

터널내 화재시 제트팬에 의한 배연특성연구

권용일 · 유지오 · 신현준 · 이동호*

신흥대학 건축설비과 · *건설기술연구원 · **인천대학교 안전공학과

1. 서론

최근에 각종 SOC사업이 본격화되면서 고속도로망 및 도시교통망 확충이 가속화되어 장대 터널이 급증하고 있을 뿐만 아니라 차량의 급속한 증가로 차량배기가스에 의한 터널내부 환경의 악화가 문제시되고 있다.

특히 도로터널은 반밀폐 공간으로 터널내에서의 사고는 인명피해와 막대한 재산 피해로 이어질 수 있으므로 안전운전을 위한 제반설비 및 대책이 필요하며 안전운행을 위한 가시거리 확보 및 쾌적한 환경에 대한 요구가 대두되고 있다. 따라서 터널에서 이와 같은 요구를 만족하기 위해서 기계환기설비가 투입되고 있으며 이에 대한 최적화 설계에 대한 필요성이 높아지고 있다.

선진외국에서는 오래 전부터 터널의 환기대책에 지대한 관심을 가지고 자국의 특성에 맞는 설계자료의 정립을 위해서 지속적인 연구를 추진하고 있으나 국내의 경우에는 아직까지 외국의 경험 및 설계 기준에 의존하고 있어 시스템 설계 및 선정시에 많은 문제점을 안고 있다.¹⁻⁷⁾

본 연구는 도로터널을 대상으로 화재시의 화염전파특성을 파악함으로써 방재설비의 일환으로 사용되고 있는 제트팬의 운전조건에 대한 고찰을 행한다. 본 연구를 수행함에 있어서 방재시의 대책은 화염 전파경로의 영향 인자에 대해 평가되어야 하며 터널내의 유속 변화에 따른 화재의 전파과정을 CFD방법을 이용하여 평가한다.

2. simulation방법

화염 및 연소가스의 전파경로를 평가하기 위해서는 온도분포, 오염농도 분포 및 유동장의 속도분포에 관련된 자료를 수집해야 되며 각 변수가 미치는 영향을 고찰해야 한다. 이때 적용할 수 있는 기법은 실험적⁹⁾ 혹은 수치적¹⁰⁾ 방법이 있으나 실험적 방법을 이용하여 환기성능의 평가는 기술적, 경제적인 문제로 인해 수행하기 불가능하므로 수

치적 방법²⁾을 이용하여 환기성능 평가에 널리 이용되고 있다.

본 환기성능 평가는 화염면이 최대의 열량을 보유하고 연소가 완전 발달되었을 때 온도장과 유동장, 난류에너지장, 오염장의 3차원 수치해석으로 유동장을 해석함으로써 화염 및 연소가스의 전파과정을 추적가능하다. 화염 및 연소가스의 전파과정을 평가하기 위해 적용된 화염은 연료 및 연소물질의 가연성분이 충분히 발화하여 최대 발열량을 가지고 있다고 가정하였다.

본 연구를 수행하기 위해 적용된 가정은 다음과 같다.

- (1) 화재 시 발생하는 발열량³⁾은 일반적으로 7-100MW 범위내로 화염면의 최고온도는 1200℃까지 발달되며 최대 발열량은 20MW이다.
- (2) 화염면에서 생성되는 오염물질은 27360PPM 이다..
- (3) 외기온도는 290K, 밀도는 1.21kg/m³, 비열은 1100J/kgK이다.
- (4) 화재 시 터널로 유입되는 공기의 유속은 자연대류, 1.5m/sec, 2.5m/sec 및 4m/sec이다.

3. 계산식

본 해석을 사용된 연속방정식, 운동량방정식, 온도장, 농도장 방정식 식(1)-식(6)을 이용하여 계산되었다,

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} [(\nu_t + \nu) \frac{\partial u}{\partial x}] + \frac{\partial}{\partial y} [(\nu_t + \nu) \frac{\partial u}{\partial y}] + \frac{\partial}{\partial z} [(\nu_t + \nu) \frac{\partial u}{\partial z}] + \nu_t \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right) + \nu_t \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial v}{\partial x} \right) + \nu_t \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\partial w}{\partial x} \right) - \frac{2}{3} \frac{\partial k}{\partial x} + S_u \quad (2)$$

$$u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} [(\nu_t + \nu) \frac{\partial v}{\partial x}] + \frac{\partial}{\partial y} [(\nu_t + \nu) \frac{\partial v}{\partial y}] + \frac{\partial}{\partial z} [(\nu_t + \nu) \frac{\partial v}{\partial z}] + \nu_t \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right) + \nu_t \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial v}{\partial y} \right) + \nu_t \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\partial w}{\partial y} \right) - \frac{2}{3} \frac{\partial k}{\partial y} + S_v \quad (3)$$

$$u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial x} [(\nu_t + \nu) \frac{\partial w}{\partial x}] + \frac{\partial}{\partial y} [(\nu_t + \nu) \frac{\partial w}{\partial y}] + \frac{\partial}{\partial z} [(\nu_t + \nu) \frac{\partial w}{\partial z}] + \nu_t \frac{\partial}{\partial x} \left(-\frac{\partial u}{\partial z} \right) + \nu_t \frac{\partial}{\partial y} \left(-\frac{\partial v}{\partial z} \right) + \nu_t \frac{\partial}{\partial z} \left(-\frac{\partial w}{\partial z} \right) - \frac{2}{3} \frac{\partial k}{\partial x} + S_v \quad (4)$$

$$u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left[\left(\frac{\nu_t}{Pr_t} + \frac{1}{Pr} \right) \frac{\partial T}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\left(\frac{\nu_t}{Pr_t} + \frac{1}{Pr} \right) \frac{\partial T}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[\left(\frac{\nu_t}{Pr_t} + \frac{1}{Pr} \right) \frac{\partial T}{\partial z} \right] + S_T \quad (5)$$

$$u \frac{\partial C}{\partial x} + v \frac{\partial C}{\partial y} + w \frac{\partial C}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left[\left(\frac{\nu_t}{Pr_t} + \frac{1}{Pr} \right) \frac{\partial C}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\left(\frac{\nu_t}{Pr_t} + \frac{1}{Pr} \right) \frac{\partial C}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[\left(\frac{\nu_t}{Pr_t} + \frac{1}{Pr} \right) \frac{\partial C}{\partial z} \right] + R_c \quad (6)$$

상기 식에서 표현된 난류점성계수를 구하기 위하여 Launder와 Sharma모델을 제안한 저 Reynold수 난류모델의 k-ε 방정식을 이용하였다. 난류장을 해석하기 위해 사용된 k-ε 방정식은 Launder와 Sharma모델을 적용하였고 압력항을 해석하기 위해 SIMPLER방법을 적용하였다. 또한 각 변수의 해를 구하기 위해 TDMA알고리즘을 적용하였다.

4. simulation 모형

본 계산영역은 터널길이 2688m, 터널의 높이 x 폭은 8m x 8m로 가정하였다. 자동차의 크기는 2.5m(W) x 1.5m(H) x 5m(L)인 직육면체로 가정하였고 측벽에서 1.5m떨어진 곳에 자동차가 위치해 있다고 가정하였다. 터널의 중앙지점에 위치한 차량에서 화재가 발생하였다고 가정하였다. 화재가 발생한 지역에서의 화염 및 연소가스의 전파현상은 Fig.1과 같이 화재 발생차량의 전후50m에 대해 표현하였다.

입구측의 유입속도는 오염확산에서 주요변수이며 이 값은 Reynolds수의 변화에 따라 계산된다.

화재발생 시 터널하부에서 발생한 고온의 화염과 연소가스의 전파경로는 부력에 의해

터널상부로 이동한 후 터널상부면을 따라 터널 축의 양방향으로 전파되는 특성을 가지고 있다. 그러나 화재발생 시 인간이 화염 및 연소가스에 직접 노출되지 않도록 화염 및 연소가스가 일방향으로 전파되도록 신선공기(fresh air)를 공급하여 터널내의 일방향 유동을 조성한다. 그러나 공기유속이 낮은 조건에서는 공기 유입 역방향으로 전파되는 화염 즉, back layering 효과를 고려해야 한다. 본 계산에서는 back layer를 발생 축소시키는 임계속도(critical velocity)는 2.2m/sec이다.

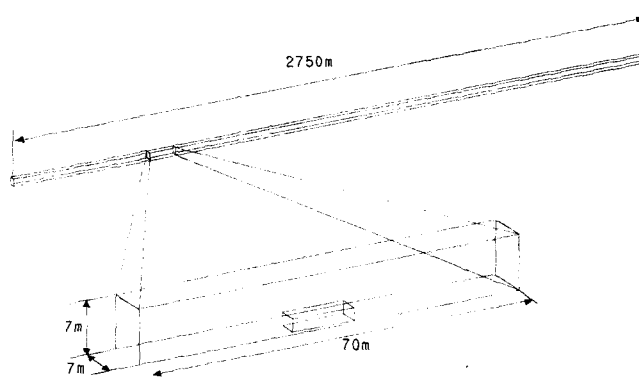


Fig.1 Simulation 모형도

5. 계산결과

본 연구에서 구해진 터널내의 온도, 속도 및 연기의 분포도를 Fig. 2, 3, 4에 나타낸다.

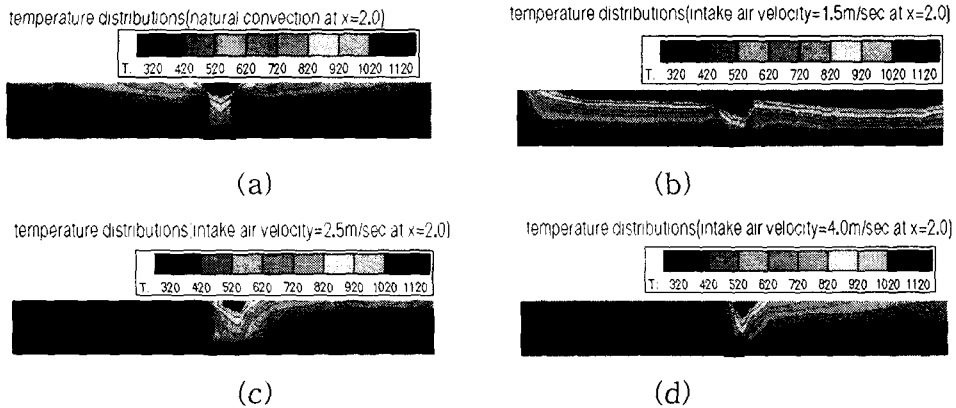


Fig.2 Temperature distributions

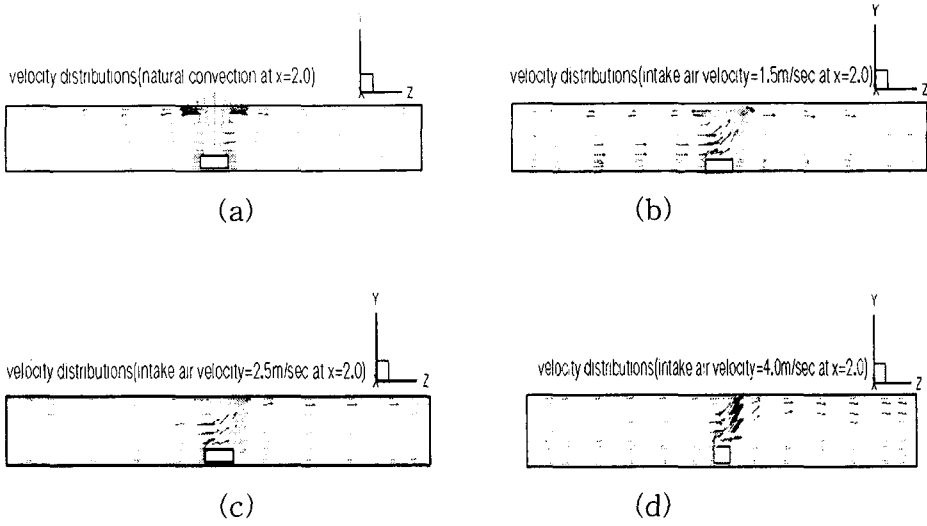


Fig.3 Velocity Distributions

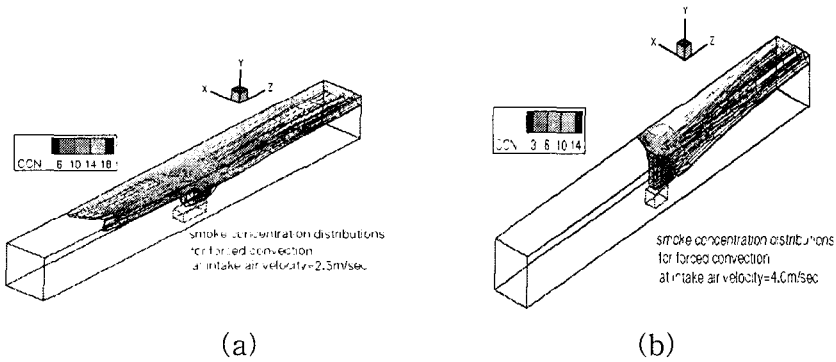


Fig.4 Smoke Distributions

6.결론

정상상태에서 신선외기 공급풍속을 변화시켜 화염과 연소가스의 전파 현상 및 풍속 변화에 따른 고찰 결과는 다음과 같다.

- (1) 자연대류의 경우, 온도경계층이 터널 축 양방향으로 전파되며 온도경계층 및 연기 농도경계층은 임계속도의 계산결과와 비교하여 발달됨 .

- (2) 대피공간을 확보하기 위해 신선외기를 공급하는 경우, 공급 풍속 1.5m/sec의 조건에서 관성력과 부력이 거의 동일하게 나타남으로서 온도경계층은 증가됨. 따라서, 피난시 인간이 위치하는 터널하부의 온도는 상승하며 기류이동 속도 또한 증가되는 현상을 나타냄.
- (3) 신선외기 공급풍속 2.5m/sec 조건에서 관성력은 부력보다 현저히 증가함으로서 온도경계층은 일방향 특성을 나타내며 Back layer는 터널 상부에서 얇은 층을 형성함. 공급되는 신선외기 풍속 4.0m/sec 조건에서 back layer현상은 완전히 소멸되어 공기가 유입되는 측으로 피난영역이 형성되는 반면 온도 경계층은 증가하는 현상을 나타냄.

참고문헌

- (1) John O. Bickel, Tunnel Engineering Handbook 2nd Ed., Chapman and Hall, New York, 1996
- (2) GEO Consult, Yuksibryung tunnels - Basic Ventilation Design, 1992.
- (3) 財団法人首都 高速道路技術センター, トンネル換氣設計基準に関する調査研究報告書 [トンネル換氣設計指針(案)], 1984.3.
- (4) 財団法人 高速道路調査會, 東京灣横斷道路トンネル換氣検討 總括報告書, 1993.
- (5) 財団法人 首道高速道路技術センター, トンネル換氣設計基準に関する調査研究報告書 [トンネル換氣設計指針(案)], 1993.
- (6) Permanent International Association of Road Congress, XIX World Road Congress, Marrakech , 91 Report, 1991.
- (7) Huber, Richtlinien für die Ausstattung und den Betrieb von Strabentunneln , RABT., 1994.
- (8) Jones, W.W., "A review of compartment fire models", U.S. National Bureau of Standard, NBSIR 83-2884 (1981)
- (9) Kumar, S., "Mathematical modelling of natural convection in fire a state of the art review of the field modelling of variable density turbulent flows", Fire & Materials, Voll, No1, (1983)
- (10) Chow, W.K., and Leung, W.M., "Application of field model to tunnel fire services design", 6th international symposium on the aerodynamics and ventilation of vehicle tunnels, Durham, England: 27-29 september, pp495-514 (1988)