

# 국내 줄눈 콘크리트 포장의 줄눈 간격 연구

## A Study on the Joint Spacing of Jointed Plain Concrete Pavement in Korea

손석철\* · 임진선\*\* · 남영국\*\*\* · 정진훈\*\*\*\*

Son, Suk Chul · Lim, Jin Sun · Nam, Young Kug · Jeong, Jin Hoon

### 1. 서론

국내 고속국도의 대부분은 줄눈 콘크리트 포장(Jointed Plain Concrete Pavement, JPCP)으로 시공되고 있으며, 줄눈 콘크리트 포장의 수명에는 보조기층의 종류, 포장의 두께, 기후조건에 의한 포장의 온도 및 습도의 변화 등 다양한 인자들이 영향을 미친다. 하지만 국내 줄눈 콘크리트 포장은 국내 지역 및 보조기층의 종류를 고려하지 않고 획일적으로 슬래브 두께 30cm와 슬래브 길이 6m를 적용하고 있다. 기존 문헌에 따르면 국내의 줄눈 간격은 양성철 등(1998)은 콘크리트의 가로방향길이가 5.1m에서 6.1m로 증가함에 따라 응력확대계수 및 균열개구선단변위는 증가하였으나 7.1m의 슬래브는 다시 감소하는 결과를 가져왔다고 보고하였다. 미국의 경우, Smith 등(1990)은 줄눈 간격이 5.5m를 초과할 경우, 콘크리트 횡방향의 무작위 균열이 발생한다고 보고하였다. Nussbaum 등(1978)은 다웰바를 설치할 경우 콘크리트 슬래브의 최대 줄눈 간격은 6.1m이고 다웰바를 설치하지 않을 경우 콘크리트 슬래브의 최대 줄눈 간격은 4.6m라고 보고하였다. 93 AASHTO guide에서 줄눈 간격은 콘크리트 슬래브 두께의 24배를 초과하면 안된다고 보고하였다. 하지만 기존의 문헌은 보조기층의 종류와 기후조건에 의한 포장의 온도 및 습도의 변화 등은 경험적 방법에 따라 줄눈 간격을 결정하고 있는 실정이다.

본 연구에서는 역학적으로 줄눈 간격을 결정하기 위해, 국내 콘크리트 슬래브와 보조기층 별 마찰 강성, 교통하중 및 환경하중을 고려하였고, 유한요소 프로그램을 사용하여 구조해석을 실시하였다. 구조해석 결과 값을 이용하여 회귀 분석을 실시하였고 회귀 분석 결과를 이용하여 국내 지역별 환경에 따른 줄눈 간격을 제시하고자 한다.

### 2. FEM 해석

교통하중 및 환경하중에 의해 발생하는 콘크리트 슬래브 내부의 인장응력을 역학적으로 파악하기 위하여 미국 Maine 대학교의 Bill Davids 교수가 개발한 EverFE 2.24 프로그램을 이용하였다.

#### 2.1 입력변수

##### 2.1.1 재료 물성 및 구속강성

윤원근(1990), 양성철(2004), 86 AASHTO Guide 등 기존의 연구결과를 참고하여 구조해석 프로그램에 사용될 재료의 입력변수를 표 1과 같이 결정하였다.

\* 정회원 · 인하대학교 토목공학과 석사과정 · 032-873-5332(E-mail : ssc3621@naver.com)  
\*\* 정회원 · 인하대학교 토목공학과 박사과정 · 032-873-5332(E-mail : coreplay@hanmail.net)  
\*\*\* 정회원 · (주)한맥기술 연구원장 · 공학박사 · 02-2141-7102(E-mail : yknam@incheon.ac.kr)  
\*\*\*\* 정회원 · 인하대학교 토목공학과 조교수 · 공학박사 · 032-860-7574(E-mail : hjh@inha.ac.kr)

표 1. 구조해석 프로그램에 사용될 재료 물성

	탄성계수(MPa)	포아송비	열팽창계수
슬래브	28000	0.18	$9.41 \times 10^{-6}$
린 콘크리트 보조기층	15000	0.2	-
쇄석 보조기층	200	0.35	-
아스팔트 보조기층	3000	0.4	-
노상	50	0.3	-

### 2.1.2 슬래브-보조기층 별 마찰저항 강성

박문길(2008)은 국내에서 사용되는 슬래브-보조기층 별 마찰저항 실험을 실시하였고, 임진선(2009)는 실험 결과 값을 이용하여 비교 및 분석을 실시하였다. 정진훈(2009)는 비선형의 마찰저항 및 변위를 에너지 방법을 사용하여 선형화를 실시하였고 구조해석결과 선형과 비선형의 차이는 유사한 결과 값이 나타난 것으로 보고되었다. 슬래브-보조기층 별 구속 강성은 다음 표 2와 같다. 그림 1은 표 2를 나타낸 것이며 슬래브-보조기층 별 마찰저항이 최대 마찰 저항에 대한 변위까지는 저항이 발생하며, 최대 마찰 저항에 대한 변위를 초과할 경우에는 슬래브와 보조기층 간 자유 거동을 나타낸다.

표 2. 국내에서 사용되는 슬래브-보조기층 별 구속 강성

보조기층 형태	최대 마찰 저항, $\tau_0$ (kPa)	최대 마찰 저항에 대한 변위, $\epsilon_0$ (mm)	구속 강성, K (kPa/mm)
린 콘크리트 (분리막 설치)	1.802	0.766	2.353
린 콘크리트 (분리막 미설치)	2.903	0.274	10.601
쇄석 (분리막 설치)	1.902	0.040	47.992
쇄석 (분리막 미설치)	9.611	0.602	15.950
아스팔트	19.922	0.522	38.153

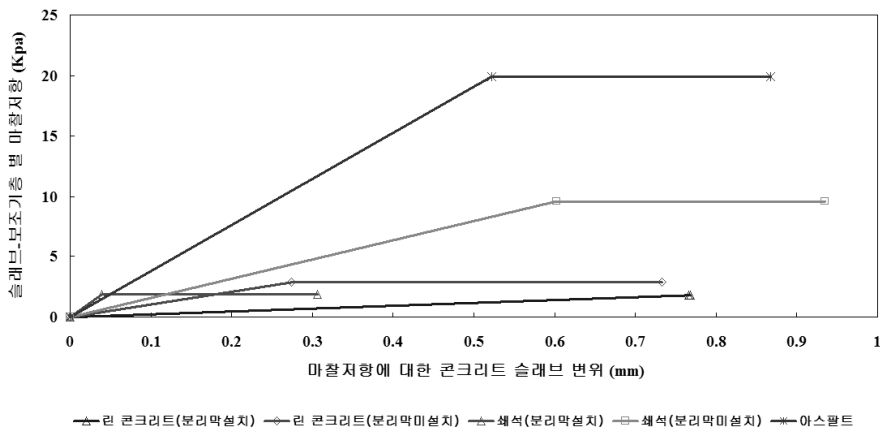


그림 1. 슬래브-보조기층 별 구속강성

## 2.2 구조해석 프로그램에 사용된 슬래브 크기 및 하중 조건

### 2.2.1 교통하중 조건 및 슬래브 크기

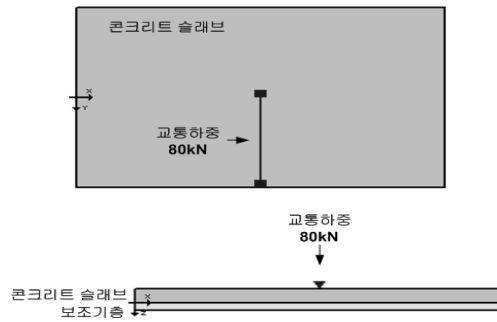
교통하중에 의한 콘크리트 슬래브 내부 인장응력을 파악하기 위하여, 입력변수 중 콘크리트 슬래브의 크기

를 다음 표 3과 같이 적용시켜 다섯 가지의 보조기층 별 구조해석을 실시하였다.

**표 3. 교통하중에 의해 발생하는 콘크리트 슬래브 내부 응력을 파악하기 위한 입력 변수**

콘크리트 슬래브 횡방향 길이 (mm)	콘크리트 슬래브 두께 (mm)
5000	150
6000	200
7000	250
	300

교통하중은 AASHTO 설계에서 포장 설계에 사용되는 등가단축하중 80kN을 사용하였으며, 그림 2와 같이 콘크리트 슬래브의 취약부분인 슬래브 단부에 교통하중을 재하를 하여 구조해석을 실시하였다.



**그림 2. 슬래브에 교통하중을 재하시킨 형상**

**2.2.2 환경하중 조건 및 슬래브 크기**

환경하중에 의한 콘크리트 슬래브 내부응력을 파악하기 위하여, 입력변수 중 콘크리트 슬래브의 두께, 길이 및 온도차이 입력변수를 다음 표 4와 같이 적용하여 다섯 가지의 보조기층 별 구조해석을 실시하였다.

**표 4. 교통하중에 의해 발생하는 콘크리트 슬래브 내부 응력을 파악하기 위한 입력 변수**

슬래브 횡방향 길이 (mm)	슬래브 두께 (mm)	슬래브 상·하부 등가온도 차이 (°C)	
5500	150	10	-10
	200	20	-20
6000	250	30	-30
	300	40	-40

**2.3 해석결과**

**2.3.1 슬래브 크기 및 교통하중에 따른 슬래브 응력 결과**

구조해석 프로그램에 사용된 슬래브 크기 및 교통하중 결과는 다음 그림 3과 같다. 교통하중 80kN을 슬래브 단부에 슬래브 길이와 두께를 다르게 하여 구조해석을 실시한 결과, 슬래브 두께별 분석 결과는 두께가 두꺼울수록 슬래브 내부에 최대 인장응력이 감소하였고, 보조기층 별 분석결과는 보조기층 종류에 따라서 슬래브 내부에 최대 인장응력이 다른 것을 파악할 수 있었다. 반면에, 슬래브 길이 별 분석결과는 길이의 변화에 대해 슬래브 최대 인장응력은 변화가 미비하였다.

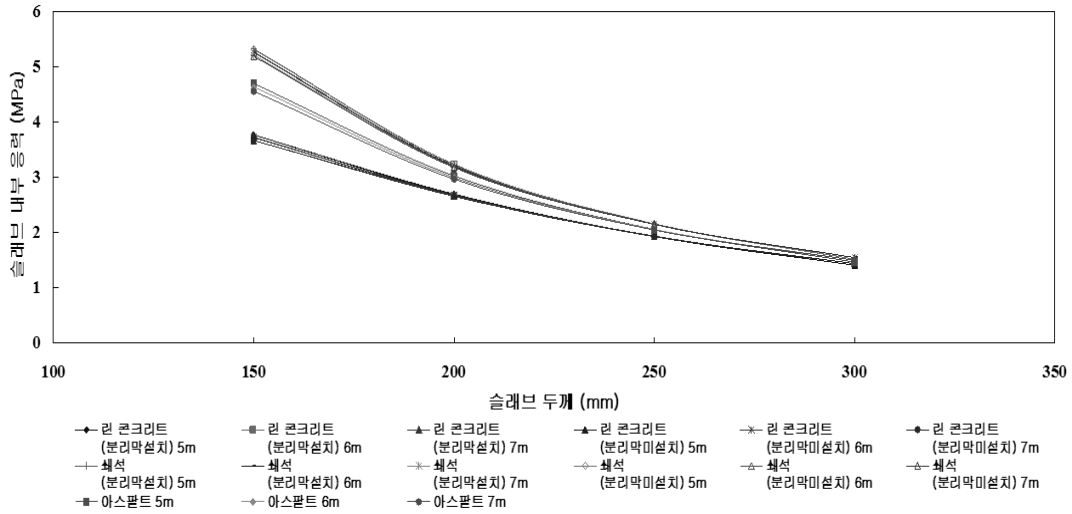


그림 3. 슬래브 크기 및 교통하중에 따른 슬래브 응력

### 2.3.2 슬래브 크기 및 환경하중에 따른 슬래브 응력 결과

슬래브 크기, 보조기층 종류를 고려하여 슬래브 등가온도 차이에 따른 응력은 다음 그림 4와 같다. 슬래브 두께가 두꺼워질수록 슬래브 내부에서 발생하는 응력은 감소하였고, 슬래브 길이가 짧아질수록 슬래브 내부에서 발생하는 응력은 감소하였다. 또한, 슬래브 상하부 등가 온도 차이가 증가할수록 슬래브 내부에서 발생하는 응력은 증가하였다. 슬래브 상하부 등가온도차이가 작을 경우에는 슬래브 중앙에서 최대 응력이 발생하였으나, 슬래브 상하부 등가온도차이가 커질수록 슬래브 단부에서 최대 응력이 발생하였다.

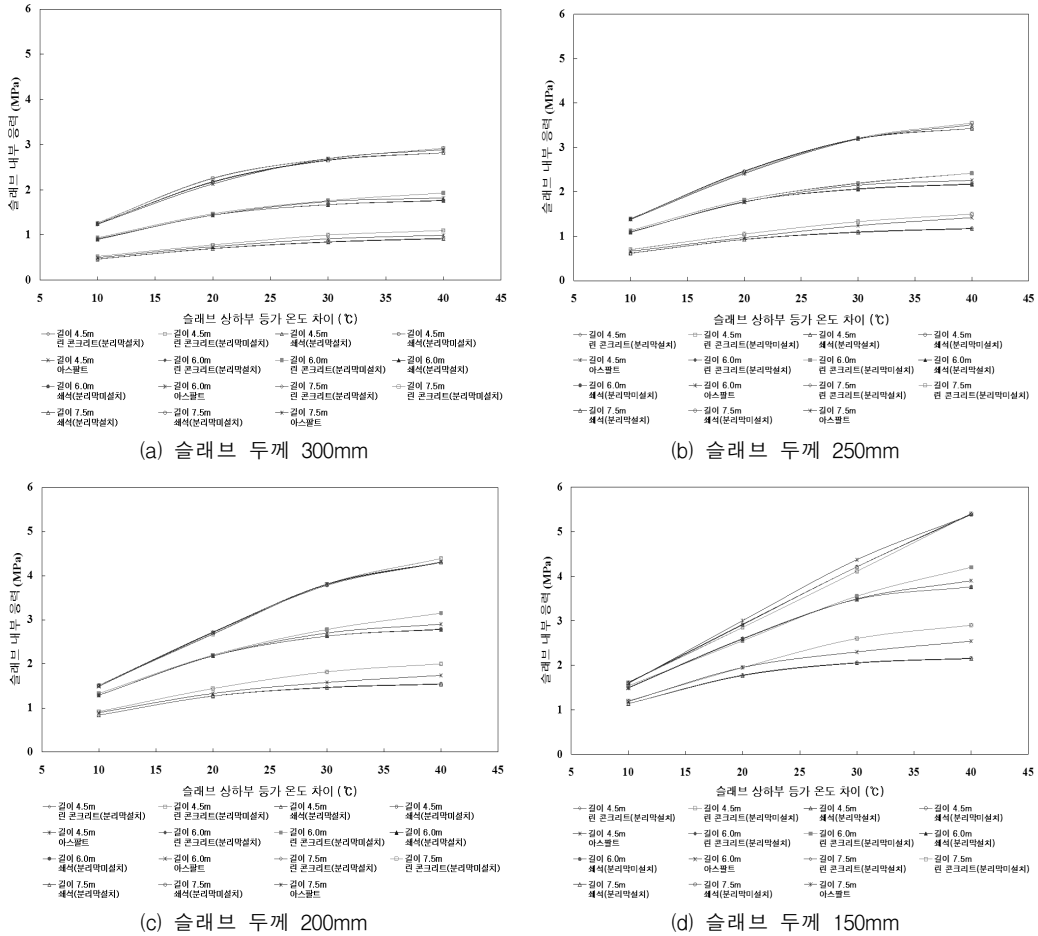


그림 4. 슬래브 두께 및 상하부 등가 온도차이에 따른 슬래브 내부 응력

### 3. 회귀분석을 통한 응력식 개발

본 연구에서 사용된 콘크리트 슬래브 및 보조기층의 가정된 재료 물성과 환경하중인 슬래브 상·하부간 등가온도 차이를 이용하여 다양한 슬래브의 두께 및 길이, 보조기층 종류에 따라 슬래브 내부 최대 응력을 구조해석을 통하여 산출하였다. 줄눈 간격을 역학적으로 산출하기 위해 슬래브 내부 최대응력, 슬래브 상·하부간 등가온도 차이, 슬래브 두께 및 길이를 입력변수로 사용하여, 통계분석 프로그램인 SPSS를 사용하여 식 (1)의 관계를 선형 다중 회귀분석을 실시하였으며, 보조기층별 응력회귀 계수는 표 5와 같다.

$$\log \sigma_{environment} = a + b \times \log(\Delta T) + c \times \log(L) + d \times \log(t) \quad (1)$$

여기서,  $\sigma_{environment}$  : 환경하중에 의한 슬래브 단부에서 발생한 최대 응력(MPa)

$\Delta T$ : 슬래브 상하부 간의 등가온도차이(°C)



$L$  : 줄눈 간격(m)

$t$  : 슬래브의 두께(mm)

표 5. 보조기층 종류에 따른 응력회귀 계수

보조기층 종류	회귀계수				R <sup>2</sup>
	a	b	c	d	
린 콘크리트 (분리막)	0.644746	0.675133	1.276594	-0.95996	0.931
린 콘크리트	-0.780228	0.720546	1.474503	-0.439765	0.936
쇄석 (분리막)	0.300452	0.589179	1.743045	-0.93477	0.953
쇄석	0.299014	0.591806	1.72822	-0.93057	0.954
아스팔트	0.598163	0.635649	1.527768	-1.00873	0.943

#### 4. 역학적 방법에 의한 줄눈 간격 모델 및 결과

##### 4.1 역학적 방법에 의한 줄눈 간격 모델

국내 콘크리트 슬래브의 줄눈 간격을 결정하기 위하여 표 6과 같이 국내 고속국도에서 사용되는 줄눈 콘크리트 포장 형식인 분리막을 설치한 린 콘크리트 보조기층과 줄눈 간격 6m, 폭 3.6m, 두께 0.3m의 콘크리트 슬래브 크기에 발생된 최대 응력을 기준으로 하였다.

표 6. 국내 고속국도에서 사용되는 콘크리트 포장

콘크리트 슬래브 크기	6m × 3.6m × 0.3m
보조기층	분리막을 설치한 린 콘크리트

교통하중은 구조해석 프로그램의 유한요소해석 결과 값을 적용하였다. 환경하중은 기상청 홈페이지를 이용하여 63개 지역의 30년간 최고·최저 일교 차이를 기상청 홈페이지에서 수집하였고, 슬래브 두께에 따른 최대 슬래브 상·하부 등가온도의 차이는 베타버전 한국형 포장 설계법 프로그램의 서브프로그램인 온도예측 프로그램(박희문, 2004)을 이용하여 58개 지역의 최대 슬래브 상·하부 등가온도 차이의 데이터를 획득하였다.

교통하중 및 환경하중에 의해 발생된 최대 콘크리트 슬래브 내부 응력은 식 (2)와 같이 중첩의 원리를 사용하여 계산할 수 있다.

$$\sigma_{allowable} = \sigma_{maxtraffic} + \sigma_{maxenvironment} \quad (2)$$

여기서,  $\sigma_{allowable}$  : 최대 교통하중과 최대 환경하중에 의해 슬래브 단부에서 유발되는 최대응력(MPa)

$\sigma_{maxtraffic}$  : 교통하중에 의해 슬래브 단부에서 유발되는 최대응력(MPa)

$\sigma_{maxenvironment}$  : 환경하중에 의해 슬래브에서 유발되는 최대응력(MPa)

$\sigma_{maxtraffic}$ 은 국내 고속국도에서 사용되는 콘크리트 포장에서 콘크리트 슬래브 단부에 교통하중 80kN을 재하하여 구조해석을 실시한 결과, 슬래브 최대 응력은 1.41MPa이 계산되었다.

$\sigma_{maxenvironment}$ 은 슬래브 상·하부 등가 온도차이가 큰 지역을 찾기 위해 기상청 홈페이지의 최고 및 최저 일교차를 이용하여 한국형 포장설계법 프로그램의 서브프로그램인 온도예측 프로그램(박희문, 2004)을 사용하였다. 그 결과, 슬래브 상·하부 등가 온도차이가 큰 지역은 남원이었다. 남원의 슬래브 상·하부 등가 온도

차이 및 국내 고속국도에서 사용되는 콘크리트 포장을 입력변수로 적용하여 구조해석을 실시한 결과, 슬래브 최대 응력은 2.05MPa이 계산되었다.

$\sigma_{allowable}$ 은  $\sigma_{maxtraffic}$ 와  $\sigma_{maxenvironment}$ 의 합으로 정의할 수 있고, 남원지역의 콘크리트 포장에서 콘크리트 슬래브 내부 최대인장응력은 3.46MPa으로 계산되었다. 여기서, 남원지역의 콘크리트 포장은 공용성에 문제가 없다고 가정한다.

계산된  $\sigma_{allowable}$ 은 교통하중에 유발된 슬래브 내부 응력  $\sigma_{traffic}$ 을 가감하여  $\sigma_{environment}$ 을 식 (3)과 같이 계산한다.

$$\sigma_{allowable} - \sigma_{traffic} = \sigma_{environment} \tag{3}$$

계산된  $\sigma_{environment}$ 을 식(1)의  $\sigma_{environment}$ 에 대입하여 지역별 줄눈 간격을 산출한다. 이를 정리하면 다음 그림 5와 같다.

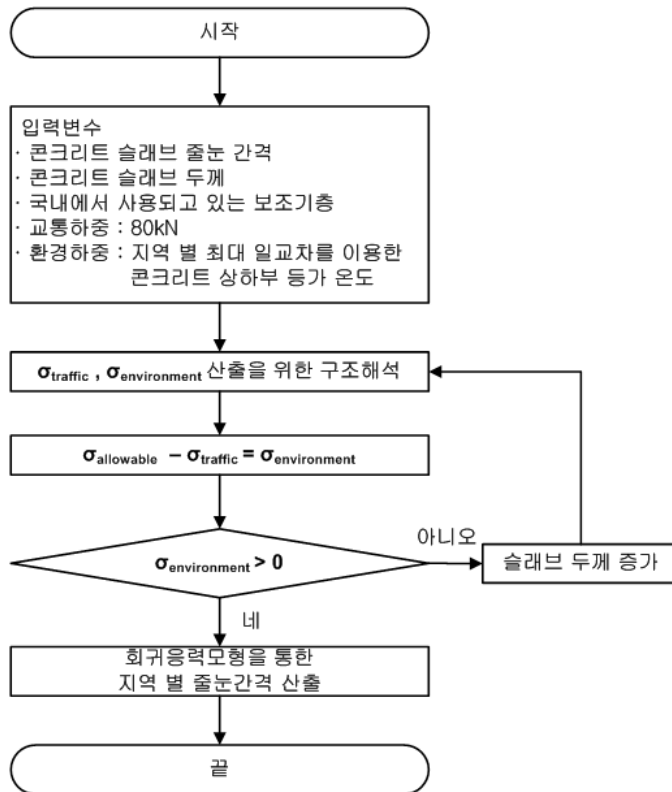


그림 5. 역학적 방법에 의한 줄눈 간격 모델 흐름도

#### 4.2 역학적 방법에 의한 줄눈 간격 결과

콘크리트 슬래브 두께가 150mm인 경우에는 가정한 콘크리트 슬래브 내부 최대 응력이 교통하중 80kN에 의한 슬래브 내부 인장응력에 의해 초과되어 배제하였다. 또한, 콘크리트 슬래브 두께 200mm인 경우에는 보조기층 종류에 따라 1.5~2.5m의 콘크리트 슬래브의 줄눈 간격이 계산되었지만, 현실적으로는 불가능하다고

판단되어 배제하였다.

콘크리트 슬래브 두께 250mm와 300mm에 따른 줄눈 간격은 다음 표 7과 같이 나타낼 수 있다. 콘크리트 슬래브 두께가 250mm인 경우 국내의 콘크리트 슬래브 줄눈 간격은 4.0m~5.2m로 계산되었으며, 콘크리트 슬래브 두께가 300mm인 경우 국내의 콘크리트 슬래브 줄눈 간격은 6.0~7.4m로 계산되었다. 지역별로 살펴본 결과, 국내 고속국도 콘크리트 포장의 크기를 사용할 경우 서울과 부산은 7.4m의 줄눈 간격이 계산되었으며, 강릉, 대전, 대구는 6.5~6.8m의 줄눈 간격이 계산되었다. 보조기층별 분석 결과, 분리막을 설치하지 않은 린콘크리트 보조기층을 제외한 나머지의 보조기층에서는 콘크리트 슬래브의 줄눈 간격이 유사하다. 분리막을 설치한 린 콘크리트 보조기층의 콘크리트 슬래브 줄눈 간격과 분리막을 설치하지 않은 린 콘크리트 보조기층의 콘크리트 슬래브 줄눈 간격을 비교해 보면, 분리막을 설치한 린 콘크리트 보조기층의 콘크리트 슬래브 줄눈 간격은 분리막을 설치하지 않은 린 콘크리트 보조기층의 콘크리트 슬래브 줄눈 간격보다 1~1.1m가 더 줄눈 간격이 길게 산출되었다.

표 7. 지역 별, 콘크리트슬래브 두께 별 줄눈 간격 산정 결과

보조기층 콘크리트 슬래브 두께 (mm)	린 콘크리트 (분리막 설치)		린 콘크리트 (분리막미설치)		쇄석 (분리막 설치)		쇄석 (분리막미설치)		아스팔트	
	300	250	300	250	300	250	300	250	300	250
지역										
강릉	6.8	4.8	5.8	4.6	6.7	4.9	6.7	4.9	6.7	4.9
서울	7.4	5.0	6.3	4.8	7.0	5.0	7.0	5.0	7.2	5.1
대전	6.5	4.6	5.6	4.5	6.5	4.8	6.5	4.8	6.5	4.8
대구	6.6	4.7	5.7	4.6	6.6	4.9	6.6	4.9	6.6	4.8
부산	7.4	5.0	6.3	4.8	7.1	5.0	7.1	5.0	7.2	5.1

## 5. 결론 및 향후 연구

### 5.1 결론

본 연구에서 제안한 역학적 방법에 의한 줄눈 간격 모델을 검토하면 다음과 같다.

- (1) 교통하중 80kN을 슬래브 단부에 다양한 슬래브 길이와 두께를 입력하여 구조해석을 실시한 결과, 슬래브 두께별 분석 결과는 두께가 두꺼울수록 슬래브 내부에 최대 인장응력이 감소하였다. 보조기층 별 분석 결과는 보조기층 종류에 따라서 슬래브 내부에 최대 인장응력이 다른 것을 파악할 수 있었다. 반면에, 슬래브 길이 별 분석결과는 길이의 변화에 대해 슬래브 최대 인장응력은 변화가 미비하였다.
- (2) 슬래브 상하부 등가온도차이를 입력하여 구조해석을 실시한 결과, 슬래브 두께가 두꺼워질수록 슬래브 내부에서 발생하는 응력은 감소하였고, 슬래브 길이가 짧아질수록 슬래브 내부에서 발생하는 응력은 감소하였다. 슬래브 상하부 등가 온도 차이가 증가할수록 슬래브 내부에서 발생하는 응력은 증가하였다. 슬래브 상하부 등가온도차이가 작을 경우에는 슬래브 중앙에서 최대 응력이 발생하였으나, 슬래브 상하부 등가온도차이가 커질수록 슬래브 단부에서 최대 응력이 발생하였다. 또한, 환경하중의 구조해석 결과를 이용하여 다중 회귀 분석을 실시하여 식을 개발하였고, 회귀 계수를 도출하였다.
- (3) 콘크리트 슬래브 두께가 250mm인 경우 국내의 콘크리트 슬래브 줄눈 간격은 4.0m~5.2m로 계산되었으며, 콘크리트 슬래브 두께가 300mm인 경우 국내의 콘크리트 슬래브 줄눈 간격은 6.0~7.4m로 계산되었다.
- (4) 보조기층별 분석 결과, 분리막을 설치하지 않은 린 콘크리트 보조기층을 제외한 나머지의 보조기층에서는 두께에 따른 줄눈 간격이 유사하다.





- (5) 분리막을 설치한 린 콘크리트 보조기층의 콘크리트 슬래브 줄눈 간격과 분리막을 설치하지 않은 린 콘크리트 보조기층의 콘크리트 슬래브 줄눈 간격을 비교해 보면, 분리막을 설치한 린 콘크리트 보조기층의 콘크리트 슬래브 줄눈 간격은 분리막을 설치하지 않은 린 콘크리트 보조기층의 콘크리트 슬래브 줄눈 간격보다 1~1.1m가 더 줄눈 간격이 더 길게 계산되었다.

### 5.2 향후연구

다웰바 설치에 따른 줄눈 간격 및 줄눈부 골재 맞물림을 적용한 연구를 통해 정립할 필요가 있으며, 본 연구에서 제안한 역학적 방법에 의한 줄눈 간격 모델에서 설계수준 및 도로등급을 적용하여 줄눈 간격을 제한할 예정이다.

### 감사의 글

본 연구는 국토해양부 건설 핵심기술 연구개발 사업의 구조적 성능을 고려한 시멘트 콘크리트포장의 기능개선 시공화 연구과제(06건설핵심C20) 3차년도 연구비에 의해 수행되었습니다.

### 참고 문헌

1. 기상청 홈페이지(<http://www.kma.go.kr/>)
2. 박문길 (2009). “콘크리트 포장의 슬래브-기층 종류별 마찰력 연구.” 공학석사 학위논문. 인하대학교.
3. 안덕순, 박희문 (2004). “현장 계측자료를 이용한 포장체 온도예측모델 개발 연구.” 한국도로학회 학술대회 논문집, 제 6권, pp.17-20.
4. 양성철, 홍승호 (1998) “파괴역학을 이용한 콘크리트 포장체의 해석” 연구보고서, 한국도로공사 도로연구소
5. 양성철 (2004) “한국형 포장설계법 개발과 포장성능 개선방안 연구 - 설계입력변수 정량화” 연구보고서, 건설교통부
6. 윤원근, 정수형 (1989) “준조강 시멘트 시험연구” 연구보고서, 한국도로공사 도로연구소
7. 임진선, 박문길, 남영국, 정진훈 (2009) “콘크리트 슬래브와 보조기층 사이의 마찰특성 조사”, 대한토목학회, 제 29권 제 6 D호, pp. 719~726.
8. American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) (1986) “*Guide for Design of Pavement Structures*”, Washington, DC: American Association of State Highway and Transportation Officials.
9. American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) (1993) “*Guide for Design of Pavement Structures*”, Washington, DC: American Association of State Highway and Transportation Officials.
10. EverFE Home Page (<http://www.civil.umaine.edu/everfe/>)
11. Nussbaum, P.J., and E.C. Lokken (1978) “*Portland Cement Concrete Pavement, Performance related to Design-Construction-Maintenance*”, Report No. FHWA-TS-78-202, Prepared by PCA for Federal Highway Administration.
12. Smith, K.D., Peshkin, D.G., Darter, M.I., Mueller, A.L., and Carpenter, S.H. (1990) “*Performance of Jointed Concrete Pavements, Vol. 1, Evaluation of Concrete Pavement Performance and Design Features*”, Report No. FHWA-RD-89-136, Washington, DC: Federal Highway Administration, United State Department of Transportation.