

페타이어/폐유의 복합 열분해에 의한 오일화 공정개발 연구

김동찬 · 신대현 · 정수현

한국에너지기술연구소

Oil Recovery through Waste Tire/Waste Oil Pyrolysis

Abstract

In this paper, some representative waste tire pyrolysis processes were investigated together with the analysis of the problems associated with the commercialization of various waste tire treatment technologies. Also, R & D results on recovering the oil from the pyrolysis of waste tires, when waste oil was used as a heating medium, were summarized in this study.

Experimental results show that the present pyrolysis process has both lower pyrolytic temperature and higher pyrolysis rate than usual one and that the quality of the product oil and residue obtained was relatively even with large availability.

1. 서론

최근 자동차수의 급격한 증가에 따라 '94년 페타이어의 발생량은 약 1,500만개에 이르고 있으며 이로인한 환경공해가 사회적 문제로 대두되고 있으나 현재의 페타이어 처리 제도하에서 경제성 있게 대량처리할 만한 기술은 아직 없는 상태라 할 수 있다. 페타이어의 처리 방법에는 메립을 비롯하여 가공, 재생이용, 열회수 방법으로 분류되며, 열회수 방법에는 연소(소각로, 보일러, 시멘트 킬른), 건류, 열분해에 의한 오일화의 방법으로 구분된다.

본 고에서는 페타이어의 처리 기술별 실용화상의 문제점과 외국의 대표적인 페타이어 열분해 공정에 대하여 살펴보고, 페타이어의 열분해에 의한 오일화 방법으로서 폐유를 가열매체로 하여, 가열된 폐유내에서 페타이어를 열분해시켜 오일화 하는 방법에 대한 실험결과를 요약하여 제시하였다.

· 페타이어의 처리기술의 평가

국내에서 페타이어를 처리 목적으로 추진되었던바 있는 기술들에 대하여 실용화상의 문제점을 살펴보면 <Table 1>과 같다. 아스팔트에 혼합 이용함은 우선 페타이어의 분쇄비가 약 200원/kg인데 반하여 아스팔트 가격은 약 145원/kg이므로 경제성이 문제되며 과거 국내 고속

도로에 시험포장 결과 문제점이 발생하는 등 기술의 신뢰성이 미흡하고 실증실험을 더 필요로 한다 할 수 있다. 시멘트 킬른에 연소함은 비교적 연소가 쉽고 유황산화물에 의한 공해문제가 없으나 국내 시멘트 킬른에서 지난 '93. 6~9(3개월간) 연소실험결과 과소(overheat)에 의한 크링커 색깔의 빈화화 Preheater/Cyclone에 코팅 현상이 생기는 등 국내 시멘트 원료의 특성상 trouble 요인이 크게 발생하는 현상을 가져왔다. 그리고 보일러, 소각로에서 연소하여 증기이용 또는 발전을 하던 연소설비, 운전비, 공해방지시설비, 장수등을 고려할 때 오히려 석탄이나 오일에 비하여 경제성이 떨어지는 것으로 분석된다. 또한 페타이어의 가공, 재생이용 분야로서 제생고무, 매트, 건축재 등에 활용은 가공비를 고려할 때 경제성이 낮으므로 대량 처리는 기대하기 어렵다 할 수 있다.

한편 국내에서 소규모 처리 방식으로 현재 많이 보급되고 있는 것은 건류소각 방식이라 할 수 있다. 그러나 건류소각 방식은 건류가스중에 타르 응축성 가스등이 다량 포함되므로 저장 수송이 어려워 대규모 처리 방식으로는 적용이 어렵고 건류가스중의 Dioxin에 대한 규제 기준에 맞추어 시설을 갖추어야 하므로 이에 따른 시설 투자비를 요한다.

· 주요 페타이어 열분해 공정사례 분석

페타이어를 열분해하여 오일을 회수하는 대표적인 공정으로서 일본 고베 제강의 Rotary Kiln, 독일 함부르크 대학의 유동층 열분해 공정, 미국 Nu-Tech System의 열분해 공정 등이 있으나 <Table 2> 석유와의 가격 경쟁면에서 떨어지므로 상용화가 이루어지지 못하고 있다.

페타이어의 열분해에 의한 오일화 기술에서 상용화시 주요 문제점의 하나로 대두되는 것은, 페타이어의 열분해 과정에서 타이어 원료로 투입된 카본 블랙을 비롯한 비열분해성 물질이 잔류물로 남게 되는데 이를 활용할 만한 활용처의 개발이 아직 이루어지지 않았다. 그리고 열분해 공정에서 생기는 Coking 현상으로 인한 효율저하, 생성오일의 정제 등 해결되어야 할 요소들이 있다.

<Table 3>에는 외국의 대표적인 공정과 본 연구의 페타이어/폐유의 복합열분해에 의한 공정과의 차이점을 비교하여 제시하였다. 장치구성상의 장단점은 있으나 페타이어/폐유 복합 열분해 공정이 열분해 속도, 생성오일의 품질 그리고 잔류물의 활용면에서 장점이 있는 것으로 분석된다.

Table 1. Review of waste tire recycling

기술명	평가 (실용화 문제점)
· 아스팔트 혼합이용	-경제성 분쇄비가 약 200원/kg (이스퀼트 가격 145원/kg)
시멘트 킬른 연소	-기술성 신뢰성 미흡 (국내 고속도로에 시험포장 결과 문제점 발생) -국내 시멘트 원료의 특성상 일부 품질 저하 현상 -단지 유연탄 내계연료로 사용함은 재원용 부가가치가 적음
보일러/연소로 소각	-석탄이나 오일에 비하여 경제성이 떨어짐 (연소설비, 운반비, 공해방지 시설, 정소등을 고려할 경우)
기타 재활용 (재생고무, 메트, 건축재 등)	-가공비등 고려할 때 경제성이 낮으므로 대량처리는 어려울 것으로 판단됨

Table 2. Pyrolysis application of wastes tires in oversea.

개발사	열분해공정	개발단계 (플랜트용량)	참여지	건설비 (정지설치비)	공정의 특징				비고
					페타이어투입 (Feeding)	열분해 반응시간	생성오일	강치 및 운전	
고베제강	Rotary Kiln (외부 기열식)	성용 플랜트 (7000톤/년)	스미도모고속	비교적 낮음	Shredding (5~10cm)	10min	Medium Aromatic	비교적 간단	식유가격 하락으로 88년 중단
Nu-Tech System	"	Demo Plant (2000 lb < 27)		"	Shredding	30분~1시간	"	"	실증실험 또는 반상용화 단계
Hamburg Univ	Fluidized-Bed (Radhaton Fire Tube에 의한 간접 기열)	Demo Plant (5000Ton/년)	Eckel-mann Co, VKE, 김부 (50% 부담)	\$5 million (높음)	Shredding 또는 Whole Tire 사용 Shredding Cost: 100 DM/Ton	3min	High Aromatic	복합	식유가격 하락으로 90년에 중단

Table 3. Pyrolysis techniques for tires

구분	페타이어/폐유 복합열분해	*페타이어만 열분해
열분해 속도	빠름(통타이어의 경우에도 약 30분 소요)	늦음
* 열분해 온도	380℃	500-700℃
오일 생성량	40~50wt% (페타이어 기준)	35~45wt%
침기 제거율	열분해반응시 침기제에 의한 생성 오일중 SCI 제거 기능	-
잔류물 활용성	잔류물의 성상이 균일(아스팔트도 도로장판용으로 사용시 성능증대)	Coking 현상으로 성능 저하

기타	- 페타이어의 폐유의 동시처리 - 폐유기열 정지 필요
----	----------------------------------

* 페타이어만 열분해 공정: 고베제강, 미국 Nu-Tech system, Hamburg 대학 등의 대표기업 열분해 공정
** TRTC공정은 열분해 온도가 200-300℃인 것으로 보고되고 있으나 반응 매카니즘에 대해서는 밝혀지지 않고 있음

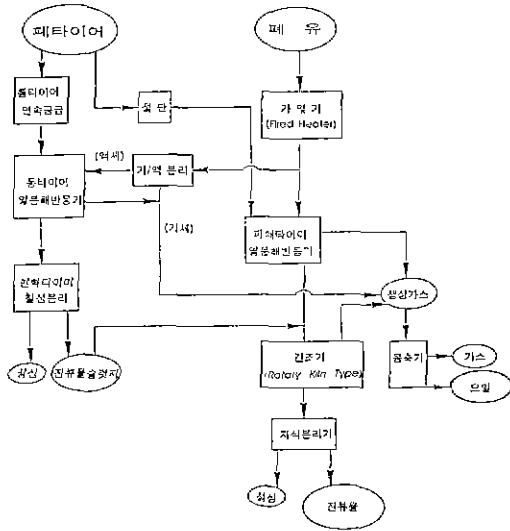


Fig. 1. Flowsheet of pyrolysis for a mixture of waste tire and motor oil.

2. 실험 및 결과 요약

2.1. 장치의 구성

폐타이어/폐유의 복합 열분해에 의한 오일회수 공정도를 표시하면 <Fig. 1>과 같다

공기가 차단된 상태에서 고온으로 가열된 폐유(자동차 폐유활유)에 폐타이어를 넣고 반응시키면 타이어층의 분해성 성분이 분해되어 증기가 되고 이를 응축시켜 인료유를 얻게 된다. 이때 폐유는 열매체로 작용하면서 오일이 고무물을 부풀게 하는 성질 즉 팽윤제(Swelling Agent) 역할에 의해 열분해 속도 및 오일회수율의 증가 효과가 있다

열분해반응 속도는 파쇄타이어(Shredded Tire), 동타이어의 경우에 차이가 있으나 통타이어의 경우에도 400℃에서 30분 정도면 거의 열분해 반응이 이루어진다. 반응기에서 나온 잔류물은 슬러리상의 끈끈한 상태이므로 이를 역시 공기가 차단된 상태의 건조장치에서 건조한 후 마그네틱 분리기에 의해 철심과 건조된 잔류물을 분리한다.

2.2. 실험결과 요약

• 열분해 반응 주요 인자

본 열분해 실험에서 도출되어야 할 주요인자는 폐타이어/폐유의 적정공급비(feeding ratio), 열분해온도, 체류시간으로서 이들 인자는 실험결과에서의 조업여건과 경제

성까지를 고려하여 적정치가 결정되어야 한다. 폐타이어/폐유의 적정 공급비는 2~3:1, 열분해 온도는 약 380℃, 반응기내 체류시간은 30분 정도가 소요되는 것으로 분석되었다.

이하에 생성오일에 대한 실험결과를 요약하여 기술한다.

• 열분해 생성물의 구성

타이어가 열분해되면 <Table 4>에 표시한 바와 같이 오일이 50%, 가스(비응축성) 10%, 철심 10%, 잔류물(주로 카본블랙)이 30% 정도가 발생되며 폐유에서는 투입량의 87% 정도가 오일이 되고 가스 10%, 그리고 잔류물이 3% 이하 남게 된다.

Table 4. Component of waste tires and motor oil

생성물 원료	폐타이어	폐유활유
Oil	50%	87%
Gas	10%	10%
잔류물	30%	3%
Steel	10%	

• 생성오일의 특징 및 규격

실험결과 생성오일의 특징을 정리하면 다음과 같다

- 규격: 경유와 경질중유의 중간정도의 성질
- 비점: 경유와 유사함
(폐유에 비해 폐타이어의 열분해 생성오일이 경질분을 많이 함유함)
- 색상: 탁도가 높고 암갈색
- 냄새: 원유에 비해 냄새가 있음

Table 5. Specification of oil.

시험항목	규격	생성오일	KS 공업 규격	
			경 유	경질중유(B/A)
동 점 도 (50℃)		5.0	2.0-5.8	< 20
인 화 점 (℃)		33	> 45	> 60
유 잉 분 (%)		0.51	< 0.4(저유황) < 0.1(고유황)	< 1.6(저유황) < 2.0(고유황)
수 분 (%)		0.05	< 0.02	< 0.05
중 금 속 (PPM)			(정제계유 사용 기준치)	
Cd		0.01		< 20
Pb		< 2.0		< 100
Cr		0.9		< 10
As		0.1		< 5.0
증 류 시 험				
50% 증류점(℃)		210	< 360	
90% 증류점(℃)		380	< 385	

· 생성물의 활용

— 오일: 경질중유 대체 연료로 활용

· Light Oil분이 높으므로 정유공정을 거칠

경우 오일의 질을 보다 높일 수 있음

— 가스: 플랜트 공정 가열용으로 2/3 정도를 필요로함

— 잔류물: 폐유내에서 열분해된 페타이어의 잔류물은 페타이어만을 열분해 했을 경우의 열분해 잔류물에 비하여 Coking 현상이 적었고 구조의 안정화를 기할 수 있었으므로 활용성이 있는 것으로 분석되었다.

잔류물은 타이어를 제조할 때 사용되는 카본블랙이 대부분으로서 도로 포장시 아스팔트 보강제로 사용(마모방지, 동절기의 균열현상 감소, 하절기의 동적 안정성 유지등 아스팔트의 수명연장)과 시멘트 포장도로의 착색재로의 사용(운전자의 피로감소, 차선의 선명도 증대, 동절기 (de-icing) 가능성이 입증되었다.

3. 결 론

1) 페타이어/폐유의 열분해에 의한 오일화는 일반적인 페타이어 열분해 기술에 비하여 열분해 속도의 촉진과 생성오일의 수율증대, 잔류물의 구조 안정화에 의한 활용도 증대, 그리고 Coking 현상 감소등의 특징이 있었으며, 가열된 폐유내에서 페타이어의 열분해 속도가 빠른 것은 폐유가 페타이어에 대해 팽윤제(Swelling agent)역할을 하는데 기인되는 것으로 분석되었다.

2) 페타이어 열분해 공정에서의 중요 장애점으로는 철

심 분리상의 기계적 Trouble, 열분해 장치에서의 코킹, Leaking 현상 등이 발생하였으며 이들 문제점은 장치에서 개선되어야 할 사항들이다.

3) 페타이어의 열분해 플랜트의 경제성 향상을 위해서는 생성오일의 판매조건, 열분해 잔류물의 활용도가 중요하며, 치리비의 부과에 대한 제도적 보완책이 따라야 할 것으로 분석된다.

참고문헌

1. 김동찬, 신대현, 정수현: "페타이어로부터 오일회수를 위한 기본연구". 한국에너지기술연구소(1991)
2. 김동찬, 신대현, 정수현: "페타이어/폐유의 복합처리에 의한 오일회수 공정개발(II)" 한국에너지기술연구소 (1994)
3. Chang-Yul Cha, Henry Plancher. "Recycling Scrap Tire and Waste Oils", Proceedings of 5th Int'l Energy Conference(ENERGEX '93), KIER and IEF, October 18~22(1993)
4. Scrap Tire News, Vol.6. No.4. April(1992)
5. 김동찬 '페타이어 처리 및 열분해' 실험 플랜트 기술습득을 위한 해외 출장보고서. 한국에너지기술연구소 (1994)
6. 井上公 '實用プラントによる廢タイヤ熱分解實驗'. 日本ゴム協會誌, Vol.59, No.10(1986)