

# FWD를 이용한 시험도로 줄눈 콘크리트 포장의 온도구배에 기인한 거동연구

## A Study on Jointed Concrete Pavement Behavior of Test Road Due to Temperature Gradient Using Falling Weight Deflectometer

유태석\*, 정진훈\*\*, 한승환\*\*\*1)

Yoo, Tae Seok · Jeong, Jin Hoon · Han, Seung Hwan

### 1. 서 론

콘크리트포장은 대기온도의 변화로 인해 포장체 상부와 하부의 변형 차이가 발생하고 이로 인해서 켈링이 발생하게 된다. 또한 유사한 온도구배를 가지더라도 포장체는 강성, 지지력 및 타설 시의 이력 등에 따라 다른 거동을 나타낼 수밖에 없다. 따라서 온도구배에 기인한 포장의 거동을 다수의 콘크리트 슬래브에 대해 수행하여 같은 설계조건에서 시공되었으나 각각의 요소(콘크리트 강성, 지지력 및 타설 조건)들이 어떻게 조사결과에 영향을 주는지 살펴보는 일은 매우 중요한 일이다.

본 연구에서는 시험도로 줄눈 콘크리트 포장에 대한 포장구조진단기(이하:FWD)시험을 통해서 줄눈과 중앙부에서의 시간에 따른 처짐의 변화를 조사하고 역산을 통해 물성 변화양상을 추정하였다. 시험 항목은 일반적인 현장시험에서 수행되는 중앙부 처짐과 지지력, 줄눈처짐과 하중전달율로 대상구간은 시험도로 J4-0, J5-0 및 J6-0단면을 대상으로 하였다. 처짐과 함께 대기온도 및 포장단면 내부에서의 온도를 계측하여 시간에 따른 처짐, 물성 및 온도의 변화를 함께 조사하였다. J4-0, J5-0 및 J6-0는 STA.4+230~STA.4+530에 위치하는 단면으로 콘크리트 슬래브의 두께는 30cm로 동일하고 린콘크리트의 실측 평균 두께가 11.7cm, 16.8cm, 18.3cm이었으며 J4-0과 J5-0은 성토부에, J6-0은 절성부에 위치하는 특징을 가지고 있다. 평판재하 시험에서는 직경 30cm평판을 사용하여 측정된 결과 STA 4+240에서 20.3kg/cm<sup>2</sup>를 STA 4+310에서 18.1kg/cm<sup>2</sup>를 나타내었고 STA 4+450에서 22.5kg/cm<sup>2</sup>를 나타내었다. 처짐 조사는 각 단면별로 5개의 슬래브를 시험하여 총 15개의 슬래브를 대상으로 하였고 시험의 시작과 끝 시간의 차이를 최대한 줄이기 위해서 처음에 줄눈시험만을 실시한 후 중앙시험을 실시하는 방법을 택하였다. 시험은 아침 4시~8시에 3차례의 시험을 오후 12시~6시에 3차례의 시험을 수행하였고 48시간 동안의 거동을 조사하는 방법을 사용하였다.

### 2. 중앙처짐 및 동적지지력

슬래브 중앙에서의 최대처짐은 온도구배가 최대인 시간에 나타났고 최소처짐은 온도구배가 최소인 시간에 나타났으며 동적지지력 및 탄성계수는 반대의 경향을 나타내었다. 이것은 온도구배가 높아질수록 포장 슬래브 상부 팽창량이 하부의 팽창량 보다 커서 위로 볼록한 형태가 되기 때문에 지지상태가 나빠지기 때문으로 동적지지력과 탄성계수의 산정은 기본적으로 온도구배가 없는 상태에서 유도된 식이지만 온도구배로 인하여 포장하부에 부분접착 조건이 발생하는 환경에 적용하는 경우에도 유의할 만한 경향을 얻을 수 있을 것으로 판단되었다.

\* 정회원 · 한국도로공사 도로교통기술원 연구원 · 031-371-3438(E-mail:Taeseok@freeway.co.kr)  
\*\* 정회원 · 한국도로공사 도로교통기술원 책임연구원 · 공학박사 · 031-371-3368(E-mail:jeong@freeway.co.kr)  
\*\*\* 정회원 · 한국도로공사 도로교통기술원 수석연구원 · 공학박사 · 031-371-3365(E-mail:hansu@freeway.co.kr)



정규화된 최대치짐의 시간에 따른 변화는 그림 1과 같은데 여기에서 정규화된 치짐이란 단계별로 다른 하중에 따른 치짐을 4.1tons(9000lb)로 환산하여 구한 치짐이다. 그림에서와 같이 최대치짐은 70~120microns 사이에서 변화를 일으켰고 짐심부근으로 타설시간이 추정되는 J5-0구간에서 가장 큰 진폭을 나타내었으며 저너부근에 타설된 것으로 추정되는 J6-0구간에서 가장 작은 진폭을 나타내었다.

시간의 변화에 따른 동적지지력의 변화양상은 그림 2와 같고 치짐의 변화가 큰 J5-0구간에서 가장 큰 동적지지력의 변화를 나타내었다. 동적지지력의 변화는 3.3~7.1kg/cm<sup>2</sup>사이에서 변화를 일으켰는데 온도구배가 가장 낮은 새벽시간에 최대값을, 온도구배가 가장 높은 낮 시간에 최소값을 나타내었다.

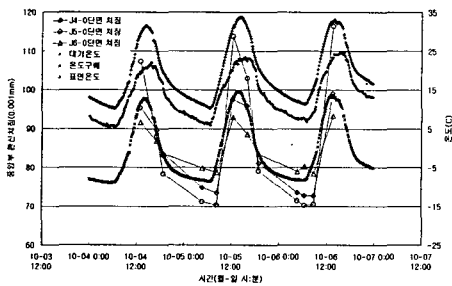


그림 1. 정규화된 최대치짐의 변화양상

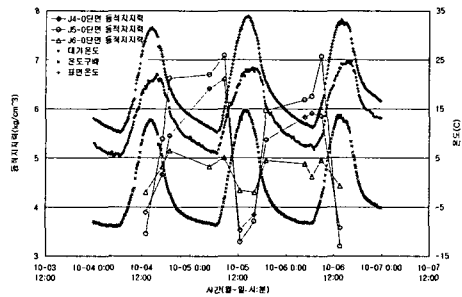


그림 2. 동적지지력의 변화양상

탄성계수의 변화양상은 위에서 적용한 AREA법(AASHTO, 1993)과 역산프로그램인 Elmod 5(Dynatest, 2004)를 사용하여 구하였다. Elmod 5를 사용하는 경우 적용된 물성은 J4-0구간의 경우 표층 두께 30cm, 기층 두께 12cm를 J5-0구간의 경우 표층 두께 30cm, 기층 두께 17cm를 J6-0구간의 경우 표층 두께 30cm, 기층 두께 18cm를 사용하였으며 표층, 기층 및 노상의 포아손 비는 각각 0.15, 0.2 및 0.45를 사용하였다. 사용된 알고리즘은 등가두께법(Method of Equivalent Thickness : 이하 MET)으로 각 층의 탄성계수를 노상과 같은 탄성계수를 가지는 등가두께로 변화시켜 치짐을 구하는 방식으로 알고리즘 구현은 상용 소프트웨어인 Elmod 5를 이용하였다.

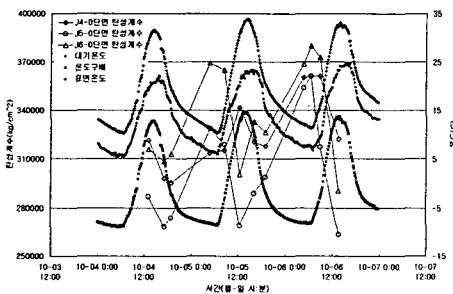


그림 3. AREA법을 사용하는 경우 표층에서 시간에 따른 탄성계수 변화양상

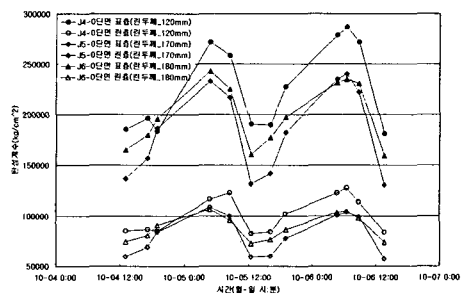


그림 4. MET을 사용하는 경우 표층과 린층에서 시간에 따른 탄성계수 변화양상

AREA법을 사용하는 경우 그림 3과 같이 표층의 탄성계수만을 추정할 수 있으며 MET을 사용하는 경우 그림 4 및 5와 같이 표층, 린층 및 노상층에서의 탄성계수를 추정할 수 있다. 표층의 탄성계수는 AREA법 및 MET법 모두에서 온도구배가 높으면 낮은 값을 온도구배가 낮으면 높은 값을 나타내어 온도구배의 영향에 의한 강성 저하를 모두 반영하고 있는 것으로 판단되었다. 이러한 경향은 기층 및 노상층에서도 나타나는데 표층과 같은 경향으로 탄성계수가 변화하는 것을 관찰할 수 있었다. 다만 AREA법의 경우 MET법과 비교해 볼 때 일관적이지 못한 경향을 나타내어 MET법이 좀 더 합리적인 값을 나타내는 것으로 판단되었다.

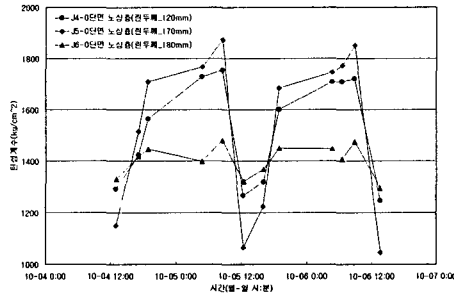


그림 5. MET을 사용하는 경우 노상층에서 시간에 따른 탄성계수 변화양상

### 3. 줄눈처짐 및 하중전달율

시험도로 콘크리트 포장의 중앙부와 함께 동일 슬래브의 줄눈에서 처짐 시험을 실시하였고 차륜이 통과 하는 위치를 대상으로 하였다. 줄눈의 처짐은 중앙과는 반대의 경향을 나타내게 되는데 온도구배로 인한 중앙부의 변위가 상향 최대가 되는 시기에 줄눈부의 변위는 하향 최소가 되는 거동특성을 가지고 있기 때문이다. 이러한 변위는 포장체의 탄성계수, 지지력 및 하중전달 상태에 영향을 받기 때문에 복잡한 양상을 나타낸다. 따라서 이러한 변위는 측정 위치에 따라서도 다른 경향을 보일 수 있으나 본 연구에서는 포장의 평가에 가장 많이 이용되는 차륜 통과부의 거동에 초점을 맞추고 거동의 특이성을 분석하였다.

줄눈에서 정규화된 최대처짐 변화양상은 그림 6과 같이 중앙에서 정규화된 최대처짐과 반대되는 양상으로 온도가 낮은 아침시간에 최대 처짐을 나타내었고 온도가 높은 저녁시간에 최소 처짐을 나타내었다. 그림에서와 같이 처짐의 변화양상은 아침시간에 J5-0, J6-0, J4-0구간의 순서로 최대 처짐을 나타내었고 오후시간에 J6-0, J5-0, J4-0구간의 순서로 최소 처짐을 나타내었다.

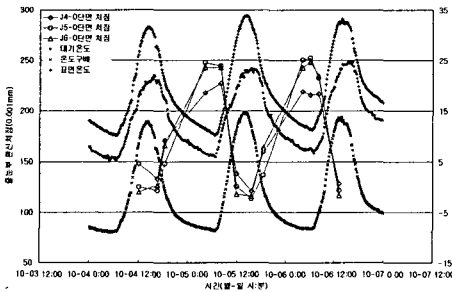


그림 6. 줄눈에서의 정규화된 최대처짐 변화양상

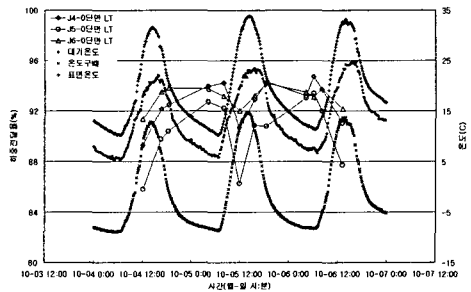


그림 7. 하중전달율 변화양상

줄눈에서의 하중전달율 변화양상은 그림 7과 같이 정리된다. 그림에서와 같이 하중전달율은 아침에 최대 값을 나타낸 후 오후에 접어들면서 급격히 감소하는 경향을 나타내었다. 이는 아침에 발생한 슬래브 줄눈에서의 상향컬링으로 다우웰의 잠김(locking) 현상이 발생하여 다우웰과 슬래브 간의 마찰력이 크게 증가한 후 낮 시간에 상향 컬링이 줄어들면서 마찰력이 감소하였기 때문으로 판단된다.(Davids et al 2003, William et al 2001) 그림에서 점심시간에 타설된 구간에서 하중전달율의 변화가 가장 크게 나타났고 전반적인 하중전달도 낮은 것으로 나타났다. 다우웰 바가 조사된 모든 구간에 설치된 점을 생각하면, 이러한 사실은 다우웰의 설치상태가 반영된 것으로 다우웰이 불량하게 설치된 위치와 양호하게 설치된 위치에서 다우웰 잠김에 의한 하중전달율 변화의 폭이 달랐기 때문으로 판단되나 추가적인 실험 및 이론을 통해 검증해야 할 것으로 판단된다.



#### 4. 결 론

포장구조진단기를 이용하여 시험도로 줄눈 콘크리트 포장의 48시간 연속적인 거동을 조사하였다. 시험은 슬래브의 중앙과 줄눈에서의 처짐을 조사하여 비교하는 방법을 택하였으며 다음과 같은 결론을 도출할 수 있었다.

- 1) 슬래브 중앙부의 최대 처짐은 70~120microns의 범위를 나타내었고 대기온도 및 온도구배와 유사한 경향으로 변화하였으며 최소 처짐과 최대 처짐이 발생하는 시간은 최소 및 최대 온도구배 및 표면온도가 발생하는 시간과 거의 일치하는 것으로 나타났다. 동적지지력은 대기온도 및 온도구배와 반대되는 경향을 나타내며 변화하였다. 동적지지력이 높은 구간의 경우 3.3kg/cm<sup>2</sup>~7.1kg/cm<sup>2</sup>사이에서 변화를 하였으나 동적지지력이 낮은 구간의 경우 4.3kg/cm<sup>2</sup>~5.1kg/cm<sup>2</sup>사이에서 변화를 나타내어 동적지지력이 높을수록 온도구배의 영향을 심하게 받는 것으로 판단되었다.
- 2) 탄성계수의 변화양상을 AREA법과 등가두께법인 MET법을 사용하여 조사하였다. 탄성계수의 변화 동적지지력이 시간에 따라 나타내는 변화와 같은 경향을 나타내어 대기온도가 높을 때 작은 값을 대기온도 및 온도구배가 낮을 때는 큰 값을 나타내었다. 탄성계수의 역산은 AREA법과 MET을 사용하여 계산하는 것 모두 값의 경향은 전체적으로는 같은 것으로 판단되지만 MET을 사용하는 경우 좀 더 합리적인 값을 나타내는 것으로 판단되었다.
- 3) 줄눈의 최대처짐은 대기온도 및 온도구배와 반대되는 양상을 나타내었고 동적지지력 및 하중전달율과 큰 유의성을 나타내지는 않았다. 줄눈에서의 하중전달율은 다우웰 바의 존재로 인해서 전체적으로 큰 변화를 나타내지는 않았으나 오후로 접어들면서 급격하게 하중전달율이 떨어지는 특성을 나타내었다. 이러한 결과는 슬래브의 컬링에 의한 다우웰 바의 잠김 때문에 발생한 것으로 판단되지만 향후 실험 및 이론적인 검증이 필요할 것으로 판단되었다.

#### 참고문헌

1. AASHTO(1993), AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, Washington, D.C.
2. Davids, W.G., Wang, Z., Turkiyyah, G., Mahoney, J.P., and Bush, D.(2003), *Three-Dimensional Finite Element Analysis of Jointed Plain Concrete Pavement with EverFE2.2*, Transportation Research Record 1853, TRB, pp.92-99.
3. Dynatest(2004), *Quick Start Manual - Elmod 5*, Dynatest International A/S.
4. Jeong, J.H. and Zollinger, D.G.(2005), *Environmental Effects on the Behavior of Jointed Plain Concrete Pavements*, Journal of Transportation Engineering, ASCE, No.131, No.2, pp.140-148.
5. William, G.W. and Shoukry, S.N.(2001), *3D Finite Element Analysis of Temperature-Induced Stresses in Dowel Jointed Concrete Pavements*, International Journal of Geomechanics, Vol.1, No.3, pp.291-308.
6. 유태석, 한승환, 서진원, 우정원(2000), *비파괴시험을 통한 콘크리트포장 하부 평가기법 개발*, 도로연 00-23, 한국도로공사 도로교통기술원.
7. 유태석, 한승환, 염상국(2004), *콘크리트포장의 구조적 평가를 위한 기준연구*, 도로교통 PA-04-09, 한국도로공사 도로교통기술원.