

유화유 생산의 적정 인화점에 관한 연구

이 진, 김화성 

목포대학교 전기공학과

A Study on the Optimal Flash-Point of WDF Production

Jin Lee and Hwaseong Kim

Department of Electrical Engineering, Mokpo National University, Muan 58554, Korea

(Received April 8, 2020; Revised May 25, 2020; Accepted May 29, 2020)

Abstract: Although waste oil derived fuel (WDF) production technology was developed under a government initiative ~10 years ago, it became stagnant owing to the small size of participating companies, residents' rejection of foul odor, and the nature of the technology for recycling waste that was avoided. However, this subject is under the spotlight again because of recent developments, such as garbage crisis. In particular, plastic is the most difficult waste to dispose of, with more than 4 million tons of plastic waste produced every year according to statistics from the Ministry of Environment. The most effective method for treating plastic waste is to produce WDF through low temperature thermal decomposition. The WDF includes several volatile ingredients that mostly limit the use of fuel for boilers, owing to safety concerns. In particular, flash point is legally stipulated because of secondary contamination in the distribution process and the risk of fire and explosion. It is required that external shipments (distribution) should be maintained in the range of at least 30~60°C (excluding explosion prevention facilities) for diesel power generation. Therefore, this study seeks to find the flash point that is best suited to WDFs produced from plastic waste.

Keywords: Plastic wastes, Regenerative oil, WDF, Flash point

1. 서론

재생 oil (WDF)의 생산기술은 정부의 주도로 약 10여 년 동안 개발이 추진되었으나, 참여업체의 영세성과 악취에 의한 주민의 거부 및 폐기물 재활용 기술의 미비 등으로 그 발전이 정체되어 있다. 그러나 최근 쓰레기 대란 등의 사태는 폐기물 처리의 중요성을 다시금 인식시키고 있으며, 특히 플라스틱 폐기물은 가장 처리가 곤란한 폐기물이다 [1].

환경부의 통계에 따르면 매년 400만 Ton 이상의 플라스틱 폐기물이 발생하며, 이 폐기물의 가장 효과적인 처리법은 저온 열분해를 이용하여 유화유(WDF)를 생산하는 것이다.

유화유는 많은 휘발성분을 포함하고 있으므로, 사용에 요구되는 안전상의 문제로 그 이용이 보일러용 연료 등으로 제한되고 있다. 유화유는 유통과정에서의 2차 오염과 화재 및 폭발위험 등의 문제로 flash point (인화점)를 법으로 규정하고 있으며, 그 온도는 외부 반출(유통)은 30°C 이상, 디젤발전 연료는 60°C 이상 (방폭 시설은 예외)을 요구하고 있다 [2]. 본 연구는 플라스틱 폐기물을 이용하여 WDF를 생산하기 위한 것으로, WDF의 활용에 가장 적합한 인화점을 찾아보고자 하는 것이다.

✉ Hwaseong Kim; hwaseong458@gmail.com

Copyright ©2020 KIEEME. All rights reserved.
 This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

2. 실험 방법

2.1 유화유 생산 원리 및 공정

열분해 유화유는 열가소성 플라스틱인 고분자 폐기물을 희박산소 조건하에서 열을 가하여 저분자로 만드는 방법을 이용한다. 고분자를 저분자로 변환하려면 고분자 원료를 구성하고 있는 탄소 사슬을 끊어야 하는데, 여기에 열분해 공정이 필요하다. 열분해의 분해온도는 400°C 내외로서, 다양한 원료의 성분과 복잡한 분자구조에 따라 반응경로와 생성물이 다르게 얻어진다. 폴리프로필렌(PP)의 생성과정을 예로 들면 탄소수가 큰 파라핀이나 올레핀이 생성되고, 폴리스틸렌(PS)은 단결정의 모노머나 중합의 다이머 및 삼합체의 트리머 등의 혼합물을 생성한다. PCV의 경우는 1차로 230°C에서 Cl이 HCl의 형태로 발생되며, HCl은 설비를 부식시켜 다양한 설비 고장의 가장 큰 원인으로 작용하고, 2차로 400°C 부근에서 방향족 생성물을 얻는다 [3,4]. 일반적으로 유화유는 폐기물 선별과정을 거쳐 최대의 균질한 PS와 PP를 추출한 다음, 이들을 원료로 사용하고 있다 [5].

그림 1은 본 연구에 적용된 연속식 재생유 생산설비인 연천 재생유발전소의 공정도이다.

유화유 생산은 배치(batch)식과 반 연속식 및 연속식의 방식을 이용하며, 국내의 유화유 생산은 그 규모가 영세하여 배치식이 적용되고 있다.

본 연구는 유화유의 생산에 연속식 운전방식을 적용하고자 하였으며, 표 1은 유화유의 생산 방식을 보인 것이다.

폐기물을 이용하여 생산되는 유화유의 특성상 불순물과 수분을 많이 포함하고 있으므로, 혼입 잔사물과

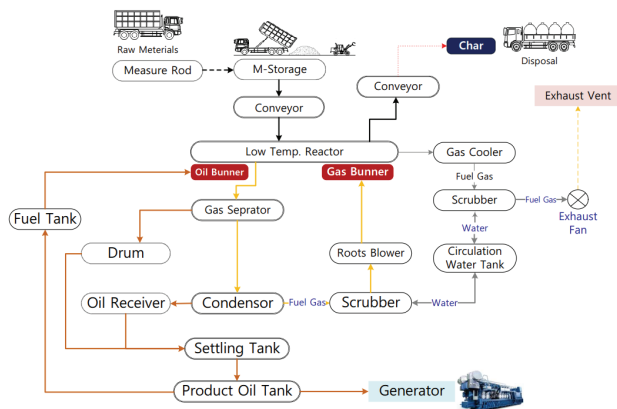


Fig. 1. Process diagram of yeoncheon WDF power plant.

Table 1. WDF production facility.

Driving style	Details
Batch type	Structure simple, low price, high quantity at a time, post-production, 1 to 2 times a day production of recycled oil, throughput: 1,000 Tons or less
Semicontinuous type	Structure complex, price interim, time interval for input/discharge iteration, throughput: 3,000 Tons or less heavy capacity
Continuous type	Structure complex, high price (automated operation), continuous input/discharge without time interval, throughput: 3,000 Tons or more large capacity

같은 불순물과 분자화된 미량의 수분은 초고속원심분리기를 이용하여 제거하고 있다.

2.2 활용 가능성

생산된 유화유는 초기 정제에서 인화점이 0°C 이하이므로 발전기 연료는 물론 취급에도 매우 위험한 상태의 물질이다.

표 2는 생성된 유화유의 구성성분과 인화점에 대한 기준이다 [6].

따라서 유화유를 발전기 연료로 사용하기 위해서는 2차의 정제과정이 필요하며, 정제의 방법은 가열 증류식을 이용한 감압정제 방식이 가장 일반적으로 이용된다.

감압정제 방식은 가열을 위한 열매체보일러를 사용하며, 생산 oil의 비등점을 이용하는 방식으로, 온도에 따라 가열 증발된 oil을 냉각시켜, 원하는 순도의 유화유를 생산하는 방식이다. 이 방식은 열매체보일러와 대형의 정제탑 등을 필요로 하므로 경제적으로 매우 불리하다.

Table 2. Component analysis criteria.

Evaporation (°C)	Ingredient	Flash point (°C)
82.0	Benzene	-11
119.7	Toluene	4.4
128.0	Ethylbenzene	15.0
132.8	p-Xylene	30.0
137.4	m-Xylene	30.6
145.6	o-Xylene	34.4
157.4	Isopropylbenzene	43.9
178.6	o-diethylbenzene	57.2
213.3	m-diethylbenzene	56.1
247.1	p-diethylbenzene	56.7
315.1	Amyl benzene	65.6

2.3 실험

2차 정제를 검토하기 위해 가열 증류실험을 하였다. 가열 증류는 유화유의 물질성분과 인화점을 예측하고, 인화점 분석기를 통하여 인화점을 직접 측정하기 위한 것으로 실험에는 가열(hot-plate) 증류 실험기구가 이용되었다.

가열 증류로 생산된 유화유의 인화점 상승을 위하여 초고속원심분리 방식을 이용하여 2차 정제를 하였으며, 실험 장치는 클리브랜드 개방형 인화점 시험기 [cleveland open cup (COC) flash point tester, 삼우eng]를 사용하였다.

가열정제 실험은 가열기를 이용하여 온도를 변화시키며 가열한 다음, 냉각시켜 온도별로 생성되는 유화유의 비율을 측정하였다.

인화점의 측정은 유화유를 가열기에서 서서히 가열한 다음, 시험불꽃을 통과시켜 인화하는 온도를 구하는 방식을 사용하였다.

인화점 분석기는 300°C까지 가열할 수 있는 가열기 (hot-plate, 분당 온도 상승 1~10°C 선택)와 전자식 온도계 및 불꽃발생기를 이용하였으며, 분석기의 상부에 1 cm 간격으로 부착된 불꽃발생기를 이용하여 인화온도를 측정할 수 있다.

그림 2는 가열기이고, 그림 3은 인화점 측정기이다.

초고속원심분리기는 유화유를 원심분리 장치에 수회 recycling하는 방식으로 진행하였으며, 코센 코리아사의 Self Cleaning Separator (모델명: SO200D)를 사용하였다. 이 원심분리기는 운전의 신뢰성이 높고 운영이 간단하며, 고속의 회전기(7,000 rpm 이상)를 사용하여 비중이 다른 불순물과 미세한 수분의 제거가 가능하다.



Fig. 2. Hot plate.



Fig. 3. COC flash-point tester.



Fig. 4. Liquid compound separator (model: SO-300D).

그림 4는 실험에 사용된 연천재생유 발전소에 설치되어 운영 중인 초고속원심분리기이다.

3. 결과 및 고찰

3.1 가열 증류

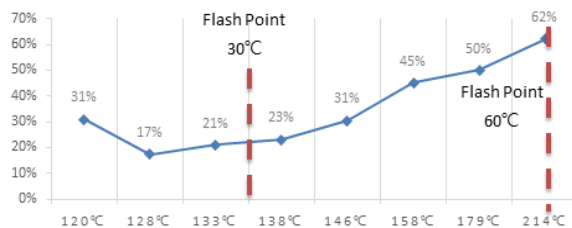
유화유는 생산조건 및 공정조건에 따라 생성오일이 변화가 많음을 확인할 수 있었다.

표 3과 그림 5는 증류(증발)실험의 data-sheet와 평균값 분석이다.

표 3의 결과에서 가열 증류의 마지막 증류는 214°C의 온도에서 이루어졌다. 그 이유는 214°C 이상의 온도에서 수행한 추가 증류에서는 잔류물이 카본화되거나 실험기구에 점착되어 기구를 훼손시키므로 추가실

Table 3. Heating distillation experiment data sheet.

Vaporization point (Temp. : °C, Ratio %)							
120	128	133	138	146	158	179	214
		17	22	28	34	38	41
15		20	26			42	54
			21	31	41	49	59
10	15	18		24	29	40	52
	14	17		27	35	47	60
	16	21	24	28	36	47	63
33		44	-	50	58	65	73
26	33		38	46	54	64	84
27	31	32	34	42	47	55	69
	12		20	29	39	54	67

**Fig. 5.** Experimental average value.

험의 진행이 불가능하였기 때문이다.

표 3의 결과에 의하면, 인화점 60°C인 재생유 생산을 위해서는 약 50~80% 정도의 WDF를 폐기하여야 한다는 결론을 얻을 수 있다.

그림 5의 결과에서 평균적으로 인화점이 30°C 이하의 비율이 21%이며, 인화점 60°C 이하의 성분이 62% 정도이고 이는 폐기대상이 사용할 수 없는 유화유가 될 수 있다. 따라서 생산효율이 지극히 나빠져 상업적인 운전이 불가능하였고, 2차 정제가 필요하다고 판단되었다.

3.2 초고속원심분리

유화유 생산 공정상 불순물이 다량 유화유에 혼입된다. 그러므로 불순물 제거를 위한 원심분리를 하였으며, 초고속원심분리기를 이용하여 원심분리한 유화유의 인화점은 표 4와 같다. 표 4는 원심분리를 가열조건 없이 상온에서 20여 회 수행한 평균값이다.

표 4의 결과에 의하면, 원심분리가 유화유의 인화점 개선에 유용하다는 결론을 얻을 수 있으며, 불순물의 제거와 원심분리의 횟수가 인화점에 영향을 미치고 있음을 알 수 있다. 이것은 초고속원심분리를 수회 반복

Table 4. Test report results.

High-speed centrifuge	Flash point (°C) measurement				
	1'st	2'st	3'st	4'st	5'st
One-time	0	3	8	5	5
Two-time	13	16	14	15	15
Three-time	30	28	31	30	31
Four-time	31	30	31	31	31
Five-time	31	31	31	32	31

(recycling) 처리하는 과정에서 유화유의 물리적 변화가 일어나기 때문에 판단되며, 유화유의 인화점은 원심분리 1회의 경우 8°C 이하로 측정되었고, 정제를 3회 이상 반복 수행하면 인화점을 31°C까지 향상시킬 수 있었다.

원심분리를 3회 이상 수행한 이후에는 인화점의 변화가 크게 일어나지 않으므로, 인화점 60°C 이상의 유화유 생산은 증류와 원심분리만으로는 어렵다는 것이 확인되었고, 원심분리는 3회의 수행이 가장 적합하다고 판단되었다.

4. 결론

페플라스틱을 이용한 유화유 생산의 적정 인화점 연구 결과는 다음과 같다.

- 1) 가열정제를 이용한 유화유는 경제성에 적합하지 않다. 인화점 60°C인 재생유를 얻기 위해서는 약 50~80% 정도의 WDF를 폐기하여야 한다.
- 2) 초고속원심분리기를 이용한 물리적 정제는 인화점의 개선이 가능하였고, 원심분리는 3회의 수행이 가장 적합하였다. 인화점을 31°C까지 상승시켜, WDF를 폐기하지 않고, 위험물 유통기준의 온도까지는 충족할 수 있었다.

그러나 폐비닐을 이용한 경제적 운용을 위해서는 유화유의 인화점을 60°C 이상까지 상승시키기 위한 연구가 지속되어야 할 것으로 생각된다.

ORCID

Hwaseong Kim

<https://orcid.org/0000-0002-3754-4744>

REFERENCES

- [1] EPR System Guide, <http://www.kora.or.kr/epr/epr.do> (2003).
- [2] Korea Institute of Environmental Industry and Technology, Final Report on the Development of High-Quality Synthetic Gas Manufacturing Technology through Gasification of Mixed Oxidizer Of Non-Formed Solid Fuel, p. 18, 2018.
- [3] Korea Fire Safety Standards, KFS-435 Standard on Electrical Installations of Explosionproof 2.10, 2018.
- [4] D. H. Shin, *Resource Recycling R&D Program, A Process Development of Continuous Liquefaction of Polymer Wastes*, page 7 IV.1, Korea Institute of Energy Technology (2006).
- [5] Kolon Global Co., Recycling of Combustible Waste to Fuel, Development of Energy Conversion Technology from Localized Waste through Application of Pre-treatment & Gasification System, Page 64-(2), Ministry of Environment, 2013
- [6] Korea Energy Agency, Rules on the Issuance of Supply Certificates and Operation of the Transaction Market, p. 12, 4.17, 2020.