

## 도로터널의 환기(Ⅲ)

### Road tunnel ventilation system design(Ⅲ)

조 용 철  
Y. C. Cho  
인하대학교 공과대학 명예교수



- 1928년생
- 도로터널의 환기계산 및 설계에 관심을 가지고 있다.

유 지 오  
J. O. Yu  
신홍전문대학 건축설비과



- 1961년생
- 유동층 열전달 및 터널, 지하철 환기, 공조설비에 관심을 가지고 있다.

남 창 호  
C. H. Nam  
(주)범창종합기술



- 1959년생
- 건축설비 및 터널환기에 관심을 가지고 있다.

#### 5. 환경보전

최근 들어 터널내 환기와 더불어 터널내 오염 물질의 배출이 터널주위의 외부환경에 미치는 영향에 대해 관심이 고조되고 있으며, 특히 도시내 터널의 경우에는 터널에서 발생하는 오염물질을 억제할 수 있는 환기방식이 검토 또는 채택되고 있는 실정이다.

터널에 대한 환기계획시 외부 환경보전과 관련하여 다음과 같은 것이 검토되어야 한다.

- 환기탑의 구조, 갱구의 오염물질 누출율
- 환기설비의 소음

- 터널배기의 처리(자동차 배출가스를 포함한 처리)

본 장에서는 터널 주위의 환경보전에 관련하여 환기탑 및 갱구 누출율에 대해 일본의 수도공단자료를 중심으로 소개하고자 한다.<sup>(1,2)</sup>

#### 5.1 환기탑을 통한 배기

도로터널로 부터 환기탑을 통해서 배출되는 공기는 주행하는 자동차에서 배출되는 배기가스를 포함하고 있다. 자동차의 배기가스는 터널환기의 주목적인 차도공간의 환경유지를 위해 도입되는 신선공기에 의해서 희석되므로 저농도를 유지하

고 있으나 대기환경보전법상의 규제치를 초과하는 수준이기 때문에 대기중에 배출되면 바람의 영향으로 확산·희석될지라도 주위환경에 영향을 미치게 되므로 이에 대한 고려가 있어야 한다.

환기소 주변의 농도에 영향을 주는 주요한 인자는 다음과 같다.

- 자동차 배출가스량 : 교통조건, 도로조건, 기본배출량
- 기상조건 : 풍향, 풍속, 대기의 안정도
- 지형조건 : 지형, 지물등
- 환기탑의 구조 : 배출구의 구조, 환기탑의 높이, 배기의 배출속도

### 5.1.1 환기탑의 배출조건에 영향을 미치는 요소

#### (1) 환기탑의 구조

환기탑의 구조는 환기설비를 구성하는 환기기, 각종 기기, 소음장치, 덕트등에 의해서 결정되며 배기가 주위 환경에 미치는 영향은 주로 환기탑의 높이, 크기, 배출구의 구조(배출방법) 및 배출속도등을 들 수 있다.

배기의 상승높이는 배출구의 구조에 따라 다르며 배출구의 구조와 배출의 상태를 종합하여 정리하면 표 17과 같다.

배출구의 구조는 배기탑의 입지조건을 고려하여 결정하며 일반적으로 배출을 위한 유효높이가 높게 확보될 수 있는 구조, 즉 배기가 갖는 운동량이 상승높이로 변환되는 것이 유리한 A형의 환기탑이 가장 유리하다.

#### (2) 배기특성

환기탑에서 배출된 배기는 우선 토출속도의 효과로 대기중을 상승함과 동시에 바람에 실려 확산하게 된다. 대기중의 배기의 확산은 풍향, 풍속, 바람의 난류도, 기온의 연직경도, 대기의 열역학적 안정도등의 기상조건과 지형조건에 영향을 받는다.

환기탑에서의 배기는 그림 26에 나타난 다운워시(down wash)와 다운드래프트(down draft)가 발생하는 경우, 지상의 오염을 급격히 증가시키게 되므로 이같은 현상을 피할 수 있도록 설계해야 한다.

다운워시는 배출속도( $V_g$ )와 풍속(U)의 비가

작은 경우, 즉 풍속이 배출속도 보다 큰 경우에는 배기탑의 후방에서 발생하는 부압영역으로 배기가 유인되는 현상이며 일반적으로 이 현상을 피하기 위해서 토출속도를 6m/s이상으로 하는 것이 바람직하다.

또 다운드래프트는 환기탑 주위에 고도가 높은 건물이 있는 경우에는 건물의 후류에서 발생하는 와류역에 배기가 말려드는 현상으로 배기의 하강이 초래되어 주위환경에 악영향을 미치게 되는 현상을 말한다.

터널의 환기탑은 일반적으로 공장 등의 연도보다 탑체와 배기구의 크기가 크며 또 탑체의 횡단면의 총횡비가 크기 때문에 다운워시와 다운드래프트 양자를 명확하게 구분하는 것은 곤란하고 다운드래프트에 가까운 현상이 발생하는 것으로 볼 수 있다.

다운드래프트에 의한 환경오염의 영향을 피하기 위해서는; 일반적으로 환기탑의 높이를 주변 건물보다 2.5배 이상을 유지하고 주위 건물로부터 300m이상 이격하는 것이 바람직하다. 이 정도의 높이를 확보하는 것이 곤란한 경우에는  $V_g/U$ 의 값을 크게 하여 배기의 상승높이를 증가시킬 수 있으나 이 경우에 출구유속의 증가로 설비 및 배기소음이 심하게 발생할 수 있으므로 이에 대한 고려가 있어야 한다.

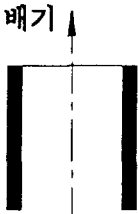
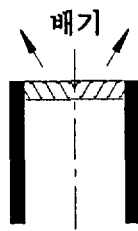
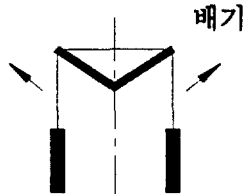
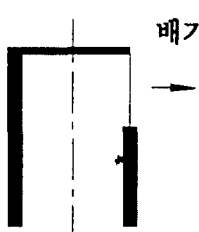
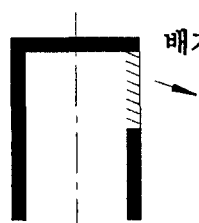
실제실험에 의하면  $V_g/U$ 를 2~2.5이상으로 유지하면 극단적인 다운드래프트는 피할 수 있는 것으로 보고되고 있다.

다운워시현상은  $V_g/U$ 를 1.5~2이상으로 유지하면 피할 수 있으며, 1이하가 되면 흐름의 주축이 하강하는 극단적인 다운워시현상이 발생할 수 있으므로 주위를 요한다.

또 배기탑에 인접 또는 병설되는 외기 취입구로 배기가 유입되는 쇼트써키트에 대한 방지책도 고려되어야 한다.

따라서 환기탑이 환경에 미치는 영향을 지배하는 인자는  $V_g/U$ 라 할 수 있으며, 환기탑 주위의 건물, 지형·지물 및 배출구의 높이와 환기탑의 구조가 다운워시, 다운드래프트가 상호밀접한 관계가 있다는 것을 인식할 필요가 있다.

표 17 배기구의 형상

배출구의 형상		주요사항
상방 토출	<p>A</p> 	<p>공장의 연도와 같은 구조. 배기가 갖는 운동량이 가장 효과적으로 상승높이로 변환될 수 있는 형식이나 배출구로 우수의 유입에 대한 대책이 필요하다.</p>
	<p>B</p> 	<p>비막이 루버로 극히 짧은 브레이드를 채택한 경우. 배기의 배출이 경사방향으로 되어 배출속도가 배출높이로 변환이 불리하다. 또 배기가 경사방향으로 상승하기 때문에 다운위쉬와 다운드래프트가 발생할 가능성이 크다.</p>
	<p>C</p> 	<p>배출구 내부에 비막이가 설치되어 경사방향으로 배출되도록 고려한 경우 B의 경우와 동일한 정도의 상승효과를 기대할 수 있으며, 다운위쉬와 다운드래프트면에서 불리한 방식이다.</p>
측방 토출	<p>D</p> 	<p>배기의 배출속도가 배기의 상승높이에 전혀 반영되지 않는 경우. 풍향에 따라 다운위쉬 다운드래프트의 영향이 크게 나타날 수 있는 방식이다. 입지 조건에 따라서 이 방식을 고려할 수 있으나 신중히 검토되어야 할 것이다.</p>
	<p>E</p> 	<p>배출구의 루버브레이드가 하향이므로 배기가 갖고있는 배출속도가 배출구 유효높이를 감해버리는 불리한 방식으로 생각된다.</p>

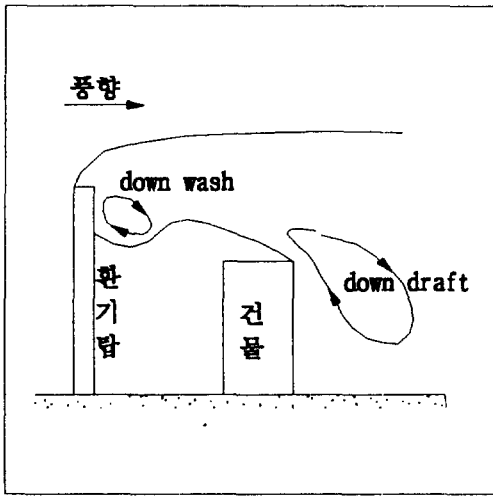


그림 26 Downwash와 downdraft

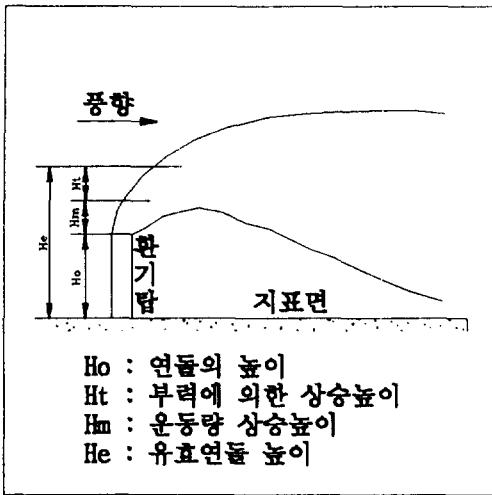


그림 27 배기의 상승과 확산

(3) 배기의 상승

(가) 배출구의 유효높이

배출구의 유효높이( $H_e$ )는 그림 27에 나타난 바와 같이 배출구의 실체높이( $H_0$ )에 배기의 상승높이( $H_m$ ) 및 부력에 의한 상승높이( $H_t$ )를 합한 것으로 다음 식으로 표시된다.

$$H_e = H_0 + H_m + H_t \quad (87)$$

(나) 배기의 상승높이 계산

터널 환기탑으로부터 배출되는 배기는 환기탑에 의해서 주어지는 소정의 환기속도 및 배기와 대기의 온도차에 의한 부력의 영향으로 상승하게 되는데, 터널의 경우에는 온도차가 작으므로 부력의 영향은 무시할 수 있기 때문에 배출속도에 의한 운동량이 상승높이에 영향을 주는 주된 인자가 된다.

배기의 상승높이 산출식으로 Moses and Carson의 식, Brummage식, Briggess식 등이 대표적이며,<sup>(3)</sup> 이들은 부력의 영향을 고려하고 있기 때문에 터널의 환기탑에 적용하기에는 부적당하며 다음의 Bosanquet의 식이 터널 환기의 유효높이 계산을 위해 사용되고 있다. 부력에 의한 높이 ( $H_t$ )는 무시한다.<sup>(3)</sup>

$$H_m = \frac{4.77}{1 + 0.43U/V_g} \frac{\sqrt{Q_e V_g}}{U} \quad (88)$$

여기서,  $Q_e$  : 환기탑의 배기량 ( $m^3/s$ )

$V_g$  : 배기의 배출속도 ( $m/s$ )

$U$  : 평균풍속(배출구의 높이,  $H_0$ 에서 의 풍속) ( $m/s$ )

윗식에 실무적으로 안전율을 고려하고  $R = V_g/U$ 로 하여 정리하면 배기의 상승높이( $H_m$ )은 다음과 같다.

$$\frac{H_m}{D} = 0.65 \frac{4.23R}{1 + 0.43R} \quad (89)$$

여기서,  $D$ 는 배출구의 직경이다.

따라서 배출구의 유효높이는  $R$ 과 배출구의 직경에 의존하며 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$H_e = H_0 + 0.65 \frac{4.23R}{1 + 0.43R} D \quad (90)$$

(4) 오염물질 발생원의 강도

오염물질 발생원의 강도는 환기탑 배출구로

부터 단위시간당 배출되는 자동차의 배기가스량으로 환기방식에 대응하여 터널의 연장 또는 환기대상구간, 교통량, 대상물질의 기본배출량에 의해서 다음식에 의해서 구한다.

$$q_{tw} = \frac{L_r \sum_{i=\text{차종}} (n \cdot q_{o_i})}{3600} - q_{pt} \quad (91)$$

- 여기서,  $q_{tw}$  : 배기탑 배출구의 자동차 배출가스의 량 ( l/s )
- $n$  : 차종별 교통량
- $q_o$  : 차종별 배기가스의 기본배출량 ( l/km · veh )
- $L_r$  : 터널의 연장 또는 환기구간의 장
- $q_{pt}$  : 갱구로 배기되는 자동차 배출가스의 누출량

이다.

터널갱구의 누출량을 제어할 수 있는 입갱송기 또는 집중배기식, 송배기식, 횡류식에 있어서  $q_{tw}$ 는 터널내 배구로 유입되는 공기의 농도로부터 다음과 같이 구할 수 있다.

- i) 수직갱 배기 또는 집중배기방식
  - a) 통과풍이 부는 경우

$$q_{tw} = -\omega \left\{ -l + \frac{U_{r2}}{U_{r1}} \left[ l_o - P_1 \left( e^{\frac{U_{rlk}}{D}} - 1 \right) \right] - \frac{D}{U_{r2}} + P_2 \right\} \quad (92)$$

- b) 역풍이 부는 경우

$$q_{tw} = \omega \left( l - \frac{U_{r2}}{U_{r1}} \right) \left[ l_o - R_1 \left( e^{\frac{U_{rlk}}{D}} - 1 \right) \right] \quad (93)$$

- ii) 수직갱 송배기방식
  - i) 과 동일
- iii) 횡류식

$$q_{tw} = \omega L_r \left[ 1 + \frac{\phi A_r D_r}{q_e L_r \sinh \phi L} \left\{ e^{\frac{U_r(L_r + L_{ao})}{2D}} \right. \right.$$

$$\left. \left. \frac{\cosh \phi(L_r + L_{ao}) - \frac{U_r}{2\phi D_r} \sinh \phi(L_r + L_{ao})}{e^{\frac{U_r L}{2D}}} - \cosh \phi L_{ao} + \frac{U_r}{2\phi D_r} \sinh \phi L_{ao} \right\} \right] \quad (94)$$

$$\phi = \sqrt{\left( \frac{U_r}{D_r} \right)^2 - 4 \frac{q_e}{A_r D_r}}$$

$$L = L_r + L_{ao} + L_{ai}$$

여기서,  $L_{ao}$  : 터널출구에서 오염물질의 확산을 고려한 부가길이로 일반적으로 터널직경의 10배(  $L_{ao} = 10D_r$  )로 한다.

$L_{ai}$  : 터널입구에서 오염물질의 확산을 고려한 부가길이이며 터널출구로 공기가 배출되지 않은 경우에는 0로 한다.

한편 터널완공후 배출구에서 배기되는 오염물질의 농도(  $C_{tw}$  )를 예측할 수 있는 경우에는 다음식으로  $q_{tw}$ 를 구할 수 있다

$$q_{tw} = Q_e \cdot C_{tw} \quad (95)$$

여기서,  $C_{tw}$ 는 배기중의 대상오염물질의 농도이다.

### 5.1.2 배기의 확산

#### (1) 농도계산

환기탑에서 배기되는 오염물질의 확산농도는 연돌에서와 같은 방법으로 구할 수 있으며 일반적으로 농도분포의 계산식은 확산계수가 일정한 경우에 충분히 넓은 지역에 놓여진 점오염원으로부터 오염물질이 방출된다고 가정하면 매연농도는 정규분포(Gauss)를 나타낸다는 점에서 정규분포형 농도계산식이라 부른다.

바람의 방향을 x, 이에 직각방향을 y, 연직방향을 z축으로 하면 지상에서의 확산에 의한 오염물질의 농도는 다음식으로 계산할 수 있다.

$$C(x, y, 0) = \frac{q_{tw}}{\pi \cdot \sigma_y \cdot \sigma_z \cdot U_r} \text{Exp}\left\{-\left(H_e^2/2\sigma_z^2 + y^2/2\sigma_y^2\right)\right\} \quad (96)$$

여기서, C : 농도 (ppm)

$q_{tw}$  : 발생원의 강도 ( ml/s)

$\sigma_y, \sigma_z$  : 수평방향, 연직방향의 확산폭(m)

U : 평균풍속

$H_e$  : 유효배출구 높이

따라서 흐름의 주축인 x방향으로의 확산농도는 다음식으로 구한다.

$$C(x, 0, 0) = \frac{q_{tw}}{\pi \cdot \sigma_y \cdot \sigma_z \cdot U_r} \text{Exp}\left(-H_e^2/2\sigma_z^2\right) \quad (97)$$

(2) 대기안정도 및 확산폭

환기탑에서 배출된 배기의 확산폭은 대기의 안정도에 따라서 다르며 대기안정도는 지상풍속, 일사량 및 구름의 양을 조합하여 6단계(A~F)로 분류하고 있다.

표 18은 Meade의 안정도 분류를 나타낸 것이다.

또 식(96)를 이용해서 확산농도를 구하는 경

우,  $\sigma_y, \sigma_z$ 를 가정하는 것이 문제이며, 이는 대기의 안정도 및 표면조도등 여러 가지 인자에 의해서 영향을 받는다. 확산폭에 대한 정의는 도시지역을 대상으로 하는 경우 그림 28과 표 19에서 구할 수 있다.

5.2 갱구누출

터널은 일반적으로 지표부에 위치하여 자동차 배출가스가 집중하여 갱구로부터 누출되므로 주변에 미치는 영향이 일반도로에서 보다 월등히 크게 나타나게 된다. 따라서 인구가 밀집한 지역에서는 갱구누출을 최대한으로 줄일 수 있는 방안이 검토되어야 한다. 실제로 일본의 경우 표 20에 나타난 바와 같이 근래에 건설되는 도시지역의 터널은 갱구누출율을 최대로 억제할 수 있는 집중배기방식으로 시공하고 있는 실정이다.

갱구에서 배기가스의 누출은 유동패턴에 따른 공기유동에 의한 것과 주행하는 자동차의 교란작용에 의해서 발생하게 된다. 따라서 상하행선의 교통량이 완전히 같아 터널내 공기의 유동이 없는 경우나 집중배기방식을 채택하여 갱구로의 터널내 공기의 유출을 완전히 억제하는 경우에도 약간의 누출은 있게 되며 갱구 누출량은 여러 가지 변수에 의해서 영향을 받기 때문에 정확히 예측하는 것은 어렵다.

표 18 대기 안정도 분류표(Meade에 의함)

지상풍속	주간			주간 또는 야간 (호린날)	야 간	
	일사량(MJ/m <sup>2</sup> h)			구름의 양 (8~10)	상층운 (5~10)	구름의 양 (0~4)
	강 2.09	중	약 1.04		중하층의 구름 (5~7)	
<2	A	A-B	B	D	-	-
2~3	A-B	B	C		E	F
3~4	B	B-C	C		D	E
4~6	C	C-D	D		D	D
>6	C	D	D		D	D

A/B : 불안정, C : 약간 불안정, D : 중립, E/F : 안정  
지상풍속 : 지상 10m높이의 풍속

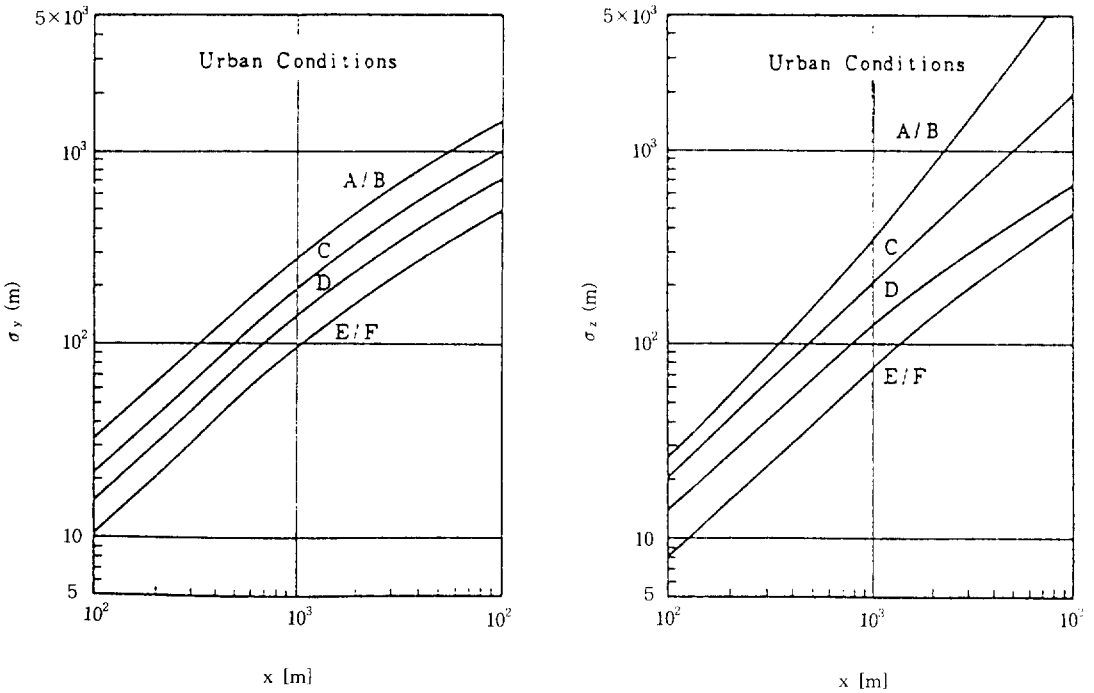


그림 28 도시지역의 확산폭

표 19 도시지역의 확산폭

대기안정도	$\sigma_y(m)$	$\sigma_z(m)$
A/B	$0.32x(1+0.0004x)^{-0.5}$	$0.24x(1+0.001x)^{-0.5}$
C	$0.22x(1+0.0004x)^{-0.5}$	$0.2x$
D	$0.16x(1+0.0004x)^{-0.5}$	$0.14x(1+0.0003x)^{-0.5}$
E/F	$0.11x(1+0.0004x)^{-0.5}$	$0.08x(1+0.00015x)^{-0.5}$

본 절에서는 누출을 억제할 수 있는 횡류식, 집중배기방식, 수직강송배기방식의 누출량에 대해서 알아보기 하자.

5.2.1 횡류식 환기방식에서의 누출율

누출율이란 터널갱구를 통해서 터널에서 발생하는 총오염물질 중 터널갱구를 통해서 배출되는 양의 비이다. 따라서 횡류식 환기방식에서 누출율은 터널에서 발생하는 오염물질의 총량을  $\omega L_r$ 이라고 할 때 환기탑을 통해서 배출되는 오염물질의 양이  $q_{wt}$ 이므로 누출율 E는 식(98)이

된다.

$$E = (\omega L_r - q_{wt}) / \omega L_r \times 100\% \quad (98)$$

그림 29는 연장이 1~5km에 이르는 2차선 횡류식 환기방식의 터널에서 갱구 누출율을 계산한 것으로 그림에서 터널의 연장이 길수록 또 배기풍량( $q_c$ )이 클수록 갱구 누출율이 감소함을 알 수 있다. 위의 결과는 모형실험을 통해서 확인된 이론계산과 4%정도의 오차를 갖는다.

표 20 집중배기방식을 채택한 터널(일본의 경우)

터널명	연장	위치	젯트팬수	환기용량	통행방법	비고
Atago	780 m	Yamanashi		88m <sup>3</sup> /s	2way/1tube	
Takeoka	1,506 m	Kagoshima	JF1000×4	140m <sup>3</sup> /s	2way/1tube	
Abou	4,356 m	Gifu	JF1000×10	787m <sup>3</sup> /s	2way/1tube	설계중
Mariko	2,027 m	Shizuoka	JF1000×17	225m <sup>3</sup> /s	2way/1tube	
Gyoen	1,000 m	Tokyo		560m <sup>3</sup> /s	1way/1tube	
Manazuru	1,445 m	Kanagawa (JHC)	JF1000×4	154m <sup>3</sup> /s	2way/1tube	
Aobayama	2,233 m	Miyagi		320m <sup>3</sup> /s	1way/1tube	
Hinosan	1,362 m	Fukui(JHC)		420m <sup>3</sup> /s	1way/1tube	
Fuzishiro	1,828 m	Wakayama (JHC)		160m <sup>3</sup> /s	2way/1tube	
Uzi	4,313 m	Kyoto(JHC)		642m <sup>3</sup> /s	1way/1tube	
Aki	1,687 m	Hiroshima (JHC)		250m <sup>3</sup> /s	1way/1tube	
Tennouzan	1,968 m	Kyoto(JHC)	JF1500*, BF1500*17	922m <sup>3</sup> /s	1way/1tube	
Maiko	3,253 m	Hyogo		1,210m <sup>3</sup> /s	1way/1tube	설계중
Tamagawa	2,090 m	Tokyo (MAX)		1,032m <sup>3</sup> /s	1way/1tube	
Kawasakiko uro	1,848 m	Tokyo (MAX)		1,410m <sup>3</sup> /s	1way/1tube	
Hanazonobashi	1,100 m	Tokyo (MAX)		321m <sup>3</sup> /s	1way/1tube	

※ 2way/1tube는 대면교통, 1way/1tube는 일방향교통

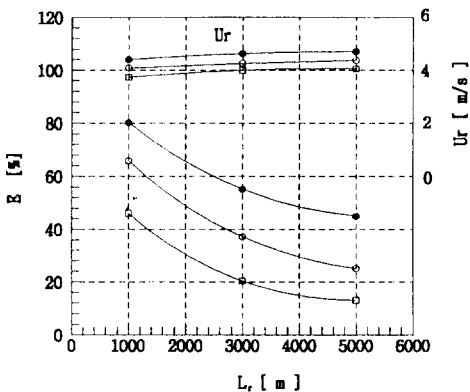


그림 29 횡류식 환기방식에서 터널연장에 따른 배출률 관계(N=1,771대/h 2Lane, Vt=38.1km/h, 혼인율=25.2%)

횡류식 환기방식에서도 상당량의 오염공기가 갱구를 통해서 배기되게 되므로 오염물질의 갱구누출이 문제시되는 경우에는 횡류식과 집중배기 방식을 조합한 설계를 검토되어야 할 것으로 판단된다.

5.2.2 집중배기방식의 배출률

집중배기방식에서는 갱구로 부터의 공기의 배출이 없다는 점에서 갱구누출은 0으로 생각할 수 있으나 실제로는 차량의 운행으로 인한 확산 효과로 인하여 작은량의 누출이 있는 것으로 실험을 통해 밝혀졌다.

그림 30은 720m의 터널에 대해서 차량의 통행조건(차량의 대수, 주행속도) 및 소요환기량과



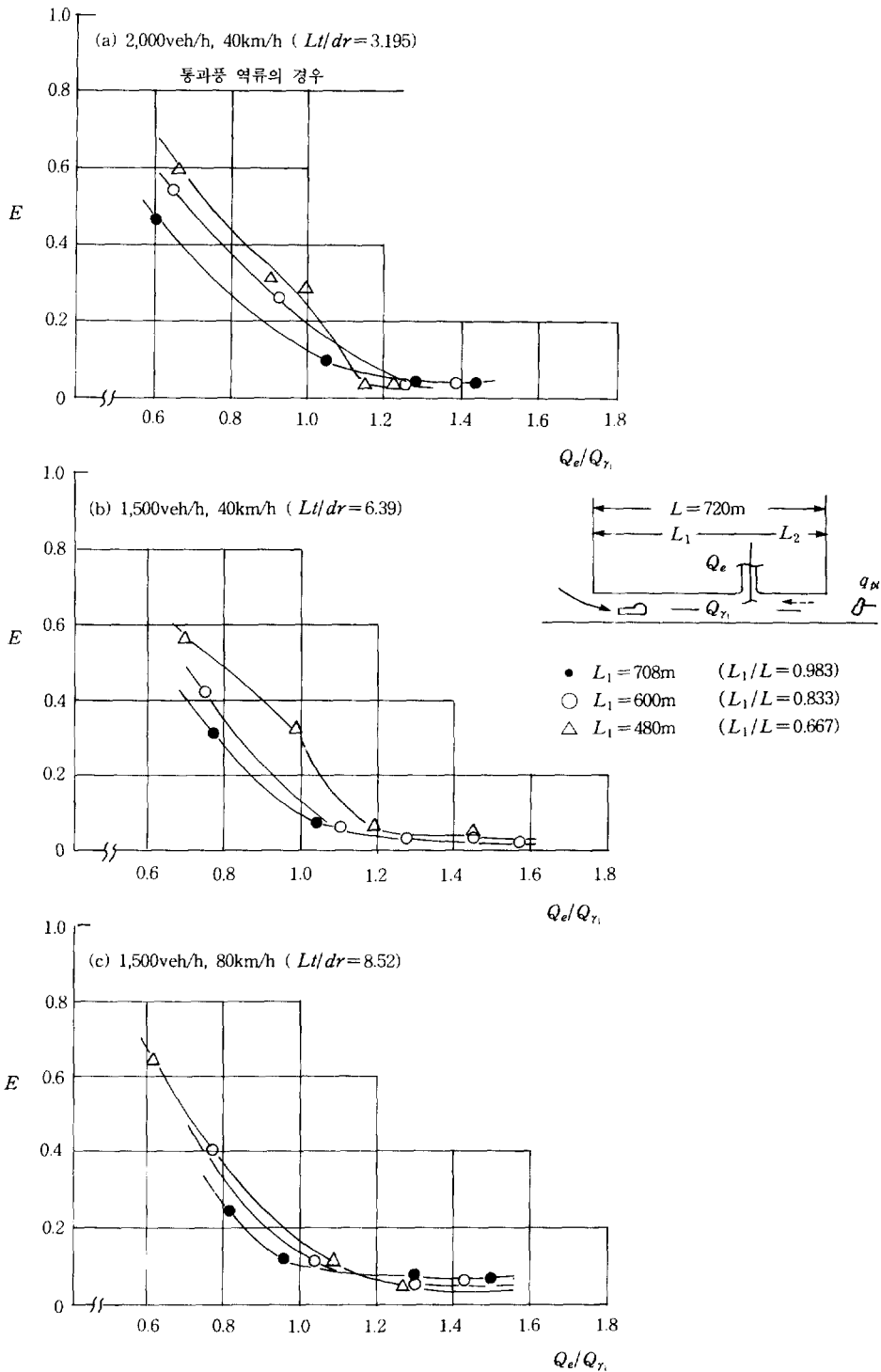


그림 30 배기율( $A_e/Q_{r1}$ )과 갱구누출율과의 관계(터널연장 : 720m)

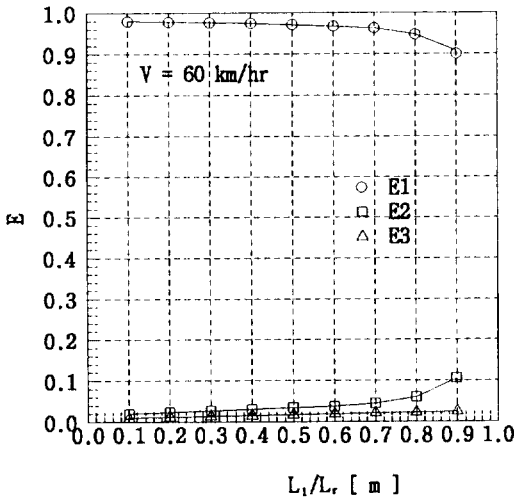


그림 31 갱구를 통한 오염물질 누출율  
(연장 : 730m, 교통량 : 1,550대/hr,  
구배 : 0.823)(환기량 : 175CMS)

배풍량의 비( $Q_e/Q_{r1}$ )가 갱구누출율에 미치는 영향을 나타낸 것으로 배풍량 ( $Q_e$ )이 증가할 수록 누출율은 감소하며 배풍량이 소요환기량보다 커지는 경우 ( $Q_e/Q_{r1} > 1$ )에 누출율은 5% 정도에 이르고 있음을 알 수 있다.<sup>(4)</sup>

또 그림 31은 주행속도가 60 km/h인 경우에 배기구의 위치 ( $L_1/L_r$ )에 따른 누출량을 나타낸 것으로 그림에서  $E_1, E_2, E_3$ 는 각각  $q_1/\omega L_r, q_2/\omega L_r, q_3/\omega L_r$ 로 터널입구, 환기탑, 터널출구에서의 누출율을 나타낸 것이다. 그림 31에서 알 수 있듯이 터널입구 및 출구를 통한 누출은 전술한 바와 같이 완전히 0이 되지 않음을 알 수 있으며 또 배기구의 위치가 터널출구쪽에 위치 될 수록 갱구누출율은 증가하게 된다. 이는 집중배기방식의 특성상 배기구가 출구쪽에 위치 할수록 배기풍량이 감소하기 때문이다.

### 5.2.3 갱구배기의 확산

갱구로부터 방출되는 터널배기의 확산은 갱구 주변의 지형, 기상조건, 갱구의 바람, 교통조건등에 의해서 지배되며 그 현상은 아주 복잡하다.<sup>(5)</sup> 따라서 농도의 예측은 컴퓨터 시뮬레이션등을 통

해서 구할 수 있으나 본 절에서는 측정치를 근거로 확산농도를 간편하게 산출할 수 있는 방법을 소개하고자 한다.

이 방식에서 임의 지점의 농도(C)는 예측농도 분포도(그림 32)로 부터 기준농도( $C_n$ )를 구한 후에 갱구배출량( $q_{pt}$ )을 고려하여 다음식으로 구한다.

$$\text{바람이 있는 경우 : } uC/q_{pt} = C_n \quad (99)$$

$$\text{약풍이 부는 경우 : } C/q_{pt} = C_n$$

여기서, C : 구하고자 하는 지점의 지상농도(ppm)

u : 지상 10m지점에서의 풍속(m/s)

또 갱구에서의 확산정도를 나타내기 위해서 jet length라는 개념이 하는데 이는 갱구를 통해 배출된 배기가 대기에 확산·회석되어 초기 오염농도의 20%에 도달할 때 거리를 의미한다.

Charles<sup>(6)</sup>는 차량의 주행속도 및 풍속과 풍향에 따라 jet length를 구하고 있으며 그림 33에 나타난 바와 같다. 그림 33(a)는 터널갱구에 retaining walls이 있는 경우이고 그림 33(b)는 retaining walls이 없는 경우이다. 그림에서 jet length는 풍속 및 차량의 주행속도에 따라서 최대 300m에서 최소 50m정도임을 알 수 있다.

그림에 의하면 갱구로 바람이 불지 않는 경우 ( $U = 0\text{m/s}$ )에는 차량의 주행속도가 증가하면 차량의 움직임에 의한 혼합효과가 커지기 때문에 jet length는 감소함을 알 수 있다. 또 바람이 부는 경우에는 바람의 방향이 차량의 진행방향과 동일(wind angle=0)하고 풍속이 주행속도보다 작은 경우를 제외하면 일반적으로 jet length는 풍속이 0인 경우보다 작아진다.

바람의 속도가 동일한 경우에는 차량의 속도가 증가하면 jet length는 증가하는 경향을 갖는다.

이상에서 jet length는 차량의 주행속도와 풍속 및 풍향에 영향을 받으며 차량의 속도가 증가하면 바람이 미치는 영향은 상대적으로 감소하여 결국에는 바람이 없는 조건에 수렴하게 된다.

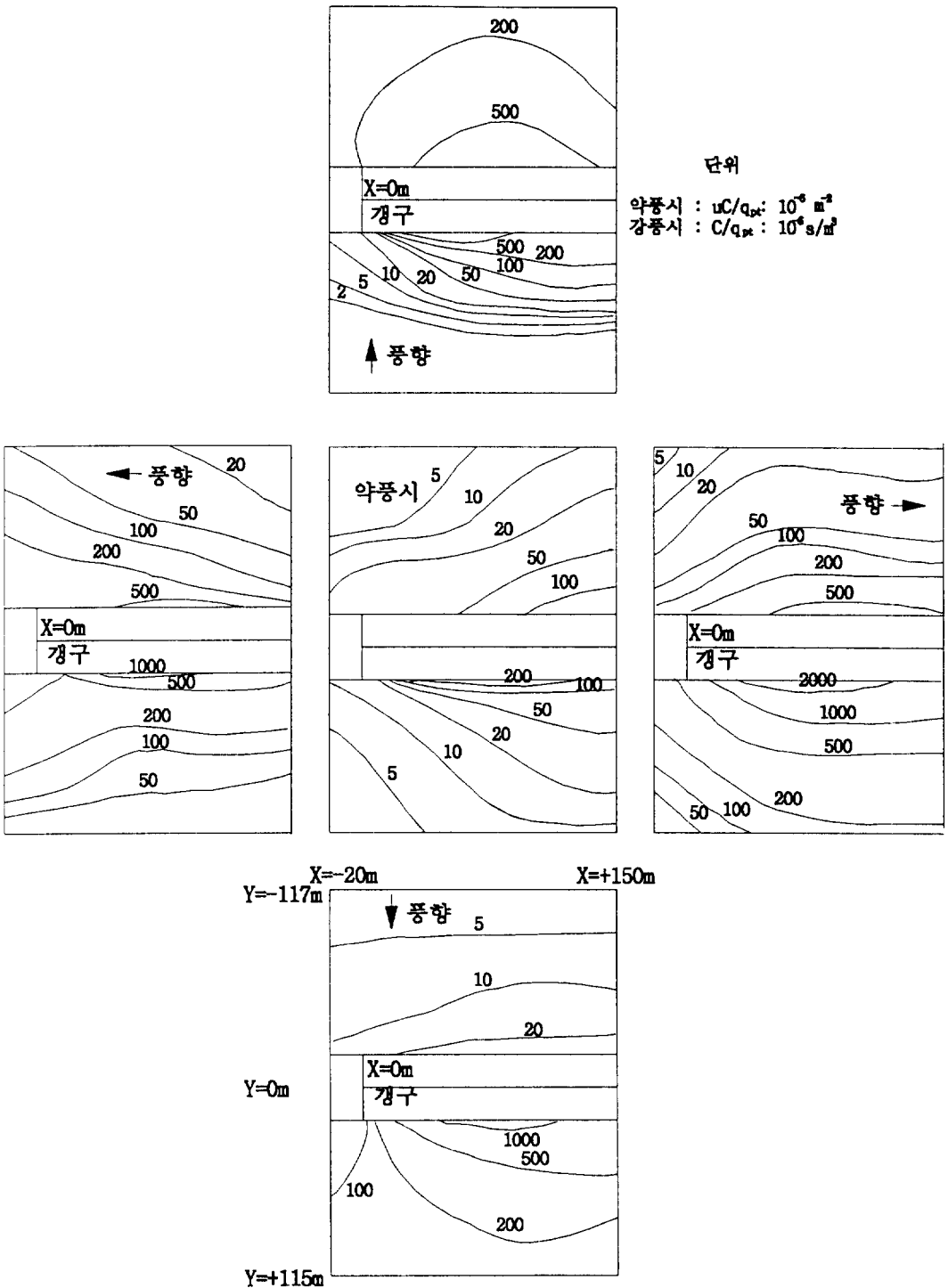
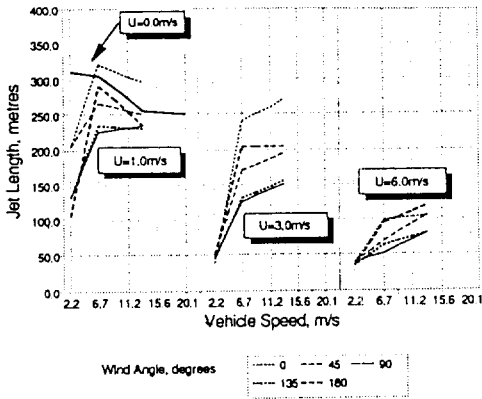
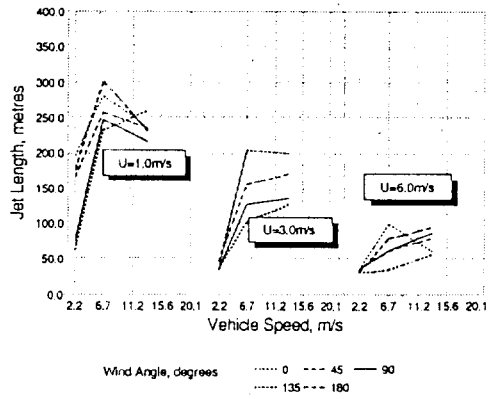


그림 32 풍향별 기준화 농도 분포



(a) With Retaining Walls



(b) Without Retaining Walls

그림 33 차량의 주행속도 및 풍속, 풍향에 따른 Jet Length (Central Artery Tuel in Boston, Massachusetts)

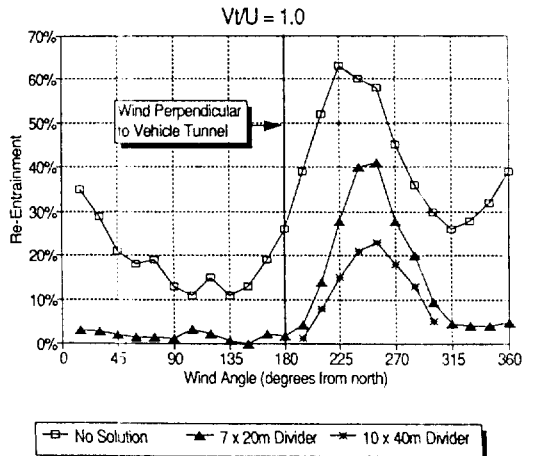
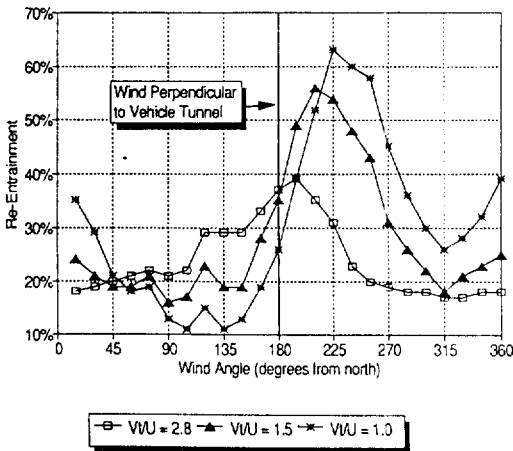


그림 34 터널갱구를 통한 재유입 : 분리벽이 없는 경우(터널연장 : 730m, 단면적 : 87m, 설계속도 : 80kmhr)

그림 35 터널갱구를 통한 재유입 : 분리벽을 설치한 경우(터널연장 : 730m, 단면적 : 87m, 설계속도 : 80kmhr)

### 5.3 갱구배기의 재유입

갱구배기의 재유입이란 두 개의 터널 tube가 나란히 있는 경우에 한쪽은 배출되고 한쪽으로는 신선공기가 유입하게 되므로 배기된 오염공기가 신선공기와 혼합되어 유입하는 현상을 말한다. 재유입이 발생하면 터널내 환경이 설계조건보다 열악해지게 되므로 터널의 튜브가 인접해 있는 경우에는 양갱구의 흐름의 축이 혼합하

지 않도록 분리벽을 설치하는 등 설계시 이에 대한 고려가 반드시 필요하다.

그러나 재유입 현상은 차량의 주행속도 및 터널갱구에 부는 바람의 풍속과 풍향에 영향을 받으므로 복잡한 양상을 보이게 된다. 본 고에서는 Michael의 연구를 소개하므로써 이에 대한 정성적인 경향을 보이고자 한다.<sup>(7)</sup>

그림 34는 양갱구사이에 배기의 재유입을 방지하기 위한 벽(divider)을 갖지 않는 경우에 차

량의 주행속도를 변수로 하여 바람이 부는 각에 따라서 재유입(re-entrainment)을 나타낸 것이다.

그림 34에서 재유입의 정도는 갱구에 부는 바람의 조건에 매우 민감하며 최대 60%를 초과하고 있다. 재유입이 최대가 되는 것은 바람의 속도가 빠른 경우에( $V_t/U = 1$ ) 풍향이 터널출구 갱에서 공기가 유입되는 갱쪽으로  $45^\circ$ 를 이룰 때 나타나고 있다. 바람의 풍속이 작은 경우에는 풍향이  $90^\circ$  부근에서 최대가 나타나고 있으며, 최대값과 최소값의 차는 감소하고 있다. 이는 바람의 속도가 감소하므로서 차량의 속도가 보다 주요한 인자로 작용하기 때문으로 볼수 있다.

그림 35는 재유입을 방지하기 위해서 분리벽을 설치했을 경우로 재유입율은 분리벽이 없는 경우보다 최대치는 60%정도에서 40%정도로 감소하며 최소유입율 또한 약 11%에서 5%정도로 감소함을 알 수 있다.

### 참 고 문 헌

1. 財団法人首都 高速道路技術センター, 1943. 3, トンネル換氣設計基準に關する調査研究報告書 [トンネル換氣設計指針(案)]
2. 財團法人 首都高速道路技術センター, 1943,

トンネル換氣設計基準に關する調査研究報告書 [トンネル換氣設計指針(案)]

3. 黃相容 외, 1992, 大氣汚染概論, 螢雪出版社, 서울.
4. N. Sato, et. al., 1985, "Discharge of exhaust pollutant from of on-way traffic automobile tunnel with exhaust shaft", Aerodynamics and Ventilation of Vehicle Tunnels 5th International Sym., pp. 445~808.
5. Isao Yoshizawa, 1994, "Atmospheric dispersion characteristics of polluted air from the portal of an urban road tunnel", Aerodynamics and Ventilation of Vehicle Tunnels 8th International Sym., pp. 791~808.
6. Charles Nadel, 1994, "Physical modelling of dispersion of a tunnel portal exhaust plume", Aerodynamics and Ventilation of Vehicle Tunnels 8th International Sym., pp. 847~870.
7. Michael F. Lepage, 1991, "Re-entrainment of exhaust gases in a longitudinally ventilated tunnel", Aerodynamics and Ventilation of Vehicle Tunnels 7th International Sym. pp. 563~581.