大韓建築學會 學術發表論文集
第21卷 第1號 2001年 4月 28日

地下鐵 空調시스템의 吹出 및 排氣 氣流解析에 關한 硏究

A Study on the Supply and Exhaust Air-flow Analysis in the Subway Air-conditioning System

○ 양 치 용* 박 수 진* 이 언 구**
Yang, Chi-Yong Park, Soo-Jin Rhee, Eon-Ku

Abstract

There are three main areas in subway station ; waiting room, platform, and railroad track. Although the passengers spend most of train-waiting time in platform space, the environment of platform space is in a bad condition, such as train wind, air contaminants from the tunnel, etc. This study was conducted to obtain the fundamental informations about the air-conditioning system design problem through the air-conditioning system design investigation and CFD simulation using FLUENT Code. The results of this study showed that the air-conditioning system design of subway station was optimum except exhaust system. And the exhaust system could show better performance if the depth of exhaust chamber were narrower than now.

키워드 : 지하철, 공조시스템, 기류해석
Keywords : Subway, Air-conditioning System, Air-flow Analysis

1 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

서울 지하철은 전체 수송인구의 40% 이상을 부담하는 대표적인 교통수단으로 자리잡고 있으며, 2000년 현재 총 8개 노선이 운행 중에 있다. 지하철 공간은 선로와 승강장, 대합실의 3부위로 크게 구성되며 이 중 지하철 이용객이 가장 많은 시간을 보내고 있는 곳은 승강장 부위라 할 수 있다. 또한, 선로와 인접해 있는 승강장 부위는 선로에서 발생하는 열차풍으로 인해 승강장 공조시스템의 기능이 현저하게 떨어지며, 터널로부터 발생한 다량의 오염물질에 노출될 위험이 있는 것이 현실이다.

본 연구는 지하철 열차풍에 의한 승강장 및 대합실의 공조시스템의 영향을 파악하기 위한 연구의 일환으로서, 먼저 승강장과 대합실의 취출 및 배기기류 설계치를 조사하였으며, 조사결과를 CFD 기법을 이용하여 해석한 후 조사결과와 해석결과를 서로 비교하였다.

본 연구를 통하여 현행 지하철 역사 공조시스템 설계의 문제점을 이해할 수 있을 것이며, 연구결과는 추후 공간내 기류분포 해석과 연계되어 이루어져 열차풍의 영향에 대한 공조시스템의 기능을 전체적으로 평가하게 될 것이다.

1. 2 연구의 내용 및 방법

지하철 역사공조시스템 설계를 이해하기 위해 본 연구에서는 전형적인 상대식역사 형태를 갖춘 M 역사를 선정하여 역사설계 데이터에 대한 조사를 우선적으로 수행하였다.

먼저, 지하철 역사를 대합실과 승강장, 선로로 구분한 후 각 부위의 설계데이터를 수집하여 부위별 취출 및 배기풍량과 풍속을 정리하였다. 또한, 덕트를 통한 취출 및 배기풍속을 CFD 기법을 활용하여 해석하였다.

이후 해석결과를 조사결과와 비교함으로써 현행 지하철 역사 공조설비설계의 문제점을 파악하고 개선을 위한 제언을 서술하였다.

2. 지하철 역사의 공조시스템에 관한 현황조사

2.1 대합실

지하철 역사의 설비시스템은 크게 승강장의 환기설비와 대합실의 환기 및 공조설비로 나눌 수 있다. 최근 건설된 신축역사의 경우, 대합실 및 승강장의 냉방을 위하여 공조설비를 갖추고 있으나, 대상역사인 M 역사의 경우 약 20년 전에 건설되었음에 따라 냉동기와 냉각탑 등 냉방설비는 갖추어지지 않은 것으로 조사되었으며, 현재 냉방설비에 대한 설계가 마무리되어 시공을 준비중에 있는 것으로 파악되었다.

대상역사의 환기설비에 대한 자료를 검토한 결과, 대합실과 승강장의 환기를 위하여 지하1층 대합실 양 단부에 2개의 환기실을 설치하여 운영하고 있는 것으로 나타났다. 양 단부의 환기실은 전체 역사를 크게 2개의 Zone으로 구획하여 각각의 Zone을 담당하고 있었으며, 장변방향으로 대합실 중앙부에서 급기를 하고, 벽면부에서 배기를 하는 시스템을 갖추고 있었다. 또한, 좌우측 환기실 내에는 차후 냉

* 정회원, 중앙대 대학원 건축학과 석사과정
** 정회원, 중앙대 건축학과 교수, 건축학박사

방설비를 위한 공조기가 1대씩 설치되어 있었으며, 공조기 내 송풍기의 용량은 대합실 좌측 35,700CMH, 대합실 우측 29,940CMH로 각각 조사되었다.

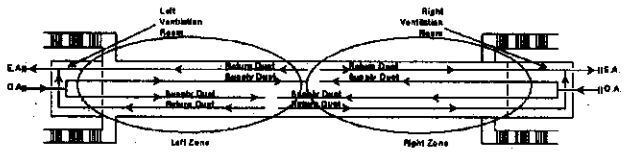


그림1. 대상역사의 담당 Zone별 환기계통

지하1층 대합실에는 천장에 원형 취출구와 각형 흡입구를 5m 간격으로 38열 설치하여 환기를 수행하고 있었으며, 전기실과 탈의실, 주방 등은 흡입구를 설치하지 않고 배기덕트에 직접 연결하여 배기하고 있었다.

표1. 대상역사 대합실의 공간별 급기 및 흡입풍량

좌측 환기실(급기)				좌측 환기실(흡입)			
풍량 (m^3/h)	직경 (mm)	수량	담당공간	풍량 (m^3/h)	크기 (WxD)	수량	담당공간
960	250	30	대합실	1,970	1,200x200	14	대합실
690	250	1	매표소	690	500x200	1	매표소
480	200	1	대기실	480	450x150	1	대기실
940	250	2	역무실	940	600x200	2	역무실
670	250	1	승차권창고	670	400x200	1	승차권창고
760	250	2	침실	770	500x200	2	침실
180	150	1	탈의실	740	500x200	1	휴게실
400	200	1	창고				
740	250	1	휴게실				
우측 환기실(급기)				우측 환기실(흡입)			
풍량 (m^3/h)	크기	수량	담당공간	풍량 (m^3/h)	크기	수량	담당공간
960	250	30	대합실	1,970	1,200x200	14	대합실
5,000	1,000x500	2	전기실	690	500x200	1	매표소
690	250	1	매표소				

2.2 승강장

지하2층 승강장의 경우, 대합실 양 단부 환기실에 설치된 45,000CMH 용량의 송풍기 2대를 이용하여 승강장의 급기를 하고 있었으며, 대합실과 동일한 형태로 좌측 Zone과 우측 Zone으로 나누어 각각의 공조기가 해당 Zone을 담당하고 있었다. 양 방향 총 76개의 취출구가 천장에 설치되어 있으며, 설계상으로는 모든 취출구에서 동일한 1,125CMH의 풍량이 취출되는 것으로 되어 있었다.

표2. 승강장 급기구 풍속 및 풍량

승강장 급기구	
크 기	400(mm) x 200(mm)
수 량	76개
단위풍량	1,125CMH/개
총 급기풍량	85,500CMH
평균풍속	3.9m/s

2.3 선로

승강장의 선로는 터널에서 발생한 오염물질과 열차발열, 그리고 열차진입시 강한 기류가 승강장으로 유입될 수 있는 매개공간이라 할 수 있다. 대상역사에서는 앞서 살펴본 승강장의 90,000CMH의 급기풍량과 함께 선로상부 72개의 각형 취출구와 328개의 Line Diffuser를 통해 72,000CMH와 61,500CMH의 풍량을 취출한 후 205,200CMH의 풍량을 선로 하부에서 72개의 배기구를 통해 배기함으로써 공간내의 압력을 유지하고 있었다.

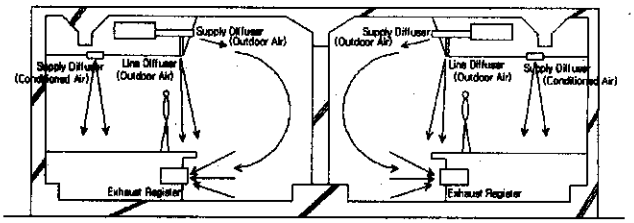


그림2. 승강장과 선로의 환기설비 개념

선로와 승강장의 경계부분에 설치된 Line Diffuser는 열차발열 및 기류의 영향을 최소화하는 역할을 하기 위해 선로 상하부의 급배기 방식과 더불어 사용되고 있었다.

표3. 선로 상하부 급배기 풍속 및 풍량

	상부 급기구		하부 배기구
	각형 취출구	Line Diffuser	
크기	500x150	1,200x19	800x400
수량	72개	328개	72개
풍량	1,000CMH/개	187.5CMH/개	2,850CMH/개
총 풍량	72,000CMH	61,500CMH	205,200CMH
평균풍속	3.7m/s	2.2m/s	2.5m/s

3. CFD를 이용한 지하철 공조시스템의 기류해석

3.1 CFD 해석의 개요

공간의 유체유동 혹은 오염물질의 거동을 분석하고 예측하는 데에는 일반적으로 전산유체역학(CFD:Computational Fluid Dynamics)을 이용한 해석을 사용한다. CFD 해석은 해석하고자 하는 공간을 미세한 격자로 분할하여 각 격자에서의 유체의 물리적 거동이 인접격자에 미치는 영향을 수치적인 알고리즘을 활용하여 반복계산함으로써 공간 전체의 물리적 거동을 하나의 특정 해로 수렴시키는 방식의 해석법이다. 따라서 CFD 해석은 대상모델의 형상에 따른 내부공간의 격자형성 및 유체의 유동에 적절히 대응할 수 있는 격자의 적절한 배열이 결과치의 정확도에 영향을 미치는 가장 중요한 변수가 될 수 있다.

본 연구에서는 현행 공조설비 및 실내기류해석에 널리 사용되고 있는 FLUENT 프로그램을 이용하여 대상부위의 기류를 해석하였다.

3.2 유동의 기본 지배방정식 및 난류모델

유체의 유동을 지배하는 기본방정식은 질량 및 에너지보존의 법칙에 근거하고 있으며, 크게 연속방정식, 운동방정

식, 에너지방정식으로 구별된다. 또한, 유동이 난류를 형성하는 경우, 별도의 난류모델이 필요하게 되며, 유동의 특성에 따라 다양한 난류모델이 개발되어 있다. CFD 해석에 사용된 지배방정식 및 난류모델을 표4.에 정리하였다.

표4. CFD 해석 지배방정식 및 난류모델

지배방정식	연속방정식	$\frac{\partial u}{\partial x}+\frac{\partial v}{\partial y}+\frac{\partial w}{\partial z}=0$
	운동방정식	$\rho(\frac{\partial u}{\partial t}+u\frac{\partial u}{\partial x}+v\frac{\partial v}{\partial y}+w\frac{\partial w}{\partial z})+\frac{\partial p}{\partial x}$ $=\mu(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 u}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 u}{\partial z^2})+g_x\rho$
	에너지방정식	$\rho C_p(\frac{\partial T}{\partial t}+u\frac{\partial T}{\partial x}+v\frac{\partial T}{\partial y}+w\frac{\partial T}{\partial z})$ $=\lambda(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 T}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 T}{\partial z^2})+Q$
난류모델 k-ε		$\rho\frac{D_k}{D_t}=\frac{\partial}{\partial_{x_i}}[(\mu+\frac{\mu_t}{\sigma_k})\frac{\partial_k}{\partial_{x_i}}]+G_k+G_b-\rho\varepsilon-Y_M$ $\rho\frac{D_\varepsilon}{D_t}=\frac{\partial}{\partial_{x_i}}[(\mu+\frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon})\frac{\partial_\varepsilon}{\partial_{x_i}}]+C_{1\varepsilon}\frac{\varepsilon}{k}(G_k+C_{3\varepsilon}G_b)$ $-C_{2\varepsilon}\rho\frac{\varepsilon^2}{k}$ $C_{1\varepsilon}=1.44,\ C_{2\varepsilon}=1.92,\ C_\mu=0.09,\ \sigma_k=1.0,\ \sigma_\varepsilon=1.3$

3.3 해석대상 시스템 및 경계조건

본 연구에서 해석의 대상은 대합실 및 승강장의 공조 및 외기 취출덕트와 배기덕트로 하였으며, 역사의 공조 및 환기가 대칭으로 이루어짐에 따라 좌측 공조실에서 부담하는 부위만을 해석하였다.

승강장과 대합실의 취출 및 환기덕트의 경우 등마찰법을 이용하여 송풍기로부터 멀어질수록 덕트의 단면이 축소되는 형태로 설계되어 있었다. 그러나, 선로 배기덕트의 경우, 승강장 하부공간 전체를 덕트로 사용하고 있었으며, 배기구에 register를 채택하여 배기기류를 제어하고 있었다. 그러나, register는 설치 이후 유지관리상태에 따라 그 기능이 차이를 발생시킬 수 있고, 현재 지하철 역사의 배기구 유지관리가 제대로 이루어지지 않고 있다는 점을 고려할 때 배기량 측면에서 문제점을 내포하고 있음을 예상할 수 있었으며, 이와 동시에 대규모의 승강장 하부공간 전체를 배기의 용도로만 사용한다는 측면에서 공간의 유용성 및 경제성이 다소 떨어짐을 유추할 수 있었다.

표5. 해석 경계조건

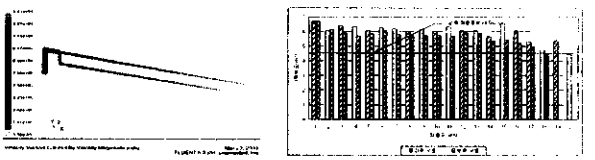
		단면적 (m^2)	풍속 (m/s)	단위풍량 (CMH/ea)	급배기구 수 (ea)	풍량 (CMH)
대합실	취출 (4.5m/s)	2.08	4.72	930	38	35,360
	환기 (2.3m/s)	1.8	5.18	1,767	18	33,580
승강장	공조취출 (3.9m/s)	0.9	11.8	1,125	34	38,520
	외기취출 (3.7m/s)	0.9	11.1	1,000	36	36,000
	배기 (2.5m/s)	1.0	15.8	2,850	20	57,000

해석대상 부위의 경계조건은 설계도면에 표현된 값을 근거로 입력하였으며, 표5.에 경계조건을 정리하였다.

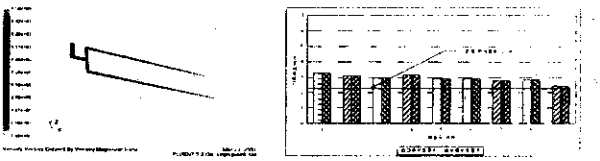
3.4 해석결과

(1) 대합실 및 승강장 취출·환기기류

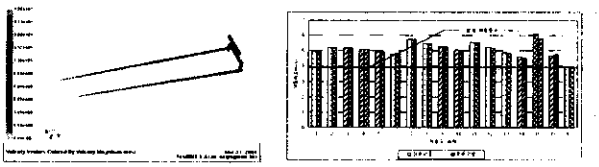
대합실과 승강장의 취출구 및 환기구의 풍속을 해석한 결과와 설계치를 그림3.에 정리하였으며, 그림3.으로부터 해석결과는 설계치와 거의 유사함을 알 수 있다. 단, 해석치가 설계치보다 약간 높은 현상을 보이는데 이러한 차이는 해석의 용이함을 위해 덕트의 굴곡을 단순화한 부분에서의 저항차이 때문으로 판단된다. 따라서, 지하철 역사 승강장과 대합실의 공조설비설계를 통한 역사공간의 해석을 수행할 경우, 공간의 경계조건으로 설계치를 적용할 수 있음을 확인하였다.



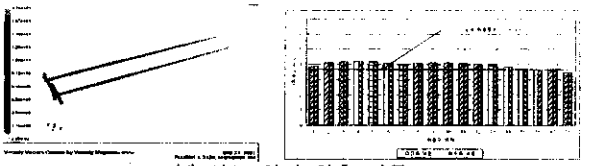
(a) 대합실 공조 취출 기류



(b) 대합실 공조 환기 기류



(c) 승강장 공조 취출 기류



(d) 선로 외기 취출 기류

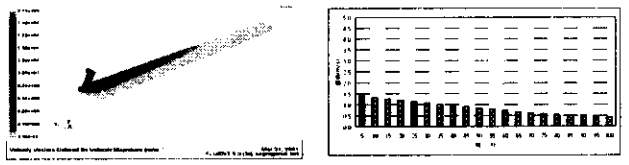
그림3. 대합실 및 승강장 취출·환기기류 해석결과

(2) 선로 배기기류

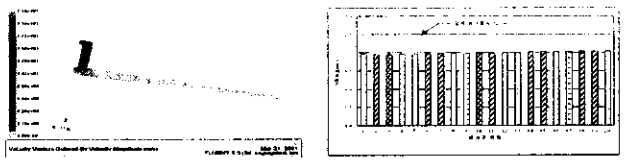
선로 배기구의 경우, 앞서 언급한 바와 같이 register를 적절히 관리하지 못한다면 그림4.(a)와 같이 덕트내 풍속의 차이를 가져옴을 알 수 있었다. 즉, register를 통하여 fan으로부터 가까운 곳에 더욱 큰 저항을 줌으로써 전체 공간으로부터 균일한 기류를 배기할 수 있는 것이 register 설치의 장점이라 할 수 있으나, 관리가 잘 이루어지지 않는 경우 풍속의 차이가 심하게 나타남을 알 수 있다.

한편 기존 설계안의 경우, 선로에 면한 배기구 부위의 면풍속은 일정하게 균일한 값을 유지함을 알 수 있었다. 그러나, 이러한 균일한 풍속은 배기fan으로 직접 배기되는 기류

라기보다는 승강장 하부공간이 난류를 유발할 수 있는 큰 공간임에 따라 덕트 내부에서의 와류로 인한 유인효과 때문이라 볼 수 있으며, 이것은 전반적인 면풍속이 설계치 이하의 낮은 수치를 보이는 것에서도 알 수 있다. 따라서 본 연구에서는 승강장 하부공간의 단면을 기존 6m 깊이에서 2m 깊이로 축소하여 동일한 배기fan 풍속조건에서 시뮬레이션을 수행하였다. 승강장 하부공간 즉, 배기덕트를 축소한 경우의 해석결과를 그림5.에 나타내었다.

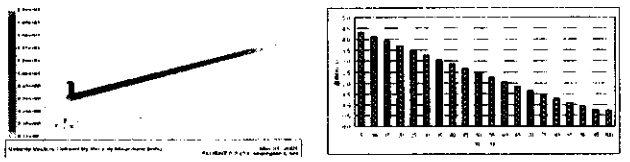


(a) 선로 배기덕트 내부풍속

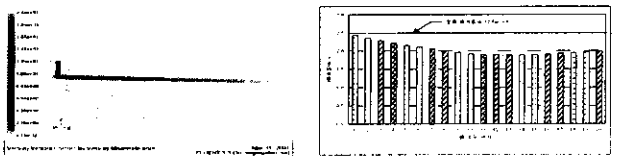


(b) 선로 배기덕트 배기구 면풍속

그림4. 선로 배기기류 해석결과 - 기존안



(a) 선로 배기덕트 내부풍속



(b) 선로 배기덕트 배기구 면풍속

그림5. 선로 배기기류 해석결과 - 단면축소안

그림5.로부터 기존 6m 폭의 배기덕트 단면을 2m 폭으로 축소한 경우, 선로에 인접한 배기구 단면에서의 면풍속은 앞서 해석한 덕트 내의 풍속결과와 패턴은 유사하지만 단면축소로 인해 풍속이 상당히 증가했음을 알 수 있다. 또한, 면풍속의 경우 그림4(b).에서는 배기fan의 위치와 무관하게 일정한 값을 나타낸 반면, 그림5(b).에서는 설계치에 근접하면서 배기fan에 가까운 곳의 풍속이 높게 나타나는 형태의 결과를 보여 주었다. 이로부터 그림5(b).에서는 와류의 영향이 아닌 실제 배기fan의 압력에 의해 선로의 공기가 흡입되고 있음을 알 수 있으며, 덕트의 깊이가 지나치게 넓을 경우 오히려 필요한 만큼의 배기량을 얻을 수 없음을 알 수 있었다. 따라서 승강장 하부공간의 크기를 줄임과 동시에 적절히 register를 운영한다면 설계시 의도한 배기효과를 얻을 수 있으리라 판단된다. 또한, 현재 덕트용도로 과다하게 정해진 승강장 하부공간의 일정부분을 지하수 저장시설 등 역사에서 필요로 하는 다른 용도로 활용한다면 지하철 역사의 건설과 유지관리 측면에서 보다 경제적일 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 대상역사의 환기설비에 대한 자료를 검토한 결과, 전체 역사를 크게 2개의 Zone으로 구획하여 역사 양 단부의 환기실에서 각 Zone을 담당하고 있는 것으로 조사되었으며, 송풍기의 용량은 대합실 좌측 35,700CMH, 대합실 우측 29,940CMH로 각각 조사되었다.

(2) 대상역사에서는 승강장 부위에 90,000CMH의 공조공기와 133,000CMH의 외기를 상부에서 취출한 후 선로 하부에서 205,200CMH의 풍량을 배기함으로써 공간내의 압력을 유지하고 있는 것으로 조사되었다.

(3) 대합실과 승강장의 취출구 및 환기구의 풍속을 해석한 결과, 설계치와 거의 유사한 결과를 보여줌에 따라 지하철 역사 승강장과 대합실의 공조설비설계를 통한 역사공간의 해석시 공간의 경계조건으로 설계치를 적용할 수 있음을 확인하였다.

(4) 선로에 직접 면한 배기구 부위의 면풍속은 대규모의 승강장 하부공간 덕트에서 발생하는 난류로 인한 유인효과로 인해 균일한 분포를 나타내었으나, 전반적으로 설계치 이하의 낮은 풍속을 보였다.

(5) 기존 6m 폭의 배기덕트 단면을 2m 깊이로 축소한 경우의 해석결과, 와류의 영향이 아닌 실제 배기fan의 압력에 의해 선로의 공기가 흡입되고 있음을 알 수 있었으며, 승강장 하부공간의 크기를 줄임과 동시에 적절히 register를 운영한다면 설계시 의도한 배기효과를 얻을 수 있으리라 판단된다.

(6) 현재 덕트용도로 과다하게 정해진 승강장 하부공간의 일정부분을 지하수 저장시설 등 역사에서 필요로 하는 다른 용도로 활용한다면 지하철 역사의 건설과 유지관리 측면에서 보다 경제적일 것으로 판단된다.

본 연구는 지하철 열차풍에 의한 승강장 및 대합실의 공조시스템의 영향을 파악하기 위한 연구의 일환으로 이루어졌으며, 추후 공간내 기류분포 해석을 수행하여 열차풍의 영향에 대한 공조시스템의 기능을 전체적으로 평가한 후 지하 전철구간의 환경성능을 개선할 수 있는 방안을 마련하고자 한다.

참고문헌

1. 서울시립대학교 외, 지하 전철구간의 환경관리방안 및 오염도 저감에 관한 연구-1차년도 중간보고서, 건설교통부, 2000.
2. 서울지하철공사, M-역사 설계도면, 1982
3. FLUENT, GAMBIT User's Guide, 1998.
4. FLUENT, FLUENT User's Guide, 1998.