

Polyethylene-Polypropylene 혼합물의 저온 열분해에 의한 액화특성

조성현, 최흥준, 나병기, 이봉희*

충북대학교 화학공학과
361-763 충북 청주시 흥덕구 개신동 12

(2009년 5월 25일 접수 2009년 6월 10일 수정본 접수 2009년 6월 10일 채택)

Liquefaction Characteristics of Polyethylene-Polypropylene Mixture by Pyrolysis at Low Temperature

Sung-Hyun Cho, Hong-Jun Choi, Byung-Ki Na, and Bong-Hee Lee*

Department of Chemical Engineering, Chungbuk National University
12 Gaesin-dong, Heungduk-gu, Cheongju, Chungbuk 361-763, Korea

(Received for review May 25, 2009; Revision received June 10, 2009; Accepted June 10, 2009)

요 약

폴리에틸렌-폴리프로필렌 혼합물의 열분해에 대한 시너지효과를 조사하기 위하여 폴리에틸렌(PE)과 폴리프로필렌(PP) 및 PE-PP 혼합물의 저온열분해를 회분식 반응기를 이용하여 상압 및 450℃에서 실행하였다. 열분해 시간은 20~80분이었으며, 열분해로 생성된 성분은 한국석유품질검사소에서 고시한 증류성상온도에 따라 가스, 가솔린, 등유, 경유, 중유로 분류하였다. GC/MS에 의한 생성오일의 성분분석 결과 PE-PP 혼합에 의해서 새로운 성분이 검출되지 않았고 혼합에 따른 시너지효과 또한 나타나지 않았다. PE-PP 혼합물의 전환율과 각 생성물의 수율은 시료의 혼합비율에 비례하였다.

주제어 : 폴리에틸렌, 폴리프로필렌, 시너지효과, 열분해, 수율

Abstract : The low temperature pyrolysis of polyethylene (PE), polypropylene (PP) and polyethylene-polypropylene (PE-PP) mixture in a batch reactor at the atmospheric pressure and 450℃ was carried out to investigate the synergy effect of PE-PP mixture. The pyrolysis time was from 20 to 80 mins. The products formed during pyrolysis were classified into gas, gasoline, kerosene, gas oil and heavy oil according to the petroleum product quality standard of Korea Institute of Petroleum Quality. The analysis of the product oils by GC/MS showed that no new component was detected and no synergy effect was made by mixing of PE and PP. Conversions and yields of PE-PP mixtures were linearly dependent on the mixing ratio of samples.

Key words : Polyethylene, Polypropylene, Synergy effect, Pyrolysis, Yield

1. 서 론

현대산업사회에서 플라스틱 소재가 차지하는 비중은 산업활동의 증가에 따라 더욱 커지고 있으며, 이로 인하여 발생되고 있는 폐플라스틱 양도 급격히 증가하여 2004년 377만 톤에서 2010년에는 약 800만 톤에 달할 것으로 예상되고 있다. 이와

같은 폐플라스틱 발생량의 증가는 심각한 사회적·환경적 문제를 야기하고 있다. 폐플라스틱 중 극히 일부품목은 안전상의 이유 등으로 저장되는 경우는 있지만, 대부분의 폐플라스틱은 매립, 소각 또는 재활용 등으로 처리되고 있다. 매립의 경우 지역 이기주의와 맞물려 매립지 확보에 어려움이 있으며 유해성분이 용출될 수 있고, 무엇보다도 부피가 크고 대부분이 부식

* To whom correspondence should be addressed.
E-mail: bhlee@chungbuk.ac.kr

되지 않기 때문에 매립지가 잘 다져지지 않는 문제점이 존재해 왔다. 소각처리의 경우 소각로에서 발생하는 배출오염물질로 환경오염이 문제가 되며 실제로 유독성 다이옥신 화합물이 발생된다고 보고되고 있다[1,2]. 따라서 이로 인한 대기오염을 방지하고자 할 경우 방지시설을 위한 투자비가 커지게 되며 폐플라스틱의 소각 시 높은 발열량으로 인하여 내벽의 단열재를 열화 시키는 등의 문제점을 야기시킨다. 이와 같은 폐플라스틱의 매립 및 소각에 따른 문제점들로 인하여 폐플라스틱의 재활용 기술 개발을 위하여 다양한 연구와 노력이 진행 중에 있다. 특히 소각, 매립시의 문제점인 다이옥신과 같은 유해물질이 발생되지 않고 고부가 가치의 액상 및 기상 탄화수소를 생산할 수 있는 열분해 기술은 환경친화적 기술로서 주목 받고 있다[3].

폐플라스틱의 열분해공정은 폐플라스틱을 산소가 없거나 희박한 상태에서 고온으로 가열하는 방법이며 열분해 생성물질은 액상, 기상, 고상으로 나누어진다[4,5]. 열분해공정은 또한 열분해 온도에 따라 저온열분해(450~500℃)공정과 고온열분해 공정(700℃)으로 나누어지며 저온열분해 공정의 주요 생성물은 액상탄화수소이며 고온열분해공정의 생성물은 기상의 탄화수소가 주요 성분이다.

저온열분해 시 발생하는 액상 생성물은 비점범위가 30~450℃에 이르는 다양한 종류의 탄화수소로 이루어져 있으며, 이때 발생하는 기체 생성물로는 C1~C4, H₂, CO, CO₂ 등이 있다[6]. 그러나 생성되는 기상, 액상 또는 고상의 생성물의 양이나 조성은 폐플라스틱의 종류, 열분해온도, 열분해시간, 가열속도 등의 변수에 따라 달라진다[7].

폐플라스틱의 열분해기술 개발에 따라 연구는 크게 열분해 mechanism에 대한 연구와 열분해공정개발에 따른 연구로 나뉘어 진행되어 왔다고 볼 수 있다. 열분해 mechanism에 대한 연구를 구체적으로 살펴보면 Lattimer[8], Paabo and Levin[9] 및 Balzso[10] 등은 PE는 일반적으로 radical chain mechanism 열분해 경로 등을 따른다고 하였으며, Ranzi and Dente[11]도 PE의 열분해를 initiation, H-abstraction, β-scission, radical recombination을 포함하는 radical chain mechanism 으로 해석하였다. 또한 McNeill[12] 역시 PE, PP의 열분해는 free radical mechanism 이라고 주장하였고, 염욕조를 이용하여 열분해 반응을 진행하였다.

공정기술 개발에 대한 연구로서 기존의 연구결과를 좀 더 구체적으로 살펴보면 Encinar and Gonzalez[13]는 PE 및 PS 등의 열분해 시 heating rate가 가스, 오일 및 char의 생성 수율에 미치는 영향을 연구하였으며, Brebu et al.[14]은 PE, PS 및 PP 등에 PVC를 혼합하여 450℃에서 등온 열분해 시 가스, 왁스분 및 잔류탄소량을 조사하여 보고하였다. Phae et al.[15]은 PE를 430℃의 batch반응기를 사용하여 열분해시킨 결과 8.5 wt%의 가스성분이 발생함을 발표하였다. 그리고 Kaminsky et al.[16]는 PE를 760℃의 유동층반응기를 이용하여 열분해 시켜 55.8 wt%의 가스성분이 생성된다고 보고하였고, PP는 열분해 결과 35 wt%의 propylene이 생성됨을 확인하였다.

현재까지 플라스틱 열분해 공정에 대한 연구의 대부분은 반응기의 열분해 온도를 상온에서부터 시작하여 서서히 목표온

도까지 도달하게 하는 공정이고, 초기 반응기 내의 공기를 정화가스로 배출시킨 후 실험을 진행한 것이 일반적이다. 그러나 연속식 액화설비 관점에서 생각해 볼 때 열분해 공정은 반응처음부터 목표온도에서 조업이 진행되며, 초기 반응기 내의 공기를 그대로 내버려 두는 것이 현실이다.

따라서 본 연구에서는 플라스틱 유화공정의 기초단계로서 미소 batch형 반응기를 이용하여 플라스틱 제조 원료로 광범위하게 사용되고 있는 PE 및 PP의 단일 시료와 여러 종류의 플라스틱이 섞여있는 혼합 폐플라스틱의 특성을 고찰하기 위하여 PE-PP 혼합 시료를 연속액화설비의 조건에 맞추어 목표온도(450℃)를 고정된 후, 등온과정에서 열분해시켜 그 분해 생성물의 변화를 조사하고자 하였다.

그 결과로부터 단일 PE와 PP 수지와 PE-PP 혼합 수지의 열분해 생성물의 전환율 및 오일, 가스 생성물의 수율 변화를 측정하여 비교분석함으로써 혼합에 따른 시너지효과를 알아보고자 하였다. 생성된 오일의 분석은 한국석유품질관리원 석유제품 품질기준(산업자원부고시 제 2001-149호)에 따라 가솔린, 등유, 경유, 중유로 분류하여 시료에 따른 분해생성물의 특성에 대한 자료를 제공하고자 하였고, 또한 가스크로마토그래피법을 이용하여 열분해 생성오일의 성분변화를 분석하고자 하였다.

2. 실험

2.1. 시료

본 연구에서는 플라스틱 수지원료 중 가장 많이 이용되고 있는 LDPE와 PP를 선정하였고, micro reactor의 직경을 고려해 직경이 3~5 mm 정도의 pellet 형태의 제품들을 사용하였다. 시료의 세부사항은 Table 1에 나타내었다.

Table 1. Specification of samples

	LDPE	PP
Manufacturer	LG Chem., Ltd.	Honam Petrochemical Corp.
Product name	MB9205	JH-330B
Diameter	3.8~4.0 mm	3.9~4.0 mm
Weight	37~42 mg	23~25 mg
Mean M.W.	180,000	45,000
Applications	Various packagings, extrusion and injection molding materials	Housewares, injection molding materials

2.2. 실험장치

본 실험에 사용된 실험장치는 Figure 1에 도시한 바와 같이 염욕조, 수조, 진동기 및 응축기 등으로 구성되어 있다. 염욕조는 S.S. 316 재질로 직경 400 mm, 높이 400 mm의 용량으로 외부에 25.4 mm 두께의 단열재를 사용하여 열손실을 방지하였고, 내부 온도 조절을 위한 제어기를 부착하였다.

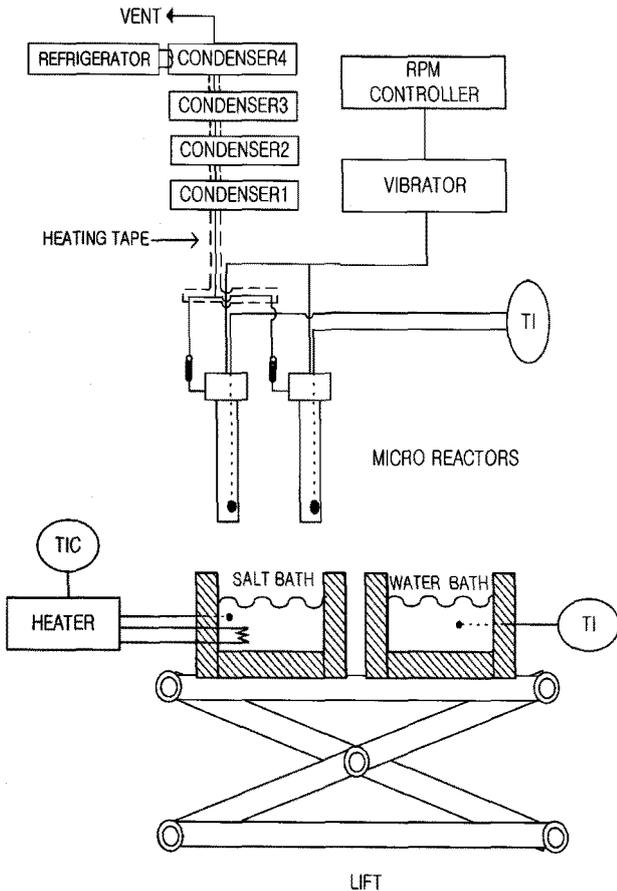


Figure 1. Experimental apparatus for polyethylene pyrolysis.

응축기는 총 4개를 설치하였는데, 응축기 1은 360℃로 유지되는 염욕조 내에 위치시키고 450℃로 유지된 미분반응기에서 열분해로 생성되는 기체를 유입시켰다. 응축기 1에서 포집된 액상성분을 중유분으로 하였다. 응축기 2는 265℃로 유지되는 염욕조에 설치하여 응축기 1에서 응축되지 않은 기체 성분이 유입되도록 하였으며 응축기 2에서 포집된 액상성분을 경유분으로 분리하였다. 또한 응축기 3은 175℃로 유지되는 실리콘오일조에 설치하여 응축기 2에서 응축되지 않은 기체 성분을 유입시켰으며 응축기 3에 포집된 액상 성분을 등유분으로 하였고, 응축기 4는 35℃로 유지되는 수조에 설치하여 응축기 3으로부터 유입되는 기체성분을 유입시켰으며 응축기 4에 응축 포집된 액체성분을 휘발유분으로 하였다. 각각의 응축기를 연결하는 튜브는 전열테이프를 설치하여 이동과정에서 응축되는 것을 방지하도록 하였다.

진동기는 1마력의 직류모터에 속도조절계를 부착하여 0~3600 rpm까지 조절할 수 있도록 하였다. 실험 시 미소반응기의 상하진폭은 12 mm, 좌우 진폭은 10 mm정도가 되었다. 열분해 반응 시 진동기는 시료 상호간의 균일한 열전달과 반응기 내부의 온도구배를 최소화하기 위해 실험이 종료될 때까지 1500 rpm의 속도로 일정하게 유지하였다. 미분반응기는 S.S. 316재질로 제작하였으며, 용적은 각각 30 ml이고, 내부온도를 측정하기 위하여 외경 3 mm의 K type 열전대를 설치하였다. 미분

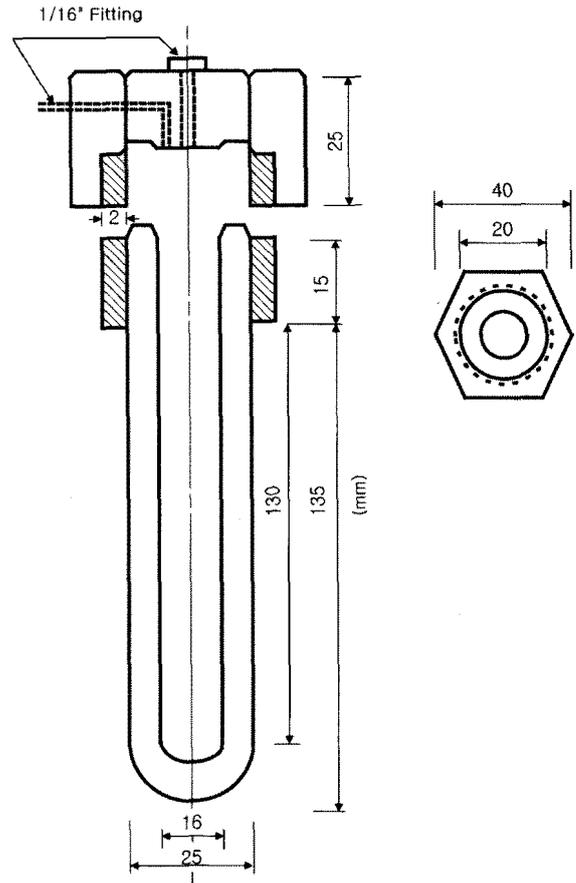


Figure 2. Micro-reactor for polyethylene pyrolysis.

반응기의 상세한 제원을 Figure 2에 나타내었다.

사용된 염은 KNO_3 55.8 wt%와 $Ca(NO_3)_2$ 44.2 wt%의 비율로 제조한 혼합 용융염이다. 염 제조 시 130~150℃의 온도에서 결정수의 방출로 기포 발생이 매우 심하여 용융염이 흘러넘치는 등의 안전사고의 위험이 있으므로 초기 가열시 세심한 주의가 요구된다. 따라서 용융염은 KNO_3 와 $Ca(NO_3)_2$ 혼합물을 염욕조에 소량씩 첨가하여 기포를 충분히 발생시킨 후 다시 첨가하는 방식으로 제조하였다.

2.3. 실험방법

먼저 각 시료들의 열분해 특성을 해석하기 위해 반응온도 450℃, 반응시간을 각각 20, 40, 60, 80분으로 설정하여 실험을 한 후, 혼합비에 따른 열분해 시 수율 및 성분변화를 규명하기 위하여 동일한 조건으로 혼합비를 25:75, 50:50, 75:25로 하여 열분해를 진행하였다. 실험에 들어가기에 앞서 염욕조의 온도를 반응온도까지 미리 가열시킨 후 시료 10 g을 미분반응기에 넣고 뚜껑을 잠근 다음, 거치대에 고정시키고 진동기를 1500 rpm으로 작동시킨 후 미분 반응기를 염욕조에 담그고 목표시간 동안 반응을 진행시킨다. 이때 초기 염욕조의 온도는 반응온도 보다 3℃정도 높게 하여 미분 반응기의 가열로 인해 빼앗긴 열을 충당하도록 하며 반응이 완료될 때까지 실험온도를 일정하게 유지하도록 한다.

Table 2. Oil classification by distillation temperature

Distillation Temp. (°C)	35~175	~265	~360	~450
Product	Gasoline	Kerosene	Gas oil	Heavy oil

Remarks : vaporization more than 90% at the maximum temperature

Table 3. Operating conditions of GC/MS (Model HP-5972A)

Column	HP-5 (30 m * 32 μm * 0.25 μm)
Carrier gas	N ₂
Oven temperature	60(5)°C - 10°C/min - 250(5)°C
Injection volume	1 μl

반응시간이 완료되면 진동기를 정지 시키고 미분반응기를 응축기와 연결된 관으로부터 분리한 후 상온의 수조에 담가 냉각시킨다. 냉각이 완료되면 미분 반응기를 거치대에서 분리한다.

열분해 완료 후 생성된 액체성분의 양을 측정하기 위하여 각각의 응축기를 분리하여 상온으로 유지되고 있는 수조에서 냉각시킨 후 각각의 응축기에 포집된 액체의 무게를 측정한다. 생성된 기체성분의 양은 시료의 무게에서 미분반응기 잔유물과 4개의 응축기에 포집된 액체성분을 뺀 값으로 한다.

2.4. 분석방법

본 연구에서는 분해 생성 오일의 특성을 파악하기 위해 한국 석유품질관리원 석유제품 품질기준(산업자원부고시 제2001-149호)에 고시한 증류온도에 따라 분류하였고, 자세한 기준은 Table 2에 요약하였다. 또한 생성 오일들을 가스크로마토그래피법을 이용하여 정성분석하였다. GC/MS (HP 5972A)의 설정 조건은 Table 3에 요약하였다.

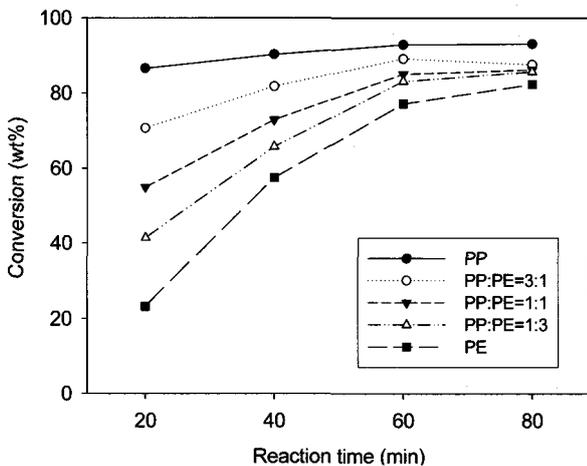


Figure 3. Conversion change with time during the pyrolysis of PE-PP mixtures.

3. 결과 및 고찰

PE-PP 혼합물의 열분해 시 혼합에 따른 열분해 특성을 규명하기 위하여, PE, PP 및 서로 다른 혼합비의 PE-PP혼합물들을 450°C에서 반응시간을 20, 40, 60, 80분으로 등은 열분해 하여 전환율 및 생성물의 수율 변화를 비교·분석하였다.

3.1. PE, PP 및 PE-PP 혼합물의 전환율

Figure 3은 각 시료들의 450°C에서 열분해 할 때 각 시료들에 대한 전환율과 반응시간과의 관계를 나타낸 것이다. 20분 동안 열분해 한 결과 단일 PE 및 PP의 전환율은 각각 23 wt%, 86.5 wt%이었고, PE 대 PP의 혼합비가 25:75인 경우 70.7 wt%, 50:50인 경우 54.8 wt%, 75:25인 경우 41.4 wt%를 보였다. Figure 3에서 볼 수 있듯 혼합에 따른 시너지효과는 나타나지 않았다. 40분 동안 열분해를 진행한 결과, 단일 PE 및 PP의 전환율은 각각 57 wt%, 90.2 wt%이었고, 혼합비를 25:75, 50:50, 75:25로 변화시킴에 따라 전환율은 각각 81.7 wt%, 72.9 wt%, 65.7 wt%를 보였다. 열분해시간을 60분으로 하였을 때 단일 PE 및 PP의 전환율은 77 wt%, 92.9 wt%를 보였고, 혼합비를 25:75, 50:50, 75:25로 변화시킴에 따라 전환율은 각각 89.1 wt% , 85.1 wt%, 83.1 wt%를 보였다.

열분해 시간을 80분으로 하였을 때의 전환율은 60분의 값과 거의 오차범위(2 wt%)내로 일정한 것으로 보아 60분 이후에는 열분해가 종료됨을 짐작할 수 있다. 또한 혼합에 따른 전환율을 비교해 본 결과 혼합에 따른 시너지효과는 나타나지 않았다.

3.2. PE, PP 및 PE-PP 혼합물의 열분해 특성 및 오일 수율

생성 오일의 혼합에 따른 성분 변화를 알아보기 위하여 PE, PP및 PE-PP 혼합물에 대한 GC/MS분석을 수행하였으며 PE에

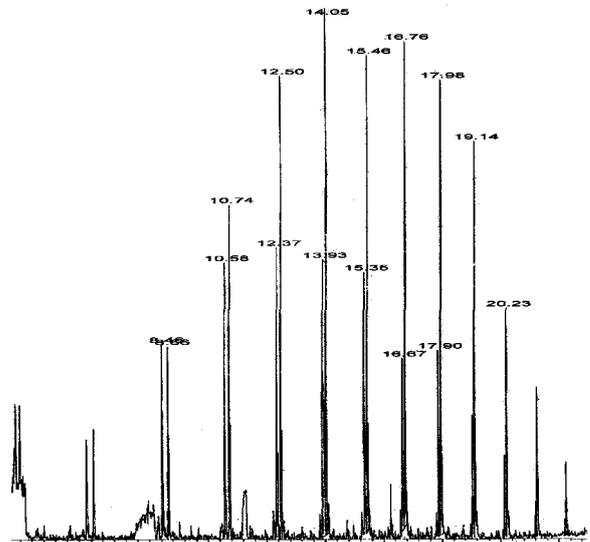


Figure 4. GC/MS spectrum of pyrolysis oil for PE.

Table 4. Main components from pyrolysis of PE, PP, PE-PP (analyzed by GC/MS)

Components	PE	PP	PE-PP
1-Decene	○		○
1-Undecanol	○		○
Dodecane	○		○
Octadecane	○		○
Cyclopentane		○	○
Cyclohexane		○	○
1,6-Heptadiene		○	○
1,6-Octadiene		○	○
Cyclopropane		○	○
Heptane	○	○	○
Tridecane	○		○
1-Tetradecanol	○		○
Heptadecane	○		○

○ : detected

대한 결과를 Figure 4에 나타내었고 주요 생성성분을 Table 4에 정리하였으며, PP의 경우는 Figure 5와 Table 4에 주요 생성성분의 분석 결과를 정리하였다. PE로부터 생성된 오일의 주성분은 1-decane, dodecane, tridecane, octadecane등 주로 알칸 계열의 지방족 탄화수소 이고, PP의 주요 생성성분은 cyclopentane, cyclohexane, 1,6-heptadiene 등으로 PE와 유사하게 주로 알칸 계열의 지방족 탄화수소화합물이다. PE 대 PP를 50:50으로 혼합하여 열분해 한 결과 생성된 성분을 Figure 6, Table 4에 정리하였는데 새로 생성된 성분은 나타나지 않았다.

Figure 7은 각 시료들의 가스수율을 나타낸 것이다. 그래프에서 볼 수 있듯이 반응시간에 따른 가스수율 변화는 거의 없다. 이것으로 보아 gas는 반응 초기에 생성된다는 것을 짐작할

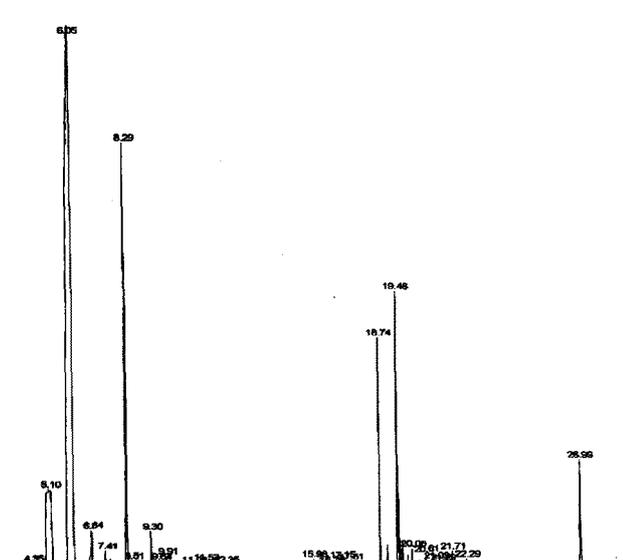


Figure 5. GC/MS spectrum of pyrolysis oil for PP.

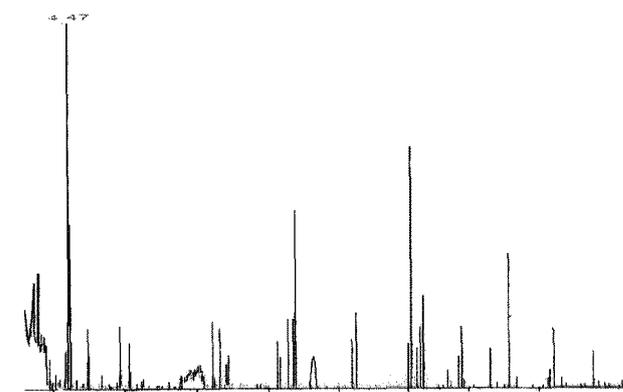


Figure 6. GC/MS spectrum of pyrolysis oil for PP:PE=1:1.

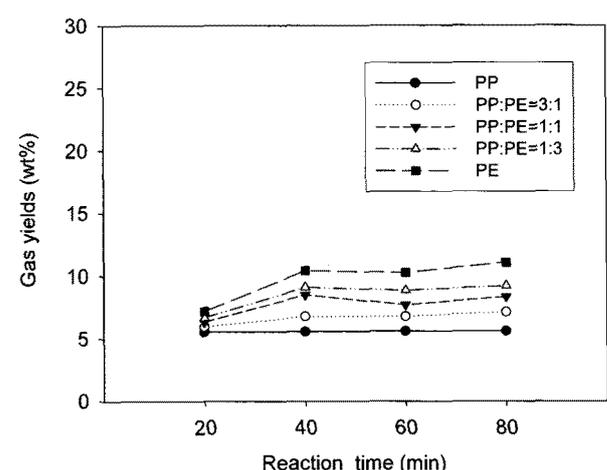


Figure 7. Gas yields with time for the pyrolysis of PE-PP mixtures.

수 있다. 혼합에 따른 수율의 영향을 살펴보면, 먼저 단일 PE의 경우는 10 wt%이고 PP의 경우는 5 wt%로서 오차범위(±0.5 wt%)내로 일정하고 PE 대 PP의 혼합비가 25:75, 50:50 75:25

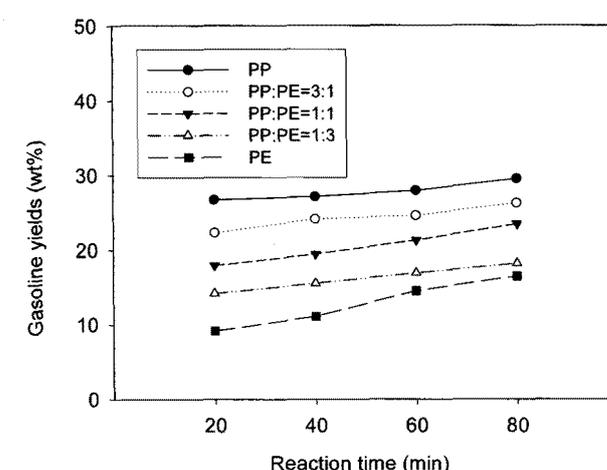


Figure 8. Gasoline yields with time for the pyrolysis of PE-PP mixtures.

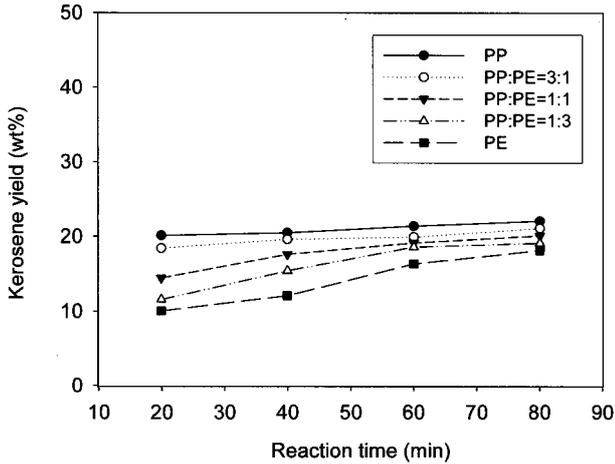


Figure 9. Kerosene yields with time for the pyrolysis of PE-PP mixtures.

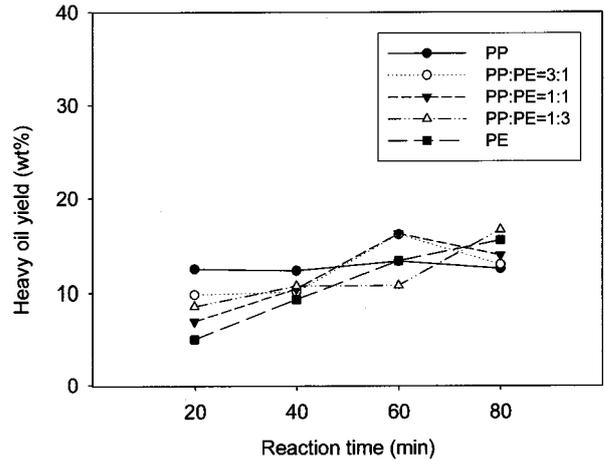


Figure 11. Heavy oil yields with time for the pyrolysis of PE-PP mixtures.

로 변화함에 따라 각각 6.5 wt%, 8.1 wt%, 9.1 wt%로 나타났다. 그래프에서 나타난 것과 같이 혼합에 따른 영향은 없으므로 나타났으며, 이는 Yu et al.[17] 및 Lee et al.[18]의 연구 결과와도 잘 일치하고 있다.

Figure 8과 Figure 9는 반응시간에 따른 가솔린과 등유의 수율을 나타내었다. 먼저 가솔린 수율에 대하여 살펴보면, 단일 PE의 경우 11 wt% (± 3 wt%)이며 단일 PP는 27.5 wt% (± 3 wt%)이었고 시간에 따른 영향은 크게 나타나지 않았다. 혼합에 따른 영향을 살펴보면 PE 대 PP의 혼합비가 25:75, 50:50, 75:25로 변함에 따라 수율은 24 wt%, 21 wt%, 16 wt%로 나타났다. 그래프에서 볼 수 있듯이 혼합에 따른 가솔린 수율의 영향은 없는 것으로 나타난다.

다음으로 등유의 수율을 살펴보면 단일 PE, PP의 경우 열분해 시간이 20분일 때 각각 10 wt%, 20.2 wt%이고, 40분일 때 12.2 wt%, 20.5 wt%, 60분 이후의 경우 17.3 wt%, 21.4 wt%로 나타났다. 혼합에 따른 수율의 변화를 살펴보면 PE 대 PP 혼합

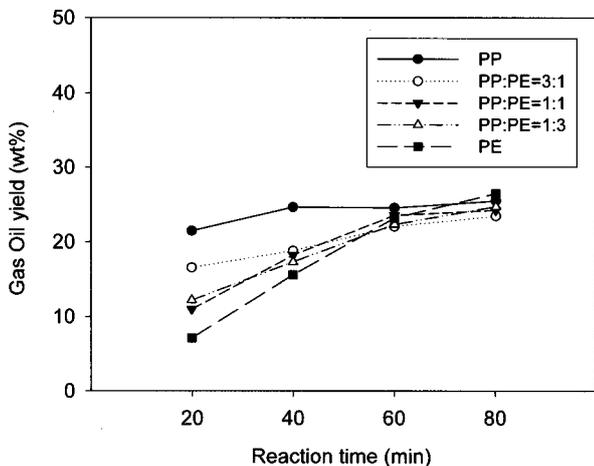


Figure 10. Gas oil yields with time for the pyrolysis of PE-PP mixtures.

비가 25:75이고 반응시간이 20분일 경우 18.5 wt%, 40분일 경우 19.7 wt%, 60분 이후 19.9 wt%, 80분일 경우 21.5 wt%로 혼합에 따른 영향은 거의 없는 것으로 보였다(± 0.5 wt%). PE 대 PP의 혼합비가 50:50, 75:25인 경우도 시간에 따른 수율 변화만 있을 뿐 수율은 대체적으로 혼합비에 비례하였으며 혼합에 따른 특이한 영향은 보이지 않았다.

Figure 10, Figure 11은 경유와 중유의 수율을 나타낸 것이다. 먼저 경유 수율에 대하여 살펴보면 단일 PE는 열분해 시간이 20분일 경우 7.2 wt%, 40분일 때 17.8 wt%, 60분은 23.2 wt%, 80분 27.5 wt%로 증가하는 경향을 보이고 있으며, PP의 경우는 23 wt% (± 3 wt%)를 보였고 시간에 따른 영향은 크게 나타나지 않았다. 다음으로 혼합에 따른 영향을 살펴보면 PE 대 PP의 혼합비가 25:75인 경우 시간이 20, 40, 60, 80분으로 증가함에 따라 각각 16.6 wt%, 18.9 wt%, 20.2 wt%, 23.5 wt%로 나타났고 50:50인 경우 시간에 따라 각각 11.1 wt%, 18.3 wt%, 23.6 wt%, 24.3 wt%로 75:25인 경우 12.3 wt%, 17.4 wt%, 22.3 wt%, 24.7 wt%로 나타났다. 그래프에서 볼 수 있듯이 혼합에 따른 경유 수율의 영향은 없는 것으로 나타난다.

다음으로 중유의 수율을 살펴보면 먼저 단일 PE의 경우 열분해 시간이 20, 40, 60, 80분으로 증가함에 따라 5.1 wt% 9.3 wt%, 19.2 wt%, 19.1 wt%로 나타났고 단일 PP의 경우 중유수율은 시간에 관계없이 12.3 wt% (± 0.5 wt%)로 일정하게 나타났다. 혼합에 따른 수율의 변화를 살펴보면 PE 대 PP 혼합비가 25:75이고 반응시간이 20분일 경우 9.9 wt%, 40분일 경우 10.1 wt%, 60분 이후 16.2 wt%로 나타났고 혼합에 따른 영향은 거의 없었다. PE 대 PP의 혼합비가 50:50, 75:25인 경우도 혼합에 따른 특이한 영향은 보이지 않았다.

4. 결론

본 연구는 PE와 PP를 단일 물질과 PE대 PP를 25:75, 50:50, 75:25로 혼합하여 목표온도인 450°C로 급격히 가열 후 열분해시켜 반응시간과 혼합비와 시간에 따른 전환율과 생성

된 오일성분 및 가스성분을 측정하였다. 생성된 오일성분은 한국석유품질관리원에서 고시한 증류성상온도에 따라 휘발유, 등유, 경유 및 중유로 분류하였다. 또한 GC/MS로 주요 생성성분을 분석한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

- 1) PE-PP 혼합물의 경우 혼합에 따른 특별한 시너지 효과 (synergy effect)를 찾아 볼 수 없었고, 전환율 및 가스, 가솔린, 등유, 경유, 중유의 수율은 단일 시료의 전환율과 수율에 비례하여 혼합물의 전환율과 수율이 결정되는 것으로 나타났다.
- 2) PE로부터 생성된 오일의 주성분은 1-decene, dodecane, tridecane, octadecane 등으로 주로 알칸 계열의 지방족 탄화수소화합물이었다. PP의 열분해 생성오일 주성분은 cyclopentane, cyclohexane, 1,6-heptadiene 등으로서 PE의 경우와 같이 주로 알칸계열의 지방탄화수소화합물이었다고 혼합에 따라 새로 발견되거나 생성된 성분은 없었다.

감 사

이 논문은 2008년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비 지원에 의하여 연구 되었습니다(This work was supported by research grant of the Chungbuk National University in 2008).

참고문헌

1. Ramdoss, K., and Tarrer, R., "High-temperature Liquefaction of Waste Plastics," *Fuel*, **77**, 293-299 (1998).
2. 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).
3. Murty, M. V. S., Grulke, E. A., and Bhattacharyya, D., "Influence of Metallic Additives on Thermal Degradation and Liquefaction of High Density Polyethylene (HDPE)," *Polym. Degrad. Stabil.*, **61**, 421-430 (1998).
4. Conesa, J. A., Font, R., Marcilla, A., and Garcia, A. N., "Pyrolysis of Polyethylene in a Fluidized Bed Reactor," *Energ. Fuel*, **8**, 1238-1246 (1994).
5. Conesa, J. A., Font, R., and Marcilla, A., "Comparison between the Pyrolysis of Two Types of Polyethylenes in a Fluidized Bed Reactor," *Energ. Fuel*, **11**, 126-136 (1997).
6. Sugimura, Y., and Tsuge, S., "Pyrolysis-hydrogenation Glass Capillary Gas Chromatographic Characterization of Polyethylenes and Ethylene-olefin Copolymers," *Macromolecules*, **12**, 512-514 (1979).
7. Scott, D. S., Czernik, S. R., Piskorz, J., and Radlein, A. G., "Fast Pyrolysis of Plastic Wastes," *Energ. Fuel*, **4**, 407-411 (1990).
8. Lattimer, P. R., "Pyrolysis Field Ionization Mass Spectrometry of Polyolefins," *J Anal. Appl. Pyrol.*, **31**, 203-225 (1995).
9. Paabo, M., and Levin, B. C., "A Literature Review of the Chemical Nature and Toxicity of the Decomposition Products of Polyethylenes," *Fire Mater.*, **11**, 55-70 (1987).
10. Blazso, M., "Polyaromatization in Common Synthetic Polymers at Elevated Temperatures," *J. Anal. Appl. Pyrol.*, **25**, 25-35 (1993).
11. Ranzi, E., and Dente, M., *Pyrolysis Theory and Industrial Practice*, Academic Press, San Diego, 1983, pp. 183-203.
12. McNeill, I. C., *Thermal Degradation*, Pergamon Press, Oxford, 1989, pp. 55-76.
13. Encinar, J. M., and Gonzalez, J. F., "Pyrolysis of Synthetic Polymers and Plastic Wastes. Kinetic Study," *Fuel Process. Technol.*, **89**, 678-686 (2008).
14. Brebu, M., Bhaskar, T., Murai, K., Muto, A., Sakata, Y., and Uddin, M. A., "The Effect of PVC and/or PET on Thermal Degradation of Polymer Mixtures Containing Brominated ABS," *Fuel*, **83**, 2021-2028 (2004).
15. Phae, C. G., Kim, Y. S., and Jo, C. H., "Assessment of Practical Use of Recycling Oil from the Pyrolysis of Mixed Waste Plastics," *J. Korean Soc. Energy Eng.*, **14**(2), 159-166 (2005).
16. Kaminsky, W., Bark, A., and Arndt, M., "New Polymers by Homogeneous Zirconocene/aluminoxane Catalysts," *Makromol. Chem. Makromol. Symp.*, **47**, 83-93 (1991).
17. Yu, H. J., Park, S. Y., and Lee, B. H., "Liquefaction Characteristics of HDPE, PP and PS by Isothermal Pyrolysis," *J. Korean Oil Chem. Soc.*, **19**(3), 198-205 (2002).
18. Lee, B. H., Yu, H. J., and Kim, D. S., "Product Distribution Characteristics of High Impact Polystyrene Depolymerization by Pyrolysis," *Polym-Korea*, **29**(1), 64-68 (2005).