



최근의 터널내 화재사고와 대책



차철현
대상설비기술(주) 대표이사

1. 개요

최근에 유럽에서 발생된 터널내 화재사고가 전 세계로 알려지면서 많은 사람들은 놀라움과 걱정을 나타내었다. 1999년 3월24일에 프랑스와 이탈리아를 연결하는 몽블랑터널에 화재가 발생하여 많은 인명손실이 있었으며 터널은 심하게 손상되었다. 몽블랑터널 화재후 터널을 통과

하는 많은 운전자들과 터널관련 기술자들은 불안한 마음을 갖게 되었고 또한 이러한 사고가 국내 터널에서는 일어나지 않을까? 터널전문가들과 의논을 하였지만 아무도 안전성을 장담할 수가 없었다. 그로부터 두달후인 1999년 5월29일에 발생된 오스트리아의 타우언터널 화재사고는 터널건설과 운영에 대한 불안감을 증폭시켰으며 터널설계시 안전에 대한 중요성이 대폭 높아졌다.

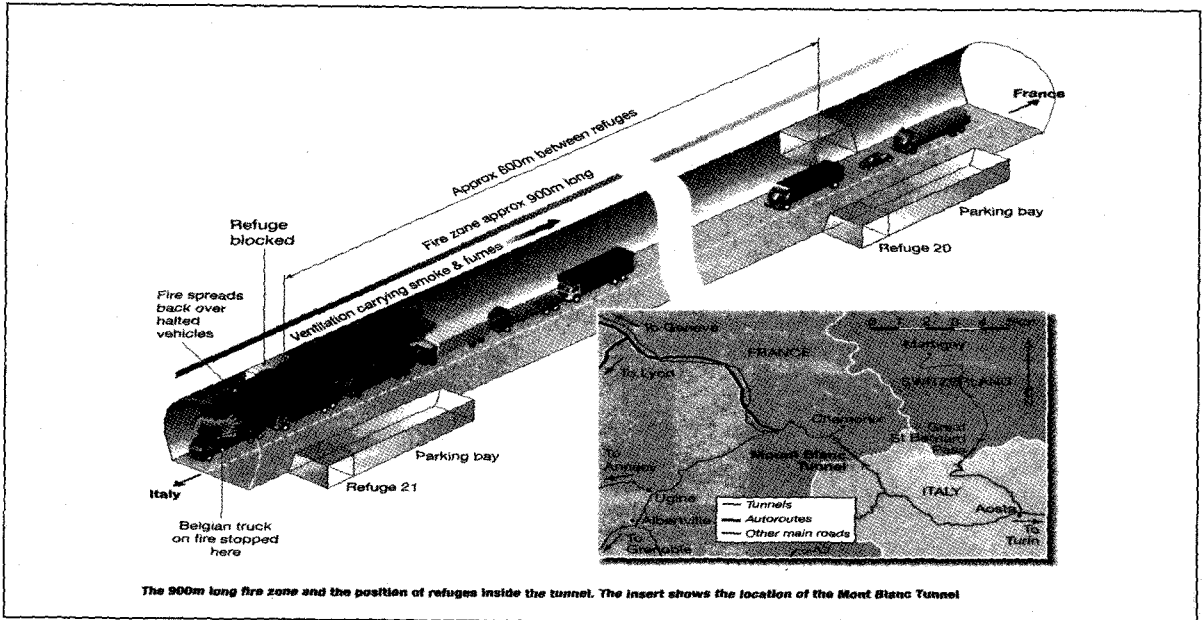


그림 1. 프랑스와 이탈리아를 연결하는 몽블랑터널 개요도

본 논문에서는 1999년도에 발생한 두 화재의 경위와 화재후의 대책들을 살펴봄으로써 터널의 설계, 시공 및 유지관리에 중요한 교훈을 얻고자 하였다.

2. 화재발생 터널의 제원

2.1 몽블랑 터널의 제원

프랑스와 이탈리아를 연결하는 도로터널로서 매우 중요한 역할을 하는 몽블랑 터널은 서유럽의 지붕이라 할 수 있는 4880m 높이의 MontBlanc 산을 통과하는 장대 터널로서 1965년도에 개통되었으며, 프랑스와 이탈리아의 양국가간에 걸쳐서 건설되었다.

표 1은 몽블랑터널의 제원을 나타내며 그림2는 터널의 단면과 하부덕트에서 터널내로의 연결된 외기 공급방향의 상세를 보여준다.

몽블랑터널의 단면중 차도부분은 전구간 비슷한 형상이지만 하부의 구조는 몇가지 다른 형상으로 건설되었는데 토질의 상태가 전구간 동일하지 않아 건설공법을 상이하게 시공하였기 때문이다.

그림 2는 프랑스의 입구로부터 1450m 지점까지의터

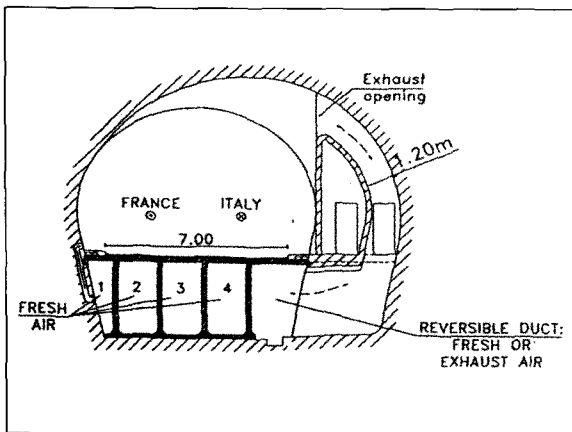


그림 2. 몽블랑 터널단면

표 1. 몽블랑 터널의 제원과 특성

항목	제원	특성
준공년도	1965년	◎ 개통후 34년간
터널길이 (프랑스측)	11.6km (7.64km)	15회이상의 터널내 화재 사고가 발생되었다.
(이탈리아측)	(3.96km)	
교통방식	양방향교통	
교통량 (양방향)	580대/h	◎ 터널길이를 5.8km로 반등분 하여, 프랑스와 이탈 리아측에서 각각 관 리를 맡고 있다.
환기방식	반횡류식 (하부급기방식)	
차도, 보도넓이	7m, 0.8m	

널 형상을 나타내었다.

터널 개통이후 1998년까지 승용차의 교통량은 두배로 늘었으며 대형트럭은 17배 증가하여 전체 교통량의 39%를 차지하였지만 트럭에 적재된 화물이 위험성이 높은 등급일 경우는 터널 통과를 금지하였으므로 화물 운송트럭이 많았지만 위험요소는 운행 차량수에 비해서 적었다.

2.2 타우언 터널의 제원

타우언터널은 북유럽과 남유럽을 연결하는 A10 타우언 고속도로 중 알프스를 통과하는 구간에 건설하여

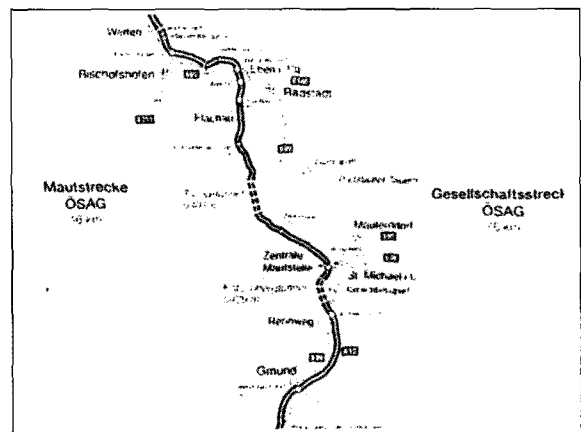


그림 3. A10 타우언 고속도로 위치도

표 2. 타우언터널 제원과 특성

항목	제원	특성
준공년도	1975년	◎ 왕복2차선
터널길이	6.4km	◎ 각차도 7.5m
교통방식	양방향교통	◎ 양쪽에 1m폭의 보도설치
교통량	피크시 40,000대/일 평균 15,000대/일	◎ 터널 중앙위치에 환기샤프트 설치
환기방식	횡류식 (상부급기 및 상부배기방식)	◎ 소화전은106m마다1개소설치

1976년 에 개통 되었다.

타우언 고속도로는 오스트리아와 독일의 국경지대인 잘츠부르크와 발스베르크에서 시작하여 오스트리아의 빌라흐에서 끝나는데 오스트리아의 산악지방을 통과하므로 수많은 터널들이 있으며 장대 터널로는 6.4km의 타우언 터널과 5.4km의 캣시베르크 터널이 있다.

타우언 터널의 환기는 횡류방식으로 터널 상부에 급기용과 배기용덕트를 설치하여 급기는 최대190CMS/km의 외기를 공급하고 배기는 115CMS/km의 공기를 배출하도록 설계되었다.

천장의 배기구는 6m마다 설치되었으며 각 배기구에서

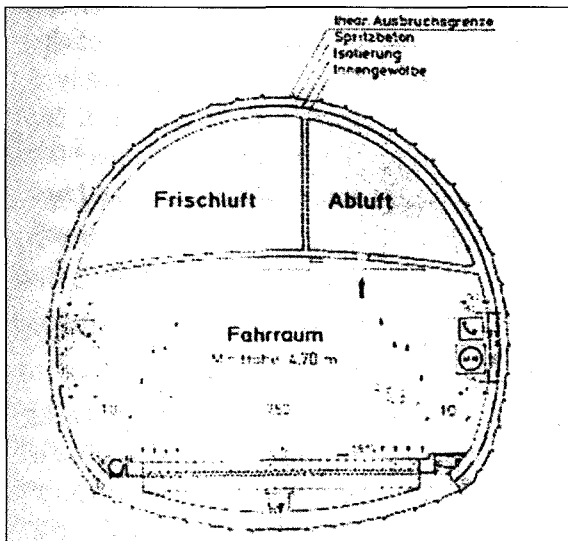


그림 4. 타우언터널 단면도

균등하게 배기가 되도록 조절판이 설비되어 있다.

1999년 5월에 터널입구로부터 600m 지점에 신호등을 설치하고 신호등 앞에는 속도제한 표시를 하였으며 최대 속도 80km/h에서 50km/h와 30km/h로 제한하였다.

3. 터널의 화재경위

3.1 몽블랑터널의 화재경위

- ① 1999년 3월 24일 오전10시 46분에 마가린과 밀가루를 적재한 트럭이 프랑스측의 터널 입구에 있는 톨프라자에 정차하여 화물검사를 마치고 터널로 진입하였다.
- ② 몇분후 10시53분에 적재된 화물에서 하얀연기를 내면서 1km-2km를 주행하다가 NO.21의 대피소에 정차하였다.
- ③ 트럭이 정차후 화물의 화재가 확대되고 검은연기를 내면서 연소하기 시작하였으며 트럭 운전자는 이탈리아 방향으로 대피하였다. (이때 터널내의 기류는 이탈리아쪽에서 프랑스 방향으로 불었기 때문에 연기를 피해서 이탈리아 방향으로 대피하였다)
- ④ 10시 55분에 프랑스측의 입구에 차량 진입이 금지 될 때까지 29대의 차량이 터널내로 진입하여 4대의 트럭은 화재차량을 추월하여 이탈리아쪽으로 대피하였으며, 나머지 25대의 차량은 연기와 불길속에 갇혀버렸다.
- ⑤ 화재트럭이 정차후 이탈리아측의 터널 입구에서도 많은 차량이 진입하였는데 몇대는 화재 트럭을 지나쳤고, 8대의 화물트럭과 몇대의 승용차들은 전방에 연기가 관찰되었기 때문에 터널내에서 유턴하거나 차량을 세워놓고 이탈리아측의 출구로 대피하였으므로 이탈리아측에서 진입한 사람중 희생자는 없었으나 8대의 트럭은 NO.22의 대피소 부근에서 전소되었다.

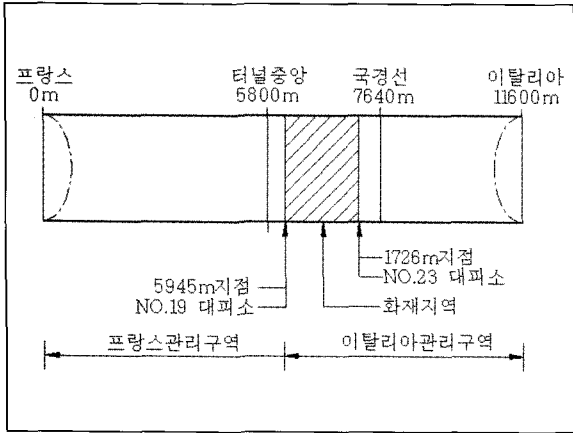


그림 5. 터널내 화재지점

그림5는 화재구역을 나타내는데 화재구역은 프랑스에 있지만 터널관리는 이태리 관할로 되어있다.

3.1.1 화재 진압 작업

터널내의 화재직후 4분후에 프랑스측의 소방차가 화재 현장으로 진입하고 뒤이어 이탈리아측의 소방대도 출동하여 화재 진압을 하였지만 화재구역의 접근성이 불량하여 화재 초기에 불길을 잡지 못하고 53시간후 많은 희생자와 피해를 당한후에 진압되었다.

양측에서 많은 소방대원이 투입되었지만, 자연풍의 방향이 이탈리아에서 프랑스측으로 불고 있었으므로 이탈리아측의 소방요원과 구조요원들이 화재현장을 주도하였다.

3.1.2 터널내의 압력과 연기의 거동

몽블랑 터널의 프랑스측을 시점으로하여 이탈리아측의 종점까지는 약107m의 고도차이가 있다.

이러한 터널내의 고도차이는 굴뚝현상을 발생시켜 화재구역에서 생기는 열기류와 연기는 이탈리아측으로 이동하는데, 화재발생 당일에는 이와 반대로 기류가 형성되었다. 그 주된 이유는 1년에 20일 동안만 발생하는 이 지역특유의 Foehn 바람이 3월24일에 불었기 때문이며, 또



그림 6. 갱구부에서의 연기배출

한 이탈리아측의 환기 시스템에서 공급된 송풍량이 많아서 터널내의 압력차이가 심하게 발생되었기 때문이다.

3.1.3 화재에 의한 손실

이 화재로 인해서 38명의 인명손실과 수많은 차량이 전소 되었으며 터널의 천장이 900m정도 심하게 파손되었다.

또한 차도의 일부와 터널내의 많은 시설물이 고온(약 1000℃)에 의해서 손상 되었다.

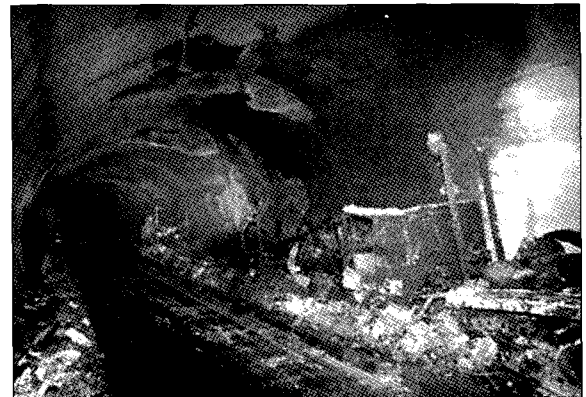


그림 7. 화재에 의해 손상된 터널내부(몽블랑)

표 3. 각종차량 연소시 PIARC과 프랑스에서 추천하는 최대 방출열량 비교표

Type of vehicle	PIARC max HRR(MW)	French recommendations max HRR(MW)
1 small passenger car	2.5	-
2 large passenge car	5	-
2-3 passenge cars	8	8
1 van	15	15
2 bus	20	-
1 lorry with burning goods(general case)	20-30	30
1 petrol tanker		200

3.1.4 화재시 발생된 방출열량 분석

총방출량을 연소시간으로 나누어보면 평균 30~50MW가 되며 화재초기 마가린을 적재한 차량의 연소시의 열방출량은 최대 75~110MW 이다.

또한 프랑스측의 입구에서 진입한 차량들이 7~13시간 동안 연소함으로 인하여 최대열방출량은 150~190MW 정도이다.

표 3은 PIARC과 프랑스에서 추천하는 각종차량의 최대 방출열량인데 몽블랑 터널의 화재시 방출열량과 비교해 보면 몽블랑 터널의 화재규모를 상상할 수 있다.

3.2 타우언터널 화재경위

- ① 최초의 사고는 터널내에서 신호를 기다리고 있던 트럭에서 발생하였다.
- ② 위험등급 9급으로 분류되는 (페인트와 스프레이 통을 적재한 화물차) 트럭이 신호를 기다리는 차량뒤에 정지하였고, 4대의 승용차가 트럭뒤에 멈추었다.
- ③ 그후 페인트를 적재한 트럭으로부터 5번째에 한대의 트럭이 진입하면서 속도를 줄이지 않고 4대의 차량과 연쇄 충돌하였다.
(운전자의 오판으로 속도를 줄이지 않아서 정지중인 차량들과 충돌)
- ④ 연료탱크에서 발화되면서 위험등급 9급으로 분류되는 화물을 적재한 트럭에 불이 붙었고, 스프레이 통이 폭

발하면서 터널내로 불길이 번졌다.

3.2.1 화재진압

화재지후 터널내 정보 시스템이 울리면서 화재는 즉시 감지되어 환기시스템은 자동적으로 화재모드로 전환되면서 230CMS로 연기가 배출되었다.

오전 4시 50분에 화재 알람이 울린후 25분후에 구급요원과 터널 관리회사의 직원들이 현장에 도착하면서 화재 시스템은 수동으로 제어되었다.

자동 화재 프로그램에 의해서 터널의 환기시스템이 연기 배출과 외기공급을 조정하고 터널내 갇힌 인명을 구난하면서 화재를 진압하였다.

3.2.2 화재에 의한 손실

이 화재로 인하여 12명이 희생되었으며 49명이 경상을 입었으며 터널내에서 16대의 트럭과 24대의 승용차가 전소되었으며 터널내부가 심하게 손상 되었다.

4. 화재사고 터널의 복구 대책

터널내에서 화재후 최초로 중요하게 검토하는 것이 구조물의 재사용 여부에 관한 안정성이다.

몽블랑터널과 타우언터널은 안정성 검토후 복구작업을 통하여 재 이용하는 것으로 결론을 내어 몽블랑터널은 현

재까지 복구작업중이며 터우언터널은 사고후 3개월후인 1999년 8월 29일 재개통 하였다.

4.1 몽블랑 터널

기존의 반회류 환기방식을 유지하면서 송풍기를 교체하여 환기용량을 증대시켰다.

(기존의 송풍기 1대당 용량 75CMS에서 82CMS로 변경함)

4.1.1 화재시 배연기능 확대

기존의 배연 기능은 평상시 환기 겸용으로 사용되었으나 개선된 기능은 화재시에만 쓸수 있는 전용으로 변화하였고 배연시 이용할 수 있는 배출구의 위치도 간격을 좁히고 수량을 늘렸다.

개선된 배출구는 화재시 배출용량의 확대와 배출구의 추가 설치로 화재 지역의 연기를 정확하게 배출할수 있도록 하였다.

4.1.2 화재시의 대피소 기능확대

11.6km의 전구간에 37개의 대피소를 300m 간격으로 설치하였고 화재시의 고온이라도 대피소의 온도는 35℃를 유지하도록 내화구조로 설계되었으며 각 대피소에는 80Pa의 압력을 유지하여 연기의 외부 침투를 방지하도록 하였다. 또한 각 대피소는 터널 하부의 외기공급 덕트와 연결하여 덕트를 탈출경로로 이용할수 있도록 덕트내의 풍속을 8m/s 미만으로 설계하였다.

4.2 타우언터널

타우언터널의 복구는 경제적인 이유로 인해서 신속하게 작업이 이루어 졌는데 타우언터널의 폐쇄동안 매월 650만달러(EURO)의 수입이 감소되었기 때문이다.

타우언 터널의 화재후 오스트리아에서는 다음과 같은 지침이 세워졌다.

4.2.1 일반적인 재해예방대책

① 터널내에서 교통의 정체는 금지된다. 보수작업시에는

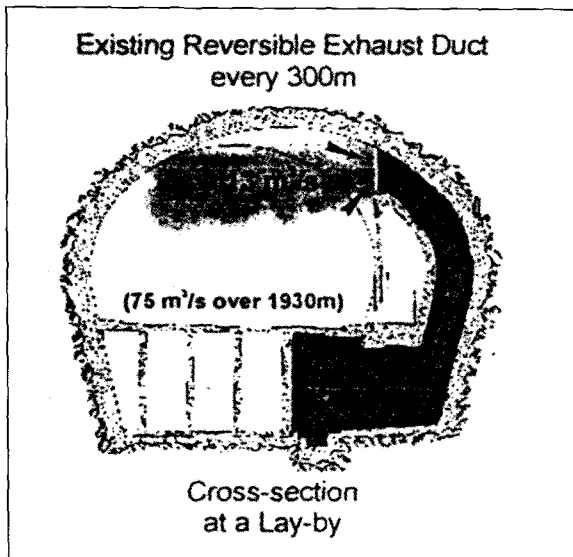


그림 8. 기존의 배출구 단면

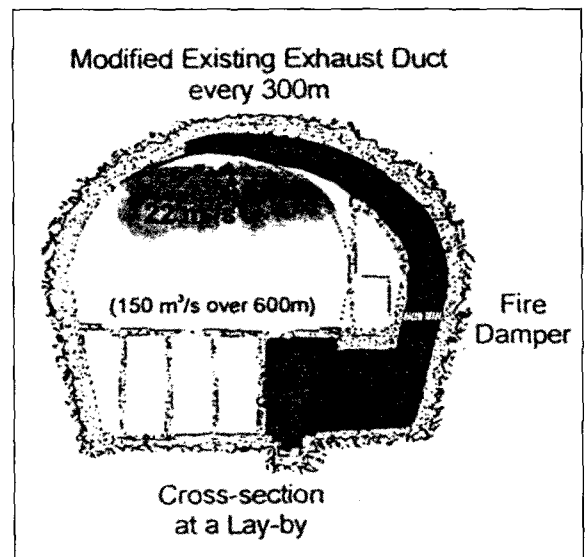


그림 9. 개선된 배출구단면

표 4. 타우언터널 복구작업 개요

일자	내용
1999. 5. 29	화재발생 : 분야별 전문가 소집
5. 30	손상된 천장 : 안전기둥 보강
5. 31	화재 잔해 제거 작업 시작
6. 01	손상부위 및 손실액 평가 시작
6. 02	상부에 설치된 급·배기덕트검사
6. 05	천장부위를 구조적으로 안전하게 고정
6. 07	경찰 조사부에서 관리회사로 터널의 운영 및 관리권을 넘겨줌
8. 29	복구공사 완료후 관리회사에 의해 재개통 되었음. 복구비는 600만 달러가 소요됨

입구에서 차량을 정지하도록 신호등을 설치한다.

- ② 양방향 교통 터널을 통과하는 차량은 위험한 화물의 적재시 진입전에 톨게이트에 신고하고 수행차량이 동행한다.
- ③ 운전학교와 관계기관에서는 터널내에서 운전시 운전자의 교육을 강화한다.
- ④ 경찰에 의해 콘트롤되는 원활한 교통제어 시스템을 이용한다.
- ⑤ 정기적인 경보화 구조 활동 훈련을 한다.
- ⑥ 터널의 운영 안내지 발행과 터널관리요원의 정기적인 교육을 시행한다.
- ⑦ 터널을 통과하는 차량중 위험물이 적재된 차량은 자동 감식 시스템에 의해서 입구에서 감시하고 위험물의 내용을 기록한다.

4.2.2 터널설계와 시공시 안전예방 대책

- ① 비상출구는 비상차량이 통과할수 있도록 넓어야 하며 (단면적3.5m×3.6m) 횡갱의 연결은 구조 차량을 위해 500m, 일반차량을 위해서 1000m마다 설치한다.
- ② 비상주차대에 비상전화를 설치하고 제어실과의 통신망을 설치하여야 한다.
- ③ 1km 이상의 터널은 콘크리트로 포장 되어야 한다.
- ④ 특별히 노출된 터널입구와 비상주차대에 설치 한다.
- ⑤ 비상 출구와 제어에 의해 열리는 문의 화재 등급은 관련 조항에(T30)에 따른다.

터널의 내벽을 밝은 색으로 재도장 한다.

- ⑥ 1km이상의 터널에는 비상시에 사용할 수 있는 물을 충분한 가압수의 상태로 준비한다.

4.2.3 환기설비의 안전예방대책

- ① 환기시스템은 차량화재에 대비해서 충분한 환기용량을 확보한다.(화재시 30MW에 대처하기 위한 용량과 최소 120CMS의 배출용량을 기준으로함)
- ② 반횡류방식의 급기덕트 시스템은 배기 및 연기 배출 시스템으로 변환하여 5m²크기의 배출구를 50m-100m 간격으로 천장에 설치한다.
- ③ 새로 건설되는 터널의 반횡류 환기 시스템설계시 평상시에도 배기 환기 시스템으로 한다.
- ④ 횡류 방식에서는 천장에 루버형으로 배출구를 설치하여야 한다.

5. 터널화재 사고로부터의 교훈

5.1 몽블랑터널의 교훈

- ① 교통규정과 운전자의 행동들이 화재사고의 원인이 되며 또한 희생자가 되기도 한다. 차량 운행 간격이 무시되었으므로 많은 차량이 사고 지점으로 몰려 화재를 확대시켰으며 연기에 갇혀서 대

피를 할 수가 없었다. 평소에 규정 준수와 터널내 비상시 대처할수 있도록 터널입구에서 유인물을 통하여 터널의 구조, 비상시 행동 등을 홍보 하여야 한다.

- ② 터널의 운영관리는 평상시와 비상시로 구분하여 실시되어야 하는데 몽블랑터널의 경우는 개통후에 실질적인 훈련이 없었다. 그 결과는 관리 요원과 소방관의 투입이 늦어져 희생과 손실을 가중시켰다.
- ③ 대피소의 간격이 비상시에 적합하지 않아서(최대 900m, 최소 600m) 제대로 대피소 역할을 못하였고 대피한 인원도 구조가 늦어서 사망하였다. 대피소의 수를 늘리기 위하여 간격을 좁히고 (200m~400m) 대피후 피난경로로 연결될 수 있는 구조가 필요하다.

5.2 타우언터널의 교훈

- ① 터널내에서는 규정된 속도로 운행되어야 하며 정체되지 않도록 한다.
- ② 양방향 교통방식의 터널에서는 대피소가 필수적이다.
- ③ 반회류방식의 적용시 화재시 연기의 배출이 쉽도록 배기식 반회류방식이 필요하다.

6. 결론

몽블랑터널과 타우언터널의 화재사고후 유럽의 각국에서는 새롭고 엄격한 안전기준을 마련하여 기존의 터널시설의 보완계획을 세우고 신설되는 터널에서는 한층 강화된 법규정을 적용하고 있다.

다행히도 국내에서는 터널내의 큰화재가 없었지만, 발생될 소지가 많으므로 다음과 같은 대책의 수립이 필요하다.

- ① 터널내의 화재 방지 기준과 대피 기술에 관한 관련법이 제정되어 강화된 규정에 의해서 설계, 시공 및 관리

가 되어야 한다.

- ② 양방향 교통방식의 터널의 건설시 터널내 대피소의 건설이 요구된다.
- ③ 화재의 크기를 선정할 경우 화물트럭 이상의 화재 강도로 설계되어야 한다.(30MW이상)
- ④ 터널을 이용하는 운전자와 이용자들을 대상으로 화재 및 재난시의 행동요령이 평소에 교육되어야 하며 터널 통과전 톨게이트에서 유인물을 통한 홍보의 필요성이 있다.
- ⑤ 터널준공시 시설물의 성능 시험과 시운전을 통한 현장 시험을(평상시와 비상시로 구분하여) 마치고 개통되어야 한다.
- ⑥ 500m 이상의 터널에 대해서 안전점검을 실시하여 위험도를 분석하고 필요시 시설물을 보완하여야 한다.

참고문헌

1. D Lacroix centre d'etudes Tunnels france, The Mont Blanc Tunnel Fire what happened and what has been learned
2. G Eberl, OSAG, Austria, The Tauern Tunnel incident what happend and what has to be learned.
3. R Horhan, Federal Ministry for Transport, Innovation Technology, Austria, Lessons learnt by the sad tunnel incidents of the year 1999
4. X guigas, A Weatherrill, Y Trottet, Bonnard and Gardel Consulting Engineers, Switzer land E casale, Seetauroute France, The new ventilation system of The Mont Blanc Tunnel
5. M Egger, swiss Federal Roads Authority, Switazerland, New tunnel satety guidelines in switzerland
6. R carvel, A beard and P jowitt, Heriot-watt University, UK, How much do tunnels enhance the heat release rate of tires?