

## 장대 도로터널 설계사례 소개 - 진해터널 환기 및 방재계획 중심으로 -



김환준  
삼보기술단  
과장



최창립  
삼보기술단  
이사



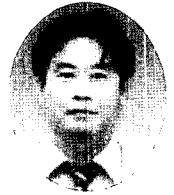
오세준  
삼보기술단  
사장



엄태원  
SK건설  
대리



정일훈  
SK건설  
부장



이진무  
SK건설  
Geotask팀장

### 1. 개요

터널 시공능력 향상 및 노선 직선화 경향으로 최근 들어 장대터널의 건설이 빈번해 지고 있는 실정이다. 터널이 장대화 되면서 터널에서 발생할 수 있는 사고 및 화재에 대비해 환기 및 방재설비 계획이 설계에서 많은 비중을 차지하고 있다. 특히 방재계획은 터널내 화재사고시 인명사고와 직결되므로 계획단계부터 여러가지 요소에 대한 다각적인 검토가 필연적이다. 그리고 터널이 장대화 되면서 기존의 환기방식(자연환기, 제트팬 종류식)으로는 터널내 오염기준을 만족하지 못하므로 터널내 별도의 추가 환기시설이 필요하다. 그러나 환기 시설물 계획시 지형현황, 주거단지, 생태등급 등 고려해야 할 주변상황이 많이 산재해 있고 이러한 여건 등을 반드시 고려해야만 한다. 이에 터널이 장대화 되면서 고려해야할 환기 및 방재계획에 대해서 석동~소사간 도로개설공사 설계사례를 통하여 기술하고자 한다.

### 2. 현황

#### 2.1 노선현황

본 계획노선은 경상남도 진해시 석동~소사동을 연결하는 총 연장 7.131km의 중간선도로로서 귀곡~행암, 소사~녹산과 연계하는 국도2호선 대체도로 개설로 장래 교통 수요에 효율적으로 대처하고 경남 동부와 부산 서부의 지역경제 활성화 도모와 통행시간 단축으로 물류수송 절감 및 교통혼잡 해소, 부산진해경제자유구역 사업단지간 접근 편이성과 기반시설 확충을 위하여 계획되었다. 본 노선은 터널1개소(진해터널), 교량 1개소, IC구간 1개소로 구성되어 있으며 그중 터널은 연장 6,085m의 2차로 병설터널로 계획되었다.

#### 2.2 주변현황

터널노선의 주변현황은 터널환기 계획시 많은 영향을

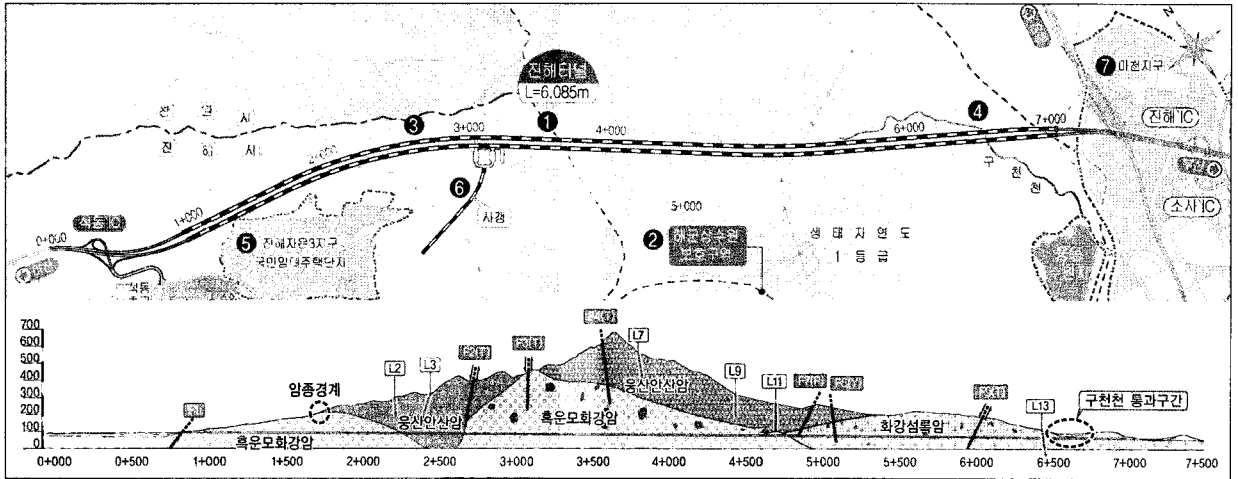


그림 1. 설계구간 노선 및 주변 현황

표 1. 주변현황 분석 및 설계 적용성 검토

구분	현황 분석	설계 주요 고려 사항
지형조건	① 터널 중앙부 심도 400~600m의 대심도 구간	• 수직갱 시공시 시공성, 작업자 안전문제 등 발생 가능
환경조건	② 생태자연도 1등급 및 해군 상수원 보호구역 통과	• 수직갱은 환기탑 설치위치 제약으로 환기효율 저하
지반조건	③ 기본계획시 수직갱 위치는 시추조사로 단층대 확인 ④ STA.6+504~STA.6+700 구간은 저토피 및 단층, 선구조 및 구천천 하부 통과	• 수직갱 시공시 단층 교차로 안정성 확보 불리 • 종점부에 대규모 지하환기소 계획시 터널 안정성 불리 • 구천천 수위저하로 해군 상수원 고갈 우려
주변현황	⑤ 시점부 민가밀집지역, 향후 진해자은3지구 계획 ⑥ 시민을 위한 태산 및 불모산 등산로와 임도 위치 ⑦ 종점부 대규모 마천지구 계획 및 군사시설 위치	• 시점측은 민가와 택지개발지구를 고려하여 계획 • 환기소 계획시 등산로 단절 및 경관성에 대한 대책고려 • 종점측은 마천지구와 동동수원지를 고려하여 계획

미친다. 주거단지 위치, 지형, 군부대, 민원 등에 따라 환기구의 위치가 변경되거나 환기방식 자체가 변경되기도 한다. 이에 주변현황의 자세한 사전 조사 및 검토가 환기방식 결정에 중요한 요소로 작용한다. 그림 1은 진해터널의 주변현황을 나타내고 있고 주변현황 및 설계 적용성 검토를 기술하면 표 1과 같다.

위의 표에서 기술한 것과 같이 시점부에는 진해자은3지구 및 기도원, 종점부에는 마천지구가 위치하고 있어, 터널내에서 발생하는 오염물질의 직접적인 영향을 받을 수 있으므로 환경오염 발생을 최소화할 수 있는 환기계획이 필요하다. 그리고 노선내 생태자연도 1등급 및 해군 상

수원 보호구역이 위치하므로 환경훼손을 최소화할 수 있는 외부 환기구 계획이 요구된다.

### 3. 환기계획

#### 3.1 개요

진해터널 환기계획은 다음과 같은 사항들을 고려하였다. 터널내 주행차량에서 배출되는 유독가스를 제거하여 운전자 및 유지보수원에 쾌적한 환경제공 및 적용 가능한

환기방식에 대해 환기성능·시공성·환경성 등을 종합 검토하여 최적의 환기방식을 선정하였고 설계기준 이상의 설비 계획으로 초장대 터널에 부합하는 환기시스템 구축 및 상·하행 동등의 터널내 쾌적한 주행환경 제공 등에 주안점을 두었다.

### 3.2 환기방식

#### 3.2.1 환기방식 선정시 고려사항

터널 환기방식을 결정하는 인자에는 터널제원, 도로조건, 교통량(대형차 혼입율 등), 오염물질 허용농도, 차량별 오염물질 배출량 등에 따라 결정된다. 진해터널 단면제원 및 교통량은 표 2, 그림 2와 같다.

#### 3.2.2 환기방식 선정

##### (가) 환기방식별 비교

터널 환기방식은 크게 자연환기와 기계환기 방식으로 구별되며, 기계환기는 종류식, (반)횡류식, 집중배기 방식으로 구분할 수 있다. 환기방식을 간략하게 비교하면

표 3과 같다.

진해터널의 교통량 분석결과(중차량비율 15.75% 적용) 오르막 차로인 마산방향(상행)의 경우 제트팬 종류식 방식은 터널내 기준풍속(10m/s)를 초과하여 적용이 불가하고, 전기집진기 방식은 특성상 별도의 추가시설을 설치하지 않는 이상 CO와 NOx의 처리가 불가하다. 그리고 (반)횡류식의 경우 갱구부 위치가 대규모 택지단지에 인접하여 운영중 소음 등의 민원예상, 급배기 덕트 설치로 인한 대단면이 요구되므로 많은 토목 공사비가 소요된다. 따라서, 종합적인 검토결과 진해터널에 적용 가능한 환기방식은 사갱 또는 수직갱을 이용한 제트팬 종류식 방식이 가장 타당한 것으로 판단되었다.

##### (나) 환기방식 선정

앞서 기술한 것과 같이 진해터널에 적용 가능한 환기방식은 사갱 또는 수직갱을 이용한 제트팬 종류식 방식이다. 사갱 및 수직갱의 환기구를 계획하기 위해서는 터널의 주변현황 및 지형조건을 검토하여 가장 적절한 환기구를 선정하여야 한다. 이에 따라 사갱 및 수직구 환기방식

표 2. 터널제원

구분		터널연장(m)	중단경사(%)	평균표고(m)	내공단면적(m <sup>2</sup> )	대표직경(m)
진해터널	마산방향	6,100	+0.5	75	71.282	8.227
	부산방향	6,085	-0.5	75	71.282	8.227

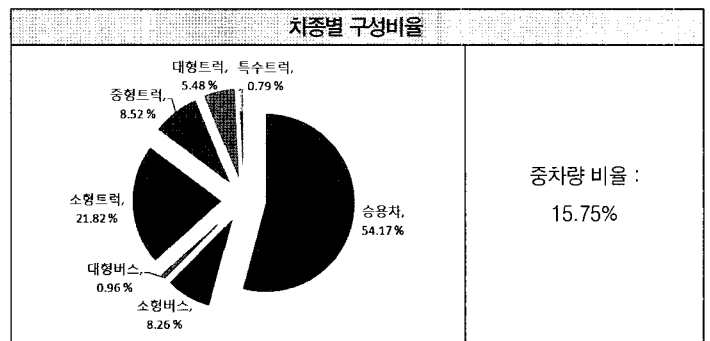
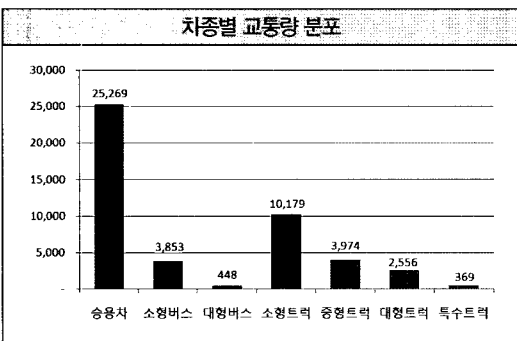


그림 2. 교통량 제원(목표년도 2035년)

표 3. 환기방식별 비교

구 분	사갱 + 제트팬 종류식	수직갱 + 제트팬 종류식	제트팬 종류식
개 요 도			
환기방식 개 요	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 사갱 급·배기구를 통해 외부 공기 공급 및 터널내 오염물질 배출</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 수직갱 급·배기구를 통해 외부 공기 공급 및 터널내 오염물질 배출</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 터널 천정에 설치된 제트팬의 흡입력을 이용하여 환기</li> </ul>
구 분	전기집진기+제트팬 종류식	횡류식 방식(급·배기 방식)	집중배기 방식
개 요 도			
환기방식 개 요	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 터널내 전기집진기를 설치하여 오염물질 정화(매연만 정화)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 터널내 환기 풍도를 설치하여 외부공기 공급 및 오염물질 배출</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 갱구부 환기소로 오염물질을 모아 제진필터를 통해 정화 후 배출</li> </ul>

표 4. 사갱 및 수직갱 환기방식 비교

구 분	사갱 + 제트팬 종류식		수직갱 + 제트팬 종류식	
	마산방향	부산방향	마산방향	부산방향
환 기 성능	축류팬	120m <sup>3</sup> /s × 4	105m <sup>3</sup> /s × 4	120m <sup>3</sup> /s × 4
	제트팬	φ1,030 × 24	φ1,030 × 24	φ1,030 × 32
주변현황				
환경성	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 생태자연도 1등급 지역을 피해 사갱 갱구계획</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• 생태자연도 1등급에 근접 설치 ⇒ 환경오염 가능</li> </ul>	
시공성	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 본선터널과 동일공종 적용으로 시공성 양호</li> <li>• 기존 도로에서 공사용 진입도로 개설 용이</li> <li>• 삭도 설치나 별도의 작업 불필요</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• 수직갱 시공깊이 400m 이상으로 시공성 불량</li> <li>• 환기탑 부근이 급경사지로 삭도 이용 필수</li> <li>• 삭도 설치시 송전탑 저축현상 발생</li> </ul>	
민원	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 시점부 굴착 최소화(L=541m)</li> <li>• 등산로 및 임도 단절 없음</li> <li>• 사갱 환기탑이 능선사이에 위치하여 조망 불가</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• 시점부 굴착과다(L=3,000m)로 대규모 민원 발생</li> <li>• 환기탑 설치시 등산로 단절로 인한 민원 발생</li> <li>• 산 경상부에 환기탑 설치로 경관훼손</li> </ul>	
공사기간	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 사갱을 이용한 공정계획 → 공기단축(8개월)</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• 시·중점 양방향굴착으로 계획공기(72개월) 준수 곤란</li> </ul>	

의 환경성·시공성·민원 등을 검토하였고 내용은 표 4와 같다.

검토결과 수직갱 방식은 지형여건상 시공성이 불량하

고 수직갱 공사시 사고 위험성이 높으며, 계획공기 준수가 어려워 적용이 불가한 것으로 검토되었다. 이에 진행 터널에 가장 적합한 환기방식은 환기성능이 수직갱과 동

일하며 환경성·시공성·민원·공사기간 단축 등에서 유리한 사갱을 이용한 제트팬 종류식 방식이 가장 합리적인 것으로 판단되었다.

### 3.2.3 사갱을 이용한 환기방식 비교

진해터널 환기 검토결과 상행(오르막차로)의 경우 사갱을 반드시 적용하여야 하고 하행(내리막차로)의 경우 제트팬만으로 환기가 가능하다. 이에 사갱을 이용한 환기방식에도 다음과 같이 적용할 수 있다. 상·하행 통합 사갱방식, 상행 사갱 + 하행 제트팬 방식과 같이 적용할 수 있고 각 방식의 사용성 검토는 표 5와 같다.

비교 1안과 같이 내리막차로에 제트팬 만으로 환기계획을 할 경우 제트팬 설치 대수가 54대로 거의 전 구간에 설치되어 환기 효율의 저하는 물론 운전자의 주행중 위압

감 조성이 불가피 한 것으로 판단되고, 종점부의 대장동 유원지와 소사동에서 오염물질 배출에 따른 대규모 민원 발생이 예상된다. 이에 터널내 상·하행 동등의 쾌적한 주행환경을 제공하고 환기효율, 시공성, 환경성, 민원 등 모든 측면에서 우수한 상·하행 통합사갱+제트팬 종류식 방식이 진해터널의 환기방식으로 가장 타당할 것으로 판단 되었다.

### 3.3 환기시설 적정성 검증

#### 3.3.1 터널내 오염농도 분석

터널내 차량에 의해 발생되는 오염물질 농도 및 풍속에 대한 적정성 검토를 수행하였다.

검토결과 상·하행 모두 매연, 일산화탄소, 질소산화물

표 5. 사갱을 이용한 환기방식 비교

구 분	설계적용 (상·하행통합 사갱방식)	비교 1안 (상행사갱 + 하행 제트팬 방식)
개 요 도	<p>상·하행 통합 연장 L=733m 이격거리 270m 상행 : 사갱 + 제트팬, 하행 : 사갱 + 제트팬</p>	<p>마산방향 연장 L=789 이격거리 25m 상행 : 사갱 + 제트팬, 하행 : 제트팬</p>
마 산 방 향	<ul style="list-style-type: none"> <li>축류팬 : <math>120\text{m}^3/\text{s} \times 4</math></li> <li>제트팬 : <math>\phi 1,030 \times 24</math>대</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>축류팬 : <math>125\text{m}^3/\text{s} \times 4</math></li> <li>제트팬 : <math>\phi 1,030 \times 24</math>대</li> </ul>
부 산 방 향	<ul style="list-style-type: none"> <li>축류팬 : <math>105\text{m}^3/\text{s} \times 4</math></li> <li>제트팬 : <math>\phi 1,030 \times 24</math>대</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>축류팬 : -</li> <li>제트팬 : <math>\phi 1,030 \times 56</math>대</li> </ul>
환기효율성	축류팬 4대 제트팬 24대로 환기기 배치 최적화	제트팬 56대로 환기기 배치 비효율적임
주행환경	제트팬 대수 최소화로 주행환경 양호	터널 전구간 제트팬 소음으로 주행환경 불량 및 운전자 위압감 조성
시공성	지반조사결과와 시점부 사갱구간의 암반은 비교적 양호함 사갱은 통합단면으로 작업차량 교행 가능하여 시공성 양호	지반조사결과와 시점부 사갱구간의 암반은 비교적 양호함 사갱단면으로 작업차량 교행이 곤란하여 작업효율성 저하
환경성	터널내 오염물 분산배출로 터널외부 환경저해요소 저감 사갱 갱구 1개소 발생으로 환경훼손 최소화	터널내 오염물 종점부 집중배출로 마천지구 주거환경 저해 사갱 갱구 1개소 발생으로 환경훼손 최소화
민원	종점부 민원다발 지역에 공사 최소화로 민원예방	종점부 민원다발 지역에 공사 최소화로 민원예방

배출 농도가 허용기준 이내인 것으로 검토되어 운영중 터널내부의 공기질은 적정수준으로 제어가 가능한 것으로 판단되었다.

### 3.3.2 환기시설의 적정성 검증

수치해석을 통해서 터널 출구에서 배출된 오염물질의 반대방향 터널 재유입 조건, 사갱 환기탑으로 배출된 오염물질에 대해 급기운행시 터널내로의 재유입 여부 및 농도 분석을 실시하였다. 또한, 진해 자은3지구와 인접해

있는 환기탑의 오염물질 확산을 검토하여 환기탑 계획의 적정성을 검증하였다.

검토결과 터널 갱구부 재유입 발생시 재유입율 16.22% 발생으로 추가환기기의 가동이 필요 없는 것으로 나타났다. 환기탑 오염농도 배출시 최고 재유입 농도는 3.06(ppm)이고 오염농도 확산시 환경 기준을 만족(1시간: 0.1ppm)하므로 환기설비 및 환기탑 계획이 적정한 것으로 판단되었다. 검토결과는 표 7, 8과 같다.

표 6. 터널내 오염물질 농도 및 풍속에 대한 적정성 검토

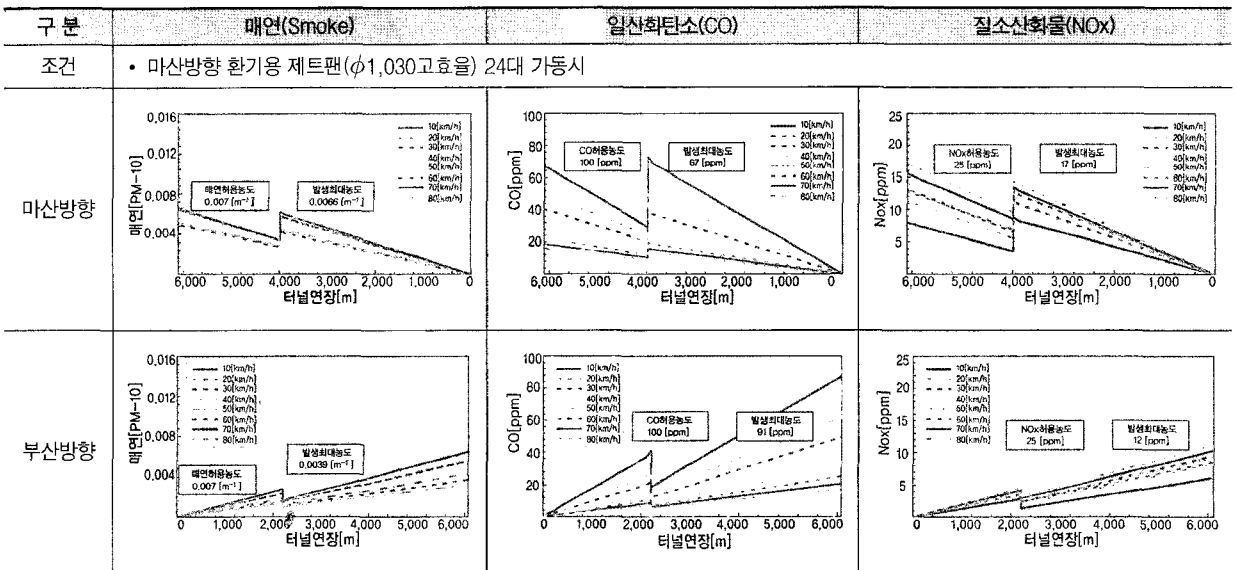


표 7. 갱구부 오염물질 재유입 검토

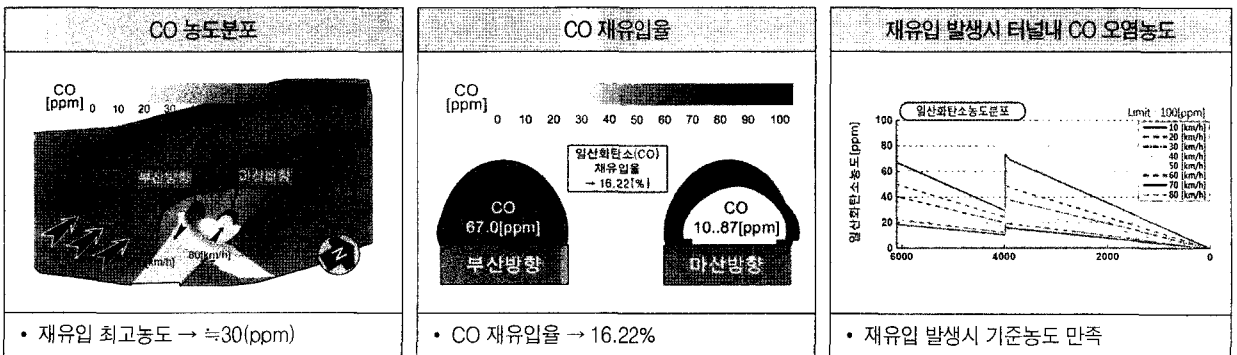


표 8. 터널내 압력분포 및 사갱 환기탑 재유입·확산 분석

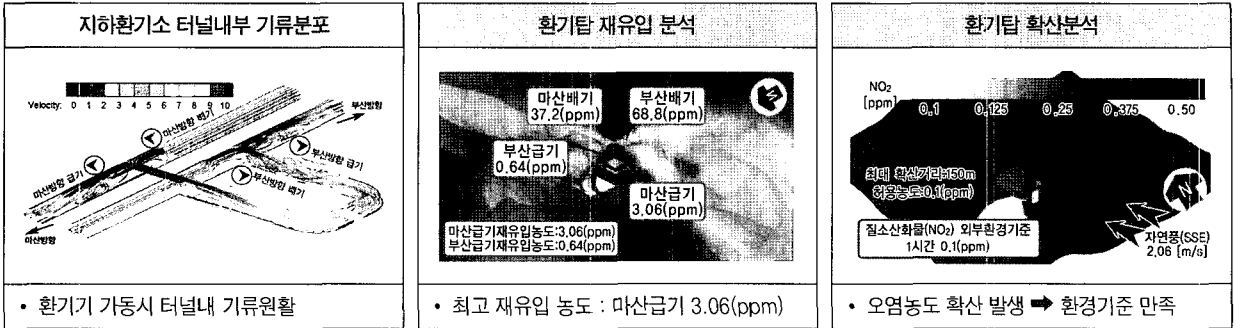


표 9. 진해터널 방재등급

등급	터널연장(L) 기준등급	적용	위험도지수(X)기준등급	적용
1	3,000m 이상 ( $L \geq 3,000m$ )	◎	$X > 29$	
2	1,000m 이상, 3,000m 미만 ( $1,000 \leq L < 3,000m$ )		$19 < X \leq 29$	◎
3	500m 이상, 1,000m 미만 ( $500 \leq L < 1,000m$ )		$14 < X \leq 19$	
4	연장 500m 미만 ( $L < 500$ )		$X \leq 14$	

## 4. 방재계획

### 4.1 기본방향

터널이 장대화 되면서 터널내에서 발생하는 화재 및 사고예방이 무엇보다 중요한 요소가 되고 있다. 장대터널에서 사고 발생시 대규모 인명피해가 발생할 수 있으므로 사고시 대피자가 신속히 대피할 수 있도록 방재시설물을 계획하는 것이 상당히 중요하다.

진해터널 방재시설물은 변경된 “도로터널 방재시설 설치 및 관리지침(2009.04)”에서 제시하는 기본 방재시설물을 설계에 반영하였고, 피난연결통로 간격축소 및 영상유고감지 설비 적용, 물분무 설비를 설치하여 국내 최고 수준의 방재시설을 계획하였다. 또한, QRA 검토를 통해 계획된 방재시설물의 적정성을 검증하였다.

### 4.2 방재설비 적용기준

국내 터널관련 방재설비 규정으로는 소방법, 화재안전기준(NFSC), 국토해양부 「도로터널 방재시설 설치 및 관리지침 (2009.04)」이 있으며, 본 설계에서는 각 기준을 각 항목별로 충분히 만족하도록 계획하였다. 진해터널의 방재등급은 표 9와 같다.

진해터널은 연장이 6.0km이상의 터널로 연장 기준등급으로 1등급, 위험도지수 기준등급으로 2등급에 해당한다. 각 등급에 맞는 기본 방재시설물 이외에 추가적으로 설치하는 항목에 대해서 기술하면 다음과 같다.

#### (가) 기본설비

진해터널 방재시설물은 도로터널 방재시설 설치 및 관리지침(2009.04)에서 제시하는 기본 방재시설물을 적용하였고 설치 현황은 그림 3과 같다.

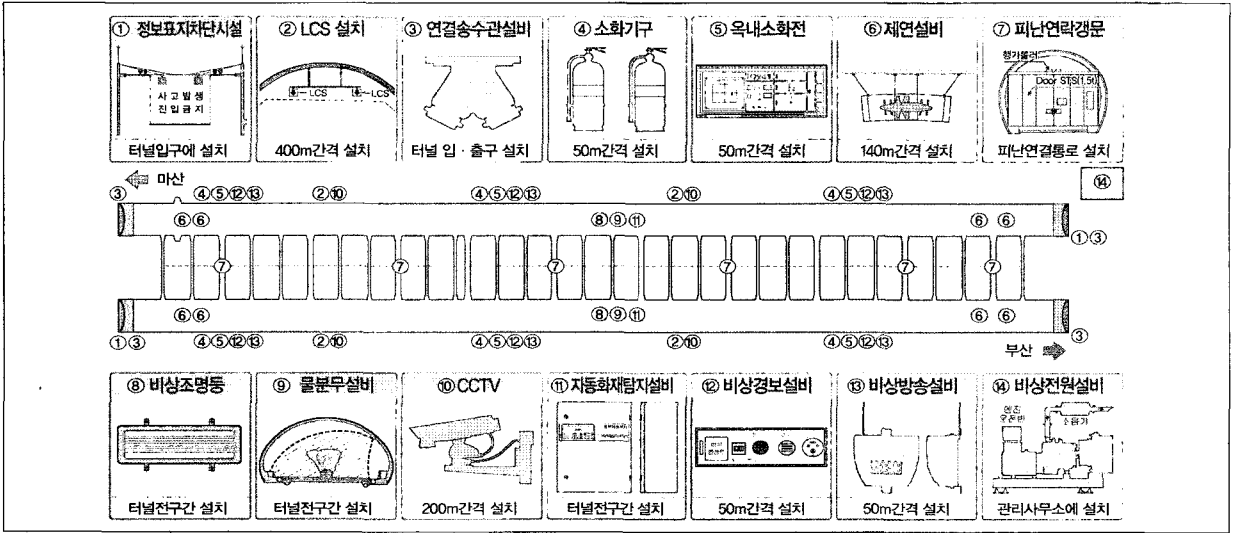


그림 3. 진해터널 방재시설물

표 10. 물분무 설비 및 비상주차대 적용기준 분석

물분무 설비 적용기준 분석	물분무 설비
<ul style="list-style-type: none"> <li>도로터널 방재시설지침(국토해양부, 2009)에 의거 위험도 기준 1등급터널에 설치 하도록 규정 ⇒ 진해터널 위험도지수는 29점으로 2등급에 해당함</li> <li>최근 소방시설 설치유지 및 안전관리에 관한 법률 시행령(행정안전부, 2008)에 의하면 3천 미터 이상 으로서 행정자치부령으로 정하는 위험등급 이상에 해당하는 터널에 필수 설치</li> </ul>	
비상주차대 적용기준 분석	측방여유폭 확대 적용
<ul style="list-style-type: none"> <li>도로의 구조, 시설기준에 관한 규칙(국토해양부, 2000)에 의하면 길어깨를 축소 하는 장대교, 터널에 750m 간격으로 설치</li> <li>진해터널 적용 ⇒ 길어깨(측방여유폭)을 2.5m로 확대 하여 전 구간 비상주차 가능하게 함</li> </ul>	

진해터널은 위험도 기준 2등급으로 물분무 설비가 필요하지 않으나 연장 6km를 상회하는 초장대 터널임을 감안하여 화재시 대피자의 안전 확보를 위해 물분무 설비를 터널 전 구역에 설치(2구역 동시방수 기준 100m 적용)하였다.

기본계획에서는 측방여유폭 2.0m적용 및 비상주차대를 750m간격으로 설치하였으나 본 설계에서는 측방여유폭을 2.5m를 적용하여 고속도로 터널에 준하는 단면을 터널 전 구간에 비상주차가 가능하게 하여 사고 및 고장시 신속히 차량을 길어깨 쪽으로 유도가 가능하게 하였다.



(나) 피난연결통로 간격 축소

한국도로공사의 「고속도로터널 환기시설 설계기준(2002. 10)」에서 적정화재규모를 20(MW)로 설정하여 경우에 따라 증감적용토록 하고 있으며, 도로의 차량특성에 따라 대형화물차의 비중이 높은 도로에서는 그 이상을, 승용차 전용도로에서는 그 이하의 값을 적용하는 추세이다.

따라서, 진해터널은 장대터널임과 동시에 대형화물차 비중이 높으므로 한국도로공사 설계기준에서 설정한 화재규모 20(MW)보다 큰 규모의 50(MW)를 선정하여 차량 화재시 대피자의 안전을 도모하였다. 기본계획시 제시한 피난연결통로 간격 250m 적용으로는 위 화재강도 적용시 대피자의 안전을 도모하지 못하므로 시뮬레이션 검토를 통하여 최적의 피난연결통로 간격을 결정하였다.

검토결과 50MW 화재발생 약 130초 이후 화재연기 역류가 발생(피난인지시간 120초 적용)하였다. 최대 피난가

능거리는 보행속도 0.85m/s 적용시(2003년 감사원 통보 결과) 202m였고 보행속도 1.0m/s 적용시(NFPA-130 성인남성 기준) 305m로 검토되었다. 따라서 보행속도를 0.85m/s 적용하여 피난연결통로 간격을 195m 이내로 적용하였다.

(다) 영상유고감지설비

영상유고감지설비는 도로터널에서 카메라가 실시간으로 제공하는 영상을 분석하여 터널 내 유고상황을 자동으로 구분하고 이를 운영자에게 경보하는 장치를 의미한다. 터널 내 유고상황을 감지하기 위한 경보설비의 일환으로 위험도지수기준등급이 2등급 이상인 터널에 설치를 권장하지만, 진해터널은 사고시 신속한 사고처리는 물론 2차 사고 예방을 위해 영상유고감지설비를 추가 설치하였다.

표 11. 화재시뮬레이션 결과

시간	역류거리	피난거리	안전여부
30초	0(m)	0(m)	안전
60초	0(m)	0(m)	안전
180초	31(m)	59(m)	안전
300초	144(m)	161(m)	안전
340초	202(m)	202(m)	위험

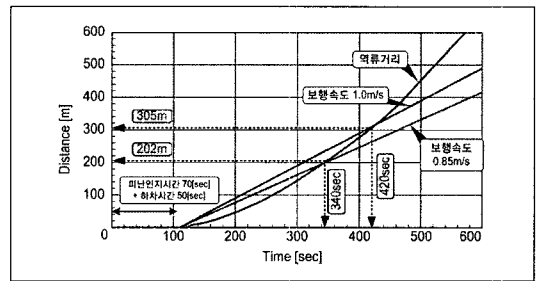


표 12. 피난연결통로의 설계 내용

기본계획	화재시뮬레이션 결과	설계적용
	<p>일산화탄소분포(CO) CO [ppm] 0 250 500 750 1000</p> <p>화재발생340초후</p>	

표 13. 영상유고감지설비 개요도 및 특징

개요도	특징
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 신속한 상황 감지 - 사고 상황 발생 후 15초 이내 감시 및 정확한 상황 판단 가능</li> <li>• 화재 이외의 사고 상황 감지</li> <li>• 경보 제공 후 해당 영상 저장</li> <li>• 실시간 영상을 통한 상황판단 가능</li> <li>• 필요시 유관기관 연계 가능</li> <li>• 영상처리 및 분석 : 반사광, 악천후 등의 외부 영향 최소화</li> </ul>

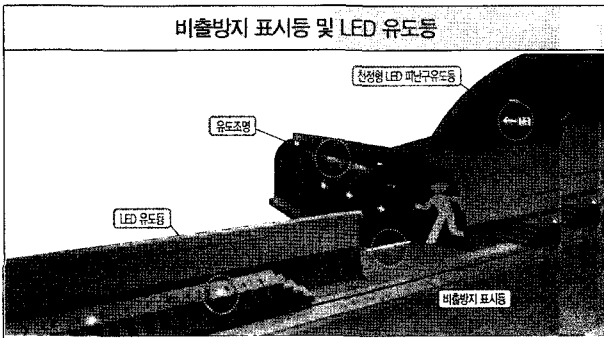


그림 4. 유도등 및 터널진입차단시설

(라) 비출방지 표시등 및 LED 유도등, 터널진입차단시설 설치

터널내 사고시 정전이나 화재연기 등으로 대피자의 가시거리가 미확보 되는 경우가 발생할 수 있다. 이에 대피자의 시선을 유도하고 안전하게 이동할 수 있도록 피난연결통로에 비출방지 표시등 및 LED 유도등을 공동구 상단에 설치하였다. 그리고 터널내 사고시 외부차량이 터널내로 진입하지 못하도록 터널진입차단시설을 설치하여 2차 사고를 예방하고자 하였다.

4.3 정량적 위험도 분석(QRA)

4.3.1 개요

구난방재계획의 수립시 기준에 적용되었던 방법은 위험의 유무만을 평가할 수 있어 정량적인 비교 및 평가가 미흡

하여 이에 대한 기술적인 보완방법의 도입이 필요하다. 정량적 위험도 분석 QRA(Quantitative Risk Analysis)는 사고시 사망자수(N)와 사고발생확률(F)의 곱으로 정의되어 통계학적 방법에 의해서 정량적으로 산출하는 기법을 의미한다.

4.3.2 QRA검토

(가) F-N curve

F-N curve는 특정수의 사망자를 발생시키는 사고가 일어날 확률을 도시한 그래프이다. 연간 사망자수에 대한 특정 사망자수 또는 그 이상의 사망자수가 발생할 수 있는 사고가 일어날 수 있는 확률(Frequency of Fatality / Number of Fatality per Year)로 표현된다. F-N curve상에 표현되는 ALARP는 'As Low As Reasonably Practicable'의 약자로서 경제성에 입각하여 '행할 수 있는 한 위험도를 낮게'라는 의미이다. 표 14는 본 설계에서 적용한 사회적 위험기준이다.

표 14. 사회적 위험기준

국가명	OECD 기준	내용
영역분포		<ul style="list-style-type: none"> <li>Log-Log 평면으로 영역을 형성하는 사회적 위험기준은 각각의 국가별, 적용대상별 차이가 있음</li> <li>과업구간 사회적 위험기준은 경제협력개발기구(OECD)와 국제상설도로협회(PIARC)에 의해서 제시된 사회적 위험도 평가기준을 적용함</li> </ul>
적용범위	<ul style="list-style-type: none"> <li>도로터널</li> </ul>	
위험구간	<ul style="list-style-type: none"> <li>Unacceptable - ALARP - Acceptable</li> </ul>	

(나) 검토조건 (표 15 참조)

표 15. 검토조건

구분	내용
분석 시나리오	<ul style="list-style-type: none"> <li>과업터널내 화재발생시 피난자의 안전성 증대를 위한 효율적인 안전시설물 적용을 위한 분석을 수행함</li> <li>과업터널내 방재기준 시설 적용시와 특화시설 적용에 따른 위험수준을 분석하여 효율적인 안전시설물 계획을 수립함</li> </ul>

(다) ETA(Event Tree Analysis) (그림 5 참조)

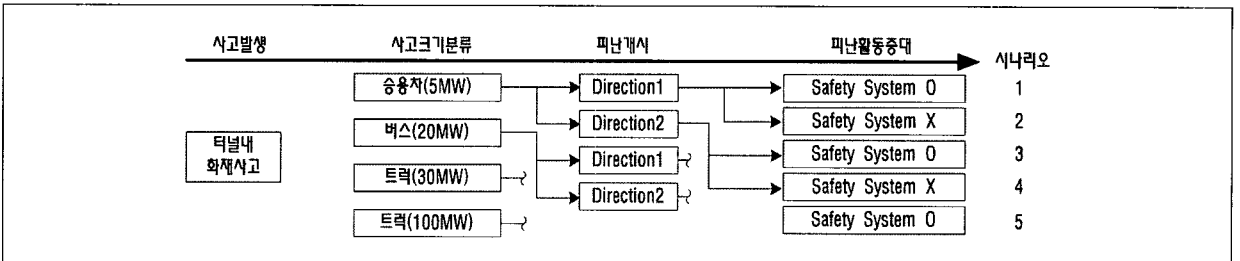


그림 5. Event Tree Analysis

(라) 위험도 분석결과 (표 16 참조)

표 16. 위험도 분석결과

방재기준 기본시설 적용시	특화시설 추가 적용항목	추가반영 시설물 적용시
<ul style="list-style-type: none"> <li>Unacceptable로 위험기준 초과</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>제연환기량 증대                             <ul style="list-style-type: none"> <li>➔ 50MW 제연환기량 적용</li> </ul> </li> <li>피난연결통로 간격 축소                             <ul style="list-style-type: none"> <li>➔ 250m → 195m(20% 축소)</li> </ul> </li> <li>영상유고감지설비 설치                             <ul style="list-style-type: none"> <li>➔ 사고감지 및 피난시간 단축</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ALARP분포의 위험수준 만족</li> </ul>

검토결과 피난시 피난자의 안전성 증대를 위한 추가시설(피난연결통로 195m간격, 영상유고 감지기, 제연풍량 증대)계획으로 피난자의 위험도가 크게 낮아지는 것으로 나타났고, 위험도는 ALARP영역으로 허용된 위험수준을 만족하는 것으로 나타나 진해터널에 계획된 안전시설물이 적절한 것으로 검토되었다.

## 5. 결론

터널이 점차로 장대화 되면서 터널에서 발생할 수 있는 화재 등의 사고에 대비한 환기 및 방재 계획이 설계에서 많은 비중을 차지하고 있으며 석동~소사간 도로개설공사 설계사례를 통해 살펴본 결과를 정리하면 다음과 같다.

첫째, 지반조건, 주거단지 및 민원, 시공공기 등을 종합적으로 검토하여 통합 상·하행 통합수직갱 또는 통합사갱 방식, 상행 사갱 및 하행 제트팬 방식 적용성을 검토하여

최적의 환기방식인 상·하행 통합사갱 방식을 적용하였다.

둘째, 환기탑 위치선정은 터널 주변현황에 따라 민감한 사항이므로 환경훼손을 최소화하고 주거단지에 오염물질 배출을 최소화할 수 있는 위치를 선정하였으며 수치해석을 통해 환기탑 위치의 적정성을 검증하였다.

셋째, 단면 계획시 고속도로 터널 단면에 준하는 측방 여유폭 2.5m를 적용하여 터널 전 구간에 비상주차가 가능하게 하여 사고시 안전성을 확보하였다.

넷째, 50MW급 대형화재 발생에도 대피자가 안전하게 피난할 수 있도록 피난연결통로 간격을 195m 이내로 적용하였으며 대피자의 가시거리 확보를 위해 비출방지 표시등 및 LED 표시등을 설치하여 대피자의 피난이 원활하도록 계획하였다.

다섯째, 영상유고감지설비 및 터널진입차단시설을 설치하여 터널내 사고예방 및 2차사고 방지를 도모하였으며, 정량적 위험도 분석(QRA)을 수행하여 기본시설외의 추가 방재시설의 적정성을 검증하였다.