

[Research Paper]

경질 플라스틱 가연물에 대한 기하학적 특성 및 구성 재료를 고려한 열방출률 곡선의 모델화에 관한 연구

이재영

동의대학교 소방방재행정학과 조교수

Modeling of the Heat Release Rate Curve of Rigid Plastic Combustibles Based on their Geometrical Properties and Constituent Materials

Jaeyoung Lee

Assistant Professor, Dept. of Fire Administration and Disaster Management, Dong-eui Univ.

(Received May 14, 2021; Revised July 30, 2021; Accepted August 2, 2021)

요 약

본 연구에서는 다양한 기하학적 형태를 가진 경질 플라스틱 가연물에 대한 열방출률의 모델화 및 일반화에 대한 검토를 수행하였다. 열방출률의 모델화 및 일반화는 Natori에 의해 제안된 모델을 가지고 검토를 수행하였으며, 그의 모델은 목재 가구의 연소실험 결과를 기초로 제시된 것이다. 경질 플라스틱 가연물의 열방출률은 프린터를 이용한 기존 연구 결과를 이용하였다. 우선, 프린터의 열방출률 측정 결과가 Natori의 모델에 적용 가능한가에 대한 검토를 수행하였으며, 적용 가능성이 확인되었다. 두 번째로 열방출률 곡선의 일반화를 위하여 가연물의 기하학적인 특성 및 구성 재질을 기초로 하여 열방출률 특성을 분석하였으며, 기하학적인 특성에 따라 두 그룹으로 분류함에 따라 열방출률 특성이 잘 반영된 파라미터(화재성장률, 최대 열방출률 그리고 감쇠율)를 제시하였다. 한편, 모델화에 필요로 하는 파라미터를 겉보기 밀도와 상관관계로서 분석하였으며, 화재성장률과 최대 열방출률의 경우 겉보기 밀도와 비교적 명확한 상관관계를 나타내고 있음이 확인되었다. 이는 가연물의 외형 수치와 중량 측정을 통하여 보다 정확한 열방출률 곡선 추정이 가능함을 의미한다.

ABSTRACT

In this study, we conducted the modeling and generalization of the heat release rate of rigid plastic combustibles with respect to their geometrical properties. The modeling and generalization was carried out using the model proposed by Natori, which is based on the combustion behavior of wooden furniture. Previous studies that have reported the combustion of printers were used for the modeling of the heat release rate of rigid plastic combustibles. The reported heat release rate measurements of the printers were examined to determine their applicability to Natori's model. After their applicability was confirmed, to generalize the heat release rate curve, heat release rate parameters of the combustibles were analyzed with respect to their geometrical properties and constituent materials. The combustibles were classified into two groups based on their geometrical properties, and the fire growth rate, maximum heat release rate, and decay rate represented the heat release rate parameters. Furthermore, the parameters were analyzed as a function of the apparent density of the combustibles. The fire growth rate and maximum heat release rate exhibited a relatively evident correlation with the apparent density, which indicated that an accurate estimation of the heat release rate curve can be obtained from the external dimensions and weight of the combustibles.

Keywords : Rigid plastic, Printer, Modeling of heat release rate curve, Combustion properties, Bulk density

1. 서 론

구획 공간의 화재 위험성에 미치는 파라미터로는 가연물의 연소특성, 환기 특성 그리고 공간을 구성하는 재료의 열적 특성으로 구분할 수 있다⁽¹⁻²⁾. 연소특성에는 가연물의 종류, 가연물의 적재량 그리고 가연물의 형태, 환기 특성으로는 개구부 위치, 형태 및 크기, 재료의 열적 특성으로는 열전도율, 밀도 그리고 비열 등이 이에 해당한다.

가연물의 연소특성은 소재 단위 또는 실제 생활에 사용되는 가연물 단위의 연소실험을 통하여 정량적인 열적 특성 값을 얻을 수 있다. 열방출률(heat release rate)은 연소특성을 나타내는 대표적인 지표라 말할 수 있으며, 국내외 많은 연구자로부터 열방출률 측정 결과가 보고되어왔다⁽¹⁻⁷⁾. 열방출률은 보편적으로 소재 단위의 경우 콘 칼로리미터(cone calorimeter)를 이용하여 측정하며, 실제의 가연물 단위는 대형 퍼니처 칼로리미터(furniture calorimeter)를 이용한다. 이러한 콘칼로리미터에 의한 열방출률 측정법은 산소 소비법에 기초를 두고 있다⁽⁸⁾. 한편, 가연물의 연소실험과 더불어 건축물의 건축 용도에 따른 가연물 조사는 화재 위험성에 평가를 위해 중요한 연구라고 말할 수 있다⁽⁹⁻¹⁰⁾.

그러나 가연물의 연소특성에 관한 연구는 앞으로도 지속되어야 하지만, 연소실험의 경우 환경적, 시간적 및 경제적 측면에서 부담이 되기 때문에 연소실험의 결과를 지속적으로 활용할 수 있는 형태로서의 모델화 작업이 필요하다. 예를 들어 하나의 의자를 이용한 연소실험으로부터 얻어진 열방출률은 모든 의자에 대한 연소특성을 대표하는 것이 아니기 때문이다. 따라서 실제 생활에 사용되어지고 있는 가연물에 대하여 구성 재료와 기하적인 형태를 고려하여 구분하고 이에 따른 열방출률 측정 결과를 모델화하여 나타낼 필요성이 있다⁽¹¹⁻¹²⁾.

따라서 다양한 가연물의 연소실험으로부터 얻어진 다양한 열방출률 결과를 활용 가능한 형태로 모델화하는 것이 연구의 목적이며, 본 연구에서는 경질 플라스틱을 주재료로 하는 가연물(프린터)에 대한 열방출률 곡선을 활용하여 모델화 대한 검토를 수행하였다. 또한 가연물의 외형 특성으로부터 열방출률 곡선 추정에 필요로 하는 파라미터 얻을 수 있는 형태의 자료를 제시하고자 한다.

2. 프린터를 이용한 연소실험의 개요⁽¹³⁾

본 연구에서 경질 플라스틱의 열방출률 측정 결과는 Lee 등⁽¹³⁾에 의해 보고된 프린터 연소실험 결과를 이용하기로 한다. 따라서 본 절에는 연소실험의 방법과 열방출률 측정 결과에 대하여 간략히 설명한다.

2.1 연소실험의 방법

연소실험 개요를 나타내는 평면도와 단면도를 Figure 1에 나타냈다. 연소실험은 직사각형의 5 m 후드 아래에서

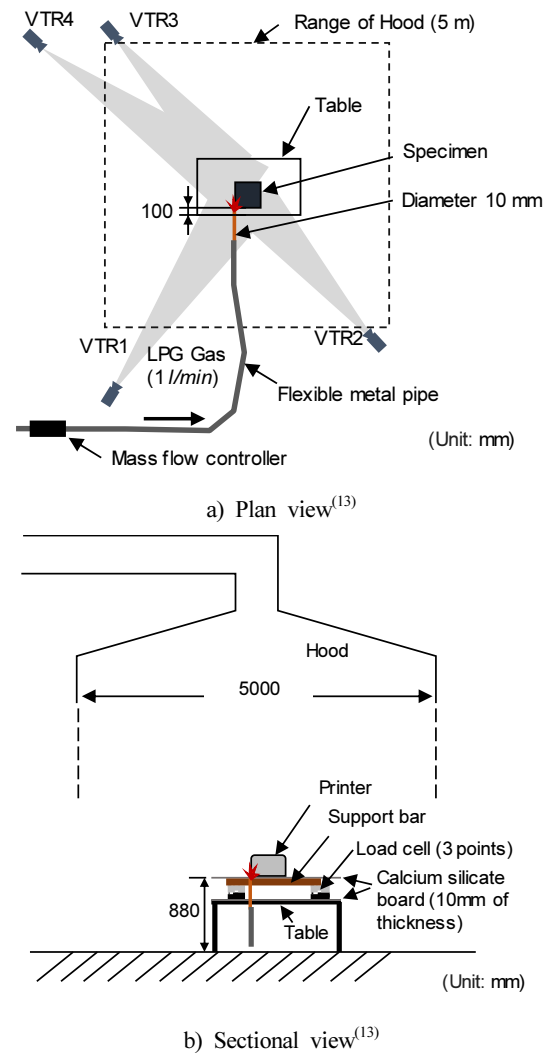


Figure 1. Burning test method of printer under 5m hood.

진행되었으며, 대형 퍼니처 칼로리미터에 의해 열방출률이 측정되었다⁽⁸⁾. 실험체는 실생활에서의 사용 환경을 고려하여 테이블 상부에 설치되었으며, 실험체의 아래에는 로드 셀(load cell)을 설치함으로써 중량 변화를 동시에 측정할 것이다. 열방출률의 측정은 1 s 간격이다.

착화 방법은 연소의 계속성과 착화원이 연소 성상에 미치는 영향을 최소화하는 것을 고려하여 설정된 것으로서, LPG 가스 1 l/min가 지속적으로 공급되는 버너가 착화원으로 사용되었다. LPG 가스의 유량은 질량유량계를 통하여 통제되었으며, 열방출률 측정 결과에 있어서 LPG 가스의 연소가 열방출률에 미친 영향은 제외된 것이다.

실험에는 총 12대의 프린터가 사용되었으며 프린터의 사양에 따라 흑백 레이저(B-laser), 컬러 레이저(C-laser), 컬러 잉크젯(C-inkjet) 그리고 복합기(A-inkjet)로 구분된다. Table 1은 연소실험에 사용된 프린터의 외형 치수와 중량을 나타낸 것이다. 각 기호는 노출 표면적 A_s , 수평투영면적 A_b , 높이 H , 겉보기 체적 V_{bulk} , 초기 중량 W_0 을 나타낸다.

Table 1. Specification of Test Specimens

	Type	A_s (m ²)	A_b (m ²)	H (m)	V_{bulk} (m ³)	W_0 (kg)
No.1	B-Laser	0.489	0.103	0.254	0.026	6.8
No.2		0.787	0.214	0.318	0.068	17.1
No.3	C-Laser	1.242	0.310	0.411	0.127	54.5
No.4		1.328	0.261	0.561	0.147	36.1
No.5		1.173	0.327	0.365	0.119	41.6
No.6		1.028	0.271	0.381	0.103	31.6
No.7		0.834	0.203	0.355	0.072	24.5
No.8	C-Inkjet	0.730	0.306	0.122	0.037	9.5
No.9		0.514	0.213	0.099	0.021	6.7
No.10		0.680	0.234	0.191	0.045	10.9
No.11	A-Inkjet	0.680	0.259	0.152	0.039	10.8
No.12		0.055	0.279	0.111	0.031	9.2

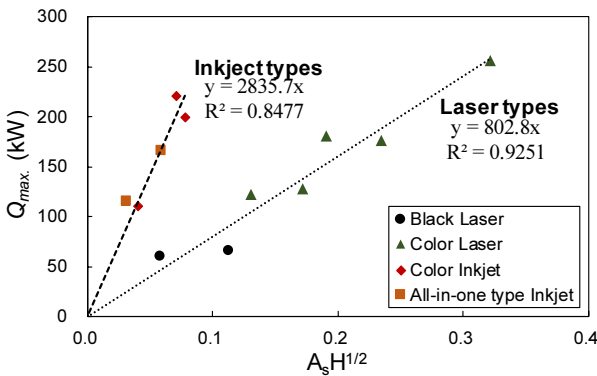


Figure 2. Relationship between $A_s \sqrt{H}$ and $HRR_{max}^{(13)}$.

연소실험에 사용된 프린터의 형태적 사양은 수평투영면적 0.103~0.327 m², 높이 0.099~0.561 m, 겉보기 체적 0.021~0.147 m³, 초기 중량 6.8~54.5 kg의 것이 사용되었다.

2.2 실험 결과의 개요

연소실험 결과 잉크젯 프린터의 주요 플라스틱은 PS-HI (high impact polystyrene)으로서 연소열은 31.7 MJ/kg로 나타났다. 레이저 프린터는 PC+ABS-FR (40) 또는 ABS-FR (40)의 사용되었으며, 평균 연소열은 24.7 MJ/kg 됴이 확인되었다. 여기서 FR (40) 난연성 소재의 혼입을 의미한다. 한편, Figure 2에는 열방출률을 $A_s \sqrt{H}$ 와의 관계로서 나타낸 것으로서, H 는 프린터의 높이(m)를 의미한다. 프린터의 외형 치수로부터 최대 열방출률 예측이 가능함을 내포하고 있다⁽¹³⁾.

3. 열방출률 곡선의 모델화 방법

기존의 연소실험에서 측정된 열방출률 결과⁽¹³⁾를 이용하여 열방출률 모델에 적용함으로써 경질 플라스틱도 기존의

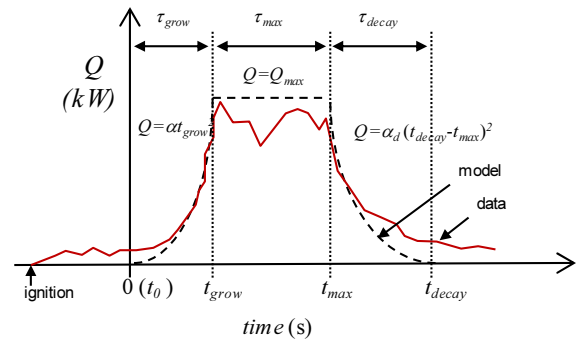


Figure 3. Natori's estimated model of heat release rate.

모델에 적용 가능한지에 대하여 검토를 수행한다.

3.1 열방출률 곡선 모델의 개요

Natori 등⁽¹¹⁻¹²⁾은 가구와 같은 목재(심재)와 발포성 플라스틱(피복재)로 구성된 실제 가연물의 연소실험 결과를 기초로 열방출률 모델을 제안하였다. Figure 3과 식(1)에 나타난 바와 같이 그의 모델은 연소의 시간 경과에 따라 화재 성장기간 τ_{grow} , 정상연소기간 τ_{max} , 감쇠기간 τ_{decay} 으로 구분하고 있으며, 화재성장기간과 감쇠기간에서의 성장률과 감쇠율은 t -square 모델⁽¹⁴⁻¹⁵⁾을 채용하고 있음을 알 수 있다.

$$Q(t) = \begin{cases} \alpha t^2 & 0 \leq t < t_{grow} \\ Q_{max} & t_{grow} \leq t < t_{max} \\ \alpha_d (t_{decay} - t)^2 & t_{max} \leq t < t_{decay} \end{cases} \quad \text{식 (1)}$$

여기서 Q 는 열방출률(kW), t_0 는 화재성장 개시시간(s), t_{grow} 는 화재성장 종료시간(s), t_{max} 는 정상연소 종료시간(s), t_{decay} 는 감쇠기 종료시간(s), α 는 화재성장률(kW/s²), α_d 는 화재감쇠율(kW/s²)이다.

3.2 열방출률 측정 결과의 모델화 적용 및 검토

측정된 열방출률 결과를 모델에 적용함에 있어서 성장기간, 감쇠기간, 성장률과 감쇠율은 회기구간의 설정에 따라 크게 달라진다. 따라서 회기구간을 명확히 하는 것이 방법론적인 측면에서 중요하다. 본 연구에서는 열방출률 측정결과를 Figure 4와 같이 시간 t 와 \sqrt{Q} 와의 관계로 변환함으로써, \sqrt{Q} 가 직선적으로 크게 증가 혹은 크게 감소하는 구간을 회기 구간으로 설정하였다. 이러한 방법에 따라 회기 구간을 설정하면 화재성장 개시시간 t_0 과 감쇠기 종료시간 t_{decay} 은 각각의 회기구간의 기울기로부터 연장선상에 있는 x 축과의 점점 값이 됴므로 일률적으로 구할 수 있다. 한편, 정상연소기간 τ_{max} 은 측정값과 모델값에서 얻어진 총 열방출률(total heat release rate)의 값이 일치하도록 조절이 필요하므로, 조절 후의 정상연소기간은 τ_{max}' 로 나타낸다.

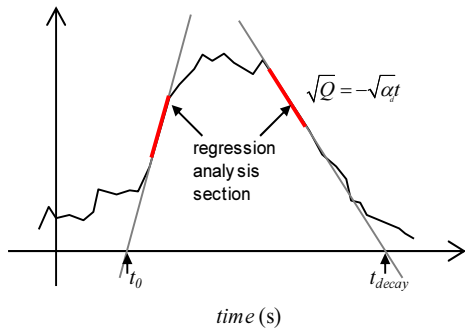


Figure 4. Conversion to a relationship between time and Q two square roots.

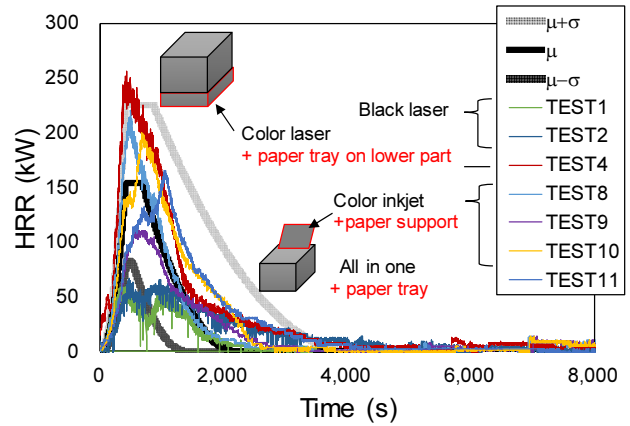


Figure 6. Results of application to HRR model (type1).

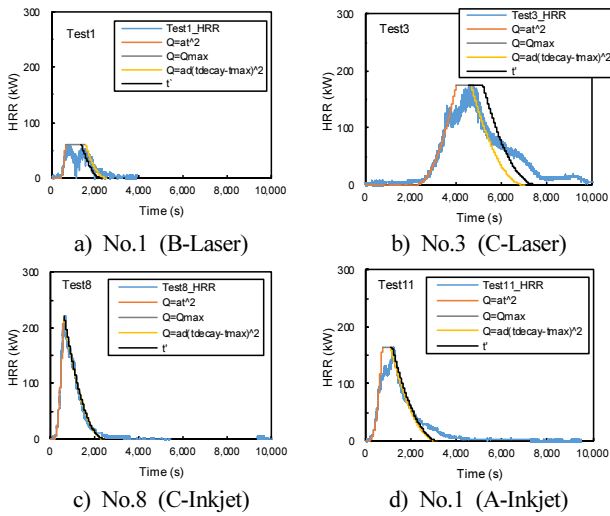


Figure 5. Results of application to heat release rate curve model.

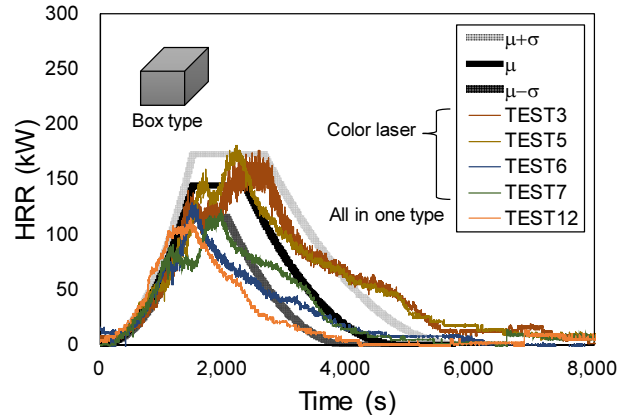


Figure 7. Results of application to HRR model (type 2).

4. 열방출률 곡선 모델화 및 일반화

4.1 열방출률 곡선 모델화 결과

Figure 5는 열방출률 측정 결과와 모델화 결과로서 프린터의 유형에 따라 일례를 나타낸 것이다. 그래프는 화재성장 개시시간이 0 s가 되도록 조정된 것으로, 모델화 방법에서 설명한 바와 같이 정상연소기간 τ_{max} '은 실험값과 모델링 값의 총 열방출률 일치하도록 보정되었다. 그래프에서는 보정 전의 결과를 노란색 실선, 보정 후의 결과를 검은색 실선으로 표기하였다.

각각의 측정된 열방출률은 프린터의 유형에 따라 그 결과와 형태가 다르지만 모든 모델링 적용 결과는 화재성장기, 화재최성기, 화재감쇠기의 특징이 잘 반영된 결과임을 알 수 있다. 따라서 프린터 열방출률 측정 결과와 모델링 적용 결과를 통하여 Natori의 열방출률 모델⁽¹¹⁻¹²⁾은 경질 플라스틱 가연물의 열방출률 모델화에도 사용 가능함을 확인하였다.

4.2 열방출률 곡선의 일반화

각각의 열방출률 곡선은 매우 다양한 형태를 나타내고

있기 때문에 활용성을 고려하면 일반화하여 나타남이 필요하다. 열방출률 특성과 프린터의 기하학적인 특성에 따라 두 그룹으로 분류하였으며, 하부 종이 트레이가 추가 설치되거나 종이 서포터가 부착된 경우(type 1)와 돌출부가 거의 없는 박스형(type 2)이다. 모델의 적용범위는 type 1은 초기 중량 6.7~36.1 kg, 겉보기 체적 0.021~0.147 m³의 범위, Type 2는 초기중량 9.2~54.5 kg, 겉보기 체적 0.031~ 0.127 m³의 범위의 것이다. 형태학적인 측면에서 분류를 하였으나 type 2의 경우 비교적 크기가 큰 레이저 프린터가 주를 이루고 있으며, 구성 재료도 함께 구분됨을 알 수 있다. Figures 6과 7은 type 1의 열방출률 측정결과, type 2의 측정결과 그리고 각각의 모델링의 일반화 결과를 나타낸 것이다. 두 그룹으로 구분하여 모델에 적용한 결과 평균값은 대부분의 측정결과의 중심부를 통과하는 결과를 나타내고 있다. 그래프에는 표준편차를 적용한 모델도 함께 표기하였다.

Tables 2와 3은 위의 일반화 된 모델의 파라미터를 나타낸 것이다. 여기서, Ave.(μ)는 평균, σ 는 표준편차, coefficient of variation (CV)는 변동계수를 의미한다.

Table 2. Parameters Used in the Model (type1)

Parameter	Ave.(μ)	SD(σ)	CV	$\mu+\sigma$	$\mu-\sigma$
a	9.3×10^{-4}	4.7×10^{-4}	0.50415	14×10^{-4}	4.6×10^{-4}
a_d	0.7×10^{-4}	0.4×10^{-4}	0.66881	0.2×10^{-4}	1.1×10^{-4}
HRR_{max}	154	71	0.4607	225	83
τ_{max}	264	185	0.7018	450	79

Table 3. Parameters Used in the Model (type 2)

Parameter	Ave.(μ)	SD(σ)	CV	$\mu+\sigma$	$\mu-\sigma$
a	0.6×10^{-4}	0.1×10^{-4}	0.19748	0.8×10^{-4}	0.5×10^{-4}
a_d	0.2×10^{-4}	0.1×10^{-4}	0.27020	0.2×10^{-4}	0.3×10^{-4}
HRR_{max}	144	28	0.1953	173	116
τ_{max}	848	307	0.3614	1155	542

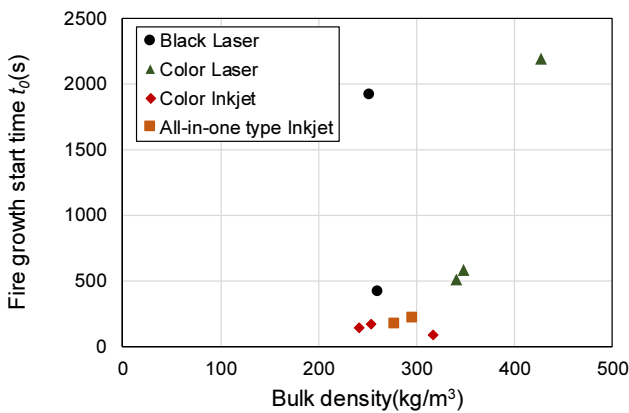


Figure 8. Relationship between bulk volume and fire growth start time t_0 .

4.3 결보기 밀도와 파라미터와의 관계

착화 이론⁽²⁾에 따르면 착화 시간 및 화염 확산은 가연물 밀도와 밀접한 관계가 있다. 따라서 각 모델의 구간별 연소 특성에 대하여 결보기 밀도(초기 중량/결보기 체적)와의 관계를 통하여 검토하였다.

Figure 8은 화재성장 개시시간에 대한 결과이다. 초기 착화가 실패한 test 4와 test 6의 결과는 배제되었다. 밀도가 높을수록 착화 시간이 늦어지는 형태라고 말할 수 있으나 결보기 밀도와의 관계에서 명확한 상관관계를 확인하기는 어렵다. 이는 착화원이 있는 위치에서의 가연물의 배치 상황과 경질 플라스틱이라 하더라도 난연성 소재의 함유 유무가 그 원인이라 말할 수 있다.

Figure 9는 화재성장률에 관한 결과로서 국의 지침서⁽¹⁾에 제시되어 있는 플라스틱 가전제품의 결과(함수식)를 병행하여 표기하였다. 지침서에서 제시된 화재성장률은 결보기 밀도와 음의 상관관계⁽¹⁾를 나타내고 있으며, 본 연구 결과도 음의 상관관계를 나타내고 있다. 그러나 본 연구에서 측정된 화재성장률은 전체적으로 지침서의 결과보다 낮은 결과를 나타내고 있다. 특히, box type (type 2)는 더욱 현저하게 작은 값으로 나타났다. 이는 지침서에서 제시하고 있는 경질 플라스틱 가연물의 경우 다양한 가전제품이 포함되어

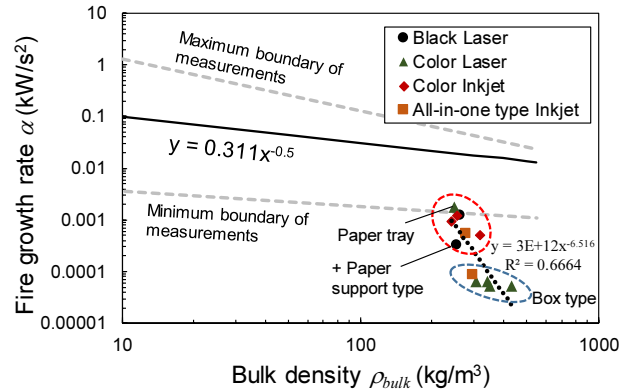


Figure 9. Relationship between bulk density and fire growth rate⁽¹⁾.

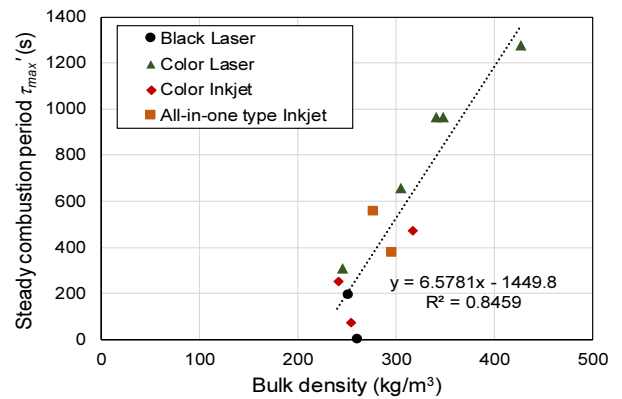


Figure 10. Relationship between bulk density and steady combustion period τ_{max} .

있으며, 이러한 가연물에는 경질 플라스틱과 발포성 플라스틱이 함께 혼재되어 있는 것이 그 이유라 판단된다. 또한 박스형(type2)의 화재성장률이 더욱 낮게 나타난 것은 난연성 소재의 함유가 그 원인으로 예상된다. Figure 10은 정상연소기간에 대한 결과이다. 일반적으로 정상연소기간은 가연물의 절대량(초기중량)과 표면적의 관계가 중요하다고 판단되나, 밀도와의 상관관계가 비교적 명확하게 나타나고 있다. 프린터의 연소형상의 경우 착화부분의 용융과 더불어 구획화재와 같은 내부연소의 형태를 나타냈다는 결과⁽¹³⁾가 보고되었기 때문에 가연물의 결보기 밀도의 영향이 뚜렷하게 나타난 것이라 판단된다.

Figure 11은 결보기 밀도와 화재감쇠율의 관계이며, 결보기 밀도가 높을수록 화재감쇠율도 낮아지는 경향은 있으나 그 상관관계는 매우 낮다. 프린터의 연소형상에서 연소 후반부에는 플라스틱의 용융으로 가연물 형태는 크게 변형되어있기에⁽¹³⁾ 결보기 밀도와의 상관관계는 명확하지 않은 것이라 판단된다.

4.4 형태학적 특성으로부터 파라미터의 추정

본 연구에서는 경질 플라스틱 가연물이라도 형태학적인 분류를 통하여 열방출률 곡선의 모델화 및 일반화를 수행

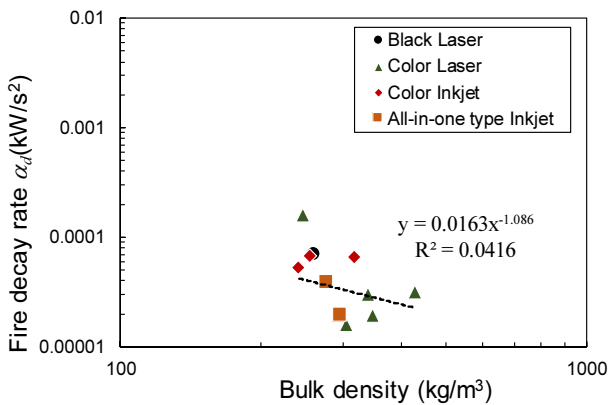


Figure 11. Relationship between bulk density and fire decay rate α_d .

하였으며, 각각의 모델에 대한 파라미터를 4.2절의 Tables 2와 3에 나타냈다. 건축물의 용도에 따른 가연물 조사⁽⁹⁻¹⁰⁾와 같은 연구를 수행하는 경우, 소재 단위 및 가연물 단위의 연소 특성은 매우 중요한 기초 자료임으로 본 연구에서의 일반화 결과는 활용이 가능하다. 만일 조사 대상이 되는 공간에 본 연구에서 수행된 유사한 형태와 크기를 갖는 경질 플라스틱 가연물이 배치되어 있다면, 형태 및 재질에 따라 구분하여 상기의 Tables 2와 3에 나타낸 파라미터를 적절히 이용하는 것이 가능하다.

한편, 4.3절의 Figures 9~11까지의 그래프에는 모델화에 필요로 하는 각 파라미터를 걸보기 밀도와의 관계로서 나타냈다. 가연물 조사 과정에서 가연물의 외형 치수(수평투영면적과 높이)와 초기 중량까지 측정된 경우에는 각 그래프에 작성된 근사식을 이용하여 모델화에 필요로 하는 파라미터를 직접 추정할 수 있다. 이는 보다 정확한 열방출률 곡선의 얻을 수 있음을 의미한다. 화재감쇠율의 경우 걸보기 밀도와의 상관관계가 매우 낮았으나, 화재 위험성의 측면에서 중요한 파라미터는 아니기에 개의치 않고 적용해도 무방하다. 한편, 열방출률 곡선은 실험 결과로부터 얻어진 실험식으로써 수평투영면적 0.103~0.327 m², 높이 0.099~0.561 m, 걸보기 밀도 241.6~427.9 kg/m³의 범위에서 적용 가능하다.

5. 결 론

본 연구에서는 경질 플라스틱이 주재료인 가연물(프린터)을 이용하여 수행된 연소실험의 열방출률 측정 결과를 이용하여 지속적으로 활용 가능한 형태로서의 열방출률 곡선 모델링에 대하여 검토를 수행하였으며, 다음과 같은 결과를 얻었다.

1) 목재 가구의 연소실험을 기초로 작성된 Natori의 모델에 경질 플라스틱 가연물의 열방출률의 적용한 결과 연소 특성이 잘 반영된 모델화의 결과를 확인하였다.

2) 주된 재질이 경질 플라스틱으로 구성된 가연물이라

하더라도 열방출률 곡선은 매우 상이함을 알 수 있으며, 기하학적 특성에 따라 가연물을 분류함으로써 열방출률 곡선 모델을 일반화하여 나타냈다. 또한 일반화로부터 얻어진 열방출률 곡선의 파라미터를 제시하였다.

3) 외형의 수치(수평투영면적 및 높이)와 초기 중량 결과를 이용하여 모델화에 필요로 하는 파라미터를 직접 얻을 수 있도록, 모든 파라미터에 대하여 걸보기 밀도와의 상관관계로서 나타낼 수 있었다.

References

1. Architectural Institute of Japan, "Recommendation for Design Fire Loads and Fire Actions in Buildings" (2013).
2. J. G. Quintiere, "Principles of Fire Behavior", Second Edition, CRC Press, New York (2016).
3. Y. R. Huh, Y. S. Kim, H. W. Kim, B. H. Lee, S. H. Jin and Y. J. Kwon, "Study on Combustion Characteristics of Ceiling Materials Using Cone Calorimeter", J. Korean Soc. Hazard Mitig. Vol. 21, No. 1, pp. 111-117 (2021). <https://doi.org/10.9798/KOSHAM.2021.21.1.111>
4. S. G. Kang, D. E. Kim, D. G. Seo, D. J. Kim, J. H. Kim and Y. J. Kwon, "A Study on the Experimental to Establish Combustion Properties DB Accordance to Vehicle Model Categorizes at Parking Space", J. Korean Soc. Hazard Mitig., Vol. 14, No. 1, pp. 27-33, (2014). <https://doi.org/10.9798/KOSHAM.2014.14.1.27>
5. H. Y. Jang and D. G. Nam, "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", Fire Science and Engineering, Vol. 32, No. 6, pp. 55-62 (2018). <https://doi.org/10.7731/KIFSE.2018.32.6.028>
6. B. Y. Seo, W. B. Jang, K. W. Park and W. H. Hong, "Experimental Study on the Measurement of Fire Behavior and Heat Release Rate in Building Compartment Space - Focus on Full Scale Fire Test of the Bed Mattress -", Fire Science and Engineering, Vol. 32, No. 6, pp. 28-33 (2018). <https://doi.org/10.7731/KIFSE.2018.32.6.028>
7. W. H. Park, D. H. Lee and W. S. Jung, "A Fire Test Measuring the Heat Release Rate of Railway Car Interior Materials Satisfying the Korean Safety Guideline, Fire Science and Engineering, Vol. 23, No. 4, pp. 40-49 (2009).
8. ISO 24473, "Fire tests - Open Calorimetry - Measurement of the rate of production of heat and combustion products for fires of up to 40MW", International Standardization Organization (2008).
9. D. E. Kim, H. R. Hong, D. G. Seo and Y. J. Kwon, "A Study on the Fire Behavior of Combustibles for Prediction

- of Fire in an Apartment House”, AIK, Vol. 28, No. 3, pp. 73-80 (2012). https://doi.org/10.5659/JAIK_PD.2012.28.3.73
10. J. Y. Lee, F. Saito, Y. Ohmiya, Y. Shintani, A. Jo, J. Kitahori and K. Harada, “Field Survey of Fire Load using 3D Scanner -Confirm Reliability-”, The Korean Society of Disaster Information, 2018nyeon jeong-gihagsuldaehoe mich teugbyeolsemina. pp. 215-216 (2018).
 11. A. Natori, K. Harada, Y. Ohmiya and T. Wakamatsu, “An Estimation Method of Heat Release Rate of Real Combustible Objects”, J. Environ. Eng., AIJ, No. 616, pp. 1-8 (2007). https://doi.org/10.3130/aije.72.1_6
 12. A. Natori, N. Kaka, J. Kitahori, T. Tsuchihashi, T. Abe, T. Nagaoka, Y. Ohmiya and K. Harada, “Development of a Simple Estimation Method of heat Release Rate Based on Classification of Common Combustibles Into Groups”, Fire Science and Technology, Vol. 25, No. 1, pp. 31-54 (2006). <https://doi.org/10.3210/fst.25.31>
 13. J. Y. Lee, Y. Ohmiya, K. Harada, K. Matuyama, Y. Wang, F. Saito, S. Okinaga, Y. Shintani et al., “An Experimental Study on Combustion Characteristics of Printers Depending on Geometrical Type and Kind of Plastics Used, Asia-Oceania Symposium on Fire Science and Technology”, Springer, pp. 535-547 (2018). DOI:10.1007/978-981-32-9139-3_39
 14. A. E. Cote and J. L. Linville, “Fire Protection Handbook”, 17th edn., Natl Fire Protection Association(NFPA), pp. 6.104-6.116 (1991).
 15. NFPA 72, “National Fire Alarm Code”, National Fire Protection Association (1999).