

[Research Paper]

성능위주설계를 위한 가연물의 열발생률 및 화재성장률 측정 - 판매시설의 플라스틱 화재를 중심으로 -

장효연 · 남동군^{*†}

한국소방산업기술원 소방기술연구소 연구원, *한국소방산업기술원 소방기술연구소 책임연구원

Measurements of the Heat Release Rate and Fire Growth Rate of Combustibles for the Performance-Based Design - Focusing on the Plastic Fire of Commercial Building

Hyo-Yeon Jang · Dong-Gun Nam^{*†}

Researcher, R&D Laboratory, Korea Fire Institute,

*Senior Researcher, R&D Laboratory, Korea Fire Institute

(Received August 21, 2018; Revised October 16, 2018; Accepted October 17, 2018)

요 약

국내 성능위주소방설계(PBD)에 신뢰성이 향상된 예측결과를 기여하고자 판매시설 가연물 중 플라스틱으로만 이루어진 제품을 대상으로 실규모 화재실험이 수행되었다. 이때 판매시설의 경우 다양한 가연성 물질이 진열된 판매대의 간섭 또는 상품 적재 등으로 인한 화재확산의 검토를 위하여 단일 및 다수가연물로 분리되어 실험조건이 선정되었다. 이에 따라 최대 열 발생률에 따른 가연물의 노출 면적 및 중량은 대략 93%와 89%의 매우 선형적인 관계를 확인할 수 있다. 또한 다양한 가연물에 대한 가스농도의 분석 결과 이산화탄소(CO₂)는 최대 열 발생률에 대하여 선형적인 관계를 나타내는 반면 일산화탄소(CO)는 지수함수의 형태를 나타낸다. 이러한 결과는 판매시설에서 발생하는 플라스틱 화재의 PBD에 신뢰성있는 회원정보로서 적용될 수 있다. 추후 실제 판매시설에서 적용되는 진열대의 면적이 적용된 추가적인 실험을 통하여 판매시설의 플라스틱 화재에 대표되는 회원 정보로서 적용할 수 있을 것이라 기대된다.

ABSTRACT

To improve the prediction result with enhanced reliability of domestic Performance-Based Design (PBD), actual scale fire tests were carried out on products made of plastics from sales facility combustibles. The commercial buildings were separated into single and multiple combustibles for the experimentation of fire spread caused by the sales shelves where the various combustible materials are displayed. A according to the maximum heat release rate, exposed area and weight of the combustible material, the results revealed a linear relationship of as 93% and 89%. In addition, analysis of the gas concentrations for various combustibles showed that CO₂ has a linear relationship, whereas the CO concentration indicated exponential function. These results can be applied to reliable fire source information in PBD of plastic fire source in commercial buildings. This may be applied as fire source information representative of a plastic fire in commercial buildings through additional experiment using the area of the shelf in actual commercial buildings.

Keywords : Performance-based design (PBD), Fire simulation, Fire dynamics simulator (FDS), Commercial building

[†] Corresponding Author, E-Mail: nam@kfi.or.kr, TEL: +82-31-289-2958, FAX: +82-31-287-1067

© 2018 Korean Institute of Fire Science & Engineering. All right reserved.

1. 서 론

백화점 및 대형할인점과 같은 판매시설의 경우 화재 발생 시 매우 빠른 속도로 화재 확대가 이루어지며, 다양한 상품을 적재 및 판매함으로써 화재 시 상당한 재산 및 인명피해가 예상된다. 특히 이러한 판매시설에서 화재가 발생하는 경우 해당 건물 내에 수용되어 있는 각종 의류, 식품, 플라스틱류 등 가연성 물질의 연소로 인한 대량의 유독성 물질과 화염이 급속히 진행되어 확대된다. 그러므로 이는 다양한 상품의 적재 및 진열대의 간섭에 의해 화재 확대를 촉진시키는 매개체가 될 수 있다.

다양한 가연물 중 플라스틱은 산업의 발전에 따라 생산량과 더불어 소비량이 증가하며 플라스틱 화재도 증가하고 있다. 대부분의 화재 사고 현장에는 플라스틱이 포함되어 있으며, 플라스틱의 종류는 각각의 특성에 따라 연소생성물이 매우 유독할 뿐만 아니라 연소 형태가 매우 복잡하고 다양하다. 이로서 다양한 플라스틱 화재는 신뢰성 있는 예측결과를 통한 대응책이 분명히 필요하다. 이때 플라스틱의 화재특성의 경우 초기 연소단계에서의 대류, 전도, 복사 등에 의해 축적된 열은 플라스틱의 온도를 상승시키며, 어느 정도의 열 축적이 이르면 해당 가연물이 용해되며 화재확대가 발생된다. 이때 순수 polymer의 시편이 아닌 복합적인 가연물이라 할 수 있는 판매시설의 제품들은 인화 용이성, 표면 가연성, 열 확산, 연기발생 및 적재가연물의 양에 따라 화재의 위험성을 적도하게 된다⁽¹⁻⁴⁾. 이로서 본 연구에서는 다양한 형태의 플라스틱 가연물을 대상으로 화재실험을 통해 열 발생률 및 가스농도를 측정하고자 한다.

그리고 범규 중심의 화재안전기준은 초고층 건물 등의 출현으로 인하여 적절히 화재안전설계에 대응 할 수 없을 뿐 아니라 현시대의 다양한 요구에 부응하기에는 많은 한계가 야기되고 있다. 또한 미국 및 유럽뿐만 아니라 일본에서도 기존의 화재안전 규정에 성능개념을 도입하여 화재 발생 시 건물의 형태, 재실자의 수, 공간의 규모 및 가연물의 형태 등을 고려한 화재안전규정으로 변모하는 등 새로운 개념의 화재안전 규정이 적용되고 있다⁽⁵⁾.

이러한 성능위주설계(Performance Based Design, PBD)⁽⁶⁾가 적용되어 건축물의 화재위험도를 평가하기 위해서는 해당 공간에서 화재 발생 시 화재의 성장 및 크기의 예측이 필수적이다. 이를 위해서는 문헌상에 제시되고 있는 화재크기 산정 기법, Fire Dynamics Simulator (FDS)와 같은 시뮬레이션 기법과 실물화재 실험을 통한 화재크기 산정 기법등을 사용한다. 하지만 현재까지의 국내 연구는 실제 공간에 적용되는 가연물의 화재 실험을 통해 발생하는 열 발생률을 산출하여 화재 성장 및 특성을 분석하고 그 결과를 제시함에 따라 PBD에 기여하는 경우는 매우 희박한 실정이다⁽⁷⁾.

또한 해당 공간 내의 화재특성을 이해하고 화재위험성 평가에 있어 설계화원의 설정은 화재시뮬레이션에 적용에 가장 기본적이고 중요한 인자로 인식된다. 특히 PBD는 용

도별로 분류된 공간의 주된 화원이 되는 설계화원의 규모나 특성에 기초해야 타당하며, 공학적 화재해석이 요구됨에 따라 화원에 대한 정보가 필수적이다⁽⁸⁾. 이에 따라 판매시설 플라스틱 화재에 해당하는 화원에 대한 정보를 명확히 제시하기 위하여 실제 표준구획실이 적용되어 단일 및 다수가연물에 대한 화재실험을 통해 화재안전설계에 기여하고자 한다.

2. 실험 개요

2.1 개요

판매시설에서 발생하는 화재 모사를 목적으로 실제 규모의 ISO 9705 표준화재실⁽⁹⁾이 적용되었으며, 화재확대의 위험성이 고려되기 위하여 플라스틱 가연물이 우선 선정되었다. 이때 소규모 화원으로서는 헵탄을 이용하여 가연물의 점화가 수행되었다. 그리고 화재실험에서 발생하는 연소가스를 덕트 내부에서 포집하여 산소소모법에 의한 열 발생률 등의 측정을 위하여 룸코너시험기(Room Corner Tester, RCT)⁽¹⁰⁻¹⁵⁾가 적용되었다. 또한 공간 내부에서 가연물이 연소할 때 발생하는 가스농도를 분석하기 위하여 구획공간의 상부에 가스농도측정기가 front-rear로 구분하여 설치되었다. 이때 연소 중에 형성되는 화염은 카메라, 캠코더 및 CCTV를 이용하여 기록하였다.

2.2 실험방법

실제 규모의 구획화재를 구현하기 위하여 Figure 1(a)와 같이 2.4(x) m × 3.6(y) m × 2.4(z) m의 크기와 0.8 m × 2.0 m의 개구부로 자연배기가 이루어지는 ISO 9705 표준화재실이 사용되었다. 또한 플라스틱이 적용된 화재실험의 발열량 측정을 위하여 룸코너시험기가 적용되었으며 배기 덕트, 가스포집장치, 집진설비 등으로 구성된다.

화재환경에서 발생하는 주요 화학종 농도의 측정을 위한 흡입형 프로브(inhalation probe)는 Figure 1(a)에 도시된 것과 같이 상층부의 뒷 벽 근처와 개구부 근처로 나뉘어 O₂, CO, CO₂가 배기가스 분석기를 통하여 측정되었다. 이때 Figure 1(b)는 프로브를 통해 포집되는 구획 내부 연소가스의 분석을 위한 냉각시스템이 도시되었다. 연소가스는 다량의 soot 입자를 포함한 고온 기체임을 고려할 때 수분의 제거 및 냉각을 위하여 연소가스가 분석기로 유입되기 전에 냉각단계를 거치도록 하였다. 이로 인해 추가적으로 구리동관 및 얼음을 이용하여 냉각관을 통해 고온의 가스가 냉각되었다.

구획 내부의 가연물을 대상으로 화재환경의 온도측정을 위한 K-type 노출 비드형 열전대가 구획 뒷 벽 및 개구부를 중심으로 0.6 m인 (2.4(x), 0.6(y)), (2.4(x), 3.0(y)) 1.0 mm 및 0.4 mm의 크기가 높이별로 동시에 적용되었다. 또한 화재의 성장 및 거동은 구획 외부에서의 사진 또는 실시간 녹화장치 그리고 구획 내부에 설치된 CCTV를 이용하여 시각

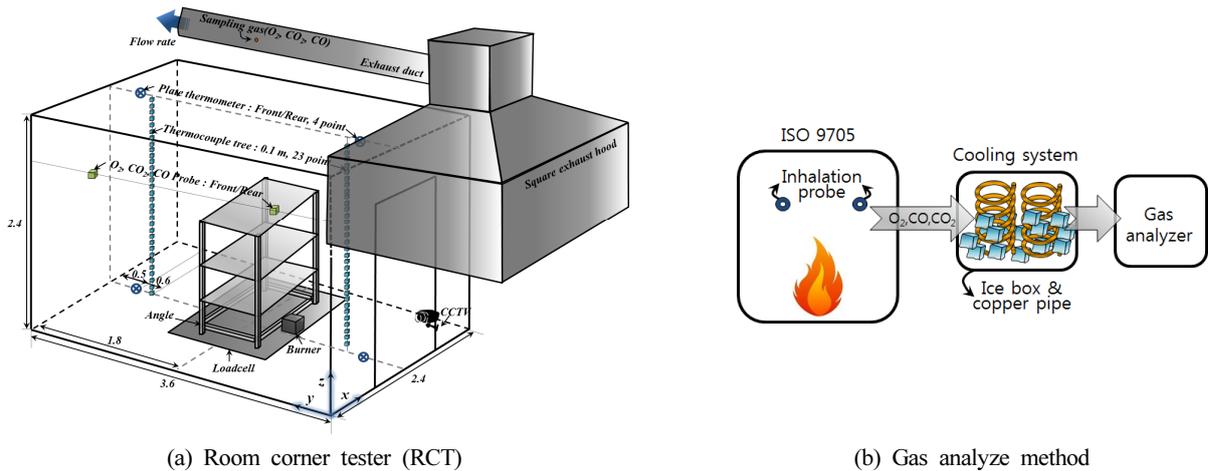


Figure 1. Schematics of experimental facility.

Table 1. Test Condition used in the Present Study

No.	Specimen	Material	Quantity (ea)	Mass (kg)	Specimen Size (mm)	Ignition Burner	
						Burner Size (mm)	Heptane (mL)
1	Bottle	Poly propylene (PP, (C ₃ H ₆)n)	1	0.33	165 × 100 × 272	100 × 100 × 100	50
2	Drawer			1.06	225 × 184 × 530		
3	Basket (a)			0.70	350 × 350 × 335		
4	Basket (b)			0.82	240 × 240 × 470		
5	Basin			0.54	450 × 450 × 140		
6	Box (a)		1	1.05	340 × 220 × 220		50 + reigniton 100
7			2	2.10			100
8			4	4.20			100
9	Box (b)		1	0.73	378 × 320 × 163		50
10			2	1.46			
11			4	2.92			
12			6	4.38			

적인 기록을 통해 화재현상을 정의하기 어려운 점을 보완하고자 하였다.

2.3 실험조건

2.3.1 시험체

실험은 판매시설인 마트 또는 시장에서 유통되는 가연물로서 주거 및 사무 공간에 사용되는 밀폐용기 및 수납박스 등이 선정되었다. 이때 선정된 가연물에 대한 실험 조건은 Table 1, 상세한 수치는 Figure 2에 도시되었다. 그리고 판매시설에 존재하는 다양한 제품들의 경우 복합적인 물질로 이루어져 있는 것이 대부분이지만 실험에서는 플라스틱으로만 이루어진 제품을 대상으로 하였다. 이는 플라스틱의 발열량은 목재 등의 다른 가연물보다 크고 지속적인 열에 의해 착화하면 용해된 가연물은 폴화재로 연소확대 위험성이 클 것으로 예상되어 우선 플라스틱 제품이 시험체

로 선택되었다. 본 연구에서는 플라스틱 제품만을 대상으로 연소성상을 파악하였지만 향후에 복합재료의 제품의 연소성상을 파악하여 비교 및 분석할 예정이다.

그리고 판매시설에 진열되는 상황을 가정하기 위하여 임의의 선반을 제작하여 진열대의 간섭 또는 상품 적재 등으로 인한 영향이 분석되었다. 선반은 실험 장치의 계측할 수 있는 한계로 인해 실제보다 작은 3개 층으로 제작되어 가연물이 수평 및 수직으로 진열한 후 구획 내부에 위치되었다. 이때 선반에 진열하는 제품의 숫자가 증가함에 따라 연소성상을 비교하기 위해 실험 7은 박스 2개를 1단에 배치하고, 실험 8은 박스 4개를 1, 2단에, 실험 9는 박스 6개를 1~3단에 각각 배치하였다.

2.3.2 화원

화재를 모사하기 위한 점화보조제는 헵탄으로서 단일 및 다수 가연물의 중앙에 위치하였다. 이때 화원은 규모가

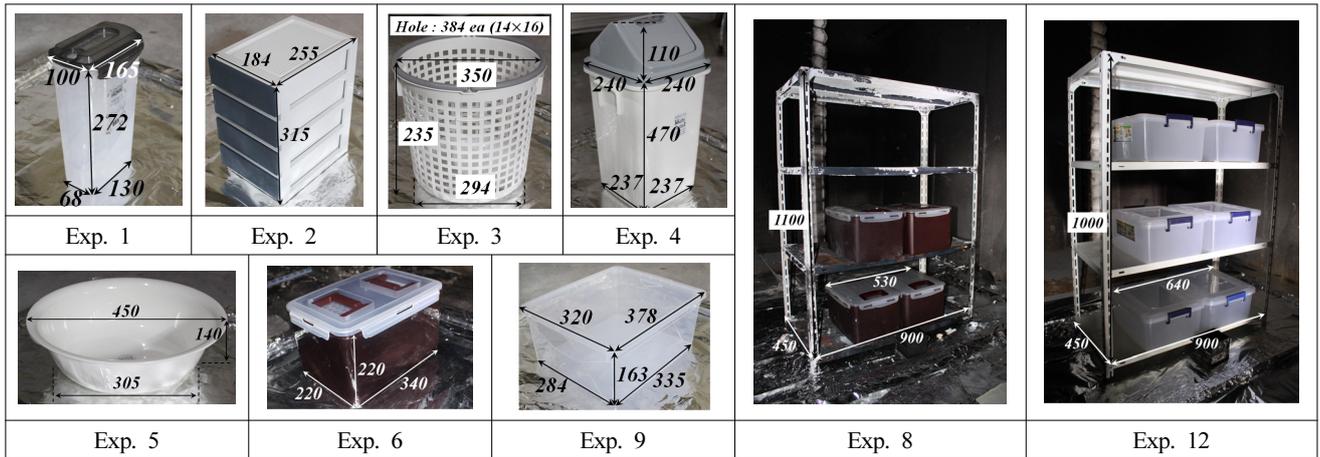


Figure 2. Photographs of the tested single combustible (mm).

큰 경우 시험체의 연소성상에 영향을 미칠 수 있으므로 연소가 지속적으로 이루어 질 수 있는 최소한의 양으로서 사각 철판 버너를 이용한 헵탄 50 mL가 적용되었다. 하지만 Box(a)의 경우 헵탄 50 mL에 대하여 지속적인 연소가 이루어지지 않고 자연소화가 발생되어 충분한 가열을 위하여 헵탄의 양이 2배가 적용되어 화재 확대가 유도되었다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 플라스틱 가연물의 화재특성

구획 내부의 플라스틱 가연물을 대상으로 한 실험규모 화재실험은 점화보조제인 헵탄에 의해 점화가 발생하여 단일 및 다수 가연물에 화재가 확산되었으며, 총 12 case의 실험이 수행되었다. 단일가연물의 경우 헵탄에 의해 착화된 면에 충분한 열원이 형성되고 전반적으로 화염이 확산됨에 따라 최초 착화면을 기준으로 플라스틱이 용해되어 화재확대가 발생된다. 이에 따라 화염은 최성기에 도달하며 용해된 액체 플라스틱에 의해 넓어진 면적의 화원은 전소 후 점차 쇠퇴한다.

다수가연물의 경우 대표적으로 Box(a) 4개 그리고 Box(b) 6개 조건에 해당하는 실험이 실시간으로 녹화된 화재특성이 Figure 3에 도시되었으며, 화재실험은 대략 15분 동안 진행되었다. 점화보조제에 의해 약 5분 후 착화됨에 따라 플라스틱 박스는 용해되어 화원의 직경이 확대되는 것을 확인할 수 있다. 이에 따라 상단에 수직으로 진열된 가연물에 화염이 도달하여 용해되는 과정에서 화원의 직경은 매우 확대된다. 그리고 화재는 급격하게 성장하여 다량의 soot 발생과 더불어 화염의 크기가 증가하는 것을 확인할 수 있다. 이후 대략 11 min이 경과한 후 상단에 잔여하고 있는 가연물 및 용해되어 흐르는 플라스틱의 추가적인 연소가 이루어지며 내부의 가연물이 전소함에 따라 서서히 소화하는 것을 나타낸다. 결과적으로 시간에 따른 플라스틱의 화재특성을 검토한 결과 가연물 자체가 충분한 열을

받아 용해가 되어 액체로 상변화가 이루어지는 직후 화재는 순간적으로 확대되어 대형화재로 야기된다.

추가적으로 단일 및 다수가연물이 동시에 분석된 Box(a), Box(b)를 대상으로 점화 이후 시간에 따른 열 발생률 및 총발열량이 Figure 4에 도시되었다. 각 조건의 화재 크기를 비교하기 위하여 y 축이 일치되었으며, 실험시간은 각 가연물의 전소 후 중지되었다. 이때 Box(a)와 (b)는 비슷한 형상, 용도 그리고 동일한 플라스틱으로만 이루어진 가연물임에도 불구하고 동일한 개수에서의 화재 크기의 차이는 세부 재질과 관련된 현상이라 판단된다. 또한 플라스틱의 연소특성상 착화 및 연소속도가 빠르고 연소 시 유독가스를 다량 발생시키는 것으로 미루어 보았을 때 화재 시 외부 열원에 의한 플라스틱 가연물은 화재의 성장과 전파에 직접적인 영향을 미칠 것으로 판단된다.

국내에서는 화재안전설계 대상 건축물에 대하여 연층온도, 연층 높이, 연기밀도 그리고 가스농도 등의 예측결과에 따른 허용피난시간(Available Safe Egress Time, ASET)이 산출된다^(16,17). 이때 PBD에 적용되는 대표적 화재모델은 Field 모델인 FDS로서 특정위치에서 예측 물리량이 임계값에 도달하는 시간을 바탕으로 건축물의 화재안전설계가 이루어진다. 이에 본 연구에서는 PBD와 유사한 관점으로 측정 물리량이 임계값에 도달하는 시간을 측정하였으며, 수행된 실험 중 대표적으로 Box(b)의 화재실험에 대한 결과를 토대로 플라스틱 화재의 위험가능성을 정량적으로 제시하고자 한다.

이를 검토하기 위하여 Figure 5는 O₂, CO, CO₂ 그리고 온도를 헵탄에 의한 착화 시점을 기준으로 시간에 따라 도시되었다. 그 결과 O₂와 CO₂는 착화가 진행되고 대략 4분 후 소방시설등의 성능위주 설계방법 기준을 초과하는 것을 확인할 수 있다. 온도의 경우 가스 농도에 비해 빠른 시간 내에 기준 초과에 도달하게 되며 그 이유는 1.8 m에 위치하고 있는 열전대가 화염과 직접적으로 닿기 때문에 구획실의 온도가 아닌 화염면의 온도 측정으로 인한 과대 측정결과로서 판단된다.

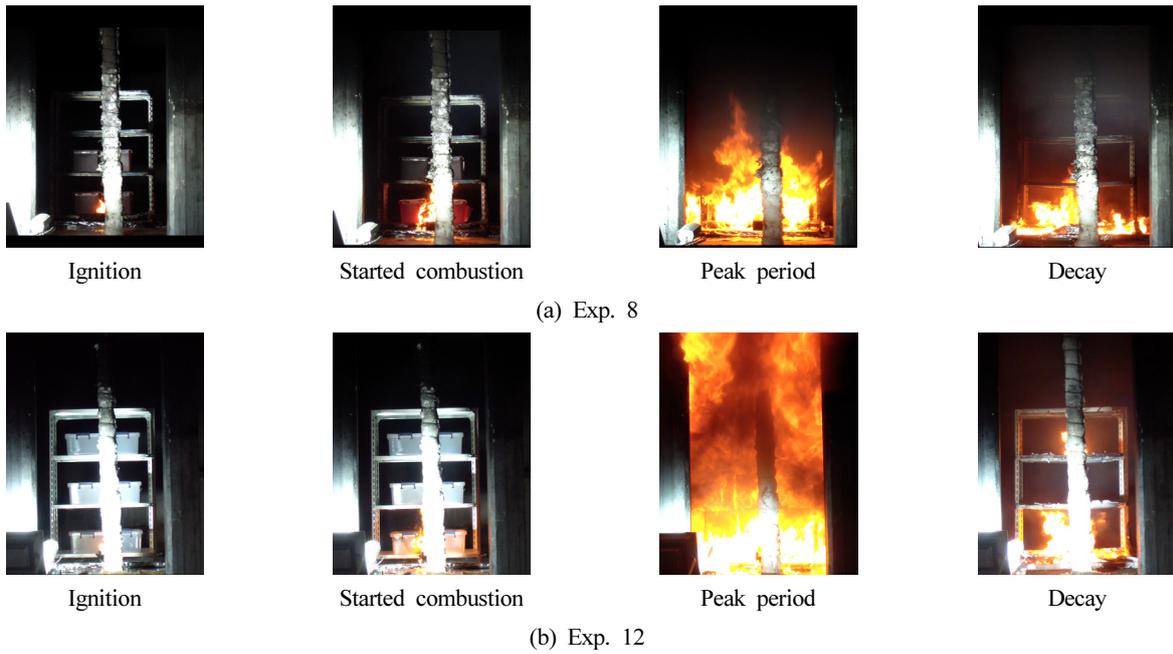


Figure 3. Photographs at various times during the fire test.

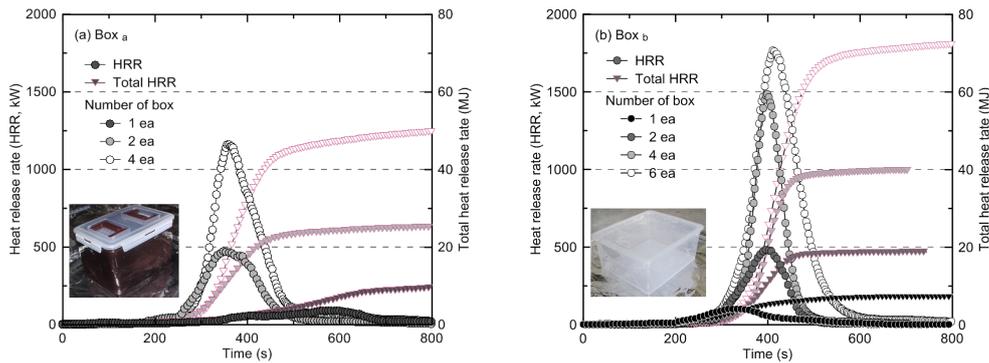


Figure 4. Measured heat release rate and total heat release rate during the single combustibles burning.

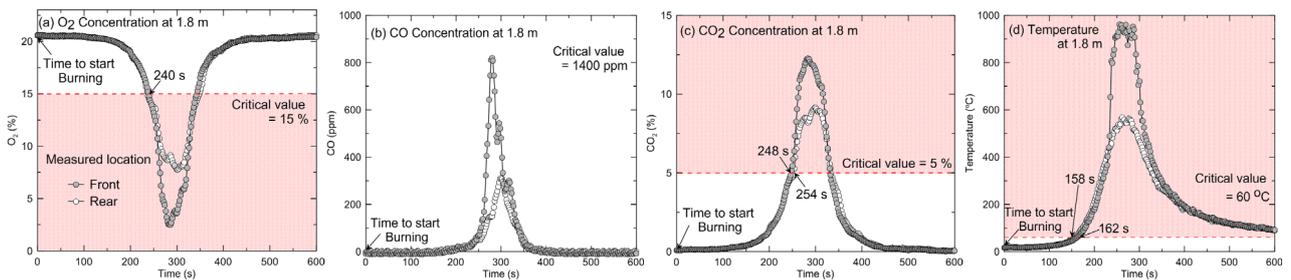


Figure 5. The relationship between time to gas concentration and temperature.

3.2 플라스틱 가연물의 화재특성에 따른 결과 분석

판매시설의 PBD를 위하여 플라스틱 가연물을 대상으로 발생하는 화재에 대한 열 발생률의 예측은 신뢰성있는 화재안전설계의 결과를 예측할 수 있을 것으로 판단된다. 판매시설의 경우 다량의 물건을 보관·판매함으로써 화재가 발생할 때 내부에 수용된 다양한 가연성 물질의 연소로 인

해 다량의 유독성 가스와 화염을 발생시키게 된다. 이때 플라스틱류는 연소특성상 작은 화원으로부터 쉽게 착화가 발생되지 않는 고체연료이지만, 착화가 발생하게 되면 연소열에 의한 열분해가 이루어지며 가연물이 전소할 때까지 연소가 계속된다⁽¹⁹⁾.

이에 따라 다양한 가연물의 표면적과 열 발생률의 관계가

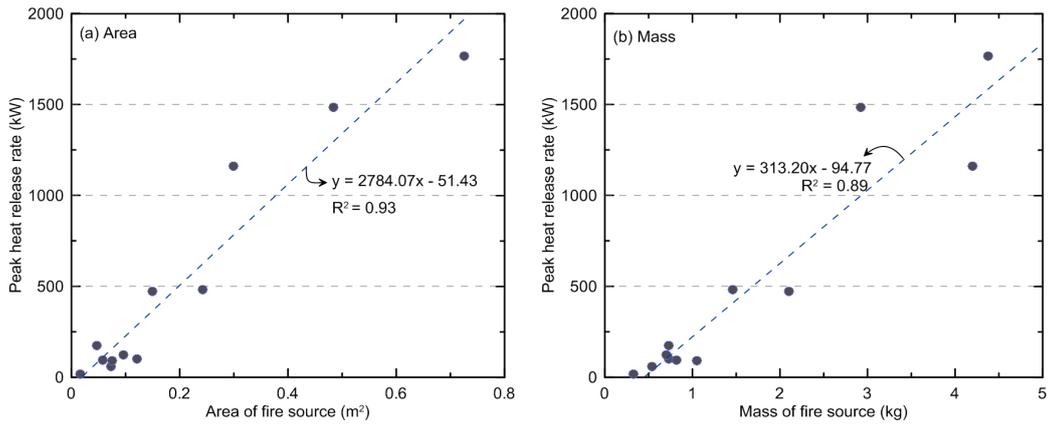


Figure 6. The relationship between peak heat release rate and combustible's characteristic (surface area, mass).

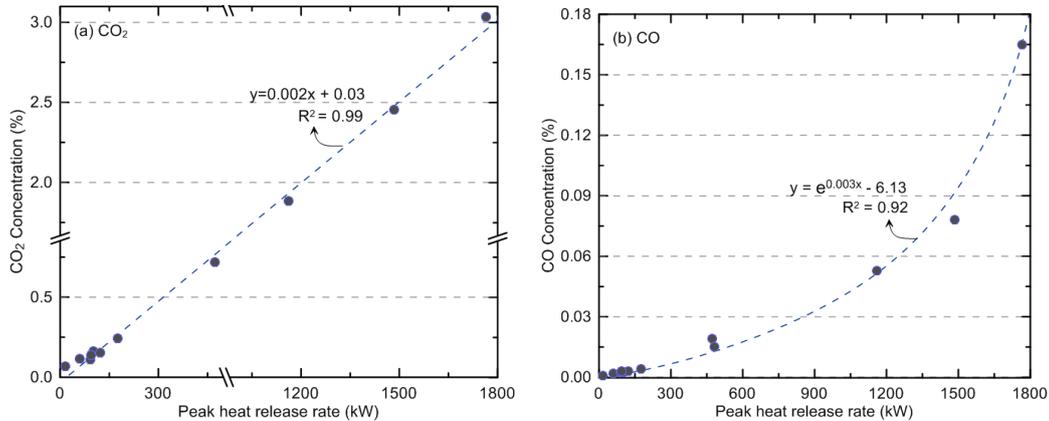


Figure 7. The relationship between peak heat release rate and gas concentration.

Figure 6에 도시되었다. 가연물의 노출 표면적은 틈새를 포함한 공기에 접촉하는 모든 표면적을 합산함으로써 산출된 결과 가연물의 표면적과 최대 열 발생률의 관계는 대략 93% 일치한다. 추가적으로 플라스틱 제품은 화염으로부터 발생되는 복사 및 대류열에 대해 용해됨에 따라 연소 면적이 넓어지는 연소특성을 가진다. 이때 본 실험에 적용된 가연물의 경우 플라스틱으로만 이루어져 있기 때문에 질량이 증가함에 따라 용해되는 플라스틱의 면적이 증가할 것으로 판단된다. 이에 따라 다양한 가연물의 무게에 따른 상관관계가 검토된 결과 최대 열 발생률을 예측할 수 있는 식이 산출되었으며 이는 대략 89% 일치한다. 이는 임의의 설계화원 설정에 있어 최대 열 발생률 예측에 기여할 수 있을 것이라 기대된다.

플라스틱은 탄소 함유 고분자로서 연소시 생성되는 물질은 CO₂와 CO를 함유하게 된다. 그 밖에 많은 연소생성물도 존재하지만 이에 따라 PBD에 적용되는 가스농도의 제시를 위하여 화재시 발생하는 유독가스 중 인체에 치명적인 CO₂ 및 CO의 농도가 측정되었다.

플라스틱 가연물인 12개의 실험에 대하여 측정된 최대 열 발생률에 따른 CO₂ 및 CO 농도가 Figure 7에 도시되었다. 플라스틱의 연소특성상 연소열에 의해 용해된 플라스틱에 의해 화원의 직경이 증가하게 되며, 단일 가연물의 경

우 점화보조제에 의한 점화가 발생하여 연소 후 종료된다. 하지만 다수가연물의 경우 착화된 가연물이 용해되어 화염의 크기가 확대됨에 따라 선반에 위치하는 임의의 가연물에 화염이 확산된다. 결과적으로 플라스틱 가연물의 화재 실험을 통한 회귀선을 바탕으로 가연물의 면적 및 질량에 따른 열 발생률 산정 후 가스농도를 예측할 수 있다.

화재성장은 환경에 따른 발화원의 크기, 위치, 가연물의 양 및 환기조건 등 다양한 인자에 의존하며 대부분의 경우 실험화재실험을 통해 화재성장률(fire growth rate)을 정량화한다. 이때 일반적인 방법으로서 시간에 제곱에 비례해서 성장한다고 가정하고 NFPA는 ultra fast, fast, medium, slow 4종류의 형태로 분류된다.

이에 따라 Figure 8은 판매시설의 플라스틱 화재해석에 필요한 화재시나리오를 구성하기 위하여 단일 및 다수가연물에 대해 측정된 최대 열 발생률에 도달하는 시간을 통해 화재성장률이 평가되었다. 우선 NFPA에서 제시되고 있는 4종류의 화재성장률을 나타냄으로서 다양한 가연물의 화재성장률이 한눈에 도시되었다. 이때 각 가연물의 화재성장률은 점화보조제에 의해 가연물이 연소가 시작되고 본격적인 화재성장이 이루어지는 순간을 원점으로 하여 산출되었다. 이러한 화재성장률 산출 방법은 사용자의 의존도가

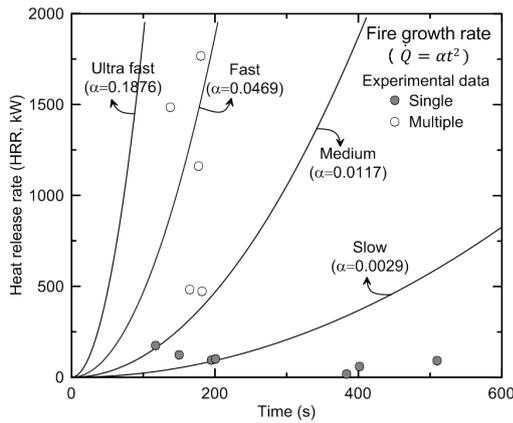


Figure 8. The relationship between time to peak heat release rate.⁽²⁰⁾

높은 방법이지만, 플라스틱의 연소 특성상 지속적인 고열에 따라 가연물이 용융된 이후 급격한 연소 확대가 이루어지기 때문에 적절하다고 할 수 있다. 그 결과 단일가연물의 경우 대부분 slow의 화재성장속도를 보이며, 이는 화재확대의 단계 없이 적은 면적 및 질량에 해당하는 가연물이 연소 후 소화되기 때문이다. 그리고 다수가연물의 경우 선반에 위치하는 타 가연물의 간섭에 의하여 화재가 급속히 진행되어 화재성장속도가 비교적 빠르며, fast에 해당하는 것을 확인할 수 있다.

본 연구의 최종적인 결과로서 공간 내 화재특성을 이해하고 화재의 위험성을 평가하는데 가장 기본적인 인자인 화원의 정보를 제시하기 위하여 Table 2가 재도시되었다. 이러한 수치는 설계자를 대상으로 FDS input file의 작성하는데 있어 입력되는 수치들을 간편하게 적용할 수 있도록 평균값 및 최대값으로 도시되었다. 그리고 CO yield 값의 제시를 통해 판매시설 내부에 수용되어 있는 각종 플라스틱 물질로 인한 유독성연기인 CO 생성량을 예측하여 신뢰성 있는 화원의

정보를 입력하는데 기여할 수 있다고 판단된다. 또한 실험에 따른 다양한 측정값은 입력인자(input parameter)로 활용될 수 있는 값만 제시함으로써 CO₂는 제외되었다.

4. 결 론

판매시설은 다량의 상품을 보관 및 판매하여 화재 발생 시 진열대에 다량 수납되어있는 플라스틱 가연물에 따른 진열대의 간섭, 상품적재 등으로 인해 대형화재로 이르게 된다. 하지만 국내 연구 자료에 따르면 판매시설의 공간 용도에 따라 발생하는 열 발생률 등을 산출하여 정확한 화원 정보에 따른 화재해석은 부족한 실정이다. 이에 따라 판매시설에서 발생하는 플라스틱 화재의 PBD에 따른 화재해석에서 필수적으로 요구되는 화원의 정보가 정량적으로 제시되었다. 이를 위하여 단일 및 다수 플라스틱 가연물에 대해 표준구획실 ISO 9705 및 RCT가 적용되어 열 발생률 및 가스농도가 측정되었으며 결과는 다음과 같다.

1) 플라스틱 화재특성은 초기 가연물의 연소 단계에서 축적되는 열 및 해당 구획에 의해 대류, 전도, 복사의 방법으로 열전달이 이루어진다. 이를 통해 화재 확대가 발생됨에 따라 직접적인 화염과 가연물의 노출된 표면적이 넓을 때 플라스틱의 용해에 의한 연소증강이 용이하다.

2) 판매시설에서 흔히 판매되고 있는 제품들에 대한 화재특성을 검토하기 위하여 대표적인 가연물의 선정 후 최대 열 발생률이 산출되었다. 단일 가연물의 경우 16.11 kW ~176.05 kW가 측정되었으며, 다수가연물의 경우 box(b)의 6개 조건에서 최대 1765.51 kW가 측정되어 진열대의 간섭에 의한 화염 확대가 확인되었다. 이는 플라스틱 가연물이 용해됨에 따라 가열된 액체 플라스틱은 판매대의 면적에 의존되는 것이라 판단된다.

3) 플라스틱 가연물의 화재실험을 통해 면적 및 중량에 따

Table 2. Summary of Fire Test Results

No.	Specimen	Quantity (ea)	Peak Heat Release Rate (kW)	Time (s)	Fire Growth Rate (kW/s ²)	Peak CO Yield (g/g)
1	Bottle	1	16.11	384	0.0001	0.0920
2	Basin		58.75	402	0.0003	-
3	Box (a)	1	92.46	510	0.0003	0.0215
4		2	472.40	180	0.0145	
5		4	1160.79	177	0.0370	
6	Box (b)	1	101.22	201	0.0025	0.0213
7		2	482.44	165	0.0170	
8		4	1485.08	138	0.0779	
9		6	1765.51	180	0.0544	
10	Basket (a)	1	123.01	150	0.0054	0.0546
11	Basket (b)		94.03	195	0.0025	0.0560
12	Drawer		176.05	117	0.0179	0.0256
Maximum			1765.51	-	0.0779	0.0560
Average			502.32	-	0.01915	0.0452

른 열 발생률이 분석된 결과 면적의 경우 $y = 2784x - 51.43$ 의 관계를 가지며 이러한 관계는 다양한 화재실험에 대하여 대략 93%가 일치한다. 또한 12회의 화재실험에 따른 중량 변화에 대한 최대 열 발생률은 $y = 313.20x - 94.77$ 의 선형적인 관계를 가지며 대략 89% 일치하는 것을 확인할 수 있다.

본 연구는 판매시설의 PBD를 위하여 기본적인 플라스틱 가연물의 화재 특성에 대한 기초 연구이며, 추가적인 연구를 통해 판매시설에 대한 화재특성을 데이터베이스화 하여 신뢰성 있는 화재시나리오 설정에 기여할 수 있다. 후속 연구로써 실제 판매시설에서 적용되는 진열대의 면적이 적용된 실물화재- 실험을 수행하는 경우 판매시설의 플라스틱 화재에 대표되는 최대 열 발생률 및 화재성장속도로서 적용할 수 있을 것이라 기대된다.

후 기

본 연구는 2018년도 소방청의 현장중심형 소방활동지원 기술개발사업(MPSS-소방안전-2015-66)의 지원을 받아 수행되었으며 관계제위께 감사드립니다.

References

1. J. D. Shim, S. H. Jeong, M. S. Kim and H. J. Kim, "Analysis of Fire Risk with Building Use Type Using Statistical Data", Journal of Korean Society of Hazard Mitigation, Vol 12, No. 4, pp. 107-114 (2012).
2. A. P. Mouritz, "Heat Release of Polymer Composite in Fire", Composites Part A, Vol. 37, pp. 1040-1054 (2006).
3. J. G. Quintiere, "Principles of Fire Behavior", Taylor & Francis Group (1998).
4. Huiqing zhang, "Fire-Safe Polymers and Polymer Composites", Polymer Science and Engineering University of Massachusetts, MA (2004).
5. A. H. Buchanan, "Fire Engineering Design Guide", University of Canterbury, pp. 29-36 (2001).
6. K. H. Kim, S. H. Lee, H. Y. Kim, T. H. Song and B. K. Jin, "Establishment of Building Fire Safety System Improvement of Building Fire Safety Regulations", KICT 2000-082, Korea Institute of Construction Technology, pp. 31-37 (2000).
7. S. C. Kim, D. G. Nam, C. H. Hwang, M. O. Yoon, G. H. Ko, J. J. Jung, W. S. Lim, J. Y. Kim, et al., "Validation and Reliability Analysis of Guideline of Performance Based Fire Protection Design of a Super Tall Building", NEMA-2012- 35, National Emergency Management Agency (2014).
8. S. Y. Choi, J. Y. Kim, D. G. Nam and S. C. Kim, "Comparative Study on the Estimation Method of Fire Load for Residential Combustibles", Fire Science and Engineering, Vol. 27, No. 6, pp. 38-43 (2013).
9. ISO 9705, "Fire Tests-full Scale Room Test for Surface Products" (1993).
10. A. Natori, H. Harada, Y. Ohmiya and T. Wakamatsu, "An Estimation Method of Heat Release Rate of Real Combustible Objects", Lund University (1993).
11. Technical Bulletin 133, "Flammability Test Procedure for Seating Furniture for Use in Public Occupancies", Elsevier Science Publishing Co. (1991).
12. B. I. Choi, Y. S. Han and M. B. Ki, "Heat Release Rate Measurements of Residential Combustibles Using Oxygen Consumption Method", Journal of Korean Institute of Fire Science & Engineering, Vol. 22, No. 2, pp. 104-107 (2008).
13. Y. H. Yoo, O. S. Kweon and H. Y. Kim, "The Real Scale Fire Test for Unit Space in Apartment Housing", Proceedings of 2009 Spring Annual Conference, Korean Institute of Fire Science & Engineering, pp. 346-351 (2009).
14. S. R. Lee and K. H. Youk, "A Study of Fire Behavior of Combustibles in a Residential building", Journal of Korean Institute of Fire Science & Engineering, Vol. 23, No. 3, pp. 25-31 (2009).
15. NFPA 264, "Standard Method of Test for Heat and Visible Smoke Release Rates for Materials and Products Using an Oxygen Consumption Calorimeter" (1992).
16. H. Y. Jang and C. H. Hwang, "Revision of the Input Parameters for the Prediction Models of Smoke Detectors Based on the FDS", Fire Science and Engineering, Vol. 31, No. 2, pp. 44-51, (2017).
17. S. Baek, J. H. Choi, W. H. Hong and J. J. Jung, "A Study on Required Safe Egress Time (RSET) Comparison and Error Calculation in Relation to Fire Room Range Set Conditions of Performance Based Fire Safety Designers", Fire Science and Engineering, Vol. 30, No. 3, pp. 73-78 (2016).
18. K. McGrattan, S. Hostikka, R. McDermott, J. Floyd, C. Weinschenk and K. Overholt, "Fire Dynamics Simulator Technical Reference Guide", NIST Special Publication 1018, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD (2015).
19. W. K. Chow, C. W. Leung, G. Zou, H. Dong and Y. Gao, "Full-Scale Burning Tests on Flame Spread of Plastic Materials", International Journal on Engineering Performance-Based Fire Codes, Vol. 8, No 3, pp. 99-111 (2006).
20. D. G. Nam and C. H. Hwang, Measurements of the Heat Release Rate and Fire Growth Rate of Combustibles for the Performance-Based Design-Focusing of the Combustibles in Residential and Office Spaces", Fire Science and Engineering, Vol. 31, No. 2, pp. 29-36, (2017).