

터널내 포장설계 개선방안 고찰

-동절기 터널내 온도변화 조사를 통한 동결심도 및 포장두께 산정-

김 대 하* · 권 기 진**

1. 개 요

최근 도로설계 경향을 살펴보면 험준한 산악지의 노선 통과가 요구되며 운전자의 고속주행 욕구 충족을 위한 선형의 고규격화 및 환경보존을 위하여 산지부 통과시 터널의 설치빈도가 증가하고 있는 실정이다. 이에 따라 터널해석 및 시공에 대한 연구 및 기술발전이 이루어지고 있으나 터널내 포장에 대해서는 별다른 연구가 진행되고 있지 않은 실정이다.

따라서, 본 논고는 터널부 노반 특성을 살펴보고 토공부와와의 차이점을 분석, 특히 동절기 터널내 온도변화를 고려한 터널내 포장설계 방안을 제시하고자 하며 향후 연구가 필요한 항목들을 도출하여 지속적인 연구가 이루어질 수 있도록 하고자 한다.

1.1 포장설계시 고려사항

일반적으로 포장에 영향을 미치는 인자를 살펴보면 다음과 같다.

- 포장공용성
- 환경적 영향
- 교통조건
- 배수조건

- 노상토조건
- 시공재료조건

상기 인자들 중에서 포장공용성, 교통조건, 시공재료조건 등은 토공부와 터널부에 상관없이 조건이 동등하나, 노상토조건, 배수조건, 환경적 영향 등은 토공부와 터널부에 있어 상당한 차이가 있으므로 상세한 검토가 필요하다.

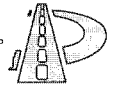
1.2 터널부 특성 분석

터널부 노상토 조건은 일반적으로 암반으로 구성되어 있어 동상을 쉽게 일으키는 토질이 아니며 동상방지층재(SB-1)에 비하여 지지력이 충분하므로 노상토 조건에 따라 포장구조체가 받는 영향은 미미한 것으로 판단된다.

또한 터널부 배수조건을 살펴보면 토공부와 달리 우수 또는 적설에 따른 포장 침투수가 없으며 포장저부에 맹암거가 설치되어 지하에서 나타나는 용출수를 처리하고 있어 포장층내에 물고임이 발생할 가능성이 매우 희박하다. 따라서 지반(노상)이 물로 포화되어 연약화될 가능성은 없는 것으로 판단된다.

* 정희원 · (주)동일기술공사 사장

** 정희원 · (주)동일기술공사 전무



환경적 영향 측면에서도 터널내부는 외부와 달리 온도변화가 적고 특히 동절기 온도저하가 다소 적어 겨울철 동상에 대한 영향이 토공부에 비하여 적을 것으로 판단된다.

1.3 터널내 포장설계 현황 및 연구방향

최근 터널내 포장형식을 살펴보면 조명의 효율화, 운전자의 시야확보 및 유지관리 등을 고려하여 시멘트 콘크리트 포장으로 계획하는 것이 일반적이다. 따라서 본 연구에 있어서도 시멘트 콘크리트 포장을 기준으로 연구하였으며 아스팔트 콘크리트 포장의 경우도 적용이 동일할 것으로 판단된다.

터널부 특성 분석에서 살펴본 바와 같이 터널내 포장설계시 포장에 영향을 미치는 인자들이 토공부에 비하여 유리함에도 불구하고 구체적인 포장 인자에 대한 정량적인 분석이 곤란하여 과거 터널내 포장설계시 토공부와 동일한 조건으로 포장두께를 적용하였으며 최근(1992년 이후)에는 그림 1과 같이 터널 입·출구부 50m 구간에 대하여 토공부와 동일한 두께의 동상방지층을 설치하고 입·출구부 50m를 제외한 터널내부는 용수 및 물고임에 의한 동상영향이 미미한 점을 고려하여 동상방지층 15cm를 포설하는 것으로 되어

있으나 이 또한 명확한 근거가 없는 실정이다.

본 연구는 터널 입·출구부 50m 구간에 대한 토공부와 동일한 포장두께를 적용하는 현행 터널부 포장설계 기준에 대한 기술적인 검증을 통하여 터널내 포장두께 및 구조를 결정할 수 있도록 하고자 한다. 그 방법으로는 포장에 영향을 미치는 요인들 중에서 환경적 요인인 겨울철 동상영향을 나타내는 지표인 동결심도의 결정방안을 모색하여야 하는바, 터널내 온도조사를 실시하여 터널내 동결심도를 예측하고자 하며 예측된 동결심도에 따라 동결심도를 만족할 수 있는 포장단면을 결정하고자 한다.

2. 기존터널의 온도변화조사 및 분석

2.1 터널내 온도변화 조사

터널내 온도변화에 대한 조사 결과는 표 1과 같다.

2.2 기존터널 온도변화 조사결과 분석

현재 공용중인 터널의 경우 그림 2와 그림 3에 나타난 것과 같이 환기방식에 상관없이 비슷한 온도변화를 나타내고 있으며 차량의 통행이 없는 공사중인 터널에 비하여 갱구부 50m 구간에서

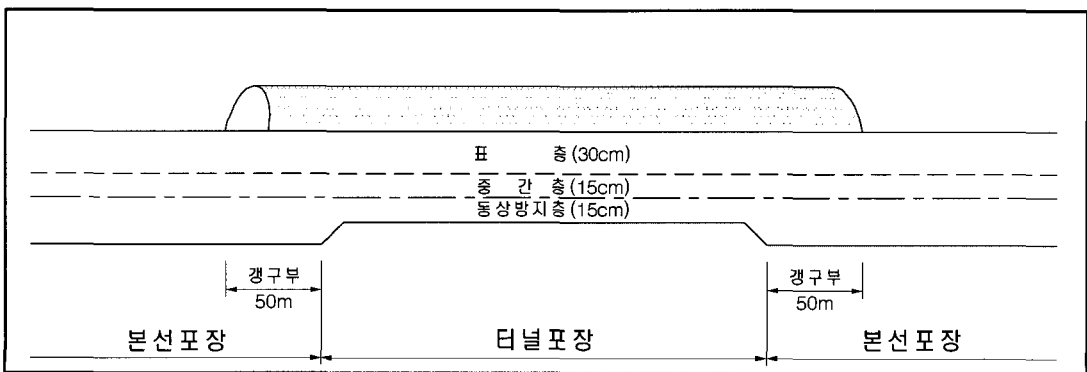


그림 1. 포장단면

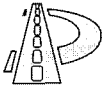


표 1. 터널내 온도변화 조사

터널명	길이(m)	조사일시	측 정 온 도 (°C)											비 고
			갱구	25m	50m	75m	100m	125m	150m	175m	200m	250m	300m	
둔터내널	3,364	1999.12.19	-8.9	-8.7	-8.5	-8.3	-7.8	-7.5	-7.0	-6.5	-6.2	-5.8	-5.6	종류식환기 공용중
		2000. 1. 7	-11.1	-10.8	-10.6	-10.2	-9.8	-9.2	-8.4	-8.1	-7.8	-7.0	-6.5	
		평균기온	-10.0	-9.8	-9.6	-9.3	-8.8	-8.4	-7.7	-7.3	-7.0	-6.4	-6.1	
수리내널	1,860	1999.12.20	-6.1	-6.0	-5.9	-5.7	-5.4	-5.2	-5.1	-4.9	-4.7	-4.6	-4.2	종류식환기 공용중
		2000. 1. 8	-7.9	-7.7	-7.5	-7.1	-6.8	-6.5	-6.2	-5.9	-5.7	-5.6	-5.5	
		평균기온	-7.0	-6.9	-6.7	-6.4	-6.1	-5.9	-5.7	-5.4	-5.2	-5.1	-4.9	
평균기온			-8.5	-8.3	-8.1	-7.8	-7.5	-7.1	-6.7	-6.4	-6.1	-5.8	-5.5	
파천내널	1,400	1999.12.19	-6.8	-6.7	-6.5	-6.1	-5.9	-5.6	-5.3	-5.0	-4.8	-4.6	-4.4	자연 환기 공용중
		2000. 1. 7	-8.4	-8.2	-7.9	-7.4	-7.1	-6.8	-6.5	-6.1	-5.9	-5.7	-5.5	
		평균기온	-7.6	-7.5	-7.2	-6.8	-6.5	-6.2	-5.9	-5.6	-5.4	-5.2	-5.0	
내터꼭내널	1,050	1999.12.20	-6.2	-6.0	-5.9	-5.7	-5.4	-5.2	-4.9	-4.6	-4.4	-4.2	-3.9	자연 환기 공용중
		2000. 1. 8	-8.2	-8.0	-7.7	-7.5	-7.0	-6.6	-6.3	-5.9	-5.8	-5.3	-5.1	
		평균기온	-7.2	-7.0	-6.8	-6.6	-6.2	-5.9	-5.6	-5.3	-5.1	-4.8	-4.5	
평균기온			-7.4	-7.2	-7.0	-6.7	-6.4	-6.1	-5.8	-5.4	-5.2	-5.0	-4.7	
육십령터널	3,165	1999.12.20	-8.5	-8.3	-7.6	-7.3	-7.1	-6.9	-6.7	-6.5	-6.3	-5.8	-5.5	공사중
		2000. 1. 8	-9.9	-8.7	-8.2	-7.9	-7.6	-7.5	-7.3	-7.0	-6.8	-6.4	-6.1	
		평균기온	-9.2	-8.5	-7.9	-7.6	-7.4	-7.2	-7.0	-6.8	-6.6	-6.1	-5.8	
죽터령터널	4,740	1999.12.19	-10.3	-9.9	-9.4	-9.3	-9.0	-8.5	-8.1	-7.5	-7.3	-6.9	-6.5	공사중
		2000. 1. 7	-11.9	-11.2	-10.8	-10.3	-9.8	-9.5	-9.0	-8.5	-7.9	-7.6	-7.3	
		평균기온	-11.1	-10.6	-10.1	-9.8	-9.4	-9.0	-8.6	-8.0	-7.6	-7.3	-6.9	
평균기온			-10.2	-9.5	-9.0	-8.7	-8.4	-8.1	-7.8	-7.4	-7.1	-6.7	-6.4	
종류식 환기기준	평균기온(°C)		-8.5	-8.3	-8.1	-7.8	-7.5	-7.1	-6.7	-6.4	-6.1	-5.8	-5.5	
	갱구기준온도감소비율(%)		100	98	96	92	88	84	79	75	72	68	64	
자연 환기기준	평균기온(°C)		-7.4	-7.2	-7.0	-6.7	-6.4	-6.1	-5.8	-5.4	-5.2	-5.0	-4.7	
	갱구기준온도감소비율(%)		100	98	95	90	86	82	78	73	71	67	64	
공사중 터널기준	평균기온(°C)		-10.2	-9.5	-9.0	-8.7	-8.4	-8.1	-7.8	-7.4	-7.1	-6.7	-6.4	
	갱구기준온도감소비율(%)		100	94	89	86	83	80	77	73	70	66	63	

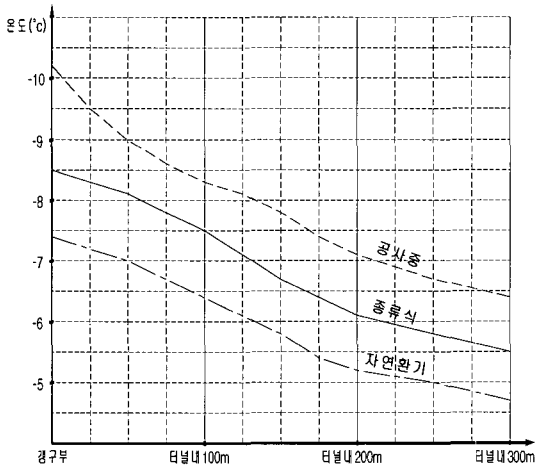


그림 2. 터널내 온도변화 조사

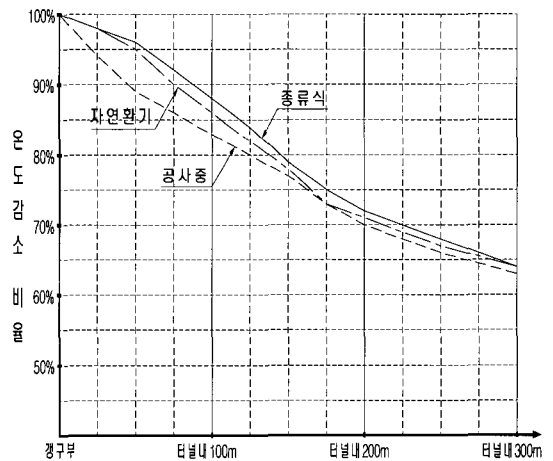


그림 3. 환기방식에 따른 터널내 온도변화

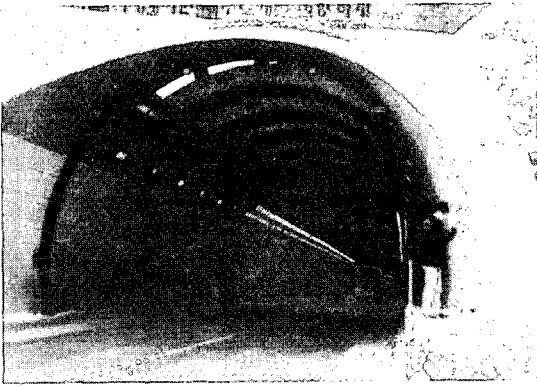
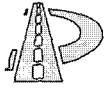


그림 4. 둔내터널 온도변화 조사

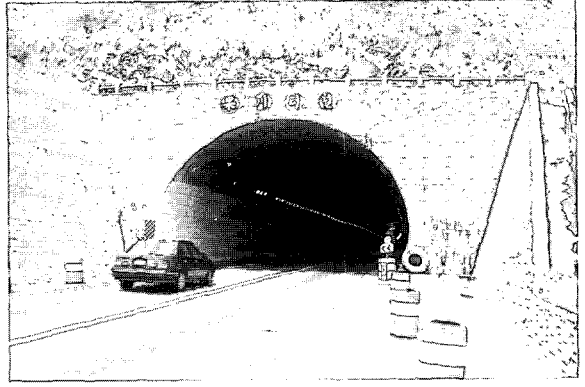


그림 5. 과천터널 온도변화 조사

온도 감소비율이 다소 적은 것으로 조사되었으며 갱구부 200m 이후 구간에서는 공사중인 터널과 비슷한 온도변화를 보이는 것으로 조사되었다. 그림 4와 그림 5는 둔내 터널과 과천 터널의 모습이다.

이는 갱구부 50m 구간에서 차량통행에 따른 외부 찬공기의 유입으로 온도감소가 공사중인 터널에 비하여 상대적으로 적게 나타난 것으로 사료된다.

켜 터널내 동결심도를 예측하였다.

아래 내용은 「성남~장호원간 도로개설(2공구) 건설공사」에 계획된 대쌍터널에 대하여 앞에서 조사된 자료를 이용하여 터널내 동결심도를 예측하고 적정한 포장단면을 계획하는 과정을 검토하고자 한다.

3. 온도변화 조사자료를 이용한 터널내 동결심도 예측

동결심도는 0°C 온도선이 포장표면으로부터 포장층 아래로 관입되는 깊이로서 이것은 주로 영하의 대기온도크기와 지속시간, 노상토의 재료성질, 노상토내의 동결될 수 있는 수분의 양에 영향을 받는다.

일반적으로 도로포장 설계시는 미 공병단에서 제정한 TM5-852-6에서 제시된 노상동결 관입허용범으로서 동결심도를 산정하게 된다. 이때 산정된 동결심도는 토공부의 동결심도로서 터널부의 경우는 기존터널의 온도변화 조사결과에서 알 수 있듯이 영하의 대기온도 크기와 지속시간이 토공부보다 적어 동결심도 또한 적어질 것으로 따라서 본 연구에 있어서는 기존터널의 온도변화 조사자료에서 나타난 터널내부로 진행할수록 온도가 감소하는 비율과 동결지수와와의 관계를 상관시

3.1 대쌍터널의 동결지수 산정

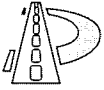
동결지수(frost index)는 포장내의 동결 관입 깊이를 산정하기 위한 대표적인 척도로서, 포장 구조와 노상토를 동결시키는 대기온도의 강도와 지속시간(intensity and duration)의 누가영향(cumulative effect)으로 표시된다. 동결지수의 단위는 온도·일(°C·일, °F·일)이며, 어느 동결 기간 동안의 누가 온도·일에 대한 시간곡선상의 최고점과 최저점의 차이로 나타낸다.

3.1.1 갱구부 수정동결지수

• 갱구부 수정동결지수는 「전국동결지수선도」와 「측후소별동결지수, 동결기간 일람표」를 사용하여 산정하였다.

• 수정동결지수

$$= \text{동결지수} \pm 0.9 \times \text{동결기간} \times \frac{\text{표고차}}{100}$$



• 표고차

= 갱구부 최대계획고(m) - 측후소지반고(m)

표 2. 수정동결지수의 산정

적용 측후소	지반고 (m)	최대계획고 (m)	동결지수 (일)	동결기간 (일)	수정동결지수 (°F·일)
이천	98.0	100.3	745	112	749

3.1.2 터널내 수정동결지수

터널내 수정동결지수는 갱구부 수정동결지수를 기준으로 터널내 대기온도 및 동결지속시간이 갱구부 기온보다 감소하는 비율만큼 동결지속시간도 감소하는 것으로 가정하여 표 3과 같이 수정동결지수를 산정하였다.

표 3. 터널내 수정동결지수 산정

구분	산출근거	수정동결지수 (°F·일)	비고
갱구부		749	
25m	749×0.98×0.98	719	기온 및 동결일수 98% 적용
50m	749×0.96×0.96	689	기온 및 동결일수 96% 적용
75m	749×0.92×0.92	633	기온 및 동결일수 92% 적용
100m	749×0.88×0.88	579	기온 및 동결일수 88% 적용
125m	749×0.84×0.84	527	기온 및 동결일수 84% 적용
150m	749×0.79×0.79	466	기온 및 동결일수 79% 적용
175m	749×0.75×0.75	420	기온 및 동결일수 75% 적용
200m	749×0.72×0.72	387	기온 및 동결일수 72% 적용
250m	749×0.68×0.68	346	기온 및 동결일수 68% 적용
300m	749×0.64×0.64	306	기온 및 동결일수 64% 적용

3.2 대쌍터널내 동결심도의 산정

동결에 대비한 포장두께의 설계방법으로는 완전방지법과 노상동결관입허용법, 감소노상강도법 등이 있으며 이들 중 도로설계에 보편적으로 사용되는 노상동결관입허용법을 기준으로 표 4와 같이 터널내 동결심도를 산정하였다. 동결지수와 동결심도를 그림 6에 나타내었다.

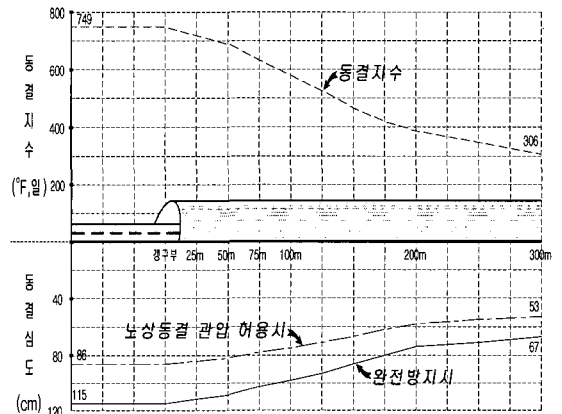


그림 6. 터널내 동결지수와 동결심도

3.3 대쌍터널의 포장두께 산정

현행기준(갱구부 50m까지 본선 포장) 적용시 갱구부 50~200m 구간에서 동결심도가 부족하여 용출수의 동결에 따른 포장파손이 예상된다.

표 4. 터널내 동결심도의 산정

구분	대 쌍 터 널											비고
	갱구	25m	50m	75m	100m	125m	150m	175m	200m	250m	300m	
동결지수(°F·일)	749	719	689	633	579	527	466	420	387	346	306	동결감소 비율 적용
동결심도(a)(cm)	115	112	109	103	98	93	86	80	74	71	67	완전방지법 기준
표 층(P)	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	
C(a-p)	85	82	79	73	68	63	56	50	44	41	37	
비동상재료층(b)	56	54	52	48	45	41	37	32	28	25	23	
적용동결심도(cm)	86	84	82	78	75	71	67	62	58	55	53	노상동결관입 허용법 기준

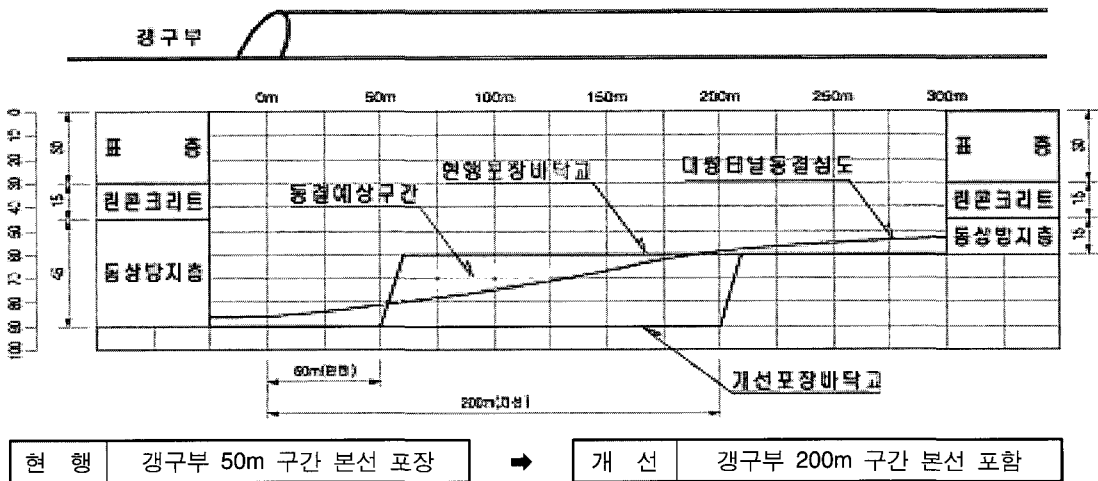
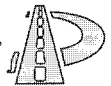


그림 7. 포장계획도

따라서 노상 동결관입 허용법을 기준으로 그림 7과 같이 동결심도가 60cm를 초과하는 터널 입·출구부 200m까지는 본선포장(90cm)으로 계획하고 동결심도가 60cm 이하인 터널 입·출구부 200m 이후는 동상방지층(배수층) 15cm를 포함하여 총 60cm로 포장 계획하였다.

4. 맺음말

본 연구는 갱구부를 위주로 터널내 300m 구간에 대하여 온도변화를 조사하였는바 조사자료의 오차 또한 매우 클 것으로 생각된다. 따라서 추후에는 보다 체계적으로 전국의 장대터널에 대한 온도조사를 시행하여 터널내 동상방지층의 필요

여부에 대한 검토도 필요할 것으로 판단된다. 뿐만 아니라 조사의 정확도를 높이기 위하여 터널 시공시 포장층내에 온도변화를 상시 측정할 수 있는 시설을 매설하여 지속적인 연구가 이루어질 수 있도록 하여야 할 것이다.

본 고에서 살펴본 동상방지층의 두께는 지반이 일반 토공부 기준으로 설정한 것으로서 터널 내부와 같이 지반이 암반층일 경우 동상방지층의 설치 필요성에 대한 심도 있는 연구가 필요하다. 또한 터널내부는 토공부에 비해 온도변화가 상대적으로 적기 때문에 콘크리트 포장의 가로줄눈의 간격 조정 등 많은 부분에 대한 연구가 필요하며 전문가 및 전문가에 의해 체계적인 연구가 이루어지길 바란다.