

안전성 향상을 위한 도로터널 등급에 관한 연구

유지오 · 이동호^{†*} · 신현준^{**}

신흥대학 건축설비과 · ^{*}인천대학교 안전공학과 · ^{**}한국건설기술연구원 화재설비연구부
(2004. 10. 14. 접수 / 2005. 8. 26. 채택)

A Study of Classification of Road Tunnel for Fire Safety

Ji Oh Yoo · Dong Ho Rie^{†*} · Hyun Jun Shin^{**}

Department of Building Mechanical Engineering, Shinheung College

^{*}Department of Safety Engineering, University of Incheon

^{**}Fire and Engineering service research Department, Korea Institute of Construction Technology

(Received October 14, 2004 / Accepted August 26, 2005)

Abstract : In road tunnel, in order to prevent an accident and minimize the damage of an accident in the case of fire, safety facilities and equipments are integral parts. The type and amount of safety facilities are based on tunnel type and length, traffic flow rate, etc. Therefore many countries use a tunnel classification system that categorizes tunnels into groups, and specifies the necessary emergency equipment for each group.

In this study, for the purpose of classifying tunnels based on tunnel risk, investigated the domestic and foreign standards and regulations for safety of road tunnel. As a result, we suggest the method of classification of tunnel by traffic performance, tunnel grade, the volume of traffic, fraction of HGV, rules or regulations for transports of dangerous goods through tunnel.

Key Words : disaster prevention equipment, risk analysis, classification of road tunnel, tunnel fire

1. 서 론

도로터널에서의 사고빈도는 일반도로에서의 사고 빈도보다 낮은 것으로 알려져 있으나, 터널에서의 사고는 반밀폐구조라는 특수성 때문에 대형참사를 유발할 가능성이 높다. 따라서, 도로터널에는 만약의 사고에 대비하여 통행자의 안전확보를 위해서 일반도로 보다 더 많은 안전시설이 설치되게 되며, 화재상황에서 터널내 통행자의 탈출과 소화활동 및 구급요원의 구조활동을 위한 방재시설의 설치가 기본적이다.

우리나라를 비롯하여 세계각국은 몽브랑 터널 등 유럽 터널에서 일련의 참사 이후에 도로터널의 방재시설기준의 제정과 개정의 필요성을 인식하고 도로의 특성에 맞는 기준의 정립에 노력하고 있다. 국내의 경우에도 한국도로공사와 건교부 기준에 의해

서 방재시설을 설치하고 있으나, 단순히 터널연장만을 적용하여 터널의 방재등급을 정하고 있는 불합리한 점이 지적되고 있으며, 교통량이나 터널의 다양한 위험요소를 고려하는 방재등급의 필요성이 대두되고 있는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 터널의 교통특성 및 위험인자를 반영하는 터널등급구분 방안의 도출을 위하여 외국의 도로터널방재등급에 대한 현황을 조사·분석하고 국내 터널에 대한 적용성을 검토하며, 국내터널에 적합한 방재등급구분을 위하여 각종위험인자를 고려하는 터널등급구분을 위한 기본적인 방안을 제시하였으며, 현재 국내의 공용중인 터널과 설계단계의 터널을 대상으로 이의 적용성을 검토하였다.

2. 각국의 도로터널의 방재시설설치기준 비교

현재 국내의 경우, 도로터널의 안전확보를 위해

[†] To whom correspondence should be addressed.
riedh@incheon.ac.kr

서 소방관련법과 한국도로공사 및 건교부의 도로터널 방재시설 설치기준 및 지침에 방재시설설치를 규정하고 있으나, 단순히 터널연장에 따라서 200, 500, 800, 1000, 2000, 4000m로 구분(7등급)하여 방재시설의 설치를 규정하고 있으나 터널에서의 교통량, 경사도, 통행방식 등 제반 위험인자를 적절히 고려하지 못하고 있는 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 전술한바와 같이 위험요소를 고려하는 터널등급구분 방안의 제시를 위해서 일본, 영국, 독일, 프랑스, 오스트리아등의 설치기준 및 터널등급구분 방법에 대하여 조사분석하였다.

2.1. 일본의 도로터널 방재등급 기준

일본의 도로터널 방재등급기준은 “터널방재설비 설치기준(67년8월)”이래로 수차례의 변천을 거쳐서 현재 “설계요령 3집 (4) 터널비상용시설의 개정(1997. 11)”에 이르고 있다. Table 1은 현재 적용중인 방재등급구분 방법을 나타낸 것으로 단순히 터널의 연장에 따른 하한치를 정하여 교통량 평가를 통해서 등급을 상향조정하고 있다^{1,2)}.

터널등급구분에 적용된 교통량은 일방통행 터널을 기준으로 방재시설의 내구년한은 10~15년 정도라는 측면에서 10년 후의 년평균 일교통량을 기준으로 이를 1/2하여 방재시설등급산정을 위한 교통량으로 적용하고 있다. 또한, 5년마다 실제 교통량을 검토하여 방재등급의 상향조정 여부를 검토하고 있다. 등급의 산정은 22,000,000대·km당 1건의 사고(4.55건/108대·km)가 발생한다는 사고발생빈도에 대한 통계자료를 기준으로 한 결과이다.

Table 1. The volume of traffic for tunnel protection against disasters grade decision and a tunnel grade in Japan

터널등급	터널연장의 상한치	교통량 (10 ⁶ Veh·m/day, tube)
D	500m이하	2이하
		1건/30년
C	1000m	4이하
		1건/15년
B	3000m	12이하
		1건/5년
A	10000m	40이하
		1건/1.5년
AA	10,000m이상	40이상
		1건/1.5년이상

Table 2. The volume of traffic for tunnel protection against disasters grade decision and a tunnel grade in England

터널등급	터널연장의 상한치	교통량 (10 ⁶ Veh·m/day, tube)
D	500m	2이하
C	1000m	4이하
B	3000m	12이하
A	3000m	36이하
AA	A 등급이상	

2.2. 영국의 방재 등급 기준

영국³⁾은 일본과 동일하게 터널의 연장과 교통량(15년 후의 교통량)을 적용하여 터널등급을 구분하고 있다. A등급과 AA등급의 터널연장이 일본의 기준과 차이가 있으나 거의 비슷하며, 최상위 등급에 해당하는 AA 등급의 경우, 터널연장에 대한 최소 기준을 3,000m로 적용하고 있다.

2.3. 독일의 방재등급 기준

Table 3은 독일의 방재등급 기준^{4,5)}을 나타낸 것으로 터널연장에 따라서, 400, 600, 900m로 4등급으로 구분하여, 해당 방재시설을 적용하고 있으며, 표에서 알 수 있는 바와 같이 900m이상의 터널에는 기준에서 정하고 있는 모든 방재시설이 설치된다. 그러나 조명시설, 제연시설, 터널정보표시판 등의 설치기준은 단순히 연장에 의한 고려 외에 도로의 특성 및 대형차혼입율을 반영하여 각각의 시설별로 세부적인 기준을 정하고 있다. 이중에 특히 제연시설은 다음과 같이 구분하여 설치를 강화하고 있다.

- 대면통행 터널 또는 정체 빈도가 높은 일방통행 터널
- 정체빈도가 낮은 일방통행 터널

또한 화재강도 산정에 있어서는 대형차 혼입율을 기준으로 다음과 같이 구분하고 있다.

- 대형차 혼입율 15%이상 터널 : 30~50MW
- 대형차 혼입율 15%이하 터널 : 20MW

또한, 대형차 통과 대수에 따라 통과대수가 4,000대·km/tube·day를 초과하는 경우 적용기준을 강화하고 있다.

2.4. 프랑스의 방재 등급 기준

프랑스^{6,7)}는 고속도로 및 국도상 300m이상의 터

Table 3. The basis for disasters protection facility installation by tunnel length(RABT 2002)

안전 설비		터널연장			
		>900	≤900 >600	≤600 >400	≤ 400
건축 구조물	emergency lane	○	○	○	○
	breakdown bay	●	○		
	방향전환(turning bay)	●	○		
	비상 출구	●	●	●	
	비상 보도	●	●	●	●
	높이 제한시설	○	○	○	○
통신 설비	비상 호출 스테이션	●	●	●	
	비디오 감시 시설	●	●	●	
	터널 방송 시설	●	●	●	●
	확성기 방송설비	●	●	●	
경보 설비	수동 화재 경고설비	●	●	●	
	자동 화재 경고설비	●	●	●	
소화 설비	휴대용 수동식 소화기	●	●	●	
	연결송수관	●	●		
화재 예비등		●	●	●	
대피로 표시		●	●	●	●

널을 방재시설 적용대상으로 하고 있으며, 시공방법(굴착터널, 침매터널, 복개터널, 외부와 차단된 터널, 개구부의 면적이 1m²이하의 개착터널)에 관계없이 모두 터널로 간주한다.

도로터널 등급기준은 도로의 특성을 반영하여 시설별로 기준을 강화 적용하고 있다. 교통량에 따라서, 일본이나 영국과 같은 등급구분은 고려하지 않고 있으나 교통량의 대소 및 통행방식에 따라서 제연설비 등 방재시설의 적용에 차이를 두고 있다. 다음과 같이 분류하고 있다. 통행방식은 양방향 터널 및 일방향 터널로 구분되며, 교통량은 아주작음, 소, 대(> AADT = 4000veh/day tube)로 구분하고 있다. 또한 지역적 특성으로 도시 및 지방으로 구분하여 적용하고 있다.

2.5. 오스트리아의 방재등급 기준

오스트리아의 방재등급⁸⁻¹⁰⁾의 특징은 터널연장 및 교통량 등에 따른 잠재위험도를 계산하고 이에 따라 터널위험 등급을 정하고 각 위험등급에 대해서 최소안전계수를 정하여 최소안전계수를 만족할 수 있도록 방재시설의 설치를 고려하고 있다.

터널의 잠재위험도(G)는 식 (1)로 계산한다.

$$G = V \cdot g_R \cdot g_K \cdot g_G \tag{1}$$

여기서, V: 시간교통량(Veh/h), g_R: 통행방식에 대한 가중치, g_K: 교통흐름 (정체)정도, g_G: 화물차 통행량에 대한 가중치이다.

오스트리아의 경우 교통관련 안전인자는 Table 4와 같이 통행방식, 교통흐름, 화물차통행량을 고려하고 있으며 안전계수 산정은 식 (2)와 같이 제시하고 있다. 방재시설별 가중치는 Table 5에 나타났다.

$$S = S_R \cdot S_W \cdot S_B \tag{2}$$

여기서, S_R: 제연시스템에 대한 안전계수, S_W: 대피로 간격에 대한 안전계수, S_B: 방재시설의 운영에 관한 안전계수이다.

식 (2)에서 알 수 있는 바와 같이 터널의 안전계수산정은 제연시스템, 대피로 간격, 방재시설의 운영을 주요한 인자로 한다.

Table 4. A weighting value for each risk factor

위험인자	조건	지중치
통행방식	단방향 통행	1.0
	대면통행	2.0
	완전폐쇄되지는 않았으나 중간 분리대로 분리한경우	1.5
교통흐름	정체빈도가 아주작음	1.0
	정체빈도가 높음	1.5
	터널시종점에 정체를 유발할 수 있는 조건	1.2
	터널내 교차로가 있는 경우	2.5
	터널시종점 직전에 교차로가 있는 경우	2.0
화물차 통행량	10회이하의 위험화물 통과	1.0
	50회이하의 위험화물 통과	1.5
	50회이상의 위험화물 통과	2.0

Table 5. A weighting value about an operation element

운영 및 방재시설	계수
감시센터	2.0
감시소	0.5
비디오 화상 전송시스템	0.5
교통정제 자동인식 시스템	0.5
위험화물 자동인식 시스템	1.0
위험화물에 대한 통제 통과규정	0.5
갱구부에 소방대의 상주	1.0
자동화재 탐지기	1.0
연기 감지장치	0.5
터널내 라디오 또는 제방송시설	0.5

2.6. 터널 방재등급 구분에 대한 외국기준 분석

터널내 방재설비는 Table 6에 나타낸 바와 같이 크게 소화설비, 비상경보설비, 피난설비, 소화활동설비, 비상전원설비로 구분되며, 방재시설의 설치에 터널의 연장 교통량등을 고려하여 터널의 위험성을 평가한 후 차등하여 설치하고 있다. 각국의 방재 시설설치를 위한 터널연장에 따른 등급은 일본, 영국, 오스트리아는 500, 1000, (1500), 3000m로 구분하고 있으며, 독일은 400, 600, 900m, 프랑스는 300, 500, 800, 1,000m로 구분하여 1000m이상의 터널에는 고려대상의 거의 모든 방재시설을 설치하고 있는 실정이다.

Table 6은 외국의 기준 및 연구보고서상에 제시된 방재시설의 설치기준을 500, 1000, 3000m로 구분하여 재정리한 것이다.

Table 6에 의하면 500m이하의 터널에 설치가 요구되는 시설은 소화기(A), 비상경보설비(D), 비상전화(G), 비상조명(L), 유도표지판(M), 계연설비(P), 무정전원설비(T)로 분석되며, 500~1000 m의 터널에 설치가 요구되는 시설은 소화전(B), 입구정보표지판(H), 터널내 정보표지판(I), 피난연락경(N), 연결송수관설비(R), 비상발전설비(U), 전력공급계통의 내열성고려(V), 1000m이상의 터널에 설치빈도가 높은 설비는 물분무설비(C), 비상주차대(O)로 분석된다.

이외에 자동화재탐지설비(E), 라디오방송설비 및 확장방송설비(F,J), CCTV(K), 무선통신보조설비(Q)는 분석대상의 설치규정이 상당한 차이를 보이고 있음을 알 수 있다. 이 중에서 무선통신보조설비와 라디오방송설비, 확장방송설비는 병용하여 사용할수 있는 설비이며, 유럽의 국가에서는 일반적으로 1000 m이하의 터널에 설치하고 있으며, 일본의 경우가 완화된 규정을 가지고 있다. 또한 CCTV는 프랑스, 영국, 독일의 경우에는 500m이하의 터널에 설치하는 시설로 고려하고 있으나 일본 및 오스트리아의 경우에는 1000~3000m의 터널에 설치를 고려하고 있는 실정이나, 피난연락경이 설치되는 터널의 경우에는 대피자의 대피유도를 위해서 설치를 고려하고 있다. 자동화재 탐지설비의 경우, 설치대상 터널의 연장이 차이를 보이고 있으나 일반적으로 화재감시가 이루어지지 않는 터널과 계연설비가 설치되는 터널에 설치를 하고 있다.

이상의 분석에서 알 수 있는 바와 같이 물분무설비이외의 대부분의 방재시설은 1000m이상의 터널에는 모두 설치하는 것으로 규정하고 있음을 알 수

Table 6. Safety provisions for each tunnel length

구분	소화설비			경보설비								
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	
500m이하	8	3	0	6	2	1	5	2	0	0	3	
500~1000	0	2	0	0	2	1	1	3	3	1	0	
1000~3000	0	0	0	0	2	0	0	0	1	1	2	
3000이상	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	1	
계	8	5	1	6	6	3	6	5	4	3	6	

구분	피난설비				소화활동설비				비상전원		
	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V
500m이하	4	4	1	0	4	2	1	1	4	1	0
500~1000	0	1	2	0	1	2	2	1	0	1	1
1000~3000	0	0	1	1	1	3	1	0	0	0	0
3000이상	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
계	4	5	4	2	6	7	4	2	4	2	1

A:소화기	I:터널내표지판	Q:무선통신설비
B:소화전	J:라디오방송설비	R:연결송수관설비
C:물분무설비	K:CCTV	S:비상콘센트
D:비상경보설비	L:비상조명	T:무정전원설비
E:자동화재탐지	M:유도지판	U:비상발전
F:비상방송설비	N:피난연락경	V:전력공급계통의 내열성
G:비상전화	O:비상주차대	
H:입구정보표지판	P:계연설비	

있다. 또한 대부분의 국가에서 1000m이하의 터널에 대해서 지역적인 특성과 교통량 및 위험인자를 고려하여 방재시설을 설치하고 있음을 알 수 있다.

3. 터널 등급구분 기법에 대한 검토

터널등급 구분기법을 검토하기 위해서 현재 국내에서 개통되었거나 설계중인 국도터널 359개소(대면통행 터널 20개소 포함); 고속도로터널 115개소를 대상으로 일본 및 영국에서 시행하고 있는 도로터널 등급의 적용성 검토와 유럽의 공용중인 터널에 대한 안전도평가 기법을 수정·적용한 위험도 적용기법의 적용성을 검토하였다.

3.1. 일본방식의 방재등급 적용성 검토

본 절에서는 국도와 고속도로 터널로 구분하여 일본의 터널등급구분 방법을 수정 없이 적용하여 국내 터널에 대한 적용성을 검토하였다.

Fig. 1과 Fig. 2는 각각 국도터널과 고속도로 터널에 대한 일본의 방재 등급을 적용한 결과로 10년 후 교통량에 대한 자료가 미비하여 20년 후의 년평균일교통량을 1/2하여 적용한 결과이며, Table 7은 일본등급적용시 등급조정이 요구되는 현황을 나타낸 것이다.

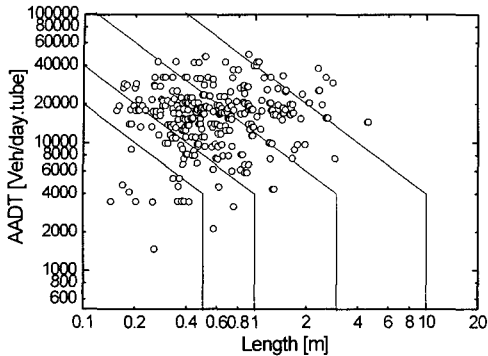


Fig. 1. Japanese grade application result for a national road tunnel.

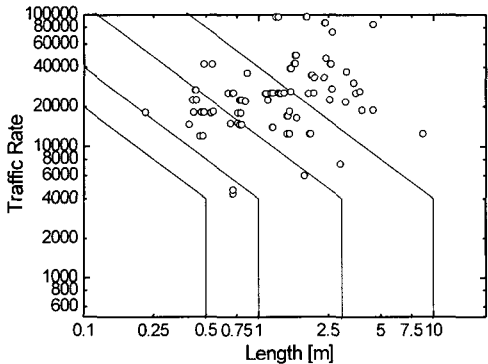


Fig. 2. Japanese grade application result for an expressway tunnel.

국내터널의 경우, 실제교통량이 상당히 많게 평가 되는 경향이 있기 때문에 터널연장에 따른 최소기준에 의해서 등급이 결정되는 터널은 359개소 중 27.3%에 해당하는 98개소이며, 1등급이상 상향조정이 요구되는 터널은 57.1%, 2등급이상 상향조정이 요구되는 터널은 15.6%로 총 359개소 중 261개소가 1등급 이상의 등급조정이 요구되는 결과로 나타났다.

또한 국도의 대면통행 터널의 경우에는 20개소중 10개소(50%)가 1등급 상향조정이 요구되고 있는 것으로 나타나고 있어 일방통행터널의 경우 72.7%가 상향조정에 요구되는 것이 비하면 등급의 상향조정이 요구되는 터널이 오히려 적게 나타나고 있음을 알 수 있다.

이와 같은 결과는 대면통행 터널의 위험도가 일반적으로 높다고 알려진 보고내용과는 상치되는 결과로 교통량과 터널연장만을 등급결정에 적용하는 경우, 위험요소에 대한 적절한 평가가 이루어지지 못하고 있음을 알 수 있다.

Fig. 2는 고속도로 터널(115개소)에 대해서 등급

을 적용한 결과이며, Table 8은 등급의 상향조정이 요구되는 현황을 나타낸 것이다. 고속도로의 경우, 터널연장에 의한 최소기준에 의해서 등급이 결정되는 터널은(14개소; 12%), 1단계 상향조정이 요구되는 터널은 78개소(68%), 2단계 상향조정이 요구되는 터널은 23개소(20%)로 나타났다. 2단계 이상등급의 상향 조정이 요구되는 터널의 23개소 중 다음절에서 설명하는 위험도 지수가 2보다 큰 경우는 10개소이며, 위험도 지수가 2보다 큰 25개소의 터널 중 2등급이상 상향조정이 요구되는 터널은 9개소로 나타났다.

따라서 일본의 터널등급을 적용함에 있어 과도한 등급 상승이 초래될 수 있을 것으로 판단되며, 상대적으로 위험도가 높을 것으로 판단되는 터널에 대한 위험도 평가가 적절치 못한 것으로 판단된다.

Table 7. The present situation that grade coordination is requested to (a national road)

터널연장		상향요구등급			계
		0	1	2	
500미만	개소	47	78	38	163
	%	28.8	47.9	23.3	100
500~1000미만	개소	28	80	12	120
	%	23.3	66.7	10.0	100
1000~3000미만	개소	21	47	6	74
	%	28.4	63.5	8.1	100
3000이상	개소	3	0	0	3
	%	100.0	0.0	0.0	100
계		98	205	56	359
		27.3	57.1	15.6	100

Table 8. The present situation that grade coordination is requested to (Highway tunnels)

터널연장		상향요구등급			계
		0	1	2	
500미만	개소	0	7	8	15
	%	0.0	46.7	53.3	100
500~1000미만	개소	2	21	2	25
	%	8.0	84.0	8.0	100
1000~3000미만	개소	8	36	13	57
	%	14.0	63.2	22.8	100
3000이상	개소	4	14	0	18
	%	22.2	77.8	0.0	100
계		14	78	23	115
		27.3	57.1	15.6	100

3.2. 위험요소 평가에 의한 위험도 적용

전절에서 설명한 바와 같이 단순히 터널연장만을 등급결정에 적용하거나 터널연장과 교통량만을 등급구분을 위한 결정요소로 하는 경우에 중단경사, 통행방식(대면통행, 일방통행), 위험물의 통과여부, 대형차 혼입을 등의 중요한 위험요소를 간과할 여지가 있음을 알 수 있다.

따라서 본 절에서는 Table 9에 제시한 위험도 평가기준을 적용하여 이에 대한 평균치로 표현하는 터널위험도에 의한 터널등급구분의 적용성에 대해서 검토하였다.

각 위험요소에 대한 가중치는 98년부터 2003년까지 유럽의 공용중인 터널에 대한 위험도 평가시 교통량(10), 중단경사(4), 혼입율(10), 위험물수송여부(5), 정체정도(5), 통행방식(4)의 가중치를 부여하고 있는 점을 고려하여, 본 연구에서는 교통량에 대해서 1.7의 가중치를 적용하고 나머지 위험인자에 대해서는 가중치를 부여하지 않았다.

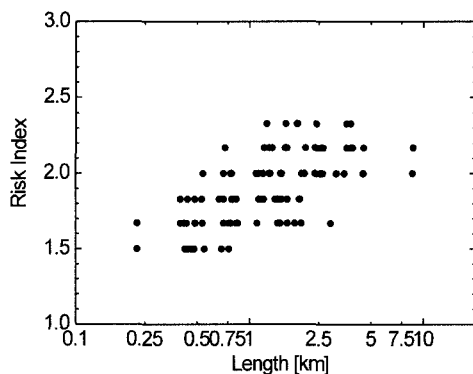
위험인자별 구성비는 교통량의 경우 “매우 낮음”이 60%정도이며, 경사도가 1%이하인 낮음은 62.5%, 혼입율의 경우 낮음은 42%정도이다. 또한 위험인자 중 위험물수송여부는 국내의 지방 및 고속도로 터널의 경우 위험물수송을 금지하지 않고 있기 때문에 위험도를 2로 적용하였으며, 도시터널의 경우에는 위험물의 수송이 금지된다고 가정하여 위험도를 0로 적용하였다.

도로의 정체정도에 대한 판단은 편의상 도로의 서비스수준을 기준으로 하는 것으로 하였으나, 터널의 지리적인 위치를 고려하여 출퇴근과 일상업무 목적으로 이용되는 도시터널 및 년평균 일교통량이 7~8만대/day로 예상되는 경우에는 서비스수준에 관계없이 매일정체로 판단하였다.

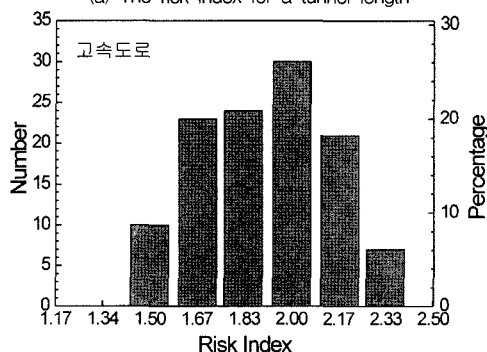
터널에 대한 위험도는 6개 위험인자에 대한 위험도 지수를 합하여 이를 평균하여 구하였다.

Fig. 3은 고속도로터널에 대한 위험도 지수를 나타낸 것으로 1.5에서부터 2.33까지 6단계로 구분되고 2.0 보다 큰 경우는 115개소의 터널중 28개소로 24.4%이며, 500~1000m사이 1개소, 1000~2000m 10개소, 2000m이상 17개소로 나타났다. 이에 해당되는 터널은 대관령 2,3터널, 수리, 수암, 용평, 둔내, 관악터널 등이며, 이들 터널은 장대터널 일뿐만 아니라 경사도가 크거나 4차선 대대면 터널인 것으로 나타났다.

고속도로터널의 경우 1000m이상의 터널이 국도터널보다 많기 때문에 위험도가 2를 초과하는 터널이 국도터널보다 상대적으로 많게 나타났다.



(a) The risk index for a tunnel length



(b) The risk index distribution

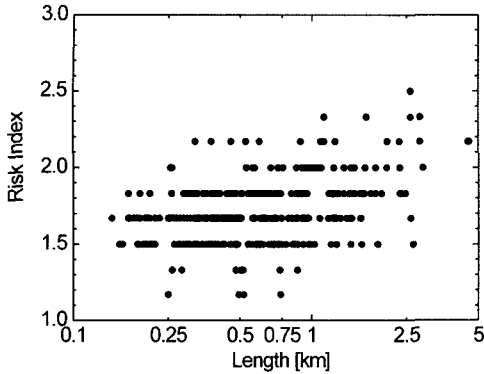
Fig. 3. The risk index analysis for highway tunnels.

Fig. 4는 국도터널에 대한 위험도 지수를 나타낸 것으로 위험도 지수는 1.17~2.5로 분포하고 있다.

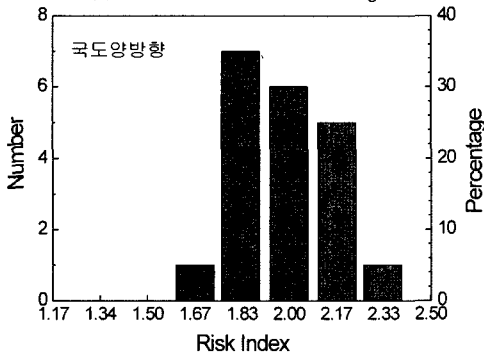
대면통행터널은 통행방식에 대한 위험도를 고려하기 때문에 위험도지수가 높게 나타나고 있으며, 분석대상 20개소의 터널중 6개소(모악, 김해 3, 용구, 말고개, 속리, 노루재)등이 2.0을 초과하고 있는 것으로 나타났다. 모악터널 및 김해터널은 2차선 터널임에도 불구하고 년평균 일교통량이 30,000대이상으로 정체빈도에 대한 위험도를 3이 되며, 용구터널은 경사도가 3%이다. 국도 일방통행터널의 경우, 위험도가 2보다 큰 경우는 13개소, 3.9%로 낮게 나타났다.

이러한 결과는 분석대상의 일방통행 국도터널의 경우 전체의 80%가 터널연장이 1000m미만으로 1000m이상의 터널이 상대적으로 적기 때문으로 판단된다.

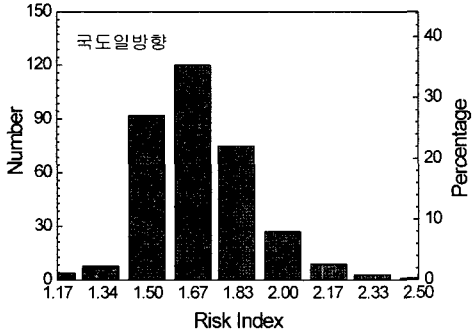
이상의 검토에서 1000m미만의 터널일지라도 터널의 특성에 따라서 위험도가 높게 나타날 수 있으며, 이와 같은 터널에 대해서는 전술한 위험도 분석 결과를 반영하여 터널등급을 상향조정하는 것이 합리적이라 판단된다. 본 연구 검토에서 2.0을 초과하는 경우에 등급을 상향조정하는 것으로 한다면, 등



(a) The risk index for tunnel lengths



(b) The risk index distribution for bidirectional national roads



(c) The risk index distribution for one-way national roads

Fig. 4. The risk index analysis for national roads.

급의 상향조정이 요구되는 터널의 개소는 7개소로 전체에 1.45%정도인 것으로 나타났으며, 이중 대면통행터널이 30%를 차지하고 있는 것으로 나타났다.

Fig. 5 및 Fig. 6은 국도터널과 고속도로터널에 대한 위험도 지수와 일본기준을 적용한 터널등급의 상관관계를 나타낸 것으로, 고속도로 터널의 경우에는 위험등급의 증가에 따라 일본등급도 증가하는 경향을 나타내고 있어 비교적 상관관계가 높은 것으로 나타나고 있으나, 국도터널의 경우에는 상관관계가 낮게 나타나고 있음을 알 수 있다. 이는 고속도로터

Table 9. The basis for a tunnel risk index

영향인자	범위	위험정도	위험도
일평균 교통량×터널연장 (10 ⁴ Veh·km/tube ·day)	3미만	매우낮음	1
	3~6	낮음	2
	6~12	중간	3
	12~24	높음	4
	24이상	매우높음	5
경사도	1%미만	낮음	1
	1~3%	중간	2
	3%이상	높음	3
대형차 혼입율	10%미만	낮음	1
	25%이상	높음	3
위험물 수송의 법적규제	위험물통행금지	없음	0
	제한없음	높음	2
정체정도	정체발생 없음 (서비스수준 C이상)	낮음	1
	빈번한 정체 (서비스수준 D이상)	중간	2
	매일 정체 (서비스수준 E이상)	높음	3
통행방식	일방통행	낮음	1
	대면통행	높음	3

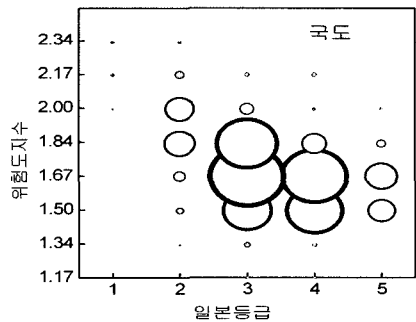


Fig. 5. Risk index and a correlation for a Japanese grade (national road tunnels).

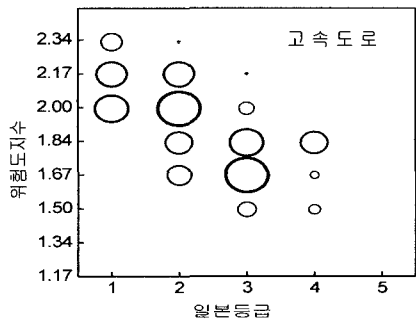


Fig. 6. Risk index and a correlation for a Japanese grade (express road tunnels).

널의 경우, 1000m이상의 장대터널이 많기 때문에 터널연장이 위험도에 지배적인 인자로 작용하는 반면에 국도터널의 경우에는 연장외의 다른 인자에 의해서 영향을 많이 받기 때문으로 판단된다.

4. 결론

본 연구에서는 터널등급구분을 위해서 위험인자에 대한 개별평가방법에 의한 위험도 분석방법과 일본 및 영국에서 적용하고 있는 교통량과 터널연장을 고려한 터널 등급방법을 비교·검토하여 다음의 결론을 얻었다.

1) 현 국내 터널의 교통량이 과대평가되는 경향이 있어 일본방식을 수정없이 적용 하는 것은 터널연장에 따른 최소등급을 과도하게 상향조정할 우려가 있다.

2) 교통량만을 고려하는 일본의 터널등급 산정 기법은 터널에서의 대표적인 위험요소인 종단경사, 혼입율, 위험물의 통과여부, 정체 빈도 등을 적절히 반영하지 못하는 것으로 판단된다.

3) 소방시설설치유지 및 안전관리에 관한 법률에서 터널연장을 500, 1000m로 구분하여 시설물설치 기준을 제시하고 있으나, 연장에 따른 최소기준으로 정하고 각종 인자가 위험도에 미치는 영향을 반영하는 터널등급의 마련이 절실히 요구된다.

4) 따라서, 본 연구에서는 현재에 적용되는 단순히 터널연장에 의해서 구분하는 터널등급에 대한 개선으로 방안으로 터널연장에 의해서 최소등급을 규정하고 위험도평가에 의해서 등급을 상향조정하는 방안을 제시하는 바이다.

참고문헌

- 1) 日本道路公團, トンネル換氣設備設計の手引, 2000.3.
- 2) 首都高速道路技術センター, トンネル非常施設に関する調査研究報告書[トンネル設置指針案, 平成5年2月.
- 3) The highways Agency, Design of Road Tunnels, Vol. 2 Highway Structures Design (Substructure and

- Special Structure Materials) Volume 2, Section 2, PART 9, BD 78/99., UK, 1999.
- 4) Forschungsgesellschaft für strassen-und verkehr swesen, "Richtlinien für die Ausstattung und den Betrieb von StraBentunneln (RABT)", Germany, 2002.
- 5) STUVA, Brandschutz in Verkehrstunneln, Bundesministerium für Verkehr, Bau-Und Wohnungswesen, 2000.12.
- 6) Ministere de L'interieur and Ministere de L'equipe-ment, des Transports et du Logement, "Circulaire interministerielle n° 2000-63 du 25 aout 2000 relative a la seurite dans les tunnels du reseau routier national", France, 2000.
- 7) Ministere de L'interieur and Ministere de L'equipe-ment, des Transports et du Logement, "Circulaire interministerielle n° 2000-82 du 30 novembre 2000, relative a la reglementation de la circulation des vehicules transportant des marchandises dangereuses dans les tunnels routiers du reseau national", France, 2000.
- 8) Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, "RVS 9.261 Tunnel, Lüftungsanlagen, Grundlagen, 1. Abänderung, Bauliche Anlagen", Austria, 2002.
- 9) Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, "RVS 9.281 Tunnel, Betriebsund Sicherheitseinrichtungen, Bauliche Anlagen", Austria, 2002.
- 10) Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, "RVS 9.286 Betriebsund Sicherheitseinrichtungen, Funkeinrichtungen, Bauliche Anlagen", Austria, 2002.
- 14) Economic and Social Council, Recommendations of the group of experts on safety in road tunnels - final report, 10 dec 2001.
- 15) Derective 2004/EC of the European parliament and of the council of on minimum safety requirements for tunnels in the trans-european road network, 2004.
- 16) A. Haack, "Current safety issues in traffic tunnels", Tunnelling and Underground Space Technology, 17, pp. 117~127, 2002.