



윤성욱  
GS건설(주)  
선임연구원



조형제  
범창종합기술(주)  
이사

## 1. 머리말

프랑스 파리 외곽 A86의 서쪽의 Missing link를 잇는 공사인 A86 West 프로젝트는 2층 형태로 계획 및 시공되고 있는 터널로 인하여 국내외 전문가들의 많은 관심을 받고 있으며, 서울시에서도 대심도 지하도로 프로젝트의 벤치마킹 대상으로 여러차례 언급한 바 있다. A86 West 프로젝트에는 여러 가지 첨단기술이 적용되었으며, 방재 측면에서도 홀륭한 벤치마킹 대상이 되기에 본 고에서 그 동안 조사한 내용을 독자들에게 소개하여 국내 유사 프로젝트를 계획하는데 조금이나마 도움이 되고자 한다.

## 2 파리 A86 West Duplex 개요

A86 West Duplex 터널은 그림 1과 같이 프랑스 파리 외곽에 위치한 말메종에서 베르사유(Versailles) 남부지

역의 Pont-Colbert 까지 연결하는 터널 공사 프로젝트이다.

A86 West 의 Duplex 터널은 승용차 전용도로로 계획되었으며, 상·하행 터널이 2층 형태로 되어있어 프랑스에서는 Duplex 라고 부르고 있다. 현재 파리 외곽의 말메종에서 베르사유까지는 피크시간대에 약 45분 정도 소요되

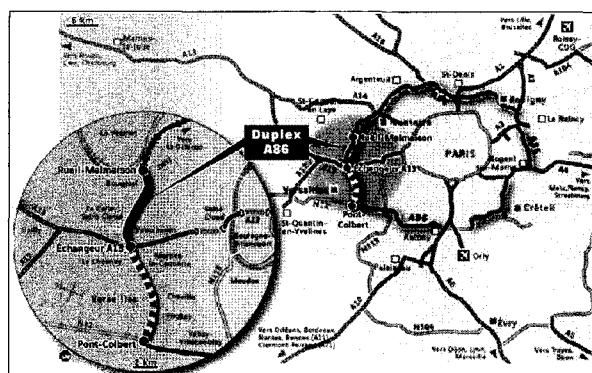


그림 1. 프랑스 A86 West 위치도(Duplex A86)

나, A86 West 터널이 완공되면 10분 정도가 소요될 것으로 예상된다.

A86 West 의 Duplex 터널 Project는 Vinci사와 Colas가 1970년도에 공동출자하여 만든 도로운영회사인 Cofiroute 가 1988년도에 최초 제안하였으며, 프랑스 정부는 1994년 입찰을 통해 Cofiroute를 A86 West Project 주계약자로 선정하였다. A86 West Project는 Cofiroute가 전액 투자하였으며, 투자금액은 약 17억 유로(약 2조원)이다. Cofiroute는 70년 동안 정부의 지원 없이 건설, 운영 및 유지를 책임지기로 하였다.

시공은 GTM, Vinci 등이 참여한 Socatop 컨소시엄에서 수행하였으며, 1996년 11월 말메종 지역에서부터 시작되었다. 프랑스 최고행정법원의 결정에 따라 1998년에 공사가 일시 중단되었다가 2000년에 다시 재개되었다. Duplex 터널의 1단계 구간(말메종-A13)은 2009년 6월 개통되었으며, 2단계 구간은 현재 내부공사 중에 있다.

A86 West Project의 주요 진행현황은 표 1에 나타나 있다.

현재 통행요금은 1.5~4.5 유로로 주중과 주말 그리고 시간대별로 달리 책정하여 피크시간대에 원활한 통행을 유도하고 있으며, 정기적인 사용자를 위해서 정기 할인권을 발행하고 있다.

Cofiroute는 운전자의 쾌적한 운전환경 제공을 최우선 목표로 몇년 동안 연구를 수행하였으며, 지상도로보다 더 조용하고 안전하며, 편안한 운전조건을 확보하기 위하여 내부 인테리어에 특별한 주의를 기울였다.

A86 West Duplex 터널은 2m 미만의 승용차만 통행하도록 계획된 터널이다. 여기에는 프랑스에서 운행중인 거의 대부분의 개인차량과 상업차량이 포함된다. 말메종에서 A13 인터체인지까지 최고 운행 속도인 70km/h로 운행했을 시에는 약 4분 미만이 소요되고, 베르사유 남부의 출구까지는 10분 미만이 소요될 것으로 예상된다.

그림 2는 A86 West Duplex 터널의 횡단면을 보여주고 있다. 앞서 언급한 바와 같이 터널내부는 상하 복층구조

로 이루어져 있는데 상층은 말메종 방향의 차도이고, 하층은 베르사유 방향의 차도이다. 터널 상부와 하부에는 터널환기를 위한 급배기 닥트가 설치되어 있다. 터널의 외경은 11.5m이고, 내경은 10.40m이며, 상층과 하층의 높이는 2.55m로 동일하다. 차로는 각 방향별로 2차로의 주행차로와 1차로의 비상차로가 계획되어 있다.

표 1. A86 West Project의 주요 진행현황

년도	주요 진행내용
1972	• A86 순환도로의 지상 노선 첫 번째 제안
1988	• Cofiroute 지하도로 제안
1992	• 두 개의 터널 계획에 대한 건설부(The Ministry of Public Works) 승인 - 승용차 전용도로와 화물차 통행도로 • 15개 지역단체에서 두 터널에 대한 노선 협의
1994	• 정부와 Cofiroute간 A86 West 계약
1996	• 말메종(Rueil - Malmaison)에서 공사 시작
1998	• 프랑스 최고행정법원에서 Cofiroute의 계약서 무효처분 • 프랑스 정부 유럽전역에 입찰 공고
1999	• Cofiroute 계약권리 회복
2000	• 말메종에서 공사 재개 • 터널 1단계 작업 시작
2003.10	• 터널 1단계 구간(말메종-A13) 굴착 작업 완료
2005	• 터널 2단계 구간(A13-Pont Colbert) 굴착 작업 시작
2007	• 터널 2단계 구간 굴착 작업 완료
2009.6	• 터널 1단계 구간 개통(6.29) • 터널 2단계 구간은 2년 후 개통 예정

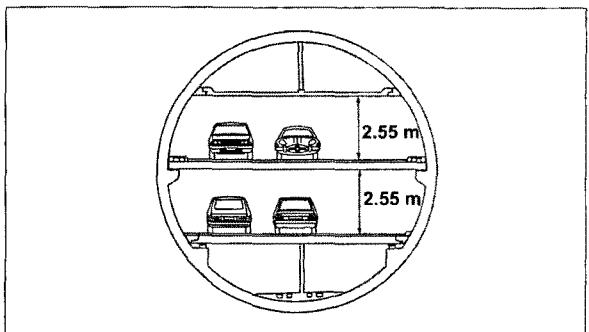


그림 2. 터널 단면

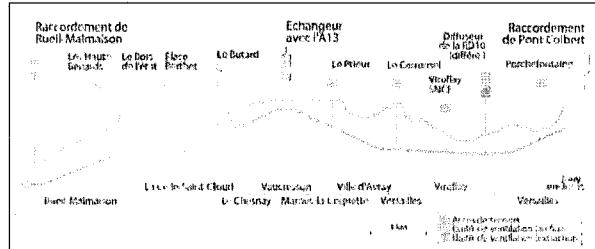


그림 3. A86 West터널 종단면도

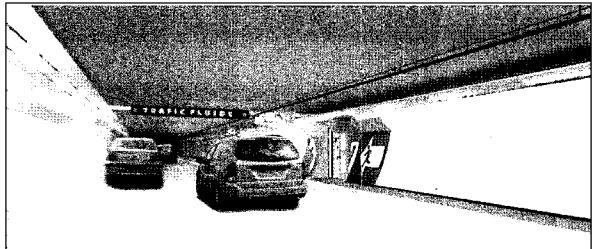


그림 4. A86 West터널 내부

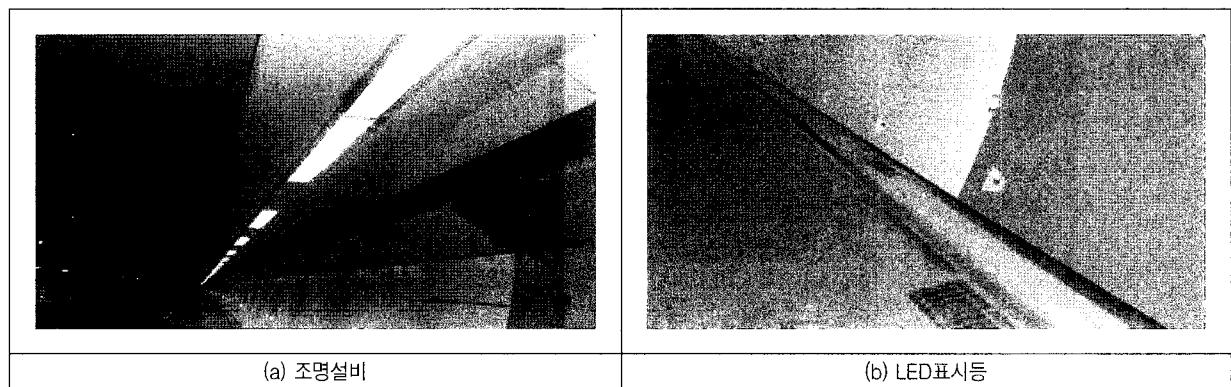


그림 5. 조명설비와 LED표시등

터널의 전체 길이는 약 10km이며, 말메종에서 A13 인터체인지까지는 4.5km, 이후 베르사유까지는 5.5km이다. 터널의 심도는 20~90m 정도이다. 종단경사는 최대 4.5% 미만이며, 차량의 제한속도는 70km/h이다.

Duplex 터널의 종단면 및 내부는 그림 3과 그림 4에 나타나 있다.

### 3 주요 터널 방재시설

#### 3.1 운전자 편의를 위한 시설 계획

A86 West Duplex터널의 조명시설은 눈부심을 방지하고 지상의 자연광에 가장 근접하도록 설계되어 있다. 얇게 채색된 차도와 벽체는 균일한 빛 반사를 보장하며, 운전자로 하여금 터널에 있다는 사실을 잊어버리도록 도와준다.

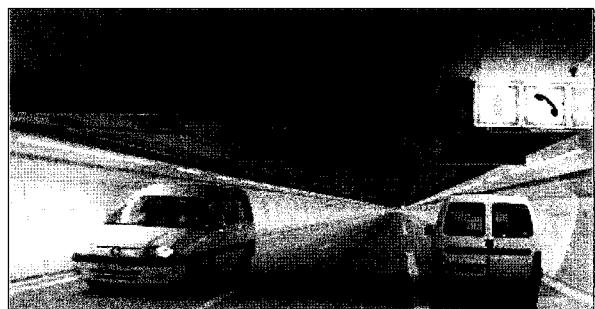


그림 6. VMS 설비

차도의 좌우측 벽에는 운전자의 시야를 유도하기 위한 LED 표시등이 설치되어 있다.

그림 5는 조명설비와 LED표시등의 설치모습을 각각 보여주고 있다.

또한 차도의 상부에는 그림 6에서 보는 바와 같이 VMS 설비가 400m 간격으로 설치되어 있는데 교통상황 및 사고 또는 화재상황과 대피안내 등의 정보를 제공한다.

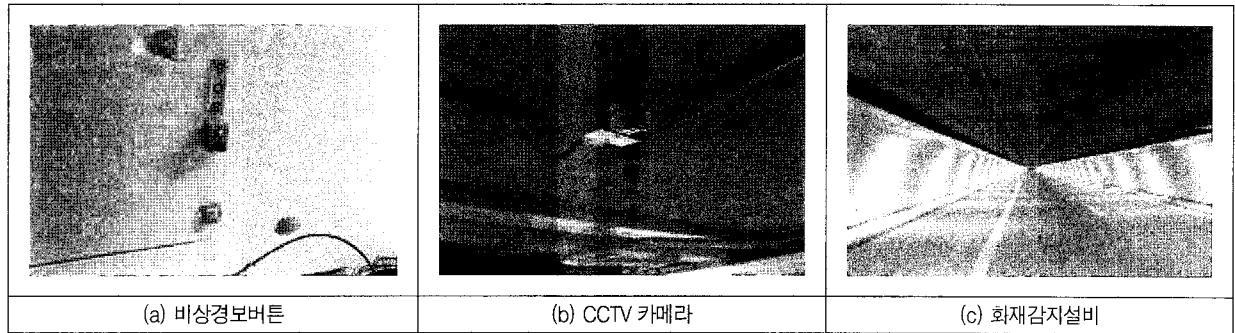


그림 7. 피난대피통로 내부의 경보 및 사고감지설비

터널의 차도는 최소의 소음수준을 보장하기 위해 특별히 설계되었다. 공명현상을 감소시키고 주행안정성을 개선하기 위해 혼합재를 사용하여 도로를 포장하고 있다. 모든 경사와 굴곡은 운전자를 위하여 운전능력을 향상시키고, 지루함과 단조로움을 감소시키기 위해 설계되었다.

터널 내부는 밝은 색이면서 화재시 독성가스를 분출하지 않는 특수 페인트로 칠해져 있고 바닥면 포장 또한 밝은 색을 적용하여 터널 내부가 더 밝아지도록 하였다.

근본적으로 터널 내에서 차량이 정체하지 않도록 톨게이트 입구에서 차량을 통제한다. 운전자의 안전을 증진시키기 위해 차량속도는 70km/h로 제한된다.

### 3.2 사고감지 및 경보설비

사고를 감지하는 설비로는 CCTV 카메라와 화재감지설비가 설치되어 있고 경보설비로는 경보버튼이 벽면에 설치되어 있다.

그림 7은 사고 및 화재 감지설비의 모습을 보여주고 있다. 비상경보버튼은 40m 간격으로 차도의 우측 벽에 설치되어 있으며, 운전자는 비상경보버튼을 눌러서 사고발생을 종합사령실에 알려줄 수 있도록 계획되어 있다.

CCTV는 80m 간격으로 차도 상부에 설치되어 있으며, 교통사고 및 화재 등으로 차량이 정지하거나, 차량의 흐름에 이상이 생기면 10초 이내에 자동으로 사고를 감지할

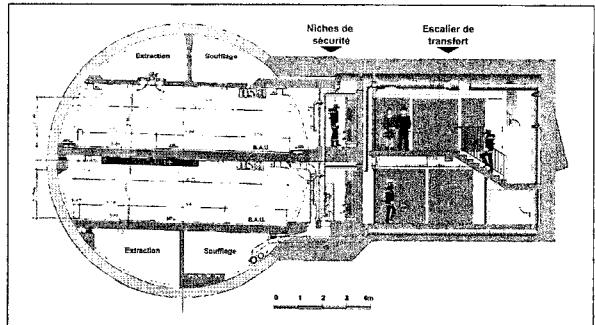


그림 8. 피난대피통로 횡단면

수 있는 시스템(IAD, Incident automatic detection)이 계획되어 있다. IAD는 프랑스 국립교통안전연구소와 Co-firoute가 함께 개발하였다. A86 West Duplex Tunnel에 설치된 총 CCTV의 수는 400대이고 IAD 기능이 있는 160개의 Video Analyser가 구비되어 있다.

반도체식 선형 화재감지설비는 터널 전 구간에 걸쳐 차도 상부에 설치되어 있다.

### 3.3 피난설비

#### 3.3.1 피난대피통로

피난대피통로는 200m 간격으로 설치되어 있으며, 총 면적 33m<sup>2</sup>에 최대 100명의 인원을 수용할 수 있는 규모로 계획되어 있다. 피난대피통로는 상하층의 차도를 연결하는 계단으로 이루어져 있으며, 그림 8은 피난대피통로

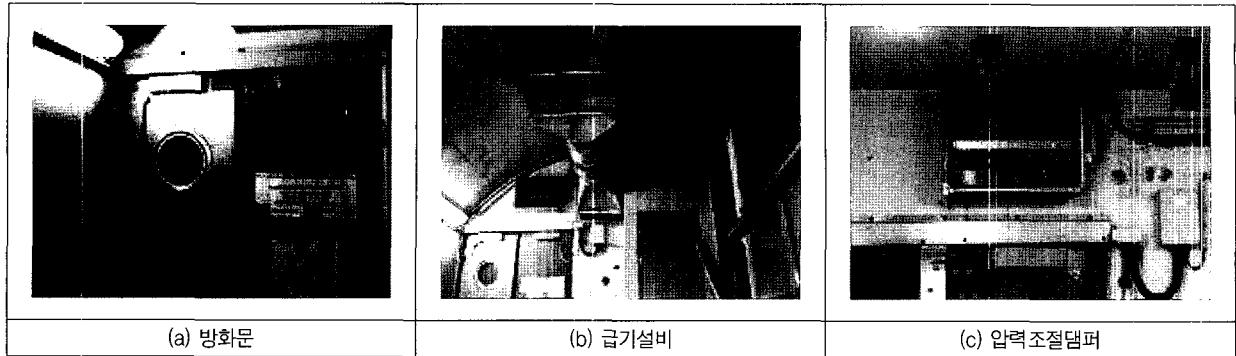


그림 9. 피난대피통로 내부의 방재설비

의 횡단면을 보여준다.

피난대피통로는 2시간 내화성능의 방화문으로 차단되어 있고, 화재터널에서의 연기침입을 방지하기 위한 급기 가압설비와 압력조절댐퍼가 설치되어 있으며, 그림 9는 각 설비의 설치모습을 보여준다.

방화문 사이의 틈새에는 일정 온도이상에서 팽창하는 실링재가 구비되어 화재연기의 침입을 방지하도록 계획되어 있다.

피난대피통로와 챔버실의 일상적인 환기는 그림 8과 같이 터널단면 하부 급기덕트에 환기용 파이프를 연결한 뒤 그림 9(b)의 오른쪽 덕트를 통해 공급되도록 설계되어 있다.

일단 화재가 발생하면 화재 지점을 기준으로 상류 4개소와 하류 4개소, 총 8개소의 피난대피통로 내부가 가압설비의 작동으로 외부대비 80Pa 이상 가압되도록 되어 있다. 유럽의 몇몇 나라는 보통 외부대비 50Pa 정도의 가압기준을 적용하고 있으나 프랑스는 80Pa 이상을 요구하는 것이 특징적이다. 가압시에는 그림 10과 그림 11(a)에 나와있는 것처럼 전화기, 소화기 등이 들어있는 챔버실과 방화문 사이에 위치한 그릴을 통해 비화재 터널의 신선한 공기를 공급하도록 되어 있고 이 때 압력은 그림 9(b)와 (c)에 나와 있는 압력조절댐퍼를 이용하여 조절되도록 하고 있다.



그림 10. 피난대피통로 입구부 전경

그림 10은 피난대피통로의 입구부 전경을 보여주고 있으며, 이용자가 피난대피통로를 쉽게 인지할 수 있도록 도식화된 큰 그림으로 피난방향을 표현하였다.

피난대피통로의 입구에는 소화전이 설치되어 있으며, 차도상부에는 소화기/비상전화/피난대피통로의 위치를 알려주는 안내표지판이 설치되어 있다.

소화전 옆의 챔버실에는 비상전화, 소화기, 비상전원이 구비되어 있다. 챔버실은 앞서 언급한 바와 같이 급기 가압설비로서 신선한 공기를 공급하도록 계획되어 있다.

그림 11은 피난대피통로 입구에 설치된 각종 방재설비의 모습을 보여준다.

그림 12는 피난대피통로 입구의 챔버실에 설치된 각종 방재설비의 모습을 보여준다.

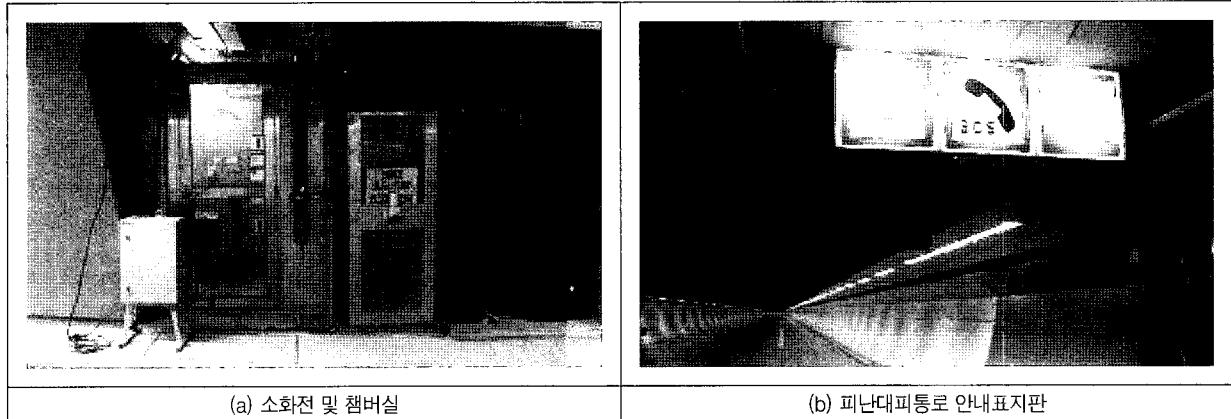


그림 11. 피난대피통로 입구의 방재설비

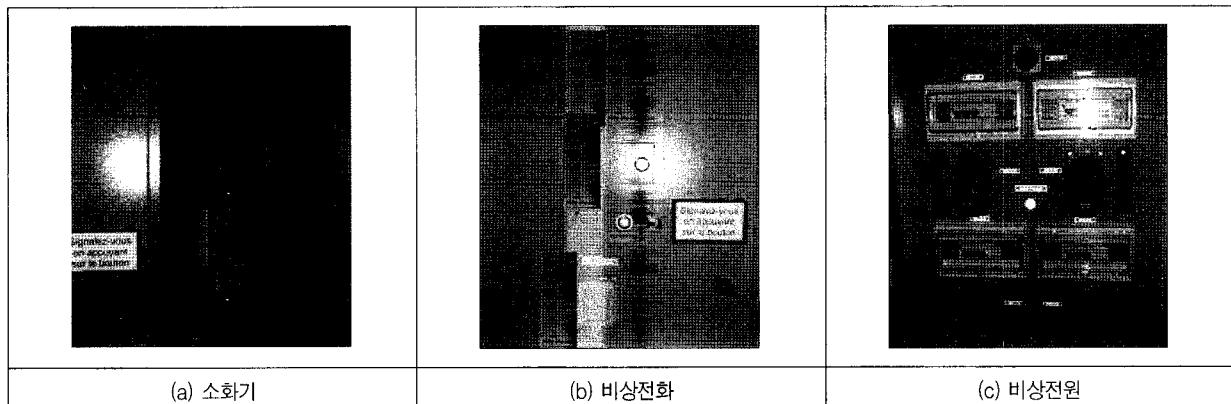


그림 12. 챔버실 내부의 방재설비

### 3.3.2 비상탈출계단

비상탈출계단은 최소 1,000m 이내의 간격으로 설치되어 있으며, 이 중 3개소에는 급배기 환기설비가 설치되어 있으며 비상탈출계단의 중간을 이용해 엘리베이터가 설치되어 있다.

그림 13은 비상탈출계단의 횡단면을 보여준다.

### 3.4 소화설비

소화설비로는 앞에서 언급한 급수전과 소화기가 피난대피통로에 설치되어 있으며, 터널 전 구간에 걸쳐 차도

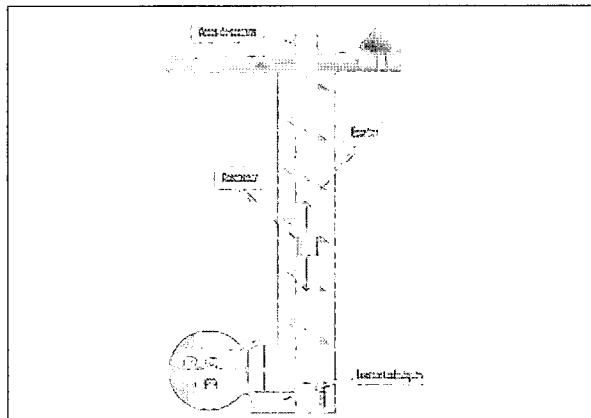


그림 13. 비상탈출계단

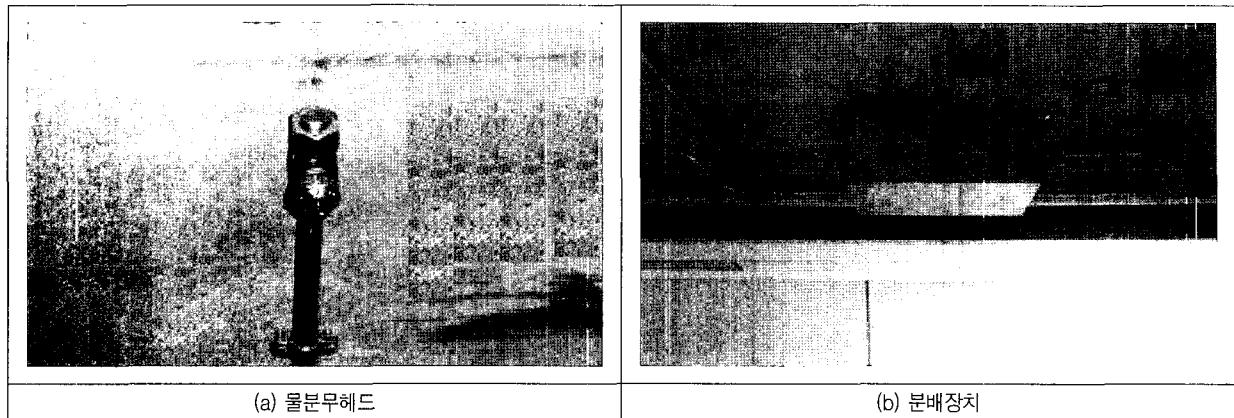


그림 14. 물분무설비

상부에 40bar의 고수압 미분무(Water Mist)설비가 설치되어 있다. 미분무 헤드는 2개의 차도와 1개의 비상차로 위 중앙부 즉, 총 3개의 라인에 설치되어 있다. 터널 내에 설치된 총 헤드의 갯수는 17,500개이다.

그림 14는 미분무설비의 헤드 및 분배장치를 보여준다. 미분무헤드는 국내에서 적용하고 있는 헤드와 비교할 때, 50~120 $\mu\text{m}$  정도의 매우 미세한 입자로 물을 방사할 수 있다.

물분무설비는 화재의 확대를 방지하고, 운전자의 피난 대피 안전을 보호하기 위한 용도로 설치하였으며, Duplex 터널은 차량의 통과높이가 2m 미만으로 제한되므로 일반적인 소방차량은 진입할 수 없는 점을 고려할 때, 적절한 설비로 판단된다. 또한 Duplex 터널에 진입이 가능한 소방차량을 특별히 제작하여 운영하고 있다.

### 3.5 제연설비

제연설비는 횡류식 환기시스템을 이용하여 화재지점에서 화재연기를 배출할 수 있도록 계획되어 있다. 터널 전 구간에 걸쳐 설치되어 있는 차도 상부 또는 하부의 급배기 덕트를 통해 화재연기를 배출한다.

급기구는 8m 간격으로 설치되어 있고, 배기구는 400m

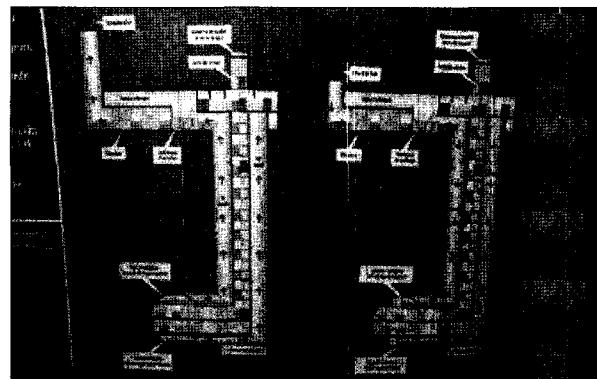


그림 15. 비상탈출계단의 급배기 운전

간격으로 설치되어 있다. 상부차도의 급배기구는 차도 상부 천정에 위치하며, 배기구는 1개소에 4개의 배기댐퍼가 설치되어 있다. 하부차도의 급기구는 차도 측면 바닥에 위치하고, 배기구는 측면에 위치하며, 개소별로 1개씩 설치되어 있다.

그림 15는 환기소에서의 급배기 운전개요를 보여주고 있고 그림 16은 급기구와 배기구의 모습을 보여주고 있다.

터널의 입출구 및 분기부분(인터체인지)에는 젯트팬이 설치되어 있는데, 이 젯트팬은 화재시 터널내 종방향 기류를 제어하여 횡류식 배연성능을 극대화하기 위하여 설



그림 16. 급배기구



그림 17. Duplex 터널 입출구 젯트팬

치한 것으로 판단된다.

그림 17은 젯트팬의 설치모습을 보여주고 있다.

### 3.6 비상시 운영

A86 East 터널을 관리하는 운영인력은 총 200 명 정도이며, 그림 18은 종합사령실의 전경을 보여준다.

터널에서 사고가 발생하면 CCTV 카메라를 통해 차량흐름의 변화를 감지하여 자동으로 사고발생을 통보하게 된다.

사고발생 상황은 CCTV에 촬영된 영상이 우선 Analyser



그림 18. A86 Duplex 종합 통제실 전경

로 보내지게 되고 이상이 있다고 판단되면 종합사령실의 감시모니터에 사고차량 위치의 모습이 나타나며, 200m

간격으로 설치된 VMS 설비와 FM 라디오방송설비를 통해 비상상황을 전파하게 되어 있다.

그림 19는 사고 이후 상황전파까지 비상대응시스템의 흐름을 보여주고 있다.

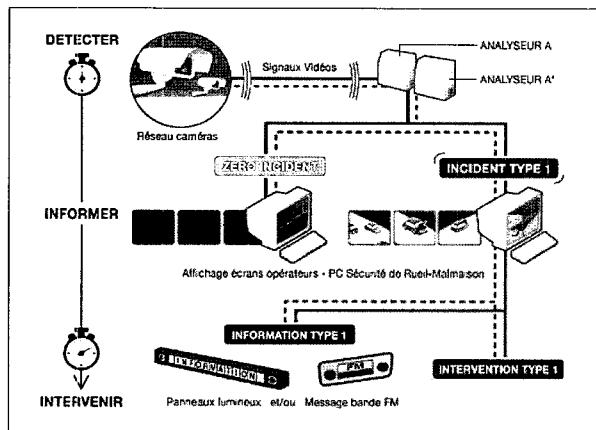


그림 19. 비상대응 시스템

그림 20은 화재시 차량통제 및 제연운전 개요를 보여준다.

화재 시 피난대피통로에 대피한 사람들은 일정시간 동안 반대방향 차도 쪽으로 탈출하지 못하도록 반대방향 차도 쪽 방화문이 폐쇄된다. 이것은 반대방향 차도를 운행하는 차량에 의한 2차 피해를 예방하기 위한 조치이다.

Duplex 터널은 차도 높이가 2m 미만으로 낮아 정규 소방차량의 진입이 불가능하다. 따라서 Duplex 터널 전용 소방시설을 보유하고 있다. 보유차량은 소방차 2대, 앰뷸런스 1대이다.

그림 21은 Duplex 터널 전용 소방시설을 보여준다.

Duplex 터널에서 화재가 발생하면 파리지역 14개 소방서에 모두 비상연락이 취해지며, 터널로 출동한 소방대는 터널에 있는 전용 소방차를 이용하여 터널 화재위치로 출동하여 화재진압활동을 수행하도록 계획되어 있다.

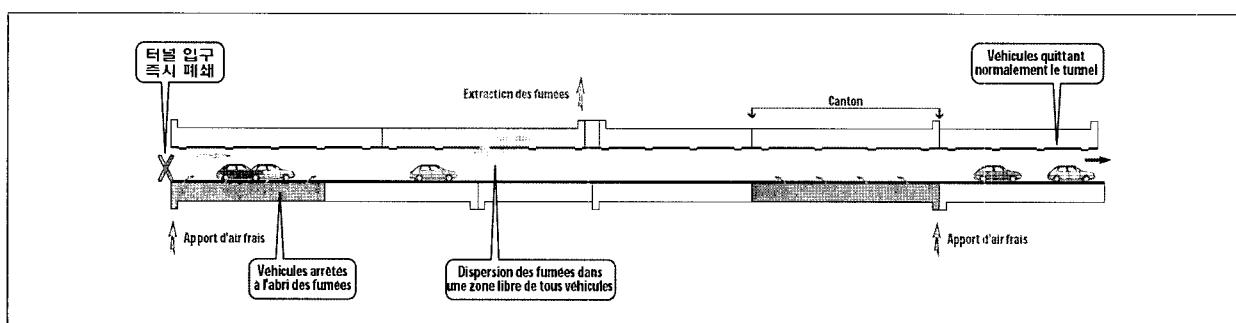


그림 20. 화재시 차량통제 및 제연 개요도

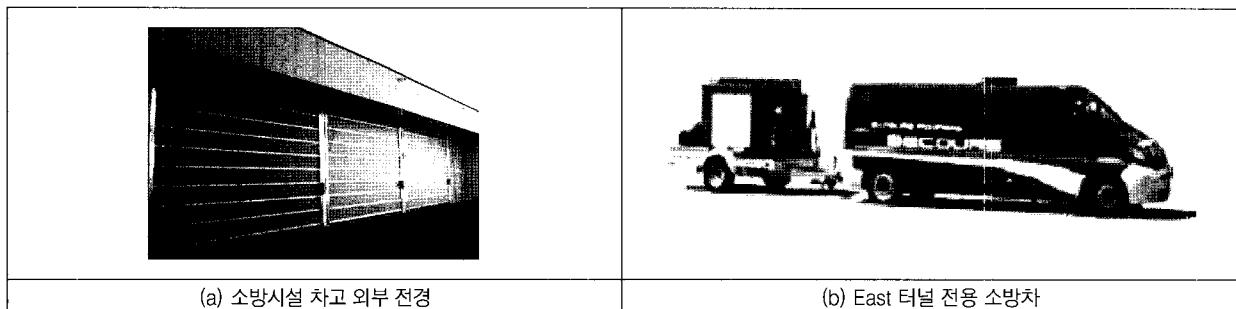


그림 21. Duplex 터널 소방대

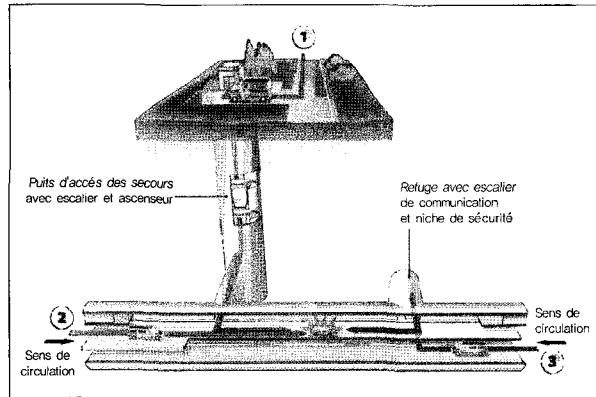


그림 22. 화재시 소방대 출동 개요도

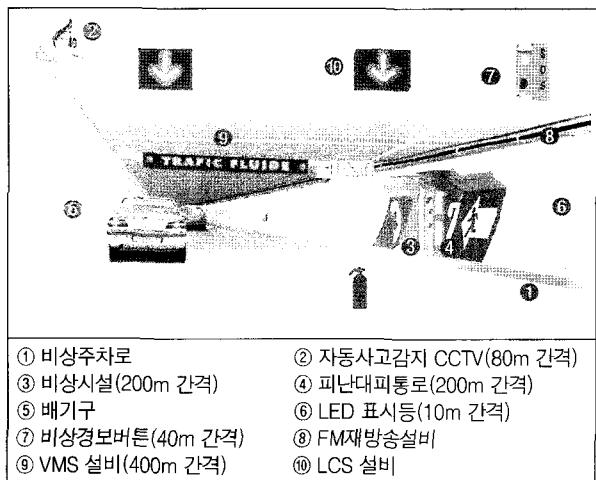


그림 23. 터널 단면 방재시설 배치도

그림 22는 화재시 소방대의 출동 개요를 보여준다. 상 소방대는 화재시 비상탈출계단 및 터널 입출구를 통해 동시에 화재위치로 출동하여 화재진압 및 구조활동을 수행한다. 마지막으로 터널에 배치된 주요 방재시설을 나열하면 그림 23와 같다. 그림 23은 터널 단면에서의 주요 방재시설 배치 개요도를 보여준다.

#### 4. 결언

A86 Duplex 터널은 현재까지 세계에서 건설된 지하도로 중 가장 우수한 방재시설을 갖추고 있는 것으로 평가되고 있으며, 서울시가 추진하는 대심도 도심 지하도로 프로젝트의 벤치마킹대상으로 자주 거론되고 있다. 2층 구조라는 특이한 형상에 알맞게 특수 개발된 영상유고시스템, 고압 미분무설비, 가압시스템 및 운전자를 고려한 단면 계획 외에도 참고할 만한 사항이 많은 것으로 판단되나, 정보 접근에 한계가 있는 점이 아쉬웠다. 앞으로 기회가 된다면 추가적인 조사를 통해 향후 국내에서 고려되는 대심도 지하도로 프로젝트를 훌륭하게 수행하는데 밀接力이 되고자 한다.