성능적인 화재안전설계를 위한 초기화재시의 화재성장률 예측에 관한 연구

A Study on the Prediction of Fire Growth Rate During Initial Fire for Performance Fire Safety Design

서동구* · 김동은** · 김정희*** · 김동준**** · 권영진*****

Seo, Dong goo*, Kim, Dong eun**, Kim, Jeong hee***, Kim, Dong jun****, Kwon, Young jin*****

Abstract

This study is experimentally examining initial fire behavior important for evacuation safety in order to establish performance-based fire safety design, centering on combustibles. Relation between fire load and heat release rate was examined through an experiment in order to establish a method that could predict initial fire behavior. Besides, initial fire behavior was investigated through comparison with the results derived from real scale fire experiment by using the conventional studied fire growth rate model. As a result, in case fire load was 12 kg/m^2 or over, it was difficult to be derived by using the conventional dynamics equation, but its regression equation could be derived through experimental study. Also, it was verified that a large effect was produced on the initial fire behavior according to the ignition source and arrangement of combustibles.

Key words : Fire growth rate, Combustibles investigation, Performance-based design(PBD), Initial fire behavior

요 지

본 연구는 국내 성능적인 화재안전설계의 구축을 위하여 피난안전에 중요한 초기화재성상에 대해 가연물특성을 중심으로 실험적으로 검토한 연구이다. 초기화재성상을 예측할 수 있는 방법을 구축하기 위하여 실험을 통해 화재하중과 열방출률과의 관계를 살펴보았으며, 또한 기존에 연구된 화재성장률모델을 이용하여 실험규모 화재실험에서 도출된 결과와의 비교를 통해 초기화재성상을 고찰하였다. 그 결과, 화재하중이 12 kg/m^2 이상의 경우는 기존 역학식으로는 도출하기 어려웠으나, 실험적인 고찰로서 그의 회귀식을 도출할 수 있었다. 또한 가연물의 배치 및 착화원에 따라 초기화재성상이 크게 영향을 받는 것을 확인하였다.

핵심용어 : 화재성장률, 가연물조사, 성능위주설계, 초기화재성상

1. 연구배경 및 목적

우리나라는 2010년 발생한 부산광역시 해운대구 초고층 주상복합 건축물화재(부산소방본부, 2010)를 비롯해 대규모 화재사고의 빈발로 인하여, 건축공간에서의 화재안전이 범국가적인 관심으로 고조되고 있다. 반면, 토지이용의 제한 및 사용편의 등을 위하여 건축물이 초고층화·복합화·대형화되어 감에 따라 화재시 인명안전대책은 더욱 어려운 상황에 직면하

고, 화재로 인한 인명 등의 피해는 지속적으로 증가될 것으로 전망된다(국가화재정보시스템 2011).

이에 따라 건축물의 화재 및 피난안전에 목적으로 소방법의 성능위주설계(이하, PBD), 다중이용업소 안전관리에 관한 특별법의 화재영향평가 제도와 더불어 초고층 및 지하연계 복합건축물의 재난관리에 관한 특별법 등 다수의 제도가 시행되고 있다. 이러한 측면에서 볼 때 성능적인 화재안전설계를 위하여 건축구조물 내의 화재성상을 보다 과학적으로 증명하

*정회원. 호서대학교 소방방재학과 박사과정(E-mail: tjehdm2@naver.com)

Member. Ph.D Candidate, Department of Fire and Disaster Protection Engineering, Hoseo University

**정회원. 호서대학교 소방방재학과 박사과정 Member. Ph.D Candidate, Department of Fire and Disaster Protection Engineering, Hoseo University

***정회원. (주)PNR시스템 기술이사 Member. Director of technique?Ph.D., PNR System Co. Ltd.

****정회원. 세한대학교 소방행정학과 전임강사 Member. Professor, Department of Fire service Administration, Sehan University

*****교신저자. 정회원. 호서대학교 소방방재학과 교수(Tel: +82-41-540-5497, Fax: +82-41-540-5738, E-mail: jungangman@naver.com)

Corresponding Author. Member. Professor, Ph.D., Department of Fire and Disaster Protection Engineering, Hoseo University

고 이를 이론화시키는 면밀하고 체계적인 방안이 필요할 것으로 판단된다.

특히 PBD를 수행할 경우 소방방재청고시 제2013-10호 「소방시설등의 성능위주설계 방법 및 기준」의 별표1에서 제시하는 화재시나리오 7가지의 유형중 가장 피해가 클 것으로 예상되는 최소 3개 이상의 시나리오를 적용하고, 인명안전 기준, 피난가능시간 기준, 수용인원 산정기준에 따라 피난 및 화재시물레이션을 이용하여 화재안전설계를 실시하게 된다(소방방재청 고시, 2013).

일반적으로 PBD는 화재시물레이션을 통해 소요대피시간(RSET; Required Safety Egress Time)과 허용대피시간(ASET, Available Safety Egress Time)을 비교하는 방법으로 안전지역에 연기가 도달하는 시간에 있어서 연기층 높이(호흡한계선), 열에 의한 영향, 가시거리에 의한 영향, 독성에 의한 영향의 4가지 항목에 대해 평가하도록 하고 있다. 이러한 평가에 있어서 가장 중요하게 생각되어지는 부분이 초기의 화재성장

초기의 화재성장부분에 있어서 화원의 열방출률은 일반적으로 화재성장률 $\alpha[\text{kW/s}^2]$ 를 사용하여, α^2 으로 표현된다. 화재성장률은 수납된 가연물의 연소확대에 의존하는 것으로서 가연물량, 재질, 배치상황 등에 밀접한 관계가 있다(Harada 2007).

한편 국내의 연구를 살펴보면 성능적인 내화설계법의 도입을 위해 화재하중(kg/m^2)을 용도별로 조사하는 연구가 이평강 등(2003), 김대희 등(2002)에 의해 이루어졌다. 하지만 과거에 조사된 가연물조사는 내화안전설계를 위한 것으로서, 초기성상을 위한 조사 및 실험 등은 미흡한 실정이다. 화재초기의 성상을 예측하기 위해서는 화재성장률에 따른 열방출률 예측이 가장 중요하다. 이 경우, 용도별 가연물의 화재성장률(kW/s^2), 노출표면적(m^2), 양 및 배치상황 등에 따른 모델화가 반드시 필요할 것으로 사료된다.

해외의 연구를 살펴보면 화재성장률에 기인하는 가연물의 노출표면적에 대해 Harmathy(1972)는 가연물의 중량과 표면적 관계에 대해 관계식을 제안한 바 있으며, 이 후 Aburano 등(1996)은 가연물의 실태조사를 통해 사무실 등 용도별 건축물에 대한 회귀식을 제안한 바 있다. 이는 초기화재에 국한된 것은 아니며, 피난·내화안전설계의 전반적인 설계법 구축을 위해 진행되었다.

화재 초기성상에 중점을 두어 진행된 연구는 Matsuyama 등 (2000)에 의해 구체적으로 논의되어 과거의 가연물 조사결과를 이론화시키고, 이에 대하여 초기·성기화재로 구분하여, 화재성장률 예측 등의 간이화된 설계방법을 제안 및 검증, 이를 통한 성능적인 화재안전설계에 이용 가능한 화재성장 모델을 구축하는 연구를 수행한 바 있다.

하지만 가연물의 특성은 국가마다 재질, 양 및 배치상황 등에 따라 화재성장률 등의 차이가 반드시 있기 때문에 국내의

실정에 적합한 가연물에 따른 실험적 연구는 절대적으로 필요하다.

따라서 본 연구에서는 과거의 연구에서 진행된 주거시설의 가연물실태조사 결과를 토대로 가연물량 및 배치유형에 따른 실규모 화재시험(ISO 9705:1993)를 통해 초기화재성상을 살펴보고 있다. 또한 기존의 Matsuyama 등의 화재성장률 예측방법과 비교를 통해 국내 실정에 적합한 화재안전설계의 기초 자료로서 제시하는데 그 목적이 있다.

2. 초기화재성상과 가연물특성과의 관계

Fig. 1은 열방출률 곡선의 모델화를 나타낸 것으로서, 여기서 초기화재성장 과정(τ_{grow})은 화재의 성장을 나타내는 계수 α (화재성장률; kW/s^2)를 이용하여 표현하고 있으며 식 (1)에 의하여 구할 수 있다(Harada, 2007).

$$\alpha = Q_{\max} / (t_{grow} - t_0)^2 = Q_{\max} / \tau_{grow}^2 \quad (1)$$

여기서, $Q_{\max}$ 는 최대열방출률(kW), t_{grow} 는 최대열방출률에 도달하기까지의 시간(sec), t_0 는 화재성장 개시시간(sec)이다. 여기서 α 는 Ultra fast, Fast, Medium, Slow의 화원으로 분류하여, 각각 0.2, 0.05, 0.0125, 0.00313을 이용하는 경우가 많다(Fleming 1987).

초기화재성상에 관하여 Matsuyama 등 (2000)은 가연물의 배치상황, 노출표면적, 재질 등을 고려하여 가연물밀도(kg/m^2)와 화재성장률과의 관계를 식 (2)와 같이 제안하고 있다.

$$\alpha \propto w^{8/3} \quad (2)$$

여기서, α 는 화재성장률(kW/s^2), w 는 가연물밀도(kg/m^2)로서, 화재성장률과 가연물밀도는 8/3승에 비례한다는 것을 제안하였다. 제안된 관계식은 가연물밀도를 $250(\text{kg/m}^3)$, 각각의 가

Fig. 1. Modeling of Heat Release Rate.

Fig. 2. The Relations between Fire Growth Rate and Combustible Density.

연물중량 5~75(kg), 가연물밀도는 10~100(kg/m³)의 범위에서 10(kg/m³)마다 계산을 수행하여 Fig. 2와 같이 결과를 제안하였다. 또한 제안된 도표를 이용하는 것으로 화재성장률은 가연물밀도를 주어져 주면 간편하게 산출하는 것을 가능하게 하였다. 하지만, 이 정식화모델은 사무소 건축물에만 한정되며 초기의 화재성장부분만을 고려하기 때문에 수납가연물만을 생각하여, 환기인자(Ventilation factor)등에 대한 영향은 제외되었다. 이에 따라 본 연구에서는 실규모 화재실험과의 비교와 더불어 정식화모델을 비교하여, 어떠한 상황 및 조건에서 정식화 모델의 활용이 가능한지에 대한 검증을 수행하였다.

Fig. 3. A Specimen of the Fire Test(Compartment).

Fig. 4. An Arrangement of Combustibles and Position of Fire Source.

Table 1. A List for Conditions of Fire Test

Fire test No.	Total SAC*1 (m²)	Total CW*2 (kg)	Types of combustibles												
			Desk	Book shelf	Hanger	TV	TV shelf	Chair	Small chest	Waste basket	Mat/ Mattress	Ward robe	Bed clothes	Pillow	Stored combustibles
1	14.0	78.2	○	×	×	○	○	○	×	◎	○	×	○	○	×
2	14.0	78.2	○	×	×	○	◎	○	×	○	○	×	○	○	×
3	16.6	172.9	○	○	○	○	○	○	×	◎	○	×	○	○	○
4	23.2	345.6	○	○	○	○	○	○	○	◎	○	○	○	○	○

*1: Total Surface Area of Combustibles(m²)

*2: Total Combustibles Weight(kg)

◎ : Installed and fire source, ○ : Installed, ×: Not installed

3. 실규모 화재실험

3.1 실험개요 및 조건

본 실험은 Fig. 3에 나타난 바와 같이 실규모 구획공간을 제작하여 초기화원의 위치, 가연물량 및 배치상황에 대하여 실규모 화재실험을 총 4회 실시하였다. 실험의 주벽, 천정 및 바닥의 재료는 실험 1,2의 경우 방화석고보드(Fire prevention gypsum board) 12.5 mm를 사용하였으며, 실험 3,4의 경우 글라스울(Glass wool)로 마감하였다. 구획화재성상의 예측은 역학적으로 실효열전달계수(h_e)에 대해 주벽의 두께(δ), 주벽의 열전도율(k), 밀도(ρ), 비열(c) 등의 관계를 이용하여, 플래시오버(Flash over) 및 구획화재온도 등을 예측한다(McCaffrey 등 1981). 하지만 초기화재성상에서는 연소가 가연물의 연소에

한정되어 있는 단계(권영진 등 2012)로서, 주벽의 특성에 따른 영향은 제외하였다. 초기화원의 위치와 가연물량 및 배치 상황은 Fig. 4에 나타난 바와 같으며, 설치된 가연물의 노출표면적(m^2) 및 중량(kg), 그리고 종류의 일람을 Table 1에 나타내었다.

수납가연물의 노출표면적의 경우 주거시설 10세대에 대하여 조사한 표준가연물 배치모델(김동은 등 2012)을 사용하여, 노출표면적과 가연물밀도와의 관계를 설정하였다. 노출표면적은 환기 지배에서 연료 지배화재로 천이되면서 연소형 지배인자(χ)를 표현하는 변수로서 식 (3)과 같이 가연가스의 발생량과 환기의 양의 상대적 크기에 영향을 미친다.

$$\chi = A\sqrt{H}/A_{fuel} \quad (3)$$

여기서, A 는 개구부면적(m^2), H 는 개구부높이(m)이며, $A\sqrt{H}$ 는 환기인자로서 화재크기를 결정하는 중요한 변수이다. 또한 A_{fuel} 은 수납가연물의 노출표면적(m^2)로서 Harmathy (1972)는 단일 가연물의 노출표면적계수(ϕ)를 도입하여 식 (4)와 같은 관계를 도출하였다.

$$A_{fuel} = \phi W \quad (4)$$

여기서, ϕ 는 가연물의 표면적계수(m^2/kg), W 는 화재구획내의 수납가연물의 중량(kg)이다. 노출표면적계수를 Harmathy (1972)는 $0.12 < \phi < 0.18$ 이라고 제시하고 있지만 이는 단일 가구의 값으로 판단되며, 실제적으로 수납물이 많아지면 가연물 간 겹쳐지게 되므로 실내 공기에 노출되는 표면적이 감소할 것으로 사료된다. 이러한 근거에 따라 Aburano 등 (1999)은 건물공간의 실제 사용조건 하에서의 실태조사에 근거한 와 수납가연물의 밀도(kg/m^2)의 관계를 공동주택의 경우 식 (5)와 같이 회귀식으로 제안하고 있다.

$$\phi = 0.61w^{-2/3} \quad (5)$$

여기서, w 는 가연물밀도(kg/m^2)이다. 본 연구에서 사용된 노출표면적계수는 Fig. 5에 나타난 바와 같이 일본의 공동주택을 중심으로 조사했던 결과보다 다소 높은 결과로 도출되었으며, $0.77w^{-2/3}$ 으로 수정하여 실험의 조건으로 설정하였다.

또한 측정범위에 있어서 Fig. 6과 같이 K-type 열전대를 설치하였으며 각 실험별로 열방출률(kW)은 산소소비법(Babrauskas et al., 1992)으로 계산되는 라지스케일 칼로리미터(유용호 등 2008)를 이용하였다. 또한 착화원은 n-heptane 50 mL를 사용하여, 화재발생이 용이하도록 유도하였다. 특히 열방출률의 측정의 경우 착화후 측정센서까지 도달하는 시간의 오차가 발생하기 때문에 도달하기 까지의 시간범위를 n-heptane을 이용하여 예비실험으로서 측정한 결과, 도달시간은 약 60초로 측정되었다. 그에 대한 결과를 Fig. 7에 나타내었다.

Fig. 5. Correlations between Combustible Density and Specific Surface of Fuel.

Fig. 6. A Location of Installed Thermocouples.

Fig. 7. A Result of Pre-experiment using the n-heptane.

3.2 실험결과 및 분석

본 연구에서는 전술한 바와 같이 실험규모 구획공간에서의 가

연물량 및 배치, 화원의 위치에 따른 열방출률, 구획내 온도에 대한 평가를 수행하였다. 우선 열방출률은 구획내 화재의 크기를 나타내는 척도로서 본 실험에서는 가연물량, 가연물 배치, 화원의 위치에 대한 변수에 대해 평가하였다. 시간에 따른 열방출률의 측정결과를 Fig. 8에 나타내었다.

첫째로 화재하중(Fire load; kg/m²), 즉 가연물량에 대한 결과를 살펴보면 동일한 구획공간내에서 가연물량이 증가됨에 따라 열방출률이 증가되는 것을 확인할 수 있으며, 가장 높은 가연물량을 배치한 실험 4의 경우 최대 열방출률이 6,282 kW로 측정되었다. 각 실험별 화재하중 및 최대 열방출률의 값을 Table 2에 나타내었다. 여기서 나타낸 화재하중의 경우는 바닥의 단위면적당 목재로 환산한 등가 가연물밀도(kg/m²)로 나타내었다. 건물내의 가연물은 여러가지의 소재로 구성된 것이 존재하고 있기 때문에 연소시의 발열량은 당연히 다르게

Fig. 8. A Results of Heat Release Rate.

Table 2. Fire Load and Maximum Heat Release Rate by Fire Test

Fire test	Fire load (kg/m ²)	Maximum heat release rate (kW)[sec]
1	11.31	2,572 [439]
2	11.31	2,876 [714]
3	25.64	4,169 [519]
4	46.94	6,282 [1,417]

Table 3. Heat Release Per Unit Weight of Combustibles

Type of material	Heat release (MJ/kg)	Type of material	Heat release (MJ/kg)
Paper, strawboard	16~18	Polyvinyl chloride	18
Wood	17~20	Polyurethane	24
Cloth	17~21	Polyester	30
Cotton	18	Polyethylene	47

된다. Table 3에 나타낸 각종재료의 단위중량(kg)당의 발열량(MJ)은 가연물이 연소시의 총발열량(Total heat release; MJ)으로 나타낼 수 있는 수치이다. 하지만 가연물의 재질을 특정하는 것은 계산상 곤란함이 존재하기 때문에 본 연구에서는 합성고분자계 가연물의 단위발열량을 목재의 단위발열량의 2배로 하여 계산하였다. 목재의 단위발열량은 수종(species of trees)이나 함수율 등에 의해 변동을 하나 본 연구에는 포함하는 큰 값으로서 18.9 MJ/kg을 채용하였다. 또한 똑같이 가연물이 동일한 중량 및 발열량이라고 하더라도 그 수납상태에 따라 화재성상에 미치는 영향이 달라지기 때문에 이를 감안하여 Table 4와 같이 수납형태에 따른 유효가연물을 수납계수(AIJ 2005)를 도입하여 등가 화재하중을 도출하였다. 화재하중(kg/m²)의 도출방법은 식 (6)과 같다.

$$w = \frac{\left(\sum_i \alpha_i \cdot W_{W,i} \cdot H_W + \sum_i \alpha_i \cdot W_{P,i} \cdot H_P \right)}{H_W \cdot A_{room}} \quad (6)$$

여기서, $W_{W,i}$, $W_{P,i}$ 는 각각 목재계 가연물중량(kg), 합성고분자계 중량(kg), H_W , H_P 는 각각 목재계의 연소열(MJ/kg), 합성고분자계의 연소열(MJ/kg), A_{room} 은 구획공간의 바닥면적(m²)이다. 또한 α_i 는 수납계수(-)이다.

도출된 화재하중과 최대 열방출률과의 상관관계를 살펴보면 Fig. 9와 같다. 화재하중에 따라 높은 열방출률이 발생하는

Table 4. Validity Combustibles according to Stored Shape

Validity combustibles according to stored shape	α_i (-)
In sealed case of steel door	0.4
In sealed case of glass door	0.5
In stored case of door none	0.6

Fig. 9. A Relationship with Fire Load and Maximum Heat Release Rate.

Fig. 10. A Results of Fire Growth Rate (Fire Test and FGR Model).

것을 확인할 수 있으며, 이에 대한 관계식은 식 (7)과 같이 나타낼 수 있다.

$$Q_{\max} = 663.12w^{0.5785} \quad (7)$$

이에 대하여 기존의 역학식으로 계산하면, 플래시오버 (Flashover)이후의 화재성장단계에서 성기화재를 고려할 경우 환기지배화재로서 식 (8)과 같이 표현될 수 있다(권영진 등 2012).

$$Q_{\max} \approx 1,500A\sqrt{H} \quad (8)$$

여기서, $Q_{\max}$ 는 최대 열방출률(kW), $A\sqrt{H}$ 는 전술한 환기인자이다. 식 (8)로 평가하면 최대열방출률은 3,394 kW이다. 하지만 열분해가스의 유출을 고려하면 10% 높게 산출된 결과로서 3,055 kW로 평가되는 것이 적당한 값으로 사료된다. 최대 열방출률은 초기의 화재성장률(kW/s^2)을 평가하기 위한 중요한 척도로서 식 (8)로 평가한 결과와 실험결과와 비교하면 12 kg/m^2 이하의 가연물밀도(실험 1,2)에서는 예측 가능한 결과로 사료된다.

이러한 결과로 부터 기존의 Matsuyama 등(2000)이 제안한 화재성장률과 검토를 수행하였다. 우선 각 실험별로 화재성장률을 식 (9)와 같이 도출하였으며, 이에 대한 값을 Matstuyama 모델(이하, FGR모델로 칭함)과 비교 검토하였다. 화재성장률 계수를 비교한 것은 Fig. 10과 같다.

화재성장률은 계산하는 방법은 전술된 식 (1)을 변형한 다음 식 (9)와 같이 나타낼 수 있다.

$$Q(t) = (Q_{\max}/\tau_{\text{grow}}^2)t^2 = \alpha t^2 \quad (2)$$

$Q_{\max}$ 는 최대 열방출률(kW), τ_{grow} (sec)의 구간은 열방출률이 착화원으로부터 화재가 진전할 수 있는 정도의 50 kW이상의 값이 측정된 시각을 정하였다(AII 2005). 본 실험에서 분석하고자 하는 초점은 화재가 성장하는 시점을 파악하는 것이 아니기 때문에 τ_{grow} 의 성장시점에 대한 것은 실험과 동일하게 분석하였다.

실험 2를 제외하고 실험 1,3,4의 경우 화재성장률이 FGR모델의 기울기와 다르게 확인되었다. 실험2의 초기 화재확대의 경우 착화원이 목재(TV선반)로서, 화재확대과정의 속도가 충분한 soot의 발생 등으로 인하여 열전달이 원활이 이루어져 유사한 결과가 도출된 것으로 판단된다.

하지만 실험 1의 경우는 착화원이 휴지통이며 인접하는 가연물이 합성고분자계열(의자 등)로 급격하게 soot의 발생이 됨에 따라 초기의 화재성장률이 약 30초정도만에 플래시오버에 달한 것으로 판단되며, 실험 3의 경우 또한 이와 같은 이유로 판단된다. 특히 실험 4의 경우 착화원이 휴지통에서 목재로 이루어진 인접가연물인 협탁(Small chest)에 화염이 옮겨 붙었으나, 코팅목재로 되어 있어 인접가연물로 전이되는 충분한 복사열을 주지 못한 것으로 판단된다.

따라서 화재성장률의 경우 구획내 존재하고 있는 가연물의 영향은 매우 큰 것으로 확인 할 수 있으며, 특히 가연물의 배치와 초기화원의 위치에 큰 영향이 있는 것으로 판단된다. 하지만 이는 실험적인 결과와 간단히 계산될 수 있는 FGR모델과의 단순비교이기 때문에 FGR모델이 성능설계에 사용되기 위해서는 τ_{grow} 가 시작하는 시점의 판단 및 화재성장에 필요한 가연물의 특성이 가장 중요한 인자로 사료된다.

이에 대한 결과를 온도에 대해 평가하면 Fig. 11과 같다. 열

Fig. 11. A Results of Temperature.

Fig. 12. A Comparison with Maximum Temperature Time and Maximum HRR Time.

방출률이 높아짐에 따라 구획내 온도도 동시에 증가되는 것을 볼 수 있으며 최대온도의 도달시각과 최대 열방출률의 도달시간에 대해 비교하면 Fig. 12와 같다. 도달하는 시간은 실험종류별로 유사하게 도출되었으며, 이는 초기에 화재가 확대되면서 구획내의 온도의 상승과 더불어 열방출률의 값을 높이는 역할을 했다는 것으로 판단할 수 있다.

4. 결론 및 향후연구방향

본 연구는 국내 PBD의 기초자료를 구축하기 위한 연구로서, 건축물의 성능적인 피난안전을 위해 초기의 화재성상에 대해 실험적으로 고찰하였다. 특히 화재하중과 가연물배치 및 착화원의 위치에 따른 변화를 주어 구획내의 초기의 화재성상에 관하여 적용되는 인자에 대해 살펴본 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 건축물의 화재성상을 예측하기 위한 가장 중요하고 간단히 판단할 수 있는 가연물의 밀도 즉, 화재하중에 대하여 열방출률의 결과와 비교한 결과, 구획내의 가연물량이 12kg/m^2 이하가 배치되어 있을 경우는 역학적인 계산으로서 대응할 수 있었지만, 그 이상의 경우는 간단한 계산으로서 예측하지 못하였다. 하지만 이러한 경우에 대하여 가연물밀도 w 와 최대열방출률 $Q_{\max}$ 의 관계를 회귀분석을 통해 회귀식을 도출할 수 있었으며, 이에 대한 회귀결과는 결정계수(R)가 0.98로서 상당히 신뢰할 수 있는 결과가 도출되었다. 반면 본 논문에서 도출된 결과는 가연물밀도의 범위가 $11.3, 25.6, 47.0 \text{ kg/m}^2$ 에서의 결과만을 도출한 것으로서, 향후의 가연물밀도에 관하여 다량의 조사결과와 비교검토가 필요할 것으로 사료된다.
- 2) 또한 가연물의 배치 및 착화원의 위치에 따라 분석한 결과, 가연물의 재질과 착화원으로부터 인접가연물의 재질에 따른 영향이 큰 것으로 확인되었다. 본 실험은 4가지의 실험으로 평가한 것이지만 기존의 FGR모델과 비교한 결과 화재성장률이 유사하게 도출되는 경우가 실험 2의 경우만 있었다. 따라서 각 가연물의 배치와 착화원과

의 관계는 향후에도 계속 연구되어야 할 과제이며, 특히 화재성장기간(τ_{grow})을 정확하게 판단할 수 있는 착화 및 화재전파에 관한 연구가 진행되어야 할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 2012년 소방방재청 차세대 핵심소방안전기술개발 과제 2012-NEMA06-013-01010000-2012의 지원에 의하여 수행하였으며, 관계자들에게 감사드립니다.

References

- Aburano K., Yamanaka H., Ohmiya Y., Takagashi K., Tanaka T., and Wakamatsu T. (1996) Survey and Analysis on Surface Area of Fire load, *J. of Architecture, Planning and Environmental Engineering*, 483, pp. 1-8.
- Architectural institute of Japan (2005) The fire source of localization for fire resistance, Fire resistance working group(AIJ), 13-39.
- Babrauskas V. and Grayson S.J. (1992) Heat Release in Fires, *Interscience Communications*, London.
- Busan Fire Service Headquarter (2010) Haeundae 'Wooshin Golden Suite' fire occurs report.
- Fleming R.P. (1987) Update on the Quick Response Sprinkler Research Project, *Fire Journal*, Jan., 34-88 and 77.
- Harada K. (2007) The Mechanism and Fire safety design of Building fire, *The Building Center of Japan*, 21-59.
- Harmathy, T.Z. (1972) A New Look at Compartment Fires Part 1, *Fire Technology*, Vol. 8, No. 3, pp. 196-217.
- ISO 9705:1993(E), Fire Test - Full scale Room Test for Surface Products.
- Kim, D.E., Hong, H.R., Seo, D.G., and Kwon, Y.J. (2012) A Study on the Fire Behavior of Combustibles for Prediction of Fire in an Apartment House, *AIK Plan*, Vol. 28, No. 3, pp. 73-80.
- Kim, D.H. and Seo C.H. (2002) A Survey of the Fire Loads in Primary School, *Architectural Institute of Korea(Plan)*, Vol. 18, No. 9, pp. 149-156.
- Kwon, Y.J. et al. (2012) Fire dynamics for PBD, *Dong hwa Publisher*, 261-271.
- Lee, P.G., Choi, I.C., and Kim, H.S. (2003) A Study on the Application of the Fire Load Energy Density of Building Occupancy for Architectural Fire Safety -Focused on the Results of Field survey to Estimate Internal Fire Load-, *Architectural Institute of Korea(Plan)*, 19(1), 259-266.
- Matsuyama, K., Kobatashi H., Nanbu A., Mizuno M., Harada K., Tanaka T., Ohmiya Y., and Wakamatsu T. (2000) Performance-based Fire Resistance Design-Fire Compartment Design of Commercial Complex Part 2, *AIJ Conference*, 269-272.
- McCaffrey B.J., Quintiere J.G., and Harkleroad M.F. (1981) Esti-

mating Room Temperatures and the Likelihood of Flashover
 Using Fire Test Data Correlations, *Fire Technology*, Vol. 17,
 No. 2, pp. 98-119.
 National Emergency Management Agency (2013) The methods
 and standards of performance based design for fire protection
 system.
 National Fire Data System (2011) Fire statistics yearbook, *NEMA*.
 Yoo Y. H., Kim H.Y., and Shin H.J. (2008) The Study of Devel-

opment and Calibration for the Real Scale Fire Test Facility, *J.
 of Korean Institute of Fire Sci. & Eng.*, Vol. 22, No. 1, pp. 37-
 44.

Received ■ March 10, 2014

Revised ■ March 14, 2014

Accepted ■ March 28, 2014