

시멘트 소성공정에서 페타이어의 효율적 열이용 연구

노갑수* · 서형석* · 이영조** · 김영하*** · 최명일***

쌍용양회공업(주)*중앙연구소, **본사 생산관리팀, ***영월공장 생산부, 품질관리실

Utilization of Waste Tires in Cement Kiln as an Energy Source

Kab-Soo Noh*, Hyung-Suhk Suh*, Yong-Cho Lee**, Yong-Ha Kim***and Myung-il Choi***

*Research Center, **Production Control Team, Head Office, ***Dep of Production, and Quality Control, Yongwol Plant, SsangYong Cement Industrial Co., Ltd.

요 약

본 고에서는 소형 타이어 원형 그대로를 시멘트 kiln inlet 부분에 투입하였고, 그 부분의 가스온도와 시멘트 원료 온도는 각각 1050℃, 800~850℃ 정도이다. 페타이어를 4단 부유예열실에서 예열된 고온의 원료와 함께 kiln 입구부분에 투입하였다. 투입량은 페타이어 열이용 실험 대상 kiln인 열소비량의 3, 5, 7%로 정하여 실험하였다. 페타이어 열이용 전에 페타이어의 성상을 분석하였으며, 열이용을 실험하는 동안에 투입수준별로 시멘트 소성공정에 미치는 영향, 즉 예열실 온도, 압력, 배가스량, 배가스성분, 코팅형성, 전력 사용량, 연료감소량, clinker 생산량 변화 등을 분석하였고, 품질에 미치는 영향에서는 시멘트 색도, 광물조성, 응결시간, 압축강도 등의 변화를 분석하였고, 환경오염 평가에서는 SO₂, NOx의 증감을 측정분석하였다. 페타이어 투입수준 5% 일때 비교적 시멘트 공정이 안정된 상태를 보였으며, 이때의 열량회수율도 50% 정도였고, 시멘트 품질은 사용전과 동등 수준이었다. SO₂, NOx는 증가하는 경향이였으나 규제치에는 훨씬 못미치는 수치였다.

Abstract

Whole tires were put into cement kiln inlet where the temperatures of gas and cement-raw-materials were 1050 and 800~850℃, respectively. The kiln consists of 4-stage suspension preheater and air quenching coolers. The amount of waste tires added to the normal energy in the cement kiln was 3, 5, 7% by volume. Weight and steel contents of tires, ultimate and elemental analysis, ash contents, ash fusion temperature, etc. were determined to investigate the properties of tires and their ashes. Fluctuations of cement kiln process, cement quality and air pollution were investigated during the burning tires. When the feeding ratio of waste tires to normal energy was 5%, there was no wide differences in the cement quality and air pollution between operation with tires and without tires. The heat recovery was about 50% with 5% addition to the normal energy. There was a little bit fluctuation of cement quality and air pollution at other feeding ratios.

1. 서 론

1980년대 후반에 들어서면서 국가 경제가 각종 산업의 발달 및 국민 생활수준의 급격한 상승으로 인하여 기하급수적으로 자동차 보유 대수가 급증하였고, 이와 아울러 최근 23년 동안 페타이어의 발생량도 급격히 증가하였다. 종래에

는 페타이어 발생량이 적은 관계로 이들의 매립 및 보관에 의한 처리는 비용이 적고, 기술상 문제가 별로 없었기 때문에 많이 이용되어 왔으나, 최근에는 급격히 증가한 페타이어를 야적·방치, 불법 매립 및 소각함으로써 쥐 등 설치류의 안식처 제공, 시각적 공해, 대기오염 등 환경문제가 심각하게 대두되어 이의 대책방안과 높은 고유 발열량을 갖는 페

타이어의 자원화 활용이 고조되고 있는 실정이다.

페타이어 처리에 대한 국내 연구결과는 대부분이 저온 열분해 또는 회분식에 국한된 경향을 갖고 있으며 고온 열분해에 관한 연구와 페타이어의 연속 투입에 대한 연구는 전무한 실정이다. 한편 구미 각 선진국에서는 10~20여년 전부터 페타이어를 대량 처리가 가능하며, 연소시 발생하는 배연, 각종 산화물의 파입 배출등의 2차 공해 유발이 없는 시멘트 소성로에서 보조 연료로 가치있게 사용하고 있으며 5~10% 정도의 연료 대체효과를 얻고 있다.^{1~11)} 그러나 국내에서는 페타이어의 수거가 제대로 되지 않으며, 시멘트 공장에서의 자체 처리시 페타이어의 운송부담이 커서 채산성이 없고, 또한 현재의 특정 폐기물로 지정된 페타이어의 처리기술이 전무한 것은 물론 지금까지의 연구실적도 없는 상태이다.

따라서 본 연구에서는 향후 페타이어를 시멘트 소성로에 보조 연료로서 사용하도록 페타이어 처리기술을 구축하며, 폐기물 자원화 측면 및 사회문화적으로 현안 문제점으로 대두되고 있는 환경공해 저감 측면에서 기존 시멘트 소성공정 설비를 활용하여 페타이어 처리에 따른 공정품질 및 환경에 미치는 영향이 없도록 페타이어의 최적 사용 방안을 수립하고자 한다.

2. 시멘트 공정에서 페타이어 열이용 기술 현황

2.1 페타이어 열이용 현황

세계적으로 시멘트 공장에서 페타이어 열이용을 Table 1에서와 같이 이용하고 있으며 총 78개 kiln 가운데 독일, 오스트리아, 스웨덴, 프랑스 등지의 유럽에서 40개 kiln을 활용하고 있는 것으로 나타났으며, 그 사용 비율은 전세계적으로 51% 이상을 차지하고 있다.¹²⁾ 특히 독일에서는 70, 80년초 에너지 가격 상승으로 인하여 페타이어를 보조 연료로 이용하고자 1970년대 초반부터 페타이어 투입형태에 따른 열이용 기술을 연구하여 페타이어 수급문제 해결 후인 1980년대 초반부터 본격적인 열이용을 하고 있다. 한편, 일본의 경우도 마찬가지로 Fig. 1과 Table 2와 같이 에너지 절약 차원에서 페타이어를 보조 연료로 이용하기 위하여 페타이어를 원형 또는 파쇄, chip 형태로 가공을 하여 kiln에 직접 투입하여 사용하고 있으며, 페타이어의 간접 열이용 하는 가스화 방법도 사용하고 있다.¹³⁾

미국의 경우에는 1990년대 초반부터 환경저감 차원에서 열이용을 하고 있으며, 현재 실험중이거나 계획을 고려하는 공장이 많이 있으며, 그 현황을 조사하여 Table 3과 4에

Table 1. Overview of Tires Burning Cement Kilns in world-wide.

NATION	KILN (EA)	RATE (%)
GERMANY	20	25.6
JAPAN	23	29.5
USA	14	17.9
CANADA	1	
BELGIUM	2	
ITALY	1	
FRANCE	2	
PORTUGAL	1	
SWITZERLAND	3	3.8
AUSTRIA	6	7.7
CZECH REPUBLIC	2	
SLOVAKIA	2	
UNITED KINGDOM	1	
TOTAL	78	

나타내었다.¹⁴⁾ 미국에서는 최근 원형·파쇄타이어의 사용 비율이 50 : 50이나, 현재 실험 중이거나, 계획 중인 kiln을 포함하면 그 비율은 74 : 26으로 원형타이어 사용이 3배 많을 것으로 예측되며, 일본의 경우는 미국에서 보다 더 높은 비율인 67 : 14로 원형 타이어 사용이 5배 정도 많았다. 이러한 원인은 페타이어 투입설비 비용 및 운영비가 적고, 페타이어 사용에 따른 공정 및 품질에 미치는 영향이 다른 방법에 비하여 큰 차이가 없기 때문이라 판단되며, 또한 chip 타이어 사용시 페타이어 절단면에 steel이 매끄럽게 절단되지 못하며, chip 타이어가 서로 뭉쳐서 들어가므로 오히려 공정 불안정을 초래하여 원형타이어로 전환되는 사례도 원형타이어의 사용율이 높은 원인 가운데 하나인 것으로 사료된다.¹⁵⁾

페타이어 열이용에 이용되는 kiln 설비를 살펴보면 Fig. 2와 같이 preheater를 갖춘 kiln이 78개 kiln 가운데 35개 kiln으로 50%에 이르며, NSP kiln인 PC-AT (Precalciner Air Through)에서는 2개 kiln, PC-AS (Precalciner Air Separate)에서는 13개 kiln이 이용되고 있음을 알 수 있다. 또한 페타이어 사용 형태는 Fig. 3과 같이 총 78개 kiln 중 42개 kiln으로 원형타이어를 주로 사용하고 있으며, 가스를 사용하는 경우는 일본의 2개 kiln이며, 그 형태를 정확히 알 수 없는 22개 kiln 가운데에서도 원형타이어를 상당수 있을 것으로 여겨지며, 최소한 2/3 정도가 원형타이어

어를 사용하는 것으로 사료된다.

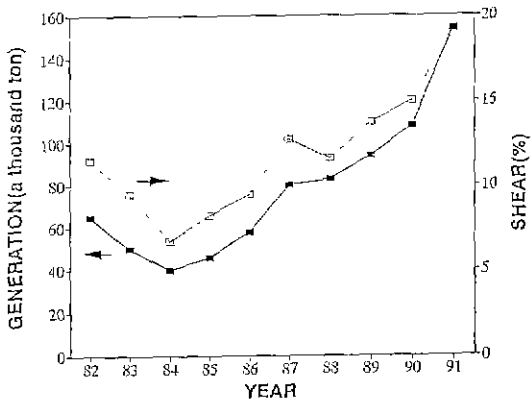


Fig. 1. Tire Burning at Cement Kiln in Japan.

Table 2. Japanese Cement Kilns Using Waste Tires

COMPANY	TYPE OF WASTE TIRES	REMARK
NIPPON	WHOLE	5 KILNS
YACIDBE	WHOLE	1 KILN
ONODA	WHOLE	3 KILNS
	PYROLYSIS	2 KILNS
TOHUKU	WHOLE	1 KILN
CHICHIBU	WHOLE	2 KILNS
MITSUBISHI	WHOLE	1 KILN
	CHIP	1 KILN
HITACHI	CHIP	1 KILN
AKIBOSHI	CHIP	1 KILN
OSAKA	WHOLE	2 KILNS
SMITOMO	WHOLE	1 KILN
	PYROLYSIS	2 KILNS

Table 3. US Cement Kilns Using Waste Tires.

COMPANY	TYPE OF WASTE TIRES	REMARK
Arizona Portland Cement	TDF*	*TDE: TIRE DERIVED FUEL
Ash Grove Cement West	Whole	
Calaveras Cement	Whole	
Essroc Materials	Whole	
Hawaiian Cement	TDF	
Holnam Inc	TDF	
Holnam, Inc	TDF	
Lehigh Cement	Whole	
Lone Star Industries	TDF	
Medusa Cement	Whole	
Monarch Cement	TDF	
National Cement	TDF	
Southdown Inc	Whole	

Table 4. US Cement Kilns Planned to Use Waste Tires.

COMPANY	TYPE OF WASTE TIRES	COMPANY	TYPE OF WASTE TIRES
Allentow Cement	Whole	Lehigh Cement	Whole
Blue Circle Cement	Whole	Lonestar Industries	TDF
Box Crow Cement	Whole	Medusa Cement	Whole
Florida Crushed Stone	Whole	Rinker Materials	Whole
Gifford Hill	Whole	Riverside Cement	TDF
Holnam Inc	Whole	RMC Lonestar	Whole
Holnam, Inc.	Whole or TDF	Southdown Inc	Whole
Illinois Cement	Whole	Southdown Inc	Whole
Lafarge Corp.	Whole	Southdown Inc.	Whole
Lafarge Corp	Whole	Southdown Inc	Whole
Lafarge Corp	Whole	Southdown Inc.	Whole
Lafarge Corp	Whole	Tarmac Cement	Whole
Lehigh Cement	TDF	Texas Lehigh Cement	Whole

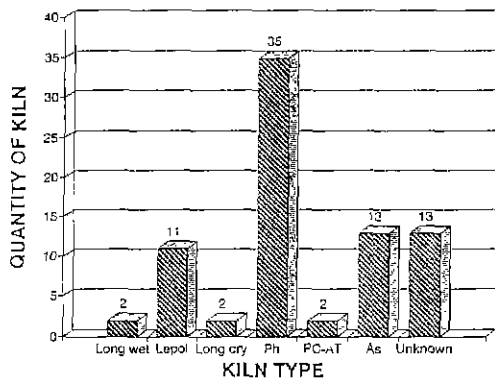


Fig. 2. Type Distribution of Tire Burning Kilns in 1993

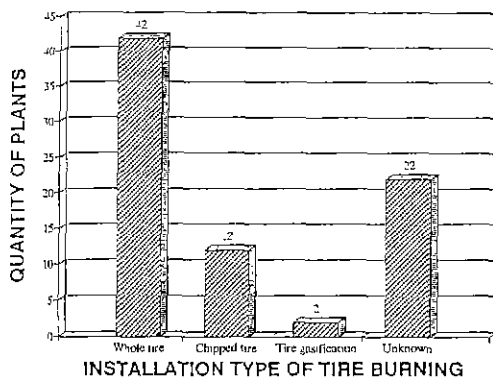


Fig. 3. Installation Types of Tire Burning Kilns in 1993.

2. 2. 페타이어 사용 형태별 열이용 방법 비교

시멘트 kiln에서의 열이용 방법은 페타이어를 직접 투입하여 이용하는 방법, 페타이어를 저온 열분해하여 발생하는 연소성 가스를 kiln의 연료와 같이 혼합하여 사용하는 방법이 있으며, 페타이어의 투입 형태는 원형, 파쇄, chip 타이어를 이용하며, 이 방법들에 대한 사용량 이용율, 열회수율, 투입위치 등을 조사하여 Table 5에 나타내었다.

Table 5를 살펴보면 페타이어 열이용시 독일, 미국의 사용량이 건식 kiln에서 10~20% 로써 일본의 사용량 보다 5~10% 많았으며, 페타이어 열량의 회수율은 60~70% 정도로 나타났다. 페타이어 투입위치는 Fig. 4에서와 같이 원형 형태와 페타이어를 8~32등분한 파쇄형태, 가로 및 세로를

Table 5. Types of Burning Waste Tire.

ITEM		WHOLE	CHIP	GASIFICATION	HYBRID
NUMBER OF BURNING	GERMAN	10~20	10~20	-	-
	US	10~20	10	-	-
	JAPAN	5~10	5~10	WHOLE 5-8 SHREDDED 7-8 CHIP 10-20	WHOLE 5 CHIPS
USING RATE (%)	US	50(7/14; KILNS, NOR 92) 74(28/38, KILNS, INCLUDE PERMITTING OR WAITING)	50(7/14, KILNS, NOR, 92) 26(10/38, KILNS, INCLUDE PERMITTING OR WAITING)	-	-
	JAPAN	67(14/21 KILNS)	14(3/21)	14(3/21)	4(1/21)
RECOVERY RATE OF ITS CALORIFIC VALUE (%)		60~70	60~70	90~95	60~70
INSERTING POSITION OF WASTE TIRES		KILN INLET	KILN INLET OR RISER DUCT	BURNER OF KILN OR CALCINER	KILN INLET OR RISER DUCT
USING YEAR	GERMAN	1982	1982	EXPERIMENT 1971	-
	US	1990	1987	-	-
	JAPAN	1979	-	1991	1989

5cm 크기로 잘른 chip을 SP, NSP kiln의 경우 주로 kiln inlet이며, 습식 및 건식의 long kiln에서는 주로 kiln 동체에 투입구를 설치하여 페타이어를 투입하여 열이용하고 있다 Fig. 5에서와 같은 방법은 투입위치가 특이한 방법으로 습식 kiln에서 chip 타이어를 kiln 출구부분에 투입하여 열이용하는 경우도 있으나, 이 방법을 SP, NSP kiln에서 이용할 경우 과잉공기가 많이 들어가며 수송 line의 마모로 인한 문제점이 있을 것으로 판단된다.

가스화에 의한 열이용 방법에서는 kiln main burner 또는 calciner 연료 투입 burner에 연소성 가스를 투입하는데, 이 방법의 경우 독일에서는 70년대 초반에 pilot plant 규모로 실험을 하였으나, 페타이어량이 충분하지 못하여 연구 중단되어 실용화되지 못하였으나, 일본에서는 1980년대 후반에 Onoda 시멘트사에서 연구개발하여 2개 kiln에서 현재 사용하고 있으며, 이 방법의 페타이어 열량회수율은 90~95%로 다른 방법에 비해 20~30% 높으나 Fig. 6에서와

같이 열분해 가스로를 설치하며, 건류후 페타이어에서 발생하는 steel의 재처리 및 높은 투자비용으로 인하여 아직 널리 보급되지 않고 있다

시멘트 공정에서 페타이어 열이용시 공정 및 품질에 미치는 영향 및 2차 공해 유발에 의한 환경오염의 영향에 대해서는 공장의 사정에 따라 다소 차이는 있으나 사용전과 큰 차이가 없으며, Table 6과 같은 경향성을 보이는 추세로 보고하고 있다

2. 3. 페타이어 투입설비

페타이어의 열이용시 시멘트 kiln에 정량적으로 투입되는 것이 매우 중요한 사항으로 kiln 운전안정 및 운영비 등을 고려하여 투입설비는 자동화로 되어 있으며, 독일 공장의 원형타이어 투입설비는 Fig. 7과 같으며, kiln에 투입되기 전에 원형 페타이어 내부의 오물과 물을 제거해야 하므로, suction 설비로 사람이 물을 제거하고 있다.

2. 4. 페타이어 수급 및 처리비용

시멘트 제조공장 자체에서 페타이어 열이용을 위하여 많은 투자비와 운영비를 들일 수 없으므로 미국, 일본에서는 타이어 업체가 시멘트 공장까지 페타이어를 수송하며 공급하고 있으며, 시멘트 공장내 자체 집하장을 설치하여 적정 재고량 1개월분 정도 비축하였고 안정적인 수급을 위하여 공급계약을 체결하기도한다. 추가소요 인력은 투입 방식(자동, 반자동) 및 설비에 따라 상이하며, 자동의 경우 0.4명, 반자동의 경우 4.12명이 소요되고 있었으며, 국내 시멘트 공장의 경우 인력난을 고려할 때 자동투입 방식을 설치하도록 하며 표준설비를 선정할 후 추가소요 인력을 구체적으로 산출해야 할 것으로 판단된다.

수거된 페타이어의 운반거리는 시멘트 공장을 중심으로 하며 대부분 100~150km 이내이며, 처리비용은 미국, 일본 공회 원형 타이어, 파쇄 타이어, chip 타이어를 막론하고 사용자인 시멘트 업체가 처리수수료를 수취하고 있으며, kiln 투입단계에서 Zero-base를 기준으로 하고 있는데 수수료 수준은 원형 경우 일본에서는 1만엔/톤 정도이며, 미국에서는 각주마다 다소 차이는 있으나 1달러/개 정도로 예시되어 있으며, 이러한 처리비용은 소비자가 타이어 교환시 부담하고 있기 때문에 타이어 업체에서 적정 수준의 적정수수료를 지급이 가능하게 되어있다 시멘트 업체의 페타이어 사용과 관련한 정부의 직접적인 지원은 없으나 페타이어 매립에 대한 규제, 페타이어 사용업체에 대한 정책적인 고려등의 형태로 간접지원하고 있다.

Table 6. Comparison of Cement Quality and Process in Tire Burning Kilns.

ITEM	WHOLE	CHIP	GASIFICATION
INVESTMENT AND MAINTENANCE COSTS	CHEAP	CHEAPER THAN WHOLE	CHEAPER THAN OTHERS
OPERATING CONDITION OF KILN	- COATING FORMATION IN PREHEATER CYCLONE - INCREASING TEMPERATURE OF EXTINGAS - INCREASE OF EXIT GAS QUANTITY TO PREHEATER - INCREASE OF KILN IDF POWER - RISING CO, SO ₂ GAS CONCENTRATION - ENTERING FRESH AIR IN PREHEATER FROM INSERT EQUIPMENT	- COATING FORMATION IN PREHEATER CYCLONE - CYCLONE CLOGGING BY SMALL TIRE CHIPS - INCREASING TEMPERATURE OF EXTINGAS - INCREASE OF EXIT GAS QUANTITY TO PREHEATER - INCREASE OF KILN IDF POWER - RISING CO, SO ₂ GAS CONCENTRATION - ENTERING FRESH AIR IN PREHEATER FROM INSERT EQUIPMENT - SET UP CUTTING SYSTEM	- CONSTRUCTION OF PYROLYSIS FURNACE - DISPOSAL FOR RESIDUAL STEEL OF WASTE TIRE
CEMENT QUALITY	- NO PROBLEM FOR COMPRESSIVE STRENGTH, SETTING TIME, COLOR GRINDABILITY	- NO PROBLEM FOR COMPRESSIVE STRENGTH SETTING TIME, COLOR GRINDABILITY	- NO PROBLEM FOR COMPRESSIVE STRENGTH, SETTING TIME, COLOR GRINDABILITY
ENVIRONMENTAL POLLUTION	- TENDENCY OF SO ₂ GAS INCREASE	- TENDENCY OF SO ₂ GAS INCREASE	- TENDENCY OF SO ₂ GAS INCREASE

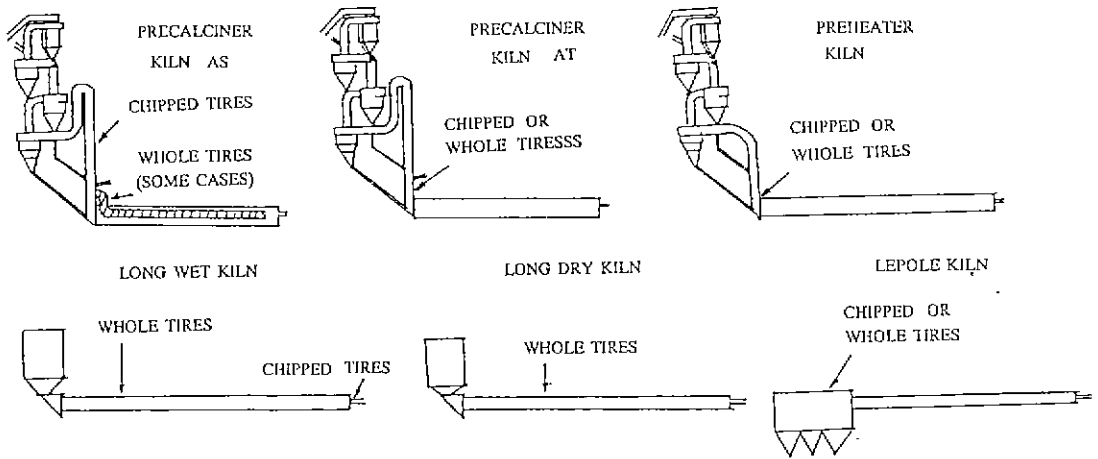


Fig. 4. Tires Insert Locations of in Various Kilns

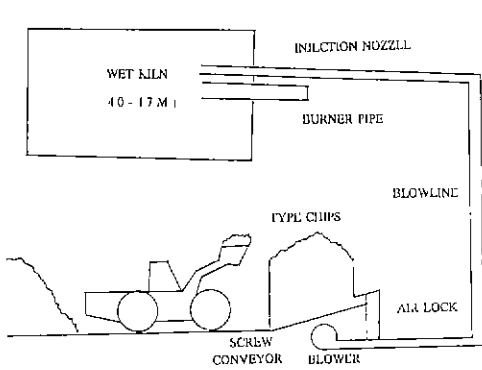
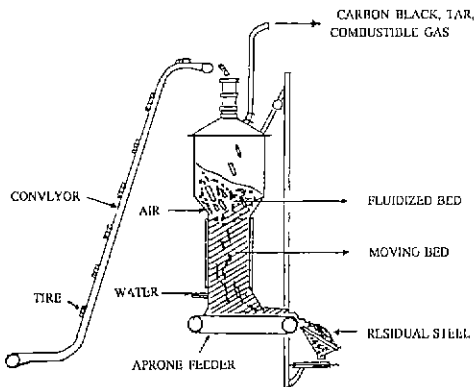
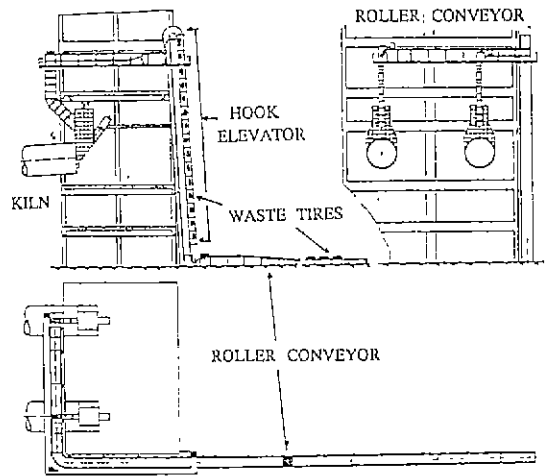


Fig. 5. Waste Tires into Krln Outlet



REMOVING WATER BY SUCTION

Fig. 6. Pyrolysis Furnace for Waste tires

Fig. 7. An Automatic Waste Tires Injection Equipment.

3. 시멘트 소성공정에서 페타이어 열이용 현장 실험

시멘트 소성공정에서 페타이어 열이용 현장시험을 통하여 최적투입량 및 투입위치를 선정 및 페타이어의 열량 회수율을 결정하고, 시멘트 공정에서 예열실과 kiln의 운전 상태 즉, 생산량, 열원단위, 전력원단위, 소성온도, 예열실 코팅 부착상태, 각단의 온도압력, 배가스의 성분, 탈탄산율, 휘발물질 거동상태, clinker f-CaO 등을 분석하고, 시멘트 품질 부분에서는 clinker 압축강도, 응결시간, 광물 발달상태, 피분쇄성,색도를 검토하고, 또한 페타이어 열이용에 따른 2차공해로 환경오염을 평가하여 페타이어 최적 열이용 방안을 수립하고자 하였다.

3. 1. 실험방법

3. 1. 1. 실험대상 공장 및 kiln 선정

실험대상 공장은 쌍용양회공업(주)의 동해공장과 영월공장 가운데 영월공장이 선정 되었는데 그 배경은 강원도 북쪽에 위치하고 있고 동해공장의 경우보다 내륙에 있는 영월공장이 전국 각지에서 운반되는 페타이어의 원활한 수급에 유리하기 때문이며, 영월공장의 15호 kiln 가운데 1, 2호 kiln은 clinker 생산량이 700 T/D로 작고 많은 량의 페타이어를 열이용하지 못하여 곤란하다 그리고 영월 3, 4, 5 kiln 가운데 3호와 5호 kiln은 같은 형식의 MFC를 갖춘 NSP kiln으로써 이중 5호 kiln과 SP 형식의 4호 kiln을 대상으로 하여, 다음과 같이 예열실 배가스를 처리하는 kiln IDF 용량 측면, 공정상의 문제점 발생시 kiln의 안정적 운전측면과 페타이어의 효율적인 연소측면, 페타이어 열량의 효율적인 사용측면 등을 사전검토후 실험적 대상 kiln을 영월 4호 kiln으로 선정하였다

가 kiln IDF 용량 측면

Table 7에서와 같이 페타이어 성분가운데 탄소성분이 80%, 수소가 7% 로서 유연탄 보다 각각 약 1.2배, 1.6배 정도 많고, 산소성분은 오히려 유연탄 보다 1.2배 적으므로써 페타이어 연소시 연소공기량이 많이 소요되며 또한 연소후 가스발생량도 많아지게 되어 이를 처리하기 위해서는 kiln IDF(Induced Draft Fan)의 용량이 여유가 있어야 하는데 영월 4,5호 kiln IDF의 damper 개도율이 정상적인 상태하에서 4호 kiln의 경우 80%, 5호의 경우에는 70%로 운전되고 있으므로 5호 kiln 이 다소 유리하나 IDF damper 10%의 차이는 IDF에 의한 예열실 배가스의 송풍량은 큰 차이가 없을 것으로 판단되며, 예열실 배가스에서

의 fresh air 유입 감소시킬 경우 10% damper 개도를 차이는 보상되리라 판단되며, 따라서 4호 kiln에서도 충분히 페타이어를 사용할 수 있다고 판단된다.

Table 7. Theoretic Combustion Gas Volume of Wastic tires.

ITEM	THEORETIC COMBUSTION AIR VOLUME (Nm ³ /kg)	THEORETIC COMBUSTION GAS VOLUME (Nm ³ /kg)	ELEMENT ANALYSIS(%)				
			C	H	O	N	S
WASTE TIRES	8.9	9.4	80.1	7.0	3.5	2.3	1.8
COAL	6.8	7.2	67.5	4.3	4.3	2.5	0.7

나. Kiln의 안정적 운전 측면

영월 5호 kiln은 Fig. 8과 같이 영월 4호 kiln과 달리 precalciner를 적용한 NSP 시스템으로 예열실을 kiln 및 precalciner line으로 분리되어 있고, kiln line의 운전상태는 즉시 precalciner line으로 영향을 주기 때문에 예열실 코팅 및 kiln 상태 약화 등으로 인하여 제한운전시 kiln line은 물론 precalciner line 까지도 제한운전 또는 가동중지를 해야하므로 SP kiln인 4호 kiln이 유리하다.

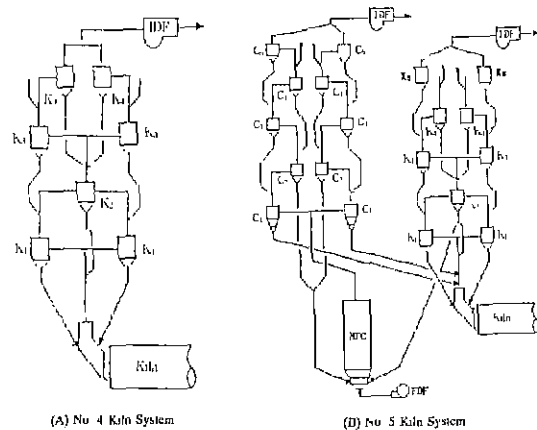


Fig. 8. Schematic Diagram of No.4,5 Kiln Systems at Ssangyong Youngwol Plant

다. 페타이어 연소 측면

Kiln inlet chamber 를 통하여 유입되는 페타이어는 원활하게 연소되기 위해서 kiln inlet 부분의 원료량이 적은 것이 유리하다. 그러므로 4호 kiln의 경우에는 최하단 cyclone 에서 kiln 으로 들어가는 원료량은 원료의 탈탄산 정도 및 kiln 내에서 재비산되는 영향을 감안하면 1.4~1.5kg원료/kg cal가 필요하며 110톤/h 이며, 5호 kiln의 경우에는 원료 탈탄산율이 4호 kiln 보다 높고, 재비산 되는 양은 적으나 clinker 생산량이 많아 kiln 내부로 들어가는 원료량이 220 톤/h 정도 된다. 따라서 페타이어는 비교적 적은 양의 원료와 혼합되어야만 연소 측면에서 효율적으로 4호 kiln 에서 유리하다.

라. 페타이어 발열량의 효율적 사용 측면

시멘트 제조에 따른 소요열량은 다음과 같이 원료의 분해열 및 가열에 필요한 열량이 큰 비중을 차지하고 있다.

① 건조원료를 900℃ 까지 가열에 필요한 열량(Kcal/kg cl)

$$16\text{kg/kg cl} \times 0.264 \text{ Kcal/kg cl} \times (900-60)^\circ\text{C} = 355$$

② 가열된 원료 성분중 CaCO₃, MgCO₃ 및 점토 광물의 분해열

$$714 \text{ Kcal/kg cl} \times 0.659\text{kg} \cdot \text{CaO} + 588 \text{ Kcal/kg} \cdot \text{MgO} \times 0.014 \cdot \text{kg} \cdot \text{MgO} + 564 \text{ Kcal/kg} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \times 0.057\text{kg} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 = 511$$

③ 분해원료를 1450℃ 까지 가열에 필요한 열량

$$0.265 \text{ Kcal/kg cl} \times 1450^\circ\text{C} - 0.243\text{kg cl} \times 900^\circ\text{C} = 173$$

즉, 위의 ①번은 SP 또는 NSP kiln 에서의 예열실에서 고온의 kiln 배가스로 의해 열교환되며, 페타이어 열량이 주로 사용되어지는 ②번에서 분해열로 사용되어 지는데 NSP kiln 에서는 이미 precalciner 에서 열교환되었기 때문에, 페타이어 열량을 SP kiln에서 보다 효율적으로 사용하지 못하므로 영월 4호 kiln이 유리하다.

앞에서 설명한 가라 함까지 양호성을 판단하여 정리하면 Table 8과 같다.

Table 8. Cnterion of Experimental kiln.

ITEM	NO 4 KILN	NO 5 KILN	REMARK
KILN IDF CAPACITY	△	●	● ADVANTAGE △ DISADVANTAGE
KILN OPERATION	●	△	
WASTE TIRES COMBUSTIONS	●	△	
CALORIFIC EFFICIENCY OF WASTE TIRE	●	△	

3. 1 2. 영월 4호 kiln 시스템

가. kiln 시스템

페타이어 열이용 대상 설비인 영월 4호 예열실, kiln, cooler 의 공정도를 Fig.9에 나타내었으며, 이 설비에 대한 생산능력, 용량을 살펴보면 다음과 같다.

(1) kiln

- 생산능력 · 600 천톤/년 (공칭능력 : 1840톤/일)
- 형 식 · 4단 SP (Suspension preheater) 부 rotary kiln
- 제 조 사 : Polysius
- 가 동 일 · 1972 6
- Dimension : 4.4m ∅ × 70 0mL
- Stop : 30/1000
- 회 전 수 : 0.5~2.0 rpm (main motor 용량: 220 KW)

(2) 예열실

- Dimension : 16 0mL × 13.5mW × 68.0mH
- Cyclonc 4단 · 3.90m ∅ × 2
3단 · 4.50m ∅ × 2
2단 · 6.36m ∅ × 1
1단 : 5.00m ∅ × 2
- IDF 용량 · 4500m³ × 850KW, 350℃

(3) Cooler

- 형 식 : Grate type
- Stage : 2단 6실
- Grate area 53m³
- 분 쇄 기 : Hammer breaker

나. 페타이어 투입방법

페타이어의 투입형태 및 종류는 앞에서 설명한 바와같이 원형타이어의 이용율이 70~80%로 세계적인 추세이며, 또한 투입설비의 비용이 적으며, 페타이어의 파쇄 또는 chip형에 비해 제2가공비용이 없고, 타 방법에 비해 시멘트 공정과 품질에 미치는 영향도 크게 차이가 나지 않는다.

Chip 타이어의 경우는 해외 시멘트 공장에서도 조업 경험한 바와 같이 chip 페타이어 절단면이 steel로 인하여 고르지 못하여 kiln으로 투입할 때 엉킴 현상이 발생하여 오히려 공정 불안정을 초래하여 원형타이어로 전환하는 사례도 있으므로 가장 보편적으로 사용되고 있는 원형타이어로 실험하였다

실험용 페타이어 종류는 가장 많이 발생되고 있는 소형 차륜, 승용차, 붐고, 경트럭용을 대상으로 하였다.

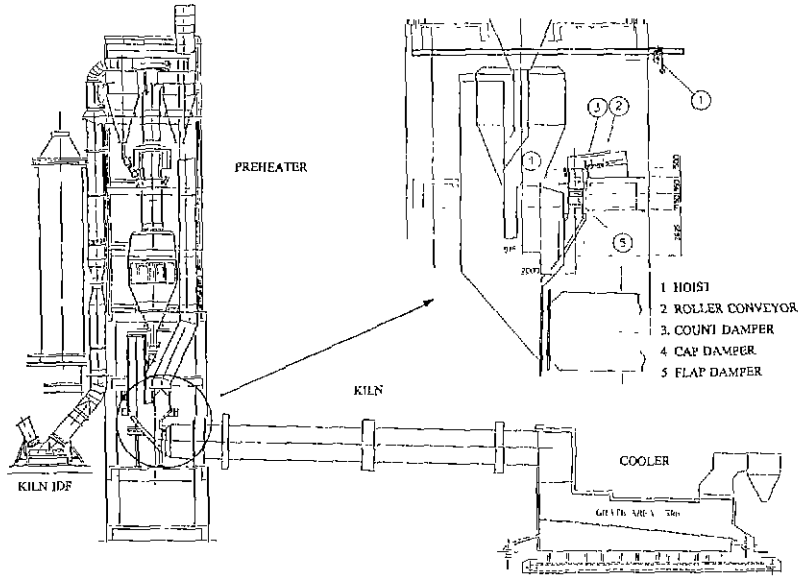


Fig. 9. No 4 Kiln Process of Ssangyong Youngwol Plant.

다. 폐타이어 수급

대한타이어공업협회와 타이어업계의 협조로 전국 각지에 있는 타이어 수거업자가 트럭을 이용하여 10톤~20톤/일의 폐타이어를 영월공장의 예비집하장으로 공급하였다.

라. 투입설비

(1) 투입위치

폐타이어가 kiln 내부에 들어가 연소되는 것이 가장 이상적인 상태이므로 투입 위치는 Fig. 9와 같이 kiln inlet chamber 가까이 설치하였다.

(2) 투입설비

폐타이어를 안정적으로 사용하기 위해서는 먼저 폐타이어 수급이 확립되어야 하며, 이 이후에 본격적인 투입설비를 설치하여 열이용하는 것이 순서이므로, 아직 현 단계에서는 수급만 안 조차 마련되어 있지 않으므로, 투입설비는 실험용 간이설비로 하여 자체 설계 및 제작하여 설치하였으며, 그 주요 설비는 Table 9와 같다.

마 투입방법

폐타이어가 kiln으로 투입되는 흐름은 다음과 같다.

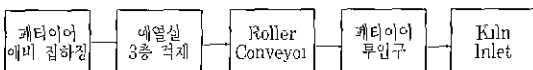


Table 9. Inserting Equipment of Waste Tires.

EQUIPMENT	CAPACITY	OBJECT OF USE
HOIST	2 STON	TRANSPORTATION WASTE TIRES TO 3RD PREHEATER
ROLLER CONVEYOR	0.35 × 3.0ML	CONVEYING WASTE TIRES
CAP & FLAP DAMPER	0.75 _p × 0.3MH 0.75 _p × 1.6MH	PROTECTING INFLOW FRESH AIR
COUNT DAMPER	0.2W × 0.3ML	CONTROL OF WASTE TIRES
AIR CYLINDER	0.5 × 0.25ST	CONTROL OF COUNT DAMPER

폐타이어가 4호 kiln 구동부 구축물과 에열실 1층 사이에 임시 집하된 곳에서 운반상자에 폐타이어를 50여개 담아 hoist로 투입설비가 있는 에열실 3층에 끌어올려 바닥에 정리하고 폐타이어 내부에 들어있는 수분은 공정내에서의 열량손실을 없애고, 수분의 부피팽창에 의한 공정 불안정 요인을 없애기 위하여 흡입장치로 제거된 다음, roller conveyor가 있는 곳에 올려두면 시간 조절이 되어있는 자동 투입설비에 의해 투입되는데 폐타이어 투입량은 개수로 일정 속도로 공급된다.

3. 2. 3. 실험방법

가. 실험수준

페타이어 투입량에 따른 실험 수준은 kiln에 투입되는 연료의 열량기준으로 3, 5, 7%를 선정하였고, 이에 따른 페타이어 투입량은 영월 4호 kiln의 정상운전 상태를 기준으로 하여 clinker 생산량은 1830 T/D 열원단위는 822 Kcal/kg · cli, 페타이어의 평균 저발열량 및 평균무게는 각각 7650 Kcal/kg, 7.1kg 으로 하여 다음식에 의해 계산되었다

- 페타이어 투입량 산출계산의 일례(3% 투입시)

$$\text{열원단위 (Kcal/kg} \cdot \text{cli)} \times \text{생산량 (kg} \cdot \text{cli/H)} \times \text{페타이어 사용량} \div \text{페타이어 저발열량 (Kcal/kg} \cdot \text{tue)} \div \text{무게 (kg} \cdot \text{tue/ro)} = 822 \times 76250 \times 0.03 \div 7650 \div 7.1 = 35\text{개/H (0.246 T/H)}$$

그러나 실제 kiln에 투입되는 양은 kiln 상태 및 예열실 적분으로 제한 및 중단으로 Table 10과 같이 계산량 보다 적었다.

Table 10. Feeding Ratio, Period and Inserting Amount of Waste Tires.

EXPERIMENTAL-LEVEL (%)	PERIOD	AMOUNT OF ENTERED TIRES			
		EA/HR	EA/DAY	AMONUT (EA)	AMOUNT (TON)
3	8/28-8/30	24	587	1,762	12.51
5	8/31-9/3	58	1,396	5,584	39.65
7	9/4-9/20	76	1,835	30,107	213.76
TOTAL		37,453		265.92	

나. kiln 운전방법

(1) 원료조정

kiln에 투입되는 원료는 각종 원료를 적당한 비율로 원료 밀에서 분쇄하여 제조하는데 이때 조합된 원료의 화학

Table 11. Chemical Analysis Data of Youngwol NO. 4 Kiln Feed.

ITEM	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	LSF	SM	IM	REMARK
AVERAGE	14.14	3.31	2.36	42.27	1.99	0.22	0.89	0.10	94.15	2.49	1.41	Before
MINIMUM VALUE	13.68	3.13	2.22	41.67	1.76	0.13	0.79	0.10	92.19	2.42	1.33	
MAXIMUM VALUE	14.15	3.53	2.43	42.9	2.44	0.35	0.95	0.10	96.15	2.64	1.52	
DIFFERENCE	0.59	0.40	0.21	1.23	0.68	0.32	0.19	0	3.96	0.22	0.19	
AMOUNT OF DATA	179	179	179	179	179	179	179	179	179	179	179	
STANDARD DEVIATION	0.12	0.03	0.05	0.25	0.12	0.03	0.03	0	0.86	0.03	0.03	
AVERAGE	14.05	2.34	2.34	41.78	2.12	1.21	0.93	0.10	93.74	2.50	1.40	
MINIMUM VALUE	13.68	2.25	2.25	41.11	1.83	0.14	0.86	0.10	92.00	2.43	1.33	
MAXIMUM VALUE	14.41	2.41	2.41	42.47	2.38	0.27	0.99	0.10	96.11	2.56	1.48	
DIFFERENCE	0.73	0.61	0.61	1.36	0.55	0.13	0.13	0	4.11	0.13	0.14	
AMOUNT OF DATA	174	174	174	174	174	174	174	174	174	174	174	
STANDARD DEVIATION	0.15	0.03	0.03	0.25	0.11	0.02	0.02	0	0.97	0.03	0.02	

성분이 소정의 범위 내에 들어가도록 주,부 원료의 공급량을 조절하여 원료조정을 하는데, 영월 4호 kiln에 투입되는 원료의 배합의 관리목표는 LSF:94.0, SM:2.50, IM:1.40으로 정하고 있으며 계산식은 다음과 같다.

$$\bullet LSF = \frac{CaO \times 100}{2.8SiO_2 + 1.1Al_2O_3 + 0.7Fe_2O_3}$$

(Lime Saturation Factor)

$$\bullet SM = \frac{SiO_2}{Al_2O_3 + Fe_2O_3} \quad (\text{Silica module})$$

$$\bullet IM = \frac{Al_2O_3}{Fe_2O_3} \quad (\text{Iron module})$$

페타이어 투입전후의 8, 9월에 조정된 원료조합의 변화 정도를 살펴보면 Table 11과 같으며 179개의 시료를 분석한 결과 표준편차가 각 성분별로 그 변화폭은 매우 미약함을 알 수 있다.

(2) 연료조정

페타이어를 보조연료로 사용함으로써 페타이어의 열량 회수율에 해당하는 만큼의 열량을 감소시켜야 하는데, 현재 영월 4호 kiln에 사용되는 연료는 유연탄과 B.C oil 열량기준으로 83:17로 혼합하여 사용하였다 이들 연료 가운데 사용량이 적은 B.C oil을 감소시킬 경우, burner의 B.C oil 압력이 줄어들어 연료 투입장치의 작동 불안정 요인이 되므로 곤란하고 유연탄의 경우에는 사용량도 많고 100kg/h의 양도 감소시킬 수 있고, 또한 유연탄 가격이 B.C oil 보다 가격이 비싸므로 유연탄 사용량을 감소시켰다

유연탄을 감소시키는 과정에서 burner의 화염 및 kiln 상태확인과, 예열실의 온도압력변화, CO gas 변화를 감시하고, 소성된 clinker의 f-CaO 함량 변화 등을 주의깊게 관찰하였다

다 측정항목

페타이어의 성상을 파악하기 위하여 페타이어 개별 평균무게와 공업분석, 원소분석을 하였으며, DT-TGA 로 연소성을 예측하였다. 또한 공정품질 및 환경에 미치는 영향도 분석하였으며 이에 대한 세부내용은 Table 12와 같다.

3. 2. 실험결과 및 고찰

3. 2. 1. 페타이어 성상

(1) 페타이어 무게

Table 12. Operating Conditions and Cement Quality with Waste Tires Burning Kiln.

ITEM	CONTENTS
CHARACTERISTICS OF WASTE TIRES	- WEIGHT. DT-TGA - ULTIMATE AND ELEMENTAL ANALYSIS - CHEMICAL ANALYSIS AND FUSION TEMPERATURE OF WASTE TIRES
OPERATION CONDITION OF KILN	- PRODUCT AND HEAT CONSUMPTION - TEMPERATURE AND PRESSURE OF PREHEATER CYCLONE - AMOUNT OF EXIT GAS AND COMPONENT - KILN SHELL TEMPERATURE - CIRCULATION OF VOLATILE MATERIAL
CEMENT QUALITY	- COMPRESSIVE STRENGTH OF 1, 3, 7 AND 28 DAYS - SETTING TIME, COLOR, GRINDABILITY
ENVIRONMENTAL POLLUTION	- MEASUREMENT OF SO ₂ , NO _x CONCENTRATION

실험에 사용된 페타이어는 소형 타이어로서 타이어 및 종류별로 다소 차이가 있으므로, 페타이어 240개를 디지털 저울로 각각의 무게를 측정하여 페타이어 개별 평균무게를 계산한 결과 7.1kg/개 이었다. 페타이어 240개 각각의 무게 대한 표준편차는 1.13, 범위는 4.4~11.0kg으로 산포가 심하였다.

(2) 공업분석

페타이어 공업분석은 별도로 분석하는 방법이 없으므로, Table 13과 같은 유연탄 분석방법과 동일하게 분석하였으며 공업분석 항목에는 수분, 휘발분, ash 함량 및 발열량을 분석하였고, 고정탄소분은 페타이어 무게에서 수분, 휘발분, ash 함량을 제외한 것이다. 페타이어 공업분석 결과는 Table 14와 같다.

페타이어의 steel 함량은 무작위로 골라낸 페타이어를 절단하여 Fig. 10과 같이 steel과 함께 그라인더로 분말화하여 ash양을 구하고, 여기에서 고부 성분만의 ash를 뺀 것이다. 위 Table 14의 페타이어 공업분석 가운데 발열량은 steel을 제외한 것으로서 steel과 함께 발열량을 분석하던 12.24%의 steel 함량으로 인하여 발열량이 8030Kcal/kg으로 낮아지는데, 이는 steel 함량 만큼의 발열량이 적어지게 되기 때문이다.

Table 13. Ultimate Analysis of Waste Tires.

ITEM	CONTENTS
MOISTURE	AFTER HEATING AT 150-110°C FOR 1 HR IN DRY OVEN, MEASUREMENT OF WEIGHT LOSS
VOLATILE MATERIAL	AFTER HEATING AT 950°C FOR 7 MIN IN QUANTITATIVE MELTING POT OF VOLATILE MATERIAL, MEASUREMENT OF WEIGHT LOSS
ASH	FIRST, HEATING AT 500°C FOR 1 HR, AND THEN HEATING AT 800°C IN POT WITHOUT DELAY, MEASUREMENT OF WEIGHT LOSS
CALORIFIC VALUE	MEASUREMENT IN AUTOMATIC NON-ADIABATIC CALORIMETER
FIXED CARBON	100-MOISTURE-VOLATILE MATERIAL-ASH

Table 14. Ultimate Analysis Data of Waste Tires

ITEM	MOISTURE (%)	VOLATILE (%)	FIXED CARBONE (%)	ASH (%)	CALORIES (Kcal/kg)	STEEL (%)	REMARK
WASTE TIRES	0.2	64.7	29.8	5.3	9,150*	12.24	*EXCEPTED STEEL
COAL	2.0	31.5	51.5	15.0	6,700	-	
B.C OIL	0.2	99.8	-	-	10,300	-	

특히 Table 14에서 페타이어의 휘발분이 많은 원인인 Table 15와 같이 타이어의 주성분인 고무가 석유를 원료로 하는 styrene 과 butadiene 을 합성 중합체를 원료로 사용하기 때문이며 이 중합체의 량에 절반가량의 카본블랙을 혼합하여 제조되기 때문에 고정탄소분도 휘발분의 50% 정도를 차지하고 있다.

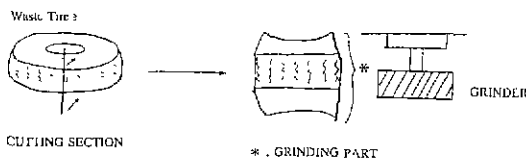


Fig. 10. Powdering Method for Waste Tires.

Table 15. Composition of a Typical Tire.

RAW MATERIAL	wt RATIO	RAW MATERIAL	wt RATIO
POSYMER	100	STERIC ACID	2
CARBONE BLACK	50	ACCELERATOR	1
SULFUR	2	EXTENDER OIL	4
ZINC OXIDE	3	OTHERS	1

(3) 원소분석

공업분석에서 사용된 시료를 이용하여 원소성분을 분석하였으며 페타이어 원소성분은 원소분석 장치인 elemental analysis 기기를 이용하였다. 이 기기의 분석원리는 연소후 발생하는 연소가스를 분석함으로써 C, H, O, N, S 를 분석하며, 분석결과 Table 16 과 같다.

Table 16. Elemental Analysis of Waste tires.

(Unit : %)

ITEM	C	H	O	N	S
WASTE TIRES	80.1	7.0	3.5	2.3	1.8
COAL	67.5	4.3	10.0	2.5	0.7
B.C OIL	81.5	10.2	-	0.1	3.5

Table 16에서와 같이 페타이어 성분 가운데 탄소성분이 80% 를 차지하고 있으며 연소에 필요한 산소는 3.5% 로서 유연탄 보다 적게 나타났다. 그러므로써 연소에 필요한 이론연소 공기량이 유연탄 보다 많았으며 또한 이론연소가스량도 많음을 알 수 있으며 이론연소 공기량(Ao) 및 이론연소가스량(Go)는 다음 계산식에 의해서 계산된다.

$$A_o = 8.89 C + 26.7 \times (H - O/8) + 3.33 \times S$$

$$G_o = A_o \times 0.79 + 1.857 \times C \times 11.02H + 0.7S + 1.244W + 0.8N$$

여기에서 C:탄소, H:수소, S:황, O:산소, W:수분, N:질소 함량.

한편 kiln inlet 의 분위기는 온도가 1200°C 이상이며, 산소농도는 2%이하로 충분하지 못하여 탄소성분이 많은 페타이어가 투입되면 CO 가스가 증가될 것이며, 또한 고온에서 페타이어가 연소됨으로서 질소 및 황성분으로 페타이어 열량회수율이 높지 않은 경우 연소가스중 NOx 와 SO2 가스의 증가가 예상된다.

Table 17. Chemical Analysis of Waste Tires Ash

(Unit : %)

ITEM	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃	P ₂ O ₅
WASTE TIRES	19.1	11.4	1.7	11.5	0.8	0.6	1.4	1.2	0.3
COAL	47.0	33.1	7.6	2.2	1.5	0.2	0.6	4.0	-

(Unit : ppm)					(Unit : %)	
ITEM	PbO	Mn ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	CuO	ZnO	TiO ₂
WASTE TIRES	19.1	11.4	1.7	11.5	44.05	7.41
COAL	47.0	33.1	7.6	2.2	0.0254	-

(4) 페타이어 ash의 화학분석 및 용점

무작위로 골라낸 페타이어를 고무성분 만을 킬로 잘라내어 ash 함량과 화학성분을 분석하여 Table 17에 나타내었고, ash용점은 준비된 ash를 가로, 세로, 높이 3mm 정도의 정방형으로 만든 후 상온에서 10℃/min 의 승온속도로 1750℃ 까지 가열을 시키면서 용융상태를 관찰할 수 있는 고온 현미경을 이용하여 ash의 용융온도를 측정하였으며, 그 결과를 유연탄과 함께 Fig 11에 나타내었다

페타이어의 ash 성분에는 SiO₂ 성분이 20% 정도로 나타

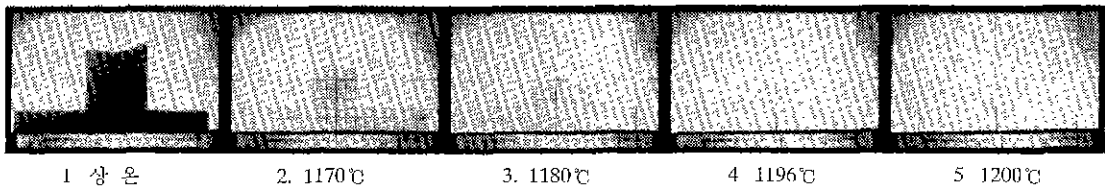
났으며, CaO 함량이 유연탄에 비하여 5배 정도 많았다. 특히 중금속 성분 가운데 아연이 44%를 차지하고 있는데 이는 타이어 제조시 산화아연을 첨가하기 때문이며, 이 산화연성분으로 인하여 시멘트 용결이 단축된다고 보고되고 있으며, 또한 ash의 용점도 1180℃ 로 낮게 나타내었다.

(5) DT-TGA 분석

이 분석은 페타이어의 연소성을 kiln inlet에서의 분위기에서 분석하기가 어려우므로 간접적으로 파악하고자 열중량(TG) 및 시차열분석(DTA) 장치를 이용하여 분석하였다. 이때의 실험조건은 페타이어 덩어리 5mg를 공기 분위기에서 승온속도 10℃/min, 표준물질 α-alumina를 사용하였으며, 이에 대한 분석결과를 Fig. 12 에 도시하였다.

페타이어의 반응 개시온도 및 반응종료 온도는 각각 300℃, 575℃로 유연탄 보다 낮게 나타났으므로 연소성이 유연탄보다 좋음을 알 수 있었다. 페타이어의 발열 peak 곡선 앞부분은 65% 정도의 휘발분이 연소하여 발열한 것이며, 뒷 부분은 고정탄소의 연소로 인한 발열곡선으로 판단된다. 페타이어의 연소시간은 습식 long kiln에서 투입구 부분에 온도가 300~400℃로 저온이고, 저농도 산소이므로 15~20분 정도의 시간이 소요되나⁸⁾, 건식 SP kiln에서는 투입구 부분의 온도가 1100~1200℃ 이므로 습식 kiln에서 보다 훨씬 짧을 것으로 판단된다.

(A) Waste tires Ash



(B) Coal

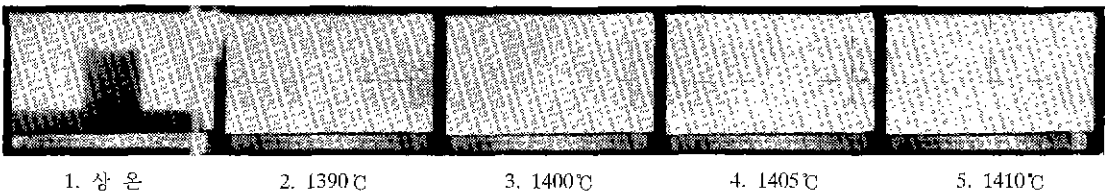


Fig. 11. Ash Fusion Temperature Measurements of Waste Tires and Coal.

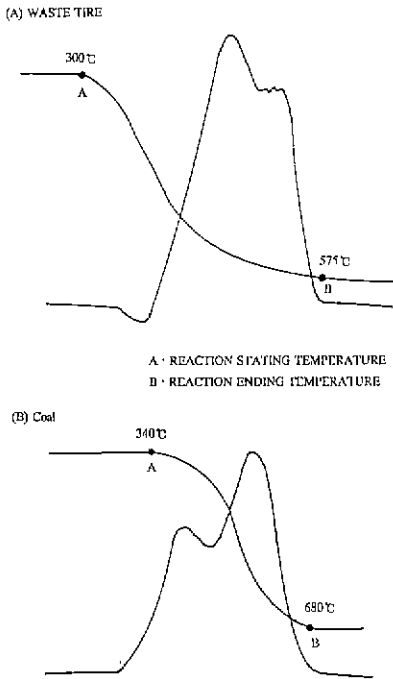


Fig. 12. DT-TGA Analysis of Waste Tires and Coal

3. 2. 공정분석 결과

가. 생산량 및 열원단위 변화

페타이어 투입전의 생산량, 열원단위, 전력원단위는 페타이어 투입 개시일인 1993. 8. 28 이전의 1개월 (1993. 7. 27~8.26)동안 kiln 가동실적을 기준으로 정하였으며, 페타이어의 사전 투입실험 및 투입설비 시운전시 kiln trouble 이 발생한 8.27 일은 이 기간에서 제외되었다

페타이어 열이용에 따른 생산량, 연료 사용량, 열원단위, 전력원단위의 변화를 실험 수준 및 실험일자 별로 정리하여 Table 18에 나타내었다. 실험기간은 각 수준별로 10일간 이었으나 3, 5% 투입시에는 kiln 운전상태에 큰 영향이 없어 실험기간을 단축하였고, 또한 많은 량의 페타이어를 열이용 하고자 7% 실험수준을 연장하였다.

Table 18에서와 같이 정상운전시에는 페타이어 투입전과 동일한 생산성을 나타내고 있으나, 비정상 운전상태 즉, kiln 상태 약화, 예열실 적분 현상으로 제한운전 및 가동 중단으로 생산량은 감소 추세를 보였으며, 특히 17일간의

7% 투입 실험기간에는 정상운전이 7일로서, 이러한 현상이 심하였다.

3% 투입시에는 페타이어가 2분에 1개씩 간헐적으로 kiln 내로 들어가기 때문에, 페타이어 열량이 균일한 전열을 하지 못하고 clinker 파소현상과 kiln 상태 불안정을 초래하여 생산량 감소와 열원단위 상승의 요인이 되었다. 5% 투입시에는 이러한 현상은 다소 감소하였으나 clinker 파소현상을 줄이기 위하여 연료를 감소시켜 보았으나, 바로 kiln 상태약화로 인하여 clinker 의 f-CaO 함량이 2.0%까지 증가하였다. 이러한 f-CaO 변화 추세를 Table 19에 나타냈으며, 7% 투입시 더욱 심하게 나타났다.

특히 7% 투입시에는 kiln inlet 온도가 상승하여 예열실 최하단에서 수차례 적분이 발생하여 kiln 가동 중단되었으며, 특히 kiln 내부의 소성대에서는 코팅 비대 현상이 일어났고 하소대에서는 ring 이 형성으로 인하여 kiln의 안정적인 운전이 불가능하여 1993. 9. 21. 09:00 부터 페타이어 투입 중단을 하였다

나 페타이어 열량 회수율

앞에서 언급된 바와같이 페타이어 steel을 포함한 고발열량은 8030Kcal/kg 이나, 실제 시멘트 소성공정에서의 유효한 열량은 저발열량이다. 저발열량이란 연료가 함유하고 있는 수분과 수소를 제외한 발열량으로서, 연료가 연소할 때 수분은 흡열을 하여 기화하여 주위의 열을 소모시키며, 또한 수소는 연소공기 중의 산소와 반응하여 수분이 생성되고 생성된 수분은 다시 흡열하여 기화되므로 이에 해당 하는 양만큼 제외되는데 그 계산식은 다음과 같다.

$$H \text{ l } Hh \times \frac{(100-H_2O)}{100} \text{ ----- (1)}$$

$$h \text{ l } Hl - 6 \times (9 \times H + H_2O') \text{ ----- (2)}$$

여기에서 Hh : 실험실에서 측정된 고발열량 (Kcal/kg)

H : 저발열량(Kcal/kg)

H : 수소함량 (%)

H₂O : 부착수분(%)

H₂O' : 부착수분 + 결합수분

페타이어의 부착수분은 없으므로 식 (2)로부터 저발열량을 계산하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} Hh - 6 \times (9 \times H + H_2O') \\ = 8030 - 6 (9 \times 7 + 0.2) \\ = 7650 \text{ Kcal/kg Tire} \end{aligned}$$

Table 18. Flucton of Clinker Production, Heat and Power Consumption in Waste Tires Burning kilns.

FEEDING RATIO (%)	PERIOD	PRODUCTION (T/D)	FUEL CONSUMPTION		HEAT CONS.(Kcal/kg cl)	POWER CONS (KWH/T cl)	REMARK
			l/T cl	kg/T cl			
0	7 27~8 26	1818	15.3	107.1	831	23.20	
3	8,28	1803	14.1	109.8	822	23.19	
	29	1839	13.5	111.0	824	23.21	△
	30	1771	14.1	113.6	853	24.27	●
	AVE	1804	13.9	115.5	833	23.56	△
5	8 31	1804	14.1	106.0	806	23.78	△
	9 1	1816	14.1	107.0	813	23.99	△
	2	1819	14.1	106.0	807	23.26	△
	3	1830	14.2	106.9	809	23.83	△
	AVE.	1817	14.1	106.5	809	23.72	●
7	9 4	1832	13.7	107.7	808	23.86	●
	5	1804	14.5	107.2	812	21.42	△
	6	1812	13.6	108.3	810	26.43	△
	7	1834	13.5	107.4	803	23.66	●
	8	1831	13.0	107.2	796	23.38	●
	9	1496	16.9	115.3	886	29.32	×
	10	1832	13.9	101.7	776	23.19	●
	11	1793	14.3	104.3	794	23.92	△
	12	1728	14.8	113.4	854	24.70	△
	13	1197	20.3	106.8	865	31.68	×
	14	1840	13.6	101.4	770	22.83	×
	15	1833	15.5	99.0	765	22.96	●
	16	1829	15.5	99.2	772	23.42	●
	17	1800	15.8	101.1	785	23.27	●
	18	1732	16.4	108.4	840	24.18	△
	19	1320	19.3	117.9	928	40.82	△
20	1602	17.4	117.6	906	28.41	×	
AVE	1713	15.4	107.3	818	25.73	×	

● : Normal Operation △ : Abnormal Operation × : Kiln Stop for a few time

Table 19. Fluctuation of Clinker f-CaO %.

(A) Feeding Ratio : 3%

(Unit : %)

SAMPLING TIME \ DAY	DAY			REMARK
	8,28 '93	8,29 '93	8,30 '93	
1ST(24:00-08:00)	0.4	0.5	0.4	BEFORE. 0.6%
2ND(08:00-16:00)	0.4	0.5	0.6	
3RD(16:00-24:00)	0.4	0.6	0.5	

(B) Feeding Ratio : 5%

(Unit : %)

SAMPLING TIME \ DAY	DAY			
	8,31 '93	9,01 '93	9,02 '93	9,03 '93
1ST(24:00-08:00)	0.5	0.4	2.0	0.4
2ND(08:00-16:00)	0.5	1.0	0.7	0.3
3RD(16:00-24:00)	0.4	0.5	0.5	0.3

(C) Feeding Ratio : 7%

(Unit : %)

-	9/4	9/5	9/6	9/7	9/8	9/9	9/10	9/11	9/12	9/13	9/14	9/15	9/16	9/17
1ST	0.5	0.5	0.4	0.3	0.3	0.4	0.4	0.8	2.7	0.4	0.6	0.4	0.4	0.4
2ND	0.5	0.6	0.7	0.4	0.5	0.4	0.4	2.5	0.7	0.4	0.8	0.4	0.4	0.7
3RD	0.4	0.5	0.3	0.6	0.5	0.5	0.5	1.6	0.7	0.5	0.4	1.0	0.4	0.4

페타이어 열량회수를 계산에 필요한 자료는 페타이어 저발열량 이외에 열원단위 감소량, 생산량, 페타이어 투입량이 필요하며, 열원단위 감소량과 생산량을 Table 18 에서 실험기간의 실제 평균치를 페타이어 투입량을 실제 사용된 양으로 계산되었으며, 그 계산 결과는 Table 20과 같다.

Table 20의 열량회수를 계산은 다음 식 (3)의 방법으로 계산되었으며, 실험수준 5% 때의 계산은 다음과 같다.

$$\text{열량회수} = \text{열원단위감소량} \times \text{생산량} - (\text{페타이어 투입량} \times \text{저발열량}) \quad \text{----- (3)}$$

- 실험수준 5% 페타이어 열량회수율 :
 $22\text{Kcal/kg cli} \times 1817000\text{kg cli}/24\text{h}$
 $- (7.1\text{kg/개} \times 58\text{개/h}) \times 7650\text{Kcal/kg Tire} = 52\%$

Table 20. Recovery of Waste Tires by Calorific Value

FEEDING RATIO (%)	PRODUCTION (T/D)	HEAT CONSUMPTION (kcal/kg-cl)	RECOVERED CALORIFIC VALUE OF WASTE TIRE (%)	POWER CONSUMPTION (kwh/t-cl)
0	1818	831	-	23.20
3	1804	833(△)	-	23.56
5	1817	809(▼)	53	23.72
7	NORMAL 1833	784(▼)	77	23.33
	ABNORMAL 1828	833(△)	-	27.42
	AVERAGE 1713	818(▼)	22	25.73

Table 21. Temperature distribution every Two meters in Kiln Shell.

(A) Average Temperature Data (Measurement date : 8,30, '93~9,15,'93)

(Units : °C)

FEEDING RATIO(%)	10M	12M	14M	16M	18M	20M	40M	42M	44M	46M	48M	50M
0	170	170	140	171	155	349	210	294	262	249	252	228
3	221	192	165	149	142	345	230	306	249	247	220	216
5	212	187	161	140	136	357	238	300	281	259	254	258
7	248	213	169	139	133	218	258	156	209	175	243	220

(B) Maximum & Minimum Temperatures

(Measurement date : 9,20,'93)

(Units : °C)

FEEDING RATIO(%)	10M	12M	14M	16M	18M	20M	40M	42M	44M	46M	48M	50M
7	MAX	189	186	159	126	142	359	307	178	208	172	212
	MIN	170	159	142	119	118	213	277	157	172	153	179

다 Kiln 내부 코팅 부착상태

Kiln 내부에 코팅 및 ring이 형성되는 지점은 kiln shell 표면을 통하여 방출되는 열량이 적기 때문에 kiln shell 표

면온도를 측정하면 쉽게 찾아낼 수 있으며, 또한 범위도 알아낼 수 있다. Table 21은 이러한 현상을 파악하기 위하여 radiation pyrometer로 kiln shell 표면을 2m 간격으로 온도를 측정 한 값으로 평균온도를 나타내고 있다.

Table 21과 같은 kiln shell 표면온도를 근거로 하여 kiln 내부 코팅 및 ring이 형성된 지점은 Fig. 13에 나타내었다.

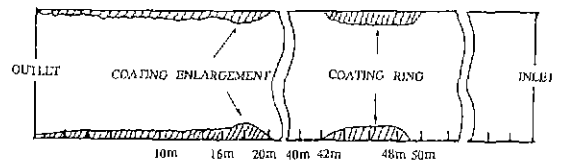


Fig. 13. Locations Coating Enlargement and Coat Ring Formation in No 4 Kiln.

Table 21에서와 같이 3, 5% 투입시에는 kiln shell 표면 온도의 큰 변화가 없었으나 7% 투입시에는 Fig 13과 같이 16~20m 지점에 코팅 비대현상이 발생하였으며, 42~48m 지점에 거대한 코팅 ring이 형성되어 kiln의 정상적인 운전이 불가능하여 1993. 9. 21 09:00에 페타이어 투입을 중단하였다. 이러한 현상은 페타이어 투입전에 없었던 현상으로 7% 실험수준시 페타이어 투입량이 86개/시간으로 페타이어 1개에 steel과 ash의 함량이 17.54%로서, 이것은 용점이 각각 1350°C, 1180°C 이므로 고온의 원료와 혼합이 되면 steel의 경우 이 보다 낮은 온도에서 용융되어 소성대에서 원료의 액상을 축진시켜 서서히 누적되면서 응착되어 기존의 코팅이 성장했을 것으로 판단되며, 42~48m 지점에 형성된 코팅 ring은 kiln 내부로 들어가자 못한 페타이어가 Fig 14와 같이 kiln sliding part에서 연소되면서 극부적인 과열로 인한 원료의 코팅 덩어리와 페타이어 연소후 남은 steel 코팅 덩어리가 kiln 내부로 불균일하게 들어가 고온부위인 kiln 내부에서 ring을 형성한 것으로 판단된다.

예열실에서의 휘발물질 거동상태는 Table 22와 같이 페타이어 투입량 증가에 따라 휘발물질의 순환이 증가하는 추세이다. 휘발물질에 의한 예열실 적분은 주로 최하단과 2단 cyclone 에서 발생하는데, 최하단 cyclone 에서의 휘발물질 순환은 실험수준 7%시에는 페타이어 투입전 보다 SO₂, K₂O, Na₂O, Cl⁻ 의 휘발물질이 각각 3%, 10%, 86%,

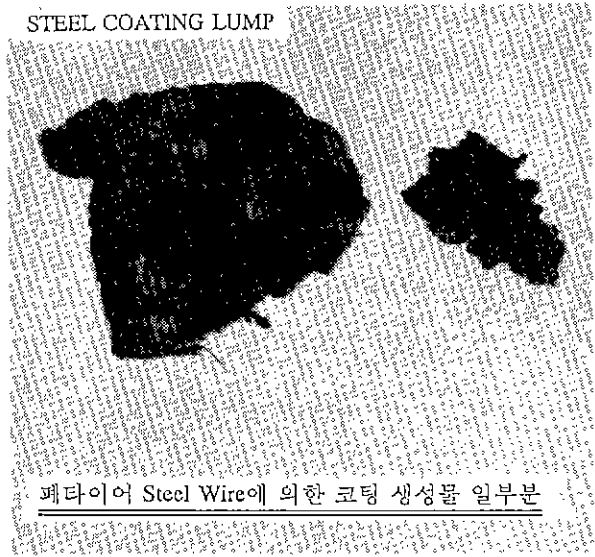
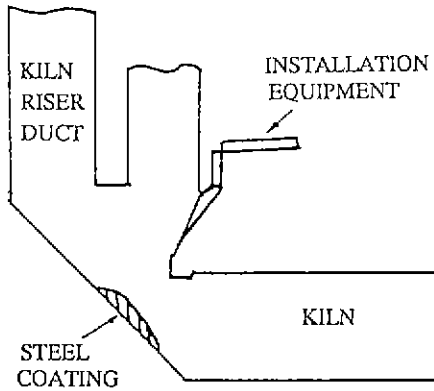


Fig. 14. Steel Coating Formation at No.4 Kiln Sliding part by Waste Tires.

12% 씩 증가하였는데 SO₃ 함량의 증가율이 적은 것은 사용연료중 황의 함량이 3, 5% 이상의 B.C oil 을 사용함으로써 그 영향이 줄어든 것으로 판단되고, 또한 clinker 중의 SO₃ 함량의 페타이어 사용전 보다 30% 나 증가되어 예열실에서의 SO₃ 순환량이 적은 것으로 판단된다. 문헌에 의하면 Cl 이 최하단 cyclone 의 원료중 0.15% 이상일 경우 코팅의 우려가 있다고 알려진바, 알칼리와 Cl 의 증가로 인하여 예열실에서의 적분현상은 충분히 예상되었다.

Table 22. Analysis of Volatile Material at Preheater.

(Unit %)

ITEMS		SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	Cl	
RAW MATERIAL		0.22	0.90	0.07	0.08	
P	4th CYCLONE	0	0.38	0.99	0.07	0.030
		3%	0.35	0.96	0.05	0.038
		5%	0.30	0.92	0.08	0.037
R	CYCLONE	7%	0.30	0.99	0.08	0.039
		0	0.68	1.13	0.06	0.070
		3%	0.60	1.13	0.09	0.093
E	3rd CYCLONE	5%	0.60	1.04	0.08	0.077
		7%	0.7	1.19	0.08	0.076
		0	1.07	1.33	0.05	0.117
H	2nd CYCLONE	3%	1.09	1.22	0.06	0.117
		5%	1.10	1.31	0.08	0.121
		7%	1.12	1.48	0.08	0.135
A	1st CYCLONE	0	2.58	2.50	0.07	0.231
		3%	2.65	2.45	0.07	0.258
		5%	2.25	2.62	0.11	0.250
T	CYCLONE	7%	2.65	2.75	0.13	0.259
		0	0.7	1.24	0.11	0.0034
		3%	0.7	1.22	0.12	0.0034
E	1st CYCLONE	5%	0.9	1.30	0.13	0.0038
		7%	0.9	1.42	0.09	0.0018
		CLINKER				

정상상태 하에서의 예열실 원료의 탈탄산은 Table 23과 같이 페타이어 투입전후의 차이가 없으며 SP kiln에서 최하단 cyclone 원료의 탈탄산 정도는 50% 미만인 정상이나 명월 4호 kiln의 경우 투입전후의 탈탄산율은 56~60% 로 높았는데 이는 kiln 에 들어간 원료가 kiln 내부의 빠른 유속으로 비산되어 예열실로 다시 거치는 순환현상 때문인 것으로 판단된다.

Table 23. Decarbonation Rate of Raw Material at Preheater

(Unit : %)

FEEDING RATIO PREHEATER	0	3	5	7
	4th STAGE	1.3	1.2	1.3
3th STAGE	2.6	2.4	2.6	2.5
2nd STAGE	11.9	11.2	11.5	11.7
1ST STAGE	56.7	56.4	60.0	56.8

라. Kiln 비정상상태 현황

Kiln 상태 약화에 따른 원료의 미소성으로 인한 kiln 의 제한운전과 kiln 내부 코팅 및 ring 형성으로 인한 예열실의 압력변동, 휘발물질 증가, 페타이어 연소에 따른 국부적인 과열 현상으로 인한 예열실 적분으로 kiln 가동중지를 하였으며 그 현황은 Table 24와 같다.

Table 24. Abnormal Operations and Operation Stops of kiln.

ITEMS	FEEDING RATIO(%)								TOTAL	
	0 (1 MONTH)		3 (3 DAYS)		5 (4 DAYS)		7 (17 DAYS)			
	C [*]	TIME (Hr Min)	C	TIME (Hr Min)	C	TIME (Hr Min)	C	TIME (Hr Min)	C	TIME (Hr Min)
A [*]	2	16:40	2	11:10	1	4:40	6	50:00	9	65:50
B [*]	0	0	0	0	0	0	5	14:00	5	14:00
SUM	2	16:40	2	11:10	1	4:40	11	64:00	14	79:50

*1. Abnormal Kiln Condition
 *2. Kiln Stop by Preheater Cyclone Clogging
 *3. Repeat Times

특히 7% 투입시에는 위와 같은 현상이 심하였으며, 페타이어 고열량으로 인한 국부적인 과열 현상은 Fig. 15와 같이 최하단 cyclone 의 출입구 및 원료 chute 의 코팅을 형성시켜 cyclone 에서의 적분현상도 발생되었다.

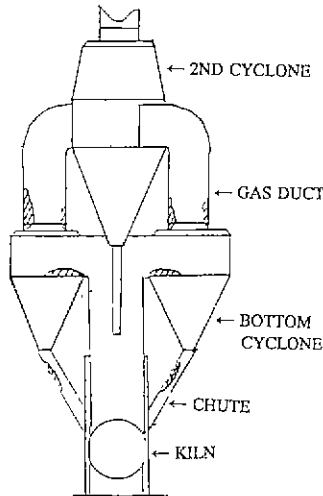


Fig. 15. Coating Formation at Bottom Cyclone.

마. 예열실 온도, 압력변화

Table 25는 kiln 운전상태가 가동될때 실제 현장에서 측정 한 것으로 페타이어 투입수준의 변화에 따라 예열실 각 단의 온도, 압력변화는 큰 차이가 없는데 이는 정상상태에서는 페타이어 열회수율이 높으므로서 kiln 사용연료가 그만큼 절감되어 예열실의 온도압력에 큰 영향을 주지 못한 것으로 판단된다

Table 25. Temperature and Pressure at Each Cyclone of Preheater

FEEDING RATIO(%) PREHEATER		0		5		7		REMARKS
		A	B	A	B	A	B	
4th STAGE	EAST	345	500	347	520	342	490	-A. TEMPERATURE(°C) -B. PRESSURE(mmAq) -UNDER NORMAL CONDITION
	WEST	342	490	344	530	340	500	
3rd STAGE	EAST	565	380	570	390	565	550	
	WEST	560	390	565	390	560	555	
2nd STAGE		728	230	715	270	713	260	
1st STAGE	EAST	826	120	832	120	837	120	
	WEST	830	130	841	130	842	120	
BEFORE IDF		337	520	332	550	334	540	

그러나 7% 투입수준에서는 kiln 내부 코팅과 ring 형성으로 인하여 kiln 내부와 inlet의 유속이 빨라지면서 압력이 20~30mmAq 상승하고 또한 페타이어 투입전 kiln inlet에서의 온도는 CA type thermocouple로 측정 한 결과 1100~1200°C 였으나 페타이어 투입시에는 여러번 측정하였으나 계속적인 error가 발생하였는데 이는 thermocouple의 측정 온도 범위인 1200°C를 넘어섰기 때문으로 판단된다. 일본 Onoda 시멘트 공장의 경우 kiln 내부 온도가 100°C 이상 상승한다는 실험에 보아서서는 kiln inlet의 온도는 1200°C 이상으로 판단된다.

비정상적인 운전상태 하에서는 예열실의 온도 변화가 생기는데, 이러한 변화는 kiln 운전상황실에 기록되는

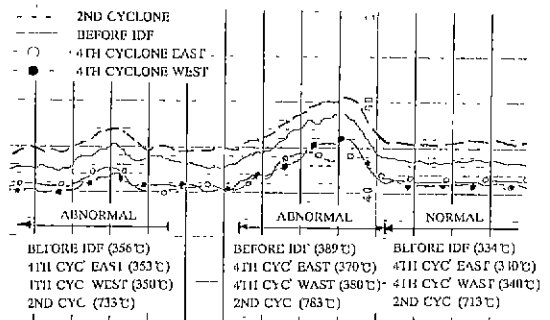


Fig. 16. Temperature Fluctuation of Each Cyclone Preheater.

recorder paper 를 살펴보면 알 수 있으며, kiln 상태 약화시에는 연료투입량이 증가하므로 예열실 각단의 온도는 Fig. 16과 같이 20~50℃ 증가한다.

바 예열실 배가스량의 증가

Table 7에서와 같이 페타이어의 연소공기량 및 연소가스량이 유연탄보다 많으므로 페타이어 투입율이 증가함에 따라 배가스량도 Table 26과 같이 증가하였다. 5% 투입시에는 배가스량이 130, 213 Nm³/Hr로 투입전 보다 6%가 증가하였으며, 7% 투입시에는 배가스량이 131,262 Nm³/Hr 로 투입전 보다 7% 로 증가하였다. 또한 배가스 성분 가운데 페타이어의 탄소성분으로 인하여 CO가 0.2%로 증가하였으며, 공기비가 증가하는 경향을 나타내고 있는데 이는 페타이어 투입구에서 유입되는 외부공기의 영향 때문이라 판단된다.

예열실의 배가스량이 증가함에 따라 이를 처리하는 kiln IDF의 전력소모량도 Table 27과 같이 비례하여 증가하였다

Table 26. Volume and Components of Exit Gas at Preheater

(A) At Bottom Cyclone

FEEDING RATIO(%)	EXIT GAS COMPONENTS(%)				AIR RATIO	REMARK
	CO ₂	O ₂	CO	N ₂		
0	31.3	0.8	0.4	67.5	1.0346	KILN INLET AIR RATIO:1.06
5	33.8	1.4	0.2	64.6	1.0819	
7	33.3	1.6	0.2	65.3	1.0946	

(B) Before Kiln IDF

FEEDING RATIO(%)	EXIT GAS VOLUME		GAS TEMPERATURE(℃)	GAS PRESSURE (mmAQ)
	Nm ³ /Hr	Nm ³ /kg-cl		
0	122,859	1.551	1.0346	520
5	130,213	1.641	1.0819	550
7	131,262	1.663	1.0946	540

(C) After Kiln IDF

FEEDING RATIO(%)	EXIT GAS COMPONENTS(%)				AIR RATIO	REMARK
	CO ₂	O ₂	CO	N ₂		
0	28.3	3.1	0.4	68.2	1.1904	
5	28.3	3.3	0.7	67.2	1.1978	
7	29.8	3.4	0.7	66.1	1.2100	

Table 27. Increment of Power Consumption by Exit Gas Volume.

FEEDING RATIO(%)	POWER CONSUMPTION (KWH)	CONTRAST
0	508	-
3	536	△ 28
5	532	△ 24
7	536	△ 28

3.2.3 품질분석 결과

가. 압축강도 및 응결시간

페타이어 열이용에 따른 시멘트 품질특성 가운데 압축강도 및 응결시간을 분석하여 Table 28에 나타내었다

Table 28. Compressive Strength and Setting Time of Cements Quality

FEEDING RATIO (%)	COMPRESSIVE STRENGTH (kg/cm ²)				SETTING TIME		REMARK
	1 DAY	3 DAYS	7 DAYS	28 DAYS	INITIAL (MIN)	FINAL (HR.MIN)	
0	105	214	271	332	253	6.25	AVERAGE
3	80	186	244	323	243	6.13	DATA
5	99	206	268	345	255	6.30	
7	96	201	266	337	242	6.07	

Table 28에서와 같이 1, 3, 7일의 초기강도가 하락된 것은 clinker 중의 f-CaO 감소로 인하여 수화반응에 주역할 Ca(OH)₂의 양이 적어지면서 초기 강도 발현이 늦어졌으며, 차츰 clinker 광물로 부터 형성된 Ca(OH)₂량이 증가하면서 후기 강도 발현이 나타난 것으로 판단된다

한편 페타이어의 5.3% ash 성분 가운데 Table 17과 같이 중금속 성분이 많으므로, clinker에도 이들의 성분의 변화량을 파악하기 위하여 원자흡광법으로 분석하여 Table 29에 나타내었다.

Table 29. Heavy Metals in Clinker

(Unit ppm)

FEEDING RATIO(%)	ZnO	PbO	Cr ₂ O ₃	CuO	Mn O ₂
0	118	404	155	172	2133
3	196	404	155	227	2286
5	199	404	148	211	2128
7	244	377	244	141	2199
RAW MATERIAL	125	229	74	196	1457

페타이어 사용에 따라 clinker 중의 증금속 성분 가운데 ZnO의 증가량이 제일 컸으며, 이러한 증금속 성분 증가에 따라 시멘트의 응결시간이 단축된다고 보고된바 있다.¹⁸⁾ 이 문헌에 의하면 납과 아연이 첨가된 시멘트는 응결반응이 빠르게 일어나며, 이의 직접적인 원인은 물과 혼합된 후 빠른 수화속도를 나타내는 C₃A 함량에서 기인된 것으로서, 이러한 높은 반응성은 alkali 20~30% 정도의 낮은 sulfurization에 의한 것이다. 납 또는 아연을 함유한 clinker로부터 제조된 시멘트의 빠른 응결현상은 이들 금속 둘다 혹은 어느 한쪽이 섞여짐에 따라 C₃A의 반응성이 증가되어 응결이 빠르게 진행된 것으로 보고하고 있으나 Table 28과 같이 초기강도 저하는 후기강도에서 보상이 되면, 또한 응결시간 단축으로 인한 시멘트 품질에는 큰 문제점이 없을 것으로 사료된다.

나. Clinker 광물 발달 상태

(1) Clinker 화학분석

페타이어 투입수준에 따라 Fe₂O₃, SO₃, K₂O, Na₂O의 성분이 다소 증가하는 경향이 Table 30과 같이 보이고 있으며, 이로인한 시멘트 품질에는 큰 문제점이 없을 것으로 판단된다.

Table 30. Chemical Analysis Data of Clinker

FEEDING RATIO (%)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	F-CaO	lg loss
0	22.0	5.5	3.3	63.5	3.0	0.7	1.24	0.11	0.6	0.5
3	22.0	5.5	3.3	63.8	2.8	0.7	1.22	0.12	0.5	0.4
5	22.1	5.5	3.4	63.5	3.1	0.9	1.30	0.13	0.4	0.3
7	21.9	5.6	3.4	63.6	3.2	0.9	1.42	0.09	0.6	0.3

(2) XRD 분석

페타이어 사용 수준별로 X-Ray diffraction 분석결과인 Fig 17을 살펴보면 큰 변화는 나타나지 않고 있다.

(3) 반사현미경 관찰

지름이 210cm 정도의 크기의 clinker를 2cm 이하로 파쇄하여 절단면을 반사현미경으로 clinker의 광물발달 상태를 분석하였다 그 결과는 Table 31과 같으며, C₂S는 페타이어 투입전후 모두 양호한 결정발달 상태를 보이고 있으며, 그 결정 크기는 10~35μm 이며, 형태는 자형, 반자형의 모습을 보이고 있으며 C₂S의 경우에도 큰 변화는 없이 균 또는 확산 분포되어 있고 크기는 10~25μm, 형태는 구상, 괴상이 있으나, C₃A의 경우 결정상태가 fine한 모습을 나타내고 있다.

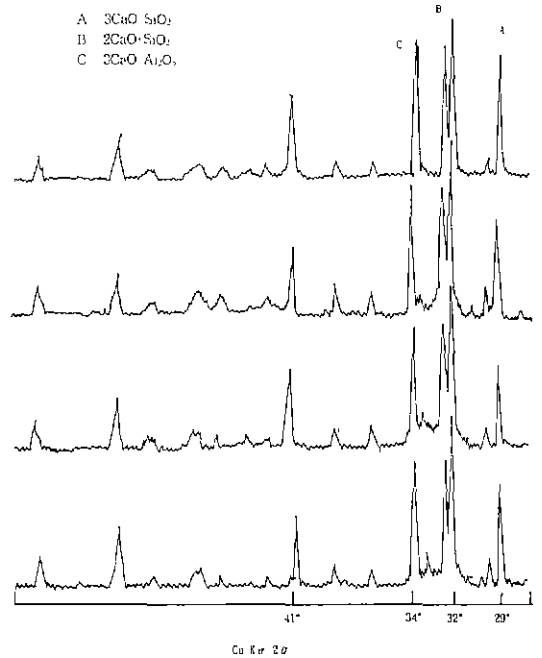


Fig. 17. XRD Analysis of No. 4 Kiln Clinker.

Table 31. Formation Condition of Clinker Mine.

FEEDING RATIO (%)	C ₂ S (ALITE)	C ₂ S (BELITE)	C ₃ A (ALUMINATE)
0	Good crystal condition -size 10~35μm Type:Stick	Crowd, spread group -size 10~25μm Type:Spherical	Coarse crystal were much exsited
3	Good crystal condition -size 10~25μm Type:Stick	Crowd, spread group -size 10~25μm Type:Spherical	Fine, coarse crystals were much exsited
5	Good crystal condition -size 15~35μm Type:Stick	Crowd, spread group -size Under 20μm Type:Spherical	Coarse crystals were much exsited
7	Good crystal condition -size 10~25μm Type:Stick	Crowd spread group -size Under 25μm Type Spherical	Fine crystals were much exsited

다. Clinker 피분쇄성 및 색도 변화

Clinker 피분쇄성은 BWI (Bond Work Index)로 나타내며, KS 규격에 따라 측정하였으며 그 결과는 Table 32와 같이 페타이어 사용전후 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.

한편 색도는 clinker 88 μ R 10% 정도로 미분쇄하여 calorimeter로 측정하였으며 그 결과는 Table 33과 같다.

투입수준 증가에 따라 색도 (L값)은 수치상으로 떨어지는 경향이 있으나 육안으로 식별하기 어려운 상태이다.

Table 32. Grindability of Clinker

FEEDING RATIO(%)	0	3	5	7
BOND WORK INDEX	162	173	16.1	163

Table 33. Colors of Clinker.

FEEDING RATIO (%)	COLOR		
	L	a	b
0	52.29	-0.05	+10.05
3	57.96	+0.60	+10.30
5	56.96	+0.46	+9.94
7	56.92	+0.71	+10.17

Table 34. NO_x, SO₂ Gas Concentrations in Exit Gas at EP Stack

FEEDING RATIO(%)	POSITION	POLLUTION GAS		ENVIRONMENTAL LIMIT VALUE (ppm)
		NO _x (ppm)	SO ₂ (ppm)	
0	EP STACK	AVE 128 (70-220)	AVE.10 (3-17)	NO _x 350 SO ₂ :800
5		AVE:146 (30-220)	AVE.:22 (8-47)	
7		AVE .136 (96-174)	AVE 128 (2-12)	

3.2.4 환경오염 평가

(1) SO₂, NO_x 증감 변화

해외 시멘트 공장에서 페타이어 사용에 따른 환경오염으로서 SO₂ 성분은 페타이어의 황성분이 2% 이상으로 유연탄보다 3배 가량 많으므로 증가하는 경향을 나타내는 추세이나, NO_x의 경우에는 해외 페타이어 성분 중 질소함량

이 유연탄보다 10배가량 적어 kiln 에서 페타이어 열이용 시 고온하에서 질소성분과 반응하는 fuel NO_x가 감소하는 현상을 보이고 있으나, 국내 페타이어의 질소함량은 Table 16과 같이 유연탄과 거의 차이가 없고 또한 페타이어 열량회수율이 적은 관계로 NO_x, SO₂ 가스성분이 Table 34와 같이 다소 증가하였다. 그러나 이는 환경규제치에 훨씬 못미치는 수치이다.

4. 결론

(1) 페타이어 7% 수준 실험시 예열실 적분, kiln 내부 코팅 및 ring 형성으로 kiln 의 안정적 운전이 어려웠으며, 5% 수준의 실험기간 동안에는 이러한 문제점이 비교적 적었다 이 때의 열원단위는 809Kcal/kg·cli 이고 페타이어 열량회수율은 50% 정도였다

(2) 5, 7% 실험수준에서 예열실의 배기가스량도 사용전 보다 각각 3, 7% 비례하여 증가함으로써 IDF 의 전력소모량도 4.7, 5.5% 증가하였다.

(3) 예열실에서 휘발물질 순환은 페타이어 투입량 증가에 따라 비례하여 증가하는 경향을 나타내고 있으며, 특히 7% 실험 수준에서는 clinker 중의 SO₃ 함량이 30% 정도 증가하였다

(4) 시멘트 품질에 있어서는 3,5,7% 투입시 초기강도가 저하되나 장기강도는 사용전과 동등 수준이며, 이밖의 광물조성, 색도, 피분쇄성에는 큰 변화가 없었다.

(5) 페타이어 실험시 발생하는 gas 중 NO_x, SO₂ 성분은 다소 증가하는 경향이아 규제치에 훨씬 못미치는 수치이다.

참 고 문 헌

1. G. Weislehner, Dotternhausen, "Utilization of old motor tyres as fuel by Rohrbch-Zement, Dotternhausen", ZKG, pp 454-457, Vol 36(8), 1983
2. R. Naredi, Malmö, "Using solid fuels in supplement firing of rotary cement kiln", ZKG,pp185-189, Vol 36(4), 1983
3. R.Jaschke, "Old motor tyres as an alternative fuel Bunkering, automatic handling feeding the tyres individually" ZKG pp195-198, Vol 36(4), 1983

4. Kaldelway F., "Successful handling of alternative fuel", World Cement, pp 334~346, Vol 36(4), 1983
5. "Old tires : New fuel", Rock Products, pp 82~87, 1980, 10
6. O.Hochdahl, "Exprience and viewpoint with regard to the use of substitute fuel", ZKG, pp 421~424, Vol 39(9), 1987, 9
7. Robert Segal, "Kiln fuel : Rice hulls, waste oil" Rock Products, 42~44, 1984, 4
8. 中鳥幸男, "廢 燒成用 燃料 利用 工業", pp 11~13, (166), 1981, 3
9. R S Huhta, "Waste fuel : Survey Report". Rock Products, pp 40~43, 1985 4
10. Eric, Hansen, "Tire power is fire power". World Cement, pp 29~31, 1992, 4
11. Eric, Hansen, "burning of solid waste in cement kiln" World Cement , pp 15~18, 1993, 3
12. Johon A Rosenhoj, "The cement kiln/The optimal solution for waste tyre burning", Waste fuel technology pp30~36, 1995, 5
13. Ikuo Saito, Kazumasa Sakae, Tetsuo Ogiri, "Development of waste tyre gasifier" 小野田研 究報 告, pp 29~39, Vol 39, 1, (119), 1987
14. Michael Blumenthal, "The use of scrap tyres in the US cement industry", World Cement pp14~20, 1992, 12
15. 김성환 "페타이어 사용실태 조사", 해외출장보고서, 1992, 10
16. 정중수, "미국의 페타이어 사용 시멘트 업체 및 관련 연구소 방문", 출장보고서, 1993, 6
17. S Sprung, W.Rechenberg, "Reaction of lead and zinc in cement manufacture", ZKG, pp 539~548, 36(10), 1983, 10
18. S Sprung, W.Rechenberg, "Reaction of lead and zinc in cement manufacture", ZKG, pp 539~548, 36(10), 1983, 10