

고속도로에서의 환기·방재특성을 고려한 연속터널 설계사례

김영근¹⁾, 김우성¹⁾, 김남영¹⁾, 이호석²⁾, 김일환³⁾
¹⁾(주) 삼보기술단, ²⁾(주) 비엔텍, ³⁾한국도로공사

요지 : 본 연구에서는 동해고속도로 설계시 나타난 연속터널을 대상으로 하여 터널내 오염농도 해석 및 터널내 오염농도의 거동 및 터널 갱구부 주변의 오염물질의 재유입 여부를 분석하여, 연속터널에 대한 터널내 외부유동에 대한 환기영향을 검증하였다. 또한 연속터널 연결부에서의 캐노피 설치방안, 결빙대책 및 조도순응대책 등을 검토하여 연속터널에서의 환기 및 방재특성을 고려한 합리적인 고속도로설계가 되고자 하였다.

1. 서론

최근 도로설계시 두 개의 터널이 짧은 거리로 계속적으로 존재하는 연속터널에 대한 설계사례가 증가하고 있다. 이러한 경우, 한 터널내에서 발생한 오염물질은 다른 터널로 재유입하여 터널환기시스템에 중대한 영향을 미치게 되므로, 이에 대한 적절한 환기 및 방재검토가 수행되어야 한다. 또한 연속터널에서의 연결구간에서의 결빙에 의한 안전문제와 터널간의 조도의 순간적인 변화로 인하여 운전자의 안전운행을 저해할 수 있는 가능성이 있어 안전성에 있어서 보다 면밀한 검토가 필요하다 할 수 있다.

이러한 문제점을 해결하기 위하여 두 개의 터널을 캐노피로 연결하는 경우, 결빙대책으로서는 효과적이지만, 방재적 측면에서 보면 터널이 한 개로 되므로 터널 비상용설비 및 환기설비가 필요하게 되며, 전체적인 건설비용이 증가하게 된다. 또한 연결구간에 캐노피를 설치하는 경우 터널내의 오염공기 및 화재시 연기가 터널상호간에 영향을 미칠 수 있지만 기존설계사례·문헌 등에는 이러한 특성에 대한 검토가 충분치 못한 것이 사실이다.

이와 같이 연속터널 연결부에 대한 캐노피 설치여부를 검토하는 경우, 도로의 안전측면 뿐만 아니라 환기·방재적 측면 그리고 경제적 측면을 종합적으로 고려하여야 하며, 연속터널의 연결구간에 대한 안전성을 확보하도록 하여야 한다.

본 연구에서는 동해고속도로설계과정에서 나타난 연속터널을 대상으로 하여 터널내 오염농도의 거동 및 터널 갱구부 주변의 오염물질 재유입 여부를 분석하여 연속터널에 대한 터널내 공기유동을 검증하고자 하였으며, 터널내부의 공기환경을 검토하고 이를 3차원 시뮬레이션에 반영하여 재유입여부 및 재유입율을 검토하고자 하였다.

또한 대상터널에 대한 캐노피 설치방안과 이에 따른 제반 특성을 분석하여 캐노피 설치여부를 검토하였으며, 연속터널의 연결구간에 대한 결빙대책 및 조도순응대책을 분석함으로써 보다 합리적인 터널설계를 도모함으로써 안전하고 쾌적한 고속도로가 되도록 하였다.

2. 연속터널의 환기·방재특성

2.1 도로터널의 환기·방재기준

국내 도로터널의 환기 및 방재기준은 한국도로공사에서 만든 기준과 소방법상의 기준으로 구분되며 표 1에서 보는바와 같다. 기준을 보면 1km이상의 장대터널의 경우 소화활동설비로서 제연 및 환기목적인 제연설비를 갖추도록 되어 있다. 즉 1km 이상의 장대터널의 경우 제연팬을 수용할 수 있는 단면과 제연팬을 가동할 수 있는 각종 전기설비 및 기계설비 등이 추가 설치되어야 하므로 터널공사비가 증가하게 된다. 따라서 터널설계시 터널연장은 중점고려사항이 된다.

그러나 연속터널의 경우, 연속터널간의 환기상호영향문제와 캐노피 설치시 환기 및 방재문제에 대한 보다 공학적인 분석이 필요한 상태로, 실제로 연속터널 연결구간에 캐노피가 설치된 터널구간에 소방법상의 조치가 문제가 되는 경우가 발생하고 있으나, 이에 대한 명확한 기준이나 근거가 부족한 실정이라 할 수 있다.

표 1. 국내 도로터널의 환기 및 방재 기준

구분(터널연장) 방재시설		소방법		한국도로공사			관련분야
		2km이상	1km이상	4km이상	2km이상	1km이상	
소화 설비	소화기구	●	●	●	●	●	기계
	옥내소화전	●	●	●	●	●	기계
	물분무설비			●			기계
경보 설비	비상경보설비	●	●	●	●		전기
	화재감지기			●	●		전기
	비상방송설비			●	●	●	전기
피난 설비	비상조명등	●	●	●	●	●	전기
	유도표시판			●	●	●	전기
소화 활동 설비	제연설비	●	●	●	●	●	기계
	무선통신 보조설비	●	●	●	●	●	전기
	연결송수관설비	●		●	●		기계
	비상콘센트설비	●	●	●	●	●	전기
통보 경보 설비	비상전화			●	●	●	전기
	정보표시판			●	●	●	전기
기타 설비	비상전원설비			●	●	●	전기
	라디오 재방송설비			●	●	●	전기
	CCTV			●	●	●	전기
	피난연결통로			●	●	●	토목

2.2 연속터널에서의 환기영향 평가사례 검토

2.2.1 터널의 개요 및 현황

일본 동북지방은 상당한 호설지대로서, 겨울철 교통흐름을 확보하기 위해 설빙상의 교통안전대책으로서 연속터널사이를 캐노피 또는 스노우 슈드(snow shed)로 연결하게 된다. 이와 같이 두개의 터널을 캐노피로 연결하는 경우에 환기 및 방재영향을 평가하여야 하는데, 본 사례에서는 모형실험 및 수치시뮬레이션을 수행하여 그 영향을 정량적으로 분석하였으며, 이러한 검토결과를 설계조건으로 하여 추진자동차도 연속터널의 설계의 적정성을 검토하였다.

추진자동차도 북상서~양전간에는 2개의 연속터널이 존재한다. 그림 1에서 보는 바와 같이 시험대상이 되는 터널은 화가산인 터널~대망역 터널의 연속터널이다. 화가산인 터널의 연장은 3775m, 대망역 터널의 연장은 369.75m 이다. 갭구간은 35.5m의 스노우슈드 구조로 되어있다.

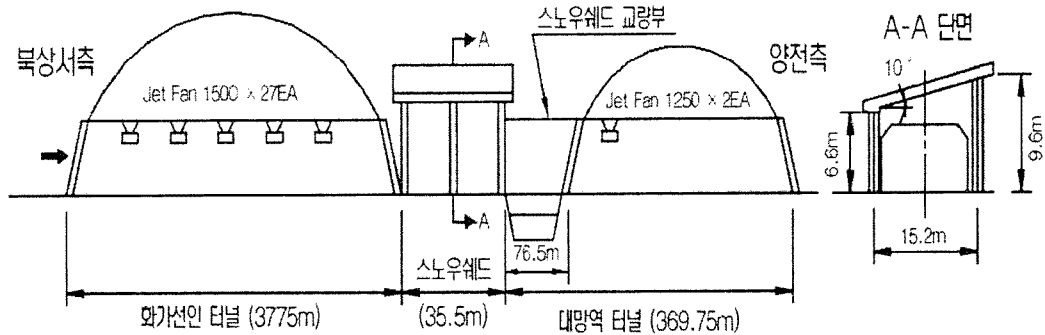


그림 1. 연속터널에서의 환기 및 화재영향평가 사례

2.2.2 환기 및 화재영향 평가

1) 환기실험 : 연속터널의 상류측의 터널의 오염공기가 하류측의 터널에 어느 정도 유입이 예상되므로 모형실험을 수행하였고, 그 결과에 대하여 터널 환기시험에 의하여 검증할 수 있었다. 시험의 측정결과로부터 횡풍의 영향 및 차량주행에 따른 풍속비와 간섭율을 분석하여 환기영향을 평가하였다.

2) 화재실험 : 상류측 터널에 화재가 발생할시, 하류측 터널로 유입되는 연기를 실측하여 검증하기 위하여 상류측 터널에서 가솔린을 이용하여 열기류와 연기를 발생시켜 하류측 터널로의 연기의 유입을 연기농도계로 측정하였다. 실험결과로부터 외기온도차에 따른 연기농도비를 분석하여 연속터널에서의 간섭율을 평가하였다.

이러한 결과로부터 스노우슈드가 설치된 연속터널에 있어서, 한쪽의 터널에서 대형버스 화재가 발생하는 경우에도, 연속하는 경우에 한쪽터널에서 최저한의 피난환경으로서 연기농도 $C_s=0.4$ 를 확보하도록 하였다.

3. 연속터널에서의 환기영향 평가

3.1 터널현황 및 개요

본 구간은 동해고속도로중 터널구간으로서 터널간 이격거리가 각각 56m 와 81m인 안 두 개의 연속터널이 위치해 있으며, 각각의 터널에 대한 상세한 제원은 표 2와 같으며, 연속터널의 개요도는 그림 2에 나타내었다.

표 2. 연속터널의 제원

	현남 1터널		현남 2터널	
	주문진방향	속초방향	주문진방향	속초방향
터널연장 [m]	999	999	554	549
터널단면적 [m ²]	76.051	76.051	76.051	76.051
표고 [m]	88.73	88.73	88.73	88.73
대표직경 [m]	8.82	8.82	8.82	8.82
터널구배 [%]	0.61	-0.5	0.61	-1.1
차로 수	2	2	2	2
개문형식(시점)	벨마우스변형	아치면벽식	아치면벽식	벨마우스변형
개문형식(종점)	벨마우스변형	아치면벽식	아치면벽식	벨마우스변형

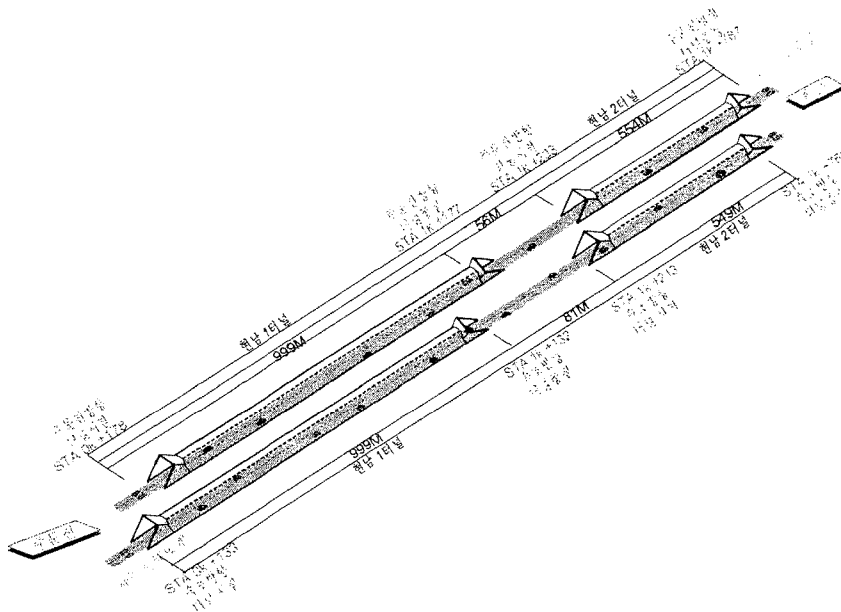


그림 2. 연속터널의 현황 및 개요도

본 검토를 위하여 속초지역에 대한 1992년부터 2001년까지 기상청에서 측정 한 시각별 기상데이터에 대하여 풍향 및 풍속을 분석하였다.

풍향빈도는 시각별로 측정된 전시간대의 기상데이터에 대하여 분석하여 최대빈도가 발생하는 방향을 도출하였다. 풍속의 경우는 전시간대에 대한 최대풍속값을 사용할 경우,

이상기류나 태풍등의 영향으로 인한 과도한 풍속이 선정되어 실제 발생빈도가 매우 낮은 풍속이 최대풍속으로 산출될 가능성이 있다. 따라서 TAC 5%를 적용하여 풍속조건을 분석하고 이를 시물레이션에 반영하기 위한 기초자료로 선정하였다.

본 연구에서는 풍향은 가장 높은 빈도를 보이는 서북서풍과 남남동풍을 선정하며, 이를 8방위로 환산하여 북서풍과 남동풍으로 간략화하여 적용하였다.

3.2 터널 내부공기환경 및 오염농도산출

일반적으로 도로터널에서는 자동차의 배출가스에 의한 터널 내 공기의 오염을 막기 위하여 터널내 환기가 필요하다. 국내에서 적용되고 있는 도로터널에 대한 환기는 한국도로공사에서 간행한 고속도로터널 환기설계기준에 의하여 설계되고 있으며, 이 기준에 의하면 연장 1,000m이하의 터널에 대해서는 자연환기에 의하여 터널내 공기환경을 유지하도록 하고 있다.

본 연구대상인 현남 1, 2터널의 터널내부 환기설비에 대한 오염농도 분포를 해석하기 위해서 1차원 해석 프로그램인 n.TAQS를 사용하였으며, 본 연구에서는 분석된 자연풍조건을 터널내 시물레이션에도 적용하여 터널내부 오염농도 및 유속조건을 산출하였다.

3.2.1 검토조건 및 기준

본 연구에서 수행한 터널내부공기환경 검토조건 및 내용은 표 3과 같으며, 터널내 공기환경기준은 한국도로공사에서 제시한 “고속도로 터널 환기시설 설계기준”에 근거로 하여 분석을 수행하였다.

표 3. 터널 내부공기환경 검토조건 및 내용

No.	구분	년도	외부 자연풍	차량속도	내 용	목 적
Case 1	현남1터널 주문진방향		북서풍	10[km/h]	속도별 터널내 유 속의 기준치만족 여부에 대한 검증. 터널내 오염농도 (CO, NOx, 매연) 의 거시적인 거동 을 검토 외부자연풍의 영 향을 감안한 터널 내 공기환경예측	차량속도별 터널내 기류 거동 및 오염농도를 예측. 터널 출구오염농도산출에 의한 오염확산 시물레이 션 자료제공. 다양한 케이스를 수행함 에 따라 3차원 해석으로 는 시간적으로 해결하기 힘든 경우를 예측하여 환 기기 모드를 검토함
			남동풍	~		
			무 풍	80[km/h]		
Case 2	현남1터널 속초방향	2028년	북서풍	10[km/h]		
			남동풍	~		
			무 풍	80[km/h]		
Case 3	현남2터널 주문진방향		북서풍	10[km/h]		
			남동풍	~		
			무 풍	80[km/h]		
Case 4	현남2터널 속초방향		북서풍	10[km/h]		
			남동풍	~		
			무 풍	80[km/h]		

3.2.2 해석결과 및 분석

(1) 북서풍 조건

자연풍이 북서풍으로 불 경우, 주문진방향 터널은 차량진행방향으로 자연풍이 유입되며, 속초방향터널의 경우는 터널 출구부로부터 3.08m/s의 역풍조건으로 작용하게 된다.

그림 3은 북서풍작용시 터널내 오염물질 CO농도에 대한 해석결과이다. 주문진방향 터널의 경우 차량의 진행방향과 외부자연풍의 유입방향이 동일하여 터널내 공기유동에 도움을 주게 된다. 따라서, 터널출구의 오염물질 배출농도는 감소되는 것으로 나타난다. 속초방향 터널의 경우는 외부자연풍이 저항자연풍으로 작용한다. 즉, 차량의 진행방향에 반대되는 외부자연풍의 영향으로 터널내의 오염물질 농도는 주문진방향과는 반대로 증가하였다.

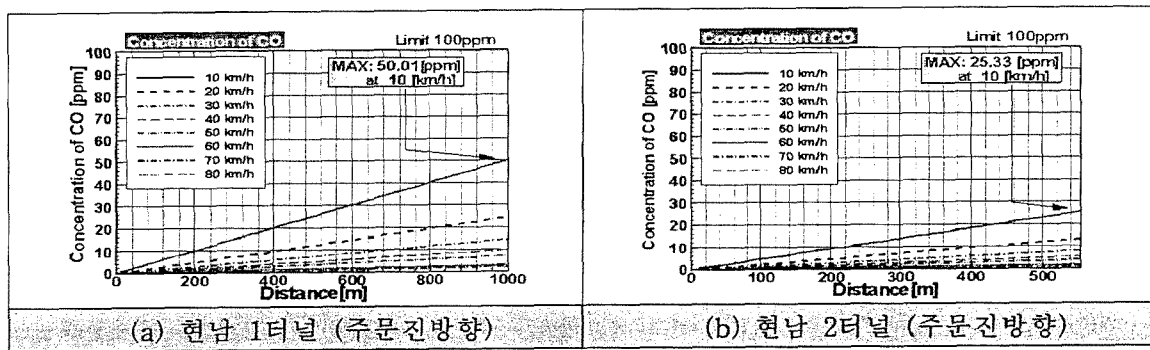


그림 3. 북서풍작용시 터널내 오염물질 CO의 농도변화

(2) 남동풍 조건

자연풍이 남동풍으로 불 경우, 속초방향 터널은 차량진행방향으로 자연풍이 유입되며, 주문진방향터널의 경우는 터널출구부로부터 3.63m/s의 역풍조건으로 작용하게 된다.

남동풍의 평균유속은 3.63m/s로 북서풍의 평균유속인 3.08m/s에 비하여 높은 분포를 나타낸다. 이는, 자연풍이 차량흐름과 동일한 방향으로 작용할 경우에는 북서풍에 비하여 낮은 오염농도를 기대할 수 있지만, 반대로 작용할 경우에는 저항자연풍의 증가로 터널내 공기환경이 악화될 수 있음을 의미한다. 해석결과로부터, 터널출구의 오염농도는 기준치를 만족시키는 분포를 보이고 있음을 알 수 있다.

(3) 무풍 조건

외부저항 자연풍이 없는 상태에서는 터널내의 기류는 차량의 운행에 의한 교통환기력만이 작용하게 된다. 이때의 오염농도는 각 방향별로 자연풍이 차량진행방향과 동일한 경우와 반대로 작용하는 경우에 대한 중간값으로 나타난다. 가장 큰 소요환기량을 보이는 지체시 10km/h에서는 현남 1터널 주문진방향에서 61.75ppm 값을 나타내며, 다른 경우에 있어서도 그 이하의 값을 나타내어 터널내 공기환경 기준을 만족시킬 수 있을 것으로 예상된다.

3.3 오염물질 재유입 해석

3.3.1 갱구부 재유입 특성

도로터널에서 갱구간의 재유입이 발생하는 경우는 크게 2가지로 구분할 수 있다. 첫째, 터널의 입구부분과 출구부분이 동일구역에 위치하게 되는 경우, 둘째, 터널이 연속적으로 위치하는 경우, 즉, 첫 번째 터널의 출구에서 배출된 오염물질이 두 번째 터널의 입구로 유입되는 현상이 발생하는 경우이다.

이러한 두가지 경우 모두 오염물질의 재유입으로 인하여 재유입된 터널내부의 오염농도가 상승하고 이는 터널내부의 환기시스템에 영향을 미친다. 특히 1,000m미만의 자연환기방식 터널의 경우는 재유입에 의하여 오염농도가 상승하여 추가적인 환기시스템이 요구되는 경우가 발생할 수 있기 때문에 더욱 면밀한 검토가 필요하다고 볼 수 있다.

설계과정에서 고려할 수 있는 인자는 터널 갱문형상 및 갱문간의 거리가 있을 수 있으며, 인접터널로의 오염물질 재유입량에 따라서 인접터널에서의 환기시스템의 용량에 변동이 발생할 수 있다.

3.3.2 검토방법 및 내용

연속터널인 현남 1터널 및 현남 2터널의 재유입 발생을 검토하기 위하여 전산유체역학(CFD)기법에 의한 3차원 시뮬레이션을 수행하였다. 이를 위하여 인근 지형에 의한 기류의 영향을 고려하여 현남 1터널 및 현남 2터널 갱문주변의 지형 및 갱문형상을 구현하였으며, 지형데이터 및 갱문형상은 설계제원을 적용하였다.

독립적인 터널에 대한 터널내부 환경뿐만 아니라 연속터널 및 상대터널로의 재유입을 고려한 터널내 공기환경 예측하고 외부자연풍으로 인한 갱구사이의 기류유동에 대한 영향 분석하였다. 연속터널 갱구부에서의 오염물질의 재유입에 대한 검토내용으로 풍향조건과 차량소통조건에 따라 Case를 선정하여 분석하였다. 그림 4에는 대상구간에서의 연속터널에 대한 재유입 해석개요도이다.

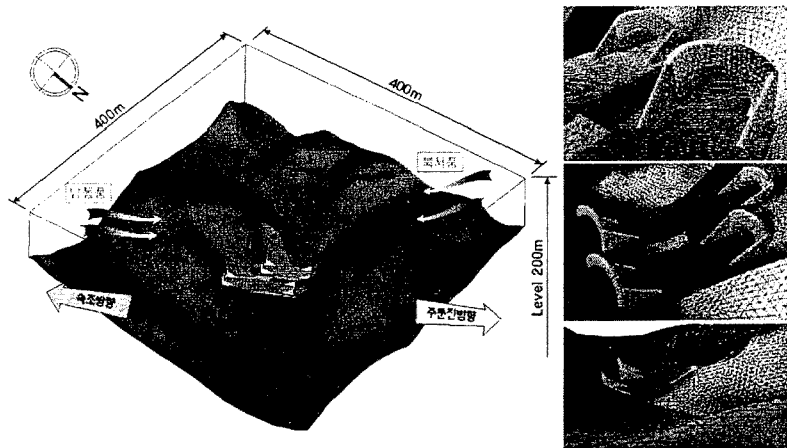


그림 4. 연속터널 재유입 해석개요도

3.3.3 해석결과 및 분석

그림 5는 북서풍작용시 오염물질(CO) 재유입 해석결과를 보여주고 있다. 북서풍방향으로 외부자연풍이 형성되는 경우, 기류가 현남 1터널 방향으로 형성되나, 지형의 영향으로 인하여 직진성이 떨어지는 경향을 보이고 있다. 따라서 현남 2터널 주문진방향에서 유출된 오염물질이 현남 1터널 주문진방향으로 유입되는 양이 거의 발생되지 않는 것으로 나타났다. Case-2의 경우 Case-1과 자연풍 조건은 같고, 차량의 소통상태가 다를 경우에 대한 해석으로서 10km/h시에 비하여 교통환기력이 크기 때문에 기류의 직진성이 강하게 나타나고 이로 인하여 높은 재유입율을 보이고 있으며, 80km/h는 오염물질 농도가 낮아 터널내 공기환경에는 큰 영향이 없을 것으로 예상된다.

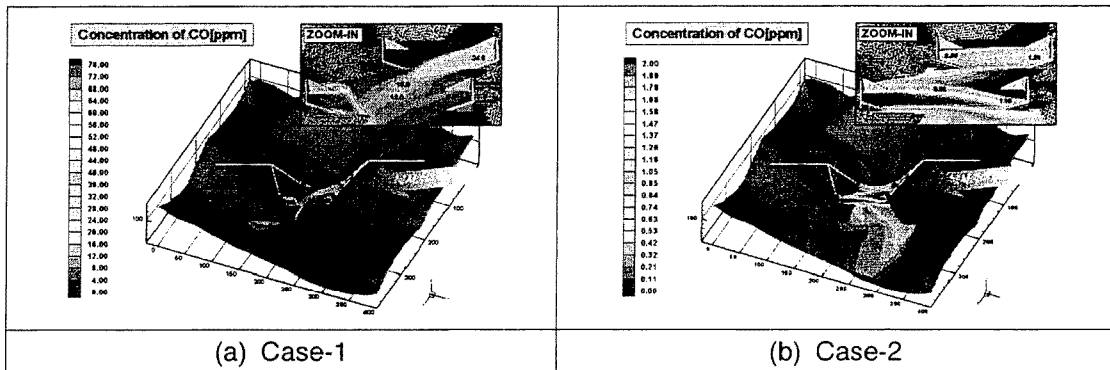


그림 5. 북서풍작용시 오염물질(CO) 재유입 해석결과

남동풍 작용시는 지형의 영향을 비교적 덜 받는 것으로 보여지며, 북서풍에 비하여 외부 자연풍이 강하여 현남2터널 주문진 방향 출구의 오염물질이 현남 1터널 주문진방향 입구로 진행되지 못하고 출구부에 정체되는 양상을 나타내었다. 반대쪽인 속초방향의 경우는 현남 2터널로 대부분의 오염물질이 유입되는 결과를 보이고 있다.

무풍상태의 경우는 주문진방향 10km/h, 속초방향 80km/h일 경우로서, 속초방향 터널은 원할 교통시이므로 주문진 방향 터널에 비하여 일산화탄소 배출량이 상대적으로 적고, 높은 유인력으로 주문진방향의 오염물질이 일부 유입되며, 갭주위로 기류가 정체되는 현상이 발생됨을 알 수 있다. Case-6의 경우 대체적으로 기류정체현상이 발생하는 분포를 나타내며, 80[km/h]시에는 오염물질이 10[km/h]시에 비하여 적게 분포하여 반대편 터널에 비하여 상대적으로 낮은 농도분포를 나타낸다.

3.3.4 재유입발생시 터널내 오염농도

무풍 적용시 터널갭주변 기류의 정체로 인하여 재유입율이 높게 나타나며, 차량소통의 변화에 따라 이전의 경우와 반대방향으로 높은 재유입율을 나타내었다. 모든 오염물질이 비교적 높은 재유입율을 나타내며, 재유입을 감안한 터널출구 오염농도는 일산화탄소가 최대 22ppm이상의 오염물질 농도증가를 보였다. 이러한 오염물질농도의 증가에도 불구하고 터널내 공기환경은 허용기준치 이하의 값을 나타내었다.

4. 연속터널 연결구간 대책 검토

터널간 간격이 짧은 연속터널의 경우 환기대책뿐만 아니라 연결구간에 대하여 캐노피 설치여부, 결빙 및 안전대책, 조도순응대책을 검토하여야 한다.

4.1 연결구간에 대한 캐노피 설치 검토

그림 6은 영동고속도로 진부1터널과 진부2터널사이 캐노피 설치사례를 나타낸 것으로 연결구간은 35m이다.

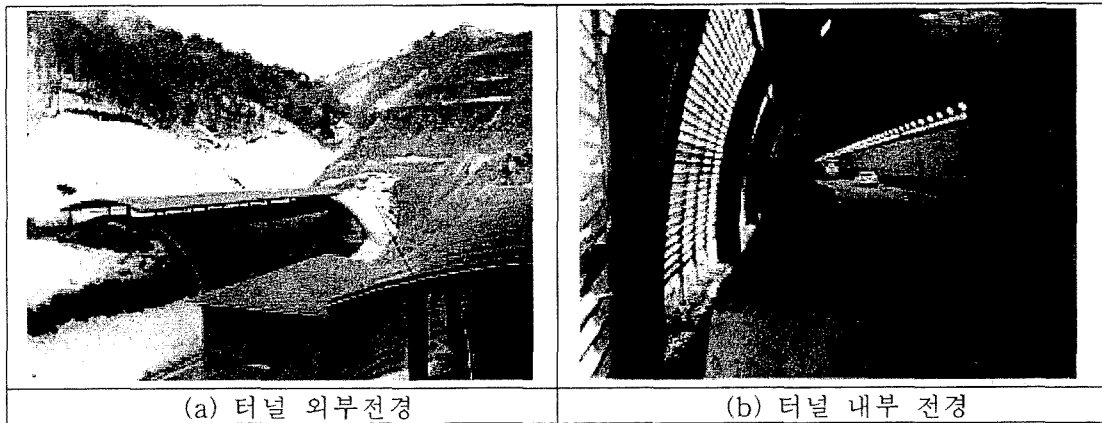
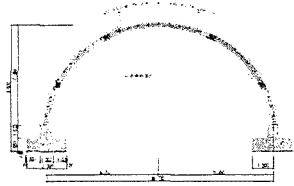
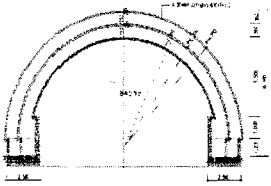
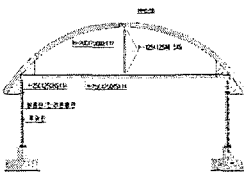


그림 6. 연속터널 연결구간 캐노피 설치사례

본 구간에서도 캐노피 설치에 대한 검토를 수행하였으며, 그 결과가 표 4에 정리되어 있다.

표 4. 캐노피 설치검토

구분	1안 : 1-Arch형	2안 : 3-Arch형	3안 : 하우스형
정면도			
특징	<ul style="list-style-type: none"> · 눈보라 유입방지 양호 · 유지관리성 양호 · 환기 효과 양호 	<ul style="list-style-type: none"> · 유입방지다소불량 · 갓길이 없음 · 환기 효과 양호 	<ul style="list-style-type: none"> · 눈보라 유입방지 양호 · 갓길이 없음 · 터널 환기 불량
검토결과	<ul style="list-style-type: none"> · 캐노피 설치시 노면결빙 및 급격한 조도변화에 의한 조도순응에 유리하나, 소방법상 연결구조물로 1km이상 장대터널의 방재설비가 필요함 · 과도한 추가 공사비 부담으로 별도의 도로용설 및 조도순응 대책이 요구됨 		

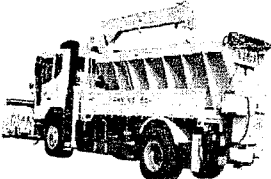

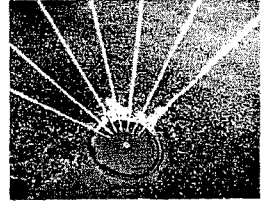
4.2 연결구간에 대한 결빙방지 대책 검토

겨울철 도로운행에 악영향을 주는 강설, 결빙, 압설 등의 현상을 방지하기 위한 도로결빙방지설비의 적용을 검토하였다.

4.2.1 국내 결빙방지설비 설치사례

구분	적용시스템	적용규모	비고
대관령2.3터널	제빙액 분사방식	상하행 480m	
진부터널 상행선	제빙액 분사방식	200m	
강원랜드 진입로	제빙액 분사방식	765m	
둔내터널	전열선포설방식	200m	
서울외곽순환도로(평촌IC)	전열선포설방식	-	

4.2.2 결빙방지시스템의 선정

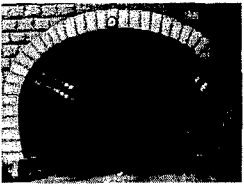
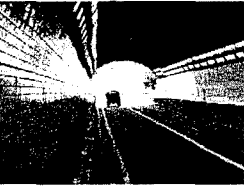
구분	염화칼슘 직접살포	전기전열선 포설방식	제빙액 분사방식
외형도			
운영방식	• 염화칼슘을 근접지점에 비치하고 필요시 직접살포	• 발열선을 도로면 하부에 매설하고 전기저항열로 도로결빙 방지	• 저장탱크에 제빙액을 저장하여, 도로면의 노즐에 의해 제빙액을 분사
구 성	• 인력에 의한 국부 살포로 별도의 설비가 없음	• 전열선 • 온도감지센서 • 수전설비	• 제빙액 탱크 및 펌프 • 분사노즐 / 배관설비 • 펌프하우스 / 제어기
제어방법	• 인력 혹은 제설차에 의한 직접살포.	• 온도센서에 의한 운전 가능	• 중앙통제실에서 원격자동운전 가능.
대응성	• 강설시 제설작업과 동시 살포 • 노면결빙시 수시살포	• 가열시간이 길다. (약1~2시간) • 신속한 대응 불가능	• 결빙전후 즉시 분사함.
장 점	• 운용이 용이함 • 별도 시설이 필요 없음	• 주차장등 소규모 설비에 적용	• 시공 및 증설 용이 • 제빙효과가 우수함
단 점	• 염해로 구조물의 부식 등 예상	• 수전설비 검토필요 • 발열선 손상시 재시공 • 유지비용이 과다함	• 제빙액을 재보충함 • 시설비가 많다
선 정	☑		

4.3 연결터널에서의 조도순응 대책검토

본 연속터널의 경우, 터널고유의 환경을 고려하여 터널에 접근, 진입하고 통과하는 운전자의 시각에 일어나는 복잡한 시각 특성의 변화 및 심리적인 반응에 적응하여 안전운전을 도모할 수 있는 터널 조명을 구현하여야 한다.

터널의 입.출구부에 야외휘도 2,000nt에서 터널 경계부의 휘도 100nt로 급격히 변화하고 또한 출구부에서 야외로 나오면서 급격한 휘도의 변화에 따른 자동차 운전자의 안전과 환경을 고려하여 조도순응시설을 조성하도록 한다. 터널내에서 경계부, 이행부, 완화부 및 출구부의 조도를 다단계로 세분화 하여 편안한 시환경 조성을 도모한다. 터널 접속도로에는 자동차가 그의 진행방향 전방에 장애물을 충분히 인식하여 충돌하지 않도록 안전한 제동거리를 감안하여 야간조명을 위한 가로등을 시설한다.

4.3.1 시각적 현상과 조치사항

구 분	현 상	조치사항
블랙홀 효과 	<ul style="list-style-type: none"> 운전자가 주간에 터널의 입구부근에 접근하면 터널안이 하나의 검은 구멍으로 보이지 않게 되는 현상 	<ul style="list-style-type: none"> 운전자의 안전운행을 위해서 터널 입구를 충분히 파악할 수 있도록 입구에 요구조도에 맞는 조명시설을 하여 야외휘도 2,000 nt에서 100nt로 급격히 떨어지는 것을 감안 조명시설을 설치하여 시환경을 개선한다.
화이트홀 효과 	<ul style="list-style-type: none"> 운전자가 출구에 근접하면 출구를 통하여 밝게 보이고, 출구부 주변에 있는 장애물이 밝은 야외 휘도를 배경으로 한 검은 실루엣이 보이는 현상 	<ul style="list-style-type: none"> 출구부에 선행차량이 있을 경우 2대의 차가 한덩어리로 보이고 선행차의 거리, 속도 판단이 불가능하게 되므로 이를 보완하기 위해 조도순응시설을 설치하여 적절한 조명과 야외휘도를 저감 시킨다.

4.3.2 터널조명의 구성

기본조명은 터널을 주행하는 운전자가 전방에 있는 장애물을 확인하는데 필요한 소 밝기를 제공하기 위한 기본적인 조명으로 터널 전구간에 걸쳐 조명기구를 일정 간격으로 배치하여 조명하는 것으로 기본조명의 평균 노면휘도는 아래 표와 교통량이 적은 심야대에는 운전자의 눈의 순응을 감안하여 기본휘도의 1/2로 기준하여 에너지를 절약할 수 있도록 한다.

표 5. 기본부 조명의 평균 노면휘도 (KSA-3703)

설 계 속 도 (km/h)	평균 노면휘도 (cd/m ²)	
	기본조명	심야시
100	9.0	4.5

1) 입구부 조명 : 입구부 조명설비는 터널입구 부근의 야외휘도, 설계속도, 터널길이에 따라 달라지며 터널내에서의 조도완화를 위하여 경계부, 이행부, 완화부등으로 단계적으로 감광한다. 경계부의 노면휘도는 터널 입구부근의 운전자 시야상황에 따라 정해지는 야외휘도의 연간출현빈도를 고려하여 설정되는 값에, 설계속도에 따라 정해지는 계수를 곱한 값으로 한다.

이행부 및 완화부의 노면휘도는 경계부의 노면휘도 값을 100%로 하여 그림과 같이 터널입구로부터 거리에 따라 감소시키고, 기본부 조명의 노면휘도 값에 따라 매끄럽게 접속하는 것으로 한다.

2) 출구부 조명 : 출구부 조명은 터널내부에서 출구쪽을 향해 70m 이상에 걸쳐서 노면 휘도30nt(cd/m²) 이상의 조명시설을 한다.

4.3.3 연속터널에서의 조도순응대책

두개의 터널이 연속하여 존재하고, 선행(앞에 통과)하는 터널의 출구로부터 후속하는 터널의 입구까지의 거리(갱구간 거리)가 설계속도에 대응한 시인거리보다도 짧은 경우 후속하는 터널의 입구부 조명의 평균노면휘도의 설계치를 갱구간 거리에 따라서 감소시킨다.

연속하는 터널에 있어서 후속하는 터널의 설정야외휘도는 선행하는 터널이 존재하지 않는 상태 즉, 후속하는 터널이 단독으로 존재하는 상태를 상정하여 구한다. 설정야외 휘도를 구하는 법은 아래의 입구부 조명의 저감계수에 의한다.

경계부의 노면휘도 L_a , 설계속도 $V(\text{km/h})$, 설정야외휘도 $L_1(\text{nt})$ 에 대한 단독으로 존재하는 터널의 경계부의 노면휘도 $L_2(\text{nt})$ 와 표에 나타내는 터널간거리 $D(\text{m})$ 에 대응한 입구부 조명의 저감계수 k_a 를 사용하여 다음 식에서 산출한다.

$$L_a = L_2 \times k_a(\text{nt})$$

표 6. 연속터널에서 후행터널의 입구부 조명의 저감계수 k_a

갱구간거리 D(m)	설 계 속 도 V (km/h)			
	100	80	60	40
$D \leq 10$	0.30	0.35	0.40	0.45
$0 < D \leq 15$	0.40	0.45	0.50	0.60
$15 < D \leq 20$	0.50	0.55	0.60	0.75
$25 < D \leq 35$	0.60	0.70	0.75	0.95
$35 < D \leq 50$	0.70	0.80	0.90	1.00
$50 < D \leq 70$	0.80	0.90	1.00	-
$70 < D \leq 100$	0.90	1.00	-	-
$100 < D$	1.00	-	-	-

본 구간의 연속터널은 터널 종점부와 시점부의 간격이 100m 이내이므로 현남 1터널, 현남 2터널은 조도 순응대책으로 야외휘도에 저감계수를 고려한 값을 적용하여 입구부 조명을 조성하도록 한다.

5. 결론

본 연구에서는 동해고속도로구간중 연속터널을 대상으로 하여 오염물질 재유입여부를 분석하여 연속터널에 환기영향을 검토하였으며, 연속터널의 연결구간에 대한 캐노피 설치방안과 이에 따른 결빙대책 및 조도순응대책을 분석하였다.

1) 북서풍 및 남동풍, 무풍조건에 대한 터널내 공기환경 검토결과 모든 속도에서 검토대상 오염물질인 일산화탄소, 질소산화물, 매연이 모두 기준치를 만족하는 결과를 나타냈다.

2) 재유입 검토결과 터널간의 거리가 50m정도인 반대방향터널로의 재유입은 거의 발생되지 않았지만, 무풍시에는 갱구주변 기류의 정체로 인한 다소의 유입이 발생하는 것으로 나타났다. 지형의 영향으로 주문진방향 터널이 자연풍의 영향을 보다 많이 받는 것으로 나타났다.

3) 재유입율을 고려한 결과, 연속터널로의 재유입율은 자연풍과 차량속도에 따라 변화되는 것으로 나타났으며, 이를 고려하더라도 터널내 오염농도는 허용기준치이하의 값을 나타냄으로서 기계환기설비의 설치 없이 자연환기방식으로 환기가 가능할 것으로 판단된다.

4) 연속터널의 연결구간에 대한 캐노피 설치여부를 검토한 결과, 캐노피 설치시 터널환기에 영향을 미쳐 기계환기가 필요하며, 또한 두개의 터널을 한개의 터널로 볼 수 있으므로, 전체 터널연장을 고려한 방재 및 소방설비가 필요하므로 공사비 증가가 요구되어, 캐노피를 설치하지 않은 경우에 연결부에 대한 결빙대책 및 조도순응대책을 수립하여 도로의 안전성을 확보하도록 하였다.

참고문헌

1. A. Mizuno, T.Satoh, Y.Hattori, K. Yamamoto and T.Kanoh, "Interference of contaminated air in successive tunnels linked by a snow shed", 10th Int. Symp. on Aerodynamics and Ventilation of Vehicle Tunnels, pp.335~342, 2000
2. 佐藤忠夫, 批田賢, "秋田自動車道路 連続Tunnel氣解析検討 - 雪氷上安全對策 및 Low-Cost化對策", EXTEC'98, 1998
3. 김영섭, 김정욱, 이창우, "인접 Tunnel 간 Canopy설치에 따른 오염물질 재유입 연구", 2002 한국암반공학회 추계학술발표회 논문집, pp.335~342, 2002
4. 동해고속도로(주문진-속초간)건설공사 실시설계 현남1터널/현남2터널 환기영향 검토 보고서, (주)삼보기술단 / 비엔텍, 2003