

[Research Paper]

제연 TAB를 통한 철도 지하환승통로의 거실제연설비 성능평가

설석균 · 김준환* · 박민석** · 오승민*** · 안용철**** · 최준호*****†

부경대학교 산업대학원, *GE엔지니어링, **벽산엔지니어링,
대림산업(주), *현대건설(주), *****부경대학교 소방공학과

A Performance Evaluation of Zone Smoke Control Systems for Railway Underground Transit Passage by Smoke Control TAB

Seok-Kyun Seol · Joon-Hwan Kim* · Min-Seok Park** ·
Seung-Min Oh*** · Yong-Chul Ahn**** · Jun-Ho Choi*****†

Graduate School of Industry, Pukyong University, *GE Engineering, **Byuksan Engineering, ***Daelim Industrial,
****Hyundai Engineering&Construction, *****Department of Fire Protection Engineering, Pukyong National University

(Received October 31, 2016; Revised February 20, 2017; Accepted February 21, 2017)

요 약

본 연구에서는 거실제연설비가 설치된 철도 지하환승통로에 현장성능평가시험인 제연 TAB(Testing, Adjusting, Balancing)를 실시하여, 제연설비 성능 확보에 미치는 영향을 분석하고 개선방안을 도출하였다. 제연 TAB는 지하환승통로의 제연설비 설계자료 분석, 제연덕트 누기테스트, 제연송풍기와 덕트의 풍량 및 풍속 측정, Smoke test로 나누어 진행되었다. 제연덕트 누기시험을 통해 누기율을 측정하여 덕트의 기밀성을 확인하였고, 흡입측 덕트 정압손실로 인한 제연풍량 부족의 문제점을 개선하여 송풍기의 성능을 확보하였다. 또한, Smoke test를 통해 예상제연구역별 제연덤편 동작 시 자연풍, 열차풍 영향으로 인한 문제점을 분석하고 개선하여 예상 제연구역 내 제연이 원활하게 이루어짐을 확인하였다.

ABSTRACT

This study conducted Testing, Adjusting, and Balancing (TAB), which is a type of field performance evaluation experiment of a zone smoke-control system, at a railway underground transit passage installed with a zone smoke-control system to find problems and improvements for ensuring performance. TAB for the smoke control system was classified into several procedures, such as design data review, duct leakage test, field measurement of the airflow rate, velocity of the fan and duct, and a smoke test. Through the duct leakage test, the system leakage ratio was examined to prove the duct sealing. The improvement of the smoke control airflow problems due to the lack of fan static pressure loss was the secured performance. The performance of the smoke control fan was secured by improvements of the smoke control airflow rate problems caused by the loss of static pressure in the intake duct. The smoke test in the smoke control zone confirmed that the damper operating schedule subject was influenced by natural wind or train wind.

Keywords : Duct leakage test, Smoke test, TAB (Testing Adjusting Balancing), Railway underground transit passage, Zone Smoke control systems

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

최근 국내에는 도심지 내 지하도시철도역과 일반·고속·광역철도역간에 다수의 지하 환승통로가 설치되고 있다. 그러나 지하 환승통로는 소방시설법시행령 제15조 별표

5⁽¹⁾에 따라 제연설비의 설치대상에서 제외되어 있어 자진설비로 설치되고 있는 실정이다. 제연설비는 NFSC 501A의 제25조⁽²⁾에 따른 차압제연설비와 NFSC 501⁽³⁾에 따른 거실제연설비로 구분할 수 있는데, 제연전용풍도와 시험, 측정 및 조정 등의 법적 TAB 시행기준을 보유하고 있는 차압제연설비보다는 공조겸용풍도와 법적 TAB 시행기준이 없는 거실제연설비의 신뢰성 확보에 취약성이 있다고 할 수 있다.

† Corresponding Author, E-Mail: jchoi@pknu.ac.kr, TEL: +82-51-629-7830, FAX: +82-51-629-7078

거실제연설비의 취약점은 크게 4가지로 분류할 수 있는데, 첫째, 공조제연겸용 덕트를 사용함에 따라 공조덕트 설계자가 제연덕트의 특성을 제대로 설계하지 못하는 것이다. 둘째, 좁은 환기기계실 공간으로 인한 송풍기와 덕트 연결시 흡입덕트 사이즈 규격 미달, 터닝베인 미설치, 루버 개구율 부족 등의 덕트사이즈 규격미달 시공으로 인한 송풍기 정압손실이 과다 발생하고 있다는 점이다. 셋째로는, 예상 제연구역에서 구조물의 자연풍 또는 열차풍 등의 환경특성을 감안하지 않은 채 제연구역 댐퍼 동작 스케줄의 선정으로 인한 제연설비 신뢰성 미확보이며, 끝으로, 거실 제연설비에 대한 법적 TAB 시행기준과 덕트기밀시험 등에 대한 절차가 없어 (사)대한설비공학회(SAREK) 등의 기준을 차용해 사용해야하는 번거로움이 있다는 것이 취약점으로 손꼽힌다.

과다한 송풍기의 정압손실을 줄이기 위해서는 거실제연설비에 대한 시험·조정·평가(Testing, Adjusting, Balancing, 이하 TAB)를 단계별로 철저히 실시하여 근본적으로는 이용자의 피난시간을 확보할 필요가 있을 뿐만 아니라 준공시에 발생할 수 있는 송풍기 정압손실 증가에 따른 모터교체, 덕트 규격 확대 등으로 인한 공사비 증가, 설계변경으로 인한 사업기간 연장가능성을 사전에 막을 필요가 있다.

1.2 선행연구 및 연구방향

지금까지 국내에서는 환기기계실 공간협소로 인한 비규격 덕트시공에 따른 송풍기 정압손실 과다발생 억제대책, 예상제연구역의 자연환경특성 감안시 제연설비 신뢰성 증대 방안 및 제연설비 TAB에 대한 필요성에 대한 연구사례가 있었다.

Kim⁽⁴⁾은 송풍기의 성능감소는 덕트의 폭이나 깊이에 관계되므로 송풍기의 설치공간의 부족으로 인하여 Figure 1(top)⁽⁴⁾과 같이 송풍기 흡입측에 바로 흡입덕트를 연결하면 균등하지 않은 공기의 유입으로 압력손실 증대를 가져오고 45 % 정도의 높은 송풍기 성능손실을 가져온다고 하였다. 또한 덕트 연결시 Figure 1(bottom)⁽⁴⁾와 같은 송풍기 흡입측 덕트에 터닝베인과 곡부를 반영할 경우 송풍기 성능감소를 개선할 수 있다고 설명하였다.

Kim⁽⁵⁾은 송풍기 흡입측의 측정 정압이 설계보다 높을 경우 송풍기 성능 저하로 인한 설계풍량이 적어 질 수 있으므로 외기루버의 크기가 적합하더라도 개구율이 적을 경우 큰 것으로 교체하여 송풍기 성능 감소를 개선할 수 있다고 설명했고, Jang⁽⁶⁾ 등은 지하역사 화재 시 자연풍의 방향으로 열과 연기의 확산을 촉진시키게 됨을 발견하였다.

Yeo⁽⁷⁾는 소방시설은 평상시 사용하지 않는 시설로서 사용중에 조정이 어려운 시설이므로 반드시 준공시 시험과 조정을 거쳐 설계목적에 부합되도록 균형을 맞추어야 하며, 제연시스템은 엔지니어링 요소가 많아 모든 단계에서 다중 검토과정이 필요하고 제연설비의 TAB는 제연설비의

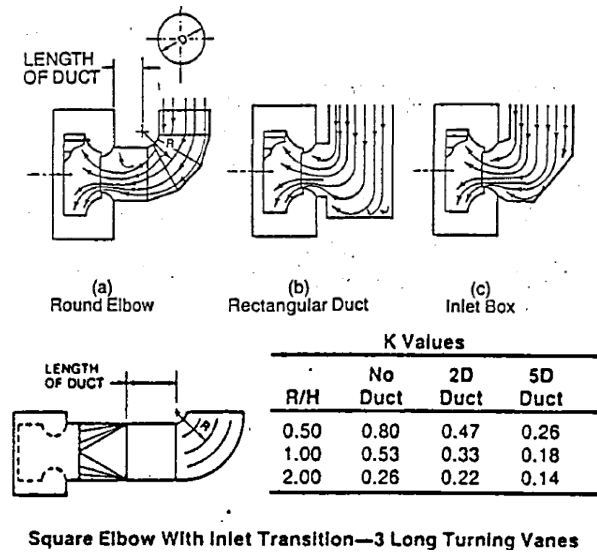


Figure 1. Ununiform flow in fan inlet (top) and system effect in fan inlet (bottom).

시험·측정·분석·조정에 정통한 소방전문가가 수행하여야 한다고 결론짓고 있다.

본 연구는 이들 선행연구에 이어, 특히 철도 지하환승통로의 거실제연설비에 대한 TAB수행을 통한 문제점과 개선방안을 제시하였다.

2. 실험방법과 절차, 시험기준

2.1 TAB 시행 방법 및 절차

본 연구는 Figure 2와 같이 2016년 실험 당시 개통예정이었던 지하철역사와 지상철도역사간에 설치된 지하 환승통로를 대상으로 환기기계실 2개소와 예상제연구역을 A~E 등의 5개 Zone을 대상으로 하였으며 제연방식은 인접구역 상호제연방식으로 자진하여 제연시스템을 설치하였다. 거실제연설비에 대한 TAB는 덕트 기밀시험, 풍량, 풍속측정을 포함하여 대한설비공학회의 제연설비 TAB절차⁽⁸⁾에 준하여 실시하였으며, 덕트 기밀시험은 한국설비기술협회의 공기조화용 덕트누기 시험방법⁽⁹⁾을 분석하여 실시하였다. 철도 지하 환승통로의 거실제연설비 TAB는 Figure 3과 같은 절차로 실험하였다.

(1) System Review Level

- ① 거실제연설비 및 구조물 설계도면, 계산서 등 자료수집 및 검토, 관련법규(화재안전기준) 및 TAB 시행계획서 작성 및 검토
- ② 제연구역 적정성, 제연설비 자재 사용적정성, 제연용 송풍기의 설계풍량, 덕트 계통의 MFD 동작 스케줄 및 풍량분배 적정성 검토 및 확인

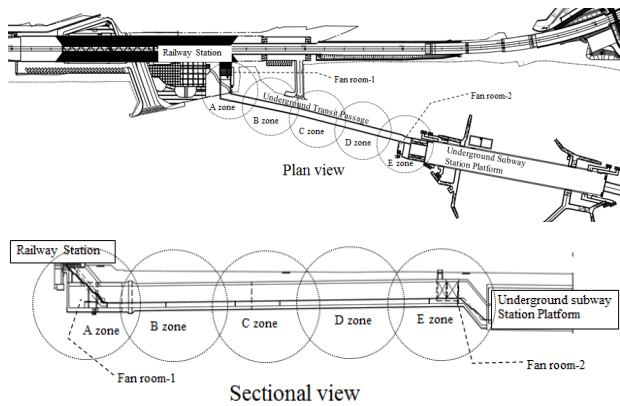


Figure 2. Zone smoke control zone of the underground transit passage.

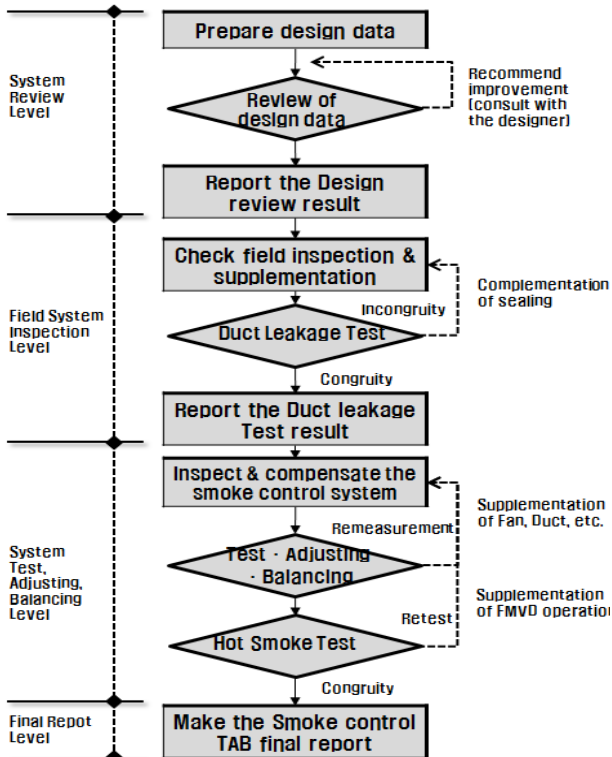


Figure 3. Flow chart of zone smoke control system TAB.

③ 설계개선사항이 포함된 거실제연설비 예비검토보고서 작성

(2) Field System Inspection Level

- ① 현장덕트 시공현황, 개선사항 검토·확인
- ② 덕트 기밀 테스트 범위 선정, 시스템 누기량 기준 선정, 허용 누기량 기준 선정, 시험덕트 표면적 계산, 시험덕트 구간 밀봉작업, 덕트누기시험기 설치, 덕트 누기량 측정, 허용누기량여부 판정을 통한 덕트 누기 테스트 최종 보고서 작성

(3) System Testing, Adjusting, Balancing Level

- ① TAB 시험준비작업, 계측장비 및 측정기록지 양식 준비, 인원 조직구성, 시공도면 입수 및 검토, KFI인증 자재여부 확인, 각종 승인서 확인
- ② 현장점검, 제연송풍기 제작사양서와 공장검사결과보고서 및 공인기관시험성적서 확인, 현장 송풍기, 덕트, 댐퍼, 방화셔터 등의 자재 공급원승인서 및 제작사양승인서와 시공적정성 확인, MFD 동작 스케줄 적정성 확인
- ③ 급번 지하철도환승통로의 거실제연설비는 환기용 급·배기송풍기와 제연용 급·배기송풍기를 별도 구분하고 덕트만 환기·제연겸용으로 사용하는 거실제연설비이므로 환기용 필터에 의한 정압손실은 고려하지 않음.
- ④ 현장측정 및 조정, 제연송풍기 풍량, 정압, 전류, 회전수 측정, 유입 및 배출풍도 속도, 풍량 측정, 유입구 및 배출구 풍속, 풍량 측정, 제연경계구역별 MFD 동작 확인
- ⑤ 제연 송풍기 기동 시, 댐퍼제어가 동시에 동작하거나 댐퍼가 완전히 개방되지 않은 상태에서 송풍기가 기동하면 과정압 현상으로 초기에 전류 과부하에 의해 정지될 우려가 있음. 이에 따라 제연송풍기 기동시 댐퍼의 완전개방을 확인 후 송풍기가 기동되는지를 검증
- ⑥ Smoke Test : 제연경계구역 A, B, C, D, E 구간별 MFD 연계동작 스케줄 확인, 제연경계구역 A~E 구간별 smoke test를 통한 연기흐름이 예상제연구역 내에서 제연이 되는지 확인

(4) Final Report Level

- ① 제연TAB 개요, 시설현황, 수행결과 및 요약 평가, 측정장비 및 수행사진, 제연송풍기/유입풍도/배출풍도 설계치 대비 측정 기록지, 예상제연구역 A~E 구간별 유입구, 배출구 풍량, 속도 설계치 대비 측정기록지, 덕트기밀 테스트 보고서 등

2.2 TAB 시험기준

2.2.1 제연설비 설계검토 및 내용

본 현장 사업과정에서는 TAB 계약이 늦어져 기계실 구조물 및 제연설비는 일부가 시공이 되어 있는 상태에서 TAB 검토는 시행되었다. 그러나 일부 덕트의 규격보완을 시행할 여유가 없었으며, 시공 후 시운전시 TAB를 시행하면서 부족한 부분을 보완하는 것으로 계획하였으며, 제연송풍기 설계내용은 Table 1과 같다.

2.2.2 제연덕트 기밀시험 기준

제연구역을 기준으로 시험덕트범위는 Figure 4와 같이 A

Table 1. Design Specification of Smoke Control Fan

Status	Type	Quantity	Fan No.	Airflow (m ² /h)	Static Pressure (Pa)	Power Supply (Kw)	Voltage (V)
FSF-01(A,B zone)	Air Foil	1	#8 SS	50,040	666	22	380
FEF-01(A,B zone)	Air Foil	1	#8 SS	50,040	666	22	380
FSF-02(C,D,E zone)	Air Foil	1	#8 SS	50,040	706	22	380
FEF-02(C,D,E zone)	Air Foil	1	#8 SS	50,040	706	22	380

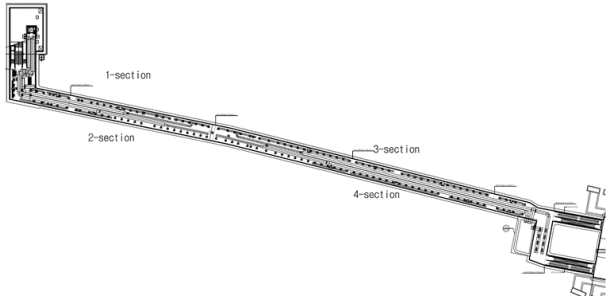


Figure 4. Leakage test section of zone smoke control system in underground transit passage.

~B구역 급기(Supply Air, SA), A~B구역 배기(Exhaust Air, EA), C~D구역 급기(Supply Air, SA), C~D구역 배기(Exhaust Air, EA) 로 총 4개 구역으로 구분하고 Main duct와 sub duct, 유입구와 배출구의 Flexible duct 연결구까지로 정하였다. 제연덕트의 시스템 누기율은 공기조화용 덕트누기 시험방법⁽⁹⁾에 의거 식(1)을 이용하여 산출하였고, Table 2와 같이 5% 이하의 기준을 선정하였다. 제연덕트 기밀시험은 Figure 5와 같은 절차를 따랐다.

$$SLR (\%) = LR (m^3/hr) \div TSA (m^3/hr) \times 100 \quad (1)$$

where, SLR : System Leakage Ratio
 LR : Leakage Ratio
 TSA : Total System Airflow

2.2.3 제연송풍기 성능평가 기준

제연송풍기의 배출량 기준은 NFSC 501의 제6조(배출량 및 배출방식) 제2항 제2호 및 제3항「(3)에 따라 철도 지하 환송통로의 예상제연구역은 바닥면적이 400 m² 이상의 통로로 제연경계로 구획되어있고 그 제연경계의 바닥으로부터 그 수직하단까지의 수직거리가 2 m 초과~2.5 m 이하인 점을 감안하여 50,000 m³/hr 이상을 배출량 기준으로 적용하였다(Table 3 참조).

2.2.4 유입풍도와 배출기 흡입 및 배출측 풍도안 속도 시험기준

배출기에 연결된 배출풍도와 급기송풍기에 연결된 유입(급기송풍기의 흡입측과 배출측) 풍도 내의 성능평가 기준

Table 2. System Leakage Ratio Criteria

System Leakage Ratio	Recommended Application
5 ~ 10%	Non-air Conditioned Ventilation Space
Not More Than 5%	CAV System, Smoke Control Duct

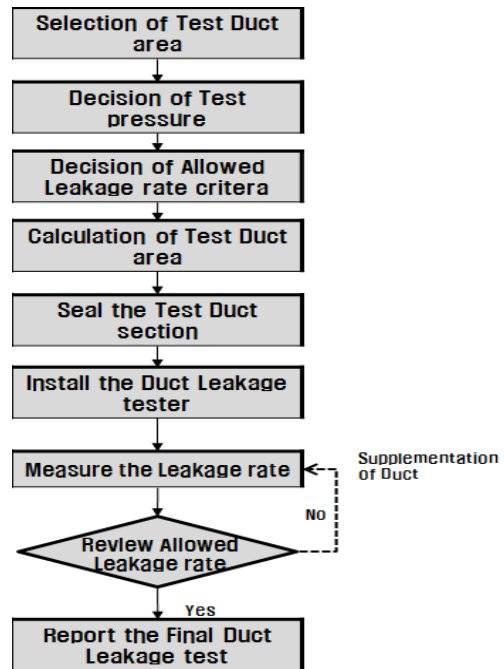


Figure 5. Flow chart of duct leakage test.

Table 3. Criteria of Design Airflow Rate

Article 6 of the National Fire Safety Code 501	
Vertical Distance	Design Airflow Criteria
Not More Than 2 m	More Than 45,000 m ³ /hr
Excess 2 m ~ Not More Than 2.5 m	More Than 50,000 m ³ /hr

은 NFSC 501의 제9조(배출기 및 배출풍도)제2항 제2호와 제10조(유입풍도 등)제1항⁽³⁾에 의거 Table 4와 같이 배출기의 흡입측 풍도안의 풍속은 15 m/s 이하로 하고 배출측 풍속은 20 m/s 이하로 하였으며, 유입풍도안의 풍속은 20 m/s 이하를 기준으로 적용하였으며, 배출 및 유입풍도의 규격별 풍도두께는 Table 5와 같이 적용하였다.

Table 4. Criteria of the Intake and Exhaust Duct Velocity

Status	Intake Duct Velocity	Exhaust Duct Velocity
Exhaust Fan (FEF-01, FEF-02)	Not More Than 15m/s	Not More Than 20m/s
Supply Fan (FSF-01, FSF-02)	Not More Than 20m/s	Not More Than 20m/s

Table 5. Plate Thickness of Exhaust Duct and Intake Duct

Duct Size	Not More Than 450 mm	Excess 450 mm~	Excess 750 mm	Excess 1,500 mm	Excess 2,250 mm
		Not More Than 750 mm	Not More Than 1,500 mm	Not More Than 2,250 mm	
Steel Plate Thick-ness	More Than 0.5 mm	More Than 0.6 mm	More Than 0.8 mm	More Than 1.0 mm	More Than 1.2 mm

2.2.5 Smoke test 기준

Smoke test(연막시험)는 지하 환승통로 내에 화재로 인한 연기발생시 화재구역 내에서 연기를 완전히 배출시켜 이용객의 피난시간을 확보하기 위한 목적으로 실시하였다. 실제 화재상황과 같은 조건은 아니나, 예상제연구역 내에 연기가 발생할 경우 자동화재탐지설비가 연기를 감지하고 제연덤편퍼가 동작 스케줄대로 정상 동작되는지를 확인하는 데에 목적이 있었다.

제연구역의 smoke test를 위해 NFSC 501의 제4조(제연설비)제1항 제3호⁽³⁾에 따라 보행중심선의 길이가 60 m를 초과하지 않는 통로상의 제연경계로 구획된 예상제연연구역을 A, B, C, D, E의 5개 zone으로 구획했으며, 인접구역 상호 제연방식을 적용하여 예상 제연구역 1개 zone에서 화재발생 시 화재실은 연기를 배출시키고 인접실은 연기의 침투를 방지하기 위하여 배출과 동시에 공기유입을 실시하도록 하였다.

Figure 6와 같이 환승통로의 길이는 약 264 m였으며, 수평구간 보행속도는 도시철도 정거장 및 환승·편의시설 설계지침⁽¹⁰⁾에 따라 대피요소별 승객 이동속도를 1 m/s로 간주하여 피난에 가장 취약한 통로의 중간지역인 C와 D zone을 테스트 구역으로 선정하였다.

한편, Test 시간은 환승통로 양쪽에 피난 가능한 계단이 있으므로 중간지역에서 화재가 났을 경우를 가정하였고, 도시철도 정거장 및 환승·편의시설 설계지침⁽¹⁰⁾의 대피시간의 기준에 따라 피난시간(ASET)을 약 6분 이내로 가정하였다.

연막탄은 Figure 7과 같이 1차 테스트에는 C, D zone에 제연구역별 연소시간 1분용 1개씩을 사용하여 연기의 정상 흐름을 확인하고, 2차 테스트에서는 C zone에 연소시간 1분용 3개를 연속으로 태워 총 5분 동안 본 Smoke test을 시행하였다.

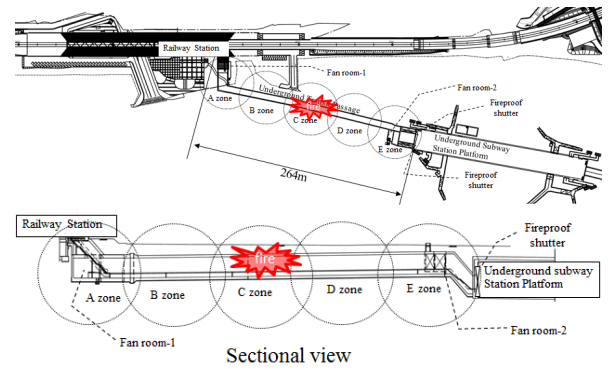


Figure 6. The selection of smoke control zone.



Figure 7. Smoke bombs (1 minute/each) and anemometer.

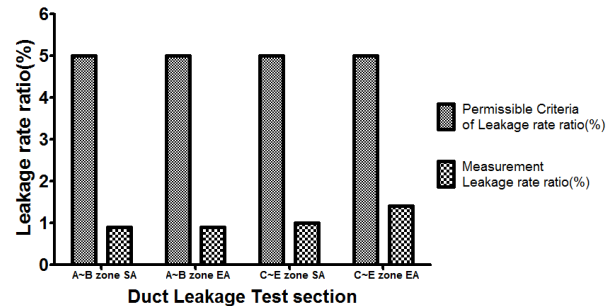


Figure 8. Duct leakage rate ratio.

3. 실험결과 및 분석

3.1 제연덕트 기밀시험 결과 및 분석

시험결과는 Figure 8과 Table 6과 같이 각 시험덕트 구역별 제연덕트의 시스템 누기율이 0.9~1.4%로 모두 5% 이하라 기준치 이하로 측정되어 모두 기준에 만족하여 성능이 확보되었다.

3.2 제연송풍기 성능평가 측정결과 및 분석

제연송풍기의 배출풍량에 대한 실험은 총 3차례 시행하였는데, 1, 2차 시험을 시행한 결과 흡입측 정압손실이 과다하게 발생하여 제연송풍기의 배출풍량이 Figure 9와 같

Table 6. System Leakage Rate and Ratio Measurement Results

Status	(a) Total smoke control airflow rate(m ³ /hr)	System permissible leakage rate (l/s)	(b) Test section permissible leakage rate (l/s)	(c) Measurement leakage rate (l/s)	Permissible criteria of system leakage rate ratio (%)	Permissible criteria of test section leakage rate ratio (%) (d=b/a×100)	System leakage rate ratio (%) (e=c/a×100)
1 Section (A~B zone SA)	50,000	694	657	120	5	4.7	0.9
2 Section (A~B zone EA)	50,000	694	648	130	5	4.7	0.9
3 Section (C~E zone SA)	50,000	694	677	140	5	4.9	1.0
4 Section (C~E zone SA)	50,000	694	670	190	5	4.8	1.4

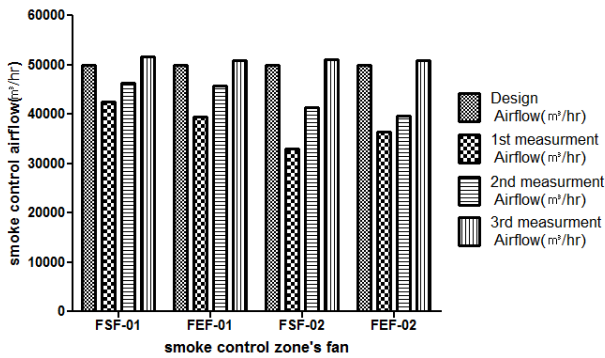


Figure 9. Measurements of smoke control fan's airflow rate.

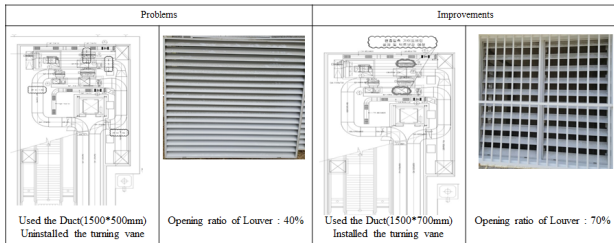


Figure 10. Improvements of duct and louver and installing the turning vane in intake duct.

이 제연풍량의 역할을 하기에 부족한 것을 확인하였다. 실패의 원인에 대하여 분석한 결과, ① 환기기계실이 좁은 관 계로 송풍기 흡입측에 덕트를 바로 연결하여 불균등한 공기흐름이 발생하였고, ② 정압손실량이 고려되지 않아 흡입덕트가 필요한 크기보다 작게 설치되었고, ③ 흡입 측 덕트에 터닝베인이 설치되지 않아 불균등한 공기흐름에 의한 정압손실이 발생하였고, ④ 환기구 루버 개구율의 부족 등이 그 원인이었다.

3차 실험에서는 위 원인들을 토대로 Figure 10와 같이 송풍기 흡입측 덕트에 터닝베인 설치, 흡입덕트 사이즈 확대, 환기구의 루버 개구율을 40%에서 70%까지 확장, 모터폴리

Table 7. Measurement Results of Smoke Control Fan's Intake Static Pressure Variation

Status	Design Static Pressure (Pa)	1st Measurement Static Pressure (Pa)	2nd Measurement Static Pressure (Pa)	3rd Measurement Static Pressure (Pa)
FSF - 01 (A,B zone)	666	1,254	1,333	1,411
FEF - 01 (A,B zone)	666	691	867	931
FSF - 02 (C,D,E zone)	706	941	745	882
FEF - 02 (C,D,E zone)	706	1,049	1,333	1,323

재조정 및 Y-△기동시 과전류 발생하여 모터를 22 kW에서 30 kW로 교체하고 전선과 MCC 판넬의 차단기, 컨덴서, 마그네트 컨택터 시공·보완하여 송풍기흡입측 정압손실을 줄이는 등 개선한 결과 Figure 8과 같이 제연송풍기의 배출량을 50,000 m³/hr 이상으로 확보하였다.

제연송풍기 제연풍량 확보에 따른 송풍기 정압의 변화율은 Table 7과 Figure 10과 같이 당초 설계보다 FSF-01은 212%, FEF-01은 140%, FSF-02는 125%, FEF-02는 187%의 정압상승이 발생하여 송풍기 흡입측의 정압 손실량이 상당히 증가한 측정결과를 확인할 수 있었다.

3.3 유입풍도와 배출기 흡입 및 배출측 풍도안 속도 측정결과 및 분석

유입(급기송풍기의 흡입측과 배출측)풍도와 배출기의 흡입 및 배출측 풍도안에 대한 속도측정시험은 총 3차례 시행했으며, 시험결과는 Figure 12~14와 같다. 1차 측정시 FEF-02 흡입측 풍도안의 속도는 설계 시 18.62 m/s, 측정시 13.66 m/s로 확인되었으나 정압손실로 인해 제연풍량이 기준에 부족한 36,885 m³/hr로 측정되어 설계를 기준으로

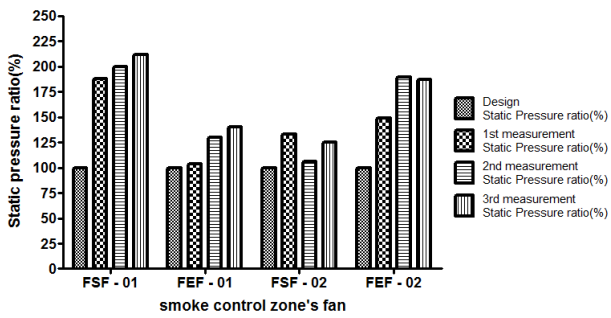


Figure 11. Measurement results of smoke control fan's intake static pressure loss ratio.

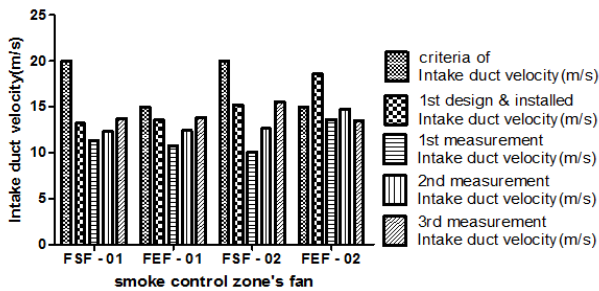


Figure 12. The measurement results of smoke control fan's intake static duct velocity.

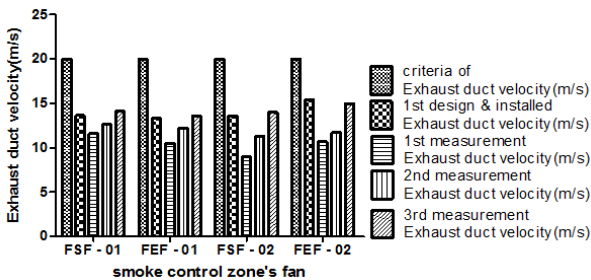


Figure 13. The measurement results of smoke control fan's exhaust duct velocity.



Figure 14. measurement of the duct size, intake and exhaust duct velocity.

시공한 덕트 사이즈(1500×500 mm²)가 협소한 것으로 판단하였다. 1~2차 시험 시 측정된 나머지 풍도도 속도기준은 만족하나 정압손실로 인하여 제연풍량 기준을 모두 만족시키지 못하였다.



Figure 15. C zone fire causes smoke to spread from C zone to B zone (1st test).



Figure 16. The measurement of natural wind and train wind in underground transit passage.

이에 3차 측정을 시행하기 전에 FEF-02 흡입측 풍도의 덕트 사이즈 (1500×700 mm²) 외 다수의 덕트를 확대하여 풍도 내 속도와 풍량을 측정된 결과 모두 기준에 만족하는 결과를 얻어 제연성능을 확보할 수 있었다.

3.4 Smoke test 측정결과 및 분석

Smoke test는 연막탄을 연소시켜 연기감지기가 자동 감지하여 제연설비를 가동되도록 하였다.

1차 테스트에는 C, D zone에 제연구역별 연소시간 1분용 1개씩을 사용하여 연기의 정상흐름을 확인하였고, 2차 테스트에서는 C zone에 연소시간 1분용 3개를 연속으로 태워 총 5분여 동안 본 Smoke test을 시행하였다. 이 때 연기감지기가 감지하여 제연송풍기가 가동되었다. 1차 테스트 결과, Figure 15와 같이 지하도시철도역 승강장과 연결되어 발생한 자연풍, 열차풍 등의 주위 환경영향을 감안하지 않고 자연풍 등의 방향으로 급기하면 C구역 화재 시 연기가 인접구역인 B구역으로 확산되어 제연에 실패하였다. 자연풍 측정 시 지하 환승통로 내 실내온도는 21.3~22.5 °C, 실내기류 방향은 지하도시철도역에서 지상철도역 방향으로 불고 있었다.(외기온도: 26.3 °C, 외기습도: 29%, 기류풍속: 1.8 m/s, 남동풍)⁽¹²⁾

Figure 16과 Table 8과 같이 지하도시철도역 승강장 및 터널로부터 인입되는 자연풍, 열차풍 등의 풍속과 방향을 확인하고 2차 테스트를 실시한 결과 Figure 18과 같이 자연풍 등의 반대 방향에서 급기를 공급하는 방식으로 제연댐퍼(Motor Fire Damper : MFD) 동작 스케줄을 수정하고 시험한 결과 Figure 17과 같이 연기가 인접구역으로 넘어가지 않고 화재실내 C 구역에서 모두 배출완료된 것을 확인할

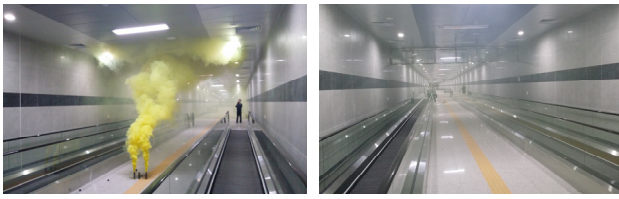


Figure 17. C zone fire causes smoke completely exhaust within C zone (2nd Test).

Table 8. The Measurement of Natural Wind and Train Wind in Underground Transit Passage

Status	Natural Wind Velocity (m/s)				
	A zone	B zone	C zone	D zone	E Zone
Natural Wind Direction	← ← ← ← ←				
Subway Train Non-Service	-	0.2	0.3	0.3	Subway Station
subway Train Enter to Tunnel	1.2	1.3	1.6	1.8	
subway Train Enter to Under -Ground Station Platform	1.9	2.2	2.7	3.1	

수 있었으며 거실제연설비의 성능을 검증할 수 있었다.

4. 결 론

철도 지하 환승통로 거실제연설비에 대한 TAB 실험으로 제연설비의 성능확보에 영향을 미치는 실패요인들을 설계단계에서부터 인지하여 시공단계에서 반영된다면 설계 변경 없이 성능을 확보할 수 있을 것이다. 이를 위해 본 연구에서 수행한 성능평가 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 제연덕트 기밀시험 : 제연덕트 시험범위에 대하여 시스템 누기율을 측정된 결과 4개 구역 모두 최소 0.9~최대 1.4% 이하로 측정됨(기준치인 5% 이하로 문제없음).

(2) 제연송풍기 성능평가의 실패원인 : 좁은 환기기계실 공간으로 인한 송풍기 흡입측 덕트의 정압손실이었음. 유입풍도, 배출기 흡입측 및 배출측 풍도안의 유속은 모두 기준에 만족함에도 불구하고 제연풍량에 미달하고 송풍기흡입측 정압손실은 당초 설계보다 최대 2배이상 커지는 현상이 발생함.

(3) 정압손실 보정방안 : 흡입측 덕트에 터닝베인 설치, 규격미달 흡입덕트 사이즈 확대, 환기구루버 개구율 확장, 모터풀리 재조정, 모터 및 MCC 판넬내 차단기 등 교체를 통하여 당초 설계안에 따른 시공결과보다 커진 정압 확인.

(4) Smoke test : 철도 지하환승통로의 전체 거실제연시스템으로서의 성능에 대한 검증을 확인코자 실시한 결과,

Status	Fan room -1	Smoke control zone's Motor Fire Damper(M.F.D) operation schedule																													
		A zone's M.F.D						B zone's M.F.D						C zone's M.F.D						D zone's M.F.D						E zone's M.F.D					
		SA	EA	SA	EA	SA	EA	SA	EA	SA	EA	SA	EA	SA	EA	SA	EA	SA	EA												
Before	A zone fire	○	x	x	x	○	○	○	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x									
	B zone fire	○	○	○	x	x	x	x	x	○	○	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x									
	C zone fire	○	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	○	○	x	x	x	x	x	x	x									
	D zone fire	○	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	○	○	x									
	E zone fire	○	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	○									
After	A zone fire	○	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x									
	B zone fire	○	○	○	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x									
	C zone fire	○	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x									
	D zone fire	○	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x									
	E zone fire	○	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x									

Figure 18. Improvement of smoke control zone's Motor Fire Damper(M.F.D) operation schedule.

1차 테스트 시 주변 환경을 감안치 않아 실패하였음. 2차 테스트에는 자연풍 등에 대한 주변환경을 고려, 제연담퍼(MFD)의 동작스케줄 조정을 통하여 화재구역내에서 제연 성능이 검증됨을 확인.

하지만 본 연구는 철도 지하환승통로의 거실제연설비에 국한하여 얻어진 결과로 향후 거실제연설비를 설치하는 대공간이나 초고층 건축물 등에 대하여도 반드시 법제화를 통한 거실제연설비 TAB가 실시되어야 할 필요가 있다고 판단된다. 또한 본 연구에서 고려하지 못한 연기의 가시거리와 이용객의 피난시간(RSET)도 고려할 필요가 있다. 그리고 이를 위해서는 거실제연설비에 대한 TAB의 법제화와 본 학회가 주도하는 제연설비(거실 및 특별피난계단 등)에 대한 TAB 절차와 표준품셈이 먼저 수립되어야 한다.

감사의 글

이 논문은 부경대학교 자율창의학술연구비(2015년)에 의하여 연구되었음(과제번호: C-D-2015-0859). 이에 도움을 주신 한국철도시설공단 및 산업체 관계자 여러분들께 감사드립니다.

참 언

이 논문은 제1저자의 2016년 대한설비공학회 부산-울산-경남지회 추계학술발표대회 학술발표논문⁽¹²⁾ 및 부경대학교 산업대학원 공학석사학위논문⁽¹³⁾을 수정, 보완하여 작성되었음.

References

1. Ministry of Public Safety and Security, "Enforcement decree of the installation, maintenance, and safety control of fire-fighting act", Article 15, Table 5. (2017).
2. Ministry of Public Safety and Security, "Fire safety standard of the staircase and ancillary room of special escape stairs's smoke control system (NFSC 501A)".

3. Ministry of Public Safety and Security, "Fire safety standard of smoke control system (NFSC 501)".
4. C. Y. Kim, "System effect factor of duct system TAB", the Society of Air-conditioning and Refrigerating Engineering of Korea (SAREK), Invited Lecture, pp. 31-42 (1995).
5. J. S. Kim, "Pressure distribution of duct system and TAB", the Society of Air-conditioning and Refrigerating Engineering of Korea (SAREK), Invited Lecture, pp. 29-37 (2001).
6. H. C. Jang, T. K. Kim, W. H. P, D. H. Kim, "Study on heat and smoke behavior due to the natural wind and the forced smoke ventilation for the fire in and underground subway station", Journal of Korean Institute of Fire Science & Engineering, Vol.19, No.1, pp. 80-86 (2005).
7. Y. J. Yeo, "Smoke management engineering", Korea Fire Research Institute, Korea (2010).
8. The Society of Air-conditioning and Refrigerating Engineering of Korea(SAREK), "TAB procedure for staircase pressurization system and zone smoke control system(SAREK Standard 601-2013)" (2013).
9. The Society of Air-conditioning and Refrigerating Engineering of Korea(SAREK), "Test code for leakage of HVAC (Heating, Ventilating and Air conditioning) Air Duct (SPS-KARSE B 0016-0178)", Korean Association of Air Conditioning Refrigerating and Sanitary Engineers (2015).
10. Ministry of Land Infrastructure and Transport, "Urban railroad station and transit, convenient facilities design guideline" (2016).
11. "Local detailed observation data (Automatic Weather Station, AWS)", Korea Meteorological Administration, (2016. 5.18., 14:00), (Haeundae-gu, Busan metro) (<http://www.kma.go.kr>).
12. S. K. Seol, J. H. Kim, J. H. Choi, "A Study on smoke control performance evaluation of railway underground transit passage from TAB and hot smoke test", The Society of Air-conditioning and Refrigerating Engineers of Korea (SAREK) Busan, Ulsan, Gyeongnam Branch Annual Conference, pp. 35-36, (2016).
13. S. K. Seol, "A study on the field performance evaluation & improvement of zone smoke control systems for between conventional railway and metro", Master's Thesis, The Graduate School of Industry, Pukyong National University (2017).