

횡류식 선택대배기환기에서의 배연특성에 관한 연구

한상필^{1*}, 전용한²

A study on the effective fire and smoke control in transverse oversized exhaust ventilation

Sang-Pil Han, Yong-Han Jeon

ABSTRACT The smoke control system plays the most important role in securing evacuation environment when a fire occurs in road tunnels. Smoke control methods in road tunnels are classified into two categories which are longitudinal ventilation system and transverse ventilation system. In this study it is intended to review the characteristics of smoke behavior by performing numerical analysis for calculating the optimal smoke exhaust air volume with scaled-model and simulation when a fire occurs in tunnels in which transverse ventilation is applied, and for obtaining the basic data required for the design of smoke exhaust systems by deriving optimal smoke exhaust operational conditions for various conditions. As a result of this study, when the critical velocity in the tunnel is 1.75 m/s and 2.5 m/s, the optimal smoke exhaust air volume has to be more than 173 m³/s, 236 m³/s for the distance of the smoke moving which can limit the distance to 250 m. In addition, in case of uniform exhaust the generated smoke is effectively taken away if the two exhaust holes near the fire region are opened at the same time.

Keywords: Transverse ventilation, longitudinal ventilation, oversized exhaust, exhaust air volume

요약 도로터널의 환기 시스템은 차량 화재시 안전한 대피환경을 조성하는데 중요한 역할을 하며 종류환기방식과 횡류환기방식으로 대별된다. 본 연구에서는 횡류환기방식에서 대배기구방식에 대한 터널내 풍속, 배연풍량, 개방되는 배기구의 위치에 따른 유동가시화에 대하여 선행 연구와 FDS 시뮬레이션에 의한 결과를 비교하여 연기의 이동특성을 고찰하였다. 그 결과, 연기발생량($V_c=0$)에 따른 배연풍량을 제어하여 연기를 피난허용범위 250 m 이내로 제한할 수 있었으며, 터널 풍속이 1.75 m/s 와 2.5 m/s일 때 배연풍량은 각각 173 m³/s, 236 m³/s 을 초과하여야만 연기가동 거리를 250 m로 제한할 수 있었으며 화재지점 가까이에 있는 2개의 배기구를 동시에 개방하는 경우가 배연의 효과가 현저하게 높게 나타났다.

주요어: 횡류환기, 종류환기, 대배기구, 배연풍량

접수일(2011.10.5), 수정일(2011.10.24), 게재확정일(2011.11.3)

¹정회원, 한국소방안전협회

²정회원, 상지영서대학교 소방안전과

*교신저자: 한상필 (E-mail: hsfeel@kfsa.or.kr)

1. 서론

도로터널의 환기 시스템은 차량 화재시 안전한 대피환경을 조성하는데 중요한 역할을 하며 종류 환기방식(longitudinal ventilation system)과 횡류환기방식(transverse ventilation system)으로 대별된다. 횡류환기방식은 터널에 환기와 배연을 위한 덕트를 설치하여 화재시 발생하는 연기를 배연하는 방식이며, 종류식 환기방식은 피난자들이 이동하는 반대방향으로 연기 및 열기류를 제어하여 피난공간에서 대피자의 안전을 확보하는 방식이다. 일반적으로 지방도로의 일방향 터널의 경우에는 주로 종류식이 설치되며, 교통정체가 빈번하게 발생하는 일방향 터널이나 대면 터널의 경우에는 횡류환기방식을 적용하는 경향이 있다. 종류환기방식의 환기기용량 설계는 연기의 역류를 억제하기 위한 풍속인 입계풍속을 고려하여 환기기용량을 선정하고 있으나, 횡류환기방식의 경우에는 덕트의 제원 및 배연포트의 위치, 크기, 형상 등에 영향을 받기 때문에 현재까지도 최적배연풍량에 대한 기준이 명확하게 정립되지 못하고 있는 실정이다.

이렇듯 횡류환기방식의 부적절한 적용으로 인해 이용자의 인명피해는 물론 터널 구조물 및 각종 설비의 손실을 유발시켜 결과적으로 장시간 통행 불능상태를 야기하여 막대한 경제적 손실을 초래하기도 한다.

실제 2011년 7월 횡류식 균일배기방식을 도입한 남산터널에서 차량폭발로 인한 화재사고가 발생하였으며, 순식간에 발생한 연기가 원활한 배연이 되지 않아 터널내 인원의 피난과 화재진화에 어려움을 겪기도 했다.

또한 1999년 알프스 산맥을 관통하는 몽블랑 터널의 경우, 터널 내 화재로 인해서 39명의 사망자가 발생하였으며, 2000년 11월 오스트리아의 키츠슈타인호른 산악열차 화재사고로 인하여 스키 휴양지를 이용했던 170여명의 여행객이 사망한 대형 참사가 발생하였다. 2001년 7월 미국 볼티모어 시내의 한 터널에서 유독성 화학물질을 실은 화물열차가 탈선하여 화재로 이어져 소방대원들이 부상하고 터널의 기능을 상실하는 사고가 발생하였다.

우리나라 역시 2003년 홍지문 터널 화재 사고, 2005년 달성 2터널 및 2007년 호남터널 화재 사고 등 2000년 이후 크고 작은 1800여건의 터널 화재사고가 발생하였다.

이러한 사고들로 인해 세계 각국에서는 터널안전성 향상을 위한 연구와 기준의 정립 및 정비를 위해 많은 노력을 기울이고 있으며, 국내에서도 터널화재사고의 개연성이 크다는 것을 인식하여 터널의 방재시설 설계기준의 정비 및 설계자료의 확보를 위한 연구의 필요성이 대두되고 있다.

특히 배연을 통한 피난시간 및 소방활동의 확보를 위해 도로터널의 환기(배기)에 관한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 그 중 횡류식 터널의 국내·외 연구 동향은 다음과 같다.

Lin and Chuah(2008)는 배기반횡류식 터널에서 배기구를 한 개만 개방하는 단일배기(single-point extraction) 방식과 두 개 이상의 배기구를 개방하는 다중배기(multi-point extraction) 방식에 대해 배기구 크기가 24 m²일 때 CO농도와 온도를 비교하여, 단일배기(single-point extraction) 방식의 경우가 배기구를 2개 이상을 개방한 다중배기(multi-point extraction) 방식보다 배연효율이 높게 나타나 피난자가 효율적으로 대피할 수 있다고 발표하였다.

Vauquelin and Megret(2002)는 모형 횡류환기방식의 모형터널을 이용하여 화재강도를 변화시키며 배기구의 위치와 형상에 따른 배연효율을 연구하였다. 그 결과, 배기구를 벽면에 설치하는 경우보다 천장에 설치하는 경우가 배연효율이 높게 나타났으며, 종방향으로 긴 사각형 배기구가 횡방향으로 긴 형태의 사각형 배기구보다 배연효율이 높은 것으로 보고하였다.

또한 국내 연구에서 유지오 등(2006)는 2006년 반횡류 방식의 도로터널에서 수치시뮬레이션을 통해 최적배연량 산정을 위한 연구를 수행하였다. 해석조건은 균일배기방식으로 적용하는 경우를 대상으로 하여, 터널내 풍속의 영향을 검토하기 위해 터널내 풍속을 0 m/s으로 하는 경우와 2.5 m/s로 하는 경우로 구분하였으며, 그 결과 터널내 풍속을 0 m/s으로 가정할 때 배연풍량을 연기발생량으로 하는 경우, 6분간의 연기 확산거리는 250 m 정도로 나타나는 것으로 발표하였다.

그 외 터널내 배기구의 위치와 형상에 따른 화재성상과 연기의 이동특성에 대한 많은 연구들이 선행되어 진행되고 있다(유지호 등, 2010; 이동호 등, 2010; 이창우 등, 2006).

위와 같이 도로터널에 있어서 횡류식 환기방식 중 균일배기방식에 대한 연구가 활발히 진행되고 있는 반면에, 선택대배기구 등 대안적인 방식에 대한 연구가 미흡한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 선택대배기구 환기방식을 도입한 도로터널에서 화재발생시 터널 내 풍속, 배연풍량을 변수로 하여 이들 인자가 연기의 이동특성에 미치는 영향을 연기의 이동거리 측면에서 수치해석결과와 축소모형을 통한 가시화실험결과를 비교, 분석하고자 한다.

2. 수치해석 방법

2.1 배연량 산정

화재 시 배연은 주행 공간에서 이루어지기 때문에 연기와 함께 주변의 공기가 같이 유입되게 되므로 배연을 위한 환기 용량은 연기발생량 보다 현저히 증가한다는 점을 고려하여야 한다. 배연 용량 Q_E 는 반횡류 또는 횡류 환기방식을 전제로 화재발생 후 가능한 터널 내 유속과 연기발생량 Q_F 을 바탕으로 산정하며 식 (1)과 같다.

$$Q_E = A_r \cdot V_c + Q_s \quad (1)$$

여기서, Q_E 는 연기발생량(m^3/s), A_r 은 터널단면적, V_c 는 기류의 방향성제어를 위한 풍속을 나타낸다.

2.2 경계조건

본 연구에 활용된 프로그램은 FDS(Fire Dynamic Simulator Ver.4.0)를 활용하여 화재강도에 따른 비정상(unsteady) 연기농도, 온도, CO, CO₂ 농도를 ASCII값으로 데이터베이스화하여 분석을 수행하였다. FDS는 미국 NIST(National Institute of Standards and Technology)에서 개발된 화재 전용 수치해석 프로그램으로서 화재에 의해 유도되는 연기와 온도의 유동예측에 널리 사용되며 Navier-Stokes 방정식을 수치적으로 계산한다.

화재해석은 도로터널 화재 시 균일배기환기방식을 도입하였을 경우 FDS를 사용하여 수치해석을 수행하였다.

Table 1과 같이 설계화재강도는 도로터널 방재시설 설치 및 관리지침(이하 도로터널지침)(국토해양부, 2009)과 국가화재안전기준(NFSC 603)(소방방재청, 2009)에서 제시하는 20 MW를 적용하였고, 배기구는 0.5×1.2 m로 설정하여 배기구와 배기구의 간격을 10 m 마다 설치하였으며, 터널 내 입구 풍속을 0, 1.75, 2.5 m/s로 증가시켜 배연용량을 식 (1)을 통해 산출하여 연기이동거리를 분석하였다. 해석에 사용된 격자수는 약 1,126,400($144 \times 1,600 \times 16$)개이며 격자 형태는 Uniform 방식으로 설정하였다. 또한 $80 m^3/s$ 의 연기농도를 모사하기 위해 PIARC(Permanent International Association of Road Congresses)에서 제시한 자료를 토대로 Soot Yield 0.133, CO Yield 0.168로 적용하였다. 터널의 양측면은 Open Vent로 하였다. 터널 내·외부의 초기 온도는 $23.5^\circ C$ 로 설정하여 900초까지 시뮬레이션을 진행하였으며, 각 화재 조건에 따른 연기전파거리를 수치해석하였다. 연기의 이동 거리에 대한 평가는 가시도에 영향을 미치는 연기농도의 한계값을 NFPA(National Fire Protection Association)기준에 제시된 허용가시도를 연기농도로 환산하여 적용하였으며, 반사체의 경우에는

Table 1. Experimental condition on simulation

Elements	Prototype (m)
Length	659
Height	5.04
Width	12.6
Duct height	2.54
Port size	0.5×1.2
Fire intensity	20 MW

Table 2. Port distances for different cases

Case	Distance (m)
Case 1-1	60
Case 1-2	140
Case 2-1	60/140
Case 2-2	100/180
Case 2-3	140/220
Case 3	60/140/220

65 mg/m³, 비반사체의 경우에는 115 mg/m³로 하였다. 피난연결통로의 설치간격에 따른 대피시간은 국토해양부 도로터널지침에 의하면 피난연결통로 설치간격이 250 m이면 대피 소요시간은 약 4~5분 정도로 제시하고 있다. 따라서 본 연구에서는 도로터널지침의 화재발생시 환기계획에서 제시하는 화재 1단계를 가정하여 화재발생 0~900초까지 연기농도를 해석하였다.

3. 수치해석 결과

3.1 터널 내 풍속이 존재 하지 않는 경우

Fig. 1은 화재지점 상하류 60 m지점의 배기구 1개를 개방하는 경우(Case 1-1)로 시뮬레이션 최종 시간인 1,200s에서 배연풍량변화에 따른 연기의 이동현상을 부가적인 배연풍량 기준 Vc에 따라서 나타낸 것이다. 그림에서 나타난 바와 같이 연기의 이동은 터널내 기류가 존재하지 않기 때문에 양방향으로 대칭을 이루며 이동하고 있으며, 성층화가 잘 유지되어 연기가 터널의 하부 1.5 m 이상의 높이에 분포하는 현상을 보이고 있다.

부가풍량 기준인 배연풍속 Vc가 증가하면 연기의 이동거리가 감소하였으며, Vc=2 m/s이하인 경우에는 연기가 배기구를 지나 상당한 거리까지 확산되고 있으나 Vc=3 m/s에서는 연기의 이동이 배기구 부근에서 분포되어 제어되는 것을 확인할 수 있다.

Fig. 2의 결과와 같이 배기구의 위치가 140 m인 경우(Case 1-2), Vc=2 m/s 이상에서는 연기의 최대이동거리가 배기구를 약간 상회한 부근까지 제한할 수 있었다. 즉 터널화재시 1개의 배기구를 개방하는 경우(Case 1-1, Case 1-2)에 있어 배연풍량에 관여하는 배연풍속이 없더라도(Vc=0) 대배기구를 통해 연기의 최대이동거리를 250 m이내에서 제어되었다.

따라서 연기의 허용 이동거리에 대한 평가기준을 도로터널지침의 피난연락갱 간격인 250 m로 하는 경우, 배연풍량은 연기발생량과 동일한 80 m³/s 정도로 하여도 화재시 연기로 인한 피난상의 장애가 발생하지 않는 것으로 판단할 수 있었다.

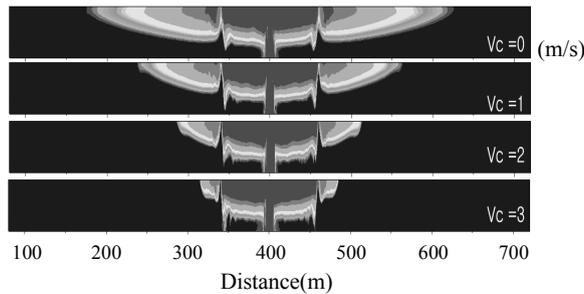


Fig. 1. Numerical analysis of smoke flow by oversized exhaust

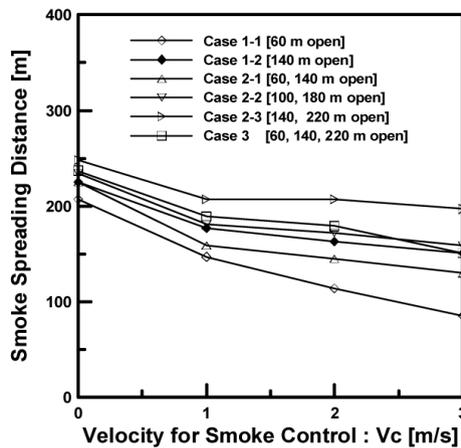


Fig. 2. Smoke spreading characteristics at tunnel air velocity 0

2개소의 배기구를 각각 60 m와 140 m지점(Case 2-1), 100 m와 180 m지점(Case 2-2), 140 m와 220 m지점(Case 2-3)에서 개방한 경우, V_c 가 증가함에 따라 연기의 이동거리가 감소하였으며, 특히 $V_c=1$ m/s 이상에서는 연기의 최대이동거리가 배기구 부근에서 분포되었다.

60 m, 140 m, 220 m지점에 위치한 3개소의 배기구를 개방하는 경우에서도, V_c 이 증가하면 연기의 이동거리가 감소하는 것이 확인되었다. 또한 $V_c=1$ m/s에서 연기의 이동을 최하류의 배기구에 근접한 부근에서 제한할 수 있는 것으로 나타나고 있다.

위의 결과를 토대로 60 m지점의 배기구를 개방하는 경우(Case 1-1)가 연기의 이동거리를 제한하는데 가장 효과적인 것으로 나타났으며, 연기의 허용이동거리에 대한 평가기준을 도로터널지침의 피난연락갱 간격인 250 m로 고려할 때, 화재시 터널내 기류가 존재하지 않는 경우에는 배연풍량(QE)을 연기발생량(QS)으로 산정하여도 터널화재시 충분한 배연효과를 기대할 수 있을 것으로 판단할 수 있었다.

3.2 터널 내 풍속이 존재하는 경우

화재시 터널내 기류가 존재하는 경우에 대한 배기구 개방조건 및 배연풍량에 따른 연기거동에 대한 해석을 터널 내 풍속이 없는 경우의 실험과 동일한 조건에 실시하여 검토하였다.

Fig. 3은 화재시 화점기준 터널내 풍속(v)이 1.75 m/s로 설정된 경우, 연기거동을 FDS를 통해 해석한 결과이다. 터널내 기류(v)가 배연풍속(V_c)을 상회한 모든 case type에 있어($V_c=1$), 연기는 약 350~380 m까지 이동하는 것을 확인할 수 있었다.

각각 화재하류 60 m 지점과 140 m 위치한 1개의 배기구를 개방한 경우, 배연풍속(V_c)이 증가하면 연기의 이동거리가 현저히 감소하였다. $V_c=2$ m/s이하에서는 연기가 배기구를 지나 확산되는 현상을 보이며, $V_c=3$ m/s에서 연기의 이동거리를 배기구 부근에서 제한할 수 있었다. 그러나 연기의 허용이동거리를 250 m로 고려하는 경우, $V_c=2$ m/s이상일 때 연기의 이동거리를 250 m이하로 제한 할 수 있는 것으로 평가된다.

2개소의 배기구를 개방하는 경우 배연풍속이 증가할수록 연기의 이동거리가 감소하는 경향을 나타냈으며, $V_c=2$ m/s 이상에서 연기의 이동이 배기구 부근에서 제한되는 것으로 나타나고 있으며, 특히 $V_c=3$ m/s에서는 연기가 각각 140 m, 180 m, 220 m의 2번째 배기구지점을 상회하지 못하고 완전배기가 이뤄지는 것을 확인할 수 있었다.

3개소의 배기구를 개방한 경우, $V_c=2$ m/s 이상의 세 번째 배기구에서 완전히 배연되는 것으로 나타나고 있다.

위의 결과를 통하여 연기의 이동거리를 제한하는 효과는 배기구가 화재지점에 근접할수록 효과적이었으며, 연기의 허용이동거리를 250 m로 고려하는 경우 배연풍속은 $V_c=2$ m/s 이상로 할 때

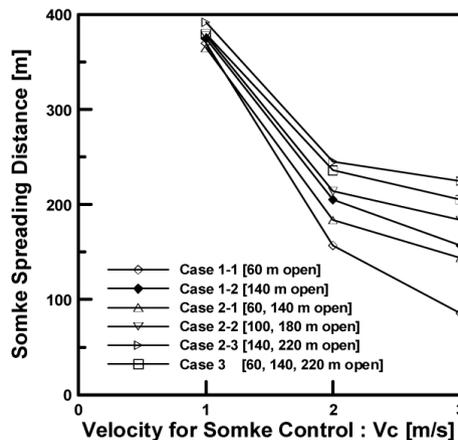


Fig. 3. Smoke spreading characteristics at tunnel air velocity 1.75 m/s.

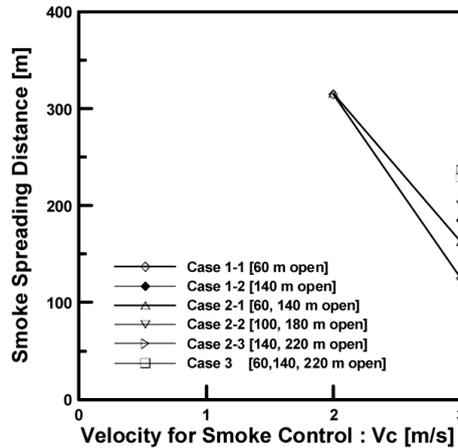


Fig. 4. Smoke spreading characteristics at tunnel air velocity 2.5 m/s.

제어할 수 있었다.

Fig. 4는 화점기준 터널내 풍속(v)이 2.5 m/s인 경우로 모든 경우, $V_c=2$ m/s에서는 연기가 최종배기구를 지나 화재하류방향으로 현저히 이동하였다. 연기의 이동거리를 배기구 주변에서 제한하기 위해서는 $V_c=3$ m/s 이상 요구되고 있다. 또한 연기의 하류이동 거리를 250 m를 기준으로 하는 경우에는 배연풍속은 Fig. 4에 나타난 바와 같이 $V_c=3$ m/s 정도가 요구되는 것으로 평가된다.

4. 모형 실험결과 와 수치해석결과 비교

시뮬레이션의 결과를 기존실험(김종윤과 전용한, 2009)과 비교를 하였으며 그 결과는 다음과 같다.

4.1 터널 내 풍속이 존재 하지 않는 경우

선택대배기방식을 적용하는 경우 터널내 풍속이 존재 하지 않는 조건에서 연기이동거리를 Table 3에 나타내었다. Table. 3과 같이 실험결과(김종윤과 전용한, 2009)와 수치해석결과 모두에서 화재 지점으로 부터 상류 및 하류방향으로 60 m이격된 지점의 배기구를 각각 1개씩 개방한 경우(Case 1-1)가 140 m지점의 배기구를 개방하는 경우(Case 1-2)보다 연기 이동거리가 짧게 나타나고 있어 근접한 지점의 배기구를 개방하는 것이 연기이동을 제한하는데 효과적임을 알 수 있다.

2개의 배기구를 개방하는 경우에는 $V_c=0$, 즉, 배연풍량이 연기발생량과 동일한 경우, 연기의 이동이 연기의 흐름방향으로 최하류의 배기구 위치를 초과하지 않는 것으로 나타났다. 따라서 2개소의 배기구를 개방하는 경우가 배연이 효과적으로 이루어지며, 화점에 근접한 배기구를 개방하는

것이 연기의 이동거리를 제한하는데 효과적인 것으로 평가된다.

또한 본 연구에서의 결과와 기존의 모형실험의 결과가 차이를 보인 것은 시뮬레이션과 모형실험에서 나타날 수 있는 세부적인 실험조건의 차이, 즉 벽체의 마찰, 재질, 온습도 등을 고려할 수 없는 실험적 한계로 사료된다.

Fig. 5는 터널화재시 터널내 풍속이 존재하지 않고 $V_c=0$ 인 경우 배연이 가장 잘 이루어지고 있는 60 m와 140 m지점의 배기구를 개방한 Case 2-1의 실험결과(5-a)와 수치해석결과(5-b)를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 연기이동거리가 모형실험에서는 150 m 지점과 시뮬레이션실험에서는 225 m 지점까지 유동하여 모두 250 m 이내로 제한되고 있으며, 수치해석 결과가 연기의 확산이 더 길게 나타나고 있다. 이는 이전의 균일배기방식(김종윤과 전용한, 2009)에서 언급한 바와 같이 연기의 온도가 수치해석의 경우가 더 높기 때문에 연기의 확산이 더 길게 나타난 것으로 판단된다.

Table 3. Comparisons of experiment and simulation by smoke spreading distance

	Experiment (m)				Simulation (m)			
	$V_c=0$ (m/s)	$V_c=1$ (m/s)	$V_c=2$ (m/s)	$V_c=3$ (m/s)	$V_c=0$ (m/s)	$V_c=1$ (m/s)	$V_c=2$ (m/s)	$V_c=3$ (m/s)
60 m (Case 1-1)	140	140	120	80	207	147	114	85
140 m (Case 1-2)	180	170	160	150	225	177	163	151
60/140 m (Case 2-1)	150	150	140	130	225	159	145	130
100/180 m (Case 2-2)	190	180	180	160	234.9	181	172	159
140/220 m (Case 2-3)	230	220	220	200	248.4	207	207	197
60/140/220 m (Case 3)	240	230	220	200	237.6	189	179	151

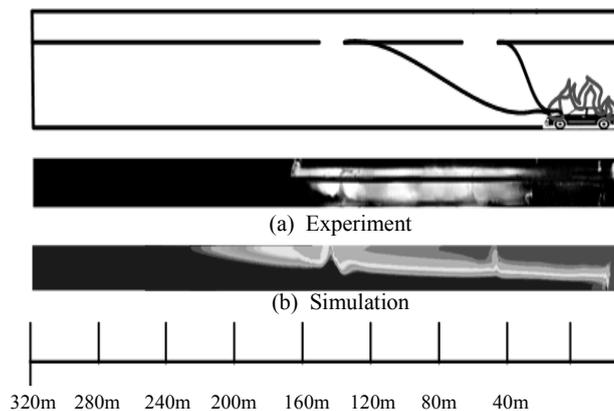


Fig. 5. Comparison of experiment with numerical analysis (tunnel inner airflow velocity=0, $V_c=0$)

4.2 터널 내 풍속이 존재하는 경우

터널내 풍속(v)이 존재하는 경우, 부가적인 풍량(V_c)이 증가하여야만 연기의 이동거리를 감소할 수 있었다. 터널내 풍속이 1.7 m/s인 경우에는 실험과 수치해석결과 모두 부가풍량 기준인 $V_c=1$ m/s이하 일 때 연기의 이동거리가 실험장치의 거리를 초과하는 것으로 나타나고 있다.

또한 1개의 배기구만 개방하는 경우에는 $V_c=2.5$ m/s까지 증가하여도 연기는 배기구를 지나 이동하였다. 2개의 배기구를 개방한 경우는 실험에서는 $V_c=2$ m/s 이상, 수치해석에서는 $V_c=3$ m/s 이상에서 연기의 이동을 최하류의 배기구로 제한할 수 있는 것으로 나타나고 있다. 따라서 연기의 이동거리는 $V_c=2$ m/s이상에서는 배기구의 위치에 의존하는 것을 알 수 있다.

이상의 검토에서 연기의 이동거리를 제한하는 효과는 배기구가 화재지점에 근접할수록 효과적인 것으로 나타났으며, 연기의 허용이동거리를 250 m로 고려하는 경우 배연풍량은 $V_c=2$ m/s 이상으로 하여야 할 것으로 판단된다.

Fig. 6은 풍속이 $v=2.5$ m/s로 $V_c=3$ m/s인 경우, 실험결과와 수치해석결과를 비교하여 나타낸 것이다. 그림에서 가시화된 같이 연기의 이동거리가 모형실험에서는 160 m 지점과 시뮬레이션실험에서는 159 m 지점까지 유동하여 실험결과(6-a)와 수치해석결과(6-b)가 유사한 경향을 나타냈으며, $V_c=3$ m/s인 경우는 허용이동거리 내에서 연기가 제한되고 있음을 알 수 있다. 터널내 풍속이 2.5 m/s인 경우 실험결과 및 수치해석 결과 모두 1개소의 배기구를 개방했을 때 연기는 배기구를 지나 하류로 이동하는 현상이 발생하며, 배기구 위치에 따른 연기의 이동거리측면에서 차이는 거의 없는 것으로 나타났다. 또한 연기의 이동거리는 실험에서는 부가풍량기준 $V_c=2$ m/s이하인 경우에는 연기의 이동거리가 실험범위인 320 m를 초과하지만, 수치해석에서는 $V_c=2$ m/s이며 Case 1-1에서 이동거리를 250 m 이내로 제한할 수 있음을 알 수 있다. 2개소의 배기구를 개방하는 경우 실험에서는 연기의 이동거리는 $V_c=2$ m/s에서는 배기구 위치에 관계없이 이동거리가 250 m를 초과하고 있으며, $V_c=3$ m/s에서 배기구 주변으로 연기의 이동을 제한할 수 있는 것으로 나타나고 있으나 수치해석에서는 60 m와 140 m 배기구를 동시에 개방한 Case 2-1인 경우는 250 m 이내로 제한할 수 있는 것으로 나타났다.

터널내 풍속이 1.75 m/s인 경우 실험결과와 수치해석결과 모두 배연량은 $205 \text{ m}^3/\text{s}(Q_e=80+2Ar)$, 터널내 풍속이 2.5 m/s인 경우는 배연풍량이 $268 \text{ m}^3/\text{s}(Q_e=80+3Ar)$ 인 경우에 피난연락경의 간격 250 m 이내로 연기이동거리를 제한할 수 있었다. 각각의 실험조건에 따라 실험에서는 Case 2-1, 수치해석에서는 Case 1-1 시스템이 다른 방법과 비교할 때 좀 더 효과적인 배연 시스템으로 나타났다.

실험결과와 수치해석결과는 근소한 오차 범위 안에 있고 배기포트 간격에 따른 효과적인 배연 시스템은 배기포트를 하나를 개방하거나 두 개를 개방하는 등의 문제보다는 화원 부근에서 배기구

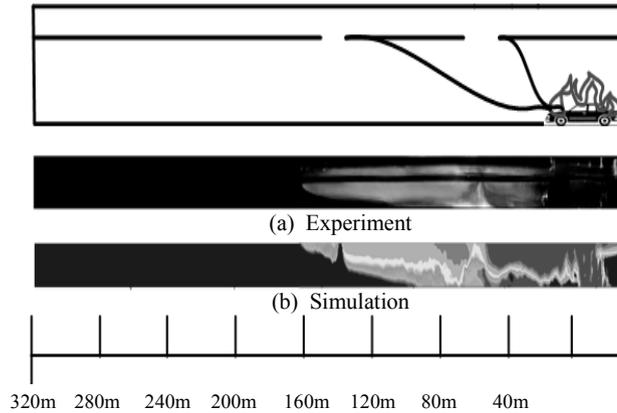


Fig. 6. Comparison of experiment with numerical analysis (tunnel inner airflow velocity=2.5 m/s, $V_c=3$ m/s)

를 개방할 수 있는 선택대배기방식이 기존의 균일배기방식의 횡류환기방식보다 우수한 배연시스템으로 적용될 수 있음을 입증할 수 있었다.

5. 결 론

본 연구에서는 횡류식 선택대배기구를 활용한 터널의 화재시 배연특성에 관하여 수치해석실험을 실시하였으며, 이전의 모형실험결과와 비교하여 검토하였으며, 횡류식 선택대배기구 배연방식에 있어 아래와 같은 결론을 도출할 수 있었다.

1. 터널 내 풍속이 존재하지 않는 경우 시뮬레이션과 실험결과 모두에서 터널 내 전 구간에서 피난 연결통로 간격 250 m 이내로 제한되어 안전한 대피가 이루어 질 수 있었다. 배연풍량은 부가풍량 없이 연기발생량을 기준으로 하여도 연기의 이동거리를 충분히 제한 할 수 있는 것으로 사료된다.
2. 배연풍속(V_c)가 증가할수록 연기이동거리가 감소하는 것을 알 수 있었다. 특히 터널내 풍속 ($v=1.75, 2.5$ m/s)이 존재하는 경우에는 그에 상응하는 배연풍속이 유지될 때 250 m 이내로 연기 이동거리를 제한하여 피난상 문제가 발생되지 않는 것으로 확인된다.
3. 배기구를 2개소 혹은 3개소를 개방하는 다배기식의 경우, 1개 배기구방식보다 배기효과가 월등히 뛰어났으며, 특히 배연풍속(V_c)이 부가되어 증가할 때 완전배기를 통해 연기로부터의 안전성을 확실히 확보할 있다.

최근 빈번히 발생하고 있는 터널내 화재에 대해 예방대책 등의 수립을 통하여 화재사고발생의 근원을 차단하는 것이 무엇보다도 중요하다. 그러나 발생된 화재사고에 대해서는 인명 및 재산피해를 최소화하는 것이 반드시 필요하며, 피난적인 측면과 소방활동적인 측면에서 배연은 중요한 역할을 담당할 수 있다. 과거 도로터널 등에 대한 기준이 정립되어 있지 않은 때에 축조된 터널의 경우 배연설비가 없는 개소도 다수 존재하므로 이에 대한 보강이 있어야 할 것이며, 이에 더불어 향후 축조되는 터널에 있어서는 단순한 배연설비의 설치만이 아닌 터널의 환경조건을 고려한 보다 효과적인 배연시스템의 적용이 고려되어야 할 것으로 본다.

횡류식 선택대배기구 배연방식은 이러한 측면에서 기존 배연방식의 대안적 시스템으로 적극적인 도입이 요망된다.

참 고 문 헌

1. 건설교통부(2006), 전국터널 현황 보고서.
2. 국토해양부(2009), 도로터널방재시설설치 및 관리지침.
3. 김종윤, 전용한(2009), “도로터널 화재시 반횡류식 환기방식에서의 최적배연연구(대배기구 방식)”, 한국화재소방학회, 제23권, 제3호, pp. 79-84.
4. 소방방재청(2009), 도로터널의 화재안전기준(NFSC 603).
5. 유지오, 신현준, 이동호(2006), “도로터널 반횡류식 환기방식의 최적배연 풍량산정에 관한 연구”, 한국안전학회지, 제21권, 제2호, pp. 46-51.
6. 유지오, 남창호, 조현제, 김종원(2010), “철도터널에서 차량화재시 정량적 위험도 평가에 관한 연구”, 한국터널공학회논문집, 제12권, 제4호, pp. 307-309.
7. 이동호, 김하영, 윤찬훈, 김진(2010), “터널내 환기소 위치별 방재효율에 관한 실험적 연구”, 한국터널공학회논문집, 제12권, 제3호, pp. 215-222.
8. 이창우, 서기윤, 김정욱(2006), “터널의 기하학적 형태 및 캐노피설치가 터널환기 및 화재확산에 미치는 영향 분석” 한국터널공학회논문집, 제8권, 제4호, pp. 325-334.
9. Lin, C.J., Chuah, Y.K. (2008), “A study on long tunnel smoke extraction strategies by numerical simulation”, Tunnelling and Underground Space Technology, Vol. 23, No. 5, pp. 522-530.
10. Vauquelin, O., Megret, O. (2002), “Smoke extraction experiments in case of fire in a tunnel”, Fire Safety Journal, Vol. 37, pp. 525-533.