

폐비닐 열분해가스 연소특성에 관한 실험적 연구

장준영*, 권혁승*, 김태권*, 심성훈**
계명대학교*, 한국기계연구원**

A Study of Combustion Characteristics of pyrolysis Gas from waste vinyl

J. Y. Jang*, H. S. Kwon*, T. K. Kim*, S. H. Shim**
Keimyung University*, Korea Institute of Machinery & Materials**

1. 서론

폐비닐의 발생량이 급격히 증가하고 있음에도 수거되는 비율이 극히 저조하여 토양을 황폐화시키는 요인으로 나타나고 있다. 농어촌에서 발생하는 폐비닐은 매립, 소각, 재활용등 크게 세가지 방법으로 처리되어진다. 소각이나 매립의 방법에서는 공해를 유발시킬 수가 있어서 재활용 방법에 관한 연구가 많이 진행중에 있다. 폐비닐 재활용 시스템의 공정은 파쇄기에서 파쇄하여 대형 이물질만 제거한 후에 열분해 용융 압출기로 투입된다. 열분해 용융 압출기는 폐비닐을 200-300°C의 온도에서 열분해함과 동시에 겔 상태로 용융시킨다. 대부분의 폐비닐과 이 물질 중의 유기물은 열분해 과정에서 상당부분이 탄화물과 단량체로 전환되고 열분해 부산물인 가연성의 가스가 발생한다. 가스는 고온으로 연소시켜 열교환기를 통해 열을 회수하여 열분해 장치에 공급함으로써 열분해 열원으로 사용하게 된다. 따라서 폐열을 이용하여 폐비닐을 열분해 용융시킴으로써 전기 히터의 동력을 절약하고자 하는 것이다. 현재 폐비닐 중 50% 가가이 매립이나 소각 등의 부적절한 방법으로 처리되는 현실을 감안하면 이와 같은 농업용 폐비닐의 건식처리방식이 상용화되게 되면 국내에서 발생하는 폐비닐의 처리공정의 상당부분을 기술적으로 해결해 줄 수 있게 되므로 본 기술의 실용화는 매우 시급한 과제라 할 것이다.

한편 생성되는 가스는 저급연료이기 때문에 명확히 주요한 가스 생성물들의 분석에 기초한 연소기 설계가 절대적으로 요구된다. 이러한 저급연료의 경우 연소기 설계를 위해서는 가장 문제가 되는 것이 화염의 안정성과 고분자 탄화수소에 따른 매연과 CO 및 NOx 발생에 따른 환경 문제이다. 따라서 분석된 가스 조성에 따른 화염 구조 및 안정성에 대한 명확한 평가를 통하여 연소기 설계가 이루어져야 한다. 하지만 이에 대한 기초적 자료에 대해서는 문헌 등을 통해 얻기는 불가능 실정이다.

본 연구에서는 폐비닐을 열분해시켜 생성된 가스를 실제 연소기에 적용하기 위한 선행연구로서 소형 연소로에 열분해 가스를 보조연료로 공급하여 운전시켰을때 연소생성물의 농도와 연소로 온도를 조사하여 연소기 설계의 조건으로 사용하고자 한다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 열분해 가스 생성장치

폐비닐을 열분해시키기 위해 부피 5ℓ(내경 80mm, 높이 170mm)의 알루미늄의 챔버 내부에 폐비닐을 담고 챔버를 직접 가열하여 분해시켰다. 열전대(thermocouple, K-type)와 인디게

이터를 통해 챔버 내부의 온도를 확인할 수 있으며 대략 챔버 내부를 300℃까지 가열시킬 수 있다. 챔버에서 발생된 가스의 누설을 방지하기 위해 테프론 패키징을 설치하였으며 발생 가스는 챔버 상부의 포트(port)를 통해 빠져 나가며 포트에 밸브(valve)를 설치하였다. 실험 방법으로는 챔버 내부에 잘게 분쇄된 폐비닐을 가득 채우고 온도를 상승시킨다. 대략 온도 80~90℃ 이상에서는 폐비닐이 열분해가 시작되면서 가스가 담배연기처럼 발생된다. 발생 가스의 농도는 가스크로마토그래피(Gas-chromatograph, Donam 6200)를 통해 분석하였다. 가스크로마토그래피는 주입되는 시료와 일정한 압력을 가지는 운반기체와의 물리 화학적 특성차를 이용하는 분리 분석방법이다. 가스크로마토그래피는 크게 운반기체, 시료주입부, 분리관, 검출기, 데이터처리시스템으로 나누어진다. 본 실험에서는 헬륨을 운반기체로 사용하였고 기체시료 채취밸브(gas sampling valve)를 장착하여 일정량의 기체를 주입할 수 있도록 하였다. 분리관은 MS-5A와 Hayesep D를 사용하였으며 검출법은 열전도검출법(TCD)을 사용하였으며 dsCHROM 프로그램을 통해 분석되어진다.

2.2 열분해가스 연소로

폐비닐 열분해가스 실험장치인 소형연소로의 장치는 Fig. 1과 같다. 배출부를 제외한 연소로 내부는 원통형 모양(내경 12cm, 높이 37.5cm)이다. 연소로의 하부는 연료/공기공급부, 열분해 폐비닐가스 공급부, 파일롯버너부가 설치되어 있다. 그리고 연소로에는 각 위치별로 배기가스를 측정하기 위한 농도 샘플링부와 연소로 온도를 측정하기 위한 온도센싱부가 설치되어 있다.

연소로에 공급되는 주 연료는 상용 LPG를 사용하였으며 압력조정기(regulator)와 MFC(mass flow controller)를 통해 유량을 조절하였다. MFC의 제어는 PC를 통해 3.5ℓ/min로 공급된다. 그리고 압력조정기와 MFC사이에 역화의 위험을 방지하기 위해 유리구슬과 쇠파장으로 채워진 밸브를 설치하였다. 파일롯 버너로는 이동식 부탄가스를 가스토치에 직

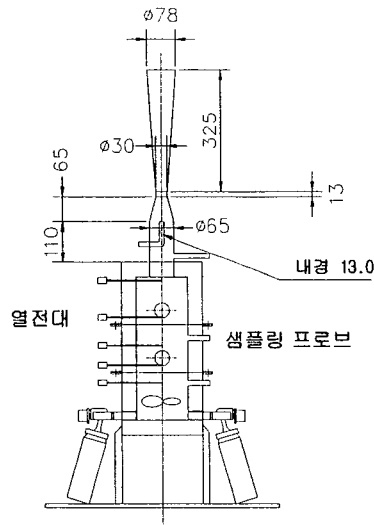


Fig. 1 소형 연소로

결하여 사용하였으며 공급량은 약 0.8ℓ/min이다. 열분해 챔버와 연소로는 스틸 배관(내경

20mm)을 통해 직접 연결하였다. 프로판이 완전연소하기 위해서는 연료 1ℓ에 대해 산화제인 공기가 23.8ℓ 필요하며 부탄이 완전연소하기 위해서는 연료 1ℓ에 대해 산화제인 공기가 31ℓ 필요하다. 연소로에 공급되는 연료의 양이 프로판 3.5ℓ와 부탄 0.8ℓ이므로 각각 필요한 공기량은 83.3ℓ와 24.8ℓ이다. 연소로에 공급되는 공기 유량이 108.1ℓ일 경우 당량비는 1이 된다. 하지만 실제로 연소로 내부에서는 이론공기연료비만의 공기량으로는 완전연소시키기가 어렵다 이것은 연료와 연소에 필요한 공기중의 산소를 충분히 혼합시키기가 어렵기 때문이다. 따라서 추가적인 공기량이 요구된다. 본 연구에서는 당량비에 맞추어 공기량을 100ℓ/min에서 180ℓ/min로 추가적으로 공급하면서 변화시켰다. 연료인 LPG와 산화제는 연소로에 혼합이 잘 되어 공급되도록 하기 위해 공기공급부의 중심부에서 확산되어 연료와 공기가 미리 혼합되어 공급되도록 하였다. 연소로의 상단, 중간, 하단부에 3개의 샘플링 프로브가 설치되어 있으며 중간부와 하단부는 연소로 내부에 그리고 상단부는 연소로 배출부에 설치되어 있다. 가스농도 계측은 일산화탄소, 이산화탄소, 산소의 농도를 가스분석기(Horiba MEXA443jk)와 가스크로마토그래피(gas chromatograph, Donam 6000)로 계측하였다. 또한 온도측정을 위해 열전대(k-type)를 연소기에 5군데 설치하여 인디게이터를 통해 계측하였다. 연소로내의 배기가스의 배출을 원활히 하기 위해 이젝터로 압축공기를 0.5kgf/cm²로 공급하였다.

3. 실험결과

연소로에 주 연료는 LPG를 공급하고 산화제의 유량에 따라서 열분해가스를 주입하지 않은 경우와 주입한 경우의 연소생성물의 농도와 온도를 계측하여 비교하였다.

Fig. 2는 산화제 유량에 따른 가스크로마토그래피로 계측한 일산화탄소 농도이다. 산화제 유량이 증가함에 따라 일산화탄소의 농도는 감소됨을 보이고 있으며 산화제 유량이 약 140ℓ/min이상에서는 일산화탄소의 농도가 거의 검출되지 않고 있다. 따라서 일산화탄소 농도가 거의 검출되지 않는 산화제 유량 140ℓ/min근처에서 연소상태가 좋은 것으로 생각된다. 이젝터로 배출되는 연소 소음을 관찰하면 산화제 유량 약 140ℓ/min근처에서 배출소음이 원활함을 느낄 수 있다. 열분해가스를 주입한 경우에는 하단부와 중간부에서 열분해가스가 함유한 일산화탄소의 농도로 인해 높을 값을 나타내지만 연소후 배출되는 농도는 주입전이나 비슷한 값을 나타내고 있다. 따라서 열분해가스를 주입하더라도 배출농도에는 거의 영향이 없는 것으로 생각된다. 일산화탄소의 배출허용농도는 600ppm이며 산화제 유량이 약 140ℓ/min이상에서는 환경기준치를 만족하고 있다.

Fig. 3은 산화제 유량에 따른 가스분석기로 계측한 일산화탄소 농도, 이산화탄소, 산소 농도이다. 가스분석기를 통해 계측된 일산화탄소의 농도는 가스크로마토그래피를 통한 분석의 결과와 거의 일치하고 있다. 산화제 유량이 증가함에 따라 일산화탄소농도가 감소하고 있으며 열분해가스를 주입한 경우에서도 연소후 배출되는 농도는 주입전이나 비슷한 값을 나타내고 있다. 이산화탄소의 농도는 산화제의 유량이 증가함에 따라 감소되지만 산화제 유량이 약 120ℓ/min에서 최고값을 가진 후 다시 감소되고 있다. 열분해가스를 주입한 경우에는 주입전이나 비슷한 값을 나타내고 있다. 산소의 농도는 산화제의 유량이 증가함에 따라 유량 120ℓ/min를 지나며 급격히 증가됨을 나타내고 있다.

Fig. 4는 산화제 유량에 따른 연소로 최고온도이다. 산화제의 유량이 증가함에 따라 유량 120ℓ/min~140ℓ/min부근에서 연소로 내부의 온도가 높게 나타나고 있다. 최고온도는 유량

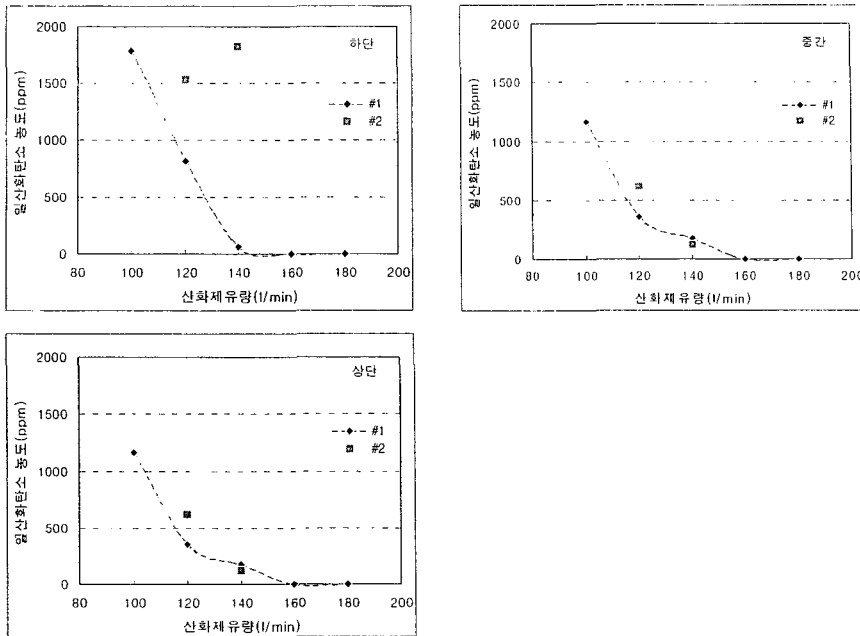


Fig. 2 CO concentration(Gas-chromatograph)

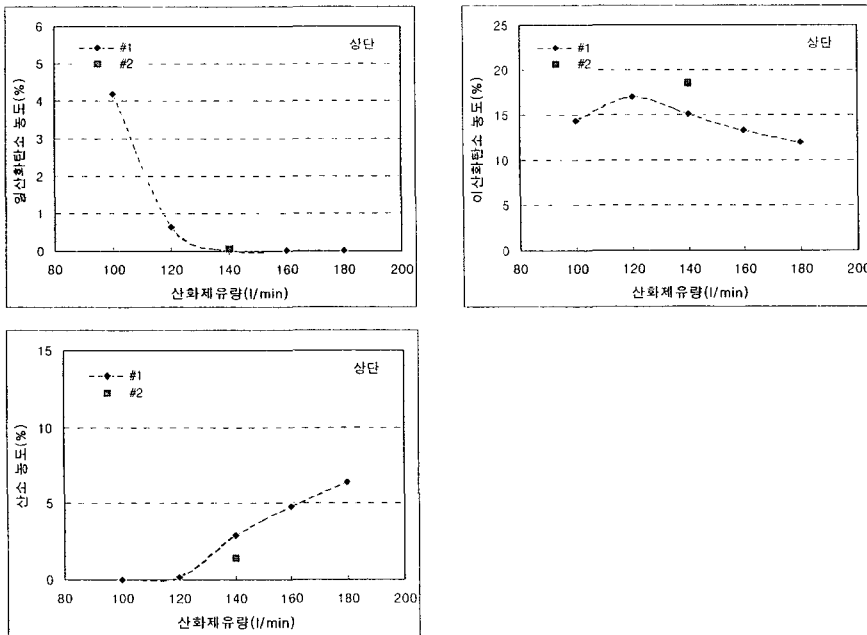


Fig. 3 CO, CO₂, O₂ concentration(Gas-analyser)

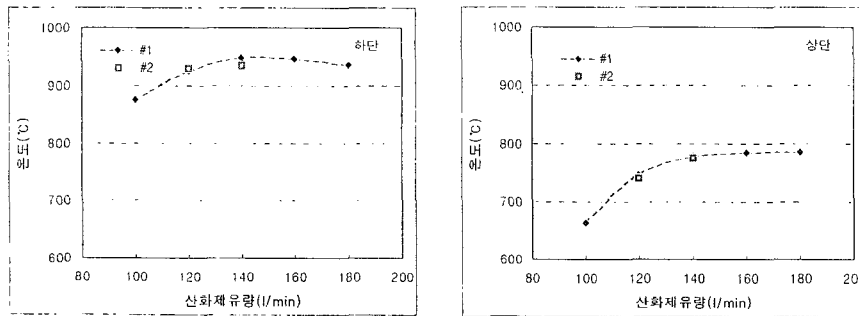


Fig. 4 Maximum temperature

140 l/min에서 904°C이다. 이산화탄소농도가 높고 일산화탄소의 농도가 낮은 것은 연소상태가 좋은 경우를 나타내므로 앞에서 이산화탄소의 농도가 높은 영역은 유량 약 120 l/min ~ 140 l/min이다. 또한 이 영역에서 연소로의 온도가 가장 높게 나타나고 있어 연소상태가 가장 좋은 것으로 생각된다. 또한 열분해가스를 주입한 경우에서도 최고온도가 비슷하게 나타나고 있어 큰 영향을 주지 않을 것으로 생각된다.

4. 결론

페비닐을 열분해시켜 생성된 가스를 실제 연소기에 적용하기 위한 선행연구로서 소형 연소로에 열분해 가스를 보조연료로 공급하여 운전시켰을때 연소생성물의 농도와 연소로 온도를 조사하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1) 산화제 유량이 증가됨에 따라 일산화탄소의 농도는 감소됨을 보이고 있으며 산화제 유량이 약 140 l/min이상에서는 일산화탄소의 농도가 거의 검출되지 않고 있다. 열분해가스를 주입한 경우에는 하단부와 중간부에서 열분해가스가 함유한 일산화탄소의 농도로 인해 높은 값을 나타내지만 연소후 배출되는 농도는 주입전이나 비슷한 값을 나타내고 있다. 산화제 유량이 약 140 l/min이상에서는 일산화탄소의 배출허용농도를 모두 만족한다.

2) 일산화탄소의 농도가 낮고 이산화탄소의 농도가 높은 영역은 유량 약 120 l/min ~ 140 l/min이다. 또한 이 영역에서 연소로의 온도가 가장 높게 나타나고 있어 연소상태가 가장 좋은 것으로 생각된다. 또한 열분해가스를 주입한 경우에서도 이산화탄소나 일산화탄소의 농도값이 거의 비슷하게 나타나고 있다.

참고문헌

- 1) J. Park, K.M. Lee, and E.J. Lee(2001). Effects of CO₂ addition on flame structure in counterflow diffusion flame of H₂/CO₂/N₂ fuel. Int. J. of Energy Research, vol.25, pp.469-485.
- 2) J. Park, S.G. Kim, K.M. Lee, and T.K. Kim(2002). Chemical Effect of Diluents on Flame Structure and NO Emission Behavior in Methane-Air Counterflow Diffusion Flame. Int. J. of Energy Research, in press.

- 3) C.E. Lee, C.B. Oh, I.S. Jung, and J. Park(2002). A study on determination of burning velocities of LFG and LFG-mixed fuels. Fuel, Vol.81, No.13, pp1679-1686.
- 4) J. Park, S.C. Kim, J.G. Choi, S.I. Keel, and D.S. Noh(2002). Flame Structure and NO Emissions in Gas Combustion of Low Calorific Heating Value. submitted to Fuel.