

## 오일 회수를 위한 페로프와 폐어망 열분해 장치 개발에 대한 연구

김용섭<sup>(1)</sup>, 유정석<sup>(2)</sup>

## A Study on the Pyrolysis System Development for Oil Recovery from Waste Fishing Nets and Ropes

by

Yong-Seop Kim<sup>(1)</sup> and Jeong Seok Yu<sup>(2)</sup>

### 요 약

현재 우리 나라 해양 환경 오염의 실태는 매우 심각하다. 또한 이로 인한 피해가 수산 양식 및 선박의 안전 운항에 많은 지장을 초래하고 있다. 그 동안 이를 해결하기 위한 대책의 일환으로 오염원인 해양 폐기물을 수거하여 소각한 후 매립하는 방법을 주로 사용하여 왔다. 하지만 이 방법에는 몇 가지 문제점들이 있다. 먼저 해양 폐기물 중에서 가연성 물질의 대부분은 고분자 화합물로서 이를 소각하기 위해서는 별도로 고안된 장치가 필요하고 배기에 의한 대기 오염의 우려가 있다. 또한 매립은 폐기물 그 자체가 자연분해가 거의 불가능하며 침출수에 의한 토양 오염이 우려된다. 따라서 최근에는 이러한 고분자 폐기물을 열분해하여 오일을 회수함으로써 자원을 재활용하고 2차 오염도 일으키지 않는 처리 방법에 대한 연구가 활발하게 수행되고 있다.

본 연구에서는 고분자 해양 폐기물을 열분해하여 오일을 회수하기 위한 장치를 개발하기 위하여 폐기물의 물리적·화학적 특성 및 승온 속도 변화가 폐기물의 감량특성에 미치는 영향 등을 조사하였다. 그리고 폐기물을 승온 속도 변화에 따라 열분해하여 회수된 오일과 비응축 가스의 비율을 실험함으로써 가장 많은 오일이 회수되는 조건을 밝혀내기도 하였다. 끝으로 열분해 오일 회수 장치에 대한 경제성 논란을 검증하기 위하여 이 장치에 대한 경제성 평가를 수행함으로써 개발의 성공 여부를 확신할 수 있게 되었다.

### Abstract

Now our ocean environment pollution is very serious. Its harm hinders in marine breeding and the safe navigation of ships at the coast. We have used an assembly system for a measure taken against environment pollution like this. But, here are some problems awaiting solution. First, most of combustible materials among ocean waste are high polymer, so it is necessary some special equipment to incinerate them. In the process we can't overlook air pollution by exhaust gas. Also, when we reclaim these wastes, we remember that they can't be decomposed naturally and leaking water may

(1) 정회원, 홍익대학교 yoskim@wow.hongik.ac.kr

(2) 정회원, 한국 해양시스템 안전연구소

pollute soil. Thus now a days new treatment method has been developed, it recycles and doesn't product secondary pollution materials by recovering oil from pyrolysis. For it, this study investigated chemical · physical properties of wastes. And it found condition of recovering the most oil. Also it probed that the variation of temperature raising speed affects the weight reduction characteristics of wastes. Also, while studying recovered oil by waste pyrolysis and the rate of non-condensing gas in accordance with the variation of temperature raising speed. Finally we had confidence the development of pyrolysis oil recovery would succeed because we carried out evaluation at an economic point of view about it.

Keyword : pyrolysis(열분해), ocean waste(해양폐기물), oil recovery(오일회수), caloric value(발열량), thermogravimetric analysis(열중량 분석), economic point of view

## 1. 서 론

현재 해양의 오염상태는 육상에서와 마찬가지로 그 정도가 이미 해양 자체가 가지고있는 정화능력을 훨씬 초과하는 심각한 상태이다. 해양 오염은 육상으로부터 유입된 폐기물 및 어로용품이나 선박 의장품 등의 부주의 혹은 고의성 투기에 의하여 발생한다. 이렇게 해양이 오염되면 해양 생태계가 파괴되어 수산양식장에서 생산량이 감소되고, 선박 운행시 안전상의 문제점이 발생하는 등 이미 그 피해가 크게 우려되고 있다. 따라서 훼손된 해양환경을 복원하기 위한 여러 가지 방안이 모색되고 있는데 그 일환으로 바다 속의 폐기물에 대한 실태 조사가 수행되고있다. 그 보고서(해양수산부[1999])에 의하면 폐기물은 폐어망, 페로프, 폐목재 그리고 페타이어와 같은 가연성 물질이 대부분이고 그 중에서 폐목재를 제외하고는 모두가 고분자 화합물인 것으로 밝혀졌다. 이러한 염분이 함유되어 있는 고분자 화합물은 매립할 경우 자연 분해가 사실상 불가능하며, 토양속의 수분이동을 방해하고 침출수에 의한 2차오염을 발생하기도 한다. 그리고 소각은  $NO_x$  다이옥신과 같은 유독성 물질 배출에 의한 대기오염을 방지하기 위한 공해방지 설비에 많은 비용이 들고, 고분자 화합물의 소각에 필요한 소각장치의 개선 등과 같은 문제점이 많다. 따라서 독일, 일본 등 해외 여러 나라에서는 고분자 폐기물을 열분해 처리하여 대기도 오염시키지 않고 폐기물로부터 연료용 오일이나 가스를 회수하여 자원을 재활용하는 방법에 대하여 최근 관심이 높아지고 있다.

열분해란 산소가 거의 공급되지 않는 상태에서

고열을 이용하여 원료물질을 분해하는 방법으로 서 고분자물질을 열분해하면 양질의 기체 혹은 액체연료를 추출할 수 있을 뿐 아니라 2차 폐기물을 발생시키지 않아 대기오염의 염려도 없는 장점을 가지고 있는 고분자 폐기물 처리 방법이다. 국내외에서 활발하게 진행되고 있는 이에 대한 연구 동향을 본 논문과 직접 관련된 내용을 중심으로 살펴보면 다음과 같다.

플라스틱을 열분해하여 연료용 오일을 추출하기 위한 공정개발에 관한 연구를 통하여 열분해 온도 변화에 따른 생성 가스와 오일의 성분 변화를 구한 연구(통상산업부[1999])와 열분해 장치에 종전의 스토커형 반응기 대신 간접 가열식 유동층 반응기를 사용하여 활용 가능성과 운전조건의 변화가 유동화 특성에 미치는 영향 및 효과적인 생성물 회수 시스템 개발에 대하여 연구(손재익 외5명[1992]) 그리고 페타이어 폐유를 열분해하여 오일을 회수하기 위한 장치 개발에 관한 연구(김승수와 2인[1999])가 있고 여러 가지 폐기물의 혼합 정도가 생성물의 종류에 미치는 영향을 구한 연구(정수현 외3인[1997]) 등이 있다. 또 해외의 연구 동향으로는 井上毅 [1887]과, 櫻田秀夫[1997] 등이 수행한 폐플라스틱을 열분해하여 오일을 회수하기 위한 폐기물 재생을 위한 공정을 개발에 관한 연구와, 페타이어 혹은 폐윤활유를 열분해 하기 위한 장치의 개발에 관한 연구(Araki[1979]) 등을 들 수 있다.

일반적으로 열분해에 의하여 폐기물로부터 오일을 추출할 경우 오일 전환율과 성분에 영향을 미치는 인자로서 열분해 대상물의 물리·화학적 특성, 승온속도, 혼합비율 등인데 폐기물의 종류

가 바뀌면 열분해 특성이나 공정이 달라진다.

따라서 본 논문은 아직 연구가 수행된 적이 없는 고분자 해양 폐기물 중에서 페로프와 페어망에 대하여 물리·화학적 특성과 열중량특성을 조사하고 승온 속도를 3 °C/min, 5 °C/min, 10 °C/min, 그리고 15 °C/min으로 변화시켜 가면서 승온속도 변화가 오일 회수율에 미치는 영향을 고찰하였으며, 추출된 오일의 발열량, 점도 그리고 비중을 측정하여 연료로서의 활용 가능성을 확인하였다. 또한 폐기물의 열분해 오일 회수에 대한 연구가 활발해지면서 일부에서 제기 되고 있는 이 설비에 대한 경제성 논란을 해소하기 위하여 3,000 톤/년 규모의 오일 회수 열분해 설비를 중심으로 경제성을 분석하였다. 따라서 본 연구 결과는 해양 폐기물을 열분해하여 오일을 회수하기 위한 장치 개발에 필요한 기초 자료로서 활용 가치가 매우 높을 것으로 기대된다.

## 2. 페로프 및 페어망의 물리·화학적 특성

대상 폐기물의 물리·화학적 특성을 파악함으로써 처리 방법 및 장치에 대한 구체적인 방향설정이 가능하고 처리에서 발생하는 생성물의 이용에 관한 대책수립도 용이하다. 따라서 본 연구에서는 폐기물의 물성을 다음과 같이 파악하였다.

### (1) 겉보기 밀도

겉보기 밀도는 폐기물의 수거 및 전처리 장치 설계와 반응로의 용량계산 등에 필요한 기초 자료이다. 폐기물 겉보기 밀도를 측정하는 방법은 여러 가지가 있으나 본 연구에서는 용기법에 의하여 측정하였는데 그 결과를 table 1에 나타내었다. 페어망의 겉보기 밀도가 물보다 작은 것은 원래의 재료는 물보다 밀도가 크지만 어망으로서 일정 수심에 떠 있게 하기 위하여 제품 가공과정에서의 처리에 따른 결과로 볼 수 있다.

Table 1 폐기물의 겉보기 밀도(kg/m<sup>3</sup>)

폐기물	겉보기 밀도
페로프	200
페어망	198

### (2) 3성분 분석

폐기물의 연소특성과 연소 후에 남게 되는 잔재물을 압으로서 재처리장치 설계와 발열량 계산에 있어서 매우 중요한 자료가 되며 측정결과를 table 2에 표시하였는데 이것을 살펴보면 수분은 거의 없으며 회분도 그 양이 매우 작고 대부분이 가연성분임을 알 수 있다.

Table 2 폐기물의 수분, 회분 및 가연성분(%)

성분	폐기물	페로프	페어망
수분		0.256	0.2
회분		1.15	0.175
가연분		98.585	99.625

### (3) 원소분석

폐기물의 연소 특성, 반응 생성물 그리고 발열량 예측에 필요한 주요 구성 원소인 탄소(C), 수소(H), 산소(O), 질소(N), 황(S), 등의 성분비율을 알기 위하여 분석하였다. C, H, N, S는 직접 측정이 가능하고 산소 함유량은 시료 전체무게에서 측정된 C, H, N, S의 값을 빼서 결정하였다. 분석은 서울대학교 부설 공동기기에 의뢰하였는데 그 결과는 table 3과 같다. 이것을 살펴보면 대부분이 탄소이고 나머지 성분 중에서도 수소가 대부분을 차지하고 있어서 반응 생성물을 연료로 활용 할 수 있음을 보여 주고 있다.

Table 3 폐기물의 원소분석 결과(%)

원소	재료	페로프	페어망
탄소 (C)		83.73	83.88
수소 (H)		14.60	14.46
질소 (N)		0	0.13
황 (S)		0	0
산소 (O)		1.67	1.58

### (4) 발열량

발열량은 폐기물의 잠재 열량을 나타내는 것으로 생성물의 연료로서의 가치를 간접적으로 파악하

는데 필요한 중요한 자료이다. 발열량은 열량계를 이용하여 직접 측정할 수도 있으나 앞에서 수행한 원소분석 결과를 활용하여 일반적으로 널리 이용되고 있는 다음과 같이 Dulong식을 이용하여 구했는데 이것을 다음에 추출한 연료에 대한 열량계를 이용한 측정 결과와 비교하기로 한다.

$$H_i = 81C + 340\left(H - \frac{O}{8}\right) + 25S - 6(W + 9H)$$

$$= H_h - 6(W + 9H) \text{ [kcal/kg]} \quad (1)$$

여기서  $H_i$ 는 저위발열량이고 C, H, O, S는 습윤폐기물중의 원소의 무게비율(%)이며, 6은 물의 증발잠열 597.3 kcal/kg를 반응열한 값을 % 단위로 연계하여 표현하기 위해 100으로 나눈 6을 사용한 것이다. 또한 W(%)는 폐기물에 함유되어 있는 수분함량이고 수소의 함유율(H)을  $\left(H - \frac{O}{8}\right)$ 로 한 것은 연료에 존재하는 산소가 전부 결합수( $H_2O$ )로 존재하여 발열과는 관계가 없기 때문이다.

Table 4는 앞에서 실시한 원소분석 결과를 식 (1)에 대입하여 폐기물의 발열량을 구한 것인데, 이것을 살펴보면 발열량이 두 폐기물 모두 10,000 Kcal/Kg 이상으로서 반응 생성물이 연료로서 활용 가치가 높을 것으로 예측할 수 있다

Table 4 폐기물의 발열량

폐기물	발열량 (Kcal/Kg)
페로프	10885.165 45355(KJ/Kg)
페어망	10857.440 45239(KJ/Kg)

(5) 열전도 계수

페로프 페어망의 열전도계수(W/m<sup>2</sup>K)를 table 5에 나타내었다. 이것은 시료를 지름 0.03 m 길이 0.09 m의 공간에 설치하고 10 W/hr의 열을 가하고 양쪽 끝단의 온도차를 구하는 계측 장치를 이용하여 측정함으로써 원료 자체의 열전도 계수가 아니라 로프와 그물로 제작되어 열분해를 실시할 때와 같은 조건인

200 °C하에서 다소의 공극율이 존재하여 그 속에 공기가 들어 있는 상태에 대한 열전도계수를 나타낸다. 물론 온도가 더욱 상승하여 열분해가 일어나면 시료가 gas와 액체 고체로 분해되고 그 조성 비율에 따라 열전도계수의 변화가 예상되지만 이 상황을 전부 고려할 수는 없고 초기 설계 자료로는 열분해 시작 온도 부근이 되는 200 °C까지의 실험결과가 충분한 것으로 생각할 수 있다. table. 2에 실험 결과를 나타내었는데 이것을 살펴보면 유사한 고분자 폐기물인 Asphalt가 0.74-0.76 W/m<sup>2</sup>K 인데 비하여 열전도계수가 매우 작아서 반응로 속에 폐기물을 투입하고 가열할 경우 폐기물 중심부까지의 열전도가 적어 열분해에 소요되는 시간이 너무 길어지게 되므로 반응로 내부에 기계적인 교반장치가 필요할 것으로 생각된다.

Table 5 폐기물의 열전도계수

폐기물	열전도계수(W/m <sup>2</sup> K)
페로프	0.2
페어망	0.21

(6) 비열

폐기물의 비열은 열전도계수와 함께 반응로를 설계하고 단위시간당 처리용량을 계산하는 데에 필요한 필수적인 자료이다. 지름이 0.03 m 길이 0.09 m의 측정 측정기 속에 페로프와 페어망의 시료를 넣고 100 W/hr의 열을 가하면서 열전대 온도계를 이용하여 시료의 온도를 측정하여 평균비열을  $Q = mC_{mp}\Delta T$ 로부터 가열량 Q와 질량 m, 그리고 가열 전후의 온도차  $\Delta T$ 의 측정 값을 대입하여 구한 평균비열  $C_{mp}$ 를 table. 6에 나타내었다.

Table 6 폐기물의 평균 비열

폐기물	비열(W/Kg <sup>2</sup> K)
페로프	1.88
페어망	2.06

(7) 열분해 특성

Fig. 1은 열중량 분석기를 사용하여 페로프에 대하여 온도 상승에 따른 질량 감소율을 승온속도를 매개변수로 나타낸 것이다. 이것을 살펴보면 승온속도가 3

°C/min 일 경우 200 °C에서 열분해가 시작되어 480 °C에서 열분해가 종료되었으며 최종적으로 질량이 98.5 %까지 감소하였음을 알 수 있다. 또 승온속도가 5 °C/min인 경우에는 220 °C에서 열분해가 시작되어 480 °C에서 종료되고 최종질량 감량은 97 %이며, 승온속도가 10 °C/min인 경우에는 240 °C에서 열분해가 시작되어 505 °C에서 종료되었으며 최종 질량 감량은 97 %로 나타났음을 알 수 있다.

이 결과를 비교하면 승온속도가 느릴수록 즉 열을 천천히 가할수록 열분해가 시작되는 온도가 낮고, 승온속도가 5 °C/min, 10 °C/min으로 빨라지면 약 20 °C 정도 온도가 높아져서 열분해가 시작되었는데, 이것은 폐기물 표면에 가해진 열이 열전도에 의하여 내부로 전해져서 표면과 내부와의 온도차가 어느 정도로 줄어들어 표면의 열이 내부로 전도되는 양이 감소함에 따라서 폐기물 표면의 열이 열분해가 가능한 상태에 도달하기까지의 시간차에 의하여 나타나는 현상으로 생각되고 이것은 폐기물의 열전도 계수가 작기 때문에 작은 승온속도 차에서도 이러한 현상이 뚜렷하게 나타난 것으로 생각된다.

이러한 현상은 열분해 종료 온도에서 더욱 뚜렷하게 나타나고 있는데, 승온속도가 3 °C/min인 경우 400 °C에서 열분해가 끝났으나 승온속도가 5 °C/min으로 빨라지면 열분해 종료시간은 480 °C로 높아지고 승온속도가 더욱 빨라져서 10 °C/min가 되면 열분해가 505 °C까지 진행된 것은 폐기물의 표면으로부터의 열전도와 열용량 등과 같은 열역학적 특성 때문인 것으로 볼 수 있다. 또 질량 감소율에 대한 승온속도의 영향은 승온속도가 느릴수록 질량 감소율이 높게 나타났는데 이것은 승온속도가 느리면 열분해가 가능한 온도에서 폐기물이 열원과 접촉하고 있는 시간이 길기 때문이다.

Fig. 2도 역시 열중량 분석기를 사용하여 페어망에 대하여 온도 상승에 따른 질량 감소율을 승온속도를 매개변수로 나타낸 것이다 이것을 살펴보면 승온속도가 3 °C/min 일 경우 210 °C에서 열분해가 시작되어 460 °C에서 종료되었으며 최종 질량 감소율은 99.9 %로 나타났다. 그리고 승온속도가 5 °C/min인 경우에는 210 °C에서 열분해가 시작되어 490 °C에서 종료되고 최종 질량 감소율은 98.9 %이며, 승온속도가 10 °C/min인 경우에는 230 °C에서 열분해가 시작되어 510 °C에서 종료되었고 최종 질량감량율은 98% 인 것으로 나타났다.

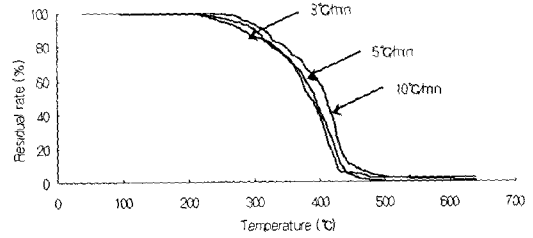


Fig. 1 승온속도 변화에 대한 페로프의 열분해특성

이 결과를 비교하면 승온속도가 느릴수록 열분해가 시작되는 온도가 낮고, 승온속도가 5 °C/min, 10 °C/min으로 빨라지면 온도가 다소 높아져서 열분해가 시작되었고, 열분해가 종료되는 온도 또한 승온속도가 빨라질수록 높아지는 현상과 질량 감소율이 승온속도에 영향을 받아 변화하는 경향 등이 페로프의 경우와 거의 유사하게 나타났다. 이것은 페로프와 페어망의 물리·화학적 특성 특히 열전도 계수, 비열, 발열량 그리고 화학적 조성 등이 매우 유사하기 때문에 열중량 특성 또한 비슷하게 나타난 것으로 생각된다.

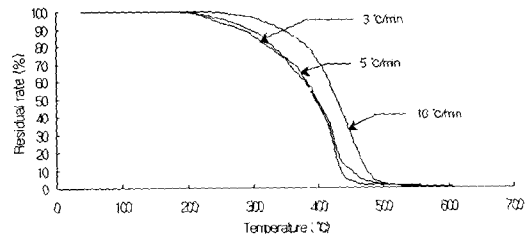


Fig. 2 승온속도 변화에 대한 페어망의 열분해특성

### 3. 오일 회수 실험

본 연구에서는 열분해 조건 특히 승온속도 변화가 생성물의 양에 미치는 영향을 분석하였고, 또 생성물이 연료로서의 적합성 여부를 확인하기 위하여 발열량, 점도 그리고 비중 등 기초적인 상태량도 측정하였다.

Fig. 4는 오일 회수용 열분해 실험장치 개요를 나타낸 것인데 최대 열분해 용량 200 g의 회분식으로서 제어부, 용융부, 열분해 반응부, 오일 응축부로 구성되어 있다. 제어부는 온도를 ±0.1 °C 오차범위 내에서 조절할 수 있는 고정밀도를 갖

고 있으며, 완전 자동화된 시설로서 컴퓨터를 이용하여 운전 조절할 수 있도록 설계되었다. 용융부(1)는 체적이 1000 cm<sup>3</sup>이고, 고상의 폐기물을 200 °C 이상의 용융 온도에서 녹여 액상으로 전환시키기 위한 장치이다. 폐기물을 액상으로 전환시키는 목적은 폐기물을 균일한 형태로 만들어 열분해 반응을 일정하게 유지되도록 하여 등온 열분해 반응 특성을 조사하기 위한 것이다.

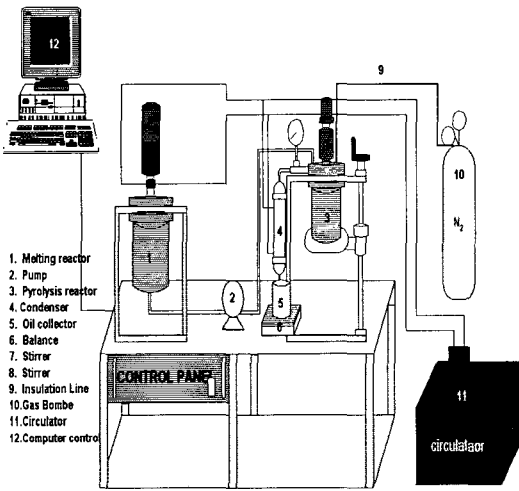


Fig. 3 오일회수 열분해 실험장치

용융된 폐기물은 이송 펌프(2)에 의해 열분해 반응기(3)에 주입되어 등온에서 열분해 반응이 진행된다. 이송 과정에서 액상 폐기물이 냉각 응고되는 것을 방지하기 위해 이송관을 보온 단열 처리 하였다. 열분해로는 체적이 200 cm<sup>3</sup>이고, 내부에 교반장치가 설치되어 있어 반응이 균일하게 일어나도록 설계되어 있으며, 200 °C로 가열된 질소가스를 30 ml/min의 체적유량으로 반응기에 주입시킨다. 한편 열분해되어 생성된 gas와 오일은 순환펌프(11)에 의해 0 °C 정도까지 냉각되는 응축기(4)에서 gas와 오일로 분리되고 오일은 오일수집장치(5)에 모이게 되며, 그 무게를 측정하여 오일로 전환되는 비율을 운전 조건 특히 매 분당 온도상승비율 혹은 시료의 종류 등에 따라서 변화하는 경향을 고찰한다. 그리고 반응기 속에 남아 있는 미반응 물질 주로 차아(char) 등의 무게도 계측하였는데 초기 시료의 무게에 오일의 무게와 차아의 무게를 빼고 남은 양은 가스

로 전환되어 응축되지 않은 상태로 배출된 물질의 무게가 되는데 차아와 함께 이러한 비응축 가스의 활용방안도 함께 연구하기로 하였다

#### 4. 결과 및 고찰

Fig. 4는 페로프의 열분해에 의한 오일 회수율과 비응축가스비율을 승온속도 변화에 따라 나타낸 것이다. 이것을 살펴보면 승온속도가 5 °C/min에서 오일 회수율이 64.8 %, 비응축 가스가 35.2 %로 나타났고, 승온속도가 10 °C/min 일 때 오일 회수율이 71.9 %, 비응축가스는 28.1 %로 나타났으며, 승온속도가 더욱 증가하여 15 °C/min인 경우에는 오일 회수율이 71.4 %, 비응축가스가 28.6 %로 나타났음을 알 수 있다.

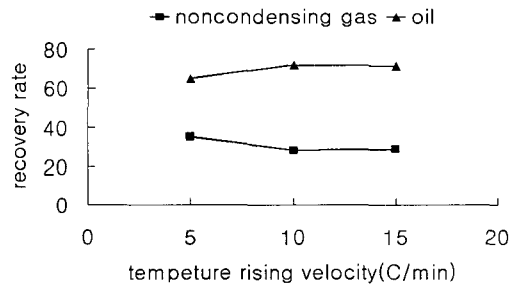


Fig. 4 페로프의 열분해 생성비율

Fig. 5는 페어망의 열분해에 의한 오일 회수율과 비응축가스비율을 승온속도 변화에 따라 나타낸 것이다. 이것을 살펴보면 승온속도가 5 °C/min에서 오일 회수율이 71.7 %, 비응축가스가 25.8 % 이고 차아(Char)가 2.5 %이고, 승온속도가 10 °C/min인 경우 오일회수율이 78.6 %, 비응

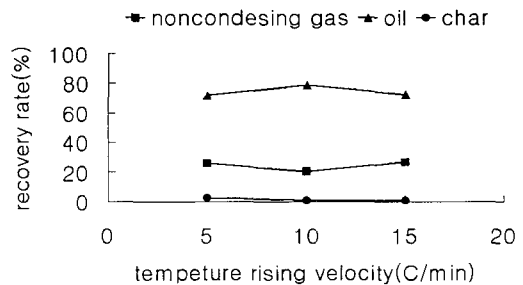


Fig. 5 페어망의 열분해 생성비율

축가스가 20.4 % 차아(Char)가 1.0 %로 나타났고, 승온속도가 150 C/min인 경우 오일 회수율이 72.3 %, 비용축가스가 26.7 % 차아(Char)가 10 %로 나타났음을 알 수 있다.

이상의 결과로부터 승온속도가 빠르면 전체 열분해 반응율은 높으나 비용축가스가 많아 오일 회수율은 오히려 적고 승온속도가 10 0C/min 정도에서 오일 회수율이 가장 높게 나타났음을 알 수 있다.

Table 7은 열분해에 의하여 생성된 오일의 발열량, 점도 그리고 비중을 나타낸 것이다. 이것을 살펴보면 발열량은 페로프가 10885 Kcal/Kg (46600 J/Kg) 그리고 페어망이 11266 Kcal/Kg (46942 J/Kg) 로서 시중에 판매중인 경유의 발열량이 10,400~11,000 Kcal/Kg이므로 이보다 오히려 폐기물에서 회수된 오일의 발열량이 높고, 이론 계산식으로 구한값과 거의 비슷함을 알 수 있다. 그리고 25 °C에서의 점성과 비중 역시 시판 중인 경유와 비슷한 값으로 나타났으므로 연료유로 사용하기에 충분한 것으로 생각할 수 있다. 그리고 비용축 가스는 열분해 반응기 내에 생성된 가스를 응축기까지 이송하기 위한 운반 가스로 사용이 가능하며 극소량의 차아(Char)는 흡착재 등으로 활용될 수 있다.

Table 7 폐기물의 열분해생성물 발열량, 점도 비중 비교

성분	페로프		페어망		경유
	이론	실험	이론	실험	
발열량 Kcal/Kg	10885	11184	10857	11266	10400-11000
KJ/Kg	45355	46600	45236	46946	43333-4583
점도(cp)	-	2.01	-	2.36	3.67
비 중	-	0.772	-	0.767	0.825

### 5. 경제성 분석

해양폐기물 처리를 일반 기업 활동과 같이 이윤을 남기기 위한 사업의 관점에서 평가할 수는 없고 경제성과 상관없이 처리 그 자체를 목표로 삼고 그 이후에 발생하는 간접적인 효과 즉 해양

수산업에서의 생산량 증가 또는 해상에서의 안전성 확보에 따른 비용 절감 등에 초점이 맞추어져야 하는 것이 원칙이지만 이러한 소기의 목적을 충분히 달성하고 경제성까지 확보된 장치를 개발하는 것은 해양 폐기물 처리의 활성화를 위하여 매우 바람직한 일이라 할 수 있다.

아직 해양 폐기물을 열분해하여 오일을 회수하는 장치에 대한 경제성 분석에 대한 자료가 없어서 본 연구에서는 해양 폐기물과 매우 유사한 화학적 특성을 가진 페플라스틱에 대한 열분해 설비 경제성 분석(김병규[2,000])을 참고로하여 해양 폐기물 열분해 설비의 경제성을 분석하였다. 열분해 설비를 건설하고 운영하는 경우에 대한 운전·유지관리비, 폐기물 처리비, 열분해 오일 판매비등을 중심으로 경제성을 분석하기로 하였다.

Table 8은 3,000 톤/년 규모의 페플라스틱 오일회수 열분해 설비의 경제성을 표시한 것인데 이것을 살펴보면 지출비용은 공정의 설비비와 운전비로 나누어지며, 설비비는 열분해 장치 건설비, 부대시설 건설비가 고려되고, 운전비용으로는 페플라스틱 열분해 장치의 운전비용 및 판촉비용 등이 포함된다. 폐기물 처리비용 및 생성오일의 판매비용은 매출이익에 포함된다.

환경부 고시 제 1999-195호(1999.10.11)에 의거하여 폐합성수지 및 폐고무에 적용되는 처리단가인 271,000 원/톤 보다 훨씬 낮은 150,000 원/톤의 비용을 폐기물 처리비로 보상받는다 가정하면 열분해 오일화 플랜트의 원료로 사용하기 위하여 연간 3,000 톤의 페플라스틱을 중간처리업체로부터 인수하면 폐기물 처리비로 약 450,000,000 원을 받을 수 있다.

이들 고분자 폐기물은 분류공정을 거쳐 약 70 %인 2,100 톤이 열분해 오일화 되어 연간 약 600,000,000 원의 매출이 생긴다. 여기에는 유화잔류물의 처리비용은 경제성 분석에 포함시키지 않았다.

운전 및 유지관리 비용을 살펴보면 우선 인건비가 10인을 기준으로 할 때 240,000,000 원, 열분해 유화설비의 감가상각비로 약 163,750,000 원, 그리고 전기료, 수선유지비(설비 총액의 10 %), 법인세, 기타 비용을 포함해 387,000,000 원으로 총 운전 및 운영비는 790,750,000 원이 소요되는 것으로 나타나고 있다.

그러므로 당기순이익은 폐기물 처리비와 유류

Table 8 폐플라스틱 열분해 오일화 설비(3,000 톤/년)에 대한 경제성 분석

항목	내역	금액 (천원)	비고	
1. 설비기준	3,000 톤/년		· 폐플라스틱기준	
2. 전처리 과정	원료균질화, 이물질 제거	-	· 운전비에 포함	
3. 폐기물 처리비	반입수수료 : 270,000 원/톤	-450,000	· 150,000 원/톤	
4. 오일화 설비	- 기계설비	1,100,000	· 1.1억원/톤/일	
	- 건축물	400,000		
	계(건설비포함)	1,500,000		
5. 운전, 유지관리 비용	- 인건비	240,000	· 제반비용 포함	
	- 감가 상각	기계설비 (8년)	123,750	· 잔존가치 : 10%
		건축물 (10년)	40,000	· 잔존가치 : 0%
	- 전기료	22,000		
	- 수선유지비	15,000	· 설비총액의 1%	
	- 일반관리비	200,000		
	- 법인세 등	100,000		
	- 기타비용	50,000		
소계				
6. 수지계산	- 운전,유지관리 비용	790,750	· 오일화처리 이익 : 69,750 원/ton	
	- 폐기물 처리비	-450,000		
	- 오일 판매비	-600,000		
	합계	-259,250		

판매비를 합한 총 수입 1,050,000,000 원에서 운전 및 유지관리비용으로 산출된 790,750 천원을 제외한 259,250,000 원이고, 투자비 회수 기간은 3.57 년으로 계산되었다. 따라서 폐플라스틱 열분해 오일화 공정에서 수집, 운반, 전처리 및 잔사 처리 비용을 제외한 1톤 처리당 순이익은 69,750 원으로 추정되었다.

## 6. 결론

여수 앞바다에서 수거한 페로프와 페어망의 물리·화학적 특성과 열중량 특성을 구하고, 오일 회수를 위한 열분해 실험을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 페로프와 페어망은 열분해에 의하여 중량이 98%정도 감소되었으므로 감량 효과가 가장 뛰어



난 고분자 해양 폐기물 처리 방법이라고 할 수 있다.

2. 페로프와 페어망은 열분해 시작 온도가 낮고 열전도 계수가 너무 작기 때문에 열분해 효율을 높이기 위하여 반응로 속에 기계적인 교반장치를 설치할 필요가 있다.

3. 열분해에 의하여 추출된 오일은 발열량, 점도, 비중이 경유와 거의 비슷하므로 정제와 첨가물 혼합 등의 처리 과정을 거치면 연료로 시판이 가능하다.

4. 비용측 가스의 비율이 약 30 %정도이므로 이것을 이송가스(carrier gas)로 활용하면 지금까지 이송가스로 사용되던 질소(N) 또는 이산화탄소(CO<sub>2</sub>)를 대체하여 비용을 절감할 수 있다.

5. 페로프와 페어망을 열분해 하여 오일을 무게비로 약 70 % 정도 회수할 수 있었다.

6. 페플라스틱 열분해 오일화 공정에서 수집, 운반, 전처리 및 잔사처리 비용을 제외한 1톤 처리당 순이익은 69,750 원으로 추정되고, 투자비 회수 기간은 3.57년으로 나타났으므로 3,000 톤/년 규모의 설비를 기준으로 볼 때 고분자 해양 폐기물 처리 설비 또한 경제성이 있다고 볼 수 있다.

## 후 기

본 논문은 한국해양연구원이 주관하는 해양수산부 지원 “해양폐기물 종합처리시스템 개발(II)”의 위탁연구 결과이며 관계자 여러분들께 감사드립니다.

## 참고문헌

- [1] 김병규, 2000. 6.2. “폐플라스틱 재활용의 경제성”, 제4회 폐기물 처리 및 재활용 워크샵, 자원 연구소.
- [2] 김승수, 윤왕래, 김성현, 1999. “회분식 반응기에서 폐윤활유 열분해 반응 특성”, Journal of the Koxcan Institute Chemical Engineering, HWAHAK KONGHAK, Vol.37, No.6, pp828-833
- [3] 김용섭, 김도영, 황기연, 2000. 10.26 “가연성 해양폐 기물 열분해 장치 개발에 대한 연구”, 한국해양 공학회 추계학술대회, pp 96-100
- [4] 손재익외5명, 1992, 6 “폐플라스틱 유동층 열분해 공 정개발 연구”, 동력자원부연구보고서.
- [5] 정수현, 김상국, 신대현, 김동찬, 1997. “오일 회수를 위한 페타이어/폐유의 복합 열분해”, J. Korea Solid Wastes Engineering Society Vol. 14(5), pp 484~490
- [6] 통상산업부, 1999. 2. “폐플라스틱 열분해 상업화 공정개발 최종보고서”.
- [7] 해양연구소 선박해양분소, 1999 “수중침적 폐기물정화사업 실태조사 및 분포도작성사업”.
- [8] Araki, T.Nikawa, K.Hosoda, H.Nishizaki, S.Endoh, 1979 “Development of Fluidized Pyrolysis of Waste Tirea”, Conservation & Recycling, 3, pp,155-164
- [9] 井上毅, 1987,4 “プラスチックにおけるリサイクル”, 化 學工業, pp36-40
- [10] 櫻田秀夫, 1997 “廢プラスチック油化プロセスの開発”, プラスチングエシ, pp81-95