

간접가열 유화설비에 의한 폐멀칭비닐의 연료유 특성

김해지*, 김남경#

Fuel Oil Characteristics of Mulching Waste Vinyl by Indirect Heating Emulsion System

Hae-Ji Kim*, Nam-Kyung Kim#

(Received 4 March 2009; received in revised form 6 March 2009; accepted 8 March 2009)

ABSTRACT

This paper describes the fuel oil characteristics of mulching waste vinyl by indirect heating emulsion system. For the emulsion experiment of waste vinyl, the system is composed of melting furnace, the 1th pyrolysis furnace, and the 2nd pyrolysis furnace. The mulching waste vinyl is used for the fuel oil characteristics analysis of mulching waste vinyl. The refined oil, gasoline, and diesel oil are extracted and quantified to analysis the fuel oil characteristics. From the results of experiments, it has been shown that the production of fuel oil from mulching waste vinyl is possible using the emulsion system.

Key Words : Mulching Waste Vinyl(폐멀칭비닐), Indirect Heating Emulsion System(간접가열유화설비), Fuel Oil Characteristics(연료유 특성)

1. 서 론

국제유가의 급등에 따라 국내산업 전반에 대하여 경제적 악영향과 사용되는 연료에 따른 환경오염문제가 야기되고 있다. 이러한 문제점들을 해결하기 위하여 청정연료 기술 개발에 관한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 한편으로 폐자원의 재생기술 개발을 통하여 재생연료유 생산기술에 관한 연구가 진행

되고 있다^[1-3]. 그러나 차세대 청정연료 개발도 중요하지만, 폐기물을 활용한 재생연료유의 생산기술에 관한 기술개발이 절실히 필요한 시점이다. 특히 환경적 측면에서 보면, 급속한 산업화에 따라 산업폐기물의 발생량이 급속하게 증가되어 환경오염에 많은 영향을 미치고 있는 실정이다. 이러한 환경오염에 대한 문제점의 해결과 폐기물의 재활용 측면에서 폐기물의 처리기술 등이 개발되고 있다. 1990년대를 기점으로 폐기물 중에 재생에너지화가 가능한 폐플라스틱과 폐비닐을 활용한 열분해 유화기술^[4-9]들의 개발이 활성화되고 있다. 국내의 경우, 폐플라스틱과 폐비닐의 발생량^[10]은 연간 3,500,000톤과 260,000톤

* 진주산업대학교 자동차공학과

교신저자 : 진주산업대학교 자동차공학과

E-mail : nkkim@jinju.ac.kr

등으로 매년 증가되고 있는 실정이다. 그러나 폐플라스틱은 원활한 수거 과정을 통하여 수거율이 높으나 폐비닐은 수거되지 못하고 소각되거나 임야나 노지에 불법적으로 야적되어 대기오염과 토양오염을 발생시키고 있다.

따라서 본 논문에서는 폐자원의 연료유 재생기술 측면에서 간접가열방식의 유화설비를 이용하여 폐멀칭비닐에서 추출된 정제유, 휘발유, 디젤유 등의 연료유에 관한 특성을 정량적으로 분석하고자 한다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 유화 시험설비의 메커니즘

Fig. 1에서는 폐비닐의 정제유 추출을 위한 유화 시험설비의 메커니즘을 나타내고 있다. 그림에서 보는 바와 같이, 유화용 시험설비는 용해로, 1차분해로, 2차분해로 등으로 구성된다. Fig. 1(a)에서는 용해로를 나타내고 있으며, 용융부, 촉매부, 쿨링부 등으로 구성된다. 용해로에서는 용융부에 장입된 폐비닐을 일정시간 가열하여 기화된 가스를 촉매부와 쿨링부로 이동시켜 정제유를 추출하게 된다. Fig. 1(b)에서는 1차 분해로를 나타내고 있으며, 용해로에서 추출된 정제유를 로에 장입하여 일정시간 가열하여 기화된 가스를 촉매부와 쿨링부로 이동시켜 휘발유를 추출한다. Fig. 1(c)에서는 2차 분해로를 나타내고 있으며, 1차분해로의 잔류 정제유를 로에 장입하여 일정시간 가열하여 기화된 가스를 촉매부와 쿨링부로 이동시켜 디젤유를 추출한다.

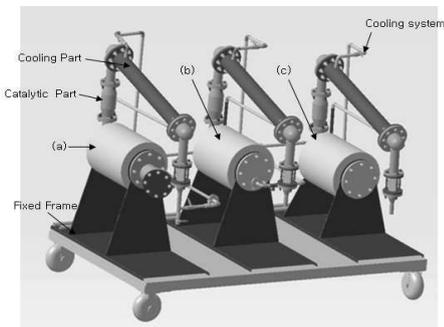


Fig. 1 Mechanism of emulsification apparatus for waste vinyl

2.2 유화 시험설비의 구성

Table 1에서는 간접가열방식의 유화용 시험설비의 사양을 나타내고 있다. 로 내의 최대 가열온도는 750℃까지 가열되도록 설계되었다. 쿨링부의 유량은 분당 250ml가 흐를 수 있도록 배관 시스템을 설계하였고, 전력 소비량은 전체시스템을 가동하였을 때 최대 10kW가 넘지 않도록 설계되었다. Fig. 2에서는 투입 용량 3kg으로 제작된 간접가열 방식의 유화시험설비의 사진을 나타내고 있다. 그림에서 보는 바와 같이, 유화용 시험설비의 전체 구성은 용해로, 1차 분해로, 2차 분해로 등으로 제작되었다.

Fig. 3에서는 유화용 시험설비를 자동으로 제어, 측정할 수 있는 사용자 환경(user interface, UI) 제어 시스템^[11]을 나타내고 있다. 그림에서 보는 바와 같이, UI 시스템은 용해로, 1차분해로, 2차분해로 등에 대하여 독립적으로 제어가 가능하다. Fig. 3(a)는 용해로, 1차분해로, 2차분해로 등의 로 내부온도와 로 표면온도를 각각 표시한다. Fig. 3(b)는 유화용 시험설비의 전압, 전류, 전력, 정제유 추출량 등을 표시한다. Fig. 3(c)는 유화 시험설비의 운전방법(패턴운전, 수동운전)을 선택할 수 있으며 용해로, 1차분해로, 2차분해로 등에 대하여 시작, 종료, 온도 등을 설정할 수 있다. Fig. 3(d)는 패턴운전 입력창으로 해당 재료의 최적의 유화 온도를 입력하여 운전을 자동으로 실행할 수 있도록 프로그램 되었으며, 시스템 운영자는 재료에 따라 조건을 변경할 수 있다.

Table 1 Specification of indirect heating emulsion pilot system

Item	Specifications	
- Melting furnace - 1th pyrolysis furnace - 2nd pyrolysis furnace	Input quantity	3kg
	Heater	Ceramic fiber heater : 220V×5Kw : 750℃
	Flow rate	250ml/min



Fig. 2 Indirect heating emulsion pilot system

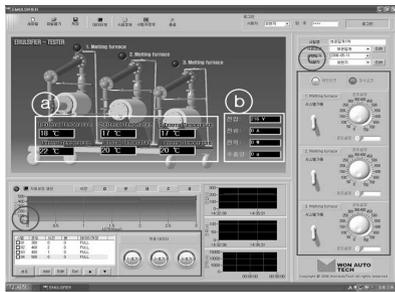


Fig. 3 Control system for emulsion pilot system

2.3 실험방법

폐비닐의 유화에 따른 연료유 특성을 평가하기 위하여 딸기 재배에 사용된 폴리에틸렌(polyethylene, PE)계 폐멀칭비닐이 사용되었다(Fig. 4). 시편의 크기는 가로 60mm와 세로 70mm로 절단하였으며, 유화를 위한 폐멀칭비닐의 1회 투입량은 1.5kg으로 계량하여 용해로에 장입하였다.

Fig. 5에서는 폐멀칭비닐의 연료유 추출을 위한 유화용 시험설비의 공정 흐름을 나타내고 있다. 본 실험에 사용된 폐멀칭비닐의 유화 시험설비에서는 정제유, 휘발유, 디젤유 등의 순서로 연료유를 추출한다. 정제유의 추출을 위한 유화온도 조건은 폐멀칭비닐을 로 내에 장입한 후 250℃에서부터 300℃까지 약 40분 동안 가열하였다. 로 내의 온도가 300℃ 이상에서는 10분을 기준으로 가열온도를 10℃ 씩 400℃까지 단계적으로 상승시켰다. 그리고 PE계 폐비닐의 기화 조건인 350℃에서부터 450℃까지 일정하게 온도를 유지시켜 실험하였다.

휘발유의 추출은 용해로에서 추출된 정제유를 1차분해로에 장입하여 휘발유의 비등점 구간인 130℃

에서부터 200℃까지의 구간에서 휘발유를 추출한다. 이 때 로 내의 온도가 130℃에 도달하면 10분을 기준으로 가열온도를 10℃씩 200℃까지 단계적으로 상승시키고, 휘발유의 추출이 끝날 때 까지 온도를 일정하게 유지하여 실험하였다.

디젤유의 추출은 1차분해로에서 추출된 휘발유를 제외한 잔류 정제유를 2차분해로에 장입하여 디젤유의 비등점의 온도 구간인 200℃에서부터 370℃까지에서 디젤유를 추출한다. 이 때 로 내의 온도가 300℃에 도달하면 10분을 기준으로 10℃씩 370℃까지 단계적으로 상승시키고, 디젤유의 추출이 끝날 때 까지 온도를 일정하게 유지하여 실험하였다.

추출된 연료유를 평가하기 위하여 정제유는 발열량(KS M 2057), 휘발유는 옥탄가(KS M 2039), 디젤유는 세탄가(KS M 2610) 등으로 분석되었다.

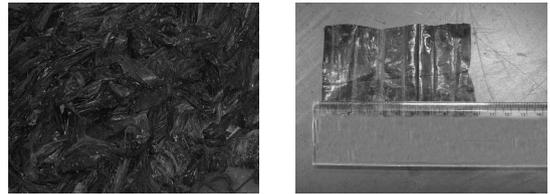


Fig. 4 Mulching waste vinyl

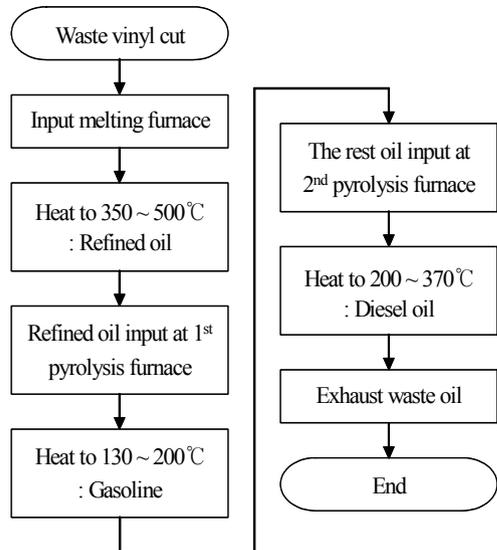


Fig. 5 Flow chart of emulsification process

3. 실험결과 및 고찰

PE계 폐비닐의 유화에서는 분해온도의 설정에 따라 기화된 가스량, 파라핀, 정제유의 수율 등에 크게 영향을 미치고 있다. Fig. 6에서는 최적화 온도 전의 폐멀칭비닐의 유화시간에 따른 온도와 추출량의 변화를 그래프로 나타내고 있다. 그림에서 보는 바와 같이, 유화시간 320분에서 로 내의 온도가 약 80℃로 급격히 높아짐으로써 추출량은 크게 증가하였다. 그러나 급격하게 로 내의 온도가 높아짐으로써 Fig. 7(a)에서 보는 바와 같이 많은 양의 기화된 가스가 발생하였으며, 정제유는 Fig. 7(b)에서 보는 바와 같이 젤 형태의 파라핀 형태로 추출되었다. 그 이유는 로 내의 온도가 급격히 높아짐으로써 용융된 폐멀칭비닐에서 불완전 기화가 발생되었고, 충분한 용융시간이 유지가 되지 않았기 때문으로 사료된다.

Fig. 8에서는 유화 후에 로 내에 잔류된 슬러지와 잔사의 사진을 나타내고 있다. 따라서 폐멀칭비닐의 완전 용해와 파라핀 형태의 정제유 추출을 제어하기 위한 로 내의 온도와 유지시간에 관한 중요성을 인식할 수 있었다.

Fig. 9에서는 폐멀칭비닐의 유화시간에 따른 온도와 추출량의 변화를 그래프로 나타내고 있다. 그림에서 보는 바와 같이, 폐멀칭비닐의 유화 시 로 내 온도의 범위는 약 390℃에서부터 445℃까지 관찰되었고, 이 때 로의 표면온도는 570℃에서부터 600℃까지 관찰되었다. 멀칭비닐에서 추출된 정제유의 양은 약 800g으로 측정되었으며, 약 700g은 잔사형태로 로 내부에 잔류하였다. Fig. 10에서는 폐멀칭비닐에서 추출된 정제유의 사진을 나타내었다.

휘발유를 추출하기 위하여 용해로에서 추출된 800g의 정제유를 1차분해로에 장입하여 실험하였다. Fig. 11에서는 휘발유를 추출하기 위한 유화시간에 따른 온도와 추출량 변화를 그래프로 나타내고 있다. 그림에서 보는 바와 같이, 휘발유 추출에 따른 로 내 온도의 범위는 약 170℃에서부터 200℃까지 관찰되었고, 이 때 로의 표면온도는 약 260℃에서부터 290℃까지 관찰되었다. 휘발유의 추출량은 약 160g으로 측정되었고, 휘발유 추출 후의 1차분해로에서 잔류 정제유량은 530g으로 측정되었다. Fig. 12에서는 정제

유에서 추출된 휘발유의 사진을 나타내었다.

디젤유를 추출하기 위하여 1차분해로에서 로 내에 잔류한 530g의 정제유를 2차분해로에 장입하여 실험하였다. Fig. 13에서는 디젤유를 추출하기 위한 유화온도에 따른 온도와 추출량 변화를 그래프로 나타내고 있다. 디젤유의 추출에 따른 로 내 온도의 범위는 약 280℃에서부터 400℃까지 관찰되었고, 이 때 로의 표면온도는 약 435℃에서부터 510℃까지 관찰되었다. 디젤유의 추출량은 약 450g으로 측정되었으며, Fig. 14에서는 2차 정제유에서 추출된 디젤유의 사진을 나타내었다.

Table 2에서는 폐멀칭비닐의 유화에서 추출된 정제유, 휘발유, 디젤유 등의 분석 결과를 나타내었으며 분석결과에서 정제유는 발열량, 휘발유는 옥탄가, 디젤유는 세탄가 등을 고려하여 재생연료유의 가능성을 확인하였다. 정제유는 일반보일러(등유) 유와 비교하여 발열량은 거의 비슷한 결과를 나타내었고, 추출된 휘발유는 일반 휘발유의 옥탄가와 비교하여 낮은 옥탄가를 나타내었다. 그리고 추출된 디젤유의 세탄가는 일반 디젤유의 세탄가의 범위를 만족함을 알 수 있었다.

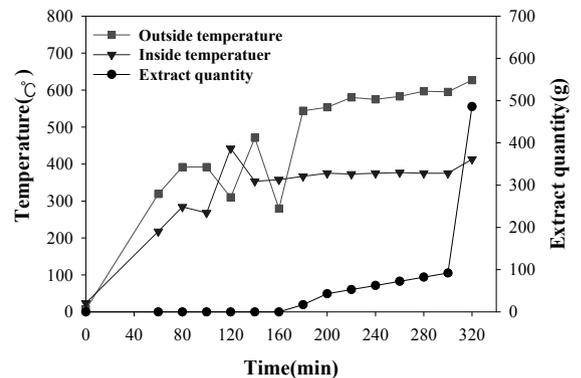


Fig. 6 Variation of the temperature and extraction quantity with emulsification time of mulching waste vinyl(before optimization)

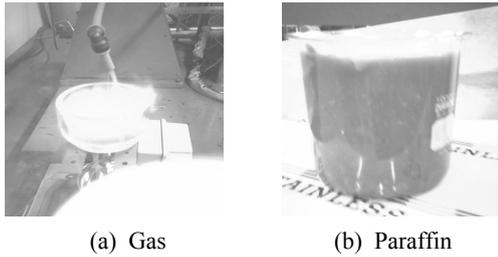


Fig. 7 Gas and paraffin extracted in mulching waste vinyl



Fig. 8 Sludge and residual sand after emulsion

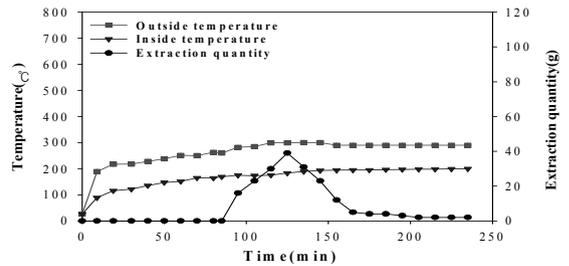


Fig. 11 Variation of the temperature and extraction quantity with emulsion time(gasoline)



Fig. 12 Extracted gasoline

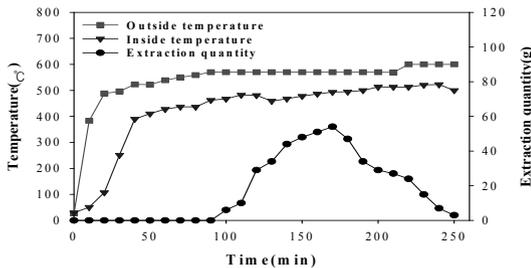


Fig. 9 Variation of the temperature and extraction quantity with emulsion time(refined oil)

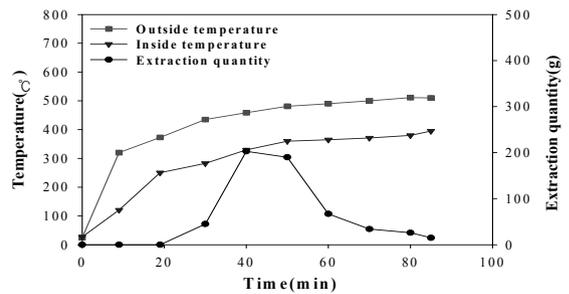


Fig. 13 Variation of the temperature and extraction quantity with emulsion time(diesel oil)



Fig. 10 Refined oil



Fig. 14 Extracted diesel oil

Table 2 Analysis results of fuel oil

Refined oil		Gasoline		Diesel oil	
Heating value (KJ/kg)	43,740 (43,400)	Octane value	76 (90~94)	Cetane value	56.5 (40~70)

4. 결 론

본 논문에서는 폐자원의 재생연료화를 위하여 농촌의 폐비닐인 폐멀칭비닐을 사용하여 유화 실험을 실시하였다. 유화 설비는 간접가열 방식의 용해로, 1차분해로, 2차분해로 등으로 구성되었다. 폐멀칭비닐에서 추출된 정제유, 휘발유, 디젤유 등에 관한 성분을 정성적으로 분석하여 평가하였다.

정제유는 일반보일러(등유) 유와 비교하여 발열량은 거의 비슷한 결과를 나타내었고, 추출된 휘발유는 일반 휘발유의 옥탄가와 비교하여 낮은 옥탄가를 나타내었다. 그리고 추출된 디젤유의 세탄가는 일반 디젤유의 세탄가의 범위를 만족함을 알 수 있었다.

간접가열방식의 유화설비를 사용하여 폐멀칭비닐에서 추출된 정제유, 휘발유, 디젤유 등의 정성 분석을 통하여 재생연료유로써의 사용 가능성을 확인하였다.

후기

본 연구는 산업자업부 지역산업기술개발사업(10017406)에 의해 지원되었으며, 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

1. Demirbas, A., "Pyrolysis of municipal plastic wastes for recovery of gasoline-range hydrocarbons," J. of Analytical and Applied Pyrolysis, Vol. 72, pp. 97-102, 2004.
2. Jerzy, W., "Engine fuel derived from waste plastics

- by thermal treatment," Fuel, Vol. 81, pp. 473-481, 2002.
3. Sakata, y., Azhar Uddin, M. and Muto, A., "Degradation of polyethylene and polypropylene into fuel oil by using solid acid and non-acid catalysts," J. of Analytical and Applied Pyrolysis, Vol. 51, No. 1-2, pp.135-155. 1999.
4. András A., Norbert, M and László, B., "Petrochemical feedstock by thermal cracking of plastic waste," J. of Analytical and Applied Pyrolysis, Vol. 79, pp. 409-414, 2007.
5. Serrano, D. P., Aguado, J., M and Palazzi, G., "Feedstock recycling of agriculture plastic film wastes by catalytic cracking," Applied Catalysis B: Environmental, Vol. 49, pp. 257-265, 2004.
6. Adil, K., Bilgesu, A.Y., "Catalytic and thermal oxidative pyrolysis of LDPE in a continuous reactor system," J. of Analytical and Applied Pyrolysis, Vol. 78, pp. 7-13, 2007.
7. Seo, Y.H., Shin, D.H., "Determination of paraffin and aromatic hydrocarbon type chemicals in liquid distillates produced from the pyrolysis process of waste plastics by isotope-dilution mass spectrometry," Fuel, Vol. 81, pp. 2103-2112, 2002.
8. 신대현, 윤왕래, 최익수, "폐플라스틱의 화학적 재활용과 열분해 유화기술," 고분자과학과 기술, Vol. 13, No. 3, pp.332-330, 2002.
9. 에너지관리공단 폐기물연구회, "폐기물 에너지화 기술 - 폐기물 열분해," pp.93, 2002.
10. 환경부, "2004 전국 폐기물 발생 및 처리현황," 2004.
11. 이균정, "최신 제어시스템," 피어슨에듀케이션코리아, 2005.