

## 신재생에너지 연료용 유화유의 품질 개선에 관한 연구

이 진, 김화성 

목포대학교 전기공학과

### A Study on the Quality Improvement of Oil Refueling for the Use of Renewable Energy Fuel

Jin Lee and Hwaseong Kim

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

(Received September 4, 2020; Revised September 21, 2020; Accepted September 26, 2020)

**Abstract:** The development of diesel power generation is predominantly geared toward island areas or ships because diesel exhibits weak scale-merit characteristics and power quality problems, which are associated with environmental pollution. However, a new energy paradigm, distribution energy resource (DER), has been emerging as a renewable energy source due to the existing structural problems in waste disposal and complex factors such as the conversion technology of waste emulsified oil (WDF). By combining extended producer responsibility (EPR) support and renewable energy certificates (REC), including waste energy REC 0.25 for other bioenergy and REC 1.0 for power transactions, an adequate profit model can be built through self-energetic power generation, thereby drawing keen attention from related industries. Therefore, if WDF is used appropriately as a high-quality engine fuel, it can lead to the development of various fields such as novel renewable energy sectors, waste management, and EPR-related industries. This study is intended to produce WDF using plastic waste by using it as engine-generator fuel. Moreover, we investigate ways to improve the quality and suitability of WDF as an engine fuel.

**Keywords:** Dissel power, REC, Engine Fuel, WDF

## 1. 서론

내연력 발전은 *Scale Merit*나 전력품질에 불리하고, 공해의 문제를 가지고 있으므로, 도서지역이나 선박용 등 불가피한 경우에만 한정되어 사용되어 왔다. 그러나 분산형전원이라는 에너지 패러다임의 등장과 폐기물

등에서 추출한 유화유(waste oil drived fuel, WDF)를 이용한 전력의 생산기술은 새로운 재생에너지 자원으로 그 가치가 증가되고 있다.

폐기물의 재활용은 신재생공급 의무화제도(renewable portfolio standard, RPS)와 결합하여 양호한 수익모델을 구현할 수 있으므로 업계의 관심이 집중되고 있으며, 생산자책임재활용제도(extended producer responsibility, EPR)는 폐기물 신재생에너지공급인증서(WDF REC 0.25이나 자가발전을 통해 전력 거래하는 경우 REC 1.0)와의 결합이 가능하다 [1,2]. 그러므로 유화유의 품질을 발전용 엔진연료에 적합하도록 구현하면, 플

✉ Hwaseong Kim; [hwaseong458@gmail.com](mailto: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.

라스틱 쓰레기의 처리와 EPR 관련 산업계 및 신재생 에너지 등의 다양한 산업분야 활성화에 그 기여도가 증가할 것으로 생각한다.

본 연구는 플라스틱 폐기물을 신재생에너지의 발전 원 발전기의 적합한 연료를 위하여 WDF를 생산 및 품질 개선을 위한 연구를 진행하였다.

## 2. 실험 방법

### 2.1 수분 함량

수분 배출량은 침전조에 장치된 계량기를 이용하여 측정하였다. 계량기의 오차는 5% 정도이다.

연료로 사용되는 유화유의 수분함량은 증류실험으로 측정하였으며, 100 ml의 양을 Hot-Plate를 이용하여 160°C까지 가열한 다음, 메스실린더로 받아 그 부피를 측정하였다. 이때 1 ml 이하로 검출되는 경우는 정확한 계량 값을 제시할 수 없으므로, 수회 증류된 수분을 누적하여 그 값을 산출하였다.

### 2.2 점도

유화유는 온도에 따라 점도가 급격히 낮아져 물보다 점도가 낮은 상태까지 진행된다. 그러므로 매일 생산되는 유화유의 상태를 측정하여 연료 사용 여부를 판단하였으며, 브랜딩 정도를 결정하여 점도를 적정수준으로 유지하도록 하였다. 점도의 측정은 AND사의 SV-10 Model 음차형진동형점도계를 사용하였으며, 장치를 그림 1에 나타냈다.

불순물의 측정은 현장의 여건상 100 kg 단위의 보관 드럼과 최종 배출량을 이용하여 그 값을 산출하였다.



Fig. 1. Viscosity tester (SV-10).

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 유화유 제조

#### 3.1.1 품질 기준

본 연구의 모델이 되는 연천유화유발전소에 적용된 현대 Himsen (model: 9H21/32) 엔진의 연료 품질은 표 1과 같다. 표에서 가장 중요하게 요구되는 부분은 수분과 점도이다 [3].

수분과 점도가 가장 중요하게 요구되는 이유는, 연료의 수분이 0.3% 이상이면 엔진의 운전에 이상이 발생하는 심각한 장애의 원인이 되고, 점도가 낮으면 기계적 침식(Metal contact)에 의한 고장을 유발시키기 때문이다. 또한 점도의 점성이 높으면 엔진의 시동 불량과 정지 중 불규칙 운전이 발생하기도 한다.

표 1의 연료기준 이외에도 50 μm 이상의 불순물이 혼입되면 발전기 연료공급 필터가 폐색되므로 불순물 제거 또한 대단히 중요하다.

Table 1. Fuel quality standard.

Characteristics	Unit	Limit	Value
Kinematic viscosity 50°C	mm <sup>2</sup> /s	max	10
Density at 15°C	kg/m <sup>3</sup>	max	920
CCAI	-	max	
Sulfur	mass%	max	statutory-requirements
Flash points	°C	min	60
Acid number	mgKOH/g	max	2.5
Carbone	mass%	max	2.5
Water	%	max	0.3
Ash	mass%	max	0.04
etc ...			

#### 3.1.2 수분과 불순물 제거

유화유는 품질의 향상을 위하여 수분과 불순물을 제거하여야 한다. 수분은 평균적으로 대기 중에 20% 정도 존재하며, 보관이나 투입 과정에서 불가피하게 포함된다. 수분은 유화유와의 비중의 차(유화유: 0.842)를 이용하면 쉽게 제거가 가능하며 [4], 남아 있는 분자상태의 미소한 수분은 초고속원심분리기를 이용하여 제거한다.

점도(운활성)는 발전기 동작부(피스톤 등)의 윤활성을 일정수준 이상으로 유지하게 하므로, 기계적 마찰



Fig. 2. Blockage by impurities (plumbing & filter).



Fig. 3. Engine filter.

감소와 원활한 동작을 유지시킨다. 점도는 물질 고유의 성질을 조정하거나 개선할 수 있는 설비가 없으므로, 점도가 높은 Oil과 혼소하거나 점도 개선용 첨가제를 사용하여 그 상태를 조절하고 있다.

본 연구는 유화유에 *Bunker-C* 유를 혼합(브랜드)하여 발전에 적합한 인화점과 점도 등을 구현하였다. 불순물은 원료가 열분해로 내부에서 400°C 정도의 저온으로 분해되는 과정에서 발생하며, 그림 2는 불순물에 의하여 폐색된 관로와 발전기 연료부 기관의 필터에 침적된 상태를 보여 준다.

불순물은 정기적으로 제거하는데 기체분리기, 프리 콘덴서에서 분리하는 전단 공정(gas 상태)과 원심분리기, 필터를 이용하는 후단 공정(액상)을 이용한다. 불순물의 대부분은 분진이고, 카본류와 타르성분을 포함하고 있다. 연료는 디젤엔진에 공급하기 위하여 *Mesh*와 *Duplex Filter*를 이용한 두 번의 필터링 과정을 거치고 있다. 그림 2는 *Duplex Filter*이고 *Mesh-Filter*는 그림 3과 같다.

엔진의 필터(*Duplex*: 50  $\mu\text{m}$ , *Mesh*: 34  $\mu\text{m}$  통과)에서 폐색이 발생하면, 연료의 공급이 중단되어 *Dry running* 등의 심각한 장애가 유발된다. 그러므로 엔진필터 전단에서 불순물의 제거가 충분하게 이루어져야 한다. 일반적으로 연천유화유 발전소는 50  $\mu\text{m}$  이상의 큰 입자는 자동필터로 제거하고, 25  $\mu\text{m}$ 급의 입자는 수동의 *Micro Filter*로 제거하고 있다.

### 3.1.3 품질 개선을 위한 혼소

신재생에너지 발전소는 *R P S* 제도의 요건에서 타 연료의 혼소가 10%까지 가능하다 [5]. 본 연구에서는 유화유의 품질 개선을 위해 벙커 C와 해상유(선박용 유화유)를 대상으로 혼소 실험을 실시하였다. 유화유의 품질 개선에 효과가 있고(점도 및 인화점 개선 등) 경제성을 훼손하지 않는다면 연료의 혼소는 적극적으로 적용할 필요가 있다.

### 3.2 수분 함량

수분 제거의 효율성 검증을 위하여 응축기의 후단에서 유화유를 채취하여 수분을 측정하였다.

표 2는 침전조에서 배출된 수분(폐수) 양을 측정한 결과이다.

층 분리에 의한 유수 분리는 빠르게 진행되었는데, 반복 실험한 결과 2시간이면 대부분의 수분이 분리되었다. 그러나 인력의 투입을 최소화 등 효율적 공정운동을 위하여 4시간 주기로 유수분리를 수행하도록 조정하였다.

수분을 분리 후 초고속원심분리기에서 미량의 수분을 2차적으로 제거하는데, 최종 생산된 연료에 대하여 가열 증류실험을 통해 잔류 수분량을 측정하였다. 측정은 5회 이상 반복하여 정도를 높였으며 그 결과는 표 3과 같다.

Table 2. Measurement of moisture removal time.

Classification	Number of measurements ( $\ell$ )							
	1	2	3	4	5	6	7	
WDF storage (Including moisture)	7,821	2,099	6,161	1,645	9,961	6,317	5,620	
Moisture removal time (hr)	1	1,262	415	3,215	3,711	1,780	1,199	1,520
	2	9	-	284	202	220	201	80
	4	-	-	100	-	17	-	-
	6	-	-	-	-	-	-	-
	8+	-	30	-	-	-	-	-
	Sum	1,271	445	3,599	3,913	2,217	1,400	1,600

Table 3. Measurement moisture contents.

Classification	Number of measurements ( $\ell$ )						
	1	2	3	4	5	6	7
WDF Vol. ( $\ell$ ) (Moisture remove)	6,550	1,654	6,161	1,645	9,961	6,317	5,620
Moisture Vol. (ml/100 ml)	0.2	0.4	0.2	0.1	-	0.3	0.2

표의 결과에서 유화유에 포함되는 수분의 함유량을 0.3% 이하로 유지할 수 있음이 확인되었으며 발전연료 품질 규격을 충족하는 수준이다.

### 3.3 점도

발전기는 유화유의 온도가 25~45°C 정도의 온도로 적절하게 유지되면 운전이 문제가 없다. 그러나 외기의 영향이나 연료 냉각기 고장 등 운전의 안정성을 고려하면 유화유의 브랜딩이 필요하며, 브랜딩을 위하여 첨가제로 점도 개선제와 선박용 연료인 벙커C유(*S-Oil*, 쌍용정유) 등을 사용하였다. 브랜딩 시험 결과는 표 4와 같다.

표의 결과에서 브랜딩은 유화유에 소량의 첨가제와 벙커C유를 5~10% 혼소하는 것이 가장 적절한 결과를 얻을 수 있음을 알 수 있다. 첨가제는 제조사가 제시한 혼합비율(4,000:1)이 점도 개선의 효과가 미비한 것으로 측정되었고, 실험에서는 500:1 (0.2%)을 적용하였을 때 효과가 발생하였다. 이는 첨가제는 특정 제조사의 oil 특성(순수한 diesel 또는 중유)에 맞추어 제조된 것으로 다양한 성분이 함유되어 있는 혼합유 상태인 유화유에서는 효과가 저감되기 때문이다.

### 3.4 불순물

유화유에 혼입되는 불순물량은 표 5와 같다.

표 5는 1주일 단위로 측정된 불순물을 나타낸 것으로, 최종적으로 평균 2.1% 정도로 측정되었다. 그러나 반복적으로 측정한 결과 3일 이상 저장조에 보관하면 원인을 알 수 없는 불순물이 자시 생겨나는 현상이 관

찰되었는데 불안정한 상태의 유화유가 2차 중합물 합성이 발생하는 것으로 추측된다. 이때 발생하는 불순물은 5~100 μm의 입자 다양한 크기의 불순물이 측정되었는데 엔진 필터의 mesh 폐색 상태는 그림 4와 같다.

그러나 엔진공급자가 요구하는 연료 규격상 34 μm 이하의 입자는 연료로서 문제가 되지 않는다. 연료공급 이전에 100 μm와 25 μm (또는 10 μm) filter를 순차적으로 적용하여 엔진필터의 폐색을 예방할 수 있었는데 효율적인 운전을 위하여 100 μm filter는 auto-filter를 적용함으로써 추가적인 운전원의 노력 없이 원활한 운전을 할 수 있었다.

Table 5. Table of impurity with WDF.

Facilities	1st	2nd	3rd	4th	5th	tot
Material (ton)	22.6	7.8	39.6	42.9	88.0	200.9
Gas-separator (kg)	300	120	420	540	720	2,100
Pre-condensor (kg)	20	80	280	360	480	1,400
Centrifuge (kg)	100	20	60	200	300	680
Sum (kg)	600	220	760	1,100	1,500	4,180
Ratio (%)	2.7	2.8	1.9	2.6	1.7	2.1

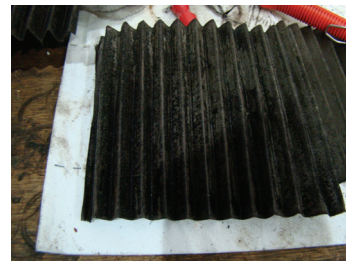


Fig 4. Blockage by engine filter mesh.

Table 4. Test report results.

Number	Mixing ratio		Mixing vol. (mℓ)			Viscosity							
	WDF	Additive	Bunker1	Bunker2	30℃	35℃	40℃	44℃	45℃	50℃	55℃	60℃	
1st	10%	90	0.2	10	2.00	1.74	1.64	1.53	1.51	1.42	1.33	1.23	
2nd	9%	91	0.2	9	-	-	2.97	2.66	2.59	2.37	2.24	2.10	
3rd	0%	100			62.8	6.20	2.59	2.08	2.06	1.98	1.90	1.80	
4th	0%	100	0.1			4.69	3.09	2.91	2.81	2.42	2.10	1.96	
5th	0%	100				3.92	2.87	2.31	2.21	1.87	1.70	1.58	
6th	0%	100	0.04		13.3	5.70	3.03	2.90	2.77	2.28	2.12	2.02	
7th	5%	95	-	5		5.12	2.66	2.18	2.14	1.90	1.64	1.57	
8th	0%	100	0.1		3.41	2.92	1.97	1.78	1.75	1.61	1.55	1.53	
9th	10%	90	0.2	10	8.58	6.45	5.37	5.03	5.01	4.75	4.68	4.56	

#### 4. 결 론

엔진사용에 적합한  $WDF$ 를 얻기 위한 실험의 결과, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 수분 제거는 유수분리를 이용하여 수분의 함유량을 0.3% 이하로 유지할 수 있었다.
- 2) 점도는 유화유에 소량의 첨가제와 벙커 C 유를 5~10% 혼소하는 것이 가장 적합하였다.
- 3) 엔진필터의 폐색 방지를 위한 불순물 제거는 자동과 수동필터의 적용으로 예방이 가능하였다.

#### REFERENCES

- [1] Korea Energy Agency, *Explanation and Guidance of the RPS Scheme*, [https://www.knrec.or.kr/business/rps\\_guide.aspx](https://www.knrec.or.kr/business/rps_guide.aspx) (2020).
- [2] Korea Resource Circulation Service Agency, *EPR System Guide*, <http://www.kora.or.kr/epr/epr.do> (2020).
- [3] Hyundai Heavy Industries Co. 4-Stroke Diesel Engine Instruction Book Volume I G05100, Fuel Specification, p. 5.
- [4] HGS Test Report: UL20-02333.001 (Date 22/06/2020).
- [5] Korea Energy Agency, Rules for Issuing Supply Certificates and Operating the Trading Market, p. 12, 4.17, 2020.

#### ORCID

Hwaseong Kim

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