

아소시멘트社의 에너지節約

Yoshisuke Tanaka

尹 亨 燮(譯)

〈星信洋灰工業(株)企劃課〉

- ◇…… 譯者註：1985년 3월 19~21일 태국의 방콕에서 제 6회 AFCM(ASEAN FEDERATION OF CEMENT MANUFACTURERS) 技術심포지움이 開催된 바 여기서 美國, 英國, 日本, 프랑스, 西獨 등 10餘個國의 관련 인사들이 발표한 16편의 論文을 묶은 CEMENT PLANT MODERNIZATION AND DISTRIBUTION SYSTEM 이란 資料를 韓國重工業株式會社를 통해 入手, 國內 시멘트 業界에 도움이 될 만한 本論文 한편을 골라 譯載한다.

1. 개 요

아소시멘트사는 NSP키른 1기 및 Unax cooler형 SP키른 1기를 각각 보유하고 있는 두 공장을 갖고 있으며 이 시설들은 F. L. Smith사에서 공급되었다.

일본은 에너지원의 대부분을 수입에 의존하고 있고 시멘트 공업의 경우 생산 원가의 50~60%를 에너지 비용이 차지하고 있어 에너지 절약 문제는 가장 중요한 관심사가 되고 있다.

당사는 이러한 문제를 수년 전부터 비중있게 다루면서 상당한 효과를 거두어 보통 포틀랜드 시멘트를 생산할 경우 SP키른이 680 kcal/kg-clinker, NSP키른이 730 kcal/kg-clinker의 열소모량을 나타냈고 전력 소비량을 100kwh/ton-cement으로 낮출 수 있었다.

〈그림-1〉과 〈그림-2〉는 당사의 Tagawa Plant(이하 T공장으로 약칭)와 Kanda Plant(K공장)의 개략적인 키른 운전 현황을 나타내고 있다.

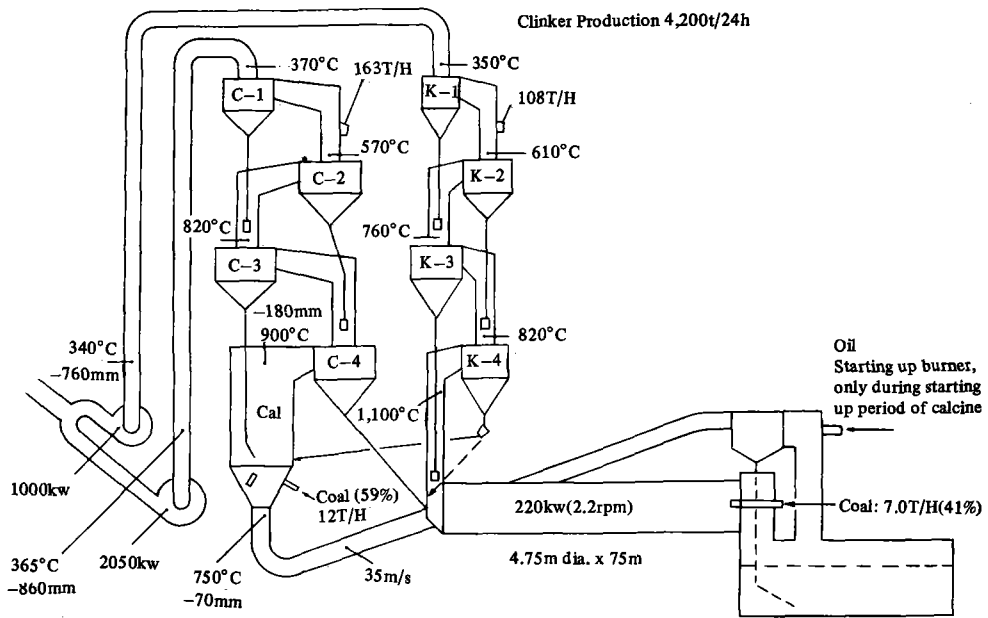
2. 에너지 절약사업 추진

1980년 당사에서는 사용 연료를 B.C油에서 유연탄으로 대체하기 위한 연소 시스템의 개조를 시행하여 연료비를 대폭 절감하고 그 후에도 지속적인 에너지 절감을 위해 노력을 경주하였다.

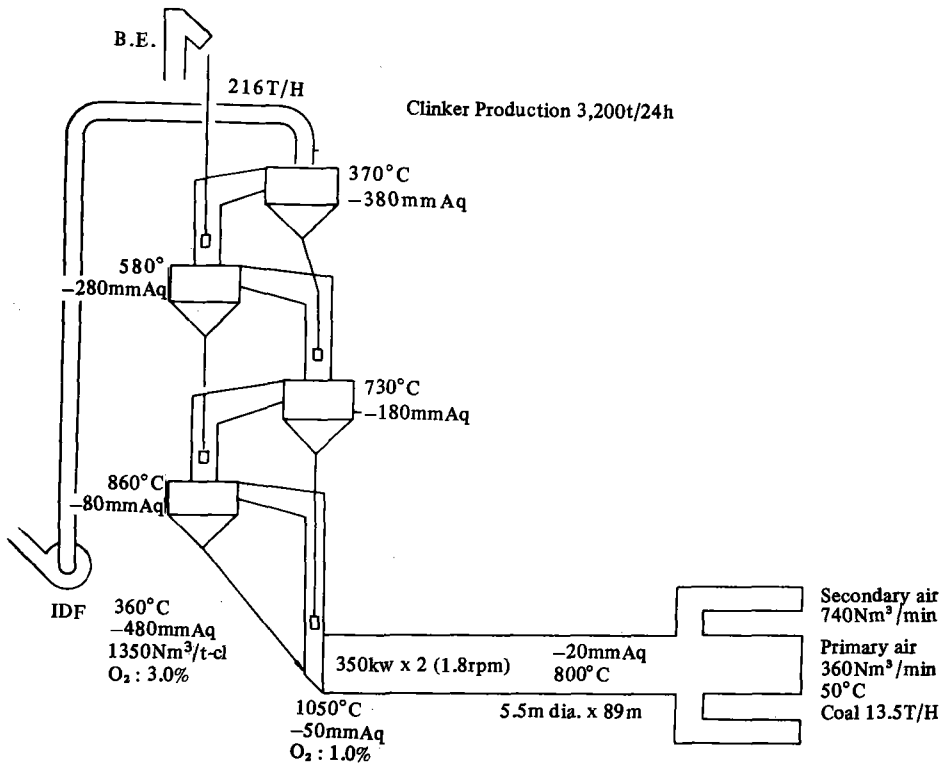
기술진과 현장 근무자들은 원료 분쇄 및 소성 부분의 원료비(연료비)와 전력비 절감에 목표를 두고 5~6명으로 분임조를 조직하여 TQC 활동을 활발히 전개하였다. 그 결과 에너지 절약을 위한 많은 제안이 현장을 통해 이루어졌으며

筆者：Yoshisuke Tanaka

1936년 4月生, 59년 3월 큐슈대 광산과 졸업, 同 4월 아소시멘트사 입사, 65년 9월 큐슈대 화공과 수료, 80년 3월 대만 수아오시멘트사 건설기술감리, 현재 아소시멘트사 타가와공장 부공장장.



< 그림 - 1 > Arrangement and Operation data of NSP kiln at Tagawa Works



< 그림 - 2 > Arrangement and Operation data of SP kiln with Unax cooler at Kanda Works

분임조 활동을 통한 성과는 경영진, 기술진 및 현장 근무자들이 모두 참석하는 심포지움에서 발표되었다.

3. 원료 분쇄 부문

원료 비용과 키른의 열소비량을 절약하기 위해 “에너지 절약형 원료(Energy-saving raw material)”와 “에너지 함유 원료(Calorific raw material)”를 활용하였다.

1) Blast furnace slag

제철산업의 부산물인 슬래그 특히 값이 저렴한 서빙 슬래그를 대량 사용하였다. 알려진 바와 같이 슬래그는 탈탄산 반응이 끝난 lime을 함유하고 있어서 석회석의 부분적인 대체 및 키른의 연료 소모량을 절약하며 소비 연료의 절약에 의해 폐가스량이 감소되어 배기 팬의 부하를 낮추어 줌으로써 전력비 절감 효과를 이룩할 수 있다.

2) Carbonaceous shale

당사는 석탄 광산을 소유하고 있으며 그 곳

에서 버려지는 폐탄은 시멘트 원료 중의 점토 성분을 대체하여 사용할 수 있고 1,000~1,200 kcal/kg의 열량을 보유하고 있어 보유 열량의 약 70%를 소성 공정에 활용함으로써 열사용 측면에서 매우 유용하다. 이 폐자원은 광산에 인접한 T공장에 대량 공급되고 있으며 화학 성분 및 전기 집진기의 집진 효율을 고려하여 사용량을 결정한다.

3) Converter slag, magnetically separated slag and blast furnace dust

제철 산업의 부산물로서 저장 및 처리에 심각한 문제를 유발시키는 이 폐기물들을 당사는 원료의 철(Fe) 성분원으로 사용하였다.

동슬래그에 비해 값이 저렴하고 열량을 함유하고 있으나 단점으로는 미량이지만 MnO, TiO₂ 등의 성분을 함유하고 있는 점이다. 이 미량 성분은 시멘트 품질과 분쇄효율에 영향을 줄 수 있기 때문에 신중히 고려되어야 한다.

<表-1>은 각 슬래그의 화학 성분을 나타낸다.

4) 기 타

SiO₂ 공급원으로 폐목재, 주물사(moulding

Chemical composition of slag

<表-1>

	moisture (%)	Ig-loss (%)	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	Total (%)	Heat-value
Blast furnace slag	5.5	-	34.7	15.8	0.4	41.9	6.5	99.3	-
Blast furnace dust	20.0	39.4	5.0	5.0	39.9	3.7	0.9	93.9	3,090
Convertor slag	2.4	-	12.5	9.5	27.2	45.0	5.7	99.9	-
Non magnetic slag	7.3	-	14.6	5.7	46.7	29.1	1.8	97.9	600

Heat Value: Kcal/Kg

sands), 펄프 슬러지 등을 사용하였으며 하수 슬러지의 사용 가능성을 검토하고 있다.

〈表-2〉는 당사 시멘트 제조 원료로 사용되는 폐자원의 사용량을 나타내며 〈그림-3〉은 그 사용 결과로서 에너지 소비가 현저히 감소하였음을 보여주고 있다.

4. 소성 부문

일반적으로 고온 화염이 요구되는 시멘트 소성로에는 무연탄 등과 같은 저휘발성 연료(low volatile fuels)는 부적당한 것으로 알려져 있으나 연소 시스템의 부분적인 개조 및 연소 조건을 개선시킴으로써 저휘발성 연료를 소성용으로 사용할 수 있었으며 또한 T공장에서 가까운 광산으로부터 저품위 유연탄(3,700 - 4,000 kcal/kg)을 저렴하게 구입, 활용하였다.

무연탄, petro coke 등과 같은 저휘발성 연료는 고열량을 갖고 있어서 소성 공정에 사용될 수 있으나 calciner에서는 체류 시간이 짧기 때문에 완전 연소가 곤란하여 사용량의 제한을 받으므로 T공장에서는 저품위 유연탄과 저휘발성 연료의 사용량을 증가시키기 위해 calciner를 부분적으로 개조하였다.

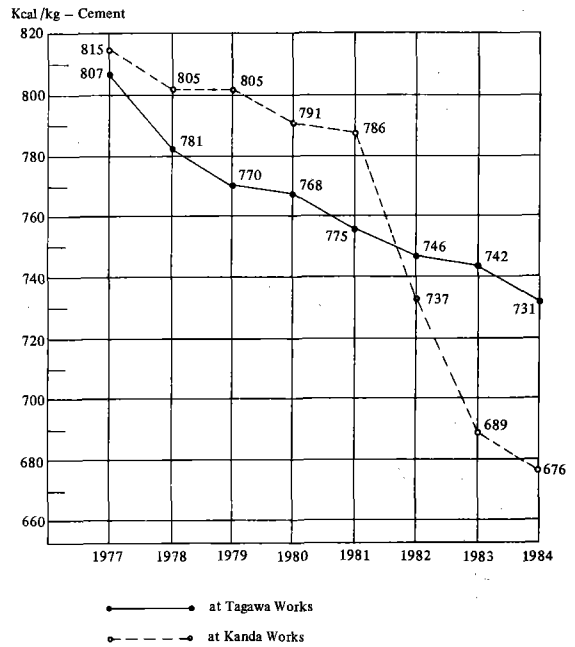
다음은 각 에너지원의 평균 단가이다. (84년 기준)

Coal : 2.6 엔/10³ kcal

Various materials used as cement raw materials

〈表-2〉 Unit: wet-kg/t-cement

	Tagawa	Kanda
Blast furnace slag	-	128
Carbonaceous shale	84	40
Converter slag	-	20
Blast furnace dust	7	12
Magnetically separated slag	13	-
Wooden board scraps, etc.	5	5
Total	109	205



〈그림-3〉 Reduction of heat consumption

Petro coke : 2.1 엔/10³ kcal

Anthracite : 2.35 엔/10³ kcal

Low grade coal : 2.08 엔/10³ kcal

1) Petro coke, Anthracite

T공장은 소성 연료로서 petro coke를 kiln 56%, calciner 62% (총 60%)의 비율(열량기준)로 사용 중이다.

〈表-3〉은 petro coke를 사용하여 소성한 크링카의 분석치로서 양호한 품질을 보여주고 있다.

K공장은 Unax cooler 형 키른이기 때문에 T공장에 비해 petro coke의 사용량은 적다(〈表-4〉 참조).

이러한 저휘발성 연료는 유연탄에 비하여 연소 시간이 길기 때문에 과량의 공기가 필요하며 연소 공기가 충분치 못할 경우 미연소 탄분(unburnt carbon)의 영향으로 키른 입구 및 calciner에서 환원 분위기가 생성되어 크링카 품질에 나쁜 영향을 줄 수 있다.

2) Low grade coal

Chemical composition of clinker, in %

<表-3>

Ig-loss	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Total
0.2	22.7	5.8	3.0	66.2	1.0	0.5	99.5

LSF	F.M.	S.M.	I.M.
0.91	2.10	2.58	1.60

연료사용비교(최대치)

<表-4>

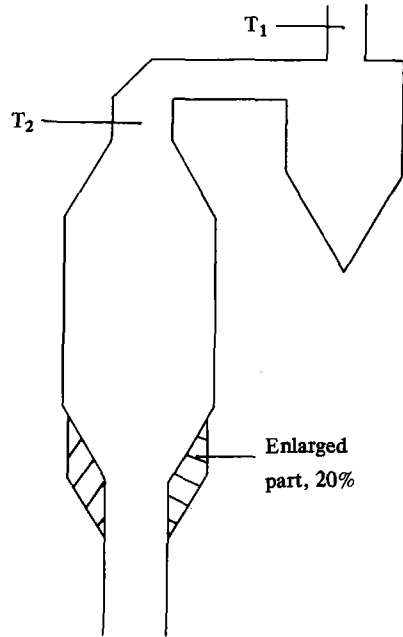
	Tagawa	Kanda
Normal coal	31%	41%
Petro coke	60%	43%
Anthracite	-	16%
Low grade coal	9%	-

(열량기준)

저품위 유연탄과 같은 저열량 연료는 키론에서 사용하기에는 부적당하여 T 공장 기술진들은 Calciner에서의 사용 가능성을 면밀히 검토하였다.

검토 결과 미분쇄한 저품위 유연탄의 사용이 가능했으나 88μ 잔사가 30%에 달하여 연소 시간 및 미연소 탄분의 영향이 문제가 되었다.

<表-5>는 각 연료의 공업 분석치이다.



<그림-4>

3) Improvement of combustion

미연소 탄분에 의한 문제를 해결하기 위하여 calciner를 아래와 같이 개조하였다.

(1) Enlargement of Calciner volume

연료 체류시간을 증가시키기 위해 <그림-4>와 같이 개조하여 calciner 체적을 20% 증가시

<表-5>

Proximate analysis of fuel

	Free moist. (%)	Inherent moist. (%)	Ash (%)	Volatile matter (%)	Fixed carbon (%)	Heat value (kcal/kg)
Petro coke	9.0	1.2	0.3	11.7	86.8	8,550
Anthracite	8.5	1.5	17.3	10.4	70.8	6,700
Low-grade coal	10.0	2.7	49.1	25.5	22.7	3,700
Carbonaceous shale	9.0	2.0	74.6	16.0	7.4	1,100

켰고 사이크론(〈그림-1의 C-4〉)과 calciner 사이의 닥트를 연소실로 활용하기 위해 온도 조절 장치를 T_2 에서 T_1 으로 옮겼다.

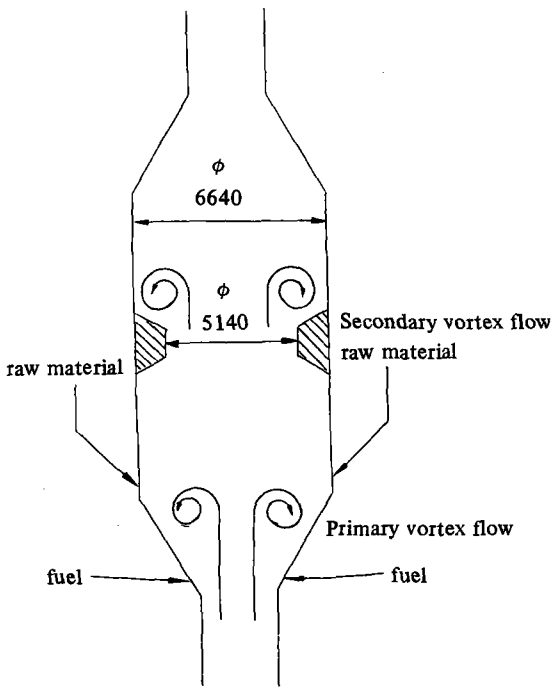
(2) Installment of the throat

원료와 연료의 혼합을 향상시키기 위해 〈그림-5〉와 같이 calciner 내부에 돌출부를 만들었다.

(3) High temperature combustion inside calciner

T공장에서는 F.L.S사와 협력하여 저휘발성 연료의 연소율을 증가시키기 위해 C-3(〈그림-1〉참조)에서 calciner로 연결되는 슈트의 중간 지점에 〈그림-6〉과 같이 분산판을 설치하였다. 그 결과 calciner 내부의 저온(약 920℃) 부위가 1,020℃를 나타내면서 연소 상태가 향상되었다.

〈그림-7〉은 개조 후의 calciner 내부 온도 분포를 나타내고 있다.



〈그림-5〉

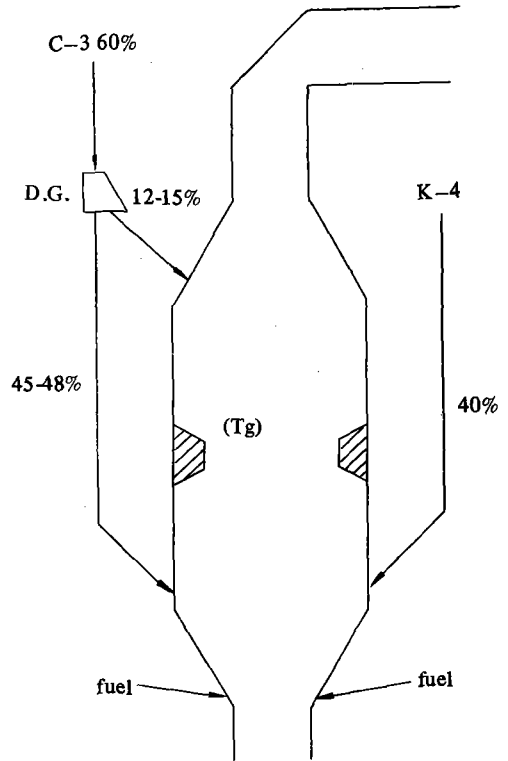
〈表-6〉

	Before Modification	After Modification
Duct	112 m ³	112 m ³
Calciner	408 m ³	408 m ³
Enlarged part	-	111 m ³
Total	520 m ³	631 m ³
Retention time	2.9 sec.	3.4 sec.
Thermal load	1.62 x 10 ⁵	1.33 x 10 ⁵
load	kcal/m ³ h	kcal/m ³ h

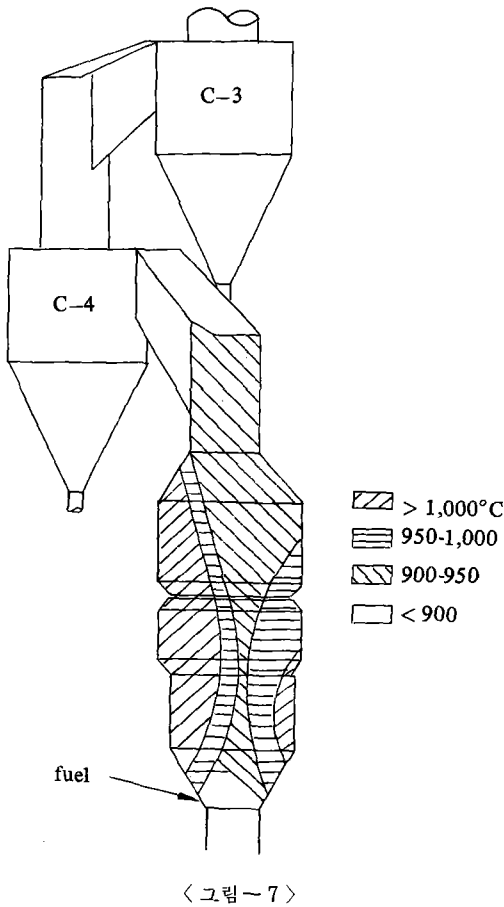
(4) Increase of fuel supply inlets

Calciner 내부 온도를 측정함으로써 투입 연료량과 상관없이 연료 분사구 반대측의 연료 분산 상태가 불량한 것을 알게 되어 〈그림-8〉과 같이 연료 분사구를 1개 추가 설치하였다.

이상과 같은 개조 작업을 통하여 크링카 품질을 유지하면서 값이 저렴한 대체 연료 사용량을



〈그림-6〉



증가시키는데 성공함으로써 연료비를 대폭 절감할 수 있었다.

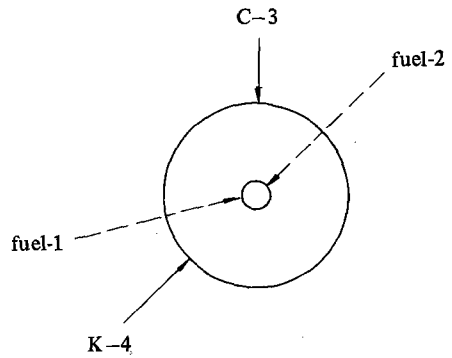
〈그림-9〉는 연소 시스템 개체 후의 연료비 절감 추세를 보여 주고 있다.

5. Electric power consumption

일본에서 1980년 일반적인 전력 소비량은 시멘트 톤당 121 kwh 였으나 1984년에 이르러 평균 111 kwh/ton 으로 낮아졌다.

그러나 1980년에 아소시멘트사는 T공장이 107 kwh/ton, K공장이 112 kwh/ton 으로 조업을 하였으며 100 kwh/ton으로 낮추기 위한 절약 사업을 추진, 그 목표를 달성하였다.

1) Reduction of pressure loss across cyclone.



〈그림-8〉

T공장의 NSP 사이클론들은 최근에 설치되는 사이클론에 비해 작은 직경으로 인한 압력 손실이 매우 커서 집진 효율을 유지하면서 아래와 같이 개조하였다.

① 사이클론 입구 닥트를 넓혀 유속을 감소시키고

② 출구 닥트의 직경을 늘리면서 dipping length를 단축하였다.

〈表-7〉과 〈表-8〉은 T공장의 키른 배기팬의 운전 개요와 사이클론 개조 효과를 보여 주고 있다.

2) Prevention of leak and reduction of pressure loss across the vertical mill

vertical mill의 원료 투입구 및 롤러 지지 구조물 부위에서 유입 공기가 많아 mill 배기팬의 과부하 원인이 되었다.

Specification of I.D. Fan for NSP at Tagawa

〈表-7〉

	K-IDF	PC-IDF
Gas amount (m ³ /min)	4,300	7,800
Gas temperature (°C)	350	350
		(max. 400)
Pressure (mmH ₂ O)	900	1,050
Motor output (kW)	1,000	2,050

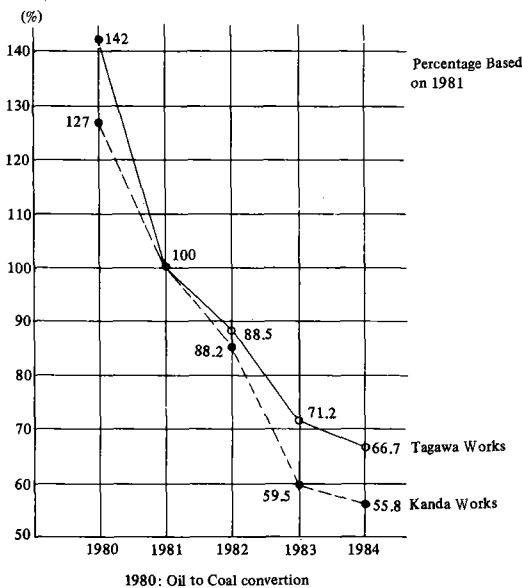
<表-8>

Cyclone	Modification	Reduction of pressure loss	Total
K-1	• Enlargement of central duct diameter and shortening of insertion length	51 mmH ₂ O	135 mmH ₂ O
K-2	• Enlargement of inlet sectional area	42 mmH ₂ O	
K-3	• Same as above	42 mmH ₂ O	
C-1	• Enlargement of central duct diameter and shortening of insertion length.	57 mmH ₂ O	110 mmH ₂ O
C-2	• Enlargement of inlet sectional area	26 mmH ₂ O	
C-3	• Same as above	27 mmH ₂ O	

Electric power consumption: -10%, 1.6 kwh/t-cement

원래 mill 입구에는 3단 플랩밸브가 장치되어 공기 유입을 차단하고 있으나 그 효과를 높이기 위해 Blade ring (Nozzle ring)을 압력 손실이 낮은 type으로 교환해서 약 100 mmH₂O

의 압력 손실 감소 효과를 보아 0.7 kwh/ton의 전력을 절약하였고 롤러 지지 구조물 주변의 rubber seal을 machined seal type으로 대처하여 300 m³/min의 유입 공기를 차단하여 0.4 kwh/ton의 전력을 절약하였다.



<그림-9> Reduction of fuel cost

3) Increase of the grinding capacity of the cement mill

시멘트 제조에 소요되는 전력의 40~45%가 cement mill에서 소비되고 있기 때문에 크링카 분쇄 효율 및 mill의 단위 생산량에 대한 검토는 중요한 관심사가 아닐 수 없다. 따라서 당사는 시멘트 분쇄기의 분쇄 능력을 증대시키기로 하고 다음과 같은 작업을 실시하였다.

- ① classifying liner의 설치 및 2실에 17φ의 ball 투입.
- ② 분쇄 조제 사용.
- ③ 분쇄 소음을 이용한 mill control (아직까지 실험 단계임).

4) Improvement of SP IDF efficiency

〈表-9〉

Name of means	Reduction in Power consumption
• use of classifying liners and small grinding balls	2.9
• grinding aid	3.0
• Mill control with grinding sound	Still in the testing stage
Total	5.9 (kwh/t-cement)

〈表-10〉

Specification of I.D. Fans for the SP at Kanda:
(2 fans)

Gas amount 5,000 m³/min
 Gas temperature 350°C (max. 400°C)
 Pressure 650 mmH₂O
 Motor power 1,100 kw
 Fan efficiency 84% (before replacement: 64%)

	Before Replacement	After Replacement
No. 1 fan	664.6 kw	523 kw
No. 2 fan	623.4 kw	516 kw
Total	1,288.0 kw	1,039 kw

$$\frac{1,288 - 1,039}{139.6 \text{ t-cl}} = 1.78 \text{ kwh/t-cl'}$$

K공장의 plate 형 fan을 보다 효율이 좋은 turbo 형으로 교환하여 〈表-10〉과 같은 효과를 얻었다.

5) Improvement in mill IDF operation

mill로 유입되는 키른 폐가스량을 원료 건조에 소요되는 최소 유량으로 조절하여 냉각수 사용량을 줄임으로써 수증기에 의한 배기 팬의 과부하를 감소시키고 결과적으로 전력비를 절약하였다.

〈表-11〉은 그 개선 효과를 나타낸다.

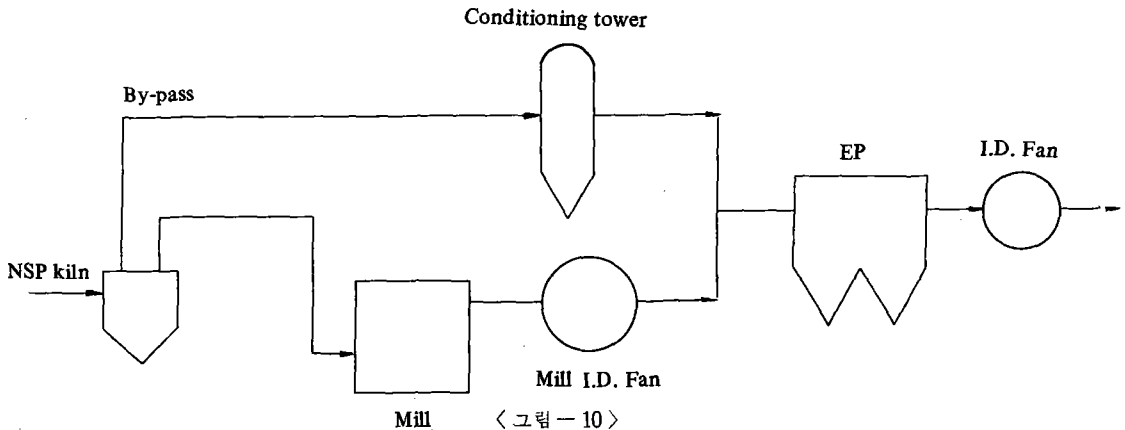
6) 기 타

에너지 절약을 위하여 이상과 같이 기술한 방법 이외에 다음과 같은 조치를 하였다.

- ① preheater로 유입되는 공기 차단
- ② 불필요한 수송 장치의 가동 통제
- ③ 수송 장치에 사용되는 각종 모터 용량 검토 및 교환
- ④ 공장 내부 조명 시설 검토 및 통제

7) 폐가스를 이용한 발전

T공장은 NSP 및 쿨러의 폐열을 이용하여 총 소비 전력의 30%에 해당하는 발전시설 (eff' power 5,000 kw)의 설치를 계획하고 있다. 이 발전 시설을 갖출 경우 폐가스의 에너지 회수율을 다음과 같이 높일 수 있다.



<表-11>

	Before Improvement	After Improvement
• Grinding capacity of the mill (t/h)	280	280
• Water introduction into the mill (t/h)	6	2
• Mill IDF-Amp	405	395
• Power consumption (kw)	2,063	1,971
• Revolution (rpm)	1,100	1,070

$$\frac{2,063 - 1,971}{180 \text{ t-cl}^2/\text{h}} = 0.51 \text{ kwh/t-cl}^2$$

NSP 58 % → 75 %

Cooler 59 % → 87 %

8) Clinker grinding by a vertical mill

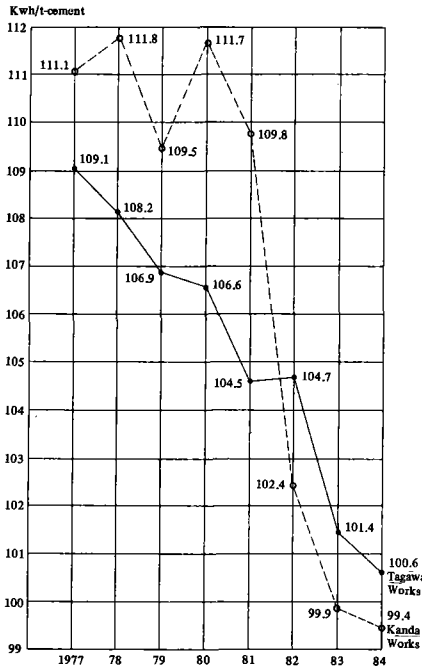
T 공장 기술진들은 FLS사와 협력하여 vertical mill로서 크링카 분쇄 시험을 진행하고 있

다.

현재까지는 기존 tube mill과 비교했을 때 약 30%의 전력비로서 분말도(Blaine) 3,000cm²/g, 18 ton/h를 생산하고 있다.

이상과 같은 개조 작업은 1980년 유연탄 연소 시스템으로 개체한 후보다 더 큰 에너지절약 효과를 안겨 주었다.

<그림-11>은 연도별 전력 소비량 비교치로서 감소 추세를 보여 준다.



<그림-11> Reduction of electric power consumption

6. 결 론

① 수년간에 걸친 노력으로 NSP 키른의 열원단위를 730 kcal/kg, SP 키른의 경우 680 kcal/kg까지 낮출 수 있었다.

② 값이 저렴한 petro coke, 무연탄, 저품위 유연탄 등의 사용량을 점차 늘려서 연료 시스템 개체 후인 1981년과 비교해서 1984년에 이르러 T공장의 경우 67%, K공장의 경우 56%의 연료비를 절약하였다.

③ 전력 소비량은 연소 시스템 개체 전에 비해 T공장은 7%, K공장은 11%를 절약할 수 있었다.

④ T공장의 경우 사이크론의 압력 손실을 감소시켜 저발휘성 연료 및 에너지 함유 연료의 사용량을 늘리면서 소성상태를 안정시켜 약 3.5%의 생산량 증가 및 크링카 품질을 크게 향상시킬 수 있었다. ♣