

제트 팬 설치 위치에 따른 직선터널 내의 제연해석

변 주석, 임효재^{*†}, 강신형^{**}, 이진호^{***}

기술보증기금, *호서대학교 기계공학과, **건양대학교 기계공학과, ***연세대학교 기계공학과

Analysis of Smoke Control According to Jet Fan Location in Straight Long Tunnel

Ju-Suk Byun, Hyo-Jae Lim^{*†}, Shin-Hyung Kang^{**}, Jinho Lee^{***}

Songpa Technology Appraisal Center, Kibo Technology Fund, Seoul 138-803, Korea

^{*}Department of Mechanical Engineering, Hoseo University, Asan 336-795, Korea

^{**}Department of Mechanical Engineering, Konyang University, Nonsan 320-711, Korea

^{***}School of Mechanical Engineering, Yonsei University, Seoul 120-749, Korea

(Received November 7, 2006; revision received September 4, 2007)

ABSTRACT: In this study, jet fans are installed with 4 cases in the straight long tunnel; inlet-side setup, middle-side setup, outlet-side setup, and dispersion setup. A bus is selected as fired car, of which fire size is 20MW. And fired car locates at 100m, 700m, 1500m position from tunnel inlet, respectively. FLUENT, commercial finite-volume code, is used to analyze the performance. The velocity profile, CO₂ concentration, temperature distribution are examined for analysis. Performance of smoke control is compared by the backlayering length. Consequently, inlet-side setup of jet fans is a little more efficient than other cases considering the fire occurrence frequency in tunnel.

Key words: Long tunnel(장대터널), Jet fan(제트 팬), Fire(화재), Smoke control(제연), Back-layering(역기류)

기호설명

A	: 터널 단면적 [m ²]
C _p	: 정압비열 [kJ/kg · k]
g	: 중력 [N]
H	: 터널높이 [H]
K _g	: 높이보정계수
T _f	: 연소가스온도 [°C]

그리스 문자

ρ	: 밀도, [kg/m ³]
--------	----------------------------

1. 서 론

터널 내에서 발생하는 화재는 고열, 유독성 가스 및 연기에 의해 대형 참사로 이어질 수 있는 재해로 피해 규모를 생각해 볼 때 가장 주목할만하다. 이탈리아⁽¹⁾, 독일⁽²⁾에서 조사한 바에 의하면 매년 터널에서의 화재사고는 각각 35건, 9건 정도 발생했으며, 우리나라와 지형조건이 비슷한 일본⁽³⁾의 경우에도 연평균 5.3건으로서 매우 빈번하게 발생하는 것으로 조사되고 있다. 따라서 터널에서 화재가 발생했을 경우 인명피해를 최소화로 줄일 수 있는 효율적인 연기 제어 대책이 마련되어야 하며, 이러한 대책을 구체적으로 수립하기 위한 많은 연구와 노력이 필요하다. 한국

[†] Corresponding author

Tel.: +82-41-540-5802; fax: +82-41-540-5808

E-mail address: hjlim@hoseo.edu

도로공사에서는 1997년 9월 소방법시행령의 개정을 통해 고속도로의 설계기준을 강화하여 터널화재에 대한 방재 계획을 세우도록 규정하고 있다. 터널 화재에 대한 실험 연구로 실제 터널을 대상으로 하여 미국의 메사추세츠주에서 1993년부터 2년간 실시한 Memorial Tunnel Fire Ventilation Test Program (MTFVTP)⁽⁴⁾과 1992년 노르웨이에서 실시한 Eureka 499 Project⁽⁵⁾ 등이 있다. 이러한 연구는 터널 연구에 좋은 결과를 많이 제공하고 있으나, 터널 해석의 특성상 많은 시간과 비용이 소요되므로 실증실험의 예는 많지 않다. 최근 들어 비용이 적게 들면서 신뢰성을 갖추고 있는 전산유체역학에 의한 방법이 매우 유용하게 쓰이고 있다. Miles et al.⁽⁶⁾은 MTFVTP의 No. 607, 610, 615B에 대하여 화재 열원크기를 변화시켜 가며 수치해석을 수행한 결과를 실험결과와 비교하여 수치해석의 신뢰성을 검증하였고, Levy et al.⁽⁷⁾은 횡류 환기 터널에서의 CFD를 적용하여 정상상태와 준정상 상태에 대해서 10MW부터 100MW까지 화재 모델을 해석하였다. 그 외에도 많은 수치해석 연구들이 다양한 방향에서 진행되고 있다.⁽⁸⁻¹⁰⁾

일반적으로 제트 팬을 적용한 환기 터널의 제연 팬 설계는 Kennedy 식⁽¹¹⁾ 등을 사용하여 이루어지고 있다. 이러한 계산 방식은 국제적으로 널리 인정받고 있지만, 전체 대상을 하나의 제어체적으로 고려하여 계산한 식이므로 환기량을 실제 터널과 같은 3차원 형상에 적용하여 검증해보아야 한다. 또한, 터널 내 제연 팬은 설치 위치에 따른 성능 평가 없이 시공 상의 편의에 따라 터널에 설치되고 있다. 따라서 화재 시 발생하는 연기를 적절히 제어하기 위해 제연 팬 설치위치에 따른 성능 검증도 절실히 필요하다.

따라서 본 연구에서는 여러 가지 환기방식 중 제트 팬을 적용한 종류식 환기방식에서 제트 팬의 위치변화에 따른 제연 성능을 상용 유동해석 프로그램인 FLUENT를 이용해 분석하고자 한다. 성능 비교는 화재 발생 시 고온의 기류나 연기가 터널 입구쪽으로 역류하는 역기류의 길이를 통해 각 경우별로 실시하였다.

2. 터널화재의 특성

2.1 역기류(Backlayering)

도로터널은 차량이 통행하는 제한된 공간으로

일반 도로의 주행 시보다 위험도가 매우 높으며, 다른 화재 사고에 비해 발생률은 낮지만 화재가 발생하면 인명과 재산에 치명적인 피해를 주게 된다. 화재 발생 시 인명에 피해를 주는 주요인으로 연기에 의한 질식과 열에 의한 화상이 있다. 이러한 요인에 의한 피해를 최소화하기 위해 터널 내에서 화재 발생 시 인명 대피 방향으로 연기 및 뜨거운 열기류가 전파되지 않도록 방재 시설 및 계획을 수립하여야 한다. 일반적으로 터널에서 화재가 발생하면 화재에 의하여 생성된 연기는 자연 대류 효과에 의하여 상승하고 터널 천장을 만나면 터널 상층부를 따라 터널의 길이 방향으로 전파된다. 이 때 차량진행방향이 아닌 화재의 뒤쪽, 즉 입구방향으로는 차들이 정차함으로 인해 막히게 되며 이러한 경우 피난(입구) 방향으로 연기가 전파되지 못하도록 기류를 불어주게 되는데 이 기류를 이기고 피난(입구)방향으로 연기가 전파되는 현상을 역기류라고 한다. 화재지점으로부터 나온 유독가스가 사람이 대피해 나오는 입구방향으로 역류하게 되면 많은 인명피해가 발생하므로 역기류가 발생하지 않도록 제연 계획을 수립해야 한다.

2.2 임계속도(Critical Velocity)

역기류 현상이 발생하지 않도록 차량의 진행방향으로 불어주는 최소한의 유속을 임계속도라고 한다. 임계속도는 Kennedy 산정식인 식(1)~식(3)에 의해 계산할 수 있다.

$$V_c = K_1 \left(\frac{gHQ}{\rho C_p A T_f} \right)^{1/3} \quad (1)$$

$$T_f = \frac{Q}{\rho C_p A V^c} + T \quad (2)$$

$$K_g = 1 + 0.0374 \gamma^{0.8} \quad (3)$$

임계속도는 화재위치의 온도와 터널의 구배가 연계되어 있으므로 반복계산에 의하여 수렴시킨다. 임계속도의 항목을 보면 동일한 화재하중에 대하여 터널의 높이가 낮을수록, 면적이 클수록 임계속도가 낮아도 되며, 동일한 터널의 단면구조에 대하여 화재하중이 클수록 큰 임계속도가 요구됨을 알 수 있다.

2.3 화재 하중

도로터널 내부에서 화재가 발생하면 화재하중의 크기에 따라 인명 및 재산의 손실이 발생한다. 따라서 터널 내의 화재에 대한 연구를 수행하기 위해서는 기본 자료로 차종에 따른 화재하중 크기에 대한 자료가 필요하다. Yau et al.⁽¹²⁾이 1,200 m 길이의 터널에서 차량의 종류에 따라 화재하중의 크기를 설정하여 수치해석 하였다. 이 때 소형승용차는 2.5MW, 대형승용차는 5MW, 승용차 2~3대 화재는 8MW, 밴은 15MW, 버스는 20MW, 그리고 연소성 물질을 실은 로리트럭은 20~30MW로 설정하였다. 또한 Riess et al.⁽¹³⁾은 2,114m 길이의 Pierre Pertuis 터널의 데이터를 적용하여 20MW와 50MW의 화재를 예상하여 화염전파를 예측하였다. 또한, Sanchez et al.⁽¹⁴⁾은 화재하중의 10%는 복사열로서 대류열에 영향을 미치지 않으므로 화재하중의 90%만을 계산하여 임계속도 및 화재위치의 온도를 구해야한다고 제안하였다. 특히, 우리나라와 일본에서 참고하고 있는 독일연방교통부의 도로공사 일반회람 18/1994, “도로터널의 설비 및 운용지침(RABIT)”에 따르면 표준화재의 크기를 규정하였는데, 승용차는 5~10MW, 화물차 및 버스는 20~30MW, 그리고 유조차는 50~100MW로 규정하고 있다. 위의 화재 강도 연구를 기초로 하여 PIARC에서는 터널 내의 화재 발생 시 발생 열량과 연기 발생량을 제안하고 있다. 화재가 발생한 차량의 화재 모델에는 수치 해석상 화염지역모델(Fire Zone Model), 연소모델, 열원모델(Field Model) 등이 있으며⁽¹⁵⁾, 본 연구에서는 화염지역모델을 사용하여 열기류의 거동을 해석하였다.

3. 수치해석 방법

화재 발생 시 화염원으로부터 발생되는 열량은 버스를 기준으로 하며 20MW로 설정하여 계산하였으며 화재 차량은 터널 단면으로 볼 때 도로의 중앙선에 위치한 것으로 설정하였다. 이 때 제트 팬 승압력은 Kennedy 식에 근거한 임계속도 2.0 m/s 이상을 만족하는 560Pa과 팬 설치 위치에 의한 제연 성능을 비교하기 위해 역기류가 발생하는 200Pa로 설정하여 연구하였다. 화재 발생시 입구에서 출구 방향 화재 차량까지의 차량들은

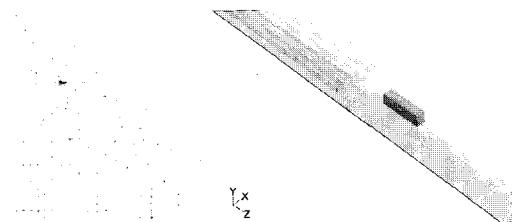


Fig. 1 Grid system for numerical analysis and Array of cars near the fire.

정체되어 있는 것으로 가정하였다.

화재 발생 시 피해를 주는 요소로는 고온의 기류, 유독가스, 연기 등이 있다. 따라서 터널 내의 화재에 대한 해석 시, 온도와 연기의 분포에 대한 해석은 반드시 이루어져야 한다. Eureka 실험⁽⁶⁾에 의하면 연기는 온도가 정상상태가 되었을 때, 이산화탄소의 농도와 선형적 관계를 이룬다. 따라서 본 연구에서는 온도장과 이산화탄소 농도장의 분석을 통해 각 CASE별 성능을 해석하였다.

해석대상은 길이 1600 m, 단면적 120 m²의 3차선 일방향 터널이다. 화재는 터널 입구로부터 100 m, 700 m, 1500 m에서 발생한다고 가정하였으며, 화재크기는 20MW의 버스화재로 하였다. 제트 팬은 총 6대로 제트 팬 설치 위치에 따라 네 경우 즉, 입구, 중앙, 출구에 각각 집중 배치한 세가지 경우와 2대씩 입구, 중앙, 출구에 분산 배치한 한 가지 경우로 구분하여 비교 검토하였다.

해석 영역은 Fig. 1에서와 같이 터널중심의 길이방향에 대칭으로 하였으며, 격자수는 20만개 내외로 하였다. 화재가 발생했을 경우, 화재 대피 시나리오에 따라 화재위치에서 출구부 방향에 위치한 차량은 모두 터널을 빠져나가고, 화재위치에서 입구부 방향에 있는 차량은 화재 발생지점에서 입구방향으로 정체된다고 가정하였다.

Table 1은 case별로 제트 팬의 위치를 표시하

Table 1 Jet fan location for each case

CASE	Jet fan location from entry
CASE I	200m, 400m, 600m
CASE II	600m, 800m, 1000m
CASE III	1000m, 1200m, 1400m
CASE IV	200m, 800m, 1400m



Fig. 2 Velocity vector near the fire car.



Fig. 3 Temperature contour near the fire car.

였다. 제트 팬 직경은 1250 mm, 압력은 역기류가 발생하는 130Pa로 설정하였다. Eureka 실험 데이터⁽⁶⁾를 참고하여 버스화재 시 최고 온도가 750 °C가 되는 유체영역을 열량 발생지역으로 선택하였으며, 실제 20MW의 버스화재 시 나오는 이산화탄소의 양인 2 kg/s를 경계값으로 주었다.

격자는 일부영역을 제외한 대부분의 영역에서 육면체 격자로 구성하였다. 격자수를 24만개, 40만개, 60만개로 변화시켜가면서 해석을 수행해본 결과, 40만개 이상부터는 속도값의 변화가 5% 미만으로 차이를 거의 발견할 수 없었다. 따라서 본 연구에서는 격자수를 40만개로 설정하여 해석을 수행하였다.

4. 결과 및 고찰

Fig. 2와 Fig. 3은 CASE I의 경우 터널 입구로부터 100m지점에서 화재발생 시 화재부 근처에서의 유동형태 및 온도장을 나타낸다. 화재가

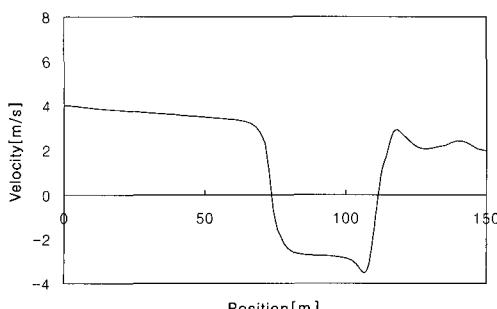
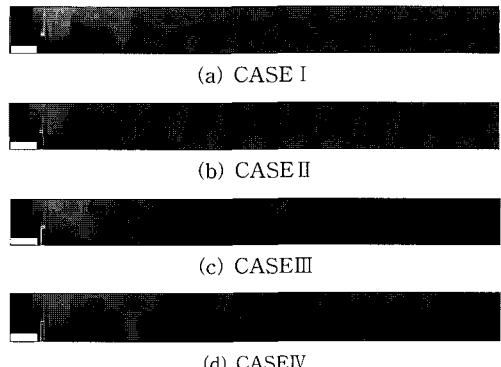
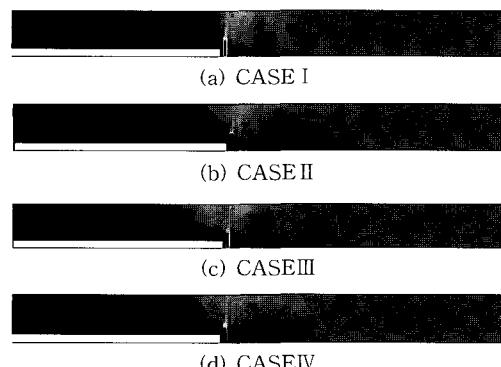


Fig. 4 Velocity distribution beneath the tunnel ceiling near the fire car.

Fig. 5 CO₂ concentration for fire location of 100m from entry.

발생하면 고온의 기류는 부력에 의해 터널 상부로 이동한 후, 천장을 따라 터널 입구와 출구방향으로 진행한다. 그러나 본 연구에서 설정한 제트 팬의 용량과 같이 역기류를 제어할 만큼 압력이 충분하지 않으면 Fig. 2에서와 같이 유동의 상호작용에 의해 순환기류가 형성되어 역기류가 형성된다. Fig. 3의 온도장에서도 이를 확인할 수 있다. Fig. 4는 터널 상부에서의 속도값을 그래프로 표시한 것이다. 화재부 근처에서 속도가 음(−)으로 나타난다. 이는 입구에서 출구 방향을 양(+)으로 놓은 것으로, 기류가 입구쪽으로 21.5 m까지 역기류가 발생함을 나타낸다.

Fig. 5는 입구로부터 100 m 지점에서 화재 발생 시 중심단면에서의 이산화탄소 농도분포를 나타낸 것이다. CASE I의 경우 화재지역 뒤쪽(출구 방향) 100 m 지점에 제트 팬이 집중 설치되어 있

Fig. 6 CO₂ concentration for fire location of 700m from entry.

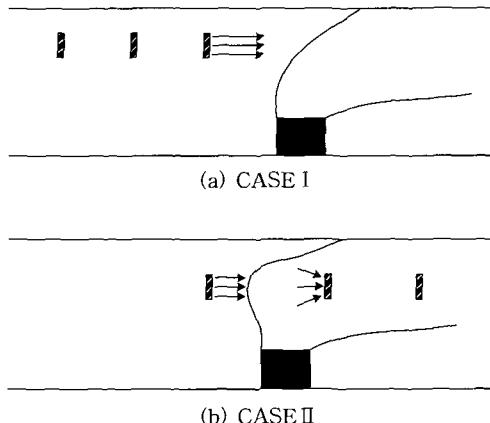


Fig. 7 Velocity near jet fan.

어 제트 팬에서 흡입하는 기류가 화재지역에 강한 영향을 미치므로 역기류는 22 m 정도 형성된다. CASE II, CASE III의 경우는 제트 팬이 화재 지역 뒤쪽 500 m 이상 떨어진 지점에 위치하므로 화재 지역에 기류의 영향이 약하여 역기류는 각각 32 m, 29 m로 CASE I에 비교해서 약 30% 정도 길게 나타난다. CASE IV에서는 화재부 뒤쪽 100 m 지점에 위치한 2대의 제트 팬에서 흡입하는 기류가 화재부에 영향을 미치지만, 입구에 집중 설치된 CASE I 만큼 강하지 못하므로 역기류는 CASE II, CASE III와 거의 비슷한 27 m 정도 형성된다.

Fig. 6은 입구로부터 700 m 지점에서 화재 발생 시 각 경우에 대해 이산화탄소 농도분포를 나타낸 것이다. CASE I의 경우 Fig. 7(a)에서와 같이 입구부에 집중 설치된 제트 팬에서 터널 상부를 통해 강하게 분사하는 기류의 영향으로 역기류는 10 m 정도 형성되어 100 m 지점에서 화재가 발생했을 경우보다 약 50% 정도 작게 나타난다. CASE II는 600 m 지점의 제트 팬에서 분사하는 기류와 800 m와 1000 m에서 흡입하는 기류가 동시에 작용하지만, Fig. 7(b)에서 보는 바와 같이 제트 팬에서 흡입하는 기류는 방사 형태로 형성되므로 제트 팬에서 분사하는 기류와 비교해서 역기류를 제어하는 모멘텀이 작게 된다. 따라서 CASE II의 경우 역기류는 43 m로 CASE I보다 약 7배 정도 길게 형성된다. CASE III은 제트 팬에서 흡입하는 모멘텀이 강하므로 유동이 터널 단면 전체에 균등하게 공급하는데 유리한 점이 있

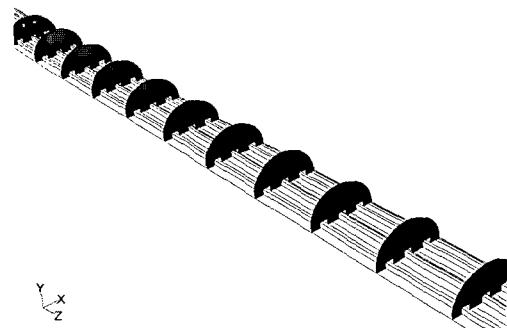
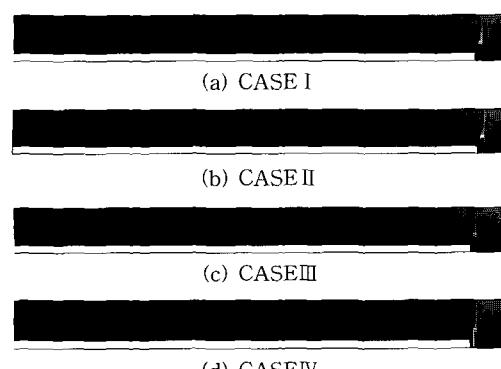


Fig. 8 Velocity contour in the cross section.

으나, 화재가 발생할 경우 화재에 의한 유동은 터널 상층부에서 집중적으로 작용하기 때문에 연기를 제어하는 데는 어려움이 있다. 역기류는 169 m 정도 형성된다.

CASE IV의 경우는 Fig. 8과 같이 200 m 지점의 제트 팬에서 분사된 기류가 터널을 통해 이동하는 과정 중 터널 단면전체로 확산이 이루어지기 때문에 화재부 근처에서 기류속도는 낮게 된다. 또한, 800 m 지점에 설치된 2대의 제트 팬에서 흡입하는 모멘텀도 집중 설치된 경우와 비교해서 크지 않기 때문에 역기류는 CASE III과 비슷한 166 m 정도 형성된다.

Fig. 9는 입구로부터 1500 m 지점에서 화재 발생 시 각 경우에 대한 이산화탄소 농도분포를 나타낸다. CASE I의 경우 입구부에 집중 설치된 제트 팬에서 16 m/s의 속도로 분사된 기류가 분사 후 200 m 지점까지 터널 단면 전체로 완전히 확산이 이루어지기 때문에 화재부 근처에서 유동은

Fig. 9 CO₂ concentration for fire location of 1500 m from entry.

약화되고, 역기류는 214 m 정도 형성된다. CASE II의 경우도 CASE I에서와 마찬가지로 제트 팬과 화재 지역간의 거리가 멀기 때문에 제트 팬에서 분사된 기류가 화재부 근처에서 약화되어 역기류는 CASE I과 비슷한 203 m 정도 형성된다. CASE III, CASE IV의 경우는 화재지역에서 앞쪽(입구방향)으로 100 m 지점에 위치한 제트 팬에서 분사하는 기류의 영향으로 CASE I, CASE II에 비교해서 역기류는 81 m, 83 m 정도로 짧게 형성된다.

Table 2~Table 4는 화재 발생위치에 따른 입구의 평균 기류속도, 질량유량, 역기류 침투 길이를 정리한 것이다. 터널 입구로부터 100 m 지점에서 화재가 발생한 경우에 대해 평균 기류 속도 및 제연 기류 질량 유량을 비교하였을 때 네 경우 모두 비슷한 값을 나타낸다. 그러나 CASE I이 다른 CASE보다 제트 팬이 화재부에서 가장 가깝게 배치되어 고온의 기류를 가장 강하게 흡입하기 때문에 역기류의 길이가 CASE I이 CASE II, CASE III, CASE IV보다 30% 내외의 범위에서 짧다. 따라서, CASE I이 다른 경우에 비해 성능이 다소 좋다.

터널 입구로부터 700 m 지점에서 화재가 발생한 경우는, CASE I의 역기류 길이가 CASE II의 16%, CASE III, CASE IV의 6% 정도로 가장 짧게 나타난다. 따라서, 이 경우 CASE I이 다른 경우에 비해 제연 성능이 월등히 우수하다. 즉, CASE I의 경우 6대의 제트 팬이 화재 발생지점으로부터 가까운 위치에서 강하게 출구 방향으로 분사하기 때문에 역기류가 거의 발생하지 않으며, CASE II의 경우도 600 m 지점의 제트 팬에서 분사하는 모멘텀의 영향으로 CASE III, CASE IV에 비해 짧은 역기류가 형성된다. CASE III는 화재위치에서 300 m 떨어진 제트 팬(터널 입구에서 1000 m 지점에 설치)에서부터 기류의 흡입이 시작되므로 역기류 제어력이 떨어진다. CASE IV는 입구에서 200 m 지점에 설치된 제트 팬에서 분사된 기류가 화재부 근처에 왔을 때 터널 전체로 확산된 상태이므로 역기류 제어력이 많이 떨어져 CASE III와 비슷한 성능을 나타낸다.

터널 입구로부터 1500 m 지점에서 화재가 발생한 경우를 살펴보면, CASE I, CASE II에 비해 CASE III, CASE IV의 경우 역기류의 침투 길이가 더 작게 나와 제연 성능이 비교적 좋다. 이것은

Table 2 Results on cases fired at 100m

CASE	Velocity in Entrance	Mass Flow Rate	Backlayering length
CASE I	2.4 m/s	310 kg/s	22 m
CASE II	2.3 m/s	304 kg/s	32 m
CASE III	2.4 m/s	308 kg/s	29 m
CASE IV	2.4 m/s	307 kg/s	27 m

Table 3 Results on cases fired at 700m

CASE	Velocity in Entrance	Mass Flow Rate	Backlayering length
CASE I	2.2 m/s	284 kg/s	10 m
CASE II	2.0 m/s	258 kg/s	43 m
CASE III	2.1 m/s	267 kg/s	169 m
CASE IV	2.0 m/s	261 kg/s	166 m

Table 4 Results on cases fired at 1500m

CASE	Velocity in Entrance	Mass Flow Rate	Backlayering length
CASE I	1.9 m/s	242 kg/s	214 m
CASE II	1.9 m/s	242 kg/s	203 m
CASE III	1.9 m/s	243 kg/s	81 m
CASE IV	1.9 m/s	241 kg/s	84 m

CASE III, CASE IV의 경우 제연 제트 팬의 위치가 화재에 더 가까이 위치하여 제연 효과를 높일 수 있지만, CASE I, CASE II의 경우는 제트 팬과 화재 위치 사이에 거리가 멀어서 제트 팬의 강제 대류에 의한 제연 효과가 미약해지기 때문이다.

5. 결 론

본 연구에서는 제트 팬을 이용한 종류형 환기 방식에서 터널 길이 방향의 제트 팬 설치 위치에 따른 화재 발생 시 연기 및 열기류의 제연 성능을 3차원 수치해석을 통해 조사하였다. 해석 방법은 터널 입구로부터 100 m, 700 m, 1500 m 지점에서 화재가 발생한 경우 연소로 인해 발생되는 연기의 확산 경로와 확산분포, 온도장, 역기류

지역의 속도분포를 조사하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

제트 팬을 집중 설치한 경우는 화재가 제트 팬 설치지역 근처에서 발생한 역기류를 제어하는데는 효과적이나, 멀리 떨어진 지역에서 화재가 발생한 경우에는 역기류의 제어가 어렵다. 반면, 제트 팬을 분산 설치하는 경우는 화재 발생 지점의 영향을 적게 받는다.

직선터널의 입구로부터 100m 지점에서 화재가 발생한 경우는 모든 CASE에서 역기류 길이가 비슷하게 형성된다. 700m 지점에서 화재가 발생한 경우는 CASE I, CASE II의 경우, 1500m 지점에서 화재가 발생한 경우는 CASE III, CASE IV의 경우 역기류 길이가 짧게 형성된다.

후 기

본 연구는 2005년도 호서대학교 학술연구비 지원에 의해 수행된 연구결과입니다.

참고문헌

1. Arnaudet, J.G., 2000, Proceeding of International Conference on Tunnel and Underground Station Fire, Hong Kong, pp. 185-193.
2. Haack, A., 1992, Fire Protection in Traffic Tunnel-Initial Recognitions from Large Scale Tests, First International Conference Basel, Switzerland, pp. 349-362.
3. Satoh, K., and Miyazaki, Sanae. 1989, A Numerical Study of Large Fires in Tunnel, Report of Fire Research Institute of Japan, No. 68, pp. 19-34.
4. Massachusetts Highway Department and Federal Highway Administration, 1995, Memorial Tunnel Fire Ventilation Test Program Report, USA, pp. 2-3.
5. Richter, E., 1995, Smoke and Temperature Development in Tunnels Experimental Results of Full Scale Fire Tests, 2nd International Conference on Safety in Road and Rail Tunnels, Granada, Spain. pp. 295-302.
6. Miles, S., and Kumar, S. 1999, Validation of a CFD Model for Fires in the Memorial Tunnel, International Conference Tunnel Fires and Escape from Tunnels, Lyon, France, pp. 159-168.
7. Levy, S., Sandzimier, J. Harvey, N. and E. Rosenbluth, 1999, CFD Model For Transverse Ventilation Systems, International Conference Tunnel Fires and Escape from Tunnels, Lyon, France, pp. 223-233.
8. Rhodes, N., 1999, Smoke in the Far Field, the First International Conference on Long Road Tunnels, Basel, Switzerland, pp. 91-95.
9. Miclea, P.C., 1996, Potential Use and Limitation of CFD Modeling Technique for tunnel and Station Fires, Tunnel Inside Management First International Conference, Korsor, Demark, pp. 311-320.
10. Drake, S.N., 2000, Confidence Gaining by Computer Simulation of Emergency Tunnel Ventilation Design, Proceeding of International Conference on Tunnel and Underground Station Fires, Hong Kong, pp. 105-113.
11. U.S. Department of transportation urban mass transportation administration office of Technology Development and Deployment Washington DC 20590, 1980, Subway Environment Simulation(SES) Computer Program.
12. Yau, R. and Cheng, 2000, Effect of Local Smoke Extraction on Smoke Control of Road Tunnel Fire, Proceeding of International Conference on Tunnel and Underground Station Fires, Hong Kong, pp. 73-95.
13. Riess, I. and Bettelini, M., 1999, The Prediction of Smoke Propagation due to Road Tunnel Fires, First International Conference on Tunnel Fires and One Day Seminar on Escape from Tunnels, Lyon, France, pp. 213-222.
14. Sanchez, G. and Lee, L., 2000, Design and Implementation Consideration for Emergency Ventilation Fan Plants, Proceeding of International Conference on Tunnel and Underground Station Fires, Hong Kong, pp. 97-104.
15. Cox, G. 1995, Combustion Fundamentals of Fire, Fire Research Station, Watford, UK, pp. 334-350.