

Polyethylene-polystyrene 혼합물의 저온 열분해에 의한 액화특성

김수호 · 최홍준 · 이봉희[†]

충북대학교 공과대학 화학공학과
(2008년 8월 26일 접수 ; 2008년 12월 18일 채택)

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

Su-Ho Kim · Hong-Jun Choi · Bong-Hee Lee[†]

Department of Chemical Engineering,
Chungbuk Nat'l, Univ., Cheongju 361-763, Korea
(Received August 26, 2008 ; Accepted December 18, 2008)

ABSTRACT : To investigate the synergy effect on the pyrolysis of mixture of polyethylene(PE) and polystyrene(PS), the pyrolysis of PE, PS and the mixture of PE-PS was carried out in a batch reactor at the atmospheric pressure and 450°C. The pyrolysis time was from 20 to 80 mins. The liquid products formed during pyrolysis were classified into gas, gasoline, kerosene, gas oil and heavy oil according to the distillation temperatures based on the petroleum product quality standard of Korea Institute of Petroleum Quality. The analysis of the product oils by GC/MS showed that the new components produced by mixing were not detected. The synergy effect according to mixing of PE and PS did not also appear. The conversion and yield of mixtures were in proportion to the mixing ratio of sample.

Keywords : polyethylene, polystyrene, synergy effect, pyrolysis, yield

1. 서 론

플라스틱은 다른 소재에 비하여 화학적, 물리적 성질이 뛰어나다. 현대 산업 사회에서 차지하는 비중은 산업 활동의 증가에 따라 더욱 커지고 있다. 이로 인해 발생하는 폐 플라스틱 양은 2002년도 343만톤에서 2004년 377만톤으로, 2010년에는 약 800만톤으로 증가하여 심각

한 사회, 환경문제가 예상되고 있다. 폐플라스틱 중 극히 일부 품목은 안전상의 이유 등으로 저장되는 경우는 있지만 우리가 재활용품으로 관심을 갖는 품목은 재생되거나 소각 또는 방치를 포함한 매립으로 최종 처분된다. 그러나 이들 플라스틱을 소각하여 처리하는 경우 대기 오염을 유발하게 되어 방지 시설을 위한 투자비가 커지게 되며, 플라스틱은 발열량이 높아 소각로 내벽의 단열재를 열화 시키는 등의 문제를 일으킨다.

또한 폐플라스틱을 매립하는 경우에는 폐기

[†] 주저자 (e-mail : bhlee@chungbuk.ac.kr)

물에 포함되어 있는 각종 유해 물질이 토양에 잔류하거나 지하수 및 지표수를 오염시키는 등의 환경오염문제를 야기 시킨다. 특히 폐플라스틱은 부패되지 않으므로 안전한 지반 형성을 방해하여 토지의 이용 효율성을 저하시키게 된다. 따라서 국가 정책적으로 폐플라스틱의 매립은 금지하고 있고 EPR(Extended Producer Responsibility)제도 도입에 의해 폐플라스틱의 재활용을 적극적으로 추진하고 있다. 이에 따라 폐플라스틱의 재활용 기술개발을 위한 다양한 연구와 노력이 진행 중이다. 특히 소각, 매립기술에서 문제가 되고 있는 다이옥신과 같은 유해물질이 발생되지 않고 고부가가치의 오일을 생산할 수 있는 열분해 기술은 환경친화적 기술로써 주목받고 있다[1].

폐플라스틱 열분해 공정은 폐플라스틱을 산소가 없거나 희박한 상태에서 고온으로 가열하는 방법이며 열분해 물질은 액상, 고상, 기상으로 나누어진다[2,3].

액상은 오일, 방향족 물질 등이 주종을 이루고, 기체로는 $C_1 \sim C_4$, H_2 , H_2O , CO , CO_2 등이 발생한다[4]. 그러나 생성되는 고상, 기상, 액상의 양이나 그 조성은 플라스틱 종류, 열분해 온도, 열분해 시간, 가열속도, 수분함량 등의 변수에 따라 달라진다[5].

Lattimer[6], Paabo[7] 및 Balzso[8] 등은 PE는 일반적으로 radical chain mechanism 열분해 경로 등을 따른다고 하였으며, Ranzi[9] 등도 PE의 열분해를 initiation, H-abstraction, B-scission, radical recombination을 포함하는 radical chain mechanism 으로 해석하였다. 또한 McNeill[10] 역시 PE, PP의 열분해는 free radical mechanism 이라고 주장하였고 염지조를 이용하여 열분해 반응을 진행하였다.

기존의 연구결과를 좀더 구체적으로 살펴보면 Encinar[11] 등은 PE 및 PS 등의 열분해시 heating rate(K/min)가 가스, 오일 및 찌꺼기(char)의 생성 수율에 미치는 영향을 연구하였으며, Brebu[12] 등은 PE, PS 및 PP 등에 PVC를 혼합하여 450 °C에서 등온 열분해시 가스, 왁스분 및 잔류탄소량을 조사하여 보고하였다. Phae[13] 등은 PE를 430 °C의 batch반응기를 사용하여 열분해시킨 결과 8.5 wt.%의 가스성분이 발생함을 발표하였다. 그리고 Kaminsky[14]는 PE를 760 °C의

유동층반응기를 이용하여 열분해 시켜 55.8 wt.%의 가스성분이 생성 된다고 보고하였고 PP는 열분해 결과 35 wt.%의 propylene이 생성됨을 확인하였다.

위의 연구결과들을 토대로 현재 독일의 BASF 공정과 일본의 Fuji recycle로 대표되는 많은 열분해 유화공정기술들이 개발되고 있다. 대부분 플랜트 건설비용과 운전비용의 과다로 경제성이 낮고, 폐플라스틱 수거에 대한 제도적 장치가 미비한 문제 등으로 인해 그 성과는 미미한 상태이다. 또한 혼합 폐플라스틱의 특성상 상이한 물리화학적 성질을 가진 플라스틱이 혼합되어 있기 때문에 각종 플라스틱의 열분해 특성과 이에 따른 생성물의 특성을 파악해야 하는 기술적 문제도 있다.

현재까지 플라스틱 열분해 공정에 대한 연구의 대부분은 반응기의 열분해 온도를 상온에서부터 시작하여 서서히 목표온도까지 도달하게 하는 공정이고, 초기 반응기내의 공기를 정화가스로 배출시킨 후 실험을 진행한 것이 일반적이다. 그러나 연속식 액화설비 관점에서 생각해 볼 때 열분해 공정은 반응처음부터 목표온도에서 조업이 진행되며, 초기 반응기내의 공기를 그대로 내버려 두는 것이 현실이다.

따라서 본 연구에서는 플라스틱 유화공정의 기초단계로서 미소 batch형 반응기를 이용하여 플라스틱 제조 원료로 광범위하게 사용되고 있는 PE 및 PS의 단일시료와 여러 종류의 플라스틱이 섞여있는 혼합폐플라스틱의 특성을 고찰하기 위하여 PE-PS 혼합 시료를 액화 연속설비의 조건에 맞추어 목표온도(450 °C)를 고정 한 후, 등온과정에서 열분해시켜 그 분해 생성물의 변화를 조사하고자 하였다.

그 결과로부터 단일 PE와 PS 수지와 PE-PS 혼합 수지의 열분해 생성물의 전환율 및 오일, 가스 생성물의 수율 변화를 측정하여 비교분석함으로써 혼합에 따른 시너지 효과를 알아보고자 하였다.

생성된 오일의 분석은 한국석유품질관리원 석유제품 품질기준(산업자원부고시 제 2001-149호)에 따라 가솔린, 등유 경유, 중유로 분류하여 분해생성물의 특성에 대한 자료를 제공하고자 하였고 또한 가스크로마토그래피법을 이용하여 열분해 생성오일의 성분변화를 분석하였다.

2. 실험

2.1. 시료

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

2.2. 실험 장치

본 실험에 사용된 실험장치는 Fig. 1에 도시한 바와 같이 염저조, 수조, 진동기 및 응축기 등으로 구성되어 있다.

염저조는 S.S. 316 재질로 직경 400 mm, 높이 400 mm의 용량으로 외부에 25.4 mm 두께의 단열재를 사용하여 열 손실을 방지하였고, 내부 온도 조절을 위한 제어기를 부착하였다.

응축기는 pyrex재질의 시험관 2개를 이용하여 첫 번째 응축기에는 약 30~35 °C의 물을 순환시키고, 두 번째 응축기는 냉각기를 설치하여 10 °C이하의 물을 순환시켰다. 실제 두 번째 응축기에서 응축되는 휘발분의 양은 아주 적었으며 본 연구결과는 오일회수 첫 번째 응축기의 응축량을 기초로 한 것이다. 또한 미소반응기와 응축기 사이의 관 내부의 응축을 막기 위해 관 외부에 열선을 설치하였다.

진동기는 1마력의 직류모터에 속도 조절계를 부착하여 0~3600 rpm까지 조절할 수 있도록 하였다. 실험 시 미소반응기의 상하진폭은 12 mm, 좌우진폭은 10 mm정도가 되었다. 열분해 반응 시 진동기는 시료 상호간의 균일한 열전달과 반응기 내부의 온도 구배를 최소화하기 위해 실험이 종료될 때까지 1500 rpm의 속도로 일정하게 유지하였다.

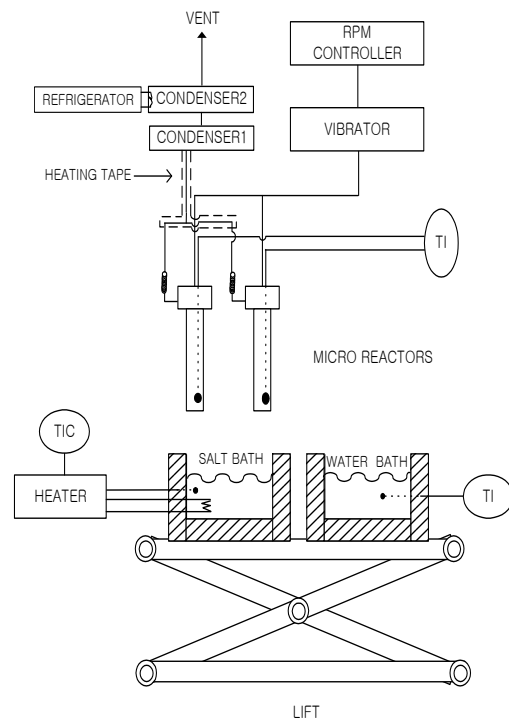


Fig. 1. Experimental apparatus for polyethylene pyrolysis.

미분반응기는 S.S. 316재질로 제작하였으며 용적은 각각 30 ml이고 내부온도를 측정하기 위하여 외경 3 mm의 K type 열전대를 설치하였다. 미분반응기의 상세한 제원을 Fig. 2에 나타내었다.

사용된 염은 KNO_3 55.8 wt.%와 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 44.2 wt.%의 비율로 제조한 혼합 용융염이다. 염 제조 시 130~150 °C의 온도에서 결정수의 방출로 기포 발생이 매우 심하여 용융염이 흘러넘치는 등의 안전사고의 위험이 있으므로 초기 가열시 세심한 주의가 요구된다. 따라서 용

Table 1. Specification of Samples

	LDPE	PS
manufacturing company	Hanwha L&C Corp. MB9205	LG Chem. Ltd. HIPS50IS
diameter	3.8~4.0 mm	2.7~2.8 mm
weight	37~42 mg	19~21 mg
applications	various packagings, extrusion and injection molding materials	video tape, dairy and food products container

용염은 KNO_3 와 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 혼합물을 염저조에 소량씩 첨가하여 기포를 충분히 발생시킨 후 다시 첨가하는 방식으로 제조하였다.

2.3. 실험 방법

먼저 각 시료들의 열분해 특성을 해석하기 위해 반응온도 450 °C, 반응시간을 각각 20, 40, 60, 80 분으로 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 염저조의 온도를 반응온도까지 미리 가열시킨 후 시료 10 g을 미분반응기에 넣고 뚜껑을 잠근 다음, 거치대에 고정시키고 진동기를 1500 rpm으로 작동시킨 후 미분반응기를 염저조에 담고 목표시간동안 반응을 진행시킨다. 이때 초기 염저조의 온도는 반응온도 보다 3 °C정도 높게 하여 미분 반응기의 가열로 인해 빼앗긴 열을 충당하도록 하며 반응이 완료될 때까지 실험온도를 일정하게 유지하도록 한다.

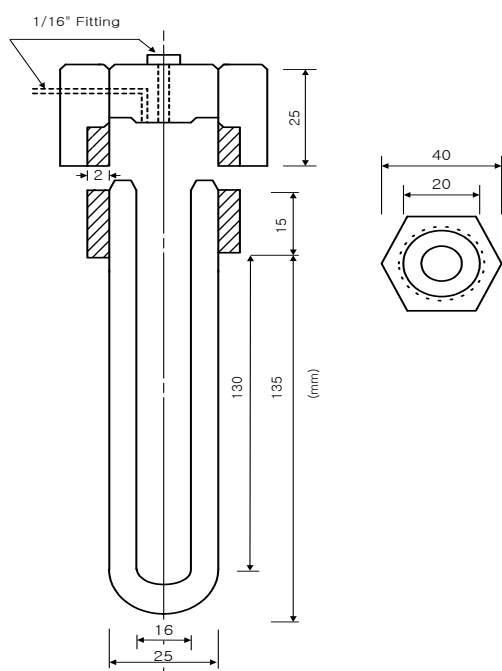


Fig. 2. Micro reactor for polyethylene pyrolysis.

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

열분해 완료 후 생성된 액체성분의 증류 특성을 확인하기 위해 175, 265, 360 °C의 염저조를 순서대로 배열하고, 생성된 액체성분이 들어 있는 시험관을 먼저 온도가 175 °C인 염저조에 20 분간 증류시킨 후 무게를 측정한다. 그리고 265, 360 °C의 염저조에서도 시험관을 차례대로 각각 20 분씩 증류시킨 후 꺼내어 무게를 측정한다. 초기 생성물이 들어 있는 시험관 무게에서 각 단계별 측정된 무게를 순차적으로 빼내어 감량된 무게를 기록한다.

2.4. 분석 방법

본 연구에서는 분해 생성 오일의 특성을 파악하기 위해 한국석유품질관리원 석유제품 품질기준(산업자원부고시 제2001-149호)에 고시한 증류온도에 따라 분류하였고 자세한 기준은 Table 2에 요약하였다.

또한 생성 오일들을 가스크로마토그래피법을 이용하여 정성분석하였다. GC/MS(HP 5890 II)의 설정조건은 Table 3에 요약하였다.

Table 2. Classification Method of Oil

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. Operation Condition of GC/MS

Part Name	Condition
Model name	HP-5972 A
Colum	HP-5 (30m * 32 μ m * 0.25 μ m)
Carrier gas	N ₂
Oven temperature	60(5)°C - 10°C/min - 250(5)°C
injection volumn	1 μ l

3. 결과 및 고찰

3.1. PE, PS 및 PE-PS 혼합물의 열분해 특성

PE-PS 혼합물의 열분해 시 혼합에 따른 열분해 특성을 규명하기 위해 450 °C에서 반응시간을 20, 40, 60, 80 분으로 각 시료들을 등온열분해하여 전환율 및 생성물의 수율 변화를 비교·분석하였다.

3.1.1. PE, PS 및 PE-PS 혼합물의 전환율

Fig. 3은 각 시료들의 450 °C에서 열분해할 때 전환율과 반응시간과의 관계를 나타낸 것이다. 20 분 동안 열분해를 진행한 결과, 단일 PE, PS의 전환율은 각각 23 wt.%, 90 wt.%이었고, PE 대 PS의 혼합비가 25:75인 경우 73 wt.%, 50:50인 경우 56 wt.%, 75:25인 경우 41 wt.%를 보였다. Fig. 3에서 볼 수 있듯 혼합에 따른 시너지 효과는 나타나지 않았다. 40 분 동안 열분해를 진행한 결과, 단일 PE, PS의 전환율은 각각 57 wt.%, 90 wt.%이었고 혼합비를 25:75, 50:50, 75:25로 변화시킴에 따라 전환율은 각각 84 wt.%, 72 wt.%, 67 wt.%를 보였다. 열분해 시간을 60 분으로 하였을 때 전환율은 단일 PE, PS의 경우 77 wt.%, 92 wt.%를 보였고 혼합비를 25:75, 50:50, 75:25로 변화시킴에 따라 전환율은 각각 86 wt.%, 86 wt.%, 83 wt.%를 보였다. 열분해 시간을 80 분으로 하였을 때의 전환율은 60 분의 값과 거의 오차범위(2 wt.%) 내로 일정한 것으로 보아 60 분 이후에는 열분해가 종료됨을 추산할 수 있다. 또한 혼합에 따른 전환율을 비교해 본 결과 혼합에 따른 시너지 효과는 나타나지 않는 것을 볼 수 있다.

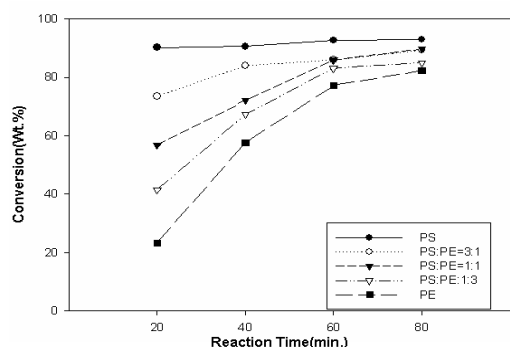


Fig. 3. Conversions with time during the pyrolysis of PE-PS mixtures.

3.1.2. PE, PS 및 PE-PS 혼합물의 열분해 특성 및 오일 수율

생성 오일의 혼합에 따른 성분 변화를 알아 보기 위하여 PE, PS 및 PE-PS 혼합물에 대한 GC/MS분석을 수행하였으며 PE, PS 및 PE-PS 혼합물에 대한 분석결과를 각각 Fig. 4, Fig. 5 및 Fig. 6에 각각 나타내었고 주요 생성 성분을 Table 4에 정리하였다. PE로부터 생성된 오일의 주성분은 1-decene, dodecane, tridecane, octadecane등 주로 알칸 계열의 지방족 탄화수소화합물이고, PS의 경우 styrene 단량체의 분율이 가장 높았으며 benzene, ethylbenzene, styrene등과 같은 방향족 화합물이 주 생성물이었다. Fig. 6과 Table 4에 나타난 PE-PS 혼합물에 대한 결과는 PE대 PS의 혼합비를 50:50으로 하였을 때의 결과로서 새로 생성된 성분은 나타나지 않았다.

Fig. 7은 각 시료들에 대한 가스수율을 나타내었다. Fig. 7에서 볼 수 있듯이 반응시간에 따른 가스수율 변화는 거의 없는 것으로 나타나고 있는데 이로부터 가스는 주로 반응초기에 생성됨을 알 수 있다. 혼합에 따른 수율의 영향을 살펴보면 먼저 단일 PE, PS의 경우 각각 10 wt.%, 2 wt.%에서 오차범위(± 0.5 wt.%)내로 일정하였으며, 이는 Yu[15] 및 Lee[16]의 연구결과와도 잘 일치하는 것으로 나타났다. 혼합에 따른 가스 수율의 영향을 살펴보면 PE 대 PS의 혼합비가 25:75, 50:50, 75:25로 변화함에 따라 각각 3.5 wt.%, 5.8 wt.%, 8.4 wt.%로 나타났다. Fig. 7에서 보는 바와 같이 혼합에 따른 영향은 거의 없었고 단일성분의 함량에 따라 가스발생량이 결정됨을 알 수 있다.

Fig. 8과 Fig. 9는 반응시간에 따른 가솔린과 등유의 수율을 나타내었다. 먼저 가솔린 수율에 대하여 살펴보면 단일 PE의 경우 11 wt.%(± 3 wt.%)를 보였고 PS는 55 wt.%(± 3)이었고 시간에 따른 영향은 크게 나타나지 않았다. 혼합에 따른 영향을 살펴보면 PE 대 PS의 혼합비가 25:75, 50:50, 75:25로 변화함에 따라 수율은 44 wt.%, 33 wt.%, 23 wt.%로 나타났다. Fig. 8에서 볼 수 있듯이 혼합에 따른 가솔린 수율의 영향은 없는 것으로 나타난다. 다음으로 등유의 수율을 살펴보면 단일 PE, PS의 경우 열분해 시간이 20 분일 때 각각 10 wt.%, 8.1 wt.%이고 40 분일 때 12.2 wt.%, 12.7 wt.% 60 분 이후 17.3 wt.%, 14.4 wt.%로 나타났다. 혼합에 따른

수율의 변화를 살펴보면 PE대 PP 혼합비가 25:75 이고 반응시간이 20분일 경우 8.7wt.%, 40 분일 경우 12.3 wt.% 60 분 이후 15.6 wt.% 로 혼합에 따른 영향은 거의 없는(± 0.5 wt.%) 것으로 나타났다. PE 대 PS의 혼합비가 50:50, 75:25인 경우도 시간에 따른 수율변화와 혼합에 의한 수율변화만 있는 것으로 나타나고 있다.

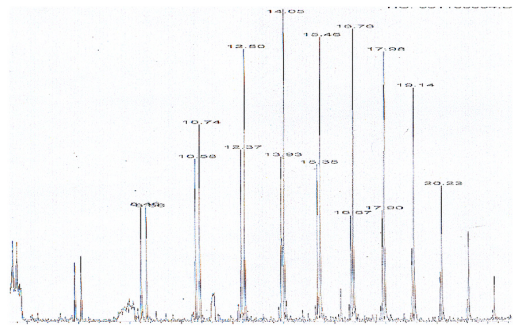


Fig. 4. GC spectrums of pyrolysis oil for PE.

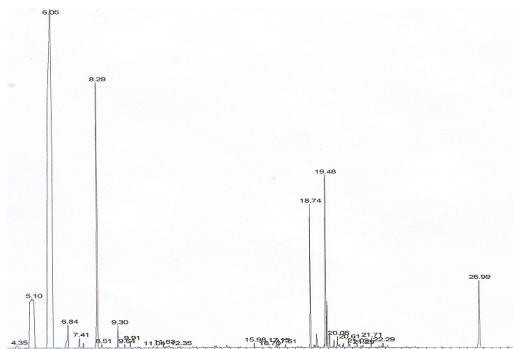


Fig. 5. GC spectrums of pyrolysis oil for PS.

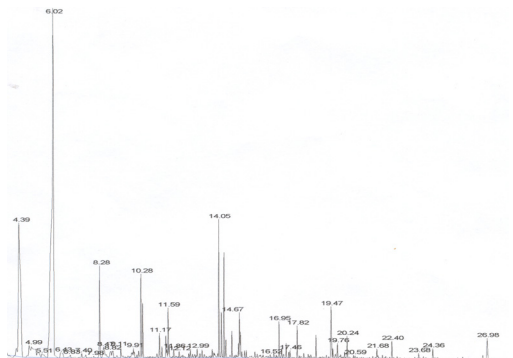


Fig. 6. GC spectrums of pyrolysis oil for PE:PS = 1:1.

Table 4. Main Components of Pyrolysis Oil for PE, PS, PE-PS from GC/MS

Components	PE	PS	PE-PS
1-Decene	⊙		⊙
1-Undecanol	⊙		⊙
Dodecane	⊙		⊙
Octadecane	⊙		⊙
Styrene		⊙	⊙
Benzene		⊙	⊙
Ethylbenzene		⊙	⊙
Heptane	⊙		⊙
Tridecane	⊙		⊙
1-Tetradecanol	⊙		⊙
Heptadecane	⊙		⊙

⊙:Detected

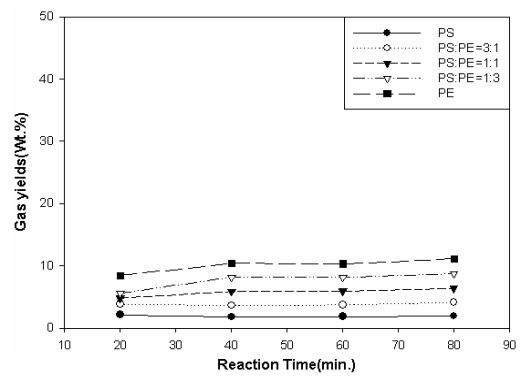


Fig. 7. Gas yields with time for the pyrolysis of PE-PS mixtures.

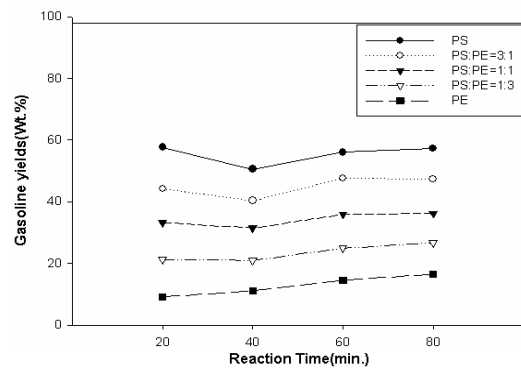


Fig. 8. Gasoline yields with time for the pyrolysis of PE-PS mixtures.

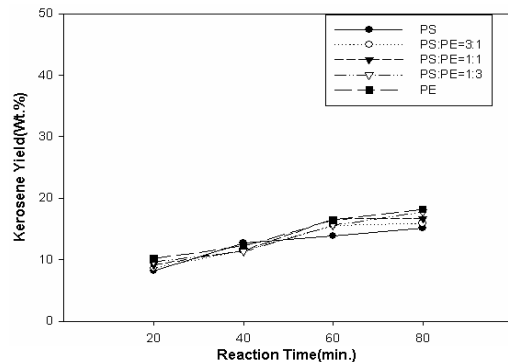


Fig. 9. Kerosene yields with time for the pyrolysis of PE-PS mixtures.

Fig. 10과 Fig. 11은 경유와 중유의 수율을 나타낸 것이다. 먼저 경유 수율에 대하여 살펴보면 단일 PE는 열분해 시간이 20분인 경우 7.2 wt.%, 40 분일 때 17.8 wt.%, 60 분은 23.2 wt.%, 80 분 27.5 wt.%로 증가하는 경향을 보이고 있으며 PS의 경우 8.8 wt.%(± 0.5 wt.%)로 시간에 따른 영향은 크게 나타나지 않았다. 다음으로 혼합에 따른 영향을 살펴보면 PE 대 PS의 혼합비가 25:75인 경우 시간이 20, 40, 60, 80 분으로 증가함에 따라 각각 8.7 wt.%, 10.9 wt.%, 13.6 wt.%, 21.1 wt.%로 나타났고 50:50인 경우 시간에 따라 각각 7.9 wt.%, 14.3 wt.%, 15.8 wt.%, 21.4 wt.%로 75:25인 경우 8.14 wt.%, 13.2 wt.%, 15.5 wt.%, 19.5 wt.%로 나타났다. Fig. 10에서 볼 수 있듯이 혼합에 따른 경유 수율의 영향은 없는 것으로 나타난다. 다음으로 중유의 수율을 살펴보면 먼저 단일 PE의 경우 열분해 시간이 20, 40, 60, 80 분으로 증가함에 따라 5.1 wt.%, 9.3 wt.%, 19.2 wt.%, 19.1 wt.%로 나타났고 단일 PS의 경우 중유수율은 시간에 관계없이 12.5 wt.%(± 0.5 wt.%)로 일정하게 나타났다. 혼합에 따른 수율의 변화를 살펴보면 PE 대 PS 혼합비가 25:75이고 반응시간이 20 분일 경우 11.4 wt.%, 40분일 경우 11.1 wt.%, 60 분 이후 15.1 wt.%로 나타났고 혼합에 따른 영향은 거의 없었다. PE 대 PS의 혼합비가 50:50, 75:25인 경우도 시간에 따른 수율변화만 있을 뿐 혼합에 따른 특이한 영향은 보이지 않았다.

PE-PS의 혼합에 의한 가스, 가솔린, 등유, 경유 및 중유 수율 변화를 종합적으로 고찰하여 볼 때, 각각의 수율 증감은 PE와 PS 혼합비의

증감에 대체적으로 비례하는 것으로 나타나고 있으며 이는 혼합에 의한 새로운 물질의 생성이 없음을 의미하는 것으로 볼 수 있다. 이와 같이 혼합에 의한 효과가 거의 나타나지 않는 이유는 Table 4에서 보는 바와 같이 순수한 PE나 PS가 열분해 할 경우 비교적 안정된 열분해물질을 생성하며, PE-PS 혼합물의 열분해 경우에도 순수한 PE와 PS의 열분해시와 거의 유사한 물질을 생성함으로써 이들 생성물질들간에 재결합등의 반응이 유발되지 않는 데서 기인된다고 볼 수 있다.

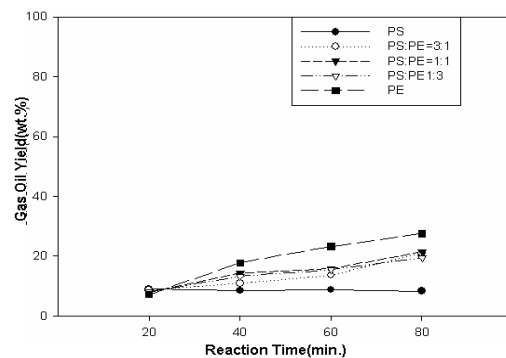


Fig. 10. Gas oil yields with time for the pyrolysis of PE-PS mixtures.

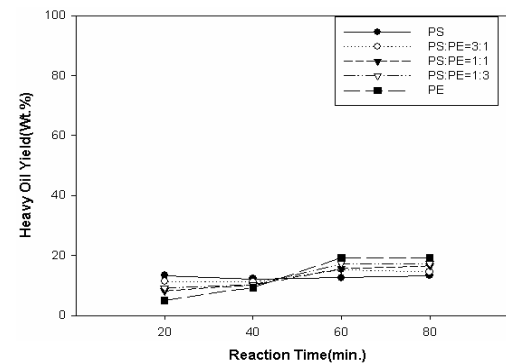


Fig. 11. Heavy oil yields with time for the pyrolysis of PE-PS mixtures.

4. 결론

본 연구는 PE와 PS를 단일 물질과 PE대 PS를 25:75, 50:50, 75:25로 혼합하여 실험 시작부터 목표온도인 450 °C로 급격히 열분해시켜 반

응시간과 혼합비에 따른 전환율과 생성물들의 수율 변화를 분석하고, 생성된 액체성분을 한국 석유품질관리원에서 고시한 증류성상온도에 따라 분류하였다. 또한 GC/MS로 주요 생성성분을 분석한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

PE-PS 혼합물의 경우, 전환율 및 가스, 가솔린, 등유, 경유, 중유의 수율은 혼합에 따른 영향은 없었고 단일시료의 전환율과 수율에 비례하여 혼합물의 전환율과 수율이 결정되는 것으로 나타났다. 단 열분해 시간이 60 분 이상 진행되는 경우 열분해가 종료되어 거의 일정한 값을 가진다.

생성오일의 주요 성분을 분석한 결과 PE주성분은 1-decene, dodecane, tridecane, octadecane 등 주로 알칸 계열의 지방족 탄화수소화합물이었고, PS의 경우 styrene 단량체의 분율이 가장 높았으며 benzene, ethylbenzene, styrene 등과 같은 방향족화합물이었다. 혼합비에 따라 생성성분의 양이 달라질 뿐 새로 발견된 성분이나 생성된 성분은 없었다.

감사의 글

이 논문은 2007년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비 지원에 의하여 연구되었음 (This work was supported by research grant of the Chungbuk National University in 2007).

참고문헌

1. M. V. S. Murty, E. A. Grulke, and D. Bhattacharyya, Influence of metallic additives on thermal degradation and liquefaction of high density polyethylene (HDPE), *Polym. Degrad. Stabil.*, **61**, 421 (1998).
2. J. A. Conesa, R. Font, A. Marcilla, and A. N. Garcia, Pyrolysis of polyethylene in a fluidized bed reactor, *Energy & Fuels*, **4**, 407 (1994).
3. J. A. Conesa, R. Font, and A. Marcilla, Comparison between the pyrolysis of two types of polyethylenes in a fluidized bed reactor, *Energy & Fuels*, **11**, 126 (1997).
4. Y. Sugimura and S. Tsuge, Pyrolysis-hydrogenation glass capillary gas chromatographic characterization of polyethylenes and ethylene α -olefin copolymers, *Macromolecules*, **12**, 512 (1979).
5. D. S. Scott, S. R. Czernik, J. Piskorz, and A. G. Radlein, Fast pyrolysis of plastic wastes, *Energy & Fuels*, **4**, 407 (1990).
6. P. R. Lattimer, Pyrolysis field ionization mass spectrometry of polyolefins, *J. Anal. Appl. Pyrolysis.*, **31**, 203 (1995).
7. M. Paabo and B. C. Levin, A literature review of the chemical nature and toxicity of the decomposition products of polyethylenes, *Fire Mater.*, **11**, 55 (1987).
8. M. Blazso, Polyaromatization in common synthetic polymers at elevated temperatures, *J. Anal. Appl. Pyrolysis.*, **25**, 25 (1993).
9. E. Ranzi and M. Dente, "Pyrolysis Theory and Industrial Practice", Academic Press, San Diego, 183 (1983).
10. I. C. McNeill, "Thermal Degradation", Pergamon Press, 55, Oxford (1989).
11. J. M. Encinar and J. F. Gonzalez, Pyrolysis of synthetic polymers and plastic wastes. Kinetic study, *Fuel Process. Technol.*, **89**, 678 (2008).
12. M. Brebu, T. Bhaskar, K. Murai, A. Muto, Y. Sakata, and M. A. Uddin, The effect of PVC and/or PET on thermal degradation of polymer mixtures containing brominated ABS, *Fuel*, **83**, 2021 (2004).
13. C. G. Phae, Y. S. Kim and C. H. Jo, Assessment of practical use of recycling oil from the pyrolysis of mixed waste plastics, *J. Kor. Soc. Energy. Eng.*, **14(2)**, 159 (2005).
14. Kaminsky, New polymers by homogeneous zirconocene/aluminoxane catalysts, *Makromol. Chem., Makromol. Symp.*, **48**, 381 (1991).
15. H. J. Yu, S. Y. Park and B. H. Lee, Liquefaction characteristics of HDPE, PP and PS by isothermal pyrolysis, *J. Kor. Oil Chem. Soc.*, **19(3)**, 198 (2002).
16. B. H. Lee, H. J. Yu and D. S. Kim, Product distribution characteristics of high impact Polystyrene depolymerization by pyrolysis, *Polym.(Korea)*, **29(1)**, 64 (2005).