

도로터널 환기 시뮬레이션 현장적용 연구

이창우 · 김효규¹⁾ · 안형준²⁾

1. 서론

최근 도로터널 규모의 장대화 추세와 터널 관련 규제의 강화 및 높은 운영비용에 따라 터널환기시스템의 환경, 안전, 경제, 기술적 측면에서의 최적화가 요구되고 있다. 따라서 최적 터널환기시스템의 선택 및 운영을 위한 의사결정 방법 또한 다양하게 제시되고 있으며, 최근 환기 시뮬레이션이 관련 변수들의 동적인 관계를 정량적으로 분석할 수 있는 도구로써 많이 이용되어 세계 주요 도로터널의 설계 및 운영방안의 마련시 적극 활용되고 있다. 국내의 경우 환기시스템 설계시 기본적인 분석 단계로서 시뮬레이션을 적용하고 있는 추세이며 시뮬레이션 모델 자체에 대한 연구도 소수이지만 진행 중에 있다. 국내에서 개발된 모델의 경우 주로 터널 내부 환기속도, 매연, CO, NO_x 등과 같은 오염물질의 농도 분포를 예측할 수 있는 기능을 가지고 있으나 차량의 공기역학적 특성이나 오염물질 배출특성에 관한 기초 연구결과가 부족한 관계로 시뮬레이션 분석 결과에 대한 적극적인 검증작업이 이루어지고 있지 않은 실정이다.

본 연구에서는 국내에서 발표된 도로터널 환기 종합설계시스템인 TDSVEN의 환기시뮬레이션 모델인 NETVEN의 환기 관련변수 예측능력을 검증하기 위한 현장 연구를 목적으로 하고 있다.

2. 모델의 개요

본 시뮬레이션 분석에서 사용한 도로터널 환기시스템 시뮬레이션 모델인 NETVEN ver. 2.0은 터널의 형태 및 적용 환기방식에 관계없이 터널내의 공기 흐름을 네트워크로 해석하여 터널 내의 환기속도, 압력, 매연, CO, NO_x와 같은 오염물질 농도 분포를 시뮬레이션 할 수 있는 기능을 가지고 있으며, 1996년 발표한 버전 1.0의 개량 모델로 1998년 1월에 발표되었다. 버전 2.0은 최적 환기시스템의 결정을 위한 시뮬레이션 자동 실행기능과 한국 도로공사의 1997년 10월 개정된 설계기준을 선택할 수 있는 옵션을 추가하여 종류식, 반횡류식, 횡류식등과 같은 환기방식은 물론이고 조합형 환기방식의 시뮬레이션 및 직선터널에 연결터널이 접속된 형태의 터널도 시뮬레이션 할 수 있다. NETVEN은 네트워크로 해석된 터널 공기 흐름 경로에 minimum spanning tree 선택 알고리즘과 Hardy Cross 해석 알고리즘을 적용하여 평형상태의 각 터널구간별 환기속도를 계산하고 일차원 이류 확산식에 기초하여 오염물질 농도를 계산한다. 한편 대부분의 기존터널 환기시뮬레이션 모델과 같이 NETVEN도 터널 환기력 계산시의 일반적 가정인 비압축성 이상 기체, 일차원 유동, 준정상류 유동을 기본 가정으로 하고 있다.

주요어: 도로터널, 환기 시뮬레이션, 시뮬레이션 모델

1) 동아대학교 자원공학과

2) 코오롱건설주식회사

3. 현장 조사

본 연구는 기존 고속도로터널 중 환기설비 용량이 가장 큰 마성터널(영동고속도로), 달성1호터널(구마고속도로) 2개 터널을 대상으로 하였다. 이들 터널은 입출구 부근에 주거지역이 없는 전형적인 고속도로터널이며 마성터널의 경우 출·퇴근시와 주말에 정체가 심한 편이다. 2개 터널의 특성은 Table 1과 같으며 현장 조사 대상 변수 및 측정변수는 Table 2와 같다.

Table 1. Characteristics of Masung and Dalsung no. 1 tunnels

터널	마성		달성 1호	
	상행	하행	상행	하행
길이(m)	1,450	1,450	1,380	1,360
차선수	2	2	2	2
내공단면적(m ²)	60.4	60.4	60	60
구배(%)	+0.62	-0.62	-1.8	+1.8
환기방식	종류식	종류식	종류식	종류식
환기설비	제트팬 20대설치(φ 1030)	제트팬 12대설치(φ 1030)	제트팬 6대설치(φ 1030)	제트팬 22대설치(φ 1030)

Table 2. Classification of the variables measured in tunnels

구분	측정대상	측정방법
외부환경	입·출구 기압, 건·습구 온도, 풍향, 풍속,	입·출구 갱구면 직상부에서 자동측정
터널내부 환경 (공기밀도, 환기속도, 오염물질 농도)	고정점 및 터널 전구간 기압, 건·습구온도, 환기 속도, 매연 및 CO 농도	(1)터널 출구편 100, 200m지점 및 터널 전구간 도보 이동 측정 (2) 매연농도의 경우 광산관식 방법을 적용한 분진농도 측정후, 영국 MIRA의 식 적용하여 가시도(K)로 표시 (3) CO농도는 정전위 전해방식 적용

4. 현장 측정 및 시뮬레이션 결과 비교

현장 측정자료 중 터널 입·출구 외부 기상자료, 내부 고정점 및 전구간 환기속도, 기압 및 건·습구 온도, 매연·CO 농도 분포 자료의 손실이 없는 7개의 시간대를 기준으로 시뮬레이션 분석하였으며 오염물질 배출량은 한국도로공사의 기준(공차율 20%)을 적용하였다. 각 시간대의 자연환기력을 고도 및 온도차이에 의한 환기력($\Delta P_h + \Delta P_{temp}$)과 외풍에 의한 환기력(ΔP_{wind})으로 구분하여 Figure 1.에 나타내었으며, Figure 2~4는 환기속도, 매연, CO 농도의 측정값과 시뮬레이션 결과와 비교이다. 분석 대상 시간대의 경우 -4.90~0.07Pa 범위를 보이는 자연환기력의 경우 대부분 고도 및 온도차이가 결정적 변수로 작용하고 있음을 알 수 있다. 터널내 고정점에서의 환기속도, 매연, CO 농도의 순간 변화 측정결과 외부 기상조건의 변화, 교통량 및 차종분포의 변화 등에 기인하는 환기속도의 순간 변화는 터널

내 공기유동이 준정상류(quasi-steady state flow)임을 잘 보여주고 있으며 이에 비하여 매연 및 CO 농도 분포의 순간 변화는 분산폭이 훨씬 큰 편이었다. 따라서 시간대별 평균값으로 표시된 측정값의 상대오차는 매연·CO 농도의 경우가 각각 38.6~69.8%(평균 50.4), 7.5~41.6%(평균 29.3)로, 환기속도의 2.9~29.7%(평균 12.9)에 비하여 상대적으로 큰 경향을 Figure 5에서 보여주고 있다.

매연 및 CO 농도의 시뮬레이션 값과 측정값의 괴리에는 다양한 원인이 관계된다. 시뮬레이션 모델의 주요 입력 자료인 오염물질 기준 배출량, 차량의 공기역학적 특성 등은 환기량 및 오염물질 농도 값의 결정에 직접적인 영향을 미치는 변수이나 국내 자료가 상당히 미흡한 문제가 있다. Figure 6은 공차율을 10%, 20%를 적용한 한국도로공사 배출량 기준, 국립환경연구원 자동차공해연구소 자료(목표년도 2000년), No Law, EEC R 49+24(control=yes)와 (control=no), EEC 88/77, US Transient 91과 94 기준 배출량을 적용했을 경우 예상되는 매연 농도와 측정값을 비교한 결과를 보여주고 있다. 측정값이 대부분 크게 나타나는 매연의 경우 측정값은 No Law 기준을 적용한 결과에 오히려 가까움을 알 수 있다.

6. 결론

NETVEN 모델의 현장 적용 결과 환기속도는 평균 상대오차 12.9%로 비교적 일관성 있는 결과를 보인 반면 매연 및 CO농도의 경우 상대 오차가 비교적 크며 CO의 경우가 가장 큰 오차를 보인다. 오차는 마찰계수와 같은 터널내 환기 특성, 오염물질 기준 배출량, 차량의 공기역학적 특성자료의 미흡에 상당히 기인한 것으로 보이므로 최적 환기시스템 설계 및 운영을 위한 의사결정 도구로서 시뮬레이션 활용을 위하여 이들 기초변수에 대한 연구가 필요하다고 사료된다.

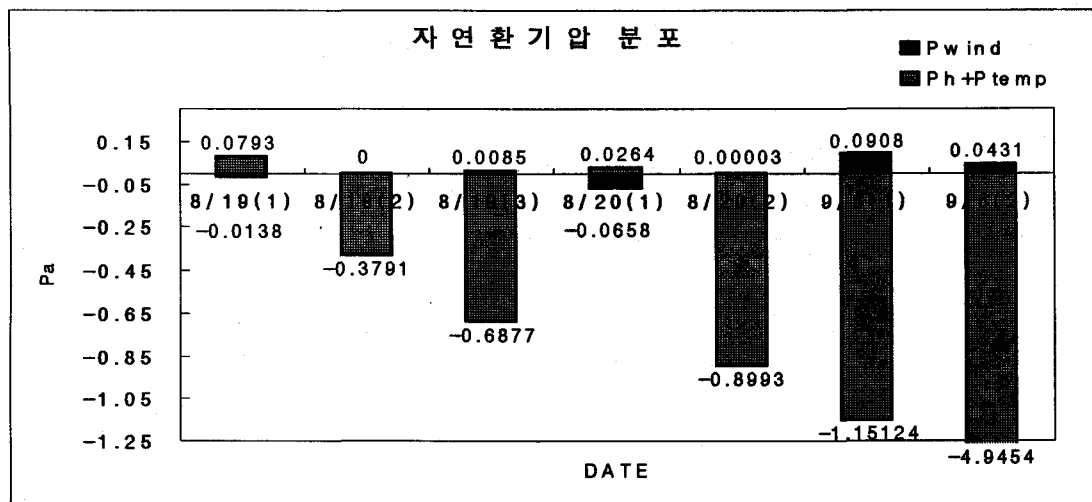


Figure 1 . 자연환기력 분포

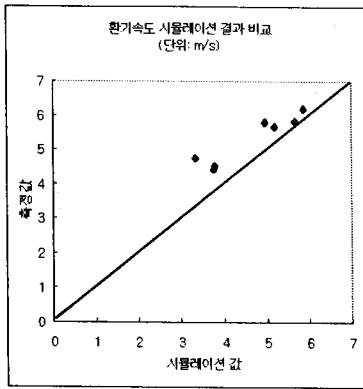


Figure 2 . 환기속도

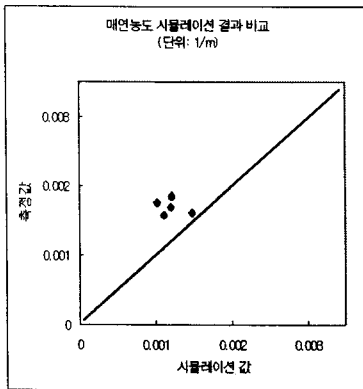


Figure 3 . 매연농도

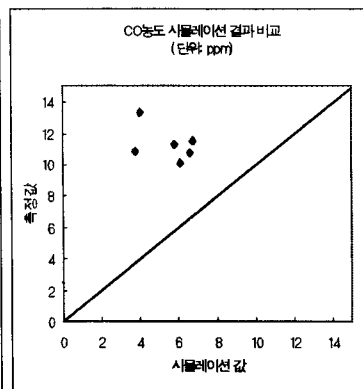


Figure 4 . CO 농도

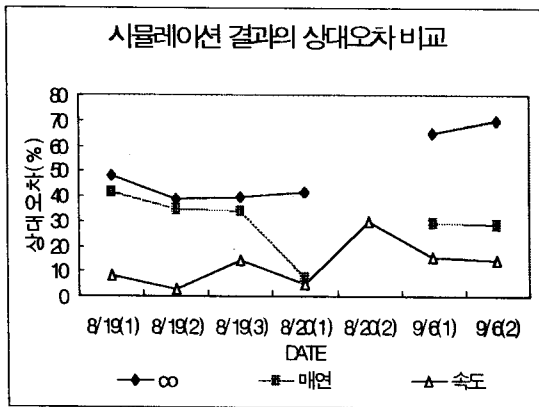


Figure 5 . 상대오차

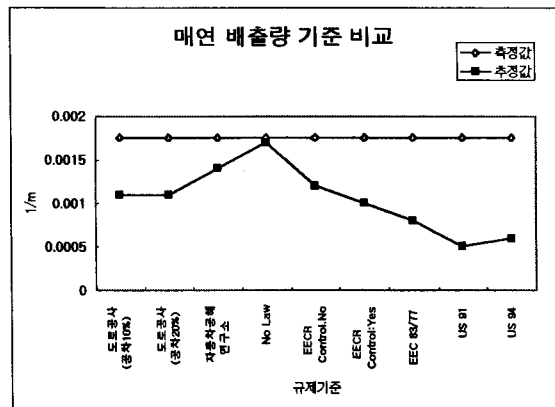


Figure 6 . 매연 배출량 기준 비교

참고문헌

1. 이창우 등, 1998, 터널환기시설 현장조사 및 분석, 한국도로공사
2. 이창우 등, 1998, 차량터널 환기시스템 종합설계시스템 개발연구, 연구보고서, KEC-97-C10-2, 코오롱건설주식회사
3. Ota, Y., 1997, "Study on prediction method for air quality control for complex road structures" Proceedings of the 9th International Symposium on the Aerodynamics and Ventilation of Vehicle Tunnels, Aosta Valley, Italy. pp77-92
4. Jacques, E.J., 1991, "Numerical Simulation of Complex Road Tunnels" Proceedings of the 7th International Symposium on the Aerodynamics and Ventilation of Vehicle Tunnels, Brighton, UK, pp.467-487.