

지하철 터널에서 환기실과 환기구의 계획

지하철을 기능상 정거장과 터널로 분류하면 정거장은 승객들의 승·하차를 위한 공간이며 터널은 열차의 운영을 위한 공간이다. 터널은 열차의 반복 운행시에 발생하는 열에 의해 고온화 열축적 현상이 이루어지면서 정거장으로 더운열이 이동하며 정거장의 열환경이 악화되고 있다. 본고에서는 터널의 환기를 위한 적합한 환기실과 환기구의 계획에 대해서 기술함으로써 지하철 터널의 열환경 개선과 에너지 절약이 이루어지길 기대한다.

차 철 현

지하철 터널의 환경은 지상에 세워지는 일반 건물과 달리 일사의 영향이 없으며 계절별로 변화의 폭이 적지만 지하철의 운행 증가에 따른 발생열의 증가로 인해서 터널 내의 온도는 점차 상승된다.

온도상승의 주요인은 표 1과 같이 열차발생열의 증가와 토양 상태의 변화에 의한 것이며 열차풍에 의해서 열의 이동이 발생되면서 지하 승강장의 환경을 악화시키는 원인이 되고 있다.

오래전에 건설된 지하철에서는 자연환기 시스템을 채용하였으나 최근에 건설되는 지하철에서는 기계환기 시스템을 적용하여 터널내의 환경수준이 높아지고 있다.

지하철 터널의 설계시 환기실과 환기구의 계획은 초

기단계인 기본계획과 기본설계단계에서 환기시스템의 검토와 병행하여 수행함으로써 경제적이고 효율성 있는 지하철의 환기시스템을 구현할 수 있다.

환기실의 기능

터널내에서 발생한 열의 일부는 터널 벽체에 방열되며 그 외는 환기에 의해서 외부로 배출되어 터널내의 발생열량과 터널외로 배출되는 열량의 균형이 잡혔을 때 터널내 온도조건은 정상상태를 유지하게 된다. 발생열량에 비해서 배출 열량이 적으면 터널 벽체 주변의 수분이 증발하면서 온도는 빠르게 상승하게 된다.

터널내의 축적된 열을 외부로 배출하기 위해서는 환기실에 송풍기를 설치하여 터널내의 열을 외부로 내보내거나 열차풍에 의한 교통환기력에 의해서 외부 공기와 열교환을 하여야 한다.

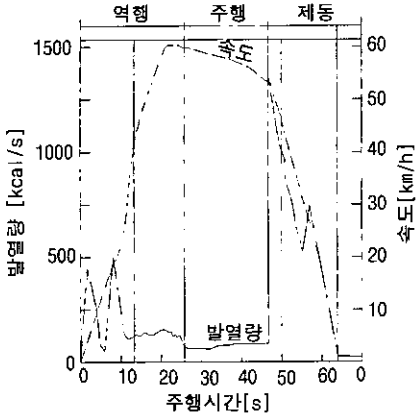
환기실의 위치 선정

환기실의 위치는 터널의 형식과 환기방식을 고려하여 정하게 되는데 환기효율을 고려하여 선정함이 바람직하다.

환기의 효율이 좋은 곳이라 하더라도 건설 위치의 용지확보 가능성, 지하매설물에 의한 장애여부, 소음발생여부, 터널공사의 공법과 협조성 등을 고려하고 현장

<표 1> 지하철에서의 열차 발생열 요소

발생열종류	에너지원	발생열원
열차저항열	전기·운동위치	차량의 바퀴, 궤도, 전동기어 차체의 표면, 공기
역행손실열	전기	주전동기, 제어기기, 집전선
제동열	운동위치	차량의 바퀴, 주전동기, 제어기기
보조기기열	전기	전기동력발전기, 공기압축기, 냉방기, 난방기, 환풍기, 조명, 통신 및 신호기, 방송기기
인체열	신체대사	승객, 승무원, 지하철 근무자



[그림 1] 열차주행시 터널내 발열량의 분포도

<표 2> 지하철 노선별 환기실 위치

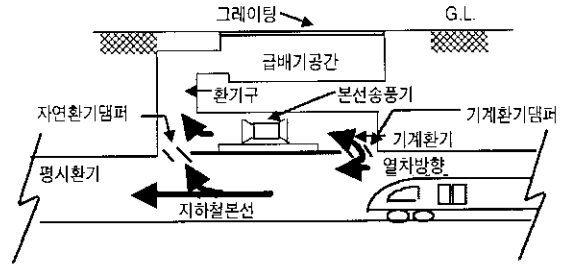
노 선	중간 환기실	양단환기실 위치
서울 5호선	구간의 중앙	70 ~ 80m 이격
서울 6호선	구간의 중앙	40 ~ 70m 이격
부산 2호선	구간의 중앙	50 ~ 100m 이격
대구 1호선	구간의 중앙	40 전후 이격
대구 2호선	구간의 중앙	40 ~ 80m 이격
인천 1호선	구간의 중앙	80 ~ 100m 이격
대전 1호선	구간의 중앙	30 ~ 45m 이격
광주1호선	구간의 중앙	600 ~ 100m 이격

조사를 면밀히 하여 결정한다.

그림 1은 터널내를 운행하는 열차의 운행곡선과 그에 따른 열발생 분포에 대한 개요를 보여주는데 도착역의 직전에서 제동을 할 때 많은 열이 발생됨을 알 수 있다.

환기실을 출발역과 도착역에 붙여서 건설하는 것은 효율성이 있지만, 환기실의 송풍기에서 발생하는 소음과 진동이 승강장에서 크게 들이거나 근접 환기구의 환기압력 불균형에 의해 승강장의 냉방기류 분포가 나빠질 수 있으므로 주의하여야 한다.

표 2는 국내 지하철 건설시 환기실의 위치에 관한 복선 터널의 환기실 위치이며 단선 터널의 경우에는 중간환기실이 없으며 양단환기실을 설치하였다.



[그림 2] 터널 환기실 개념도(자연환기 검용)

지하승강장에 플랫폼 스크린 도어가 설치되면 송풍기에서 발생하는 소음 발생을 막을 수 있으므로 환기실을 정거장에 인접하여 설치하는 것이 가능하다.

대전 지하철 1호선 중 일부 구간에서는 스크린 도어를 설치하고 터널용 환기실과 송풍기를 정거장내에 설치하였다.

환기실의 구성

환기실의 구조는 송풍기실, 자연 환기용 풍도 그리고 환기구로 구성되며 터널 환기의 운영에 따라서 환기실의 크기가 달라진다.

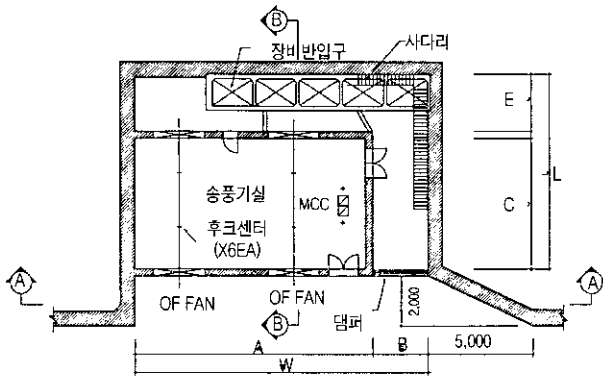
그림 2는 서울 2기 지하철의 건설시에 이용된 터널환기실의 개념도를 나타내었다.

서울 2기 지하철의 터널내 송풍기 운전은 지하철 운행시에 가동하며, 자연 환기용은 덤퍼를 닫힌 상태로 운전하고 있으므로 터널내의 온열 환경은 좋은 반면 송풍기 운전에 따른 에너지 소비는 높은 편이다.

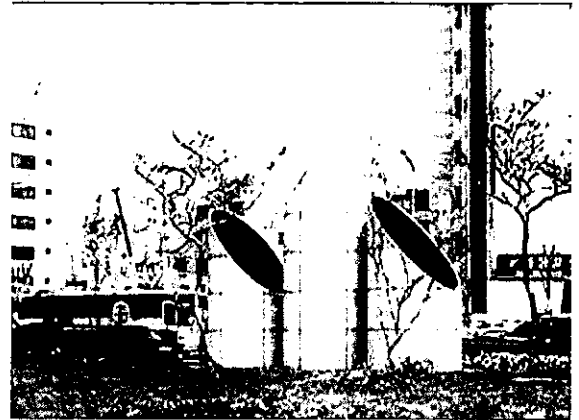
위싱턴 지하철의 터널내 환기시스템은 서울 2기 지하철과 동일하지만, 송풍기 운전은 비상시 사용하도록 계획되었으며 평상시는 열차 운행시에 발생하는 피스톤 효과(piston effect)에 의해서 자연 환기 풍도를 이용하여 환기하므로 에너지의 절약 측면에서는 좋은 시스템이라 할 수 있다.

송풍기실

송풍기실 (fan room)에는 송풍기, 전동기, 덤퍼, 덕트, 소음기, 전원공급 및 제어반 등이 설치되며, 2대 이상



[그림 3] 환기실 평면도(측부형)



[그림 4] 탑형 환기구의 전경

의 송풍기를 설치하는 경우에는 송풍되는 기류의 간섭을 줄이기 위해서 송풍기 직경의 2배 이상을 이격시켜 설치하여야 한다. 또한 유지보수를 위한 출입문을 설치하는 것도 중요한 사항이다.

자연 환기용 풍도

자연환기용(혹은 교통환기용) 풍도는 터널과 환기구를 연결하여 송풍기의 운휴시에 피스톤 효과에 의한 자연환기가 이루어지도록 하며, 송풍기의 가동시에는 터널과 면하는 연결부에 댐퍼를(blast damper) 설치하여 열차풍에 의한 기류가 흐르지 않도록 폐쇄한다.

환기실의 유입 및 유출구의 형상

환기실과 터널과의 연결 부위는 공기의 흐름 방향으로 15°~30°의 경사 처리를 하여 열차풍에 대하여 종류 환기를 계획하여 압력 손실을 줄인다.

환기실의 장비반입시설 및 부대시설물

지상의 환기구를 통하여 장비 반입이 이루어지도록 하며 유지관리 및 우수에 대비한 시설물을 다음과 같이 계획한다.

- 지상 환기구의 개구부중 1개소를 장비 반입구로 활용한다.
- 환기실의 천정에 장비를 인양할 수 있도록 천 정면에 후크(hook)를 설치한다.

- 장비반입과 관리요원들이 이용하기 편리하도록 출입문을 설치한다.
- 외부에서 환기실로 안전하게 진입하기 위한 계단 또는 사다리를 설치한다.
- 우수 및 지하수를 처리할 수 있도록 바닥에 배수 트랜치 및 배수관 시설을 계획한다.

환기구 계획

터널의 환기실과 연결되어 지상에 설치되는 환기구는 신선외기를 도입하고 터널내 오염된 공기를 외부로 배출하는 기능을 하지만 위치선정에 따른 민원 발생이 많아서 계획시 현장을 정밀 조사하여 신중한 결정이 요구된다.

환기구의 기능

- 자연환기 방식에서의 기능
터널내의 피스톤효과(piston effect)에 의해서 열차 진행하는 방향으로 터널내의 공기를 외부로 배출하고 열차후면에는 부압이 발생되어 외부공기를 터널내로 유입시키는 작용이 원활하도록 강구되어야 하고, 환기

구와 그 경로는 공기 저항이 최소가 되는 구조이며 압력 손실을 일으키는 급격한 단면 변화는 배제되어야 한다.

• 기계환기 방식에서의 기능

터널내의 열을 외부로 배출하고 신선한 외기를 유입하여 환기함으로써 지중의 열 축적을 방지하고 흡열 기능이 원활히 되도록 하며, 화재시 터널내의 승객 대피와 진화를 원활히 할 수 있도록 외기 유입과 연기 배출구로서의 역할을 수행한다.

• 장비반입 및 유지관리시 역할

환기구는 송풍기, 소음기등 환기실에 관련된 설비 장비의 반입과 작업시 출입통로로 사용될 수 있어야 하며, 준공후의 유지관리 시에도 환기구를 통해 유지 보수가 가능한 구조가 되어야 한다.

환기구의 위치선정

환기구의 위치는 환기실과 연결되므로 환기실의 위치에 따라 결정되지만 지상의 제한적인 요소가 있으므로 다음 사항을 고려한다.

- 신선공기의 도입가능 여부와 본선의 배출공기가 주위에 미치는 영향을 고려한다.
- 장애의 도시계획과 주변의 구조물과 조화를 이루며 조형미를 가지도록 고려한다.
- 자동차에서 발생하는 가스의 유입을 피하기 위해 신호대기선, 버스정류장 등의 위치를 배제한다.
- 냄새가 나는 시설물의 배기 장치가 있는 장소에 급기구를 두지 않는다.
- 침수가 되는 지역은 주위보다 높은 지역에 위치하도록 한다.
- 보도내 점유면적을 최소화하여 교통장애가 되지 않도록 한다.
- 지면에 환기구를 위치시 행인에 지장을 주지 않도록 과대한 풍속을 피한다.
- 급·배기구의 위치선정시 일정거리를 이격시켜 배출공기가 재유입되지 않도록 한다.

<표 3> 환기구 높이에 따른 CO농도의 감소량

높이	지표면에서 고도에 따른 CO농도 감소량(ppm) (지표면 외기를 50ppm으로 가정)
GL. +5	25(50% 감소)
GL. +10	12.5(75% 감소)

<표 4> 오염 발생원으로 부터 환기구의 수평거리 이격에 따른 CO농도의 감소량

용도	이격거리 (m)	차도를 기준으로한 감소량(ppm) (차도의 외기를 50ppm으로 가정)
급기용	10	12.5 ~ 6.25(50% ~ 75% 감소)
급기용	20	2.5(90% 감소)

표 3은 환기구의 설치 높이에 따라서 CO가스의 농도가 달라지는 것을 나타내었다. 표 4는 차도를 주행중인 버스나 트럭에서 배출되는 가스 오염물에서 환기구를 이격시킬 때 환기구로 유입되는 가스의 감소량을 나타내었으며 외기의 가스 농도는 지역에 따라 많은 차이가 있다는 점을 주의해야 한다.

환기구의 형식

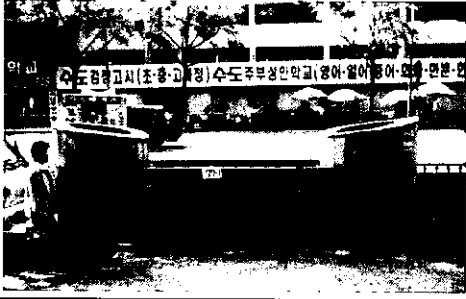
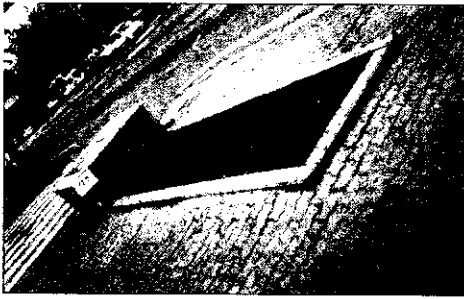
지상의 환기구는 대기환경을 고려하여 일정한 높이로 설치하는 것이 원칙이지만 설치위치의 제한조건 때문에 1.2m~2m 높이의 탑형과 지표면에서 0.3m 높이의 바닥형으로 구분되면 표 5는 높이에 따른 환기구의 비교를 보여준다.

환기구의 설치면적 산정

환기구의 면적은 자연환기시에는 터널의 단면적과 동일한 면적으로 하는 것이 원칙이지만 공사비가 증가되므로, 환기구의 토출측 풍속에 의해서 단면적을 산정한다. 기계환기 방식에서도 풍속에 의해서 설치면적을 산정한다.

표 6은 탑형과 바닥형 환기구 설치시 필요한 면적을 통과 풍속별로 구분하여 보여주는데, 바닥형의 환기구

<표 5> 높이에 따른 환기구의 장·단점 비교

구분	탑형	바닥형
개요	· 지면에서 1.2m ~ 2m정도 높이에 개구부를 설치할것	· 지면에서 0.3m정도 높이에 개구부를 설치할것
설치전경		
장점	<ul style="list-style-type: none"> · 오물 유입 방지 · 자동차 배기가스 등의 액상 부유분진의 유입 감소 · 관리요원 및 운영비 감소(유지관리 용이) · 지하철 구조물 내 환기 개선 · 우수기의 침수방지 · 지상부 소요면적의 감소 · 토목 공사비의 절감 	<ul style="list-style-type: none"> · 도로주변 상가 등의 차폐의 우려가 없음 · 보도 폭이 협소할 경우 적용유리 · 보행인의 시야확보 · 도시미관 확보
단점	<ul style="list-style-type: none"> · 도로주변 상가 등의 차폐로 인한 민원발생 · 보도의 설치시 보도 폭의 감소로 통행시 불편초래 	<ul style="list-style-type: none"> · 오물 유입으로 환기구, 환기실 오염 초래 · 지하철 구내 공기 오염 심각 · 우수기의 침수 가능성이 높음 · 지상 개구부의 소요면적이 크다. (탑형의 200 ~ 500%) · 면적증가로 토목공사비 증대 · 통행인에게 열차풍에 의한 피해를 준다.



[그림 5] 바닥형 환기구와 통행인의 피해



[그림 6] 바닥형의 높이를 0.6m 높인 환기구의 예

〈표 6〉 풍량과 풍속에 따른 환기구의 면적산정 (단위 m²)

풍 량 (CMM)	탑 형			바 닥 형	
	5 m/s	7 m/s	10 m/s	2.5 m/s	3.5 m/s
5,000	17	12	9	33	24
6,000	20	14	10	40	29
7,000	23	17	12	47	33
8,000	27	19	14	53	38
9,000	30	21	15	60	43
10,000	33	24	17	67	48
12,000	40	29	20	80	57
14,000	47	33	24	93	67
16,000	53	38	27	107	76
18,000	60	43	30	120	86
20,000	67	48	34	133	95

에서 풍속이 높으면 통행인에게 피해를 주므로 주의가 요구된다.

그림 5는 배출풍속이 약7.5m/s의 바닥형 환기구인데

통행인의 피해 현장을 보여준다. 이러한 통행인들의 피해는 민원의 대상이 된다.

그림 6은 그림 5와 동일지역으로 과도한 풍속의 배출에 의해서 발생하는 통행인의 피해를 줄이기 위하여 환기구의 높이를 바닥에서 60cm 높여서 개선한 예이다.

맺음말

지하철의 설계에서 환기실과 환기구는 송풍기의 성능과 더불어 터널 환기 시스템의 효율을 결정하는 주된 요소이므로 공학적인 검증과 도시미관에 어울리는 설계와 시공이 요구되며 다음과 같은 의문이 해결되어야 한다.

- 터널 환기 시스템의 환경조건(온도, 습도, 환기유속, 화재시 연기의 움직임 등)을 제어하기 위한 최적의 환기실 위치, 크기 및 구조는 무엇인가?
- 평상시와 비상시의 송풍기의 운전모드와 유지관리에 편리한 환기실의 구조는 무엇인가?
- 환기효율이 높은 환기구의 형상과 높이는 무엇인가? ㉔