



이동차량하중에 대한 연속철근콘크리트포장의 거동 및 철근비의 영향

Behavior of Continuously Reinforced Concrete Pavement under Moving Vehicle Loads and Effect of Steel Ratio

김 성 민* 조 병 휘** 권 순 민**
 Kim, Seong Min Cho, Byoung Hooi Kwon, Soon Min

Abstract

The behavior of continuously reinforced concrete pavement (CRCP) and the effect of the steel ratio on the behavior under moving wheel loads were investigated in this study. The CRCP sections having different steel ratios of 0.6, 0.7, and 0.8% were considered to evaluate the load transfer efficiency (LTE) at transverse cracks and to investigate the strains in CRCP when the system is subjected to moving vehicle loads. The LTEs were obtained by conducting the falling weight deflectometer (FWD) tests and the tests were performed at three different times of a day to find the curling effect due to the daily temperature changes in CRCP. The strains in the concrete slab and the bond breaker layer of the CRCP system under moving vehicle loads were obtained using the embedded strain gages. The results of this study show that the LTEs at transverse cracks are very high and not affected by the time of testing and the steel ratio. The strains in CRCP under vehicle loads become smaller as the vehicle speed increases or as the wandering distance increases; however, the strains are not clearly affected by the steel ratio.

Keywords : *continuously reinforced concrete pavement, steel ratio, load transfer, strain, wandering, wheel load*

요 지

본 연구는 연속철근콘크리트포장이 주행 차량하중을 받을 때의 거동을 분석하고 철근비가 이러한 거동에 미치는 영향을 연구하기 위하여 수행되었다. 0.6, 0.7, 0.8%의 다른 철근비를 가진 단면을 대상으로 차량하중이 가해질 때의 연속철근콘크리트포장의 거동과 밀접한 연관이 있는 균열부에서의 하중전달률을 평가하여 비교 분석하고, 또한 주행하는 트럭하중에 대한 콘크리트 슬래브의 응력을 비교 분석하여 철근비가 차량하중에 대한 연속철근콘크리트포장의 거동에 미치는 영향을 연구하였다. 균열부에서의 하중전달률을 구하기 위하여 Falling Weight Deflectometer (FWD) 충격하중 재하시험을 수행하였으며 컬링 현상으로 인하여 횡방향균열에서 하중전달효과가 변화하는지 파악하기 위하여 FWD 충격하중 재하시험을 하루 중 다른 세 가지 시간에 수행하였다. 또한 콘크리트 슬래브 및 분리층의 동적 변형률을 측정하기 위하여 차량 동적하중 재하시험을 수행하였다. 연구 결과 연속철근콘크리트포장의 횡방향균열부에서의 하중전달률은 대체적으로 매우 높으며 측정시간(또는 온도변화)에 따른 변화는 매우 작아 뚜렷한 특징이 없으며 철근비가 다른 구간에서도 뚜렷한 차이가 없었다. 그리고 차량속도가 증가하면 콘크리트 슬래브와 분리층의 변형률이 감소하는 경향을 보였으며 주행이격이 생기면 변형률이 감소하였으나 철근비의 변화에 따른 차량 동적하중에 대한 연속철근콘크리트포장의 변형률의 변화는 뚜렷하지 않았다.

핵심용어 : 연속철근콘크리트포장, 철근비, 하중전달, 변형률, 주행이격, 차량하중

* 정회원 · 경희대학교 토목건축대학 조교수
 ** 정회원 · 경희대학교 토목공학과 석사과정
 *** 정회원 · 한국도로공사 도로교통기술원 연구원



1. 서론

한국도로공사에서는 여러 시험 포장 단면의 성능을 비교 분석하여 우리 실정에 맞는 한국형 포장 설계법을 개발하고 그 적용성을 검토하기 위하여 경기도 여주의 중부내륙 고속도로 상에 콘크리트포장 2,830m와 아스팔트포장 2,710m로 구성되어 있는 시험도로를 건설하여 운영하고 있다. 콘크리트포장에는 준눈콘크리트포장 22개 단면과 연속철근콘크리트포장 3개 단면, 아스팔트포장에는 일반밀입도, SMA포장, 개질재아스팔트포장 등 33개 단면이 포함되어 있다. 이러한 단면들에는 변형률계, 토압계, 온도계 등 약 1900여개의 다양한 도로포장용 계측기들이 매설되어 있으며 2004년 개통 이후 매년 2내지 3회 가량 계절별로 정기적인 계측을 수행하고 있다.

시험도로 콘크리트포장의 3개의 연속철근콘크리트포장 단면은 표 1에 나타난 바와 같이 슬래브 두께 30cm, 분리층(BB:Bond Braker) 5cm, 린콘크리트 보조기층 15cm와 이하 쇄석기층 및 노상으로 이루어져 있으며 각각 철근비가 0.6, 0.7, 0.8%로 서로 다르게 적용되어 있다. 철근비가 0.6%인 구간을 C1, 0.7%를 C2, 0.8%인 구간을 C3라 부르기로 하였다. 연속철근콘크리트포장 구간은 무근콘크리트포장 J8 구간의 끝과 연결되어 시작되며 전체 길이는 약 390m에 달하며 끝부분은 무근콘크리트포장 구간 J6 와 연결된다. C1 구간은 시작점에서의 영향을 고려하여 약 57m 지점부터 84m의 길이로 건설되었고 다시 C2 구간 시작위치까지 철근배근이 달라지는 구간을 제외하고 C2는 약 152m 지점부터 시작되어 역시 약 84m의 길이로 건설되었다. C3는 C2가 끝나고 약 11m 후인 248m 지점에서 시작하여 약 84m의 길이로 건설되었다. 그 이후 J6 구간까지는 약 58m의 연속철근콘크리트포장이 건설되어 있다. 표 2는 각 단면에 적용된 종방향철근의 재원표이며, 횡방향철근은 AASHTO 기준에 따라 지름 13mm 철근을 750mm 간격으로 배근하였다.

연속철근콘크리트포장의 온도 및 습도변화 등의 환경하중에 대한 거동 및 철근비의 그러한 거동에 미치는 영향은 이전의 여러 연구에서 분석되었으며 (Kim et al., 1998, 2000a, 2003a, 2003b) 시험도로의 연속철근콘크리트포장에서도 철근비가 커지면 횡방향 균열간격이 감소하는 경향이 있는 것을 알 수 있었다(김성민 외, 2005). 철근비가 커지면 콘크리트의 환경하중에 대한 수축을 철근이 제지하는 영향이 커져서 결국 횡방향균열이 많이 생기게 되며 따라서 횡방향 균열간격이 줄어들게 되는 것이다. 이처럼 연속철근콘크리트포장의 환경하중에 대한 거동은 공용성에 미치는 영향이 큰 것으로 알려져 있으므로 이에 대한 연구가 많이 수행되어 왔으며, 차량하중에 대한 거동 및 철근비의 영향 또한 공용성에 영향을 미칠 것이 분명하므로 이러한 연구도 매우 중요한 것으로 사료된다. 따라서 본 논문에서는 연속철근콘크리트포장의 세 가지 철근비가 서로 다른 단면을 대상으로 차량하중이 가해질 때의 연속철근콘크리트포장의 거동과 밀접한 연관이 있는 균열부에서의 하중전달률을 평가하여 비교 분석하고, 또한 주행하는 트럭하중에 따른 콘크리트 슬래브의 응력을 비교 분석하

표 1. 시험도로 연속철근콘크리트 구간 단면 구성

구 분	재 료	두께(cm)	비 고(철근비)
표 층	콘크리트 슬래브	30	0.6, 0.7, 0.8%
분리층	밀입도 아스팔트	5	
보조기층	린콘크리트	15	
동상방지층	골재 및 토사	40	

표 2. 시험도로 연속철근콘크리트포장 구간의 종방향 철근량 및 간격

구 분	철근개수(개)		철 근 비(%)		철근간격 (mm)
	주행 차로	추월 차로	주행 차로	추월 차로	
C1 구간 (철근비 0.6%)	27	26	$\rho=0.611\%$	$\rho=0.611\%$	H19 C.T.C 160
C2 구간 (철근비 0.7%)	31	30	$\rho=0.702\%$	$\rho=0.705\%$	H19 C.T.C 140
C3 구간 (철근비 0.8%)	35	34	$\rho=0.792\%$	$\rho=0.798\%$	H19 C.T.C 120

여 철근비가 차량하중에 대한 연속철근콘크리트포장의 거동에 어떠한 영향을 미치는지를 연구한 결과를 기술하였다.

2. FWD 충격하중 재하시험

연속철근콘크리트포장에서 발생하는 횡방향균열은 균열에서의 하중전달이 제대로 이루어지지 않으면 스프링이나 편치아웃 등의 파손이 생겨 공용성에 대한 문제가 야기될 수 있다. 이러한 균열부에서의 하중전달 정도는 균열폭, 균열의 진전 정도, 철근비, 하부층의 지지력 등 여러 가지의 요인에 의해 결정되어질 것이다. 균열부의 하중전달의 특징을 파악하기 위하여 FWD(Falling Weight Deflectometer)를 이용하여 충격하중 재하시험을 수행하였다. FWD를 이용하여 하중전달률(LTE: Load Transfer Efficiency)을 구하기 위하여 그림 1에 나타낸 것과 같이 지름 30cm의 하중재하판의 원주가 하중을 재하 하였을 때 균열에 거의 일치되도록(오차범위가 균열에서 1.5cm 이내) 셋팅하여 재하판 중심에 위치한 센서에서의 처짐과 균열을 지나 반대쪽 슬래브에 위치한 두 번째 센서에서의 처짐을 측정하여 식 (1)을 사용하여 LTE를 구하였다.

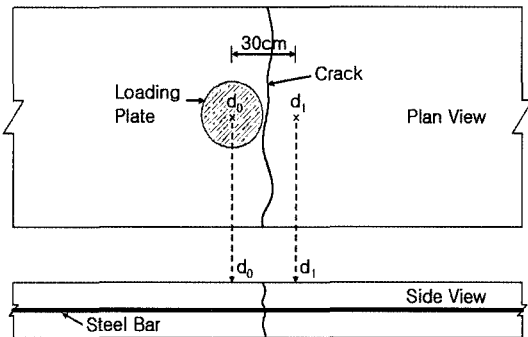


그림 1. FWD 셋업

$$LTE = \frac{2d_1}{d_0 + d_1} \quad (1)$$

여기서 LTE는 하중전달률이며 d_0 은 재하판 중심에서의 처짐 측정량이며 d_1 은 FWD의 두 번째 센서에서의 처짐 측정량이다.

CRCP는 횡방향균열과 종방향의 조인트에서 불연속면을 가지게 된다. 이러한 불연속면은 일일 온도변화에 따른 콘크리트 슬래브의 거동에 영향을 미치게 된다. 대체적으로 낮에는 콘크리트 표면의 온도가 내부의 온도보다 높기 때문에 불연속면으로 이루어지는 슬래브의 중앙부분이 위로 솟으려는 현상이 생기게 되며, 새벽에는 반대로 표면의 온도가 내부보다 작아져서 중앙부분이 내려앉으려는 현상이 생기게 된다. 따라서 불연속면인 균열에서의 하중전달률은 이러한 슬래브의 컬링 현상에 영향을 받을 수 있으며 무근콘크리트포장에서는 그 효과가 큰 것으로 알려져 있다(Kim et al., 2000b). 본 시험에서는 이러한 온도의 영향을 고려하기 위하여 낮, 밤, 새벽에 FWD 충격하중 재하시험을 수행하였다. 시험시간은 오후 3시, 밤 9시 30분, 그리고 새벽 6시였다.

FWD 재하위치는 횡방향으로는 차량의 조수석 쪽 바퀴가 지나가는 Wheel Pass를 선정하였다. 세 개의 다른 철근비를 가지는 구간인 C1, C2, C3의 구간에서 각각 약 10개의 균열을 선정하여 시험을 수행하였다. 균열의 선정 기준은 첫째, 철근비가 변화하는 각 구간의 접속 부근에서는 가능한 멀리 떨어져 있으며, 둘째, 균열발생 시기가 다양하며, 셋째, 주변 균열과 간격이 다양할 것 등을 고려하였다. 각 구간별 선정된 균열의 위치는 표 3에 나타내었다. 표에서 앞의 숫자는 균열조사 차수이며 뒤의 숫자는 그 차수에서 그 구간의 시작점으로부터 발견된 순서이다. 예를 들어 C2 3-6은 C2 구간에서 3번째 균열 측정 시기에 발견된 균열로써 C2의 시작점에서 같은 측정 시기에 6번째로 발견된 균열을 의미한다. 한곳에서 약 17kip의 하중으로 세 번의 시험을 수행하고 하중을 약 26kip으로 높여 다시 세 번의 시험을 수행한 후 다음 균열로 옮기는 방식으로 시험을 수행하였다.



표 3. FWD 하중재하 시험에 선정된 균열 번호 및 균열발생 조사 시기

구 간	균 열
C1 (0.6% 철근비)	3-2, 1-8, 3-4, 1-9, 2-1, 1-14, 4-1, 4-2, 4-3, 3-6
C2 (0.7% 철근비)	1-2, 3-1, 1-3, 3-2, 3-3, 3-6, 1-15, 4-1, 4-5
C3 (0.8% 철근비)	1-11, 3-4, 1-12, 1-16, 3-7, 4-6, 3-9, 4-8
조사 차수	시 기
타 설	2002년 10월
1차 조사	건설 직후
2차 조사	2003년 9월
개 통	2004년 3월
3차 조사	2004년 7월
4차 조사	2004년 10월
5차 조사	2005년 5월

3. 하중전달률

연속철근콘크리트포장의 균열에서의 하중전달 특징을 FWD 충격하중 재하시험을 수행하여 분석하였다. 시험은 세 가지의 다른 시간에 수행하였으며 시험 수행 시간의 콘크리트 슬래브에 작용하는 온도 분포는 그림 2에 나타난 것과 같이 측정되었다. 이러한 슬래브의 표면과 밑면의 온도 차이는 슬래브의 쿨링 현상을 유발하여 시간에 따라 균열에서의 하중전달률을 변화시킬 수도 있다는 가정 하에 측정하였다.

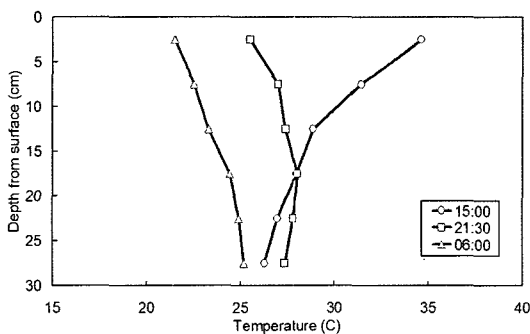
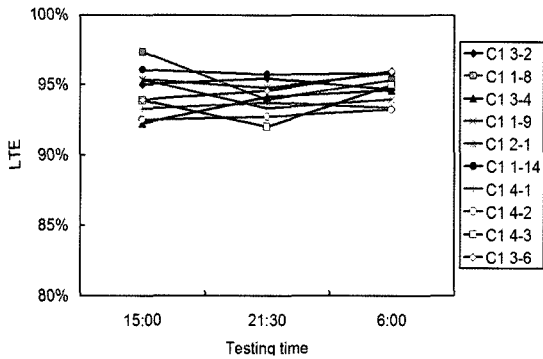


그림 2. FWD 시험시간의 콘크리트 슬래브 온도 분포

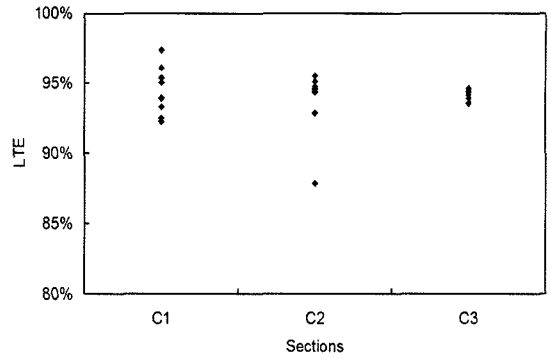
그림에 나타난 것과 같이 낮에는 슬래브 표면의 온도가 하부의 온도보다 크기 때문에 슬래브의 위쪽이 더 많이 늘어나려고 하여 슬래브의 중앙부가 위로 올라 오려고 하는 휨 현상을 받으며 밤과 새벽에는 반대로 슬래브 표면의 온도가 하부보다 작기 때문에 슬래브의 중앙부가 아래로 내려가려는 휨 현상을 받게 된다. 하지만 연속철근콘크리트포장은 연속된 철근이 존재하기 때문에 이러한 슬래브의 휨 현상을 철근이 제지하려고 하여 실제 쿨링현상에 의한 변위의 변화는 크게 나타나지 않을 것으로 보여 진다.

각 구간에서 FWD 시험시간에 따른 LTE의 변화를 그림 3에 나타내었다. 철근비가 다른 각 구간에서 측정시간에 따른 LTE의 차이는 매우 작은 것으로 보여지며 LTE 값이 대부분 95% 정도로 매우 높은 것을 알 수 있다. C2 구간의 균열번호 1-2의 경우 15:00에 측정된 LTE 값이 상대적으로 작게 나타났으나 다른 시간대에는 높아지는 것으로 보아 15:00의 측정에 약간의 오차가 있었을 것으로 생각이 드나 다른 시간대에도 LTE 값이 상대적으로 작은 것으로 보아 추후 FWD 시험을 반복해 볼 필요가 있을 것으로 생각되며 코어링 등을 통한 균열의 상태를 파악해 보는 것도 필요할 듯하다. 그림 3에서 보인 결과를 통해 궁극적으로 측정시간에 따른 연속철근콘크리트포장에서의 LTE의 변화는 매우 작다는 것을 알 수 있다. 참고로 FWD 시험을 위한 균열위치는 4차조사후에 결정한 것이며, 앞으로도 이러한 위치에서 LTE의 변화를 장기적으로 측정할 계획이므로, 5차 조사에서 발견된 균열에서는 FWD시험을 수행하지 않았다.

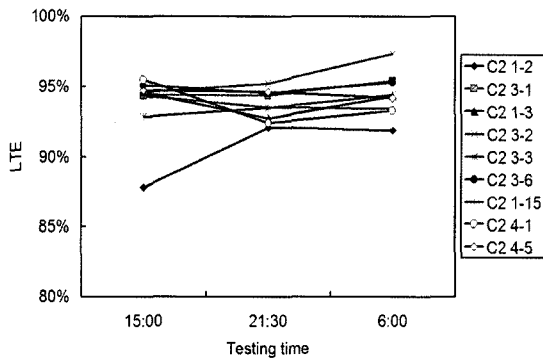
철근비의 차이에 따른 LTE의 변화에 대한 연구는 기존에 체계적으로 수행되어 발표된 자료가 없으므로, 본 연구에서는 동일한 FWD 시험시간에 다른 철근비를 가지는 구간에서 LTE가 어떤 차이를 보이는지를 시험하여 그 결과를 그림 4에 나타냈다. 동일한 시험시간에는 철근비가 다른 구간에서도 LTE의 차이가 거의 없다는 것을 알 수 있다. 따라서 LTE는 철근비가 다른 구간에서도 큰 차이가 없다는 것을 알 수 있다.



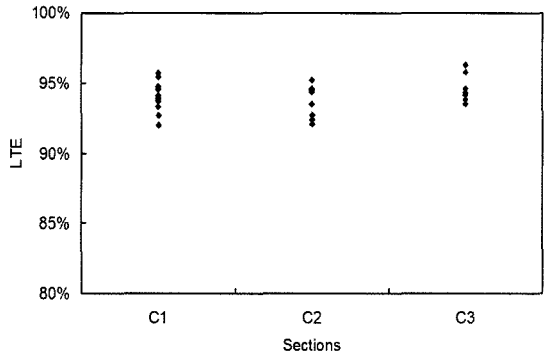
(a)



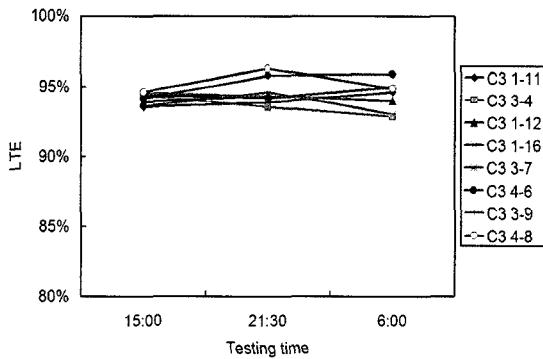
(a)



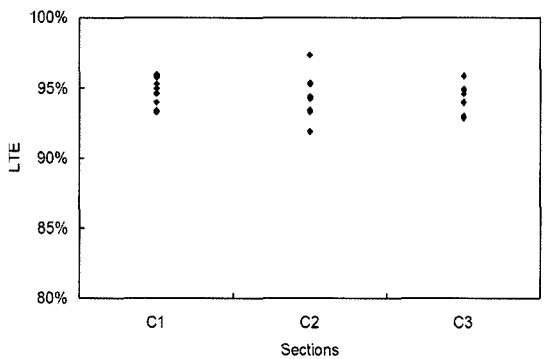
(b)



(b)



(c)



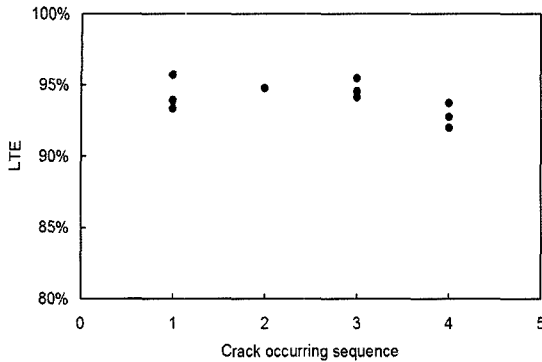
(c)

그림 3. LTE와 측정시간과의 관계: (a) C1, (b) C2, (c) C3

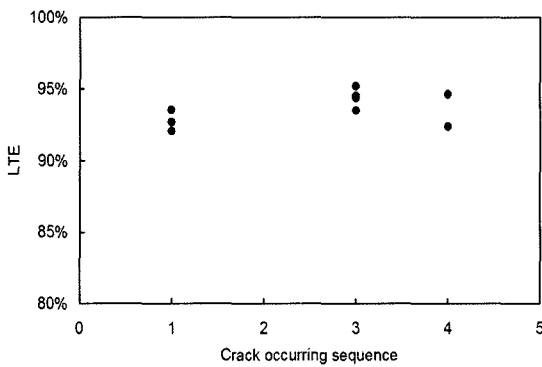
그림 4. 동일한 측정시간에서 구간별 LTE: (a) 15:00, (b) 21:30, (c) 6:00

콘크리트 포장에서는 먼저 발생한 균열에서 시간이 지남에 따라 균열폭도 커지고 그와 관련된 손상도 커질 수 있기 때문에 발생시기가 비슷한 균열을 모아

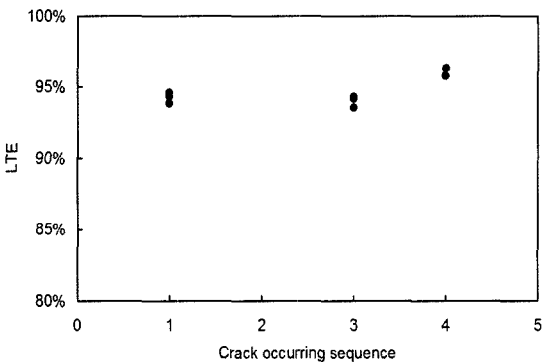
균열 발생 시기별로 LTE의 차이를 비교 분석해 보았다. 그림 5는 21:30에 각 구간에서의 균열발생 시기에 따른 LTE의 차이를 보여 준다. 그림에서 x축은



(a)



(b)



(c)

그림 5. 균열 발생 시기에 따른 LTE 비교: (a) C1, (b) C2, (c) C3

균열발생시기이며 x축 값인 1, 2, 3, 4는 표 3에 나타난 균열조사 차수이다. 예를 들어 2는 2003년 9월에 2차 균열조사에서 발견한 균열을 표현한다. 일반

적으로 최근에 생긴 균열에서 LTE값이 높을 것으로 예상할 수 있으나 균열발생시기에 따라 LTE의 차이가 그리 크지 않은 것을 알 수 있다.

본 연구에서 수행한 FWD 충격하중 재하시험을 통해 구한 LTE의 값을 정리하여 요약하면 표 4와 같다. 표에서도 볼 수 있는 바와 같이 평균 LTE는 구간과 시간에 따라 큰 차이가 없으며 그 값도 약 94%로 매우 높은 것을 알 수 있다.

표 4. 구간별과 시간별 LTE 요약

구간	측정시간	최대LTE(%)	최소LTE(%)	평균LTE(%)
C1	15:00	97.3	92.2	94.5
	21:30	95.7	92.0	94.0
	06:00	96	93.2	94.8
C2	15:00	95.5	87.8	93.7
	21:30	95.2	92.1	93.7
	06:00	97.3	91.9	94.4
C3	15:00	94.6	93.5	94.1
	21:30	96.3	93.5	94.6
	06:00	95.9	92.8	94.2

4. 차량 동적하중 재하시험

차량 동적하중 재하시험은 시험차량(15톤 덤프트럭)을 이용하여 여러 가지 다른 속도(본 연구에서는 약 30, 50, 80km/h)로 주행하는 동안 포장체 내부에 매설된 변형률계의 응답을 동적으로 계측하여 변형률을 측정하는 시험이다. 변형률계의 위치는 슬래브 안쪽과 모서리 부분에 콘크리트 슬래브 상부 3cm 깊이, 하부 3cm 높이, 분리층 중앙에 각각 매설되어 있다. 포장 안쪽의 게이지는 횡방향을 향하여 설치되어 있으며 모서리부의 게이지는 종방향을 향하여 매설되어 있다. 동적하중 재하시험을 수행함에 있어 하중 재하에 사용되는 시험차량의 실제 주행속도 및 차륜의 정확한 주행위치를 파악하기 위하여 레이저 변위 센서를 활용한 횡방향 주행이격 측정 시스템

(Traffic Wandering Measurement System)을 이용하였다.

횡방향 주행이격 측정 시스템의 레이저 변위계는 크게 광원과 렌즈, 빛을 다시 받는 위치검출소자(Position Sensitive Device; PSD)로 구성되어 있다. 광원으로 부터 나온 적외선은 렌즈를 통과하며 좁은 각도의 빔으로 만들어져 측정하려는 물체에 입사하게 되며, 입사된 빛은 다시 PSD로 반사되어 렌즈에 의해 PSD소자 표면에 집광된다. 이 PSD소자는 표면에 입사된 광점의 위치에 비례하는 출력전류를 발생하는 구조로 되어 있다. 단거리 광학식 변위 센서는 이상적인 시험환경에서 0.1 마이크로미터 이하의 분해능도 가능하며, 장거리용의 경우 일반적으로 수 mm 이내의 분해능을 갖는다.

그림 6은 레이저 변위계를 이용한 주행이격 측정 시스템을 사용하여 실험하는 모습을 보여준다. 일반적으로 계측 시점부와 종점부에 2개의 레이저 변위 센서에서 발생하는 레이저와 차량의 타이어에서 반사되는 빛(반사광)을 이용하여 주행유도선과는 별개로 실제 주행 경로를 계측할 수 있다.

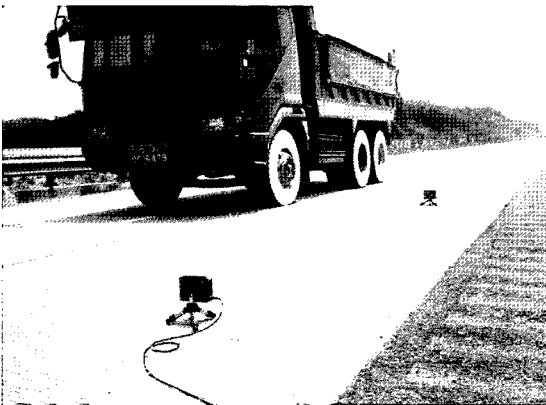


그림 6. 동적하중 재하시험 모습

동적하중 재하시험을 시작하기 전에 먼저 매설된 게이지의 위치가 정확한 지를 파악하였다. 게이지의 위치를 포장 표면에 직접 표시하여 놓지 않고 어느 기준점으로부터의 거리로 파악하여 놓고 있었기 때문에 그러한 거리 데이터가 정확한지를 확인하고 정

확한 위치를 포장 표면에 마킹해 놓을 필요가 있었다. 따라서 정확한 게이지의 위치를 파악하기 위하여 먼저 게이지 매설 위치 근처에서 종방향으로 천천히 차량을 이동시키며 가장 큰 데이터가 나오는 위치를 파악한 후 다시 그 위치에서 이번에는 횡방향으로 차량을 이동시키며 가장 큰 데이터가 나오는 위치를 파악하여 그 점을 게이지 위치로 포장 표면에 표시해 놓았다. 그리고 시험용 트럭을 운전할 때 운전자가 게이지 위치를 쉽게 식별할 수 있도록 테이프를 종방향으로 길게 붙여 놓았다.

차량이 진행할 때 변형률의 일반적인 패턴은 그림 7에 보인 바와 같다. 가장 위의 그래프는 콘크리트 슬래브 상부의 변형률이며 중간 그래프는 슬래브 하부의 변형률, 그리고 아래의 그래프는 분리층 중간 깊이의 변형률을 보여 준다. 그림에서 가로축은 시간(초)이며 세로축은 변형률을 나타낸다. 슬래브 상부는 - 부호로 표시되는 압축변형률을 대부분 받고 있으며 슬래브 하부와 분리층의 중간 깊이는 반대로 대부분 + 부호로 표시되는 인장변형률을 받고 있다. 변형률은 전륜과 중륜, 그리고 후륜이 통과할 때 변화하는 모습이 확실하게 나타난다. 실험을 통해 변형률 중 최대 변형률은 항상 특정한 어느 운하중 위치에서 생기지는 않는다는 것을 알 수 있었다.

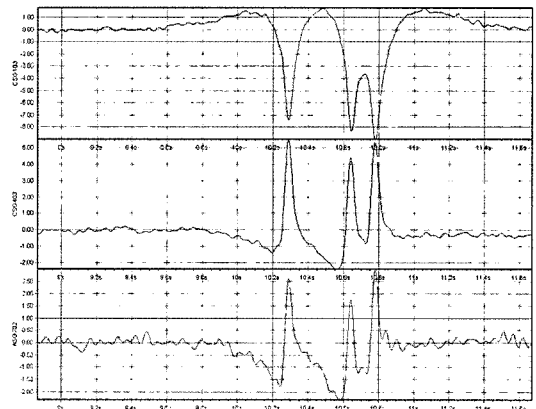


그림 7. 동적 변형률 측정 예



5. 동적 변형률

차량 동적하중 재하시험을 연속철근콘크리트포장의 철근비가 다른 세 개의 구간에서 수행하여 차량속도, 주행이격, 철근비 등이 포장체의 변형률에 미치는 영향을 분석하였다.

5.1 차량속도 영향

차량주행속도가 연속철근콘크리트포장의 변형률에 미치는 영향을 분석하기 위하여 약 30, 50, 80km/h의 속도로 시험차량을 여러 번 주행시키며 매설되어 있는 변형률 게이지를 이용하여 변형률을 측정하였다. 그림 8은 C2 구간에서 운전석 쪽 전륜이 게이지 매설 위치를 통과할 때 속도와 최대 변형

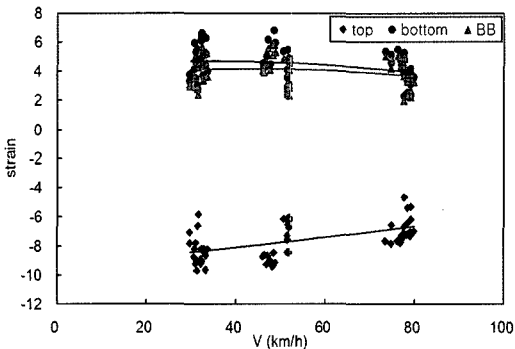
률과의 관계를 보여준다. 참고로, 실험에서 게이지 위치와 동적하중과의 주행이격이 커서 변형률이 주행이격이 작을 때의 값과 현저한 차이를 보이는 데이터는 속도의 영향 분석에는 고려하지 않았으며, 이러한 주행이격의 영향은 5.2 절에서 결과를 기술하였다. 그림에서 top으로 표시한 데이터가 슬래브 상부의 게이지에서 구한 변형률이며, bottom으로 표시한 것이 슬래브 하부의 변형률이고, BB로 표시한 것은 분리층 중간의 변형률이다. 그림에서 볼 수 있는 바와 같이 슬래브 상부의 변형률은 압축변형률을 나타내며 슬래브 하부와 분리층의 변형률은 인장변형률을 보인다. 변형률을 인장 또는 압축을 나타내는 부호를 고려하지 않고 절대치를 살펴보면 차량의 속도가 증가할수록 변형률이 감소하는 것을 알 수 있다.

또한 분리층의 변형률이 슬래브 하부의 변형률보다 작은 것으로 보아 콘크리트 슬래브와 분리층의 분리가 생겼음을 알 수 있으나 분리층 중간에 설치한 게이지의 변형률이 0이 아닌 것으로 보아 완벽한 분리가 일어나지는 않았음을 알 수 있다. 그리고 그림 8(a)에서 보여지는 바와 같이 포장 안쪽 중앙부에서 분리층과 슬래브 하부의 변형률과의 차이가 그림 8(b)의 포장 모서리부의 분리층과 슬래브 하부의 변형률과의 차이보다 작은 것으로 미루어 보아 포장 중앙부에서 두 층간의 분리가 더 적게 생김을 유출할 수 있다.

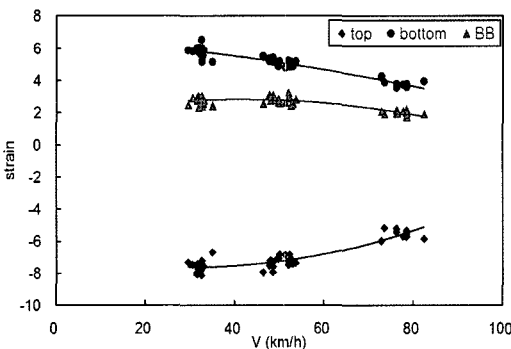
차량 전륜에 작용하는 하중에 대한 속도와 변형률과의 관계뿐만 아니라 탠덤액슬의 중륜과 후륜에 작용하는 하중에 대한 속도와 변형률과의 관계도 분석하였으며 결과는 근본적으로 전륜에 의한 결과와 같은 것을 알 수 있었다(김성민 외, 2005).

5.2 주행이격 영향

차량 동적하중 재하시험을 수행할 때 변형률 게이지가 매설되어 있는 위치를 차량하중이 통과하도록 포장 표면에 표시를 해놓아도 운전자가 정확히 그 위치를 통과하도록 운전하기는 쉽지가 않다. 특히 속도



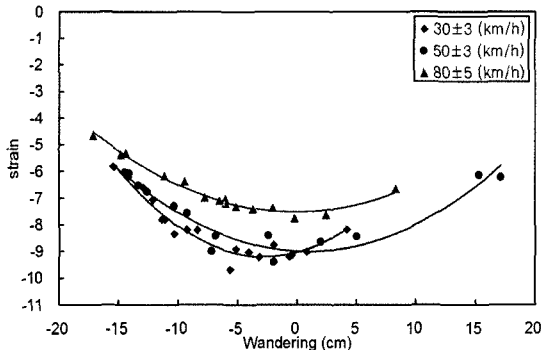
(a) 안쪽 중앙부



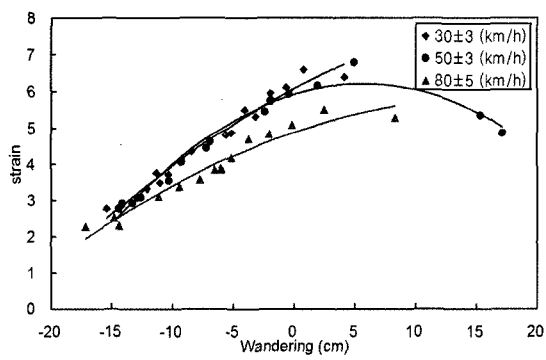
(b) 모서리부

그림 8. 차량속도와 변형률의 관계

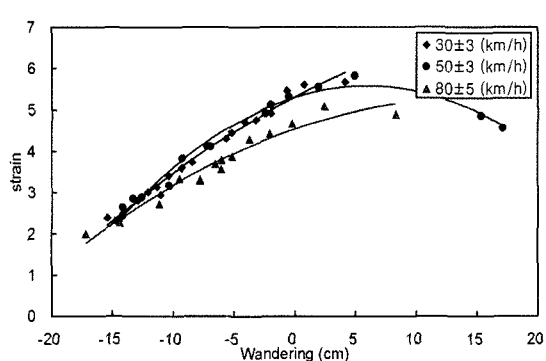
12



(a) 슬래브 상부



(b) 슬래브 하부



(c) 분리층 중간

그림 9. 주행이격과 변형률의 관계

가 빠를 때는 정확성이 더욱 떨어지게 된다. 본 연구에서는 앞에서 설명한 주행이격 측정 시스템을 이용하여 주행이격을 측정하였고 주행이격에 따른 변형

률의 변화를 분석하였다.

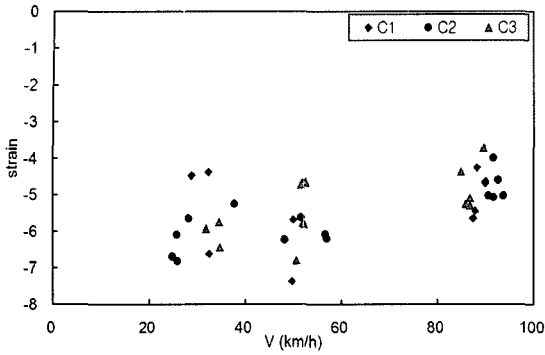
그림 9는 C2 구간의 포장 안쪽 중앙부에서 차량 동적하중 재하시험을 수행하며 얻은 운전석 쪽 차량 전륜에 대한 주행이격과 변형률과의 관계를 보여준다. 그림에서 + 부호의 주행이격은 원하는 위치에서 바깥쪽으로 차륜이 통과한 것을 의미하며 - 부호는 반대의 경우를 의미한다. 차량 속도가 달라지면 변형률이 변화하기 때문에 30, 50, 80 km/h의 세 가지 속도로 시험을 수행하여 그 중 30과 50km/h에서는 3km/h 내의 속도로 시험한 경우만 고려하였고 80km/h의 속도에서는 5km/h 내의 속도만 고려하여 분석하였다. 그림에서 볼 수 있는 바와 같이 주행이격이 생기면 변형률이 감소하는 것을 알 수 있다. 30과 80km/h의 속도에서는 + 부호의 주행이격 데이터 수가 많지 않아서 뚜렷이 보이지는 않지만 50km/h의 속도에서의 결과를 보면 주행이격에 의한 변형률은 주행이격이 안쪽과 바깥쪽에 생겼을 때 거의 대칭이 된다는 것을 알 수 있다. 주행이격이 5cm 이내일 때는 변형률의 차이가 그리 크지 않으나 10cm 정도의 주행이격이 생기면 경우에 따라 20% 이상의 변형률의 차이를 보인다.

중륜과 후륜의 포장 중앙부에서의 주행이격에 의한 변형률의 변화 특성은 근본적으로 전륜의 경우와 비슷하지만 이 경우에는 차륜의 접지 면적이 크기 때문에 주행이격이 20cm 정도 이내일 때는 변형률의 차이가 크지 않은 것을 알 수 있다(김성민 외, 2005).

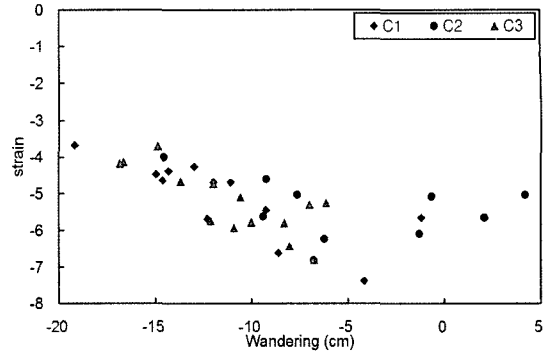
모서리부에서도 주행이격이 생기면 변형률이 줄어드는 것을 알 수 있으나 중앙부에 비해 그 효과는 감소하며 전륜의 경우 약 20cm, 후륜의 경우 약 30cm의 주행이격에도 변형률의 차이는 그리 크지 않은 것을 알 수 있다(김성민 외, 2005).

5.3 철근비 영향

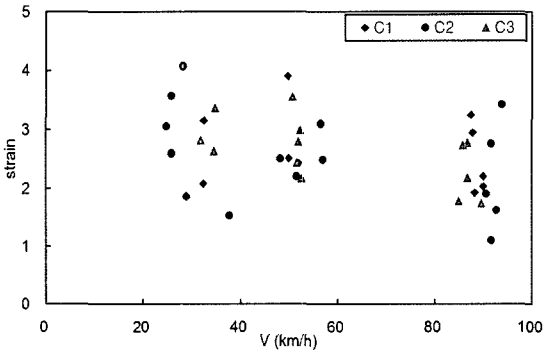
철근비가 다른 세 가지 구간인 C1, C2, C3의 구간에서 차량 동적하중에 대한 변형률의 특성을 비교



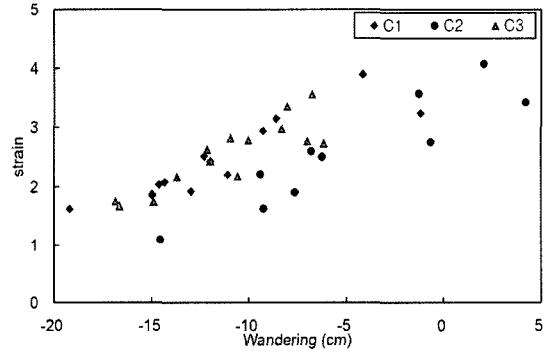
(a) 슬래브 상부



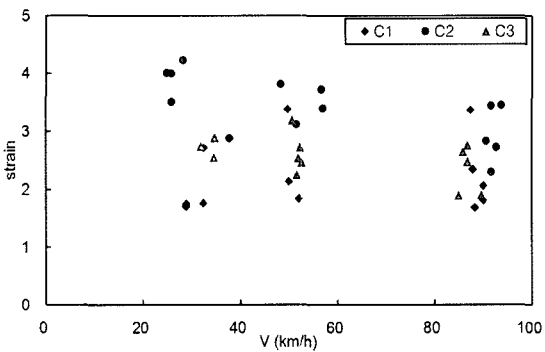
(a) 슬래브 상부



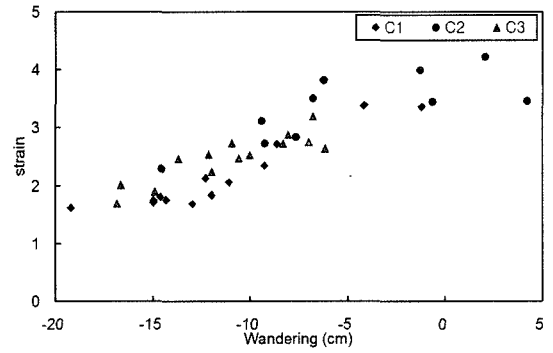
(b) 슬래브 하부



(b) 슬래브 하부



(c) 분리층 중간



(c) 분리층 중간

그림 10. 철근비에 따른 속도와 변형률의 관계

그림 11. 철근비에 따른 주행이격과 변형률의 관계

분석하기 위하여 동적하중 재하시험을 각 구간에서 수행하였다.

그림 10은 포장 안쪽 중앙부에서 전륜 하중에 대

한 각 구간에서의 속도와 변형률과의 관계를 비교하고 있다. 데이터 수가 많지 않기 때문에 주행이격에 관계없이 모든 실험치를 고려하여 결과를 분석하였



다. 그림에서 볼 수 있는 바와 같이 아주 뚜렷하지는 않으나 속도가 커질수록 변형률이 감소하는 경향을 볼 수 있다. 철근비가 서로 다른 구간에 따라서는 뚜렷한 특징이 보이지 않는다.

각 구간의 주행이력과 변형률과의 관계는 그림 11에서 보여준다. 주행이력이 생기면 변형률이 감소하는 것을 뚜렷이 알 수 있다. 세 가지 다른 철근비를 가진 구간에서 주행이력 특징에 대한 차이는 거의 없는 것으로 판단된다.

6. 결론

본 연구는 연속철근콘크리트포장이 주행 차량하중을 받을 때의 거동을 분석하고 철근비가 이러한 거동에 미치는 영향을 연구하기 위하여 수행되었다. 세 가지의 철근비가 서로 다른 단면을 대상으로 차량하중이 가해질 때의 연속철근콘크리트포장의 거동과 밀접한 연관이 있는 균열부에서의 하중전달률을 평가하여 비교 분석하고, 또한 주행하는 트럭하중에 대한 콘크리트 슬래브의 응력을 비교 분석하여 철근비가 차량하중에 대한 연속철근콘크리트포장의 거동에 미치는 영향을 연구한 결과를 본 논문에 기술하였다.

균열부에서의 하중전달률을 구하기 위하여 FWD 충격하중 재하시험을 수행하였으며 시간에 따른 온도의 변화에 의한 슬래브의 컬링 효과가 횡방향균열에서의 하중전달의 특징을 변화시킬 수 있기 때문에 FWD 충격하중 재하시험을 하루 중 다른 세 가지 시간에 수행하였다. 또한 콘크리트 슬래브 및 분리층의 동적 변형률을 측정하기 위하여 차량 동적하중 재하시험을 수행하였다. 본 연구는 5월에서 10월 중에 수행되었으며 이 기간의 온도 변화에서는 다음과 같은 결론을 도출해 낼 수 있었다. 이러한 결론이 매우 추운 겨울에도 적용되는지 확인하기 위하여 추가적인 겨울철 실험이 필요시 된다.

- 연속철근콘크리트포장의 횡방향균열부에서의 하중

전달률은 대체적으로 매우 높다.

- 측정시간(또는 온도변화)에 따른 하중전달률의 변화는 매우 작으며 뚜렷한 특징이 없다.
- 하중전달율은 철근비가 다른 구간에서 뚜렷한 차이가 없다.
- 최대변형률이 생기는 윗하중의 위치는 속도, 도로 표면의 상태 및 도로의 시험위치 등 여러 가지 변수에 따라 달라지며 전륜, 중륜, 후륜 중 어느 특정한 위치에서 항상 생기지는 않는 것으로 보인다.
- 차량속도가 증가하면 콘크리트 슬래브와 분리층의 변형률이 감소하는 경향을 보인다.
- 분리층 중간 깊이의 변형률이 콘크리트 슬래브 하부의 변형률보다 작은 것으로 보아 두 층 간에 어느 정도 분리가 생긴 것으로 판단되나 변형률이 0에 가깝지 않은 것으로 보아 완전한 분리는 일어나지 않는 것으로 보인다.
- 주행이력이 생기면 변형률이 감소한다.
- 철근비의 변화에 따른 차량 동적하중에 대한 연속철근콘크리트포장의 변형률의 변화는 뚜렷하지 않다.

감사의 글

본 연구는 한국도로공사 도로교통기술원의 연구비 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다. 또한 본 연구에 협조해 주신 시험도로 운영센터의 이경하 박사, 정진훈 박사, 서영국 박사, 이재훈 연구원 등등 연구진 여러분께 깊은 감사드립니다.

참고문헌

1. 김성민, 박철수, 조병휘, 한만진 (2005). "시험도로 연속철근콘크리트포장 구간 계측자료를 활용한 균열 거동 분석 연구", 한국도로공사 최종보고서, 경희대학교, 86pp.
2. Kim, S. M., Won, M. C. and McCullough, B. F. (1998). "Numerical modeling of continuously



reinforced concrete pavement subjected to environmental loads," *Transportation Research Record*, No. 1629, Transportation Research Board, National Research Council, pp. 76-89.

3. Kim, S. M., Won, M. C. and McCullough, B. F. (2000a). "Three-dimensional analysis of continuously reinforced concrete pavements," *Transportation Research Record-Journal of the Transportation Research Board*, No. 1730, Transportation Research Board, National Research Council, pp. 43-52.
4. Kim, S. M., Won, M. C. and McCullough, B. F. (2000b). "Three-dimensional nonlinear finite element analysis of continuously reinforced concrete pavements," *Research Report 1831-1*, Center for Transportation Research, The

University of Texas at Austin.

5. Kim, S. M., Won, M. C. and McCullough, B. F. (2003a). "Mechanistic modeling of continuously reinforced concrete pavement," *ACI Structural Journal*, Vol. 100, No. 5, American Concrete Institute, pp. 674-682.
6. Kim, S. M., Nelson, P. K., Ruiz, M., Rasmussen, R. O. and Turner, D. (2003b). "Early-age behavior of concrete overlays on continuously reinforced concrete pavements," *Transportation Research Record-Journal of the Transportation Research Board*, No. 1823, Transportation Research Board, National Research Council, pp. 80-92.

〈접수:2006. 1. 24〉