

❖ **터널 환기 및 방재 기술위원회**

# **Annual Technical Report**

**~ 서울시 도로터널 환기기준 개정(안) ~**

**2017**

# ■ 목 차 ■

제 1 장 일반사항.....	1
1.1 목적.....	1
1.2 적용범위.....	1
1.3 용어정의.....	1
제 2 장 환기시설 계획 및 조사.....	5
2.1 환기시설계획.....	5
2.2 환기시설 검토를 위한 조사.....	6
제 3 장 소요환기량 산정기준.....	8
3.1 일반사항.....	8
3.2 환기량 산정을 위한 교통량 산정방법.....	9
3.2.1 차종구분.....	9
3.2.2 주행속도별 차량수 산정.....	9
3.3 환기량 산정을 위한 기준배출량.....	11
3.3.1 오염물질별 기준배출량.....	11
3.3.2 비차량 입자상물질에 대한 기준배출량.....	13
3.4 환기량 산정을 위한 각종 보정계수.....	14
3.4.1 속도·경사보정계수.....	14
3.4.2 표고보정계수.....	18
3.4.3 차령보정계수.....	18
3.5 소요환기량 산정.....	19
3.6 터널내 허용농도 기준.....	21
3.7 기타 터널내 허용기준.....	21
제 4 장 환기시스템 설치기준.....	22
4.1 일반사항.....	22
4.2 터널환기력 및 저항력.....	22
4.2.1 차량에 의한 승압력(교통환기력).....	22
4.2.2 제트팬 승압력.....	24
4.2.3 급기노즐 및 배기구의 환기력.....	24
4.2.4 자연풍 환기력().....	25

4.2.5 벽면마찰저항(유동저항)력.....	25
4.3 종류식 환기 시스템의 설계.....	26
4.3.1 일반사항.....	26
4.3.2 제트팬 방식.....	26
4.3.3 삭칼드 방식.....	27
4.3.4 연직갱 급·배기방식.....	29
4.3.5 바이패스(bypass)방식.....	30
4.3.6 공기정화시설.....	32
4.4 (반)횡류식 환기 시스템의 설계.....	33
4.4.1 일반사항.....	33
4.4.2 균일 급·배기 방식.....	33
4.5 대면통행 터널의 환기 시스템의 설계.....	37
4.5.1 일반사항.....	37
4.5.2 환기설계를 위한 교통량.....	38
4.5.3 환기기 용량산정 방법.....	38
4.6 환기방식별 소요동력 및 경제성 검토.....	39
<b>제 5 장 환경계측기 .....</b>	<b>40</b>
5.1 일반사항.....	40
5.2 오염물질 농도 계측기.....	40
5.2.1 측정범위.....	40
5.2.2 설치위치 및 설치대수.....	41
5.3 풍향·풍속계.....	42
5.4 기타 터널 내·외부 계측기 .....	43
<b>제 6 장 환기시설 운영기준.....</b>	<b>44</b>
6.1 환기설비 운영기준.....	44
6.2 외부배출농도 제어기준.....	44
<b>제 7 장 행정사항.....</b>	<b>46</b>
7.1 재검토기한.....	46
7.2 경과조치.....	46

# ■ 표 목 차 ■

<표 3.2.1> 환기설계용 자동차제원.....	9
<표 3.2.2> 주행속도별 도로용량.....	11
<표 3.2.3> 승용차 환산계수.....	11
<표 3.3.1> 차종별 오염물질 배출량(원단위, 환경부 제작차 허용배출기준, 2016).....	12
<표 3.3.2> 도로터널 소요환기량 산정을 위한 기준배출량( $m^3/h$ 또는 $m^3/h$ ).....	12
<표 3.3.3> 차속별 비차량 배출입자상물질 배출량.....	13
<표 3.4.1> 입자상물질에 대한 속도·경사보정계수.....	14
<표 3.4.2> 입자상물질에 대한 속도·경사보정계수.....	14
<표 3.4.3> CO 속도·경사보정계수.....	15
<표 3.4.4> CO 속도·경사보정계수.....	15
<표 3.4.5> CO 속도·경사보정계수.....	16
<표 3.4.6> NO <sub>x</sub> 속도·경사보정계수.....	16
<표 3.4.7> CO 속도·경사보정계수.....	17
<표 3.4.8> NO <sub>x</sub> 속도·경사보정계수.....	17
<표 3.4.9> 표고보정계수 WRA(2004).....	18
<표 3.4.10> 차령에 따른 상대 주행거리비 및 CO, NO <sub>x</sub> 의 보정계수.....	19
<표 3.6.1> 오염물질별 허용농도 기준.....	21
<표 4.2.1> 환기방식의 특징(일방향 터널).....	23
<표 6.1.1> 운영중 터널의 환기기 운영기준.....	44

# ■ 그림 목 차 ■

<그림 3.1.1> 소요환기량 산정과정.....	8
<그림 3.2.1> 교통밀도 산정도.....	10
<그림 4.2.1> 급기노즐과 배기구의 압력관계 .....	24
<그림 4.3.1> 제트팬 시스템의 개요 .....	27
<그림 4.3.2> 삭칼드 방식의 개요도 .....	28
<그림 4.3.3> 집진설비 종류식의 개요도.....	30
<그림 4.4.1> 급기 반회류식의 개요도 .....	35
<그림 4.4.2> 배기반회류식의 개요도 .....	36
<그림 4.3.3> 회류식 배기덕트계의 압력 분포.....	37
<그림 4.5.1> 주행속도별 임계자연풍( $V_n=V_{r*}$ ) 도출(예).....	39

## 제 1 장 일반사항

### 1.1 목적

- (1) 서울시에 건설되는 도로터널의 터널내 공기질을 유지하고, 터널에서 외부로 배출되는 오염물질을 제어하기 위한 환기시설의 설계 및 운영에 관한 기술기준을 규정함을 목적으로 한다.

### 1.2 적용범위

- (1) 서울시에 건설되고 환기시설이 설치되는 도로터널(지하차도, 터널형 방음구조물포함)에 적용함을 원칙으로 한다.
- (2) 도시지역에 건설되는 도로터널은 전차종이 통행할 수 있는 터널과 소형차만 통과가 가능한 소형차 전용 터널이 있으며, 본 기준은 이들에 대한 환기시스템 설계 및 운영에 적용한다.
- (3) 본 기준에 언급하지 않는 내용은 「도로설계편람」 또는 「도로터널 방재시설 설치 및 관리지침」 등을 준용한다.

### 1.3 용어정의

- (1) AADT : 연평균 일교통량(Average Annual Daily Traffic)으로 한 해 동안 도로의 한 지점 또는 일정 도로 구간을 지나는 양방향 교통량을 연간일수로 나눈 교통량을 말한다.
- (2) PIARC : Permanent International Association of Road Congresses으로 ‘국제상설도로회의’의 약칭을 말한다.
- (3) WRA : World Road Association 으로 ‘세계도로협회’의 약칭으로, 구) PIARC의 현재의 명칭을 말한다.
- (4) 가스상물질 : 차량으로부터 배출되는 배출가스 중 일산화탄소(CO) 및 질소산화물(NO<sub>x</sub>)을 지칭한다.
- (5) 가압운전모드 : 안전지역(쌍굴터널의 비화재터널, 피난대피터널 및 격벽분리형 대피통로, 피난연결통로간 임시대피소 등)의 압력을 화재터널보다 높게 유지하여 화재에서 발생하는 연기가 침입하는 것을 방지하기 위한 환기기 운전모드를 말한다.

- 
- (6) 갱구부 : 터널의 입구부와 출구부를 말한다.
- (7) 교통환기력 : 터널을 운행하는 차량의 항력에 의한 피스톤효과에 의해서 발생하는 환기력을 말한다.
- (8) 기계환기 : 터널환기를 위해 필요로 하는 소요환기량을 교통환기력으로 충족할 수 없는 경우, 환기설비를 시설하여 강제적으로 환기를 수행하는 것을 말한다.
- (9) 기준배출량 : 차량으로부터 배출되는 원단위 배출량(g/km or g/kW.h)을 도로터널의 소요환기량 산정을 위해 단위변환한 배출량으로 입자상물질은  $\text{m}^3/\text{h}$ , 가스상 물질인 CO, NO<sub>x</sub> 는  $\text{m}^3/\text{h}$  의 단위를 갖는 배출량을 말한다.
- (9) 기압장애고 : 기류의 유동장애벽면인 터널의 주변지형 크기가 클수록 터널에 작용하는 자연환기력은 증가하며, 터널 입·출구에 작용하는 자연환기력의 최대값은 기류유동장애벽면의 크기와 비례하게 되고, 터널 입·출구 주변지형을 이용하여 풍압계수를 결정하는 장애벽면크기를 정량화한 것을 말한다.
- (10) 대배기구방식 : 횡류환기방식의 일종으로 배기구에 개방 및 폐쇄가 가능한 댐퍼를 설치하고 화재시 화재지점 부근의 배기구를 개방하여 집중적으로 배연할 수 있는 제연방식을 말한다.
- (11) 도시지역 : 시가지를 형성하고 있는 지역이나 그 지역의 발전추세로 보아 시가지로 형성될 가능성이 높은 지역을 말한다.
- (12) 목표연도 : 도로를 계획하거나 설계할 때에는 예측된 교통량에 맞추어 도로를 적절하게 유지·관리함으로써 도로의 기능이 원활하게 유지될 수 있도록 하기 위하여 공용개시 계획연도를 기준으로 정하는 기간을 말한다.
- (13) 바이패스 방식: 터널내 오염공기 전체 또는 일부를 유입하여 정화처리한 후에 터널로 재공급하기 위한 공기정화시설 배치를 위해 터널과 평행한 구조물 또는 차도 측면(또는 상부) 등에 터널 등을 설치한 환기방식을 말한다.
- (14) 배기구 : 터널 환기시 터널내 오염공기를 유입하여 정화 또는 배출하거나, 화재발생시 화재연기를 배연하기 위해 터널에 설치된 개구부를 말한다.
- (15) 배연(Smoke exhaust) : 화재시 발생하는 연기 및 열기류를 화재지점으로부터 외부로 배출하는 것을 말한다.
- (16) 배출계수 : 자동차에서 배출되는 오염물질의 량으로 환경부 고시, 「자동차 총 오염물질 배출량 산정방법에 관한 규정」 중 2012년 7월 1일 이후 적용 ‘자동차 차종별 배출계수’ 를 말한다.
-

- 
- (17) 분기터널 : 본선터널에서 차선의 분류나 합류가 발생할 경우, 주행차량이 일정한 속도를 유지할 수 있도록 본선터널에 교차각이 예각 또는 직각으로 형성된 터널을 말한다.
- (18) 비차량 배출 입자상물질 : 차량의 타이어 및 브레이크 마모입자상물질, 도로표면 마모입자상물질, 재부유 입자상물질 등 차량의 엔진으로부터 배출되는 입자상물질이 아닌 비차량 배출 입자상물질을 말한다.
- (19) 사갱(경사갱) : 터널 굴착 시 버력이나 재료의 운반을 위하여 굴착하는 것으로 일정한 경사를 가진 갱을 말하며, 환기용 갱으로 활용되기도 한다.
- (20) 설계속도 : 차량의 주행에 영향을 미치는 도로의 기하구조를 설계하기 위하여 정하는 속도로써, 도로설계요소의 기능이 충분히 발휘될 수 있는 조건에서 보통의 운전기술을 가진 운전자가 도로의 어느 구간에서도 쾌적성을 잃지 않고 안전하게 주행할 수 있는 속도(km/h)이다.
- (21) 수직갱(연직갱) : 터널공사 및 환기나 화재시 제연 또는 배연을 위하여 수직(연직)으로 굴착된 갱도를 말한다.
- (22) 유효복용분량(FED : Fractional Effective Dose) : 유해물질에 대한 누적호흡량을 치사 또는 사상에 도달하는 한계농도로 나눈값을 말한다.
- (23) 일산화탄소(CO) : 차량의 엔진내에서 연료의 연소시 불완전 연소에 의해 생성되는 물질을 말한다.
- (24) 입자상물질 : 차량으로부터 배출되는 배출가스 중 입자상물질(Smoke or PM10)을 지칭한다.
- (25) 장대터널 : 터널의 연장이 1,000m 이상인 터널을 말한다.
- (26) 제연(Smoke control) : 화재시 연기 및 열기류의 흐름방향을 제어하는 것을 말한다.
- (27) 종단경사(縱斷傾斜) : 도로의 진행방향 중심선의 길이에 대한 높이의 변화비율을 말한다.
- (28) 종류환기방식 : 터널입구 또는 연직갱, 경사갱 등으로부터 신선공기를 유입하여 종방향 기류를 형성하여 터널출구 또는 연직갱, 경사갱 등으로 오염된 공기 또는 화재연기를 배출하는 방식을 말한다.
- (29) 질소산화물(NOx) : 차량의 엔진내에서 연료의 연소시 고온에 의하여 공기중의 질소와 산소가 열반응하여 생성되는 물질을 말한다.
- (30) 차도 : 자동차 통행에 이용하려는 목적으로 설치된 도로의 부분으로서 차로로 구성된
-



부분을 말한다.

- (31) 차로 : 자동차가 도로의 정해진 부분을 한줄로 통행할 수 있도록 차선에 의하여 구분되는 차도의 부분을 말한다.
- (32) 차선 : 차로와 차로를 구분하기 위하여 그 경계지점에 표시하는 선을 말한다.
- (33) 터널형 방음구조물(방음터널) : 교통소음을 흡음 또는 차단하여 도로주변의 교통소음을 저감하기 위한 시설 중 터널과 형상이 유사한 구조의 방음시설을 말한다.
- (34) 피난대피터널 : 본선터널과는 별도로 설치하여 화재시 대피자를 안전지역으로 유도하기 위한 통로를 말한다.
- (35) 피난연결통로 : 안전지역과 연결하기 위한 터널구조의 통로로 피난대피터널과 본선터널, 2튜브 터널에서 터널간을 연결하기 위한 통로 등을 말한다.
- (36) 피스톤효과 : 터널을 운행하는 차량의 공기저항에 의해서 기류가 형성되는 효과로 교통환기력을 발생시키는 역할을 한다.
- (37) 환기설비 : 터널내 차량으로부터 배출되는 오염물질을 희석 및 배기 또는 정화하기 위하여 신선공기를 급기하거나 오염공기를 배기 또는 공기정화시설로 유입하기 위한 설비를 말한다.
- (38) 횡류환기방식 : 터널에 설치된 급·배기 덕트를 통해서 급기와 배기를 동시에 수행하는 방식으로 평상시에는 신선공기를 급기하고 차량에서 배출되는 오염된 공기를 배기하며, 화재시에는 화재로 인해 발생하는 연기를 배기하는 방식을 말한다.

## 제 2 장 환기시설 계획 및 조사

### 2.1 환기시설계획

- (1) 환기계획은 터널단면 크기 및 형상 등과 같은 터널 본체구조를 결정하는 요소가 될 뿐만 아니라 노선선정 등의 기본계획과도 밀접한 관계가 있기 때문에 전체 계획의 일부로서 면밀하게 계획되어야 한다.
- (2) 도로터널 내부는 터널을 운행하는 자동차의 배출가스 등에 의하여 공기가 오염된다. 따라서, 터널 이용자의 건강과 안전을 위해서 오염물질의 농도를 소정 수준이하로 유지하기 위한 환기가 필요하다.
- (3) 도로터널에서 발생하는 오염물질은 아주 다양하나, 터널 환기시설 계획시 검토대상 오염물질은 이용자의 안전운행에 직접적이고 단시간에 영향을 미치는 가스상물질(일산화탄소와 질소산화물)과 입자상물질로 한다.
- (4) 도로터널에서 발생하는 오염물질은 터널 출구, 환기소 등을 통해서 집중적으로 배출되므로 이들이 주변환경에 미치는 영향은 환경영향평거나 대기확산 시뮬레이션을 통해 검토하여 환경기준을 만족할 수 있도록 한다.
- (5) 터널에서 발생하는 오염물질이 배출되는 터널 출구 및 환기소가 도시지역에 설치되는 경우에는 오염물질의 배출을 최소화하기 위한 방안으로 바이패스 방식을 적용하여 환기소 설치를 최소화하는 방안 및 터널 출구부에 공기정화시설을 설치하여 배출량을 최소화하는 방안을 검토한다.
- (6) 공기정화시설의 필요성과 설비용량, 대상물질은 환경영향평가를 실시하여 검토한다.
- (7) 도로터널에서는 터널을 통과하는 차량의 피스톤효과에 의한 교통환기력에 의해 상시 기류가 존재한다. 이에 도로터널의 환기는 교통환기력만으로 요구되는 수준의 환기가 가능한 경우에는 자연환기방식으로 환기하며, 그렇지 못한 경우에는 기계환기방식으로 환기한다.
- (8) 기계환기방식의 선정시에는 터널의 본체시공과 관련하여 방재시설 설치계획, 주변환경에 미치는 영향 등을 고려하여 신뢰성과 경제성이 우수한 방식을 선정한다.
- (9) 차량의 오염물질 배출량은 터널의 환기량 및 환기기 용량에 직접적으로 영향을 미치므로 차량의 오염물질 배출량 저감추세 등을 고려하여 검토되어야 한다.
- (10) 일반적으로 터널의 환기기 용량은 도로설계조건에서 최대 교통량을 반영하여

설계하나 연차별 평균 일교통량의 변동이 심한 경우나 장래에 터널의 증설 계획 등이 있는 경우에는 단계건설의 가능성을 검토하여야 한다.

- (11) 터널의 단면은 마제형, 박스형 등 다양한 형상이 있을 수 있으며, 단면형상이 환기에 미치는 영향은 거의 없으나 특수한 경우에는 단면형상에 따른 영향을 고려하여야 한다.
- (12) 터널에 보행자 도로 및 자전거 통행로가 있는 경우에는 차량에서 배출되는 오염물질의 영향을 최소화 할 수 있도록 보행 및 자전거 통행을 위한 공간은 격벽 등을 설치하여 분리하거나 오염물질에 대한 허용농도기준을 강화하여 적용한다.

## 2.2 환기시설 검토를 위한 조사

- (1) 환기시설의 계획시에는 교통, 기상, 환경에 대한 조사·분석을 실시하여 환기시스템 설계를 위한 기초자료로 활용하고 터널 운영중에 배출되는 오염물질이 주변환경에 미치는 영향을 검토한다.
- (2) 교통관련 조사
  - ① 환기를 위한 소요환기량은 도로의 설계교통량(최대용량)을 근거로 산정하므로 평균 일교통량의 대소는 환기량에 영향을 미치지 않는다. 그러나 단계건설의 필요성을 검토하기 위해서 연차별 평균일교통량의 변화추세에 대한 검토가 필요하다.
  - ② 차종별 구성비는 소요환기량 및 환기시스템 용량에 영향으로 미치므로 이에 대한 조사를 수행한다.
  - ③ 사용연료에 따라 오염물질 배출특성이 상이하므로 디젤차량과 가솔린차량의 구성비에 대한 조사를 수행한다.
- (3) 기상 조사
  - ① 기상조사는 자연풍에 의한 환기저항 및 갱구부 또는 환기탑 주위에서 배출되는 오염물질의 확산, 터널 출구부의 결빙, 터널로 유입되는 공기의 조건을 검토하기 위해서 수행한다.
  - ② 기상(氣象)과 관련되는 조사사항은 터널 입·출구부 및 환기소 부근의 온도, 풍속 및 풍향, 결빙일수, 강설량, 안개일수 등이며, 이들은 기상청의 자료를 근거로 하며 터널에 근접한 기상청 자료를 보정하여 사용할 수 있다.
- (4) 환경조사
  - ① 환경에 대한 조사는 터널에서 배출되는 오염물질이 주변환경에 미치는 영향 및 유입되는 공기가 터널내 오염물질 농도에 미치는 영향을 검토하기 위해서 수행한다.
  - ② 환경에 미치는 영향을 예측하기 위해서는 터널 주변의 기상조건과 대기환경농도, 터널 출구 및 환기소에서 배출되는 오염물질별 배출량 및 풍량이 검토되어야

한다.

- ③ 환경영향 평가시 필요한 터널 및 환기소에서 배출되는 오염물질별 배출량 및 풍량은 터널 환기설계시 적용하는 주행속도별로 산정하여 최대배출량 값을 적용한다.

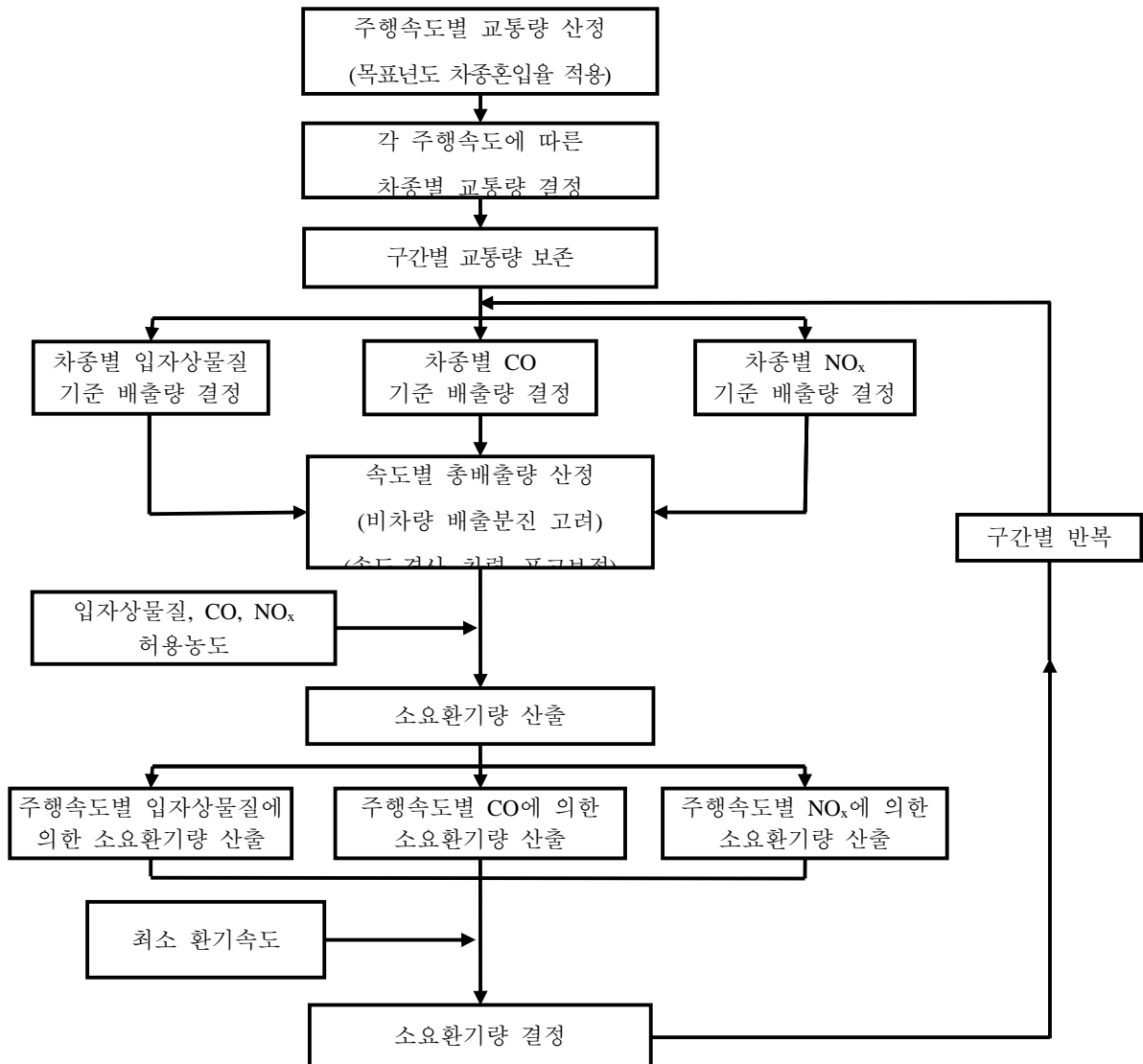
(5) 관련법규

- ① 터널환기를 위한 설비 설치 및 유지관리 수행을 위해 관련된 법규내용을 검토하여야 한다.
- ② 환기시설이 공해방지 및 환경보전, 재해방지, 안전 등에 관계되는 법규를 조사하여 위배되지 않도록 하여야한다.

### 제 3 장 소요환기량 산정기준

#### 3.1 일반사항

- (1) 터널에서 환기대상 오염물질은 일산화탄소(CO), 질소산화물(NO<sub>x</sub>), 입자상물질로 한다.
- (2) 터널의 소요환기량은 주행속도별(10~80km/h범위에서 10km/h 단계)로 산정한다.
- (3) 각 오염물질에 대한 소요환기량은 터널내 차량수를 고려하여 오염물질 총 발생량(가스상 물질은 m<sup>3</sup>/s, 입자상물질은 m<sup>3</sup>/s)을 산정하고 이를 허용농도와 대기농도의 차로 나누어 주행속도별로 산정한다.
- (4) 각 오염물질에 대한 주행속도별 소요환기량 계산의 흐름은 <그림 3.1.1>과 같다.



<그림 3.1.1> 소요환기량 산정과정

### 3.2 환기량 산정을 위한 교통량 산정방법

#### 3.2.1 차종구분

- (1) 환기량 산정을 위한 차종은 「도로설계기준」의 설계자동차 제원에 근거하여 사용연료에 따라 세분화하여 적용하고 소형자동차 및 대형자동차는 버스와 트럭(소,중,대)으로 세분화하여 적용한다.
- (2) 도로터널 환기시스템 설계시 적용하는 설계기준 자동차의 제원은 <표 3.2.1>과 같다.

<표 3.2.1> 환기설계용 자동차제원

자동차 종류	폭	높이	길이	최소 회전반경	환기설계시 차종구분	
					사용연료	세부구분
승용자동차	1.7	2.0	4.7	6.0	가솔린	승용1
					디젤	승용2
소형자동차	2.0	2.8	6.0	7.0	디젤	버스
						트럭
대형자동차	2.5	4.0	13.0	12.0	디젤	버스
						트럭중형
세미트레일러	2.5	4.0	16.7	12.0	디젤	특수

#### 3.2.2 주행속도별 차량수 산정

- (1) 환기시스템 용량 결정을 위한 소요환기량 산정시 교통량은 해당 도로의 최대설계교통량을 적용하여 차량에서 배출되는 오염물질 발생량을 산정한다.
- (2) 최대설계교통량은 목표년도의 설계교통량을 기준으로 산정한다.
- (3) 차종별 교통량은 주행속도별로 식(3.2.1) 또는 <그림 3.2.1>에 의해서 교통밀도를 산정하고 설계교통량을 근거로 하여 차종별 구성비를 반영하여 산정한다.

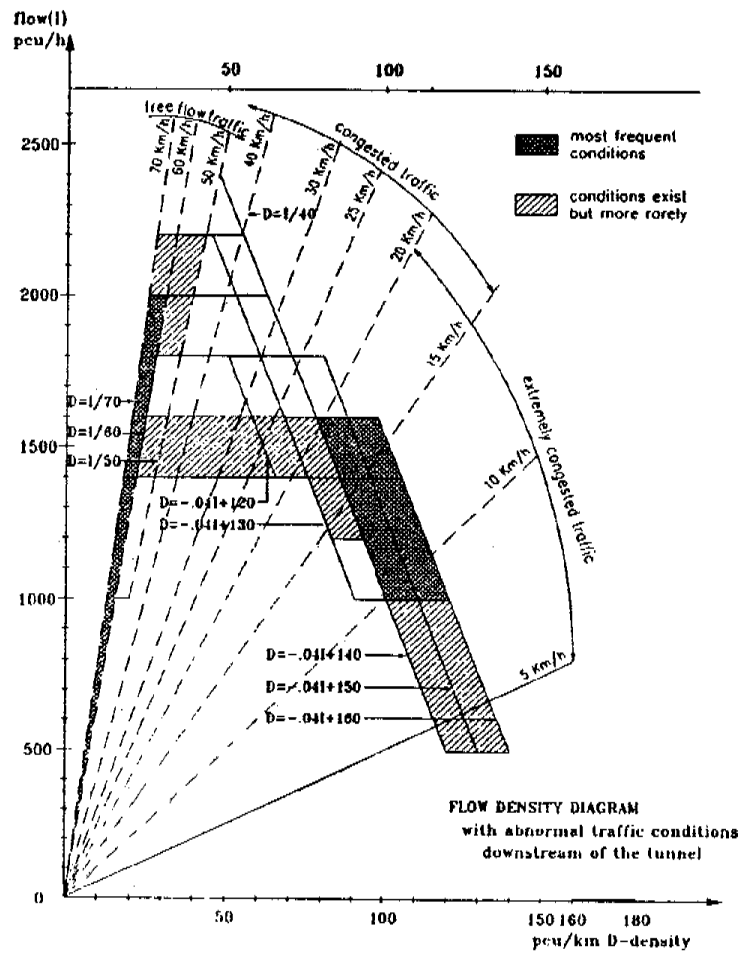
$$D = - C \cdot I + A \tag{3.2.1}$$

$$I = V \cdot D$$

여기서,

- D : 교통밀도 [pcu/km · lane]
- I : 교통량 [pcu/h · lane]
- V : 차량속도 [km/h]
- C, A : 교통밀도 산정도에 제시된 상수

이다.



<그림 3.2.1> 교통밀도 산정도

(4) 교통밀도는 식(3.2.2)로 산정할 수 있으며, 최대교통량( $M_{max}$ ) 및 차량속도  $0\text{km/h}$ 에서 정체시 교통량은 터널의 입지조건 및 설계조건에 따라 변경할 수 있다.

$$D_t = \frac{D_o \times M_{max}}{[D_o \times V + M_{max} \times (1 - V/60)^2]}$$

(3.2.2)

여기서,

$D_t$  : 교통밀도( $\text{pcu/km} \cdot \text{lane}$ )

$D_o$  : 정체시 교통량(속도  $V = 0\text{km/h}$ 에서  $165\text{pcu/km} \cdot \text{lane}$  적용)

$M_{max}$  : 최대가능교통량 또는 도로용량( $\text{pcu/h} \cdot \text{lane}$ ) <표 3.2.2 참조>

$V$  : 주행속도 ( $\text{km/h}$ )

이다.

(5) 교통밀도는 승용차 대수로 산정되므로 <표 3.2.3>의 승용차 환산계수(PCE)를 적용하여 차량수를 산정한다.

〈표 3.2.2〉 주행속도별 도로용량

설계속도(km/h)	도로용량(pcu/h/lane)	도로용량비(V/C)
120	2300	1.0
100	2200	1.0
80	2000	1.0

〈표 3.2.3〉 승용차 환산계수

도로구분	승용차	소형버스	대형버스	소형트럭	중형트럭	대형트럭	특수트럭
고속도로	1	1	1.5	1	1.5	1.5	2
다차선	1	1	1.5	1	1.5	1.5	2
이차선	1	1	1.5	1	1.5	1.5	1.9

### 3.3 환기량 산정을 위한 기준배출량

#### 3.3.1 오염물질별 기준배출량

- (1) 차종별 기준배출량은 〈표 3.3.1〉의 「대기환경보전법 시행규칙」의 “별첨 17. 제작차 배출허용기준”에 근거하여 원단위(g/km 또는 g/kWh) 오염물질 배출량을 차종 및 오염물질별로 식(3.3.1)~(3.3.4)로 환산한다.

- ① 소형차량의 입자상 물질에 대한 기준배출량 계산방법

$$q_{0\text{Particle}} = 6.25 \times E_s (\text{g/km}) \times 0.75 \times Vt \quad [\text{m}^3/\text{hr}] \quad (3.3.1)$$

- ② 대형차량의 입자상 물질에 대한 기준배출량 계산방법

$$q_{0\text{Particle}} = 6.25 \times E_s (\text{g/kWh}) \times 0.75 \times Ps (\text{kW}) \quad [\text{m}^3/\text{hr}] \quad (3.3.2)$$

- ③ 소형차량의 가스상 물질에 대한 기준배출량 계산방법

$$q_{0\text{Gas}} = \frac{E_s (\text{g/km})}{\rho_{\text{Gas}}} \times Vt \quad [\text{m}^3/\text{hr}] \quad (3.3.3)$$

- ④ 대형차량의 가스상 물질에 대한 기준배출량 계산방법



$$q_{0Gas} = \frac{E_s (g/kWh)}{\rho_{Gas}} \times Ps(kW) \quad [m^3/hr] \quad (3.3.4)$$

(2) 소요환기량을 산출을 위한 기준배출량은 식(3.3.1~3.3.4)으로 환산하여 <표3.3.2>와 같이 제시한다.

<표 3.3.1> 차종별 오염물질 배출량(원단위, 환경부 제작차 허용배출기준<sup>(주1)</sup>, 2016)

차종	승용차		버스		트럭			
			소형	대형	소형	중형	대형	특수
연료	휘발유	경유	경유	경유	경유	경유	경유	경유
단위	g/km	g/km	g/km	g/kW.h	g/km	g/kW.h	g/kW.h	g/kW.h
입자상물질	0.002 <sup>(주2)</sup>	0.005	0.005	0.010	0.005	0.010	0.010	0.010
CO	0.625	0.500	0.500	4.000	0.630	4.000	4.000	4.000
NOx	0.031	0.080	0.080	0.460	0.105	0.460	0.460	0.460

- (주1) 제작차 허용배출량 기준(Emission standards)은 환경부 「대기환경보전법 시행규칙」의 ‘별첨17, 제작차배출 허용기준’을 참조
- (주2) 환경부 2016년 이후 제작차 허용배출 기준에서는 휘발유 승용차의 입자상물질상 배출량은 제시하지 않았지만, “CVS-75 모드의 입자상물질 배출허용기준은 0.002g/km이하로 한다”라고 각주에서 규정하고 있는 바, 차종별 오염물질배출량에 이를 반영하였다.

<표 3.3.2> 도로터널 소요환기량 산정을 위한 기준배출량(m<sup>2</sup>/h 또는 m<sup>3</sup>/h)

차종	승용차		버스		트럭			
			소형	대형	소형	중형	대형	특수
연료	휘발유	경유	경유	경유	경유	경유	경유	경유
입자상물질 (m <sup>2</sup> /h)	0.321	0.787	0.787	7.792	0.787	3.827	8.619	11.153
CO (m <sup>3</sup> /h)	0.018	0.014	0.014	0.554	0.018	0.272	0.613	0.793
NOx (m <sup>3</sup> /h)	0.0003	0.0013	0.0013	0.038	0.0018	0.019	0.042	0.055

### 3.3.2 비차량 입자상물질에 대한 기준배출량

- (1) 비엔진 배출입자상물질은 타이어 및 브레이크 마모입자상물질, 도로표면 마모입자상물질, 채부유입자상물질 등 비차량 배출 입자상물질을 의미하며, 본 기준에서는 WRA(PIARC)가 2012년에 제시한 발생량, <표 3.3.3>를 적용한다.

<표 3.3.3> 차속별 비차량 배출입자상물질 배출량

차속 [km/h]	2004 PIARC		2012년 PIARC	
	승용차 [m <sup>3</sup> /h]	대형차 [m <sup>3</sup> /h]	승용차 [m <sup>3</sup> /h]	대형차 [m <sup>3</sup> /h]
0	0	0		
10	0.9	4.5	1.3	4.9
20	1.8	9.1	2.6	9.8
30	2.6	13.7	3.9	14.7
40	3.6	18.2	5.3	19.6
50	4.4	22.8	6.6	24.4
60	5.4	27.3	7.9	29.3
70	6.2	31.9	9.2	34.2
80	7.2	36.5	10.5	39.1
90	8.0	41.0	11.8	44
100	9.0	45.6	13.2	48.9

### 3.4 환기량 산정을 위한 각종 보정계수

#### 3.4.1 속도·경사보정계수

(1) 속도경사 보정계수는 WRA(2012)에서 제시하는 사용연료 및 차종에 따라서 <표 3.4.1>~<표 3.4.8>을 적용한다. 단, 차속 60km/h를 기준으로 한다.

<표 3.4.1> 입자상물질에 대한 속도·경사보정계수

(차종 : 승용차/소형버스/소형트럭, 사용연료 : 경유)

차속 (km/h)	경사도(%)						
	-6	-4	-2	0	2	4	6
0	0.165	0.165	0.165	0.165	0.165	0.165	0.165
10	0.165	0.165	0.165	0.341	0.482	0.624	0.776
20	0.165	0.165	0.200	0.518	0.753	0.988	1.259
30	0.165	0.165	0.259	0.671	1.000	1.329	1.729
40	0.165	0.165	0.282	0.788	1.200	1.682	2.235
50	0.165	0.165	0.259	0.871	1.388	2.035	2.694
60	0.165	0.165	0.306	1.000	1.694	2.482	3.212
70	0.165	0.165	0.435	1.200	2.059	2.965	3.694
80	0.165	0.165	0.624	1.459	2.482	3.412	4.200
90	0.165	0.165	0.824	1.800	2.929	3.859	4.706
100	0.165	0.165	1.094	2.247	3.400	4.353	5.259
110	0.165	0.212	1.424	2.753	3.882	4.882	5.847
120	0.165	0.647	1.894	3.282	4.412	5.459	6.459
130	0.165	1.047	2.482	3.824	4.988	6.082	7.129

<표 3.4.2> 입자상물질에 대한 속도·경사보정계수

(차종 : 대형버스/중형트럭/대형트럭/특수트럭, 사용연료 : 경유)

차속 (km/h)	경사도(%)						
	-6	-4	-2	0	2	4	6
0	0.393	0.393	0.393	0.393	0.393	0.393	0.393
10	0.486	0.479	0.554	0.650	0.764	0.896	1.007
20	0.425	0.493	0.536	0.711	0.918	1.125	1.304
30	0.407	0.493	0.618	0.804	1.061	1.357	1.618
40	0.386	0.475	0.636	0.889	1.211	1.593	1.914
50	0.386	0.464	0.629	0.939	1.382	1.807	2.232
60	0.386	0.443	0.625	1.000	1.557	2.039	2.568
70	0.339	0.400	0.589	1.086	1.721	2.286	2.918
80	0.386	0.407	0.621	1.211	1.904	2.564	3.304
90	0.386	0.425	0.700	1.375	2.104	2.850	3.689
100	0.386	0.461	0.782	1.561	2.307	3.136	4.079
110	0.386	0.471	0.911	1.750	2.504	3.421	4.461
120	0.389	0.539	1.057	1.896	2.696	3.704	4.839
130	0.407	0.643	1.236	2.011	2.889	3.982	5.225

&lt;표 3.4.3&gt; CO 속도·경사보정계수

(차종 : 승용차/소형버스/소형트럭, 사용연료 : 휘발유)

차속 (km/h)	경사도(%)						
	-6	-4	-2	0	2	4	6
0	0.301	0.301	0.301	0.301	0.301	0.301	0.301
10	0.358	0.380	0.408	0.433	0.469	0.521	0.629
20	0.415	0.460	0.516	0.566	0.639	0.740	0.959
30	0.413	0.482	0.570	0.674	0.801	0.947	1.282
40	0.411	0.506	0.638	0.824	1.051	1.367	1.765
50	0.402	0.521	0.688	0.924	1.252	1.730	2.393
60	0.397	0.528	0.724	1.000	1.430	2.056	3.249
70	0.394	0.532	0.758	1.100	1.660	2.484	4.255
80	0.391	0.544	0.805	1.254	2.003	3.192	5.412
90	0.408	0.578	0.881	1.460	2.497	4.361	7.087
100	0.477	0.663	1.015	1.718	3.198	6.191	9.437
110	0.648	0.850	1.264	2.097	4.276	8.975	14.771
120	0.985	1.229	1.751	2.826	6.150	13.047	23.683
130	1.560	1.935	2.691	4.444	9.688	19.545	36.101

&lt;표 3.4.4&gt; CO 속도·경사보정계수

(차종 : 승용차/소형버스/소형트럭, 사용연료 : 경유)

차속 (km/h)	경사도(%)						
	-6	-4	-2	0	2	4	6
0	0.250	0.250	0.250	0.250	0.250	0.250	0.250
10	0.550	0.550	0.550	0.900	1.275	1.675	2.100
20	0.550	0.550	0.600	1.350	2.050	1.025	0.800
30	0.550	0.550	0.750	1.800	1.000	0.825	0.800
40	0.550	0.550	0.800	2.150	0.775	0.825	0.700
50	0.550	0.550	0.725	1.575	0.825	0.725	0.650
60	0.550	0.550	0.850	1.000	0.825	0.675	0.650
70	0.550	0.550	1.150	0.800	0.725	0.600	0.775
80	0.550	0.550	1.650	0.850	0.675	0.700	0.900
90	0.550	0.550	1.950	0.800	0.625	0.800	1.050
100	0.550	0.550	0.800	0.700	0.700	0.950	1.200
110	0.550	0.650	0.850	0.625	0.825	1.100	1.375
120	0.550	1.725	0.775	0.675	0.950	1.250	1.550
130	0.550	0.875	0.675	0.800	1.125	1.425	1.750

<표 3.4.5> CO 속도·경사보정계수

(차종: 대형버스/중형트럭/대형트럭/특수트럭, 사용연료:경유)

차속 (km/h)	경사도(%)						
	-6	-4	-2	0	2	4	6
0	0.270	0.270	0.270	0.270	0.270	0.270	0.270
10	0.378	0.438	0.708	0.918	0.961	0.957	1.011
20	0.292	0.387	0.661	0.968	0.957	1.119	1.274
30	0.268	0.391	0.838	0.970	1.058	1.315	1.488
40	0.242	0.361	0.870	0.963	1.199	1.471	1.678
50	0.242	0.337	0.834	0.968	1.337	1.607	1.892
60	0.242	0.300	0.765	1.000	1.451	1.756	2.130
70	0.212	0.255	0.683	1.078	1.553	1.920	2.382
80	0.242	0.263	0.775	1.203	1.665	2.123	2.687
90	0.242	0.281	0.823	1.333	1.795	2.339	2.994
100	0.242	0.317	0.931	1.456	1.940	2.566	3.300
110	0.242	0.376	0.998	1.572	2.089	2.793	3.605
120	0.242	0.512	1.097	1.663	2.240	3.015	3.907
130	0.266	0.609	1.246	1.739	2.391	3.235	4.214

<표 3.4.6> NOx 속도·경사보정계수

(차종 : 승용차/소형버스/소형트럭, 사용연료:휘발유 )

차속 (km/h)	경사도(%)						
	-6	-4	-2	0	2	4	6
0	0.155	0.155	0.155	0.155	0.155	0.155	0.155
10	0.320	0.320	0.320	0.427	0.495	0.553	0.612
20	0.320	0.320	0.330	0.515	0.602	0.864	1.204
30	0.320	0.320	0.388	0.583	0.883	1.282	1.485
40	0.320	0.320	0.417	0.650	1.175	1.485	1.709
50	0.320	0.320	0.427	0.786	1.350	1.650	1.893
60	0.320	0.320	0.476	1.000	1.524	1.825	2.311
70	0.320	0.320	0.544	1.291	1.699	2.107	2.883
80	0.320	0.320	0.650	1.466	1.874	2.621	3.534
90	0.320	0.320	0.961	1.650	2.204	3.194	4.252
100	0.320	0.417	1.330	1.845	2.757	3.893	5.087
110	0.320	0.602	1.563	2.214	3.408	4.689	6.039
120	0.320	1.058	1.796	2.825	4.175	5.612	7.117
130	0.359	1.456	2.175	3.573	5.068	6.660	8.320

&lt;표 3.4.7&gt; CO 속도·경사보정계수

(차종 : 승용차/소형버스/소형트럭, 사용연료:경유)

차속 (km/h)	경사도(%)						
	-6	-4	-2	0	2	4	6
0	0.220	0.220	0.220	0.220	0.220	0.220	0.220
10	0.220	0.220	0.220	0.402	0.552	0.685	0.825
20	0.220	0.220	0.252	0.577	0.804	0.990	1.280
30	0.220	0.220	0.325	0.731	1.000	1.353	1.808
40	0.220	0.220	0.350	0.839	1.210	1.745	2.385
50	0.220	0.220	0.315	0.899	1.423	2.154	2.927
60	0.220	0.220	0.374	1.000	1.759	2.668	3.633
70	0.220	0.220	0.497	1.213	2.185	3.248	4.472
80	0.220	0.220	0.678	1.507	2.671	3.955	5.388
90	0.220	0.220	0.864	1.888	3.213	4.752	6.385
100	0.220	0.220	1.094	2.392	3.934	5.689	7.524
110	0.220	0.276	1.458	2.993	4.797	6.752	8.797
120	0.220	0.699	1.986	3.748	5.797	7.962	10.217
130	0.220	1.052	2.668	4.699	6.958	9.332	11.804

&lt;표 3.4.8&gt; NOx 속도·경사보정계수

(차종:대형버스/중형트럭/대형트럭/특수트럭, 사용연료:경유)

차속 (km/h)	경사도(%)						
	-6	-4	-2	0	2	4	6
0	0.051	0.051	0.051	0.051	0.051	0.051	0.051
10	0.154	0.224	0.468	0.661	0.779	0.887	1.015
20	0.101	0.162	0.525	0.737	0.905	1.192	1.483
30	0.091	0.167	0.597	0.817	1.096	1.566	1.999
40	0.078	0.149	0.598	0.881	1.331	1.952	2.498
50	0.078	0.130	0.599	0.928	1.605	2.323	3.021
60	0.078	0.104	0.606	1.000	1.891	2.709	3.562
70	0.068	0.083	0.610	1.127	2.166	3.128	4.114
80	0.078	0.086	0.614	1.325	2.485	3.569	4.685
90	0.078	0.096	0.622	1.577	2.820	4.002	5.250
100	0.078	0.118	0.772	1.883	3.151	4.423	5.811
110	0.078	0.177	0.936	2.215	3.463	4.839	6.368
120	0.078	0.302	1.134	2.481	3.745	5.251	6.922
130	0.095	0.425	1.408	2.669	4.030	5.660	7.477

### 3.4.2 표고보정계수

- (1) 차량에서 발생하는 오염물질의량은 표고에 따른 산소농도 및 압력에 영향을 받기 때문에 터널의 표고에 따른 보정이 필요하다. 이에 본 기준에서 표고보정계수는 WRA(2004)에서 제시하는 <표 3.4.9>의 표고보정계수를 적용한다.

<표 3.4.9> 표고보정계수 WRA(2004)

구분		표고(m)	0	700	1000	2000	3000
소형차 (휘발유, 촉매장치)	CO	1	1	1.8	2.5	3.2	
	NOx	1	1	0.7	0.5	0.5	
소형차 (경유)	입자상물질	1	1	1	1.25	1.5	
	CO	1	1	1.2	1.5	1.8	
	NOx	1	1	1	1	1	
대형차 (경유)	입자상물질	1	1	1.1	1.7	2.3	
	CO	1	1	1.4	2.8	4.0	
	NOx	1	1	1	1	1	

### 3.4.3 차령보정계수

- (1) 차령보정계수는 촉매장치(catalytic converter)의 열노화(thermal ageing)로 인해, 오염물질 배출량이 증가하는 영향을 고려하기 위한 것으로 국내의 경우에는 이에 대한 연구가 부족한 실정으로 WRA방식에서 제시하는 <표 3.4.10>을 적용한다.
- (2) 차령보정은 CO, NOx에 대하여 수행하며, 5년 단위로 차령보정계수 및 상대주행거리비(REM)를 평균하여 적용한다.

<표 3.4.10> 차령에 따른 상대 주행거리비 및 CO, NOx의 보정계수

차령(년)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
	5년					5년					5년				
구성비 %	10	10	10	10	10	9.5	8.5	7.5	6.5	5.5	4.5	3.5	2.5	1.5	0.5
	10.0%					7.5%					2.5%				
상대주행거리비 (REM) %	101.3	101.3	101.3	101.3	101.3	101.3	101.3	101.3	101.3	101.3	99.7	98.6	97.4	96.3	95.2
	101.3					101.3					97.44				
차령보정계수 (CO)	1	1	1.1	1.155	1.21	1.315	1.42	1.52	1.62	1.725	1.83	1.83	1.83	1.83	1.83
	1.093					1.520					1.830				
차령보정계수 (NOx)	1	1	1.11	1.22	1.33	1.445	1.56	1.67	1.78	1.89	2	2	2	2	2
	1.132					1.669					2.000				

### 3.5 소요환기량 산정

(1) 오염물질별 환기량은 식(3.5.1)~(3.5.3)으로 계산한다.

$$\textcircled{1} \text{ 입자상물질} \quad Q_{ST} = \left( \sum_{i=ncar} q_{st,i} + \sum_{i=ncar2} q_{stnv,i} \right) \times n_i \times \frac{1}{3600} \times \frac{1}{K_{lim} - K_{amb}} \quad (3.5.1)$$

$$\textcircled{2} \text{ CO} \quad Q_{CO} = \sum_{i=ncar} q_{CO,i} \times n_i \times \frac{1}{3600} \times \frac{10^6}{CO_{lim} - CO_{amb}} \quad (3.5.2)$$

$$\textcircled{3} \text{ NOx} \quad Q_{NOx} = \sum_{i=ncar} q_{NOx,i} \times n_i \times \frac{1}{3600} \times \frac{10^6}{NOx_{lim} - NOx_{amb}} \quad (3.5.3)$$

여기서,

$Q_{ST}, Q_{CO}, Q_{NOx}$  : 오염물질별 소요환기량 ( $m^3/s$ )

$q_{ST}, q_{STNV}, q_{CO}, q_{NOx}$  : 차종별 입자상물질, 비차량 배출 입자상물질( $m^2/h$  대), CO, NOx발생량( $m^3/h$  대)

$n$  : 차종별 차량대수(PCU대)

첨자  $lim$  : 설계농도(입자상물질 :  $m^{-1}$ , CO : ppm, NOx : ppm)

첨자  $amb$  : 대기(터널유입)농도(입자상물질 :  $m^{-1}$ , CO : ppm, NOx : ppm)

이다.

(2) (1)항의 차종별 오염물질 배출량은 식(3.5.4)로 계산한다.

$$q_{EM} = (q_0 \times f_{iv} \times f_h)_{EM} \times \left( \sum_{i=1}^3 EPP_{ti} \times 5 \right) \quad (3.5.4)$$

여기서,



$q_o$  : 차종별 오염물질 기준배출량(입자상물질 :  $m^2/h$  대, CO 및 NOx :  $m^3/h$  대)

$f_{iv}$  : 차종별 오염물질별 속도경사보정계수

$f_h$  : 표고보정계수

$i$  : 차령군(차령 0~14년까지를 5년씩 3개군으로 구분)

$EPP_{ti}$  : 차종별 및 차령군별 유효승용차 환산대당 점유비율(EPP)

첨차 EM : 오염물질을 나타내며, (1)항의 첨차 ST, NOx, CO를 의미함.

이다.

① 유효 승용차 환산대당 점유비율(EPP, Effective PCU Percentage)

$$EPP = \frac{\phi}{E_{PCU}} \times 100 (\%) \quad (3.5.5)$$

여기서, 차종별 실주행 차종구성비( $\phi$ )는 다음 식(3.5.6)으로 계산한다.

$$\phi = \phi_{PCU} \times \phi_{YR} \times \phi_{VP} \quad (3.5.6)$$

$\phi_{PCU}$  : 차종별 구성비(%)

$\phi_{YR}$  : 5년 단위 차령 구성비(%)

$\phi_{VP}$  : 5년 단위 주행거리비(%)

$E_{PCU}$  : 승용차환산대수(%)

### 3.6 터널내 허용농도 기준

(1) 환기시스템 설계를 위한 오염물질별 허용농도는 <표 3.6.1>과 같이 정한다.

<표 3.6.1> 오염물질별 허용농도 기준

차속 오염물질	10 km/h	20 km/h	30 km/h	40 km/h	50 km/h	60 km/h	70 km/h	80 km/h
입자상물질 ( $\times 10^{-3} \text{m}^{-1}$ )	9	7	7	7	5	5	5	5
CO (ppm)	70ppm							
NOx (ppm)	15ppm							

(2) CO 및 NOx에 대한 유효복용분량(FED ; Fractional Effective Dose)을 식(3.6.1)로 산정하여 이 값이 0.1을 초과하는 경우에는 허용농도를 강화한다.

$$\text{FED} = \frac{\text{CO}_{\text{mean}} \cdot T_{\text{PS}}}{24,000} + \frac{\text{NO}_{2\text{mean}} \cdot T_{\text{PS}}}{2,400}$$

$$\text{CO}_{\text{Lim}} = \frac{240,000}{11} \frac{\text{FED}}{T_{\text{ps}}} \quad (3.6.1)$$

여기서,  $\text{CO}_{\text{mean}}$ 과  $\text{NO}_{2\text{mean}}$ 은 터널내 CO 및  $\text{NO}_2$ 의 평균농도이며,  $\text{NO}_2$  농도는  $\text{NO}_x$  농도의 1/10,  $\text{NO}_x$  농도는 CO 농도의 1/10을 고려하여 산정한다. 또한  $T_{\text{PS}}$ 는 차량이 터널 내를 통과하는데 필요한 분단위의 노출시간을 의미한다.

(3) 보행자 및 자전거가 통행하는 터널은 보행자 및 자전거 통행자의 안전확보를 우선으로 차도공간과 보행공간을 격벽 등에 의해서 완전히 분리하는 것을 원칙으로 한다. 다만, 보행자 및 자전거의 통행이 가능한 터널로 격벽의 설치가 불가능한 경우에는 터널내 CO 및  $\text{NO}_x$ 의 허용농도를 보행자의 통과시간을 고려하여 식(3.6.1)로 산정하여 설계에 적용한다.

### 3.7 기타 터널내 허용기준

- (1) 1km 이상의 종류식 터널에서는 최소 환기풍속을 1.5m/s 이상 확보하여야 한다.
- (2) 터널 내를 흐르는 차도 내 풍속은 일방향 터널인 경우는 10m/s이하로 하고, 대면 터널인 경우는 8m/s 이하로 하여야 한다.

## 제 4 장 환기시스템 설치기준

### 4.1 일반사항

- (1) 터널내 기류는 터널내 공기에 작용하는 환기력과 유동저항력이 균형을 이루는 상태에서 결정된다.
- (2) 터널내 유동에서 환기력은 제트팬, 삭칼트 및 연직갱 등의 급기노즐의 분류에 의한 승압력과 교통환기력이 추가되며, 유동저항력으로는 벽면마찰저항력과 일반적으로 저항으로 작용하는 것으로 가정하는 자연환기력이 있다.
- (3) 터널 환기방식은 크게 자연환기와 기계환기로 구분되며, 기계환기 방식을 적용을 하는 경우에는 <표 4.1.1>을 참조한다. 또한 터널의 환기방식은 터널제원, 교통량, 지형적인 조건, 외부환경에 대한 영향을 고려하여 결정한다.

### 4.2 터널환기력 및 저항력

#### 4.2.1 차량에 의한 승압력(교통환기력)

- (1) 터널을 주행하는 자동차의 피스톤효과에 의해서 발생하는 것으로 차량의 주행속도가  $U_t$ 이고 터널내 풍속이  $U_r$ 인 조건에서 교통환기력( $\Delta P_t$ )은 식(4.2.1)로 산정한다.

$$\Delta P_t = N_t^+ \frac{A_m}{A_r} \frac{\rho}{2} (U_t^+ - U_r)^2 - N_t^- \frac{A_m}{A_r} \frac{\rho}{2} (U_t^- + U_r)^2 \quad (4.2.1)$$

- ① 터널내 차량수( $N_t$ )는 식(4.2.2)로 계산한다.

$$N_t = n \cdot L_r \cdot N_{Lane} = \frac{N_{veh} \cdot L_r}{U_t} \quad (4.2.2)$$

- ②  $n$  : 단위길이당 교통량(대/km),  $L_r$  : 터널길이(km),  $N_{Lane}$  : 차선수,  $N_{veh}$ 는 시간당 통과하는 교통량(대/hr)이다.

- (2) 차량의 등가저항면적( $A_m$ )은 일본고속도로주식회사(2006)의 기준에서 제시하는 식(4.2.3)으로 계산하며, 상세사항은 「도로설계편람」을 참조한다. 다만, 터널 단면적이 작은 경우, 등가저항면적이 증가하여 교통환기력이 증가하나 이는 고려하지 않는다.

$$A_m = 0.64 + \frac{8.84}{A_r} + \left(3.97 + \frac{107}{A_r}\right) \times \gamma_L \quad (4.2.3)$$

- (3) 저속(10km/h)에서는 슬립스트리밍(slip streaming)효과를 고려하여 환기기 용량을 산정한다. 단, 교통환기력이 저항으로 작용시는 제외한다.

<표 4.2.1> 환기방식의 특징(일방향 터널)

환기 방식		종 류 식					반 횡 류 식		횡 류 식
기본적 특징		터널에서 종방향의 기류가 형성되며, 교통환기력을 유효하게 이용할 수가 있다. 터널내 덕트는 필요하지 않음.					터널의 종방향으로 설치된 덕트를 통해 신선공기를 급기하거나 오염공기를 배기하는 방식		덕트를 통한 급기와 배기를 동시에 하는 방식. 종방향 풍속은 교통환기력에 의해서 형성됨.
형 식		제트팬식	삭칼드식	집중배기식	연직갱 방식	바이패스 (집진) 방식	급기반횡류	배기반횡류	
개 요		제트팬에 의해서 환기량을 얻기 위함의 증압력을 발생시키는 방식	터널의 입구부에 설치하는 급기노즐의 분류에 의한 증압력에 의한 환기	집중적으로 배기하기 위한 배기구설치하여 배기하는 방식으로 출구에서 배출을 최소화함.	터널에 연직갱을 설치하여 오염공기를 배기하고 신선공기를 급기하는 방식	터널에 바이패스터널을 굴착하고 오염공기를 유입하여 정화한 후에 재급기하는 방식	급기덕트에 의해서 신선공기를 급기하는 방식	배기 덕트에 의해 오염공기를 배기하는 방식	
개 략 도	환기계통도								
	차도내압								
	차도내 풍속								
	농도분포								
차도내 풍속		터널내 풍속은 급기구 및 바이패스터널 부근을 제외하고 터널전체에 걸쳐서 일정함. 한계풍속은 10m/s이하					중성점이 터널의 중앙에 있는 상태에는 8m/s를 유지하고 국부적인 한계풍속은 10m/s이하		일반적으로 차도내 풍속은 교통환기력에 의함
구 조		천장에 제트팬 설치공간이 필요					덕트공간이 필요		급배기덕트 설치공간이 필요하므로 내공 단면적이 가장 큼
유 지 관 리	설비 동력	차도공간에 있어서 환기를 위한 에너지 효율은 타방식에 비하여 불리함			하나의 팬으로 급배기가 이루어지므로 연직갱방식보다 동력비 저렴	배기 반횡류식에 비하여 덕트내 압력 손실 감소	덕트내 압력 손실이 증가하여 소요동력증대	반횡류식에 비해서 고가임.	
	제어 성	풍량단계와 가동팬의 수는 비례하지 않음					교통량의 변동에 비례해서 제어됨		
오염물질의 배출		출구측 갱구로 전량 배출		오염물질의 일부 또는 전량이 배기탑으로 배출	환기탑 및 출구측 갱구로 배출	집진설비로 오염물질 처리, 적극적인 오염물질 제거방식	출구측 갱구로 오염물질 배출	갱구에서 오염공기를 배출하지 않고 배기구를 통해서 배출함	배기탑을 통해서 배출되거나 일부는 터널출구로 배출됨
자연풍의 영향		자연풍에 영향을 크게 받음					자연풍의 영향을 비교적 받지 않음		
설치의 곤란성		덕트를 필요로 하지 않기 때문에 터널의 개통 후에도 환기설비의 추가 설치가 가능. 단 공기정화시설은 제외					차도공간과는 별도의 덕트를 필요로 하기 때문에 단면적이 증가하고 환기설비의 증설 변경은 곤란함		
설비비		횡류식보다 저렴					종류식 보다 고가임		

### 4.2.2 제트팬 승압력

(1) 터널내 제트팬의 분류에 의한 승압력은 식(4.2.4)로 계산한다.

$$\Delta P_j = \rho \frac{A_j}{A_r} U_j^2 \left(1 - \frac{U_r}{U_j}\right) K \quad (4.2.4)$$

(2) 식(4.2.4)에서 K는 제트팬의 설치효율로 Z/D(Z : 팬의 중심선과 터널천장과의 거리) 및 차도풍속(U<sub>r</sub>)이 변수이며, 설계시 K값은 시뮬레이션이나 「도로설계편람(617. 환기시설)」을 준용하여 적용한다.

### 4.2.3 급기노즐 및 배기구의 환기력

(1) 바이패스, 연직갱 및 삭칼드 방식에서는 <그림 4.2.1>과 같이 급기노즐이나 배기구가 설치되며 이들에 의한 환기력은 다음과 같이 계산한다.

#### ① 급기노즐의 환기력 (ΔP<sub>b</sub>)

<그림 4.2.1>에서 점선으로 표시한 급기노즐을 포함하는 검사체적에 대한 운동량 방정식 및 연속방정식을 적용하여 계산하며 급기노즐의 환기력은 식(4.2.5)으로 계산한다.

$$\Delta P_b = 2 \left( \frac{Q_b}{Q_{r2}} \right) \left\{ \left( \frac{U_b}{U_r} \right) K_b \cos \beta - 2 + \frac{Q_b}{Q_{r2}} \right\} \frac{1}{2} \rho U_r^2 \quad (4.2.5)$$

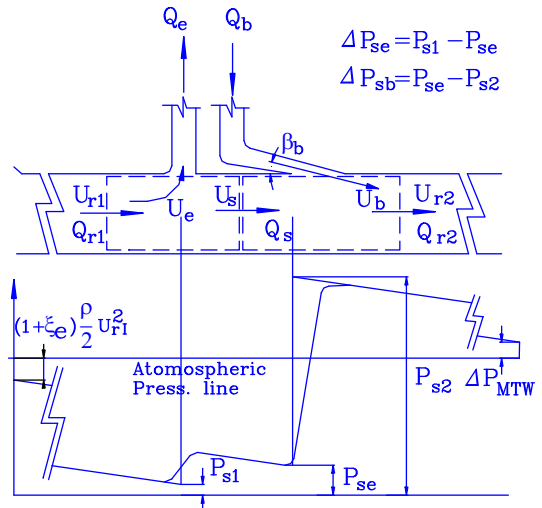
#### ② 배기구에 의한 환기력 (ΔP<sub>e</sub>)

<그림 4.2.1>에서 배기구를 포함하는 검사체적에 대해 운동량방정식 및 연속방정식에 의해서 배기구에 의한 승압력은 식(4.2.6)으로 계산할 수 있다.

$$\Delta P_e = 2 \left( \frac{Q_e}{Q_{r1}} \right) \left\{ K_e + \frac{Q_e}{Q_{r1}} - 2 \right\} \frac{1}{2} \rho U_{r1}^2 \quad (4.2.6)$$

(2) 급배기 노즐의 승압력계수(K<sub>b</sub>, K<sub>e</sub>)는 급배기노즐의 형상 및 유량에 관계되는 값으로 실험적으로 각각 0.85~1.15와

0.7~ 1.1의 범위로 알려져 있으며, 일반적으로 환기기 설계시 1로 적용한다.



<그림 4.2.1> 급기노즐과 배기구의 압력관계

#### 4.2.4 자연풍 환기력( $\Delta P_{MTW}$ )

- (1) 자연풍에 의한 환기력은 일반적으로 자연풍에 의한 환기저항을 의미하며, 터널 입·출구간의 압력차, 터널의 온도차에 의한 열부력에 따른 압력차 등을 고려한다.
- (2) 설계시 자연풍에 의한 환기저항은 2.5m/s의 풍속으로 역풍이 작용하는 것으로 하며, 식(4.2.7)로 산정한다.

$$\Delta P_{MTW} = (1 + \zeta_e + \lambda_r \frac{L_r}{D_r}) \frac{\rho}{2} U_n^2 \quad (4.2.7)$$

여기서,  $U_n$ 은 터널을 관통해서 부는 자연풍의 풍속(역풍)으로 터널외부에서 작용하는 풍속이 터널내 풍속으로 유도되는 저항풍속을 의미한다.

- (3) 터널연장이 3km를 초과하는 경우에는 기압장벽고나 경정기압차에 대한 분석을 수행하여 자연풍에 의한 환기저항을 검토하여 적용한다. 다만, 지형데이터나 기상청의 위치 관계상 기압장벽고 또는 경정기압차에 대한 신뢰성 있는 결과를 확보하는 것이 곤란한 경우에는 자연풍을 역풍 2.5m/s로 고려할 수 있다. 단, 자연풍 저항력은 최소 20Pa 이상 적용하여야 한다.

- ① 기압장벽고에 의한 자연환기력 추정방법은 기압장벽고 1m당 풍압을 0.4~0.45 Pa/m로 고려한다.
- ② 경정기압차에 의한 자연환기력 추정방법은 터널 입·출구의 부근에 대해 기상청에서 제공하는 해면기압자료를 근거로 하여 기압차를 입·출구 갱구의 압력차로 적용하는 방식이며, 터널 입·출구의 경정기압차는 식(4.2.8)로 산정한다.

$$P_r = P_0 \cdot \exp \left[ \frac{g \cdot \Delta h}{R \cdot (273.15 + \frac{t + (t + T\Delta h)}{2}) + \epsilon_m} \right] \quad (4.2.8)$$

여기서,  $P_r$  : 경정기압,  $P_0$  : 원기압,  $\Delta h$  : 고도차,  $R$  : 건조공기의 기체상수,  
 $g$  : 중력가속도,  $t$  : 온도,  $T$  : 기온 저감율,  $\epsilon_m$  : 수증기에 대한 보정치이다.

#### 4.2.5 벽면마찰저항(유동저항)력

- (1) 터널의 벽면마찰 및 교통표시판 등 터널내 제반 시설물 등에 의해서 발생하는 유동저항은 터널내 풍속이  $U_r$ 일 때 식(4.2.9)로 계산한다.

$$\Delta P_r = (1 + \zeta_e + \lambda_r \frac{L_r}{d_r}) \frac{\rho}{2} U_r^2 \quad (4.2.9)$$

- (2) 벽면마찰계수( $\lambda_r$ )는 도로터널의 벽면마찰계수로 Moody선도에서 구해지는 값이나,

터널내 유동특성이 일반적인 터널에서의 유동특성과 현저히 다르지 않은 경우에는 0.02 ~ 0.025로 한다.

## 4.3 종류식 환기 시스템의 설계

### 4.3.1 일반사항

- (1) 교통환기력 및 환기기의 송압력에 의해서 발생하는 기류가 터널의 축방향으로 흐르는 방식으로 교통환기력을 최대한 이용할 수 있기 때문에 에너지 효율성은 우수한 반면에 제트팬 및 삭칼드 방식은 터널에서 발생하는 오염물질의 전량이 터널의 출구를 통해서 배출되므로 이에 대한 고려가 필요하다.
- (2) 종류식 환기방식에서 차도내 풍속은 소요환기량에 의해서 결정되며, 차도내 한계풍속은 유지관리자 및 차량고장 등으로 하차한 운전자가 위험에 노출될 경우를 고려하여 10m/s 이하를 표준으로 하며, 국부적으로 최대 12m/s를 초과하지 않도록 한다.

### 4.3.2 제트팬 방식

#### (1) 일반사항

- ① <그림 4.3.1>과 같이 터널의 천정부에 설치된 제트팬의 고속의 분류에 의한 송압력에 의해 기류를 발생하여 터널의 소요환기량을 만족하도록 하는 방식이다.
- ② 일방향 통행터널에서 교통환기력을 효과적으로 이용할 수 있는 경제적인 방식이다.

#### (2) 제트팬 대수 결정

- ① 제트팬 필요대수는 터널내 소요환기량을 만족하는 조건에서 식(4.3.1)과 같이 차도내 유동저항, 자연풍에 의한 환기저항, 교통환기력 및 제트팬 송압력이 압력평형을 이루는 상태에서 결정한다.

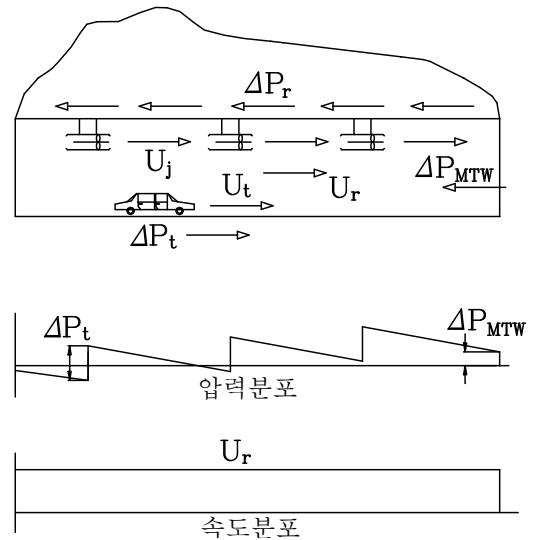
$$i = \frac{\Delta P_{\text{req}}}{\Delta P_j} = \frac{\Delta P_r + \Delta P_{\text{MTW}} - \Delta P_t}{\Delta P_j} \quad (4.3.1)$$

#### (3) 제트팬 설치시 고려사항

- ① 제트팬에서 분출되는 분류의 평균속도는 30m/s이상으로 한다.
- ② 제트팬의 설치는 송압효율을 최대로 할 수 있도록 천장과의 이격거리를 0.5D 이상의 간격을 유지하는 것을 표준으로 한다.
- ③ 터널 종방향으로 제트팬간의 설치간격은 분류효과의 감소효과 영향을 줄이기 위해

충분한 거리를 유지하는 것이 효과적이다. 따라서, 터널직경의 10배 또는 100m 이상을 이격하는 것을 표준으로 한다.

- ④ 제트팬을 병렬로 설치하는 경우의 대수제한은 없으며, 다만, 제트팬간의 이격거리는 케이싱 사이의 간격이 1D(D는 제트팬 내경) 이상을 유지하는 것을 표준으로 한다.
- ⑤ 장대터널에서 제트팬 수가 증가하는 경우, 제트팬에 의한 점유율(터널연장 대비 제트팬 설치구간)은 3/4를 초과하지 않도록 하는 것을 권장한다.
- ⑥ 터널의 특성상 경제성 검토를 통해서 위 ②~⑤항의 이격거리 및 간격을 조정할 수 있으며, 이 경우에는 시뮬레이션 등을 통해 승압효율을 검토하고 효율 감소시 설치 대수를 증가한다.
- ⑦ 여러 대의 제트팬을 설치하는 경우에는 터널의 입구측과 출구측에 분산하여 설치하여 화재시 가압효과 및 화재열로 인한 소실 가능성을 최소화할 수 있도록 한다. 단, 대면통행터널의 경우에는 감압운전을 목적으로 분산하여 설치하지 않을 수 있다.

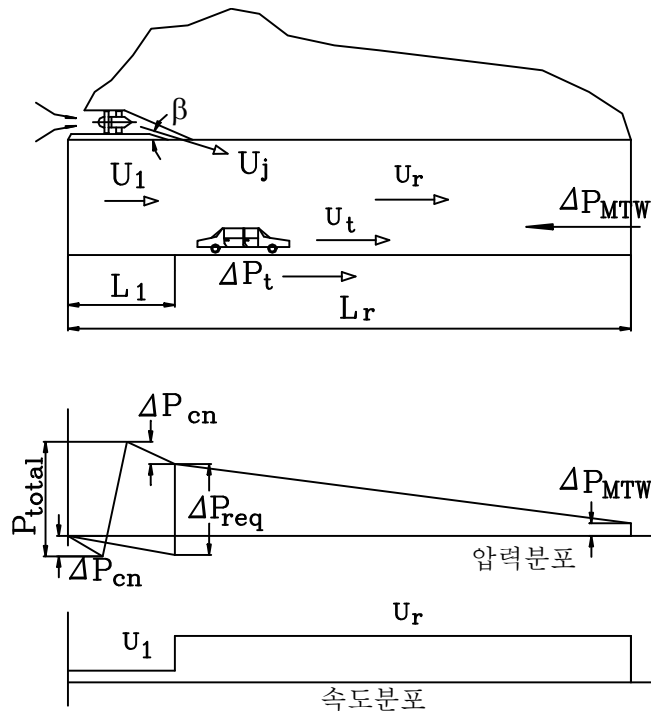


<그림 4.3.1> 제트팬 시스템의 개요

### 4.3.3 삭칼드 방식

- (1) <그림 4.3.2>와 같이 터널의 입구부근에 환기소를 설치하여 신선공기를 유입하고 이를 급기노즐을 통해 고속으로 분출하여 분류효과에 의한 환기력에 의해 터널내 기류를 발생하여 터널내 오염공기를 희석시켜 환기하는 방식이다.
- (2) 급기노즐의 승압력( $\Delta P_b$ )은 식(4.2.5)로 계산하며, 일반적인 마제형 터널에서 승압계수  $K_b$ 는 0.90~0.95를 적용할 것을 권장하며, 단면형상 및 노즐형상에 따른 승압효율은 시뮬레이션이나 모형실험을 통해 신뢰성을 확보한 후에 적용한다.
- (3) 삭칼드 방식의 압력평형식은 식(4.3.2)로 나타낼 수 있으며, 분류장치에서 요구되는 환기력  $\Delta P_b$ 는  $\Delta P_{req}$ 와 같다.





<그림 4.3.2> 삭칼트 방식의 개요도

$$\Delta P_{req} = (1 + \zeta_e + \lambda_r \frac{L_1}{D_{r1}}) \frac{\rho}{2} U_1^2 + \lambda_r \frac{L_r - L_1}{D_r} \frac{\rho}{2} U_r - \Delta P_t + \Delta P_{MTW} \quad (4.3.2)$$

- (4) 삭칼트 방식의 환기(축류)팬에 대한 소요전압( $\Delta P$ )<sub>total</sub> 급기덕트의 손실, 노즐손실 등, 외부공기가 급기되어 차도로 분사되기까지의 전압손실로 식(4.3.3)으로 계산하며, 팬정압 선정시 10%의 여유율을 준다.

$$\Delta P_{total} = \frac{\rho}{2} (U_j^2 - U_r^2) + \Delta P_{cn} \quad (4.3.3)$$

여기서,  $\Delta P_{cn}$ 은 연결덕트의 압력손실이다.

- (5) 노즐에 대한 일반적인 사양으로  $U_j \leq 30\text{m/s}$ ,  $\beta = 15^\circ$ ,  $\frac{Q_j}{Q_r} < 1$ 이 되도록 설계하는 것이 바람직하다.
- (6) 본 방식의 샷칼트형 노즐은 터널에 중간지점에 설치하는 것도 가능하다. 그러나 이 경우에는 노즐상류측의 풍량이 감소하여 오염농도가 증가하므로 이점에 주의하여야 한다.

#### 4.3.4 연직갱 급·배기방식

##### (1) 일반사항

- ① 터널에 연직갱 또는 경사갱을 설치하여 오염공기는 배기하고 신선공기를 급기하므로써 차도내 오염공기를 교환하는 방식으로 종류환기방식의 적용연장을 증대할 수 있는 방식이다.
- ② 연직갱 방식은 터널의 소요환기량이 증대하여 터널내 풍속이 한계풍속 10m/s를 초과하는 경우에 풍속은 한계풍속 이하로 유지하기 위한 수단이 될 수 있다.
- ③ 연직갱 방식은 급기에 의한 승압력을 발생하기 위한 급기노즐 및 급·배기를 수행하기 위한 연직갱 또는 경사갱과 일반적으로 터널과 평행한 급·배기 유로와 급·배기 팬으로 구성된다.

##### (2) 연직갱 풍량 및 설치위치 선정시 고려사항

- ① 일반적으로 연직갱 방식에서 급·배기 풍량은 설치위치에 영향을 받기 때문에 설치위치를 고려한 검토가 필요하나, 급·배기 풍량은 일반적으로 동일하게 설계하는 것이 환기효율 측면에서 유리하다.
- ② 연직갱의 급배기 풍량( $Q_b$ )은 소요환기량( $Q_{req}$ )에서 자연환기량( $Q_n$ )을 뺀, 식(4.3.4)로 결정한다.

$$Q_b = Q_{req} - Q_n (= U_{rn} \times A_r) \quad (4.3.4)$$

- ③ 급기노즐의 분출되는 분류의 풍속은 일반적으로 30m/s 이상으로 하며, 배기구(갱)의 유입풍속은 6m/s 이하가 되도록 계획하는 것이 바람직하다.
- ④ 연직갱의 설치위치 및 풍량은 연직갱 배기구와 터널 출구부에서 처리대상물질의 농도가 허용농도가 되도록 설치하는 것이 가장 효율적이다.
- ⑤ 연직갱의 풍량은 터널내 풍량이 가장 작을 것으로 예상되는 주행속도 10km/h에서 터널 입구의 유입풍량보다 작게 설정하여 연직갱 구간에서 단락류(short circuit)가 발생하지 않도록 한다.

##### (3) 연직갱 방식에서 압력평형식

- ① 연직갱 방식에서는 급기노즐에 의한 승압력과 배기구에 의한 승압력이 환기력이 되며, 압력평형식은 식(4.3.5)로 나타낼 수 있다. 단, 배기구에 의한 승압력( $\Delta P_{se}$ )은 작기 때문에 무시할 수 있다.

$$\Delta P_r - \Delta P_t - \Delta P_{sb} - \Delta P_{se} \pm \Delta P_{MTW} = 0 \quad (4.3.5)$$

여기서,  $\Delta P_{sb}$  및  $\Delta P_{se}$ 는 급기노즐과 배기구에 의한 승압력으로 각각 식(4.2.5)과 식(4.2.6)으로 산정한다.

##### (4) 급·배기 환기팬의 소요풍압

- ① 급·배기 환기팬의 소요 전압력  $\Delta P_{TOT}$  다음식으로 계산한다.

$$(\Delta P_{TOT})_e \quad (4.3.6)$$

$$(\Delta P_{TOT})_e = \left( \frac{\rho}{2} \cdot U_e^2 + \Delta P_d - P_m \right) \times 1.1 \quad (4.3.7)$$

여기서,

$\frac{\rho}{2}U_j^2$  : 노즐출구에서 동압손실

$\Delta P_d$  : 연결덕트손실, 노즐손실 등의 전압손실

$P_m$  : 급·배기 노즐 중간의 차도전압

이다.

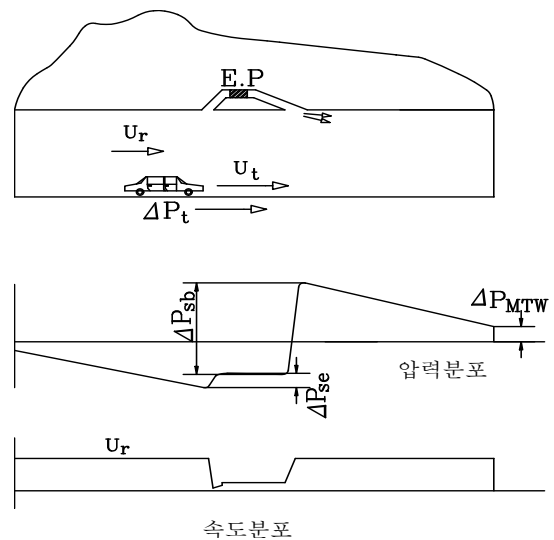
(5) 기타 고려사항

- ① 기류유입 및 급기를 위한 풍도와 연직갱에서의 풍속은 25m/s 이하로 계획한다.
- ② 풍도 및 연직갱은 화재시 배연을 위해 사용할 수 있으며, 배연시 풍속 및 내열한도는 「도로터널 방재시설 설치 및 관리지침」에 따른다.
- ③ 제연팬 용량 산정시에 화재시나리오에 따라 연직갱의 승압력을 고려하여 결정할 수 있다.
- ④ 연직갱의 배기탑에서는 터널내 오염공기가 집중적으로 배출되므로 주변환경에 미치는 영향을 검토하고, 필요시 공기정화시설을 설치하여 오염공기를 정화한 후에 배출할 수 있다.

4.3.5 바이패스(bypass)방식

(1) 일반사항

- ① 이 방식은 <그림 4.3.3>과 같이 터널과 평행한 구조물 또는 차도 측면에 보조터널 등을 시공하여 터널내 오염공기의 전체 또는 일부를 유인하여 정화처리한 후에 터널로 재유입시켜 터널내 공기질을 유지하는 방식으로, 터널공기를 바이패스시키기 위한 구조물 또는 보조터널과 송풍기 공기정화시설 등으로 구성된다.
- ② 오염물질의 농도분포는 종류식 환기방식과 동일한 경향을 보이며, 입자상물질의 경우에는 집진시설 출구 부근에서 최대치를 보이게 된다.
- ③ 공기정화시설은 가스상 물질(CO와 NOx)을 정화하기 위한 시설과 입자상물질을 제거하기 위한 집진시설이 있다.
- ④ 급기되는 공기를 노즐을 통하여 고속으로 분사하여 분류에 의한 승압력을 발생시켜 환기력을 얻을 수 있는 방식이다.



<그림 4.3.3> 집진설비 종류식의 개요도

(2) 이 방식의 압력평형식은 연직갱 급·배기방식과 같다.

(3) 바이패스방식의 오염물질 제거 효율

- ① 오염물질 제거효율은 가스상 물질을 처리하는 공기정화시설에 대해서는 80%이상, 입자상물질을 처리하는 시설은 90% 이상으로 한다.
- ② 입자상물질을 제거하기 위한 집진시설만을 설치하는 경우에는 CO 및 NOx의 한계농도 유지를 위하여 신선공기의 급기를 고려하여야 한다.

(4) 바이패스방식의 처리풍량 및 설치위치 선정시 고려사항

- ① 공기정화시설이 설치되어 있는 터널에서 터널내 농도는 급·배기 풍량과 설치위치에 영향을 받기 때문에 설치위치를 고려하여 풍량을 산정하여야 한다.
- ② 바이패스방식에서 급·배기 풍량은 통상 동일하게 하며, 식(4.3.8)을 만족하도록 풍량을 결정하는 것이 최적이다. 그러나 설치위치에 따라서 공기정화시설의 효과가 감소할 수 있으므로 공기정화시설의 처리풍량은 식(4.3.8)의  $Q_b$ 보다 증가할 수 있다.

$$Q_{req} = \eta_{filter} \cdot \sum^n Q_b + Q_n \quad (4.3.8)$$

$\eta_{filter}$  : 공기정화시설의 오염공기 제거효율

$Q_n$  : 교通风력에 의한 자연환기량

- ③ 급기노즐의 분사되는 분류풍속은 일반적으로 30~35m/s로 하며, 배기구로의 유입풍속은 6m/s 이하가 되도록 계획한다.
- ④ 공기정화시설의 설치위치 및 풍량은 오염공기를 유입하는 배기구와 터널 출구부에서 처리대상물질의 농도가 허용농도 도달하도록 하는 것이 가장 효율적이다.
- ⑤ 바이패스 방식에서 공기정화시설의 처리풍량은 터널내 풍량이 작을 것으로 예상되는 저속시 터널입구의 유입풍량 보다 작게 설정하여 공기정화시설이 설치되는 바이패스 구간에서 단락류(short circuit)가 발생하지 않도록 한다.

(5) 바이패스 환기방식의 압력평형식

- ① 급기노즐에 의한 승압력과 배구에 의한 승압력이 환기력이 되며, 압력평형식은 식(4.3.9)로 나타낼 수 있다. 단, 배구에 의한 승압력( $\Delta P_{se}$ )은 작기 때문에 무시할 수 있다.

$$\Delta P_r - \Delta P_t - \Delta P_{sb} - \Delta P_{se} \pm \Delta P_{MTW} = 0 \quad (4.3.9)$$

여기서,  $\Delta P_{sb}$  및  $\Delta P_{se}$ 는 급기노즐과 배구에 의한 승압력으로 각각 식(4.2.5)와 식(4.2.6)으로 산정한다.

(6) 바이패스 방식의 송풍기 소요풍압

- ① 송풍기의 소요 전압력  $\Delta P_{TOT}$ 식(4.3.10)으로 산정되어진다.

$$\left( \Delta P_{TOT} \right)_j = \left( \frac{\rho}{2} \cdot U_j^2 + \Delta P_d + \Delta P_F + P_m \right) \times 1.1 \quad (4.3.10)$$

$\Delta P_d$  : 연결덕트손실, 노즐손실 등의 전압손실

$P_m$  : 급·배기 노즐 중간의 차도전압  
이다.

(7) 기타 고려사항

- ① 화재가 발생하는 경우에 공기정화시설은 가동을 중지하는 것으로 계획·설계한다. 따라서, 공기정화시설을 화재시 집중배연을 위한 대책으로 활용하지 않도록 화재시 운영계획을 수립한다.
- ② 공기정화시설은 유지관리시 터널내 오염물질의 제거능력을 발휘할 수 없으므로 유지관리를 고려한 환기시스템 및 운영계획을 수립하여야 한다.

#### 4.3.6 공기정화시설

(1) 일반사항

- ① 공기정화설비는 터널에서 발생하는 오염물질을 제거하기 위한 설비로 터널내 환경기준을 유지하기 위한 목적과 외부 배출량을 제어하기 위한 목적으로 설치한다.
- ② 터널에 설치되는 공기정화시설은 입자상물질을 제거하기 위한 집진시설과 가스상 물질(CO와 NOx)을 정화하기 위한 일산화탄소(CO) 정화시설 및 탈질(deNOx)시설이 있다.
- ③ 공기정화시설은 유지관리 또는 교체기간 동안에는 가동이 불가하여 오염공기를 제거 할 수 없으므로 공기정화시설은 처리풍량의 50%를 분할하여 운전할 수 있도록 설치하는 것을 권장한다.

(2) 터널환기를 목적으로 설치하는 공기정화시설의 처리풍량 및 설치위치는 4.3.5절에 따른다.

(3) 외부 오염물질 배출을 제어하기 위한 공기정화시설은 다음 사항을 준수한다.

- ① 터널내 오염물질이 외부로 배출되는 배출구(환기소) 또는 터널 출구부에 설치하며, 설치위치 및 오염물질의 제거대상 및 처리용량은 주변대기환경에 대한 영향과 경제성을 고려하여 선택적으로 설치할 수 있다.
- ② 바이패스 방식의 공기정화시설을 설치하는 경우에는 공기정화시설의 설치가 터널내 오염물질의 농도에 영향을 미치므로 이와 같은 경우에는 우선적으로 터널내 공기질을 효과적으로 유지할 수 있도록 최적의 설치위치를 검토한다.
- ③ 터널 출구부에 설치되는 공기정화시설은 터널내 오염물질의 허용농도와는 무관하게 터널출구에 근접하여 설치한다.
- ④ 공기정화시설에서 정화되어 배출되는 공기가 주변대기환경에 미치는 영향은 배출농도, 배출풍량 및 풍속, 환기탑의 높이, 환경 민감시설과의 거리에 영향을 받기 때문에 이들의 세부사항은 환경영향평가를 통해서 결정한다.
- ⑤ 공기정화시설에서 오염물질의 외부배출농도는 입자상물질의 경우에는 외부적 요인에 의한 변화가 크므로 NOx농도를 기준으로 하여 주변대기환경에 대한

가중농도가 대기환경기준을 초과하지 않도록 정한다.

- ⑥ 공기정화시설의 오염물질 제거효율은 제작자 사양 및 경년변화를 고려하여 정하며, 현재의 기술수준에서는 입자상물질에 대한 제거효율은 90%이상, 가스상물질(CO 및 NO<sub>x</sub>)에 대한 제거효율은 80%이상으로 한다. 제거효율은 다음의 식(4.3.11)로 산정한다.

$$\eta = \{(C_{UP} - C_{DN}) / C_{UP}\} \times 100 \quad (4.3.11)$$

여기서,

$C_{DN}$  : 공기정화장치 하류에서의 농도  
 $C_{UP}$  : 공기정화장치 상류에서의 농도

이다.

- ⑦ 공기정화시설의 오염물질별 제거효율은 현장설치 후에 현장효율 측정실험을 통해 검증하여 최종 확인하며, 공기정화시설의 효율측정시험방법은 시방서에 별도로 정한다.

## 4.4 (반)횡류식 환기 시스템의 설계

### 4.4.1 일반사항

- (1) 터널내에 덕트와 급기 또는 배기구를 설치하여 신선공기를 급기하거나 오염된 공기를 배기하는 방식으로 급기 또는 배기만을 하는 경우에는 각각 급기 반횡류식, 배기 반횡류식이라 하며, 급·배기를 동시에 하는 경우에는 횡류식이라 한다.
- (2) 급기구 또는 배기구의 단면적이 작은 소형 급·배기구를 비교적 작은 간격으로 설치하 균일 급·배기방식과 단면적이 비교적 큰 급기 또는 배기구를 설치하고 급·배기구의 개폐를 제어할 수 있는 대배기구 방식이 있다.

### 4.4.2 균일 급·배기 방식

#### (1) 일반사항

- ① 터널의 천정부 등에 덕트와 급·배기구를 설치하여 급기구나 배기구를 통해서 균일한 풍량이 급기 또는 배기되도록 하는 방식이다.
- ② 환기소에 근접한 급기 또는 배기구에서는 덕트내 정압이 과도하게 걸려서 풍량이 증가하고 환기소에서 먼 배기 또는 급기구에서는 덕트내 정압이 감소하여 풍량이 과도하게 감소하는 현상이 발생할 수 있다. 따라서 균일한 급기를 위해서는 급·배기구의 개도를 조정하여야 한다.
- ③ 급기 또는 배기 반횡류식의 경우에는 터널내 풍속이 0m/s가 되는 중성점이 존재하게 되며, 특히, 배기 반횡류식의 경우에는 중성점에서는 오염물질의 농도가 과도하게 높아지게 되므로 이에 대한 검토가 필요하다.

#### (2) 덕트 및 급·배기구의 설계

- ① 덕트내 풍속이 증가하면 덕트에서의 압력손실이 증가하여 송풍동력이 증가하므로 덕트내 풍속은 25m/s를 초과하지 않도록 한다. 단, 배연겸용인 경우에는

배연풍속은 「도로터널 방재시설 설치 및 관리지침」을 따른다.

- ② 급기방식의 경우, 급기구간의 간격은 5m정도를 표준으로 하며, 급기구에서 면풍속은 6~8m/s가 되도록 한다.
- ③ 배기구의 간격은 급기구의 간격의 2배정도를 표준으로 하며, 배기구에서 면풍속은 4m/s 이하가 되도록 한다.
- ④ 급기와 배기가 동시에 수행되는 경우에는 급기된 기류가 터널로 확산되지 못하고 배기구로 짧은 경로를 따라 흐르는 단락류(short circuit)현상의 발생에 유의하여 급기구 및 배기구 위치를 결정한다.
- ⑤ 급기덕트의 벽면마찰손실계수는 덕트의 유속 변동폭이 차도보다 크므로 상세계산을 위해서는 속도에 대한 고려가 있어야 하며, 대략 0.015(덕트의 시점부)~0.04(덕트의 말단부)범위에 있으나, 평균 0.015를 적용할 수 있다.

(3) 송풍기의 소요전압

- ① 급기용 송풍기의 전압은 환기탑에서 공급된 공기가 연결덕트, 터널내 급기덕트, 차도를 경유하여 갱구 또는 배기구에서 배기될 때까지 유로의 압력손실의 총합으로 다음과 같이 표현된다.

$$\text{급기용 송풍기 전압} = 1.1 \times \{ \text{말단필요압력(차도내압 및 급기구 손실)} + \text{덕트의 정압차} + \text{덕트시점의 동압} + \text{연결유로의 압력손실} \}$$

여기서, 1.1은 안전율이다.

- ② 급기덕트의 말단필요압력은 차도내압분포와 급기구의 유동손실의 합이며, 차도내압은 교통상황 및 기상상황에 의해서 영향을 받기 때문에 이를 고려하여 충분한 여유를 두고 설계해야 한다. 일본의 경우, 동명고속도로 등의 실험결과에 의해서 150Pa 정도를 권장하고 있다.

- ③ 덕트 시작부 풍속 및 동압

$$\text{덕트 시작부 풍속} : U_{bi} = \frac{Q_b}{A_b} \tag{4.4.1}$$

$$\text{덕트 시작부 동압} : \Delta P_{bi} = \frac{\rho}{2} U_{bi}^2 \tag{4.4.2}$$

- ④ 덕트의 정압차

$$P_{bi} - P_{bo} = K_b \cdot \frac{\rho}{2} \cdot U_{bi}^2 \tag{4.4.3}$$

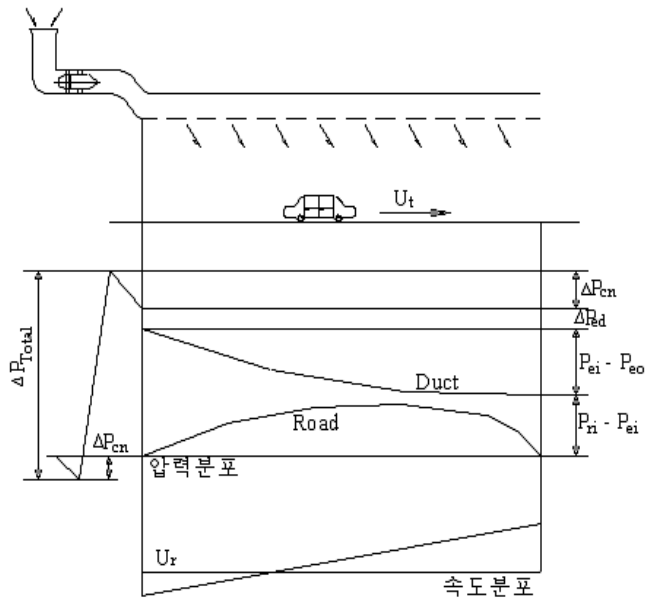
여기서,  $K_b = \left( \frac{\lambda}{3} \cdot \frac{L}{D} - 1 \right)$  이다.

- ⑤ 연결유로의 압력손실 ( $\Delta P_{cn}$ )은 환기팬으로 외기도입을 위한 덕트 및 송풍기에서 부터 터널내 덕트로 연결하기 위한 연결덕트의 압력손실로 덕트의 굴곡, 변형, 직관부의 손실 등이 포함되며, 소음장치나 집진설비 등의 압력손실도 고려해야 한다.

(4) 배기용 송풍기의 소요전압

- ① 배기 반회류식의 송풍기 전압은 차도로 유입한 공기가 배기덕트의 배기구 및 덕트, 연결덕트를 경유하여 환기탑으로 배출되는 유로에서 발생하는 각종 압력손실의 총합으로 다음과 같이 표시할 수 있다.

배기용 송풍기 전압 = 1.1 × { 배기덕트 시점부 필요압력(차도내압 및 배기구 손실) + 덕트의 정압차 + 연결유로의 압력손실 - 덕트말단의 동압 }



<그림 4.4.1> 급기 반회류식의 개요도

- ② 배기덕트 말단의 풍속 및 동압

$$\text{배기덕트 말단의 풍속} : U_{eo} = \frac{Q_e}{A_e} \quad (4.3.4)$$

$$\text{배기덕트 말단의 동압} : \Delta P_{ed} = \frac{\rho}{2} U_{eo}^2 \quad (4.3.5)$$

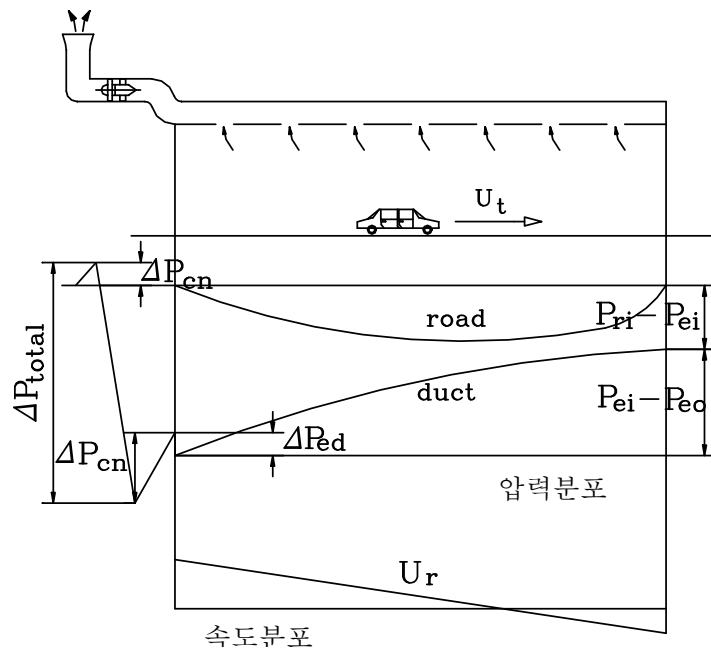
- ③ 배기덕트에서 정압차 :

$$P_{bi} - P_{bo} = K_b \cdot \frac{\rho}{2} \cdot U_{bi}^2 \quad (4.3.6)$$

여기서,  $K_b = \left( \frac{\lambda}{3} \cdot \frac{L}{D} + 2 \right)$  이다.

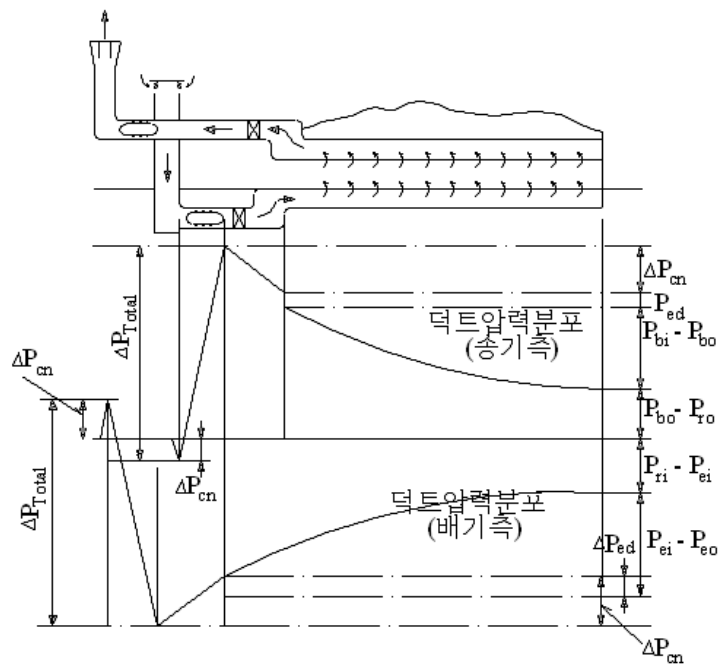
- ④ 배기 덕트시단의 필요압력은 이론적으로 차도의 압력보다 낮게 설정하며, 배기가 원활하게 이루어지도록 하기 위해서 차도의 압력보다 100Pa 정도 낮게 설정한다.





<그림 4.4.2> 배기반횡류식의 개요도

- (5) 대배기구 방식의 경우, 화재시 배연을 목적으로 하는 배기구는 개폐가 원격으로 제어될 수 있도록 한다.
- (6) 터널에 종방향으로 설치되는 급기 또는 배기구에서 풍량은 균일하게 유지하는 것이 환기효율측면에서 가장 효과적이다. 이를 위해 설계시 균일풍량을 얻을 수 있도록 시뮬레이션을 통해 배기구 또는 급기구의 개도율을 제시하고 TAB를 수행하여 이를 확인·조정한다. 다만, 덕트가 화재시 배연덕트 겸용인 경우에는 배연시 균일풍량을 얻을 수 있도록 조정한다.
- (7) 횡류식 환기방식에서 터널내 풍속은 일반적으로 급기풍량과 배기풍량이 동일하므로 터널전체에 걸쳐서 일정하며, 교통환기력에 의한 풍속이 야기된다.



<그림 4.3.3> 횡류식 배기덕트계의 압력 분포

## 4.5 대면통행 터널의 환기 시스템의 설계

### 4.5.1 일반사항

- (1) 대면통행 터널에서는 대면 교통 환기력과 자연풍에 의한 환기력이 상쇄되는 경우, 터널내 기류의 풍속은 0m/s에 가깝게 된다. 이 경우, 터널내 농도는 급격하게 상승하게 되므로 대면통행터널은 터널연장이 짧은 경우에도 기계환기를 수행할 필요가 있다. 따라서, 대면통행 터널에서는 경제성을 고려한 환기기 용량 산정기준이 필요하다.
- (2) 터널기류의 방향은 교통환기력과 자연풍에 의해 결정되기 때문에 대면통행터널에서는 주기류의 방향이 조건에 따라서 변하게 된다. 그러나 기류의 방향을 고려한 제트팬의 빈번한 역전운전은 공기의 관성과 제트팬 전동기의 기계적 요인으로 보아 바람직하지 못하므로 여유 있게 계획할 필요가 있다.
- (3) 갱구부의 오염물질의 확산을 제어할 필요가 있는 도시지역 터널의 경우에는 최대 환기용량으로 검토하고 산악지형의 대면통행 터널에서는 환기설비 용량이 최소로 요구되는 방향으로 환기설비 운전을 계획한다.

#### 4.5.2 환기설계를 위한 교통량

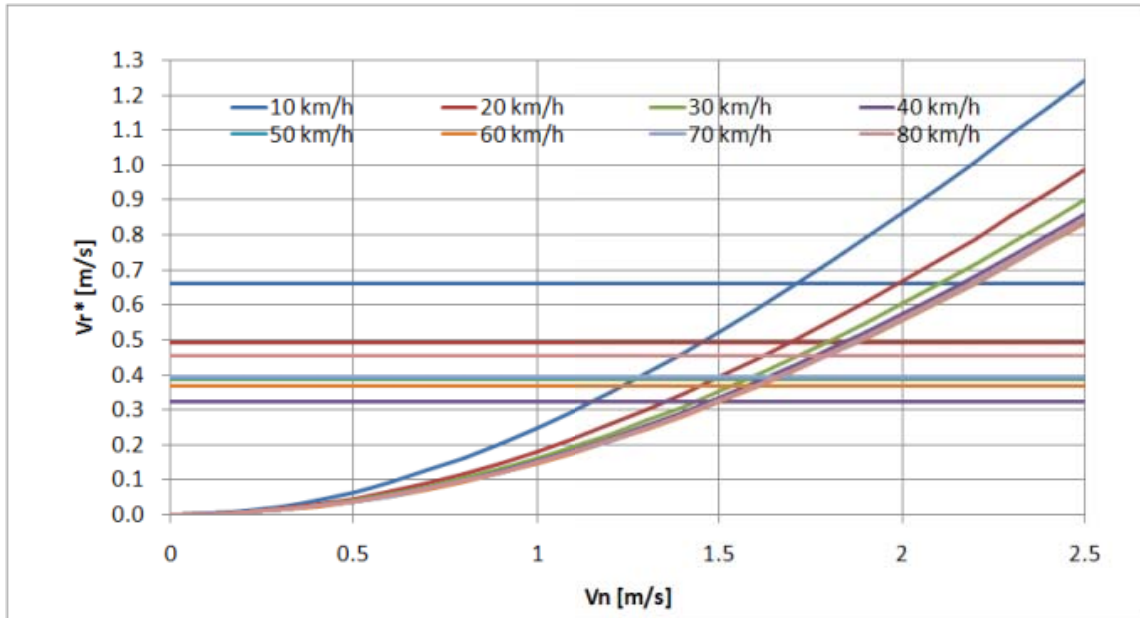
- (1) 대면통행 터널에서는 방향별 주행속도가 다를 수 있으며, 따라서 방향별 차속을 고려한 환기검토를 수행한다.
- (2) 교통량은 최대 교통용량(도로용량)을 기준으로 하며, 터널내 교통(용)량의 중방향비는 50% : 50%인 교통(용)량 비율을 적용하고, 차등차속 적용에 의한 터널내 교통량비를 중방향계수(D)값이 넘지 않도록 하는 범위에서 차등차속차이의 단계를 설정한다.
- (3) 역풍방향으로는 ‘설계에 사용하는 교통량’의 주행속도별 교통밀도 산정식으로 부터 구한 교통량을 적용하고 순풍방향으로는 역풍방향 주행속도보다 한 단계 낮거나 높은 주행속도와 교통량을 적용(예를 들면 역풍방향 주행속도가 60km/h일 때에 순풍방향으로 50km/h이나 70km/h의 주행속도를 적용)하여 소요환기량을 계산하고 이에 따라 제트팬 대수를 결정한다.

#### 4.5.3 환기기 용량산정 방법

- (1) 환기방식은 차등차속 범위에의 주행조건에서 먼저 자연환기 만족여부를 다음과 같이 평가한다.
  - ① 대면통행 터널에서는 자연풍이 환기력으로 작용할 수 있으므로 차등차속법의 범위내에서 자연풍의 풍속을  $-2.5\text{m/s}$ 에서 부터  $+2.5\text{m/s}$ 를 고려하여 풍속증분은  $0.1\text{m/s}$ 단위로 환기가능여부를 검토한다.(단, 기압장벽고 혹은 경정기압차 및 최소풍압  $20\text{Pa}$ 를 고려하여 자연환기력을 적용할 경우는 해당 풍압을 풍속으로 변경하여 동일한 방식으로 검토한다)
  - ② 자연환기의 가능조건은 다음과 같다.
    - |소요환기량( $Q_{req}$ )| < |자연 환기량( $Q_{vn}$ )| => 자연환기 가능
    - |소요환기량( $Q_{req}$ )| > |자연 환기량( $Q_{vn}$ )| => 자연환기 불가능
  - ③ 차등차속법에서 자연환기가 불가능한 영역이 존재하면, 제트팬 대수 결정을 위한 임계 자연저항풍( $V_n=V_r^*$ )을 산출하여 제트팬 대수를 산출한다.(이때, 자연저항풍이 클수록 자연환기가 가능하고, 작을수록 불리한 조건이 된다. 그러나, 환기용량 산출시 자연저항풍이 작을수록 환기용량이 작고, 클수록 환기용량이 커지므로 임계 자연저항풍을 산출할 필요가 있다.)
- (2) 차등차속법으로 자연환기 불가영역으로 검토된 주행속도에 대해서는 자연풍을 제트팬의 방향과 역풍조건(최대  $2.5\text{m/s}$ )으로 하여 제트팬 대수를 산정하는 것은 교통환기력 및 환기력으로 작용할 수 있는 자연풍을 환기저항으로 고려하게 되어 과도한 환기용량의 증가가 예상된다. 따라서, 차등차속법에 따른 자연환기 불가능시

우선 차등차속 범위 내에서 임계 자연저항풍의 풍속( $V_n=V_{r^*}$ )을 산정한다.

- (3) (2)에서 산정한 임계 자연저항풍의 풍속을 역풍조건으로 고려하여 제트팬 대수를 산정한다.



<그림 4.5.1> 주행속도별 임계자연풍( $V_n=V_{r^*}$ ) 도출(예)

#### 4.6 환기방식별 소요동력 및 경제성 검토

- (1) 환기검토에 따른 환기방식의 최종 선정에 앞서 소요동력 등에 대한 경제성 분석이 필요하다.
- (2) 터널연장이 길고 터널내 풍속이 고속인 경우에는 제트팬 증가에 따른 풍량 증가는 미미한 수준이다. 따라서, 이와 같은 경우에는 환기의 경제성을 실현하기 위해서 바이패스 방식이나 연직갱 방식을 적극적으로 검토한다.
- (3) 조합환기방식(제트팬과 바이패스방식 또는 제트팬과 연직갱 방식)에서는 환기기기 운전 조합에 따라서 발생풍량이 동일할지라도 소비동력에 있어서 차이가 발생할 수 있으므로 반드시 소비동력을 최소로 할 수 있는 운전단계를 선정하여 제시한다.

## 제 5 장 환경계측기

### 5.1 일반사항

- (1) 터널에서는 안전운행을 확보하기 위해서 실시간으로 모니터링하여 환기시스템을 제어할 수 있도록 하여야 한다.
- (2) 터널내 환경측정을 위해서 설치되는 계측기는 오염물질별 오염농도 계측기, 터널내부의 기류특성을 파악하기 위한 풍향·풍속계, 교통상황을 감지하기 위한 교통류 감지기 등이 있다.
- (3) 터널내 내부 환경 측정을 위한 계측기는 터널의 통행방식과 진출입특성에 따라 적용환기방식의 농도변화특성을 고려하여 설치위치 및 측정대상물질을 선정하여 설치한다.
- (4) 터널내 계측기는 터널내 기류가 완전히 혼합되어 농도 및 풍속분포가 터널내 농도 및 풍속을 대표할 수 있는 위치에 설치하는 것을 원칙으로 한다.
- (5) 터널의 외부에는 기상조건을 감지하기 위한 풍향·풍속계, 기압계, 안개감지센서 등은 터널상황에 적합한 것으로 선정하며, 설치 필요성을 검토하여 설치한다.

### 5.2 오염물질 농도 계측기

#### 5.2.1 측정범위

- (1) 계측대상 오염물질은 입자상물질 및 가스상 물질(CO, NO<sub>x</sub>)로 하며, 계측기는 터널의 특성을 고려하여 선택적으로 선정할 수 있다. 그 외의 물질에 대해서는 터널의 지리적 위치 및 특성을 고려하여 설치할 수 있다.
- (2) CO 계측기의 측정범위는 0~200ppm, NO<sub>x</sub> 계측기는 0~50ppm, 가시거리 계측기의 측정범위는 0~15×10<sup>-3</sup>m<sup>-1</sup> 범위로 한다.
- (3) NO<sub>x</sub>농도계의 설치는 생략할 수 있으며, 이 경우에는 CO농도에 의해서 NO<sub>x</sub>농도를 유추할 수 있도록 조치한다.
- (4) 입자상물질은 터널내 운전자의 가시거리에 영향을 미치게 되므로 가시거리계를 설치하여 입자상물질의 농도를 산정할 수 있도록 한다.

## 5.2.2 설치위치 및 설치대수

(1) 터널의 특성에 따라 다음 사항을 고려하여 설치위치 및 설치대수를 선정한다.

- ① 환기구간을 1개로 볼 수 있는 제트팬에 의한 종류식 환기방식의 터널에서 오염물질의 농도는 이론적으로 터널 출구부에서 최대가 된다는 점을 고려하여 설치위치를 선정한다.
- ② 환기구간이 다수의 구간으로 분할되는 연직갱이나 바이패스 방식의 터널에서는 각 환기구간에 최소한 1개소 이상에 계측기를 설치한다.
- ③ 횡류 환기방식의 경우, 급·배기 덕트에 의해서 환기존이 구분되는 경우에는 각 환기존에 1개소 이상의 위치에 설치한다. 또한 횡류환기방식의 터널에서는 환기시 터널내 오염물질의 농도가 최대가 되는 위치가 교통량 및 주행속도에 따라서 달라질 수 있으므로 이론적으로 최대가 될 것으로 예측되는 지점을 포함하여야 한다.
- ④ 대면통행 터널의 경우에는 기류의 방향이 역전될 가능성이 있으므로 터널내 오염농도가 최대가 되는 지점이 변동할 가능성이 높다. 따라서, 대면통행 터널에서는 환경 계측기는 터널의 입구부, 중간부, 출구부 3개소 설치를 표준으로 한다.
- ⑤ 공기정화시설이 설치된 터널은 공기정화시설의 효과를 확인할 수 있도록 바이패스 구간의 배기구 상류부 및 급기노즐 하류부에 계측기를 설치하는 것을 표준으로 한다. 이때 계측대상 물질은 공기정화시설에서 처리하는 물질을 대상으로 한다.
- ⑥ 제트팬에 의한 종류환기방식의 터널 연장이 3,000m 이상의 터널에서는 1개소 이상의 지점에 추가적으로 계측기를 설치할 수 있다.
- ⑦ 계측기의 설치대수는 유지보수 작업이나 고장 등의 원인으로 일부 계측기의 작동 중지로 인해 터널내 환경에 결정적인 영향을 미치지 않도록 설치대수를 정하며, 화재 등 터널내 특정 상황을 감시하기 위하여 터널 중간부와 출구부 설치를 표준으로 한다.

(2) 유동특성 측면에서 고려할 사항

- ① 터널입구에 설치할 필요성이 있는 경우에는 터널입구로 부터 혼합거리를 고려하여 설치하며, 터널 입·출구에 설치하는 계측기는 갱구로부터 터널 대표직경의 약 7~10배 이상 떨어진 위치에 설치한다. 또한, 가시거리 계측기의 경우에는 자연광의 영향이 미치지 않는 곳에 설치하여야 한다.
- ② 환기팬 또는 급기노즐의 출구부와 같이 기류의 변동이 급격한 지역에서는 환기팬이나 급기노즐의 분출지점에서부터 터널 대표직경의 약 7~10배 이상 되는 하류 지점에 설치하여 분류에 의한 영향을 최소화할 수 있도록 설치한다.
- ③ 환기팬의 유입측 또한 기류의 영향을 받을 수 있으므로 환기설비 부근의 공기유동에 대한 검토 결과에 따라 혼합이 충분히 이루어지고 기류분포가 급격하게 변하지 않는 지점에 설치한다.

## (3) 터널시설물의 영향

- ① 비상대피소와 같이 공기가 정체될 가능성이 있어 국부적으로 높은 농도분포를 나타낼 우려가 있는 지점에는 설치하지 않는다.
- ② 가시거리 계측기의 경우, 터널벽면으로부터 반사광에 의한 영향을 받지 않도록 충분한 거리를 유지하여야 한다.
- ③ 구조물이나 차량 통행에 의해 계측기의 투과경로(transmission path)에 장애를 받지 않도록 하여야 한다.
- ④ 차량통행에 의한 손상을 받지 않도록 안전한 지점을 선택하여야 한다.

## (4) 유지보수 측면에서 고려하여야 할 사항

- ① 보수점검을 위한 접근이 용이하고 안전하고 신속한 보수점검 작업이 가능한 위치를 고려하여 설치한다.
- ② 유지보수 작업을 위해 계측기 정지시 환경 모니터링에 결정적인 영향을 미치지 않도록 설치개소 및 위치를 선정하여야 하며, 가급적 인접 계측기에 의한 추정이 가능하도록 계측기 간격을 결정하여야 한다.
- ③ 계측기 측정부의 손상 가능성을 고려하여 터널 벽면 자동세척차량의 세척범위를 고려한다.

## 5.3 풍향·풍속계

- (1) 터널에 설치되는 풍향·풍속계의 측정범위는 0~20m/s로 한다.
- (2) 측정치가 터널단면상에서 평균풍속을 대표할 수 있도록 설치위치를 선정하거나 보정을 통해서 평균풍속에 대한 대표성을 확보할 수 있도록 한다.
- (3) 체트팬 환기방식의 터널에서 풍향·풍속은 이론적으로 터널 전 구간에서 일정하기 때문에 풍속계의 설치위치는 문제가 되지 않으나, 유지관리를 위해서 오염물질 계측기와 동일한 지점에 설치한다.
- (4) 연직갱 환기방식과 같이 구간별 풍속이 달라질 수 있는 터널에서는 환기구간별로 최소 1개소에 설치한다.
- (5) 대면통행 터널에서는 기류방향 및 풍속이 터널환기에 미치는 영향이 크므로 터널 입·출구부에 1대씩 설치하는 것이 바람직하다.
- (6) 터널 단면상 계측기 설치높이는 터널내 차량주행이 풍향·풍속에 미치는 영향을 감안하여 가능한 평균값 측정이 가능하고, 평상시 유지관리 용이성을 고려할 때 3.8m 정도의 높이가 바람직하다. 그러나 계측기 및 터널단면 특성으로 효율적인 환기제어 목적상 필요시는 설치높이를 조정할 수 있다.
- (7) 체트팬 종류환기방식이라도 터널 연장이 3,000m 이상으로 길거나, 환기시설이

구간별 독립제어 방식 등을 적용하여 터널내 풍향·풍속이 달라지는 경우에는 추가적인 계측기 수량을 필요한 위치에 설치할 수 있다.

#### 5.4 기타 터널 내·외부 계측기

- (1) 종류식 환기방식의 대면통행 터널의 경우에는 터널 외부 입구부에서 풍향·풍속을 측정하여 팬의 가동방향과 풍량을 제어할 필요가 있다.
- (2) 자연풍에 의한 환기력이 터널내 기류에 미치는 영향이 큰 터널에서는 외기의 풍향·풍속에 의한 환기팬 연동이 필요하며, 이와 같은 경우에 터널 외부용 풍향·풍속계의 설치를 고려한다.
- (3) 산악지 장대터널 등에서 환기구간 양단의 대기압차에 의한 자연환기력을 파악할 필요가 있는 경우나 대면통행 터널의 경우에는 터널의 양쪽 갱구에 기압계 설치를 검토한다.
- (4) 안개가 터널내로 유입될 경우 터널내 부유 입자상 물질에 응집되어 입도가 커지므로 가시도의 급격한 악화를 초래하며 이를 기준으로 환기설비가 작동할 경우 안개의 급속한 유입이 예상된다. 따라서 안개 발생 빈도가 높은 지역에서는 갱구로 유입되는 안개에 의한 피해를 최소화하기 위하여 안개센서의 설치를 검토하며, 설치위치는 갱구로부터 10m 이내가 바람직하다.
- (5) 터널내부에는 시설물관리 목적상 필요할 경우 온·습도계 설치를 고려할 수 있다.



## 제 6 장 환기시설 운영기준

### 6.1 환기설비 운영기준

- (1) 운영중인 터널에서 CO 및 NO<sub>x</sub> 농도는 일반적으로 설계허용농도에 미치지 못하므로 환기기 용량에 여유가 많은 것으로 평가된다. 따라서 운영중 목표농도는 환기 설계허용농도보다 강화하여 <표 6.1.1>과 같이 설정할 것을 권장한다.

<표 6.1.1> 운영중 터널의 환기기 운영기준

오염물질	CO	가시도
운영중 목표농도	20ppm	$2.0 \times 10^{-3}$ 이하(70%)

- (2) 바이패스방식 또는 연직갱 방식과 제트팬 방식이 조합된 조합환기방식의 터널에서는 일반적으로 환기기 소요동력이 동일할 지라도 운전조합에 따라 환기량이 다르다. 따라서, 환기기 소요동력을 최소로 할 수 있는 운전단계를 검토하여야 한다.
- (3) 분기형 진·출입이 있는 네트워크형 터널을 운영할 경우는 본선 터널구간과 램프(ramp)구간의 유·출입 유량의 차이로 환기기의 정상적인 운전계획이 곤란할 수 있으므로, 진·출입 램프구간의 유·출입 풍량을 제어하기 위한 환기기를 운전할 수 있도록 운전계획을 수립하여야 한다.
- (4) 제트팬 환기방식을 채택하고 있는 운영중인 터널은 화재시 화재가 발생하지 않은 상대터널에서 가압운전을 수행하여 피난연결통로의 연기침입을 막을 수 있도록 운전계획을 수립하여야 한다.

### 6.2 외부배출농도 제어기준

- (1) 터널에서 외부로 배출되는 오염물질의 제어를 위해서 터널내 오염물질에 대한 한계농도와는 무관하게 터널 출구부 및 환기소 배기탑과 같이 오염물질이 배출되는 장소에는 공기정화시설을 설치할 수 있다.
- (2) 공기정화시설을 통해서 정화된 오염물질을 배출하는 경우의 오염물질별 배출농도는 대기환경 영향평가를 통해 주변에 미치는 영향을 최소화 할 수 있도록 정한다.
- (3) 외부로 배출되는 오염물질을 공기정화시설에 의해서 제어하는 경우에 제어대상물질은 NO<sub>x</sub>로 하며, 환기시설은 환경영향평가지 승인된 NO<sub>x</sub>배출량을 초과하지 않도록

운영하는 것을 원칙으로 한다.

- (4) 외부 배출농도를 제어하기 위해서는 배출농도 및 풍량을 측정하기 위해서 터널출구부 및 환기탑 배기구에 실시간으로 NO<sub>x</sub> 농도 및 풍속을 측정하기 위한 계측기를 설치하여야 한다.

## 제 7 장 행정사항

### 7.1 재검토기한

본 기준은 2018년 1월 1일 기준으로 매3 년이 되는 시점(매 3년째의 12월 31일까지를 말한다)마다 그 타당성을 검토하여 개선 등의 조치를 하여야 한다.

### 7.2 경과조치

- (1) 본 기준은 방침으로 정한 날부터 시행한다.
- (2) 본 기준을 방침으로 정하기 이전에 운영중인 터널은 적용하지 않으나, 이미 시행 중에 있는 설계용역이나 건설공사에 대하여는 발주기관의 장이 필요하다고 인정하는 경우 적용할 수 있다.