를 포함하여 약 3.25kwh/T-CL′ 하락되었으나, COOLER PART만을 고려했을 때는 약 3.8kwh/T-CL′ 하락된 것으로 나타났으며, 특히 COOLER PART 중에서도 가변속 VOITH COUPLING 설치 및 FAN IMPELLER를 교체함으로써 풍량변화에 따른 FAN의 가변속운전 및 성능향상으로 COOLER E.P FAN PART의 전력원단위가 약 4.8 kwh/T-CL′ 정도의 현저한 감소폭을 보이고 있어 전체 전력원단위 감소의 주원인으로 분석된다.

4) 집진효율 향상(분진 배출농도 감소)

기존의 G.B.F 집진기에서 전기집진기(E.P)로 개체공사한 후 분진배출 농도는 현저히 감소하였으며, 측정 DATA를 비교해 보면 아래와 같다.

(단위 : ㎎/N㎥)

분진 배출 농도	허 용 기준치	개조전 : G.B.F (3개월평균)	개 조 후 : E.P		비 교
			단양공장 환 경 팀	한국코트렐 (세진환경)	
	50.0	40.6	2.3	3.8	⬇36.8

전기집진기 개체공사 후 분진 배출농도를 측정한 결과, 허용 기준치인 50㎎/N㎥ 및 한국 코트렐 성능 보증치인 20㎎/N㎥보다도 훨씬 낮은 평균 3.8㎎/N㎥로서 매우 양호한 집진상태를 보이고 있다.

5) COOLER AIR BALANCE

C.I.S Cooler 개조 및 전기집진기 개체공사 후 Cooler Air Balance는 다음과 같이 나타났다.

(단위 : N㎥-AIR/㎏-CL′)

구 분	COOLING AIR VOLUME	SECONDARY AIR VOLUME	TERTIARY AIR VOLUME	COOLER VENT AIR VOLUME
개조전	2.490	0.305	0.480	1.705
개조후	2.530	0.366	0.480	1.684

COOLER로 유입되는 COOLING AIR VOLUME은 큰 변화없이 약간 증가되었으나, CIS ZONE에서의 클링카 체류시간의 증가에 따른 냉각효율의 향상으로 SECONDARY AIR VOLUME은 증가되었고, 반면 COOLER VENT AIR VOLUME은 상기 표에서 보는 바와 같이 하락된다.

전반적으로 CIS Cooler & 전기집진기 개조 및 개체공사 후 변화된 사항들을 요약하면, Clinker Bed층의 상승관리로 냉각효율이 상승됨으로 인한 고온의 2,3차 공기를 공급하여 열원단위를 감소하였으며 전기집진기의 개체로 인한 집진효율이 향상되었고 E.P Fan의 Speed Control 가능으로 인한 전력원단위 감소에 많은 효과를 나타낸다.

4. 개조공사 후 문제점 및 개선사항

[문제점 1] : COOLER CIS ZONE COATING 형성 및 소성온도 저하

Kiln으로부터 배출된 Coating 및 Ball이 Cooler Impact Zone에 정체되어 Cooling Air의 공급방해 또는 편중현상을 유도하여 전반적인 냉각효율을 저하시켜 2,3차 공기의 온도저하로 소성공정의 불안정을 발생한다. 이로 인한 CIS 전면에 점차적으로 Coating이 증대되어 공정 불안정의 악순환을 유발한다.

☞ 개선방안 1 : 운전방법의 개선

철저한 FEED MEAL MODULUS 관리 및 설비 예방점검을 통한 정상적인 KILN 가동, CIS GRATE 압력 상향 유지(높은 크링카층 유지), 적정량의 COOLING AIR 사용, AIR

BLASTER 효율적 관리로 크링카 체류시간과 일정한 크링카층을 유지할 수 있도록 함으로써 화염을 단염으로 유도하고 분상의 크링카 발생을 최대한 억제시키는 방향으로 운전 예정이다.

☞ 개선방안 2 : 기계설비의 개선
CIS COOLER를 통과하여 #1 GRATE에서도 높은 크링카 Bed층을 유지시켜 크링카 냉각효율을 개선하기 위하여 현 MFG TYPE의 #1 GRATE를 RFT TYPE으로 교체 예정이다.
또한, KILN 에서 Cooler Impact Zone으로 유입되어 정체되는 Coating 및 Ball의 원활한 제거를 위해 CIS Cooler 전면벽체에 기계식 "PUSHER"를 설치 예정이다.

[문제점 2] : 공정 불안정시 COOLER E.P 입구 온도 상승
불량 클링카 발생 및 TOWER COATING TROUBLE 등에 따른 공정 불안정시 가끔씩 COOLER E.P 입구온도가 상승되어 집진판, 방전극 등의 내부설비 손상의 문제가 예상된다.

☞ 개선방안 1 : 운전방법의 개선
♦ COOLER 출구온도(COOLER E.P 입구온도) 관리기준 설정
▷ 정상운전 : 250℃ 이하
▷ 250℃ 이상 : 냉공기 담파 개방 시작
▷ 300℃ 이상 : 냉공기 담파 100% 개방
▷ 350℃ 이상 : # 8-10 COOLING FAN "S-TOP" (연동)
▷ 380℃ 이상 : COOLER E.P FAN "STOP" (연동) ➡ KILN "STOP"

※ COOLER 내부 HOT CLINKER가 완전히 배출되어 COOLER E.P 입구온도가 250℃ 이내로 정상화되었을 때 KILN RAW MEAL FEEDING.

☞ 개선방안 2 : 기계설비의 개선
향후 정기보수시 COOLER E.P 입구 GAS DUCT 양측에 각각 별도의 조절 가능한 FRESH AIR DAMER 설치 예정이다.

[문제점 3] : COOLER E.P FAN VOITH COUPLING의 반응속도가 늦다.
Cooler Vent Air량의 변화에 따른 Cooler E.P Fan의 Speed를 조절하는 Voith Coupling의 반응속도가 늦으며 Fan의 돌발차단 때에는 작동유의 Over Flow 현상이 나타난다.

☞ 개선방안 1 : 운전방법의 개선
♦ DAMPER CONTROL : KILN HOOD 압력편차 ±1㎜ H_2O
♦ SPEED CONTROL : KILN HOOD 압력편차 ±3㎜ H_2O
상기와 같이 표준화 예정이며, VOITH사와 다각적으로 검토를 하고 있으며 #6K/L 운휴시 VOITH사 ENGINEER가 내공하여 반응속도 TEST를 실시한 결과 SOLENOID VALVE TYPE을 변경하는 것으로 검토중이다.

☞ 개선방안 2 : 기계설비의 개선
FAN MOTOR 차단시 DRAIN PORT가 개방되도록 분전반 RELAY를 보수한 후 별다른 문제가 없는 상태이나, 향후 보수시 Over Flow 방지를 위해 Drain Line을 설치 예정이다.

5. 경제성 검토

5.1 개조 및 개체공사 투자비

고효율 CIS Cooler 개조공사에 투입된 사·도급금액은 약 5억6천만원이 투자되었으며, Cooler 전기집진기 개체공사에는 사·도급금액 약 18억7천만원의 투자비가 소요되었다.

5.2 개조후 경제적 효과

1) 열원단위 감소에 의한 절약금액 :

열원단위 약 17Kcal/㎏-clinker 감소에 따라 연간 약 2억 1천만원 정도의 연료비 절감이 예상된다.

절감금액 = (열원단위감소량 × Clinker 연생산량/ Coal 발열량) × Coal 단가

2) 전력원단위 감소에 따른 절약금액

전력원단위 약 3.25kwh/T-CL′ 감소에 따라 연간 약 2억원 정도의 전력비 절감효과가 있을 것으로 예상된다.

절감금액 = 전력원단위감소량 × Clinker 연생산량 × 전력단가

3) 환경 부과금 면제 및 시설관리 용이

- ♦ 집진효율 향상으로 인한 분진배출 허용기준치 초과 부과금 및 기본 부과금 면제
- ♦ 보수비용 감소 및 노동력 절감
- ♦ 안정적인 조업활동 및 시설관리 용이

6. 결 론

당사는 국내 부존자원 부족은 물론이며 날로 증가되는 에너지 수요가 이제는 부족현상으로 심화되어 에너지 절감이 절대적으로 요구되는 현시점에서 #6Kiln 고효율 CIS COOLER 개조를 약 5억 6천만원의 투자비를 사용하여 실시하였고 또한, 환경친화적 기업경영의 일안으로 실시되어진 COOLER 전기집진기 개체공사는 약 18억 7천만원의 많은 투자비를 들여 실시하였다.

이 결과로 열원단위 약 17kcal/㎏-Clinker 감소는 연간 약 2억원의 연료비 절감이 예상되어짐은 물론이며, COOLER 전기집진기 FAN Voith Coupling 설치로 R.P.M 운전이 가능하여 약 3.2kwh/Ton-Cl'의 전력원단위 감소로 연간 약 2억 1천만원의 절감이 기대되어진다.

또한, COOLER 전기집진기의 분진배출 농도는 허용기준치인 50㎎g/N㎥보다 현저히 낮은 3.8㎎g/N㎥으로 관리가 가능하게 되었다.

시멘트 산업은 에너지 소비가 많은 산업으로서, 향후 에너지 절감을 통한 생산원단위를 절감하여야만 생존할 수 있다는 위기 의식속에서 당사의 에너지 절감을 위한 끊임없는 노력은 제조기술 및 시멘트 산업전반에서 이루어질 것이며, 또한 환경친화적 산업경영은 21C의 최대 과제로서 후손에게 깨끗한 환경을 물려주기 위한 노력은 끊임없이 계속되어질 것이다.