

철도터널 제연/배연 성능평가 실험 소개

■ 박 원 희 / 한국철도기술연구원 철도환경연구실, whpark@krii.re.kr

철도터널에 설치되는 제연/배연시스템 성능을 평가하기 위하여 수행된 현장 시험에 대하여 소개하고자 한다.

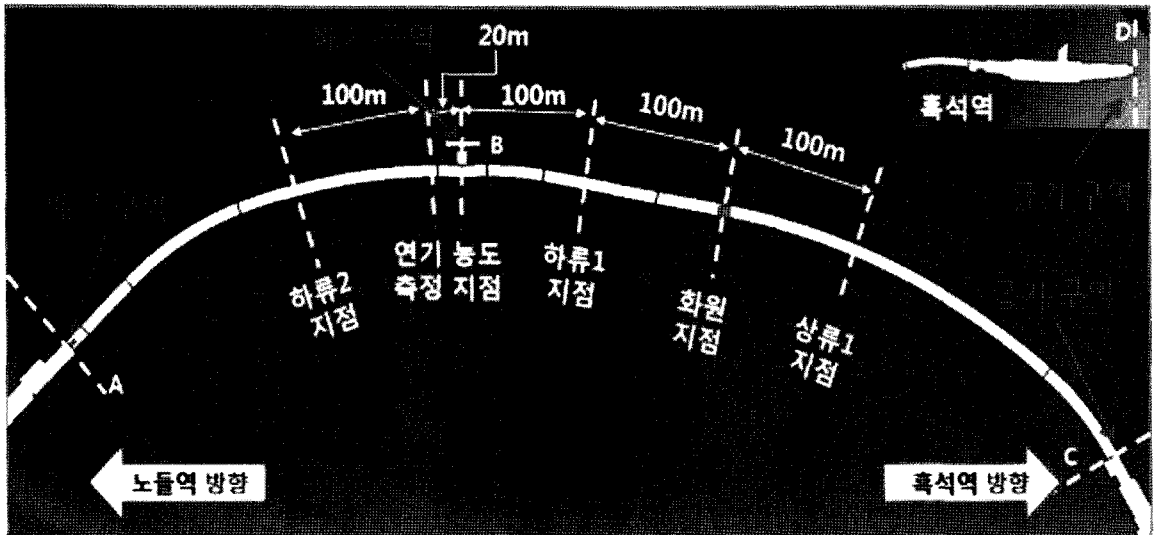
개요

도로터널과는 달리 철도터널에는 화재시 화재연기 및 유독가스를 제어하기 위한 제·배연장치가 일반적으로는 설치되어 있지 않다. 그러나 안전성 분석 결과에 따라 배연설비가 설치될 수 있도록 「철도시설 안전기준에 관한 규칙」에 명시되어 있는데, 이 규칙의 하위규정인 「철도시설 안전세부기준」 5조 5항에 제연설비 또는 배연설비를 적용한 터널이 완공된 후에는 제연 또는 배연 성능에 대한 시험을 실시하도록 규정되어 있다. 반면 이

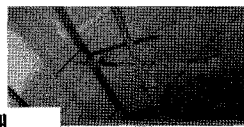
용도가 높고 운행횟수가 많은 지하철의 본선터널에 설치되어 있는 환기실은 제연을 위하여 활용되기도 한다. 이는 「도시철도 건설규칙」 67조에 비상시 배출되는 연기의 기류속도가 초속 2.5 m/s 이상을 확보하도록 하는 규정과 관련이 있다. 이와 관련하여 본 고에서는 운행 예정(현 운행중)인 서울메트로9 중의 노들-노들 구간 본선터널에서 수행된 제연 배연시스템 성능평가 실험에 대하여 소개한다.

철도터널 제연/배연시스템 성능평가 장비 설치

터널화재 제연성능 검증을 위한 실험장비 설치 는 그림 1과 같이 9호선 터널 노들-흑석역 구간



[그림 1] 실험장비 설치 개략도

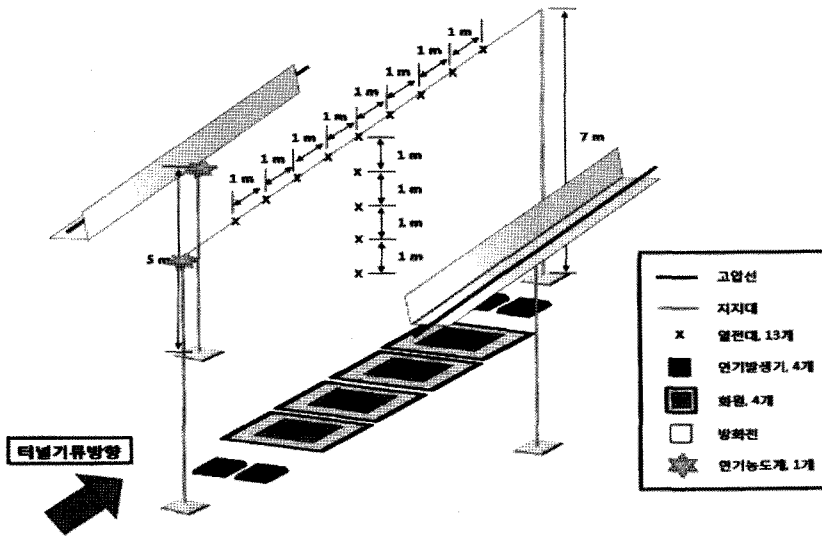


내부에 상류1 지점, 화원 지점, 하류1 지점 및 하류 2 지점을 선정하였다. 터널 내부 화원 점화 시 각 선정된 지점에서는 터널 내부의 온도 및 속도, 그리고 연기농도가 측정된다.

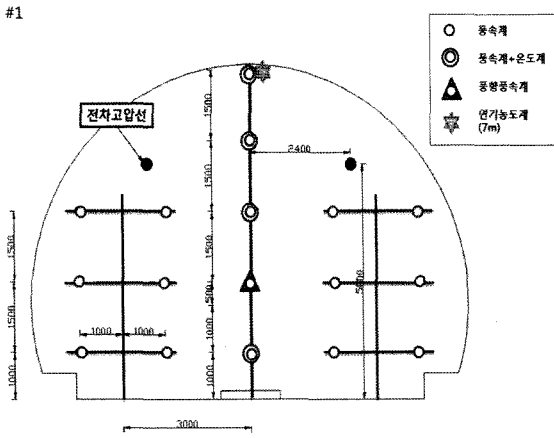
화원 지점

그림 2와 같이 13개의 열전대, 2개의 연기농도계, 전차고압선 보호용 방화천 및 지지대 4개를 설치

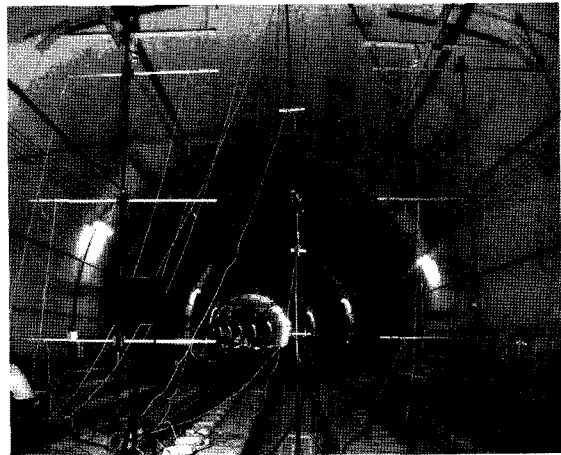
하였다. 본 실험에서 작동압력 5.5 bar에서 최대 290 m³/min의 연기를 발생시키는 장치를 화원중심으로 양쪽에 4개를 설치하였으며, 연기의 부력 효과를 주기 위해서 메틸알콜을 이용한 풀 화재를 이용하였다. 균일한 화재크기를 위하여 물트레이 4개와 연료트레이 4개를 사용하였다. 물트레이의 물의 양은 평균 49.19 kg이고, 각 연료트레이에는 연소열이 19.8 kJ/g인 메틸알콜 11.74 kg을 설치



[그림 2] 화원 지점 실험장비 설치

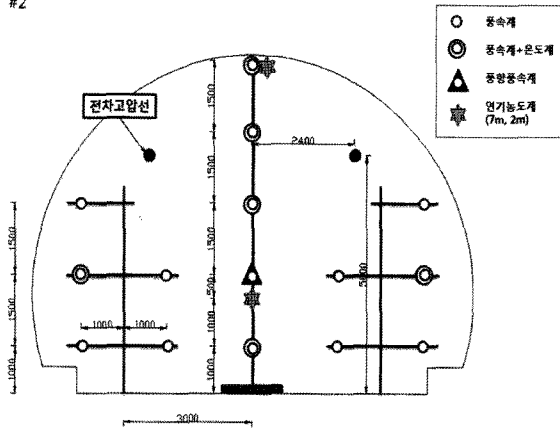


[그림 3] 상류1 지점 실험장비 설치 계획 그림

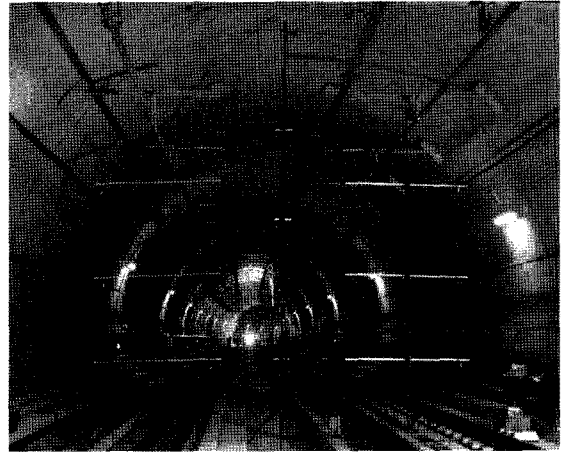


[그림 4] 상류1 지점 실험장비 설치 사진

#2



[그림 5] 하류1 지점 실험장비 설치 계획 그림



[그림 6] 하류1 지점 실험장비 설치 사진

하여 연료로 사용하였다. 화원아래에는 분해능이 최대중량 150kg, 분해능 10g인 로드셀 4개를 설치하였다.

상류1 지점

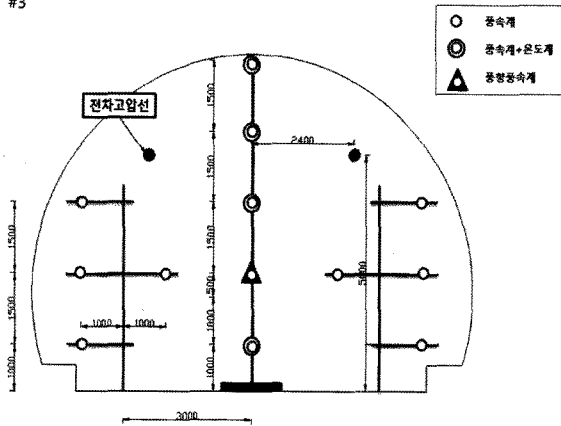
상류1 지점에서는 지지대 3개(5 m 2개, 7 m 1개), 연기농도계 1개, 풍향풍속계 1개, 풍속계 8개, 풍속계+온도계 4개, 풍속+온도용 DAQ(VT모듈 2개, V모듈 2개)를 설치하여 상류1 지점의 단면 위치에서의 터널의 기류 속도, 온도 및 연기농

도를 측정하였다.

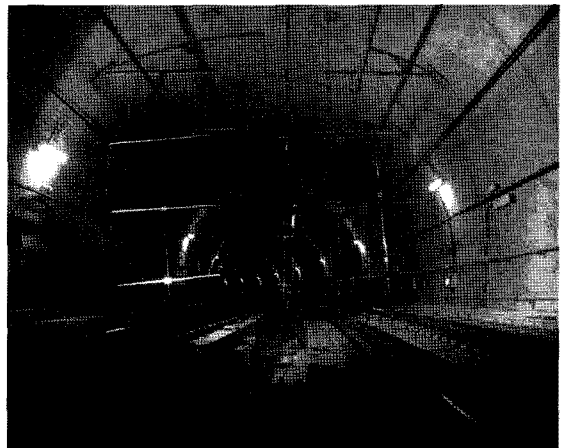
하류1 지점

하류1 지점에서는 아래 그림과 같이 지지대 3개(5 m 2개, 7 m 1개), 풍향풍속계 1개, 풍속계 12개, 풍속계+온도계 6개, 풍속+온도용 DAQ(VT모듈 3개, V모듈 3개)를 설치하였고 연기농도계 1개는 하류1 지점의 단면, 나머지 1개는 하류1 지점의 단면에서 하류2 지점의 단면 방향으로 120 m 지점에서 터널 바닥에 설치하였는데 이것은 배기

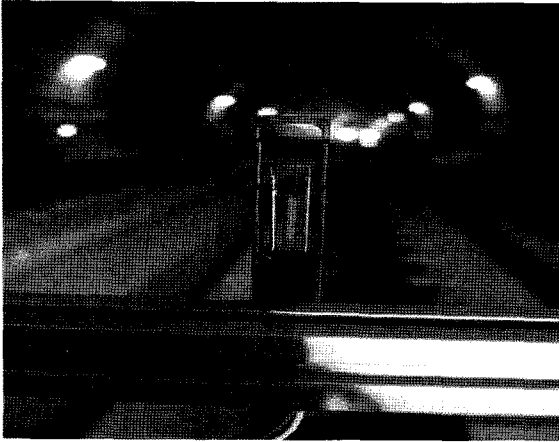
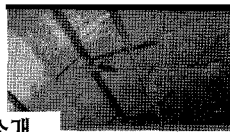
#3



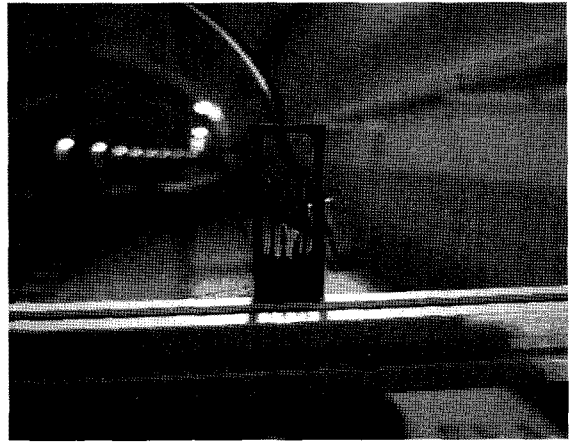
[그림 7] 하류2 지점 실험장비 설치 계획 그림



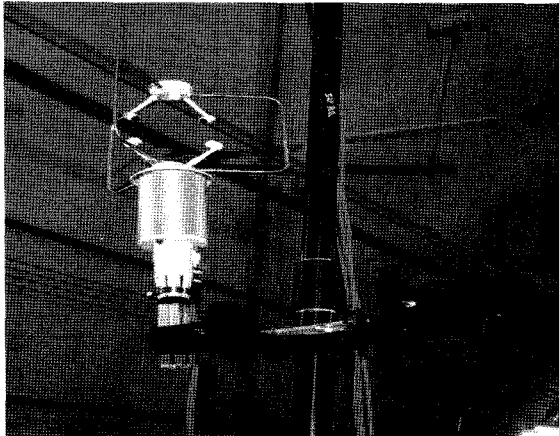
[그림 8] 하류2 지점 실험장비 설치 사진



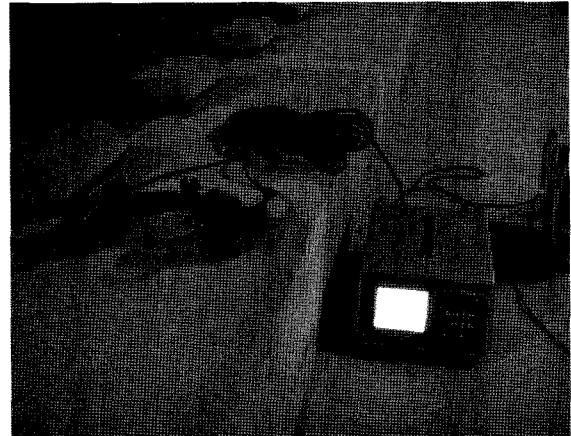
[그림 9] 유속계



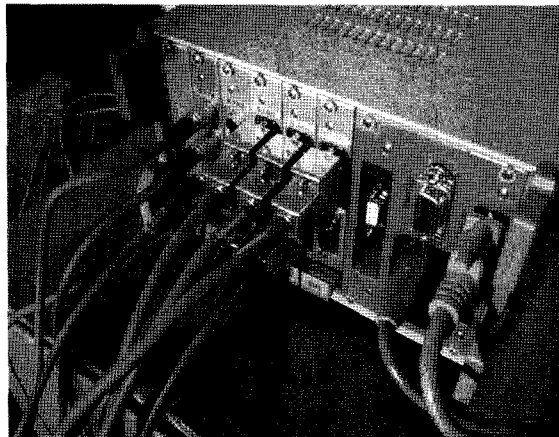
[그림 10] 유속+온도계



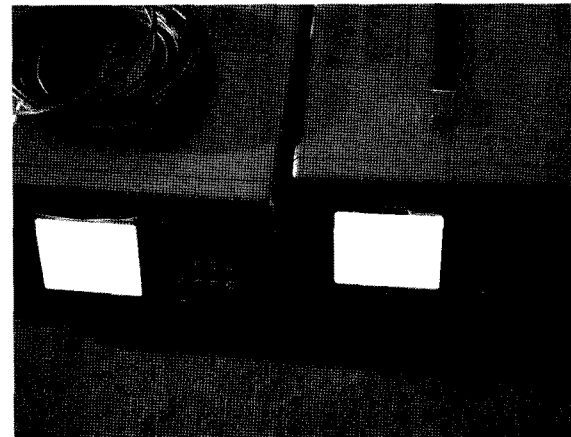
[그림 11] 초음파 풍향풍속계



[그림 12] 연기감지기 센서



[그림 13] DAQ(데이터 수집 모듈)



[그림 14] 스모크 인디케이터

구역에서 20m 떨어진 지점의 연기 농도를 측정하여 배기 작동시 설계된 제연 시설의 성능을 검증하기 위함이다.

하류2 지점

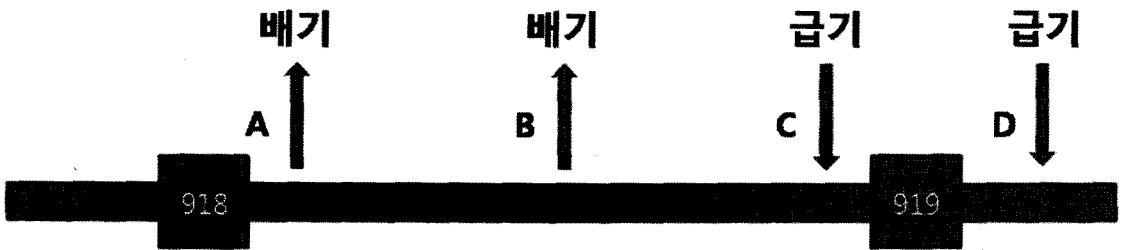
하류2 지점에서는 지지대 3개(5m 2개, 7m 1개), 풍향풍속계 1개, 풍속계 8개, 풍속계+온도계 4개, 풍속+온도용 DAQ(VT모듈 2개, V모듈 2개)를 설치하여 하류2 지점의 터널 기류의 온도 및 속

도를 측정하였다.

측정장비
그림 9~그림 14

시험방법

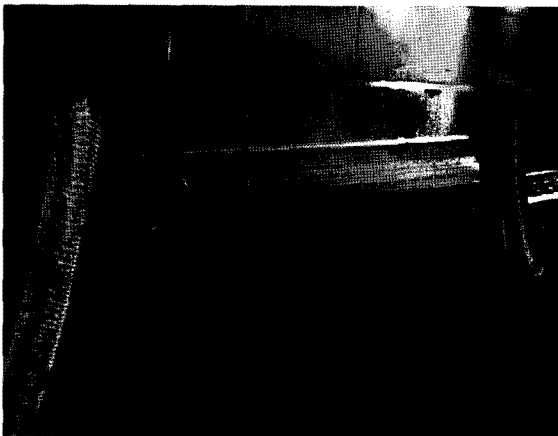
터널 내부 화재발생시 설계된 제연 성능을 검증하고자 터널의 국부적인 단면 위치에서 화원 및 각종 실험장비를 설치한 후 화원 점화와 동시에



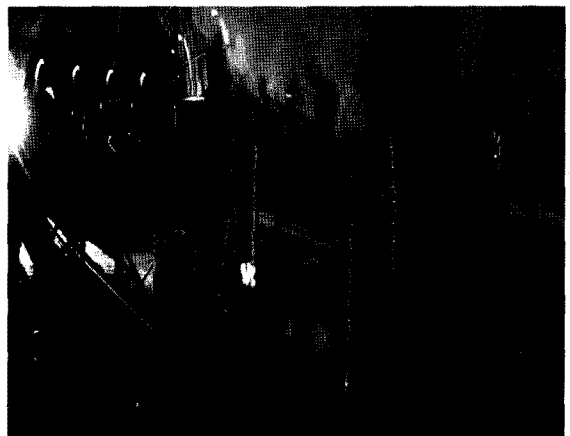
[그림 15] 터널 내부 환기 설비

<표 1> 터널 내부 급·배기 용량

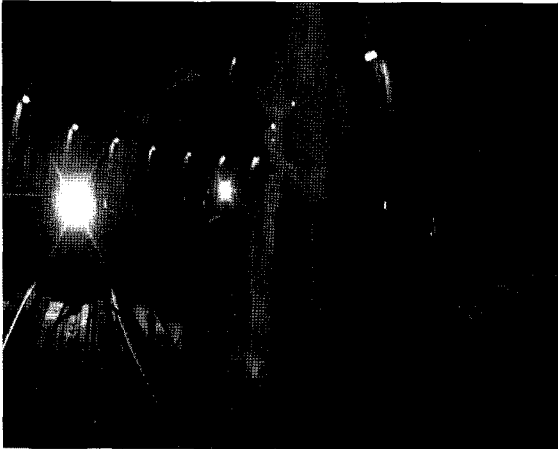
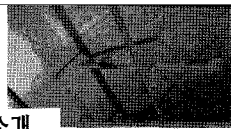
환기실 위치	A	B	C	D
정방향풍량(m ³ /min)	2,550	3,400	2,550	2,550
역방향풍량(m ³ /min)	2,040	2,720	2,040	2,040
평상시	배기	급기	배기	배기
실험시	배기	배기	급기	급기



[그림 16] 화원 준비



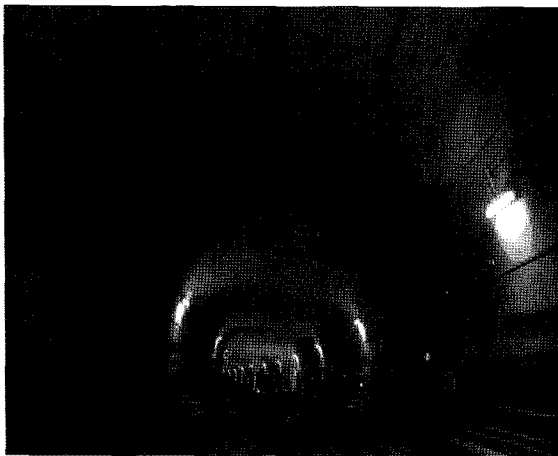
[그림 17] 화원 점화



[그림 18] 상승기류 발생



[그림 19] 화원부에서의 상승부



[그림 20] 상류1-화원간의 상승부 연기



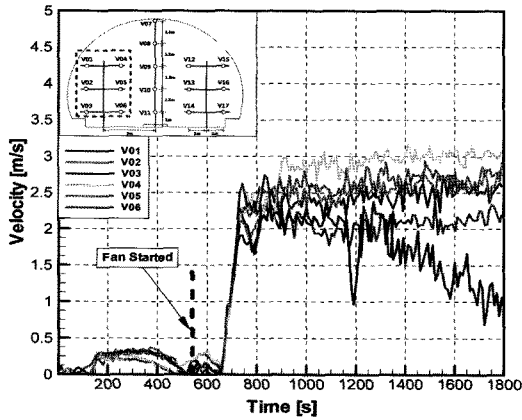
[그림 21] 터널 내의 B 배기부

터널기류의 온도, 속도 및 연기농도를 측정하였다. 화원은 연료인 메틸알콜이 자연소화 될 때까지 이루어졌다. 그리고 각 단면별 비디오 장치를 설치하여 화원 점화 후 시간에 따른 연기의 거동을 시각적으로 파악하였다. 화원 점화를 시작으로 9분이 경과한 후에 터널 내부에 급기 및 배기를 작동하였고 환기설비의 조건은 정상시의 운영 모드가 아닌 화원을 중심으로 한 화재시나리오에 의해 제연모드로 운행되었고 급배기의 위치와 그 용량은 그림 15와 표 1에 의해 나타내었다.

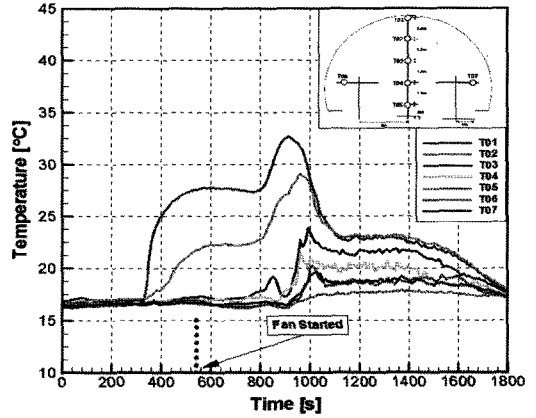
시험결과 및 맺음말

그림 22 ~ 그림 25 그림들은 본선터널에서 측정된 풍속, 온도, 연기농도를 보여주고 있다. 이러한 측정값들은 분석하여 철도시설물에 설치된 제연/배연시스템의 가동으로 화재가 발생하였을 경우 연기가 제어되어 승객이 피난에 도움이 되는지를 파악할 수 있다.

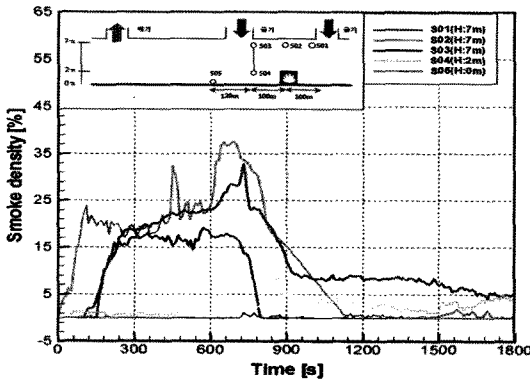
본 실험을 통하여 화재 인근의 천장부분의 유속 측정으로 연기의 속도를 파악하였으며 위치별 제



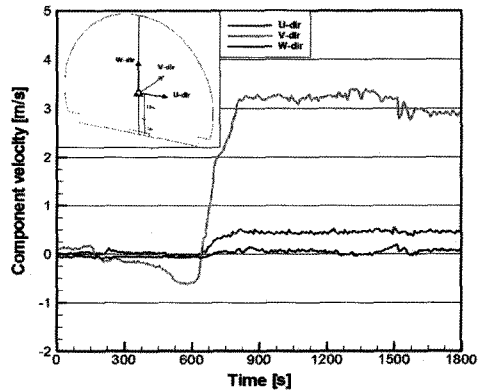
[그림 22] 상류 1의 왼쪽 단면에서의 속도분포



[그림 23] 상류2에서의 온도 분포



[그림 24] 터널에서의 연기분포



[그림 25] 상류2에서의 성분별 속도

연기류가 형성되는 시간이 상이한 것을 확인하였다. 화재발생시 화재연기를 제어하기 위한 제연팬(급기 및 배기팬)이 작동할 경우 해당 본선터널의 제연성능을 파악을 위한 기준속도(예: 2.5 m/s) 이상의 유속이 형성되었으나 해당 본선터널의 후류에 위치한 두 개의 배기환기실 사이의 구간에서는 유속이 감소되어 기준속도보다 적었다. 그러나 이 위치는 연기를 제어와 직접적으로 관련되어 있지 않으므로 유속은 연기제어와 관련하여 의미를 갖지 않는다.

터널에서의 제연/배연 시스템의 성능을 평가하기 위하여 정량적으로 측정될 수 있는 양은 온도, 풍속, 연기농도, 풍향, 압력 등이 있으며, 주요 위치에서 연기거동을 시각적으로 저장한 비디오자료를 활용할 수 있다. 추가로 터널 제연성능의 확보를 위하여 송풍기가 설계된 용량대로 운전되는지 확인되어야 하며 및 고온에서 주어진 시간(예 250°C, 1분) 동안 일정한 성능에 저하없이 운전할 수 있는지 실험적인 방법으로 검증되어야 한다. (10)