

폐 폴리우레탄의 자연발화에 관한 연구

최재욱 · 목연수 · 이동훈

부경대학교 안전공학과

1. 서론

경제와 전력사용이 호전됨에 따라 냉장기술의 개발이 크게 촉진되면서 진공단열 기술개발을 통한 단열효과 등으로 가전제품의 기술이 세계수준에 도달하였고, 지속적인 기술의 발달로 사용량이 증가하고 있다. 이런 가전제품의 사용증가는 필연적으로 수명이 다한 폐가전 제품이 발생하게 되고, 이들을 방치함으로써 환경오염을 일으키게 되었고 정부는 폐가전 제품을 재활용하고 폐기물을 최소화하는 방법을 기업에 요구함과 동시에 폐기물관리법과 자원의 절약과 재활용 촉진에 관한 법률을 제정 공포하게 되었다. 이러한 법적규제에 따라 폐가전 제품을 재활용하는 공장이 설립되었으며, 폐가전 제품 재활용 처리를 위하여 분해 → 파쇄 → 분별 등의 공정을 거치면서 유리, 플라스틱, 구리, 철, 알루미늄, 우레탄 등으로 회수하여 재사용 할 수 있도록 하고 있다. 이들 분리된 물질 중에서 우레탄은 단열재로 사용된 발포제의 분체로서 회수되고, 분쇄공정이나 이송, 저장 중에 화재폭발의 위험성을 가지고 있으며, 가전제품을 생산하는 기업에서는 폴리우레탄 폼을 단열재로 널리 사용하고 폴리우레탄의 제조공정에 발포제로서 종전에는 CFC를 사용하였으나 몬트리올 의정서에 의해 이들 물질의 사용이 점차적으로 금지됨에 따라 사이클로 펜탄을 대체 사용하고 있다. 따라서 본 연구에서는 CFC를 사용한 폴리우레탄 폼과 사이클로 펜탄을 사용한 폴리우레탄 폼의 자연발화온도와 연소시 화염전과속도 등을 파악하여 리사이클링 공정에서의 화재·폭발 예방대책을 위한 기초자료를 제공하고자 한다.

2. 측정장치 및 실험방법

2.1. 실험장치

2.2.1. 자연발화

본 연구에 사용한 실험장치는 Fig.1과 같으며, 항온조, 열전대, 온도제어장치, 기록계와 시료용기로 구성되어 있다.

항온조는 시판의 항온조를 개량한 내용적 27 l (30cm × 30cm × 30cm)의 열풍순환식 항온조로 신생기업사에서 제작하였으며, 내부의 온도분포를 일정하게 유지하기 위하여 Sirocco fan (ϕ 10cm)을 부착하여 내부공기를 강제 순환 시켰으며, 항온조의 가열히터는 1200℃까지 온도를 상승시킬 수 있는 1.5KW의 히터 5개를 설치하여 가열하였다.

항온조 상부의 배기구에는 팬을 설치하여 설정온도보다 내부온도가 높을 때는 릴레이 스위치에 의해 팬이 자동으로 작동되게 하였다. 온도측정용 열전대는 주위 온도의 제어 및 측정용과 시료의 중심온도 측정용으로 2조의 Chromel- Alumel 열전대로서 직경은 0.35mm이고, 주위온도의 제어 및 측정용과 시료의 중심온도 측정용으로 사용하였으며, 전자는 시료용기와 항온조의 벽면중심에 설치하고, 후자는 시료용기의 중심에 설치하였다. 온도제어장치는 Konics제 EC-5600으로 프로그램의 설정에 의해 주위온도를 제어하는 방식으로 냉접점을 거친 보정된 온도를 제어할 수 있도록 하였으며, 이를 설정온도와 비교하고 그 차이에 의해 1.5KW의 히터 5개의 전류치를 제어하여 릴레이 스위치로서 상부 팬의 작동을 ON-OFF로 제어하도록 하였다. 온도기록장치는 Yokogawa제 pen type기록계(Model 4151)로서 설정온도 및 시료중심온도를 연속적으로 기록하도록 되어 있다.

시료용기는 A용기(20cm × 20cm × 3cm), B용기(20cm × 20cm × 5cm), C용기(20cm × 20cm × 7cm), D용기(20cm × 20cm × 14cm)의 크기로 형상을 입방체로 하여 무한평판에 접근하도록 하였으며, 이 용기는 300mesh의 Stainless제 망으로 앞면과 뒷면을 일차원 방향으로 열전달이 되게 하였으며, 다른 부분은 약 1cm의 석면판으로 단열시켰다.

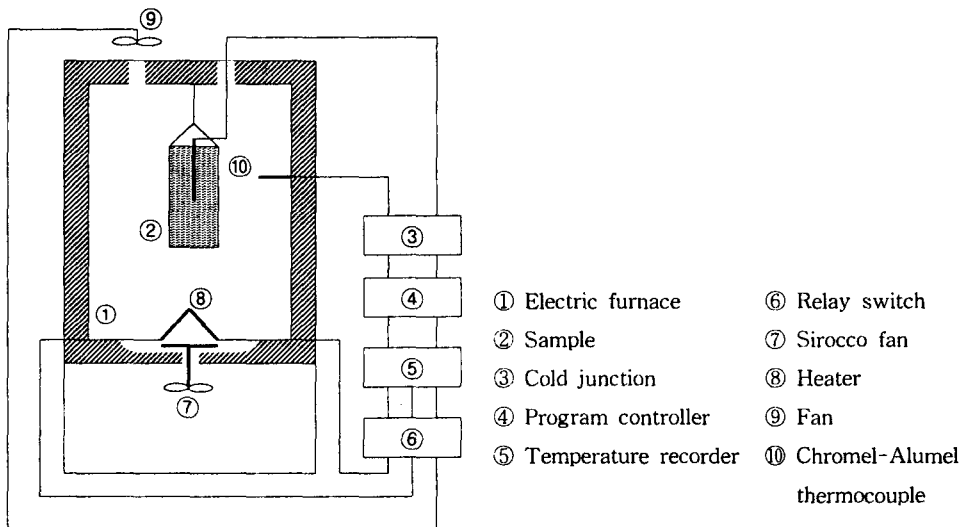


Fig.1 Schematic diagram of experimental apparatus.

2.2.2 연소특성

길이방향에 눈금이 새겨진 시료용기는 25mm × 25mm × 1000mm, 25mm × 50mm × 1000mm, 25mm × 75mm × 1000mm의 세 용기를 사용하였으며, 시료용기에 시료를 골고루 분포되게 충전하였다.

3.3. 실험방법

3.3.1. 자연발화 실험

폴리우레탄폼의 자연발화 실험은 온도제어 장치의 프로그램을 미리 설정하여 소정의 온도로 가열된 항온조의 중심에 폴리우레탄폼을 충전한 시료용기를 장치내에 걸고, 열전대를 시료용기의 중심부 및 시료용기와 벽면과의 공간 중앙부에 같은 높이가 되도록 설치하였다.

시료용기를 실험장치에 넣은 후 시료의 중심온도 변화를 관찰하여 중심온도가 설정 온도 보다 급격하게 상승하였을 때를 「발화」로 판정하였으며, 시료의 중심온도 최대치를 확인한 후 실험을 중지하고, 시료의 중심온도가 설정온도와 동일하게 유지되었을 경우 「비발화」로 판정하고 실험을 중지하였다.

동일한 조건으로 실험을 반복하여 시료가 발화한 최저 온도와 발화하지 않았던 최고 온도와의 차이가 1℃일 때 실험을 종료하고, 양자의 평균온도를 발화한계온도로 하였다.

3.3.2. 연소실험

연소의 실험은 무풍실내에 시료를 충전한 용기를 두고 시료의 한쪽 끝에서 토오치로 점화시켜 시료의 끝 부분까지 연소가 진행되는 상태를 카메라로 측정하고 연소진행과정을 시간과 거리에 따라 스톱워치로 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. CFC를 사용한 polyurethane foam

polyurethane foam을 시료를 사용하여 자연발화 실험을 행하였을 때, 이 시료가 자연발화한다는 것이 판명되었으며, 시료내부의 온도가 변화하는 형태를 알기 위하여 Chromel-Alumel 열전대로서 시료중심의 온도를 기록계에 기록하였다.

Fig.2, 3에는 실험을 행한 시료용기의 크기가 3cm용기(20cm × 20cm × 3cm)일 때 발화와 비발화에 대한 결과를 나타내었다.

Fig.2는 발화의 경우를 나타낸 것으로서 설정온도를 244℃로 일정하게 하고 시료용기를 실험장치에 넣은 후 실험을 시작한 시간부터 온도가 급격히 상승하다가 15분 정도에서 최고발화온도를 기록하였으며, 주위온도도 1시간이 지남에 따라 설정온도 보다 높게 나타났다. 이것은 발화의 영향으로 시료용기내의 온도가 높아져 항온조의 주위온도가 상승하고 있음을 나타낸다.

Fig.3은 비발화의 경우로서 항온조내의 설정온도를 243℃로 일정하게 하고 실험을 행한 것으로서 시간이 경과됨에 따라 온도가 서서히 상승하여 설정온도 보다 높아지다가 1시간 후에는 주위 온도 부근에 이르게 되어 결국 발화가 되지 않았다.

따라서 소용기일 경우에 있어서 발화한계온도는 Fig.2와 Fig.3으로부터 구한 발화와 비발화의 평균온도인 243.5℃를 구하였다.

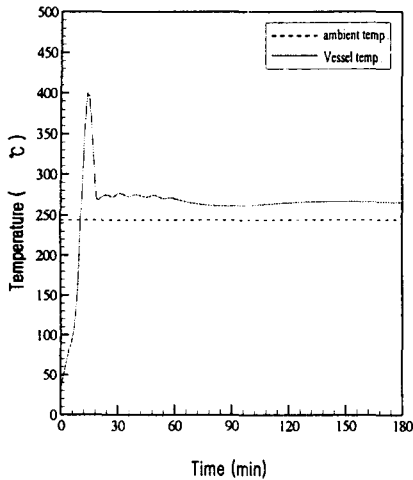


Fig.2. Relation between time and temperature in 3cm vessel(at 244°C)

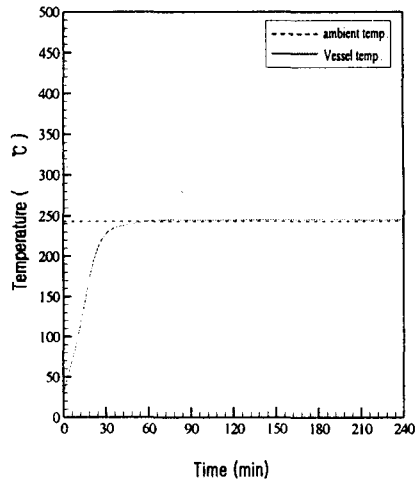


Fig.3. Relation between time and temperature in 3cm vessel(at 243°C)

4. 결론

폐 가전제품의 recycling process에서 회수되는 polyurethane foam분체를 사용하여 자연발화와 연소속도에 대한 실험을 행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) Cyclopentane을 발포체로 사용한 polyurethane foam은 시료용기가 클수록 발화한계 온도는 낮아졌다.
- 2) CFC를 사용한 polyurethane foam의 겉보기활성화에너지는 $E = 16.9157 \text{ Kcal/mol}$ ($r = 0.9999$)을 얻었다.
- 5) 연소시의 화염전파속도는 폭 25mm의 용기에서 전파속도는 느리나, 50mm와 75mm의 경우는 거의 동일한 전파속도를 나타내었다.

참고문헌

1. 北川徹三, "化學安全工學", 日刊工業新聞社, 1971.
2. J. Adler and D.M. Herbert, "Ibid.," A384, 455, 1982.
3. Thomas, P.H., & Bowes, P.C., "Br. j. Appl. Phys.," 12, 222, 1961.
4. P.C. Bowes and A.Cameron, "J. Appl. Chem. Biotechnol.," 21, 222, 1971.