대구 서문시장의 화재하중 산정에 관한 연구

Estimation of Fire Load in Daegu Seomun Market

이지만* · 이세명**

Lee, Jiman*, and Lee, Semyeoung**

Abstract

In this study, the fire load, which is a critical data in fire-risk assessment, of Seomun Market in Daegu, was calculated empirically. From the results of this study, the fire load on the 3rd floor of Seomun Market 2nd District was 53,405.24 MJ, and the fire load per unit area divided by the area of the sample block was 2,139.63 MJ/m². These values were confirmed to be relatively high compared to the fire load on similar sales facilities in other countries. It is expected that the fire load value derived in this study could be used as a reference for the installation of an adequate firefighting facility in Daegu Seomun Market.

Key words : Daegu Seomun Market, Traditional Market, Fire Load, Combustion Experiment

요 지

본 연구에서는 대구 서문시장의 화재위험성평가에서 중요한 자료가 되는 화재하중을 실증적으로 산정하였다. 연구결과, 서문시장 2지구 3층의 화재하중은 53,405.24 MJ이고, 표본블록의 면적을 나눈 단위면적당 화재하중은 2,139.63 MJ/m²이었다. 이는 다른 국가의 유사 판매시설에 대한 화재하중과 비교해 보았을 때 상대적으로 크다는 것을 확인하였다. 본 연구로 도출된 화재하중 값은 대구 서문시장의 효과적인 소방시설 구축을 위한 참고자료로 활용될 수 있을 것으로 기대한다.

핵심용어 : 대구서문시장, 전통시장, 화재하중, 연소실험

1. 서 론

전통시장은 대부분 노후하고 복잡한 미로식 통로로 이루어져 있어 구조적으로 매우 취약하다. 그리고 좁은 공간에 대한 활용도를 높이기 위해서 포목·의류 등과 같은 화학 섬유류를 다량으로 적재하고 있어서 화재가 발생하였을 때 그 확산속도가 매우 빠르고 고열과 유독성 농연 등으로 화재진압에 어려움을 겪는 등 소방안전상 많은 문제점을 안고 있다(Hwang, 2006).

특히, 전국 3대 전통시장 중 하나인 대구 서문시장은 창고형 대공간 전통시장 형태로써 소규모 점포가 밀집되어 있으며 적재된 물품들이 대부분 원단이나 섬유제품과 같은 화재하중이 매우 높은 가연성 상품들로 구성되어 있어서 대형화

재에 상당히 취약한 구조를 갖고 있다(Kwag, 2006).

여기서, 화재하중이란 화재실 내부에 있는 가연성 물질들이 완전 연소될 때 발생하는 발열량의 총합을 의미하는 것인데, 이는 건축물 또는 화재실의 화재위험도를 나타내는 중요한 척도가 된다. 화재하중이 높은 경우에는 당연히 화재의 가혹도 및 화재의 크기가 커질 수 밖에 없으므로 화재하중을 바탕으로 소방시설을 구축하려는 노력은 화재안전 분야에서 매우 중요한 과제로 자리매김하고 있다(Lee et al., 2003).

그러나 우리나라에서 화재하중에 대한 연구의 역사는 매우 짧으며 지금까지의 연구(Kim, 2003; Lee et al., 2003; Lee, 2018) 역시 주로 국내의 문헌자료를 토대로 산정하는 경우가 대다수 이므로 연구된 화재하중의 정확성을 단정

*정회원, 대구 소방안전본부 본부장(E-mail: ljm0614@korea.kr)

Member, Chief of the Headquarters, Daegu Fire & Safety Department

**교신저자, 정회원, 경일대학교 소방방재학과 교수(Tel: +82-53-600-5402, Fax: +82-53-600-5419, E-mail: lsm0023@naver.com)

Corresponding Author, Member, Professor, Department of Fire Safety, Kyungil University

짓기에는 어려움이 있다. 이와 같이 화재하중에 대한 자료의 부족과 아직까지는 낮은 신뢰성으로 인해 현재로서는 소방 관련 법규에 근거하여 특정소방대상물에 소방시설을 적용하는 시방위주 설계방법을 보편적으로 적용하고 있으며 이는 경제적으로나 시간적으로나 여전히 장점이 많다. 하지만, 시방위주 설계방법은 기존 보다 큰 화재가 발생하였을 때 종종 소방시설의 능력 부족으로 인해 화재제어에 실패하는 결과를 초래하는 경우가 있었다.

실제로 2016년에 발생한 서문시장 화재는 방화구획이 되지 않은 넓은 개방형 매장에 화재하중이 높은 섬유제품과 같은 가연물이 다량 적재되어 있었고 점포마다 설치된 가연성재질의 커튼에 의해 급격하게 화재가 확대됨으로써 스프링클러 헤드와 개방이 되었음에도 불구하고 불을 뒤따라가는 양상이 되어 스프링클러설비의 효과가 미약했던 것으로 조사되었다(Daegu Metropolitan City, 2017).

이러한 조사결과는 근대 이후 30여 건의 크고 작은 화재 발생으로 엄청난 재산피해를 입은 서문시장의 화재안전대책 수립에서 시사하는 바가 크다.

많은 전통시장 화재사례 분석을 통해 화재사고 재발방지를 위해 전문가들은 법규를 초월한 소방시설 설치의 필요성을 예전부터 제기해 왔으나 이제는 여기서 더 나아가 각 전통시장의 화재특성에 기반한 최적화된 소방시설의 설치에 대해 더 깊이 고민해야 할 시점이 되었다고 생각한다.

이에 본 논문은 대구 서문시장의 화재하중을 실증적으로 산정함으로써 화재를 효과적으로 제어할 수 있는 소방시설 구축을 위한 기초자료를 제공하는데 그 목적이 있다.

2. 화재하중

2.1 화재하중 정의 및 산정방법

화재하중(Fire Load)은 화재실에 포함된 모든 가연물의 완전연소에 따른 전체 발열량을 의미한다. 그리고 원자력안전위원회 고시인 화재위험도분석에 관한 기술기준에서도 화재의 규모를 판단하는 척도로서 모든 가연성물질의 완전연소에 의해 발생하는 방화지역 또는 방화구역의 열량으로 정의하고 있다. 위 정의에 따라 화재하중은 Eq. (1)과 같이 화재실 내 가연물의 질량(M_v)과 유효연소열(Δh_c)로 산정할 수 있다(Yii, 2000).

$$q = \sum M_v \Delta h_c \quad (1)$$

가연물의 질량을 산정하는 방법은 다양하지만 일반적으로 가연물의 개별 중량을 직접 측정하는 방법이 가장 정확하다(Choi et al., 2013). 그리고 가연물의 유효연소열은 국내외 문헌자료를 참고하여 간접적으로 적용할 수도 있으나 대상 공간 내에 존재하는 가연물의 구성재료에 대한 정보가 명확하지 않으면 정확도가 떨어질 수 있다. 따라서, 본 논문에서는

화재하중 산정방법의 신뢰성을 높이기 위해서 현장조사를 통해 가연물의 종류를 실사한 후 중량을 실측하였고 또한 시편을 채취하여 콘칼로리미터 시험을 실시하여 각 가연물의 유효연소열을 직접 측정하였다.

2.2 기존 화재하중 자료 조사

본 연구에서 산정한 서문시장의 화재하중 크기와 비교하기 위해 서문시장과 유사한 용도인 판매시설의 종류별 화재하중을 기존 연구 자료와 국내의 문헌을 토대로 조사하였고 그 조사결과는 Tables 1~4와 같다.

Table 1. Fire Load of Sales Facilities by Domestic-1

Types of Sales Facilities	Fire Load per Unit Area (MJ/m ²)
Food	470
Clothing	860
Etc	900

Table 2. Fire Load of Sales Facilities by Country-1

Types of Sales Facilities	Fire Load per Unit Area (MJ/m ²)		
	Swiss ¹⁾	Australia ²⁾	Japan ³⁾
Food	600	600	480
Goods	-	300	960
Others	-	-	480

※ Ref. 1) Thauvoye et al. (2008)

2) Gallagher Bassett Australia Pty Ltd. (1996)

3) Architectural Institute of Japan (2013)

Lee (2018)는 실물조사와 문헌조사를 통해 얻은 국내와 해외 판매시설의 종류별 화재하중을 Tables 1~2와 같이 정리하였다.

Lee et al. (2003)은 건축법 시행령에 따른 용도분류 중 9개의 용도군 29개 건물을 대상으로 목록표 기술(Inventory Technique)과 중량측정방법으로 가연물의 중량을 도출하였고, 연소열값은 Eurocode와 SFPE Handbook의 문헌자료를 참고하여 화재하중을 산정하였다. Table 3은 위의 연구결과 중에서 판매시설과 유사한 1종 및 2종 근린생활시설의 화재하중을 정리한 것이다.

Table 3. Fire Load of Sales Facilities by Domestic-2

Types of Sales Facilities	Fire Load per Unit Area (MJ/m ²)
Class1 Neighborhood Living Facility	1,108
Class2 Neighborhood Living Facility	505

Table 4는 미국, 호주, 유럽, 일본의 유사 판매시설의 화재 하중을 정리한 것이다.

Table 4. Fire Load of Sales Facilities by Country-2

Types of Sales Facilities	Fire Load per Unit Area (MJ/m ²)			
	A ¹⁾	Au ²⁾	EU ³⁾	J ⁴⁾
Linen and Cotton	-	-	-	464
Fiber	-	600	-	-
General	-	300	-	-
Department store	-	470	-	579
Mercantile	908	-	-	-
Shopping Centre	-	-	600	-

※ A: America, Au: Australia, EU: European, J: Japan

※ Ref. 1) American Iron and Steel Institute (1981)
 2) Gallagher Bassett Australia Pty Ltd. (1996)
 3) EN 1991-1-2 (2002)
 4) The Building Center of Japan (1989)

3. 서문시장 화재하중 조사

3.1 조사개요 및 방법

서문시장의 화재하중 산정을 위하여 서문시장 2지구 3층에 대한 현장조사를 실시하여 가연물(원단)의 종류와 적재율을 조사하였고 여기에 콘칼로리미터 시험을 통해 각 시편에 대한 연소물성(열방출률, 연소열량, 총방출에너지)을 측정함으로써 화재하중을 정량적으로 계산하였다. 서문시장 화재하중 조사는 2019년 10월 7일부터 2019년 12월 9일까지 2개월간 진행되었다(Table 5).

Table 5. Survey and Measurement Contents

	Contents
Term	- 2019. 10. 7. ~ 2019. 12. 9 (2 Months)
Method	① Survey of combustibles in the sample block (type, quantity) ② Experiment of combustion properties of combustibles (specimen) ③ Calculate the fire load in the sample block
Condition	① Season: Choose the winter with the highest fire load ② Specimen: 100 mm × 100 mm by each fabric material ③ Cone calorimeter: Setting according to KS F ISO 5660-1 - The radiant heat of the heater is 50 kw/m ² - The discharge flow rate is 0.024 m ³ /s
Tool	- Tape measure, Scale, Cone calorimeter

3.2 표본블록 및 가연물(원단) 조사

3.2.1 표본블록의 선정

서문시장은 1, 2, 4, 5지구와 동산상가, 견해산물상가 등으로 구분되어 있으나 견해산물상가를 제외하고는 지구별로 차별화되어 있지 않고 유사상품 군으로 구성되어 있다(Kwag, 2006). 각 지구별 건물 내에는 몇 개의 점포가 통로를 기준으로 블록을 형성하고 있는데 2지구 3층의 블록수가 100개로 가장 많았다. 서문시장 2지구는 창고형 대공간의 전통시장으로서 도소매 형태로 다양한 섬유제품이 취급·판매되고 있으며, 섬유류 가연물이 가장 많이 적재되어 있어 화재하중이 가장 클 것으로 예상되었다. 따라서 서문시장 2지구 3층을 조사대상지로 선정하였으며, 총 100개의 블록 중에서 건물 벽체의 가장자리 및 수직동선에 인접하여 비정형한 형상을 띤 12개의 블록을 제외한 88개 블록의 면적을 Table 6과 같이 측정하였으며 이 중에서 평균면적(24.96 m²)이 되는 대표적인 1개 블록을 Figs. 1~2와 같이 표본블록으로 선정하였다.

Table 6. Block Status of the 3rd Floor of Seomun Market 2nd District

Size	Number	Area (m ²)	Mean (m ²)
5.2 m × 4.8 m	54	1,347.84	24.96
6.8 m × 5.0 m	10	340.00	34.00
3.7 m × 6.3 m	20	466.20	23.31
4.8 m × 2.2 m	4	42.24	10.56
Total	88	2,196.28	24.96

Fig. 1. the 3rd Floor Plan of Seomun Market 2nd District and Sample Block

Fig. 2. Sample Block

3.2.2 가연물(원단) 조사

가연물(원단) 조사는 서문시장 2지구 3층 각각의 점포에 대해 가연물(원단)의 종류와 점유율을 조사하였으며, 가연물이 계절별, 유행에 따라 진열형태 및 원단의 종류, 재질, 무게 등이 변화됨에 따라 가연성이 가장 강하고 가연물량이 가장 많이 적재되는 겨울철을 선택하여 2019년 12월 10일부터 2020년 1월 20일까지 2개월간 실시하였다(Fig. 3).

표본블록 내 가연물은 대부분 섬유원단이 롤(Roll) 형태로 진열되어 있으므로 가연물(원단)의 종류별 점유율은 표본블록과 면적이 동일한 54개 블록 내에 진열된 섬유원단의 롤(roll)수로 산정하였으며 산정된 점유율 값이 소수점일 경우에는 반올림하여 가연물(원단)의 종류별 적재비율을 결정하였다.

그리고 표본블록 내에 가연물(원단)이 적재된 평균높이를 측정하여 표본블록의 전체 적재부피를 계산하였고, 가연물(원단)별 1롤(Roll)의 부피와 중량을 실측함으로써 최종적으로 각 원단의 적재중량과 표본블록 내 총 적재중량을 계산하였다.

3.3 가연물(원단) 조사결과

3.3.1 가연물(원단)의 종류와 적재비율

서문시장 2지구 3층에서 주로 판매되는 원단의 종류는 Table 7과 같이 면A, 면B, 폴리에스테르, 울(Wool), TC류의 원단으로 조사되었고, 적재비율은 면A는 10%, 면B는 40%, 폴리에스테르 30%, 울(wool) 10%, TC 10%로 조사되었다. 기타 원단의 경우에는 무시해도 될 정도의 점유율(또는 적재비율)이므로 제외하였다.

3.3.2 가연물(원단) 1롤(Roll)의 부피 및 중량

면A 및 면B의 평균규격은 지름(2r) 0.36 m, 길이(l) 1.2 m, 폴리에스테르는 지름(2r) 0.4 m, 길이(l) 1.5 m, 울은 지름(2r) 0.4 m, 길이(l) 1.8 m, TC는 지름(2r) 0.3 m, 길이(l) 1.5 m로 조사되었다.

$$\text{Volume of 1 Roll of each fabric (m}^3\text{)} = \pi r^2 \times l \quad (2)$$

Table 7. Loading Ratio of Flammables in the Sample Block

Goods	Roll number	Share	Loading Ratio
Cotton A	1,427	9.8%	10%
Cotton B	5,868	40.3%	40%
Polyester	4,325	29.7%	30%
Wool	1,412	9.7%	10%
TC	1,471	10.1%	10%
Etc.	582	0.4%	Ignore (exclude)
Total	14,561	100%	100%

Cotton A: Pure cotton 100%

Cotton B: Pure cotton 90% + Other materials 10%

TC: Polyester and cotton blended fabric

원단 1롤(Roll)의 부피를 산정하기 위해서 Eq. (2)를 활용하였으며, 면A 및 면B의 경우 0.122 m³, 폴리에스테르는 0.188 m³, 울은 0.226 m³, TC는 0.106 m³로 산정되었다(Table 8).

원단별 1롤의 평균중량을 실제 저울로 측정하였으며, 평균중량은 면A와 면B는 13 kg, 폴리에스테르는 15 kg, 울은 18 kg, TC는 15 kg으로 측정되었다.

3.3.3 가연물(원단)의 적재높이

표본블록과 면적이 동일한 54개 블록의 적재높이를 실측한 결과, 1.5 m에서 2.0 m 이상에 이르기까지 좁은 점포에 상당히 많은 원단을 적재하고 있었으며 점포 내 일부 공간만이 상인의 활동공간으로 활용하고 있었다. 표본블록 내에 높이 적재된 가연물(원단)의 일부를 상인의 활동공간에 채운 후 평준화한 적재높이는 1.5 m로 측정되었다.

3.3.4 표본블록 및 가연물(원단)의 적재부피

표본블록의 적재부피는 Fig. 2에서 가로 5.2 m, 세로 4.8 m이고 원단의 평균 적재높이는 1.5 m이므로 Fig. 4와 같으며 부피는 37.44 m³가 된다.

(a) Investigation of combustibles types

(b) Investigation of sample blocks

(c) Survey of loading capacity

Fig. 3. Investigation of Combustibles on the 3rd Floor of Seomun Market 2nd District

Table 8. Results of Survey and Measurement of Combustibles in the Sample Block

Survey and Measurement Items		Cotton A	Cotton B	Polyester	Wool	TC	Total
Loading ratio of each fabric in sample block		10%	40%	30%	10%	10%	100
Loading volume of each fabric in sample block		3.74 m ³ (37.44 × 10)	14.98 m ³ (37.44 × 40)	11.24 m ³ (37.44 × 30)	3.74 m ³ (37.44 × 10)	3.74 m ³ (37.44 × 10)	37.44 m ³
One roll of each fabric	Diameter (Radius)	0.36 m (0.18 m)	0.36 m (0.18 m)	0.4 m (0.2 m)	0.4 m (0.2 m)	0.3 m (0.15 m)	-
	Length	1.2 m	1.2 m	1.5 m	1.8 m	1.5 m	
	Volume	0.122 m ³ ($\pi \times 0.18^2 \times 1.2$)	0.122 m ³ ($\pi \times 0.18^2 \times 1.2$)	0.188 m ³ ($\pi \times 0.2^2 \times 1.5$)	0.226 m ³ ($\pi \times 0.2^2 \times 1.8$)	0.106 m ³ ($\pi \times 0.15^2 \times 1.5$)	-
Number of rolls in the sample block		31 Roll (3.74 ÷ 0.122)	123 Roll (14.98 ÷ 0.122)	60 Roll (11.24 ÷ 0.188)	17 Roll (3.74 ÷ 0.226)	35 Roll (3.74 ÷ 0.106)	266 Roll
Loading weight in sample block	One roll (kg)	13	13	15	18	15	-
	All (kg)	403	1,599	900	306	525	3,733

Fig. 4. Loading Volume of Sample Block

표본블록에 진열된 가연물(원단) 종류별 적재부피는 Eq. (3)과 같이 표본블록의 적재부피(A)에 Table 7의 가연물(원단) 종류별 적재비율(B)을 곱하면 면A는 3.74 m³, 면B는 14.98 m³, 폴리에스테르는 11.24 m³, 울은 3.74 m³, TC는 3.74 m³가 된다.

$$\text{Loading volume of each fabric (m}^3\text{)} = A \text{ (m}^3\text{)} \times B \text{ (\%)} \quad (3)$$

where, A: Loading volume of sample block

B: Loading ratio of each fabric

3.3.5 가연물(원단)의 롤(Roll)수

표본블록에 적재된 가연물(원단) 종류별 롤(Roll)수는 3.3.4절에서 구한 표본블록 내의 가연물(원단) 종류별 적재 부피(C)를 원단 1롤(Roll)의 부피(D)로 나누어 구할 수 있다.

Eq. (4)에 따라 원단 종류별 롤(Roll)수를 구하면 면A는 31롤, 면B는 123롤, 폴리에스테르는 60롤, 울은 17롤, TC는 35롤로 산정되었다.

$$\text{Roll number of each fabric (Roll)} = C \text{ (m}^3\text{)} \div D \text{ (m}^3\text{)} \quad (4)$$

where, C: Loading volume of each fabric (m³)

D: Volume of 1 Roll of each fabric (m³)

3.3.6 표본블록 총 적재중량

3.3.5절에서 구한 표본블록에 적재된 원단 종류별 롤(Roll) 수에 각 원단 1롤(Roll)의 중량을 곱하면 면A는 403 kg, 면B는 1,599 kg, 폴리에스테르는 900 kg, 울은 306 kg, TC는 525 kg으로 산정되었고 표본블록 내 총 적재중량은 3,733 kg으로 산정되었다(Table 8).

4. 화재하중 산정을 위한 가연물(원단) 연소실험

4.1 실험개요

측정은 한국산업표준 KS F ISO 5660-1에 의거하여 콘칼로 리미터법에 따라 초기화재 시 외부 가열에 의한 열방출률, 발열량 등의 관계를 정량적으로 얻을 수 있는 Cone Calorimeter 시험기를 이용하여 측정하였다. 점화는 전기 콘히터로 시험체를 가열하여 산소소모법에 의해 열방출률(Heat Release Rate), 연소질량(Combustion Mass) 그리고, 총방출에너지(Total Heat Release)를 측정하였다.

4.2 원단 시편 및 실험방법

원단별 유효연소열을 측정하기 위해 서문시장2지구 3층 표본블록에서 면A, 면B, 폴리에스테르, 울, TC원단을 Cone Calorimeter의 샘플홀더에 맞추어 100 mm × 100 mm의 크기로 채취하였으며, 한국산업표준 KS F ISO 5660-1에 의거 Cone Calorimeter 콘히터의 복사열은 화재성장 4단계(Ignition and Growth, Fully Developed and Decay) 중 Fully Developed에 해당되는 복사열 수준인 50 kW/m²로 설정하고, 배출유량은 0.024 m³/s로 설정하였다(Table 9, Fig. 5).

Table 9. The Size of Specimen

Type	Size (Width × Length)
Cotton A	100 mm × 100 mm
Cotton B	100 mm × 100 mm
Polyester	100 mm × 100 mm
Wool	100 mm × 100 mm
TC	100 mm × 100 mm

Fig. 5. Cone Calorimeter Experiment View

4.3 원단 시편 연소실험

4.3.1 면 A (Figs. 6, 7)

Fig. 6. Combustion Experiment of Cotton A

(a) Heat Release Rate (HRR)

(b) Combustion Mass

(c) Total Heat Release

Fig. 7. Combustion Properties of Cotton A

4.3.2 면 B (Figs. 8, 9)

Fig. 8. Combustion Experiment of Cotton B

(a) Heat Release Rate (HRR)

(b) Combustion Mass

(c) Total Heat Release

Fig. 9. Combustion Properties of Cotton B

(a) Heat Release Rate (HRR)

(b) Combustion Mass

(c) Total Heat Release

Fig. 11. Combustion Properties of Polyester

4.3.3 폴리에스테르(Polyester; Figs. 10, 11)

Fig. 10. Combustion Experiment of Polyester

4.3.4 울(Wool; Figs. 12, 13)

Fig. 12. Combustion Experiment of Wool

(a) Heat Release Rate (HRR)

(b) Combustion Mass

(c) Total Heat Release

Fig. 13. Combustion Properties of Wool

(a) Heat Release Rate (HRR)

(b) Combustion Mass

(c) Total Heat Release

Fig. 15. Combustion Properties of TC

4.3.5 TC (Figs. 14, 15)

Fig. 14. Combustion Experiment of TC

4.4 실험결과에 따른 유효연소열 산정

Figs. 6~15와 같이 가연물(원단) 시편의 Cone Calorimeter 시험으로 측정된 연소질량(Combustion Mass)과 총 방출에너지(Total Heat Release)를 통해서 Table 10과 같이 가연물의 유효연소열(Effective Heat of Combustion)을 산정하였다.

Table 10. Experiment Results of Combustion Properties of Each Specimen

Type	Combustion Mass (g)	Total Heat Release (kJ)	Effective Heat of Combustion (kJ/kg)
Cotton A	27.91	363.97	13,040
Cotton B	16.58	209.29	12,620
Polyester	10.82	170.04	15,720
Wool	22.49	360.74	16,040
TC	11.3	192.51	16,980

4.5 화재하중 산정

4.5.1 표본블록 화재하중

앞에서 조사된 표본블록 내의 각 가연물(원단)별 적재중량과 Cone Calorimeter로 측정한 각 원단의 유효연소열을 Eq. (5)에 대입하여 화재하중을 산정하였으며, 그 결과 표본공간 내의 화재하중은 Table 11과 같이 53,405.24 MJ이다.

$$\text{Fire Load (kJ)} = \sum (E \text{ (kg)} \times F \text{ (kJ/kg)}) \quad (5)$$

where, E: Loading Weight of each fabric (kg)
F: Effective Heat of Combustion (kJ/kg)

Table 11. Fire Load of Sample Block

Type	Loading Weight (kg)	Effective Heat of Combustion (kJ/kg)	Fire Load (kJ)
Cotton A	403	13,040	5,255,120
Cotton B	1,599	12,620	20,179,380
Polyester	900	15,720	14,148,000
Wool	306	16,040	4,908,240
TC	525	16,980	8,914,500
Total	-	-	53,405,240

4.5.2 단위면적당 화재하중

앞에서 표본블록 내의 화재하중은 53,405.24 MJ로 계산되었으며 표본공간의 면적은 24.96 m² (5.2 m × 4.8 m)이므로, 단위면적(1 m²)에 대한 화재하중으로 산정하면 2,139.63 MJ/m²이 된다. 따라서 서문시장에 표본블록을 적용하였을 경우 단위면적당 화재하중은 Table 12와 같이 최대 2,139.63 MJ/m²로 적용할 수 있다.

Table 12. Fire Load per Unit Area

Area (m ²)	Fire Load (MJ)	Fire load per Unit Area (MJ/m ²)
24.96	53,405.24	2,139.63

4.6 국가별 화재하중 비교

기존 연구 자료와 국내외 문헌을 토대로 조사한 유사 판매시설의 화재하중을 정리한 Tables 1~4와 본 연구에서 계산한 서문시장 화재하중을 비교한 결과는 Table 13과 같다.

서문시장의 단위면적당 화재하중 조사결과는 2,139.63 MJ/m²로서 미국의 상업시설 908 MJ/m² 보다 약 2.4배, 유럽의 쇼핑센터 600 MJ/m² 보다 약 3.6배 그리고 일본의 백화점 579 MJ/m² 보다 약 3.7배 크다. 또한, 서문시장 점포와 가장

유사한 일본의 포목매장 화재하중 조사 결과는 464 MJ/m²로서 서문시장 화재하중이 4.6배가 크고, 호주의 섬유판매장 화재하중 조사결과는 600 MJ/m²로서 서문시장의 화재하중이 3.6배가 크다.

Table 13. Comparison of Fire Load per Unit Area by Country

Type of Sales Facility	Fire load per Unit Area (MJ/m ²)					
	A	S	Au	EU	J	K
Seomun Market	2,139.63 MJ/m ² (This Study's Results)					
Food	-	600	600	-	480	470
Goods	-	-	300	-	960	860
Others	-	-	-	-	480	900
Linen and Cotton	-	-	-	-	464	-
Fiber	-	-	600	-	-	-
General	-	-	300	-	-	-
Department store	-	-	470	-	579	-
Mercantile	908	-	-	-	-	-
Shopping Centre	-	-	-	600	-	-

※ A: America, S: Swiss, Au: Australia, EU: European, J: Japan, K: Korea

이러한 비교결과는 우리나라 전통시장의 경우 단위면적당 가연물을 밀도 높게 적재함으로써 좁은 점포에 대한 공간 효율성을 높이려는 경향에서 비롯된 것으로 판단되며 이는 결국 화재하중을 키워서 화재위험성이 증대되는 결과를 초래하게 된다. 서문시장은 1, 2, 4, 5지구와 동산상가, 건해산물상가 등으로 구분되어 있으나 건해산물상가를 제외하고는 지구별로 차별화되어 있지 않고 유사상품 군으로 구성되어 있다. 때문에 2016년 11월에 화재사고가 있었던 4지구의 경우 본 연구의 표본블록이 있는 2지구와 유사한 화재특성을 보였을 것으로 예상되며, 서문시장 4지구에서 화재가 발생하였을 때 급격한 화재 확대 및 전파로 인해 스프링클러 헤드가 개방이 되었음에도 불구하고 빠르게 번지는 불길을 잡는데 역부족이었던 이유를 잘 설명해 주는 연구결과라고 보여 진다.

5. 결 론

근대이후 30여건의 크고 작은 화재 발생으로 엄청난 재산 피해를 입은 서문시장은 화재사고 이후에 지속적으로 소방시설 및 안전시설을 보강하여 왔으나 여전히 화재위험성이 높은 것으로 평가되고 있다. 이에 서문시장의 화재예방 및 피해경감을 위해서는 기존에 부족한 시설의 보강에만 거치는 것이 아니라 화재를 보다 효과적으로 제어할 수 있는 소방시설을 구축할 필요성이 있으며 이를 위해 대구 서문시

장의 화재위험성 평가에서 중요한 자료가 되는 화재하중을 실증적으로 산정하였다.

서문시장의 화재하중 산정을 위하여 서문시장 2지구 3층에 대한 현장조사를 실시하여 가연물(원단)의 종류와 적재물 등을 조사하였고 여기에 콘칼로리미터 시험을 통해 현장에서 채취한 각 시편의 연소물성(열방출률, 연소질량, 총방출에너지)을 측정함으로써 화재하중을 정량적으로 계산하였다.

연구결과, 서문시장 2지구 3층의 화재하중은 53,405.24 MJ이고, 표본블록의 면적으로 나눈 단위면적당 화재하중은 2,139.63 MJ/m²이었다. 이는 미국, 스위스, 호주, 유럽, 일본 등 다른 국가의 유사 판매시설에 대한 화재하중과 비교해 보았을 때 상대적으로 크다는 것을 확인하였다.

이 결과를 통해 서문시장을 비롯한 우리나라 전통시장의 경우 좁은 점포에 대한 공간 효율성을 높이기 위해 단위면적당 밀도 높게 가연물을 적재하고 있음을 알게 되었고 이는 화재가 발생하였을 때 화재성장속도와 화재크기를 키우는 결과를 초래함으로써 결과적으로 경보설비와 소화설비를 기존과 같은 형태로 설치할 경우에 화재를 조기에 감지하지 못하거나 화재 제어에 실패할 가능성을 배제할 수가 없다.

따라서, 본 연구 결과로 도출된 화재하중 값은 대구 서문시장의 효과적인 소방시설 구축을 위한 참고자료로 활용될 수 있을 것으로 기대한다.

References

- American Iron and Steel Institute (AISI). (1981). *Fire protection through modern building codes* (Fifth ed., pp. 34-75). Washington, DC, USA: AISI.
- Architectural Institute of Japan (AIJ). (2013). *Recommendations for design fire loads and fire actions in buildings* (pp. 32~98). Tokyo, Japan: AIJ.
- Choi, S.Y., Kim, J.Y., Nam, D.G., and Kim, S.C. (2013). Comparative study on the estimation method of fire load for residential combustibles. *Fire Science and Engineering*, Vol. 27, No. 6, pp. 38-43.
- Daegu Metropolitan City. (2017). *Seomun market 4th district fire accident response white paper*. pp. 45-60.
- EN 1991-1-2. (2002). *Eurocode 1: Actions on structures - Part 1-2: General actions - Actions on structures exposed to fires*. European Standard.
- Gallagher Bassett Australia Pty Ltd. (1996). *Fire risk evaluation model*. pp. 33-44.
- Hwang, T.Y. (2006). The actual condition and counter-measures of fire safety management in the traditional market. *Disaster Prevention and Insurance*, Korea Fire Protection Association, Vol. 112, pp. 27-29.
- Kim, D.H. (2003). *A study on the establishment of the fire load by building occupancy*. Ph.D. dissertation, Konkuk University, pp. 22-28.
- Kim, W.H. (1997). A survey of fuel loads in office buildings. *Journal of Korean Institute of Fire Science & Engineering*, Vol. 11, No. 1, pp. 37-45.
- Kwag, J.M. (2006). *Efficient management and operation plan of Seomun market*. Daegu Gyeongbuk Development Institute, pp. 18-19.
- Lee, B.H. (2018). *A study on the fire load and combustible characteristics for fire safety design related to BIM of building structures*. Master's thesis, Hoseo University.
- 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. *Journal of the Architectural Institute of Korea Planning & Design*, Vol. 19, No. 1, pp. 259-266.
- Thauvoye, C., Zhao, B., Klein, J., and Fontana, M. (2008). Fire load survey and statistical analysis. *Fire Safety Science - Proceedings of the 9th International Symposium*, pp. 991-1002.
- The Building Center of Japan (BCJ). (1989). *Comprehensive fire protection design method for buildings. Vol. 4: Fire resistance design method*. pp. 141-151.
- Yii, H.W. (2000). *Effect of surface area and thickness on fire loads*. Fire Engineering Research Report 00/13, Univ. of Canterbury, pp. 4-18.

Received	July 21, 2020
Revised	July 23, 2020
Accepted	August 10, 2020