

## 용융된 혼합플라스틱의 점도특성

○김상국, 이경환, 신대현  
한국에너지기술연구원 에너지환경연구부

### I. 서론

국내 산업이 발달함에 따라 플라스틱 사용량이 증가하여 국민 1인당 연간 소비량이 약 70kg에 달하는 것으로 추산되며 이에 따라 발생하는 폐플라스틱량도 꾸준히 증가하는 추세이다. 1999년도 기준으로 발생한 폐플라스틱량은 LDPE 506천톤, HDPE 779천톤, PVC 426천톤, PP 815천톤, ABS 78천톤, 그리고 PS 302천톤으로 추산된다. 폐플라스틱의 재활용 방법중 원료로의 재활용이 가장 바람직 하지만 이는 단일 성분으로 분리가 가능하고 오염되지 않아야 하며 물성저하가 기준값 이내로 제한되기 때문에 실제로는 물질재활용이 어려운 고분자 폐기물이 대부분이다. 열분해기술은 열분해 산물인 오일을 연소설비에서 연료로 사용하거나 또는 일부 물질을 석유화학 원료로 사용이 가능하기 때문에 혼합폐플라스틱의 재활용 방법으로 열분해기술이 주목을 받고 있다. 열분해장치는 각 개발사에 따라 장치의 특징이 다르지만 일반적으로 파쇄플라스틱 공급장치, 용융조, 열분해조, 생성유회수장치, 염산가스를 비롯한 발생가스 처리설비로 구성된다. 다수의 열분해공정에서 생성유회수탑 하부로부터 배출된 heavy한 오일을 용융조로 순환시켜 feeder에서 공급된 플라스틱과 혼합시키므로 혼합플라스틱의 점도특성은 열분해 플랜트 설계시 중요한 인자가된다.

### II 실험 재료 및 방법

용융된 혼합플라스틱의 점도를 측정하기 위한 실험재료로 RDF원료로 자원재생공사에서 가져온 혼합플라스틱(PET)과 재생 LDPE, PP를 대상으로 하였다. 점도 측정장치는 반응기 점도계 그리고 온도제어기로 구성되며 장치 사진은 Fig. 1과 같다. 반응기는 원통형으로 재질은 SUS이며 깊이가 105mm이고 직경이 80mm이며 외부에는 전기히터가 부착되어있다. Fig.1에서 보는바와 같이 반응기가 중앙에 위치하고 좌우에는 각각 점도계와 교반기가 위치하며 각각 축을 중심으로 90도 회전할 수 있고 상하로 움직일 수 있게 제작하여 플라스틱 용융시에는 교반기를 내려 교반하고 온도가 setting값에 도달하면 교반기를 올려 원위치에 놓고 점도계를 내려 점도를 측정할 수 있도록 하였다. 실험중 반응기 상부를 질소로 purging하도록 하였으며 반응기 자체를 그림에서 보는 바와 같이 후드에 넣어 냄새를 외부로 배출시켰다. 점도계는 Brookfield RVDV-I 을 사용하였으며 측정범위는 최소 100cP에서 최대 1,300,000cP이다. RV spindle set는 7종으로 점도에 따라 선택하여 사용한다. 반응기내

[연락처] (우) 305-343 대전광역시 유성구 장동 71-2 한국에너지기술연구소 폐기물연구팀  
Tel : 042-860-3632, Fax : 042-860-3134, E-mail : sgkim@kier.re.kr

에 K-type 열전대를 설치하고 이를 PID 제어기에 연결하여 히터를 제어함으로써 반응기 온도를 조절하였다. 용융된 플라스틱과 폐유의 혼합물은 점도가 비교적 높기 때문에 교반을 하여도 반응기내에서 균일상을 형성하기가 어려우므로 반응기내에서 위치에 따라 약간의 온도 편차가 발생한다. 반응기내 열전대는 벽으로부터 1.0cm떨어진 곳에 위치하고 있으므로 실제 온도로 반응기 중심부 온도와 산술평균 값을 취하였다. 실험항목은 일정온도에서 플라스틱과 폐유의 혼합비에 따른 점도변화, 온도변화에 따른 점도변화, 그리고 일정온도에서 시간에 따른 점도변화를 측정하였다. 편의상 폐유는 휘발유용 자동차 윤활유로 대체하여 실험하였다.



Fig.1 Picture on the viscosity measuring device

### III 실험결과 및 고찰

플라스틱과 폐유의 혼합비 변화가 점도에 미치는 영향을 조사하였으며 결과는 Fig.2와 같다. 이때 온도는 섭씨 300도로 일정하게 유지하였다. 일반적으로 플라스틱의 점도에 영향을 미치는 인자는 플라스틱 종류, solvent, 플라스틱 농도, 온도, shear rate, 그리고 같은 종류의 플라스틱일 때 분자량과 분자량분포로 알려져 있다. 그림에서 보는바와 같이 플라스틱 혼합비가 증가함에 따라 점도는 log scale로 증가하였으며 특히 LDPE의 점도는

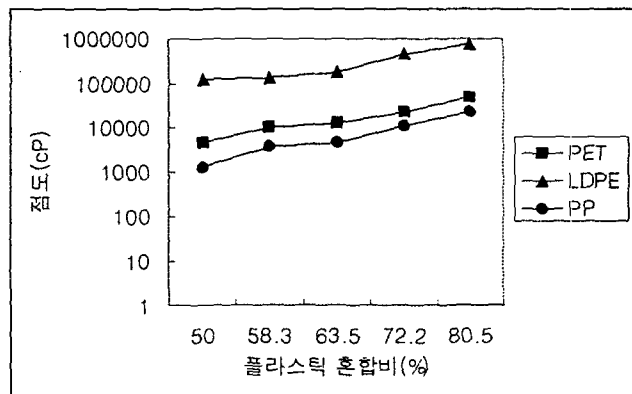


Fig.2 Viscosity as a function of mixing ratio of plastic and motor oil

PET나 PP에 비하여 10배 이상의 높은 점성을 나타내었고 PET와 PP의 점도는 큰 차이가 없었다. 용융된 플라스틱은 흐름특성으로 볼 때 Non-newtonian 유체에 속하며 shear thinning 모델을 따르고 normal stress가 존재한다. 따라서 shear rate가 증가함에 따라 점도는 감소한다. 점도측정시 Brookfield점도계의 안정된 torque범위내에서 spindle과 회전속도를 변화시키면서 넓은 범위대의 점도를 측정할 수 있었다. 플라스틱을 용융점이상으로 가열

하였을 때 온도가 플라스틱 점도에 미치는 영향은 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다고 알려져 있다.

$$\eta = B \exp\left(-\frac{E}{RT}\right)$$

여기에서  $\eta$ 는 점도, E는 활성화에너지, R은 기체상수, T는 온도, 그리고 B는 상수이며 온도가 증가하면 점도는 log scale로 감소하리라는 것을 알 수 있다. 3가지 시료(PET, LDPE, PP)에 대하여 플라스틱의 혼합비가 80.5%일 때 온도를 변화시키면서 점도를 측정하였으며 결과는 Table 1과 같다.

Table 1 Measured viscosity as a function of temperature

PET		LDPE		PP	
Temp(°C)	Viscosity(cP)	Temp(°C)	Viscosity(cP)	Temp(°C)	Viscosity(cP)
292	47,000	300	762,000	282	94,000
305	21,000	321	340,000	306	21,600
345	990	337	79,000	318	2,360
		354	14,500	329	1,000
				332	600

플라스틱 용융조벽과 용기내의 계면 사이에 온도 기울기가 존재하며 벽의 온도는 상대적으로 높으므로 벽근처에 존재하는 플라스틱은 열분해될 수 있으며 용기내에 계속 교반이 되고 있으므로 시간이 지남에 따라 용융조벽 플라스틱의 점도가 낮아질 것을 예상할 수 있다. PET, PP시료에 대하여 일정온도로 유지하면서 시간이 지남에 따라 점도의 변화를 측정하여보았다. Fig.3, Fig.4는 온도가 섭씨 300도이며 플라스틱의 혼합비가 80.5%일 때 각각 PET, PP의 점도를 시간의 함수로 나타낸 그래프이다. 그림에서 보는바와 같이 비슷한 pattern으로 시간이 지남에 따라 점도가 감소하는 것을 알 수 있다. 시간이 지남에 따라 점도가 감소하는 원인을 조사하여 보기 위하여 온도를 섭씨 300도로 가열한 다음 시간이 27분 경과한 PP샘플(1)과 PP원시료(2)를 취하여 TGA를 비교하여 보았다. Fig.5는 시간이 27분 경과한 샘플의 TGA 그래프이며 Fig.6은 원시료의 TGA 그래프이다. 동일한 PP를 대상으로 실험하였지만 그림에서 보는바와 같이 시료(1)은 온도가 200도를 조금 상회하면서 열분해가 시작되는 반면 시료(2)는 온도가 400도 가까이 승온시 열분해가 시작되는 것을 볼 수 있다. 그러므로 플라스틱을 가열시 벽면 계면에서 상당한 온도기울기가 존재하므로 용융점 이상으로 온도를 유지하면서 시간이 경과함에 따라 낮은 온도에서 열분해가 되기 시작하는 물질이 차지하는 비율이 높아지므로 결과적으로 점도가 낮아지는 것을 알 수 있다.

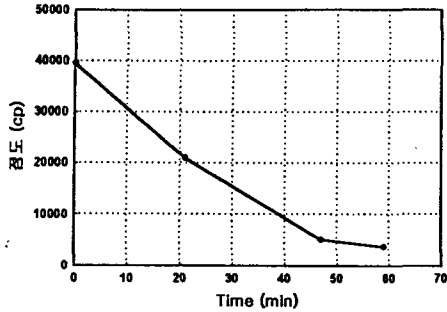


Fig.3 Measured viscosity(PET) as a function of time

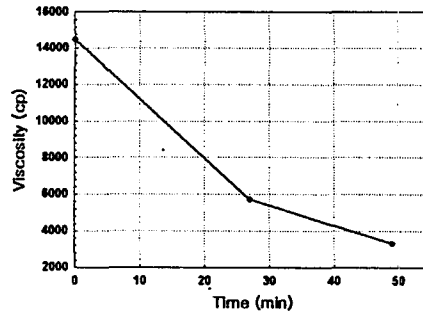


Fig. 4 Measured viscosity(PP) as a function of time

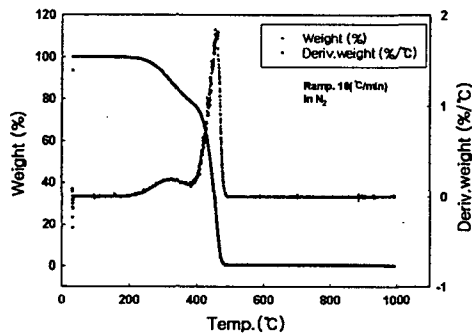


Fig.5 TGA graph on PP  
(Time = 27min)

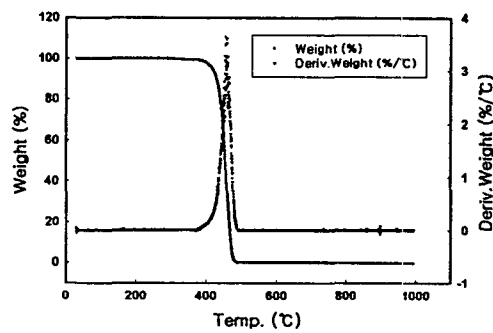


Fig.6 TGA graph on PP  
(PP : raw material)

#### IV 결론

플라스틱의 열분해 공정설계시 중요한 설계인자가 되는 용융된 플라스틱의 점도특성에 대하여 조사하여 보았으며 다음과 같은 결론을 유도하였다.

- 1) 플라스틱과 오일의 혼합물중 플라스틱의 혼합비가 증가함에 따라 점도가 log scale로 증가하였으며 특히 LDPE의 점도가 PET(RDF원료로 사용된 혼합플라스틱)나 PP에 비하여 높았다.
- 2) 온도가 증가함에 따라 플라스틱 오일 혼합물의 점도가 급격히 감소함을 보였다.
- 3) 시간이 경과함에 따라 용융된 플라스틱의 점도가 감소하였는데 이는 용기의 계면에 존재하는 온도기울기로 인하여 용기벽 근처에서 플라스틱이 열분해되어 light한 물질이 차지하는 비율이 증가되는 것에 기인하는 것으로 사료된다.