

# 폐열발전시설 구축과 CO<sub>2</sub> 감축

조 윤 제 (동양시멘트 삼척공장 생산팀 차장)

## 1. 서 론

시멘트산업은 에너지 다소비업종으로 생산원가에서 에너지비용이 차지하는 비율이 매우 높으며, 그중에서 전력비 비중은 약 20~25%를 차지하고 있다.

또한, 시멘트산업은 주요제품인 클링커 제조특성상 탈탄산 분해과정을 거치며 온실가스인 CO<sub>2</sub>를 발생시키며 화석연료를 사용하는데 따른 필수불가결한 CO<sub>2</sub> 배출까지도 포함하면, 타산업에 비해 다량의 CO<sub>2</sub> 배출이 발생하는 상황이다.

최근 유가 및 석탄가 인상에 의한 전력비 원가 상승의 가능성이 높고 온실가스 배출에 대한 규제가 가시화되고 있는 현상황에서 시멘트산업에서의 에너지 절감 및 온실가스(CO<sub>2</sub>) 감축방안은 더욱 절실히 요구되고 있다.

에너지 절감 및 CO<sub>2</sub> 감축을 위한 다각적인 검토를 통해 시멘트 반제품인 크링커를 생산하는 소성공정에서 대기로 방출되는 폐열을 효율적으로 활용하기 위해서 폐열회수 발전소 설치를 검토하여 설치 운영하고 있다.

이를 통해 별도의 연료원 없이 시멘트 제조공정에서 발생하는 고온의 배가스를 폐열회수 보일러의 열원으로 사용하여 고온, 고압의 증기를 생산한 후, 증기터빈 발전기에 공급하여 전기를 생산하는 시설을 운영함으로써 전력비 절감 및 CO<sub>2</sub> 감축에 상당한 기여를 이룰 수 있었다.

## 2. 본 론

### 가. 사업목적

소성로 6, 7호기의 냉각단(Cooler)에 폐열회수보일러와 스팀터빈 발전기를 신규 설치하고 크링커 제조공정에서 발생하는 폐열을 회수하여 전력을 생산함으로써 에너지 비용 절감 및 온실가스(CO<sub>2</sub>) 배출 감축에 기여하고자 하는 사업이다.

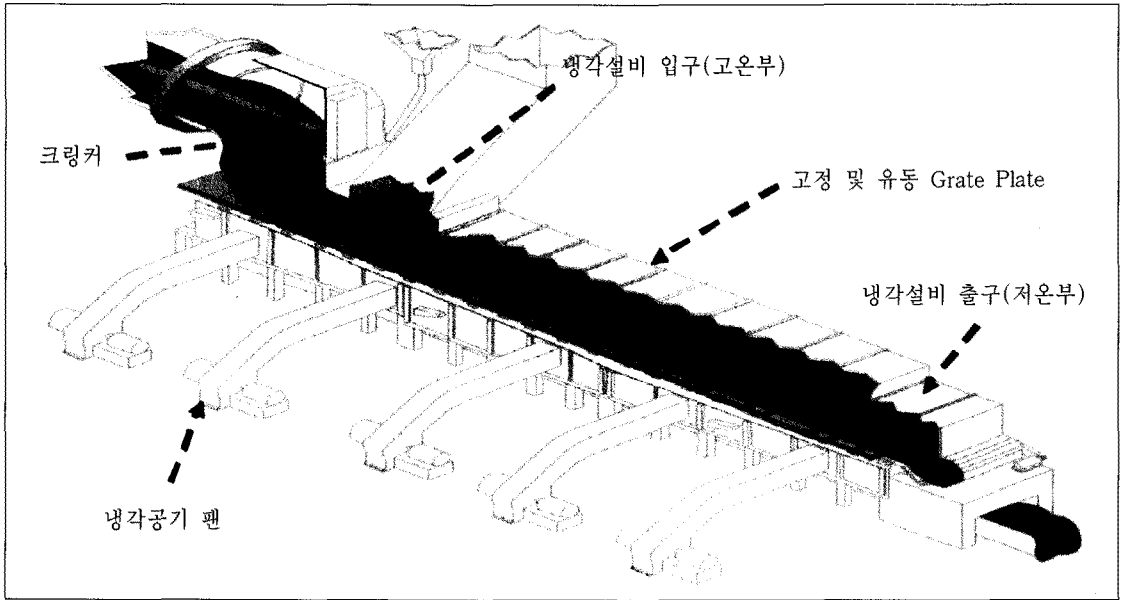
### 나. 사업내용

- 1) 공사기간 : 2002.7.~2004.8.
- 2) 투자비 : 22,045백만원
- 3) CO<sub>2</sub> 예상배출 감축량 : 50,270ton CO<sub>2</sub>-eq./년

### 다. 폐열발전설비 설치전 쿨러공정 및 Heat Balance

시멘트 생산공정의 소성과정을 통하여 생성된 크링커는 약 1,370°C로 배출되는데, 이 크링커를 섭씨 100°C 이하로 급냉시켜 주는 설비가 바로 냉각설비(Cooler)이다.(<그림-1>)

냉각설비(Cooler)는 3단으로 구성되어 있으며, 크링커는 고정 및 이동식 Grate Plate의 유압식 왕복작용에 의하여 냉각설비 입구(고온부)에서 출구(저온부)까지 이동하게 된다.



〈그림-1〉 냉각설비 구성도

냉각설비(Cooler) 하단부에는 13개의 팬(Fan)에 의하여 고압의 냉각공기가 유입되고, 이 냉각과정에서 발생한 고온의 공기는 소성로(Kiln) 및 예열기(Preheater)의 연소용 공기로 재활용되며, 나머지 공기는 냉각되어 냉각설비(Cooler) 출구측 전기집

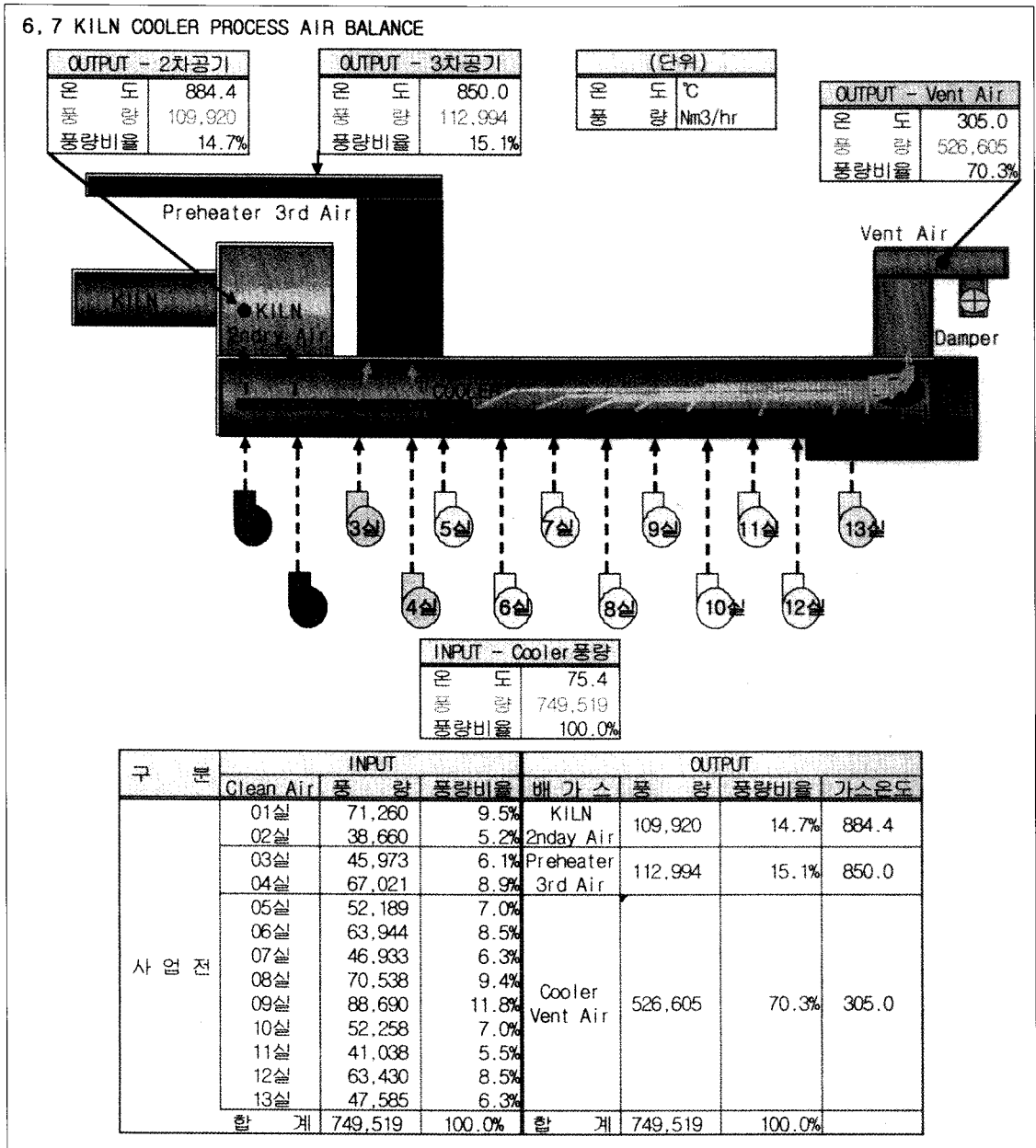
진기(E.P)를 경유하여 굴뚝으로 배출된다.

〈표-1〉과 〈그림-2〉는 본 사업의 사업경계인 소성공정의 공정운전 상태와 소성로(Kiln) 가동시 생산되는 크링커가 냉각설비(Cooler)에서 냉각되는 것과 동시에 발생하는 폐가스가 냉각설비(Cooler) 전

〈표-1〉 사업전 냉각설비 공정의 공정 운전상태(Air & Heat & Mass Balance)

구 분	AIR BALANCE			HEAT BALANCE			MASS BALANCE	
	풍 량 (Nm <sup>3</sup> /hr)	원단위 (Nm <sup>3</sup> /kg-cl)	비율 (%)	열 량 (kcal/hr)	원단위 (kcal/kg-cl)	비율 (%)	생산량 (Ton/hr)	비율 (%)
INPUT	Hot Clinker			103,140,699	348.03	88.9	296.4	100.0
	Cooling Air	749,519	2.53	12,922,775	43.60	11.1		
	소 계	749,519	2.53	116,063,474	391.63	100.0	296.4	100.0
OUTPUT	Cold Clinker			4,436,338	14.97	3.8	296.4	100.0
	2차 공기	109,920	0.37	31,670,977	106.87	27.3		
	3차 공기	112,994	0.38	31,080,105	104.87	26.8		
	Vent Air	526,605	1.78	47,394,254	159.92	40.8		
	Heat Loss			1,481,800	5.00	1.3		
	소 계		2.53	100.0	116,063,474	391.63	100.0	296.4

주) 2001년도 기준 자료임



주) 2001년도 기준 자료임

<그림-2> 본 사업전 냉각설비(Cooler) 공정도 특성(Cooler 풍량 배분도 및 배분비율)

기집진기(E.P)를 경유하여 굴뚝(Stack)으로 배출되는 공정 및 2001년도 기준 공정의 운전 상태치를 Air & Heat & Mass Balance 관점에서 도식화한

것이며, 사업경계내의 폐열회수보일러와 스팀터빈 발전기 설비의 신규 설치 공사 이전 상태의 공정 흐름도를 나타낸 것이다.

라. 폐열발전설비 설치후 클러공정 및 Heat Balance

〈표-2〉 및 〈그림-3〉, 〈그림-4〉는 본 사업후 사업 경계인 소성공정의 공정 운전상태와 당 사업장의 크링커 제조공정에서 발생하는 폐열을 Vent시키는 대신 고온단과 냉각단의 폐열을 회수하여 폐열회수보일러 및 스팀터빈발전기 설비를 이용하여 전력을 생산하는 공정의 흐름도 및 2006년도 기준의 공정 운전상태 등을 Air & Heat & Mass Balance 관점에서 도식화한 것이며 사업 경계내에서 폐열회수보일러와 스팀터빈발전기 설비의 신규 설치 공사후 공정 흐름도를 나타낸 것이다.

냉각설비(Cooler)에 공급된 대기상의 공기는 소성로(Kiln)에서 생산되는 크링커를 냉각시키게 되며, 냉각시킨 후 발생하는 폐열은 소성로(Kiln)의 2, 3차 열풍(Hot Gas)으로 이용된다. 기존 폐열을 Vent시키는 대신 고온단과 냉각단의 폐열을 회수

(450°C, 300,000Nm<sup>3</sup>/hr)하여 폐열스팀보일러를 가동후 냉각단의 폐열과 합쳐진 후(107~157°C) 냉각설비(Cooler)의 전기집진기(E.P)를 경유하여 석탄 밀 분쇄용 열풍(Hot Gas) 및 굴뚝(Stack)으로 배출되는 것이다.

본 사업은 당 사업장의 소성로 6, 7호기의 냉각설비(Cooler)에서 폐열을 폐열회수보일러의 Economizer, Evaporator, Superheater를 통해 회수하여 고온, 고압의 과열증기를 만들어 스팀터빈을 구동하여 전력을 생산하는 방식이다.

고온의 폐열(Hot Gas)로부터 열을 흡수한 후 고압증기와 고온수를 생산하여 스팀터빈 발전기에 공급하는 폐열회수보일러 공정, 열에너지를 기계적에너지로 전환하여 발전기를 구동하여 전기적에너지를 생산하는 증기터빈 공정, 증기터빈에서 팽창이 완료된 배기증기가 복수기로 유입되어 냉각수에 의하여 응축된 후 복수펌프에 의해 보일러에 재공급하는 복수공정, 폐열회수보일러의 열매체로 이용되는

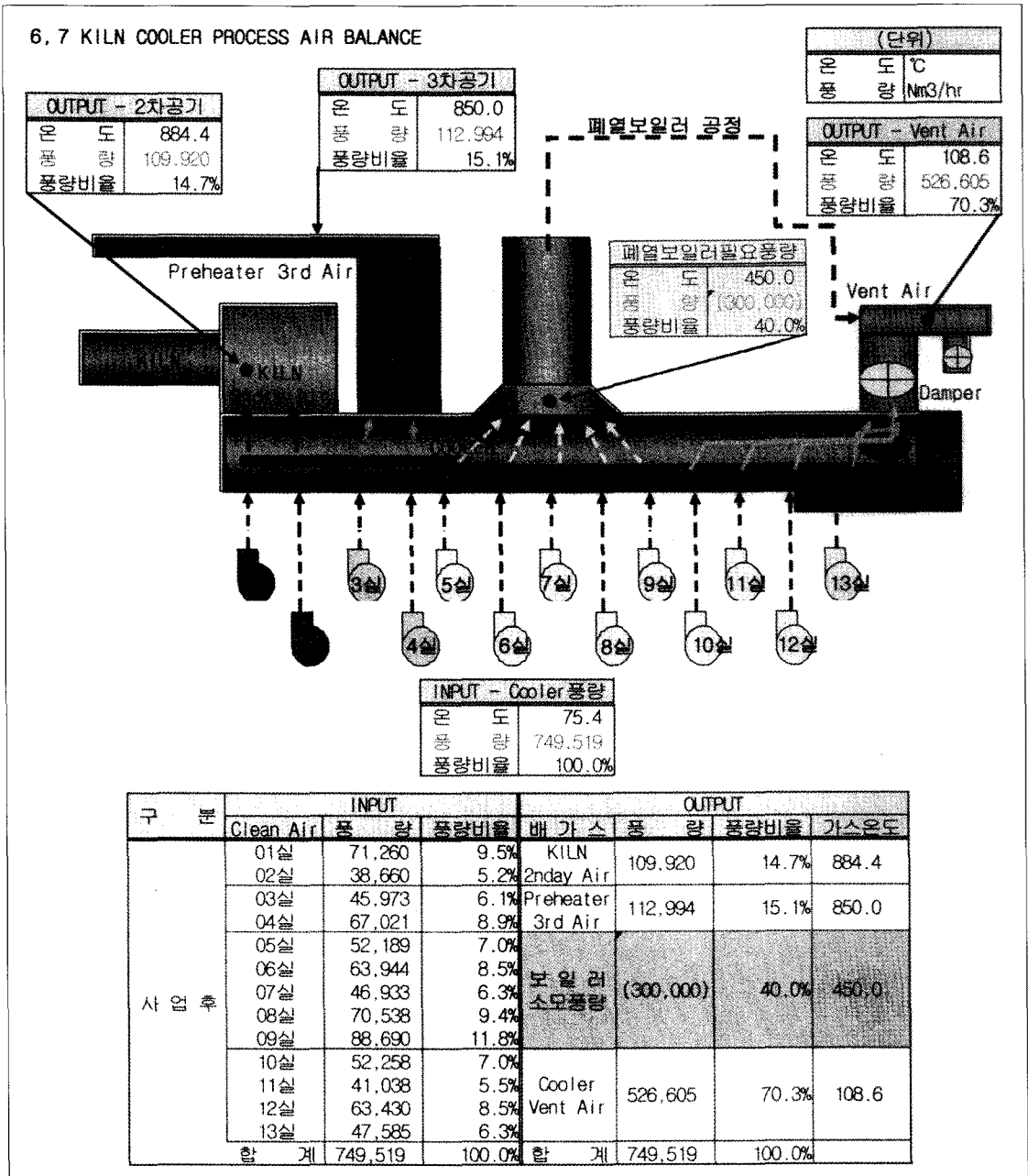
〈표-2〉 사업후 냉각설비(Cooler) 공정 운전상태(Air & Heat & Mass Balance)

구 분		AIR BALANCE			HEAT BALANCE			MASS BALANCE	
		풍 량 (Nm <sup>3</sup> /hr)	원단위 (Nm <sup>3</sup> /kg-cli)	비율 (%)	열 량 (kcal/hr)	원단위 (kcal/kg-cli)	비율 (%)	생산량 (Ton/hr)	비율 (%)
INPUT	Hot Clinker				103,140,699	348.03	88.9	296.4	100.0
	Cooling Air	749,519	2.53	100.0	12,922,775	43.60	11.1		
	소 계	749,519	2.53	100.0	116,063,474	391.63	100.0	296.4	100.0
OUTPUT	Cold Clinker				4,436,338	14.97	3.8	296.4	100.0
	2차 공기	109,920	0.37	14.7	31,670,977	106.87	27.3		
	3차 공기	112,994	0.38	15.1	31,080,105	104.87	26.8		
	보일러소모열	(300,000)	(1.01)		32,844,000	110.82	28.3		
	Vent Air	526,605	1.78	70.3	14,550,254	49.10	12.5		
	Heat Loss				1,481,800	5.00	1.3		
	소 계		2.53	100.0	116,063,474	391.63	100.0	296.4	100.0

비고 1) 폐열보일러 운전조건을 위한 폐열보일러 추기부 운전조건(450°C, 300,000Nm<sup>3</sup>/hr)에 해당하는 풍량은 냉각설비(Cooler) 중간부위에서 추기하여 폐열보일러 공정에서 열교환 후 전기집진기(E.P) 입구덕트를 통해 굴뚝(Stack)으로 배출된다. 즉, 폐열보일러 공정에서 배출되는 풍량은 기존의 냉각설비(Cooler) 출구덕트 풍량과 합쳐져서 전기집진기(E.P) 입구덕트를 통해 굴뚝(Stack)으로 배출됨. 따라서, 폐열보일러 입구 풍량 300,000Nm<sup>3</sup>/hr은 Air Balance에서 감안하지 않음.

2) 보일러 소모열량은 폐열보일러 공정에서 열교환 후 소모한 열량으로서 Heat Balance 계산시 보일러 소모열량을 감안하여야 함.

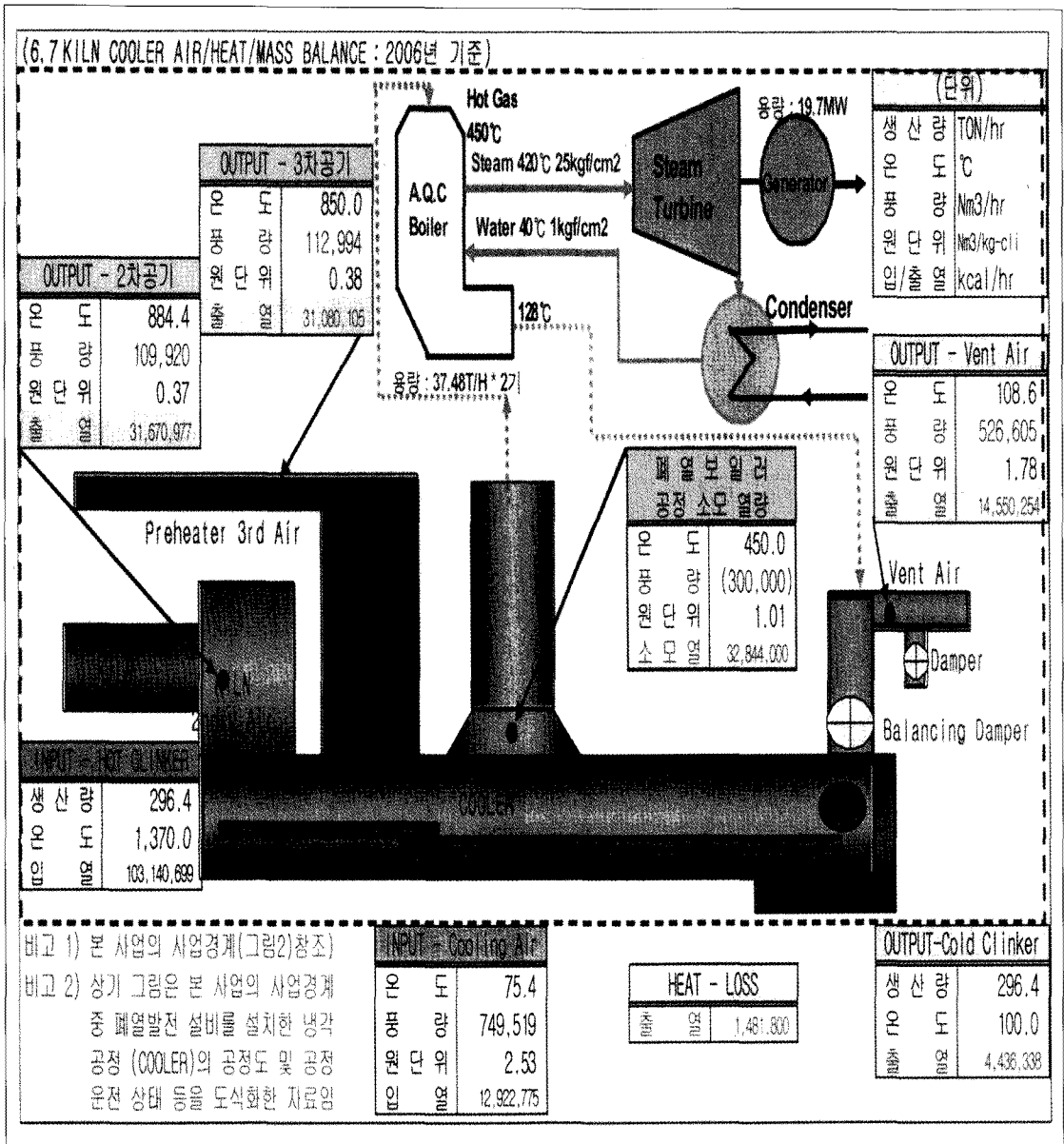
주) 2006년도 기준 자료임



〈그림-3〉 본 사업후 2006년 기준 냉각설비(Cooler) 공정도 특성(Cooler 풍량 배분도 및 배분비율)

급수 및 복수기 냉각수에 사용되는 순수 및 냉각수를 생산하는 수처리 공정, 폐열보일러의 열원인 열풍을 소성로 6, 7호기 Cooler에서 추가하여 더스트

를 일정 수준까지 제거한 후 보일러로 공급하고 보일러에서 열교환 후 냉각된 가스를 기존 전기집진기 입구로 보내는 열풍공정 등으로 설계되었다.



<그림-4> 본 사업후 공정도, 폐열발전설비 공정도 및 공정 운전상태 도식화(2006년도 기준)

페열보일러의 열풍을 추가하는 팬(Fan)은 기존의 냉각설비(Cooler) 전기집진기(E.P) 출구에 설치된 배기팬(Vent Fan, Cooler IDF)을 사용하여 페열보일러의 열 원인 열풍을 추가하며 기존 냉각설비(Cooler) 출구 덕트(Duct)에 풍량 조절용 담

파(Balancing Damper)를 설치하여 냉각설비(Cooler) 공정의 Air Balance를 조절할 수 있도록 설계하였다.

페열발전 설비 용량은 총발전 생산량 19.7MW, 자가소비 전력량 1.15MW이다.

## 마. 폐열발전설비 설치후 CO<sub>2</sub> 감축 실적

〈표-3〉 본 사업후 사업 유효기간 1, 2년차 온실가스 감축량 실적 자료

(단위 : KWH, ton CO<sub>2</sub>-eq)

연 도	월	폐열발전량 현황			온실가스 감축량
		총 발전량	자가소비량	순 발전량	
2006	1월	4,508,280	513,100	3,995,180	1,694
	2월	4,142,520	467,430	3,675,090	1,558
	3월	9,016,920	706,050	8,310,870	3,524
	4월	10,686,600	688,020	9,998,580	4,239
	5월	10,313,280	692,600	9,620,680	4,079
	6월	8,754,480	657,700	8,096,780	3,433
	7월	9,251,640	708,510	8,543,130	3,622
	8월	7,824,600	622,690	7,201,910	3,054
	9월	9,506,880	656,770	8,850,110	3,752
	10월	8,928,000	649,970	8,278,030	3,510
	11월	8,767,440	594,800	8,172,640	3,465
	12월	10,504,080	649,610	9,854,470	4,178
	합 계	102,204,720	7,607,250	94,597,470	40,109
2007	1월	7,677,360	628,820	7,048,540	2,989
	2월	4,482,000	525,820	3,956,180	1,677
	3월	5,562,720	544,770	5,017,950	2,128
	4월	3,233,520	286,410	2,947,110	1,250
	5월	6,689,160	678,150	6,011,010	2,549
	6월	10,579,320	697,370	9,881,950	4,190
	7월	11,442,960	716,710	10,726,250	4,548
	8월	10,811,520	712,530	10,098,990	4,282
	9월	11,202,120	705,030	10,497,090	4,451
	10월	9,592,200	639,140	8,953,060	3,796
	11월	11,666,520	648,890	11,017,630	4,671
	12월	12,695,760	681,510	12,014,250	5,094
	합 계	105,635,160	7,465,150	98,170,010	41,624

### 3. 결 론

에너지 다소비 업체이며 공장상 CO<sub>2</sub> 발생량이 많은 시멘트업체 특성상 크링카 냉각공정에서 발생하는 폐열을 활용하여 발전을 하는 기술은 국내 뿐만

아니라 해외에서도 널리 이용되고 있으며 온실가스 에 대한 관심이 점점 높아지는 현 시점에서 폐열발전설비 설치의 국내 타 양회업체에서도 선택사항이 아닌 필수사항이라 할 수 있으며 당 공장에서도 6, 7호기 외에 1~5호기에도 폐열발전설비 설치를 검토하고 있다. ▲