

벤치 규모 연속반응시스템에서 저급 열분해유 분해반응에 대한 반응온도 프로그램의 영향

이경환,* 남기운

한국에너지기술연구원 폐기물에너지연구센터
305-343 대전광역시 유성구 장동 71-2

(2009년 6월 10일 접수; 2009년 7월 15일 수정본 접수; 2009년 7월 17일 채택)

Effect of Reaction Temperature Program on Thermal Degradation of Low-quality Pyrolytic Oil for Bench-scale Continuous Reaction System

Kyong-Hwan Lee* and Ki-Yun Nam

Wastes Energy Research Center, Korea Institute of Energy Research
71-2 Jang-dong, Yuseong-gu, Daejeon 305-343, Korea

(Received for review June 10, 2009; Revision received July 15, 2009; Accepted July 17, 2009)

요 약

본 연구에서는 상용운전 중에 있는 반연속식 로터리 킬른형 열분해반응기에 지자체에서 발생하는 필름형 혼합 폐플라스틱을 투입한 후 열분해하여 얻은 저급의 열분해유를 세 형태의 반응온도 프로그램에서 분해반응시키고, 여기에서 얻어지는 생성유의 특성을 논의하였다. 원료인 저급 열분해유의 특성은 원소분석 및 발열량 분석, SIMDIST 분석으로 확인하였고, 각 반응온도 프로그램에 따른 분해반응 결과는 각 성분의 수율 분포, 액상 생성물의 누적수율과 생성비 등으로 논의하였다. 연구결과는 한 단계 반응온도 프로그램에 비해 다단계 반응온도 프로그램의 경우가 원하는 생성물인 오일수율이 높았고, 상대적으로 잔류물의 수율은 낮게 나타났다. 연속적인 열분해반응에서 반응온도 프로그램은 생성물의 수율분포 등 생성유 특성에 많은 영향을 주었다.

주제어 : 혼합 폐플라스틱, 저급 열분해유, 열분해반응, 반응온도 프로그램

Abstract : The characteristics of product materials obtained from thermal degradation of low-quality pyrolytic oil were investigated in this study. The reactants were produced by pyrolysis of mixed plastic waste with film type in a commercial rotary kiln reaction system. The properties of reactants were measured by elemental analysis, calorimetry analysis and SIMDIST analyst. The result of degradation experiments with different reaction temperature programs was discussed through product yields, cumulative yields and production rates of oil products. The multi-step reaction temperature program resulted in higher yields of product oils and lower yields of residues than one-step reaction temperature program. The product characteristics such as production yield and the rate of oil products etc. were influenced by reaction temperature program in the continuous thermal degradation.

Keywords : Mixed plastic waste, Low-quality pyrolytic oil, Thermal degradation, Reaction temperature program

* To whom correspondence should be addressed.
E-mail: khwanlee@kier.re.kr

1. 서 론

최근 다용도로 사용되는 플라스틱의 사용량은 증가하고 있고, 이에 따라 발생하는 폐플라스틱의 양 또한 증가하는 추세이다. 국내 폐플라스틱의 발생량은 현재 400만 톤 이상이고, 그 양은 계속 증가하여 2010년에는 800만 톤에 이를 것으로 추정되고 있다[1]. 이의 처리 방법은 기존의 소각, 매립보다는 자원재활용 측면에서 가스화, 유화 등의 방법으로 고부가가치화 할 필요성이 크다[2-5]. 하지만 생활계 등에서 발생하는 혼합 폐플라스틱을 열분해하여 생성되는 혼합유는 다양한 구조를 가진 여러 플라스틱이 혼합된 상태로 열분해를 하기 때문에 생성되는 오일의 형태 또한 다양한 특성을 지니게 된다[6-9]. 플라스틱 종류 중 올레핀계의 PE의 경우 열분해 과정에서 왁스와 같은 고점성 물질이 되어 공정 운전의 장애를 야기할 뿐만 아니라 최종 제품의 질 저하를 초래하게 된다[6,10]. 또한 폐플라스틱에 열경화성 수지나 다른 무기물질들이 포함될 경우 열분해유의 질 저하를 초래하여 대체연료유로 사용하기에는 부적합하게 되어 추가 공정이 요구된다[11,12]. 일반적으로 왁스나 고비점 생성유가 포함된 혼합유를 고급화하기 위해 촉매 분해가 많은 연구자들에 의해 연구되었다[13-16]. 촉매공정은 고도의 기술이 요구되며, 촉매 비용 및 설치비가 증대될 뿐만 아니라, 열분해유의 질이 낮은 물질이 촉매와 접촉함으로써 고가인 촉매수명을 단축시켜 경제성을 악화시키는 등의 단점이 있다. 그래서 열분해 과정에서 발생되

는 혼합유 중에 활용가치가 낮은 왁스나 고비점 물질만을 분리하여 분해반응시킴으로써 관대하고자 하는 저비점 물질의 양을 증대시키는 것이 경제성을 증가시키는 방법 중의 하나가 될 수 있다.

따라서 본 연구는 상용운전 중에 있는 반연속식 로터리 킬른형 열분해반응기에 지자체에서 발생하는 혼합 폐플라스틱을 투입한 후 열분해시켜 얻은 저급의 고비점 열분해유의 품질을 향상시키기 위하여 다른 반응조건에서 분해반응을 실시하였다. 분해반응은 반응온도 프로그램을 세 가지 형태로 달리한 실험을 실시하여 얻어지는 생성물의 특성을 상호 비교하였다.

2. 실험 및 방법

2.1. 시료 및 실험 장치

생활계에서 발생하는 필름형 EPR 대상 폐플라스틱을 유화 업체인 (주)동명RPF의 상용규모 로터리킬른형 열분해 공정에서 열분해하여 생성된 열분해유 중에 상대적으로 저급인 고비점 열분해유가 본 연구의 시료로 사용하였다.

본 연구에 사용된 열분해실험 장치는 원료저장조, 자동이송 펌프, 탱크형 반응기, 고온 전기로와 생성물 포집장치, 그리고 가스분석기로 크게 구성되어 있다. 반응실험장치의 장치도는 Figure 1에 나타내었다. 반응기는 stainless steel 재질로 된 약 6 L의 내부용량을 가진 탱크형 반응기로 반응기의 내부에

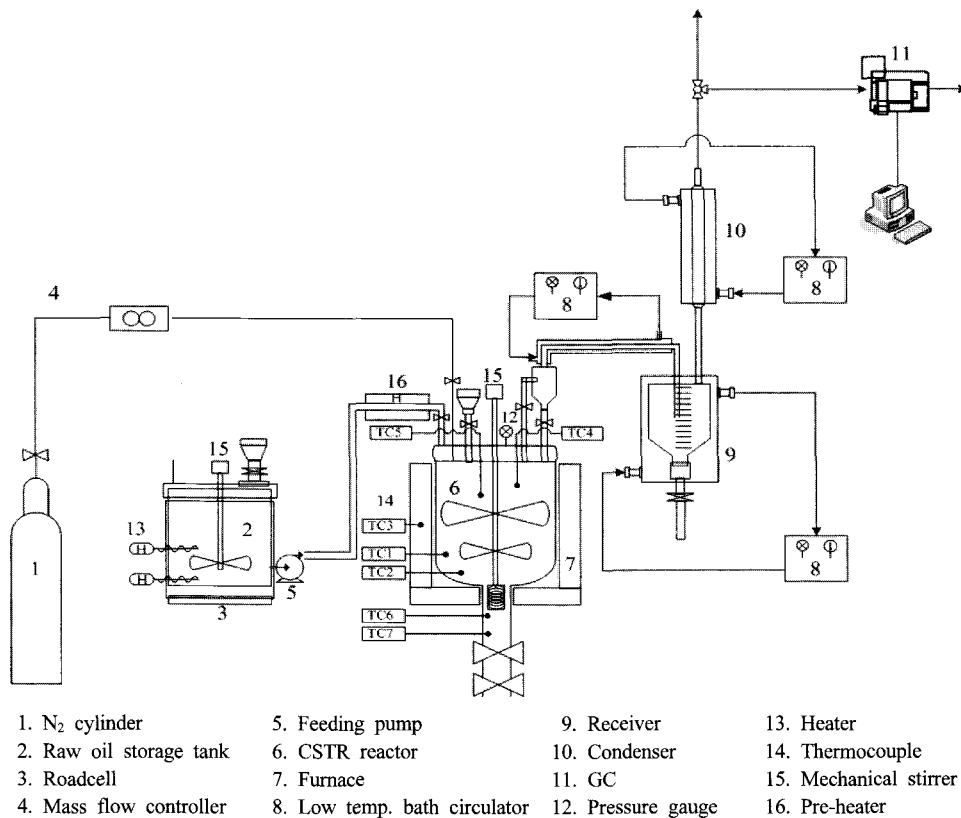


Figure 1. A schematic diagram of experimental pyrolysis system.

Table 1. The conditions for GC and GC-MS analysis

Items	GC analysis	GC-MS analysis
Apparatus	Agilent 6890N	Agilent 6890 GC/MSD
Detector	FID (Flame ionization detector)	MSD (Mass selective detector)
Column	HP-5 (30m × 0.32mm × 0.25 μ m)	UA-5 (30m × 0.25mm × 0.25 μ mID)
Carrier gas	Helium, 30 ml/min	Helium, 30 ml/min
Injection amount	2 μ l	2 μ l
Injection temp.	250 $^{\circ}$ C	250 $^{\circ}$ C
Detector temp.	310 $^{\circ}$ C	320 $^{\circ}$ C
Oven temp. programming	30 $^{\circ}$ C (for 10 min), heated to 310 $^{\circ}$ C by 10 $^{\circ}$ C/min, and kept the temp. for 10 min.	30 $^{\circ}$ C (for 10 min), heated to 310 $^{\circ}$ C by 10 $^{\circ}$ C/min, and kept for 10 min.
Ion source temp.	-	230~250 $^{\circ}$ C
Interface temp.	-	250 $^{\circ}$ C
Mass data acquisition	-	Scan
Scan rate (s/scan)	-	2
Mass scan range	-	20~300

서 열분해유의 원활한 열전달을 갖도록 교반기가 설치되어 있고, 교반속도 제어기로 속도를 조절할 수 있게 되었다. 실험 후 반응기 내의 잔류물을 배출시키기 위해 반응기의 밑 부분에 밸브를 장착하였고, 반응실험이 진행되는 동안에 각 부분의 온도 변화를 확인하기 위하여 반응기의 내부에 4개와 고온 전기로에 1개의 K형 열전도계를 부착하여 실시간으로 확인할 수 있도록 하였다. 고온 전기로는 PID 온도제어기를 이용하여 일정한 가열속도로 승온시키고, 설정온도에서 등온을 유지하도록 제어하였다. 반응기로부터 생성되는 고온 상태의 열분해유 회수를 위해 배출라인에 응축기를 설치하였고, 이 응축기의 온도를 일정하게 조절하기 위해 외부에 항온조가 배치하였으며, 응축된 오일을 포집하기 위해 포집기를 부착하였다. 여기에서 발생하는 생성유와 가스의 정성 및 정량 분석을 위해 가스 분석기를 설치하였다.

2.2. 실험방법

저급 열분해유를 이용한 분해반응 실험은 다음과 같은 방법으로 실시하였다. 우선 교반기가 설치된 원통형 탱크반응기에 질소가스를 주입하여 누설시험(leak test)을 실시하였고, 다음에 PID조절기를 이용하여 원하는 형태의 반응온도 프로그램을 설정하였다. 반응기 내 교반기의 회전수는 100 rpm으로 유지하였고, 저장조에 저장된 열분해유는 정량 펌프를 이용하여 일정량씩 반응기에 주입하여 분해반응을 실시하였다. 실험이 진행되는 동안 반응기 및 전기로에 설치된 5개의 열전대를 이용하여 10분 간격으로 각각의 온도를 측정하면서 반응온도 및 반응경과시간에 따른 액상생성물을 포집하였다. 실험종료 후 원료주입량은 저장조에 설치된 로드셀을 이용하여 투입 전 후 양 변화로 총량을 측정하였고, 포집된 액상생성물의 양은 주기적으로 측정하여 합산한 양을 총 생성량으로 결정하였다. 이는 주입량을 기준하여 생성된 오일을 생성유의 수율로 정하였고, 반응종료 후 더 이상 각 반응온도 프로그램의 최고 분해

온도에서 액상 생성물이 나오지 않을 때에 반응기에 남은 양을 잔류물의 양으로 측정하여 잔류물의 수율로 정하였으며, 전체 100%에서 생성유의 수율과 잔류물의 수율 합을 뺀 나머지 값을 가스생성물의 수율로 정하였다.

본 실험은 총 세 형태의 다른 반응온도 프로그램으로 각각 수행되었다. 첫 번째 반응온도 프로그램(이하 TP1 : 1단계)은 450 $^{\circ}$ C까지 10 $^{\circ}$ C/min으로 일정하게 승온 후, 등온을 유지하였다. 두 번째 프로그램(이하 TP2 : 4단계)은 다단온도 시스템으로 420 $^{\circ}$ C까지는 10 $^{\circ}$ C/min으로 일정하게 승온시키고, 420~450 $^{\circ}$ C까지는 10 $^{\circ}$ C 간격으로 일정 시간 등온을 유지한 후 승온시키는 단계를 밟았다. 세 번째 프로그램(이하 TP3 : 6단계)은 단계적인 온도상승 과정을 좀 더 저온 영역부터 다단온도시스템을 적용하였는데, 상온부터 350 $^{\circ}$ C까지는 10 $^{\circ}$ C/min으로 일정하게 승온시키고, 350~450 $^{\circ}$ C에서는 20 $^{\circ}$ C 간격으로 일정시간 등온을 유지한 후 승온시키는 과정을 취하였다.

저급 열분해유의 특성을 알아보기 위해 원소분석 및 발열량 분석, SIMDIST 분석을 실시하였다. 또한 저급 열분해유 및 각기 다른 반응온도 프로그램에서 얻어진 액상생성물들의 정성 및 정량을 확인하기 위해 GC와 GC-MASS로 분석을 실시하였고, 분석조건은 Table 1에 나타냈다. 각 열분해 과정에서 얻어지는 액상 생성물의 가솔린, 등유+경유, 그리고 중질유는 다음과 같이 구분하였다. 즉, 가솔린은 탄소수가 5개에서 10개 사이의 성분이고, 등유와 경유는 탄소수가 11개부터 20개 사이의 성분이며, 중질유는 탄소수가 21개 이상 성분으로 정의하였다.

3. 실험결과

3.1. 원료분석

대상 원료인 저급 열분해유의 특성을 알아보기 위해 원소분석 및 발열량 분석을 실시하였다. Table 2는 저급 열분해유와

Table 2. Characteristics of raw heavy pyrolytic oil and commercial oils

	Elements (wt%)				Heating value (kcal/kg)
	Carbon	Hydrogen	Nitrogen	H/C ratio	
Heavy pyrolytic oil	83.35	13.78	0.34	0.165	10,855
Gasoline	83.87	14.03	-	0.167	8,300a
Kerosene	85.20	13.97	-	0.164	8,700a
Diesel	86.35	13.18	-	0.153	9,200a

^a The data reported by Korea Institute of Petroleum Management.

시중에서 구입한 상용 휘발유, 등유 및 경유에 대해 원소 분석과 발열량 분석을 실시하여 얻은 값을 나타낸 것이다. 저급 열분해유의 H/C비는 Table 2에서 보는 것과 같이 가솔린과 등유와 비슷하나 경유보다는 높은 값을 가졌고, 발열량 또한 10,855 kcal/kg으로 상용오일보다 높은 값을 보이고 있다.

Figure 2는 반응원료인 저급열분해유와 비교 대상인 상용 오일의 SIMDIST 분석 결과를 나타내고 있다. 실험에 사용된 저급 열분해유는 상용오일 중에 가장 고비점인 경유보다 높은 끓는점 분포를 지니고 있다. 또한 원료를 GC/MS로 분석하여 가솔린 (C₅-C₁₀), 등유+경유 (C₁₁-C₂₀), 중질유 (C₂₁-)로 구분하였다. 분석결과 가솔린은 4.5%, 등유+경유는 50.68%, 중질유는 41.21%로 나타났다. 이는 원료에 가솔린 성분은 거의 포함되어 있지 않고, 등유+경유와 중질유분이 주로 포함된 고비점 물질임을 알 수 있다.

3.2. 열분해 반응

각 반응온도 프로그램에 따라 저급 열분해유로부터 얻어지는 생성유의 특성을 확인하기 위해 반응온도 프로그램에 따른 생성유의 누적수율 분포와 생성비를 각각 나타내었다.

Figure 3은 반응온도 프로그램이 1단계인 'TPI'의 조건에

서 반응경과시간에 따른 펌프에 의한 주입량과 오일 생성량의 수율변화를 나타내고 있다. 여기에서 기준은 총 원료 주입량을 100으로 하여 생성유의 수율을 정하였다. 펌프에 의한 원료 주입량은 평균적으로 반응경과시간에 따라 선형적으로 증가하였다. 생성유의 경우는 반응시스템의 빈 공간 때문에 실험 시작 후 약 30분 정도 경과했을 때부터 생성유가 얻어졌고, 반응경과시간에 따라 생성유의 수율이 상이하게 변화되었다. 주입량의 누적수율선을 기준으로 한 생성유의 경향을 보면, 초기 반응경과시간인 100분 이내에서는 반응온도 상승에 따라 열분해유 중에 저비점 열분해유가 많이 생성되어 생성유의 누적수율선이 크게 증가하여 각 주입량의 수율선과의 간격이 좁아지는 경향을 보이고 있다. 하지만 반응경과시간이 증가함에 따라 반응시스템이 안정화되어 두 선의 간격이 일정한 안정한 상태를 나타나고 있다. 더욱이 경과시간이 증가함에 따라 원료가 분해반응 과정에서 대부분 오일로 전환되지만, 일부는 가스 생성물로 전환되므로 원료주입수율선과 생성유의 수율선 사이의 간격이 소폭 증가하는 경향을 보이고 있다.

이들 결과는 반응시간 10분마다 취하는 원료 주입량 및 오일 생성량으로 나타낸 Figure 4에서 확인된다. 반응시간이 30분 이후부터는 반응시스템이 안정화되고 있고, 이 기간 동안

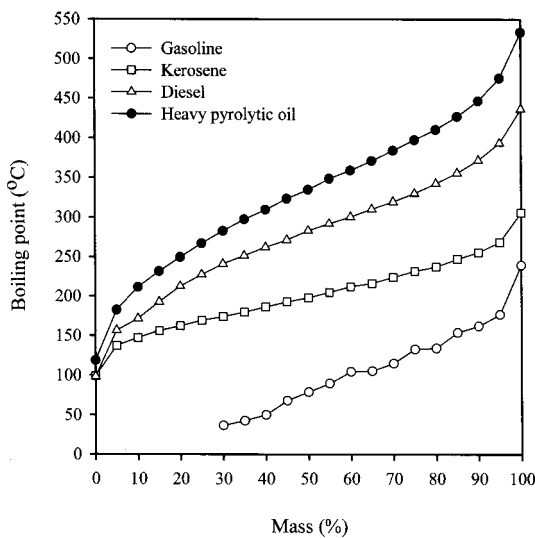


Figure 2. The SIMDIST patterns of the heavy pyrolytic oil and the commercial oils.

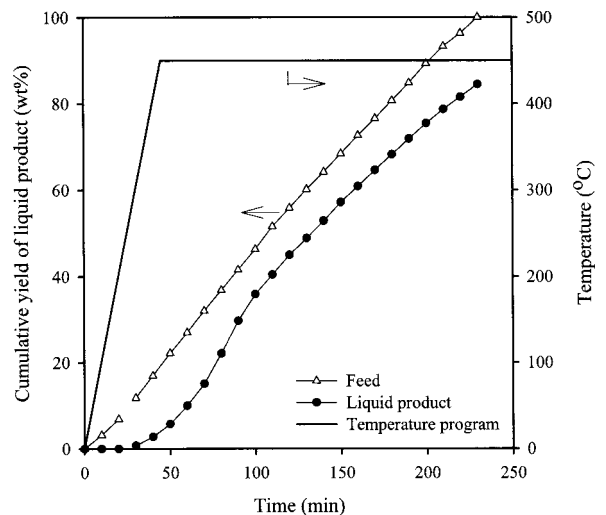


Figure 3. Variations in the cumulative amount of feed and the cumulative yield of the liquid product for reaction temperature program 1 (TPI).

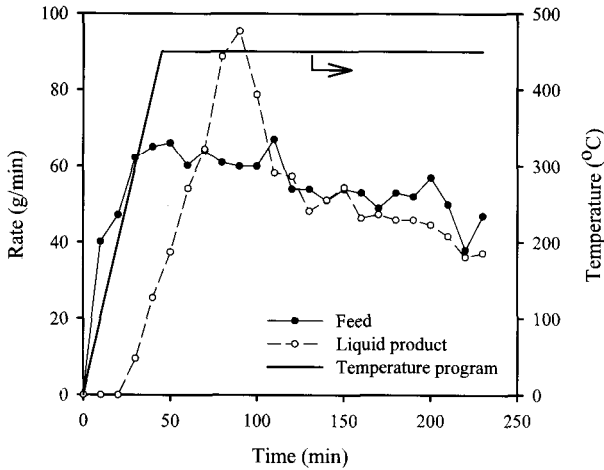


Figure 4. Variation in the rates of the feed and the liquid product for reaction temperature program 1 (TP1).

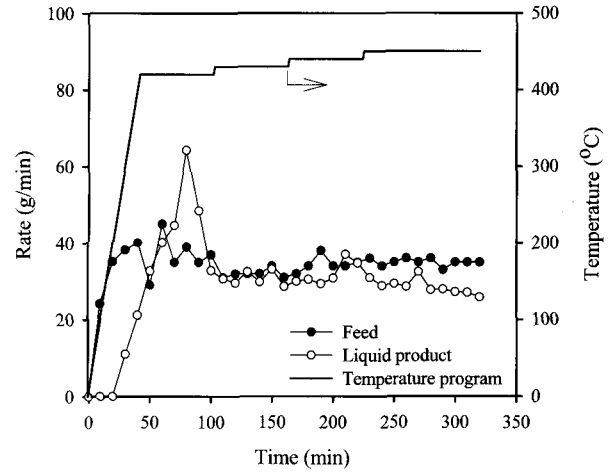


Figure 6. Variation in the rates of the feed and the liquid product for reaction temperature program 2 (TP2).

원료주입비의 소폭 감소는 상대적으로 고비점인 점성을 가진 원료에 대해 펌프를 사용하여 이송함에 따라 나타난 현상으로 판단된다. 원료 주입비에 대한 오일 생성비는 반응온도 프로그램에서 초기에 급격한 반응온도 상승에 따라 생성비도 크게 변화되어 아주 불안정한 생성비가 얻어져 실제 반연속식 열분해 공정의 운전에서 주의가 요구됨을 알 수 있다. 반응경과시간이 120분 이후부터는 생성비도 안정한 상태를 이루고 있고, 주입비와 생성비의 차이는 열분해 과정에서 가스 생성물로 분해되거나 반응기 내부에 잔사물로 남아 상대적으로 오일 생성비가 작게 나타나기 때문으로 판단된다.

Figure 5는 반응온도 프로그램이 4단계로 되어 있는 'TP2'에서 주입량과 생성량의 누적수율 분포를 나타내고 있다. 여기에서 초기 단계의 반응온도는 앞에서의 450°C보다는 조금 낮은 420°C까지 올린 후, 10°C간격으로 단계적으로 온도를 올리는데, 여기에서도 초기 온도가 높아 주입량과 오일 생성량

의 경향이 Figure 4와 유사한 경향을 보이고 있다. 하지만 최종적인 실험 결과에서는 원료인 열분해유의 누적수율 분포와 생성량의 누적수율 차이가 소폭으로 줄어드는 경향을 보이고 있다. 이는 본 반응온도 프로그램에 의한 열분해 반응에서 생성물의 분포가 가스 및 잔사물보다는 오일수율이 높은 것을 알 수 있다. 따라서 열분해 유화공정에서 오일수율을 높이기 위한 상용운전에서 반응온도 프로그램의 설정 방향을 제시하고 있다. Figure 5에서 반응시간 10분마다 취하는 주입량 및 생성량으로 계산한 주입비와 생성비를 Figure 6에 나타냈다. 여기에서도 초기 단계의 반응온도가 상대적으로 높은 420°C까지 높음에 따라 초기 오일 생성비가 불안정하지만 이후부터는 안정한 상태를 보이고 있다.

Figure 7은 앞의 두 반응온도 프로그램보다 낮은 온도 영역부터 좀 더 높은 온도 폭인 20°C 간격으로 다단 온도 시스템을 적용시킨 6단계 반응온도 프로그램인 'TP3'에서 실험을 실

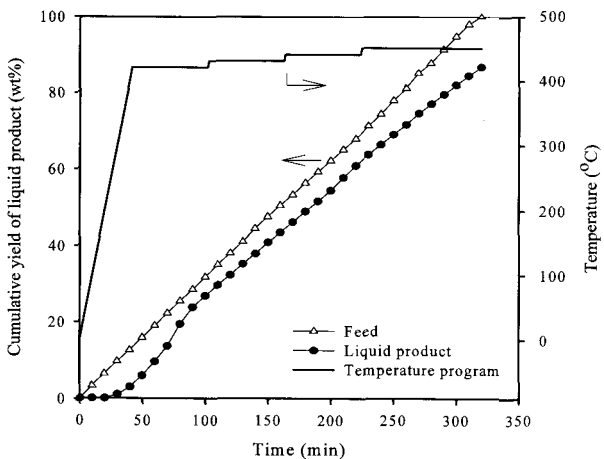


Figure 5. Variations in the cumulative amount of feed and the cumulative yield of the liquid product for reaction temperature program 2 (TP2).

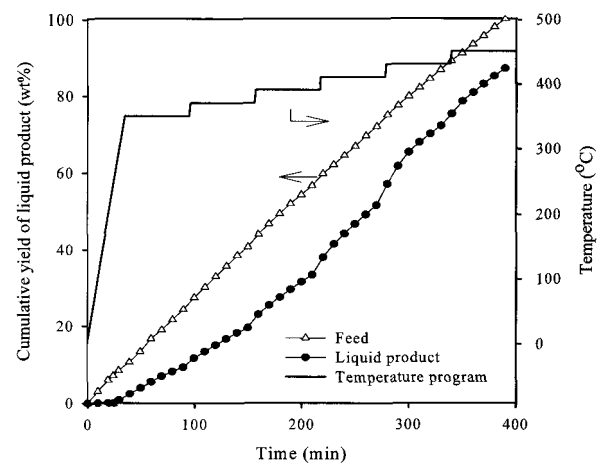


Figure 7. Variations in the cumulative amount of feed and the cumulative yield of the liquid product for reaction temperature program 3 (TP3).

Table 3. Product distributions obtained from thermal degradation of low-quality pyrolytic oil by three different reaction temperature programs

Temperature program	Temperature (°C)	Input (g)	Product distribution		
			Liquid	Residue	Gas
TP1 (1 step)	450	12,640	10,679 g (84.5%)	1,284 g (10.2%)	677 g (5.3%)
TP2 (4 steps)	450	11,060	9,629 g (87.1%)	396 g (3.6%)	1,035 g (9.3%)
TP3 (6 steps)	450	14,274	12,420 g (87.0%)	630 g (4.4%)	1,224 g (8.6%)

시하여 얻은 주입량과 생성량의 누적수율 분포를 나타내고 있다. 이 또한 원료의 누적주입량 분포가 반응경과시간에 따라 선형으로 증가하고 있지만, 생성유의 누적수율은 앞의 두 반응온도 프로그램의 경우와 차이를 보이고 있다. 이는 상대적으로 낮은 온도인 350°C까지 온도를 상승함에 따라 누적 생성물의 수율이 낮게 나오고 단계적인 온도 상승 간격을 비교적 높은 20°C로 함에 따라 누적주입량과의 차이가 크게 보인 후 점차적으로 간격이 좁혀지는 것을 볼 수 있다. 그래서 최종적으로 누적주입량과 누적생성량 차이가 앞의 4단계 반응온도 프로그램과 별 차이가 없으리라 생각된다.

위의 결과는 반응시간 10분마다 채취한 주입량 및 생성량으로 계산하여 나타낸 Figure 8에서 볼 수 있다. 여기에서 보면 낮은 반응온도인 350°C까지의 온도 범위에서는 오일 생성비가 낮게 나타났으며, 반응온도가 400°C 근처부터는 분해반응이 활발하여 생성비가 커졌다. 반응온도를 20°C 간격으로 온도를 올린 후 부터는 오일 생성비가 주기적으로 크게 변하였으며, 이로써 분해 반응이 활발히 일어나는 400°C 근처부터에서 단계적인 온도 상승이 20°C보다 낮은 소폭으로 결정하는 것이 좋을 것으로 판단할 수 있다.

위의 세 경우에 대한 실험으로부터 얻은 최종 결과에 대해 각 성상별 수율 값을 Table 3에 나타내었다. 450°C에서 저급 열분해유에 대한 연속적인 분해반응 실험에서 얻은 오일 생성물의 수율은 세 실험 방법 모두에서 80% 이상을 보이고 있다.

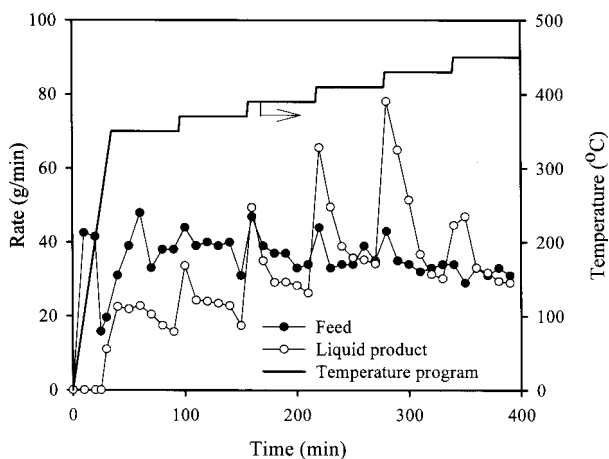


Figure 8. Variation in the rates of the feed and the liquid product for reaction temperature program 2 (TP2).

하지만 반응온도 프로그램이 한 단계인 경우보다는 단계적인 온도상승 방법인 4단계와 6단계의 경우가 높은 오일수율과 가스수율인 87%와 약 9%를 각각 보이고 있는 반면에, 잔류물의 수율은 한 단계의 경우인 10%내외보다 월등히 낮은 약 4%를 보이고 있다. 이는 폐플라스틱 유화공정에서 생성되는 열분해유의 연연속식 분해반응의 반응온도 프로그램이 최종 생성물의 분포에 많은 영향을 주는 것을 알 수 있다.

세 종류의 반응온도 프로그램에서 저급 열분해유의 분해반응을 실시하여 얻은 생성유의 가솔린, 등유+경유, 그리고 중질유분의 분율 변화를 Figure 9, 10 그리고 11에 나타냈다. 상이한 반응온도 프로그램이지만 반응경과시간 또는 반응온도에 따른 생성유의 가솔린, 등유+경유 그리고 중질유분의 분율은 유사한 경향을 보이고 있다. 초기 반응경과시간에서는 주성분이 가솔린과 등유+경유 성분이 대부분이지만 반응온도가 증가함에 따라 점차 가솔린은 감소하고 등유+경유 분율이 높아지며 중질유분은 거의 나타나지 않고 있다. 이는 낮은 반응온도에 의해 분해 반응보다는 증류에 의해 생성유가 얻어지기 때문인 것으로 생각된다. 하지만 반응온도가 400°C 이상으로 증가하면 분해반응이 원활히 일어나 중질유분은 40% 이하로 줄어들었고, 등유+경유 분율은 50% 이상 증가하였으며, 가솔린은 10% 이상 생성되었다. 이와 같은 저비점 생성유의 상승 경향은 반응경과시간이 증가함에 따라 더욱 분명히 나타났다. 여기에서 기준 값인 반응원료 분율은 등유+경유 약 50%와 중

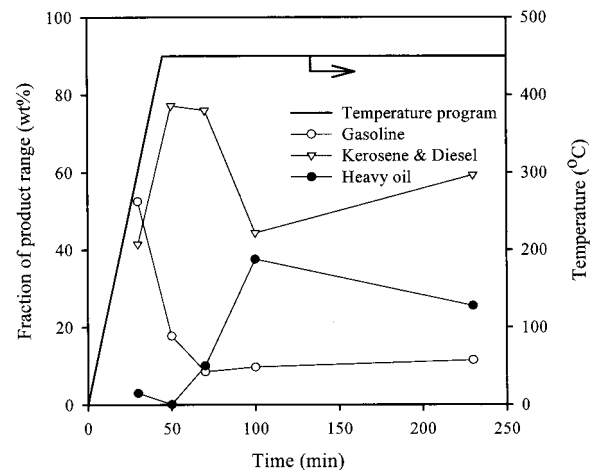


Figure 9. Fractions of gasoline, kerosene & diesel, and heavy oil in the liquid product obtained by reaction temperature program 1 (TP1).

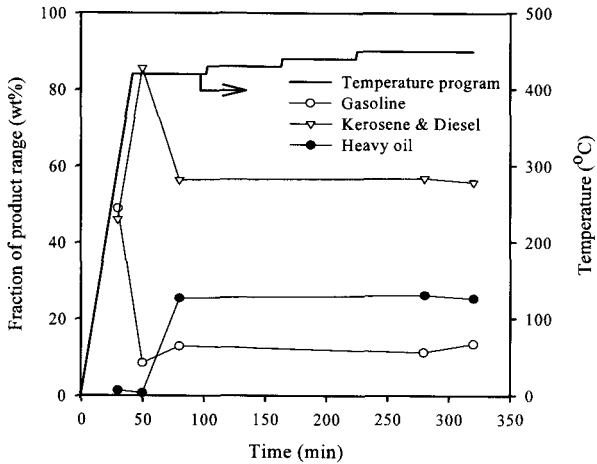


Figure 10. Fractions of gasoline, kerosene & diesel, and heavy oil in the liquid product obtained by reaction temperature program 2 (TP2).

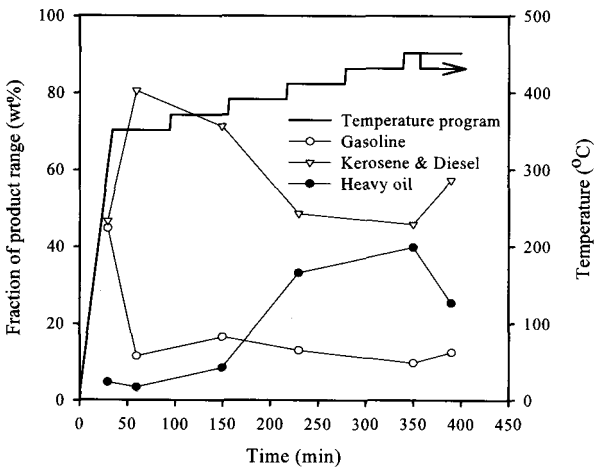


Figure 11. Fractions of gasoline, kerosene & diesel, and heavy oil in the liquid product obtained by reaction temperature program 3 (TP3).

질유 약 40%, 그리고 가솔린 약 5%이었다. 이들 결과는 생성유의 각 분율 값들이 반응온도 프로그램 형태보다는 분해반응이 일어나는 반응온도와 반응경과시간에 더욱 영향을 받는 것을 알 수 있다.

4. 결 론

본 연구는 필름형 생활계 폐플라스틱을 상용 로터리킬른 반응장치에서 열분해하여 생산된 저급 열분해유를 연속식 반응시스템에서 각기 다른 반응온도 프로그램에 의해 분해 반응하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

중질유분이 40%이상인 저급 열분해유는 연속식 분해반응에서 반응온도 프로그램에 따라 각 생성물의 수율, 누적 오일 수율과 오일생성비에 영향을 주었다. 즉, 한 단계 온도 상승

프로그램보다는 다단계 반응온도 프로그램이 오일수율과 가스수율을 증가시켰고 잔류물의 수율은 낮추었다. 더욱이 분해반응이 잘 일어나는 400°C이상의 반응온도 조건에서는 안정적인 생성비를 얻기 위해 소폭의 단계적인 반응온도 상승이 필요하다.

각 반응온도 프로그램에 의해 얻어지는 생성 오일의 가솔린, 등유+경유, 그리고 중질유의 분포를 보면, 반응온도 프로그램에 따라 유사한 변화 형태를 보이고 있고, 450°C에서 반응경과시간에 따라 변화되는 것을 알 수 있다. 즉, 열분해가 원활히 일어나는 450°C에서 반응경과시간이 길어지면 고비점인 중질유 분율은 감소하고 경유+등유의 분율은 증가하였다.

감 사

본 연구는 지식경제부 신재생에너지 연구 사업에 의해 연구비를 지원을 받아 수행한 결과로서 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Phae, C.-G., Kim, Y.-S., Jo, C.-H., and Pyoun, U.-S., "Assessment of Practical Use of Recycling Oil from the Pyrolysis of Mixed Waste Plastics," *J. Energ. Eng.*, **14**(2), 159-166 (2005).
2. Mohammad, N. S., and Halim, H. R., "Pyrolysis of Mixed Plastic for the Recovery of Useful Products," *Fuel Process. Technol.*, **90**, 545-552 (2009).
3. Buekens, A. G., and Huang, H., "Catalytic Plastics Cracking for Recovery of Gasoline-range Hydrocarbons from Municipal Plastic Wastes," *Resour. Conserv. Recy.*, **23**, 163-181 (1998).
4. Demirbas, A., "Pyrolysis of Municipal Plastic Wastes for Recovery of Gasoline-range Hydrocarbons," *J. Anal. Appl. Pyrol.*, **72**, 97-102 (2004).
5. Korea Institute of Energy Research, "Refinery Apparatus of Fuel Oil and Its Pyrolysis System," Korea Patent No. 0736845 (2007).
6. Lee, K.-H., "Thermal and Catalytic Degradation of Waste HDPE," in Scheirs, J., and Kaminsky, W., Eds., *Feedstock Recycling and Pyrolysis of Waste Plastics*, John Wiley & Sons, UK, 129-160 (2006).
7. Lee, K.-H., "Process Development of Alternative Fuel Oil Production from Plastic Wastes," *NEWS & INFORMATION FOR CHEMICAL ENGINEERS.*, **24**(6) 589-596 (2006).
8. de la Puente, G., Klocker, C., and Sedran, U., "Conversion of Waste Plastics into Fuels - Recycling Polyethylene in FCC," *Appl. Catal.*, **36**, 279-285 (2002).
9. Lin, Y.-H., and Yang, M.-H., "Catalytic Conversion of

- Commingled Polymer Waste into Chemicals and Fuels over Spent FCC Commercial Catalyst in a Fluidised-bed Reactor," *Appl. Catal.*, **69**, 145-153 (2007).
10. Miranda, R., Pakdel, H., Roy, C., and Vasile, C., "Vacuum Pyrolysis of Commingled Plastics Containing PVC II. Product Analysis," *Polym. Degrad. Stabil.*, **73**, 47-67 (2001).
 11. Lee, K.-H., "Thermal and Catalytic Degradation of Pyrolytic Oil from Pyrolysis of Municipal Plastic Waste," *J. Anal. Appl. Pyrol.*, **85**, 372-379 (2009).
 12. Vasile, C., Brebu, M. A., Karayildirim, T., Yanik, J., and Darie, H., "Feedstock Recycling from Plastics and Thermosets Fractions of Used Computers. II. Pyrolysis oil upgrading," *Fuel*, **86**, 477-485 (2007).
 13. Arandes, J. M., Azkoiti, M. J., Torre, I., Olazar, M., and Castano, P., "Effect of HZSM-5 Catalyst Addition on the Cracking of Polyolefin Pyrolysis Waxes under FCC Conditions," *Chem. Eng. J.*, **132**, 17-26 (2007).
 14. Miskolczi, N., Bartha, L., and Deak, G., "Thermal Degradation of Polyethylene and Polystyrene from the Packaging Industry over Different Catalysts into Fuel-like Feed Stocks," *Polym. Degrad. Stabil.*, **91**, 517-526 (2006).
 15. Lin, Y.-H., and Yang, M.-H., "Catalytic Pyrolysis of Polyolefin Waste into Valuable Hydrocarbons over Reused Catalyst from Refinery FCC Units," *Appl. Catal.*, **328**, 132-139 (2007).
 16. Aguado, J., Serrano, D. P., Miguel, G. S., Castro, M. C., and Madrid, S., "Feedstock Recycling of Polyethylene in a Two-step Thermo-catalytic Reaction System," *J. Anal. Appl. Pyrol.*, **79**, 415-423 (2007).