다중이용업소 화재시 대피용 방화복의 개발

Development of Fire Proof Clothes for the Multiplex Available Premises Fire

김효원* · 정길순** · 정래혁*** · 이병곤****

Kim hyo-won · Jung gil-soon · Jung rae-hyuck · Lee byung-kon

Abstract

Multiplex available premises have many rooms with complicate internal structure and it make difficult to the safe evacuation. The purpose of this study is the development of economic fire proof clothes and supply to multiplex available premises to save the people's lives. Actual fire experiments in the fire laboratory were conducted to measure the fireproof characteristics of fire proof clothes. Also, fire simulation were performed to predict the temperature and fire damage of the fire proof clothes with the FDS program. As a result, the test persons wear the fire proof clothes can be endured at least 8 minutes in the actual fire experiment, and over 11 minutes in case of using portable oxygen.

Key words : fire proof clothes, multiplex available premises, FDS

요 지

다중이용업소는 영업상 립을 설치하게 되어 내부구조가 복잡하고 가연성 실내장식물로 인해 화재 발생 시 연소 확대가 빠르고, 유독가스가 발생되어 인명피해가 크며 진화가 어렵다. 본 연구에서는 다중이용업소 화재에서 착용이 간편하고 경제적인 방화복을 개발하여 인명피해를 감소시키고자 한다. 여러 종류의 섬유에 각종 방염제를 사용하여 방염처리한 후, 45도 방염성능시험, 수직 연소성 시험 등을 실시하여 내화성능이 적합하고 경제적인 방화복 재질을 선정하였다. 선정된 재료로 비교적 단순한 형태의 방화복을 디자인하여 제작하였다. 대피자의 호흡을 돕기 위한 휴대용 산소캔을 부착하여 시험하였다. 화재모델링 프로그램인 FDS를 이용하여 수치 해석하여 인체시험이 곤란한 실험을 수치 해석하였다. 실제화재에 대한 방화복의 내화특성을 실험하기 위하여 화재실험실에서 화재 실험을 시행하였다. 또한, 방화복을 입고 화염이나 연기에 얼마나 오래 견딜 수 있는지를 알아보는 인체 적용 실험도 실시하였다. 실제 화재에 대한 방화복의 내화특성을 실험하여, 화염과 연기에 내구성을 갖는 간편하고 경제적인 방화복을 개발하여, 다중이용업소를 이용하는 불특정 다수인이 화재시 화염이나 연기로부터 대피할 수 있도록 하여 귀중한 생명을 보호한다.

핵심용어 : 방화복, 다중이용업소, FDS

1. 서 론

다중이용업소는 영업상 립을 설치하게 되어 내부구조가 복잡하고 가연성 실내장식물의 설치로 화재 발생 시 연소 확대 우려가 높고, 다량의 유독가스가 발생되어 피난에 많은 지장을 초래하여 인명피해가 클 뿐만 아니라, 화재방어 및 진화가 곤란한 실정이다(전태호, 2007).

1999년 인천 노래방 화재로 58명이 사망하는 대형 화재사고 이후, 다중이용업소의 안전관리에 관한 특별법이 제정되어, 주 출입구 반대방향에 1개 이상의 비상구를 설치하도록 법제화 하였다. 그러나 노래연습장, 단란주점 등의 다중이용업소

에서 평상시나 비상시에 비상구를 개방하는 경우는 거의 없어서 화재시 주로 출입문으로 대피하여야 하는데, 출입문에서 화재가 발생한 경우나 내부에서 발화 후 출입문까지 화재가 확산되는 경우에 출입문으로 대피하지 못하고 닫혀 있는 비상구를 찾다가 사망하는 경우가 많다(이재철, 2011). 대피경로는 일반적으로 수십 미터 이내이며, 대피에 소요되는 시간은 수분 이내이다. 화재 초기나 성장기에는 실내 바닥까지 연기가 차지 않으며, 바닥까지 연기가 차기 전에 화재를 인지하기 때문에 바닥에는 호흡할 수 있는 공기가 있다. 따라서 다중이용업소 화재시 방염 처리된 간이 방화복을 간편하게 착용하고, 화염이나 연기 속으로 수분 이내에 대피할 수

*정희원 · 충북대학교 안전공학과 석사과정(E-mail : hyowon@chungbuk.ac.kr)

**충북대학교 안전공학과 박사

***정희원 · 충북대학교 안전공학과 박사과정

****정희원 · 충북대학교 안전공학과 교수(교신저자)

있다면 귀중한 생명을 잃지 않을 것이다.

본 연구에서는 다중이용업소 화재시 대피용으로 경제적인 간이 방화복을 개발하여 불특정다수의 귀중한 생명을 보호하고자 한다. 산소가 없는 경우를 대비하여 휴대용 산소캔을 방화복 내부에 비치하여 호흡할 수 있도록 한다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 방염처리와 연소실험

방화복 재료는 표 1과 같이 7종을 선정하고 실험하였다. 방염제는 인산염계 방염액과 방염도료, 불소수지 3종을 선정하고, 방염액 침지용 시료를 방염액에 30분간 침지 후 방염액을 짜내고, 도장용 롤러를 사용하여 방염도료를 3회 반복하여 도장하였다. 스프레이 분사를 이용하여 불소수지를 코팅하였다. 방염 처리한 시료는 상온의 실내에서 48시간이상 자연 건조하였고, 방염액 처리 시료의 두께는 방염액 처리시 0.2 mm, 방염도료 처리시 0.3 mm이다. 방염액 1종류, 방염액+방염도료 2종류, 방염액+방염도료+불소수지의 3종류로 처리한 방염약품의 종류에 따른 시료별로 구분하여 각각 실험하였다(이근원, 2001).

표 1. Materials of fire proof clothes

종류	구성재료
천	Cotton 100%
실크	Silk 100%
유리섬유	Fiber glass
탄소섬유	Carbon fiber
인견	Rayon
인조가죽	Polyurethane
소가죽	Cowhide

2.2 대피용 방화복 실험

대피용 방화복은 그림 1과 같이, 화염으로부터 인체를 보호

그림 1. Fire proof clothes.

하고 하부에서 신선한 공기가 유입될 수 있도록 전체를 원통형으로 설계 제작하였다. 얼굴부분은 호흡하기 수월하도록 넓게 하고, 안면 시야 확보를 위하여 안면 보호창을 두었다. 호흡할 수 있는 공기가 없는 경우에 대비하여, 방화복 내부에는 휴대용 산소캔을 넣을 수 있는 산소주머니를 비치하였다.

방화복 내외부 온도 및 가스농도를 측정하기 위하여 그림 2와 같은 길이 4.5 m, 폭 3.2 m, 높이 2.6 m의 벽면은 내화벽돌, 천장은 철판과 단열재 구조의 화재실험실에서 실험을 실시하였다. 바닥에서 1.6 m, 화염에서 1 m 떨어진 곳에 사람이 착용했을 때와 같은 형태로 방화복을 비치하고, 방화복 외부(outer sensor)와 방화복 내부의 머리 부분(inner sensor)에 온도센서와 가스 센서를 설치하여 온도와 가스 농도를 측정하였다. 화원은 목재크립과 다중이용업소에서 내외장재나 소파 등에 사용되는 Polyethylene(PE)의 두가지로 하였다. 목재크립은 단면의 가로, 세로가 2.73 cm, 길이가 25 cm, 중량 85 g의 목재를 4개씩 5층으로 하였다. PE는 가로 40 cm, 세로 40 cm, 높이 4 cm, 중량 400 g의 PE 블럭을 4개층으로 쌓아 소량의 알코올로 점화시켜 실험하였다.

2.3 내화실험

실제화재에 대한 대피용 방화복의 내화특성을 시험하기 위하여 실제 화재 상황에서 화염에 노출될 상황을 가정하여 실험을 실시하였다. 그림 2와 동일한 실험실에 동일한 화원으로 천장에 레일을 설치하여 대피용 방화복을 매달고 화염 위를 보행속도로 10회 왕복하여 방화복을 화염에 직접 접촉하게 하였다. 측정은 매회 왕복시마다 탄화길이를 측정하였다. 방화복과 비교하기 위하여 방염처리 되지 않은 일반천으로도 실험하였다.

그림 2. Actual fire experiment of fire proof clothing.

2.4 인체 적용 실험

실제 화재 상황에서 대피용 방화복을 착용한 신체로부터 대피용방화복이 얼마나 효과가 있는지 알아보기 위하여 인체 적용 실험을 실시하였다. 20대 4인과 30대 1인의 피실험자 남성 5인을 대상으로 목재크립과 Polyethylene(PE)로 화염 및 연소가스를 발생시킨 후 밀폐시킨 온도 70°C~100°C, CO 농도 500 ppm~700 ppm을 유지하는 화재실험실로 입실하여 시간별 인체의 변화를 직접 기록하게 하였다.

3. 실험 결과

3.1 방염처리와 연소실험 결과

방염처리 후, 한국소방산업기술원 KFIS 006에서 규정한 실험방법을 적용하여, 45도 연소실험, 수직 연소실험, 열통과실험, 가스통과실험, 내화실험을 각각 시행하였다(한국소방산업기술원, 2009). 45도 연소실험 결과 실험체들은 모두 착화되지 않고 화재를 확대시키지도 않아 방염성능 요건에 적합하였으나, 방염처리하지 않은 천, 실크, 인견, 인조가죽은 완전 연소되었다. 방염제의 종류를 증가할수록 방염성능이 높아졌다. 수직연소실험의 탄화길이는 45도 연소실험보다 감소하였는데, 이것은 단위면적당 점염 범위가 작아진 때문이다. 가스 통과 실험결과 인견, 유리섬유, 천 순으로 가스가 많이 통과하였으며, 인견, 유리섬유는 방화복 재질로 부적합하였다. 방염성능실험, 경계성, 취급성, 부피 등을 고려하여, 방화복 재질을 천으로 선정하였으며, 병원 입원실 등에서 방염커튼으로 사용되는 방염천으로 결정하였다.

3.2 방화복 내외부 온도 측정 결과

그림 3은 방화복 내외부 온도변화로서 외부 최고온도는 90°C 이상이나, 내부 최고온도는 50°C 이하로 감소한다. 방화복 외부는 안전한값 80°C 이상으로 불안전하나, 방화복

그림 3. Temperature of fire proof clothing.

그림 4. CO concentration of fire proof clothing.

내부는 안전한값 이하로 안전하였다. PE화재는 목재화재에 비하여 화염이 급격히 발생하고 급격히 소멸한다.

3.3 방화복 내외부 가스농도 측정 결과

그림 4는 방화복 내외부 CO 농도변화로서, 방화복 외부는 목재 화재시 약 630 ppm, PE 화재시는 700 ppm 이상으로 상승하여 위험하나, 방화복 내부는 300 ppm 이하로서 위험에서 벗어날 수 있다(NFPA; James, 2004).

그림 5는 방화복 내외부의 CO₂ 농도변화로서, 외부는 1.7%까지, 목재화재시는 서서히 상승하나 PE화재시는 급격하게 상승한다. 내부는 0.5% 이하로 감소한다. 내외부 모두 안전한계값 5% 이하로 안전하나, 내부는 더 감소한다(NFPA; James, 2004).

그림 6은 방화복 내외부 O₂ 농도변화로서, 목재화재, PE화재 외부는 17%까지 감소한다. 내부는 연소가스 차단과 산소가 일부 보존되어 목재화재는 19%, PE화재는 18%로 유지된다. 내외부 모두 안전상한값 15% 이상으로 안전하다고 추정되나, 방화복 내부는 산소 농도가 1~2% 더 높아서 호흡하기가 유리하다(NFPA; James, 2004).

3.4 내화실험 결과

방염 처리되지 않은 천은 작은 화염에 1회 왕복으로도 불

그림 5. CO₂ concentration of fire proof clothing.

그림 6. O₂ concentration of fire proof clothing.

그림 7. Length of carbonization.

그림 8. Carbonized trace of fire proof clothing.

꽃이 천 전체로 번져서 연소되었다. 대피용 방화복은 그림 7과 같이, 매회 탄화길이는 누적되어 증가하였으나, 전혀 접염되지 않고 연소되지도 않았다. 그림 8은 내화실험 후의 탄화흔적이다.

3.5 인체 적응 실험 결과

그림 9는 피실험자들의 상태 변화로서, 대피용 방화복을 착용하지 않은 실험자 1은 1분 정도밖에 견딜 수 없었다. 대피용 방화복을 착용한 실험자 4, 5는 약 8분까지 견디고, 방화복에 휴대용 산소까지 사용한 실험자 2, 3은 약 11분까지

그림 9. human endurance test in actual fire experiment.

견딜 수 있었다. 따라서 대피용 방화복을 착용하면 미착용시에 비해 화재현장에서 대피시 유리할 것으로 추정된다.

4. 화재 시뮬레이션

4.1 화재 시뮬레이션 결과

대피용 방화복의 실험 결과와 비교하고, 인체 실험이 불가능한 화원 가까이의 온도, 가스농도를 해석하기 위하여 화재 시뮬레이션을 실시하였다. FDS 프로그램(NIST, 2008)을 이용하여 2.2절의 화재실험실 및 실험조건과 동일하게 시뮬레이션 하였다. 방화복은 원통형이나, 단면이 1 m×1 m의 정사각형으로 간주하였다. 목재화재에 대해서만 실시하였으며, 목재크립의 열방출률은 300 kw로(정길순, 1993; 하동명, 2004) 정하였다.

그림 10은 화재 시뮬레이션의 신뢰성을 검증하기 위하여 그림 3의 목재화재 결과와 온도실험 결과와 비교한 그림이다. 방화복 내외부 온도에 대하여 외부온도는 전체적으로 상당히 유사한 결과를 나타내었고, 내부온도는 시뮬레이션에서 방화복 내부의 연기유입의 차이로 5°C~10°C의 미소한 차이를 보였다. 가스농도 결과도 이와 유사하여, 시뮬레이션은 대략 10% 이내의 신뢰성을 갖는 것을 확인하였다.

그림 10. Comparison of temperature.

그림 11. Temperature of fire proof clothing in 0.1 m distance from fire.

그림 12. CO Concentration of fire proof clothing in 0.1 m distance from fire.

그림 11은 방화복과 화원과의 거리가 0.1 m일 때 내외부 온도변화로서, 1 m일 때에 비하여 20°C~30°C 상승하였다.

그림 12는 방화복과 화원과의 거리가 0.1 m일 때 CO 농도이다. 연기는 주로 방화복 하부로 유입되기 때문에 화원과의 거리에 영향을 받지 않아서, 방화복 내부의 CO 농도는 1 m일 때에 비하여 거의 변화가 없었다.

5. 결 론

다중이용업소 화재시 대피용 방화복을 개발하고, 실제 화재 실험, 화재 시뮬레이션 등으로 성능을 평가하여 얻은 결론은 다음과 같다.

- 1) 실제 화재실험에서 방화복 미착용시는 1분 정도 밖에 견딜 수 없었으나, 대피용 방화복을 착용한 실험자는 약 8분까지 견디고, 방화복에 휴대용 산소까지 사용한 실험자는 약 11분까지 견딜 수 있었다.

- 2) 대피용 방화복은 화염위로 10회 왕복하여도 접염되지 않고 연소되지도 않았다.
- 3) 대피용 방화복 내부온도는 외부온도의 50% 정도로 감소하였다.
- 4) 대피용 방화복의 내부온도는 화염에 근접하면 크게 상승하나, 내부 가스농도는 화염과의 거리에 영향을 받지 않는다.

감사의 글

본 논문은 2011년도 충북대학교 학술 연구지원사업의 연구비지원에 의하여 연구되었습니다.

참고문헌

- 이근원 (2001) 용접 불티 차단막의 방염 및 난연성능 평가, **한국 화재소방학회논문지**, 제15권, pp. 53-58.
- 이재철 (2011) **다중이용업소의 화재원인분석 및 소방안전 대책에 관한 연구**, 경일대학교 대학원 석사학위논문
- 전태호 (2007) 다중이용업소의 화재사례 분석을 통한 화재예방에 관한 연구, **소방학교 소방논문집**, 제11호, pp. 177-221.
- 정길순 (1993) 목재화재의 실내화재성상과 안전대피시간, **한국안전학회지**, 제8권, 제2호, pp. 72-77.
- 하동명 (2004) 건축 내장재의 flashover 시간 및 열방출량 예측에 관한 연구, **한국화재소방학회논문지**, 제18권, pp. 30-38.
- 한국소방산업기술원 (2009) 소방용 방화복의 인정기준, **KFI 규정집**.
- James G. Quintiere (2004) *Principles of Fire Behavior*, Thomson.
- NFPA. *Combustion Products and Their effect on Life Safety*, Fire Protection Handbook
- NIST. (2008) *FDS(Fire Dynamics Simulator) User's Guide(Version 5)*.

- © 논문접수일 : 2012년 04월 12일
- © 심사의뢰일 : 2012년 04월 16일
- © 심사완료일 : 2012년 04월 25일