

연속철근콘크리트 도로포장의 거동에 종방향 철근비가 미치는 영향

Effect of Longitudinal Steel Ratio on Behavior of CRCP System

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

ABSTRACT

The effect of the steel ratio on the behavior of continuously reinforced concrete pavement (CRCP) under moving wheel loads and environmental loads were investigated in this study. The CRCP sections having different steel ratios of 0.6, 0.7, and 0.8% were considered: (1) to evaluate the load transfer efficiency (LTE) at transverse cracks; (2) to investigate strains in CRCP when the system is subjected to moving vehicle loads; (3) and to investigate the time histories of the crack spacing variations. The LTEs were obtained by conducting the falling weight deflectometer (FWD) tests. The strains in the concrete slab and the bond breaker layer under moving vehicle loads were obtained using embedded strain gages. The results of this study show that the LTEs at transverse cracks are very high and not affected by 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. However, the changes in the crack spacings are affected by the steel ratio.

Keywords: Continuously reinforced concrete pavement, Steel ratio, Load transfer, Strain, Wandering, Wheel load, Environmental load.

1. 서 론

한국도로공사에서는 여러 시험 포장 단면의 성능을 비교 분석하여 우리 실정에 맞는 한국형 포장 설계법을 개발하고 그 적용성을 검토하기 위하여 시험도로를 건설하여 운영하고 있다. 시험도로 콘크리트포장의 3개의 연속철근콘크리트포장 단면은 각각 철근비가 0.6, 0.7, 0.8%로 서로 다르게 적용되어 있으며 철근비가 0.6%인 구간을 C1, 0.7%를 C2, 0.8%인 구간을 C3라 부르기로 하였다. 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 분석하여 철근비가 차량하중에 대한 연속철근콘크리트포장의 거동에 어떠한 영향을 미치는지를 연구한 결과를 기술하였으며 철근비가

* 정희원, 경희대학교 토목건축대학 조교수

** 정희원, 경희대학교 토목공학과 석사과정

*** 정희원, 한국도로공사 도로교통기술원 연구원

다른 세가지 연속철근콘크리트포장에서 환경하중에 의한 횡방향 균열을 분석하였다.

2. Falling Weight Deflectometer (FWD) 충격하중 재하시험

연속철근콘크리트포장에서 발생하는 횡방향균열은 균열에서의 하중전달이 제대로 이루어 지지 않으면 스펀링이나 펀치아웃 등의 파손이 생겨 공용성에 대한 문제가 야기될 수 있다. 따라서 균열부의 하중전달의 특징을 파악하기 위하여 FWD를 이용하여 충격하중 재하시험을 수행하였으며 하중전달률(LTE: Load Transfer Efficiency)을 식(1)을 사용하여 구하였다.

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

여기서 LTE는 하중전달률이며 d_0 는 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. 따라서 불연속면인 균열에서의 하중전달률은 슬래브의 컬링 현상에 영향을 받을 수 있으며 무근콘크리트포장에서는 그 효과가 큰 것으로 알려져 있다 (Kim et al., 2000). 본 시험에서는 이러한 온도의 영향을 고려하기 위하여 오후 3시, 밤 9시 30분, 그리고 새벽 6시에 FWD 충격하중 재하시험을 수행하였으며 시험 수행 시간의 콘크리트 슬래브에 작용하는 온도 분포를 측정하였다. 슬래브의 표면과 밑면의 온도 차이는 슬래브의 컬링현상을 유발하여 시간에 따라 균열에서의 하중전달률을 변화시킬 수도 있다는 가정 하에 측정하였다. 하지만 연속철근콘크리트포장은 연속된 철근이 존재하기 때문에 이러한 슬래브의 휨 현상을 철근이 제지하려고 하여 실제 컬링현상에 의한 변위의 변화는 크게 나타나지 않을 것으로 보여 진다.

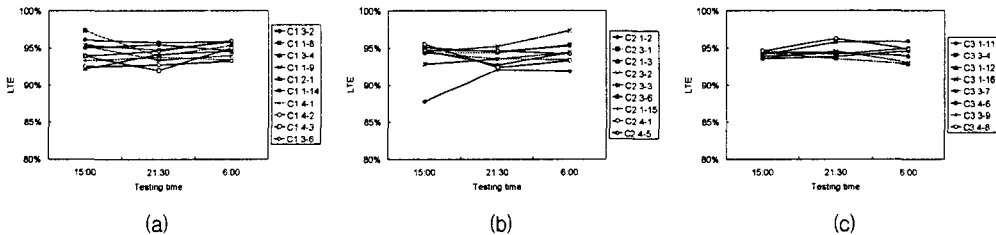


그림 1 LTE와 측정시간과의 관계: (a) C1, (b) C2, (c) C3

각 구간에서 FWD 시험시간에 따른 LTE의 변화를 그림 1에 나타내었다. 철근비가 다른 각 구간에서 측정시간에 따른 LTE의 차이는 매우 작은 것으로 보여 지며 LTE 값이 대부분 95% 정도로 매우 높은 것을 알 수 있다. 그림 1에서 보인 결과를 통해 궁극적으로 측정시간에 따른 연속철근콘크리트포장에서의 LTE의 변화는 매우 작다는 것을 알 수 있다.

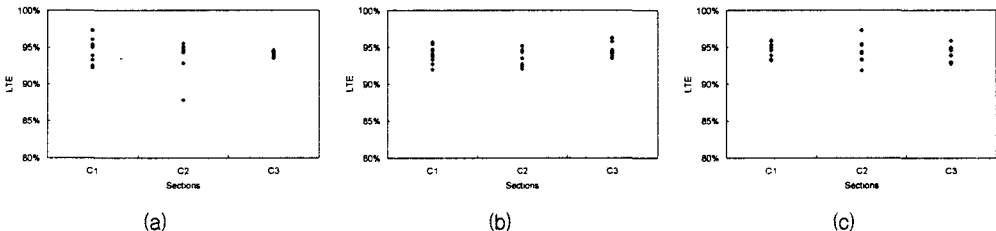


그림 2 동일한 측정시간에서 구간별 LTE: (a) 15:00, (b) 21:30, (c) 6:00

동일한 FWD 시험시간에 다른 철근비를 가지는 구간에서 LTE가 어떤 차이를 보이는지를 그림 2

에 나타났다. 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.

3. 차량 동적하중 재하시험

본 연구에서는 약 30, 50, 80km/h의 속도로 시험차량을 여러 번 주행시키며 변형률을 측정하였다. 그림 3은 C2 구간에서 운전석 쪽 전륜이 게이지 매설 위치를 통과할 때 속도와 최대 변형률과의 관계를 보여준다. 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. 변형률의 절대치를 살펴보면 차량의 속도가 증가할수록 변형률이 감소하는 것을 알 수 있다.

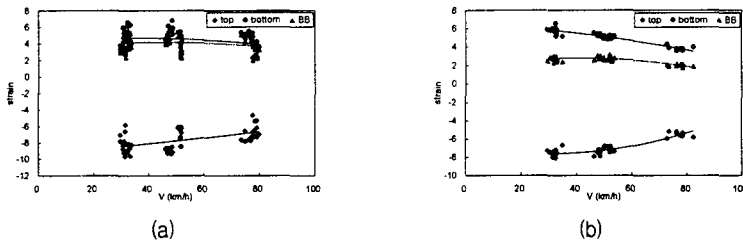


그림 3 차량속도와 변형률의 관계: (a) 안쪽 중앙부, (b) 모서리부

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 3(a)에서 보여 지는 바와 같이 포장 안쪽 중앙부에서 분리층과 슬래브 하부의 변형률과의 차이가 그림 3(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 관계 뿐 만 아니라 탠덤액슬의 중륜과 후륜에 작용하는 하중에 대한 속도와 변형률과의 관계도 분석하였으며 결과는 근본적으로 전륜에 의한 결과와 같은 것을 알 수 있었다 (김성민 외, 2005).

주행이격에 따른 변형률의 변화를 분석한 결과 주행이격이 생기면 변형률이 감소하는 것을 알 수 있었으며 특히 10cm 정도의 주행이격이 생기면 경우에 따라 20% 이상의 변형률의 차이를 보인것을 확인할 수 있었다. 하지만 중륜과 후륜의 포장 중앙부에서의 경우에는 차륜의 접지 면적이 크기 때문에 주행이격이 20cm 정도 이내일 때는 변형률의 차이가 크지 않으며 모서리부에서도 주행이격이 생기면 변형률이 줄어드는 것을 알 수 있으나 중앙부에 비해 그 효과는 감소하며 전륜의 경우 약 20cm, 후륜의 경우 약 30cm의 주행이격에도 변형률의 차이가 크지 않았다. (김성민 외, 2005).

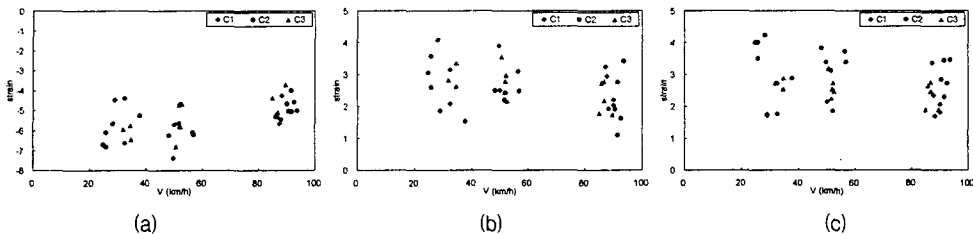


그림 4 철근비에 따른 속도와 변형률의 관계: (a) 슬래브 상부, (b) 슬래브 하부, (c) 분리층 중간

그림 4는 포장 안쪽 중앙부에서 전륜 하중에 대한 각 구간에서의 속도와 변형률과의 관계를 비교

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

4. 환경하중에 의한 횡방향균열 분석

균열수를 이용하여 구간별 평균균열간격을 산출할 수 있다. 각 구간의 거리가 약 84m 이므로 구간의 시작과 끝 부분에 균열이 있다고 가정하면 균열간격은 균열수에 1을 더한 수로 84를 나누면 된다. 그림 5는 조사 시기에 따라 평균균열간격이 감소하는 것을 보여준다. 철근비가 0.6과 0.7%인 C1과 C2 구간은 거의 비슷한 균열간격을 보이고 있는데 반해 철근비가 0.8%인 C3 구간은 균열간격이 확실히 좁은 것을 알 수 있다. CRCP는 철근비가 커지면 철근이 콘크리트의 환경하중에 대한 체적변화를 제지하려는 현상이 커지기 때문에 콘크리트의 인장응력이 증가하게 되고 따라서 더 많은 횡방향균열이 생기게 된다 (Kim et al., 2003). 하지만 본 연구에서 알 수 있는 바와 같이 철근비가 0.6과 0.7%인 경우는 철근비의 효과가 그리 커 보이지는 않지만 0.8%일 때는 다른 구간에 비해 확실히 좁은 균열간격을 보여준다.

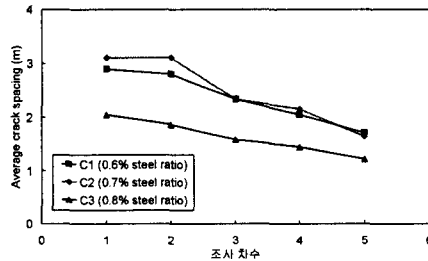


그림 5 조사 시기에 따른 평균균열간격 변화

5. 결 론

- 연속철근콘크리트포장의 횡방향균열부에서의 하중전달률은 대체적으로 매우 높다.
- 측정시간 (또는 온도변화)에 따른 하중전달률의 변화는 매우 작으며 뚜렷한 특징이 없다.
- 하중전달률은 철근비가 다른 구간에서 뚜렷한 차이가 없다.
- 차량속도가 증가하면 콘크리트 슬래브와 분리층의 변형률이 감소하는 경향을 보인다.
- 철근비 변화에 따른 차량 동적하중에 대한 연속철근콘크리트포장의 변형률 변화는 뚜렷하지 않다.
- 환경하중과 밀접한 관련이 있는 횡방향 균열간격은 0.6%와 0.7%의 철근비에서는 비슷하나 0.8% 철근비에서는 현저하게 작은 것을 알 수 있다.

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. (2000). "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.
3. Kim, S. M., Won, M. C. and McCullough, B. F. (2003). "Mechanistic modeling of continuously reinforced concrete pavement," *ACI Structural Journal*, Vol. 100, No. 5, American Concrete Institute, pp. 674-682.