

## 한·일 자연배연 기준 비교를 통한 물류창고 배연설비의 유효면적 산정에 관한 연구

### Comparative Analysis of Korean and Japanese Standards for Natural Smoke Ventilation in Logistic Warehouses

허예림\* · 이유림\*\* · 김윤성\*\*\* · 진승현\*\*\*\* · 구인혁\*\*\*\*\* · 권영진\*\*\*\*\*

Huh, Yerim\*, Lee, Yoolim\*\*, Kim, Yunseong\*\*\*, Jin, Seunghyun\*\*\*\*, Koo, Inhyuk\*\*\*\*\*,  
and Kwon, Youngjin\*\*\*\*\*

#### Abstract

This study investigated the design methodologies outlined in Korean and Japanese legislation, along with Japanese design guidelines, pertaining to natural smoke ventilation systems in logistics warehouses. Subsequently, we determined the effective area of the smoke exhaust system based on the combustible materials and building characteristics. Our findings indicated that the calculated effective area per the statutory standards of both nations was 10 m<sup>2</sup> and 20 m<sup>2</sup>, respectively. According to Japanese guidelines, the space accommodating the CUP ranged from 24.71 m<sup>2</sup> to 13.76 m<sup>2</sup> for floor heights between 7 to 16 m, while the space accommodating CEP ranged from 41.83 m<sup>2</sup> to 22.54 m<sup>2</sup>. Analyzing the quantity of smoke emitted through the calculated effective area, we observed that, when applying domestic legal standards, the smoke exhaust rate consistently remained lower than the plume flow rate. Conversely, under the Japanese standard, the smoke emission efficiency of the CUP loading warehouse surpassed that of smoke emission from 9 m to 16 m, while it was lower from 7 m to 8 m. Notably, the smoke exhaust rate consistently exceeded the generated smoke quantity in all instances within the effective area governed by the guidelines.

**Key words** : Natural Smoke Ventilator, Effective Area, Logistics Warehouse

#### 요 지

본 논문에서는 물류창고의 자연배연을 위하여 한·일의 법령과 일본의 설계지침에서 제공되는 설계법을 조사하고 이를 통해 수용품 특성, 건축물 특성에 따른 배연설비 유효면적을 산정하였다. 그 결과, 양국의 법적 기준을 통한 유효면적은 10 m<sup>2</sup>, 20 m<sup>2</sup>로 산정되었고, 일본 지침을 통한 결과는 7~16 m의 층고에서 CUP를 수용한 공간은 24.71 m<sup>2</sup>부터 13.76 m<sup>2</sup>, CEP를 수용한 공간은 41.83 m<sup>2</sup>부터 22.54 m<sup>2</sup>로 산정되었다. 이렇게 산정된 유효면적을 통해 배출되는 배연량의 경우, 국내 법적기준을 적용한 경우는 모든 Case에서 플룸유량보다 배연량이 적었다. 일본 기준을 적용한 경우는 CUP 적재창고에서는 9 m부터 16 m까지는 연기발생량보다 배연량이 많은 배연효율을 냈으나 7 m부터 8 m에서는 배연량이 더 적었다. 지침을 적용한 유효면적에서는 모든 Case에서 연기배출량이 연기발생량보다 많았다.

**핵심용어** : 배연설비, 유효면적, 물류창고

\*정회원, 호서대학교 소방방재학과 박사과정(E-mail: huh531@naver.com)

Member, Master's Course, Department of Fire & Disaster Protection, Hoseo University

\*\*정회원, 호서대학교 소방방재학과 박사과정

Member, Master's Course, Department of Fire & Disaster Protection, Hoseo University

\*\*\*정회원, 호서대학교 소방방재학과 박사과정

Member, Master's Course, Department of Fire & Disaster Protection, Hoseo University

\*\*\*\*정회원, 호서대학교 소방방재학과 박사과정

Member, Master's Course, Department of Fire & Disaster Protection, Hoseo University

\*\*\*\*\*정회원, 호서대학교 산학협력단 연구원

Member, Researcher, Industry Academy Cooperation Foundation of Hoseo University

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

Corresponding Author, Member, Professor, Division of Safety and Fire Protection Engineering, Hoseo University

# 1. 서론

## 1.1 연구의 배경 및 목적

물류창고는 대규모 공간에 다량 적재된 가연물로 높은 화재하중을 지니고 있어 화재안전 측면에서 위험성이 높은 특성이 있고, 무창층 구조와 컨베이어벨트 등의 설치로 인한 복잡한 내부 구조로 농연 축적 시 실내 공간 파악이 어렵다는 문제점이 있다(Ministry of Land, 2021; Lee, 2022).

최근 발생하는 물류창고 화재의 경우, 화재 시 건축물 내부에 위치해 있던 재실자의 피난은 모두 이루어졌으나 소방활동을 위해 진입한 소방대원들이 건축물 내부에 축적된 농연이 재확산하거나 가연성가스의 폭발적 재연소로 인한 시야 미확보로 인해 건축물 내부에 고립되어 연기로 인한 부상을 입거나 사망하는 인명피해가 발생하였다. 이처럼 물류창고에는 재실자의 피난 뿐 아니라 소방대원들의 진입을 위한 화재시의 건축물 내부 연기제어가 필요할 것으로 사료된다(Kim, 2022; Kim, 2023).

건축물의 연기제어에는 주로 자연배연, 기계배연, 축연, 차연의 방식이 사용되는데, 그 중, 자연배연은 건축물 내부에 화재가 발생하면 화재실 내에 고온의 연기층이 형성되고 화재실 상·하부에서는 부력으로 인한 연기 이동이 발생한다. 또한 내부 공기의 온도 변화로 인해 건축물 외부와 내부의 공기 밀도차가 생긴다. 이 때, 화재실의 위쪽에서는 연기를 외부로 배출하려는 힘이 작용하고 아래쪽에서는 외부공기를 화재실로 유입하려는 힘이 발생하는 성질을 이용하는 것이다. 물류창고와 같은 대공간에서는 천장이 높아 부력효과가 크게 나타나 배연성능이 좋고, 피난 및 소방활동을 위해 장시간의 배연이 필요한 실에 적합한 자연배연이 효율적이다(Architectural Institute of Japan, 2014).

국내에서는 건축법에서 배연설비의 설치를 통한 자연배연에 대한 기준을 제공하고 있다. 그러나 현재 국내의 기준에는 배연설비에 대한 최소한의 규정만이 마련되어 설치 및 성능 유지관리 방법이 미비한 실정이다. 이에 이러한 문제점을 개선하기 위한 가이드라인 개발 연구(Yun et al., 2017)가 이루어졌고, 용어, 적용대상, 배연장 설치 및 제어, 유지관리에 관한 문제점을 도출하였다. 적용대상에서는 대공간에 대한 적용규정이 없다는 문제점을 도출하였으나 이에 대한 개선점은 제공되지 않았고, 유효면적에 대해서도 여러 문제점이 제시되었으나 실제적으로 설계에 이용될 수 있는 배연설비의 유효면적 산정 방법에 대한 내용은 제외되어 있었다(Yun et al., 2017).

국내에서도 대공간의 자연배연에 관련된 연구가 있었으나 공연장에 대한 연구가 중심적이었다(Yeo, 2012; Kim, 2019). 그러나 공연장과 같이 대공간의 특성만을 지닌 건축물 뿐 아니라 대공간에 수용품의 다량 적재를 고려하는 물류창고에 관련된 검토도 진행되어야 한다고 사료된다. 또한, 법적 기준을 적용한 배연설비의 유효면적을 통한 배연

성능 비교에 관련된 연구(Ha, 2021)는 있었으나, 지침 등의 공학적 설계방법을 적용한 유효면적 산정을 검토한 연구는 미비한 실정이다.

일반적으로 미국 등지에서는 물류창고를 단층으로 설계하고 있다. 그러나 국내와 일본의 경우, 협소한 대지로 인해 다층구조의 물류창고가 다수 건설되고 있다. 따라서, 본 연구는 국내와 건축물의 형태가 유사하며 법적 설치대상에 대공간이 포함되어 있고, 유효면적의 설계기법을 제공하고 있는 일본의 법적기준과 지침을 조사·분석하고 이를 국내의 기준과 비교하여 국내 물류창고의 건축적 특성을 고려한 설계방법 구축을 위한 기초적 자료로 사용하는 것에 그 목적이 있다.

## 1.2 연구의 방법 및 범위

본 연구에서는 물류창고의 자연배연을 위하여 한·일의 배연설비 관련 규정을 비교하고 실제 배연설비 유효면적 산정 값을 비교분석하였다.

이를 위해 양국의 건축관계법을 조사하여 설치대상 및 설치기준에 대하여 비교하였다. 또한, 현재 국내에는 없는 유효면적 산정 설계기법을 제공하는 일본 지침을 조사하였다.

다음으로, 이러한 양국의 법령과 지침을 통해 설계되는 배연설비 유효면적 산정에 대한 Case Study를 실시하여 차이점을 비교하였다.

이러한 Case Study에서의 건축물 범위는 국내에 실제 준공된 일반창고 건축물을 선정하였다.

가연물 범위는 현재 국내에서는 물류창고 수용품 등급에 대한 명확한 기준이 존재하지 않아 소방청(Kim, 2018)에서 도출한 각 등급별 수용품 종류, 포장재에 따른 연소열 범위를 이용하였다.

# 2. 자연배연 관련 기준 조사·분석

## 2.1 국내 자연배연 관련 법적 기준

국내에서는 자연배연의 실시를 위해 건축관계법에서 배연설비에 대하여 규정하고 있다. 배연설비의 설치대상은 ‘건축법 시행령 제51조(거실의 채광 등)’의 2항을 통해 규정된다.

국내에서는 6층 이상의 특정건축물과 의료시설 건축물에 대하여 배연설비를 설치하도록 규정하고 있으나 물류창고나 아트리움 등 대공간에 대한 설치는 규정되고 있지 않다.

이러한 설치대상에 적용되는 설치기준의 경우, ‘건축물의 설비기준 등에 관한 규칙 제14조’에서 제공하고 있다.

국내에서는 배연설비를 방화구획 당 하나 이상 설치하도록 규정하고, 설치 위치의 경우, 배연창의 상변 위치가 천장 또는 반자로부터 수직거리 0.9 m 이내로 설치하거나 반자높이가 3 m 이상의 경우, 배연창의 하단이 바닥으로부터 2.1 m 이상의 위치에 설치하도록 규정하고 있다. 연기가 직접적

으로 외부로 배출되는 배연설비의 유효면적에 대해서는 최소 1 m<sup>2</sup> 이상, 면적의 합계가 구획의 1/100 이상으로 설계하도록 규정하고 있다. 이러한 설계기준에 대하여 Table 1에 정리하였다.

## 2.2 일본 자연배연 관련 기준

### 2.2.1 일본 자연배연 관련 법적 기준

일본에서는 건축기준법을 통해 배연설비 설치에 대한 법적 기준을 제공하고 있다(Enforcement of the Building Standards Act, 1975).

그 중 설치대상 건축물의 경우에는 ‘건축기준법 시행령 제126조의2’에서 규정하고 있다.

설치대상 건축물 중 특수건축물에 물류창고 등 창고시설이 포함되지 않으나 불연성물품을 저장하는 창고를 제외한 건축물 중, 3층 이상이고 연면적이 500 m<sup>2</sup> 이상일 경우 배연설비를 설치하여야 한다.

이러한 설치대상 건축물에 대하여 배연설비 설치기준은 ‘건축기준법 시행령 제126조의3’에서 제공되고 있다. 이는 Table 2에 정리하였다.

일본에서는 방연벽으로 구획된 바닥면적 500 m<sup>2</sup> 이내마다 배연설비를 설치하도록 규정하고 있고, 설치위치에 대하여는 배연설비를 천장에서부터 0.8 m 이하 지점에 설치하거나 바닥에서부터 1.5 m 이상에 설치하도록 규정하고 있다.

또한 수평거리 30 m 이내마다 배연설비를 설치하도록 규정하고 있다. 배연설비의 유효면적의 경우, 바닥면적의 1/50 이상 확보하도록 규정하고 있다.

### 2.2.2 일본 자연배연 관련 설계지침

일본의 경우, 법적 기준만을 통해 배연설비의 설치 및 유효면적의 산정을 제한하고 있지 않다.

법적기준 이외의 공학적 방법을 통한 배연설비의 유효면적 산정의 경우 시뮬레이션 구동, 실험, 예측식의 사용 등 공학적 산정방식 중 하나를 선택하여 피난안전성능을 확보하여야 한다.

일본 건축학회 등에서는 지침을 통한 공학적 산정방식을 제공하고 있다. 본 논문에서는 일본 건축학회에서 발간한 연기제어계획지침(Architectural Institute of Japan, 2014)에서 제공하는 자연배연설비 유효면적 산정식의 조사를 실시하였다.

자연배연에서는 화재 시 발생하는 플룸유량과 배연량을 비교하여 배연량이 플룸유량보다 같거나 클 경우 배연이 성공한 것으로 판단할 수 있다. 이 때, 플룸유량  $m$ 과 배연량  $m_s$ 의 산정 과정을 Eqs. (1)과 (2)에 정리하였다.

$$m = 0.08Q^{1/3}Z_c^{5/3} \quad (1)$$

**Table 1.** The Standard for Installation of Natural Smoke Ventilator in Korea

Division	Contents
Related regulation	<ul style="list-style-type: none"> <li>Enforcement degree of the building act</li> <li>Rules on building facility standards, etc.</li> </ul>
Installation place	<ul style="list-style-type: none"> <li>More than one smoke exhaust window for each fire division</li> </ul>
Installation location	<ul style="list-style-type: none"> <li>Install within 9 m of the vertical distance from the upper side of the natural smoke ventilator and the ceiling half.</li> </ul>
Vent height	<ul style="list-style-type: none"> <li>Floor height less than 3 m: 0.9 m or less from half height</li> <li>Floor height of 3 m or more: 2.1 m or more from the floor</li> </ul>
Vents area	<ul style="list-style-type: none"> <li>Over 1 m<sup>2</sup></li> <li>The total area is more than 1/100 of the building</li> </ul>
Structure	<ul style="list-style-type: none"> <li>Automatic and hand-operated use</li> </ul>
Mechanical system	<ul style="list-style-type: none"> <li>In accordance with fire-related laws and regulations</li> </ul>

**Table 2.** The Standard for Installation of Natural Smoke Ventilator in Japan

Division	Contents
Related regulations	<ul style="list-style-type: none"> <li>Building Standards Act</li> </ul>
Installation height	<ul style="list-style-type: none"> <li>0.8 m or more and 1.5 m or less from the floor</li> <li>1.8 m from the floor when suspended from the ceiling</li> </ul>
Installation interval	<ul style="list-style-type: none"> <li>Install every horizontal distance within 30 m</li> </ul>
Effective area	<ul style="list-style-type: none"> <li>At least 1/50 of the floor area</li> </ul>
Vents height	<ul style="list-style-type: none"> <li>Within 80 cm of the top of the ceiling or wall</li> </ul>

$$m_s = 353\alpha A_e \sqrt{\frac{2\Delta T g Z_c}{T_s T_a \left\{ T_s + T_a \left( \frac{A_e}{A_d} \right)^2 \right\}}} \quad (2)$$

이러한 개념을 통해 설계되는 자연배연은 두가지 방법이 있는데, 외부 공기가 유입되는 급기구의 면적을 정한 후 연기가 배출되는 배연구 면적을 산정하는 방법과 배연구 면적을 정한 후 급기구 면적을 산정하는 방법이 있다. 주로 급기구의 경우 실제 건축물에서 이용되는 출입구 또는 창문 등이 사용되기 때문에 본 장에서는 급기구의 면적  $A_d$ 를 정한 후 배연설비의 유효면적  $A_e$ 를 산정하는 방법을 서술하고자 한다.

연기발생량과 연기배출량 중, 연기배출량의 값이 같거나 커 연기하강이 이루어지지 않는 배연설비의 유효면적을 구하는 방법은 다음 순서와 같다.

- ① 연기발생량(플룸유량) 계산  

$$m = 0.08 Q^{1/3} Z_c^{5/3} \quad (1)$$
- ② 연기층 온도 계산  

$$T = T_0 + Q/(c_p m + h_k A_w) \quad (3)$$
- ③ 연기층 밀도 계산  

$$\rho = 353/T \quad (4)$$
- ④ 바닥면에서의 외기와의 차압 계산  

$$\Delta p = -m^2/2\rho_0(\alpha A_d)^2 \quad (5)$$
- ⑤ 배연구 높이에서의 외기와의 차압 계산  

$$\Delta p_e = \Delta p + (\rho_0 - \rho)g(H_e - Z_c) \quad (6)$$
- ⑥ 필요 배연구 면적 계산  

$$A_e = m/\alpha \sqrt{2\rho\Delta p_e} \quad (7)$$

여기서,

$Q$ : 열방출률 [kW]

$Z_c$ : 연기층 높이 [m]

$T_0$ : 초기 온도 [K]

$c_p$ : 연기층 가스 비열 [kJ/kg · K]

$h_k$ : 실효열전달 계수 [kW/m<sup>2</sup>K]

$A_w$ : 연기층에 접하는 주변 벽의 면적 [m<sup>2</sup>]

$\rho_0$ : 공기 밀도 [kg/m<sup>3</sup>]

$\Delta p$ : 실의 압력 [Pa]

$\Delta p_e$ : 배연구 높이에서의 압력 [Pa]

$\alpha$ : 유량계수 [-]

$A_d$ : 급기구 면적 [m<sup>2</sup>]

$g$ : 중력가속도 [m/s<sup>2</sup>]

$H_e$ : 배연구의 중심 높이 [m]

$T_a$ : 공기 온도 [K]

일반적으로 미국 NFPA 등과 같은 기준에서는 플룸유량과 배연량이 같은 경우의 유효면적을 산정하도록 규정하고 있다. 그러나 일본 연기제어계획지침에서 제공하는 식은 Eqs. (1), (2)를 이용하는 것이 아닌 일련의 과정을 거쳐 Eq. (7)을 통해 유효면적을 산정한다. 지침에서는 플룸유량과 배연량이 아니라, 높이에 따른 차압을 고려하여 천장 또는 벽의 상부에 배연설비를 설치하고 벽의 하부에 공기의 급기구를 설치한 것을 전제한다. 이에 연기층 온도와 밀도를 구하여 급기구와 배연구의 높이에서의 외기와의 차압을 산정하여 연기층의 높이가 한계 연기층높이  $Z_c$ 를 유지할 수 있는 배연설비의 유효면적 산정법을 제공한다.

### 2.3 양국 기준 비교 및 고찰

본 절에서는 국내의 건축 관계법과 일본의 건축기준법과 연기제어설계지침을 조사하여 양국의 배연설비 관련 기준과 지침을 비교하였다.

국내에서는 건축법 시행령과 건축물의 설비기준 등에 관한 규칙에서 배연설비의 설치기준 등에 대하여 규정하고 있다. 그러나, 설치대상에 있어서 건축법 시행령에서 제시하는 용도의 건축물에 대해서만 배연설비를 설치하도록 규정하고 있어, 대공간의 특성을 지님으로 자연배연을 통한 연기제어가 효율적인 물류창고의 경우에는 배연설비의 설치가 법적으로 규정되어 있지 않다.

설치대상 이외에 설치기준에 대해서는 ‘건축물의 설비기준 등에 관한 규칙’에서 제공하는 기준으로 규정하고 있다. 연기 발생 시, 연기가 배출될 수 있는 배연창의 유효면적 산정은 바닥면적의 1/100 면적으로 설계하도록 일률적으로 규정하고 있다. 국내에서도 연기제어에 대한 성능기준 및 해설서가 존재하나 이는 NFPC 501로써 기계배연을 통해 연기를 배출하는 제연설비에 대한 성능기준과 해설서일 뿐, 자연배연을 목적으로 하는 배연설비에 관련된 성능기준 등 공학적 근거가 미비하다는 문제점이 있다.

일본은 건축기준법을 통한 법적 규정과 연기제어설계지침을 통한 설계방법에 대한 지침서로 건축물의 배연설비의 설치에 대한 기준을 제공하고 설계에 대한 산정식을 제공하고 있었다.

건축기준법은 국내의 건축법과 비교했을 때, 배연구의 설치위치, 설치 높이, 배연구의 크기 등 여러 기준에서 유사한 체계를 가지고 있음이 확인되나 국내의 기준보다 더 세밀하게 규정되며, 설치대상이 국내의 대상 건축물보다 더 넓게 책정되어 있었다. 또한 유효면적 산정 기준도 국내에서는 바닥면적의 1/100의 면적 이상으로 제한하는데 반해 일본에서는 1/50의 면적 이상으로 제한하여 국내보다 배연설비의 필요 면적이 2배 더 크게 산정됨을 알 수 있었다.

**Table 3.** Comparison of Standard for Installation of Natural Smoke Ventilator in Each Country

Division	Korea	Japan
Related regulations	Building Act	Building Standards Act
Design method	NFPC 501 (Excluding Natural Smoke Ventilator)	Building Smoke Control Design Guide
Installation target warehouse	-	Included
Installation interval	Install at least 1 location per compartment	Install every 30 m or less
Effective area	1 m <sup>2</sup> or more, the total area of which is 1/100 or more of the building	At least 1/50 of the floor area
		$A_e = m/\alpha \sqrt{2\rho\Delta p_e}$
Design fire	-	Consider

연기제어설계지침에서는 배연설비의 유효면적의 산정에 대한 설계방법을 제시하고 있다. 각 건축물 용도에 따른 다양한 연기제어 방식을 제시하고, 건축물 특성과 수용품 특성을 고려한 설계화원을 이용하여 각 건축물의 용도별 특성을 고려한 배연설비의 설계방법을 구축하고 있다.

전체적인 양국의 기준 및 지침 비교는 Table 3에 정리하였다.

### 3. Case Study

#### 3.1 Case Study 개요

Case Study에서는 바닥면적이 1,000 m<sup>2</sup>인 가상의 물류창고 공간에 대하여 층고의 변화와 가연물의 변화에 따른 배연구 유효면적 산정을 실시하였다. 또한 랙크 사이즈와 수용품 적재 높이를 고려하여 건축물의 층고는 7 m부터 설정하였고, 선행연구(Kim, 2007; Kim and Lee, 2016)에서 행해진 조사에서 최대 층고로 꼽히는 16 m까지를 변수로 고려하였다.

Cho and Yeo (2016b)은 표준랙크 내에 적재되는 표준물품 선정에 어려움이 있어 국외 적재물품 위험도 등급 기준을 참고하여 국내 실정과 가장 유사하고 위험한 조건을 지닌 등급을 선택하였다. 그 중, FM Global의 물품 등급 분류 기준인 불연성, 등급 1, 등급 2, 등급 3, 등급4/판지박스 포장 비발포플라스틱(이하 CUP), 판지박스 포장 발포플라스틱(이하 CEP)에서 국내의 경향을 가장 유사하게 반영하는 물품은 CUP와 CEP라고 하였다(Cho and Yeo, 2016b).

본 논문에서는 Cho and Yeo (2016b)가 조사한 국내 랙크식 창고의 일반적인 적재형태를 대표하는 파렛트 단위 적재물품을 구성하여 이에 대한 화재특성 중 최대한 실제와 유사한 수용품 조건을 만족시키고자 하였다. 이에 CUP와 CEP를 수용품으로써 선정하여 Case Study를 진행하였다. 수용품 열방출률은 CUP는 586초에서 4633.04 kW, CEP는 165초에서 8761.88 kW로 나타났다(Cho and Yeo, 2016a).

랙크의 조건을 위해 조사한 선행연구(Cho and Yeo, 2016b)의 현장조사 및 설문조사에 따르면, 현재 국내의 물류창고에서는 Single 및 Double-row 랙크를 주로 사용중이다. 그러나 Double-row 랙크의 경우, 랙크와 랙크사이인 Flue space에서 발화할 수 있어 Open space에서의 발화가능성이 큰 Single

**Table 4.** Overview of Target Building

Main purpose	Warehouse
Compartment area to be calculated	1,000 m <sup>2</sup>
Air supply area	7.2 m <sup>2</sup>
Length × Width	50 m × 20 m
Warehouse height to be calculated	7~16 m
Permissible smoke layer height	1.8 m

**Table 5.** Overview of Target Combustible

Main purpose		Warehouse
HRR	CUP/ea	4633.04 kW
	CEP/ea	8761.88 kW
Combustible size		1.1 m × 1.1 m × 2.1 m
Rack size		1.5 m × 3.1 m × 4.5 m

랙크와 열방출률이 다르게 산정될 수 있다. 따라서, 본 연구에서는 Single 랙크의 형태를 기준으로 산정을 실시하였고, 기존 연구(Cho and Yeo, 2016b)의 랙크 형태를 차용하였다.

이러한 랙크와 수용품을 적재에 있어 한정된 공간에 가연물이 다량 적재되는 것이 화재위험성이 클 것으로 판단되어 재실자와 지게차 등의 장비가 지나다닐 수 있는 창고 내 이동 루트의 폭을 최소 3 m로 설정하여 이를 제외한 공간에 모두 랙크를 설치하고 수용품을 적재한 것을 가정하였다.

이러한 조건을 토대로 각 국의 기준과 설계지침을 통해 각 건축물 층고 별 유효면적과 이를 통한 플룸유량과 배연량을 산정하였다. 건축물과 가연물 개요를 각각 Tables 4와 5에 정리하였다.

#### 3.2 배연설비 유효면적 산정

##### 3.2.1 한국 법적 기준을 적용한 배연설비 유효면적

국내의 건축법 규정을 적용하여 배연설비의 필요면적을 산정하면, 수용품의 열방출률과 건축물의 층고를 고려하지 않고, 해당 구획실의 바닥면적의 1/100으로만 구할 수 있고, 유효면적은 10 m<sup>2</sup>로 산정되었다.

### 3.2.2 일본 법적 기준을 적용한 배연설비 유효면적

일본의 건축기준법에 따라 해당 건축물을 대상으로 배연설비의 필요면적을 산정하면, 마찬가지로 수용품의 열방출률과 층고는 고려하지 않고 해당 구획실의 바닥면적의 1/50으로 구할 수 있다. 이러한 방식으로 산정한 유효면적은 20 m<sup>2</sup>이다.

### 3.2.3 일본 지침을 적용한 배연설비 필요면적

본 절에서는 일본 지침의 설계기법을 적용하여 물류창고의 배연설비 필요면적을 산정하였다. 지침에서는 상부와 하부의 차압을 이용하여 연기발생량보다 연기배출량이 같거나 큰 배연설비의 유효면적 산정방식을 제공하고 있어, 수용품의 열방출률과 층고, 해당 구획실의 바닥, 천장 및 벽 면적까지 배연설비 유효면적의 변수로써 사용된다.

따라서, 2장에서 전술한 ①부터 ⑥까지의 과정을 통해 연기발생량을 구하고, 이를 배출할 유효면적을 산정한 뒤, 배연설비를 통해 배출되는 연기배출량을 산정하였다. 이때, 연기층 높이는 국내의 인명안전기준의 호흡혼계선인 1.8 m로 지정하였다.

먼저, CUP를 수용품으로 적재한 것으로 가정하여 유효면적을 산정하였다. 가연물의 양은 동일하며 건축물의 형태에 따라 층고를 높여 유효면적을 산정하였다.

각 층고 별 산정 결과는 Table 6과 같다.

CUP를 수용품으로 선정하여 계산한 연기의 발생량은 21.89 kg/s로 이를 배출하기 위한 유효면적은 7 m부터 오름차순으로 22.87 m<sup>2</sup>, 22.69 m<sup>2</sup>, 20.22 m<sup>2</sup>, 18.73 m<sup>2</sup>, 17.53 m<sup>2</sup>, 16.53 m<sup>2</sup>, 15.68 m<sup>2</sup>, 14.96 m<sup>2</sup>, 14.32 m<sup>2</sup>, 13.76 m<sup>2</sup>로 도출되어 층고가 높아질수록 배연설비의 필요 유효면적이 작아지는 경향을 보인다.

다음은, CEP를 수용품으로 적재한 것으로 가정하여 유효면적을 산정하였다. 이 역시 가연물의 양은 동일하며 건축물의 형태에 따라 층고를 높여 유효면적을 산정하였다.

각 층고 별 산정 결과는 Table 7과 같다.

CEP를 수용품으로 선정하여 계산한 연기의 발생량은 21.89 kg/s로 이를 배출하기 위한 유효면적은 7 m부터 오름차순으로 28.27 m<sup>2</sup>, 28.06 m<sup>2</sup>, 27.91 m<sup>2</sup>, 27.80 m<sup>2</sup>, 27.71 m<sup>2</sup>, 27.24 m<sup>2</sup>, 25.80 m<sup>2</sup>, 24.56 m<sup>2</sup>, 23.49 m<sup>2</sup>, 22.54 m<sup>2</sup>로 도출되어 전체적인 유효면적은 CUP보다 더 넓게 산정이 되고 층고가 높아질수록 배연설비의 필요 유효면적이 작아지는 경향을 보인다.

### 3.3 Case Study 고찰

유효면적의 산정에 대하여 Case Study를 실시한 결과, 국내외 배연설비의 유효면적 산정 기준이 상이하여 모든 필요면적에 대한 차이가 존재하였다.

국내와 일본의 법적 산정기준은 모두 변수를 바닥면적 하나로만 설정하여 건축물이나 수용품의 특성을 고려하지 않고 일괄적 설계를 실시하였다. 일본의 설계지침을 통해 산정할 때는 가연물 조건이 반영된 설계화원을 고려하여 연기 발생량을 구하고 건축물 조건에서 주변 벽 면적, 층고, 개구부 면적 등의 여러 조건을 고려하여 해당 건축물의 가연물이나 건축적 특성을 고려하여 배연설비의 유효면적을 산정하게 된다.

국내와 일본의 사양적 기준을 통해 산정한 유효 배연설비 면적은 각각 10 m<sup>2</sup>와 20 m<sup>2</sup>로 산정되었고, 일본의 연기제어 계획지침(Architectural Institute of Japan, 2014)에서 제공하는 산정식을 통해 구획실의 면적과 수용품의 열방출률, 건축물의 층고를 모두 고려하여 유효면적을 산정한 결과, 층고 별로 층고가 높아질수록 필요한 유효면적의 크기는 작아지는 것으로 확인되었고, 수용품 중, CEP의 적재를 가정한 공간에서의 배연설비의 유효면적이 더 큰 것으로 산출되었다. 또한 층고가 높아짐에 따라 유효면적을 통해 배출되는 배연량의 경우에도 줄어들음을 확인할 수 있었다. 자세한 결과는 Fig. 1에 정리하였다.

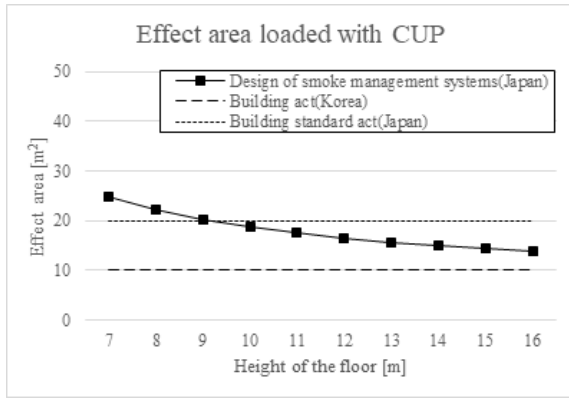
연기발생량과 연기배출량을 비교한 결과, 일본의 지침에 따라 설계했을 때는, 모든 유효면적에서 연기가 발생한 양

**Table 6.** Effective Area of Natural Smoke Ventilator with Japanese Design Guide

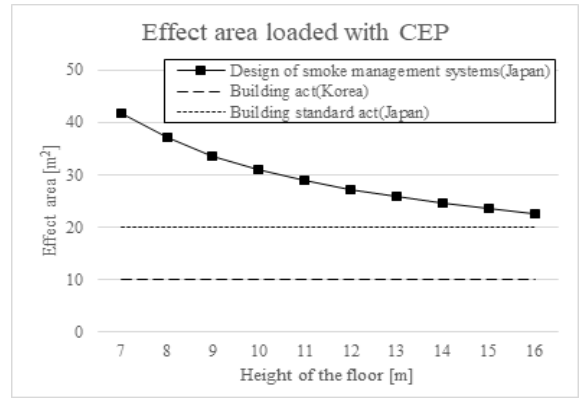
	7 m	8 m	9 m	10 m	11 m	12 m	13 m	14 m	15 m	16 m
$m$ [kg/s]	21.89									
$A_e$ [m <sup>2</sup> ]	24.71	22.13	20.22	18.73	17.53	16.53	15.68	14.96	14.32	13.76
$m_s$ [kg/s]	22.87	22.69	22.57	22.48	22.41	22.35	22.31	22.27	22.24	22.21

**Table 7.** Effective Area of Natural Smoke Ventilator with Japanese Design Guide

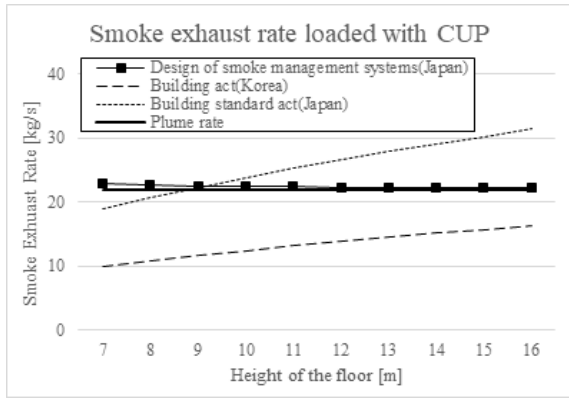
	7 m	8 m	9 m	10 m	11 m	12 m	13 m	14 m	15 m	16 m
$m$ [kg/s]	27.07									
$A_e$ [m <sup>2</sup> ]	42.83	37.09	33.67	31.05	28.96	27.24	25.80	24.56	23.49	22.54
$m_s$ [kg/s]	28.27	28.06	27.91	27.80	27.71	27.64	27.58	27.54	27.50	27.47



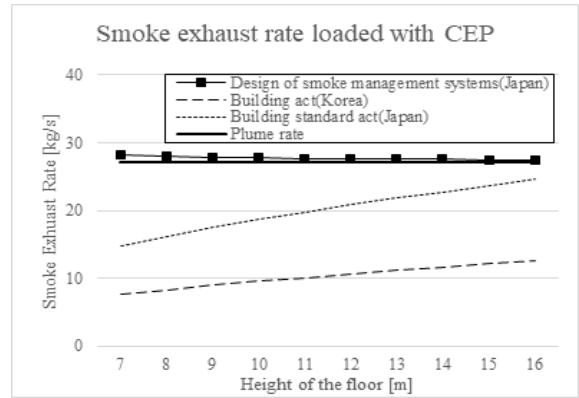
(a) Effect area loaded with CUP



(b) Effect area loaded with CEP



(c) Smoke exhaust rate loaded with CUP



(d) Smoke exhaust rate loaded with CEP

Fig. 1. Result about Effect Area and Smoke Exhaust Rate Loaded with CUP and CEP

보다 많은 배출량을 확인할 수 있었으나, 사양적 기준으로 설계한 결과는 CUP를 적재한 창고의 경우, 일본 건축기준법을 따른 경우 9 m부터 16 m까지는 연기배출량이 발생량보다 많았으나, 7, 8층에서는 배출량이 부족하여 연기배출이 원활히 되지 않는 것으로 나타났으며, 한국 건축법을 따르는 경우에는 모든 구간에서 연기배출량이 연기발생량보다 작은 것으로 확인되었다. CEP를 적재한 것으로 가정한 창고에서는 지침의 설계방법으로 산정한 유효면적으로는 연기가 발생한 것 이상으로 배연되는 것으로 확인되나 양국의 사양기준을 통한 설계 시 모든 층고의 조건에서 연기가 충분히 배출되지 않을 것으로 도출되었다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 대형 물류창고 화재 시 연기로 인한 인명피해를 저감하기 위한 방법으로 자연배연을 선정하였다. 한·일 양국의 기준 및 일본의 지침 조사를 통해 이러한 자연배연의 실시를 위한 배연설비의 유효면적 산정 방법을 분석하고, 이를 적용하여 국내 물류창고 배연설비 유효면적을 산정하였다.

이를 통해 도출된 결론은 다음과 같다.

첫째, 현재 국내에서는 건축관계법을 통해 자연배연 관련 기준을 규정하고 있으나, 이러한 법령에 물류창고와 같은 대공간의 경우 설치대상에 포함되어 있지 않으며, 유효면적의 산정 기준에 대해서는 공학적 근거없이 사양적 기준만을 규정한다. 그러나 일본에서는 3층 이상 500 m<sup>2</sup> 이상의 건축물에 대하여 모두 설치대상으로 지정하고 있으며 지침을 통한 공학적 근거도 제공되고 있다.

둘째, 국내 기준과 일본 기준을 적용하여 7~16 m의 건축물 층고 별, CUP와 CEP의 수용품 별 배연설비의 유효면적 산정을 실시하였다. 그 결과, 한국과 일본의 법적기준을 적용했을 때는 층고와 수용품에 상관없이 각각 10 m<sup>2</sup>, 20 m<sup>2</sup>로 산정되었고, 일본의 지침을 적용하여 산정한 결과, CUP를 적재한 공간에서는 24.71 m<sup>2</sup>부터 13.76 m<sup>2</sup>, CEP를 적재한 공간에서는 41.83 m<sup>2</sup>부터 22.54 m<sup>2</sup>로 산정되었다. 이를 통해 층고가 높아짐에 따라 배연설비의 유효면적은 작아지고, 열방출률이 커질수록 유효면적이 커지는 것을 확인하였다.

셋째, 산정된 유효면적에 대하여 플룸유량 즉, 연기발생량과 연기배출량을 비교한 결과, 사양기준을 통해 설계한 결과는 일본 기준이 적용된 층고 7 m, 8 m의 Case를 제외한 모든 Case에서 연기발생량보다 연기배출량이 적어 원활하게

배연이 되지 않음을 확인할 수 있었다. 그러나 공학적 산정식을 통해 설계한 경우, 모든 Case에서 연기발생량보다 연기배출량이 더 많아 원활히 배연이 되는 것으로 확인되었다.

이를 통해, 국내에서도 물류창고와 같은 대공간을 대상으로 수용품의 열방출률과 건축물의 특성을 고려하여 원활한 연기배출을 위한 배연설비 유효면적의 산정 방법이 필요하다고 사료된다.

향후, 국내의 물류창고 건축물 특성을 고려한 배연설비의 유효면적 산정이 필요함에 따라, 국내 물류창고의 건축적 특성과 화재 특성을 고려한 연기발생량 및 연기배출량의 산정 등의 화재안전 설계기법의 정립이 뒷받침되어야 할 것으로 판단되며, 물류창고의 자연배연에 있어 배연설비 유효면적 산정 뿐 아닌 설치 위치 등에 대한 연구도 필요할 것으로 사료된다.

## 감사의 글

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었습니다(RS-2022-00156237).

## References

Architectural Institute of Japan. (2014). *Building smoke control design guide*.

Cho, G.H., and Yeo, I.H. (2016a). A study on the fire characteristics of palletized unit-load commodities on racks. *Fire Science and Engineering*, Vol. 30, No. 3, pp. 23-30.

Cho, G.H., and Yeo, I.H. (2016b). Evaluation on fire spread of standard rack in Korea for performance based fire extinguishing system. *Fire Science and Engineering*, Vol. 30, No. 6, pp. 84-91.

Enforcement of the Building Standards Act. (1975).

Ha, H.J. (2021). Comparative analysis on the natural smoke exhaust system regulations of Korea and Japan through performance evaluation. *Journal of the Regional Association of Architectural Institute of Korea*, Vol. 23, No. 5, pp. 47-55.

Kim, G.T. (2023). *A study on the safety of firefighters in the field activities in the fire of large logistics warehouse*.

Ph.D. dissertation, University of Seoul, pp. 31-55.

Kim, J.H. (2019). *Investigation on effects of fire curtain and natural ventilation on smoke behavior in fire of theater*. Master's thesis, Pukyong National University, pp. 1-15.

Kim, K.S. (2007). A study on the application of volume ratio in logistics facilities. *The Korea Spatial Planning Review*, Vol. 52, pp. 149-160.

Kim, T.Y. (2022). *A study on the performance improvement plan of fire protection division through analysis of fire cases in large logistics warehouse*. Master's thesis, Kyonggi University, pp. 10-23.

Kim, W.H. (2018). *A study on the scientific countermeasures by analysis of fire propagation for storage and factory that is built of sandwich panel*. Annual report, Kyungmin University, pp. 114-119.

Kim, W.H., and Lee, Y.J. (2016). A field survey of rack-type warehouse for commodity classification system in Korea. *Fire Science and Engineering*, Vol. 30, No. 2, pp. 98-105.

Lee, C.J. (2022). *Analysis of flow characteristics and evacuation time of smoke and toxic gas in a logistics center fire with a sandwich panel structure*. Master's thesis, Chungbuk National University, pp. 1-2.

Ministry of Land. (2021). *Logistics warehouse fire safety management manual*.

Yeo, Y.J. (2012). *A study on the design factors affecting ventilation efficiency in the performance hall fires*. Ph.D. dissertation, Hoseo University.

Yun, H.W., Gim, Y.S., Choi, S.H., and Ryu, H.K. (2017). A study on the development of guideline on installation and maintenance of natural smoke ventilators in buildings. *Journal of Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol. 17, No. 6, pp. 215-219.

---

Received	November 6, 2023
Revised	November 7, 2023
Accepted	November 20, 2023