

## 도로터널의 방재



이 승 훈  
태조엔지니어링 전문  
82point@korea.com

### 1. 머리말

산업의 발전과 국민소득의 증대는 우리들로 하여금 삶의 질 향상을 한층 더 요구하게 됨에 따라 재해와 안전 확보에 대한 더 많은 관심을 가지게 하고 있다. 전 국토의 70% 정도가 산악지대인 우리나라의 지리적 조건과 더불어 서울, 부산 등의 대도시 집중화는 사회간접자본의 설치에 따른 지하공간의 이용은 필연적 과제가 되고 있으며, 도로 터널의 경우 2000년 397개소 240km에 불과하였으나, 터널기술의 비약적인 발전과 함께 자연을 가꾸고 지키는 가장 친환경적인 녹색 건설의 중요한 수단이라는 필요성이 확대되면서 2009년 현재

1,287개소 910km에 달하고 있다. 최근 수도권 지역을 중심으로 도심도 지하 공간을 이용하는 대형 지하도로와 고속철도를 설치하는 계획이 집중적으로 검토되고 있으며 조만간 그 실현을 목전에 두게 되었다.

이에 따라 터널운행의 안전성 및 환경성의 확보와 화재와 같은 비상시의 대처방안에 대한 관심이 고조되고 있으며 근래에 국내외에서 발생한 대형 터널화재 사고로 인하여 터널 환기 및 방재분야에 대한 광범위한 연구가 가속화 되고 있으며, 본고에서는 2009년 4월 국토해양부에서 개정된 「도로터널 방재시설 설치 및 관리지침」의 내용을 중심으로 도로터널 계획단계에서 고려되는 도로터널의 방재시스템에 대한 이해를 높이고자 한다.

표 1. 도로터널 현황(2010.1 기준)

구분	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
개소	397	528	583	603	667	817	932	1,064	1,152	1,287
연장	240	339	378	390	432	551	648	755	806	910

출처 : 국토해양부 (각급 도로관리청 자료)

단위: 개소, km

## 2. 도로터널의 방재

### 2.1 도로터널 방재시설 지침서의 특징

도로터널 방재시설 설치 및 관리지침(이하 지침서)은 '04. 12월에 최초 제정된 후 약 5년이 경과된 지난 '09. 4월에 1차 개정을 시행 하였으며 현재 도로터널의 방재 시설과 관련한 주요 설계지침서로 활용되고 있다.

개정된 주요내용은 방재시설물 설치조건을 터널의 연장, 통행교통량, 구조적 제원 등을 다각적으로 분석한 후 그에 따른 위험지수를 산출하고 그 지수가 일정규모 이상의 지수가 발생되면 그 범위 내에서 방재시설물을 선택적으로 설치할 수 있도록 변경되었으며, 방재 고유의 소방관련 법규와 다소 다른 설치 조건을 제정하여 도

로터널 특성에 맞도록 소방법규를 변경시켜 적용하도록 하였다.

소방법규는 건축물 위주의 면적, 공간 및 층별 구분을 하여 설치기준을 제정하여 현재 시행중에 있으나, 도로 터널에서는 터널의 종방향의 길이(연장)로 설치기준을 변경하고 화재규모를 규정화 하여 그 기준범위의 설비를 설치하도록 하였다.

### 2.2 도로터널의 방재 등급과 방재시설 설치 기준

터널에 대한 방재계획을 수립을 위한 터널등급은 표3의 내용으로 결정하며, 터널 연장을 기준으로 하는 연장 기준등급과 교통량, 연장 등 표2에 해당되는 위험도 평가 항목의 제반 위험요소를 고려한 위험도 지수를 산출

표 2. 위험도 지수 평가 항목

평가항목		위험도 지수	
①	AADT × 터널연장 (10 <sup>3</sup> Veh · m / tube · day)	1	5
		2	
		3	
		4	
		5	
②	경사도	1	3
		2	
		3	
③	대형차 혼입율	1	3
		2	
		3	
④	위험물수송에 대한 법적규제	0	2
		2	
⑤	정체정도	1	3
		2	
		3	
⑥	통행방식	1	3
		3	
합 계		19	19

구분	평가항목	위험도 지수(X)	
사고확률	주행거리계 (교통량 × 연장)	10	10
터널 특성	표고차 및 경사도	진입부 표고차	2
		진입부 경사도	1
	터널높이		3
	터널곡선반경		1
대형차량	대형차 혼입율		2
	위험물 수송관련	대형차 주행거리계	6
		감시시스템	1
		유도시스템	1
정체정도	정체정도 (서비스수준에 의함)		3
	터널내 합류/분류		2
	교차로/신호등/TG 등		2
통행방식	통행 방식	일방통행 (길어깨 유무)	1~2
		대면통행 (길어깨/중분대 유무)	3~6
합 계		40	40

표 3. 터널등급 기준

등급	터널연장 (L) 기준	위험도 지수 (X) 기준
1	3,000 m 이상	$X > 29$
2	1,000 m 이상, 3,000 m 미만	$19 < X \leq 29$
3	500 m 이상, 1,000 m 미만	$14 < X \leq 19$
4	연장 500 m 미만	$X \leq 14$

표 4. 등급별 방재시설 설치기준

방재시설		터널등급				방재시설		터널등급			
		1	2	3	4			1	2	3	4
소화 설비	소화기구	●	●	●	●	피난 대피 설비 및 시설	비상조명등	●	●	●	△
	옥내소화전설비	●	●				유도표지등	○	○	○	
	물분무설비	○					피난 대피 시설	피난연결통로	●	●	●
경보 설비	비상경보설비	●	●	●		피난대피터널(1)		○	△		
	자동화재탐지설비	●	●			피난대피소(1)		○	△		
	비상방송설비	○	○	○		비상주차대		○	○		
	긴급전화	○	○	○		소화 활동 설비	제연설비	○	○		
	CCTV	○	○	△			무선통신보조설비	●	●	●	△ <sup>(2)</sup>
	영상유고감지설비	△	△	△			연결송수관설비	●	●		
	라디오재방송설비	○	○	○	△		비상콘센트설비	●	●	●	
	정보표시판	○	○			비상 전원 설비	무정전전원설비	●	●	●	△ <sup>(3)</sup>
진입차단설비	○	○			비상발전설비		●	●			
● 기본시설 : 연장기준등급에 의함 ○ 기본시설 : 위험도지수기준등급에 의함 △ 권장시설 : 설치의 필요성 검토에 의함						(1) 피난연결통로의 설치가 불가능한 터널에 설치 (2) 4등급 터널의 경우, 라디오재방송설비가 설치되는 경우에 병용하여 설치함 (3) 4등급 터널은 방재시설이 설치되는 경우에 시설별로 설치함					

하여 표3과 같이 결정하며 결정된 방재등급을 고려하여 표4에 나타난 방재시설을 다음 절에 설명되는 설치 기준에 의거 설치한다.

## 2.3 방재시설의 설치

### 2.3.1 소화설비

도로터널 내 소화설비는 차량 화재 시 화재의 진압·소화를 위한 설비로 소화기, 소화전, 물분무설비가 있으며, 작동방식에 따라 수동식과 자동식 소화설비로 구분한다. 도로터널에 해당되는 소화설비(소화기구(소화기), 옥내소화전 설비 및 물분무설비)와 소화활동설비(연결송수관설비)는 소화기를 제외하면 모두가 물을 소화약제로 사용하는 소화설비이다. 도로터널내 설치되는 옥



옥내소화전



연결송수관



물분무 설비

그림 1. 터널내 설치된 소화설비

표 5. 소화설비의 설치요령

방재시설	설치위치와 설치방법		설치간격
수동식 소화기	일방통행 : 4차로 미만의 일방통행터널은 주행차로 우측 측벽, 4차로 이상의 터널은 양쪽 측벽에 설치 대면통행 : 양쪽 측벽에 교차하여 설치, 격납상자를 설치하여 내부에 2개 1조로 비치		50m 이내
옥내소화전설비	4차로 미만의 일방통행터널	주행차로 우측 측벽	50m 이내
	편도 2차로 미만의 대면통행터널	한쪽 측벽	
	4차로 이상 일방통행터널	양쪽 측벽	
	편도2차로 이상의 대면통행터널	양쪽 측벽	
물분무설비	측벽설치(도로면 전체에 균일하게 방수되도록 함) 방수구역 : 25m 이상, 3구역 동시방수		

내소화전, 연결송수관설비 및 물분무설비 등은 건축물 중심의 소방법규인 소방시설 설치유지 및 안전관리에 관한 법률과 다른 용량을 요구하고 있다. 즉, 도로터널 내의 소화설비는 터널의 일반적 특성을 고려하여 터널 길이 방향 중심의 기준용량으로 설정되어 있다. 옥내 소화전 설치간격은 50m이내를 요구하고 있으며 화재시 최대 사용개수는 3차로 이하 터널은 2개소, 4차로 이상 터널은 3개소 이상을 기준으로 하고 있다. 물분무 설비는 물분무 헤드를 설치하며 밸브 및 함은 25m를 1개 구역으로 하여 화재시 3개 구역 75m 구역만 개방되는 조건으로 설치한다.

### 2.3.2 경보설비

경보설비는 화재나 사고 등의 긴급 상황을 도로 관리자 및 소방대 또는 경찰에게 전달하는 동시에 도로 이용자 등에게 사고의 발생을 통보하기 위한 설비이다. 사고 발생을 관리자에게 알려주는 비상경보설비(발신기), 긴급전화 및 자동화재탐지설비와 관리자가 상황을 접수 후에 이를 터널 이용자에게 알려주는 비상경보설비(비상경종), 비상방송설비, 정보표시판, 라디오재방송설비가 있으며 설치요령은 표6과 같다.

표 6. 경보설비의 설치요령

방재시설	설치위치와 설치방법		설치간격
비상경보설비	수동식 소화기 또는 옥내소화전함에 병설		50m이내
자동화재탐지설비	최적성능을 확보할 수 있는 위치		필요인식 범위
비상방송설비	터널 측벽과 피난대피시설에 설치		50m 이내
긴급전화	터널입구와 출구부, 터널 측벽과 피난대피시설에 설치		250m 이내
CCTV	터널 측벽 설치 (피난대피시설, 터널 전 구간 감시가 가능하도록 설치)		터널내 : 200~400m 터널외부 : 500m이내
영상유고 감지설비	터널 전 구간 감시가 가능하도록 설치간격을 정함		100m 간격
라디오 재방송설비	터널 전구간에서 청취 가능하도록 설치		
정보표시판	터널입구정보표시판	터널 전방 500m 이내	
	터널진입차단설비	터널 전방 500m 이내	
	차로이용규제신호등(LCS)	터널 전 구간	400~500m간격



CCTV(영상유고감지설비겸용)



터널진입차단설비



차로이용규제신호등(LCS)

그림 2. 경보설비

### 2.3.3 피난대피설비 및 시설

피난대피설비 및 시설은 터널 내에서 화재 및 기타 사고에 직면한 도로 이용자 등을 안전지역으로 대피를 유도하기 위한 설비 및 안전한 공간 등을 말하며, 대피를 직접적으로 지원하는 대피시설과 간접적으로 지원하는 비상조명등, 유도표지등으로 분류되며 세부 설치요령은 표7과 같다.

### 2.3.4 소화활동설비/비상전원설비

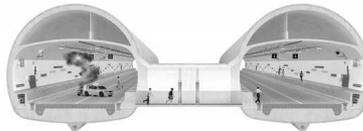
소화활동설비는 화재를 진압하거나 인명구조 활동을 위해서 소방대나 관리자가 사용하는 설비이며, 제연설비, 무선통신보조설비, 연결송수관설비, 비상콘센트설비가 있다. 비상전원설비는 터널 내 정전 상황에서 비상조명설비 등의 기능을 유지하거나 소화펌프와 같은 방재설비에 필요한 전원을 공급하기 위한 설비이다. 그 중 터널에서의 제연설비는 화재지역에서 연기를 배기하거나 통행자의 대피 반대방향으로 연기 기류를 형성시키

표 7. 피난대피설비 및 시설의 설치요령

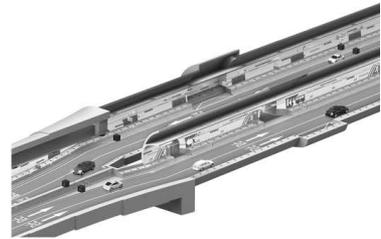
방재시설	설치위치와 설치방법		설치간격
비상조명등	야간점등회로를 병용하여 설치		
유도표지등	A	대피시설 부근	
	B	대피시설이 설치된 측벽설치	약 50m 간격
피난 대피시설	피난연결통로	쌍굴터널(차단문 설치)	250~300m이내
	피난대피터널	본선터널과 평행하게 설치하는 것을 원칙으로 함	
	피난대피소	본선터널 측벽이나 하부에 설치	250~300m이내
	비상주차대	주행차선 길어깨, 대면통행 터널은 양쪽 측벽	



유도표지등



피난연결통로



비상주차대

그림 3. 피난대피시설

표 8. 소화활동설비 및 비상전원설비의 설치 요령

방재시설	설치위치와 설치방법		설치간격
소화 활동 설비	제연설비	환기설비와 병용	
	무선통신보조설비	라디오 재방송설비와 병용	
	연결송수관설비	송수구 터널입출구부, 방수구 옥내소화전과 병설	50m 이내
	비상콘센트설비	소화전함에 병설, 50m 이내	
비상 전원 설비	무정전전원설비	시설별 설치	
	비상발전설비	별도로 구획된 실내에 설치	

는 중요한 설비로 환기설비와 병용하여 설치한다. 이에 대한 상세한 사항에 대해서는 다음절에서 설명하도록 한다.

- 제연설비

도로터널에서 제연설비란 화재지역에서 연기를 배기 하거나 통행자의 대피 반대방향으로 연기 기류를 형성 시켜 화재초기 자기구조(self rescue)단계에서 안전을 확보 할 수 있도록 통행자에게 절대적인 도움을 주는 설

비이다. 여기서 제연이란 고유의 제연(smoke control)과 배연(smoke exhaust)기능을 모두 뜻하게 된다. 도로터널내 제연설비는 일반적으로 환기설비와 겸용하게 되는데 횡류식 혹은 반 횡류식에서는 배기기능이 제연기능을 갖추게 되며 종류식에서도 환기팬이 환기기능과 제연기능을 겸하게 되므로 환기 작동시 화재가 발생되더라도 원래의 환기방향을 유지하면서 제연기능을 유지하는 것이 중요하게 된다.

제연설비 계획은 위험도지수 기준등급이 2등급 이상인 터널에 설치하며 화재에 대비한 제연설비는 화재시 터널 내 대피자의 분포특성을 고려하여 터널의 연장 및 터널의 교통특성에 따라 결정하며, 표11에 제시한 제연

방식의 적용을 권장하고 있다. 종류식 터널의 화재시 화점부근의 연기가 역류하는 것을 방지하기 위한 최소풍속인 임계풍속을 유지할 수 있도록 화재시 제트팬 대수는 임계풍속을 만족할 수 있도록 선정한다.

제연설비 용량은 표11의 내용에 따른 설계화재강도와 연기발생량에 의해 결정된다. 화재시 제트팬 대수는 터널단면적, 터널 내 차량 수, 자연풍에 의한 환기저항 등을 충분히 고려해야 한다. 제연용 제트팬만 설치하는 경우에는 환기시 제트팬의 승압효율 확보를 위해 제트팬 설치기준을 변경하여 적용할 수 있으며, 이에 따라 효율 저하가 예상되는 경우에는 이를 고려하여 제트팬 대수를 산정한다.

방재용 제트팬은 화재시 가압 및 화재안전성을 위해

표 9. 도로터널의 환기방식

구 분	횡류식(또는 반횡류식)	종류식
연기의 제어개념	화재지역으로부터 연기를 배연(exhaust smoke)하는 방식으로 연기 및 열기류의 방향성 제어가 곤란하여 화재규모가 큰 경우에는 적용성이 떨어진다.	화재지역으로부터 일방향으로 연기 및 열기류를 제어(제연, smoke control)하는 방식으로 열기류의 유동방향 제어가 용이하다.
환기팬의 운전제어	급기 반횡류식의 경우, 화재시 배연모드로 전환하기 위한 대기시간과 역전운전 후에 정상가동에 필요한 시간지연이 길다.	일반적으로 30초에서 1분 이내에 제트팬 정상운전속도에 도달하지만, 터널 내 풍속이 정상상태에 도달하기 위해서 시간지연 필요.



제트팬(제연팬)



축류팬



대배기구

그림 4. 터널내 설치된 제연설비

표 10. 터널특성별 권장 제연방식

지역 및 통행방식	터널 길이	화재 시 적용 제연방식 및 방법
대면통행 및 도시지역	500m 이하	• 자연환기에 의한 제연
	500~1,000m 미만	• 기계환기에 의한 제연
	1,000m 이상	• 횡류 또는 반횡류식 • 약 800m 이내의 간격으로 집중배기 또는 구간배연이 가능한 시설을 설치하여 배연능력을 향상 할 수 있는 조치를 강구할 것을 권장한다. • 2,000m 이상의 터널은 배연능력을 향상하기 위해서 대배기구 방식을 권장한다.
지방지역의 일방통행	500m 미만	• 자연환기에 의한 제연
	500~3,000m 미만	• 위험도지수기준등급이 3등급 이하인 터널 : 자연환기방식 • 위험도지수기준등급이 2등급 이상인 터널 : 기계환기방식
	3,000m 이상	• 집중배기방식이나 대배기구방식 등 구간배연시스템에 의해 배연능력을 향상하기 위한 조치를 강구할 것을 권장한다.

표 11. 설계화재강도 및 연기발생량

적용 차종	승용차	버스	트럭	탱크롤리
화재강도(MW)	5 이하	20	30	100
연기발생량(m³/s)	20	60~80	80	200

서 터널의 입출구부에 분산하여 설치하며 분산설치가 곤란한 경우, 성층화 교란방지 및 제트팬의 소선을 최소화할 수 있도록 설치위치를 정하며, 이를 검증한 후에 설치할 것을 권장하고 있다.

제연과 연계되는 환기방식은 대면통행터널 및 정체 빈도가 높을 것으로 예상되는 일방통행터널은 횡류 또는 반횡류식 적용을 권장하며, 종류식은 정량적 위험도 평가를 수행하여 안전성을 검증한 후 적용함을 원칙으로 하고 있다. 소형차 터널은 정량적 위험도 평가(QRA:Quantitative Risks Analysis)를 수행하여 안전성을 검증하여 제연설비를 계획 한다.

#### • 정량적 위험도 평가

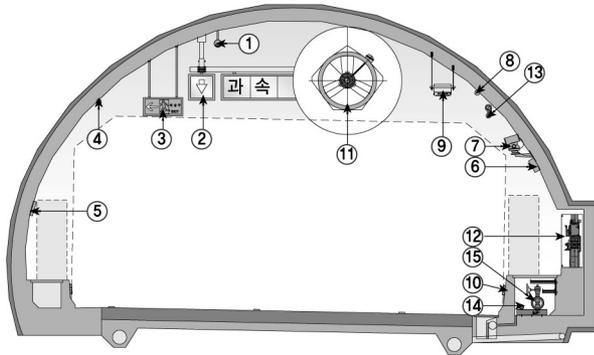
정량적 위험성 평가기법 QRA (Quantitative Risk Assessment)는 지난 20여년에 걸쳐 주로 항공우주, 원

자력 발전소 등의 산업분야에서 사용하던 것으로, 도로 터널 방재에 대한 정량적 위험도 평가를 위해서는 화재 발생 시나리오의 작성 및 시나리오별 사고 발생률의 산정, 화재해석, 차량정체 및 대피해석, 유해가스가 인체에 미치는 영향의 정량화, 사상자수의 추정, 위험도 평가기준에 의한 위험 수준에 대한 분석 등이 필요하다.

정량적 위험도 평가는 연장기준 3등급(500m이상) 이상 터널에서 연장기준등급 대비 위험도 지수등급을 상향 및 하향 조정해야 하는 경우 시행한다. 즉, 연장기준 2등급(1000m이상 터널)이상인 터널중 위험도지수기준 등급이 3등급이하로 평가되는 경우에는 정량적 위험도 평가를 실시하여 터널의 안전성이 확보가 되는 경우에 등급을 하향 조정하게 된다.

### 3. 마치면서

이상으로 도로터널의 방재를 방재등급의 기준에 따른 시설물 설치의 관점에서 설명하였다. 지면의 제약으로



기 호	명 칭
①	광센서 선형감지기
②	LCS, VMS
③	피난구 유도등
④	라디오재방송설비
⑤	거리유도표시등
⑥	비상방송설비
⑦	영상유고감지기
⑧	무통, 라디오재방송설비
⑨	비상조명등
⑩	LED 사선유도등
⑪	제트팬
⑫	소화전함
⑬	물분무 헤드
⑭	소화용수 급수배관
⑮	소화 주배관

그림 5. 터널 방재설비 설치 예

제연방법의 기본이 되는 환기방식의 비교와 환기/방재의 시뮬레이션, 위험도 분석 등에 대한 내용이 충실하게 반영되지 못함을 안타깝게 생각합니다. 지금까지의 도로터널의 방재는 터널내 화재와 사고발생 대비를 위한 화재진압 및 대피 촉진 시설물 중심으로 검토되고 있습니다.

최근에 설계되고 있는 몇몇의 중요한 도로터널중 한강 하저구간을 이용하는 강변북로 확장공사나 보령시와 안면도를 연결하는 해저터널인 보령터널의 경우 부분적으로 공사중 지하수 유출이나 붕락을 대비한 방재 시나리오를 검토하는 등 지하터널에서 수방에 대한 방재개념을 도입 하는 등 도로터널의 방재 개념이 확장되고 있으며 이에 대한 연구도 필요할 것으로 예상되고 있습니다.

방재시설에 대한 정확한 개념의 이해는 시설물 이용자의 입장에서는 비상상황시 적절한 판단을 유도할 수

있습니다. 아무쪼록 본고가 도로터널 방재에 대한 이해에 조금이나마 도움이 되기를 기원합니다.

### 참고문헌

1. 국토해양부, 2009. 도로터널 방재시설 설치 및 관리지침
2. 신태균, 2009. 터널공학회지 Vol. 11 No.3 pp.79~90 도로터널 방재시설 설치 및 관리지침 이해와 분석, (사)한국터널공학회
3. 임경국, 윤성배, 2009. 터널공학회지 Vol. 11 No.2 pp.47~58 도로터널 방재 효율화 방안 시행, (사)한국터널공학회

손영환 syh86@snu.ac.kr