

카본블랙 제조 부생가스의 폭발 특성연구

오규형, 이성은*, 김수영**

호서대학교 소방학과, 호서대학교 대학원*, 호서대학교 산업안전기술연구센터**

A Study on the Explosion Characteristics of by Product Gas of Carbon Black Manufacturing Process

Kyu-hyung Oh, Sung-Eun Lee*, Soo-young Kim**

Dept. of fire Protection Eng. Hoseo University, Graduate School of Hoseo University, Industrial Safety R & D Center of Hoseo University***

1. 서 론

카본블랙은 천연가스, 타르, 중유 등을 불완전 연소시켜 생성된 그을음을 모으거나 열분해 등의 공정을 통해서 생산되는 공업화학의 중요한 원료이다. 카본블랙은 약 11%정도가 인쇄잉크를 비롯한 흑색 안료로 사용되고 약 85%정도는 고무공업의 첨가제로 사용된다. 이와 같이 카본블랙의 주된 용도는 고무공업에서 사용되며 이들 중에는 특수한 용도로 정전기 대전 방지를 위한 첨가제로도 사용된다.

카본블랙의 제조 공정에서 예측할 수 있는 것처럼 열분해 후 생성되는 부생가스에는 가연성가스 성분들이 잔존하고 있으며, 실제로 제조 공장들에서 이러한 부생가스들을 연료로 사용하고 있으며, 본 연구는 이러한 부생가스들을 취급하는 과정에서의 폭발위험성 및 공정 안정성 등을 평가하기 위한 기초 자료를 도출하기 위하여 실험한 결과들이다.

2. 카본블랙 제조 공정 개요 및 부생가스 성상

카본블랙의 제조공정을 간략히 요약하면 다음과 같다. 즉 FCC(Fluid Catalytic Cracking) oil을 반응기에서 열분해하여 생성된 카본블랙 부생가스는 반응기를 벗어난 후 열교환기를 통과하여 Bag filter에 공급된다. Bag filter에서 카본블랙과 가스로 분리되어 카본블랙은 포집설비에서 포집되고, 부생가스는 카본 건조 및 열병합 공정으로 보내 보일러에서 연소시켜 스팀을 발생시키고 이 스팀으로 발전기의 증기터빈을 가동시켜 전기를 생산한다, 카본블랙은 Bag filter에서 포집 후 pellet type 및 power type의 제품으로 생산된다.

이러한 공정도를 간략하게 나타내면 그림1과 같으며, 부생가스의 성분은 표1과 같다.

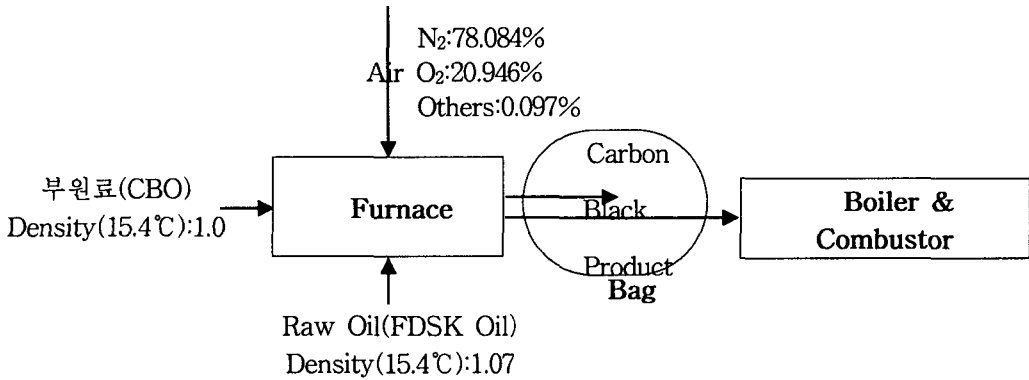


그림 1. 카본블랙 제조 및 부생가스 발생 개략도

표 1. 카본블랙 제조 공정 부생가스의 분석치

가스종류	CO ₂	C ₂ H ₂	H ₂	O ₂	N ₂	CH ₄	CO	H ₂ O
구성비(%)	2.04	0.29	9.47	0.68	36.55	0.35	11.04	39.58

표1에서 보여주는 것 같이 발생하는 가스 속에는 수소와 일산화탄소 등 가연성기체가 혼합되어 있으며, 이러한 부생 가스가 연소기로 가는 배관중에서 냉각되어 수증기가 응축되는 경우에는 가연성가스의 구성비는 더욱 높아지게 될 것이며, 공기 중에 혼합될 경우 폭발위험성이 있다.

3. 부생가스의 폭발 실험

3.1 실험장치

카본블랙 제조공정에서 발생하는 가스의 폭발 특성을 실험하기 위한 실험장치의 개략도는 그림2와 같다. 폭발용기는 폭발 화염 거동을 관찰할 수 있는 관측창이 있는 20.5리터의 용기를 사용하였다. 점화원은 고전압 방전 불꽃을 이용하기 위한 점화용 변압기와 폭발 압력 측정시 신호의 잡음을 제거하기 위해 발파용 점화기를 사용하였다. 폭발 범위의 상한계와 하한계를 측정할 때는 투명한 관측창으로 육안과 비디오카메라를 이용하여 확인하였으며, 폭발 특성 측정시에는 관측창 부분을 철판으로 교체하여 폭발 압력에 견딜 수 있게 하였다. 폭발 특성은 폭발 압력과 압력상승속도를 strain형 압력센서와 디지털 오실로스코프를 이용하여 측정하였으며 이 오실로스코프에서 점화지연시간을 측정하였다.

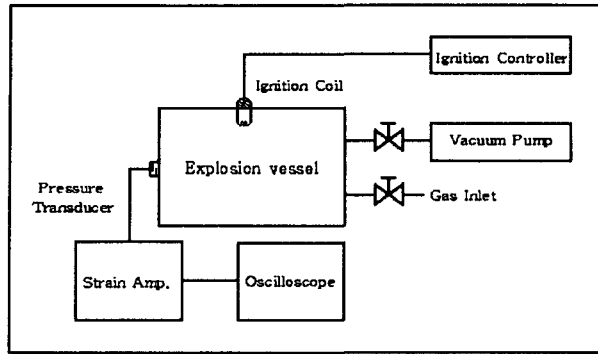


그림 2. 폭발 실험장치 구성 개략도

3.2 시료가스

실험에 사용한 공정 부생가스는 K사의 카본블랙 제조 공정에서 고무튜브를 이용하여 채취하였다. 카본블랙 제조공정에서 발생하는 부생가스의 조성은 표1과 같았으나, 본 실험에 사용된 시료가스는 채취하는 과정에서 스트레이너를 거쳐 상당량의 수분이 제거되었으나 완전 건조가스는 아니다. 수증기분을 제외한 시료가스의 조성비는 다음 표2와 같다.

표 2. 실험용 시료가스의 조성

가스종류	H ₂	O ₂	N ₂	CH ₄	CO	CO ₂	C ₂ H ₂
구성비(%)	13.39	0.9	60.7	0.53	19.67	4.35	0.46

3.3 실험방법

카본블랙 제조 공정 부생가스의 폭발 특성 실험을 위해 공정내 가스 배관중 한곳에 밸브를 부착하여 가스를 by-pass 되도록 하였으며, 시료를 채취하는 중 냉각에 의해 수증기가 응축되어 중간에 응축수 제거장치를 통하여 일부의 증기가 제거된 상태로 채취하였다. 시료는 대형 고무튜브를 이용하여 채취하였다. 용기내 가스의 주입은 용기를 진공으로 만든 후 농도에 따라 일정량의 가스를 실린더로 정량하여 주입시키고 후에 공기가 흡입되어 혼합되도록 하였다.

농도는 약 5% 단위로 간격을 두고 실험하면서 폭발이 잘되지 않는 한계농도부근에서는 10회 이상씩 실험하여 폭발화염이 생성되지 않는 농도를 폭발상한계와 폭발하한계로 하였다.

폭발 특성 측정은 각 5% 단위마다 2~3회씩 실험을 하여 측정하였다.

4. 결과 및 고찰

4.1 폭발 특성

폭발 압력 측정을 위한 strain형 센서는 최대 20kg/cm²까지 측정할 수 있는 것을 사용하였으며, 가스의 폭발 특성 측정 농도 범위는 오실로스코프로 폭발압력과 압력상승속도가 측정 가능한 25~69% 범위까지만 측정하였다. 5% 단위로 측정한 결과 그림3과 같으며 부생가스의 부피로 50vol%에서 최대폭발압력 5.43kg/cm²을 나타내었다.

이러한 압력은 탄화수소의 프로판이나 부탄의 폭발압력과 비교하면 낮은 압력이지만 콘크리트 건물이 약 0.6~0.8kg/cm²의 압력에 의해 파괴되는 것과 비교해 보면 안전적인 측면에서 폭발 방지 및 방호대책이 반드시 필요한 가스임을 알 수 있다.

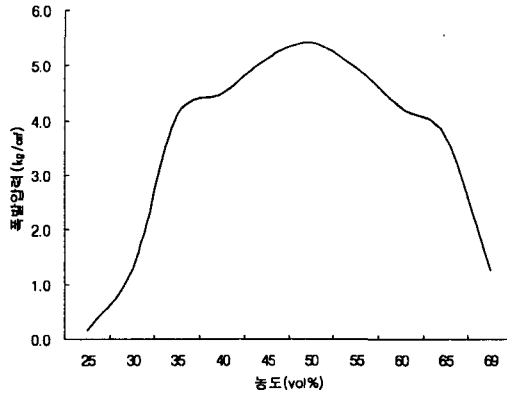


그림 3. 카본블랙 제조 공정 부생가스의 폭발압력

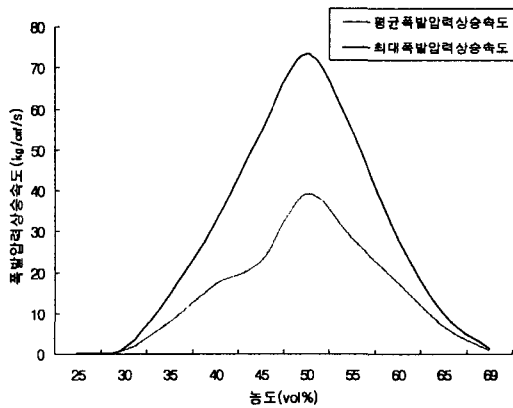


그림 4. 카본블랙 공정 부생가스의 폭발압력상승속도

폭발압력 상승속도 역시 50vol% 농도에서 최대값을 나타내었으며 최대폭발압력상승속도는 평균폭발압력상승속도의 약 2배로서 일반적인 탄화수소의 실험결과와 유사한 경향

을 나타내었다.

폭발압력이 연료용 탄화수소가스 압력에 비하여 절반정도인 것과 같이 압력상승속도 역시 약 1/2 정도였다.

4.2 폭발한계 및 폭발화염의 거동

실험방법에서 설명한 것처럼 농도를 높이거나 낮추면서 폭발이 일어나지 않는 농도를 추적하였다. 카본블랙 제조 공정 부생가스는 혼합가스 화염으로서 프로판이나 부탄의 폭발화염에서 보이는 황적색 보다는 청백색에 가까운 화염을 보였는데 이는 가스성분 중 수소와 일산화탄소의 성분이 많기 때문인 것으로 생각된다.

폭발한계의 예측을 위해 Lechatelier법칙을 적용한 한국산업안전공단의 KOSHA Code P-37-2004로 계산한 결과의 연소범위는 23.7vol%~91.7vol%였으나, 실험으로 측정된 결과는 연소하한계 농도는 17.1%, 연소상한계 농도는 70.7%로서 계산에 의한 예측값과는 큰 차이를 보였다. 이는 르샤틀리에법칙은 파라핀계 탄화수소 혼합물에 잘 적용되고 혼합가스의 수가 4개 이내일 때 잘 부합되기 때문에 수소, 일산화탄소, 아세틸렌등 특성이 서로 다른 혼합 가스들로 구성된 카본블랙 제조 공정 부생가스에는 르샤틀리에의 법칙을 적용한 KOSHA Code에 의한 예측이 부적합함을 보여주었고 실험을 통해 측정하는 것이 바람직함을 보여주고 있다.

그림5는 폭발화염전과 거동을 촬영한 사진으로 폭발화염의 색이 연료용 탄화수소에 비해 밝은 청백색을 보여주고 있다. 그림6은 폭발상한계 부근인 70vol%에서의 폭발화 화염 거동을 보여주고 있다.



그림 5. 카본블랙 제조 공정 부생가스의 폭발화염 거동(15fps, 40vol%)

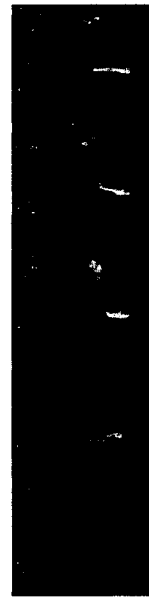


그림 6. 폭발 상한계 부근에서의 폭발화염전과 거동(70 Vol %)

4.3 점화지연시간

점화지연시간은 혼합가스에 착화에너지를 주었을 때 연소반응이 일어나 지속적인 연소가 될 때까지의 시간으로 이는 가스의 성질과 조성 및 농도 등에 따라 영향을 받게 된다.

본 실험에서는 공정 부생가스의 농도에 따른 점화지연시간을 측정하였으며 폭발압력과 압력상승속도가 큰 50vol% 농도에서 최소점화지연시간은 증가하였다. 농도에 따른 점화지연시간은 그림7과 같다.

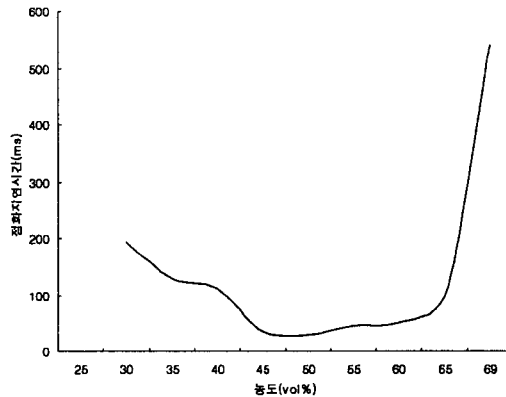


그림 7. 카본블랙 공정 부생가스의 농도에 따른 점화지연시간

5. 결 론

카본블랙 제조 공정에서 발생하는 부생가스의 폭발특성 실험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 카본블랙 제조 공정등 석유화학산업 공정에서 발생하는 가연성가스들의 폭발특성 측정이 필요하며 측정된 폭발특성을 근거로한 공정안전의 설계가 필요하다.
2. 혼합가스의 연소범위 예측을 위한 르샤틀리에법칙의 적용시 충분한 타당성을 확인하여야 하며 르샤틀리에법칙의 한계 범위 내에서 사용되어야 한다.
3. 공정에서 생성되는 부생가스라도 폭발압력 및 압력상승속도의 측정결과 폭발시 공정 시설에 치명적인 손상을 입힐 수 있으므로 가스폭발에 대비한 방호 조치 및 폭발 방지 대책이 필요하다.