

고속도로 터널의 피난연락갱 규격 및 설치간격



김일환
한국도로공사
도로설계부 과장



정 훈
한국도로공사
설계기준부 과장



김남영
(주)삼보기술단
기전부 부장



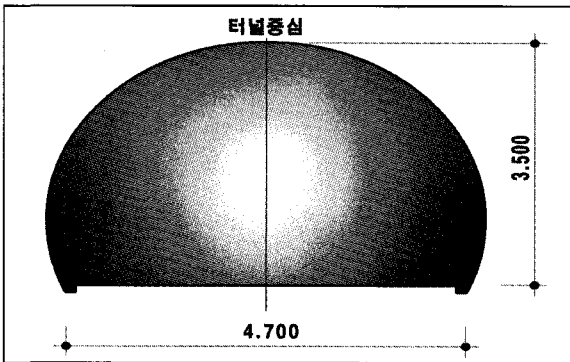
김동현
(주)삼보기술단
지반공학부 차장

1. 개요

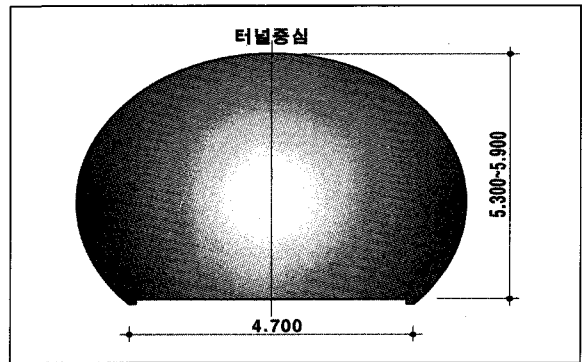
피난연락갱은 장대터널에서 화재 또는 긴급상황 발생 시 화염 및 연기 등의 유해물질로 인한 피해로부터 운전자와 승객을 우선 대피시키기 위한 시설로 피해를 최소화할 수 있는 적정규격 및 설치간격을 확보하고 있어야 한다. 일방향 교통터널에서는 화재발생 반대측의 본선 터널을, 또 양방향 교통에서는 병설되는 피난갱을 각각 피난통로로 하고, 이들을 서로 연결하는 피난연락갱을 설치하는 것이 일반적인 형식이다. 피난연락갱은 연기확산 속도와

대피속도를 고려하여야 하며, 방화문 등을 설치하여 화재발생 터널로부터 화연의 유입을 방지할 수 있는 구조로 하고 “비상구” 등의 유도표식을 설치하여 그 기능을 충분히 발휘할 수 있도록 하여야 한다.

국내의 경우 비상시설별 설치기준 및 정의는 도로의 구조·시설기준에 관한 규칙 해설 및 지침(2000)에 “터널내 재해발생시 인접터널로 사람이나 자동차 대피를 위하여 피난연락갱을 설치”하며, 설치간격은 750m로 하는 것으로 규정되어 있다. 한국도로공사에서의 피난연락갱 설치기준은 『설계기16203-195호』(1993)에 양방향 통행의 경



(a) 4.7m×3.5m



(b) 4.7m×5.3~5.9m

그림 1. 피난연락갱 규격

표 1. 국내 고속도로 피난연락갱 현황

노선명	터널명	연장(m)	피난연락갱	
			개소	규격
구미~현풍	대성	1,570	2	4.7×3.5
	갈항	1,045	1	4.7×3.5
부산~대구	하도	1,550	1	4.7×5.3
	고정2	1,060	1	4.7×5.3
	고정3	1,078	1	4.7×5.3
	상동	2,030	2	4.7×3.5
익산~장수	만덕	2,307	2	4.7×5.4
청주~상주	상주2	1,335	1	4.7×5.3
서울외곽	노고산1	975	1	4.7×5.3
	노고산2	2,197	2	4.7×5.3
	사패산	3,993	5	4.7×5.3
	수락산	2,950	3	4.7×5.3
	불암산	1,685	2	4.7×5.3

우 300~400m, 일방향 통행의 경우 700~800m의 간격으로 설치하며, 규격은 그림 1(a)와 같이 4.7m(폭) × 3.5m(높이)로 정립되어 있다. 그러나, 1996년에 노르웨이에서 발생한 터널내 화재사고 등 계속되는 외국의 터널내 대형사고로 표 1과 그림 1(b)와 같이 피난연락갱의 규격을 4.7m(폭)×5.3~5.9m(높이)로 확대 적용하고 있는 추세이다. 또한, 최근에는 Turn-Key 입찰, 대안 입찰 등 경쟁설계개념의 활성화로 인해 시설물이 고급화되어 터널별로 상이하게 적용되고 있다. 따라서, 본 검토에서는 장대터널에 설치하는 피난연락갱의 기능검토 및 구난기준을 정립하여 피난연락갱의 적절한 규격 및 설치간격을 검토하고자 한다.

2. 피난연락갱 규격

2.1 해외 피난연락갱 규격 사례

2.1.1 가네츠 터널(1기)

가네츠 터널 I기선의 인도용 연락갱은 2m×2m정도

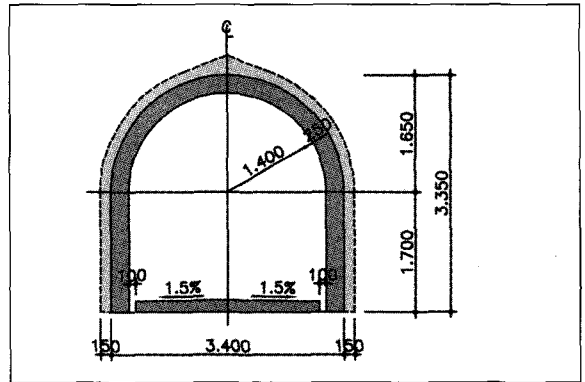


그림 2. 인도용 연락갱 규격 (가네츠터널)

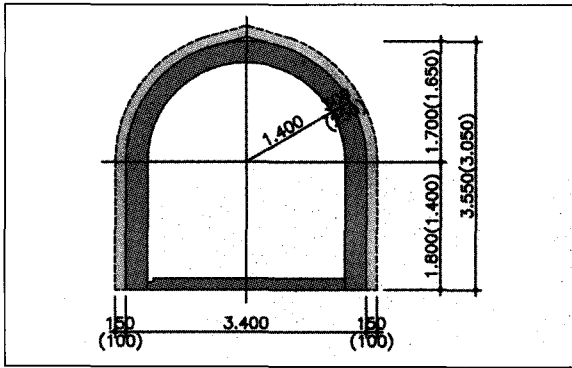
공간을 확보하도록 하였다. 이러한 소단면에서의 록볼트는 시공성이 나쁘기 때문에 지보재로 H형강 지보공을 적용하였으며, H형강의 최소 휨가공 치수 등의 사유로 인해 그림 2를 표준단면으로 선정하였다.

차도용 연락갱은 가네츠 터널이 잠정적 2차선 시공으로 본선터널과 보조터널의 최대 중단구배(10%이하)를 고려하여 최소곡선반경 10%인 급곡선으로 계획할 경우 차도단면을 본선터널 단면 정도로 하여도 위험한 경우가 예상되었다. 따라서, 일반차량의 차도용 연락갱, 보조갱내 통행이 의문시되어 구급차, 소방차 등 긴급 차량 및 관리용 차량의 통행만을 고려하여 내공단면을 확보하였다.

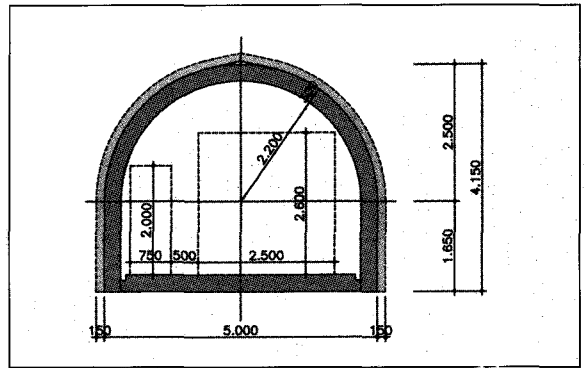
2.1.2 케보우야마 터널(II기)

단면결정에 있어 1기선측 기시공 구간과의 접합부 시공을 고려하며 「설계 요령 제 3집 터널」의 피난연락갱 단면을 적용하여 인도용 연락갱 기본계획을 그림 3(a)와 같은 단면으로 결정하였다.

차도용 연락갱은 인도와 차량의 조화를 고려하여, 소방차와 인도 및 구급차와 인도의 2가지 경우에 대해 내공단면 검토를 수행하였다. 차량시설한계는 소방차와 구급차의 차량대표 치수로서, 소방차에는 CM90C형식(전장 6,365mm, 전폭 2,200mm, 전고 2,600mm), 구급차는 소방청 인정 2B형식(전장 4,840mm, 전폭 1,690mm, 전



(a) 인도용 피난연락갱



(b) 차도용 피난연락갱

그림 3. 피난연락갱 규격 (케보우야마 터널)

고 2,455mm)를 적용하여 단면검토를 수행하였다. 최종적인 단면검토 결과 차량 시설한계는 폭2,500mm, 높이 2,600mm로 차량통행 안전성을 고려하여, 차량시설한계와 측벽과의 여유폭(W1)을 50cm정도로 하였다. 이런 시설한계 및 폭원구성은 그림 3(b)와 같다.

2.2 시설한계 폭원 검토

2.2.1 폭원 구성

피난연락갱의 폭원구성은 인명과 차량의 동시대피가 가능하도록 인명대피 시설한계와 차량통과 시설한계 폭원을 더한 값을 사용하는 것이 타당하리라 판단되며, 각각의 폭원은 다음과 같이 구할 수 있다

- 인명대피 한계 폭원(W₁) (『도로용량 편람 개선 연구 보고서』, 『지하철 건설 핸드북』참조)
 - 성인남자 어깨폭 : 0.45m
 - 대피자 이동시 접촉 안하는 여유 : 0.1m
 - 벽면에 접촉 안하는 여유 : 0.1m × 2 = 0.2m
$$\therefore W_1 = 0.45m \times 2명 + 0.1m + 0.2m = 1.2m$$
- 차량통과 한계 폭원(W₂) (『도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙』참조)
 - 대형차량 폭원 : 2.5m
 - 측대 : 0.5m

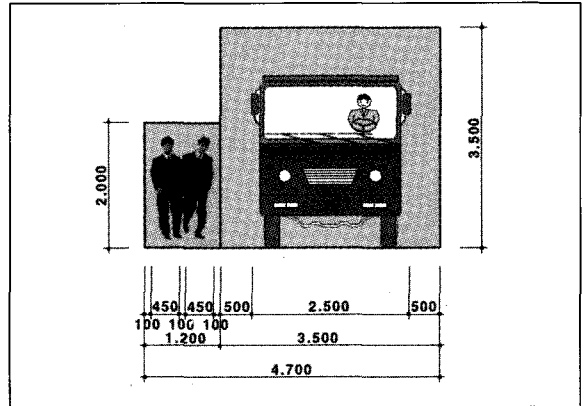


그림 4. 차량 및 인명 시설한계 폭원

$$\therefore W_2 = 2.5m + 0.5m \times 2(양측) = 3.5m$$

따라서, 피난연락갱의 시설한계는 그림 4와 같이 차량과 인명의 동시대피가 가능하도록 4.7m(폭)×3.5m(높이)를 적용하는 것을 기본으로 하였다.

2.2.2 피난연락갱 도류검토

차종별 도류폭원 및 통과가능한 높이를 설정하기 위하여 차량 제원별로 최소회전반경을 고려하여 그림 5와 같이 도류검토를 수행하였으며, 차종별 제원 및 도류검토 결과에 의한 통과가능 여부를 표 2에 나타내었다.

표 2에서 알 수 있듯이 냉동차, 믹서, 트레일러 등은 기본 시설한계 높이(3.5m)에 저촉되는 것으로 나타났으며,

표 2. 차량제원별 도류검토 결과

(단위 : mm)

구분	차량 제원			최소회전 반경	도류 가능폭 (가각1.5×1.0m)	통과 가능 높이		
	길이	폭	높이					
일반 차량	중형 버스	6,345	2,035	2,630	6,100	2,035	2,630	
	대형 버스	11,600	2,490	3,235	9,900	4,908	3,235	
	냉동(11ton)	11,760	2,490	3,640	11,400	5,234	3,640	
	카고(24ton)	12,582	2,490	2,970	11,700	5,580	2,970	
	믹서(14ton)	8,260	2,495	3,720	7,500	3,953	3,720	
	덤프(15ton)	7,685	2,495	3,120	7,500	3,929	3,120	
	트레일러(20ton)	12,540	2,480	3,770	11,500	7,579	3,770	
비상 차량	화 학 소방차	소형(3000 l)	7,000	2,230	2,870	6,600	3,340	2,870
		중형(4600 l)	8,175	2,490	3,150	10,100	3,978	3,150
		대형(7000 l)	9,350	2,480	3,205	8,400	4,681	3,205
	분말전용 화학소방차	중형(2500kg)	8,730	2,490	3,360	7,500	4,445	3,360
		대형(4500kg)	9,000	2,490	3,500	7,600	4,623	3,500
	펌프 소방차	소형(3000 l)	7,000	2,230	2,870	6,600	3,340	2,870
		중형(7500 l)	7,680	2,490	3,180	7,600	3,640	3,180
		대형(8000 l)	9,500	2,495	3,100	8,400	4,685	3,100
	견인차	중형(5ton)	6,490	2,170	3,057	5,800	2,170	3,057
		대형(15ton)	10,250	2,495	3,460	11,700	5,861	3,460
구급차		4,790	1,690	1,965	4,800	1,690	1,965	

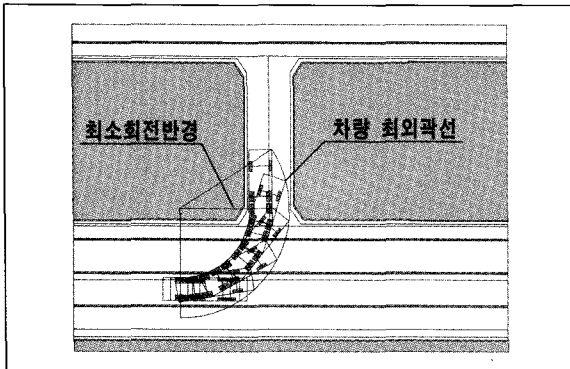


그림 5. 도류검토 예

실제 중형 피난연락갱의 내부라이닝까지 높이는 여유가 있어 내부설치물에 따라 통과가 가능할 수도 있으리라 사료된다. 또한, 차량의 길이가 9m 이상일 경우 모서리 확폭(가각처리)이 없을 경우 통과가 불가능한 것으로 검토되므로 모서리 확폭은 필요하다고 판단되며, 모서리 확폭시 피난연락갱의 규격을 4.7m(폭)×3.5m(높이)로 하여도 각

종 소방차, 구급차, 렉카차등 비상시 긴급차량의 통과는 모두 가능한 것으로 검토되었다.

2.3 피난연락갱 규격 및 설치방법 비교 검토

앞 절의 도류검토로부터 표 3과 같이 인명만을 구난하는 방안, 비상시 긴급차량의 통행이 가능하도록 하는 방안 및 대형차량을 포함한 모든 차량의 통과가 가능한 세 가지 안이 제시되었다.

피난연락갱의 규격은 인명대피는 필수사항이며, 구급차, 중형소방차, 중형견인차 등의 구급차량을 이용하여 신속한 구난이 가능하고 공사비도 비교적 저렴한 중형으로 설치함이 타당할 것으로 판단된다.

또한, 설치방법은 표 4와 같이 중형만을 설치하는 단독형과 대형차량의 이용도 일부 가능하도록 하는 혼합형을 비교 검토하였다. 검토결과 이용주체 구별로 혼란초래 우

려가 있는 혼합형보다는 일관성 있는 설치로 구난시 혼란을 피하고 시공성도 우수한 단독형 사용이 타당한 것으로 판단하였다.

표 3. 피난연락갱 규격 비교 검토

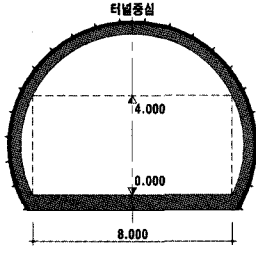
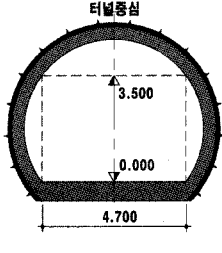
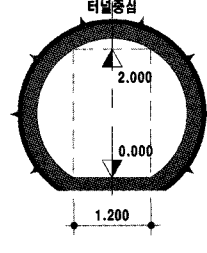

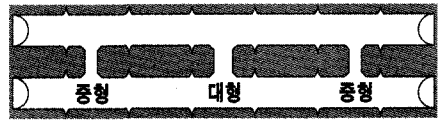
구분	1안 (대형)	2안 (중형)	3안 (소형)
구난범위	인명 및 차량 구난	인명 구난	인명 구난
피난연락갱 이용주체	<ul style="list-style-type: none"> · 인명 · 비상시 긴급차량 (각종 소방차, 구급차, 견인차) · 일반차량(대형특수차량 포함) 	<ul style="list-style-type: none"> · 인명 · 비상시 긴급차량 (중형 소방차, 중형 견인차, 구급차) 	<ul style="list-style-type: none"> · 인명
시설한계	 <p>8.0m(폭) × 4.0m(높이)</p>	 <p>4.7m(폭) × 3.5m(높이)</p>	 <p>1.2m(폭) × 2.0m(높이)</p>
	<ul style="list-style-type: none"> ○ 중형 비상차량 도류 최대폭원 : 4.445m ○ 중형 비상차량 통과 최대높이 : 3.36m ○ 대형차량 도류 최대폭원 : 7.579m ○ 대형차량 통과 최대높이 : 3.77m 		
장단점	<ul style="list-style-type: none"> · 차량대피시 대향터널등 혼란가중 우려 · 방화문 인력개폐기능 및 내풍성 저하 · 공사비 고가 	<ul style="list-style-type: none"> · 다수 인명 동시대피 가능 · 구난장비 사용으로 원활한 구난 가능 · 일반차량 피해 우려 · 비교적 공사비 저렴 	<ul style="list-style-type: none"> · 다수 인명 동시대피 곤란 · 구난장비 사용 제한으로 피해 확대 우려 · 대형장비 사용이 어려워 시공 곤란 · 공사비 저렴

표 4. 피난연락갱 설치방법 비교

구분	1안 (단독형)	2안 (혼합형)
현황도	 <p>중형 중형 중형</p>	 <p>중형 대형 중형</p>
설치방법	<ul style="list-style-type: none"> · 소형, 중형, 대형중 한Type만을 일정간격으로 설치 	<ul style="list-style-type: none"> · 소형, 중형, 대형 Type을 필요에 따라 교대로 설치 · Type별 구난으로 효과적인 단면활용
장단점	<ul style="list-style-type: none"> · 일관성 있는 설치로 구난 및 대피 원활 · 시공성이 우수함 	<ul style="list-style-type: none"> · 이용주체 차별로 혼란 초래 우려 · 설치기준 정립 필요 · 시공성 다소 불량

3. 피난연락갱 설치간격

3.1 국내 피난연락갱 설치간격 검토

국내에서 피난연락갱 설치간격은 앞서 언급한 바와 같이 『도로의 구조·시설기준에 관한 규칙』 및 한국도로공사 기준에서 정한 750m 정도를 기본으로 하고 있으며, 표 5에 적용예를 나타내었다.

표 5. 국내 피난연락갱 기설계된 설치 사례

터널명	설치간격	비고
수리터널	617~635m	차도용: 2개소
죽령터널	290.96~395m	차도용: 2개소, 인도용: 11개소
상주터널	530~550m	차도용: 2개소
불모산터널	390~780m	차도용: 3개소
차령터널	536~673m	

해외의 경우에는 다음에 나타낸 바와 같이 국가별로 적용성이 상이한 것으로 조사되었다.

- 일 본 : 인도연락갱 간격은 750m, 차량연락갱은 3,000m로 적용
- 노르웨이 : 회차갱 간격을 1,000m~2,000m로 적용
- 스웨덴 : 인도연락갱 간격을 100m로 적용
- 스위스 : 비상주차대 간격을 700m로 규정

따라서, 본 검토에서는 국내에서 설치간격의 기준으로 사용되고 있는 구조활동의 이동가능 범위로부터 피난연락갱 설치간격 기준을 계산하고, 이를 연기의 이동속도와 피난속도로부터 통행자의 피난가능성을 방재시물레이션 을 통하여 검증하였다.

3.2 구조활동의 이동가능성을 고려한 설치간격

구조활동의 이동가능 범위로부터 피난연락갱의 설치간격을 구하는 방법은 구조대용 산소호흡기구의 용량과 대

피자의 공기소비량으로부터 호흡에 지장이 없게 구조가 가능한 거리를 구하는 방법이다.

- 구조대용 호흡기구 표준형 5ℓ 형
- 구조시 공기소비량 40~50ℓ /min
- 주행속도 0.8m/sec를 적용
- 구조가능시간 : $5ℓ \times 150(\text{대기중 공기로 환산}) \div 50 \ell / \text{min} = 15\text{min}$
- 구조가능거리 : $15\text{min} \times 60\text{sec}/\text{min} \times 0.8\text{m}/\text{sec} = 720\text{m}$

4. 방재시물레이션

4.1 방재시물레이션 개요

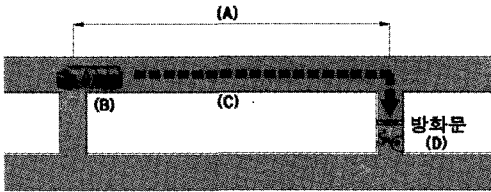
화재 발생시 발생하는 복잡한 사항들을 비교적 단순화시켜 화재발생 시나리오에 입각한 성능위주의 소방공학 설계기법(Performance Based Fire Safety Design)에서 제시하는 일반적인 개념을 도입하여 설치기준안을 검토하고자 하였다.

피난연락갱 설치간격 결정을 위한 방재시물레이션은 방재설비의 역할을 무시한 경우와 화재 감지기, 비상발전기 및 제트팬 등의 방재설비와 제연설비가 정상적으로 가동되어 연기 및 열의 Back Layer가 발생하지 않는 경우에 대해 검토하였으며, 이를 위해 가정한 화재시나리오는 다음과 같다.

【화재시나리오】

- 터널종류 : 일방향 쌍굴 이차선 도로터널
- 터널연장 : 4.2 km
- 화재지점 : 피난연락갱 지점과 피난연락갱 중간지점
- 화재사건 : 주행중이던 버스에서 엔진과열로 화재가 발생, 피난연락갱 부근에서 급정차

버스탑승인원의 대피는 피난연락갱의 설치거리가 150m, 350m, 400m, 750m인 4가지 경우에 대해 대피시간을 산정하였으며, 피난기본가정은 다음과 같다.



(A)설치거리 (C)이동시간
(B)하차시간 (D)통과시간

[기본가정]

- 피난행동은 일제히 개시한다.
- 피난은 공간내 마련된 피난경로를 이용하여 피난한다.
- 보행속도는 일정하고 추월하거나 원위치로 돌아오는 경우는 없다.
- 피난유동은 피난통로의 폭으로 결정한다.
- 피난통로는 화재시 가장 가까운 통로를 이용하여 상하행선 승강장 피난자는 상호교차하지 않는다.

4.2 방재설비 미작동시 피난연락갱 간격 검토

화재감지기, 비상발전기 및 제연팬 등의 방재설비 고장으로 제연이 안되면, 교통환기력에 의한 공기의 관성력이 0이 되는 순간부터 그림 6과 같이 연기 및 열은 역류한다. 그러므로 열의 역류에 따른 제 2의 화재가 발생하기 전에

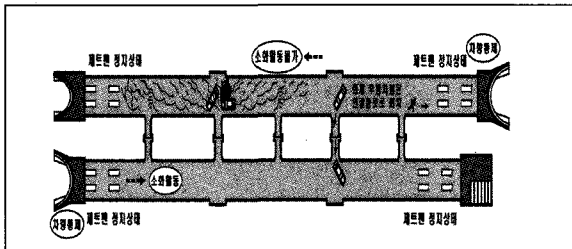


그림 6. 제트팬 정지시 현황

대피할 수 있는 피난연락갱의 간격이 필요하다.

4.2.1 피난시간 산정

피난시간은 버스에 탑승하고 있던 인원의 하차시간, 피난연락갱까지의 이동시간 및 피난연락갱에서 방화문 통과 시간으로 구분할 수 있으며, 화재시 터널내 차량대수 (pcu)는 화재후 3분간 진입 차량수에 근거하여 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} & \text{차량대수} \\ &= \frac{\text{최대가능교통용량}(\text{pcu/h} \cdot \text{lane}) \times \text{차선수}(\text{lane}) \times \text{진입시간}(\text{sec})}{3,600(\text{sec/h})} \\ &= \frac{2,200\text{pcu/h} \cdot \text{lane} \times 2 \text{ lane} \times 180 \text{ sec}}{3,600 \text{ sec h}} \\ &= 220 \text{ pcu} \end{aligned}$$

건물내 소방설계시 병목구간 통과에 대한 유동계수(비류, Fs)는 계단에서는 1.3 인/m·sec, 복도에서는 1.5인/m·sec 이다. 그리고 터널과 같은 공간에서의 보행자 보행속도는 0.5~1.5m/sec 정도이나 화재에 의한 매연에 의한 영향을 고려하여 1.19m/sec로 가정하였다.

① 버스 탑승 인원의 하차시간

대형버스에 탑승하고 있던 승객의 최대인원수는 45인이며, 하차 시간은 계단의 유동계수를 1.3(인/m sec)로 적용하였을 경우 다음과 같이 산정할 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{하차시간}(\text{sec}) &= \frac{\text{대피인원}(\text{인})}{\text{계단유동계수}(\text{인/m} \cdot \text{sec}) \times \text{통과폭}(\text{m})} \\ &= \frac{45(\text{인})}{1.3(\text{인/m} \cdot \text{sec}) \times 0.6(\text{m})} \\ &= 57.69\text{sec} \approx 58\text{sec} \end{aligned}$$

② 피난연락갱까지 이동에 걸리는 시간

사고지점이 피난연락갱 지점인 경우와 피난연락갱 중간지점인 경우에 대해 이동시간을 계산하였으며, 이 때 피난연락갱의 연장은 20m이고, 방화문은 피난연락통로의 중간지점에 설치되어 있는 것으로 간주하였다. 피난연락갱의 방화문 앞까지 이동하는 데 소요된 시간의 계산 과정과 결과는 다음과 같으며, 피난연락갱 설치간격별 이동시간은 표6에 수록하였다.

- 사고지점이 피난연락갱 지점인 경우

$$\begin{aligned} \text{이동시간(sec)} &= \frac{\text{대피거리(m)}}{\text{대피속도(m/sec)}} \\ &= \frac{\text{피난연락갱 설치거리} + 10\text{m}}{1.19\text{m/sec}} \end{aligned}$$

- 사고지점이 피난연락갱 중간지점인 경우

$$\begin{aligned} \text{이동시간(sec)} &= \frac{\text{대피거리(m)}}{\text{대피속도(m/sec)}} \\ &= \frac{(\text{피난연락갱 설치거리})/2 + 10\text{m}}{1.19\text{m/sec}} \end{aligned}$$

③ 방화문통과 지체시간

화재시 터널내의 차간거리를 5m로 가정할 경우 길이 가 4.34m인 승용차 기준으로 차두간 9.34m가 되며, 이때의 방화문 통과시간은 다음과 같으며, 계산결과는 표6에 나타내었다.

$$\begin{aligned} \text{방화문 통과 지체 시간} &= \frac{\text{차량대수(pcu)} \times \text{인원수}}{\text{복도유동계수}} \\ &\quad \times \text{방화문 폭 (3m)} \end{aligned}$$

여기서, 대피인원수 = 차량대수(pcu) × 인원수

$$\left(\text{차량대수 (pcu)} = \frac{\text{피난연락갱 설치간격}}{\text{차두간 거리/(pcu)}} \times \text{차선수} \right)$$

이상에서 열거한 피난시간의 합을 계산하기 위하여 식

표 6. 피난연락갱 설치거리별 탈출예상시간 (단위 : sec)

피난갱 설치거리	750m	400m	350m	150m
위험 인원수	483	258	225	99
화재 인지시간	60	60	60	60
최대 하차시간	58	58	58	58
사고지점별 피난연락갱 지점	639	345	303	135
이동시간 피난연락갱 중간지점	324	177	156	72
방화문 통과시간	108	58	50	22
탈출시간	697	413	361	193
	(11.62분)	(6.88분)	(6.01분)	(3.22분)

(1)과 같은 Nelson과 MacLennan의 비상피난시 수압계산 모델을 적용하여 4가지 설치간격에 대해 화재후 예상 가능한 탈출시간을 산출하였으며, 그 결과를 요약하면 표 6과 같다.

$$T_{ae} = T_{me} * ef + T_d \tag{1}$$

여기서, T_{ae} = 실제피난 시간

T_{me} = 계산에 의한 피난 시간

ef = 명백한 피난 효율

T_d = 피난 초기의 지연

- 피난연락통로갱 앞 지점의 화재인 경우,
탈출시간 = 최대하차시간 + Max(이동시간, 방화문 통과시간)
- 피난연락통로갱 주위 지점의 화재인 경우
탈출시간 = 화재인지시간 + 최대하차시간 + Max(이동시간, 방화문 통과시간)

4.2.2 피난연락갱의 적정 설치 간격

일반적인 버스화재의 경우, EUREKA Test(1995)에 의하면 그림 7과 같이 피난 가능한 안전시간은 화재온도가 최고점에 달하여 제 2의 화재가 발생하기 전인 약 6분 이내가 되어야하므로 화재인지후 행동개시까지 걸리는 지

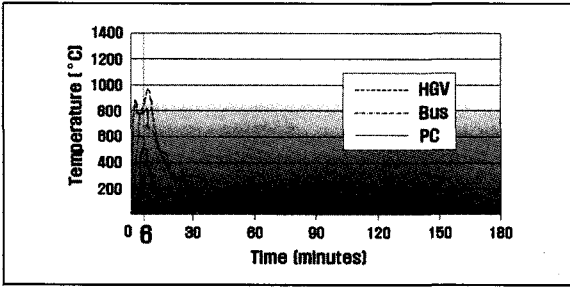


그림 7. 시간에 따른 온도 분포

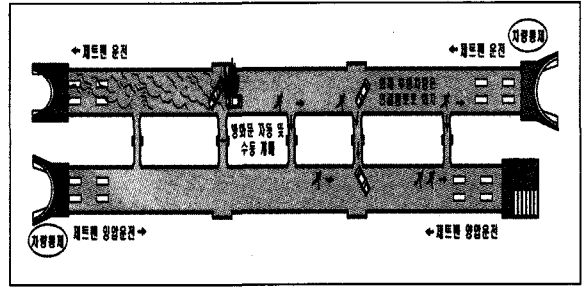


그림 8. 제트팬 정상 가동시 현황

표 7. 임계속도에 의한 방재팬 대수 산출 결과표

임계속도	10	20	30	40	50	60	70	80
터널내 정체차량(대)	860	726	634	554	497	449	417	374
방재속도(m/s)	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2
소요 승압력(mmAq)	20.1	18.4	17.2	16.3	15.5	14.9	14.4	13.9
방재팬 대수(φ 1250)	18	17	16	15	14	13	13	13

체시간 1분을 고려할 경우 피난연락갱 사이의 거리는 350m [(6-1) min × 60 sec/min × 1.19 m/sec ≈ 357m] 정도가 적절하다.

4.3 방재설비 작동시의 피난연락갱 설치간격

터널내 화재발생시 제연설비가 정상적으로 작동하여 연기와 열등이 배연방향과 반대로 역류하여 대피인원에 게 위험을 줄 수 있는 Back-Layer를 제압하게 되면 그림 8과 같이 무사히 대피할 수 있게 된다.

4.3.1 임계속도 분석

터널내 화재 발생시 Back-Layer를 제압할 수 있는 최소 유속을 임계속도라 하며, Kennedy(1996)의 식을 적용하여 구할 수 있다.

$$V_c = K_g \cdot K \cdot \left(\frac{g \cdot H \cdot Q}{\rho_\infty \cdot C_p \cdot A \cdot T_f} \right)^{1/3}$$

$$T_f = \frac{Q}{\rho_\infty \cdot C_p \cdot A \cdot V_c} + T_\infty \quad (2)$$

여기서,

- V_c : 임계속도 [m/sec]
- g : 중력 가속도 [9.8m/sec]
- H : 터널 높이 [m]
- Q : 화재의 크기 [MW]
- ρ_∞ : 주위공기밀도 [kg/m³]
- C_p : 정압비열 [J/kg°C]
- A : 터널 단면적 [m²]
- T_f : 화점온도 [K]
- T_∞ : 주위공기온도 [K]
- K_g : 구배보정계수

주행속도별로 표 7에서 산출된 임계속도 발생이 가능한 제트팬 대수를 설치할 경우, 인체에 위해요소가 없는 상황에서 대피가 가능할 것으로 판단된다.

4.3.2 피난연락갱의 간격

제연팬이 정상적으로 작동하여 차량 진행방향으로 임계속도 이상의 공기흐름이 발생하면 연기 및 열이 피난 방향으로 침입하지 않으므로 제 2의 사고가 발생할 확률

이 적고 기존의 피난연락갱 간격 750m의 경우 대피시간이 약 11.6분이 소요된다. 즉, 750m 간격의 경우 다소 대피시간이 길어지나 방재설비와 제연설비가 정상가동 되면 화재시 제 2의 재해가 발생할 확률이 적으므로 유도표지, 구난을 위한 갓길 등이 완벽하게 확보될 경우 큰 무리는 없을 것으로 사료된다.

750m 간격이 큰 무리는 없을 것으로 보인다. 다만, 방재설비와 제연설비의 고장이나 화재에 의한 온도상승으로 제트팬이 소실될 경우를 대비하여 예비용 제트팬 1개소(2대)를 추가하여 설치하는 방안이 타당할 것으로 판단된다.

5. 검토 결과

피난연락갱은 터널내 화재 또는 긴급상황 발생시 운전자와 승객을 안전하게 대피시키기 위한 시설로 적절한 설치기준의 확립이 필요하다. 따라서 본 검토에서는 피난연락갱의 기능검토 및 구난기준을 검토하여 적정규격 및 설치간격에 대한 기준을 정립하고자 하였다.

피난연락갱의 규격결정은 차종별로 도류검토를 수행하여 도류폭원 및 통과가능한 높이를 구하였으며, 검토결과 인명대피 및 신속한 구난이 가능하도록 구급차, 중형소방차 및 중형견인차 등의 구급차량의 통행이 가능한 중형규격(폭 4.7m×높이 3.5m)을 설치하도록 하였다.

설치방법은 이용주체별로 혼란초래의 우려가 없으며, 시공성이 좋은 단독형으로 설치하는 것이 타당한 것으로 검토되었다.

또한, 설치간격은 구난활동 이동가능 범위 및 『도로의 구조·시설기준에 관한 규칙』에 따라 750m로 하였으며, 제연설비의 작동유무에 따른 방재시물레이션을 수행하여 타당성을 검증하였다. 방재시물레이션 결과 제연설비의 미작동시에는 피난연락갱 사이의 거리는 350m 정도가 적절한 것으로 나타났다. 그러나, 자동제어시스템에 의해 제어되고 있는 방재시스템이 전혀 작동하지 않는다고 보는 것에는 무리가 있는 것으로 판단되므로 대피시간이 다소 길어지나 제연팬의 정상작동으로 연기 및 열이 피난방향으로 침입하지 않아 제2의 사고가 발생할 확률이 적어 유도표지, 구난을 위한 갓길등이 확보될 경우 현재의

참고문헌

- 1) 건설교통부(2000), 도로용량편람 개선 연구(제2단계) 최종보고서
- 2) 건설교통부(2000), 도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙 해설 및 지침
- 3) 원재무(2000), 알기쉬운 도시교통, 박영사
- 4) 임병조, 문한영, 마근식, 공영대, 지하철건설핸드북, 한양출판사
- 5) 한국도로공사(1995), 고속도로 터널설계 실무자료집
- 6) Eureka-Project EU 499: FIRETUN(Nov. 1995), "Fires in Transport Tunnels, Report on Full Scale Tests." Editor: Studiengesellschaft Strahlenwendung e.V., D-40213 Dusseldorf
- 7) Harold. E. Nelson and Hamios A. Maclennan., "Emergency Movement", The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering 2nd Edition, pp 3-286
- 8) Kennedy, W.D.(1996), "Critical Velocity: Past, Present and Future", Contribution to the One Day Seminar Smoke and Critical Velocity In Tunnels, London, pp 58-67
- 9) SFPE(1988), Handbook of Fire Protection Engineering, 1st Edition, National Fire protection Association, Quincy, MA, USA
- 10) WG No. 6 'Fire and Smoke Control', PIARC Committee on Road Tunnels(1999), "For Tunnel Structures Resistance to FireDesign Fires and Objectives", CD-Reports.
- 11) 日本道路公團(1999), 第二東名・名神高速道路トンネル設計指針(安)