

터널내 화재의 조기감지방법 및 피난터널에 관한 연구

A Study on Fire Detecting Technologies in Tunnel Fire and Escape Tunnel

양 태 선* / 김 은 종**
Yang, Tae Seon / Kim, Eun Chong

Abstract

Establishing special fire flower sensor of automatic fire equipment in tunnel, it is informed perception, croaker suppression realization and danger occurrence item vehicles driver of tunnel entry verge and connection stream tube institution early stage. which must do to cope immediately. In this paper, quick disposal decides to examine about dictionary perception system that is possible method.

key words : fire in tunnel, early perception, fire flower sensor, refusing tunnel

요 지

터널내에서 자동 화재탐지장비는 불꽃감지기를 설치함으로써 조기감지, 조기 진압실현 및 위험발생상황을 터널진입직전의 차량운전자 및 관련기관에 알려 즉시 대처할 수 있다. 이 논문에서는 화재발생시 즉각 대처 가능한 조기감지시스템과 피난터널에 대하여 살펴보도록 한다.

핵심용어 : 터널화재, 조기감지, 불꽃감지기, 피난 터널

1. 서 론

현대사회의 경제는 물류이동의 효율적인 방법에 따라 결정되며 지상에 거미줄같이 연계되어있는 도로망 및 전철, 철도망은 기술적으로도 지상조건을 고려하여 최단거리를 추구하며 이로 인한 터널의 설계필요성은 필수적이라 할 수있다. 이러한 지하운송시설은 물류의 증대에 따라 지역간 이동시간의 단축과 물류비용의 절감의 효과를 추구하다보니 지하라는 특수한 환경에 대한 방재 System 및 시설은 필요성만큼의 기대에 못 미치고 현재에 이르러 국내에서는 대구지하철참사 및 서울 터널의 화재사고와 같은 사례와 외국사례에서도 보는 바와 같이 지하운송시설에서 인명안전에 대한 경각심을 갖게 되었고 설계시도 및 실험을 통한 결과분석을 하고 있으나 효과적 방법제시는 미흡한 상태이다.

터널내에서의 화재는 실제 발생된 일련의 사고와 같이 초기 화재발생시 초순간내 화재감지의 필요성 및 단계적, 체계적 화재발생 사실의 전파와 긴급 대처방안

이 절실하며 특히 터널화재시 유독가스로 인한 대량 질식사(窒息)가 예상되어 터널내 자동화재 설비중 특수감지기(불꽃감지기)를 설치하여 조기감지, 조기 진압실현 및 위험발생상황을 터널 진입직전의 차량운전자 및 관련유관기관에 알려 즉시 대처하도록 해야 할 것이다. 이 논문에서는 화재발생시 즉각적인 대처가 가능한 방법인 조기감지 시스템에 대하여 살펴보기로 한다.

2. 터널화재 사고의 유형과 고려사항

터널내 사고유형의 종류를 살펴보면 과속차량의 터널측벽 충돌, 차량과 차량간 충돌, 타이어 펑크로 인한 전복 및 연쇄충돌, 불량 정비차량의 차량자체 화재, 인화성 물질 운송차의 충돌과 충돌 및 전복, 터널내 기계실과 External Lines Duct Bank화재 등으로 볼 수 있다.

Tunnel에서 발생할 수 있는 가장 큰 위험중 하나는 제어불능의 화재이며 소방방재신문에서 보도된 실화재 Test결과에 따른 화재의 진행과정을 살펴보면 평균적

* 정희원 · 김포대학 환경토목과 교수 (e-mail : sj98@kimpo.ac.kr)

** 정희원 · (주)금륜방재산업 사장

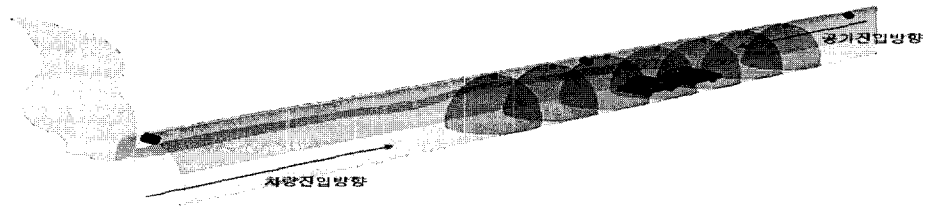


그림 1. 화재발생 시나리오

으로 승용차에서 발생하는 화재의 경우 약10분, 트럭에서 발생하는 화재의 경우 약 20~30분후에 화재의 최고점에 도달하며 차량의 엔진 내장재, 연료탱크의 연소과정 과정에서 발생하는 유독가스는 탈출자들에게 치명적으로 호흡곤란발생 및 질식사할 유도하게 된다.

터널내 화재발생 상황을 살펴보면 JET FAN에 의한 일방향 송풍기가 가동되는 경우 탈출자들에게 유독가스를 보내는 상황의 발생우려도 자탐에 의한 Signal 접수시 자동제어기능으로 Fan Operation 중지하도록 시스템상 운용을 바꿔야 한다.,

현재 터널내 화재사고시 우려되는 문제점으로는 터널 중앙부에서 화재 발생시 사고사실을 모르는 차량의 터널 내 연속진입이 이루어지고, 최초 화재 발견 차량 운전자들의 공황 상태로 인하여 탈출을 시도하고, 강한 화염으로 인한 유독가스의 양방향 확산으로 가시거리 확보 불가능하게되며, 불충분한 피난시설 (연결통로 / 탈출 터널의 시설) 부재하고, 배출 시스템 (Jet Fan 운용)및 대량배출 제연 시설, 그리고 패닉상태에 있는 피난 자들을 위한 유도 표시가 필요하며, 현장도착후 화학소방차의 진압작업 방법이 제시되고, 터널내 긴급시 특수차량 진입이 어려운 상황이 벌어지므로, 터널 내 자동화재 탐지 설비의 원거리 통신시스템과 체계적 방재 대처 계획등에 대한 대책이 수립되어야 한다.

또한, 화재감지속도의 신속함이 우선으로서 이는 터널내 진압을 위한 체계적 통제, 구난,진압을 위한 목적과 현장에 화재진압을 위한 소방차의 현장 접근전 자

동화재 진압설비가 요구되며 예상 탈출로상 인원의 대피상 유독가스로부터 보호조치가 가장 중요한 사항이므로 최대한 고려되어야 한다. 또한, 신속한 터널내 화재의 조기감지를 통하여 대형사고의 방지가 절실하다.

3. 터널내 화재 감지기술

3.1 기존방법

표 1과 같이 현재 적용되고 있는 자동화재 탐지설비는 정온식 감지선형 감지기로서 그 종류로는 70℃ / 90℃ / 다신호식 (70℃ / 90℃ 겸용)이 있으며 설치위치는 Tunnel 천정부 (높이 8m 이하)에 설치된다. 또한, 선형 열감지기는 차동식 + 정온식이 있다. 현형소방방법을 기준으로 하는 기준은 표 1과 같다. 참고로 국내 총 603개 터널 중 500m이상인 터널은 약 300개이다.

3.2 기존 방법의 문제점

터널에 설치할 수 있는 자동화재 탐지기는 터널이라는 특수한 환경으로 말미암아 제한적으로 설계할 수밖에 없으며 현재까지 설치해왔던 기존방법을 검토하면 아래와 같다.

환경적 제약으로는 습기, 매연으로부터 저항성, 현장 적용성(방수)이며, 종방향으로 설치해야하는 Sensor개념(Sensor cable)이고, 통행차량 및 설계 통과단면을 저해하는 터널내부의 제약(천정부 설치)이 있다.

기존의 자동 화재탐지 설비는 원리가 종방향으로 설치된 감지선의 어느 지역에 실제화재가 발생하는 경우 2개의 신호전달선(강선)을 싸고있는 절연물 보호필립

표 1. 소방설비 종류와 내용

자동화재탐지설비	: 길이 1,000m이상의 터널에 감지기 수신기,발신기,중계기,음향장치
옥내소화전 설비	: 길이 1,000m이상 터널
비상경보 설비	: 길이 500m이상 터널
비상조명등	: 길이 500m이상 터널
제연설비	: 길이 500m이상 터널
무선통신보조설비	: 길이 500m이상 터널

이 열에 노출되어 70℃ 또는 90℃에 녹아 서로 접촉할 경우 저항값을 전용수신반으로 보내게 되고 읽어진 저항값이 Meter로 환산되어 수신반상에 거리 및 위치가 확인되는 시스템이다.

그러므로, 이러한 기존 방식으로 설치될 경우 온도를 감지하여 저항값을 보내야 하는데 실화재시 터널내 천정높이가 실제로 높으므로 터널내 소규모 화재에서는 그 온도를 감지하는데 시간이 소요되고 결국 터널내에서 대규모 화재로 확산하기 전에는 열화를 감지하는 속도가 지연되므로 전반적으로 터널내 화재의 조기감지에 따른 현장대처가 늦어질 수 있다.

3.3 제안방법

불꽃감지기는 자동화재 탐지기로 화재발생시 화원에서 방사하는 빛의 파장대중 자외선 대역과 적외선 대역에서 특정 파장대 역영만을 검출하여 전기적 신호로서 감지기내 계수비교 분석 후 화재신호를 출력하는 시스템이다.

기존방법과 차이점을 살펴보면 기존방법은 주로 열감지 방법으로서 터널내 화재 발생시 약 7~10m 정도의 높이에 설치되어있는 Sensor Cable까지 화염이 올라가는 시간은 최소 약 2~3분 정도가 소요되는데 불꽃감지기는 탄소를 포함한 A,B,C 어느화재라도 화재 초기 일정크기의 불꽃발생시 3초내 광학적 화재 파장대를 인식/감지하여 출력신호를 발할수 있고 터널내 열악한 환경적 영향(분진, 습기, 매연, 강풍)으로부터 견딜수 있는 Housing구조와 터널내 대공간을 화재감지공간으로 설정해 조기 화재감지 즉시 발생사실을 관할소방서 및 유관처 상황실과 도로에 설치되어있는 전광판에 통보/표시/경고로 구현할 수 있어 대량 인명피해를 막을 수 있다.

4. 불꽃감지기 설치 방법 및 터널 적용

4.1 설치기준

공칭 감시거리 및 공칭 시야각은 형식승인에 따르며 감지기는 공칭 감시거리와 공칭 시야각을 기준으로 감시구역이 모두 포함하도록 설치한다. 감지기는 화재감지를 유효하게 감지할 수 있는 모서리 또는 벽 등에 설치한다. 그림. 2와 같이 감지기를 천장에 설치하는 경우 감지기는 바닥을 향하여 설치하며 수분이 많이 발생할 우려가 있는 장소에는 방수형으로 설치한다.

4.2 부채꼴모양의 감지영역 적용범위의 이론적 배경

공칭감지거리 및 공칭시야각을 기준으로 설계하는 경우 공칭감지거리는 제조사의 사양에 따르나 공칭시야각은 최소한 수평, 수직90도 이상인 불꽃감지기를 설계해야한다. 이는 벽면 및 모서리 설치 경우 바닥을 기준으로 해도 화재대상물이 공간에 있을 경우 벽면, 천정을 포함하여 공간을 전체 사공간(Dead Space)없이 설계하려면 90도이상의 감지기 기종을 선택해야한다.

아울러 범기준상 천정설치 경우 바닥을 향한다는 규정은 화재대상물이 장애물이 없이 설치되어 있는 경우를 제한적으로 언급한 내용으로서 감지각의 최외각내 약 1.2m 이상의 돌출물로 인해 사공간이 생기는 경우 반대방향에 추가설계하여 공간적 Dead Space를 줄이도록 해야한다.

불꽃감지기에 대한 설계는 공칭감지각 / 공칭시야각을 기준으로 한다 해도 제조사 제품의 특별한 부가기능(감지각 이상의 플러스(+))알파(θ)도 만큼의 시야각 증대/화원의 크기에 따라 감지거리 이상의 감지능력

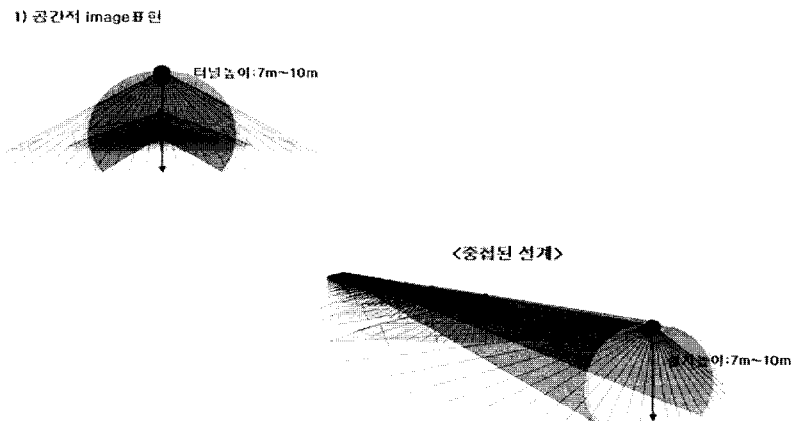


그림 2. 옥외형 불꽃감지기 Image표현(감지각90도)

구현 등)외로 난반사에 의한 조기 감지능력의 실현("예" 4초내 감지-2초내 감지/고감도,중감도, 저감도 등 Sensitivity조절에 따른 Setting값)이 가능해 일률적인 기준을 정하기는 어렵다. 불꽃감지기의 감지공간은 시야각과 감지거리로 표현되나 실제적인 감지공간은 감지공간의 형태와 중첩설계의 기술에 의해 제한되며 설계결과 수치는 우선 25m감지거리를 기준으로 계산해 본다.

그림. 3과 같이 천장이 낮고 넓은 공간을 감지하기 위해서는 모서리에 설치하는 것이 좋으며, 감지되는 바닥과 천장면의 감지면적이 다르므로 좁은 바닥면적을 기준으로 설치면적을 설계하여야 한다. 모서리에 설치된 불꽃감지기의 경우 아래 부채꼴면적을 감지하지만, 사각형 모양을 기준으로 설계하는 것이 편리할 뿐만 아니라, 일부 감지면적이 중첩되므로 안전성을 높일 수 있다.

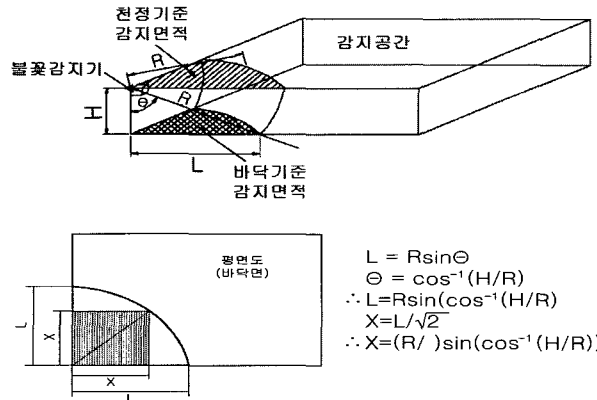


그림 3. 천장높이가 낮은 공간

그림. 4과 같이 천장이 높은 공간을 유효하게 감지하기 위해서는 천장면에 설치하여 아래로 바라보게 하는 것이 좋으며, 천장의 높이(Ho)따라서 감지되는 바닥면적이 다르므로 바닥감지면적을 기준으로 설치 면적을 설계하는 것이 바람직하다.

불꽃감지기의 경우 아래 우측의 그림과 같이 부채꼴의 감지특성을 가지므로 천장과 바닥의 거리에 따라 감지면적이 달라진다. 어느 정도 거리까지는 감지기와 바닥까지의 거리에 따라 바닥감지면적이 증가 하지만 특정거리를 지나면 오히려 감소하는 특성이 있다. 바닥감지영역도 원형 모양이지만, 사각형 모양을 기준으로 설계하는 것이 편리할 뿐만 아니라, 일부 감지면적이 중첩되므로 안전성을 높일 수 있다.

4.3 터널적용시 주의점

불꽃감지기의 공간설계는 터널단면과 길이에 해당

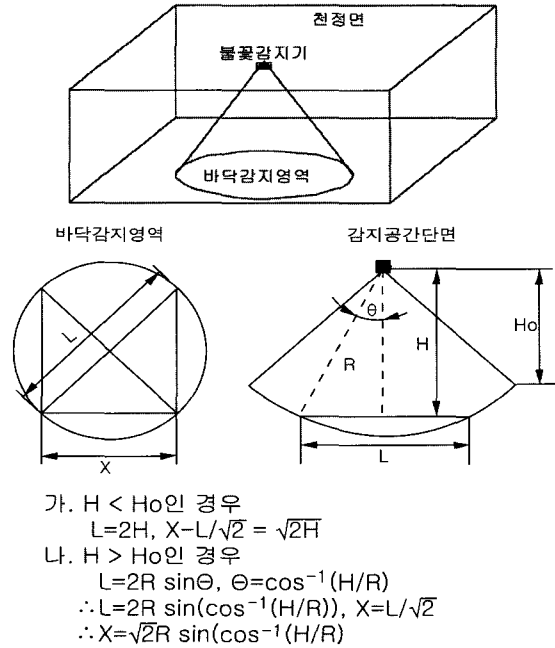


그림 4. 천장높이가 높은 공간(감지기의 정면을 수직하향 방향으로 설치)

하는 대공간을 화재감지 공간으로 설정하여 불꽃감지기의 공칭감지거리와 감지각내에 들도록 한다. 감지공간과 감지공간은 구획되어있는 설계로서 항상 공간간 중첩 설계하여 사공간(Dead Space)이 생기지 않도록 설치높이와 설치간격을 기술적으로 고려해야 한다.

터널내에는 제트팬(Jet Fan)과 기타시설물 및 통과 차량의 종류, 크기에 따라 불꽃감지기를 천정부에 설치시 광학적 빛(화재)의 감지할 수 있는 거리내 근거리 장애물이 생기지 않도록 가능한 25m간격으로 중첩설계하는 것이 좋다. ("예" : 일본터널은 25m간격으로 불꽃감지기 설치)

터널은 도로의 일부이기 때문에 소방법(소방검정공사형식규격기준)에 의하면 도로형 감지각은 180°이상을 감지할 수 있는 불꽃감지기를 설치하여야 한다. 불꽃감지기는 터널내 환경(습기, 매연, 분진)을 감안하여 감시창의 오염을 스스로 감지할 수 있는 자기진단기능이 필수조건으로서 정기적 또는 Program상 제어할 수 있는 기계적 감시창 세척기능을 별도로 설치하여 운영해야한다.

5. 터널내 화재발생시 비상탈출을 위한 피난터널

5.1 기존 Tunnel 상황 및 문제점

현재 국내도로 및 철도터널의 입구와 출구는 종방향 형태로서 직선 및 곡선형으로 설계되어 있으며 기울기

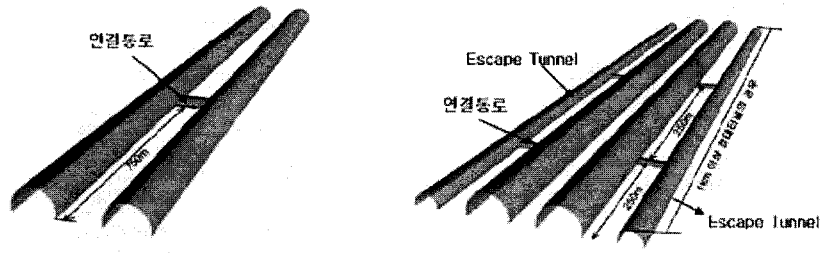


그림 5. 기존 터널과 탈출터널의 설계 예

(Slope) 및 기압, 온도차에 따른 터널내 기류의 방향이 일정치 않아 만약 터널 중앙부에서 화재 발생시 장대터널 경우 500m이상의 거리를 유독개스속에서 탈출해야하는 극단적 위험을 안고있다.

물론 상행, 하행터널이 노선내 인근하여 위치해 있어 터널 일정거리마다(매 750m)연결통로를 설치해 차량운전자들이 탈출로 및 비상시 차량의 회차를 할수 있도록 하였으나 실제화재 발생시 화재성격, 크기, 유독성 Gas의 치명적 영향뿐만아니라 이미 연결통로까지 천정 상부로 퍼져있는 연기 분포상황과 장대터널(예:5km이상) 경우 소방법상 설치토록 정해진 연결통로까지 거리가 상당히 이격 경우 탈출과정에서 차량운전자들은 거의 유독 Gas로 질식할 가능성이 높다.

5.2 탈출터널의 개념

탈출터널의 위치와 크기는 장대터널의 길이와 차량의 통과를 측정하는 총체적 교통량에 좌우되며 연결통로(상,하행 Tunnel연결)의 일정간격 설계와 관계없이 길은 연기속과 탈출자의 치명적 유독개스로 부터 보호해야 하는 경우 그림 5와 같이 개념적 설계를 할 수 있다.

5.3 탈출터널의 역할 및 제연설비

탈출터널의 목적은 터널내 화재발생시 긴급히 탈출하려는 차량운전자들의 이동동선을 최소 거리화 하고 화재발생 지역으로부터 빠져나가는 유독개스로부터 보호하는 목적과 터널밖까지 안전하게 유도하는 기능을 갖고 있다.

이때 모든 차량운전자들이 탈출되었다고 판단된 경우 필요에 따라서는 탈출터널내 비상구급차량의 진입 및 화학 특수차량의 투입을 목적으로 화재현장 접근이 가장 효율적인 방법이 될 수도 있다. 아울러 문제는 본 터널과 탈출터널이 연결되어있는 통로상으로 유독 개스의 유입을 어떻게 막을 수 있는가 하는 현장 실제적

상황을 어떻게 극복하느냐가 제연설비의 강제배연(가압송풍방식)이 추가적으로 설계되어야 하는 필요성을 그림 6은 설명하고 있다.

특히, 터널내 사고에 대해서 재해의 책임은 국가에게 책임을 지울 수는 없으며 구조물의 시공자, 관리자 외에도 이용자가 관심을 기울여 수동적인 대응이 아니라 자립적이고 자발적인 대응이 되어야 피해저감이 될 수 있다.

6. 결 론

- 지하공간의 경우 제한된 공간내 화재발생시 일정한 방향과 Route외에는 탈출로가 없는 현실을 감안할 때 초기화재 발생사실을 즉시 알려야 하는 긴급성이 있다. 이경우 자동화재 탐지기로 화재의 초순간 감지속도(3초내)를 보유한 불꽃감지기를 적용할 수 있다.
- 시설 설계분야에서는 가상시나리오 또는 화재시 물레이션에서 분석된 사례를 참고하여 설치된 시스템의 신뢰성이 절대적으로 중요하다.
- 신속하고 신뢰성있는, 화재감지 및 비화재 방지기술이 최우선이며 화재경보 발생시 동시에 연동되는 화재경보의 관계기관 통보 및 지휘통제 System, 교통신호 관제, 터널내 조명/ 유도 표시, 제트팬 정지, CCTV 감시 및 Recording, Water Mist 작동 및 제연기능, 배연설비, 소방법상 설치되어있는 각종 설비등이 서로 완벽하게 조화를 이루어 최적 최상의 효과를 볼 수 있도록 설계하여야 한다.
- 아울러 장대터널(길이1000m이상) 경우 수km에 달하는 터널내에서 화재시 차량운전자의 탈출로가 제한적임으로 본터널 측면에 종방향으로 탈출터널을 만들고 탈출과정에서도 유독가스지역을 벗어나는 순간 신선한 공기를 흡입하며 안전하게 탈출할 수 있는 피난터널을 설계하여야 한다.

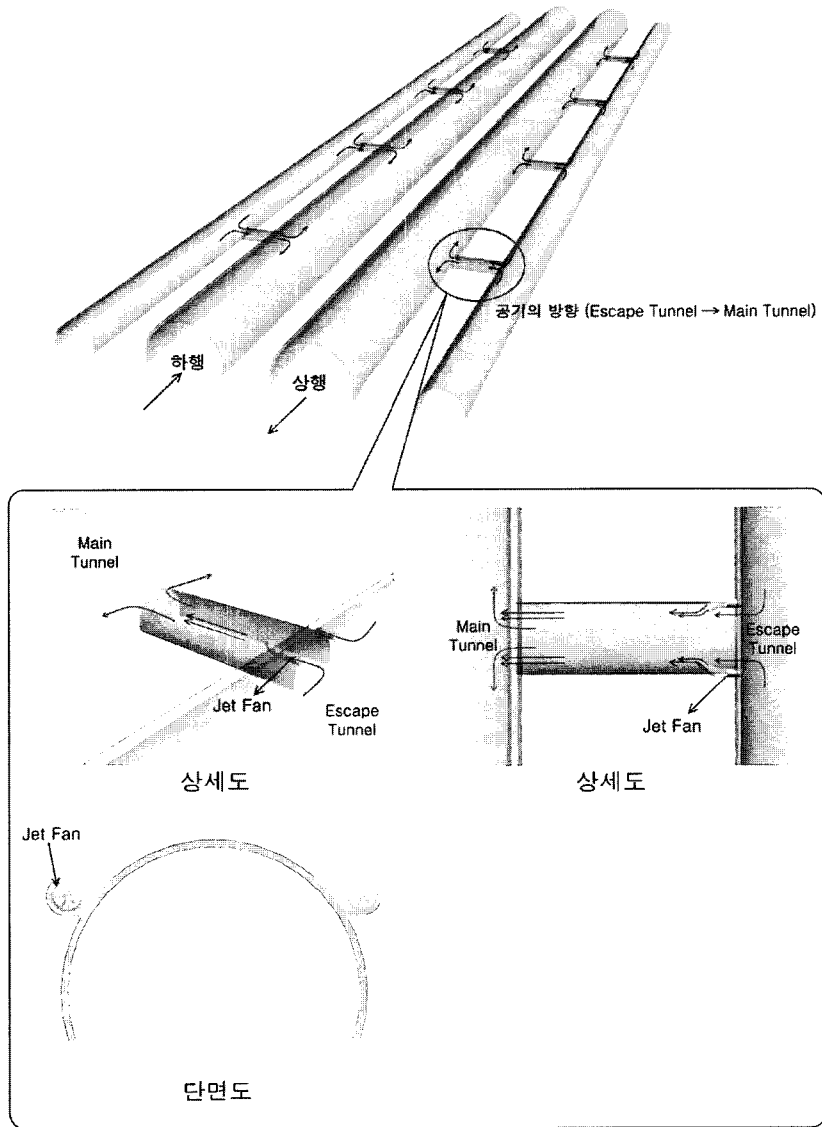


그림 6. 탈출터널의 설계 개념도

참 고 문 헌

매일경제 (2004) “주요 터널 대형 화재 무방비,” 매일 경제신문.
 박창근 (2005) “우리나라 홍수피해 특성과 바람직한 방재정책”, 제12회 방재의 날 방재정책 세미나 자료 집. 한국방재학회, pp. 66
 방재시험연구원 (1999) “불꽃화재감지의 신기술 및 적용” 방재기술 세미나.

방재시험연구원 (2001) “UV/IR불꽃감지기 성능평가 연구보고서” 기술자료.
 소방방재신문, 2003년 2월25일(화) 제 358호 4면
 (주)아워브레인 (2002) “Temperature Monitoring System”, 아워브레인.

- ◎ 논문접수일 : 2005년 06월 16일
- ◎ 심사의뢰일 : 2005년 06월 17일
- ◎ 심사완료일 : 2005년 09월 06일