

# 농업용 폐비닐을 이용한 이동식 시멘트 연료 제조 장치 및 이를 이용한 시멘트 제조 청정 공정 개발

徐炯男, 具常書, 崔泳起, 閔庚昭, 姜聖求\*, 吳熙鉀\*  
라파즈한라시멘트 기술연구소, 호서대학교 화학공학과\*

## Development of moveable instrument for fuel of cement production and of clean process for cement production using waste plastics from agriculture

Hyung-Nam Seo, Sang-Ser Goo, Young-Ki Choi, Kyung-So Min, Seong-Gu Kang\*, Hea-Kap Oh\*  
Technical Center, Lafargehalla cement co.  
Dept. of Chemical Engineering, Hoseo Univ.\*

### 요 약

본 연구에서는 현재 농촌 지역에서 광범위하게 사용되고 있으나 거의 재활용이 안 되어 방치상태에 있는 농업용 폐비닐을 이용하여 시멘트 제조를 위한 고품 연료를 제작할 수 있는 이동식 장치를 개발하려 하였다. 이를 위해 재생연료의 연소 특성 및 2차 오염 발생여부에 대해 조사했으며, 1cm 이하 알갱이 형태의 고품 연료를 제조 가능한 이동식 장치를 개발하였다. 또한 기존의 시멘트 예열탑에서의 투입 방식에서 벗어나, main burner에 적용 기술 개발을 통해, NOx 및 O2 발생량의 감소가 나타났고, 0.5ton/hour 투입 시, 0.2-0.3 ton/hour 정도 Coal량이 감소하는 연료 단가 절감 효과를 얻을 수 있었다.

### Abstract

In this study, we tried to develop the moveable instrument for fuel of cement production by using waste plastics from agriculture that was not recycled. First we investigated the burning character of recycled fuel and feasibility of second pollution. Then we made the instrument which can produce the solid fuel under 1cm size. In changing the inputting method from pre-heater to main burner, this reduces the NOx and O2 emission rate. and When we input it 0.5ton/hour, we obtain 0.2-0.3 ton/hour reduction of coal amount.

### 1. 서 론

현재 국내에서는 한국자원재생공사가 1989년부터 폐비닐처리시설을 설치, 운영하여 현재 4개 폐비닐공장을 통해 매년 22,000톤 정도만을 재활용하는데 그치고 있는 실정이다. 또한 농작물 보온 비닐하우스나 잡초 성장 억제를 위한 멀칭용 비닐 사용량이 지

속적으로 증가하고 있어 영농 후 발생하는 농촌 폐비닐의 적정한 재활용처리는 중요한 과제라 하겠다. 폐비닐의 재활용을 증대하기 위해서는 현재의 재생 원료화와는 다른 개념의 접근이 필요하다. 즉 고품 연료화나 유화, 가스화등의 도입이 시급 하다 하겠다. 현재 페타이어, 폐 오일 및 일부 폐플라스

틱은 현재 시멘트 제조 공장에서 수입 석탄의 일부를 대체하고 있어 에너지 문제와 환경 문제를 해결하고 있으며 에너지 이용을 극대화 할 수 있는 폐기물 고형연료의 필요성이 부각되고 있다. 폐비닐 역시 폐기물 고형연료의 한 영역으로 자리 잡아 가고 있지만 폐비닐의 경우 운반 시 부피가 커서 물류비용이 과다하게 발생하며 소각처리 시 다이옥신 등 2차 오염물질이 발생하는 문제가 있다. 따라서 폐비닐에 대한 재활용 효율을 높이고 이를 이용한 청정기술의 개발은 매우 시급하다 하겠다.

본 연구에서는 현재 재활용이 안 되어 방치되어 있는 농업용 폐비닐을 이용하여 시멘트 제조 연료를 제작할 수 있는 이동식 장치를 개발하고 이렇게 제작된 연료를 시멘트 제조의 에너지원으로 사용하는 시멘트 제조 청정 공정을 개발함으로써 2차 오염(다이옥신, 악취 등)을 방지하고 에너지 절감효과를 거두고자 한다.

## 2. 농업용 폐비닐 처리 장치

시멘트 제조용 연료 제조를 위한 이동식 농업용 폐비닐 처리 장치는 폐기물 발생 지역에서 수거되어 야적상태의 폐비닐을 이동식 폐비닐 처리 장치를 이용해 입상의 시멘트 제조용 연료를 현장에서 제조하는 장치로써 제조 시 유해가스 발생을 방지할 수 있으며 제조 에너지의 최소화로 경쟁력을 제고 할 수 있다는 장점을 가지고 있다.

### 2.1 장치 설계 및 제작

본 연구에서 제작하려는 장치를 Fig. 1 에 나타내었다. Fig. 1에서 보는 것과 같이 본 연구에서 제안한 장치는 기존의 폐비닐 재생장치에 비하여 수세 공정 등이 필요없어 공정이 간단하고 장치를 이동할 수 있어 폐비닐 발생 지역에서 폐비닐의 처리가 가능하므로 폐비닐 수거에 필요한 별도의 부지가 없어도 되며, 폐비닐 수거를 위한 노력과 경비를 절감할 수 있는 장점이 있다. 당

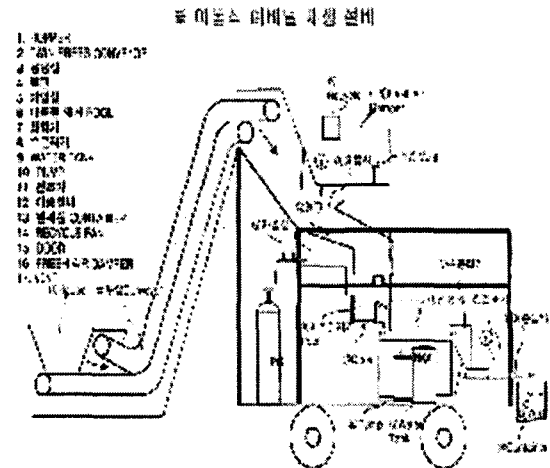


Fig. 1. Draft of Moveable instrument.

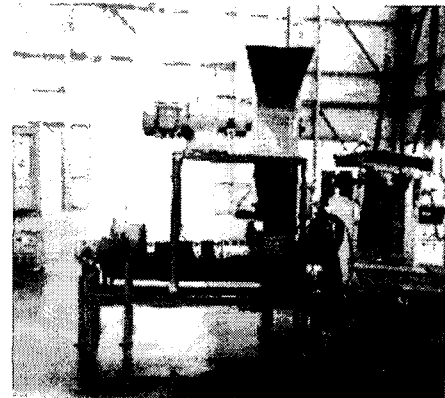


Fig. 2. Moveable instrument.

초의 계획과는 달리 냉각장치를 수냉식이 아닌 공냉식과 cutting 방식으로 바꾸었으며, cutter 부분도 제작 과정에서 비닐의 고유한 특성상 나타나는 문제점들이 많아 새로이 cutter 부분을 보완하는 작업을 수행하였다.

## 3. 실험 방법

### 3.1 기초 실험 및 조건 확립

본 연구에서는 장치의 개발에 앞서 농업용 폐비닐을 시멘트의 연료로 사용할 수 있는 최적의 조건을 탐색하고자 다음과 같은 실험을 하였다. 우선 수거된 폐비닐의 온도와 시간에 따른 형상 변화를 관찰하여 장치의 설계에 반영하기 위하여 폐비닐 10g을 각각 350℃와 500℃에서 30초에서 5분까지의 시간 동안 폐비닐의 형상 변화를 관찰하였다. 또한 폐비닐의 에너지 수지를 계산하기 위

하여 시차주사열량 분석을 수행하였으며, 이를 토대로 250℃와 500℃에서의 에너지 수지를 계산하여 보았다. 재생 조건으로는 250℃에서는 압출법을 500℃에서는 용융입상화법으로 가정하였으며, 공기의 비열은 0.25 kcal/kg, 열효율은 60%로 가정하여 계산하였다.

### 3.2 폐비닐 재생연료 공정시험

현재 국내에서 발생하는 농업용 폐비닐은 연간 약 10만톤 정도로써 토양오염과 생태계 파괴등의 문제를 일으키고 있으나, 재활용되는 양은 약 2만톤 정도로 극히 제한적이다. 이에 농업용 폐비닐로부터 시멘트 제조용 재생연료를 2톤 이상 제조하였고, 제조된 재생연료는 버너의 화염등의 문제를 고려하여 그 크기를 1cm 이하로 하였다.

이동식 폐비닐 처리 장치를 이용하여 제작한 2톤의 재생연료를 이용 라파즈한라시멘트 No. 4 Line의 Main burner를 통한 투입을 시도 하였으며, 0.5 ton/hour 의 투입속도로 총 4시간 동안 실험을 진행하였다.

## 4. 실험 결과

### 4.1 기초실험 및 조건 확립

폐비닐은 250℃에서는 3분 이상, 350℃에서는 2분 이상 경과하여야 용융되어 시멘트 연료로 성형될 수 있음을 알 수 있었고, 시

Table. 1. Calculated Result of energy balance from DSC analysis

	250℃	500℃
비닐흡수열량	214 kcal/kg	770 kcal/kg
들어가는 열량	360kcal/kg	1283kcal/kg
손실되는 열량	144kcal/kg	513kcal/kg
필요공기량	6.4kg ( $6.5 \times 10^{-3} m^3$ )	10.8kg ( $8.29 \times 10^{-3} m^3$ )
배출온도	115℃	215℃

차주사열량분석 결과를 토대로 하여 공기를 250℃까지 가열하였을 때와 공기를 500℃까지 가열했을 때의 계산된 에너지 수지를 Table. 1에 나타내었다.

### 4.2 폐비닐 재생연료 공정시험

#### 4.2.1 공정 DATA

폐비닐 원료의 공정시험 결과를 Table. 2에 나타내었다.

Coal 투입량은 Pre-Heater 측은 거의 변화가 없었으나, Kiln측은 약 0.2-0.3 톤/시간 정도 감소를 나타냈으며, Gas 분석 결과, CO가 상대적으로 증가함에 따라, O2와 NOx는 감소하는 경향을 나타내었다. 이는 상대적으로 Kiln coal 투입량이 과다하였기 때문으로 보여진다.



Fig. 3. Recycled fuel

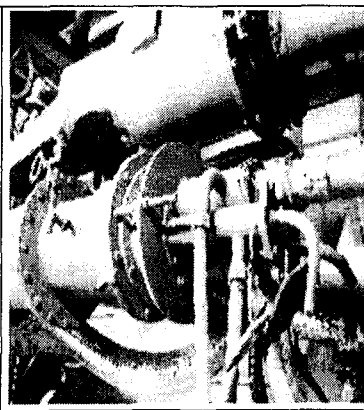


Fig. 4. Connection part with Main burner

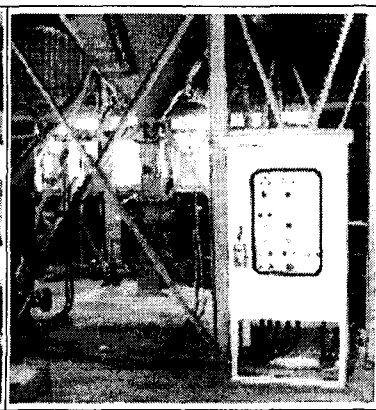


Fig. 5. Facility for recycled fuel inputting

Table. 2. Process data

구분	Coal 투입량		Gas Analyzer-Kiln Outlet			Gas Temperature		원료온도 -kiln Inlet (°C)	원료 투입량 (Ton/Hr)	Kiln Drive (A)
	Kiln	P/H	O2	CO	NOx	Kiln Outlet	P/H 5단			
Before	≒11.7	17~19	2.0~4.5	0.0~0.1	870~1500	350~1,000	≒870	≒870	≒390	600±20
After	≒11.4	16~18	1.7~3.8	0.0~0.3	660~1350	980~1,020	≒870	≒870	≒390	600±20
Difference	▼	-	▼	▲	▼	▲	-	-	-	-

#### 4.2.2 Clinker 미세구조

Fig. 6. 은 페비닐을 이용한 공정 시험 전과 시험 후 Clinker의 미세 구조 사진이다.

Alite의 경우, 자형과 반자형이 함께 공존하고 있고, Size에는 큰 편차가 없으며, 표면에 약간의 분해 현상이 나타났고, Belite의 경우, 생성량이 적고 Size 편차를 보이고 있으며, 결정 분해 현상이 나타나고 있는 점이 투입 전후 큰 차이는 발견되지 않고 있다. F-CaO의 경우, 투입 전에 비해 투입 후에 다소 증가하는 경향을 나타내고 있다.

#### 4.2.3 시멘트 제조 물리 특성

잔사, 주도, 몰탈 플로우 등은 투입 전후에 따른 차이가 나타나지 않았으며, 큰 차이는 아니지만 투입 후 Blaine 저하, 응결시간 감소, 압축강도 하락 등의 경향이 나타났다. 일반적으로, Clinker 소성이 과다할 경우, Clinker의 분쇄성 저하를 유발하는데, 본 실험 결과의 Blaine저하는 이러한 과소의 영향으로 판단되며, 이에 따라 초기 압축강도도 약간 저하한 것으로 판단된다.

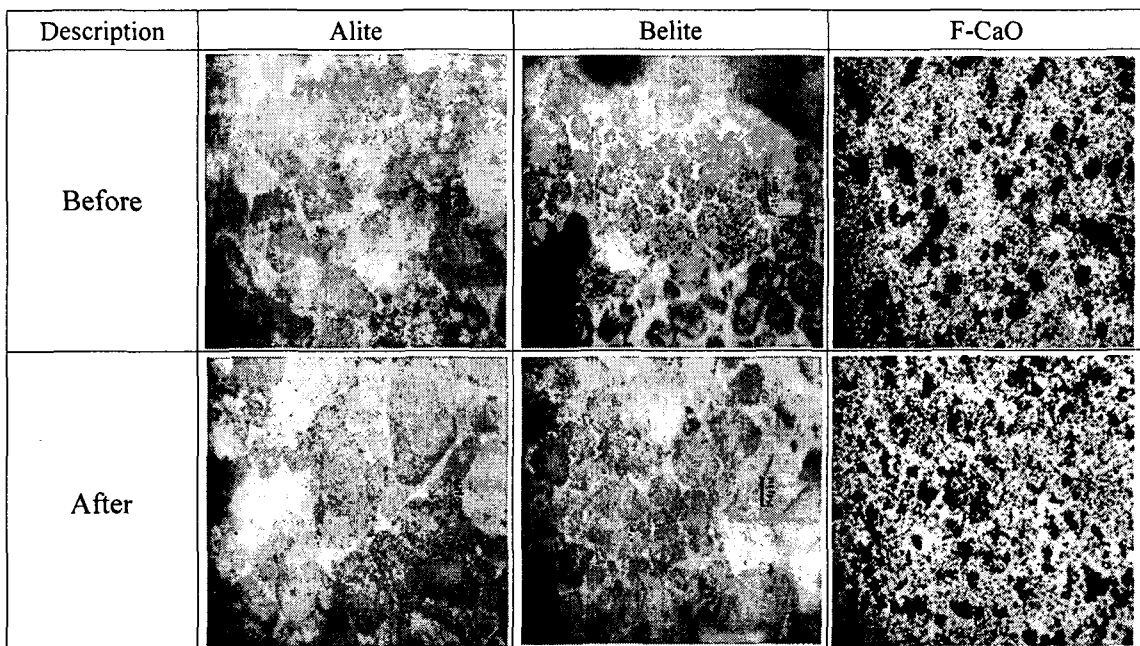


Fig. 6. Clinker Microstructure.

Table. 3. Physical properties on cement

Description	Fineness		Normal consistency (%)	Setting Time		Flow (mm)	Compressive Strength(kg/cm <sup>2</sup> )			
	Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	45 $\mu$ m R (%)		Initial (min)	Final (hr)		3days	7days	28days	
Before	3376	22.1	23.7	270	8:20	190	239	329	413	
After	1	3287	23.2	23.9	245	7:50	184	233	310	390
	2	3301	20.8	23.5	260	8:10	194	230	327	402
	Avg.	3294	22.0	23.7	253	8:00	189	232	319	396
Difference	▼	-	-	▼	▼	-	▼	▼	▼	

### 5. 결 론

시멘트 제조용 연료 제조를 위한 이동식 농업용 폐비닐 처리 장치 개발을 하였다. 본 장치를 제작하기에 앞서 다음과 같은 조건들과 특징들을 살펴볼 수가 있었다.

1) 최적의 고품 입도 생산기술 개발을 위한 기초 실험 및 조건 확립을 위하여 폐비닐 10g을 각각 350℃ 와 500℃에서 30초에서 5분까지의 시간 동안에 폐비닐의 형상변화를 관찰하였다.

2) 본 장치는 기존의 폐비닐 재생장치에 비하여 수세 공정 등이 필요없어 공정이 간단하며, 이동식으로 제작하였기 때문에 폐비닐 발생 지역 대부분에서 폐비닐의 처리가 직접 가능하며 폐비닐 수거에 필요한 별도의 부지가 불필요하다는 특징과 폐비닐 수거를 위한 노력과 경비를 절감할 수 있다는 특징을 갖고 있다.

농업용 폐비닐 재생연료의 시멘트 Kiln 적용 가능성 및 Coal적용 가능성 검토를 위해 직접 시멘트 공장현장 실험을 수행하여 공정, 품질 및 환경에 미치는 영향을 검토하였다.

1) 시멘트 제조공정 시험을 분석한 결과 Clinker의 미세구조의 변화차이를 확인하였으며, 별 차이가 없다는 것을 확인하였으나 시멘트 물성에서 커다란 차이는 아니지만, 투입 후에 응결시간 감소, 압축강도 하락등의 경향이 나타났다.

2) 금번 폐비닐 재생연료의 열량회수율은 약 50%수준, Kiln coal 치환율은 2.5% 정도 이었다.

### 참고 문헌

1. 박갑성, 유해폐기물 관리, 동화기술 1997
2. 폐기물 관리법
3. 환경부, 환경백서, 2000
4. 산업자원부, "산업 폐부산자원을 활용한 시멘트 제조기술 및 실용화 연구", 2000
5. Hoffman, D.A. and Fits, R. A., "Batch report pyrolysis of solid municipal waste." Environ.Sci. & Tech., 2(11) 1968
6. Robert H. Perry., Dongreen., "Perry's chemical Engineer's handbook," 5th edition, McGraw-Hill., 1984
7. 한국 폐기물학회, 폐기물 처리기술과 재활용, 1995