

철도터널 정량적 위험도 분석에 관한 연구

박경훈, 유용호, 유지오*
한국건설기술연구원, 신홍대학*

A Study on the Quantitative Risk Analysis in Railway Tunnels

Park, Kyung Hoon · Yoo, Yong Ho · Yoo, Ji Oh*
KICT, Shin Heung College*

요 약

국내 철도터널 방재관련 법규에는 정량적 위험성 분석을 수행하여 주요한 방재시설의 설치 여부 및 규모를 결정하도록 규정하고 있으나 위험성 분석을 수행하기 위해 필요한 세부 기준에 대해서는 정해진 것이 없어 이에 대한 검토가 필요한 것으로 판단된다. 따라서 본 연구에서는 국내 철도터널의 정량적 위험도 평가 사례를 수집하고 이를 분석함으로써 철도터널 방재시설의 위험도 감소효과를 분석하고자 하였다. 정량적 위험도 평가사례분석 결과 Risk Index에 가장 크게 영향을 미치는 인자는 터널의 경사도로 분석되었으며, 방재설비 중 대피통로와 배연설비가 위험도 저감효과가 가장 높은 것으로 분석되었다.

1. 서 론

최근 들어 철도 터널의 화재안전성 재고를 위하여 화재시의 연기확산 및 승객의 피난대피 해석을 수행하고 연기확산에 따른 터널 내 대피승객의 사망위험을 정량적으로 분석하고자 하는 노력이 산학연 모두에 걸쳐 이루어지고 있다. 이는 터널 내 화재시의 위험도 수준을 평가함으로써 기존 방재시설의 적정성 여부를 검토하고, 터널별 방재시설 보강계획을 수립하는 데 그 목적이 있다. 각종 방재시설은 터널 내 안전수준을 높여주어 이용자의 생명을 확실히 보호할 수 있는 장점이 있으나 공사비 증가에 따른 경제적인 문제가 대두된다. 따라서 안전성과 경제성을 모두 충족시킬 수 있는 적절한 수준의 방재시설 계획이 요구되며, 사회적으로 용인될 수 있는 수준의 위험도를 고려하여 방재시설의 규모를 한정할 필요도 있다. 방재시설 규모의 적절한 수준은 대중이 요구하는 안전수준과 국가 경제적인 측면을 종합적으로 고려하여야 하며, 방재계획의 적절한 수준을 판단하기 위한 기법으로 정량적 안전성 분석(Quantitative Risk Analysis, QRA)을 수행하는 것이다.

따라서 본 연구에서는 최근 수행되어진 국내 철도터널의 정량적 위험도 평가 사례를 수집하고 이를 분석함으로써 제연설비 및 대피시설의 위험도 감소효과를 평가하고자 하였다.

2. 국내 철도 터널에 대한 정량적 위험도 평가 사례 분석

2.1 철도터널 정량적 위험도 사례 분석 결과

“철도시설 안전기준에 관한 규칙”에서는 연장 1km 이상의 터널에 대해서 QRA를 수행하여 주요 방재시설의 설치여부 및 규모를 결정하도록 규정하고 있으며, QRA를 통해 터널의 위험수준을 정량화함으로써 계획된 방재계획이 적절한지의 여부를 판단할 수 있다. 이러한 위험수준은 다음과 같이 표현되며, 터널별 위험수준이 사회적 위험 기준과 비교하여 안전한 범위에 있는지를 평가하여 방재대책이 적절한지를 판단하게 된다.

표 1 및 그림 1은 수도권과 영남권 등 5개 지역본부 방재보강 보고서에서 제시된 철도터널 정량적 위험도 사례 분석 결과를 도시한 것이다.

표 1. 수도권과 영남권 등 5개 지역본부 방재보강을 위한 QRA 결과표

터널명	연장	경사도 (%)	표고차	단면적	Risk Index	비고	터널명	연장	경사도 (%)	표고차	단면적	Risk Index	비고
왕십리~선릉	1710	3.1	5.3	65	2.00E-06		미음	1326	-6	-8	72.24	2.10E-05	
오리~수원	2656	0.4	1	58.9	9.93E-04		금암	4520	-0.3	-1.5	63.24	1.58E-03	초과
연수~송도	1114	6	6.7	58.9	2.70E-05		상동 1	4265	-12.6	-53.8	55.2	2.89E-03	초과
송도~용현	1598	-12.5	-20	58.9	3.71E-04		상동 2	4265	-12.6	-53.8	55.2	8.42E-04	배연
담내	2627	-15.1	-39.7	68	1.62E-03		상동 3	4265	-12.6	-53.8	55.2	2.93E-03	자연환경구, 초과
대성1,2	2670	4.2	11.2	64.1	1.96E-04		곤지암 1	4954	-2.3	-11.3	55.2	5.03E-04	배연
상천1	3545	5.3	18.8	69.4	12.80E-04		곤지암 2	4954	-2.3	-11.3	55.2	1.42E-03	초과
강촌 1,2	4616	6.9	31.8	69.8	1.61E-03		봉림	3716	-4.5	-16.7	72.24	9.06E-04	제연설비무
이매2	6646	13.7	91.3	55.2	1.36E-03		봉림	3716	-4.5	-16.7	72.24	2.40E-04	제연설비유
능서 3	1410	8	11.3	68.3	2.07E-04		석전 1	4405	4	17.6	71.06	8.00E-04	제연설비무
신창	3010	-0.9	-2.8	63.24	5.59E-04		석전 2	4405	4	17.6	71.06	2.28E-04	제연설비유
흥림	1240	-6.2	-7.6	63.24	1.20E-04		도동	4787	3	14.4	70.59	5.00E-04	제연설비무
화성1	1050	-4	-4.2	63.24	9.70E-05		도동	4787	3	14.4	70.59	2.01E-04	제연설비유
화성2	1000	3.4	3.4	63.24	8.40E-05		해운대 1	3685	-2	-7.4	72.63	5.65E-04	
신풍	1317	2.5	3.3	91.36	1.10E-05		해운대 2	3865	-2	-7.4	72.63	5.80E-05	사갱 2
죽전	1855	3	5.6	70.59	1.01E-04		해운대 3	3685	-2	-7.4	72.63	1.62E-04	사갱 1
냉정	2510	-5	-12.6	70.48	1.45E-04		해운대 4	3685	-2	-7.4	72.63	3.35E-04	사갱 1

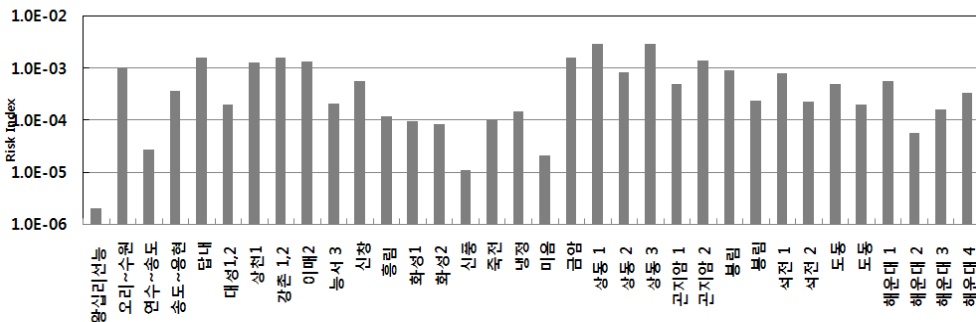


그림 1. 수도권과 영남권 등 5개 지역본부 방재보강을 위한 QRA 결과 도표

2.2 재연설비 및 대피시설의 위험도 감소효과 평가

본 연구에서는 재연설비 및 대피시설의 위험도 감소효과를 평가하고자 최근 수행되어진 국내 철도터널의 정량적 위험도 평가 사례를 방재설비 및 설계인자에 따라 구분하여 표 2와 같이 분석하였다.

표 2. 방재설비 및 설계인자에 따른 국내 철도터널 정량적 위험도 평가 사례 조사

구분	위험도 수준	표지판	소화기	방연문	배연설비	대피로	대피통로	비상조명	연결송수관	터널안표시등	비상통신장비	연장	중단경사	단면적	
성수~정답	1.85E-06	○	○	○	○	○	○	○	×	×	×	1,710	29.0~-33.0%	2층구복선	64.98㎡
														3층구단선	34.33㎡
														3층구복선	64.98㎡
상갈~영덕	9.93E-04	○	○	×	○	○	×	○	×	×	×	2,656	17.0~-28.0%	복선터널	58.9㎡
														BOX구간	48.62㎡
연수~충도	2.72E-05	○	○	×	○	○	×	○	×	×	×	1,114	13.5~-13.0%	복선터널	58.9㎡
충도~용현	3.71E-04	○	○	×	○	○	×	○	×	×	×	1,597.50	-7.0~-24.0%	복선터널	58.9㎡
답내터널	1.62E-03	○	○	×	×	○	×	○	×	×	×	2,627	-15.0~-16.0%	복선터널	68.04㎡
대성터널1	1.96E-04	○	○	×	×	○	×	○	×	×	×	1,416	-5.0~-12.0%	복선터널	64.08㎡
대성터널2	1.96E-04	○	○	×	×	○	×	○	×	×	1,254				
상점1터널	1.28E-03	○	○	×	×	○	×	○	○	×	×	3,545	2.0~-6.0%	복선터널	
강촌터널1	1.61E-03	○	○	×	×	○	×	○	×	×	×	3,072	-3.0~-15.0%	복선터널	69.8㎡
강촌터널2	1.61E-03	○	○	×	×	○	×	○	×	×	1,544				
이매2터널	1.36E-03	○	○	○	○	○	○	○	×	×	×	6,646	3.0~-18.0%	복선터널	55.21㎡
삼동터널	2.89E-03	○	○	○	×	○	○	○	×	×	×	4,265	-17.0~-5.0%	복선터널	55.21㎡
삼동터널 방재보강계획(1안)	8.42E-04	○	○	○	○	○	○	○	×	×	×	4,265	-17.0~-5.0%	복선터널	55.21㎡
군지암터널	5.03E-04	○	○	○	○	○	○	○	×	×	×	4,954.25	-3.0~-4.0%	복선터널	55.21㎡
군지암터널(배연설비 삭제)	1.42E-03	○	○	○	×	○	○	○	×	×	×	4,954.25	-3.0~-4.0%	복선터널	55.21㎡
능서3터널	2.07E-04	○	○	×	×	○	×	○	×	×	×	1,410	8.0%	복선터널	68.3㎡
안전지하철 A 공구	2.61E-04	○	○	×	○	○	×	○	×	×	×	1,351	3.0~-5.0%	복선터널	41.908㎡
안전지하철 B 공구	1.68E-04	○	○	×	○	○	×	○	×	×	×	840	-12.0~-8.0%	복선터널	41.477㎡
안전지하철 C 공구	1.68E-04	○	○	×	○	○	×	○	×	×	×	1,375.80	-10.5~-7.0%	복선터널	41.477㎡
안전지하철 D 공구	4.52E-04	○	○	×	○	○	×	○	×	×	×	1,050	-15~-3.0%	개착터널	32.177㎡
서울지하철 9호선 A 공구	1.06E-04	○	○	○	○	○	○	○	○	×	×	1,390	-8~-3.0%	단선터널	33.857㎡
서울지하철 9호선 B 공구	9.02E-05	○	○	○	○	○	○	○	○	×	×	1,480.50	-7.0~-3.0%	단선터널	33.857㎡
서울지하철 9호선 D 공구	8.22E-07	○	○	○	○	○	○	○	○	×	×	965	-0.7~-2.8%	단선터널	29.82㎡
동북선	2.61E-04	○	○	○	○	○	○	○	×	×	×	1,506	-2.8~-0.6%	복선터널	48.4㎡
수서~평택	1.15E-05	○	○	○	○	○	○	○	×	×	×	4,070	-20~-25%	복선터널	107.9㎡
경부고속철도 동해남부선	1.77E-05	○	○	×	×	○	×	○	×	×	×	1,348	-20~-25%	복선터널	107.9㎡
봉림터널1	9.06E-04	×	×	×	×	○	×	○	×	○	○	3,716	-4.5~-12%		72.24㎡
봉림터널2	2.40E-04	×	×	×	○	○	×	○	×	○	○	3,716			
신흥터널	1.11E-05	×	×	×	×	○	×	○	×	○	○	1,317	2.5%		71.36㎡
석전터널1	8.00E-04	×	×	×	×	○	×	○	×	○	○	4,405	4.0~-12.5%		71.06㎡
석전터널2	2.28E-04	×	×	×	○	○	×	○	×	○	○	4,405			
죽전터널	1.01E-04	×	×	×	×	○	×	○	×	○	○	1,855	3.0~-8.0%		70.59㎡
도동터널1	5.00E-04	×	×	×	×	○	×	○	×	○	○	4,787	3.0%		70.59㎡
도동터널2	2.01E-04	×	×	×	×	○	○	○	×	○	○	4,787			
망정터널	1.45E-04	×	×	×	×	○	×	○	×	○	○	2,510	-5.0~-10%		70.48㎡
미음터널	2.11E-05	×	×	×	×	○	×	○	×	○	○	1,326	-6.0%		72.24㎡

3. 결 론

본 연구에서는 정량적 위험도 평가를 통한 방재시설의 적정규모를 분석하기 위하여 국내 철도터널 위험도 평가결과 분석 및 제연설비 및 대피시설의 위험도 감소효과에 대해 분석하였으며 결론은 다음과 같다.

- 수도권, 영남권 등 5개 지역본부 방재보강 QRA를 분석한 결과 4 km 이상의 터널에서 경사도가 큰 경우에는 ALARP 영역을 초과하는 것으로 분석되었으며, Risk Index에 가장 크게 영향을 미치는 인자는 경사도인 것으로 분석되었다.
- 수서~평택 도시고속철도 구간의 정량적 위험도 분석 결과 전구간이 ALARP를 만족하기 위해서는 수직갱(탈출통로 포함)의 설치 간격이 3.75 km로 제시됨으로써 호남고속철도 방재설치 기준에서 제시된 5 km보다 간격이 줄어들어야 하는 것으로 분석되었다.
- 방재설계 인자의 위험도 저감 효과를 분석한 결과, 연결송수관 설비는 다양한 화재사고 시나리오 발생시 탈출승객의 피해정도를 사회적으로 허용할 수 있는지의 여부를 판단하기 위한 정량적 안전성 분석의 목적에 미취할 때 일차적으로 승객이 초기에 사용할 수 없고, 소방관의 화재현장 투입에 따른 인명보호 효과가 미약하므로 위험도 저감 효과를 반영하기 힘든 것으로 판단되며, 사갱을 포함한 대피통로와 배연설비가 가장 크게 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 한국철도시설공단에서 발주한 과제로 수행중인 연구과제인 “철도건설 경쟁력 확보방안을 위한 제반연구(방재분야)”의 지원으로 이루어졌으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 국토해양부 , 철도시설안전에 관한 규칙(2008)
2. 유지오, 남창호, 조형제, 김종원, “철도터널에서 차량화재시 정량적 위험도 평가에 관한 연구”, 한국터널공학회 논문지, Vol.12, No4, pp.307-319(2010).
3. 최원일, 최정환, 문연오, 김선홍, 유호식, “고속철도 터널의 정량적 위험도 분석(QRA)을 위한 세부기준에 관한 고찰”, 한국암반공학회 논문지, Vol.18, No.6, pp.393-405(2008).
4. 노병국, 이호석, 송명규, 추석연, “정량적 위험도 분석을 이용한 복선철도터널에서의 적정 대피통로 간격 산정을 위한 연구”, 한국철도학회 추계학술대회 논문집(2007)