

# 폐 전기·전자제품에서 발생하는 우레탄 고형연료 상용화시스템 구축방안 연구

< 한국전자제품자원순환센터 박 찬 성 >

## 1. 연구의 목적 및 필요성

### □ 연구필요성 및 배경

- 폐 전기·전자제품 중 권역별 리사이클링센터의 냉장고 재활용 과정에서 발생하는 우레탄은 과거부터 물리, 화학적인 재활용기술개발이 활발히 진행되고 있고, 건설 골재 재활용 자재, 재생폴리올 생산기술 등이 개발되고 있으나 수요가 안정적이지 않은 상황이며, 리사이클링센터 체계에 적합한 재활용기술은 현재까지 상용화사례가 없는 실정임.
- 각 권역별 리사이클링센터에서 발생하는 우레탄은 연간 총 약 11,000톤이 발생하고 있고 냉장고 1대당 약 11~15%가 함유되어 있으며, 발열량이 일반 가정폐기물, 목재 등 보다 높아 연료로써의 가치가 충분하나 단순 압축되어 위탁소각 처리 되고 있음.
- 또한, 향후 관련 정부부처의 정책방향이 “소각 및 매립의 최소화”를 목표로 법 개정 및 제도를 운영할 예정이기 때문에 소각 및 매립비용이 매우 상승할 것으로 예상되며, 따라서 재활용과정에서 발생하는 폐기물의 재활용 상용화가 매우 필요한 실정임.

## □ 연구목적

- 폐 우레탄 고형연료 상용화 시스템 구축 및 효율화
- 폐 우레탄 고형연료 물리화학적특성 및 연소특성(Lab.sclae 반응기)분석
- 생산 고형연료 품질인증 및 수요가능발전시설 조사

## II. 연구의 내용 및 범위

### □ 폐 우레탄 고형연료 물리화학적특성 및 연소특성 분석

- 물리화학적 특성 분석
  - 물리적 특성 : 폐 우레탄 및 생산연료 겉보기 밀도, 강도 등
  - 화학적(열적) 특성 : 공업분석, 발열량분석, 원소분석, 열중량분석
- 고형연료 및 일반 SRF 혼소 연소특성분석
  - Lab.scale 고정층 반응기를 이용한 생산연료 및 SRF 혼소 연소특성 분석
  - 생산연료 및 SRF 혼소비율 조건별 발생 배가스 실시간 모니터링 측정 및 분석

### □ 폐 우레탄 고형연료 제조 상용화 설비 구축 및 효율화

- 성형기 type 별 성형성 및 생산성 실험 및 분석 실시
- 발생 폐 우레탄 안정적 공급이 가능한 프로세스 구축
- 조건별 (성형기 온도, 압력, 기타) 실험을 통한 최적 운전 매뉴얼 도출

### □ 우레탄 고형연료 수요가능 발전시설 조사

- 권역별 가전제품 리사이클링센터의 위치요건을 고려한 타 수요처 조사 및 확보

### III. 연구결과

#### □ 폐 우레탄 고형연료 물리화학적특성 및 연소특성 분석

##### · 물리화학적 특성 분석

- 우레탄의 조성분석 측정결과, 폴리우레탄이 약 96%함유되어 있었고, 일부 기타 물질(플라스틱, 기타 금속)이 약 4%포함되어 있는 것으로 분석됨. 우레탄 및 생산 고형연료의 밀도 분석 결과, 우레탄은 약  $0.021\text{kg/m}^3$  였고, 생산연료의 경우 우레탄의 약 45배인  $0.950\text{kg/m}^3$  로 분석됨.
- 우레탄 및 생산 고형연료의 공업분석 실시 결과, 수분을 제외한 모든 성분이 유사한 결과 값을 나타내었고, 수분의 경우, 압축 성형과정에서 온도가 상승함에 따라 원료에 함유되어 있던 수분이 증발했기 때문인 것으로 사료됨.
- 원소분석 결과, 탄소가 약 60%이상으로 가장 많이 함유되어 있었고, 황이나 염소 등 유해물질의 경우, 미량 포함되어 있어 열회수시설 투입 시 대기오염 기준을 초과하지 않을 것을 사료되며, 발열량의 경우 저위발열량 기준 약  $6,200 \sim 6,580\text{kcal/kg}$ 으로 고 발열량인 것으로 분석됨.

##### · 폐 우레탄 고형연료 연소특성 분석

- 우레탄 고형연료 및 일반 타 고형연료의 혼소 실험을 통하여 상용화 규모 적용 가능성을 판단하기 위하여, Lab scale에서 실험을 실시함.
- 배출 가스 중  $\text{CO}_2$ 와  $\text{CO}$ 의 조성을 확인함에 따라, 실험 온도인  $1000^\circ\text{C}$ 에서 충분히 소각이 일어나는 것을 확인 할 수 있었으며, 실증 규모에 적용하였을 경우에는 경제성을 고려하여 반응 온도를 설정하는 것이 타당하다고 할 수 있음.
- 우레탄 단일 시료와 혼소 시료의 소각 특성을 비교하자면, 우레탄과 RPF 모두 소각에 적용이 가능한 시료로 판단되며 특히, 우레탄이 증가함에 따라 배

출 가스 내 O<sub>2</sub> 농도가 증가하는 것으로 보아 우레탄 단일 시료로 하였을 경우, 투입되는 산화제의 양을 줄일 수 있어 경제성이 있다고 판단됨.

- 가스상 오염 물질의 경우, ER이 증가함에 따라 NO<sub>x</sub>의 배출 농도가 증가하는 경향을 보였으며, 반대로 HCN과 NH<sub>3</sub>의 배출 농도가 감소하는 경향을 보였으나, 질소 화합물인 NO<sub>x</sub>, HCN, NH<sub>3</sub> 모두 실증 규모의 기존 소각 시설의 제어 시설에 의해 충분히 제어가 가능한 농도로 배출 됨.

#### □ 폐 우레탄 고품연료 제조 상용화 설비 구축 및 효율화

##### · 링다이식 성형설비 구축 및 성형실험

- 링다이식 성형기를 이용한 고품연료 제조시스템은 우레탄원료 배출설비, 원료이송 Fan, 원료저장호퍼, 링다이식 성형기, 정선 및 냉각기, 백필터, 생산 연료 이송장치로 구성함.
- 링다이 흘 직경, 원료 투입 방식 및 속도, 수분분사유무 등의 조건을 변경하여 실험을 실시한 결과, 생산 고품연료의 성형성 및 강도는 확보하였으나 생산량이 설계용량에 매우 미치지 못하였고, 이는 우레탄의 비중이 매우 낮아 링 다이가 회전하는 속도 때문에 정량 투입된 우레탄이 링다이의 홀로 투입되지 못하고 외부로 흩날리는 현상과 이로 인해 홀에 투입되는 시간이 매우 오래 걸리는 것에 기인하는 것으로 사료됨.

##### · 타공식 성형설비 구축 및 성형실험

- 타공식 성형기를 이용한 고품연료 제조시스템은 100kg/h급으로 시료투입호퍼, feeder screw, motor, 압축실린더, cooling system, 제어분전반 등으로 구성되어 있고, 시료투입속도, 압축실린더 압력조절을 통한 타공속도, cooling system을 통한 온도 조절 등이 가능하도록 제작됨.
- 압축실린더 압력 및 시료투입속도를 조절하여 성형성 실험을 실시한 결과, 성형이 가능한 최적조건이 도출되었고, 생산성 또한 링다이식 성형설비에 비해 매우 높은 것으로 분석되었음.

- 한편, 생산된 시료는 링다이식 성형기에서 생산된 연료에 비하여 외관상 표면에 크랙이 많이 발생하였고, 연료의 강도 또한 약하였으며 이는 배출구 hole의 크기가 커져 압출압력이 작아지면서 생긴 현상때문인 것으로 사료되나, 상용화 시 생산연료 운반 및 상용화 열회수 설비 투입 시 부서질만큼 약한 강도는 아니었으며, 이로써 성형성을 제대로 갖춘 것으로 판단됨.

#### □ 우레탄 고품연료 수요가능 발전시설 조사

- 국내 발전시설은 약 570개 이상이며 이중 여러 조건들을 고려하여 본 연구에서 생산한 고품연료의 적용이 가능한 시설들로 분류한 결과, 약 12개의 열병합 발전시설을 선정하였음.
- 또한, 2013년 고품연료제품 사용업체 현황을 조사한 결과 총 59개의 업체로 조사되었으며 비성형 및 바이오 고품연료를 사용하는 업체를 제외하고 39개의 업체가 성형 고품연료를 사용하는 것으로 조사되었음.
- 본 연구에서는 우레탄 고품연료를 연소로 및 전용보일러에 적용 가능성 여부를 파악하기 위하여 1개 업체에서 실제 연소로에 투입 실험을 실시하였고 실험결과, 링다이식 및 타공식 성형기에서 생산된 우레탄 고품연료 모두 상용화 공정에 적용 가능한 것으로 분석되었으며, 수급업체에서도 향후 고품연료 제조 상용화 체계가 구축 될 시 고품연료로써의 수급 의향을 나타냄.

## IV. 연구결과의 활용계획

#### □ 성형실험결과 활용을 통한 우레탄 고품연료 제조 시스템 상용화 체계 구축

- 본 연구에서는 2가지 형식의 성형기를 이용하여 성형 및 생산성 평가를 실시하였음. 링다이식의 고품연료 제조설비의 경우, 1ton/h급의 상용설비 규모로 설계 제작하여 실험을 실시하였으나, 생산성에서 많은 risk가 있을 것으로 판단되었고, 타공식 고품연료 제조설비의 경우, 100kg/h급 설비로 제작하여 실험 한 결과, 성형 안정성 및 생산성을 갖춘 것으로 판단되었음.

- 본 연구 자료를 활용하여 향후 상용화 타공식 고품연료 제조 시스템 구축할 계획이며, 현재 실험 결과를 토대로 500kg/h급 설비를 제작하여 시운전 중에 있음.
- 500kg/h급 타공식 성형설비의 시운전 및 보안을 통하여 우레탄 발생 현장에 적용할 예정이며, 상용화체계 구축 후 권역별 리사이클링센터에 적용할 예정임.

#### □ 연소특성 분석 및 수요처 조사결과를 활용한 생산연료 공급체계 구축

- 본 연구에서 조사한 고품연료 수요처를 권역별로 contact하여 향후 안정적인 공급체계를 구축 할 수 있도록 할 예정임.
- 또한, 수요처 contact 시, 본 연구에서 진행된 연소특성 분석결과를 기초자료로 활용할 계획임.