

# 기계식 연속철근콘크리트포장의 현장 적용성 및 거동 분석 연구

## Field Application and Performance of Continuously Reinforced Concrete Pavement via Mechanical Tube-feeding Method

최 훈 석 Choi, hooseok | 정희원 · 한국도로공사 춘천지사장 (E-mail : hooseok@ex.co.kr)

### ABSTRACT

**PURPOSES :** The field application and performance of continuously reinforced concrete pavement (CRCP), constructed by using the mechanical tube-feeding method, are evaluated in this study.

**METHODS :** The location of the rebar was evaluated by using the MIRA system. The early-age CRCP performance was evaluated via visual survey, in which the crack spacing and crack width were examined.

**RESULTS :** The location of longitudinal reinforcing bars was evaluated via MIRA testing and the results showed that the longitudinal rebars all lie within a given tolerance limit ( $\pm 2.5$  cm) of the target elevation. In addition, owing to the low temperature when the concrete was cured, the crack spacing in the Dae-Gu direction is slightly wider than that of the Gwang-Ju direction. Almost all of the crack spacings lay within the range of 1.0 m~3.0 m. A crack width of  $<0.3$  mm was measured at the pavement surface. However, as revealed by the field survey, the crack spacing was not correlated with the crack width.

**CONCLUSIONS :** In CRCP constructed by using the mechanical tube-feeding method, almost all of the longitudinal reinforcing bars lay within the tolerance limit (2.5 cm) of the target elevation. The concrete-placing temperature affects the crack spacing, owing to variations in the zero-stress temperature. Crack survey results show that there is no correlation between the crack spacing and crack width in CRCP.

### Keywords

*continuously reinforced concrete pavement, mechanical tube-feeding method, crack spacing, crack width*

Corresponding Author : Choi, hooseok  
KOREA EXPRESSWAY CORPORATION, 1302-5, Handeokbalsan-gil,  
Nam-myeon, Chuncheon-si, Kangwon-do, 24468, Korea  
Tel : +82.33.269.1300 Fax : +82.33.269.1309  
E-mail : hooseok@ex.co.kr

International Journal of Highway Engineering  
http://www.ksre.or.kr/  
ISSN 1738-7159 (print)  
ISSN 2287-3678 (Online)  
Received Dec. 01, 2015 Revised Dec. 02, 2015 Accepted Mar. 29, 2016

## 1. 서론

### 1.1. 국내 콘크리트포장 현황

국내 도로포장의 89.4%는 아스팔트 포장형식이고, 시멘트 콘크리트 포장은 10.6%이며, 고속의 주행을 요하는 고속도로에 있어서는 시멘트 콘크리트 포장이 62%를 차지하고 있다. 국내 시멘트 콘크리트 포장은 1980년대 중차량에 대한 하중지지력이 우수하다는 장점 등으로 인해 도입되었으며, 그 이후 88고속도로 시험시공을 기점으로 일반국도 및 고속국도 등에서 시멘

트 콘크리트 포장 적용 연장이 급속도로 증가하고 있다. 현재 시행되고 있는 시멘트 콘크리트 포장의 형식은 무근(줄눈) 콘크리트 포장(이하 'JCP' : Jointed Concrete Pavement)이 대부분이다. 시공경험이 풍부하고 타 공법에 비해 초기공사비가 저렴하다는 점에서 가장 많이 쓰이고 있으나, 줄눈부의 잦은 손상으로 인한 유지 보수가 필요하며 수축줄눈에 의한 승차감 불량 및 안전 등의 문제점을 수반한다는 단점이 있다. 1984년 경부고속도로 일부 구간에 확장 및 개량의 목적으로

처음 도입되었던 연속철근콘크리트 포장(이하 'CRCP': Continuously Reinforced Concrete Pavement)은 2012년부터 한국도로공사와 국토교통부에서 상기 언급한 무근(줄눈) 콘크리트 포장의 단점을 보완하기 위한 방법으로 논의가 시작되었다. JCP의 취약점 개선과 공용성 증진을 위해 CRCP공법이 논의되기는 하였지만, 국내에 적용되어 있는 콘크리트 포장 대부분은 JCP형식이다. CRCP가 확대적용되지 못했던 이유 중 하나는 1980년대 후반의 초기 시공 당시 CRCP의 역학적 거동이나 물리적 성질이 완벽하게 규명되어 있지 않은 상태에서 시공이 이루어졌다는 것이다. 즉, 시공정보 또는 기술이 매우 제한적인 여건에서 시공이 이루어졌음을 의미한다. 1985년 중부고속도로 약 68km구간에 시공된 CRCP는 철근조립이 인력시공(Manual Method)에 의해 이뤄졌으며, 시공 후 30년이 지난 현재까지도 포장 상태는 비교적 양호한 편이다. 그러나, 높은 초기공사비 및 CRCP에서 환경하중 제어를 위해 필연적으로 발생하는 횡방향 균열은 역으로 CRCP에 대한 부정적인 인식을 초래하는 결과를 가져왔고, 따라서 이후에 진행된 판교-구리 700m 및 일부 시험시공구간 등을 제외하고는 시공사례가 없는 실정이다. 하지만 최근 들어 JCP포장이 설계수명 이전에 조기파손이 발생하는 사례가 종종 보고됨에 따라, 포장 공용성 증대를 위한 목적으로 고속도로 시공 시 CRCP 포장 형식을 확대적용할 계획에 있다(KEC, 2012). CRCP 포장형식은 줄눈이 설치되지 않으므로 주행성이 우수하고 더불어 내구성이 우수하며 유지보수비용이 현저히 절감되므로 총생애주기비용(LCC)을 고려한 경제성 측면에서 JCP 포장형식과 비교하여 유리한 것으로 분석하였다.

하지만 기존 인력식 철근배근을 통한 CRCP 포장 시공은 철근배근작업으로 인해 추가인력 투입과 시간이 요구되고, 철근이 기 배근된 상태에서 콘크리트 공급을 위한 장비가 포장구간 내로 진입할 수 없다는 단점이 있다. 다시 말하면 추가로 콘크리트 포설을 위한 작업공간이 요구되어 산지가 많아 터널 및 분리구간이 많은 국내의 도로선형을 고려하였을 때, 시공성이 매우 떨어짐을 의미한다. 본 논문에서는 이러한 단점을 개선하기 위한 방법으로 철근유도고정장비를 이용하여 철근의 배근과 동시에 콘크리트 포설이 가능한 기계식 연속철근콘크리트포장 공법에 대하여 소개하고, 국내 최초로 시공된 기계식 연속철근콘크리트 포장의 적용성 및 균열간격 및 균열 폭 조사를 통한 포장의 초기거동을 분석하고 이에 대한 결과를 기술하였다.

## 1.2. 국외 기계식 연속철근콘크리트 포장 시공사례

국외에서 지금까지 시도되었던 기계식 연속철근콘크리트 포장의 시공사례와 문제점을 살펴보면 다음과 같다.

### 1.2.1. 미국의 사례

미국은 1970년대 초반 Fig. 1과 같은 단순한 형태의 tube-feeding 장치를 이용하여 철근을 관으로 유도하여 철근을 설치 시공하였다.

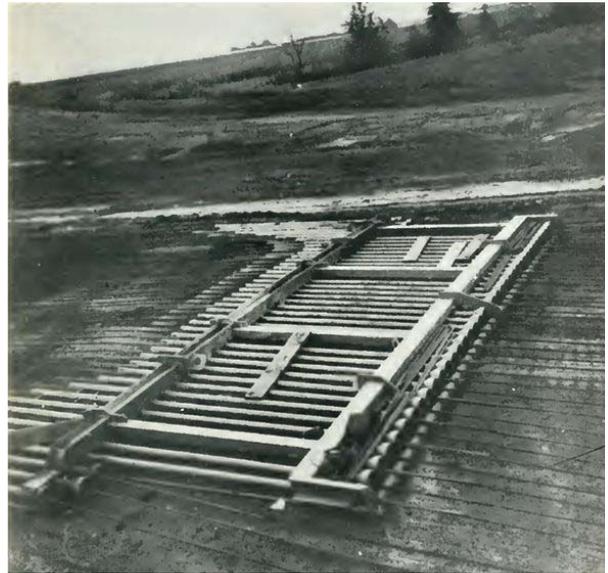


Fig. 1 American Tube-feeding Method on Early Stage

포설면의 측면에서 콘크리트를 공급하여 시공이 이루어졌다. Fig. 2와 같이 tube-feeding 장치와 페이퍼의 간격이 길게 존재하였으며, 이로 인해 철근 배근 및 콘크리트

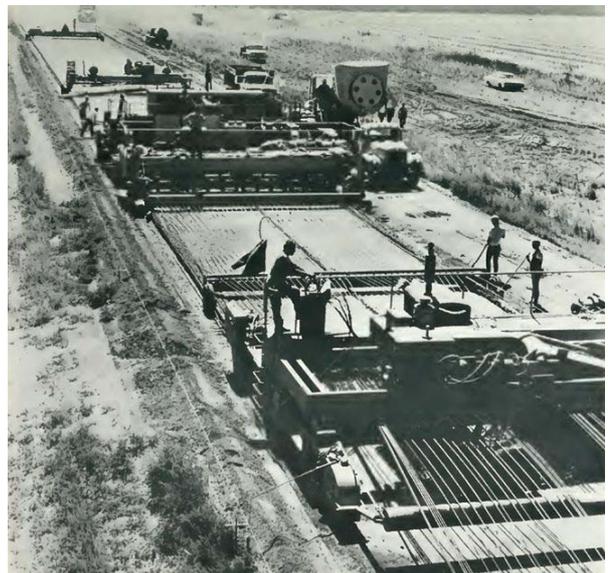


Fig. 2 Concrete Paving by Tube-feeding Method

리트 공급(포설 및 오랜 대기시간)에서 문제를 보였다.

tube-feeding 장비와 페이퍼를 근접되도록 시공하였으나, 콘크리트의 측면 공급 및 타이바 설치 등의 문제로 시공성이 떨어지는 문제점이 나타났다.

Fig. 3과 Fig. 4는 철근 배근 위로 덤프트럭이 진입하여 콘크리트를 공급하여 시공하였으나 이로 인한 철근 겹이음부 및 철근의 손상이 발생되었다.



Fig. 3 Front View of the Field Application of Tube-Feeding Method



Fig. 4 Concrete Paving by Feeding Concrete Material in Front

미국에서 시도된 기계식 연속철근콘크리트 포장 공법은 상기와 같은 방법으로 시공하였으나, Fig. 5와 같이 기계식 배근에 의한 철근의 배근이 부정확하여 포장의 상부로 위치이탈하는 문제가 발생함으로써 피복 두께의 저하를 가져와 포장 파손이 공용 중 발생하였다.

그 밖에 철근의 위치 문제, 콘크리트 공급문제(시공성) 그리고 철근받침대의 가격 하락 등의 이유로 80년대 초반 이후엔 tube-feeding 방법에 의한 시공은 더 이상 이루어지고 있지 않았다.



Fig. 5 Pavement Distress by High Steel

### 1.2.2. 유럽의 사례

유럽의 경우에는 Fig. 6과 같이 미국보다 개선된 기계식 배근장비로 기계식 연속철근콘크리트 포장을 시공하였으나, 철근의 위치 정밀도를 확보하였는지에 대하여는 미확인되었다. 다만, 콘크리트를 공급하는 위치에 철근이 많이 노출되어 있어 미국의 경우와 큰 차이없이 철근 위치 정밀도에 문제점을 보였을 것으로 사료된다.



Fig. 6 CRCP Construction with Mechanical Tube-feeding Method (France)

## 2. 현장적용 및 모니터링

### 2.1. 기계식 연속철근콘크리트 포장

#### 2.1.1. 연속철근콘크리트 포장 개요

본 연구에서는 기계식 연속철근콘크리트 포장 공법과 인력으로 철근이 배근되는 일반 연속철근콘크리트 포장 공법에 의해 시공된 도로포장의 초기 거동을 비교 검토하였다. 기계식 연속철근콘크리트포장은 88고속도로 함양~성산확장공사구간 중 경북 고령군 쌍림면 월막리 현장에서 이루어졌다. 2013년 12월 05일과 2014년 5월~6월 2차에 걸쳐 시공이 이루어졌으며, 상세 시공 현황은 다음 Table 1 및 2와 같다.

Table 1. 1st Construction (Dae-Gu Direction)

Date	Location	note	
2013.12.05	STA. 3+890.0~4+251.5		
Length	Width	Thickness	Area
361.5m	8.2m	30cm	889.29m <sup>3</sup>

※Temp<sub>max</sub> 12°C / Temp<sub>min</sub> 3°C

Table 2. 2nd Construction (Gwang-Ju Direction)

Date	Location	note	
2014.05.30.~06.05	STA. 3+752~4+252		
Length	Width	Thickness	Area
500m	8.2m	30cm	1,230m <sup>3</sup>

※Temp<sub>max</sub> 35°C / Temp<sub>min</sub> 14°C

### 2.1.2. 기계식 연속철근콘크리트포장 시공

기계식 연속철근콘크리트포장의 경우 Fig. 7과 같이 시공준비 시 커플러로 연결해 놓은 종방향 철근을 철근 유도장비로 자동 배근함과 동시에 콘크리트를 포설하고 타이닝 및 양생 과정의 절차로 시공하였다.



(a) Connecting Reinforcing Steel and Starting Concrete Paving



(b) Reinforcement Placing and Concrete Paving



(c) Arranging Surface and Tining After Concrete Paving



(d) Spraying Curing Compound



(e) Construction Completed

Fig. 7 Procedure of CRCP Construction with Mechanical Tube-feeding Method

## 2.2. 포장거동 모니터링

### 2.2.1. 모니터링 개요

국내 기계식 연속철근콘크리트포장의 철근배근 상태 및 포장상태 모니터링을 위하여 2013년 12월~2015년 6월 까지 총 12회에 걸쳐 비파괴 탐사장비 및 육안조사를 통해 모니터링을 실시하였다.

### 2.2.2. 철근배근 상태 조사

기계식 연속철근콘크리트포장공법에 의해 시공된 구간의 철근 배근 위치를 확인하기 위해 두 가지 비파괴 초음파 탐사실험장비(MIRA, RC-radar)를 이용하여 콘크리트 내부의 철근배근 상태를 조사하였다. 이를 통해 기계식 철근배근에 의한 연속철근콘크리트포장에서 종방향 철근의 간격과 높이 등 철근의 적정위치 배근여부를 확인하였다.

시공 구간에 대한 3-D 철근배근 상태 검증과 2-D 철근위치 및 깊이 확인을 실시하였으며, Fig. 8, 9, 10과 같이 철근의 위치를 확인하였다.

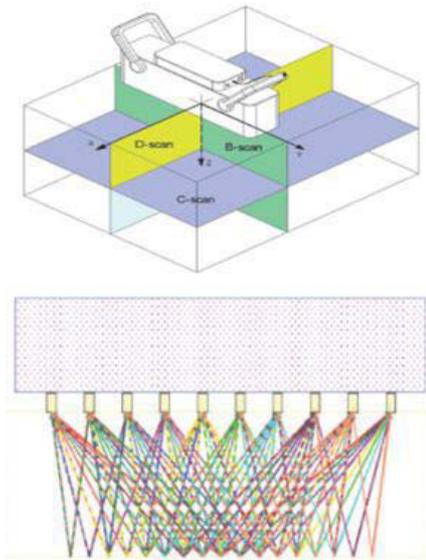


Fig. 8 Principle of MIRA



Fig. 9 Inspection of Rebar with MIRA and Rc-Radar

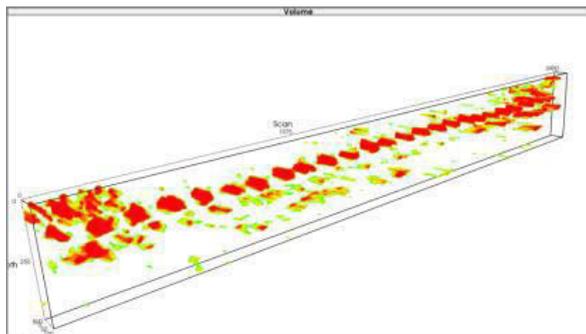


Fig. 10 3-D MIRA Image for 250m Section

### 2.2.3. 균열간격 및 균열폭

균열간격 및 균열폭의 경우 Table 3과 같이 12회에 걸쳐 육안관찰을 통해 균열 맵을 도시하여 모니터링을 실시하였으며, 균열폭 측정기를 이용하여 균열의 폭을 측정하였다.

Table 3. Number of the Occured Cracks

NO.	Date	Number of crack	
Dae-Gu	1	2013.12.10	2
	2	2013.12.13	7

Dae-Gu	3	2013.12.26	42	
	4	2014.01.10	58	
	5	2014.01.22	62	
	6	2014.02.18	64	
	7	2014.04.02	67	
	8	2014.04.22	67(No more cracks)	
	9	2014.06.24	68	
	10	2014.12.04	82	
	11	2015.01.27	82(No more cracks)	
	12	2015.06.03	84	
	Gwang-Ju	1	2014.06.24	91
		2	2014.08.12	122
3		2014.12.04	245	
4		2015.01.27	360	
5		2015.06.03	364	

## 3. 모니터링 분석결과

### 3.1. 철근배근 상태 결과

기계식 연속철근콘크리트포장에 시공된 종방향 철근의 시공상태를 확인하기 위하여 비파괴 탐사장비(MIRA, RC-Radar)를 이용하여 Table 4와 같이 구간별 측정을 실시하였으며 조사구간 모두에서 종방향 철근의 위치가 허용오차 범위( $\pm 2.5\text{cm}$ )내에 위치한 것으로 나타났다.

Table 4. Inspections of the Rebar Location

Inspection location			spacing (cm)	Results ( $15\pm 2.5\text{cm}$ )	depth (cm)	Results ( $15\pm 1.5\text{cm}$ )
1	2m	1st lane	13.2	OK	14.0	OK
2		2nd lane	15.0	OK	14.0	OK
3	150m	1st lane	15.2	OK	15.0	OK
4		2nd lane	15	OK	14.9	OK
5	200m	1st lane	14.8	OK	16.1	OK
6		2nd lane	14.8	OK	15.1	OK
7	250m	Whole lane	15.0	OK	15.1	OK
8	300m	Longitudinal line	15.4	OK	15.2	OK
9		2nd lane	14.8	OK	16.3	OK
Average			14.9	OK	15.2	OK

### 3.2. 균열간격 vs 균열폭 분석

기계식 연속철근콘크리트포장의 초기균열 패턴을 알아보기 위하여 전 구간에 대해 육안관찰을 실시하였으며, Crack Scale 및 균열측정기를 이용하여 균열 폭을 측정

하였다. 구간에 대해 시계열적(시공 직후, 6개월 경과 후 및 12개월 경과 후)으로 균열폭 및 균열간격을 비롯한 현장데이터를 수집하고 분석하였다. 2013년 12월 시공된 대구방향 기계식 연속철근콘크리트포장의 모니터링 데이터를 분석한 결과, 균열 폭은 0.2~0.3mm(77.4%) 범위로 분포하고 대부분 균열의 균열간격은 1.0~3.0m(72.6%) 범위인 것으로 조사되었다.

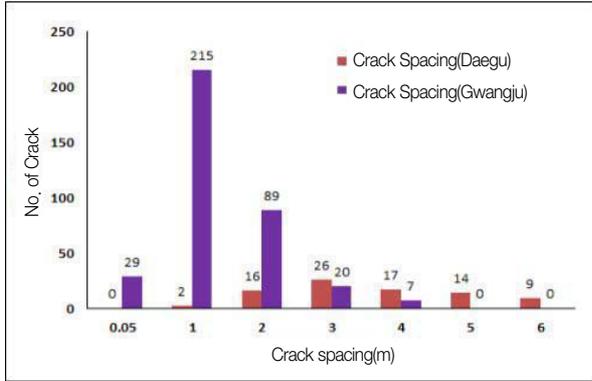


Fig. 11 Crack Spacing

2015년 5~6월 시공한 광주방향 기계식 연속철근콘크리트포장의 모니터링 데이터를 분석한 결과 균열 폭은 0.2~0.3mm(74%) 범위로 측정되었고, 균열간격은 대부분 1.0~2.0m(78%)의 범위로 분포하는 것으로 관측되었다.

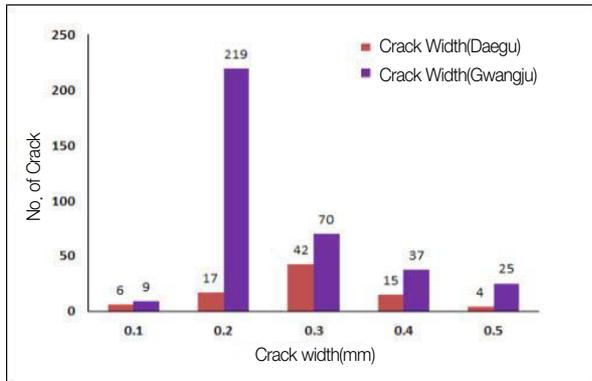


Fig. 12 Crack Width

두 시공구간은 위치상 인접하여 있으나, 초여름에 시공한 구간에서 균열이 많이 발생하고 균열간격이 좁게 유지되는 것으로 나타났다.

콘크리트의 응력이 0이 되는 시점에서의 온도(Zero-stress temperature)에 차이가 있기 때문에 균열의 패턴이 다르게 나타나며, 여름에 시공이 이뤄진 포장보다 Zero-stress temperature가 높기 때문에 온도 하강으

로 인한 수축 균열이 발생할 가능성이 커지게 된다. 따라서, 초여름에 시공한 구간에서 횡방향 균열이 많이 발생한 것으로 나타났다. 이는 연속철근콘크리트포장에서 발생하는 횡방향 균열은 콘크리트 타설 온도와 매우 밀접한 관계가 있음을 보여주는 결과로써, 균열간격이 연속철근콘크리트포장의 초기성능과 무관함을 간접적으로 보여주는 것이다.

이렇게 조사된 균열간격 및 균열폭에 대한 상관관계를 Fig. 13에 도시하였다. 일반 연속철근콘크리트포장에서 균열 폭 및 균열 간격의 상관관계(Suh, 1993; Nam, 2006)를 조사한 최근의 결과에서 그 상관성이 낮은 것으로 보고된 바 있으며, 금번 시험시공이 이뤄진 기계식 연속철근 콘크리트포장에 있어서도 균열 폭과 균열 간격(Fig. 13) 사이에는 상관성이 없는 것으로 조사되었다. 기계식 연속철근콘크리트포장과 일반 연속철근콘크리트포장에서 나타나는 초기거동이 유사함을 보여주는 결과로 볼 수 있다.

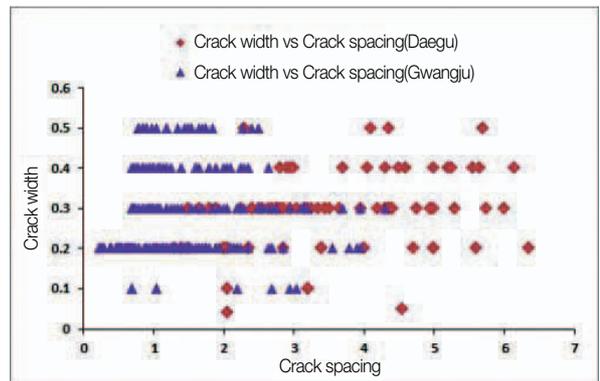


Fig. 13 Cracks vs Crack Spacing

#### 4. 결론

본 논문에서는 일반 연속철근콘크리트 포장의 단점(인력 철근 배근 및 콘크리트 포설공간 확보의 문제)을 보완하기 위한 방법으로 기계식 연속철근콘크리트포장을 소개하고 현장적용성과 포장의 초기거동 조사결과에 대해 기술하였다.

1. 연속철근콘크리트 포장에서 철근배근을 기계식으로 배근할 수 있는 방법을 마련하고, 콘크리트 포설 공간의 제약없이 연속철근콘크리트포장 시공이 가능한 포장시공 시스템의 시공성을 확인하였다.
2. 기계식 연속철근콘크리트포장 공법에 의해 시공된 구간에서 종방향 철근의 위치가 설계허용오차 범위

(±2.5cm)내에 위치하는 것으로 나타났다.

3. 초기 균열조사 결과, 균열 폭은 0.3mm 이하로 측정되어 균열 폭 최대기준 1.0mm 이하의 기준을 모두 만족하였고, 대부분 균열간격은 1.0m~3.0m 범위로 조사되었으나, 균열 폭과 균열 간격의 상관관계는 확인되지 않았다. 기계식 연속철근콘크리트포장에서 나타나는 균열의 양상은 일반 연속철근콘크리트포장에서 발생하는 균열의 양상과 유사하다.
4. 연속철근콘크리트포장에서 나타나는 횡방향 균열은 콘크리트포설 당시의 Zero-stress temperature와 밀접한 관계가 있으며, 동일한 설계 및 시공조건에서도 여름에 시공된 구간에서 Zero-stress temperature가 높게 형성되기 때문에 균열 발생빈도가 증가하게 된다.

추후 지속적인 모니터링을 통해 환경하중 및 교통하중이 기계식 연속철근콘크리트포장의 장기 공용성에 미치는 영향을 평가하기 위한 연구가 수반될 필요가 있다.

## REFERENCES

- Carlos Jofré, Joaquín Romero and R. Rueda. Contribution of Concrete Pavements to the Safety of Tunnels in Case of Fire. 2010.
- Chon, BeomJun, Choi PanGil, Kil YongSu, 2013. Field application of Continuously Reinforced Concrete Pavement with Mechanical-Placement Machine, Page 00 in 2013 Conderence of Korea Concrete Institute, Seoul, Korea.
- Elfino, M, C. Ozyildirim and H. Nair. I-295 CRCP Performance Updates. Virginia Concrete Conference, 2010.
- Gharaibeh, N., M. Darter and L. Heckel. Field Performance of Continuously Reinforced Concrete Pavement in Illinois. Transportation Research Record:Journal of the Transportation Research Board, No.1684, 1999, pp. 44-50.
- Hoegh K., Khazanovich L., Yu H.T. "Ultrasonic Tomography Technique for Evaluation of Concrete Pavements." Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 2232, pp. 85-94. 2011.
- Korea Expressway Corporation, 2012, Extension of plans for promoting the Expressway pavement performance.
- Mohamed Elfino, 'Concrete Pavements in Virginia Route 58 Open House', 2012.
- Nam JungHee, 2006, Variation of Crack Width over Time in Continuously Reinforced Concrete Pavement(CRCP), Conference of Korean Society of Road Engineers, Seoul, Korea.
- Rasmussen, R, O., R. Rogers and T. R. Rerragut. Continuously Reinforced Concrete Pavement Design&Construction Guidelines. 2011.
- Roesler, J. R. and J. G. Huntley. Perfomance of I-57 Recycled Concrete Pavements. Urbana, 2009.
- Suh YoungChan, 1993, Early-Age Behavior of CRC Pavement and Calibration of the Failure PredictionModel in CRCP-7, University of Texas At Austin.