

농업용 폐비닐의 시멘트 연료로의 이용에 관한 연구

최영기* · 구상서 · 서형남 · 민경소 김광범 · 남인수 · 박영수 강성구 · 오희갑
 <라파즈한라시멘트 기술연구소> <라파즈한라시멘트 생산본부> <호서대 화학공학과>

1. 서 론

현재 국내에서는 한국자원재생공사가 1989년부터 폐비닐처리시설을 설치, 운영하여 현재 4개 폐비닐공장을 통해 매년 22,000톤 정도만을 재활용 하는데 그치고 있는 실정이다. 또한 농작물 보온 비닐하우스나 잡초 성장 억제제를 위한 멀칭용 비닐 사용량이 지속적으로 증가하고 있어 영농 후 발생하는 농촌 폐비닐의 적정한 재활용 처리는 중요한 과제라 하겠다. 폐비닐의 재활용을 증대하기 위해서는 현재의 재생 원료화와는 다른 개념의 접근이 필요하다. 즉 고품 연료화나 유화, 가스화 등의 도입이 시급하다 하겠다. 현재 폐타이어, 폐 오일 및 일부 폐플라스틱은 현재 시멘트 제조공장에서 수입 석탄의 일부를 대체하고 있어 에너지 문제와 환경 문제를 해결하

고 있으며 에너지 이용을 극대화 할 수 있는 폐기물 고품연료의 필요성이 부각되고 있다. 폐비닐 역시 폐기물 고품연료의 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 생산할 수 있는 이동식 장치를 개발하고 이렇게 제작된 연료를 시멘트 제조의 에너지원으로 사용하는 시멘트 제조 청정 공정을 개발함으로써 2차오염(다이옥신, 악취 등)을 방지하고 에너지 절감효과를 거두고자 한다.

Table. 1. 폐비닐 수거 및 처리 현황

(단위 : 톤)

Description	수 거	처 리	재 고
1997 년	53,229	36,342	144,809
1998 년	55,328	34,717	168,418
1999 년	59,266	37,349	187,335
2000 년	64,673	50,980	201,034
2001 년	96,059	68,504	327,634
2002 년	110,382	84,302	353,714
2003 년	126,439	85,761	394,393

2. 농업용 폐비닐 처리 장치

시멘트 제조용 연료 생산을 위한 이동식 농업용 폐비닐 처리 장치는 폐기물 발생 지역에서 수거되어 야적상태의 폐비닐을 이동식 폐비닐 처리장치를 이용해 입상의 시멘트 제조용 연료를 현장에서 생산하는 장치로써 제조시 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. 1 에서 보는 것과 같이 본 연구에서 제안한 장치는 기존의 폐비닐 재생장치에 비하여 수세 공정 등이 필요 없어 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. 당초의 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.

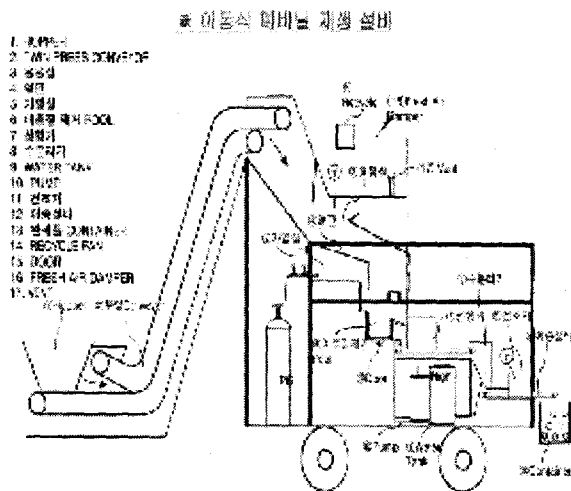


Fig. 1. Draft of Moveable instrument

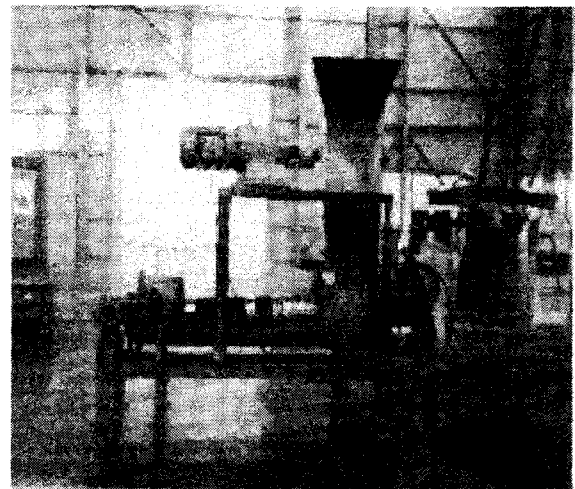
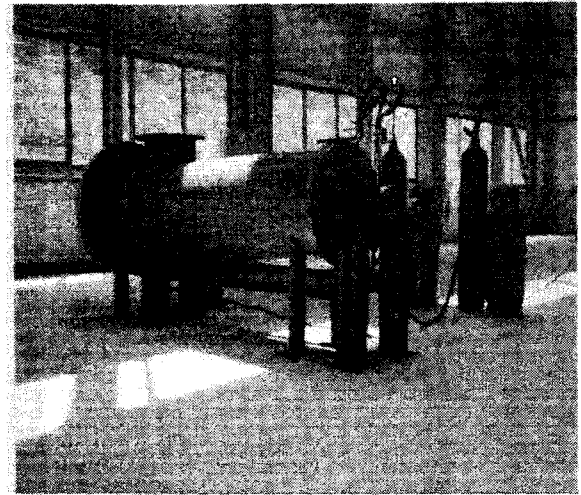


Fig. 2. Movable instrument.

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 250℃와 500℃에서 30초에서 5분까지의 시간동안 폐비닐의 형상 변화를 관찰하였다.

또한 폐비닐의 에너지 수지를 계산하기 위하

여 시차주사열량 분석을 수행하였으며, 이를도대로 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 발생되는 농업용 폐비닐은 연간 약 10만톤 정도으로써 토양오염과 생태계 파괴 등의 문제를 일으키고 있으나, 재활용되는 양은 약 2만톤 정도로 극히 제한적이다. 이에 농업용 폐비닐로부터 시멘트 제조용 재생연료를 2톤 이상 생산하였고, 생산된 재생연료는 버너의 화염 등의 문제를 고려하여 그 크기를 1cm 이하로 하였다.

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

이동식 농업용 폐비닐 처리 장치를 이용 생산한 재생연료를 Fig. 3 에 나타내었으며, 공정시험을 위해 설치한 장비 사진을 Fig. 4~6 에 나타내었다.

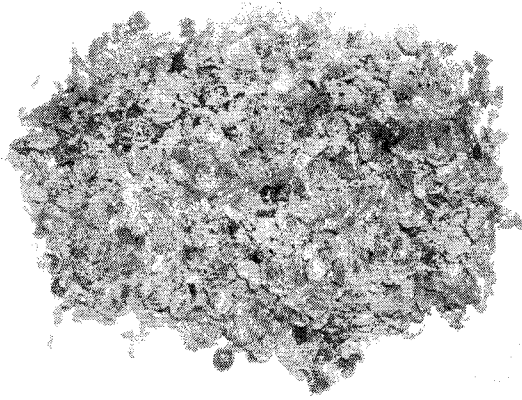


Fig. 3. 폐비닐 재생연료

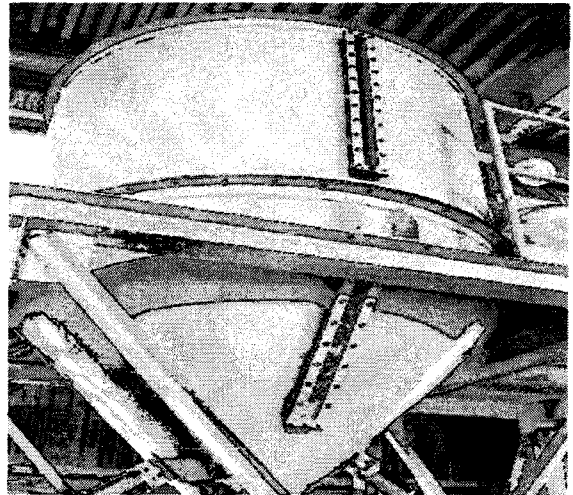


Fig. 4. hopper

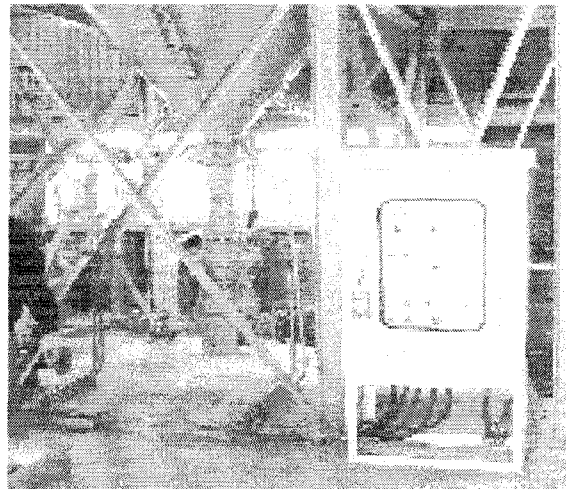


Fig. 5. hopper 하부

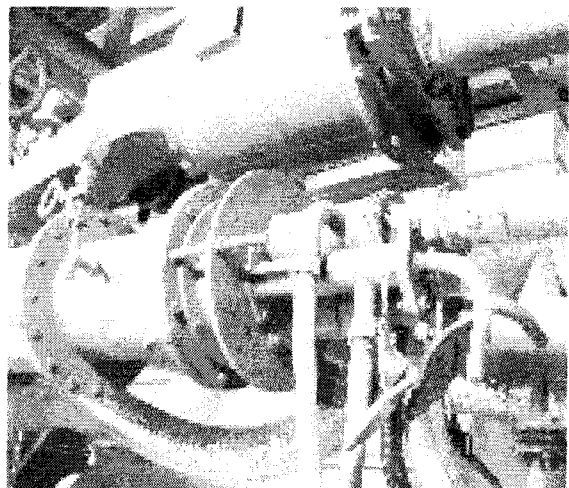


Fig. 6. 버너 연결부

4. 실험 결과

4.1 기초실험 및 조건 확립

페비닐은 250℃에서는 3분 이상, 350℃에서는 2분 이상 경과하여야 용융되어 시멘트 연료로 성형될 수 있음을 알 수 있었고, 시차주사열량분석 결과를 토대로 하여 공기를 250℃까지 가열하였을 때와 공기를 500℃까지 가열했을 때의 계산된 에너지 수치를 Table. 2 에 나타내었고, 이를 근거로 계산되어진 경제성 검토 결과를 Table. 3 에 나타내었다.

4.2 페비닐 재생연료 공정시험

4.2.1 공정 DATA

Table. 2. Energy balance

구분	250 ℃	500 ℃
비닐흡수열량	214 kcal/kg	770 kcal/kg
들어가는 열량	360 kcal/kg	1,283 kcal/kg
손실되는 열량	146 kcal/kg	513 kcal/kg
필요공기량	6.4 kg ($6.5 \times 10^3 \text{ m}^3$)	10.8 kg ($8.29 \times 10^3 \text{ m}^3$)
배출온도	115 ℃	215 ℃

Table. 3. 경제성 검토

구분	유연탄	페비닐 재생연료	
		250 ℃	500 ℃
발열량 (Kcal/Kg)	6,500	10,500	
가격 (Krw/Kg)	70	13.7	48.9

페비닐 원료의 공정시험 결과를 Table. 4 에 나타내었다.

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

4.2.2 Clinker 미세구조

Fig. 7. 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 나타나 투입 전후 큰 차이는 없었다. 또한, F-CaO의 경우, 화학분석결과 다소 감소한 것으로 나타났는데, 현미경 분석결과에서는 큰 차이가 없음을 볼 수 있었다.

Table. 4. 공정 Data

구분	Coal 투입량		Gas Analyzer -Kiln Outlet			Gas Temperature		원료온도 -Kiln Inlet (℃)	원료 투입량 (Ton/Hr)	Kiln Drive (A)
	Kiln	P/H	O ₂	CO	NO _x	Kiln Inlet	P/H 5단			
Before	≒11.7	17~ 18	2.0~ 4.5	0.0~ 0.1	870~ 1500	950~ 1,000	≒870	≒870	≒390	600±20
After	≒11.4	17~ 18	1.7~ 3.8	0.0~ 0.3	660~ 1350	980~ 1,020	≒870	≒870	≒390	600±20
Difference	▼	-	▼	▲	▼	▲	-	-	-	-

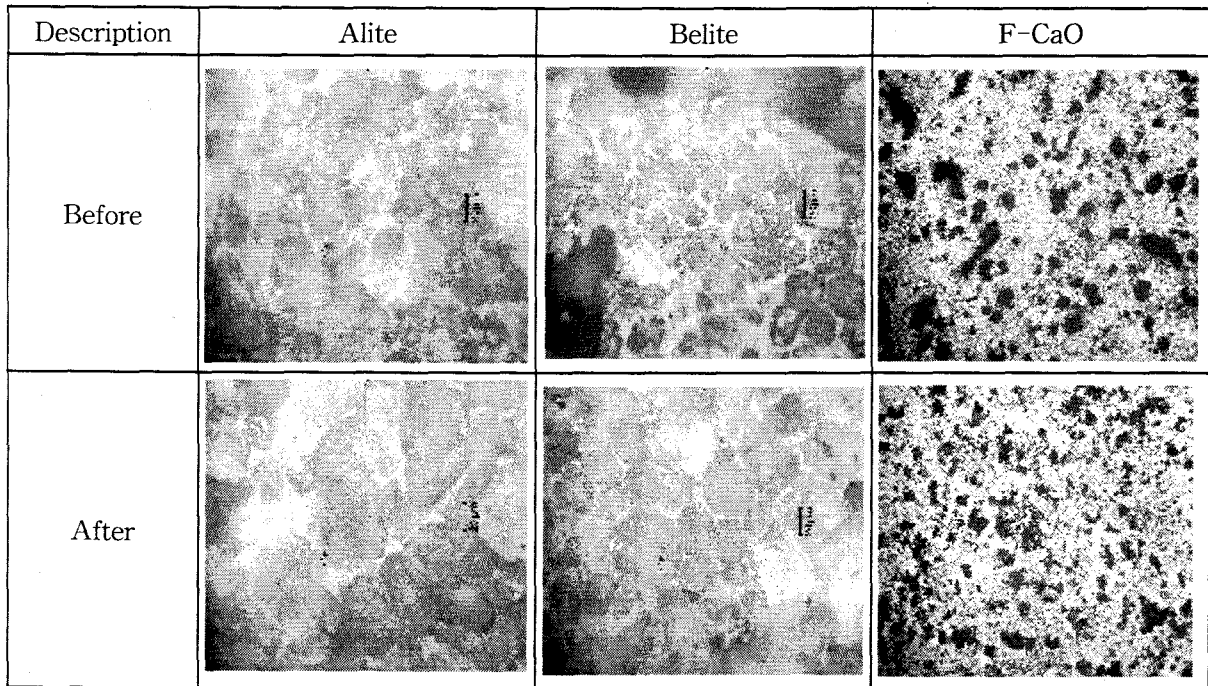


Fig. 7. Clinker 미세구조

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, clinker

의 분쇄성 저하를 유발하는데, 본 실험결과와 Blaine 저하는 이러한 과소의 영향으로 판단되며, 이에 따라 압축강도도 약간 저하한 것으로 판단된다. 단, 본 실험결과는 일상적인 오차범위에 들기 때문에, 본 실험의 영향이라고 단정 짓기는 어려울 것으로 판단된다.

Table. 5. Physical properties on cement

Description	Fineness		Normal consistency (%)	Setting Time		Flow (mm)	Compressive Strength(kg/cm ²)		
	Blaine (cm ² /g)	45 μ 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	245	7:50	184	233	310	390
	2	3301	20.8	260	8:10	194	230	327	402
	Avg.	3294	22.0	23.7	253	8:00	189	232	319
Difference	▼	-	-	▼	▼	-	▼	▼	▼

5. 결 론

시멘트 제조용 연료 생산을 위한 이동식 농업용 폐비닐 처리 장치를 개발하였고, 농업용 폐비닐 재생연료의 시멘트 Kiln 적용 가능성 및 coal 적용 가능성 검토를 위해 현장 실험을 수행하여 공정, 품질 및 환경에 미치는 영향을 검토하였다.

- 1) 폐비닐은 250℃에서 3분 이상, 350℃에서 2분 이상 경과하여야 용융되어 시멘트 연료로 성형될 수 있음을 알 수 있었다.
- 2) 본 장치는 기존의 폐비닐 재생장치에 비하여 수세 공정 등이 필요 없어 공정이 간단하며, 이동식으로 제작하였기 때문에 폐비닐 발생 지역 대부분에서 폐비닐의 처리가 직접 가능하며 폐비닐 수거에 필요한 별도의 부지가 불필요하다는 것과 폐비닐 수거를 위한 노력과 경비를 절감할 수 있다는 특징을 갖고 있다.
- 3) 폐비닐을 이용한 공정 시험 전·후를 분석한 결과 Clinker의 미세구조에는 큰 변화가 없다는 것을 확인하였다. 다만 시멘트 물성에서 커다란 차이는 아니지만, 투입 후에 응결 시간 감소, 압축강도 하락 등의 경향이 나타났다.

- 4) 금번 폐비닐 재생연료의 열량회수율은 약 50%수준, Kiln coal 치환율은 2.5% 정도이었으나, 향후 대량의 물량을 적용할 경우, 열량회수율은 더욱 증가할 것으로 보이며, coal의 대체효과에 따른 경제적 이익도 기대할 수가 있을 것으로 판단된다.

< 참 고 문 헌 >

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