

# 한국의 도로터널 현황 및 방재시설 설치기준

유지 오<sup>1)</sup>, 윤성욱<sup>2)</sup>, 김효규<sup>3)</sup>, 조성현<sup>4)</sup>, 이동호<sup>5)</sup>

<sup>1)</sup> 신홍대학 건축설비디자인과 교수, 공학박사

<sup>2)</sup> GS건설(주) 기술연구소 선임연구원, 공학박사

<sup>3)</sup> 삼보기술단 과장

<sup>4)</sup> GS건설(주) 기술연구소 수석연구원, 공학박사, 토질및기초기술사

<sup>5)</sup> 인천대학교 안전공학과 교수, 공학박사

## 1. 서론

1990년대 이후 한국의 도로터널의 건설현황은 빠른 속도로 증가하고 있으며, 1,000m 이상 터널의 장대화 경향도 뚜렷이 나타나고 있다. 도로터널이 급속도로 많이 건설되고 있으며 한국에서도 도로터널은 빠른 속도로 장대화되고 있는 실정이다. 이에 따라 장대 도로터널에서의 환기/방재에 대한 중요성이 새롭게 인식되고 있다.

본 논고에서는 최근 제정된 도로터널 방재시설 설치지침(건설교통부, 2004.12)을 중심으로 한국의 터널 방재시설 설치기준에 대한 소개 및 이에 대한 주요 내용을 살펴보고자 한다. 논의의 순서는 한국의 도로터널 건설현황과 적용 환기방식의 특징을 살펴보고, 주요 터널 화재사고 사례자료를 검토한 후 방재시설 설치기준에 대해 살펴보고자 한다.

## 2. 터널과 화재

### 2.1 방재의 개념

논의에 앞서 방재설계 개념에 대한 정의가 먼저 선행되어야 할 것이다. 일반적으로 방재라 함은 재해와 재난으로부터 국토를 보전하고 국민의 생명과 재산을 지키는 것을 지칭하는 말이다. 특히 재해는 태풍, 홍수, 호우, 폭설, 가뭄, 해일, 지진 등 자연적 재해와 화재, 붕괴, 교통사고, 화재방 사고 등과 같은 인위적 재난으로 구분할 수 있다. 그러나 본 논고에서는 도로터널의 이용과 관련한 후자의 개념중 차량(vehicle)을 원인으로 한 관련 사고대책 즉, 교통사고 및 차량화재와 같은 사고를 중심으로 방재기준을 논의하고자 한다. 왜냐하면 아직까지 자연재해에 의해 발생된 터널내 사고사례에 대한 보고 및 체계적인 연구가

# 기술기사

표 1. 연장별 터널현황(~ 2006.1)

구분	터널연장 [m]						계	장터널비율
	0~500	500~1000	1000~2000	2000~3000	3000~4000	4000~		
고속도로	150	140	44	12	6	2	354	18.1%
일반국도	119	92	24	3	0	0	238	11.3%
특별광역시도	70	22	23	4	0	0	119	22.7%
(국가지원)지방도	28	17	6	3	0	0	54	16.7%
시군구도	29	19	4	0	0	0	52	7.7%
계	396	290	101	22	6	2	817	16.0%

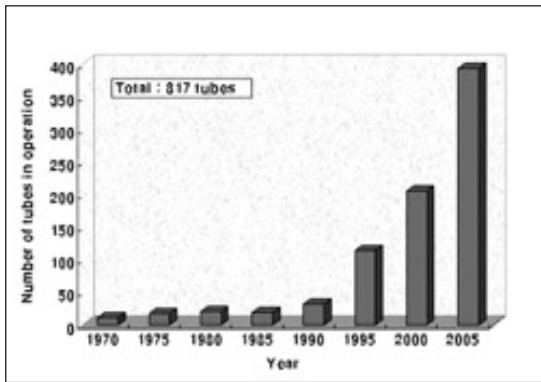


그림 1. 준공연도별 터널현황

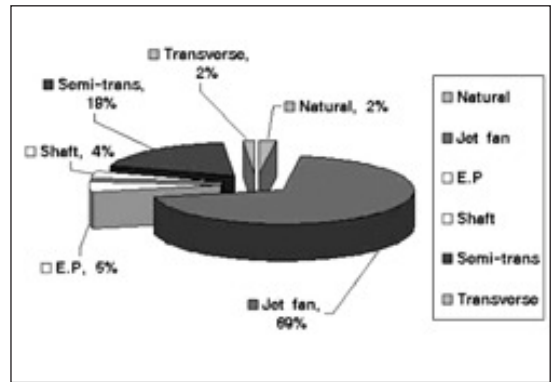


그림 2. 1 km 이상터널의 환기방식 분포

정립되어 있지 못한 상태로 보이며, 그 상관관계의 규명이 쉽지 않기 때문이다. 그러나 실제 터널 구조물에 심각한 영향을 줄 수 있는 자연적 재해에 대한 대비책도 설계 단계에서 충분히 강구되어야 할 것이다.

## 2.2 국내 터널현황 및 환기방식 현황

다음의 그림 1과 표 1은 2006년 1월을 기준으로 한국의 도로터널 현황을 정리한 것이다. 총 817개 터널(Tube)이 준공되었으며, 건설현황은 1990년대 이후 급격한 증가추세를 보이고 있다. 이중 1,000 m 이상의 장터널은 전체 터널의 약 16% 정도를 차지하고 있으며, 도심지(특별·광역시도) 터널일수록 장터널의 분포가 가장 많이 나타나고 있다. 전체적인 장터널의 개수는 고속도로터널에 많이 분포하고 있지만, 도심지 터널에서 상대적으로 높은 장터널

분포비율을 나타내고 있어 도심지 터널은 관리상의 위험 지수가 높은 편으로 해석될 수 있을 것이다. 따라서, 도심지 터널의 건설은 장터널에 대한 위험도 분석과 더불어 방재계획에도 많은 고려가 필요할 것으로 판단된다.

또한 한국에서 도로터널의 일반적인 환기방식은 1,000 m 이상의 터널에 기계 환기방식을 채택하고 있는데, 이는 한국소방법상의 제연설비의 설치기준이 1,000 m 이상 터널부터 적용되기 때문이다. 1,000 m 이상의 터널에 대한 환기방식을 살펴보면, 대체적으로 제트팬을 포함한 종류식 환기방식이 전체 환기방식의 약 78%를 차지하고 있으며, 다음으로 반회류식, 횡류식 순의 분포를 보이고 있다.

표 2. 일반도로 및 터널구간(화재)사고 현황

구 분		2000년도	2001년도	2002년도	2003년도	2004년도	
연간 총 주행거리(10억 km)		290	300	310.8	317	324	
일반도로	발생건수(A)	290,481	260,579	231,026	240,832	220,755	
	사망자수	10,236	8,097	7,222	7,212	6,563	
	부상자수	426,984	386,539	348,184	376,503	346,987	
터널	일반사고	발생건수(B)	301	292	259	453	382
		사망자수	13	9	8	25	13
		부상자수	593	578	545	949	830
	화재사고	발생건수(C)	12	8	13	12	2
		사망자수	4	1	2		1
		부상자수	2			48	
발생건수비	B/A 비율	0.10%	0.11%	0.11%	0.19%	0.17%	
	C/B 비율	3.99%	2.74%	5.02%	2.65%	0.52%	

(주) 터널화재사고는 운영중 사고로 공사중 발생사고는 제외한 현황임

표 3. 인명피해를 동반한 터널화재사고 현황

발생일자	위치	터널명	사망자수	부상자수	차종	화재원인
1991.8.27	대전	대덕	2	3	승용차	추돌
1998.6.30	부산	광안	2	-	화물차	충돌
2000.8.13	경남	산청3	4	1	차량(?)	차량 불티
2000.11.22	경남	장북	-	1	이륜차	충돌 스파크
2001.2.8	부산	만덕	1	-	차량(?)	교통사고후 화재
2002.12.5	전남	무안3	2	-	승용차	터널입구 충돌후 화재
2003.6.6	서울	홍지문	-	48	소형버스	교통사고후 화재
2004.12.19	전북	춘향	-	1	승용차	터널벽면 충돌후 화재
2006.5.15	경남	생림2	-	1	승용차	터널벽면 충돌후 화재
합계			11	55		

### 2.3 터널(화재)사고 현황

도로 및 터널구간에서 차량사고 발생율에 대한 국내 조사결과는 표 2에 나타난 바와 같다(도로안전관리공단, 경찰청 DB수룩자료). 도로터널에서의 사고건수는 일반도로의 사고건수에 약 0.1~0.2%정도를 차지하고 있으며, 터널에서의 사고중 화재사고의 비율은 최대 5.02%로 나타나고 있다. 이와 같은 경향은 67건의 터널사고 중 6건이 화재사고(약 9%)인 노르웨이의 통계자료보다 다소 작은 결과이다.

다음으로 표 3은 인명피해를 동반한 터널화재사고를 나타내고 있으며, 91년 이후 현재까지 총 9건의 화재사고가

발생하였으며, 사망 11명, 부상 55명으로 총 66명의 인명 손실이 발생한 것으로 조사되었다.

연간 일반도로상에서 발생하는 교통사고는 대략 25~30만건 정도로 보고되고 있으며, 이중 0.1~0.2% 정도가 터널내 차량사고이며, 터널내 차량사고 1건당 터널 화재사고로 이어질 경우는 0.52%~5.02% 정도이다. 따라서 터널내 화재사고가 발생할 확률은 전체 교통사고의 약  $0.52 \times 10^{-3} \% \sim 1.0 \times 10^{-2} \%$  정도로 분석된다.

### 2.4 사고원인의 분류

국내 터널화재사고에 대한 원인을 살펴보면, 대부분이

# 기술기사

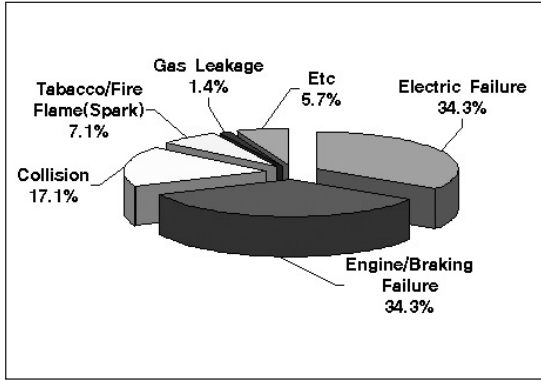


그림 3. Tunnel fire causes

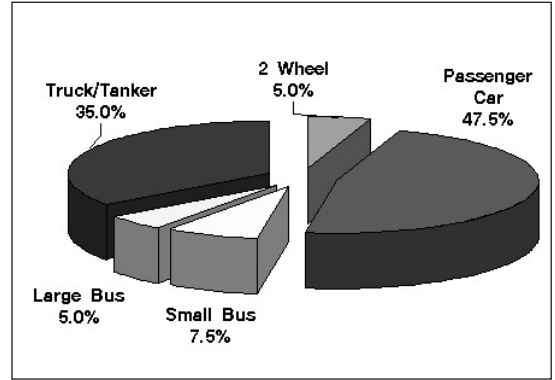


그림 4. Composition by vehicle types

전기결함이나 엔진결함에 의한 화재사고(68.6%)가 주를 차지하고 있으며, 다음으로 교통사고와 같은 추돌 및 충돌사고 후 발생화재(17.1%) 그리고 담뱃불/불티에 의한 화재사고(7.1%) 순으로 나타나고 있다. 일반적으로 국외 터널화재사고의 원인은 추돌과 충돌에 의한 사고가 가장 많은 것으로 보고되고 있으나, 국내는 다소 낮게 나타난다. 반면 전체 화재사고 차량중 대형차량의 구성비는 40%로 독일 Elbe 터널의 중차량 구성비인 38%와 비슷한 분포를 보이고 있다.

### 3. 방재시설 설계기준

한국의 방재시설 설치기준은 크게 행정자치부와 건설교통부의 기준으로 구분되며, 2000년 이전까지는 건설교통부 산하 한국도로공사의 기준이 선도적 역할을 수행하여 왔다.

#### 3.1 방재기준의 변천

국내 소방법상의 터널규정은 1984년도에 '지하가중 터널'이라는 용어가 처음으로 소방법시행령(대통령령 제

11461호, 1984.6.30)에 제정 되었지만, 당시에는 그 적용연장에 대한 기준은 마련되지 못한 상태였다. 이후 1997년에 이르러 1,000 m 이상 터널에 제연설비 설치 규정이 제정되면서 기준으로 자리 잡게 되었다(소방법시행령, 1997.9.27). 97년을 기준으로 한국도로공사에서도 터널내 방재시설을 일제히 정리하게 되었으며, 이후 건설교통부 차원에서도 관련 기준을 정립하게 되었다. 현재는 건설교통부의 도로터널 방재시설 설치지침(2004.12) 및 행정자치부(행자부) 고시 제2004-6호(화재안전기준, NFSC 501, 2004.6)에 의거 터널내 방재시설 및 제연설비 등에 설치기준이 마련되었다. 참고적으로 대면통행 터널 또는 정체정도가 심할 것으로 예상되는 도시지역 일방통행 터널의 경우는 500 m 이상의 터널에도 제연설비 및 방재시설을 설치하도록 강화되었으며, 설계화재강도 20 MW 이상에 대한 제연용량을 확보하도록 규정되어 있다.

방재시설 설치기준의 변천을 정리해보면, 과거에는 터널연장별로 시설기준을 적용하도록 되어 있었으나, 현재는 위험도 평가를 통해 방재등급을 구분하고 이에 적합한 방재시설을 계획하도록 되어 있다. 국내 방재기준의 주요 변천은 그림 5와 같다.

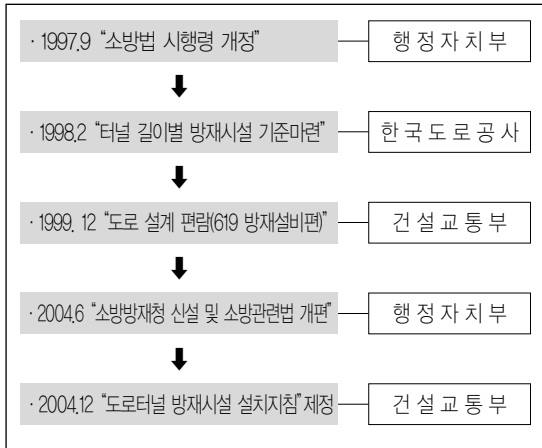


그림 5. 터널방재설계기준의 변천

표 4. 건설교통부의 신규 도로터널 방재시설 설치기준의 방재시설 항목 비교표

방재시설(1998~)		비고	
소방 설비	소화설비	소화기구	기계설비
		옥내소화전설비	
	경보설비	물분무설비	전기설비
		비상경보설비	
		화재감지기	
		비상방송설비	
	피난설비	비상조명등	유도표시판
		유도표시판	
	소화활동설비	제연설비	기계설비
		무선통신보조설비	전자통신설비
연결송수관설비		기계설비	
비상콘센트설비		전기설비	
통보경보 설비	긴급전화	전자통신설비	
	정보표지판(터널입구)		
기타 시설	기타설비	비상전원설비	전기설비
		라디오 재방송설비	전자통신설비
		CCTV	
		피난연결통로	토목시설
		비상주차대	
		급수전	

2004년 이전 한국의 방재시설 설치기준은 크게 소방관계 법령상의 소방설비와 토목구조물을 포함한 기타시설로 구분되어 있었으며, 소방설비에는 ①소화설비, ②경보

설비, ③피난설비, ④소화활동설비로, 기타시설에는 ①통보 및 경보설비, ②기타설비를 반영하도록 되어 있었다. 이후 방재시설 설치기준은 기타시설을 소방설비 내부로 포함되도록 재구성하여, 크게 ①소화설비, ②경보설비, ③피난설비(피난대피시설 포함), ④소화활동설비와 추가적으로 ⑤비상전원설비(별도 분리)로 구성하였다. 비상전원설비 경우는 기존 제트팬방식 외의 축류팬 환기방식(주로(반)회류식 방식)의 적용터널에 대한 주전원 파괴시 비상전원 미확보 문제를 고려한 것이다.

방재시설(2004~)		비고
소화 설비	소화기구	기계설비
	옥내소화전설비	
	물분무설비	
경보 설비	비상경보설비	전기설비
	자동화재탐지설비	
	비상방송설비	
	비상전화	
	CCTV	
피난 설비	라디오 재방송설비	전자통신설비
	정보표시판	
	비상조명등	
유도표지판		
소화 활동 설비	제연설비	기계설비
	무선통신보조설비	전자통신설비
	연결송수관설비	기계설비
	비상콘센트설비	토목시설
비상주차대		
비상전원 설비	무정전전원설비	전기설비
	비상발전설비	

### 3.2 방재기준의 주요내용

기본적으로 터널의 방재시설은 사고예방, 초기대응, 피난대피, 소화 및 구조활동, 사고확대방지를 기본목적으로

# 기술기사

표 5. 행정자치부의 소방관계 법령상의 방재시설 항목 비교표(시행령 vs 기술기준)

방재시설(2004~)		소방시설설치유지및 안전관리에관한법, 2004	국가화재안전기준		
			2004	2007	
소화설비	소화기구	○	○	○	
	옥내소화전설비	○	○	○	
	물분무설비	×	×	○	
경보설비	비상경보설비	○	○	○	
	자동화재탐지설비	○	○	○	
	비상방송설비	×	○	○	
	비상전화	×	×	○	
	CCTV	×	×	○	
	라디오재방송설비	×	×	○	
	정보표시판	×	×	○	
	비상조명등	○	×	○	
피난설비	유도표지판	×	×	○	
	피난대피시설	피난연락경	×	×	○
		피난경	×	×	○
		피난대피소	×	×	×
		비상주차대	×	×	○
소화활동설비	제연설비	○	○	○	
	무선통신보조설비	○	×	○	
	연결송수관설비	○	○	○	
	비상콘센트설비	○	○	×	
비상전원설비	무정전전원설비	△(2회선 수전시 제외가능)		○	
	비상발전설비	△(2회선 수전시 제외가능)		○	

(주) 2007년 기준은 현재 개정작업을 거쳐 공표예정이며, 건설교통부의 기준에 비하여 외부탈출로가 없는 피난대피소는 건설을 제외하였으며, 또한 비상콘센트설비 역시 실제로 비상콘센트를 사용하는 소방대의 장비는 없다고 할 수 있으므로 설치를 권고하지 않음

하고 있으며, 각 단계별 계획에 따른 방재시설물을 규정하고 있다. 그리고 각종 방재시설은 효율적인 유지관리 및 점검을 위해서 관리시스템에 의해 유인 혹은 무인으로 관리할 수 있도록 구성되어 있다.

### 3.2.1 화재시 대응계획

먼저 주요내용 중 화재시 대응계획과 관련된 내용을 정리하면 다음과 같다. 즉, 터널화재시 초기대응 대책이 인명의 보호 및 사후 피해 정도에 미치는 영향이 가장 크기 때문에 방재기준에서 화재시 적절한 대응을 위해서 다음과 같은 기본사항을 제시하고 있다.

- (1) 화재감지는 자동화재탐지설비에 의해서 수행되는 것을 기본으로 하나, 터널이용자에 의해서 화재시 사용빈도가 가장 높은 소화기의 탈착 및 소화전함 문의 개방을 자동 감지하여 화재를 감지할 수 있도록 하며, 또한 CCTV나 주행속도 감지기에 의해서 이상상황을 감지할 수 있도록 한다.
- (2) 화재감지기 등의 이상신호가 수신반에 수신되면, 비상경보설비에 의해서 자동으로 경보를 발하고, 신호 수신구역의 CCTV가 연동하여 집중감시가 될 수 있도록 구성한다.
- (3) 관리자가 상주하는 터널에서는 관리자에 의해서 확

인할 수 있도록 하며, 원격관리를 수행하는 경우에는 해당 관리기관에 자동통보될 수 있도록 한다.

- (4) 관리자는 터널내 비상상황이 접수되면 터널입구 정보표지판에 의해서 차량의 진입을 차단하고 라디오 재방송설비 등 통보수단을 이용하여 터널내 이상상황을 통보하며, 전원이 정상적으로 공급되고 있는 상황하에서는 터널내 조명을 모두 점등하여 최대한의 조도를 확보할 수 있도록 한다.
- (5) 관리자가 상주하는 터널의 경우에는 관리자가 제연설비를 화재발생 시나리오에 의해서 수동조작 하도록 하며, 관리자가 상주하지 않는 터널의 경우에는 제연운전모드에 의해서 우선적으로 자동운전 되도록 제어로직을 구성하고, 관리자에 의해서 후 조치하도록 한다.

### 3.2.2 터널 방재등급 결정과 위험도 평가 기준

다음은 터널방재시설의 설치를 위한 방재등급의 결정 및 이를 위한 위험도 평가기준에 관한 내용이다. 종전과 비교할 때, 2004년 방재기준에서는 기본적으로 터널연장을 기준하여 1~4등급의 터널방재등급을 정하며, 교통량 등 위험도평가를 수행하여 터널 위험도가 소정의 수준을 초과하는 경우 방재등급을 상향조정 할 수 있도록 되어 있다. 세부적으로 방재등급의 계산방법은 터널의 길이에 따라 3000m 이상을 1등급, 1000m 이상 3000m 미만을 2등급, 500m 이상 1000m 미만을 3등급, 500m 미만을 4등급으로 분류하고, 위험인자별 터널조건에 따른 위험도지수를 구하여 총합을 계산하고, 이를 6으로 나눈 평균값이 2를 초과하는 경우 터널방재등급을 1단계 상향조정하도록 되어 있다. 단, 4등급터널의 경우 상향조정을 고려하지 않는다.

이러한 평가법은 각국의 방재등급 구분법을 참조한 것으로, 각국의 방재기준 및 사고사례의 분석결과 터널의 위험도는 터널의 연장뿐만 아니라 교통량 및 대형차혼입률, 경사도, 위험물수송, 통행방식(일방향, 양방향)에 영향을 받으며, 이와 같은 인자들을 고려한 충분한 분석이 요구된다. 그러나 터널의 위험도에 대한 정량적인 평가가 어렵기 때문에 일본 및 영국의 경우에는 터널연장에 따른 최소한의 기준을 정하고 교통량에 따라서 방재등급을 상향조정할 수 있는 방안을 제시하고 있으며, 독일과 프랑스의 경우에는 사고사례 분석을 통해서 터널의 특성을 반영하여 방재시설별로 그 규모를 결정할 수 있도록 하고 있다.

참고적으로 프랑스는 교통량의 많고 적음을 Tube 당 일평균교통량이 4,000을 초과할 경우로, 독일은 Tube 당 터널구간내 대형차량의 하루 통과대수가 4,000대를 초과할 경우로 구분하고 있으며, 이때는 방재시설의 적용기준을 강화하고 있다. 또한 프랑스의 도시 및 지방지역 구분법과 독일의 정체빈도 수준 및 화재강도를 고려한 대형차혼입률 인자 등은 한국의 방재시설 설계기준 제정시 주요한 평가인자로 반영되었다. 표 6은 각국의 방재등급 구분법을 비교 요약한 것이다.

한국은 위험도 평가 항목으로 ①교통량과 터널연장의 곱, ②경사도(중단경사), ③대형차혼입률, ④ 위험물수송에 대한 법적규제 유무, ⑤정체정도(V/C 수준 혹은 서비스수준), ⑥통행방식(일방향, 양방향 통행)의 6가지 인자로 구분하고 있으며, 각각의 경계치는 각국의 기준 및 각종 사고사례 자료를 참조하여 작성되었다. 이중 터널의 경사도 인자는 교통량과 터널연장에 의한 영향에서 나타나지 않는 터널의 잠재적인 위험성을 고려한 인자로, 일반적으로 3% 이상에서 많은 사고사례가 보고되고 있다.

# 기술기사

표 6. 국내의 방재등급 비교

국가	방재등급				비고
	1등급	2등급	3등급	4등급	
한국	L>3,000m	3,000m≥L >1,000m	1,000m≥L >500m	L≤500m	위험인자를 고려한 등급 상향조정
일본	L>3,000m	3,000m≥L >1,000m	1,000m≥L >500m	L≤500m	10km 이상 AA급, AADT/tube당 4,000이상은 등급 상향조정
유럽연합	L>3,000m	3,000m≥L >1,000m	1,000m≥L >500m	L≤500m	차선당 통행량이 2,000이하인 경우 설치기준 완화
영국	L>3,000m (AA급)	3,000m≥L >1,000m	1,000m≥L >500m	L≤500m	3km 이상 AA급, AADT/tube당 4,000이상은 등급 상향조정
독일	L>900m	900m≥L >600m	600m≥L >300m	L≤300m	화물차 주행능력이 4,000이상인 경우, 방재설비 설치기준 강화
오스트리아	G≥10,000	10,000≥G >2,500	2,500≥G >1,000	G≤1,000	잠재위험성으로 판단

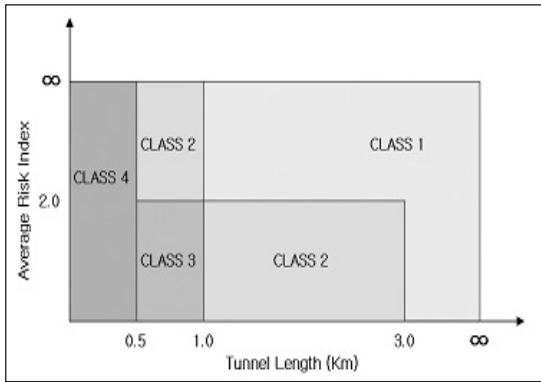


그림 6. 터널 방재등급의 구분

6개 항목에 대한 구체적인 평가기준은 표 7과 같으며, 터널연장과 위험도 지수에 대한 평점과의 관계를 그림 6에 도식화 하였다.

### 3.2.3 제연용량의 결정

터널내 화재시 연기의 배기 및 제어는 평상시 환기시스템에 의해서 수행되며, 연기를 화재공간에서 완전히 제거하는 배연(smoke exhaust)을 목적으로 하는 횡류식 또는 반횡류식과 대피방향 반대방향으로 기류를 제어하여 대피안전을 확보하도록 하는 제연(smoke control)개념의

종류식 환기시스템으로 구분된다.

#### (1) 설계화재강도 및 임계풍속의 설정

제연설비 용량은 설계화재강도와 임계풍속, 연기발생량에 따라서 차이가 발생하므로 설계화재강도를 20 MW로 하며, 이때의 연기발생량은 80 m<sup>3</sup>/s로 할 것을 권장한다. 또한 화재강도가 설계화재강도보다 증가할 것으로 예상하여 설계화재강도를 높게 설정하고자 하는 경우에는 위험도분석을 수행하여 시행하도록 규정되어 있다. 반면 임계풍속은 Kennedy의 준경험식에 Tetzner의 보정계수 β값을 고려한 식을 적용하고 있으며, 이때의 경사보정계수는 Wu의 실험식을 적용하고 있다. 임계풍속 계산식에서 임계프라우드 수(Frc)는 4.5를 적용하며, H는 화점에서 터널천정까지의 높이를 의미하고, 경사보정계수(Kg)는 Kg = [1 + 0.01tan<sup>-1</sup>(grade/100)]로 계산한다.

#### (2) 방재용 환기기 용량 설계

먼저 화재시 제연용량의 계산은 터널내 차량이 터널전체에 정체되어있다는 가혹조건에서 산정함을 원칙으로 하며, 단 양방향 대면교통 터널일 경우는 일방향 터널의



표 7. 터널 위험도 평가 기준

위험 인자		범위	위험정도	위험도지수
①	연평균일교통량×터널연장 (10³Veh·km/tube·day)	8 미만	매우낮음	1
		8이상~16미만	낮음	2
		16이상~32미만	중간	3
		32이상~64미만	높음	4
		64이상	매우높음	5
②	경사도	1% 미만	낮음	1
		1%이상~3% 미만	중간	2
		3% 이상	높음	3
③	대형차 혼입율	10% 미만	낮음	1
		10%이상~25%미만	중간	2
		25% 이상	높음	3
④	위험물수송에 대한 법적규제	위험물통행금지	없음	0
		제한없음	높음	2
⑤	정체정도	서비스수준 C이상	낮음	1
		서비스수준 D이상	중간	2
		서비스수준 E이상	높음	3
⑥	통행방식 대면통행	일방통행	낮음	1
		높음	3	

표 8. 설계화재강도, 연기발생량 그리고 임계풍속 계산식

적용차종	승용차	버스	트럭	탱크롤리
화재강도(MW)	5이하	20	30	100
연기발생량(m³/s)	20	60~80	80	200
임계풍속 계산식	$V_r = K_v Frc^{-\frac{1}{3}} \left( \frac{gHQ}{\beta_0 C_p A_r T_r} \right)^{\frac{1}{3}}, T_r = \frac{Q}{\beta_0 C_p A_r V_r} + T_0$			

선정하며, 종류식 환기방식일 경우 화재시 제트팬의 소손을 고려하여 예비용 제트팬을 추가 설치한다. 환기방식별 제연용량 계산식은 다음과 같다.

이상같이 제연용량이 결정되면 제트팬을 운영하기 위한 적절한 설치가 이루어져야 한다. 방재기준상의 제연용

표 9. 배연 및 제연용량 산정식

구분	(반)횡류식	종류식
방재용량 계산식	관계식: $Q_0 = A_r \cdot V_r + Q_s$	
	균일배기 방식(반)횡류식 경우 $Q_e = 80 + 3.0Ar$ 이상	대비비구 방식 $Q_e = 80 + 1.0Ar$ 이상
정체차량수 (일방향기준)	$n = \frac{N \cdot L}{V_r} + N \cdot \frac{3}{60} \quad (N: \text{시간당 교통량}, L: \text{터널연장}, V_r: \text{주행속도})$	

절반값을 정체차량대수로 적용한다. 또한 화재 발생후 터널이 차단될 때까지 시간을 3분간 차량진입을 고려하여 정체차량대수를 산출한 다음 제연용량을 계산한다. 그리고 화재직전의 차량주행속도는 도로의 특성을 고려하여

제트팬은 화재시 가압 및 화재안전성을 위해서 터널의 입출구부에 분산하여 설치함을 원칙으로 하며, 분산설치가 곤란한 경우에는 성층화 교란방지 및 제트팬의 소손을 최소화할 수 있도록 설치위치를 정하며, 이를 검증한 후에

# 기술기사

표 10. 터널특성별 권장 환기방식

통행방식 및 교통류	터널길이	화재시 적용 환기방식 및 방법
대면통행 터널 및 정체빈도가 높을 것으로 예상되는 도시지역의 일방통행 터널	500 m 이하	· 자연환기방식
	500~1,000 m미만	· 기계환기방식 적용
	1,000 m이상	· 횡류 또는 반횡류 환기방식 · 2,000 m이상의 터널은 대배기구 방식을 권장 · 약 800 m이내의 간격으로 집중배기가 가능한 시설을 설치하여 배연능력을 향상 할 수 있는 방안을 강구할 것을 권장함.
지방지역의 일방통행 터널	500 m미만	· 자연환기방식
	500~1,000 m미만	· 터널위험도 2이하 : 자연환기방식 · 터널위험도 2초과 : 기계환기방식 적용
	1,000~5,000 m미만	· 기계환기방식 적용
	5,000 m이상	· 기계환기방식 적용 · 집중배기방식이나 대배기구 방식에 의한 배연능력 향상방안 강구하는 것이 바람직함

설치할 것을 권장하고 있다.

### 3.2.4 환기·방재 시스템 및 관리시스템의 계획

#### (1) 환기·방재 시스템의 계획

일반적으로 방재시스템은 평상시의 환기시스템이 방재 모드로 전환되어 방재시스템으로 활용되고 있다. 따라서 적절한 방재시스템을 구축하기 위해서는 환기시스템과 연동문제를 잘 고려하여야 하며, 화재에 대비한 환기시스템은 화재시 터널내 대피인원의 분포특성을 고려하여 터널의 연장 및 터널의 교통특성에 따라 결정하며, 표 10에 제시한 환기방식의 적용을 권장한다. 그리고 기본적으로 대면통행 터널 및 정체빈도가 높은 일방통행 터널에 대해서는(반)횡류환기방식을 적용하는 것이 바람직하며, 종류 환기 방식의 적용은 종방향의 풍속이 충분히 낮고 피난연락경의 간격이 충분히 짧을 경우에 한해서만 위험도 평가를 수행하여 제한적으로 적용할 것을 권고하고 있다.

참고적으로 방재용 시설로 전환되는 환기시설의 온도 저항은 다음과 같다.

- ① 연기를 주행 공간으로부터 직접 배출시키는 제연용 제트팬은 250℃의 온도에서 60분 이상 정상 가동상

태를 유지할 수 있어야 한다.

- ② 화재에 간접 노출되는(반)횡류식 및 대배기구방식의 배연용 팬은 덕트의 길이 등에 따라서 노출온도가 달라질 수 있으므로 수치해석 등을 통해서 내열온도 등을 검토한 후에 적용한다.
- ③ 또한 대배기구의 개폐용 전동모터는 250℃이상의 온도에서 60분 이상 정상 가동되어야 하며, 정전 등 전원이 차단되는 경우에도 조작된 상태를 유지할 수 있어야 한다.
- ④ 주행 공간 내의 전원 공급라인과 제트팬과 전원연결 장치들은 250℃의 온도에서 60분 이상 운전상태를 유지할 수 있도록 한다.

#### (2) 관리시스템의 계획

관리시스템은 관리소, 관리사무소, 통합관리센터로 구분되며, 터널의 규모 및 관리자의 효율적인 관리를 고려하여 설치 운영한다. 관리시스템은 통합감시시스템, 제어 시스템, 방법시스템, 관리시스템 등으로 기능적인 측면을 고려하고, 각종 장애에 의한 업무의 중단이 최소화될 수 있도록 구성하며, 인터페이스 방안은 RTU에 의한 방법을

표 11. 관리소, 관리사무소, 통합관리센터 계획

구분	관리소	관리사무소	통합관리센터
터널연장	500~1,000m (방재3등급 터널)	1,000m 이상 (방재2등급 이상 터널)	-
개요	무인관리를 목적으로 3등급(연장 500~1,000m) 터널의 방재시설 및 환기시설의 유지관리 및 운전제어를 위한 최소한의 시설을 갖추도록 하며, 전기실, 변전실, 비상발전기실, 중앙 제어실등의 실을 갖춘다	상주관리자에 의해서 상시 터널내 상황을 감시할 수 있도록 하기 위한 시설을 갖추고 있으며, 근접한 관리소의 상황파악을 하기 위한 통합관리센터로 운영될 수 있다	근접한 관리소나 관리사무소의 통합운영을 목적으로 터널내 방재시설 및 환기시설에 대한 점검을 위한 인원이 상주하는 사무소이며, 별도의 통합관리소 설치와 관리사무소에 통합기능을 추가하는 경우로 구분된다
건물규모	자연환기: 옥외형 기계환기: 지상층	지하층, 지상층	별도: 지하층, 지상층 통합: 지하층, 지상층
건축면적	자연환기: 30평 내외 기계환기: 40평 내외	180평 내외	별도: 180평 내외 통합: 200평 내외

원칙으로 하며 개방형 프로토콜을 채택하고 있다. 참고적으로 통합관리센터는 관리소 및 관리사무소를 군 관리하기 위한 시설로 근접지역(20분 이내에 출동할 수 있는 지역 및 반경 30 km 정도의 지역)의 터널현황 등을 고려하여 계획하고 설치할 수 있다.

### 3.3 방재기준의 세부 설치기준

지금까지는 주요 방재기준에 대하여 살펴보았다. 다음은 각 방재시설의 세부 설치기준에 대하여 살펴보도록 한다.

#### 3.3.1 개별 방재시설

##### (1) 소화설비

소화설비는 터널내 차량화재시 화재의 진압 및 소화를 위한 설비로, 소화기, 소화전, 물분무설비로 구분된다.

##### (2) 경보설비

경보설비는 화재나 사고 등의 발생을 도로관리자 및 소방대 또는 경찰에게 전달하는 동시에 도로 이용자에게 사고의 발생을 통보하기 위한 설비로 크게 사고시 관리자에

게 통보하는 시설과 관리자가 터널이용자에게 통보하는 설비로 구분된다. 전자에 해당하는 설비로는 비상경보설비(발신기), 비상전화, 자동화재탐지설비가 있으며, 후자에 관한 설비로는 비상경보설비(경종), 비상방송설비, 라디오재방송설비, 정보표시판 등이 있다.

##### (3) 피난설비

피난설비는 화재가 발생한 터널에서 터널 밖으로 안전하게 유도하고 피난시키기 위한 시설로 직접적 피난 대피할 수 있는 피난연락경, 사갱 대피소 피난갱 등이 있으며, 피난을 도와주는 간접적 피난설비인 비상조명등, 유도표시판, 유도표시등이 있다.

##### (4) 소화활동 설비

지금까지는 터널 이용자들이 직접 이용하는 방재시설들이었으나 소화활동설비는 외부기관의 소방관 등이 화재를 진압하거나 인명구조활동을 하는데 필요한 설비이다. 환기방식별 제연설비로는 횡류식, 반횡류식, 수직구 방식, 제트팬방식 등이 있으며, 소방관용설비로는 무선통신보조설비, 연결송수관설비, 비상콘센트설비 등이 있다.

# 기술기사

표 12. 소화설비



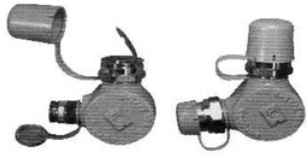
명칭	형상	기능	설치기준
소화기		ABC급 화재에 적응성이 좋고, 초기화재 진압에 유효	50m 이내간격
소화전		화재초기 터널 이용자가 진화 Ø40 옥내소화전 ; 터널이용자 Ø65 방수구 ; 소방관	50m 이내간격
물분무		안개형상의 미세물분무 자동소화	3km 이상 1등급 터널에 권고사항

표 13. 경보설비

명칭	형상	기능	설치기준	
비상경보설비 (발신기/경종)		발견자가 수동조작 → 사고위치 인식 → 터널내 경보	50m 이내간격	
비상방송설비		차량에서 탈출한 도로이용자에게 스피커를 통해 대피지시	50m 이내간격	
비상전화		중앙감시실과 통화 중앙감시실에서 비상전화 위치 파악 가능	250m 이내 간격	
자동 화재 탐지 설비	공기관식 선형감지기		천정에 설치된 관내 공기의 가열 팽창률로 화재감지	터널 전구간
	광센서선형 감지		레이저파를 광섬유에 입사 열에 진동하는 SiO2 입자에 반사된 산란광 분석 거리와 온도 파악	터널 전구간

표 13. 경보설비

명 칭	형 상	기 능	설치기준
CCTV		화재감지기, 소화전 개폐함 등과 연동 → 발견자가 수동조작 → 사고위치 인식	200~400m간격
라디오재방송설비		차량내에서 라디오를 정취하는 이용자에게 화재상황 통보	전구간
정보표지판(VMS)		터널내 상황을 문자로 터널진입 차량에 통보 터널 전방	500m이내

표 14. 피난설비

명 칭	형 상	기 능	설치기준
피난연락갱 (피난연결통로)		화재터널과 상대터널을 연결하여 피난하도록 연결 (대인용과 차량용)	① 인도용: 250m ② 차량용: 750m
사 갱		터널 중간에서 외부로 탈출 가능한 부속 터널	피난갱 설치가 불가능한 대면교통 터널
대피소		외부로 대피는 불가능 공기 공급장치 등을 설치하여	한시적 대피가능 피난갱 설치가 불가능한 대면교통 터널
비상조명등		상용 전원 차단시 비상 전원에 의한 조명	전구간(15 Lux)
유도표시판 (비상구표시등)		피난연결통로 등 피난대피시설의 위치를 알리기 위한 표시판	피난대피 시설 부근
유도표시등		피난 대피시설의 방향 및 거리를 표시하여 대피를 유도	피난대피 시설간 최소 4개소 이상

# 기술기사

표 15. 소화활동설비(1) - 제연설비




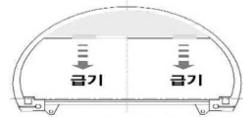

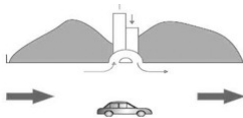




방식	환기방법		배연/제연
횡류식			<ul style="list-style-type: none"> <li>터널에 설치된 급배기 덕트를 통해서 배연 제연(Smoke control) - 종류식 배연(Exhaust smoke) -(반)횡류식</li> </ul>
반횡류식			<ul style="list-style-type: none"> <li>터널에 설치된 급기 또는 배기덕트를 통해 배연 (역회전 운전시 Time delay 필요)</li> </ul>
수직구			<ul style="list-style-type: none"> <li>수직구를 중심으로 화재위치에 따라 급기(제연) 또는 배연하는 방식(관리자의 판단 필요)</li> </ul>
제트팬			<ul style="list-style-type: none"> <li>차량진행 방향으로 제연팬(Jet Fan)에 의해 제연하는 방식</li> </ul>

표 16. 소화활동설비(2)

명칭	형상	기능	설치기준
무선통신 보조설비		터널내 구조활동 및 소화활동시 터널 내·외부간의 무선통신을 위한 설비	터널 입출구 부근
연결송수관 설비		화재진압을 위해 터널내 방수구에 소화용수를 공급	① 송수구: 터널 입출구 부근 ② 방수구: 50m 이내
비상콘센트 설비		구조활동이나 소화활동을 위해 필요한 전원을 공급	50m 이내 간격

표 17. 비상전원설비

명칭	형상	기능	설치기준
무정전 전원설비 (UPS)		터널내 정전상황이 발생하는 경우에 비상발전기의 전원공급 개시전 및 비상발전기 가동 정지후 일정시간 비상전원을 공급	전기실에 설치
비상발전설비 (GE)		터널내 정전이 발생하는 경우 옥내소화전설비, 제연설비 등의 방재설비에 비상전원을 공급	전기실에 설치

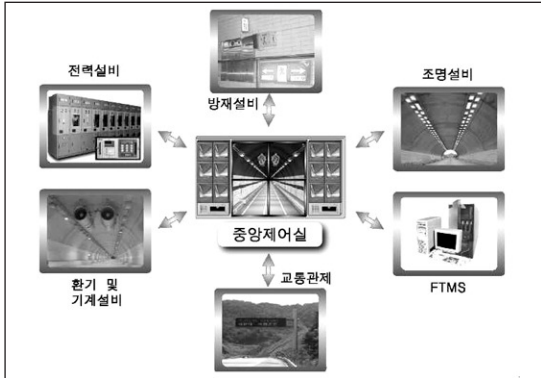


그림 7. 통합방재 시스템 구성

(5) 비상전원설비

비상전원설비는 터널내 정전시 비상조명 등의 기능을 유지하기 위한 전원공급설비로서 무정전전원설비와 비상발전기로 구분된다. 그러나 서로 다른 변전소에서 2회선 수전이 가능할 경우 제외될 수 있다.

3.3.2 통합방재 시스템 구축

이상에서 개별적인 방재설비에 대해 알아보았는데, 유사시 안전도를 높이기 위해서는 개별 방재설비뿐만 아니라 전력설비, 조명설비, 교통관제설비 등이 통합 관리되어 유기적인 시스템으로 구성되어야 한다. 통합제어시스템은 방재시설들을 통합제어반에 엮으면 아래와 같은 시스템이 구성되며 상호 Open Protocol 로 통신이 가능하여야 한다,

4. 등급별 도로터널 방재시설 설치기준

지금까지의 개별 방재시설을 터널 방재 등급별 방재시설 설치기준은 다음과 같다. 즉, 터널의 방재시설의 적용은 터널의 지역적 조건과 통행조건을 고려하여야 하며,

특히 한국지형에 적합한 위험도 평가인자에 따른 방재등급을 산정한 후 ①지방지역의 일방통행 터널 및 ② 도시지역 및 대면통행 터널을 구분하여 적합한 각각의 방재시설을 설치한다. 다음의 표 18은 한국의 도로터널 방재시설 설치지침에 관한 적용표를 나타내고 있다.

- (1) △ : 터널연장이 3,000m 이상으로 연평균일교통량과 터널연장의 곱이 90×103 대 · km/day · tube 이상인 터널에 대해서 권장설비로 함
- (2) △ : 터널연장이 200 m 이상인 4등급 터널은 권장설비로 함.
- (3) ● : 4등급 터널은 터널연장이 200 m 이상인 경우에 설치함.
- (4) △ : 4등급 터널의 경우, 라디오재방송설비가 설치되는 경우에 병용하여 설치함.
- (5) ● : 4등급 터널은 방재시설이 설치되는 경우에 시설별로 설치함.
- (6) △ : 터널연장이 3,000m 이상으로 연평균일교통량과 터널연장의 곱이 60×103 대 · km/day · tube 이상인 터널에 대해서 권장설비로 함.
- (7) △ : 터널연장이 200 m 이상인 4등급 터널은 권장설비로 함.
- (8) ● : 4등급 터널은 터널연장이 200 m 이상인 경우에 설치함.
- (9) ● : 대면통행터널과 피난연락갱의 설치가 불가능한 일방통행 터널로 터널 위험도가 2.0를 초과하는 터널에 설치
- (10) △ : 대면통행 터널과 정체가 심할 것으로 예상되는 피난연락갱 설치가 불가능한 일방통행터널에 권장설비로 함.
- (11) △ : 4등급 터널의 경우, 라디오재방송설비가 설치

# 기술기사

표 18. 방재시설 적용기준

방재시설	터널등급	① 지방지역의 일방통행 터널				② 대면통행 및 도시지역 터널				③ 설치기준(설치간격)	
		1등급	2등급	3등급	4등급	1등급	2등급	3등급	4등급		
소화 설비	소화기구	●	●	●	●	●	●	●	●	50m 이내	
	옥내소화전설비	●	●			●	●			50m 이내	
	물 분무설비	△(1)				△(6)				방수구역:50m이내	
경보 설비	비상경보설비	●	●	●		●	●	●			
	자동화재탐지설비	●	●			●	●	●		환기방식인식범위	
	비상방송설비	●	●	●		●	●	●		50m 이내	
	비상전화	●	●	●		●	●	●		250m 이내	
	CCTV	●	●			●	●	●		200~400m 간격	
	라디오재방송설비	●	●	●	△(2)	●	●	●	△(7)		
	정보표시판	●	●			●	●			입구VMS: 500m 이내 LCS: 400~500m 간격	
피난 설비	비상조명등	●	●	●	●(3)	●	●	●	●(8)		
	유도표시판	●	●	●		●	●	●		피난대피시설간에 최소 4개소 이상	
	피난 대피 시설	피난연락경	●	●	●		●(13)	●(13)	●(13)		250~300m 이내
		피난경					●(9)	△(10)			
		피난대피소					●(9)	△(10)			250~300m 이내
비상주차대	●	●			●	●					
소화 활동 설비	제연설비	●	●			●(14)	●(14)	●(14)			
	무선통신보조설비	●	●	●	△(4)	●	●	●	△(11)		
	연결송수관설비	●	●			●	●			50m 이내	
	비상콘센트설비	●	●	●		●	●	●		50m 이내	
비상전원 설비	무정전전원설비	●	●	●	●(5)	●	●	●	●(12)	시설별	
	비상발전설비	●	●			●	●	●			

〈범례〉 ● 기본설비 : 해당터널에 반드시 설치하여야 하는 설비  
 △ 권장설비 : 설치의 필요성을 검토하여 필요시 설치하는 설비

되는 경우에 병용하여 설치함.

- (12) ● : 4등급 터널은 방재시설이 설치되는 경우에 시설별로 설치함.
- (13) 도시지역의 일방통행터널에 해당함.
- (14) 대면통행 또는 정체가 심할 것으로 예상되는 일방통행 터널
- (15) 편집자 주 : 건설교통부의 방재기준에는 '②도시지역'의 정의가 명확히 제시되지 않았으나, 한국도로

교통협회의 도로설계기준에는 도시지역의 정의를 목표연도의 연평균일교통량(AADT)이 차로당 15,000 pcu 이상인 곳을 말한다고 정의하고 있음

## 5. 방재시스템의 향후 발전방향

각각 방재설비는 기능 위주로 개선되어 유사시 인명과



표 19. ITS Service 개요

교통관리최적화	교통류관리, 돌발상황관리, 자동교통단속, 공해관리지원,시설관리
교통정보유통활성	기본교통정보제공, 교통정보관리, 연계
여행자정보고급화	차량여행자부가정보제공, 비차량여행자부가정보제공
대중교통	대중교통정보제공, 대중교통관리
화물운송효율화	물류정보관리, 위험물차량관리, 화물전자행정
차량/도로첨단화	안전운전지원, 자동운전지원
전자지불	통행료전자지불, 요금전자지불

재산피해를 줄일 수 있도록 계속 발전될 것이다. 그 중에서 통합방재시스템은 정보통신 기술의 발전에 따라 TGMS(Tunnel Group Management System), FTMS(Freeway Traffic Management System), ITS(Intelligent Transport System), 유비쿼터스-City, U-Korea 실현을 위한 기능과 역할을 할 수 있도록 발전될 것이다.

### 5.1 터널군통합관리(TGMS)

터널의 장대화에 따라, 차량의 안전운행을 위한 환기시설 및 교통관련 시설, 재해 발생시 신속대처를 위한 방재시설 그리고 터널내 조도유지와 수전을 위한 전기시설 등 관련시설의 규모도 다양해지고 고도화 하고 있다. 이러한 다양한 시설을 경제적이고 효과적으로 유지하고 관리하기 위해서는 터널내에 설치되는 각 시스템의 통합작업이 선행되어야 하며, 나아가서는 도로를 효과적으로 관리할 수 있도록 일정구간내의 여러 터널을 한 장소에서 통합적으로 관리할 수 있는 시스템이 필요하다. 이와 같이 한 장소에서 여러 터널을 통합관리 할 수 있는 시스템을 TGMS라 한다. TGMS는 관리의 효율성을 극대화하여 관리인원 및 유지관리비를 절감하고 최적의 교통서비스를 제공하고자 하는 목적을 가지고 있으며, 영동고속도로의 둔내터널 등 6개 터널 통합관리 시스템으로, 개별 관리 시스템으로 운영할 경우 42명이 필요한 유지관리 인원을 16

명으로 운영하고 있다. 시스템을 통합하기 위해서는 터널별 독자적인 제어 시스템을 통합관리센터에서 원격감시 제어시스템으로 감시 되어야 하며 원활한 운영을 위해서 Manin Server 와 Stand-by 용 Back Up Server를 설치하여 운영한다. Main Server는 터널내에서 발생하는 주요 감시제어대상 DATA를 저장할 수 있어야 하며 효율적 관리를 위하여 FMS(Facility Management System) Server를 설치하고, 시설물들을 통합 관리한다.

### 5.2 교통시스템(FTMS, ITS)

고속도로망의 교통관리를 수행하는 고속도로교통관리 시스템(FTMS)과 지능형교통시스템(ITS)은 도로와 차량 등 기존 교통의 구성요소에 첨단 전자정보 통신기술을 적용시켜 교통시설을 효율적으로 운영하고 전체 교통체계의 효율성이 증가하도록 하는 교통부문의 지능화 정보화 체계이다. 한국의 국가 ITS 기본계획에서는 다음과 같은 7개 서비스 분야로 크게 나누어져 있으며 터널방재 시스템은 교통관리 최적화의 돌발 상황 관리 부문에서 중요한 역할을 수행하여야 한다.

### 5.3 유비쿼터스

유비쿼터스(Ubiquitous)란 라틴어로 '편재하다(보편적으로 존재하다)' 라는 의미이다. 모든 곳에 존재하는 컴퓨터 네트워크라는 것은 지금처럼 책상 위 PC의 네트워크

기술기사

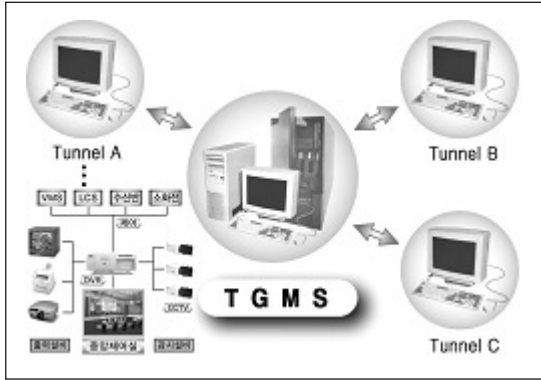


그림 8. TGMS 구성도

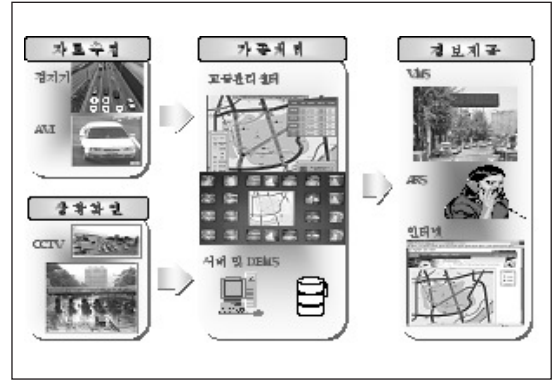


그림 9 . FTMS 와 ITS 구성도

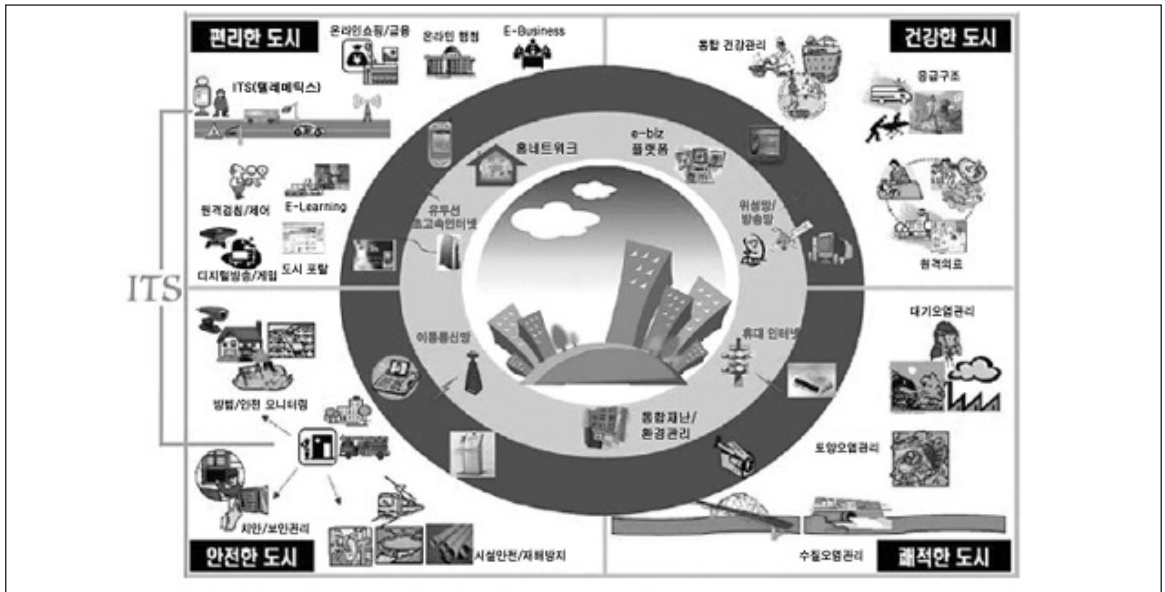


그림 10. U-Korea 구성도

뿐만 아니라, 휴대전화, TV, 게임기, 휴대용 단말기, 카 네비게이션 등 PC가 아닌 모든 지능형 기기가 네트워크로 연결되어 언제 어디서나 누구나 대용량의 통신망을 사용할 수 있고 저요금으로 커뮤니케이션을 할 수 있는 것을 뜻한다. 이러한 유비쿼터스 기술은 특정영역을 벗어나 사회생활 전반에 급속히 파급되어 변화하는 현상은 지속적

으로 나타날 것으로 전망하고 있다. 최근의 유비쿼터스 붐은 해당 기술 산업뿐만 아니라 도시전반의 경제, 주거, 교통, 환경 등 다양한 분야에서 가속화 되고 있으며 이러한 현상은 U-City 구축과 같은 범국가적 사업을 추진하는 원동력이 되고 있다. 유비쿼터스의 가장 효과가 큰 분야는 재해 예방 및 구조활동 분야로 방재시스템의 연동은

필수적인 요소이다. U-City는 유비쿼터스 도시를 뜻하며 U-Korea는 유비쿼터스 한국을 뜻한다. 첨단 통신 인프라와 유비쿼터스 정보서비스를 도시나, 국가 전체에 융합하여 생활의 편의 증대, 삶의 질 향상, 체계적인 도시 관리, 안전과 주민 복지증진 등을 위한 유비쿼터스 사회의 한 부분 역할을 ITS가 담당하고 있으며 터널 방재시설도 그 일부를 담당해야 한다.

발전방향 등을 살펴보았다. 방재시설 계획시 재해발생 빈도와 초기 투자비, 유지관리비 등을 고려하여 경제적인 설계를 하기 위한 정량적인 위험도 분석을 하되, 소중한 인명의 보호를 위한 인명존중 사상에 비중을 두어야 할 것이다. 또한 방재시설 유지관리자의 교육이 필요하고, 관계기관과의 유기적인 훈련을 실시하며, 터널이용자에 대한 유사시 대피요령 등의 홍보를 확대하면 보다 안전하고 쾌적한 교통환경의 도로터널이 되리라 기대된다.

## 6. 결론

이상에서 지하공간에 차량이 통과하는 도로터널의 화재사례 및 국내 도로터널 방재관련 규정 및 방재시스템의

### [참고문헌]

도로터널 방재시설 설치지침(건설교통부) 2004.12