

밀폐공간에서의 화재 위험성에 관한 연구

김수영 · 김홍식 · 한동훈 · 이성룡 · 김주석 · 육근환 · 천성수
중앙소방학교 소방과학연구실

A Study on fire risk in an enclosure room

Kim, Soo Young · Kim, Hong-Sik · Han, Dong-Hun ·
Lee, Sung Ryoum · Kim, Joo-Seok · Yuk, Geun Hwan ·
Chun, Sung Soo

Fire Research Laboratory, National Fire Service Academy

요 약

기존 주택 및 고층건물화재에서 발생하는 화재·폭발 사고에 대해서는 많은 연구가 이루어지고 있으나, 이천 냉동창고 화재와 같이 많은 인명피해가 발생하는 작업환경에서의 화재 특히 밀폐공간에서의 화재·폭발 위험성 및 특성은 주택 및 고층건물화재에 비교하여 높은 폭발위험성 및 빠른 화염전파 특성을 보이니 이에 관하여 구체적인 연구는 미비한 실정이다. 본 연구는 밀폐공간 작업환경에서의 화재·폭발 위험성 특성 분석을 위하여 밀폐공간에서 작업 시 발생되어지는 가연성 가스의 확산 특성 분석 및 폭발 위험성 분석 방법에 관한 연구와 밀폐공간에서의 화염 확산 특성에 관한 연구논문 이다.

1. 서 론

밀폐공간에서의 작업 시 발생되어지는 화재·폭발의 특성은 일반 건물에서의 화재와 달리 빠른 화염전파 속도 및 가연성가스의 폭발 현상이 동반되어지는 경우들을 확인할 수 있다. 이는 밀폐공간에서 작업 시 발생되어지는 가연성가스의 누적으로 인한 폭발위험성과 및 2008년 코리아 이천 냉동 창고 화재와 같이 공간내부의 밀폐 및 단열로 인한 화염의 전파 속도가 매우 빠르게 진행되어 건물 내 화재발생시 많은 사상자를 발생시키는 결과를 초래하는 특성이 있었다.

본 연구에서는 편리하고 효율적인 밀폐공간에서의 방수 작업 시 발생하는 가연성 가스의 확산 특성 및 위험성 분석 기법에 관한 제시와 국내에서 많이 시공되는 Polyurethane Foam 단열재가 도포된 밀폐 공간 내부에 화재발생시 화염전파 특성을 분석하여 밀폐공간에서의 작업 시 화재·폭발 위험성에 대한 위험성 분석 및 예방 대책에 관한 연구를 수행하였다.

2. 실험 방법 및 결과

본 연구는 Polyurethane Foam 단열재가 시공된 밀폐공간에서의 작업 시 폭발 및 화재 특성 분석과 밀폐공간에서의 화재 특성 분석을 수행하였다.

(1) 밀폐공간에서의 폭발 특성에 관한 연구

① 밀폐공간에서의 가연성 가스 확산 특성 분석

밀폐공간에서 작업 시 가연성 가스 폭발위험성 현장 조사 결과같이 밀폐공간에서의 방수바닥작업 시 가장 폭발위험성이 높았으며, 작업 시 위험성에 관한 정확한 분석을 위하여 그림 1과 같이 두개의 공간으로 나누어진 밀폐공간을 만들어 각각 Polyurethane 방수와 에폭시 방수 작업을 전문작업자에 의한 작업 시 휴대용 계측기를 사용하여 바닥으로부터 0.3m, 작업자의 허리높이(1m), 천정으로부터 30cm아래(바닥에서부터 4.7m 높이)에 설치하여 가연성 LEL Vol %를 측정 하였다. 또한 자세한 분석을 위하여 상용코드인 CFX를 사용하여 그림2와 같이 확산 특성을 분석하였다.



그림 1. 밀폐공간에서의 방수 작업 시 가연성 가스 확산 측정 실험

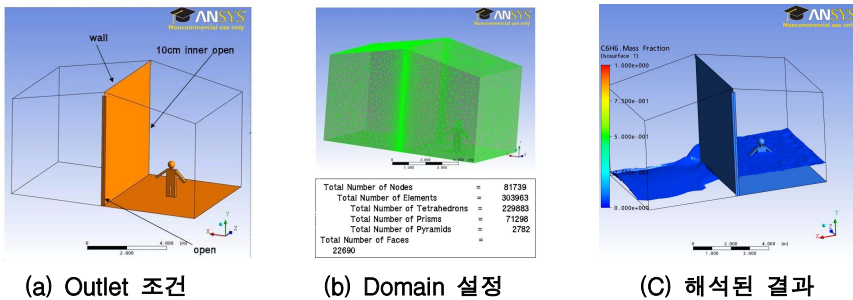


그림 2. 밀폐공간에서의 작업 시 가스확산 CFD 해석

그림 2의 (C)는 CFD에 의한 정상상태(Steady State)에서의 해석결과를 그림 2-8에서 보여주고 있다. 본 해석 결과는 톨루엔의 폭발 하한 농도인 1.2%를 ISOSURFASCE로 표현한 것으로 실험 결과 바닥 및 작업자의 허리에 측정된 가스농도기의 측정치와 유사하게 해석되었다.

② 밀폐공간에서의 폭발 특성에 관한 분석

밀폐공간에서 작업 시 가연성 가스에 의한 폭발특성을 분석하기 위하여 Hartman 식 분진폭발 장치를 변형한 시험장치에서 최소점화에너지를 측정 실험을 하였으며 작업 중 발생할 수 있는 폴리우레탄과 목분의 분진폭발 실험도 수행하였다 그림3은 Polyurethane Foam 분진폭발 실험모습으로서 난연재가 포함된 폴리우레탄 분진은 분진폭발 확산이 잘 안되는 특징을 보였다.

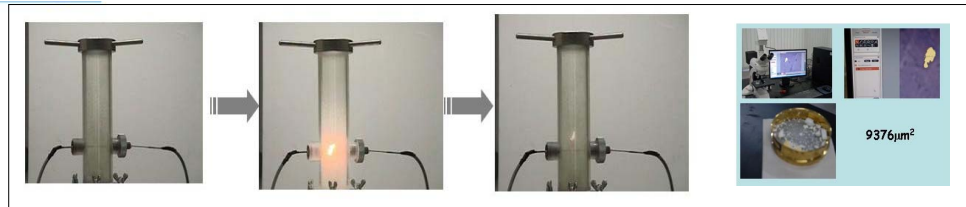
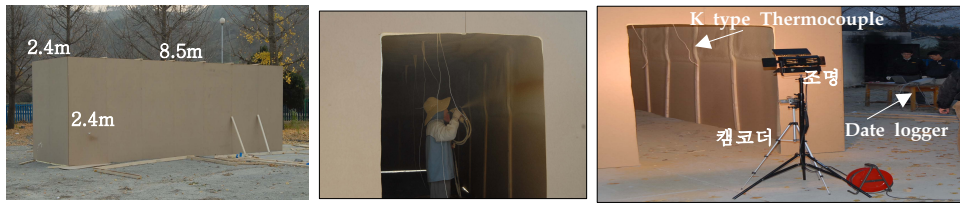


그림 3. Polyurethane Foam 분진폭발 실험 모습

(2) 밀폐공간에서의 화재특성에 관한 연구

① Polyurethane Foam 단열재가 시공된 공간에서의 화재 특성 실험

Polyurethane Foam 단열재가 시공된 건물 내 공간에서의 화재위험성을 평가하기 위하여 기존의 규격화된 화염전파 속도 실험이 아닌 실제 사고 시 특성을 분석하기 위하여 출구 1개 존재하는 8.5m 복도 공간 천정에서의 화염전파 속도 측정 실험을 수행하였다. 본 실험을 위하여 그림 4와 같이 8.5m 복도 (2.4m×8.5m×2.4m) 를 만들었고의 복도 내부 상부에 일반 건물 및 냉동 창고에서 단열재로 사용하는 난연재가 포함된 Polyurethane Foam 단열재를 두께 50mm로 뿔칠을 하였다.



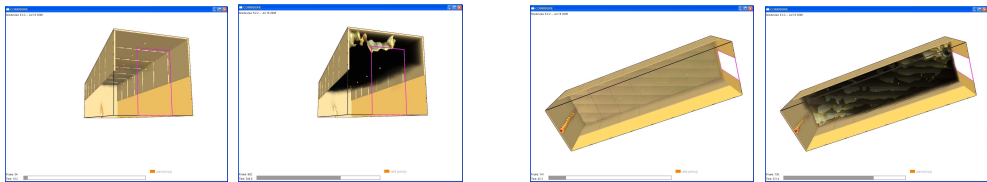
(a) 8.5m 복도 외부 모습 (b) 폴리우레탄 뿔칠 작업 모습 (c) 촬영장비 및 온도 측정 장치

그림 4. Polyurethane Foam 분진폭발 실험 모습

본 실험은 그림 5와 같이 복도 끝 벽면 바닥에 설치된 지름 20cm 헵탄 pool fire 점화원에서 시작하여 화염 전파 특성 실험을 수행하였으며 복도 내 상부(천정으로부터 30cm) 및 하부(바닥으로 부터1.5m)에 설치된 열전대로부터 수집된 화염전파 특성을 분석한 결과 일반적 복도에서의 열유동 특성이 복도 천장으로 확대되고 아래로 온도가 하강되어지는 형태를 보이나 일반적 화재 확대와 달리 매우 빠른 화염특성을 보였으며 Rollover 현상을 보였다. 또한 그림 6은 본 실험을 자세히 분석하기 위하여 FDS program을 이용하여 화재 의 전파 특성을 분석하였다.



그림 5. 입구에서 촬영된 시간별 화염 전파 사진 모습



(a) 출구 측면에서 관찰한 모습 (b) 복도 아래에서 관찰한 천정면 화염전파 모습

그림 6. 화재 simulation을 통한 화염 전파 특성 분석

② Polyurethane Foam 단열재가 시공된 공간에서의 화재 특성 실험

Polyurethane Foam 단열재가 시공된 8.5m 복도에서의 화염전파 속도 성상을 시각적으로 분석하기 위하여 실 Scale의 20%로 축소하여 폭 0.54m, 길이 3m, 높이 0.36m의 축소 모형을 만들고, 동일하게 내부에 난연재가 함유된 Polyurethane Foam 뿔칠이 되었으며 내부 연기 거동을 시각적으로 관찰하기 위해 그림 6과 같이 측면 바깥쪽 면 하나를 5mm의 폴리카보네이트로 제작하여 실험을 수행하였다. 그림 7은 축소 실험을 통하여 복도 내부 천정면의 화염 전파와 그림 8과 같이 FDS 프로그램을 이용하여 내부 화염 전파 특성을 분석하였다.

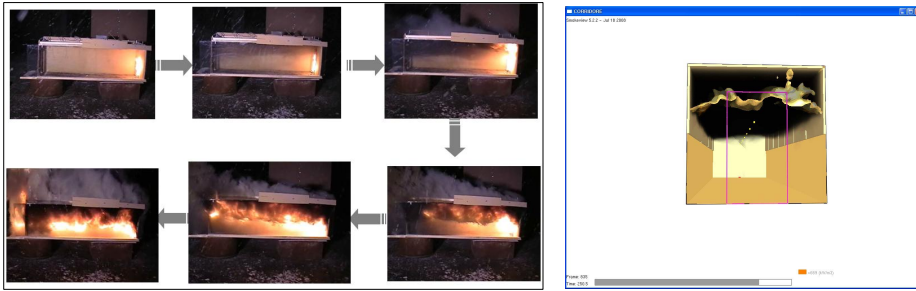


그림 7. 20% 축소 모델 실험 및 FDS 해석 모습

3. 결론 및 토의

본 연구를 통하여 밀폐공간에서의 가연성 가스 누출 확산 특성 분석을 통하여 휴대용 가스 감지기의(LEL 폭발 농도 센서)의 현실성적인 한계성(많은 유기용제 사용 시 및 천정이 높은 작업장에서의 흡입용량 범위)들을 볼 수 있었으며 이에 관한 대책과 천정에서 정체된 가연성 가스의 위험성 검출을 위한 장치 개발의 필요성이 요구되어 진다. 또한 난연재가 포함될지라도 Polyurethane Foam 단열재로서 시공된 밀폐공간에서의 화염 확산은 매우 빠르게 나타났으며 추후 밀폐공간에서의 사용되는 물질들의 새로운 화재안전성 평가 방법의 요구와 Polyurethane Foam 단열재가 시공된 공간에서의 화염전파 시 나타나는 Rollover 현상 시 화재 진압 현장에서의 안전성에 관한 연구의 필요성이 요구되어진다.

참고문헌

1. 이만수, 密閉된 복도 空間의 火災시 煙氣 流動에 관한 연구, 중앙대학교, 1998.12.
2. 이창우 외, 폴리우레탄 foam의 연소특성에 관한 연구, 한국화재소방학회 춘계 학술논문집, 2000년
3. Arthur E. Cote, National Fire Protection Association, "Fire Protection Handbook" seventh edition FRANK P. Lees, loss prevention in the process Industries (London: butterworths, 1986).
4. An introduction to fire dynamics, Dougal Drysdale, 1985