

# 공기조화설비 겸용 제연설비 덕트의 성능개선을 위한 연구

오택흠\* · 박찬석\*\*

신화FEC · \*\*서원대학교 소방행정학과

## A Study on Performance Improvements about Duct of Smoke Control System Combined with Air-Conditioning Equipment

Teakhum Oh\* · Chanseok Park\*\*

\*Shin Hwa FEC · \*\*Department of Fire Service Administration, Seowon University

### Abstract

To ensure the safety and functionality of a railroad bridge, maintaining the integrity of the bridge via continuous structural health monitoring is important. However, most structural integrity monitoring methods proposed to date are based on modal responses which require the extracting process and have limited availability. In this paper, the applicability of the existing damage identification method based on free-vibration responses to time-domain deflection shapes due to moving train load is investigated. Since the proposed method directly utilizes the time-domain responses of the structure due to the moving vehicles, the extracting process for modal responses can be avoided, and the applicability of structural health evaluation can be enhanced. The feasibility of the presented method is verified via a numerical example of a simple plate girder bridge.

**Keywords :** Time Domain Deflection Shape, Damage Evaluation, Railroad Bridge, Structural Integrity, Damage Index

## 1. 서론

건축물의 고층화, 대형화로 인한 구조 및 재료의 경량화, 슬림화가 가속화 되고, 쾌적한 실내공간에 대한 요구가 증가하면서 경량의 합성재료 및 천연재료 또는 유·무기 혼합제 등의 신소재를 이용한 다양한 복합재료가 사용되고 있다. 이러한 재료들은 미관이나 내구성 등 많은 장점을 지니고 있으나 다수가 가연성 재료를 포함한 것으로서 작은 불꽃이나 복사열에 의해 쉽게 착화하여 큰 화재를 일으킬 수 있다.

화재발생 시 인명에 위험을 미치는 요인으로는 열, 연기, 유해가스의 3가지로 분류되어 지며 특히 연기는 가시거리 약화로 대피를 불가능하게 한다. 그럼에도 불구하고 거실을 담당하고 있는 제연설비의 화재안전기준을 적용받는 거실제연설비는 건축물의 효율적 활용, 공사비용 절감 등의 이유로 대다수의 설비가 전용의 제연설비가 아닌 공조겸용 제연방식으로 적용되고 있으며, 부속실 제연의 규정과 달리 시험, 측정 및 조정의 기준이 없는 현실에서 작

동 유무의 판단에 그치고 있으며, 거실제연 관련 연구 성과도 찾아보기 힘들다. 결국 국민의 생명과 재산의 손실로 이어지는 대형화재의 가능성은 여전히 남아있다.

따라서 본 논문에서는 제연설비의 유입풍도 재질에 대한 국가화재안전기준(NFSC 501)과 미국 NFPA 90A의 기준에서 정하고 있는 내식성 및 내열성에 대한 성능을 분석하여 성능기준을 도출함으로써 국가화재안전기준 요소의 성능을 개선하기 위한 제도적 방안에 대하여 연구하고자 한다.

## 2. 본론

### 2.1 제연설비의 화재안전기준 요소의 성능분석

#### 2.1.1 풍도의 의미

배출풍도는 배출구에서 흡입된 연기를 배출기까지 유

†Corresponding Author : Chan-Seok Park, Fire Service Administration, Seowon University, 377-3, Musimseoro, Seowon-gu, Cheongju, Chungbuk, E-mail: ppcwh@snu.ac.kr

Received November 5, 2021; Revision December 10, 2021; Accepted December 10, 2021

도하는 유로로 천장 두나 벽 골조 내에 설치되고 있다. 배출풍도는 배출기 용량만큼 최대한 배출하기 때문에 높은 기밀성이 요구되며 일반적으로 배출풍도의 재질은 아연도금강판을 주로 사용하고 있다.

수직부분의 주(main) 풍도에 콘크리트 구조의 벽 골조를 사용하는 경우에도 내부에 아연도금강판의 풍도를 설치하고 있다. 배출풍도로 유입되는 연기는 상당히 고온이므로 인접한 곳에 가연물이 있으면 그 가연물이 타버리게 된다. 이것을 막기 위해 배출풍도는 가연물로부터 일정 간격을 두고 설치하거나 그 부분을 유리섬유 등의 불연성 단열재로 피복하여야 한다.

배출풍도가 방화구획을 관통하는 부분에는 방화 댐퍼가 설치되어 있다. 화재가 확대되어 배출구로 들어온 화염이 풍도를 통과하는 경우에는 화재실의 제연이 무의미할 뿐만 아니라 배출풍도를 연소경로로 해서 다른 방화구획으로 화재를 확대시키게 된다. 따라서 배출풍도 내의 연기 온도가 연소방지 상 위험하게 되었을 때 그 경우에 제연을 자동적으로 정지시킬 필요가 있다. 이 자동 정지장치로서 방화 댐퍼가 있다. 방화 댐퍼는 온도퓨즈가 용해됨에 따라 날개가 유로를 폐쇄하는 구조로 되어있다.

배출기를 운전하게 되면 상당히 큰 진폭의 진동이 발생하게 되며 이 진동이 배출풍도로 전달되면 여러 가지 장애가 발생한다. 이 진동이 배출풍도로 전달되지 않도록 배출풍도와 배출기를 내열성이 있는 플렉시블 조인트(flexible joint)로 풍도를 접속한다. 또한 배출기에 근접한 위치의 배출풍도를 구부러 설치하면 와류를 일으켜 배출기의 성능이 현저하게 떨어지므로 굽은 부분의 내부에 가이드 베인(guide vane)을 설치해서 이를 방지하고 있다.

### 2.1.2 풍도의 재질

제연설비는 화재를 진압하거나 인명구조 활동을 위하여 사용하는 설비로서 배출풍도는 아연도금강판 또는 이와 동등 이상의 내식성·내열성이 있는 것으로 하며, 석면을 제외한 내열성의 단열재로 유효한 단열처리를 하여야 한다. 또한 유입풍도의 경우는 찬 공기가 지나는 풍도로서 단열재에 대한 규정은 없으며 다만 유입풍도의 강판의 두께만 규정하고 있다.

제연설비의 화재안전기준은 풍도와 단열재를 구분하여 기준을 정하고 있다. 풍도의 재질은 아연도금강판 또는 이와 동등 이상의 성능을 정하고 있고(강판의 종류: 용융아연도금강판, 아연합금화 도금강판, 전기 아연도금강판) 풍도의 크기에 따라 강판의 두께를 정하고 있다.

(1) 아연도금 강판의 종류

(가) 용융아연도금강판

흔히 함석이라고 알려진 용융아연도금강판(galvanized steel sheet, zinc coated steel sheet)은 냉간압연강판을 연속용융 도금라인에서 열처리하여 소장의 재질을 확보한 후 용융 도금한 제품이다. 일반적으로 가장 많이 사용되며 특징은 높은 내식성, 뛰어난 가공성 및 미려한 표면 등이 있다

(나) 아연합금화 도금강판

용융아연도금강판이 냉연강판과 대비하여 부족한 용접성을 개선하고 간단한 전처리 설비로 좋은 도장성을 갖도록 하기 위해 개발된 제품으로 도금 후에 특수한 열처리를 거쳐 생산된 아연도금 강판이다.

(다) 전기 아연도금강판

아연도금강판의 일종인 전기아연도금강판(electrolytic galvanized iron)은 전해법에 의해 냉연강판 또는 열연강판 표면에 아연피복을 입혀 내식성을 높은 제품으로서 일반적으로 용융아연도금강판보다 도금 부착량이 적고 균일하며 평활하기 때문에 도장 마무리성, 도장 후 내식성이 뛰어나다.

도금처리가 상온에 가깝고 원판의 재질특성을 유지할 수 있기 때문에 재질선택의 폭이 넓고 가공성이 뛰어난 특징을 가지고 있다. 가전제품, 자동차, 건축자재 등에 사용된다.

### 2.1.3 화재안전기준 요소의 성능분석

(1) 내식성

금속에 대한 내식성 시험은 일반적으로 염수분무시험을 행하며 이에 대한 기준은 KS D 9502(염수분무시험방법)로 규정되어 있다. 이 규격은 국제규격인 ISO 9227을 반영하여 제정한 중성 염수분무시험, 아세트산 염수분무시험, 캐스(CASS)시험이 있다.

중성 염수분무시험은 금속 및 합금, 특정된 금속코팅, 특정의 화성처리 코팅, 특정의 양극 산화코팅, 금속재료 위에 적용된 유기코팅에 적용된다.

아세트산 염수분무시험은 장식용 코팅인 “구리+니켈+크롬” 또는 “니켈+크롬”을 시험할 때 특히 유용하다. 또는 알루미늄 위에 양극 산화코팅을 시험할 때도 사용된다.

캐스(CASS)시험은 “구리+니켈+크롬” 또는 “니켈+크롬”의 장식용 코팅을 정전시험 할 때 특히 유용하다. 또는 알루미늄 위에 양극 산화코팅을 시험할 때도 사용한다.

보온재 일체형 덕트 패널의 경우 열경화성 합성수지로써 내식성 측면에서 월등히 우수한 것으로 보이나 내식성

에 있어서 아연도금강판과 직접 비교는 할 수 없다.

(2) 내열성

풍도는 내열성의 단열재로 유효하게 처리하여야 하는 바 특별피난계단의 계단실 및 부속실의 제연설비의 화재 안전기준에서 정하는 바와 같이 250℃의 온도에서 1시간 이상 견디는 성능을 내열성이 있다고 보아야 할 것이다.

보온재 일체형 덕트 패널에 있어서도 가열시험을 통한 내열성을 판단하는데 참고할 수는 있으나 이를 아연도금강판의 내열성과 동등하거나 우수하다고 단정하기는 곤란하며 특히, 덕트 표면의 최고온도가 너무 높아 가연물질을 발화시켜 연소 확대의 우려가 있어 UL(Underwriters Laboratory) 시험결과 만으로는 보온재 일체형 덕트 패널이 제연용 덕트에 이용될 수 있다고 판단하는 데는 어려움이 있다.

내열성은 풍도 내의 공기온도 뿐만 아니라 풍도 외부 온도에도 견디는 성능이 요구되며 제연설비는 화재 시 최대 1시간 동안 작동되어야 하는 소화활동설비로서 화재 영향으로 풍도 역할을 하는 준불연재료의 성능으로 인정 받은 보온재 일체형 덕트 패널이 파손되는 경우 제연설비의 기능을 발휘할 수 없게 된다.

제연설비의 화재안전기준에서 배출풍도는 아연도강판 또는 이와 동등 이상의 재질로 하도록 되어 있으며 유입풍도의 강판 두께는 배출풍도에 준용하도록 되어 있다. 또한, 배연설비의 검사표준(KS F 2815)에서도 배연풍도의 재질을 불연 재료로 하도록 되어 있다. 복합판넬덕트가 단열재로서의 성능은 우수하나 유입풍도로 하는 경우에는 불연재료의 시험성적서 요구된다.

부수적으로 복합판넬덕트를 유입풍도로 사용하는 경우 마찰손실이 아연도강판과 다르므로 덕트 크기 등 재검토가 필요하다.

2.1.4 NFPA CODE요소의 성능분석

NFPA 90의 기준은 화재로부터 인명 및 재산을 보호하기 위한 최소한의 요구조건을 제시하고 있으며 풍도의 내열성에 대해서는 UL 181에 따라 시험되고 등록조건에 맞게 설치된 CLASS 0 또는 CLASS 1의 경질 또는 가요성 풍도는 내부의 공기온도가 121℃를 초과하지 않는 경우에 사용이 가능하며, 2층 이하의 높이에서는 수직 풍도로서의 사용이 허용된다.

CLASS 0 등급의 풍도 재질은 화재의 위험으로부터 화염확산 또는 연기의 발달이 제로(0)인 수준의 등급을 의미하며, CLASS 1등급의 풍도 재질은 화재의 위험으로부터 화염확산지수 값이 25를 초과하지 않아야 하며 연기발달지수는 50을 초과하지 않아야 한다.

2.1.5 공기조화용 보온재 일체형 덕트 패널표준 요소의 성능분석

이 표준은 덕트 내·외부의 온도가 75℃ 이하인 공기조화용 보온재 일체형 덕트 패널에 대하여 규정하고 있으며 상용 압력에 따라 다음과 같이 분류하고 있다.

<Table 1> Classification according to working pressure

Classification	Explanation
Class 1 panel	Used for aluminum thin plates with a thickness of 20 mm or more and both sides of 25 μm to 80 μm with a thickness of ± 500 Pa or less (limit pressure ± 1,000 Pa or less, flow velocity of 15 m/s or less).
Class 2 panel	A thin aluminum plate with a thickness of 20 mm or more, 25 μm to 80 μm on one side, and a steel plate on the other side, with a thickness of 20 mm or more and a thickness of ± 1,000 Pa or less (limit pressure ± 1,500 Pa or less, flow velocity 20 km or less). Impact resistance and pressure resistance performance This is mainly required for machine rooms and air conditioning rooms, used in granular or exposed places indoors and outdoors.

공기조화용 보온재 일체형 덕트패널은 재질이 준불연재료의 석유화학 제품으로 기존의 스틸 덕트와 비교하여 공사비의 절감, 에너지의 절약, 결로 방지 등의 장점이 있어 근래 들어 공조시스템 시장에 다양한 제품의 패널이 일정부분 확대 및 보급되고 있다. 하지만, 공조겸용 제연설비의 덕트에도 사용하는 시도가 있어 화재 시 많은 인명 및 재산피해가 우려된다.

보온재 일체형 덕트 패널은 보온재가 부착된 덕트로 패널의 표면은 알루미늄 박판이나 금속 강판 등으로 구성되어 있으며 대표적으로 페놀릭폼 덕트가 있다. 페놀릭폼(phenolic foam)은 페놀수지 단독이나 알데히드 또는 케톤 유도체의 축중합(polycondensation)으로 주로 제조하는 고분자 구조의 경질 발포 폼으로 구성된 것으로 단열재의 심재(페놀릭폼)는 건축관련법상 난연재료 이상으로 하여야 하며 배출풍도 외부의 면에 단열처리 하여 풍도를 보호해야 한다.

PIR형 우레탄 폼은 폴리우레탄 또는 우레탄/이소시아네이트 중합체를 기본으로 하는 본질적으로 독립 기포 구조를 갖는 경질 발포 플라스틱 단열재로 구성되어 있다.

## 2.2 공조겸용 제연설비 풍도의 재질 성능 분석

### 2.2.1 풍도의 재질 성능 분석

#### (1) 국가화재안전기준(NFSC 501)

배출풍도는 아연도금강판 또는 이와 동등 이상의 내식성·내열성이 있는 것으로 하며, 석면재료를 제외한 내열성의 단열재로 유효한 단열 처리를 하고, 강판의 두께는 배출풍도의 크기에 따라 기준 이상으로 하여야 한다. 또한 유입풍도의 경우에는 풍도의 강판 두께만 규정하고 있다.

#### (2) 단열의 목적1

제연설비의 전용 풍도는 평상시 사용되는 것이 아니기 때문에 소음을 방지하기 위한 목적은 크지 않고 열전달 방지를 위한 목적이 크다고 할 수 있다. 화재 시 뜨거운 연기와 열기를 배출해야 하기 때문에 강판의 두께 및 단열처리를 요구하는 것이며, 이에 비하여 급기의 경우는 신선한 외부

의 공기를 공급하므로 별도의 단열기준은 없다. 즉, 화재 시 배출풍도로 연기류를 배출하는 과정에서 배출풍도가 가열되고 이로 인하여 풍도 주위의 가연물로 열이 전달되어 화재가 확산되는 것을 방지하기 위하여 단열하는 것이다.

#### (3) 단열재의 재질

화재 시 배출하는 열기류의 온도를 정확히 측정하는 것은 매우 곤란하므로 풍도의 열기류의 온도를 정확히 규정하기 위한 선결요소로는 개구부의 형태, 화재하중, 화재의 위치, 발화원의 종류, 화재의 크기, 소화설비의 설치유무, 시간, 화재실로부터의 풍도 내 이송거리 등 매우 많다.

그럼에도 제연설비는 화재안전기준에서 정하는 대로 규정시간 이상 정상적으로 작동되어야 한다. 따라서 단열재의 재질은 건축법상 난연재료, 준불연재료 또는 불연재료로 시공하는 것이 합리적이다. 배연설비의 검사표준(KS F 2815)에서는 배출풍도는 불연성의 재질로 하도록 하고 있다.

<Table 2> Thickness of steel plate according to the size of duct

Size of long side or diameter of windpipe section	450mm or less	More than 450mm and less than 750mm	More than 750mm and less than 1,500mm	More than 1,500 mm and less than 2,250 mm	over 2,250mm
steel plate thickness	0.5mm	0.6mm	0.8mm	1.0mm	1.2mm

<Table 3> Materials with more than flame retardant performance

Classification	Criteria	
non-combustible material	Non-flammability test	<ul style="list-style-type: none"> <li>For 20 minutes after starting the heating test, the maximum temperature in the furnace should not rise above the final equilibrium temperature by more than 20K. (However, if equilibrium is not reached for 20 minutes, the average temperature for the last 1 minute is used as the final equilibrium temperature.)</li> <li>The mass reduction rate must be 30% or less</li> </ul>
	Gas toxicity test	<ul style="list-style-type: none"> <li>The average behavioral pause time of the experimental rat should be more than 9 minutes</li> </ul>
Semi-incombustible material	cone calorimetric method	<ul style="list-style-type: none"> <li>The total amount of heat released for 10 minutes after starting heating should be 8 or less, and the maximum heat release rate for 10 minutes should not exceed 200 for more than 10 consecutive seconds.</li> <li>After heating for 10 minutes, there should be no cracks, holes, or melting (including all melting and disappearing of the core material in the case of a composite material) passing through the specimen.</li> </ul>
	Gas toxicity test	<ul style="list-style-type: none"> <li>The average behavioral pause time of the experimental rat should be more than 9 minutes</li> </ul>
flame retardant material	cone calorimetric method	<ul style="list-style-type: none"> <li>The total amount of heat released for 5 minutes after starting heating should be 8 or less, and the maximum heat release rate for 5 minutes should not exceed 200 for more than 10 consecutive seconds.</li> <li>After heating for 5 minutes, there should be no cracks, holes, or melting (including all melting and disappearing of the core material in the case of a composite material) passing through the specimen.</li> </ul>
	Gas toxicity test	<ul style="list-style-type: none"> <li>The average behavioral pause time of the experimental rat should be more than 9 minutes</li> </ul>

(4) 현실태 및 문제점

옥내소화전설비의 배관 보온재에 대한 법적인 난연재료 성능의 이해 부족으로 가격이 저렴하고 난연재료 성능 기준을 충족시키지 못한 저급한 품질로 인하여 겨울철에 주로 발생하고 있는 동파방지용 열선의 열원에 의한 화재가 종종 발생하고 있다.

건설 현장에서의 용접작업 등에 의한 착화발생으로 인한 빈번한 화재가 발생한다.

화재현장에서 반복되게 노출되어지는 화재확산의 촉진 및 보온 재료에서 뿜어져 나오는 연소 시 다량의 유독가스 발생으로 대형 참사의 원인이 되기도 한다.

(5) 개선방안

난연재료 성능 이상의 것 이라 함은 국토교통부령이 정하는 기준에 적합한 재료로 해당 시험 기준에 의한 불연재료, 준불연재료, 난연재료 중 하나의 것으로서 법령에서 정한 올바른 난연재료 용어 설정과 품질 적용을 통한 수계 소화설비 배관 보온재 사용규제를 강화하는 것이다.

동절기 동파방지를 위한 열선에 의한 화재 및 건설현장 내 용접작업 등으로 인한 화재발생을 사전에 예방하는 것이다.

화재발생 시 가정 먼저 작동되는 화재진압의 주체로서 활동하여야 하는 소방설비 배관의 중요도에 따라 타 설비 배관 등의 경우보다 더욱 더 철저한 사전 관리로 화재를 사전에 방지하고 안전을 그 무엇보다도 우선시 되어야 할 것이다.

2.2.2 배출풍도의 단열재 성능 분석

(1) 보온재 일체형 덕트 패널

보온재 일체형 덕트 패널은 준불연재료 등급의 페놀리폼 보드에 노출면은 베파베리아로 코팅처리 되어져 깨끗한 외관 연출과 덕트 철판면과의 밀착 처리가 가능하여 접촉제로 밀봉 부착이 가능하다. 건축법령 상 준불연재료의 성능을 가지고 있어 화염이나 불뿔, 연기 등에 안전하다 할 수 있다. 유리솜에 비하여 유리가시가 없는 친환경의 인체 무해성을

가지고 있으며 준불연재료 등급의 내열성능을 가지고 있으며 우수한 열전도율로 에너지 절감에 우수한 성능을 가지고 있다. 다만, 재료비가 다소 상승하며 유연성이 없는 패널의 형태로 곡관의 경우 재단 및 마감이 다소 불편하다.

(2) 유리섬유(Glass Wool)

무기질 인조광물계의 대표적인 보온재료 인 유리솜(Glass Wool)은 불연재료 등급의 섬유재질로 노출면은 베파베리아로 처리되어져 있으며 덕트면에 밀착 밀봉 접착처리가 불가능하므로 일정한 간격으로 별도의 알루미늄 밴드 등을 이용하여 묶어서 마감하여야 한다. 건축법령상 불연재료의 화재안전성능을 확보하고 있어 화염이나 불뿔, 연기 또는 독가스 등에 안전하다. 또한 부수적으로 흡음성능 또한 우수하며 자체비가 저렴하고 가공성이 용이한 특성은 있으나 유해한 미세먼지 분진인 유기가시의 노출로 눈, 코, 입 및 피부에 접촉하는 경우 인체에 유해하며 수직 덕트에 사용 시 유리솜의 쏠림 현상이 발생하여 단열 두께의 감소 우려가 있다.

3. 결론

제연설비는 화재를 진압하거나 인명구조 활동을 위하여 사용하는 설비로서 풍도는 아연도금강판 또는 이와 동등 이상의 내식성·내열성이 있는 것을 사용하도록 되어 있다. 이는 풍도의 기본적 재질로서 NFPA 90A에서 정하는 CLASS 0에 준하는 재질인 불연성의 재질이다.

NFPA 90A(공기조화 및 환기설비의 설치기준)의 경우 CLASS 0 또는CLASS 1의 경질 또는 가요성 풍도는 내부의 공기온도가 121℃를 초과하지 않는 경우에 사용이 가능하며, 공기조화용 보온재 일체형 덕트 패널표준에서는 덕트 내·외부의 온도가 75℃ 이하인 공기조화용 보온재 일체형 덕트 패널에 대하여 규정하고 있다.

따라서 시중에 유통되고 있는 보온재 일체형 덕트 패널을 제연설비의 유입풍도로 사용되기 위해서는 기본적으로 불연성이어야 하며 250℃ 이상의 온도에서 1시간 이상

<Table 4> Physicochemical properties of composite panel duct and glass wool

division	composite panel duct	glass wool
material	phenolic foam	Fine cotton morphology by melting glass at high temperature
chemical resistance	thermosetting	inorganic material
material internal structure	CLOSED CELL	OPEN CELL
density (g/cm <sup>3</sup> )	0.05 or more	0.05 or more
operating temperature (°C)	130	300
thermal conductivity	Great	normal

견딜 수 있는 이연도금강판과 동등 이상의 내식성 및 내열성이 요구되어진다.

#### 4. References

- [1] Manual of National Fire Safety Code(2016), Standard for smoke control systems.
- [2] National Fire Information System, www.firedata.go.kr
- [3] NFPA 90A, Standard for the installation of air-conditioning and ventilating system (2012 Edition).
- [4] SPS-KARSE B 0056-6196(2017), Korean association of air conditioning refrigerating and sanitary engineers.

#### 저자 소개



##### 오택흠

충북대학교 산업안전공학과 학사.  
충북대학교 산업안전공학과 석사.  
서울시립대학교 재난과학과 박사.  
소방공무원 명예퇴직  
현재 신화FEC 감리사업본부 상무이사로 재직 중.  
관심분야는 소방시설의 설계, 시공 및 감리분야이며 전기화재 예방대책 연구를 진행 중이며, 소방기술사 현장의 책임 소방감리로 업무 중이다.



##### 박찬석

동국대학교 경찰행정학과 학사.  
서울대학교 재난관리 석사.  
서울시립대학교 재난과학과 박사.  
소방간부 후보생 14기.  
현재 서원대학교 소방행정학과 교수로 재직 중.  
관심분야는 소방법규·의용소방대 및 재난피해심리분야이며, 현장활동 소방공무원 고령화 현상·화재피난시물레이션·소방서 성과평가 기준에 대한 연구를 진행중이며, 소방학개론·소방법규·재난심리론·소방시설론을 강의 중이다.