



# 줄눈콘크리트 포장의 줄눈간격에 따른 초기거동 연구

## Effect of Joint Spacing on Early-Age Behavior of Jointed Concrete Pavement

윤창호\*      이재훈\*\*      김형배\*\*\*      이승우\*\*\*\*  
 Yoon, Chang Ho      Lee, Jae Hoon      Kim, Hyung Bae      Lee, Seung Woo

### Abstract

Joint Spacing of Jointed Concrete Pavement has been uniformly designed and constructed as six-meter in Korea. However, engineering backgrounds to show the appropriateness of six-meter Joint Spacing has not been provided. In the on-going research of the development of Korea Pavement Research Program(KPRP), the optimum Joint Spacing is suggested as 6 to 8 meters according to the regional climatic conditions based on the mechanical-empirical analysis of short-term and long-term pavement distress. This study is a part of the investigation on the adequateness of Joint Spacing design specification suggested in KPRP. Joint Spacing was design and constructed as seven-meter Joint Spacing suggested as design specification in Korea Research Program(KPRP) and monitored the Load Transfer Efficiency(LTE), Random crack and compared with those of adjacent 6~7 meter Joint Spacing concrete section.

**Keywords :** *jointed concrete pavement, joint spacing, load transfer efficiency(LTE), random crack, korea pavement research program(KPRP)*

### 요 지

국내 줄눈콘크리트 포장의 줄눈간격은 6m로 획일적으로 설계·건설되어 왔으며 이에 대한 과학적 근거는 제시된 바 없었다. 현재 진행중인 한국형 포장설계법 개발에서는 국내 지역별 기후조건 등을 고려하여 줄눈간격 변화에 따른 줄눈콘크리트 포장의 장·단기 파손을 역학적·경험적 방법을 토대로 분석하여 줄눈간격을 지역별로 6~8m로 설계할 것을 제시한 바 있다. 본 연구는 한국형 포장설계법에서 제시한 줄눈간격 잠정안에 대한 타당성을 검증하기 위한 연구의 일환이다. 줄눈간격이 증가할 경우 시공초기에 하중전달률의 변화, 무작위균열 등의 발생가능성에 문제점이 없는지를 검증하기 위해서 한국형 포장설계법의 줄눈간격 잠정안에서 줄눈간격이 7m로 제시된 지역에 대해서 7m 줄눈간격으로 시험시공하고 초기거동을 모니터링 하였다. 하중전달률, 무작위균열, 줄눈폭변화 등 모니터링 결과를 시공조건이 동일한 인접 6m 줄눈간격 비교구간의 초기거동과 비교분석하였다.

**핵심용어 :** 줄눈콘크리트 포장, 줄눈간격, 하중전달률, 무작위균열, 한국형 포장설계법

\* 정회원 · 강릉대학교 토목공학과 석사과정  
 \*\* 정회원 · 한국도로공사 도로교통기술원 연구원·공학석사  
 \*\*\* 정회원 · 한국도로공사 도로교통기술원 책임연구원·공학박사  
 \*\*\*\* 정회원 · 강릉대학교 토목공학과 조교수·공학박사

# 1. 서론

국내에서 주로 시공하는 콘크리트 포장의 형태는 줄눈콘크리트 포장(Jointed Concrete Pavement)이며 여기에는 수축줄눈, 팽창줄눈, 시공줄눈 등 다양한 형태의 줄눈이 시공된다. 이 중 가로수축줄눈은 시공초기에 발생하는 콘크리트 슬래브 내부의 인장 응력을 적절히 조절하며, 온도와 습도 변화에 의해 발생하는 무작위균열(random crack), 과도한 컬링(curling)을 억제하기 위해 인위적으로 설치하는 것이다. 가로수축줄눈이 과도하게 벌어질 경우 다웰바가 하중전달을 제대로 발휘하지 못하게 되어 그림1과 같이 인접한 슬래브의 높이 차이가 생기는 단차가 발생할 수 있다. 줄눈부의 골재 맞물림 작용에 의해 하중전달이 되기도 하지만 이 또한 줄눈폭 벌어짐이 과도하게 발생할 경우 제 역할을 할 수 없게 된다 (Rasmussen, 2003).

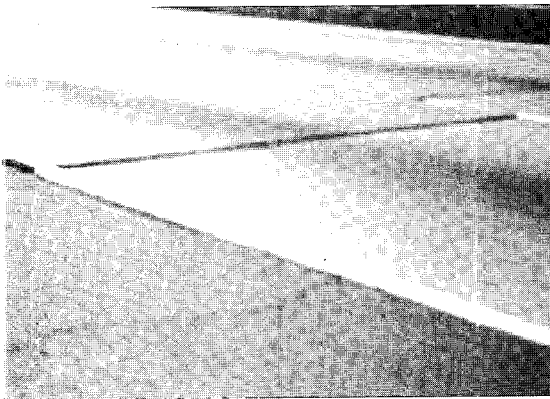


그림 1. 하중전달 저하로 발생한 단차(faulting)

현재 국내의 경우 콘크리트 포장의 가로수축줄눈 간격은 획일적으로 6m를 적용하고 있으며, 국외의 경우는 4~9m로 다양하나 대부분 6m 이내에서 설치할 것을 권장하고 있다. 건설교통부에서 발주하여 국책과제로 진행 중인 『한국형 포장설계법 개발과 포장성능 개선방안 연구』중 「불연속면 정량화 연구」에서는 국내 지역적 환경영향을 고려하여 HIPPERPAV에 적용시켜 초기거동시의 무작위균열

(random crack) 발생가능성, 줄눈폭 변화에 따른 하중전달률 확보 및 줄눈간격 변화에 따른 장기적인 피로균열 및 단차(faulting) 발생 등을 분석하였다. 그 결과 제시된 25개의 권역별 줄눈간격 잠정안(이승우 외, 2005)에서는 표 1과 같이 6~8m의 줄눈 적정간격을 제시하였다.

표 1. 권역별 줄눈간격 잠정안

권역	지역	줄눈간격(m)	권역	지역	줄눈간격(m)		
강원	남부	영월	전남	중부	광주	7	
		원주		순천			
	북부	인제		서부	목포	8	
		철원			진도		
	동해안	동해		동부	완도	7	
		강릉			고흥		
		속초			여수		
	산간	대관령		전북	중부	전주	6
		태백			임실		
	중부	춘천			서해안	군산	7
홍천							
경기	남부	이천	경북	북부	안동	7	
		수원		대구			
	중부	서울		영덕	7		
	북부	동두천		영주			
		문산		상주			
서해안	인천	구미	영천				
충남	남부	금산	경남	서부	합천	7	
		부여		거창			
	중부	대전		남부	마산	7	
		천안			부산		
서해안	보령	진주					
	서산	통영					
충북	중부	청주	제주	남부	제주	8	
		보은		북부	서귀포		
		추풍령					
	북부	제천		충주			

본 연구에서는 한국형 포장설계법의 잠정안에 따라 7m로 제시된 지역에 대해 7m 줄눈간격으로 시



험시공하고 시공초기 하중전달률, 무작위균열 (random crack) 발생에 대하여 모니터링하고 6m 줄눈간격구간과 비교·분석하였다.

건은 타설초기의 대기온도가 20℃이었으며, 습도는 60%정도로 동일하였다. 그림 3부터 그림 5는 현장 시공 모습이다.

## 2. 줄눈간격에 따른 초기거동의 비교를 위한 전략

시험시공의 초기거동 분석은 『시험시공⇒추적조사 ⇒효과분석』의 절차에 따라 진행했으며 동일조건에서 비교하기 위하여 동일 section상에서 같은 시간대에 걸쳐서 6m, 7m 줄눈간격구간을 시공하였다. 단 기추적조사로 6m, 7m 줄눈간격구간에 대하여 무작위균열(random)발생 유무확인, 하중전달률측정, 줄눈폭 변화를 시공후 72시간 및 2개월 후, 4개월 후 3차에 걸쳐 모니터링하여 줄눈간격변화에 따른 콘크리트 포장의 초기거동을 비교·분석하였다.

## 3. 현장 시험시공

### 3.1 시험시공 개요

한국형 포장설계법 개발의 권역별 줄눈간격 잠정안(표 1)을 따라 줄눈콘크리트 포장의 7m 줄눈간격 시험시공이 수행된 구간은 『고창-담양간 고속도로』의 「장성~담양 구간」이다. 7m 줄눈간격 시험시공의 총 연장은 792m로 각각 대전방향과 순천방향에 시공되었으며 줄눈간격을 6m에서 7m로 증가함에 따라 가로수축 줄눈은 14%가 감소하였다. 시험시공 구간에 대한 개요는 그림 2와 같다.

시험시공 구간 중 효과분석을 위한 추적조사가 집중적으로 이루어진 7m 줄눈간격구간은 순천방향 B 구간(396m)이며, 효과비교를 위하여 A 구간(203m)에 6m 줄눈간격을 두어 비교조사가 이루어졌다. A, B 구간에서 진행된 현장 시공내용을 정리하면 표 2과 같으며 양일에 걸친 시험시공의 기후조

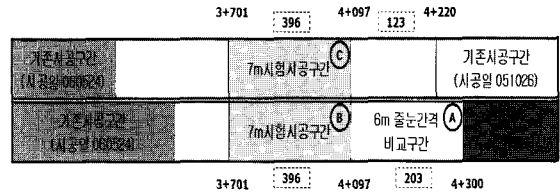


그림 2. 시험시공 구간 개요

표 2. 시험시공 구간 시공내용

일 자	작 업 내 용	비 고
2006년 10월 1일	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 08:00 : 순천방향 A 구간부터 B 구간 일부까지 451m 시공</li> <li>· A, B 구간 슬래브에 i-Button 4개소 매설(각각 2개씩)</li> <li>· 19:00 : 오전 시공구간 줄눈 컷팅 (198m까지)</li> </ul>	양일의 기후조건은 동일 (20℃, 60%)
2006년 10월 2일	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 08:00 : 순천방향 B 구간 나머지 구간 시공</li> <li>· 12:00 : 추적조사 대상구간 줄눈부에 Demec 포인트 설치</li> <li>· 12:30 : 10월 1일 오후 타설구간 줄눈 컷팅</li> </ul>	

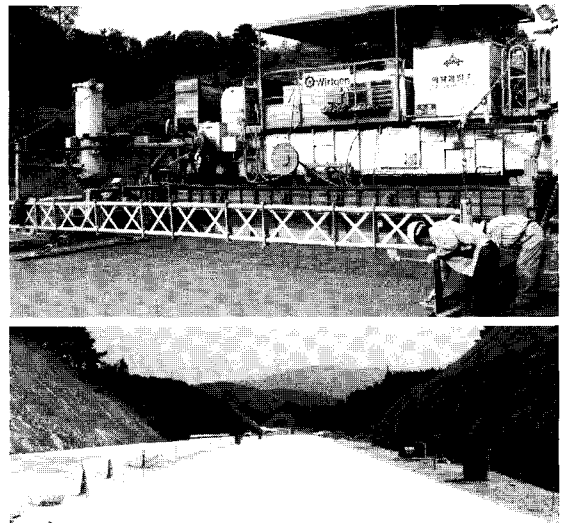


그림 3. 시험시공구간 콘크리트 슬래브 시공

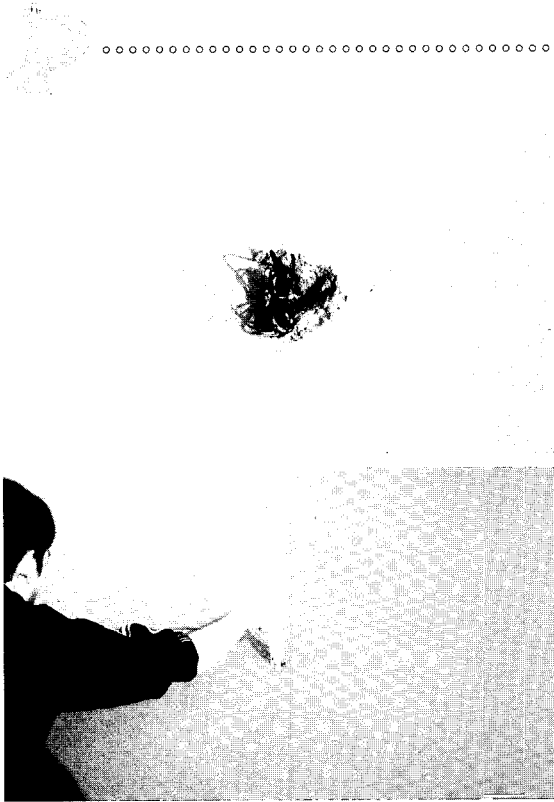


그림 4. 시험시공공간 i-Button 매설

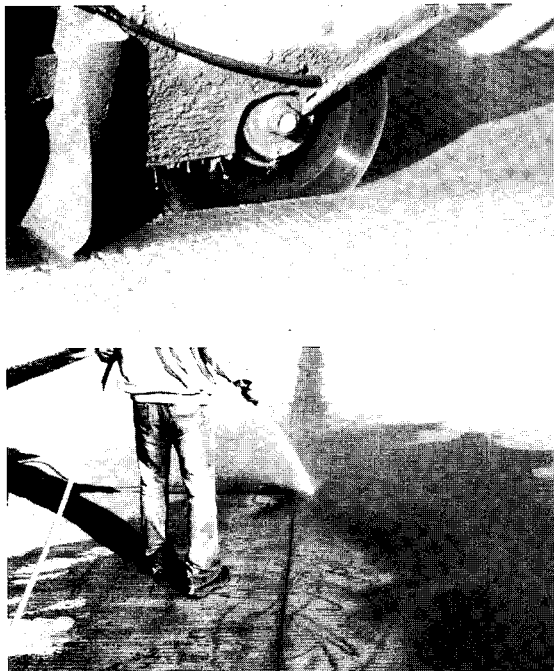
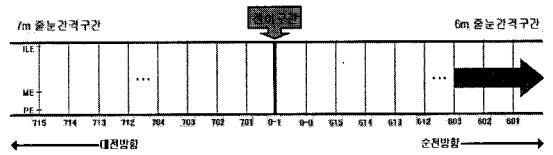


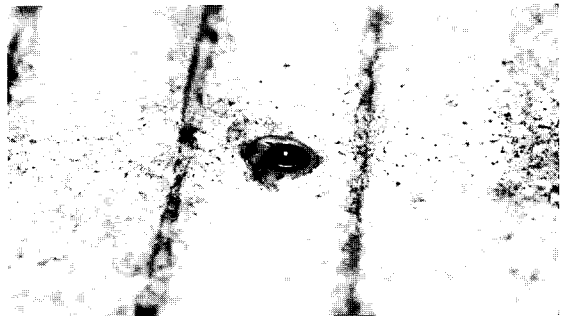
그림 5. 시험시공공간 줄눈절삭 작업

### 3.2 Demec point의 위치 및 설치

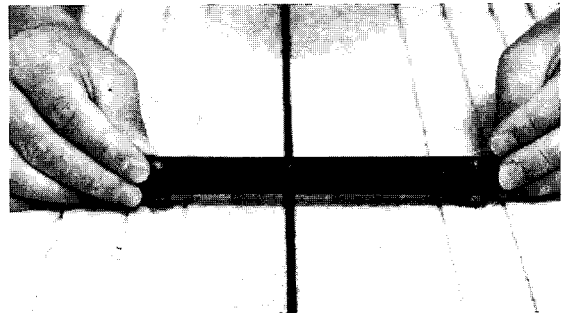
줄눈움직임을 측정하기 위해 줄눈에 균열이 유도되기 전 콘크리트 포장 슬래브에 Demec point를 설치하였다. Demec point의 위치 및 설치방법은 그림 6 및 그림 7과 같다. 시험시공 구간 중 그림 2의 A, B 구간 사이에 6, 7m 구간에 각각 15개의 가로수축 줄눈을 선정하였고 Demec point의 설치는 가로수축 줄눈 하나당 3개씩(PE, ME, ILE) 설치하여 6m, 7m 줄눈간격 비교구간에 각각 45개 지점을 조사하였다.



PE:슬래브 길어깨 부, ME:슬래브 중앙부, ILE:슬래브 중앙분리대 부  
그림 6. 6m, 7m 줄눈간격 비교구간의 Demec point 측정위치



a. 천공 후 에폭시주입 및 point 안치



b. Demec point 영점세팅

그림 7. Demec point 설치



## 4. 추적조사

### 4.1 추적조사 개요

시험시공구간에 대한 추적조사는 3차례에 걸쳐 진행되었다. 각 추적조사별 수행시기 및 조사항목은 다음 표 3과 같다.

표 3. 추적조사 수행

	1차 추적조사	2차 추적조사	3차 추적조사
일시	2006년 10월 2~3일 (시공 72시간 후)	2006년 11월 7~30일	2007년 4월 11~12일
조사항목	· 초기균열유도 조사 · 줄눈움직임 조사 · 슬래브양생 초기 온도 조사	· FWD 충격하중재하시험을 통한 하중전달률(LTE) 조사	· 파손상태조사

### 4.2 줄눈균열유도 조사 및 줄눈거동 조사

줄눈균열유도 조사는 길어깨 측의 슬래브 단부(PE)와 중앙분리대 측의 슬래브 단부(ILE)에서 육안으로 균열발생 여부를 확인하는 방법으로 수행하였다.

첫 조사는 2006년 10월 2일 오전 8시 30분에 시

표 4. 줄눈 유도균열 조사 일정

일시	시간	내용
2006년 10월 1일	08:20	슬래브 포설 시작
	13:30	줄눈번호 601 슬래브 시공
	15:30	줄눈번호 701 슬래브 시공
	17:10	줄눈번호 715 슬래브 시공
	19:00	줄눈 컷팅 시작
2006년 10월 2일	12:30	나머지 구간 줄눈 컷팅
	09:00	1차 조사
	12:30	2차 조사
2006년 10월 3일	07:40	3차 조사
	17:25	4차 조사
	19:30	5차 조사

작되었으며, 10월 3일 오후 7시 30분에 마지막으로 조사되었다. 앞의 표 4는 줄눈균열유도 조사가 이루어진 시간을 나타낸 것이며, 그림 8은 시험시공현장의 줄눈균열유도가 조사된 사진이다.

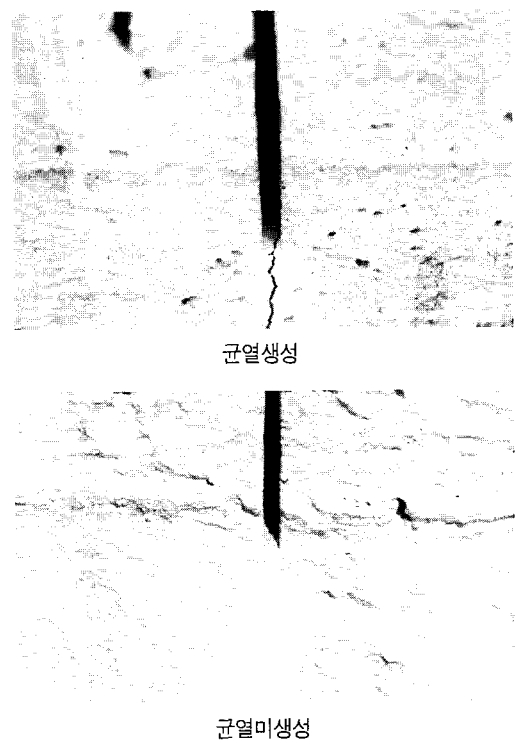


그림 8. 줄눈균열유도 조사

줄눈거동 조사는 Demec point를 이용하여 표 5와 같이 총 3차례에 걸쳐 12회 측정하였다. 줄눈거동 측정 시에는 슬래브의 온도를 함께 측정하여 슬래브 상부온도와 줄눈 거동에 대한 상관관계를 분석하였으며, 미리 매설해놓은 i-button을 통해 타설 후 초기 양생온도 데이터를 얻었다.

표 5. 줄눈거동 조사 일자

구분	일시	측정회수	비고
1차 조사	2006년 10월 3일	3회	줄눈컷팅 후
2차 조사	2006년 10월 12~13일	3회	.
3차 조사	2006년 11월 28~30일	6회	.





$$\text{하중전달률 (LTE)\%} = \frac{2W_u}{W_u + W_l} \times 100\% \quad (1)$$

여기서,

LTE = 하중전달률(Load Transfer Efficiency, %)

$W_u$  = 하중이 재하되지 않은 지점의 처짐량

$W_l$  = 하중이 재하된 지점의 처짐량

하중전달률은 하중전달효율의 저하가 가장 빠르게 진행될 것으로 예상되는 차량의 외측바퀴의 진행로 (wheel path) 상의 줄눈부에서 측정하였다.

#### 4.4 포장파손조사

포장파손조사는 콘크리트 포장 슬래브에 발생할 수 있는 파손을 육안으로 관측하여 기록하는 방식으로 진행되었다. 현장조사는 콘크리트 포장이 시공된 지 72시간 후, 2개월 후 그리고 교통개방이 이루어진 지 120여일이 지난 2007년 4월 11~12일 3차례에 걸쳐 수행되었다.

1차 조사는 줄눈균열유도와 무작위균열 유·무 확인, 2차 조사는 무작위균열 유·무 확인, 3차 조사는 포장 파손조사를 수행하였다. 3차 조사에서 실시한 포장파손조사의 경우 교통이 원활하게 이루어져 교통통제가 불가능하므로 현장육안조사의 파손항목 중 '줄눈손상'의 스폐링 파손에 대해서 집중적으로 조사하였다.

### 5. 분석결과

#### 5.1 시공조건 분석

시공 후 두 비교구간의 초기 온도변화 차이는 i-button 데이터를 통하여 비교할 수 있었다. 그림 11은 6m 줄눈간격구간과 7m 줄눈간격구간의 슬래브 시공 후 72시간 동안의 온도변화값을 보여준다. 그림 11에서 확인할 수 있듯이 2시간의 편차로 시공된 두 비교 구간의 슬래브 내부 온도변화는 거의 동일한

패턴으로 진행됨을 알 수 있었다. 따라서, 시험시공 구간에서는 가로수축줄눈의 줄눈간격을 제외하고는 모든 외적요인이 거의 동일하게 적용되었다고 판단된다(정진훈 외, 2005).

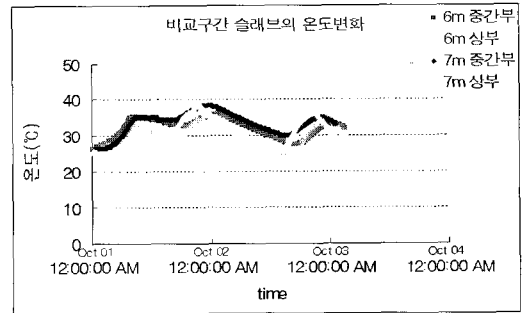


그림 11. 두 비교구간 슬래브의 온도변화

#### 5.2 줄눈균열유도 및 슬래브 내 무작위 균열발생 조사

시험시공구간에서 6m, 7m 줄눈간격구간에 대한 각각 15개 줄눈을 선정하여 시공 후 72시간 동안 줄

표 8. 줄눈균열발생률

줄눈 번호	줄눈균열 발생여부 (6m 구간)		줄눈 번호	줄눈균열 발생여부 (7m 구간)	
	PE	ILE		PE	ILE
601	×	×	701	○	○
602	○	○	702	×	×
603	×	×	703	○	○
604	○	○	704	×	×
605	○	○	705	○	○
606	×	×	706	○	○
607	○	○	707	×	×
608	○	○	708	○	○
609	○	○	709	○	○
610	○	○	710	○	○
611	○	○	711	×	×
612	×	×	712	○	○
613	×	×	713	×	×
614	○	○	714	○	○
615	×	×	715	○	○
60.0% (9/15)			66.7% (10/15)		

\* PE : 슬래브 길어깨 부에서 관찰한 결과,

\*\* ILE : 슬래브 중앙분리대 부에서 관찰한 결과

눈균열발생을 조사한 결과는 다음 표 8과 같다. 6m 줄눈간격구간에서는 총 조사대상 15개 줄눈 중에서 9개의 줄눈에서 균열이 유도되어 줄눈균열발생률이 60.0%가 나타났으며, 7m 줄눈간격구간에서는 총 15개 줄눈 중에서 10개의 줄눈균열이 유도되어 줄눈 균열발생률이 66.7%로 나와 6m 구간과 유사한 줄눈균열발생률을 보이는 것으로 나타났다. 또한 6m, 7m 줄눈간격 비교구간에서 무작위균열(random crack)이 모두 발생하지 않았다.

### 5.3 줄눈거동 측정결과

줄눈잠김현상은 6m, 7m 줄눈간격 두 구간에서 비슷한 것으로 나타났으나, 측정결과를 줄눈폭 변화량을 기준으로 분석해보면 두 비교구간 사이에 다소 차이가 있음을 알 수 있다. 다음 그림 12는 줄눈폭 변화량을 계급으로 두어 두 비교구간의 데이터를 나열한 것이다. 그림 12에서 6m 줄눈간격구간에서는 균열이 유도된 9개의 줄눈 중 2개의 줄눈이 4mm이상의 줄눈폭 변화 거동을 보이며, 7m 줄눈간격구간

에서는 균열이 유도된 10개의 줄눈 중 3개의 줄눈이 4mm 이상의 줄눈폭 변화를 보이는 것으로 나타났다. 다소 7m 줄눈간격구간에서의 줄눈폭 변화량이 큼을 알 수 있으나 6m, 7m 비교구간의 줄눈폭 움직임은 큰 차이가 없음을 그림 12를 통해 알 수 있다.

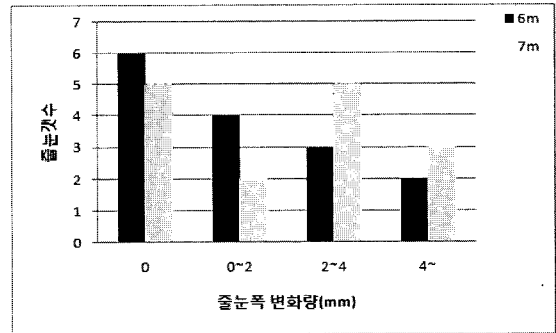


그림 12. 줄눈간격구간에 따른 줄눈폭 변화량 비교

### 5.4 하중전달률

표 9와 표 10은 추적조사를 통해 얻은 6m 줄눈간격구간과 7m 줄눈간격구간의 24시간 하중전달률

표 9. 6m 줄눈간격구간의 시간대별 하중전달률 변화량

구분	줄눈번호										비고
	607	608	609	610	611	612	613	614	615	0-0	
FT4	61.18	78.01	63.35	89.79	73.04	93.51	90.11	69.12	89.07	78.57	
FT5	57.38	77.78	60.21	88.38	72.78	90.94	91.65	67.92	90.98	76.58	
FT6	58.82	73.37	61.50	89.00	73.58	91.49	91.38	68.23	89.76	76.14	
FT7	82.95	82.04	53.15	85.44	81.54	94.72	92.34	79.60	93.61	86.25	
FT8	81.31	79.71	50.82	83.88	81.42	93.53	91.81	80.03	94.59	86.05	
FT9	74.99	76.75	50.98	83.47	81.16	94.86	92.01	80.50	93.82	84.86	
평균	69.44	77.94	56.67	86.66	77.25	93.17	91.55	74.23	91.97	81.41	82.62

표 10. 7m 줄눈간격구간의 시간대별 하중전달률 변화량

구분	줄눈번호										비고
	701	702	703	704	705	706	707	708	709	710	
FT4	66.94	92.09	70.60	93.53	75.97	92.53	91.86	64.99	89.37	60.06	
FT5	66.01	91.12	69.09	95.29	75.85	93.29	93.18	63.93	89.10	59.88	
FT6	66.11	89.67	68.05	94.42	76.44	93.63	91.63	66.65	90.05	61.87	
FT7	76.64	92.77	76.28	95.32	83.11	94.05	94.12	82.88	91.82	77.99	
FT8	75.40	92.87	75.23	93.74	82.67	92.91	92.50	83.45	92.51	76.41	
FT9	75.10	92.46	75.30	94.21	81.95	94.25	96.09	82.18	92.60	75.87	
평균	71.03	91.83	72.42	94.42	79.33	93.44	93.23	74.01	90.91	68.68	82.93





변화량을 정리한 것이다. 두 비교구간의 평균 하중 전달률은 각각 82.62%와 82.93%로 차이가 크게 나질 않았다. 6m 줄눈간격구간의 경우 section. 609는 일반적인 줄눈 하중전달률의 변화 경향과 다르게 나타나 현장실험 중 오차가 발생한 것으로 판단되어 분석에서 제외하였다. 6m, 7m 줄눈간격구간의 경우 일반적으로 신설고속도로에 비해 다소 떨어지는 하중전달률 값을 보이거나 모두 양호한 포장평가수준이다.

### 5.5 포장파손조사

공용 4개월이 되는 시점인 2007년 4월 11~12일 양일에 걸쳐 포장파손조사를 실시한 결과 포장체에는 스펠링 파손이 관측되었다. 포장파손조사는 대전 방향과 순천방향의 양방향 모두 조사하였으며 6m 줄눈간격구간의 경우 전체 62개의 줄눈 대상 가운데 20개의 줄눈에서 스펠링 파손이 관측되어 발생률이 32.3%로 나타났으며, 7m 줄눈간격구간의 경우 전체 118개의 줄눈 대상 가운데 50개의 줄눈에서 스펠링 파손이 관측되어 발생률이 42.4%로 나타났다. 6m, 7m 줄눈간격구간 모두 전반적인 줄눈부에서 스펠링(spalling)이 발생하였으며 스펠링의 발생이 줄눈간격에 대한 영향은 아닌 것으로 판단된다.

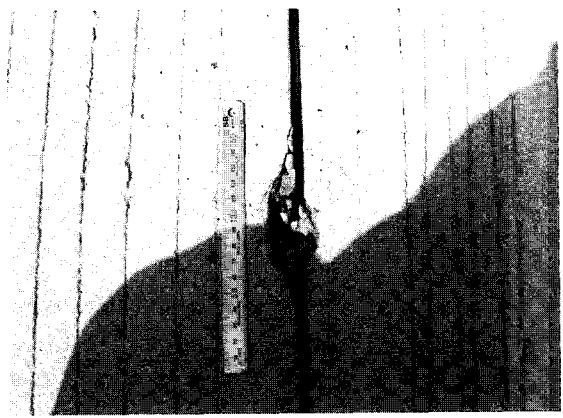


그림 13. 스펠링(spalling) 발생조사

## 6. 결론

본 연구에서는 2006년 10월 1일~3일 시험시공을 실시한 후 3차레에 걸친 추적조사 결과를 이용하여 『줄눈콘크리트 포장 가로수축줄눈 간격확대 시험시공』에 대한 효과분석을 실시하였다. 이에 실시한 추적조사 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. i-button 데이터 수집결과 시공된 두 비교구간의 슬래브 내부 온도변화는 거의 동일한 패턴이었으며 타설시간에 따라 발생할 수 있는 줄눈부의 균열시간, 줄눈잠김, 줄눈움직임의 상이함은 없다고 판단된다.
2. 줄눈균열유도발생률은 6m, 7m 줄눈간격구간에서 각각 60.0%, 66.7%로 7m 줄눈간격구간이 6%가량 다소 높았으나 전반적으로 유사한 양상을 보였으며 6m, 7m 줄눈간격구간에서의 무작위 균열(Random crack)은 모두 발생되지 않았다.
3. 하중전달률 측정결과 6m, 7m 줄눈간격구간에서 각각 82.62%와 82.93%의 하중전달률의 측정값을 얻었다. 6m, 7m 줄눈간격구간의 경우 일반적으로 신설고속도로에 비해 다소 떨어지는 하중전달률 값을 보이거나 모두 양호한 수준이다.
4. 현장육안조사 결과 스펠링 파손 발생률은 6m, 7m 줄눈간격구간에서 각각 32.3%와 42.4%로 조사되었다. 그러나, 발생한 스펠링은 모두 소형으로 줄눈간격과는 무관하게 줄눈절단시 발생한 것으로 판단된다.

따라서 본 시험시공을 통하여 한국형 포장설계법 개발 중 권역별 줄눈간격 잠정안에서 제시한대로 전남 중부지역에 6m 비교구간을 두어 7m 줄눈간격변화에 따른 초기거동을 연구한 결과 줄눈간격변화에 따른 초기거동에서의 문제점은 없었다. 향후 줄눈간격에 따른 중·장기거동의 추적조사를 통해 본 연구의 『권역별 줄눈간격 잠정안』에 따른 연구와 입증 필요하다.

감사의 글

본 연구는 건교부 수탁과제인 한국형 포장설계법 개발과 포장성능개선 연구의 일부 성과물로 이에 감사를 표합니다.

참고문헌

건설교통부, 콘크리트 포장 설계법 개발, 2004  
 전범준, 줄눈 콘크리트포장의 적정 줄눈간격에 대한 연구, 강릉대학교 대학원 석사학위논문, 2005  
 이승우 외, 줄눈 콘크리트포장의 적정 줄눈간격에 대한 연구, 한국도로학회논문집, 2005  
 정진훈 외, 콘크리트 타설 시간에 따른 줄눈의 초기 및 장기거동, 대한토목학회 정기학술대회, 2005

최정근 외, 시험도로 줄눈콘크리트포장 줄눈폭 변화분석을 통한 AASHTO 줄눈폭 예측식 타당성 연구, 대한토목학회논문집, 2006  
 Rasmussen, R. O, Evaluation of Load Transfer Efficiency for SMP Sections in the LTPP Database, *TRB*, 2003  
 Yang H. Huang, Pavement Analysis and Design, *Prentice Hall PTR*, 1992

접 수 일: 2007. 6. 11  
 심 사 일: 2007. 6. 19  
 심사완료일: 2007. 6. 29