

기존운행 도시철도의 화재안전 및 환기 개량대책 기술개발

지하공간 환경개선 및 방재기술 연구 사업의 세부과제로 수행되고 있는 '기존운행 도시철도의 화재 안전 및 환기 개량대책 기술개발' 과제의 1차년도 연구결과를 중심으로 소개하고자 한다.

김 동 현

한국철도기술연구원 (dhkim@krii.re.kr)

박 원 희

한국철도기술연구원 (whpark@krii.re.kr)

도시철도 지하역사 및 터널에서의 화재는 대형 인명손실과 막대한 재산피해로 직결되며, 특히 도시철도가 도심의 대표적인 대중교통수단임을 감안할 때 도시철도에서의 화재사고는 시민들의 일상적인 안전에 매우 큰 위협요인으로 부각되고 있다. 지하철역사 및 본선 터널은 길고 폐쇄공간과 유사하므로 초기 화재진압이 안될 경우 소화 및 구조활동이 매우 곤란하고, 또한 충분한 제연시스템이 설치되지 않았을 경우에는 피난계단 등 피난경로가 연기를 확산시키는 굴뚝효과를 일으킬 가능성이 매우 높다. 화재 등이 지하철역내에서 발생하는 경우는 어느 정도 대응이 수월하지만, 지하철이 주행중인 궤도가 있는 터널내부에서 사고가 발생할 경우에는 위치 및 방향감각의 상실로 많은 인명피해를 볼 수 있는 잠재위험성이 매우 높다고 할 수 있다. 특히 외기의 산소공급이 한정되어 있기 때문에 시간의 경과에 따라 연소상태가 불안정하여 대량의 연기 및 유독가스를 발생시킨다. 이때 지하철 운행으로 발생하는 바람으로 인하여 매우 급격하게 화재가 확산할 가능성이 매우 높다. 철도터널의 화재는 주로 객차 및 터널 설비 시설물에서 발화한 불로 인해 발생하고 있으며 화재 발생시 인명 및 재산 피해를 최소화하기 위해 지하철 역사 및 터널의 환기 및 화재안전 개량 대책 기술의 적극적인 연구개발이 필요하다.

본 연구에서는 기존운행 도시철도 지하역사 및 터널의 환기 및 화재안전 개량대책을 마련하기 위하여

지하역사, 터널내의 화재안전을 위한 방재설계, 화재안전 시설에 대한 개량대책 개발을 최종목표로 하며 다음과 같이 연구목표를 요약할 수 있다.

- 해외 관련 기술분석
- 국내 기존 지하철 역사 및 터널 특성 및 분류
- 전국 5개 지역 기존 지하철에서 환기 및 배연시설의 샘플링 현장조사/분석
- 승강장 및 터널부 자연풍 및 온도 영향 계측/평가
- 전국 5개 지역 기존 지하철 터널내 열부력 연기 화재 현장시험(샘플링 시험)

전국적으로 도시철도 산재(서울, 경기, 대구, 부산, 인천, 광주)

- 지하역사 등의 시설물에 대한 화재안전 설계기준 미약
- 도시철도 지하역사 및 터널에서의 화재는 대형 인명손실과 막대한 재산 피해로 직결

대구지하철화재참사에 따른 각성
철도 교통안전 체계와 방재시설의 선진화요구
(철도종합안전방재대책)

기존 운행노선의
화재 안전개선 수행

설계기준,
시설규모 기준 개선

기존 운행 도시철도의 안전 및 방재시설 개선
(철도안전법의 안전기준 강화)
기존 운행 도시철도의 환기 및 화재안전 개량대책 수행

[그림 1] 연구개발 개요



- 자연풍 영향에 따른 지하역사의 공기유동 CFD 해석기법 연구
 - 화재시 자연풍 영향에 따른 지하역사의 화재 공기역학 CFD 해석/평가, 안전도 평가 시스템 개발
 - 전국 5개 지역 기존 지하철 역사의 피난허용시간, 계단 및 에스컬레이터, 화재위험 구조물, 승객피난 유도등, 탈출표지판 조사/평가
 - 전국 5개 지역 기존 지하철 터널내 액체 위험물 확산방지 시설 대책 개발
 - 기존 역사와 역사 사이의 터널부에 설치된 기존 자연환기구 개선대책 개발
 - 기존 역사 환기기계실의 환기력 개량에 의한 제연효과 분석 및 평가
 - 기존 역사에 인접한 터널부에서의 축류제트팬에 의한 제연대책 개발
 - 화재시 승강장 및 대합실의 제연경계벽의 승객 탈출시간 확보효과 화재 공기역학 CFD 해석 및 평가
 - 기존 지하철의 화재안전 위험도 실내 축척모형 시험(열부력 스모크 시험)
 - 개발품에 대한 검증시험
 - 전국 5개 지역 기존 지하철에서 환기 및 배연시설 종합 개량대책 마련
- 1차년도(2003.12~2004.12) 수행된 연구결과는 다음과 같이 요약될 수 있다.
- 해외 기술동향 분석
 - 기존 지하철 역사/터널의 특성 조사 및 분석, 평가(화재안전 관점)

- 전국 기존 지하철에서 환기 및 배연시설의 샘플링 현장조사/분석
 - 자연풍 영향에 따른 지하역사의 공기유동 CFD 해석기법 연구
 - 승강장 및 터널부 자연풍 및 온도 영향 계측/모니터링시스템 기본설계
- 각 연구 주제에 따라 수행된 내용을 간단히 요약하였으며, 연구 내용 중 일부를 소개하기로 한다.

해외 기술동향 분석

- 선진국의 도시철도 지하역사에서 채택하고 있는 화재안전 설계기술, 설비 등을 조사 분석
- 해외 화재안전, 화재유동현상 관련문헌 조사
- 선진각국의 도시철도 지하역사에서 채택하고 있는 화재안전 설계기술, 설비 등을 조사 분석

조사분석사례 : 일본 동경/요코하마/대만지하철 지하철 현장조사

일본 동경 지하철 중 화재안전시설이 잘 갖추어져 있는 한조본지하철선 킨시치오우 역사에는 그림 2와 같이 지하역사의 열 및 연기감지기에 대하여 각각의 위치가 표시되어 있으며 열 및 연기를 감지시에는 전체 감지기 표시등에 해당 감지기에 경고등이 점등된다. 이런 상황에서 전체 역사를 확인할 수 있는 CCD 카메라를 이용하여 문제가 있는 감지기부분을 체크하며, 상주하고 있는 직원이 해당 위치로 직접 가서 오보인지 아닌지를 확인한다. 상황실 컴퓨터



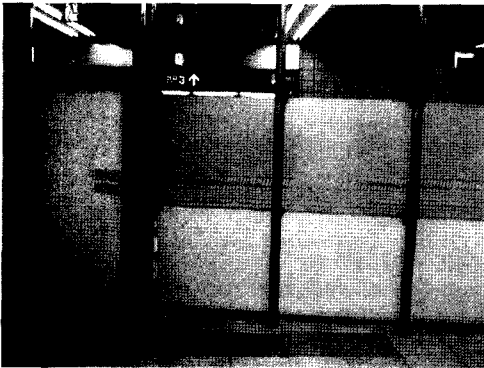
[그림 2] 역사 내의 화재안전시설 위치 및 도면을 나타내는 모니터(사진 내 좌측)



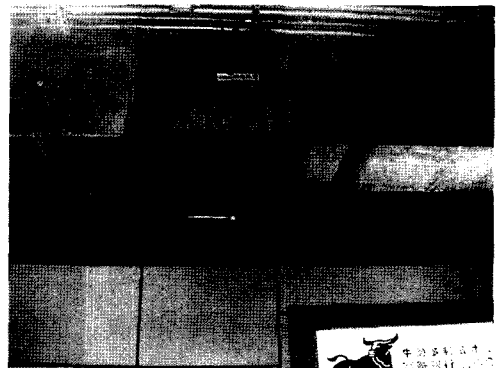
[그림 3] 에스컬레이터에 설치된 제연셔터 및 측면에 설치된 제연문

터화면에는 역사의 층별 위치별 도면이 저장되어 있으며 사용자는 이를 마우스로 클릭하여서 역사의 상세도면 및 감지기 설치 위치 등 주요 장치들의 위치를 쉽게 파악할 수 있다. 화재 및 비상상황 발생시 역내 안내 및 피난에 대해 미리 녹음된 테이프를 재생, 방송하여 역내의 대피자들이 안정적으로 피난을 완료할 수 있도록 도움을 준다. 이때에 열 및 연기 감지기 표시등, CCD 카메라 등을 이용한 화재 위치를 감지하여 보다 안전하고 짧은 피난 경로를 결정하여 방송하여 화재로 인한 인명 피해를 최소화할 수 있도록 한다. 제연셔터 앞에 연기감지기 및 열감지기가 설치되어 있으며, 연기감지기가 작동될 경우 제연셔터는 바닥으로부터 2 m의 높이까지 하강하며, 열감지기가 작동할 경우 해당 통로로 피난이 불가한 것으로 판단하여 화재의 전파를 막기 위하여

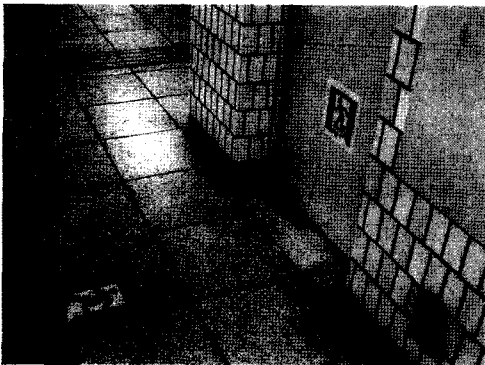
제연셔터는 완전히 폐쇄된다. 이때에도 그림 3과 같이 여전히 양쪽에 설치된 제연문으로 피난은 가능하다. 화재 발생시 모든 피난인원이 에스컬레이터 및 계단으로 몰리어 피난을 방해하는 병목현상이 발생하며, 에스컬레이터 및 계단과 연결되는 개찰구는 이러한 병목현상을 가중하게 하며 피난을 어렵게 한다. 이를 극복하기 위하여 계단 바로 옆 계단 및 에스컬레이터에서 올라오자마자 비상용 출입구를 설치하여 피난이 용이하게 이루어지도록 그림 4와 같이 설계를 하고 있다. 대만지하철의 승강장 터널부를 보면 알 수 있듯이(그림 5 참조) 화재가 난 열차가 승강장에 정차시를 대비하여 승강장 부분의 터널부에 제연전용 덕트가 설치되어 화재유독 가스를 배기시켜 승강장 및 열차에서 피난승객들이 보다 안전하게 대피할 수 있도록 설계되어 있다. 그림 6, 7에



[그림 4] 대합실의 개찰구 안쪽에 있는 비상용 출입구



[그림 5] 승강장 터널부 위에 설치된 제연전용환기 덕트



[그림 6] 승강장의 비상탈출 표시관



[그림 7] 승강장의 열차 비상정지버튼



서는 요코하마 지하철의 승강장 바닥의 비상탈출 표시판과 열차 비상정지버튼을 보여주고 있다.

기존 지하철 역사/터널의 특성 조사 및 분석, 평가(화재안전 관점)

- 국내 기존 지하철의 역사유형의 특성과 터널 유형 특성을 화재안전 관점에서 조사 분석, 분류, 평가(소방시설 관점, 화재유동 관점)
- 지하철역사의 규모, 심도, 승강장의 규모, 형태 등의 대한 자료 조사 및 분석 평가

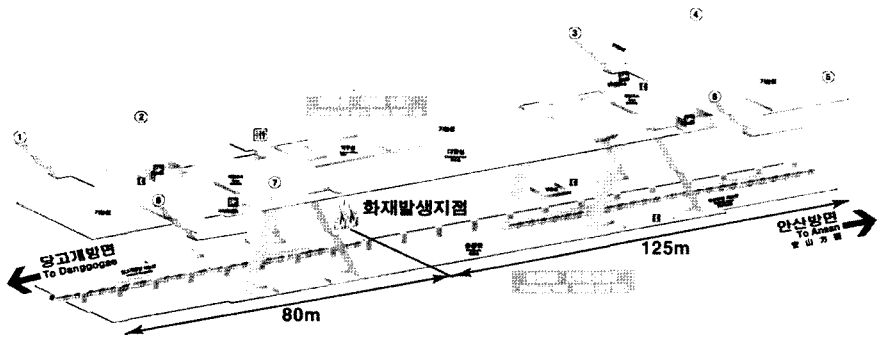
- 조사사례 : 서울시 지하철 지하역사 소방설비 개요
지하철 지하역사 소방설비는 화재발생시 승객안전과 화재의 초기 진화를 위하여 각 실별 기능을 고려하고 건축법, 소방법 등을 만족하는 적법한 소방설비를 계획하여 지하철 지하역사의 대부분은 내화구조로 되어 있어 화재의 위험은 적지만 화재발생 시 밀폐된 좁은 장소에서 많은 유동인구로 인하여 많은 인명과 재산 피해를 입을 수 있는 특성이 있다. 서울시 지하철 건설종합 안전대책은 표 1과 같고, 국내 소방관련 법규를 검토하여 서울지하철 지하역사에

<표 1> 서울시 지하철 건설종합 안전대책

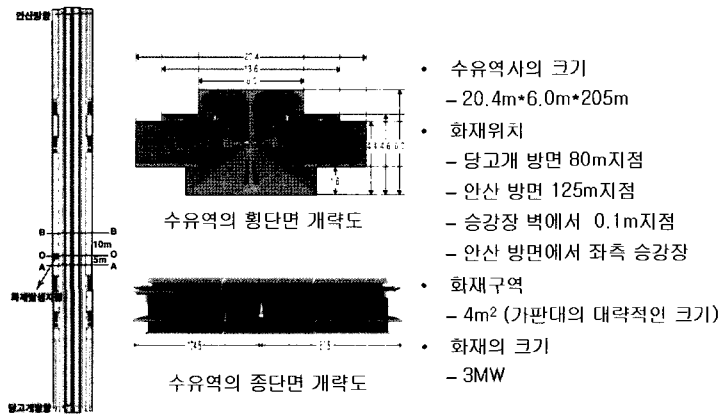
구분	항목	적용내용	비고
본선	연결 송수관설비	• 100 mm 이상의 연결송수관 설비 • 옥외에 연결송수구 설치	• 50 m 마다 방수구 설치
	제연설비	• 본선 환기팬 이용 연기 역류 방지 • 화재 강도에 따라 제연풍량 선정	• 송풍기 250℃ 이상 1시간 이상 작동
	직통 피난계단	• 본선 환기의 출입계단을 이용 설치	
지하역사	스프링클러	• 토출측 주배관에 상수도 소화전 배관 직접 연결(대합실)	
	옥내 소화전	• 승강장, 대합실, 역무지역 및 기타 기능실	
	연결 송수관설비	• 지하3층 이상 지하역사에 적용	• 방수구, 방수기구함 설치
	제연설비	• 공조 및 환기시스템과 겸용 사용 가능 • 부족 풍량은 제연팬 별도 추가 설치	• 기류속도(평상시 1 m/sec 이상, 비상시 25~30 m/sec 이상)
	소화기	• 용도별 소화기 적용	
	기타	• 상수도 직결 소화설비 • 제연경계벽, 마감재로 개선 • 자동화재탐지, 유도등, 비상조명등, 경보기, 비상콘센트 등	• 정전시 비상사입 이용

<표 2> 서울지하철 지하역사 실별 적용 소방시설

실명 \ 시설종류	소화기	옥내 소화전	스프링클러	가스소화설비	제연설비	상수도소화용수	연결송수관
대합실	○	○	○		○		지하 3층 이상에 해당
승강장	○	○			○		
공조실	○	○	○				
전기실, 변전실				CO ₂			
신호, 통신기기실				청정소화설비			
역무실계통	○	○	○				
지상						○	



[그림 8] 서울지하철 4호선 수유역사 구조 및 가상 화재 발생위치



[그림 9] 수유역사 개략도 및 화재위치

실별 적용된 소방시설은 표 2와 같다.

전국 기존 지하철에서 환기 및 배연시설의 샘플링 현장조사/분석

- 기존 지하철 환기 및 배연설비 조사 및 분석
- 국내 지하철사의 공기조화 방식, 본선터널 환기 방식 및 운전방식 조사 및 분석

자연풍 영향에 따른 지하역사의 공기유동 CFD 해석기법 연구

- 자연풍 영향에 따른 지하역사의 공기유동을 현장시험결과와 비교하기 위한 CFD 해석기법 마련(추후 실내실험과 현장시험을 CFD 해석으로 대체하기 위함)

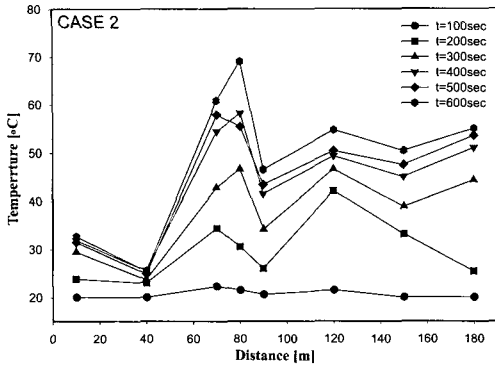
- 화재유동 CFD 해석기법 조사 및 분석
- CFD를 이용하여 승강장에서 화재발생시 연기분포 및 온도분포 예측
- 자연풍, 배연조건에 따른 화재유동 현상 예측 (CFD 이용)

- CFD 해석 사례 : 자연풍 영향에 따른 지하역사의 공기유동 CFD 해석

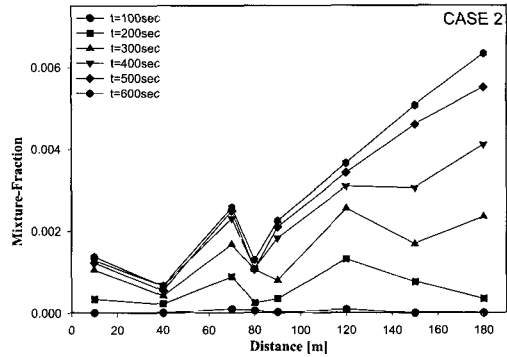
- 해석대상역사 : 서울지하철 4호선 수유역사 (그림 8, 9)

상대식(지하역) 상, 하단 직선승강장 정거장, 지하1층(대합실), 지하 2층(승강장)

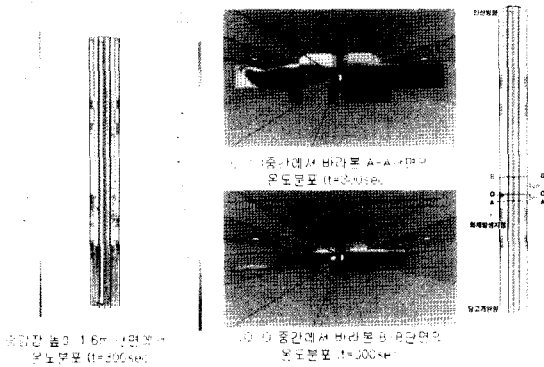
- 해석조건
- 화재발생시 수평급기는 작동하지 않는 것으로 설정



[그림 10] 시간대별 길이방향 온도분포



[그림 11] 시간대별 길이방향 연기분포



[그림 12] 계산 결과 예

- 평상시에 냉방급기는 승강장의 온도조절에 사용되나 화재 발생시 배기구로 사용(양쪽 승강장에서 모두 작동)
- 배연 및 자연풍의 영향에 따라 3가지 Case에서 수치해석 수행
- 해석결과 예(자연풍의 영향 없고 배연시스템 작동시)(그림 10, 11, 12)

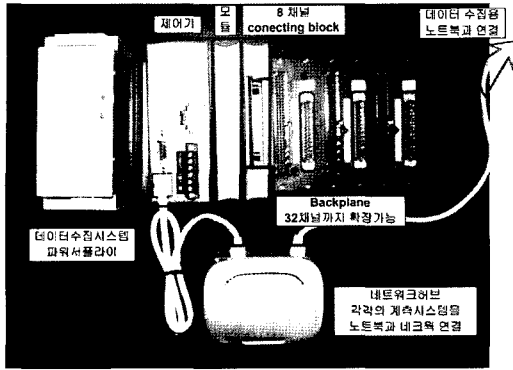
승강장 및 터널부 자연풍 및 온도 영향 계측/모니터링시스템 기본설계

- 승강장 및 터널부 자연풍 및 온도 영향 계측/모니터링시스템 제작 구성 기본설계
- 승강장 및 터널부의 자연풍 및 온도 영향계측 데이터 수집 시스템 조사 및 구성
- 온도/풍속/풍향 계측센서 구성 기본설계

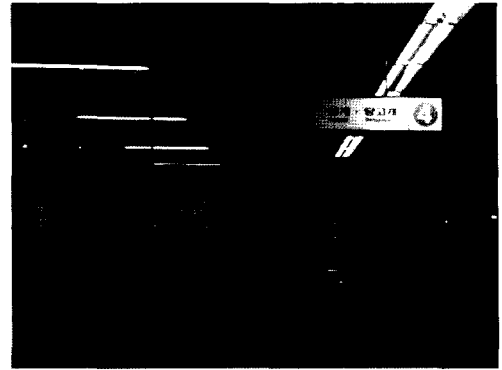
- 연구사례 : 승강장 및 터널부 자연풍 및 온도 영향 계측/모니터링시스템 제작 구성 기본설계 및 지하철역사에서의 열부력 연기화재 실험

승강장 및 터널부의 자연풍 및 온도 영향을 파악하기 위해서는 지하철 역사의 여러 부분에서의 풍향/풍속 및 온도를 측정하여야 한다. 지하철 역사의 길이(수유역 승강장의 경우 약 205 m)는 매우 길며, 지하 터널 및 승강장에서의 온도 및 풍향/풍속을 동시에 측정하고자 하면 모든 계측 센서와 데이터 신호를 입력받는 데이터수집 시스템과의 연결 도선이 매우 길어지게 된다. 도선이 길게되면 신호잡음으로 정확한 측정값을 읽을 수 없게 되며, 설치 및 이동에도 많은 제약을 갖게된다. 이러한 단점을 극복하기 위하여 센서에서의 전압 및 전류신호를 취합하여 바이트 정보로 변환하여 컴퓨터로 전송하는 네트워크 데이터 수집시스템으로 구축하여 풍향/풍속 및 온도를 측정하는 것이 유리하다. 그림 13은 본 연구에서 구축한 데이터수집시스템 구성을 나타낸다.

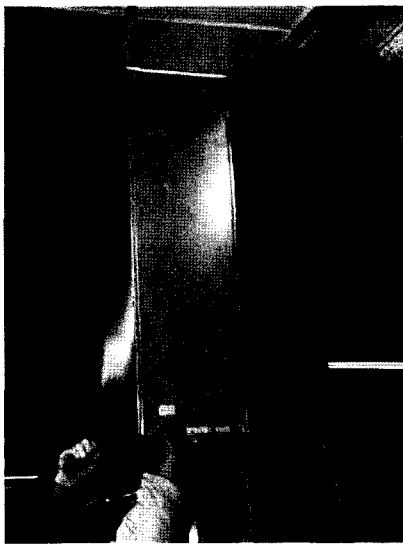
승강장, 대합실, 터널부, 내부/외부 계단 등으로 이루어진 도시철도 지하역사 공간에서 모의화재로 발생으로 인한 온도 및 화재가스 및 공기의 유속 등을 동시에 측정하기 위하여 네트워크 데이터수집시스템을 구축하였다. 네트워크 데이터수집시스템은 독립된 제어기를 내장한 1개의 데이터수집장비로 구성되어 있으며, 이러한 데이터수집장비에서 수집된 온도, 풍향, 풍속 등의 아날로그 신호는 데이터수집 장비에서 비트의 컴퓨터신호로 변환된 후 랜선을 통



[그림 13] 데이터수집시스템 구성



[그림 14] 유속측정을 위하여 설치된 열선유속계



[그림 15] 덕트를 이용한 제연풍량 측정 실험

해 발생하는 연기 및 열의 거동에 대하여 정확한 이해가 필요하다. 본 연구에서는 연기 및 열거동의 이해 및 수치해석결과와의 비교자료로 활용하기 위하여 선정된 지하역사에서 모의 화재 실험을 통하여 화재발생시 지하역사 내부의 온도 및 연기 분포 예측이 계획되어 있다. 이러한 실험을 통하여 얻어지는 결과는 지하역사에서 범규에 따라 설계되는 제연시스템의 안전도를 검토 및 연구하는데 매우 중요하게 활용될 것이다. 또한 지하역사에서의 연기화재 실험의 기초 현장 실험인 지하철승강장에서 제연풍량 및 유속측정 현장실험이 최근(2005년 2월, 그림 14, 15 참조)에 수행된바 있다.

본고는 지하공간 환경개선 및 방재기술 연구사업의 세부과제로 수행되고 있는 '기존운행 도시철도의 화재 안전 및 환기 개량대책 기술개발' 연구과제의 5개년 중에서 1차년도 연구결과를 중심으로 소개하였다. 본 기술개발에서는 기존 지하철의 역사 및 터널의 환기 및 배연 시스템의 분석을 통해 화재시 유독 연기의 전파 경로를 정확히 예측하여 과학적 화재 시나리오를 확립하고자 한다. 이러한 화재 시나리오에 따라 효율적 승객대피대책을 마련할 수 있으며, 방재설비 개선 및 지하구조물의 공기역학적 성능향상을 도모할 수 있을 것으로 예상된다. ㉔

하여 컴퓨터로 전송되게 된다. 앞에서 언급한 바와 같이 구축된 네트워크 데이터수집시스템을 구축하여 승강장 및 터널부의 유동 속도/방향 및 온도값을 최소한의 오차로 측정할 수 있다.

지하철 역사 및 터널은 지하의 제한된 공간에서 화재발생시 피해를 최소화하기 위하여서는 화재에 의