

# 콘크리트궤도 도상 양생중 레일의 온도변화가 콘크리트도상에 미치는 영향에 관한 연구

## The study of influence on track concrete caused by rail temperature variation during curing of the slab track

신순호\*<sup>†</sup>, 이인세\*, 김재구\*, 장석재\*

Soon-Ho Shin <sup>\*†</sup>, In-Se Lee <sup>\*</sup>, Jae-Gu Kim <sup>\*</sup>, Sok-Jae Jang <sup>\*</sup>

**Abstract** In this paper, We are aimed to find the best ways reducing the cracking of concrete track through the examining effect on the placing track concrete due to changes of axial load and displacement occurred by ambient and rail temperature changes.

In conclusion, in track concrete of 2hrs, 4hrs and 8hrs of ages, if change of rail temperature exceeds 1℃, 5℃ and 16℃ respectively, the stress occurred in the track concrete is larger than concrete strength. Thus, to prevent the initial crack of the track concrete occurred by changes of rail temperature is most important factor to assure maintaining rail temperatures steady during the period of minimum time needed.

**Keywords :** Concrete track, Curing of concrete, Crack of concrete, Rail temperature, Rail axial force

**초 록** 본 논문은 콘크리트도상의 균열발생의 여러 인자 가운데 콘크리트도상 타설시 외기온도 변화에 따른 레일온도의 변화에 따라 레일에 발생하는 축력과 변위가 침목을 거쳐 다 굳지 않은 양생중인 상태의 도상콘크리트에 미치는 영향을 검토하여 궁극적으로 그에 대한 대처방안을 마련코자 함에 있다.

검토결과, 콘크리트도상의 양생중 레일온도의 변화에 따라 콘크리트에 미치는 영향은 콘크리트 재령이 2 시간, 4 시간, 8 시간에 대하여 각각 레일온도변화 1℃, 5℃, 16℃ 초과시 시간에 따른 콘크리트의 강도보다 콘크리트 응력이 크게 발생하여 균열과 변위가 발생할 수 있는 것으로 검토되었다. 따라서, 도상 콘크리트의 초기 균열을 방지하기 위하여는 외기온도 변화에 따라 콘크리트 타설 후 최소 소요 이상의 시간 동안은 레일온도를 일정하게 유지하는 것이 도상 콘크리트 품질에 매우 중요한 요소임을 알 수 있었다.

**주요어 :** 콘크리트 궤도, 콘크리트 양생, 도상 균열, 레일온도, 레일축력

## 1. 서 론

최근 철도 궤도설계에 있어 콘크리트궤도 적용이 보편화되고 있는 추세로서 시공 이후 콘크리트궤도의 균열발생 저감에 대한 많은 노력에도 불구하고 도상콘크리트의 균열을 획기적으로 줄이는 데에는 한계가 있는 실정이다.

본 논문은 콘크리트도상의 균열발생의 여러 인자 가운데 콘크리트도상 타설시 외기온도의

† 교신저자: (주)케이알티씨 궤도사업본부 (shshin@krtc.co.kr)

\* (주)케이알티씨 궤도사업본부

변화에 따른 레일온도의 변화에 따라 레일에 발생하는 축력과 변위가 침목을 거쳐 다 굳지 않은 양생중인 상태의 도상콘크리트에 미치는 영향을 검토하여 궁극적으로 그에 대한 대처방안을 마련코자 함에 있다.

## 2. 본 론

### 2.1 콘크리트궤도 균열 형태와 기존의 저감방안

#### 2.1.1 콘크리트궤도의 균열 형태

콘크리트궤도에서 발생하는 주된 균열의 형태는 도상균열, 침목균열, 침목과 도상의 분리현상으로 볼 수 있으며, Fig.1은 콘크리트궤도에서 발생한 균열의 형태별 실예이다.

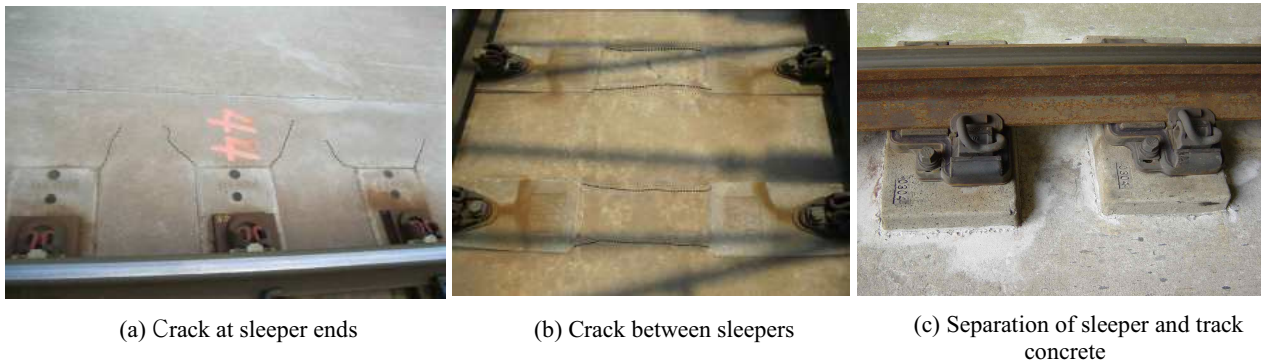


Fig. 1 Type of track track concrete crack

콘크리트도상의 균열은 전구간에 광범위하게 발생하고 있으며 특히, 침목 주위로 이어지는 도상 횡방향 균열이 대부분을 차지하고 있다.

이러한 균열은 콘크리트 양생이 끝나고 어느 정도 시간이 경과하였을 때부터 표면적으로 나타나 점점 확대되는 경향이 있으며, 일반적으로 균열보수 한도 내에서 정지하거나 더 확대되더라도 보수를 시행 할 경우 구조적으로 문제가 되는 균열로 발전되지는 않는 특성이 있다.

지금까지 콘크리트도상의 이러한 균열의 발생 원인으로는 콘크리트 재료 및 시공의 품질 관리상의 문제, 콘크리트 타설시 궤광의 온도변화에 의한 요인, 타설 후 콘크리트의 건조수축에 의한 요인과 열차 진동에 의한 요인, 구조물의 신축에 의한 요인 등을 가장 큰 요인으로 지목하여 이에 대한 대처방안을 수립하는데 주안점을 두었다.

#### 2.1.2 기존의 콘크리트궤도 균열저감 방안

콘크리트도상의 균열 방지를 위한 노력은 매우 다양하게 시도되었으며, 콘크리트 재료 및 시공에 대한 품질관리 강화방안 외에도 대표적으로 레일의 신축에 의한 영향을 줄이기 위한 대책으로는 Fig.2에 나타낸 바와 같이 13m 단척레일 사용, 콘크리트가 굳기 전 체결장치 해체, 미장방법 개선 등이 있으며, 건조수축에 의한 대책으로는 주로 습윤이나 피막양생 등 양생방법의 개선, 철근의 추가, 저 슬럼프 콘크리트사용의 방법 등이 시도되었다.

그러나, 이러한 다양한 시도에도 불구하고 콘크리트도상의 균열을 줄이는 획기적인 진전은 없는 상황이며, 본 연구에서는 외기온도에 의한 레일신축에 의해 타설된 콘크리트에 미치는 영향을 검토하는데 초점을 맞추어 그에 대한 근본적인 대책을 수립하는데 있어 이론적 기초를 마련하고자 한다.



Fig.2 Method of track concrete crack reduction

## 2.2 콘크리트궤도 타설의 현장조건

도상콘크리트의 타설은 콘크리트시방서에 의거 4℃ 이하와 30℃ 이상을 제외하고(외기온도를 제어한 한중/서중 콘크리트로는 타설할 수 있다.) 거의 사계절 동안 타설하며 우리나라의 온도분포는 약 -10℃에서 40℃까지(최근 3년 자료) 분포되어 있다.

이 논문에서 집중하는 기온은 연간 온도변화 분포가 아닌 콘크리트 타설중 콘크리트가 아직 굳지 않은 상태의 기간 동안 온도변화에 주목하고자 하며, 기상청의 자료[1]를 바탕으로 우리나라 주요 지역별 최근 3년간의 일일 온도변화를 월별 평균으로 분석한 결과는 Table 1 및 Fig.3,4와 같다.

Table 1에서 보는 바와 같이 주요 지역별 일일 온도변화(최근 3년간)의 차는 서울의 경우 최대 10℃, 대전의 경우 최대 13℃, 대구의 경우 최대 12℃이다.

Table 1 The daily highest and lowest temperature (month average) of major cities of Korea in the past 3 years

지역	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	연도
	최고/최저	최고/최저	최고/최저	최고/최저	최고/최저	최고/최저	최고/최저	최고/최저	최고/최저	최고/최저	최고/최저	최고/최저	
서울	1.3/-6.3	3.0/-6.0	9.5/1.5	17.9/7.8	25.1/15.4	29.7/20.0	29.0/22.4	30.9/23.9	25.0/17.4	20.5/11.0	9.5/1.8	-0.5/-7.4	2012
	-3.4/-10.5	5.9/-2.5	8.3/-0.1	15.6/6.8	23.0/13.6	26.6/18.4	28.0/22.0	29.5/23.0	26.6/17.7	19.3/9.7	14.7/7.2	2.9/-4.1	2011
	-0.7/-8.1	4.9/-1.7	8.1/0.5	14.0/5.6	22.0/13.0	28.2/19.3	29.3/23.1	30.0/23.8	26.0/18.5	19.3/10.4	11.3/2.5	3.1/-5.1	2010
대전	3.0/-5.8	4.5/-5.9	10.5/1.1	19.6/7.1	25.9/14.4	29.0/19.2	30.1/23.0	31.0/23.8	24.8/16.8	20.7/8.9	11.1/1.8	1.5/-7.2	2012
	-0.6/-10.4	7.6/-3.3	10.5/-0.7	17.7/5.9	23.6/13.1	27.8/18.2	29.0/23.2	29.3/23.1	25.9/17.2	19.5/8.6	16.1/7.1	4.9/-3.6	2011
	2.5/-7.3	6.7/-2.0	9.7/1.0	15.8/4.4	23.5/12.0	28.6/18.4	29.8/22.7	30.8/24.4	26.6/18.4	20.0/9.4	13.1/1.3	5.3/-4.7	2010
대구	5.1/-2.8	5.9/-3.2	12.7/3.5	21.3/9.5	26.2/15.1	28.3/19.2	32.1/23.7	32.4/24.5	26.8/17.6	22.2/10.5	13.2/3.9	3.9/-3.9	2012
	2.2/-6.6	9.5/-0.5	12.6/1.8	19.8/8.0	24.2/13.8	29.6/19.6	31.3/23.4	30.3/23.1	27.9/18.9	21.2/10.8	16.3/8.2	6.9/-1.5	2011
	5.0/-4.3	8.7/-0.1	11.1/3.1	17.0/6.5	25.3/13.7	30.5/19.5	31.3/23.5	33.6/25.0	28.6/19.2	21.9/11.7	14.9/3.2	7.3/-2.5	2010

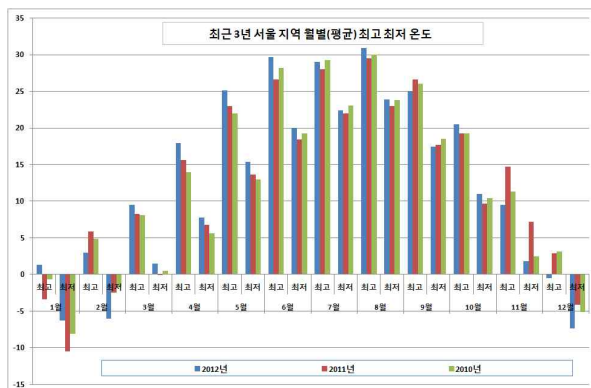


Fig.3 The daily temperature variation in Seoul

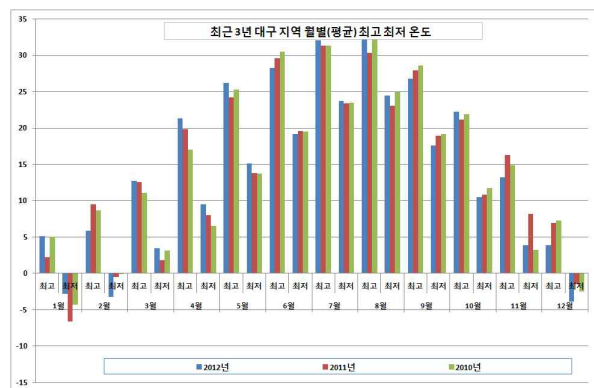


Fig.4 The daily temperature variation in Daegu

Table 2에서는 기존 콘크리트 타설 현장에 대한 타설 일지를 분석하여 콘크리트 타설 시작과 종료 시점, 타설 기간 동안의 일간 외기온도의 변화를 나타내었다. 표에서 보는 바와 같이 콘크리트 타설은 주로 아침 7시경에 시작하여 오후 4~5시경에 종료되며, 타설 기간 동안의 외기온도의 변화는 5~10℃ 임을 알 수 있다.

이러한 일간 기온변화는 레일의 온도변화를 발생시키고 이에 따라 콘크리트 타설과 동시에 고정된 레일과 침목에 힘을 가하여 양생중인 콘크리트에 압축응력을 발생시키므로 안정적인 콘크리트 양생을 방해하는 것으로 추정된다.

**Table 2** Records of concrete placing at construction sites (earthwork, bridge and tunnel section)

○○고속철도 (○○공구)					
토공 및 교량구간(지상)			산악터널구간(지상)		
타설일자	타설시간	외기온도	타설일자	타설시간	외기온도
2007/07/19	07:00~07:57	24~26	2009/07/14	07:31~09:32	23~24
	07:57~09:04	26~27		09:32~16:18	24~26
	09:04~14:50	27~28	2009/07/15	07:48~10:31	20~21
	14:50~15:30	28~26		10:31~15:38	21~20
2007/07/25	06:48~07:55	29~30	2009/07/16	07:45~11:55	22~23
	07:55~08:17	30~31		11:55~16:38	23~24
	08:17~09:08	31~33	2009/07/21	07:35~09:32	21
	09:08~16:03	33~34		11:11~12:55	24~25
2007/09/07	07:07~07:39	20~21	2009/07/22	12:55~15:11	25~24
	07:39~08:42	21~22		07:36~13:23	23~24
	08:42~12:08	22~24	2009/07/25	13:23~15:10	24~23
	12:08~14:27	24~25		07:36~13:36	21~22
2007/09/11	14:27~15:34	25~23	2009/07/25	13:36~16:29	22~21
	07:01~09:00	19~21		17:55~18:46	20~18
	09:00~09:26	21~22	2009/08/15	07:17~09:46	23~24
	09:26~11:07	22~24		09:46~11:28	24~25
	11:07~13:05	24~26		11:28~13:20	25~26
	13:05~15:13	26~27		13:20~17:10	26~24

### 2.3 대기온도와 레일온도와의 상관관계

국내의 대기온도 변화와 레일온도와의 상관관계에 대한 연구는 Choi et al.[2]에 의해 상세히 수행되었다. 이에 의하면 높은 온도일 때는 레일온도와 대기온도의 차가 약 10~15℃ 정도로 나타났지만, 낮은 온도일 때는 레일온도와 대기온도가 1℃ 이내의 차이로 거의 같고, 일 최고 레일온도일 때 대기온도와의 차가 18.78℃로 7월에 가장 큰 차이를 보였으며, 계절별로 평균 7.10~12.81℃, 최대 15.18~18.78℃의 차이를 보이는 것으로 보고된 바 있다.

Fig.5는 여름철 최고 레일온도를 기록한 날의 대기온도-레일온도 관계를 나타낸 것이고, Fig.6은 1년간 측정된 데이터를 토대로 각 날의 최고 및 최저 레일온도일 때의 대기온도와 레일온도의 추이를 나타낸 것으로, 맑은 날의 경우에는 국내 추정모델보다 Esveld[3]와 Hunt [4]가 제안한 추정모델이 실측 자료의 추세를 잘 예측하는 것으로 평가되나, 흐린 날의 경우에는 국내의 장대레일 보수관리 자료[5]의 레일온도 추이와 유사한 양상을 보이는 것으로 평가되었다.

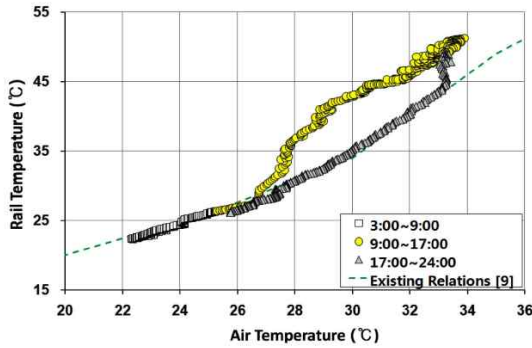


Fig. 5 Air temp.-Rail temp. relations on the maximum rail temperature day [2]

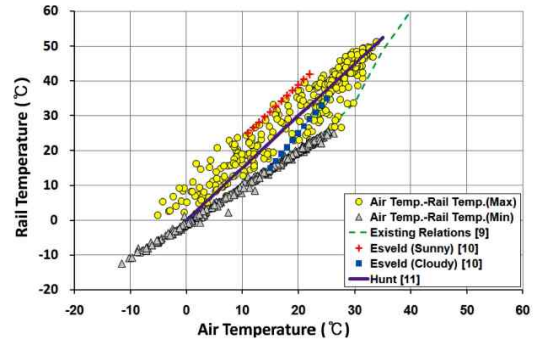


Fig. 6 Air temp.-Rail temp. relations on the daily maximum and minimum rail temperature for a year [2]

## 2.4 레일의 온도변화가 콘크리트도상에 미치는 영향

### 2.4.1 검토 조건

레일의 온도변화가 타설 직후의 도상콘크리트에 미치는 영향을 검토하기 위하여 각 재령별 도상콘크리트에 대하여 레일에 온도하중을 재하하여 도상에 발생하는 응력값을 도출하였다. 검토조건은 다음과 같다.

- ① 레일 : 60kg KR (L=13m, 25m, 100m)
- ② 침목 : 바이블록 콘크리트 침목
- ③ 체결장치 : 콘크리트궤도용 레일체결장치
- ④ 도상콘크리트의 설계기준압축강도 : 30MPa
- ⑤ 레일의 온도변화 : 0°C부터 1°C단위로 20°C까지
- ⑥ 콘크리트의 강도변화 : 재령 2시간, 4시간 및 8시간

### 2.4.2 재령에 따른 콘크리트의 강도발현

국토해양부 기준[6]에 의거 재령에 따른 콘크리트 강도 및 초기접선탄성계수는 식(1)과 식(2)로부터 산정하였다.

$$f_{cu}(t) = \beta_{cc}(t)f_{cu} \quad (1)$$

$$E_{ci}(t) = \sqrt{\beta_{cc}(t)} \cdot E_{ci} \quad (2)$$

여기서,  $\beta_{cc}(t)$ 는 콘크리트 강도발현에 대한 재령에 따른 보정계수로 식(3)과 같다.

$$\beta_{cc}(t) = \exp \left[ \beta_{sc} \left( 1 - \sqrt{\frac{28}{t}} \right) \right] \quad (3)$$

위 식에서  $t$ 는 콘크리트의 재령,  $\beta_{sc}$ 는 시멘트 종류에 따른 상수이다.

위 식을 적용하여 구한 설계기준강도 30MPa인 도상콘크리트의 재령에 따른 콘크리트 강도와 초기접선탄성계수의 변화는 Fig.7, 8과 같다.

또한, 재령 2시간, 4시간, 8시간의 도상콘크리트의 강도와 초기접선탄성계수를 산정하여 Table 3에 나타내었다.

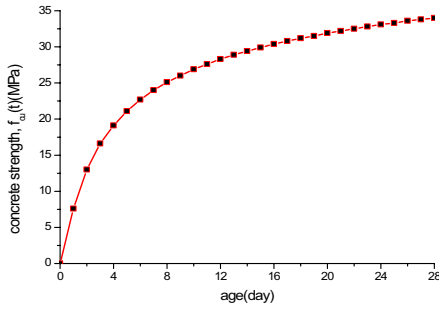


Fig. 7 Development of concrete strength,  $f_{cu}(t)$  as ages

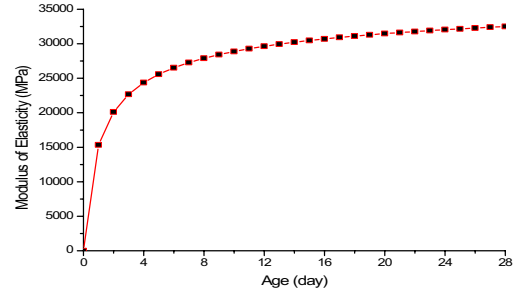


Fig. 8 Change of modulus of elasticity,  $E_{ci}(t)$  as ages

Table 3 Concrete strength and modulus of elasticity of 30MPa track concrete at age 2, 4 and 8 hours

Age (hours)	Correction factor, $\beta_{cc}(t)$	Concrete Strength, $f_{cu}$ (MPa)	Modulus of elasticity, $E_{ci}(t)$ (MPa)
2	0.002	0.08	1,566
4	0.015	0.52	4,006
8	0.057	1.95	7,784

### 2.4.3 레일의 온도변화에 따른 도상콘크리트의 응력

구조해석프로그램은 LUSAS Program(v14.7)을 이용하였으며, 레일과 도상을 종방향 스프링으로 연결하고, 종방향 스프링 산정시 전절에서 구한 재령별 초기접선탄성계수를 사용하였다.

레일의 온도변화가 양생중인 콘크리트의 품질에 미치는 영향은 재령에 따른 콘크리트 강도와 온도변화에 따른 레일의 신축에 의해 발생하는 도상콘크리트 응력과의 관계로서 파악할 수 있을 것이다.

레일 온도변화에 따라 도상콘크리트에 발생하는 응력이 레일의 길이에 따라 어떤 형태를 보이는지 검토하기 위하여 레일길이 13m, 25m, 100m 각각에 대한 검토를 수행하였으며, Fig.9에 재령 8시간, 레일온도변화 17°C일 경우에 대한 해석결과를 나타내었다. 여기서, 가로축은 도상의 위치를 나타내며, 세로축은 도상콘크리트에 발생하는 응력이다. 발생응력은 레일 중심을 기준으로 대칭의 형상을 보이므로 편측 절반부에 대해서만 나타내었다.

Fig.9에서 알 수 있듯이 최대응력이 발생하는 레일단부 도상콘크리트의 발생응력은 재령과 온도변화가 동일한 경우 모든 레일 길이에 대해서 같은 결과를 보이는 것을 알 수 있다.

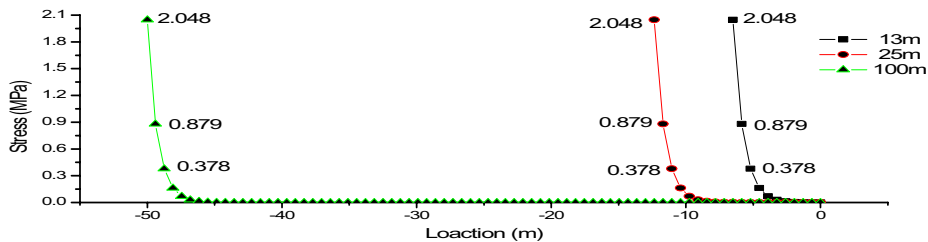


Fig. 9 Example of track concrete stress in varied rail length (age : 8hr, rail temperature change : 17°C)

재령별 도상콘크리트의 강도와 레일의 온도변화에 따른 도상콘크리트의 발생응력을 Fig.10과 Table 4에 나타내었다. 도상콘크리트 발생응력 산정을 위한 모델링을 위한 레일 길이는 25m를



기준으로 하였다. Table 4에서  $f_{cu}/f$  항이 1 이상이면 발생도상응력이 발현강도 이하로서 안전하고, 1 미만이면 발생도상응력이 발현강도를 초과하여 불안전함을 나타낸다.

검토결과에서 알 수 있는 바와 같이 콘크리트 재령이 2시간, 4시간, 8시간일 때 각각 레일의 온도변화가 1°C, 5°C, 16°C를 초과하는 경우 도상 콘크리트에 발생하는 응력이 도상콘크리트 발현강도를 초과하여 초기 도상 콘크리트의 품질에 악영향을 미치는 것으로 예측되었다.

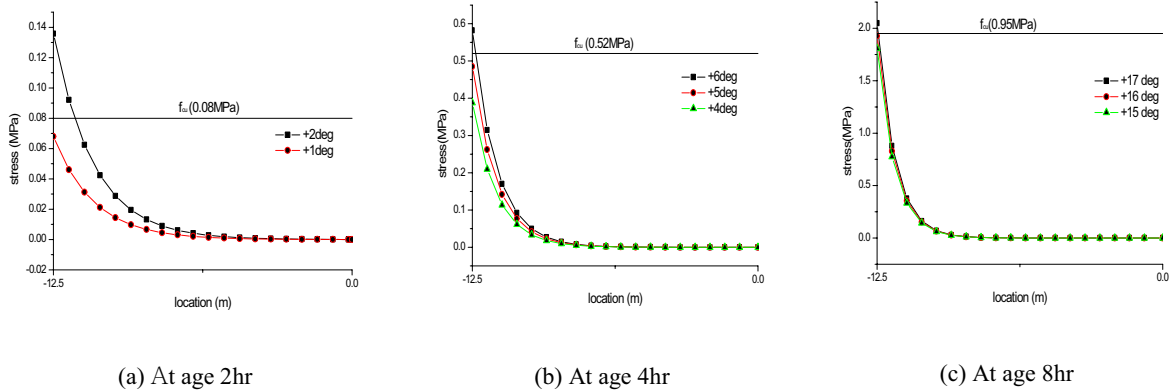


Fig. 10 Concrete stress developed by rail temperature change along 25m rail

Table 4 Maximum concrete stress by rail temperature change at age 2, 4 and 8 hrs

Concrete Age	2 hr		4hr			8 hr		
Rail temp. change	+ 1°C	+ 2°C	+4°C	+ 5°C	+ 6°C	+15°C	+ 16°C	+ 17°C
Track concrete stress, f (MPa)	0.07	0.14	0.39	0.48	0.58	1.81	1.93	2.05
Concrete Strength, $f_{cu}$ (MPa)	0.08		0.52			1.95		
$f_{cu}/f$	1.14	<b>0.57</b>	1.33	1.08	<b>0.90</b>	1.08	1.01	<b>0.95</b>

### 3. 결론

도상콘크리트 타설 직후 레일온도의 변화가 양생중인 도상콘크리트에 미치는 영향을 검토하기 위하여 재령이 2시간, 4시간, 8시간인 도상콘크리트에 대한 해석을 수행하였다.

발생응력과 도상콘크리트 발현강도를 비교한 결과 콘크리트 재령 2시간, 4시간, 8시간인 경우, 레일의 온도변화가 각각 1°C, 5°C, 16°C 를 초과하는 경우 시간에 따른 콘크리트의 강도보다 도상콘크리트 응력이 크게 발생하여 도상콘크리트의 초기균열에 나쁜 영향을 끼칠 수 있는 것으로 검토되었다. 따라서, 도상 콘크리트의 초기 균열을 방지하기 위하여는 외기 온도 변화에 따라 콘크리트 타설 후 최소 소요 이상의 시간동안은 레일온도를 일정하게 유지하는 것이 도상 콘크리트 품질관리에 매우 중요한 요소임을 알 수 있었다.

### 참고문헌

[1] Korea Meteorological Administration(2013) www.kma.go.kr, Annual Statistics on Daily Temperature change (2013)  
 [2] Jin-Yu Choi, Gyu-Sei Yi, Hyun-Ung Bae, Beom-Ho Park et al.(2010) Investigation on the Temperature

Characteristics of CWR for the Climate Change, Journal of the Korean Society for Railways, 13(2), pp.179-185.

[3] Coenraad Esveld (2001) Modern Railway Track (Second Edition), MRT-Productions, pp. 383.

[4] G. A. Hunt(1994) An Analysis of Track Buckling Risk, British Railways Internal Report RRTM013, pp.31.

[5] KORAIL(1986), Maintenance of Continuous Welded Rail.

[6] Ministry of Land, Infrastructure and Transport(Korea) (2012), Specification for Structural Concrete (Korean), Kimoondang, Seoul (Korea).