

터널 갱구부근에서의 오염물질 유동 CFD 분석

이 창우, 서 기윤, 김 정욱
 동아대학교 자원공학과

1. 서 론

도로터널 갱구로부터 배출되는 오염된 공기는 주변 대기의 오염문제 뿐만 아니라 인접 갱구를 통한 재순환으로 우려된다. 재순환이 상당한 수준일 경우 환기설비용량의 결정에 직접적인 영향을 미치게 됨으로써 쌍굴로 굴착된 터널에서의 갱구부근 공기유동은 최근 최적 환기설비 용량 결정을 위하여 중요한 관심대상이 되고 있다. 본 연구에서는 최근 설계가 완료된 국내 장대터널을 대상으로 갱구부근 재순환 가능성 분석을 목적으로 하였다.

2. 분석방법

2.1 분석대상 터널 및 분석대상 모델

고속도로상에 건설 예정인 분석대상 터널과 갱구부근 공기유동분석을 위한 분석대상 모델공간의 주요제원은 Table 1과 같다.

Table 1. Specification of the study tunnel and the portal model

대상 터널		
터널형태	쌍굴	사이간격 19.8m
길이	3,600m	
구배	1.5%	
내공단면적	75.52m ²	
환기방식	제트팬 종류식	터널당 제트팬 ϕ 1250 24대(차속 10km/h 시)
대상 모델		
길이	350m	터널 300m 외부공간길이 50m
터널형태	쌍굴	사이간격 19.8m
구배	1.5%	
내공단면적	75.52m ²	
환기방식	제트팬 종류식	터널당 제트팬 ϕ 1250 2대
K _{blockage} 계수	0.2387	터널내 차량의 배치 특성에 따른 환기 저항계수
가스 인젝터	위치	입구 100m
	확산량	0.5m ³ /s
	농도	100%
smoke 확산 목적		

2.2 분석모델

본 연구에서 이용한 CFD 분석모델은 터널환기 전용 CFD 모델로 개발된 미국 Innovative Research사의 SOLVENT ver 1.0 (2000. 11) 이다. COMPACT-3D를 기초로 하여 프로그램 된 SOLVENT는 1988~1999 10여 년간에 걸쳐 수행된 미국 Memorial 터널 화재시험 프로그램인 MTFVTP의 결과를 통하여 광범위하고 체계적으로 검증이 되었다. 제트팬을 설치한 종류식 환기방식, 횡류식 또는 반횡류식, 그리고 조합형 환기방식에 적용 가능하도록 설계되었으며 정상류 및 비정상류 유동 해석이 가능한 공기 부양력을 고려한 $\kappa-\epsilon$ 난류유동해석 CFD 프로그램 (buoyancy-augmented $\kappa-\epsilon$ turbulence model)이다.

2.3 분석대상 공간 mesh 형태

Figure 1은 재순환 가능성을 분석하기 위하여 설정한 mesh 및 환기설비의 레이아웃이다.

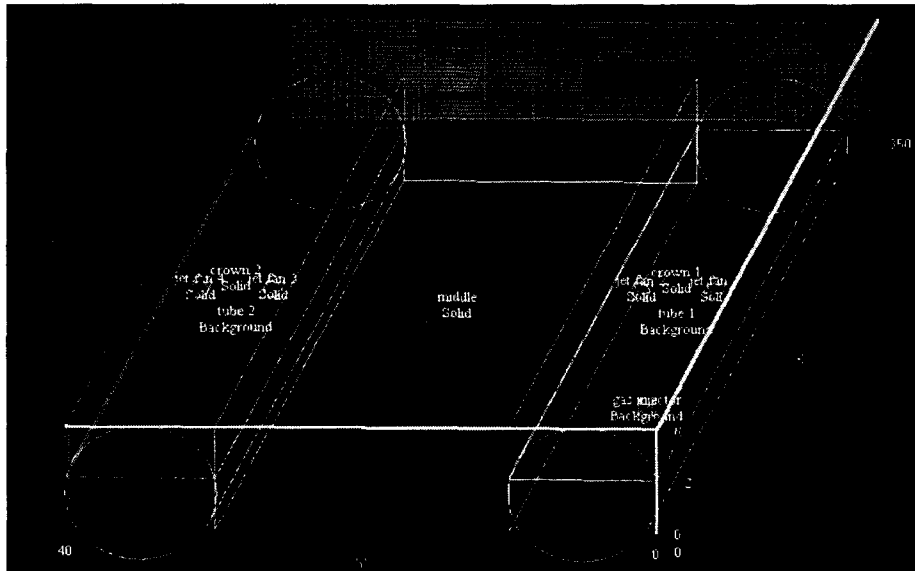


Figure 1. Mesh layout for the recirculation analysis

3. 분석 결과

3.1 갱구부근 속도분포

출구 및 입구 부근에서의 속도 벡터를 Figure 2에 도시하였다. 갱구는 축방향 300m지점에 위치하고 있으며 왼쪽 터널 출구에서 배출되는 배기의 축방향 평균속도는 4.2m/s 이며 인접 갱구에서의 축방향 입기 평균속도는 3.6m/s 정도이다. 평균속도는 bulk flow rate를 결정하는 속도로 정의하였다.

좌측 출구 갱구면으로부터 배출된 공기는 축방향 속도벡터가 우세하며 우측 터널 입구 갱구면으로의 입기는 (1)터널 상부로부터의 입기량과 (2)상부로부터 유입되어 터널 좌측을 통하여 입기되는 입기량이 대부분임을 보여 주고 있다. 갱구로부터 0 및 7m 지점 단면상에서의 횡방향 속도성분 등고선도를 Figure 3과 4에 도시하였다. 갱구면에서의 횡방향 속도는 $-0.17 \sim 0.34$ m/s, 7m 외부에서의 횡방향 속도는 $-0.11 \sim 0.22$ m/s 범위를 보인다. 갱구면에서 비교적 높게 나타나는 횡속도는 대부분 상부로부터 유입되는 입기의 횡속도 성분이며 좌측터널에서 배기되어 우측터널 방향으로의 횡방향 속도는 상대적으로 낮게 나타남으로 재유입 되는 양이 극히 적음을 알 수 있다. 이와 같은 결론은 배기 및 입기중의 smoke 농도를 비교하면 더욱 뚜렷하여 진다.

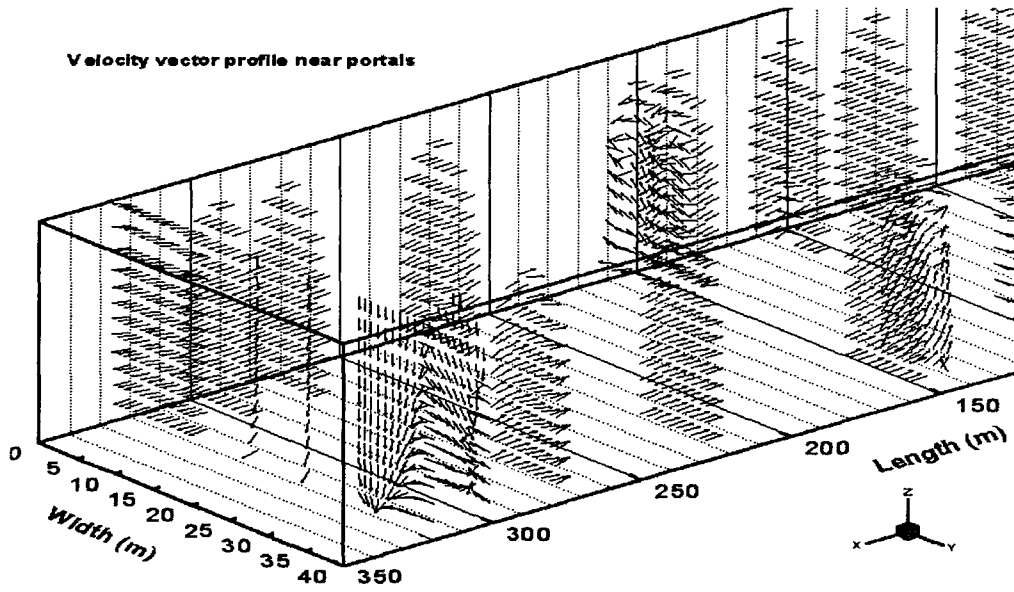


Figure 2. Velocity vector profile near the portals

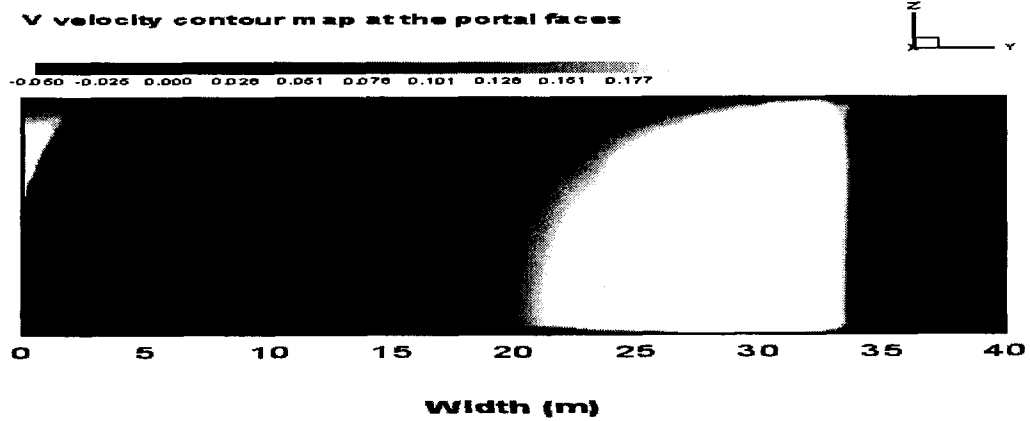


Figure 3. V velocity contour map at the portal

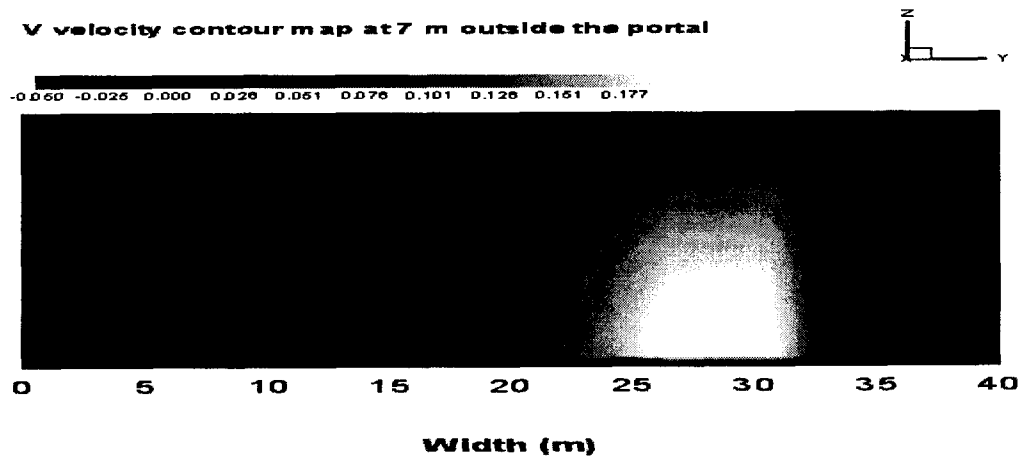


Figure 4. V velocity contour map, 7m outside the portals

3.2 갱구부근 smoke 농도분포

갱구로부터 0, 7, 20m지점 단면상에서의 smoke 농도분포를 Figure 5~7에 도시하였다. Figure 8에 는 양 터널의 축방향 중심단면 및 갱구면상에서의 smoke 농도 분포를 도시하였다. 좌측 갱구면에서 의 배기중의 smoke 최대농도는 $1.7 \times 10^{-2} \text{ kg} \cdot \text{smoke/kg} \cdot \text{mixture}$ 이며 우측 갱구면에서의 smoke 최 대농도는 $2.4 \times 10^{-22} \text{ kg} \cdot \text{smoke/kg} \cdot \text{mixture}$ 으로 배기농도의 1.4×10^{-20} 에 불과하다. 따라서 횡속도 분포 분석에서 나타난 바와 같이 좌측터널에서 유출된 smoke의 우측 갱구로의 재유입량은 극히 미미 함을 알 수 있다.

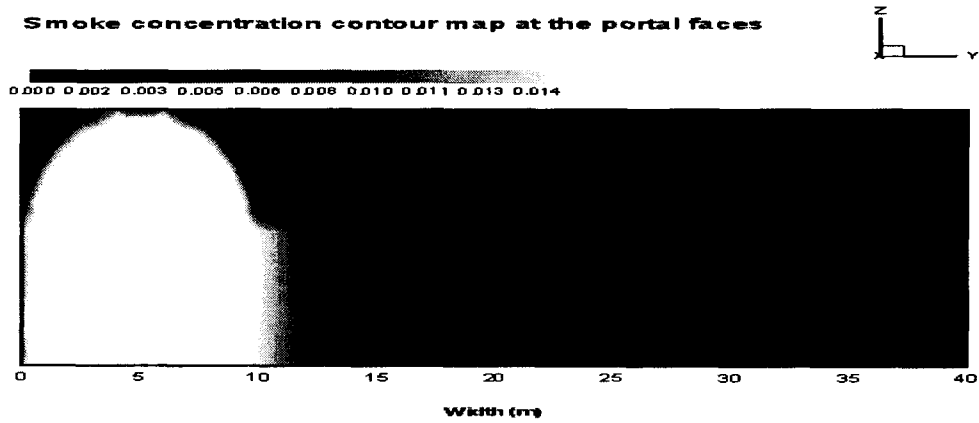


Figure 5. Smoke concentration contour map at the portal

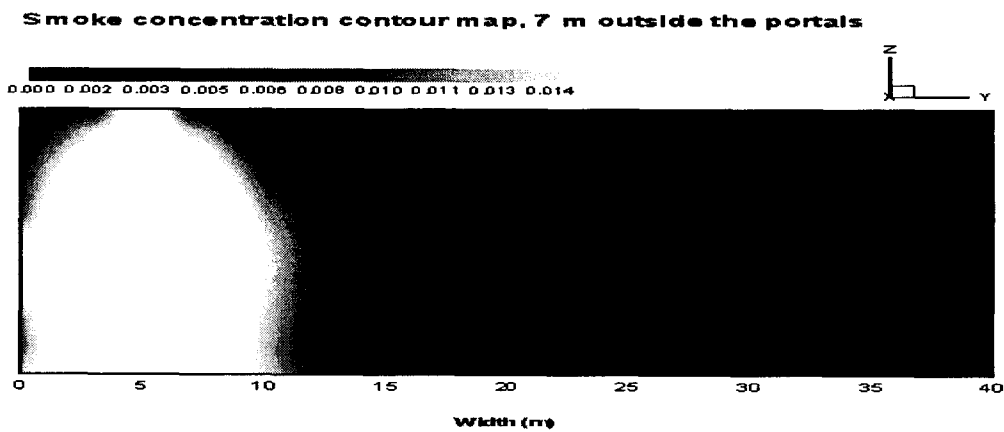


Figure 6. Smoke concentration contour map, 7m outside the portals

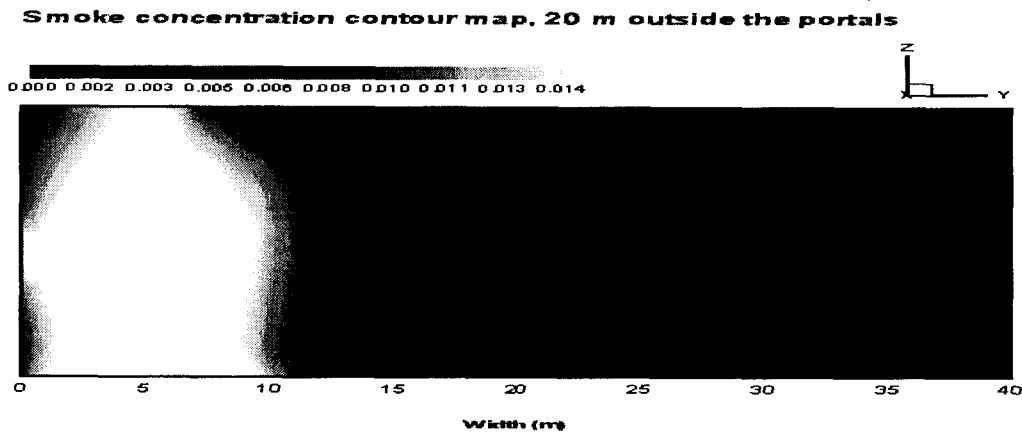


Figure 7. Smoke concentration contour map, 20m outside the portals

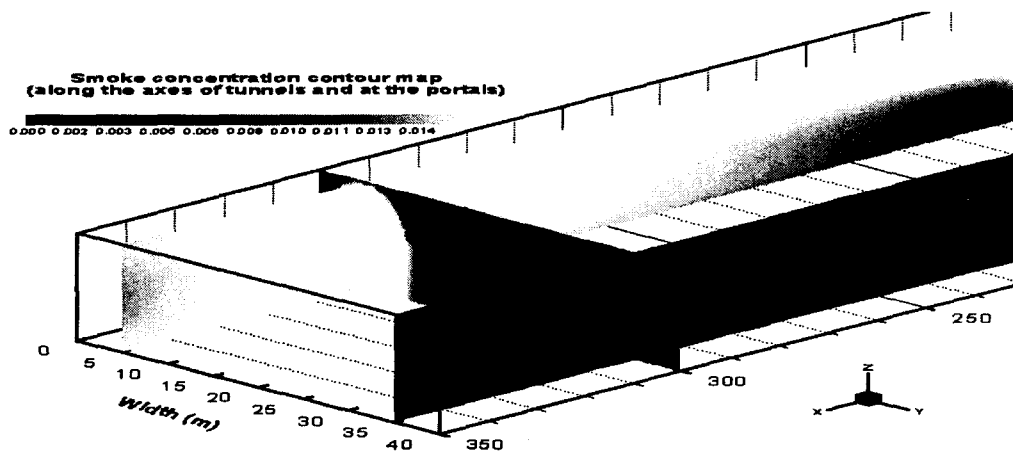


Figure 8. Smoke concentration contour map along the axes and at the portals

4. 결론

(1) 터널 축방향 환기속도가 3.6~4.2m/s로 나타난 모델 터널 갱구부근에서의 횡속도성분은 -0.17~0.34m/s이며 터널사이 재순환이 우려되는 횡방향속도는 -0.1~0.1m/s에 불과하다.

(2) 입구 단면상 smoke 농도는 출구의 1.4×10^{-20} 에 불과하므로 19.8m 떨어진 두 터널 갱구를 통한 재순환은 거의 없음을 알 수 있다.

(3) 터널 크기 및 사이간격, 터널환기속도, 갱구주변 지형 및 구조물형태에 따른 체계적인 분석을 통한 설계지침 마련이 요구된다.

참 고 문 헌

1. B.Mohammadi and O. Pironneau, 1994, Analysis of the K-Epsilon Turbulence Model, John Wiley & Sons
2. Innovative Research, 2000, User's manual for SOLVENT
3. W.K.Chow, 1991, "Prediction of CO level near vehicular tunnel with waiting queues", J. Environ. Eng. ASCE, vol.117, paper no. 25488