

## QRA를 이용한 철도터널 방재 안전성 평가

김도식<sup>1)\*</sup>, 김도형<sup>1)</sup>, 김우성<sup>1)</sup>, 이두화<sup>2)</sup>, 이호석<sup>3)</sup>

### Estimation of Safety in Railway Tunnel by Using Quantitative Risk Assessment

Do-Sik Kim, Do-Hyung Kim, Woo-Sung Kim, Du-Hwa Lee and Ho-Seok Lee

**Abstract** Recently, as the construction of new railway and the relocation of existing line increase, tunnel structures grow longer. The railway fire accidents in long tunnel bring large damages of human life and disaster. The interest of safety in long tunnel have a growing and the safety standard of long tunnel is tightening. For that reason, at the planning of long tunnel, the optimum design of safety facility in long tunnel for minimizing the risks and satisfying the safety standard is needed. For the reasonable design of long railway tunnel considering high safety, qualitative estimation for tunnel safety is required. In this study, QRA (Quantitative Risk Assessment) technique is applied to design of long railway tunnel for assuring the safety function and estimating the risk of safety. The case study for safety design in long railway tunnel is carried out to verifying the QRA technique for two railway tunnels. Thus, the inclined and vertical shaft for escape way and safety facilities in long tunnel are planned, and the risks of tunnel safety for each case are estimated quantitatively.

**Key words** Quantitative Risk Assessment, Long Railway Tunnel, Tunnel Safety

**초 록** 최근 신설철도가 계획되거나 선형개량공사가 증가함에 따라 터널 구조물이 장대화되고 있다. 장대터널에서 터널내 열차화재 등이 발생하는 경우 대형사고를 초래할 수 있으므로 터널 방재에 대한 관심이 증가하고 있으며, 이에 따른 터널 방재기준도 더욱 강화되고 있는 실정이다. 따라서 터널계획시 방재기준을 만족하면서 위험도를 최소화할 수 있는 최적 방재시설물 계획이 요구되고 있다. 이와 같이 합리적인 장대터널 방재 설계를 위해서는 열차사고 통계분석 및 피난시뮬레이션을 기초로 한 보다 객관적이며, 정량적인 평가가 필요하다 할 수 있으며, 이를 위해서 본 연구에서는 정량적 위험도 분석기법인 QRA (Quantitative Risk Assessment)를 철도터널에서의 방재설계에 적용하고자 하였다. 대상터널은 연장 약 4.1 km의 산악터널(사례 I)과 연장 약 3.6 km인 도시지역터널(사례 II)로서 두 터널 모두 철도터널 관련 방재기준보다 향상된 터널방재성능이 요구되어, 도시지역 안전기준에 만족하는 합리적인 터널내 방재구조물 계획을 수립하기 위하여 정량적 위험도분석을 실시하였다. 장대터널에서의 갱외탈출로 개념의 사갱 및 수직구 계획을 수립하기 위하여 각각의 경우에 대한 QRA를 실시하고, 장대터널의 방재 안전성을 평가함으로써 실행 가능한 합리적인 수준의 터널 방재설계를 수행하고자 하였다.

**핵심어** 정량적 위험도분석(QRA), 장대터널, 터널안전

#### 1. 철도터널 안전/방재 기준 현황

국토의 70%가 산악지형으로 이루어진 우리나라는 지형적 특징으로 인해 도로 및 철도터널의 건설이 꾸준히 증가하고 있다. 철도분야의 경우 2020년까지 전국에 걸

친 노선개발사업을 추진 중이며, 현재 진행되고 있는 3 단계 개발 사업과 향후 진행될 4단계 개발 사업은 산악 지역이 발달한 강원도 지역과 영남내륙에 집중되어 있다(그림 1).

철도노선은 평면 및 종단 선형 조건이 엄격하고, 주변 교통체계(도로)와 상호 연관이 되지 않아 정거장구간을 제외한 일반노선구간에서 민원발생요인이 많다. 따라서 이와 같은 철도노선의 특성과 최근 주변 자연환경 훼손 최소화를 위한 환경 친화적 건설 정책으로 산악 철도터널건설이 급증할 것으로 예상되며 장대터널의 비중도 급속히 증가할 전망이다.

<sup>1)</sup> (주)삼보기술단 지반공학부

<sup>2)</sup> (주)삼보기술단 대표이사

<sup>3)</sup> (주)비엔텍아이엔씨 대표이사

\* 교신저자 : dgcivil@hanmail.net

접수일 : 2006년 8월 3일

심사 완료일 : 2006년 10월 16일

장대 터널의 증가추세에 따라 터널의 환기·방재의 중요성이 대두되고 있으며, 특히 터널 내 방재안전기준이 정립되지 않아 설계단계에서 많은 문제점 등이 제기되고 있으며 향후 더욱 심각해질 것으로 예상된다. 표 1은 국내의 주요 철도터널관련 방재/안전기준을 나타낸

것이다. 국내 철도터널 방재기준은 장대터널의 증가, 환기 및 방재 시스템의 다양화 및 복잡화, 관련 사회적 여건의 변화 등을 반영하지 못하고 최소안전기준을 제시하는 수준이다.

현재 발행된 철도설계기준(노반편)과 방재시설 설치기준(안)은 최소한의 안전기준 및 5 km 이상의 산악터널에 대한 기준만을 언급하므로 중소규모 터널에 대한 안전기준은 마련되지 않은 실정이다.

따라서, 터널안전에 관한 사회적 요구를 충족하기 위하여 철도터널 안전기준을 마련 중이며, 터널연장에 따른 방재안전시설과 안전성분석을 통한 터널방재안전설계를 주요내용으로 하고 있다.

2. 정량적 위험도 분석(QRA)

QRA는 통계데이터를 기반으로 위험을 수치적으로 계산하고 그 결과를 평가기준과 비교하여 적절한 수준의 위험도를 만드는 과정으로 그림 2와 같은 설계흐름을 가지고 있다.

위험요소들에 대한 정량적인 특성부여를 위하여 대부분의 QRA기법에서는 통계에 의한 데이터를 적용하고 있으며 통계적응에 대한 불확실성은 몬테카를로 시뮬레이션(Monte-Carlo Simulation)을 통해 감소시키고 있다(그림 3).

통계는 과거에 대한 사실을 기반으로 현재와 미래를 예측할 수 있으나 새롭게 발생할 수 있는 통계량이나 새로운 위험요소(기존의 통계데이터를 적용할 수 없는 위험요소)에 대해서는 정량화된 통계데이터를 적용할 수 없는 한계를 지니고 있어 최근 국내외에서는 모의실

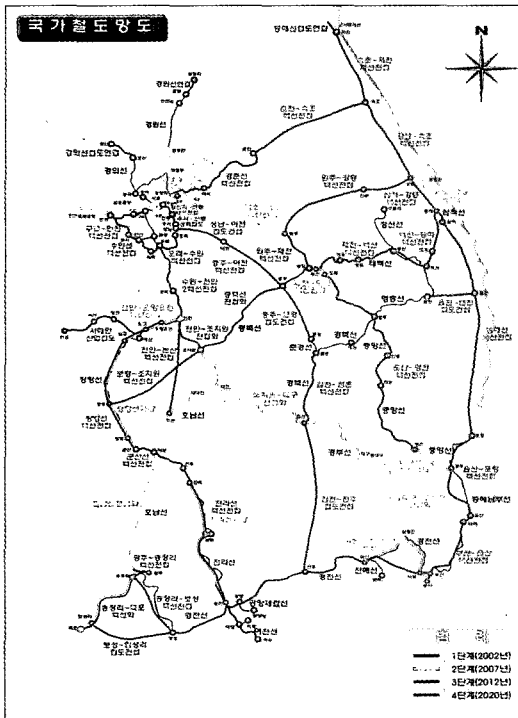


그림 1. 철도사업계획

표 1. 국내의 주요 철도터널 안전/방재 기준

구 분	방재기준	발행기관	발행년도	주요내용
국내 기준	철도 설계기준 (노반편:방재시설)	한국철도 시설공단	2004. 12	원활한 대피·구조 활동을 위한 최소기준 제시
	철도터널 방재시설 설치기준(안)	한국철도 시설공단	2004. 02	5 km이상의 산악터널에 대한 방재기준 제시
	고속철도 설계기준 (노반편:터널방재)	한국철도 시설공단	2005. 09	터널연장별 구체적인 세부 설치기준을 제시
	철도시설 안전기준에 관한 규칙	건설교통부	2005. 10	철도부에서의 안전관리체계 강화 철도시설의 안전기준과 유지관리
	철도터널 안전기준(안)	건설교통부	2006. 예정	사고예방, 피해저감, 대피 및 구조촉진 항목분류
해외 기준	UIC Code 779-9 : Safety Tunnels	International Union of Railway	2003. 01	목적별 방재시설물과 각 시설에 대한 평가 및 효과 제시
	NFPA Code 130 : Standard for Fixed Guideway Transit and Passenger Rail Systems	National Fire Protection Association	2000.	철도시스템의 전반적인 소방안전기준을 제시

험 또는 전산유체역학을 이용한 수치시뮬레이션을 통하여 그 한계를 보완하고 있다. 그러나 모의실험과 수치시뮬레이션은 그 수행횟수에 대한 제한이 있을 수 있어 반복수행을 통하여 근사적인 확률을 추정하는 몬테카를로 시뮬레이션을 적용하는 것이 모의실험 및 수치시뮬레이션을 이용하여 위험요소에 정량적인 특성을 부여하는데 필수불가결한 방법이라 판단된다.

열차 운행 중 철도터널에서 발생할 수 있는 위험에 대한 평가를 인명피해로 가정했을 때 철도터널의 위험요소는 터널붕괴에 의한 피해, 열차충돌 및 탈선 시 충격에너지에 의한 피해, 화재사고에 의한 피해 등이 있을 수 있다. 이중 국내의 사고통계를 볼 때 터널 내 화재사고에 의한 인명피해가 가장 크게 발생한다. 터널은 공간적인 제약으로 인해 화재발생시 화염으로부터 발생하는 높은 복사열과 대류열, 많은 양의 유독가스 등에 의해 인명피해를 발생시킬 수 있는 위험한 환경으로

급격히 변화될 가능성이 크다. 따라서 이러한 터널 내 환경과 터널로부터 탈출하면서 발생할 수 있는 인명피해의 상관관계를 분석하여 사고에 대한 위험결과를 도출하는 것이 가장 중요한 위험계산방법이라 할 수 있다.

열차사고 시나리오, 사고통계 분석자료, 화재·피난시뮬레이션 등의 분석과정을 거쳐 철도터널의 정량적 위험평가는 그림 4와 같이 F-N curve로 나타낼 수 있다. 이는 위험을 정량적인 수치인 “사고확률 × 사망자수”의 관계로 표현한 도표이며, 위험의 적정(관리)수준인 ALARP영역을 함께 나타낸다. ALARP(As Low As Reasonable Practicable)는 ‘실행할 수 있는 한 위험도를 낮게’하는 것으로 경제성 원칙에 입각하여 위험도를 낮추는 개념이며, ALARP 영역에 해당할 수 있도록 F-N curve 결과는 실행 가능한 범위 안에서 최대한 위험도를 낮추는 노력하여야 함을 의미하며, 도시지역 안전지표인 홍콩기준( $10^{-4} \sim 10^{-6}$  fatalities/year)을 평가기준으로 적용하였다.

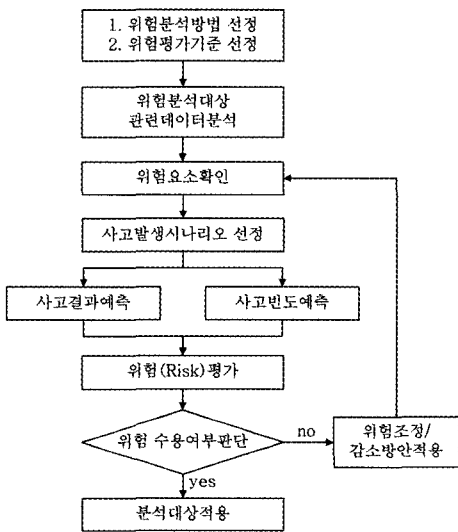


그림 2. QRA설계흐름

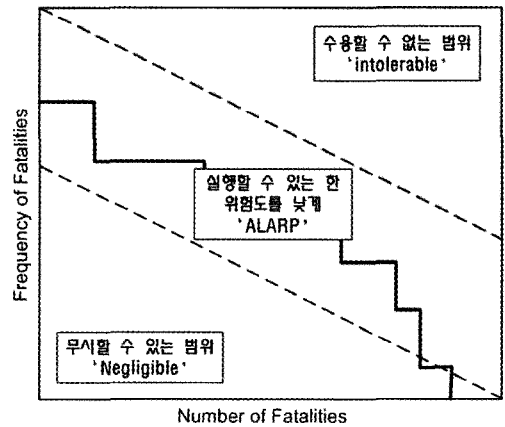


그림 4. F-N curve 개요

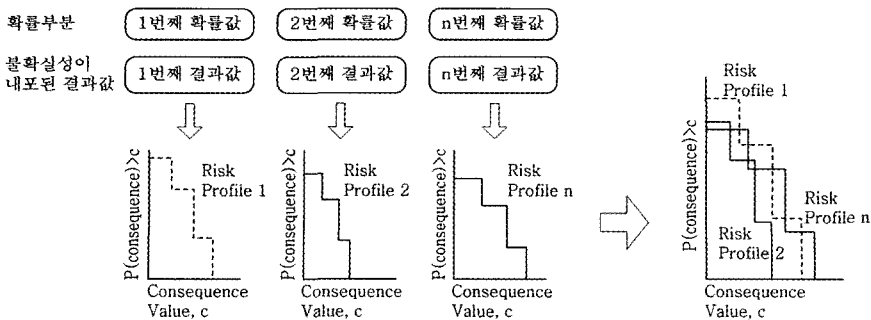


그림 3. 불확실성에 대한 몬테카를로 시뮬레이션

### 3. QRA에 의한 방재 안전성 평가

터널의 방재안전설계를 위하여 각 터널의 현황 및 특성을 파악하는 것은 제일 우선시 되어야 할 사항이다. 두 터널 모두 경제성의 이유로 방재안전상 성능이 우수한 ‘연결통로가 적정한 간격으로 배치된 단선 병렬터널’ 또는 ‘적정한 간격으로 피난터널과 연결된 복선터널’이 아닌 ‘구분된 대피통로가 없는 복선터널’로 계획되었으며, 터널 내 인접공구와 공구분할이 이루어진 공통점을 가진다. 본 검

토의 대상터널들의 주요현황은 표 2에 나타내었다.

철도터널에 대한 QRA를 하기 위하여 열차화재사고 및 승객의 대피상황에 대한 기본적인 적용조건을 설정할 필요가 있으며, 표 3은 QRA 적용 조건 및 가정사항을 나타낸다.

본 검토에서는 갱외탈출로 접속부에 차단구역이 설치되어 있는 것으로 계획하였으며, 이는 갱외탈출로에 연기 침투를 억제하여 사갱 전구간이 안전한 구역으로 확보하기 위한 시설이다(표 4). 차단구역은 2중 방화문과

표 2. 터널현황 및 특성

구 분	분석사례 I	분석사례 II	비 고
터널형식	복선터널	복선터널	
운행차량	전동차 (여객전용)	전동차/기관차 (여객 및 화물수송)	
설치지역	준도시지역	도시지역	
연장	4.1 km	3.6 km	
과업연장	3.5 km	2.1 km	터널내 공구분할
최대중단경사	6.0 ‰	5.8 ‰	
공사용 작업구	1개소(사갱)	-	공기 검토후 적용
소요환기구	-	2개소(수직환기구)	소요환기량 검토후 적용

표 3. QRA적용 조건 및 가정

구 분	조 건	비 고
화재위치	구간별 중심	■ 양방향 피난 시 피난거리를 동일기준으로 적용
	열차 중앙	■ 양방향 대피를 동시에 고려
화재열량	15 MW	■ 철재차량(IC), 약 20분 후 최대치에 도달
피난방향	양방향	■ 화원을 중심으로 양방향 대피
열차방향	양방향	■ 상행 및 하행 진행시 위험을 동시에 고려

※ 피난대피 가정사항

- 1) 화재 발생과 동시에 기차가 정지하며 승객의 피난이 이루어짐
- 2) 열차로부터 대피는 운전실의 비상출입문과 객실 좌우의 출입문을 이용함
- 3) 피난시 열차와 선로바닥의 높이차에 의한 피난속도의 감소는 고려하지 않음
- 4) 승객은 비상 조명등이 설치된 선로의 양쪽 대피로를 이용하는 것으로 가정함

표 4. 접속부 차단구역 개요

구 분	개요도	특 징
차단구역 있음		<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 갱외탈출로 접속부에 차단구역설치</li> <li>■ 방화문과 가압송풍기(자압팬)를 설치하여 본선으로부터의 유독가스 침입을 차단</li> </ul>
차단구역 없음		<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 방화문(차단구역)이 없는 경우 갱외탈출로를 통한 대피시 위험성이 높음</li> </ul>

연기침투 방지를 위하여 가압송풍기(차압팬)설비로 구성된 안전지역이다.

3.1 철도터널의 방재 안정성 평가사례 I

사례 I 터널의 경우 공기 내 터널굴착을 완료하기 위하여 반드시 공사용 작업구(사갱)가 1개소 이상 설치되어야 하는 상황이며, 터널연장 약 2/3부근의 저토피 구간에 공사용 작업차량의 교행이 가능한 공사용 사갱을 계획하였다. 이는 공사 중에는 굴착 및 버력반출로 이용되지만, 공용 후 갱외탈출로로 이용이 가능한 터널

내 안전구조물이다. QRA 적용 조건 중 인접공구에 설치 계획된 환기용 수직구는 분석대상에서 제외 하였으며, 기본적인 way finding system(비상조명등, 피난유도등, 유도표지판 등)은 터널 전연장에 적용하였다.

갱외 탈출로 개소 수에 따라 3가지 경우에 대하여 분석을 실시하였으며 결과는 다음과 같다.

갱외탈출로가 없는 경우인 case I 과 1개소인 case II 경우 전체 위험도는 ALARP기준에 만족하지 못하는 위험도를 나타내었다. 이는 정량적인 수치로 약 30%의 위험 감소 효과를 볼 수 있지만 안전한 터널로써의 기

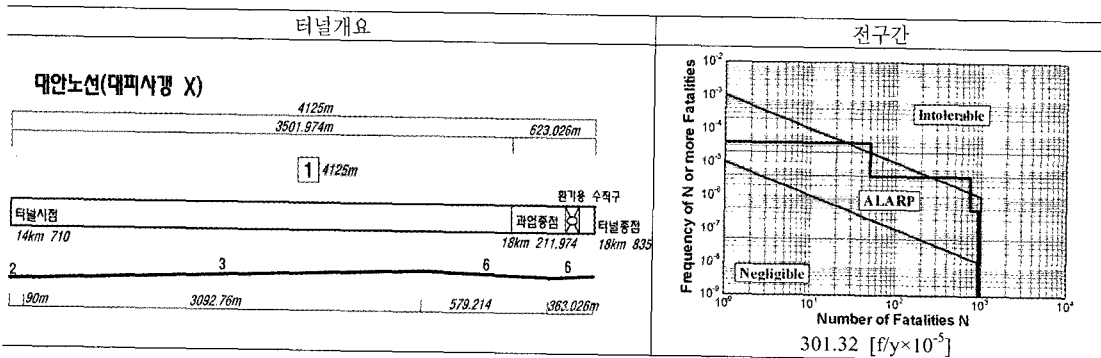


그림 5. case I 분석결과

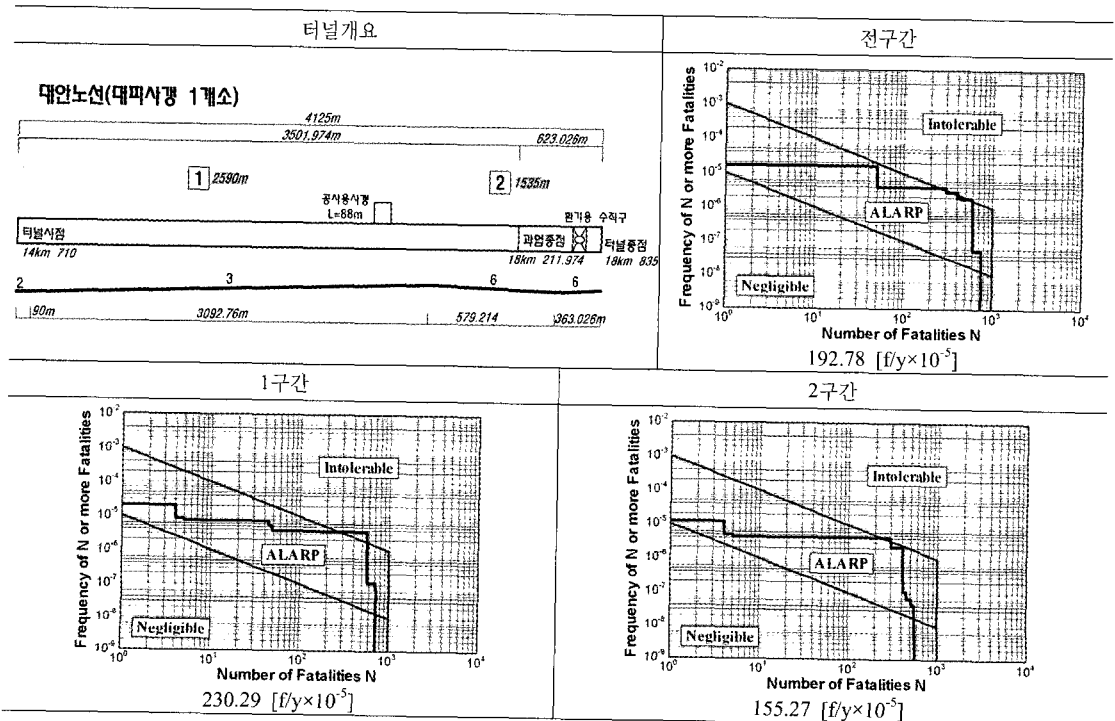


그림 6. case II 분석결과

능을 수행할 수 없음을 나타낸다. 따라서 공사용 사갱 외에 별도의 비상차량 통행이 가능한 대피용 사갱 1개소를 추가적으로 설치하는 방안을 수립하여 이에 대한 위험도 분석을 수행하였다.

그림 7은 갱외탈출로가 2개소인 경우에 대한 QRA 결과이다. 여기서 1구간과 상대적으로 구간연장이 짧은 2구간의 위험도는 ALARP 기준에 만족하며, 3구간에서는 부분적으로 ALARP기준에 접하는 분석결과를 나타내어 상대적으로 위험도가 높은 것을 알 수 있다. 또한 전구간에 대한 평가에서 ALARP구역 이내의 분포를 나타내므로 갱외탈출로 2개소를 설치할 경우 ALARP 기준에 만족하는 적정 수준의 안전성능을 발휘할 수 있을 것으로 판단된다.

여기서, 1구간과 3구간은 비슷한 피난대피거리임에도

불구하고 3구간의 위험수준이 약 2배에 이르는 것은 3구간에 상·하향 중단경사가 바뀌는 중단 변환점이 있어 화재발생시 유독가스의 배출속도가 느려 상대적으로 위험도가 높게 평가된 것으로 판단된다.

사례분석 I에 대한 위험도 분석결과, 대피사갱의 개수에 따라 위험도 변화가 뚜렷하게 나타나며 갱외탈출로(사갱)수가 많을수록 피난거리의 감소로 인하여 위험도 수치의 정량적 감소효과가 크게 나타나는 것으로 분석되었다. 즉, 터널내 화재발생시 가장 큰 위험요소는 피난대피거리이며, 중단경사 조건에 따라 화재연기 전파에 많은 영향을 미치는 것을 알 수 있다.

3.2 철도터널의 방재 안전성 평가사례 II

사례분석 II의 경우 전동차와 기관차의 병행 통과구간

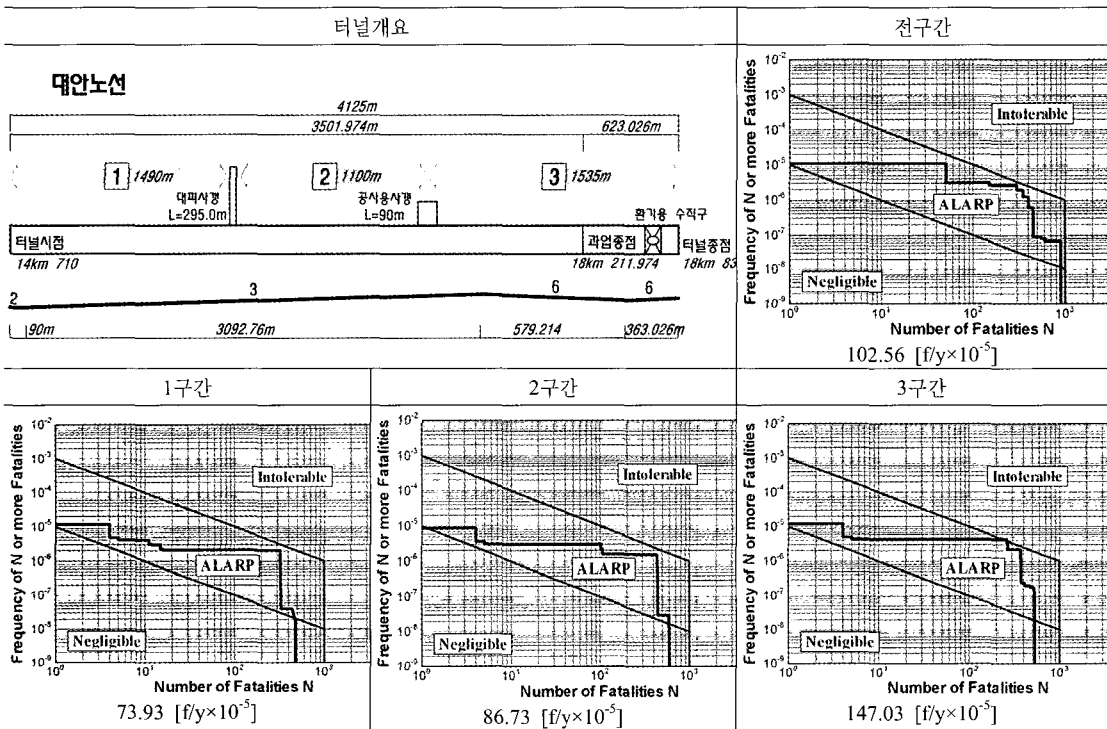


그림 7. case III 분석결과

표 5. 정량적 위험 분석결과 : 사례분석 I

구 분	case I	case II	case III
대피탈출로	없음	1개소(사갱)	2개소(사갱)
최대피난거리	2,067.5 m	1,295 m	767.5 m
리스크(R) × 10 <sup>-5</sup> f/yr	301.32	192.78	102.56
위험감소율	기준	36% 감소	66% 감소
ALARP기준	만족 못함	만족 못함	만족

으로써 터널 굴착공기뿐만 아니라 기관차 운행시 터널 내 오염물질 제거(회석)를 위한 적정 소요환기량을 확보할 필요성이 대두 되었다. 이에 따라 터널방재안전설계는 터널굴착을 위한 작업구계획 및 환기구설계를 고려하여 수직구(갱외탈출로)를 계획하는 것으로 설계하였다. 사례 I 과 달리 인접공구에 설치 계획된 환기용 수직구는 분석대상에 포함하였으며, 이는 자연환기방식에 의한 환기설계를 위하여 인접공구의 환기수직구가

필수적이기 때문이다. 갱외탈출로 개소 수에 따른 QRA 결과는 다음과 같다.

갱외탈출로가 없는 경우(case I) 결과곡선이 'ALARP' 범위를 초과 'Intolerable' 구역에 위치하여 위험허용범위를 초과한다. 이는 터널내 화재사고시 피난거리가 과도하게 길어 위험이 크게 나타났으며 대량의 사상자를 발생시킬 확률이 크므로 추가적인 안전조치가 필요하다. 갱외탈출로를 1개소 설치할 경우(case II) 1구간의 경우

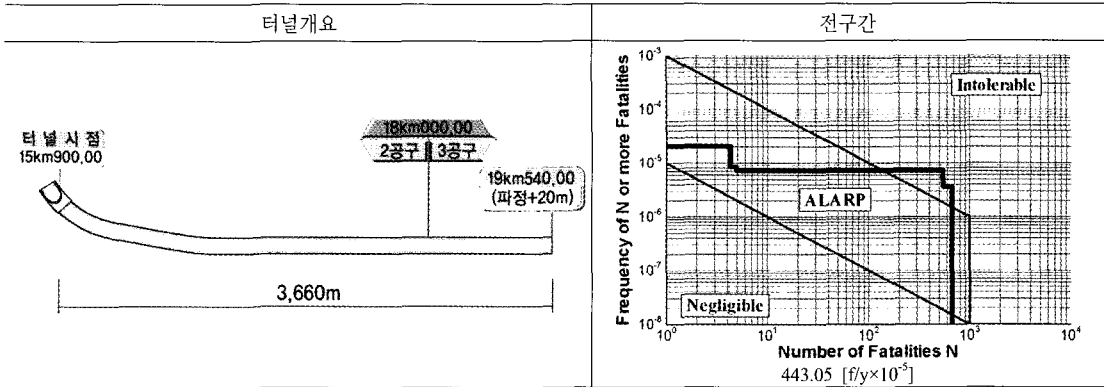


그림 8. case I 분석결과

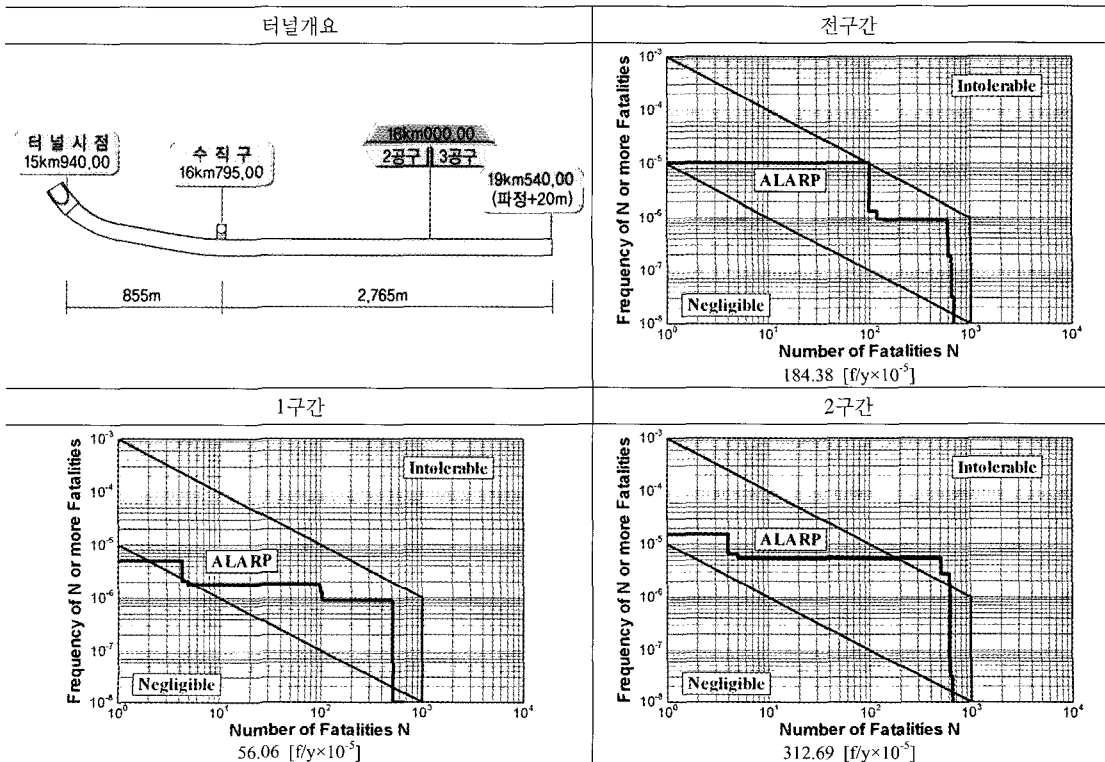


그림 9. case II 분석결과

위험도가 'ALARP'의 범위에 드는 것으로 나타났으나, 2구간의 위험도가 상대적으로 높게 형성되어 전체적인 위험도가 수용할 수 있는 범위를 벗어나는 것으로 나타났다. 과업구간의 위험도를 감소시키기 위하여 인접공구에 갱의탈출로를 설치할 필요성이 있으며, 이는 방재 성능 뿐만 아니라 환기성능확보를 위하여 필수적인 사항으로 판단되었다.

갱의 탈출로를 2개소 설치한 경우(case III) 터널 전연장에 대한 안전기준은 만족하지만, 2구간의 위험도가 'Intolerable' 범위에 해당해 상대적으로 긴 피난거리의 영향으로 인하여 터널의 방재안전기준을 충족시키지 못하는 결과를 나타내었다.

방재안전성능 향상을 위한 추가 대책이 필요하였고, 피난대피거리가 약 2.0 km에 이르는 2구간의 대피거리를 줄일 수 있는 2가지 방안이 검토 되었다.

첫 번째 대책은 터널내 대피소(그림 11)를 설치하는 방안으로 위험도 감소효과는 기대되지만, 화재 초기 진입이 불가능한 경우 대피소내 피난인의 대량 참사가 예상 되며 또한, UN 경제사회위원회(도로터널 방재안전 전문가 집단)에서는 폐쇄적인 갱내대피소는 더 이상 설치하지 말 것을 권고하고 있으므로 갱내대피소 설치는 적절한 대책이 아닌 것으로 판단하였다.

두 번째 대책은 2구간의 대피거리를 줄일 수 있도록 접속부를 중점적으로 약 305 m 이격한 사갱을 설치하는 방안을 고려하였다. 사갱은 수직구에 비하여 대피인원의

탈출이 용이하고, 비상차량 및 중소형 소방차 진입이 가능하여 화재상황에 신속하게 대응할 수 있는 장점이 있다. 사갱을 설치할 경우 2구간의 피난대피거리가 2.0 km에서 1.7 km로 줄어 'ALARP'기준을 만족할 것으로 기대되었지만, QRA 전에 실시한 적용성 평가에서 매우 불리한 결과를 나타내었다. 경제성 측면에서 수직구에 비하여 약 3배의 공사비와 굴착공기가 소요되며 사갱선형에 편토압 지형이 연속적으로 발생하여 터널안정성 측면에서도 매우 불리하게 평가 되었다(그림 12 참조).

또한 접속부 상부에 사철이 있어 터널 굴착시 대규모 민원이 예상되어 사갱 설치안은 적용되지 않았다.

QRA 결과, 사례II 터널의 방재안전 구조물계획으로 'ALARP'기준을 만족하는 것은 막대한 추가소요비용이 필요하고, 이는 현실적으로 적용이 불가능한 것으로 판단되었다. 따라서 터널완공 시기에 관계없이 구조물 계획보다 상대적으로 적은 비용으로 설치가 가능한 터널

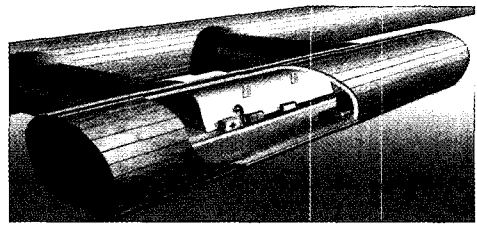


그림 11. 갱내구난대피소

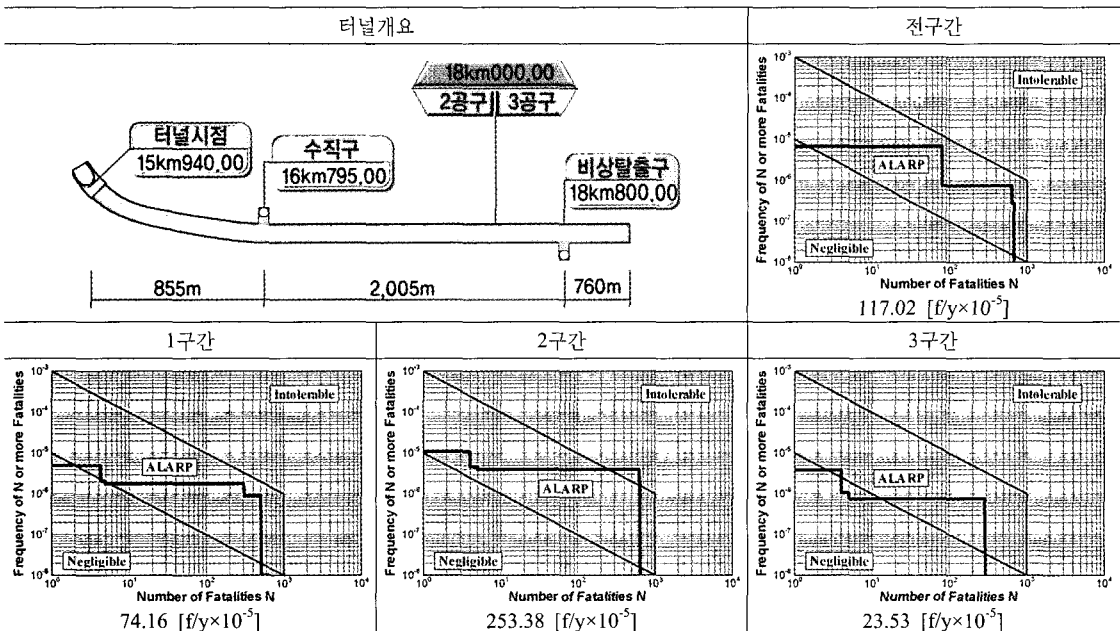


그림 10. case III 분석결과



안전시설에 대하여 살펴보았다. 자기구난(self rescue)에 바탕을 둔 피난대피가 이루어 질수 있는 터널을 설계하기 위하여 기본적인 way finding 설비(피난유도등, 비상조명등, 유도표지판 등등)는 이미 QRA의 기본설정상항으로 적용되었다. 이러한 터널내 설비시설 이외에 '위험'을 저감시킬 수 있는 요소는 차량의 방재성능, 방재시나리오에 따른 훈련정도, 구난 및 대피를 위한 응급기재 등이 있으며, 기재물 중에서 비상마스크는 대피자의 생존시간을 증가시키는 기능을 하므로 비교적 쉽

게 QRA에 적용 가능하다. 따라서 터널내 비상마스크를 설치한 경우에 대하여 위험분석을 실시하였으며, 그 결과는 그림 13과 같다.

2구간은 연장이 상대적으로 가장 길어 다른 구간에 비해 위험도가 높지만 비상용마스크를 설치함으로써 'ALARP'범위내에 FN-curve가 형성되며 전구간에 대한 위험도가 'ALARP' 범위에 만족하게 나타났다. 터널내 화재발생시 위험도는 피난인원, 종단경사, 안전시설, 피난거리 등의 다양한 요소들에 의해 분석되어지며 특히

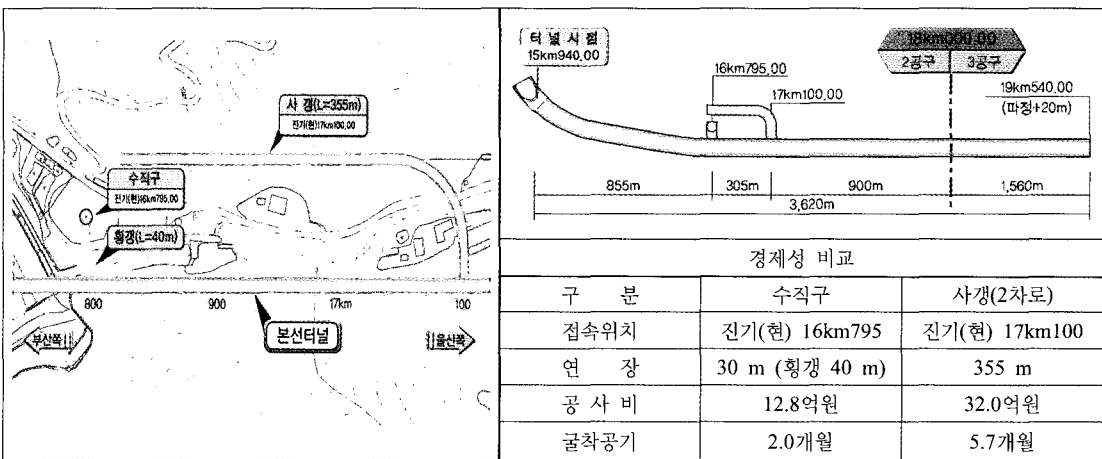


그림 12. 사갱설치 방안 검토

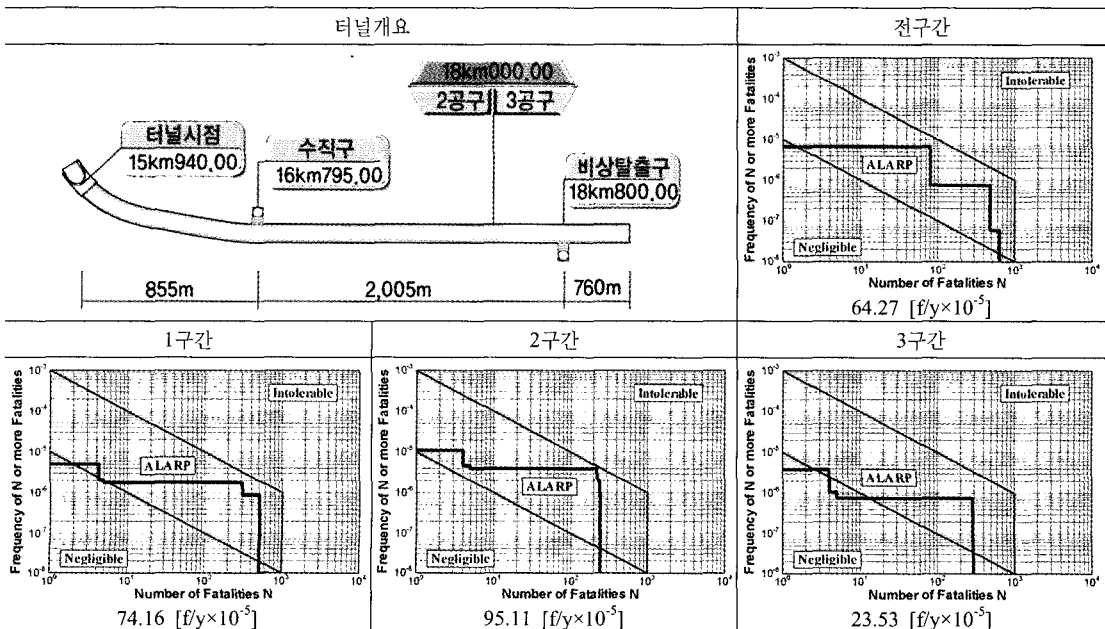


그림 13. case IV 분석결과

피난거리가 많은 비중을 차지하는 것으로 분석되었다.

긴 피난거리는 갱의탈출로 설치를 통하여 위험을 감소시킬 수 있으며, 이는 터널구간의 전체적인 위험도를 낮추는데 큰 역할을 한다. 또한, 위험도를 낮추는데 있어 구조적인 문제에 직면할 경우 비상용마스크 등과 같은 피난용 안전시설물을 설치하여 구조물 설치와 같은 방법 외에 추가적인 방법으로 안전을 도모할 수 있다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 터널의 방재설계에 정량적 위험도 분석기법을 도입하였으며, 경제성 및 사회적 요구수준을 고려하여 실행 가능한 합리적인 수준으로 터널방재 안전계획을 수행하였다. 터널의 평면선형, 종단경사, 주변지형을 이용하여 실현 가능한 갱의 탈출로(사갱, 수직구)계획을 수립하고, 각각의 경우에 대한 QRA를 수행한 결과는 다음과 같다.

- 1) 장대터널에서의 방재 특성을 고려할 수 있는 정량적 위험도 분석기법인 QRA를 적용한 결과, 방재 계획에 따른 터널내 위험도를 정량적으로 평가할 수 있었으며, 이는 장대터널의 방재계획 수립시 매우 유용하게 활용될 수 있음을 확인하였다.
- 2) 장대터널내 화재발생시 가장 큰 위험요소는 피난대피거리와 종단경사 변화점으로 분석되었으며, 터널내 구간별 위험도 분석결과를 고려하여 갱외탈출구의 위치선정 및 추가적인 방재설비설치 여부 등을 종합적으로 판단하여야 한다.
- 3) 한계가 나타날 경우, 실현가능한 방재설비를 설치하여 보다 안전한 터널방재계획을 수립하여야 한다.

다. 즉 ‘ALARP’ 범위에 해당하는 결과를 위하여 ‘실행할 수 있는 한 위험도를 낮게’ 하는 권고에 의해 기술적 또는 경제적 제반사항을 고려하여야 한다.

현재 터널에서의 방재문제는 장대 터널의 중요한 설계요소로 다루어지고 있다. 즉 철도터널의 방재안전을 위하여 ‘대피로폭이 충분히 넓고 적정한 간격으로 연결된 단선병렬터널’이나 ‘적정한 간격으로 피난터널과 연결된 복선터널’을 건설하는 것이 매우 우수한 방안이지만 경제성 및 시공성 등과 같은 현실적인 제약이 있음은 물론이다. 따라서 장대터널에서의 방재성능을 극대화하기 위하여 터널 특성에 적합한 실행 가능한 구조물 계획과 안전시설을 계획하는 것이 가장 중요하다고 판단되며, 또한 국내실정에 적합한 터널 방재안전기준이 정립되어 합리적인 수준에서 장대터널 방재설계 및 시공이 이루어 질 수 있도록 하여야 한다.

#### 참고문헌

1. 전덕찬 외, 2004, “정량적 화재위험성평가(QRA)기법을 적용한 터널방재 설계사례”, 한국지반공학회 창립20주년 기념 지반구조물 설계·시공 사례집
2. 김원국, 2003, “터널방재설계 최적화에 관한 연구”, 대한토목학회, 터널시공기술향상 대토론회 논문집
3. S.N.Jonkman, P.H.A.J.M. van Gelder, J.K. Vrijling, 2003, “Flood Risk Calculated with Different Risk Measures”, European Safety and Reliability Conference
4. ISO/TS 13571, 2002, “Life-threatening components of fire Guidelines for the estimation of time available for escape using fire data”
5. Hakan Frantzich, 1998, “Uncertainty and Risk Analysis in Fire Safety Engineering”, Lund University



**김도식**  
 2000년 동국대학교 공과대학 토목공학과, 공학사  
 2002년 한양대학교 일반대학원 토목공학과, 공학석사

Tel: 02-3433-3000  
 E-mail: dgcivil@hanmail.net  
 현재 (주)삼보기술단 지반공학부 대리



**김도형**  
 1999년 고려대학교 공과대학 토목환경공학과, 공학사  
 2001년 고려대학교 일반대학원 토목환경공학과, 공학석사

Tel: 02-3433-3000  
 E-mail: shipdo@chol.com  
 현재 (주)삼보기술단 지반공학부 대리



**김우성**  
 1996년 경기대학교 공과대학 토목공학과, 공학사

Tel: 02-3433-3037  
 E-mail: aguns@hanmail.net  
 현재 (주)삼보기술단 지반공학부 차장



**이두화**  
 1976년 한양대학교 공과대학 토목공학과, 공학사

1994년 한양대학교 산업대학원 토목공학과, 공학석사  
 2005년 한양대학교 일반대학원 토목공학과, 공학박사  
 Tel: 02-3433-3027  
 E-mail: samboeng@chol.com  
 현재 (주)삼보기술단 대표이사



**이호석**  
 1996년 건국대학교 공과대학 건축공학과, 공학사  
 1998년 건국대학교 공과대학 건축공학과, 공학석사

Tel: 02-529-4796  
 E-mail: bnttek@bnttek.co.kr  
 현재 (주)비엔텍아이엔씨 대표이사