

지하도 상가와 지하 역사 연계구에서 열차풍 발생 특성에 관한 실험적 연구

이 홍 철**, 황 인 주*

*한국건설기술연구원 화재 및 설비연구부

An Experimental Study on the Characteristics of Train-Wind in Underground Shopping Center Connected to Subway Station

Hong-Cheol Lee**, In-Ju Hwang*

ABSTRACT: The characteristics of train-wind in the underground shopping center(UGSC) connected to subway station is investigated by field measurement for the case of train movement such as arrival and departure, etc. Also air curtain installed at the pass way between underground shopping center and subway station were considered as the parameter in order to analysis the effect on indoor air quality and thermal condition. The measurement data such as velocity, relative humidity, wind-pressure were plotted as quantity variation with time scale. The train-wind affected wind velocity, air pressure and relative humidity at the connecting area of underground shopping center and subway station, and the variation was about 4.5 m/s, 8%, 40 Pa. Also the result showed that the air curtain is not proper to reduce influence of train-wind

Key words: Underground shopping center(지하도상가), Indoor air quality(실내환경), Train-wind(열차풍), Air-curtain(에어커튼)

기 호 설 명

- T : 온도, °C
- p : 풍압, Pa
- t : 시간, sec
- v : 풍속, m/s
- A : 지하철 진행방향(역사→상가)
- B : 지하철 진행방향(상가→역사)
- 1 : 열차 도착 메시지 발령 시점
- 2 : 지하철 선두 승강장 진입 시점
- 3 : 지하철 정차 시점
- 4 : 지하철 발차 시점

5 : 지하철 후미 승강장 진출 시점

1. 서 론

지하도 상가는 과밀화된 도심의 입체적 도시 공간 활용을 위하여 건설된 지하가 형태의 상가로서 지상 출입구를 제외하면 외부와 차단된 밀폐된 공간으로 쾌적한 실내 환경 조성 및 방재·안전성 확보가 무엇보다 중요하다.

일반적으로 지하 상가는 의류, 잡화, 음식 등을 취급하고 있어 내부에서 발생하는 열 및 휘발성유기화합물, 일산화탄소 등 다양한 실내 오염물질의 배출이 중요하다. 특히 지하도 상가의 경우 대부분이 지상의 도로, 지하철 등에 연계되어 있어 외부로부터 유입되는 미세먼지, NO₂ 등 외부 오염물질의 유입에 취약하다.

† Corresponding author
Tel.: +82-31-910-0258; fax: +82-31-910-0381
E-mail address: hclee@kict.re.kr

일부의 지하도 상가에서는 내부 열 및 공기환경의 안정성을 확보하고 내부 오염물질의 안정적 배출을 위하여 외부 연계구에 출입문, 에어커튼 등의 보조 장치를 설치하고 있으나 그 효과에 대한 검증이 미비하다.

현재 지하공간의 실내 환경에 관한 실험적 연구로서 관계기관이나 학회를 중심으로 지하 공간 내부 포름알데히드, 미세먼지, 이산화질소, 라돈 등 실내 오염도 측정 및 조사에 관한 연구⁽¹⁻³⁾, 실내 공기질 평가와 함께 통행자 및 재실자의 실내 공기질 만족도, 인식에 관한 연구⁽⁴⁾가 수행되었다.

또한 실내 공기연령 등 정량적 척도를 이용한 실내 공기질의 해석적 평가에 관한 연구⁽⁵⁻⁸⁾ 등이 수행되었다.

열차풍과 관련하여 지하 역사에서 발생하는 열차풍의 특성 및 영향에 관한 연구, 열차풍 저감 방안에 관한 연구⁽⁹⁻¹⁰⁾가 다수 수행되고 있다.

다만 지하도 상가 대부분이 역사, 지상 도로와 연계되어 있음에도 불구하고 열차풍 유입 특성, 영향력 분석, 외부 영향에 따른 실내 환경 변화 등에 대한 연구 사례가 전무한 상태이다.

이에 본 연구에서는 지하 역사에서 발생한 열차풍이 지하도 상가의 공기 및 열환경에 미치는 영향을 검토하기 위하여 지하 역사와 지하도 상가를 연결하는 통로 경계면에서 풍속, 풍압, 온도, 습도를 측정하였다.

이때 열차의 진행방향, 진행상태 및 에어커튼의 설치 유무에 따라서 다양한 측정조건을 설정하였으며, 측정된 데이터를 분석하여 지하도 상가의 공기질, 열환경 변수로서 경계면에서의 열차풍 거동특성을 분석하였다. 또한 에어커튼의 적용에 따른 실효성 평가를 수행하였다.

2. 실험대상 및 방법

2.1 지하도 상가

지하도 상가는 건설장소에 따라 빌딩 지하, 지하 통행로, 역사 등과 연계된 지하상가로 구분되며, 사용 용도에 따라 단순 통행 위주의 지하도 상가, 쇼핑물 위주의 지하도 상가로 구분할 수 있다.

또한 기하학적 형상에 따라 장방형, 교차형 등이 있으며 이러한 지하도상가의 변형 형태로서 집



Fig. 1 The example of plane figure of underground shopping center

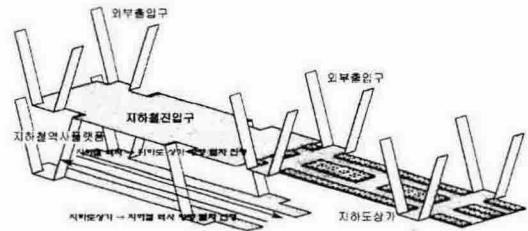


Fig. 2 The schematic diagram of underground shopping center connected to subway station

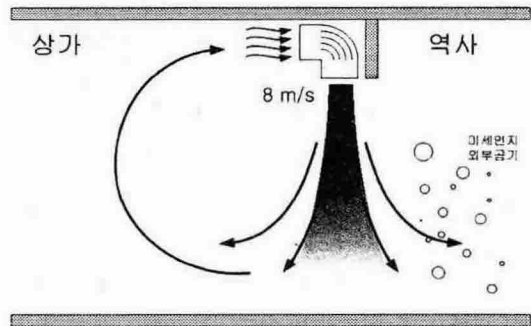


Fig. 3 The concept diagram of air-curtain at the connecting area between UGSC and subway station

중형 지하도 상가 등의 분류가 가능하다.

이 중 지하철 역사와 연계된 지하도 상가의 경우 양방향 지하철 배차간격을 고려할 때 양방향 1~2분 전후로 빈번하게 발생하는 열차풍의 피스톤 효과에 의한 실내 열 및 공기환경의 교란이 예상되어지며, 이에 따른 미세먼지의 유입 실내 공조의 손실 등 실내 환경 악화가 예상되어진다.

Fig. 3은 지하 역사 연계구의 열차풍 유입 차단을 위하여 설치된 에어커튼의 운전 개념을 도시하

고 있는 그림으로 일반적으로 8~12 m/s로 분출되는 수직 기류를 이용하여 외기의 유입을 차단하고 있다.

이에 본 논문에서는 서울 도심에 위치하고 있는 J 지하도 상가를 대상으로 역사 연계구에서의 열차풍 특성을 측정, 분석 하였다.

2.2 측정장치

지하도상가 유입 열차풍 측정을 위하여 온도, 습도, 압력, 풍속, 조도 등의 센서를 연결하여 1 sample/sec 간격으로 기록 가능한 DeltaOHM사의 DO9847 다기능 측정기를 이용하였으며, 절연 RS-232C 통신을 이용하여 노트북과 연계하여 측정 결과의 현장 확인 및 저장된 데이터를 분석할 수 있도록 하였다.

풍속의 측정을 위하여 0~40 m/s 범위에서 0.01 m/s 단위의 특정이 가능하고 주 측정 범위 1~10 m/s에서 ± 0.2 m/s의 정밀도를 갖는 DeltaOHM사의 AP471S1 열선풍속계를 이용하였다. 온도, 상대습도의 측정을 위하여 0~100%의 범위에서 0.1% 단위의 측정이 가능하고 $\pm 2\%$ 의 정밀도를 갖는 Capacity 타입의 습도계 및 -50~200°C의 범위에서 0.1°C 단위 측정 및 $\pm 0.1^\circ\text{C}$ 의 정밀도를 갖는 PT100 온도센서를 내장한 DeltaOHM사의 MK-33 온습도계를 이용하였다.

2.3 측정방법

지하도 상가의 열차풍 유입특성을 측정, 분석하기 위하여 앞에 언급한 것과 같이 서울 도심에 위치하고 있는 J 지하도 상가를 대상으로 측정하였다. J 지하도 상가의 경우 Fig. 2에 도시한 것과 같이 지하 2층의 구조로서 지하 1층에 지하도 상가와 승강장 진입 통로가 위치하고 있으며, 지하 2층에 지하철 승강장이 위치하고 있다.

지하도 상가는 지상 출입구 및 지하 역사 플랫폼으로 연결되어지는 연결 통로와 연계되어 지하 역사에서 발생하는 열차풍은 승강장과 계단을 통하여 지하도 상가에 유입된다.

지하철의 진입, 발차에 따른 열차풍 측정에 있어서 지하 역사에서 지하도 상가 방향으로 진행되는 경우(A)와 지하도 상가에서 지하 역사 방향으로 진행되는 경우(B), 교행하는 경우(AB) 및

에어커튼의 가동 유무에 따라 구분하였다.

또한 지하 역사에 지하철 선두 부분이 유입하는 시기(2), 승강장에 도착하여 정차하는 시기(3), 승강장에서 출발하는 시기(4), 지하철 후미 부분이 승강장을 빠져나가는 시기(5)를 각각 구분하였으며, 지하철이 승강장 진입 전 피스톤 효과에 의한 열차풍이 발생 검토를 위하여 지하철 도착 알림 메시지(곧 지하철이 도착하오니, 승객께서는 한 걸음 물러서 주십시오)가 통보되는 시점(1)을 구분하였다.

이 지하철 도착 알림 메시지는 지하철의 역사 진입 전 철로 2궤도 이전 위치에서 발령하는 것으로서, 지하철의 정차 및 승강장의 승객 대응 시간을 고려하여 일반적으로 지하철 역사 도착 250~300 m 이전 위치에서 발령하게 되며, 열차 진입 이전의 열차풍 발생에 대한 객관적 지표로서 적절한 것으로 판단되어진다.

열차풍 측정 중 열차의 도착 및 발차에 소요되는 시간은 열차의 운행 간격 등에 따라 일정하지 않았으나, 일반적으로 지하철 도착 메시지 이후 20~40초 후 지하철 선두가 지하철 승강장에 진입을 시작하였으며, 정차 및 발차에 소요되는 시간은 각각 30초, 20초 정도가 소요되었다.

3. 결과 및 고찰

Figures 4~6은 에어커튼이 운전되지 않는 경우에 열차풍을 평가하기 위하여 지하 역사와 지하도 상가 연결 통로 경계면에서 측정된 풍속, 온도와 습도를 도시한 결과이다.

Fig. 4는 역사에서 상가 방향(A)으로 열차가 진입하는 경우로서 열차 도착 메시지 이후 열차 진입과 열차의 발차에 따라 각각 3 m/s, 4 m/s의 열차풍이 발생하고 있다.

전반적으로 열차풍의 유입, 유출에 따라 측정 지점의 상대습도 및 풍압이 각각 7~8%, 0.4 hPa 변화하고 있는 것을 알 수 있다. 다만 열차풍의 유입에 따른 온도의 변화는 1°C 내외로 비교적 작게 나타나고 있다.

이는 측정 지점과 지하철 승강장 사이 10 m 내외의 최단 거리를 통하여 지하철 철로 주변의 저온 다습한 기류가 직접적으로 유입되고 있음을 반영하고 있다. 또한 열차의 발차 시점에서 기류 역전 현상과 함께 상대습도의 저하가 발생하고

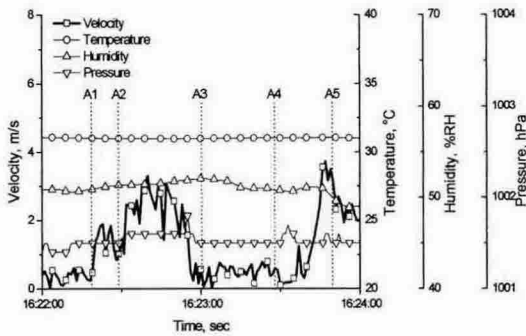


Fig. 4 The characteristics of train-wind by the train movement A without air-curtain

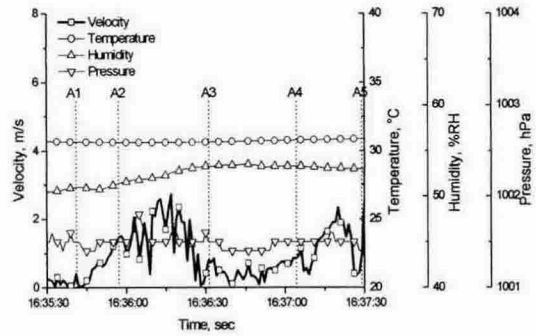


Fig. 7 The characteristics of train-wind by the train movement A with air-curtain

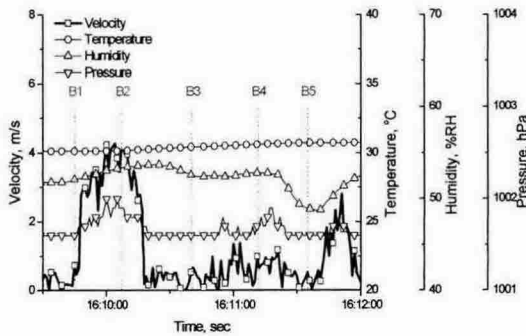


Fig. 5 The characteristics of train-wind by the train movement B without air-curtain

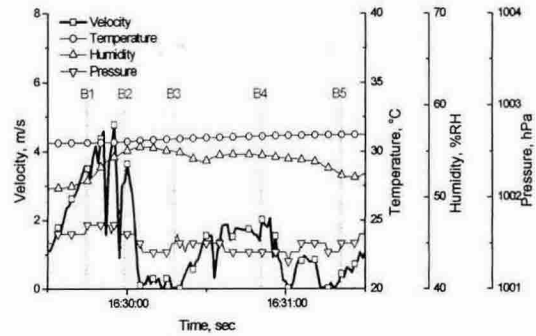


Fig. 8 The characteristics of train-wind by the train movement B with air-curtain

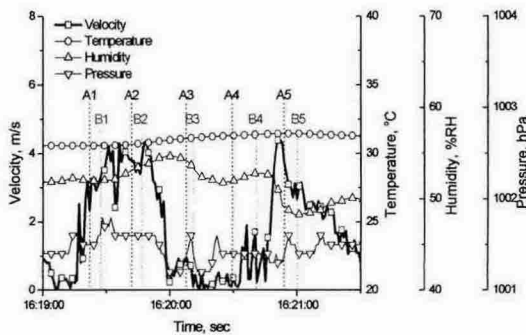


Fig. 6 The characteristics of train-wind by the train movement AB without air-curtain

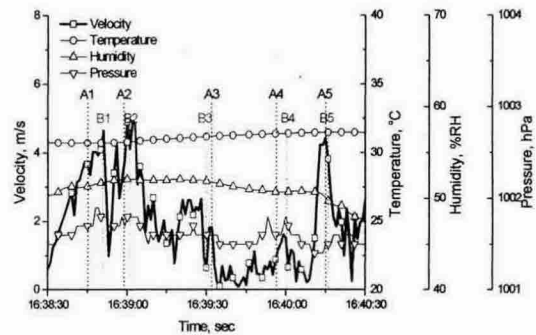


Fig. 9 The characteristics of train-wind by the train movement AB with air-curtain

있다.

Fig. 5는 상가에서 역사 방향(B)으로 열차가 진행되는 경우의 열차풍 유입을 도시하고 있는 결과로서 역사에서 상가 방향(A)으로 열차가 진행되는 경우와 정성적으로 일정한 열차풍이 발생

하고 있으나 열차의 진입에 따라 최대 4 m/s의 열차풍이 발생하고 있다.

열차풍의 유입시간은 Fig. 4에 도시한 열차의 A방향 진입시 유입시간 약 1분에 비하여 비교적 짧게 나타나고 있으며, 열차의 발차에 따른 열차

풍의 발생은 비교적 작게 나타내고 있다.

Fig. 6은 지하철의 양방향 교행에 따른 열차풍 유입 특성을 도시하고 있는 것으로서 열차의 진입, 진출 시기에 모두 4.0~4.5 m/s 정도의 비교적 큰 열차풍이 발생하고 있으며, 지하도상가 실내 환경 악화의 대표적 경우이다.

이 경우 경계면에서의 상대습도가 $\pm 4.0\%$ 증가, 감소를 반복하고 있어 단시간에 최고 8%의 상대습도 변화가 발생하고 있다.

Figures 7~9는 에어커튼 운전에 따른 열차풍 특성을 평가하기 위하여 지하 역사와 지하도 상가 경계면 열차풍 특성을 도시하고 있는 그림으로 정성적으로 Figs. 4~6에서와 유사한 유동 특성을 보이고 있다.

Fig. 7은 지하 역사에서 지하도 상가 방향(A)으로 열차가 진입하는 경우의 열차풍 특성을 도시하고 있는 그림으로 메시지가 발령되는 시점(A1)에서 정차 시점(A3)까지 1~2.5 m/s의 열차풍이 발생하고 있으며, 열차의 발차시기(A4)에 2 m/s 내외의 열차풍이 발생하고 있다.

Fig. 8의 경우 지하도상가에서 지하철역사 방향(B)으로 지하철이 진입에 따른 열차풍 특성을 도시하고 있는 그림으로 열차의 진입에 따라 4 m/s, 0.45 hPa 전후의 열차풍이 발생하고 있다.

Figures 7~8과 Figs. 4~5를 에어커튼의 적용 유무를 기준으로 비교시 열차의 발차 시기의 열차풍이 크게 감소하고 있는 것에 반하여 열차풍의 열차의 진입에 따른 열차풍의 경우 큰 차이를 나타내지 않고 있다. 이는 일정 수준 이상의 열차풍, 외기에 대한 에어커튼의 효과가 미비함을 나타내고 있다.

Fig. 9는 역사에서 열차가 교행하고 있는 과정에서의 열차풍 유입 특성을 도시하고 있는 그림이다.

열차의 교행에 따라 에어커튼이 운전되고 있음에도 불구하고 진입, 발차 과정에서 약 4 m/s의 열차풍이 발생하고 있으며, 7%, 1.2°C 전후의 상대습도, 온도 변화가 발생하고 있다.

이는 Fig. 6의 에어커튼 운전 이전 열차풍 유입특성과 비슷한 수준으로 이 경우 에어커튼의 적용효과가 미비하게 나타나고 있음을 알 수 있다.

다만, 열차 진출 시기(A5, B5)의 열차풍이 fig. 6에서 완만히 감소하여 장시간 발생하고 있는 것

에 반하여 Fig. 9의 에어커튼 설치 이후 일정 시점 이후 급격히 감소하고 있음을 알 수 있다.

이는 일정수준 이상의 열차풍 또는 외기 유입에 대하여 에어커튼이 효과가 미비함을 나타내고 있다.

지하 역사와 지하도 상가 경계면에서 매 분 간격으로 유입·유출되는 열차풍 발생 특성은 공조 설계 기준으로 활용되어지고 있는 설비편람(대한설비공학회)에서 제시하고 있는 실내 기류 기준 0.5 m/s의 8배에 수준으로 인근 통행자 및 입점업체의 쾌적성을 크게 저하시킬 것으로 판단되어진다.

4. 결론

이상과 같이 J 지하도상가의 현장 측정 사례를 바탕으로 지하철 도착 및 발차에 따른 열차풍이 지하도 상가에 미치는 영향을 평가하였으며, 다음과 같은 결론을 파악하였다.

지하 역사와 지하도 상가 경계면에서의 열차풍 발생 특성을 열차의 진행 방향 및 진행 상태에 구분하여 검토하였으며, 프로파일을 파악하였다.

지하철의 배차 간격에 따라 지하철역사 연계구에서 4 m/s 전후의 열차풍이 1분 이내의 간격으로 교차하고 있으며, 열차 풍압 및 상대습도가 40 Pa, 8% 전후에서 변화하고 있어 열차풍이 지하도상가의 공기 및 열환경에 미치는 영향이 큼을 파악하였다.

열차풍의 영향을 줄이기 위한 방안으로 에어커튼의 효과는 매우 미비함을 파악하였으며, 보다 근본적인 해결 방안으로 스크린 도어 등의 설치가 필요한 것으로 판단된다.

후 기

본 연구는 건설교통부(한국건설교통기술평가원)에서 지원하는 2003년도 산학연공동연구개발사업인 “지하공간 환경개선 및 방재기설 연구”의 일환으로 수행되었음을 알립니다.

참고문헌

1. B. S. Son, B. K. Jang, 2000, Concentration of

- NO₂, and SO₂ Underground Shopping Center in Chon-An City, Korean J. Sanitation. Vol. 15, No. 1, pp. 102-108.
2. J. H. Kim, 2001, Assessment of Indoor air Quality in Underground Shops, Wonkwang Univ, A thesis for a degree of doctor.
 3. H. J. Chung, S. H. Baek, J. H. Kim, 2001, Study on Air Quality Assessment and Awareness for Passersby and Workers in underground Shops in Daejeon Area, J. Korean. Soc. of Environment Administration Vol. 7, No. 1, pp. 87-105.
 4. C. Y. Chung, 2003, Thermal Environment of Underground Shopping Mall and Passenger's Comfort, J. Korean. Soc. Environ. Sys. Vol. 10, No. 1, pp. 25-32.
 5. H. Moon, M. S. Park, K. S. Cha, J. H. Lee, 2002, Measurement of Air Change Rate in an Underground Parking Lot with Natural Ventilation by Tracer Gas Method, SAREK 2002 Winter Annual Conference, pp. 479-483.
 6. H. C. Lee, I. J. Hwang, H. J. Shin, A Numerical Study on the Airflow and Temperature Distribution in the Underground Shopping Street with Tunnel Shape, SAREK 2004 Winter Annual Conference, pp. 165-170.
 7. H. C. Lee, I. J. Hwang, A Numerical Study on the Prediction of Indoor Environment of Underground Shopping Center, SAREK 2005 Summer Annual Conference, pp. 165-170.
 8. W. K. Kim, W. W. T. Han, J. K. Hong, 2002, The Numerical Simulation of the Ventilation in Auditorium the using CFD, SAREK 2002 Winter Annual Conference, pp. 502-507.
 9. K. H. Kim, 2002. An Experimental Study on the Air Movement Characteristics generated by Train Wind in the Subway Tunnel and Station, Architectural Institute of Korea, Vol 18, No. 1, 259-265.
 10. K. H. Kim, G. S. Rhee, E. K. L, 2002, A Study on the Reduction Strategies of Trainwind in Subway Station, Architectural Institute of Korea, Vol. 18. No. 7, pp. 153-160.