

소규모 로터리 킬른형 폐플라스틱 유화 상용 장치 개발 현황

***이 경환¹⁾, 유 덕명²⁾

Development of Small Scale Commercial Plant of Rotary Kiln Type for Pyrolysis of Waste Plastic

***Kyong-Hwan Lee, Teh Ming Liu

Key words : Plant development, Pyrolysis, Waste plastic, Rotary kiln reactor type

Abstract : 본 논문은 정부의 연구 지원에 의해 참여기업인 (주)동명알피에프에 설치되고 있는 상용인 반연속식 로터리 킬른형 유화 장치 개발 현황에 대해 논하고자 한다. 본 공정의 특징은 지자체에서 수거된 EPR 종말품을 대상 원료로 하였고, 2기의 병렬로 설치된 킬른형 반응기를 사용하여 주기적 처리에 의해 효율적인 동시에, 처리량을 크게 향상시켰다. 이 반응 시스템은 용융 및 열분해가 동시에 이루어짐에 따라 공정은 단순하지만 생성 오일의 질이 저하되어 후단에 오일 고급화 공정과 정제 공정이 설치되어 최종 제품의 질을 향상시켰다. 이에 대한 전반적인 현황과 공정 기술에 대해 언급되었다.

subscrip

EPR :extended producer responsibility

1. 서론

버려진 폐플라스틱은 탄화수소로 구성된 석유 물질을 가지고 제조된 제품을 사용 후 폐기된 물질로, 역으로 유용한 대체 오일로 전환에 의한 재활용은 재생유 생산 증대에 따른 경제적인 과급 효과와 유기성 폐기물의 처리에 따른 환경오염의 억제효과를 가져오는 바람직한 방안이다. 재활용 방법 중 바람직한 방법인 동시에 쉽게 접근할 수 있는 물질 재활용 방법은 단일 성분으로의 분리가 가능하고, 오염되지 않아야 하며, 물성변화가 적어야 하는 조건에 의해 상대적으로 일부 품목을 제외하고는 물질재활용의 어려움이 있어 많은 고분자 폐기물은 다른 활용 방안이 요구된다.

폐플라스틱류의 처리 방법은 많은 부분이 매립과 소각 처리되지만 최근에 매립이 금지되고 소각처리 또한 환경오염물질의 발생에 의해 민원을 발생시키고 있다. 이에 반해, 열분해 기술은 대상 물질이 오일화 가능한 혼합된 폐플라스틱이기 때문에 적용 범위가 넓고 각종 품목으로 분리가 필요 없는 경제적인 방법이며 생산 제품 또한 기존 연소설비의 연료로 사용하거나 석유 화학원료로 사용할 수 있어 좋은 대안이 되고 있다⁽¹⁾.

고분자 폐기물의 열분해 기술은 독일, 일본 등에서 이미 상업적 규모까지 개발이 완료되었고, 국내에도 몇 개의 중소기업에서 자체기술 또는 도입기술을 상업화하려는 노력을 하고 있지만 기술력 부족과 열악한 사업 환경으로 인해 어려움이 있었다. 하지만 최근 고유가와 정부의 폐기물 자원화에 대한 적극적인 지원으로 각광을 받고 있다.

따라서 국가 자원 확보 측면에서 정부의 지원을 통한 기술개발은 좋은 추진 방안이라 생각된다. 이에 따른 본 기술인 “소규모 로터리 킬른형 반응기를 이용한 폐플라스틱의 유화 상용 공정 개발 현황”은 정부의 연구사업 지원에 의해 (주)동명알피에프와 본 연구원이 주도적으로 추진하고 있다. 본 공정은 상대적으로 소규모이고 반연속식 공정이지만 대상 원료가 지자체에서 발생되는 EPR 종말품으로 부터 바로 대체 오일을 생산하는 좋은 방법이 되고 있어 이의 기술 개발 현황을 소개하고자 한다.

1) 한국에너지기술연구원, 기후변화기술연구본부
E-mail : khwanlee@kier.re.kr
Tel : (042)860-3774 Fax : (042)860-3134
2) 동명알피에프(주)
E-mail : tmliu@hanafos.com
Tel : (031)358-2548 Fax : (02)358-4031

2. 유화 공정의 기본 구성⁽²⁾

유화 공정은 기본적으로 반응물인 플라스틱에 포함된 이물질의 정도, 플라스틱의 종류(PE계통, PS계통, PP계통, PET 일부 포함, PVC가 일부 포함 등)와 생성물의 특징(가솔린, 등유+경유, 또는 두 경유 모두 등) 등을 고려하여 각 단위 공정의 배치, 구조 및 공정의 유무 등을 결정하게 된다.

공정 구성의 기본 사항은 고점성 물질을 다루는 공정이기 때문에 단순화된 공정이 유리하다. 또한 경제적인 면에서 높은 생성물 수율과 저에너지 공정도 중요하지만 가장 기본적인 연속적이고, 안정적인 운전이 선행되어야 한다. 따라서 원료의 투입부터 최종 제품이 얻어지는 전 공정의 흐름이 원활하게 진행되어야 한다.

일반적인 공정 구성은 크게 주입부, 용융공정, 반응공정, 잔사 처리공정 그리고 증류 공정으로 크게 나눌 수 있다. 주입부는 전처리된 원료의 이송이 연속적이거나 단계적일 수 있고, 또한 이송 과정에서 가열 할 수 있는 등에 의해 이송 장치의 구조가 결정된다. 용융 공정은 후단 공정의 연속성 부여와 원료 중에 포함된 PVC에서 발생하는 염화수소와 수분 제거가 주 목적이다. 용융조의 형태는 스크류형, CSTR형, 로타리 킬른형 등이 있을 수 있고, 이의 가열방식은 간접 또는 직접 가열로 구분되지만 국부 가열에 의한 코크 생성을 억제하기 위해 간접 가열 방식이 많다. 분해 반응 공정은 CSTR, 로타리 킬른, Plug Flow Reactor, CSTR과 Plug Flow Reactor의 조합형 등이 있다. 또한 촉매사용 유무에 따라 반응공정이 구분되고, 촉매분해의 경우 반응물과 촉매를 동시에 투입하여 분해하는 액상 분해반응과 열분해 후 나온 생성물을 고정층 촉매 반응기를 통과하여 고급유인 가솔린유를 주로 생산하는 기상 반응으로 구분할 수 있다. 잔사유 처리 공정은 분해 공정과 유사하지만 상대적으로 이물질 등에 의한 열약한 반응물로 공정 구조와 조건을 고려해야 한다. 증류 공정은 크게 감압과 상압 공정으로 구분되고, 생성물의 분류에 따라 공정의 복잡성이 결정되어진다. 또한 가스 생성물은 소각 또는 열원으로 재사용되어질 수 있지만 경제성을 고려하여 자체 열원으로 사용하는 것이 좋다.

열분해 유화공정에서 중요한 고려 사항은 첫 번째로 수거된 폐플라스틱의 질이 낮기 때문에 열분해 공정에 투입되기 전에 공정 특성에 따라 간단한 또는 세밀한 전처리 공정을 통해 원하는 형태로 만들어야 한다. 두 번째로 고품인 원료를 액상으로 전환하거나 수분 및 염소 제거 등을 위해 용융 공정이 필요하다. 하지만 공정 특성에 따라 용융과 다음 단계인 반응이 동시에 처리할 수 있는 공정 구성이 될 수 있다. 세 번째로 원료의 형태와 최종 제품 오일의 특성에 따라 반연속식 또는 연속식 공정 그리고 촉매 유무가 결정되는데, 저급 원료를 취급하는 경우는 펌프 사용 등 연속 운전이 장애를 가지기 때문에 반연속식 운전이 적합하고 원료가 깨끗이 원하는 형태로 되어 있어 연속 운전이 별 지장이 없다면 대용량 처리인 연속 공정이 유리

하다고 생각할 수 있다. 마지막으로 경제성을 고려하여 자동화에 의한 대용량 처리와 인건비 등의 간접 비용을 줄일 수 있는 방법이 좋지만 혹, trouble요인이 생긴다면 자동화 공정이 무의미함에 따라 반연속식 공정을 선택하고 안정적인 부분에 자동화를 추가하는 것도 고려해볼 만 하다.

세부적인 중요한 결정 사항은 유화 공정에서 가장 높은 온도가 필요한 반응기에서 국부적인 온도 상승에 의해 코크의 생성을 억제해야 한다. 이를 위해서는 균일한 가열 방법인 간접 가열이 적절하고, 또는 반응물에 많은 열전달이 필요하기 때문에 양호한 열전달을 위해 넓은 가열 면적이 필요하다. 또한 고려 사항은 다량 배출되는 잔류물을 용이하게 배출하고, 유기성 슬러지를 재처리하여 오일 수율을 높이는 동시에, 최종 잔사물의 양을 최소화, 무해화해야 한다. 그리고 열분해 생산 오일 제품은 염소 성분, 왁스 그리고 이물질 등이 포함된 저급유에 대해 환경적, 경제적인 면을 고려한 판매의 한계가 있어 품질 유지가 중요한 항목이다.

3. 본 공정 설명

본 공정은 지자체에서 발생하는 EPR 종말품을 직접, 반연속식 로터리 킬른형 반응기로 열분해하여 오일을 생산하는 공정 기술에 대해 논하고자 한다.

3.1 공정도

본 공정의 개략적인 공정 구성은 Fig. 1에 나타내고 있다. 이를 설명하면, 우선 지자체에서 분리된 혼합 형태의 EPR 종말품은 거의 톤 규모로 묶여 유화 업체에 운반되면, 업체 저장조에 저장하고 있다가 필요한 양을 자체 감용기로 원하는 형태로 감용하여 사용한다.

이를 반연속식 로터리 킬른형 반응기에 투입하여 무산소 조건에서 초기에는 자체 생산된 저급 오일을 열원으로 사용하여 가열하면서 분해 반응을 실시하고, 열분해 반응이 되면 가연성 가스가 생성되어 자체 열원으로 사용한다.

열분해유는 고급화 공정에 공급되어 생성유 중에 저분자 생성유는 다음 단계의 증류탑(현재 저장조)에 들어가 간단한 구조의 증류탑에서 원하는 생성유로 분류되고, 고비점 생성유는 다시 분해하여 저비점 생성유로 더욱 전환시키고 나머지 고비점 생성유는 자체 반응기 열원으로 사용하기 위해 저장 탱크에 보내지게 된다.

저장조에 저장된 생성유 중에 수분은 제거하고, 나머지 저비점 생성유는 질 저하로 자체 개발된 정제 공정을 거쳐 오일 품질을 향상시킨 후 최종 저장조에 저장하여 업체에 판매하게 된다.

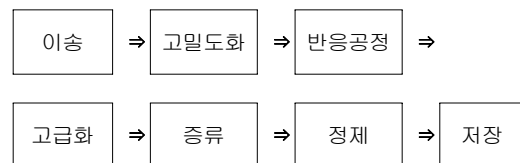


Fig. 1 Flow diagram of pyrolysis process

3.2 공정 특징

본 공정의 특징은 대상 원료가 대도시 지자체에서 수집된 EPR 종말품을 대상으로 하는 유화 공정으로, 상대적으로 전체 공정의 반 정도를 차지하는 전처리 공정이 거의 필요치 않아 투자비 및 전처리 관련 인건비, 전기 사용비 등의 부수적인 비용을 절감할 수 있다.

또한 로터리 킬른형 반응기만을 사용하여 열분해유를 생산하기 때문에 일반적 공정인 용융조와 반응조 두 가지로 분리된 공정 구성보다 간단한 구조로 저렴한 설치비 및 공정 운전이 상대적으로 편리하게 된다.

하지만 생성유는 질 저하로 저비점 생성유는 증류 또는 정제 공정에 들어가 품질 향상을 가져오지만 고비점 생성유는 재 열분해를 하거나 생성되는 양이 작으면 자체 연료로 사용하게 된다.

반응 후 남게 되는 이물질 등이 포함된 잔사물은 자동화 공정에서 배출의 어려움이 있지만 본 공정에서는 노동 강도가 높은 수동 작업으로 배출하게 되어 운전 장애를 거의 일으키지 않게 된다.

한편 본 공정은 반연속식 공정으로 자동화 공정보다 인건비 상승과 노동의 강도가 높은 단점이 있지만 자동화 공정에서 쉽게 장애요소가 되는 부분에서는 오히려 자동화 공정보다는 유연성을 가진 수동 공정이 유리하고, 다만 반연속식 공정에서도 운전 장애를 일으키지 않는 부분에서는 자동화할 필요가 있어 본 공정에도 고려하였다.

저비점 생성유의 질 향상을 위해 단순 구조의 증류탑을 설치할 계획이지만 현재에서도 열분해유의 판매를 위해 자체 개발한 정제 장치를 사용하여 정제함으로써 전문 분석기관인 석유 품질 관리원에 의뢰하여 분석한 결과 기준치 이내가 되어 산업체 등의 대체 연료유로 판매에는 어려움이 없다.

또한 열분해 과정에서 생산되는 가연성 가스는 자체 연료로 사용하기 때문에 열원인 오일 사용량을 줄일 수 있어 전체 공정의 경제성을 향상시키고 있고, 또한 잔사물은 완전 열분해 후 배출되기 때문에 폐기 처리시 지정 폐기물이 아닌 일반 폐기물임에 따라 처리비의 절감을 가져온다.

따라서 실 예로 국내 상업화에 근접한 두 유화 공정인 반 연속식 본 공정과 A사의 자동화 공정의 특징 비교 결과를 Table 1에 간단히 나타내고 있다. 본 공정은 앞에서 설명하였듯이 EPR 종말품을 반연속식, 소규모 공정으로 처리하는 단순 공정임에 반해, A사의 경우는 깨끗이 전처리된 원료를 상대적으로 복잡한 자동화 공정에 투입하는 대용량 공정인 서로 다른 시스템을 이루고 있다.

Table 1 Comparison of two pyrolysis process

구분	본 공정	A사
대상원료	EPR 종말품	전처리된 원료
반응기	로터리 킬른형	탱크/튜브 조합형
공정 구조	단순 공정	복합공정
공정 규모	소규모공정 (1,500톤/년내외)	대규모 공정 (3,000톤/년 이상)
공정 특징	반 연속식 공정	자동화 공정
장점	공정 유연성 투자비 저렴 저급원료 취급	작업강도 낮음 대용량 공정
단점	소규모 공정 작업강도 높음	전처리 비용 추가 원료 확보 어려움 공정 유연성 미흡 투자비 증대

4. 결론

최근 고유가와 환경적인 측면에서 유화 공정에 많은 관심을 가지고 있다. 유화 공정은 원료 및 최종 제품의 성상, 경제성 그리고 사업주의 투자 여건 등을 고려하여 결정하게 된다.

본 공정은 지자체에서 바로 수거된 저급 원료인 EPR 종말품을 대상으로 한 반연속식의 로터리 킬른형 반응기를 사용하였고, 규모도 자동화 공정에 비해 소규모 공정을 선택하였다. 이 로터리 킬른형 반응기는 용융 및 열분해가 동시에 이루어지는 장점이 있지만, 생성 오일의 질 저하로 후단에 오일 고급화 공정과 정제 공정이 설치되어 최종 제품의 질 향상을 갖게 하였다. 또한 처리 규모 및 운전 효율 등 경제성을 높이기 위해 두개의 반응기를 병렬 설치하여 유연한 운전을 하게 하였다.

후기

본 연구는 지식 경제부의 신재생에너지 기술 개발 사업의 일환으로 수행중인 내용입니다.

References

- [1] Kyong-Hwan Lee, 2006, Chapter 5; Thermal and Catalytic Degradation of Waste HDPE in Feedstock Recycling and Pyrolysis of Waste Plastics(Edited by J. Scheirs and W. Kaminsky), John Wiley & Sons, Ltd.
- [2] 이경환, 노남선, 신대현, 2006, “폐플라스틱의 열분해에 의한 대체 오일 생산의 신기술 개발”, J. of Korean Inst. of Resources Recycling, Vol. 15, No. 1, pp. 37-45, 2006.