

# 거실제연설비중 공기유입구와 배출구간 직선거리 확보를 위한 모형실험연구

## A Model Experiment Study to Secure the Straight Line Distance between the Air Inlet and Exhaust Section of the Living Room

이생곤<sup>1</sup> · 민세홍<sup>2\*</sup>Saeng-Gon Lee<sup>1</sup>, Se-Hong Min<sup>2\*</sup><sup>1</sup>Doctor Course, Department of HVAC & Firefighting Engineering, Gachon University, Seongnam, Republic of Korea<sup>2</sup>Professor, Department of HVAC & Firefighting Engineering, Gachon University, Seongnam, Republic of Korea

\*Corresponding author: Se-Hong Min, shmin@gachon.ac.kr

### ABSTRACT

**Purpose:** When conducting fire inspections in Korea, there are objects that violate the fire protection regulations that require a straight line distance of more than 5m between the air inlet and the discharge section if the floor area is less than 400m<sup>2</sup>, and this paper analyzes the reasons and conducts a model experimental study to support the need for related fire protection regulations. **Method:** Domestic fire-fighting objects were investigated and confirmed, domestic and foreign papers, policies, and laws and regulations were examined, and spaces with a straight line distance of less than 5m and more than 5m between the air inlet and discharge section were selected and analyzed through model experiments in a living room of less than 400m<sup>2</sup>. **Result:** When examining the domestic fire protection regulations (NFPC-National Fire Performance Code), the separation distance between the air inlet and the outlet is more than 5m when the floor area is less than 400m<sup>2</sup>, but as a result of the actual investigation, it was confirmed that there are firefighting objects that cannot keep the separation distance. In addition, when a paper review of overseas fire protection regulations for a straight line distance of more than 5m showed that there was no regulation on the straight line distance between the air inlet and the discharge section, the model experiment showed that the discharge speed was better when the straight line distance between the air inlet and the discharge section was more than 5m than when it was less than 5m. **Conclusions:** In this study, when examining overseas fire laws and regulations by comparing the performance of the fire protection ratio for the straight line distance between the air inlet and the exhaust section, there is no mandatory regulation for the straight line distance, but the domestic fire protection regulations (NFPC-National Fire Performance Code) require more than 5m. It is hoped that this will be reflected in the design stage in the future, and a foundation will be laid to reduce the responsibility and burden of fire superintendents.

**Keywords:** Fire Regulations, National Fire Performance Code, Air Intake Method, Straight-Line Distances, Smoke Making Equipment, Model Experimental Research

### 요약

**연구목적:** 국내에서 소방점검을 시행시 바닥면적 400m<sup>2</sup> 미만일 경우 공기유입구와 배출구간 의직선 거리5m이상하라는소방법규에위반되는대상물들이있으며이러한이유를 분석하고 관련 소방법규의 필요성을 뒷받침 하기 위해 모형실험연구를 시행한 논문이다. **연구방법:** 국내소방 대상물을 조사확인 하였고, 국내 및 해외논문 및 정책, 법규를 문헌고찰 하였으며, 400m<sup>2</sup> 미만의 거실에서 공기 유입구와 배출구간의 직선거리 5m 이하와 5m이상인 공간을 선정하여 모형실험 을 통해 분석하였다. **연구결과:** 국내 소방법규(NFPC-화재안전성능기준)를 고찰 하였을 때 바닥면적 400m<sup>2</sup> 미만일 경우 공기유입구와

Received | 31 May, 2023

Revised | 27 June, 2023

Accepted | 27 June, 2023

 OPEN ACCESS

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) which permits unrestricted noncommercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

© Society of Disaster Information All rights reserved.

배출구 간의 5m 이상으로 이격 거리가 규정되어있지만 실제 조사해 본 결과 이격 거리를 지키지 못하는 소방대상물이 있는 것으로 확인되었다. 또한 5m 이상의 직선거리에 대한 해외 소방법규에 대한 논문 고찰을 해봤을 때 공기유입구와 배출구간의 직선거리에 대한 규정이 없는 것으로 나타났지만, 모형실험 한 결과 공기유입 구와 배출구간의 직선거리가 5m이상 일 때가 5m미만 일 때보다 배출속도가 우수한 것으로 나타났다. 결론: 본 연구에서는 공기유입구와 배출구간의 직선거리에 대한 제연설비 성능비교로 해외 소방법규 를 조사하였을 때 직선거리에 대한 강제규정이 없지만 국내 소방법규(NFPC\_화재안전성능 기준)에서는 5m이상을 해야 한다는 법규를 뒷받침하는 근거를 마련하는 논문이다. 앞으로 설계 단계에서 이를 반영하여 소방 감리의 책임과 부담을 줄여줄 수 있는 토대가 마련되길 바란다.

**핵심용어:** 소방법규, 화재안전성능기준, 공기유입방식, 직선거리, 제연 설비, 모형실험연구

## 서론

소방대상물에 화재가 발생하면 열은 방화구획에 의해 해당구역에 갇히게 되지만 연기는 미세한 틈으로도 빠져나가 먼 곳, 높은 곳까지 도달하여 많은 영향을 끼친다. 화재 시 발생한 연기는 소량의 흡입만으로도 그 자체 독성으로 피해를 주기도 하지만 시야를 방해하여 피난 및 구조, 소방공무원들의 소방 활동에 큰 장애를 준다. 대규모 화재 경험 및 연구 결과를 보더라도 화재 시 발생한 열 보다 연기에 의한 피해가 더 크다고 나온다. 1971년 12월 25일 서울 중구에서 발생한 대연각 호텔 화재를 보게 되면 사망자가 166명에 이르는 큰 인명피해를 준 화재이다. 1층 커피숍의 프로판가스 폭발이 화재원인이지만 사망자는 1층 뿐만 아니라 고층에서도 발생 하였다. 9년 후, 미국 MGM GRAND HOTEL(1980.11.20. Las Vegas) 화재 현장도 사망자 85명 중 고층부에서 사망자의 70%가 나왔으며 이 화재현장 또한 1층 주출입구의 전기적 화재가 발생 원인이다. 그 외에 2009년 서울 강남 파이낸스 화재현장 같은 경우도 지하 중식당에서 화재가 발생하였지만 최상층 42층까지 순식간에 연기가 퍼졌다(Kim, 2018). 이렇게 현대의 소방시설 및 소방 활동에서 갖는 제연설비의 의미는 크다고 볼 수 있다. 제연설비는 기계적인 방법으로 연기확산을 제한하기 위한 것이며(Joo, 2018), 제연시스템 성능 확인을 위해 국내에서는 열 방출 실험 및 모의 화재 실험 등 간접적으로 실시되어, 제연 기술은 다른 기술에 비해 정립된 데이터가 많지 않다(Park, 2011). 제연시스템은 소방시스템 중 피난의 보조시스템으로 화재에 의해 발생한 연기가 피난을 방해하는 일이 없도록 일장구획 내에 가두어 연기를 제어하거나 피난 경로로 이동을 막아 피난의 안정성을 확보하는 것이다. 공기의 흐름을 조절하여 화재를 원하는 방향으로 이끌어 인명과 재산을 보호하기에 이를 제어하기 위한 최소한의 규정이 정해져 있다. NFSPC를 보게 되면 거실제연설비와 차압을 이용한 특별피난계단의 계단실 및 부속실 제연설비로 나뉘어 있다. 여기서 부속실급기성능 측정(TAB)은 15년 전에 시작 하였지만, 거실제연은 아직 측정조차 이루어지지 않고 있다. 부속실 급기가압은 TAB를 통해 성능개선뿐만 아니라 많은 자료를 정립하였지만, 거실제연설비는 이제 시작을 하는 단계인 것 같다. 소방자체점검을 하다 바닥면적 이 적은 경우 공기 유입구와 배출구간의 직선거리를 측정 하게 되는데 이 경우 규정 5m 미만인 대상물들이 있다. 제연설비는 다른 설비와 달리 건축물 준공이후에는 변경이 어려운데 건축에서 설계 단계부터 소방 법적 조항을 반영해주지 않으니, 이미 골조가 올라가공정이 어느 정도 진행된 상태에서 소방 감리가 현장을 오게 되니 바꿀 수가 없다. 그러니 감리 입장에서는 법적조항을 알지만 어찌할 방도가 없으니 책임과 부담을 가지면서도 유아무야 넘어가는 경우가 발생한다.

따라서, 바닥면적 400m<sup>2</sup> 미만의 거실인 예상제연구역에 대해서 공기유입구와 배출구간의 직선거리가 5m 이상 이어야 하는 이유를 알아 보기 위하여 현장보다 작은 모형을 제작하여 실험을 하게 되었고, 이를 토대로 한 실험 논문이다(National Fire Safety Standards, 2012; Fire Safety Standards Commentary, 2013).

## 실제 사례 조사 현황

아래의 Fig. 1 같이 소방 법규에 위배되는 소방대상물 현장 방문하여 급-배기구 덕트 사이의 이격 거리 조사 및 분석 하였다. 서울 강남구에 위치한 업무시설로서 공기유입구와 배출구간의 직선거리는 2.89m이며, 서대문구 남가좌동에 위치한 영어학원은 직선거리가 3.40m이다. 이 외에 경기도 동두천의 슈퍼에서 직선거리 2.05m 등 공기유입구와 배출구간의 직선거리가 5.0m 안 되는 소방대상물들이 있다. 건축에서 지어진 상태에서 감리가 공정을 들어가기 때문에 법규에 어긋나지만 손을 쓸수 없는 상황이다. 그래서, 감리의 책임이나 부담을 들어주기 위해 건축 설계단계에서 꼭 법규를 반영하여 충분한 직선 거리를 확보하여야 한다.



① A firefighting object at a business facility located in Gangnam-gu, Seoul. As a result of measuring the distance between the lower supply air ~ the upper exhaust duct, 2.89m

② An English school located in Namgase-dong, Seodaemun, Seoul. As a result of measuring the distance between the lower supply air ~ the upper exhaust duct, 3.40m.

Fig. 1. A domestic field case where the separation distance between the air inlet and the discharge section is less than 5m in a small living room among firefighting objects

## 문헌고찰

법제처 국가법령정보, NFPA.org, RISS, Naver 학술검색, Google 학술검색, 가천대 도서관, 국회도서관 등을 이용하여 국내 및 국외 제연설비에 관한 소방법령정보를 문헌검색을 하였다.

### 국내 거실 제연설비 기준

제연설비의 화재안전성능기준(NFPC 501) 소방방재청 고시 제 2022-57호에 의거 하여 거실 제연설비의 NFPC 501은 제연설비에 대한 화재안전성능기준으로, 제연설비에 관련한 기술적인 사항과 제연기기의 설치 기준 등에 대한 세부사항을 다루고 있다. 또한 화재안전성능기준(NFPC 501)의 제6조(배출량 및 배출방식)에서는 거실의 바닥면적에 따라 제연의 배출량과 배출방식을 구분하여 적용토록 규정하고 있다(National Fire Safety Standards, 2012; Fire Safety Standards Commentary, 2013).

#### 제연설비(NFPC 501)의 연기배출량 적용기준\_소규모 거실의 경우(바닥면적 400m<sup>2</sup> 미만)

건축물에 적용하는 화재안전성능기준(NFPC 501)의 제6조(배출량 및 배출방식)의 제연배출량 중 소규모 거실은 400m<sup>2</sup> 미만으로 구획된 거실이 방화구획이 아닌 칸막이나 벽 등으로 구획된 경우를 말한다. 400m<sup>2</sup> 미만으로 구획된 예상 제연구역

의 배출량은 바닥면적 1제곱미터에 분당 1세제곱미터 이상으로 하되, 예상 제연구역 전체에 대한 최저 배출량은 시간당 5,000세제곱미터 이상으로 하고, 바닥 적이 50제곱미터 미만인 예상제연구역을 통로배출방식으로 하는 경우에는 통로 보행중심선의 길이 및 수직거리에 따라 아래 Table 1과 같다.

**Table. 1** Emissions in small living rooms of less than 400m<sup>2</sup>

Passage length	Vertical distance	Emissions	explanatory note
40m or less	2m or less	25,000 m <sup>3</sup> /hr	Including cases that are walled off
	More than 2m and less than 2.5m	30,000 m <sup>3</sup> /hr	
	More than 2.5m and less than 3.0m	35,000 m <sup>3</sup> /hr	
	More than 3m	45,000 m <sup>3</sup> /hr	
More than 40m 60m or less	2m or less	30,000 m <sup>3</sup> /hr	Including cases that are walled off
	More than 2m and less than 2.5m	35,000 m <sup>3</sup> /hr	
	More than 2.5m and less than 3.0m	40,000 m <sup>3</sup> /hr	
	More than 3m	50,000 m <sup>3</sup> /hr	

**제연설비(NFPC 501)의 공기 유입구 적용기준\_소규모 거실의 경우(바닥면적 400m<sup>2</sup> 미만)**

예상제연구역에 대한 공기유입은 유입풍도를 경유한 강제유입 또는 자연유입방식으로 하거나 인접한 제연구역 또는 통로에 유입되는 공기(가압의 결과를 일으키는 경우를 포함한다. 이하 같다) 가 당해구역으로 유입되는 방식으로 할 수 있다 (National Fire Safety Standards, 2012). 바닥면적 400m<sup>2</sup>미만의 거실인 예상 제연 구역(제연경계에 따른 구획을 제외한다. 다만, 거실과 통로와의 구획은 그러하지 아니하다)에 대하여서는 바닥외의 장소에 설치하고 공기유입구와 배출구간의 직선거리는 5m 이상으로 해야 한다.

**국외 거실 제연설비 기준**

국외 거실 제연설비 기준 조사는 국내 소방법 중 제연시스템의 모태인 BS(British Standard), 미국의 NFPA code 부터 일본 건설성 고시, 영국 BS 5588(Fire precautions in the design, construction and use of buildings), 호주 The Building Code of Australia, 캐나다 NBC(National Building code of Canada)를 통해 소방법규를 조사 분석하였다.

**미국**

미국의 경우 NFPA와 IBC를 이용하여 연기제어 기준을 따르고 있다(Yoon, 2007; Goo, 2017). NFPA에서 규정 하고 있는 제연설비 규정을 살펴보면 다음과 같다. NFPA 92-A Recommended Practice for Smoke-Control Systems (제연시스템에 대한 권장사항), NFPA 92-B Standard for Smoke Management System in Malls, Atria, and Large Space(몰, 아트리움, 대공간에 대한 제연시스템 표준), NFPA 204 Standard for Smoke and Heat Venting 등 세분하게 나뉘어져 있다. NFPA92 Standard for Smoke Control Systems(제연시스템표준)으로 2011년 기존의 NFPA 92A와 92B를 통합하여 기준을 표준화 하였다(Kim, 2018). Intetnational Code council의 IBC(International Building Code) section 909와 NFPA101 (Life Safe Code-생명안전코드), NFPA 5000(Building Counstruction and Safety Code-건축물구조 및 안전코드)에서 규정하지만, 공

기유입구와 배출구간의 직선거리에 대한 규정은 소개되어 있지 않다(Kim, 2010).

### 일본

일본의 건설성 고시 제1437호(통상적인 화재 시에 발생하는 연기를 효과적으로 배출할 수 있는 구조의 배연설비 규정) 건축기준법 시행령 제 126조의 3 제2항의 규정에 근거해 통상의 화재 시에 발생하는 연기를 유효하게 배출할 수 있는 특수한 구조의 배연설비의 구조방법을 정하고 있다. 각 실에서 급기 및 배연을 실시하는 배연 설비의 구조방법에 있어서 다음에 정하는 것을 한다. 급기구는 해당실의 벽 하부에 설치하며 풍도에 직결하는 구조로 하며, 실내는 불연재마감, 틈은 몰탈로 메워야 한다. 배연구의 개방에 따라 자동적으로 송풍기는 작동되며, 용량은 1분간 바닥면적 1평방미터당 1입방미터 이상 또는 개구면적의 합계에 550을 곱한 수치 이하를 공기에 배출하여야 한다. 배기구는 구역의 각 부분으로부터 하나에 이르는 수평거리는 30m이하가 되어야 하며, 천장 또는 벽의 상부에 설치되어야 한다. 직접 외기에 접하며 개구면적이 해당 실 바닥면적의 수치를 550으로 나눈 값 이상 또는 당실의 바닥면적 수치를 60으로 나눈 값 이하 여야 한다. 복수의 실을 통합한 급기 및 각 실마다 배연 실시하는 배연설비의 구조방법은 다음과 같다. 위의 각 실에서 급,배연을 하는 구조방법과 동일하나 마지막 개구면적이 해당 실 바닥면적의 500을 곱한 수치 이하로 공기를 배출하여야 한다. 배출구 또한 각 실에서 제연설비를 하는 구조와 동일하나 연기감지기와 연동하는 개방장치 또는 원격 조작 방식에 의한 개방장치에 의해 개방 방출된 경우를 제외하고 폐쇄하라는 문구만 추가 되어 있다.

건설성고시 제 1829호 (화재 시에 발생하는 연기를 효과적으로 배출할 수 있는 배출설비의 구조방법), 건설성고시 제 1436호(화재가 발생한 경우에 피난에 지장 있는 높이까지 연기 또는 가스의 하강이 발생하지 아니하는 건축물의 부분 규정)에도 공기유입구와 배출구간의 이격 거리에 관한 규정은 정해져 있지 않다(Japanese Ministry of Construction Notice). 일본의 경우 건축기본법과 소방법 체계에 의해 연기제어 시설에 대하여 규정하고 있다. 제연기준은 소방용 설비의 기술기준에 따라 규정하고 있으며, 연기제어 시설에 대한 설치기준은 강제 규정 없이 적용하고 있다(Jin, 2017).

### 영국

영국은 1666년 런던대화재 이후 세계 최초로 화재보험 제도와 제연시스템을 최초로 도입한 국가로 BS 5588(Fire precautions in the design, construction and use of buildings)에 규정하고 있다. Part4 Code of practice for smoke control using pressure differentials (차압을 이용하는 제연 실무규정) 및 Part9 Code of practice for ventilation and air conditioning ductwork(환기 및 공조 덕트 실무규정)에 규정이 나와 있지만 공기유입구와 배출구간의 이격 거리에 관한 제연설비기준에서 비치는 5m 이상 이격하라는 내용은 없다. 이후, BS 체계가 유럽표준(EN)으로 통합되어 BS5588은 2005년에 BS/EN 12101 Part6으로 바뀌었다. 한국의 경우 환기장치나 자연배연의 구조의 경우 건축법 및 건축법 시행령에 따라 설치하는 규정이 있지만, 영국의 경우 Approved Document B와 BS EN 8313:1997의 지침에 따라 환기장치나 샤프트를 건물에 외부공기에 대한 환기구 설치기준으로 마련하고 있다. 이외에 자연배연 및 제연설비에 있어 기준 및 상황에 따라 설치하는 방식이나 장소를 나눠 설치하는 기준 또한 BS/EN 12101 Part1~5에서 지침으로 나와 있다(Kim, 2017).

### 호주

건축규정의 화재안전 분야에 대한 요구사항을 ‘The Building Code of Australia’을 통해 제시하고 있다. 호주 빌딩코드는



요구성능을 만족하는 방법으로 시방위주(Deemed-to-Satisfy Provisions)와 성능위주 (Alternative Solution) 두 가지 방안을 병행적으로 제시한다. BS7974와 유사하게 화재 발생과 발달, 연기발달과 확산, 화염확산과 영향, 화재 감지와 경보 및 진화 피난 등 세부내용이 기술되어 있다. 특히, BS7974-3 Structural responses and fire spread beyond the enclosure of origin에 소개되며, 차압은 AS 1668.3-2001에 규정되어 있다(Lee, 2017).

## 캐나다

NBC(National Building code of Canada)의 NBC-B-3.2.6. Additional requirements for High buildings에서 NBC-B-3.2.6.2. Limits to smoke movement와 NBC-B-3.2.6.6. Venting to aid Firefighting에 연기제어 관련기준이 나오며, 건축물의 높이, 사용목적 및 수용인원별에 따른 기준등이 기재되어 있다. 또한 설비기준은 오염된 공기량 제한, 비상구로 이용 가능한 공간소유, 연기유동제한, 이용의 용이함을 위한 표시등이 세분화 된다(Park, 2017).

## 제작큐브에 의한 400m<sup>2</sup>미만의 제연설비 연동실험

바닥면적 400m<sup>2</sup> 미만의 거실인 예상 제연구역에 대해서 공기유입구와 배출구간의 직선거리가 5m 이상이 되어야 하는 이유를 설명하기 위한 실험으로 아크릴큐브를 제작하여 일정량의 연무를 포집하여 배출되는 속도를 확인하는 실험을 하였다.

### 실험 제원 및 방법

제작큐브는 Fig. 2를 보는 것처럼 투명 아크릴 박스 두께 2T, 가로 600mm 세로 200mm 높이 600mm로 을지로 아크릴 제작업체에서 만들었다. 제작한 아크릴 박스는 실험 대상공간의 크기(가로 4.8m, 세로 5.4m, 높이 2.5m)의 1/288의 크기로 설계되어 실험을 진행하였다. 연무액은 Ganjia Clean G-500을 이용하였으며 연무액은 Ganjia Clean Phytocide Smog Liquid를 1회 실험 당 10ml씩 사용하였으며 이 용량의 기준은 자체 큐브가 가득 찬 용량을 반복적으로 측정하여 얻어낸 수치이다. 실험자는 본 실험기간 동안 동일 인원(논문 저자 외 3명) 및 동일인(LSG, JHH, LJH, LRH)으로 진행되었으며 다른 제원으로 는 스태프 위치, 줄자, 급배기 확인용품(예: 먼지털이)를 이용하였다. 실험장소로는 분당 A타워이며 도면에 급배기 이격 거리를 측정하여 아래 그림 Fig. 3에 제시하였다. 실험 조건으로는 공기 유입구 순간 풍속 5m/s 이하, 벽체 설치형 공기유입구의 구조는 하향 60도 이내, 공기유입량은 배출량과 동일 풍량 적용하여 45,000 CMH로 세팅하였다. 실의 바닥면적이 50m<sup>2</sup> 미만이고 칸막이로 되어 수직거리는 0m이기에 25,000CMH 이상이던지, 실험당시 대상물은 45,000CMH로 준공이 났으며 실험조건과 환용량도 기준에 벗어나지 않아 45,000CMH로 실험하였다. 실험방법은 자체 제작한 아크릴박스에 연무기를 이용하여 일정량의 연기를 포집하여 화재동작시뮬을 하여 댐퍼와 팬(fan)을 기동하여 발생한 연기가 완전히 배출되기까지의 소요시간을 초시계(스탑워치)를 이용하여 가장 효율적인 거리 측정하였다. 아크릴박스를 이용한 제연 시험 과정은 아래 사진으로 Fig. 4로 설명을 첨부하였다. 본 실험은 분당 A타워에서 이루어진 실험으로 복도 폭에 따라 복도1(폭2.3m)과 복도 2(폭1.3m)로 나누어 두 차례의 비교실험을 진행하였다. 급배기간 직선거리를 복도를 세분화하였고, 복도 1-1은 급기구~ 배기구 간 수직거리 6.05m, 복도 1-2는 급기구~ 배기구 간 수직거리 4.67m이다. 복도 2-1은 급기구~ 배기구 간 수직거리 3.15m, 복도 2-2는 급기구~ 배기구 간 수직거리 8.0m로 구별하여 실험을 진행하였다.

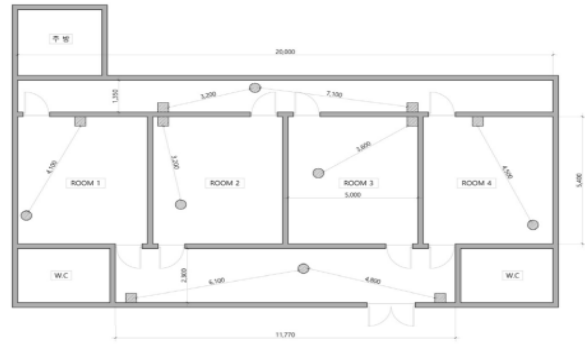
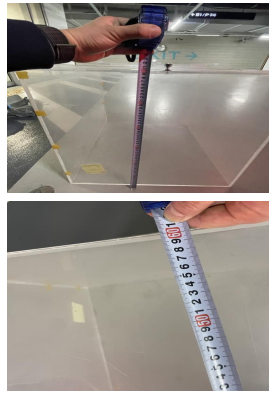
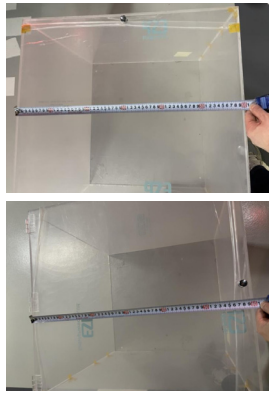


Fig. 2. Acrylic cube actual production photo (measured in width and height)

Fig. 3. Architectural floor plan of the Experiment place



① Measuring the supply-exhaust separation distance



② Preparation before the start of the experiment (stopwatch-preparation)



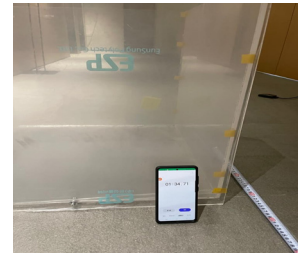
③ Check whether the blower is working



④ Check whether the exhaust fan fan is working



⑤ Intermediate process of the experiment



⑥ End of experiment (stopwatch-end)

Fig. 4. Interlocking test process for smoke control facilities of less than 400m<sup>2</sup> by production cube

## 실험 결과 및 분석

아크릴큐브를 자체 제작하여 일정량의 연무를 포집하여, 감지기 또는 제연설비 수동 조작함을 동작시켜 급, 배기 댐퍼를 동작시키고 개방 확인 후 FAN을 동작시켰다. 배출되는 시간(sec)과 속도(m/s)를 Fig. 5로 확인하였을 때 복도 폭이 2.3m일 때 직선거리 4.67m는 94(s), 0.05(m/s)이고, 직선거리 6.05m는 83(s), 0.073(m/s)이다. Fig. 6으로 확인하였을 때 복도 폭이 1.3 5m일 때 직선거리 3.15m는 85(s), 0.037(m/s)이고, 직선거리 6.8 0m는 74(s), 0.11(m/s)이다. Fig. 7을 보면 직선거리 3.02m는 162(s), 0.019(m/s)이고, 직선거리 3.65m는 141(s), 0.026(m/s), 직선거리 4.17m는 110(s), 0.04(m/s), 직선거리 4.56m는 90(s), 0.051(m/s)로 직선거리가 5.0m에 근접할 때 시간도 단축되고 속도도 빠르게 나온다.

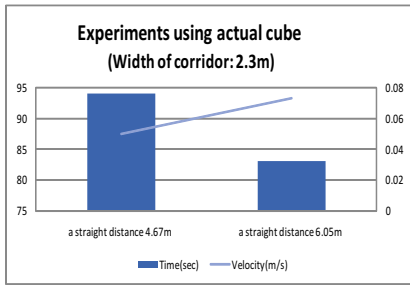


Fig. 5. Measure the exhaust time in corridors 1-1 and 1-2

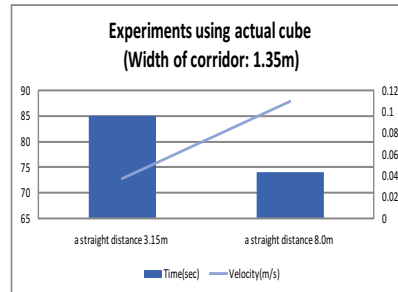


Fig. 6. Measure the exhaust time in corridors 2-1 and 2-2

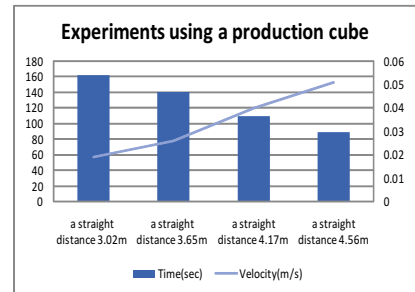


Fig. 7. Exhaust time measurement in 4 living rooms



Fig.8. Photograph of the vortex occurrence site during the experiment

직선거리가 가까울수록 Fig. 8에서 보여주는 것처럼 와류현상이 발생하여 배출시간이 길어지고 배출속도 또한 느려지는 것으로 보인다.

### 실제 거실에서의 제연설비 연동시험

바닥면적 400m<sup>2</sup> 미만의 거실인 예상 제연구역에 대해서 공기유입구와 배출구간의 직선거리가 5m 이상이 되어야 하는 이유를 설명하기 위한 실험으로 실제 거실에서 일정량의 연무를 포집하여 배출되는 속도를 확인하는 실험을 하였다.

#### 실험 제원 및 방법

실험에 사용한 연무액은 Ganjia Clean G-500을 이용하였으며 연무액은 Ganjia Clean Phytocide Smog Liquid를 1회 실험 당 10ml씩 사용하였으며 이 용량의 기준은 앞 실험에서 진행한 동일 양을 사용 하기위해서 설정한 용량이다. 실험자 또한 동일 인원(논문 저자 외 3명) 및 동일인(LSG, JHH, LJH, LRH)으로 진행되었으며 다른 제원으로는 스탭 위치, 출자, 급배기 확인용품(예: 먼지털이)를 동일하게 이용하였다. 실험장소로는 분당 A타워이며 도면에 급-배기 이격 거리를 측정하여 그림 Fig. 9에 제시해두었다. 실험 조건으로는 위 실험과 동일한 공기 유입구 순간 풍속 5m/s 이하, 벽체 설치형 공기유입구의 구조는 하향 60도 이내, 공기유입량은 배출량과 동일 풍량 적용하여 45,000 CMH로 세팅하였다. 동일 풍량 적용 이유는 상동하다. 분당 A타워(2-2실험 진행한 동일실 제연구역)에 연무기를 이용하여 일정량의 연기를 포집하여 댐퍼와 팬(fan)을 가동하여 발생한 연기가 완전히 배출되기까지의 소요시간을 초시계(스톱워치)를 이용하여 가장 효율적인 거리 측정하였다. 제연 시험 과정은 아래 사진으로 설명을 첨부하였다. 본 실험은 분당 A타워에서 이루어진 실험으로 면적이 동일면적(27.0m<sup>2</sup>)에



서 이격 거리에 따른 배기시간을 비교하였다. 급배기간 직선거리 3.0m, 3.6m, 4.1m, 4.5m, 6.05m로 구간 설정하여 실험을 5차례 진행하였다. 실제 급배기간 직선거리에 따른 배기시간을 비교하여 400m<sup>2</sup> 미만 거실에서의 제연거리를 구현해보았다.



Fig. 9. Test process for interlocking smoke control system in living room of the same area

### 실험 결과 및 분석

분당 A타워(제작 아크릴큐브로 실험 진행한 동일실 제연구역)의 구획된 각 실에 연무기를 이용하여 배출되는 속도를 확인해보면, Fig. 10의 그래프에서 보여지는 것처럼 직선거리 3.02m는 274(s), 0.011(m/s)이고, 직선거리 3.65m는 252(s), 0.014(m/s), 직선거리 4.17m는 229(s), 0.018(m/s), 직선거리 4.56m는 194(s), 0.024(m/s)로 직선거리가 5.0m에 근접할 때 시간도 단축되고 속도도 빠르게 나온다. 이 결과를 보았을 때 급배 기간 직선거리가 5m 이상이 되어야 한다는 법적 근거의 기반이 보여질 수 있는 실험으로 판단된다. 모형실험에서와 결과가 비슷하게 나왔는데, 직선거리가 가까울수록 Fig. 11에서 보여주는 것처럼 와류현상이 발생하여 결과 값이 나온 것으로 확인된다.

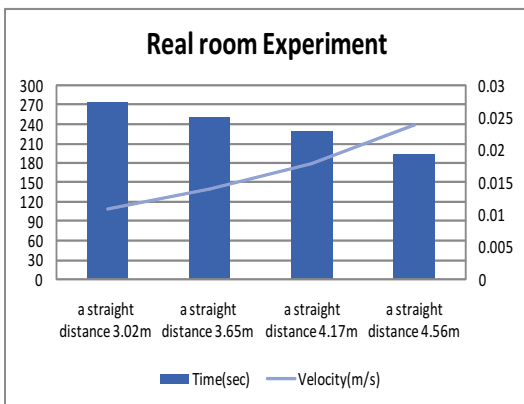


Fig. 10. Measure the exhaust time in real room



Fig. 11. Photograph of the vortex occurrence site during the experiment

## 결론

본 연구를 통해 바닥면적 400 m<sup>2</sup> 미만인 거실제연설비 대상일 경우 공기유입구와 배출구의 명확한 직선거리를 정립하였다.

1. NFPC 501의 제8조 2항 1호의 공기유입구와 배출구간의 직선거리는 5m 이상 또는 구획된 실의 장변의 2분의1 이상으로 하라고 명시되어 있지만 현장 점검 시 이를 지키지 못하는 소방대상물들을 볼 수 있다. 선제적인 이유는 설계단계에서 이미 건축적으로 5m라는 직선거리를 확보 할 수 없기에 감리 잘못이 아닌 설계 단계의 잘못이다.
2. NFPC 501의 제8조 2항 1호의 공기유입구와 배출구간의 직선거리는 5.0m 이상 일 때 와 5.0m 미만 일 때의 영향성을 알아보기 위하여 모형실험을 하였다. 직선거리 5m이 상일경우는 6.0m와 8.0m를 실험하였고, 5.0m미만 일 경우는 3.15m와 4.6m를 실험하였다. 점검을 하면서 바닥면적 400 m<sup>2</sup> 미만의 현장에서 평균적으로 접하는 직선 거리로 실험을 하였다.
3. 실험결과 시간 측정하여 데이터를 비교 분석한 결과 직선거리 5.0m 미만일 경우 직선거리 5.0m 이상 일 때보다 배출속도가 느렸다. 시간데이터를 보면 차이는 나지만 모형 모델로 실험을 하였기에 극명하게 나타나지는 않는다. 하지만, 속도로 바꾸면 거리가 2배 일 경우 속도가 2배 빨라진다. 속도 실험을 위하여 축소모형모델이 아닌 소방대상물의 공간에서 실험을 하였을 경우에는 거리가 2배 일 경우 속도는 2배 이상이다.
4. 공기유입구와 배출구간의 직선거리가 가까우면 배출속도가 빠를 것 같지만, 와류(Kong, 2016)현상으로 늦어졌다.
5. 400m<sup>2</sup> 미만일 경우 공기유입구와 배출구간의 직선거리 5m이상에 대하여 모형실험을 통해 배출속도를 분석한 결과 반드시 직선거리 5m이상 또는 구획된 실의 장변의 2분의 1 이상이라는 규정을 지켜야 한다. 이는 건축설계부터 반영되어야 하며 그래야 소방감리책임과 부담을 줄여줄 수 있다.

미국 NFPA에서 규정하는 제연설비를 시간별로 정리해보면 1988년 NFPA 92A-Smoke control, 1991년 NFPA92B-Smoke management가 추가로 개정되었다. 그리고 2011년에 기체를 이용한 연기 거동제어를 구체화한 NFPA 92로 통합되었다(Lee, 2013). 그러나, 우리나라는 1984년에 정한 내용이 40년이 지난 지금도 변경 없이 유지되고 있다. 1982년 9월 15일 시행된 소방시설의 설치·유지 및 위험물 제조소등 시설의 기준 등에 관한 규칙 법규에서는 없었지만, 1984년 8월 16일 개정된 법규에 신설되었다. 그 내용은 제 118조 공기유입방식 및 유입구의 2항 1호에 다음과 같이 명시되어있다. 공기유입구의 기준은 바닥면적 400m<sup>2</sup> 미만의 거실인 예상 제연구역에 대해서는 바닥외의 장소에 설치하고 공기유입구와 배출구간의 직선거리는 5m이상으로 할 것이라고 기재 되어있다(Ministry of Government Legislation, 1984). 대공간 및 atrium 등의 화재로 인한 연기 차단은 어려워 청결층 확보를 배출량을 산정하고 공기유입량은 배출량 이상으로 하라고 규정되어 있다(Kim, 2017). 높은 층고의 공장, 체육관, 공연장, 창고 혹은 atrium 등의 경우 연기의 깊이가 충분하여 플러그홀링(Plugholing)(Kim, 2018)같은 문제가 생기지 않지만, 일반 근린생활시설이나 업무시설 같은 경우 층고가 충분히 확보되지 않은 상황에서 기계배연을 하는 경우 빠른 연기의 유속으로 인해 청결층이 유지되지 못하고 깨져버린다. 배출구가 크거나 배출속도가 빠르면 주변 연기가 배출구 아래로 오지 못하고 연기층 아래 청결층의 공기가 딸려 배출되는 것을 플러그홀링이라 한다. 공기유입구와 배출구 간의 직선거리가 가까우면 위 현상이 발생하여 제연설비의 목적을 달성하기 어렵다. 연기로부터 인명의 보호를 위해 설치된(Jang, 2020) 제연설비는 일정시간 동안 화재발생으로 생긴 연기층의 하부면을 정해진 높이 이상

으로 유지하는 것이다(Kwark, 2006).

1984년 이전에 지어진 건축물에서도 공기유입구와 배출구 간의 직선 거리가 충분하지 않은 경우를 볼 수 있지만, 최근에 준공 되어 사용되는 건축물 도 직선거리 5m가 되지 않아 충분한 제연성능을 내지 못하는 대상물을 이번 실험논문을 통해 확인하였다. 하지만 제연설비는 건물 속에 매립되어 있어 수정이 어렵기 때문에 초기 건축 설계과정에서 국내 법규에 맞는 설계가 이루어져야한다. 그리하여 소방감리의 책임과 부담을 들어주어야 한다. 이번 논문을 통해서 실험을 하여 나온 결과를 보면 동일면적에서 직선거리를 상이하게 하여 배출성능을 알아보았는데, “플러그홀(Plughole)”을 발생(Kenneth et al., 2006)하는 가까운 거리보다 5m이상일 때 충분한 제연 성능을 나타낼 수 있는 것으로 실험을 통해 결론을 낼 수 있었다. 이 논문을 통해 해외 각국에도 규정보다 성능이 우수되어 지지만 충분한 제연성능을 내기 위하여 공기유입구와 배출구간의 수직 거리 5m이상 또는 구획된 실의 장변의 2분의 1이상은 지켜져야 하며 국내에서도 이 법률을 따라 소방시설이 완비 되어져야 한다고 판단된다. 현장조사 및 해외 법률조사 및 실험결과를 통해 공기유입구와 배출구간의 수직거리가 5m 이상이 되어야 한다는 법적 근거의 기반으로 보여질 수 있는 논문으로 판단된다.

## References

- [1] Fire Safety Standards Commentary (2013). Fire Protection Division, Fire Policy Bureau, National Emergency Management Agency. Korea Sejong Special Self-Governing City, pp. 68-70.
- [2] Goo, T.-Y. (2017). “Comparison of Acts related to smoke control in Korea and the United States.” Korean Institute of Fire Science & Engineering, 2017 Spring Academic Thesis Presentation, pp. 227-228.
- [3] Jang, U.-B. (2020). “A study on the performance improvement of smoke control with smart dampers.” The Korean Society of Disaster Informantion, Academic Presentation Conference, Sharing Technology for Future Disaster Reponse for Safe Communities, pp.238-240.
- [4] Jin, S.-H. (2017). “A study on the analysis of laws related to smoke control in Japan.” Korean Institute of Fire Science & Engineering, 2017 Spring Academic Thesis Presentation, pp. 229-230.
- [5] Joo, S.-Y. (2018), “A study of analysis performance safety elements of smoke control systems - About performance vent damper-.” Society of Air-conditioning and Refrigerating Engineers of Korea 2018 Summer Academic Conference Proceedings Collection, pp. 342-345.
- [6] Jung, E.-J. (2012). National Fire Safety Standards. Yemoonsa, Paju, pp. 256-258.
- [7] Kenneth, M., Eloviz, P.E. (2006). “Commissioning smoke control systems.” Korean Fire Preoction Association, Vol. 9, pp. 14-18.
- [8] Kim, H.-W. (2017). “A comparative study on Acts related to smoke control in Korea and the United Kingdom.” Korean Institute of Fire Science & Engineering, 2017 Spring Academic Thesis Presentation, pp. 81-82.
- [9] Kim, J.-S. (2010) “Comparison of domestic standards for smoke control facilities and UK and US standards.” Korea Fire Engineers Society, pp. 1-24.
- [10] Kim, J.-S. (2018). Smoke Control Odyssey. Korea Fire Engineers Association, pp. 3-4, 85, 147-149.
- [11] Kim, M.-S. (2017). “A Study on Improvement of Livingroom Smoke-control system using the FDS.” The Journal of Fire Science and Engineering, Vol. 31, No. 4, pp. 26-34.
- [12] Kong, I.-C. (2016). “A study on the operation improvemnt of door fan test.” The Korean Society of Disaster Informantion Academic Presentation Conference, Korean Peninsula Erarhquake-Preparedness and Response, pp. 295-297.

- [13] Kwark, J.-H. (2006). "Standardization of the performance test procedure for smoke control system." *The Journal of Fire Science and Engineering*, Vol. 20, No. 3, pp. 21-28.
- [14] Lee, D.-M. (2013). *Smoke Engineering*, DongHwa Technology, Paju, pp. 64-70.
- [15] Lee, G.-M. (2017). "A study on legal analysis related to smoke control in Australia." *Korean Institute of Fire Science & Engineering*, 2017 Spring Academic Thesis Presentation, pp. 231-232.
- [16] Ministry of Government Legislation (1984). National Law Information Center, Regulations on standards for facilities such as installation and maintenance of firefighting facilities and hazardous materials manufacturing plants [Enforced on August 16, 1984]
- [17] Park, K.-J. (2011). "Smoke control according to the ventilation capacity in subway tunnel fire: I. FDS simulation." *Journal of the Korean Institute of Gas*, Vol. 15, No. 3, pp. 31-38.
- [18] Park, S.-K. (2017). "A Comparative study on acts related to smoke control in Korea and Canada." *Korean Institute of Fire Science & Engineering*, 2017 Spring Academic Thesis Presentation, pp. 233-234.
- [19] World Legal Information Center, global legal information, customized legal information, Japanese smoke control facility installation standards, Japanese Ministry of Construction Notice.
- [20] Yoon, S.-W. (2007). "A study on domestic and international standards for smoke control in high-rise building stairwells", *Korean Society of Firefighting*, 2007 Spring Academic Thesis Presentation, pp. 62-66.