

# 터널 콘크리트 라이닝 및 공동구 신축이음 설치방안에 관한 연구

## A Study on the Expansion Joint of Concrete Lining and Duct in a Tunnel

손 무 락<sup>1</sup> Son, Moorak                      박 양 흠<sup>2</sup> Park, Yangheum  
박 윤 재<sup>3</sup> Park, Yunjae                      김 재 건<sup>4</sup> Kim, Jaegyoum  
윤 중 철<sup>5</sup> Yoon, Jongcheol

### Abstract

The installation of the expansion joints in a tunnel concrete lining and duct would minimize the cracking at the location of structural shape and stiffness change, differential settlement, big temperature change, and so on. However, it is difficult to determine the required spacing of the expansion joint in a tunnel concrete lining and duct quantitatively because the spacing is influenced by temperature change, structure construction condition, ground-structure interaction, and etc. Nevertheless, a highway specification (Korea Expressway Corporation, 2012) or a road design manual (Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, 2010) specifies that the expansion joint spacing in a tunnel concrete lining should be installed uniformly smaller than 25 m from the tunnel portals to 50 m inside of a tunnel and elsewhere 20-60 m in a tunnel (because there is no specification for a duct it is assumed that a duct follows the specification of lining). This specification results in several construction and economic problems in relation with a tunnel construction. Accordingly, in order to minimize the problems, this study analyzed both domestic and foreign design standards and specifications. In addition, field test, theoretical and numerical analyses were carried out in relation to the expansion joint in a tunnel lining and duct. The purpose of this study is to reestablish a criterion for installing the expansion joint in a tunnel concrete lining and duct.

### 요 지

터널 내 콘크리트 라이닝 및 공동구에는 일반적으로 구조물의 형상 및 강성이 변화하는 위치, 부등침하의 우려가 있는 위치, 온도변화가 심한 곳 등에 신축이음을 설치하여 균열발생을 최소화시키고 있다. 하지만, 설치되는 신축이음의 소요간격은 터널내의 온도변화, 구조물의 시공 및 환경조건, 구조물과 배면지반과의 인터라킹 등에 의해서 영향을 받아 그 간격을 정량적으로 제시하기에는 한계가 있다. 그럼에도 불구하고 고속도로 전문시방서(Korea Expressway Corporation, 2012)나 도로설계편람(Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, 2010)에 의하면 콘크리트 라이닝의 신축이음은 터널 입출구부 50m 이내에서는 25m 이하 간격으로 터널 내부에서는 20-60m 간격으로 일률적으로

1 정회원, 대구대학교 토목공학과 교수, 공학박사/기술사 (Member, Prof., Department of Civil Engrg., Daegu Univ., Tel: +82-53-850-6527, Fax: +82-53-850-6529, mson@daegu.ac.kr, Corresponding author, 교신저자)

2 비회원, 한국도로공사 울산포항사업단 단장 (Chief of Ulsan-Pohang Construction Office, Korea Expressway Corporation)

3 비회원, 한국도로공사 울산포항사업단 팀장 (General Manager of Ulsan-Pohang Construction Office, Korea Expressway Corporation)

4 비회원, 한국도로공사 울산포항사업단 차장 (Deputy General Manager of Ulsan-Pohang Construction Office, Korea Expressway Corporation)

5 비회원, 김천시청 건설교통국 건설과 (Dept. of Construction, Bureau of Construction and Traffic, Gimcheon City Hall)

\* 본 논문에 대한 토의를 원하는 회원은 2015년 9월 30일까지 그 내용을 학회로 보내주시기 바랍니다. 저자의 검토 내용과 함께 논문집에 게재하여 드립니다.

설치하도록 되어 있어(공동구는 별도기준이 없어 라이닝 기준 준용) 터널건설과 관련하여 여러 가지 시공 및 경제적 문제점을 야기하고 있다. 따라서 본 연구에서는 이와 같은 문제점을 해소하기 위하여 신축이음 관련 국내·외 설계기준 및 시방서 기준들을 분석함과 더불어 터널내의 신축이음 관련 현장시험시공과 이론 및 수치해석적 검토 등을 수행하여 터널내의 콘크리트 라이닝 및 공동구의 신축이음 설치방안에 대한 기준을 재정립하였다.

**Keywords :** Tunnel concrete lining, Expansion joint, Field test, Theoretical analysis, Numerical analysis, Criterion

## 1. 서론

최근 국토전역의 일일 생활권 확장과 물류 수송량 증가에 따른 도로 및 철도공사가 증가되고 있는 추세이며, 우리나라는 지형특성상 국토전역의 약 70%이상이 산지로 되어있어 도로 및 철도공사에 있어서 터널공사는 필수적으로 동반되고 있다. 특히, 발파굴착으로 이루어지는 NATM(New Austrian Tunneling Method) 터널공사는 굴착 후 지반이완하중 등을 1차 지보재(강지보재, 슛크리트, 락볼트)로 지지하고 터널의 장기적 안전, 수압, 환기 및 조명 등의 시설물 설치 등을 위하여 내부에 2차 지보재인 콘크리트 라이닝을 설치하는게 일반적이다. 뿐만아니라 터널의 유지관리를 위해 필요한 전기, 소화, 통신, 배수관련 등의 시설물들을 수용하기 위한 공동구를 일반적으로 설치하고 있다. 터널 내 콘크리트 라이닝 및 공동구에는 일반적으로 구조물의 형상 및 강성이 변화는 위치, 부등침하의 우려가 있는 위치, 온도변화가 심한 곳 등에 신축이음을 설치하여 균열발생을 최소화시키고 있다. 하지만, 설치되는 신축이음의 소요간격은 터널내의 온도변화, 구조물의 시공 및 환경조건, 구조물과 배면지반과의 인터라킹 등에 의해서 영향을 받아 그 간격을 정량적으로 제시하기에는 한계가 있다. 그럼에도 불구하고 고속도로 전문시방서(Korea Expressway Corporation, 2012)나 도로설계편람(Ministry of Land, Transport and Maritiem Affairs, 2010)에 의하면 콘크리트 라이닝의 신축이음은 터널 입출구부 50m 이내에서는 25m 이하 간격으로 터널 내부에서는 20-60m 간격으로 일률적으로 설치하도록 되어 있어(공동구는 별도기준이 없어 라이닝 기준 준용) 터널건설과 관련하여 여러

가지 시공 및 경제적 문제점을 야기하고 있다. 그럼에도 불구하고 국내·외적으로 터널 내 콘크리트 라이닝 및 공동구의 신축이음 설치방안과 관련한 구체적인 연구 사례는 찾아보기 어려운 실정이다.

따라서 본 연구에서는 이와 같은 문제점을 해소하기 위하여 신축이음 관련 국내·외 설계기준 및 시방서 기준들을 분석함과 더불어 터널내의 신축이음 관련 현장 시험시공과 이론 및 수치해석적 검토 등을 수행하여 터널 내 콘크리트 라이닝 및 공동구의 신축이음 설치방안에 대한 기준을 재정립하고자 하였다.

## 2. 국내·외 신축이음 설치기준 조사 및 문제점 분석

터널 내의 콘크리트 라이닝 및 공동구 신축이음 설치방안에 대한 기준을 재정립하기 위하여 먼저 현재 시행되고 있는 터널 콘크리트 라이닝 및 공동구에 대한 신축이음 및 시공이음 설치현황 실태를 파악하였다. 현장마다 약간의 차이는 있지만 일반적으로 다음 Table 1과 같이 신축이음 및 시공이음을 적용하고 있는 것으로 나타났다.

현재 설계 및 현장에서 시행되고 있는 신축이음의 간격은 터널내의 온도변화와 관계없이 관행적이고 일률적인 간격을 적용하고 있는 것으로 나타났다. 이는 외기의 영향이 적은 터널내의 낮은 온도변화를 고려하지 못한 문제점이 있으며, 또한, 콘크리트 경화에 따른 건조수축 및 크리프에 의한 영향을 고려하지 못한 문제점이 있는 것으로 나타났다. 뿐만 아니라, 현장조사 결과 신축작용이 설계단계에서 고려된 신축이음의 간격(27-36m)에서

Table 1. Current installation state of the expansion joint in the country

Section	Construction span	Expansion joint spacing	Exapnsion joint width
Lining	9~12m	27~36m	20mm
Duct	Equipment (3 times) : 250~300m Human (1 time) : 200m	27~36m	20mm

발생하지 않고 시공이음의 간격(9-12m)에서 발생하고 있는 것으로 나타났다(Table 2 참조). 이와 더불어 공동구 신축이음은 타설(각 4회) 직후 콘크리트가 굳기 전 인력으로 파낸 후 줄눈재(20mm)를 삽입하여야 하나 완전절단이 불가하여 품질관리에 취약한 문제점이 있는 것으로 나타났다.

터널 내 콘크리트 라이닝 신축이음 관련 다양한 국내·외 설계기준 및 시방서 기준들을 조사 하였다. Table 3 및 Table 4는 다양한 국내·외 설계기준 및 시방서, 기관에서 제시하고 있는 신축이음에 대한 현황을 정리한 것이다. 이외에도 다양한 여러 기관들이 존재하지만 제시하고 있는 기준의 내용은 큰 차이가 없었다.

Table 2. Comparison of expansion and contraction behavior between a design concept and a field observation

	Design concept	Field observation
Comparison	Expansion and contraction behavior per 27m (3span)	Expansion and contraction behavior per 9m
Concept diagram		
Field photos	<p>Expansion joint</p>	<p>Contraction joint</p>
Field observation	<ul style="list-style-type: none"> <li>Regardless of expansion or contraction joints, the joints have a gap of 1.0~2.6mm every 9m</li> </ul>	

Table 3. Design criteria of expansion joint in the country

Organization*	Joint	Expansion joint
Road Design Manual (MLTMA, 2010)		Tunnel portals (50m section): less than 25m Tunnel inner part: 25~60m Section change part, ground change part, and reinforced concrete and unreinforced concrete junction part possible
Highway Construction Specialized Specification (KEC, 2012)		Tunnel portals (50m section): less than 25m Tunnel inner part: 20~60m Section change part, ground change part, reinforced concrete and unreinforced concrete junction part possible
Railway Design Criteria (KRNA, 2013)		Section where the effect of tunnel external temperature is big
Structure Foundation Design Criteria (KGS, 2008)		- Conducting thermal volume change structural analysis: Unnecessary - Long retaining wall: Need to install the expansion joint
Multifunctional Administrative City Specialized Specification (MACC, 2012)		In case that temperature change between tunnel inner part and tunnel outer part is big enough
Tunnel Standard Specification (MLTMA, 2009)		Section where cracking can be induced due to temperature change or section change
Tunnel Design Criteria (MCT, 2007)		Section where the effect of tunnel external temperature is big
Concrete Structure Criteria (MLTMA, 2012)		Retaining structure: if a thermal volume change structural analysis is conducted, the expansion joint unnecessary

\*MLTMA: Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, MCT: Ministry of Construction and Transportation, KEC: Korea Expressway Corporation, KRNA: Korea Rail Network Authority, KGS: Korean Geotechnical Society, MACC: Multifunctional Administrative City Construction Agency

Table 4. Design criteria of expansion joint in foreign countries

Organization*	Joint	Expansion joint	Remark
Joint in concrete construction (ACI, 2001)		Transverse contraction or expansion joints are not normally needed because the seasonal temperature changes are small in tunnels, except at the portals	Temperature change is small.
Cut and cover tunnel (FHWA, 2009)		Expansion joint may not be required except close to the portals Expansion joint is usually provided at the interfacing with ventilation building or portals or other rigid structures to allow for differential settlements and movements associated with temperature change	
Boring tunnel (FHWA, 2009)		36m	
Concrete linings for tunnel built by underground constructions (DAUB, 2000)		8-12m	Installing at the construction joint
Structural design of concrete lined flood control channels (US Army Corps of Engineers, 1995)		Expansion joints are commonly located at changes or junctures in structures	
Concrete channel lining and concrete ditch paving (Memphis, 2005)		9m	Flood control tunnel
Norwegian tunnelling technology (NTS, 2014)		Reinforced shotcrete lining: 30-40m	NMT construction

\*ACI: American Concrete Institute, FHWA: Federal Highway Administration, DAUB: The German Tunnelling Committee, NTS: Norwegian Tunnelling Society

상기 조사된 국내·외 기준에 의하면 터널 콘크리트 라이닝을 포함한 여러 콘크리트 구조물에서의 신축이음의 간격은 구조물의 시공 및 환경조건, 구조물과 배면지반과의 인터라킹 등에 의해서 영향을 받으며 일반적으로 구조물의 형상 및 강성이 변화는 위치, 부등침하의 우려가 있는 위치, 온도변화가 심한 곳, 구조해석 수행 결과 등을 토대로 신축이음 설치를 제시하고 있지만 그 간격을 정량적으로 제시하기에는 여러 가지 어려운 점이 있는 것으로 나타났다. 또한, 여러 기관이 설정기준에 대한 명확한 근거없이 관련기준을 적용하고 있는 것으로 나타났다. 국내·외 다양한 기관의 신축이음에 대한 기준들을 종합하여 고려할 때 온도변화가 심하지 않은 터널내부나 시공이음부에 충분한 이격폭이 존재할 시 온도영향에 대한 신축이음은 추가로 설치하지 않아도 될 것으로 나타났다.

### 3. 현장 시험시공구간에 대한 조사 및 검토

터널 내 콘크리트 라이닝 및 공동구 신축이음 설치방안을 정립하기 위하여 현재 시공중인 터널에서의 터널 내 온도변화를 측정하고 시험시공된 콘크리트 라이닝 및 공동구 구간 수축이음부에서의 변위량의 변화를 관측하였다(2014. 6월 중순 - 2014. 10월 중순). 시험시공된 구간은 신축이음부를 설치하지 않고 수축이음부만

을 시공이음부에 설치한 곳으로서 시험시공을 통해 계측이 수행된 터널 및 관련현황은 Table 5와 같다.

Fig. 1은 시험시공 구간 수축이음부에 설치된 변위측정 눈금자의 설치모습을 보여주고 있으며, 눈금자는 9m 간격으로 시공이음부에 설치했으며 및 설치시기는 거푸집 해체 직후로 하였다.

터널 라이닝 및 공동구 시험시공구간에 대해서 터널 내부의 온도변화 및 줄눈부의 수축량을 조사하고 Fig. 2 및 Fig. 3에 정리하여 나타냈다.

대기 중의 온도변화는 측정기간(6월 중순-10월 중순) 중 평균적으로 최저 20.3℃에서 최고 28.1℃로 약 7.8℃의 온도차이를 나타냈다. 콘크리트라이닝 타설 시의 평균온도는 약 24.5℃로 대기 중 최저 및 최고온도의 중간 정도에 해당하는 것으로 나타났다. 이를 통해 하절기 터널 내 콘크리트 라이닝 타설 후 터널 내 온도변화를 파악할 수 있었으며 콘크리트 라이닝의 신축과 관련한 온도변화의 영향은 측정기간 내 터널 내에서 8℃이하인 것으로 조사되었다.

뿐만 아니라, 콘크리트타설 후 3개월에 걸쳐 재령별 수축량을 측정하였다. 줄눈부에서 측정된 수축량은 평균적으로 재령 7일째 1.2mm, 재령 15일째 1.3mm, 재령 1개월째 1.3mm, 재령 3개월째 1.5mm로 나타나 재령이 증가할수록 수축량도 평균적으로 조금씩 증가하는 것으로 나타났다. 하지만, 일부터널(초기 수축량이 큰 터

Table 5. Test construction status

Daun 4 tunnel	Total length : 590m	
	Test construction : 329.5m	
Ulsan direction		
Pohang direction		
	Test construction : 271.5m	
	Total length : 590m	
Kwanmun 2 tunnel	Total length : 2,670m	
	Test const :	72m
	234m	
Ulsan direction		
Pohang direction		
	Test const :	81m
	180m	
	Total length : 2,795m	
Nokdong tunnel Lining	Total length : 515m	
	Test construction : 515m	
Ulsan direction		
Pohang direction		
	Test construction: 300m	
	Total length : 300m	
Nokdong tunnel Duct	Total length : 515m	
	Test construction : 360m	
Ulsan direction		
Pohang direction		
	Test construction : 234m	
	Total length : 300m	

널)은 재령 7일 이후 수축량의 변화가 거의 없는 반면, 다른 터널은 수축량이 재령 3개월까지 진행 중인 것으로 나타났다.

이와 같은 결과를 통해 터널 내 온도가 약 20°C이상

을 유지하면서 타설 후 3개월이 지나 계절적 변화로 터널 내 온도가 하강하는 시점까지 수축이 지속적으로 발생하는 것을 알 수 있었다. 이는 터널 내 콘크리트 라이닝 및 공동구에 대한 신축이음의 불필요성을 간접적으

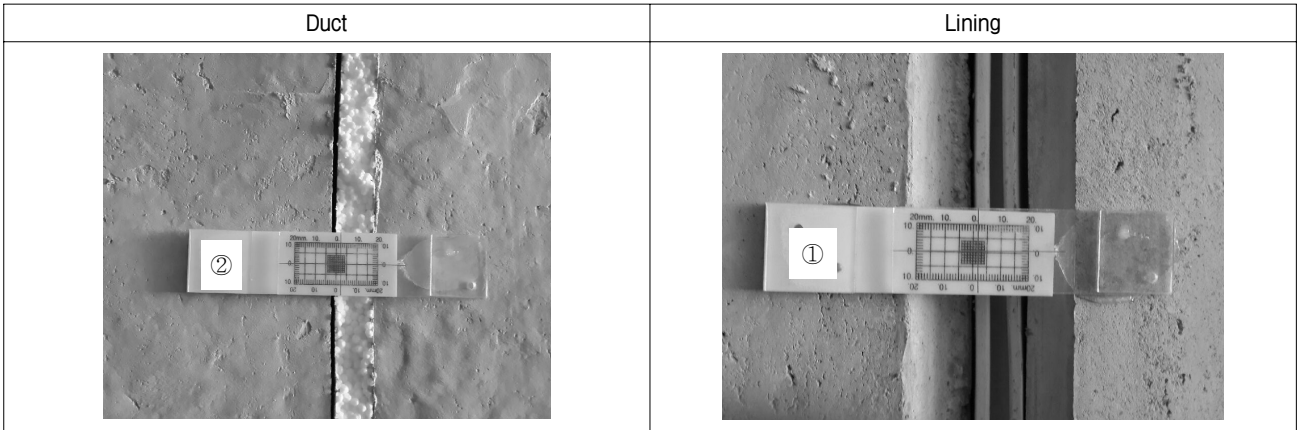


Fig. 1. Measuring device of shrinkage and expansion

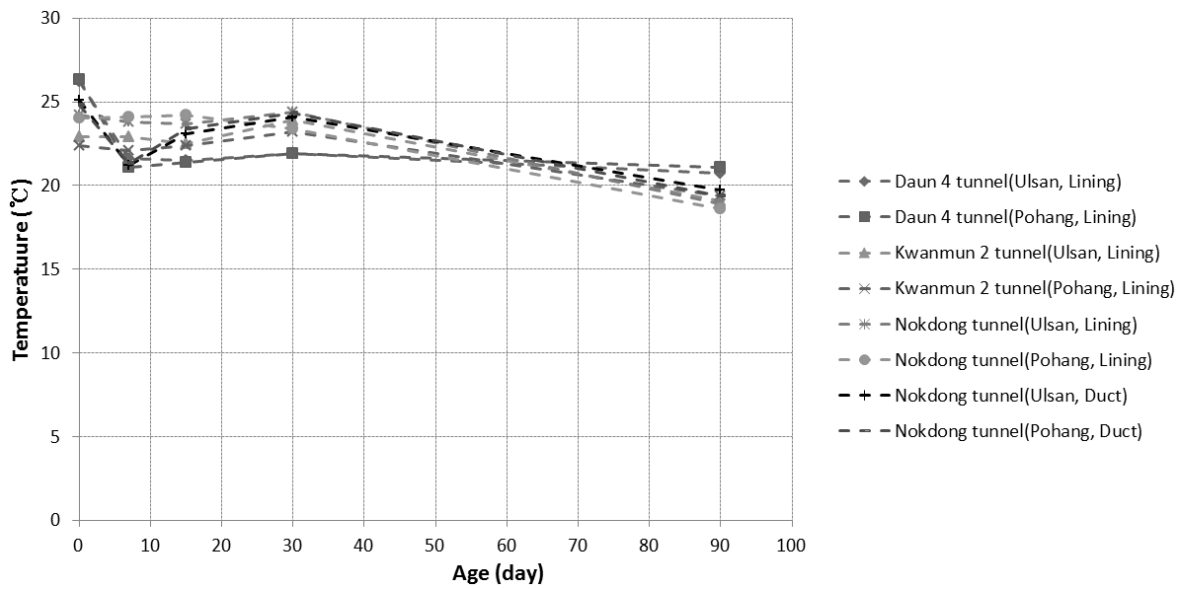


Fig. 2. Temperature change in tunnel with concrete curing age

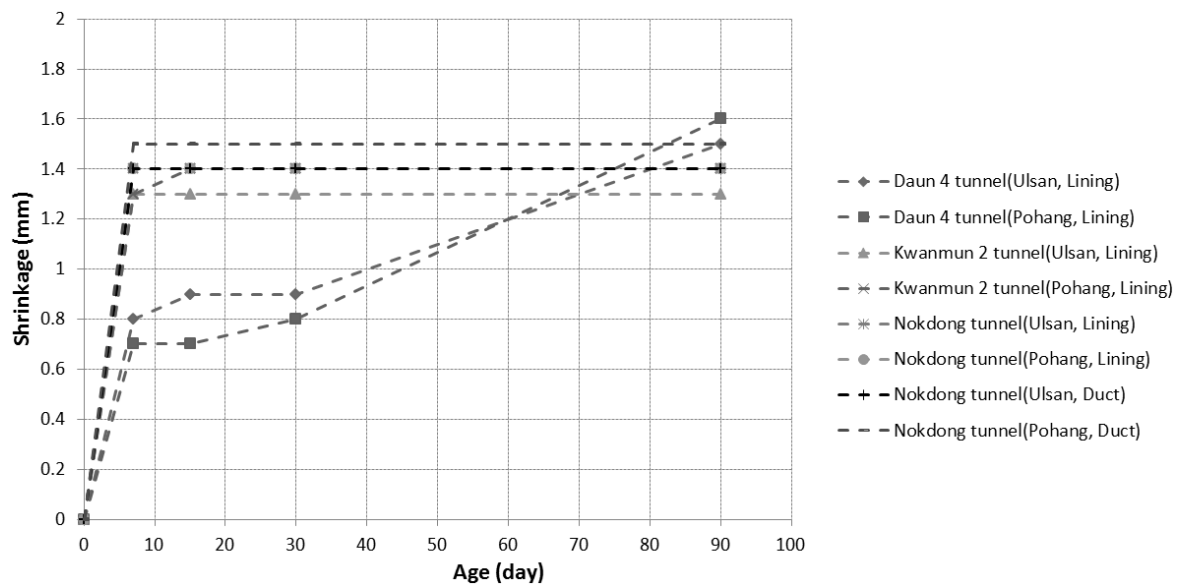


Fig. 3. Shrinkage change at the joints with concrete curing age

로 나타내는 결과로 판단할 수 있다. 그럼에도 불구하고 장기적인 계측을 통해 온도변화에 대한 수축량의 추이를 지속적으로 관찰하고 향후 그 자료를 다양하게 활용할 필요는 있는 것으로 판단된다.

#### 4. 재령 및 온도변화를 고려한 거동분석

##### 4.1 재령 및 온도변화를 고려한 수축 및 팽창량 이론적 검토

콘크리트 건조수축과 온도팽창에 대한 이론적 검토를 수행하였다. 건조수축량은 콘크리트의 재령일을 고려하였으며(Table 6 참조) 온도팽창량은 터널 내 온도변화를 고려하였다.

온도변화에 의한 콘크리트 수축 및 팽창량은 아래와 같이 산정될 수 있다. 터널 내 온도 증가량이 최대 25°C의 경우 최대 팽창량은 부재길이 10m당 2.5mm 발생하는 것으로 나타났다.

▶ 온도변화에 따른 신축량 :  $\delta = \epsilon_T \cdot \Delta T \cdot L$  (Road Bridge Design Criteria)  
 (콘크리트의 선팽창 계수 :  $\epsilon_T = 1.0 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$ , 온도변화 :  $\Delta T = +25^\circ\text{C}$ , 부재길이 : 10m)  
 ※ 타설시 최저온도 5°C, 터널 내 최대온도 30°C 적용

상기 이론적인 건조수축량과 온도팽창량을 재령 및 온

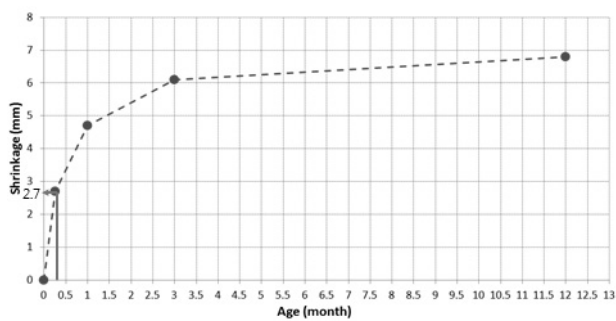


Fig. 4. Concrete shrinkage with age (based on 10m)

Table 6. Concrete shrinkage (based on 10m)

Concrete age (month)	0.25	1	3	12
Shrinkage rate	$27 \times 10^{-5}$	$20 \times 10^{-5}$	$14 \times 10^{-5}$	$7 \times 10^{-5}$
Shrinkage with age (mm)	2.7	2.0	1.4	0.7
Accumulated shrinkage (mm)	2.7	4.7	6.1	6.8

References: Road Desing Manual. Section. 5. Bridge (MLTMA, 2008), Road Bridge Design Criteria (MLTMA, 2010)

도변화를 고려하여 Fig. 4 및 Fig. 5에 나타내어 보았다.

상기 그래프에서 보면 콘크리트 타설 후 0.25개월 경과 시부터 건조수축량이 2.7mm 이상 발생되어 온도증가(25°C, 즉 타설시 최저온도 5°C 기준 터널 내 대기온도 30°C인 경우)에 의한 팽창량 2.5mm를 초과하므로 별도의 신축이음은 설치하지 않아도 될 것으로 나타났다.

##### 4.2 건조수축 및 온도변화를 고려한 수치해석적 검토

콘크리트 건조수축과 온도팽창에 대한 이론적 검토와 더불어 수치해석적 매개변수연구를 수행하였다. 해석은 신축이음을 설치하는 현재조건과 신축이음을 별도로 설치하지 않은 향후 변경조건으로 나누어 수행하였다. 해석은 3차원 유한요소해석(MidasGTS)을 이용하였으며 현장 시공조건을 고려하여 라이닝 건조수축 및 온도변화에 따른 변형 및 응력검토를 위주로 수행하였다. 해석에 사용된 터널단면은 전형적인 도로터널의 설계단면을 사용하였다(see Fig. 6). 해석조건은 현재 설계조건(신축이음 설치) 및 변경조건(신축이음 미설치)을 각각 고려하였으며 배면지반과의 인터라킹 정도를 달리하여 경계조건을 부여하였다. 각 라이닝섹션(12m) 사이의 접촉부는 인터페이스요소를 사용하였으며 콘크리트의 건조수축변형률은 0.0002~0.0007의 범위를 가지고 있다고 도로교설계기준(MLTMA, 2010)에 보고된 바 안전측을 고려하여 최소 건조수축변형률 0.0002를 적용

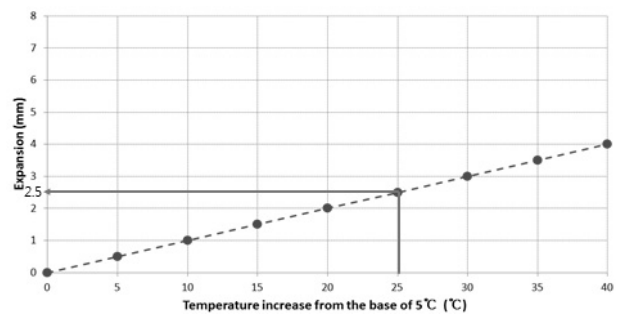


Fig. 5. Concrete expansion with temperature change (based on 10m)





Table 9. Result summary for various analysis conditions

Case	Boundary condition at the contacts	Shrinkage step			Temperature load step		
		Gap at the joints (mm)	Compressive strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Gap at the joints (mm)	Compressive strength (MPa)	Tensile strength (MPa)
Case1	Free	3.78	0.81	0.42	-	6.82	0.01
Case2	Fix	0.39	1.05	1.51	-	8.69	-
Case3	Fix after shrinkage step	3.78	0.81	0.42	3.26	9.59	-
Case4	Free	4.11	0.84	0.44	-	8.44	-
Case5	Fix	0.39	1.03	1.50	-	8.69	-
Case6	Fix after shrinkage step	4.11	0.84	0.44	3.51	9.59	-

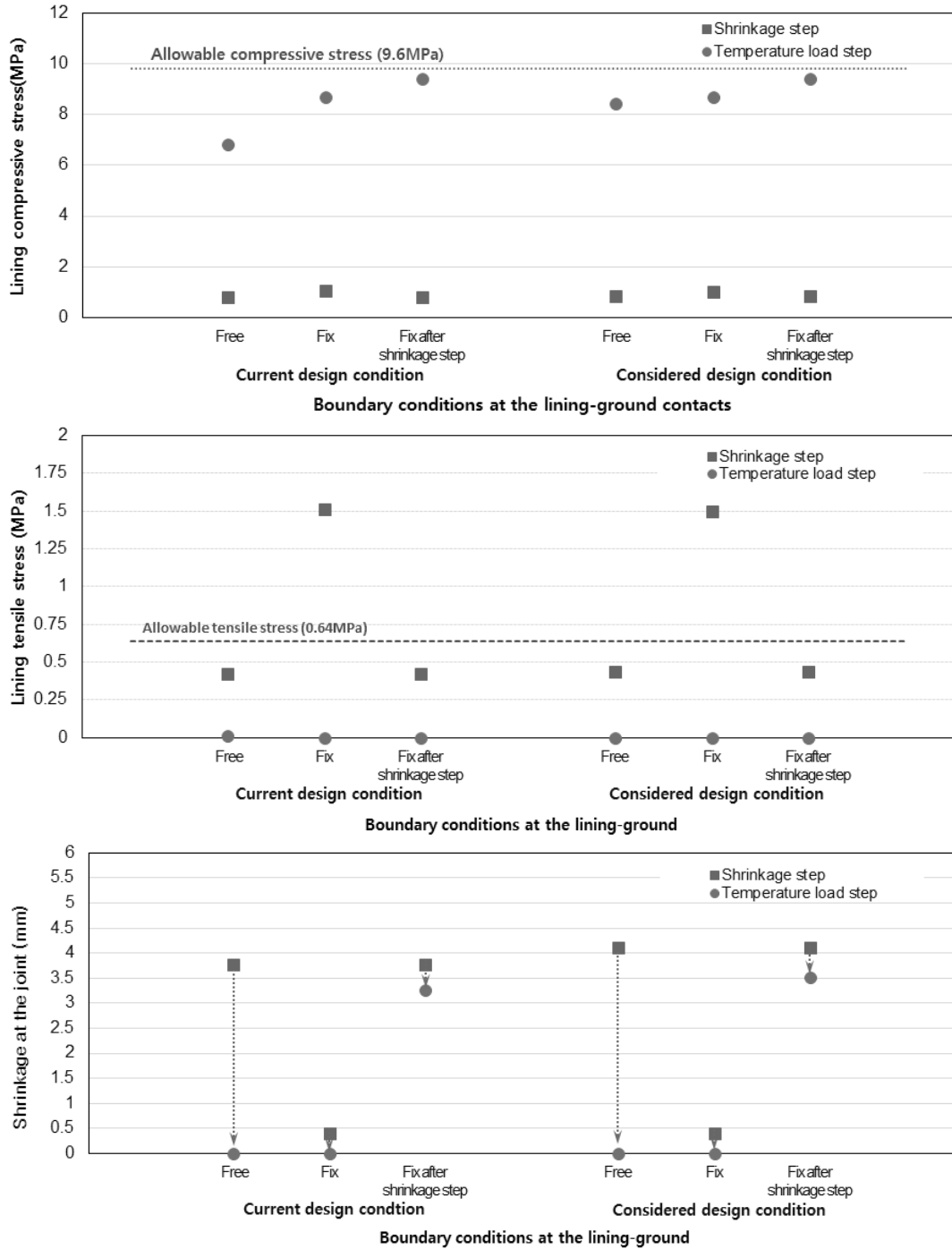


Fig. 8. Comparison of numerical results

상승하면 이음부의 간격이 온도증가에 의해서 감소하지만 닫히는 현상이 나타나지 않고 발생응력 또한 허용응력이하의 응력이 발생하는 것으로 나타났다.

다양한 경계조건을 고려한 현재 설계조건(신축이음부 설치)과 변경조건(신축이음부 미설치)의 해석결과를 비교해 보면, 신축이음부를 설치하지 않은 변경조건에서 발생응력이 약간 증가하지만 그 증가량은 크지 않은 것으로 나타났다.

결론적으로, 해석결과를 종합해 보면 콘크리트 라이닝 구간에서의 온도증가에 따른 별도의 신축이음은 터널 내 콘크리트 라이닝에 시공이음부 또는 수축이음부가 약 12m 간격으로 설치되고 건조수축으로 인해 이음부에서 이격발생이 가능한 조건에서는 일반적인 경우(최소 건조수축변형률 0.0002 이상 및 콘크리트타설시 최저온도 5°C 기준 최대 온도증가량 25°C 이하)에는 설치하지 않아도 될 것으로 판단된다.

## 5. 신축이음 설치방안 재정립

터널내의 신축이음의 간격은 터널내의 온도변화, 구조물의 시공 및 환경조건, 구조물과 배면지반과의 인터라킹 등에 의해서 영향을 받아 그 간격을 정량적으로 제시하기에는 한계가 있다. 그럼에도 불구하고 고속도로 전문시방서(한국도로공사)나 도로설계편람(국토부)에 의하면 콘크리트 라이닝의 신축이음은 터널 입출구부 50m 이내에서는 25m 이하 간격으로 터널 내부에서는 20~60m 간격으로 일률적으로 설치하도록 되어 있어(공동구는 별도기준이 없이 라이닝 준용) 터널전설과 관련하여 여러 가지 시공 및 경제적 문제점을 야기하고 있다. 특히 터널 내 온도변화와 관련한 신축이음은 그 필요성이 명확치 않음에도 불구하고 이에 대한 체계적인 조사 및 검토가 수행되지 않아 현장에서 여러 가지 혼란을 초래하고 있다.

따라서 본 연구에서는 터널 내 콘크리트 라이닝 및

공동구에 설치되는 온도변화와 관련한 신축이음의 필요유무를 구체적으로 파악하기 위해서 국내·외 다양한 설계 및 시방서의 기준들을 분석하고, 현장 시험시공구간 등을 토대로 터널 내 온도변화 및 줄눈부의 수축량을 조사함과 더불어 재령 및 온도변화를 고려한 수축 및 팽창거동에 대한 이론 및 수치해석적 검토를 체계적으로 수행하였다.

종합적인 검토결과 터널 내 온도변화와 관련한 신축이음은 설치할 필요가 없는 것으로 나타났다. 따라서 터널 내 온도조건과 시공성 및 경제성을 고려하여 현재 시행되고 있는 신축이음의 설치간격을 보다 합리적으로 개선할 필요가 있는 것으로 나타났으며 Table 10과 같이 터널내의 콘크리트 라이닝 및 공동구의 신축이음 설치방안에 대한 기준을 재정립하여 제시하고자 한다.

즉, 터널 일반부의 콘크리트 라이닝 및 공동구에서의 신축이음은 시공이음부 및 수축이음부가 9-12m로 설치되고 건조수축으로 인해 이음부에서 이격발생이 가능한 조건에서는 추가적인 신축이음을 설치하지 않아도 되는 것을 기본으로 하되, 터널 개착부는 시공 중 외부환경에 장기간 노출되므로 신축이음을 설치 할 필요가 있을 것으로 판단되며, 단면 변화부(피난연락갱, 비상주차대, 기타 콘크리트 단면 변화부), 지층의 급격한 변화부(부등침하 우려 구간), 철근과 무근콘크리트 라이닝 접합부 등에 콘크리트 균열발생이 우려될 시 신축이음을 설치할 필요가 있을 것으로 판단된다. 또한, 온도변화와 관련한 신축이음은 시공이음부나 수축이음부가 9-12m로 설치되는 한 추가로 설치할 필요가 없으나 이와 다른 간격조건에서는 상세한 구조해석을 수행한 후 설치유무 및 간격을 결정할 필요가 있을 것으로 판단된다. 공동구 기계시공구간은 일 타설길이가 길어 종로지점에 신축이음을 설치 할 필요가 있을 것으로 판단된다.

신축이음 설치기준 재정립을 통해 나타나는 시공 및 경제적 효과를 Table 11-Table 13에 나타내었다.

Table 10. Reestablishment of expansion joint installation

	Specification criterion	Design application	Reestablishment
Lining	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tunnel portals (50m section): less than 25m</li> <li>Tunnel inner part: 20-60m</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tunnel portals (50m section): less than 25m</li> <li>Tunnel inner part: 27-36m</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Expansion joints are not normally needed for a tunnel as long as either construction or contraction joint is installed with a spacing of 9-12m. (But expansion joints can be required for cut and cover tunnel, section change part, ground change part, reinforced concrete and unreinforced concrete junction part).</li> </ul>
Duct	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tunnel portals (50m section): less than 25m</li> <li>Tunnel inner part: 27-36m</li> </ul>	

Table 11. Economic effect

			Cost/km/one direction	Remark
Effect	①	Before reestablishment	8.4(6.3)x10 <sup>6</sup> won	Cost for expansion joint installation/km/one direction with 27m (36m) spacing - Lining: 7.1(5.6)x10 <sup>6</sup> won - Duct: 1.3(0.7)x10 <sup>6</sup> won
	②	After reestablishment	0.9(0.9)x10 <sup>6</sup> won	
	③	Saving (①-②)	7.5(5.4)x10 <sup>6</sup> won	
	④	Saving rate (③/①×100%)	89.2(85.7)%	

Table 12. Effect of construction time shortening

	Expansion joint spacing (m)	No. of expansion joints	Installation time (day)
Lining	27~36	38	6.3
	250 based on section change	5	0.8
Variation		33 (decrease)	5.5 (decrease)
Duct	27~36	38	3.2
	250	5	0.4
Variation		33 (decrease)	2.8 (decrease)
Total			8.3 (decrease)

☞ Installation time for an expansion joint: lining → 80minutes, duct → 40minutes

☞ Construction time shortening due to the decrease of expansion joints: 33.2 days / 1km (one direction)

Table 13. Effect of constructibility and quality improvement

	Effect
Lining	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Increase of the degree of constructibility</li> <li>• Economic effect due to the decrease of equipment use</li> </ul>
Duct	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Quality improvement of concrete due to no mandatory cutting</li> <li>• Resolving discrepancy problem of wall and foundation joints</li> </ul>

## 6. 결론

본 연구에서는 현행 터널 내 콘크리트 라이닝 및 공동구에서 일률적인 간격으로 설치하고 있는 신축이음과 관련한 여러 가지 시공 및 경제적 문제점 해소하기 위하여 신축이음 관련 국내·외 설계기준 및 시방서 기준들을 분석함과 더불어 터널 내의 신축이음 관련 현장 시험시공과 이론 및 수치해석적 검토 등을 수행하여 터널 내의 콘크리트 라이닝 및 공동구의 온도변화 관련 신축이음 설치필요성에 대하여 검토하였다. 또한, 신축이음 설치기준 재정립 방법 및 그 효과성에 대해서 제시하고 검토하였다. 본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 국내·외 다양한 기준들에 대한 검토결과 터널 콘크리트 라이닝을 포함한 여러 콘크리트 구조물에서의 신축이음의 간격은 구조물의 시공 및 환경조건, 구조물과 배면지반과의 인터라킹 등에 의해서 영향을 받으며 일반적으로 구조물의 형상 및 강성이 변화하

는 위치, 부등침하의 우려가 있는 위치, 온도변화가 심한 곳, 구조해석 수행결과 등을 토대로 신축이음 설치를 제시하고 있지만 그 간격을 정량적으로 제시하기에는 여러 가지 어려운 점이 있는 것으로 나타났다. 또한, 온도변화가 심하지 않은 터널내부나 시공이음부에 충분한 이격폭이 존재할 시 신축이음을 추가로 설치하지 않아도 될 것으로 나타났다.

(2) 국내에서 조사된 터널 내 온도변화 측정자료를 토대로 할 때, 터널 내 온도변화는 계절적으로는 차이가 있었지만 같은 계절을 기준으로 할 때 온도변화의 폭은 8℃ 이하인 것으로 조사되었다. 다시 말해, 터널내의 온도는 외기의 영향이 작아 온도변화의 폭이 크지 않은 것으로 나타나 터널 내 콘크리트 라이닝 및 공동구에 온도변화와 관련한 신축이음은 설치하지 않아도 될 것으로 나타났다.

(3) 콘크리트 건조수축과 온도팽창에 대한 이론적 검토결과, 콘크리트 타설 후 0.25개월 경과시부터 건조수축량이 터널 내 온도증가(25℃, 즉 타설시 최저온도 5℃ 기준 터널 내 대기온도 30℃인 경우)에 의한

온도팽창량을 초과하는 것으로 나타나 터널 내 온도변화와 관련한 신축이음은 설치하지 않아도 될 것으로 나타났다.

- (4) 안전측을 고려하여 최소 건조수축변형률(0.0002)과 최대 온도증가량(25°C)을 고려하여 다양한 조건에서 해석을 수행한 결과, 신축이음부를 설치하지 않으면 온도증가에 따라 라이닝에서 발생응력이 약간 증가하지만 그 증가량은 크지 않는 것으로 나타났다. 따라서, 터널 내 콘크리트 라이닝 및 공동구에 시공이음부 및 수축이음부가 약 9m 간격으로 설치되고 건조수축으로 인해 이음부에서 이격발생이 가능한 조건에서는 온도증가에 따른 별도의 신축이음은 일반적인 경우(최소 건조수축변형률 0.0002 이상 및 콘크리트타설시 최저온도 5°C 기준 최대 온도증가량 25°C 이하)에는 설치하지 않아도 될 것으로 나타났다.
- (5) 종합적인 검토결과 터널 내 콘크리트 라이닝 및 공동구에 온도변화와 관련한 신축이음은 설치하지 않아도 될 것으로 나타났으며 터널 내 온도조건과 시공성 및 경제성을 고려하여 신축이음의 설치기준을 보다 합리적으로 개선할 필요가 있는 것으로 나타났다. 따라서, 본 연구에서는 이와같은 결과를 토대로 현행 터널 내 콘크리트에서 일률적인 간격으로 설치하고 있는 신축이음에 대한 기준을 재정립하여 제시하고 그 효과성에 대해서 검토하였다.
- (6) 본 연구의 결과가 터널 내 콘크리트 라이닝 신축이음과 관련한 여러 가지 시공 및 경제적 문제점들을 해소하고 관련 기준들을 재정립하는데 유용한 자료로서 활용될 수 있을 것으로 판단되며 향후 지속적인 현장계측과 관찰을 토대로 터널시공이 보다 안전하면서 경제적으로 이루어질 수 있기를 기대한다.

## 참고문헌 (References)

1. Ministry of Construction and Transportation (2007), *Tunnel Design Criteria*, pp.61.
2. Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (2010), *Road Design Manual: Tunnel*, pp.607.
3. Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (2008), *Road Design Manual. Section. 5. Bridge*, pp.505-10.
4. Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (2009), *Tunnel Standard Specification*, pp.62.
5. Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (2010), *Road Bridge Design Criteria*, pp.2-9.
6. Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (2012), *Concrete Structure Criteria*, pp.206.
7. Korea Expressway Corporation (2012), *Highway Construction Specialized Specification*, pp.7-36.
8. Korean Geotechnical Society (2008), *Structure Foundation Design Criteria*, pp.56.
9. Korea Rail Network Authority (2013), *Railway Design Criteria*, pp.12-42.
10. Multifunctional Administrative City Construction Agency (2012), *Multifunctional Administrative City Specialized Specification*, pp.5-4.
11. American Concrete Institute (2001), *ACI 224.3R-95, Joints in Concrete Construction*, pp.224.3R-29.
12. Federal Highway Administration (2009), *FHWA-NHI-10-034, Technical Manual for Design and Construction of Road Tunnels-Civil Elements*, pp.5-16, 10-6.
13. DAUB (2000), *Concrete Linings for tunnel built by underground constructions*, Germany, pp.50.
14. US Army Corps of Engineers (1995), *Structural design of concrete lined flood control channels*, pp.2-5.
15. City of Memphis (2005), *Standard construction specifications Section 02633 Concrete channel lining and concrete ditch paving*, pp.02633-2.
16. Norwegian Tunnelling Society (2014), *Norwegian Tunnelling Technology*, pp.148.

Received : January 2<sup>nd</sup>, 2015

Revised : March 25<sup>th</sup>, 2015

Accepted : March 26<sup>th</sup>, 2015