



FWD를 이용한 줄눈 콘크리트포장 컬링거동 보정방법의 타당성 연구

Feasibility Study on Calibration Method of Curling Behavior in Jointed Concrete Pavement Using Falling Weight Deflectometer

유 태 석* 이 재 훈**
Yoo, Tae Seok Lee, Jae Hoon

Abstract

Deflections of jointed concrete pavements at test road are monitored during 48 hours. And methods of calibration with respect to curling deflections are suggested. Relations between deflection ratio of center to joint at test time and deflection ratio of center at test time to center at reference time are described by regression. From deflections at test time, deflections transformed to reference time which gives minimum deflections in a day are estimated through regression curves and concluded to propose as a alternative method of curling calibration with more data accumulation.

Keywords : test road, deflection ratio, curling behavior, calibration of deflection

요 지

시험도로 줄눈 콘크리트포장에 대하여 48시간 동안 시간에 따른 처짐의 변화를 측정하였고 이를 이용하여 컬링거동의 보정방법을 도출하였다. 임의 시간 슬래브의 중앙 처짐/줄눈 처짐이 임의 시간 중앙 처짐/기준 시간 중앙 처짐 사이의 관계를 회귀분석을 통해서 얻어내었다. 임의시간에 측정된 처짐으로부터 하루 가운데 최소 처짐이 나타나는 기준시간 처짐으로의 변환은 회귀곡선을 통해 추정하였고 데이터 축적을 통해 컬링거동 보정 방안의 하나로 제시할 수 있을 것으로 판단되었다.

핵심용어 : 시험도로, 처짐 비, 컬링거동, 처짐 보정

1. 서론

컬링거동은 콘크리트 슬래브 내부의 온도구배에 따른 변형에 따라 지지조건이 변화하여 발생한다. 따라서 포장의 상태평가를 위한 FWD 처짐 시험을 수행하는 경우 시간에 따라 다른 응답을 나타내므로 평가결과를 정량적으로 해석하기가 어렵게 된다. 따라

서 컬링이 발생하는 시간을 피하여 시험을 수행하여야 하지만 공용중인 포장에서 측정자가 원하는 시간에 차단을 실시하고 시험하기는 불가능한 경우가 많다. 따라서 컬링거동에 대해서 합리적인 범위에서 보정을 수행하는 것이 필요하며 이에 대한 연구가 이루어져 왔다. 콘크리트포장에 대하여 24시간 동안 2시간 간격으로 중앙과 줄눈에서 시험을 수행하여 보정

* 정회원 · 한국도로공사 도로교통기술원 전임연구원

** 정회원 · 한국도로공사 도로교통기술원 연구원



계수를 제시하였고(Zaghloul의 2004) 온도구배의 함수로 보정식을 제안하기도 하였다(Morales-Valentine의 1987). 또한 평균 슬래브의 온도와 온도구배를 사용하여 최대 처짐을 예측한 후 역산을 수행하였고(Higashi의 1997) 포장 표면온도, 평균 대기온도, 측정시간 및 슬래브의 두께를 사용하여 온도구배를 구하는 식을 제안하고 다시 온도구배를 통해 FWD 각 지점의 처짐을 예측하는 공식을 제안하였다(Tang의 1997). 온도정보를 이용하여 컬링을 예측하는 방법은 합리적이지는 않지만 온도의 예측 자체가 오차를 가지고 있을 가능성이 있고 각각의 입력 변수 자체가 구하기 힘든 경우도 생길 수 있다. 따라서 2004년도에 Zaghloul 등이 발표한 방법이 간편하면서도 합리적인 것으로 판단되는데 다만 방법 자체에 대한 검증이 필요하고 예측 식 도출방식에 대한 검토가 필요하며 이렇게 얻어진 방법을 통해서 얻어진 물성이 어느 정도 보정효과가 있는지에 대한 검토가 부족해 추가적인 연구가 필요한 것으로 판단되었다. 앞서의 연구를 수행하기 위해서는 콘크리트포장의 컬링거동을 연속적으로 계속하는 일이 필수적이며 시험도로는 이러한 조건을 가장 잘 갖추고 있는 장소이다. 본 연구에서는 시험도로 콘크리트포장에 대하여 48시간 계속을 수행하여 시간에 거동을 정밀하게 조사하고 이를 기초로 컬링거동을 합리적으로 예측하고 보정하기 위한 방법을 제안하였다.

2. 시험방법

시험은 FWD(Falling Weight Deflectometer)를 사용하여 처짐 데이터의 연속적인 변화를 조사하는 방법으로 수행하였다. 처짐 계측은 중앙과 줄눈의 중앙 및 바퀴통과 지점(wheel path)에서 수행되었고 중앙 처짐을 이용하여 동적지지력을 계산하였다. 시험구간은 2004년도 10월에 유사한 시험을 수행한 구간으로 동상방지층 생략구간인 J4-0, J5-0 및 J6-0단면을 대상으로 하였다. 본 구간의 포장 슬래

브의 두께는 30cm로 동일하지만 린 콘크리트의 두께가 다르게 시공되어 지지력의 크기가 다르고 3개의 구간이 인접하게 시공되어 타설 시간 차이에 따른 영향을 비교할 수 있는 특징을 가지고 있으며 특히 4월에 측정을 실시하므로 계절적인 영향을 관찰할 수 있기 때문에 시험구간으로 재선정하였다. 본 시험에서는 최초의 시험에 줄눈부 중앙에서의 시험을 추가하여 각 시험이 얼마나 다른 결과를 낳는지 비교하였다.

시험대상은 시험시간의 변화에 따른 영향을 관찰하기 위해서 1개의 시험주기는 컬링으로 인한 변화가 최소화되도록 각 단면별로 3개의 슬래브를 시험하여 총 9개의 슬래브를 대상으로 하였다. 시험은 컬링이 심하게 발생하는 아침 6시부터 저녁 6시까지 1시간 30분 간격으로 하루 9번의 시험을 수행하여 48시간 동안 19회의 시험을 실시하였다. 시험절차는 먼저 차량방향으로 슬래브의 중앙으로 이동하면서 각 슬래브의 중앙과 줄눈의 중앙을 타격하여 18개소에 대한 시험을 실시하고 처음으로 돌아와 바퀴통과 지점 9개소를 타격하였고 마지막에 최초의 슬래브 중앙에 대해서 시험을 수행하는 방법으로 1회 시험에 총 28개의 데이터가 생성되도록 하였다. 또한 장비의 운용시간을 최적화하기 위해서 3단계 및 4단계의 하중을 2회씩 총 4회 타격하는 방법을 사용하여 1회 시험에 112회를 타격하여 19회 시험에 2,128개의 데이터를 얻어내었다.

3. 시간에 따른 처짐 값의 변화

슬래브의 중앙에서 얻어진 처짐과 중앙에서 30cm, 60cm 및 90cm 떨어진 지점에서 얻어진 처짐을 4.1tons(9000lb)로 환산하여 그림 1 및 그림 2와 같이 나타내었다. 처짐의 환산은 선형 비례관계를 이용하여 서로 다른 하중에서 얻은 처짐을 단일 하중에 대한 처짐으로 환산하였다. 그림 1은 슬래브 중앙의 하중 재하 지점에서 얻어진 처짐으로 최대 처짐은 대기온도 및 온도구배가 최대가 되어 중앙부가

솟아오르고 단부 및 줄눈은 가라앉는 형태가 되는 시기에 최소 처짐은 대기온도 및 온도구배가 최소가 되어 중앙부가 가라앉고 단부 및 줄눈이 솟아오르는 형태가 되는 시기에 발생하였다. 처짐의 양상을 2004년 10월에 시험도로에서 측정한 결과 및 2000년 2월에 송악에서 측정한 결과와 비교하였다(유태석 외 2000, 2006). 비교의 편의상 각 시험결과의 년과 월은 2006년 시험 날짜를 기준으로 바꾸고 시간만 당시의 것을 사용하여 비교한 결과 유사한 처짐 양상을 나타내었고 특히 2004년 결과는 컬링에 따른 변화를 관찰하기에는 시간의 간격이 다소 길었던 것으로 판단되었다.

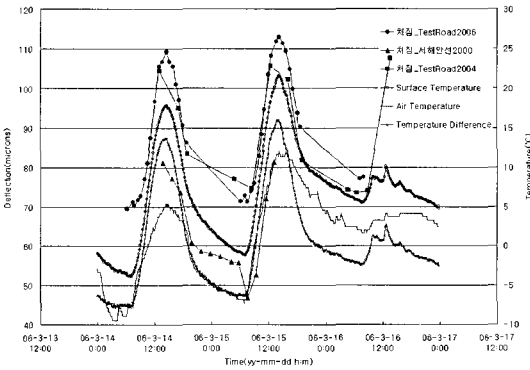


그림 1. 정규화된 최대처짐의 변화양상

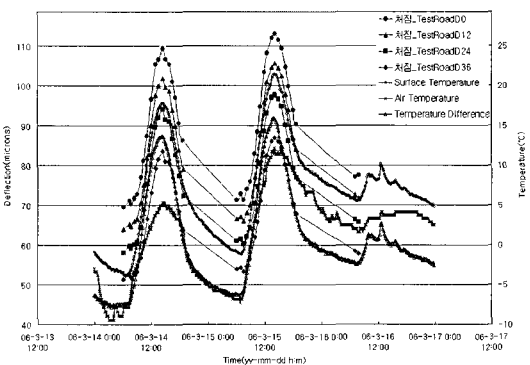


그림 2. 처짐 위치별 정규화된 처짐의 변화양상

그림 2는 2006년 시험을 기준으로 하중 재하판에서 30cm, 60cm 및 90cm 떨어진 지점에서 얻어진 처짐의 경향을 하중재하판 처짐과 비교한 것으로 처

짐의 절대 값에서 차이가 있을 뿐 유사한 양상을 보이는 것으로 관찰되었다. 그림에서 D0, D12, D24, D36은 중앙에서 0, 12, 24, 36 inch 떨어진 지점의 처짐을 의미한다.

시간에 따라 처짐이 변화하고 이를 통해 역산되는 동적지지력 또한 변화하게 되므로 임의시간의 측정 결과만으로는 해당 포장에 가지고 있는 물성을 추정하기 힘들게 되기 때문에 상대적인 비교나 정성적인 판단 이상을 하기는 힘들게 된다. 따라서 상대적인 비교를 넘어 슬래브의 상태를 정량적으로 비교하기 위해서는 처짐을 보정하여 물성을 역산하는 절차가 필요한 것으로 판단되었다.

4. 컬링보정의 원리와 방법

컬링보정은 FWD를 통해 얻어지는 처짐에 대한 보정을 통해 수행하였다. 처짐의 보정은 임의 시간에 얻어지는 처짐을 정보로 이용하여 컬링이 없는 시간에 얻어질 수 있는 처짐을 추정하는 것을 일컬으며 이를 위해서는 컬링이 없는 경우 지반의 지지상태에 대한 정보를 알기 위한 시험이 필요하다. 이 정보는 줄눈부 차륜 통과지점에서 하중전달을 얻기 위해 측정하는 처짐을 통해서 추정할 수 있다. 즉 낮 시간에 시험을 수행하는 경우 중앙부는 지지상태를 나타내는 정보를 얻기 힘들지만 줄눈의 경우는 하부와 접촉하게 되므로 지지상태에 대한 정보를 제공할 수 있을 것으로 판단하였다.

본 연구에서는 처짐에 미치는 요소는 여러가지이지만 슬래브의 크기와 두께가 같은 경우 포장슬래브의 중앙과 줄눈에서의 처짐이 이루는 비율은 일정하고 탄성계수와 다우웰 바의 물성변동에 의한 비율의 변동 효과는 크지 않은 것으로 가정하였다. 이 경우 임의의 시간에 얻은 처짐 비는 컬링의 정도를 나타내는 지표로 사용될 수 있는데 컬링의 지표는 임의 시간에 얻은 처짐이 기준시간에 얻는 처짐과의 비율(임의시간 처짐/기준시간 처짐)로 정하였다. 컬링이



커질수록 이 비율은 증가하게 되고 기준시간에 가까울수록 1에 가깝게 되는데 기준시간이란 슬래브와 지반의 접촉이 최대가 되는 시간으로 약속하였고 이 경우 처짐은 컬링의 형상에 관계없이 최소가 된다.

컬링보정의 역학적 원리는 컬링이 없는 상태에서 중앙 처짐은 최소가 되고 줄눈의 처짐은 최대가 되며 컬링이 발생함에 따라 반대의 거동을 보이는 것과 관련이 있다. 컬링이 없는 경우 중앙과 줄눈의 처짐 비는 최대가 되고 대신 중앙 처짐은 기준시간에 가장 가깝게 되므로 임의시간 중앙 처짐과 거의 동일해져 1에 가깝게 된다. 그리고 컬링이 발생하면 중앙과 줄눈의 처짐 비는 점차 줄어들지만 기준시간 중앙 처짐에 대한 임의시간 중앙 처짐의 비율은 증가하게 된다.

본 연구에서는 임의시간 슬래브 중앙 처짐과 줄눈 처짐의 비율과 임의시간 슬래브 중앙 처짐과 기준시간 슬래브 중앙 처짐의 비율이 상호관계를 가지는지를 시험도료를 통해서 조사하고 관계식을 도출하여 이를 이용하여 컬링보정을 수행하기로 하였다.

5. 시간에 따른 처짐 비율의 변화

줄눈에서 정규화된 최대처짐 변화양상은 중앙에서 정규화된 최대처짐과 반대되는 양상으로 온도가 낮은 아침시간에 최대 처짐을 나타내고 온도가 높은 저녁시간에 최소 처짐을 나타낸다. 그리고 중앙에서의

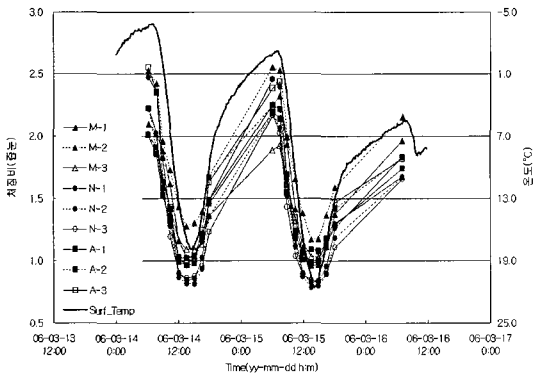


그림 3. 차륜 통과지점의 처짐비

처짐은 줄눈에서의 처짐과 반대되는 경향을 나타낸다. 따라서 두 처짐의 비율(줄눈처짐/중앙처짐)은 시간에 따라 변화하며 그림 3과 같은 경향을 나타내었다. 또한, 임의시간에 중앙지점에서 얻어지는 처짐을 최소 처짐으로 나누어 비율을 구하는 경우 그림 1 및 그림 2와 유사한 처짐 곡선을 얻을 수 있다.

줄눈 콘크리트포장의 거동은 온도구배에 의한 영향을 크게 받으며 본 구간의 경우 측정 전날에 약간의 눈이 와서 새벽시간에 포장표면에 쌓여 있다가 측정당일 온도가 올라가면서 모두 녹았고 측정 시작일과 다음날은 일교차가 크게 나타났으며 마지막 날은 새벽에 비가 와서 포장의 표면이 모두 젖어 다양한 기후 환경에서 시험을 수행할 수 있었다.

그림에서 M은 아침시간에 타설된 것으로 추정되는 구간을, N은 점심시간에 타설된 것으로 추정되는 구간을, A는 저녁시간에 타설된 것으로 추정되는 구간을 이야기하며 뒤의 숫자는 각 구간별 슬래브의 번호를 이야기한다. 그림에서 타설 시간을 구분한 이유는 시공변형(Built in temperature)이 처짐 시험에 미치는 영향을 비교하기 위해서이다. 타설 시간에 따라 시공변형의 정도가 다르기 때문에 거동이 다르게 되는데 본 연구에서는 이러한 영향이 컬링 보정에 얼마나 많은 영향을 미치는지 검토하였다.

줄눈의 처짐을 중앙의 처짐으로 나누어 구한 처짐 비는 그림에서와 같이 대체적으로 줄눈의 처짐 양상을 따라가게 되는데 컬링이 최소가 되는 곳에서 가장 큰 값을 나타내고 컬링이 최대가 되는 곳에서 가장 작은 값을 가지는 경향을 보인다. 그리고 이 비율은 표면온도의 변화와 유사한 형태를 나타낸다.

6. 온도구배에 따른 처짐 보정

중앙과 줄눈의 처짐 비율과 중앙에서 기준시간 처짐에 대한 임의시간 처짐 비율의 변화를 시간에 따라 대응시켰으며 최대 처짐에 대해서 그림 4와 같은 결과를 나타내었다. 그림에서와 같이 처짐 비율이 일정



값 이상이 되는 경우 중앙 처짐 비율의 변화는 거의 없었으며 그 이하에서는 곡선의 형상을 가지고 줄어드는 경향을 나타내었다. 본 연구에서는 마이크로소프트 엑셀 소프트웨어를 사용하여 최적곡선을 얻어 내었고 식 1과 같이 표현되었다.

최적곡선을 6차식으로 표현한 이유는 지수곡선, x 의 누승 곡선, 로그곡선을 통해서 만족스러운 상관성을 얻지 못하였고 2~5차 곡선을 통해서도 전체적인 데이터의 분포양상을 표현하지 못하는 것으로 판단하였기 때문이다. 곡선의 양상이 복잡한 이유는 컬링이 발생하지 않는 부분과 컬링이 발생하는 부분을 하나의 곡선으로 표현했기 때문에 데이터가 분포하는 범위를 넘으면 왜곡된 결과를 낳을 수 있다. 따라서 향후의 연구를 통해서 실용적인 대표곡선의 제시가 필요한 부분으로 판단되나 본 연구에서는 컬링 지표 간에 합리적인 상관성이 존재하는지를 검토하기

위해 다항식을 제안하였다.

하중재하지점에 대하여 실측 처짐 비와 예측 처짐 비와 비교한 결과는 그림 5와 같이 나타났다. 더불어 하중재하지점에서 30cm, 60cm 및 90cm 떨어진 곳에서의 상관 곡선을 같은 방법으로 도출하였고 식 2~식 4와 같이 표현되었으며 상관성 지수는 0.9를 상회하여 비교적 높은 상관성을 가지는 것으로 나타났다.

$$y_{00} = 0.0110x^6 - 0.1850x^5 + 1.2905x^4 - 4.8032x^3 + 10.161x^2 - 11.714x + 6.8148 \quad (R^2 = 0.9365) \quad \langle \text{식 1} \rangle$$

$$y_{12} = 0.0125x^6 - 0.2089x^5 + 1.4426x^4 - 5.3059x^3 + 11.077x^2 - 12.601x + 7.1828 \quad (R^2 = 0.9296) \quad \langle \text{식 2} \rangle$$

$$y_{24} = 0.0183x^6 - 0.3006x^5 + 2.0235x^4 - 7.2001x^3 + 14.416x^2 - 15.605x + 8.2557 \quad (R^2 = 0.9226) \quad \langle \text{식 3} \rangle$$

$$y_{36} = 0.0246x^6 - 0.4017x^5 + 2.6793x^4 - 9.3807x^3 + 18.312x^2 - 19.128x + 9.5041 \quad (R^2 = 0.9122) \quad \langle \text{식 4} \rangle$$

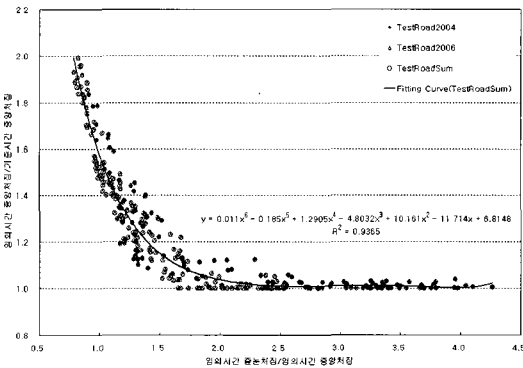


그림 4. 하중재하지점의 처짐비 상관관계

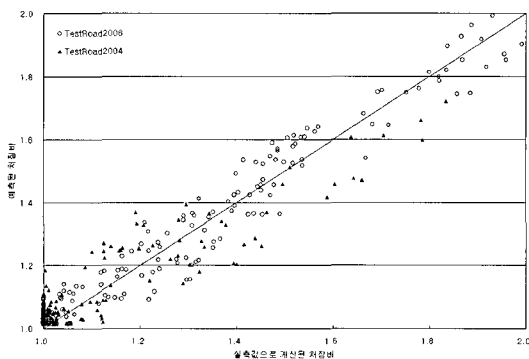


그림 5. 실측 처짐 비와 예측 처짐 비의 비교

7. 동적지지력의 역산

예측된 처짐을 이용하여 동적지지력을 계산하였고 회귀식 도출에 사용된 2004년 10월 및 2006년 3월에 얻은 데이터를 이용하여 비교하였다. 지지력의 경우 식 1~식 4를 사용하여 예측된 4개의 처짐을 사용하여 계산하는 경우 통계적 처짐 환산식을 사용함에 따라 비현실적인 값을 나타내는 경우가 많이 발견되었다. 따라서 AASHTO에서 제시(AASHTO, 1993)하는 AREA법을 사용하여 구해지는 지지력의 경우 최대처짐 환산공식을 나머지 처짐에도 적용하여 구하는 것이 더 나은 결과를 낳는 것으로 판단되었다.

그림 6~그림 8은 시간별 실측 지지력을 실측한 최대지지력으로 나누어 보정 전으로 나타내고 시간별 예측 지지력을 실측한 최대 지지력으로 나누어 보정 후로 나타내어 비교한 결과이다. 또한 타설 시간



의 영향을 비교하기 위해 아침, 점심 및 저녁에 타설된 것으로 추정된 것으로 판단되는 구간으로 나누어 보정효과를 비교하였고 아침은 M, 점심은 N, 저녁은 A로 표시하여 구분하였으며 2004년에 시험한 구간과 2006년에 시험한 구간으로 나누어 나타내었다. 특이한 점은 저녁에 타설된 것으로 추정되는 구간의 경우 온도변화에 따른 동적지지력의 변화가 크지 않은데(유태석 외, 2006) 보정 지지력이 실제 값을 과대평가하는 특징을 나타내고 있었으며 타설 시간과

관련이 있는지에 대해서는 향후 추가적인 연구가 필요한 것으로 판단된다.

또한 2004년의 경우 동적 지지력의 추정 값은 실제 값과 다소 가까워지는 경향을 보이지만 2006년의 경우만큼 뚜렷한 모습을 보이지는 않았다. 이러한 이유는 2004년의 측정방식이 줄눈의 처짐을 측정 한 후 중앙을 측정하는 방식을 채택하여 중앙의 처짐을 먼저 측정한 2006년 시험방식과 차이가 있기 때문에 회귀공식에서 다른 효과를 나타내었기 때문에 판

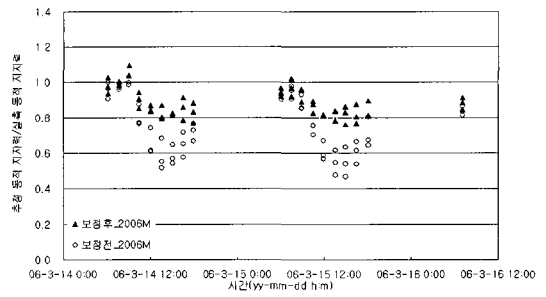
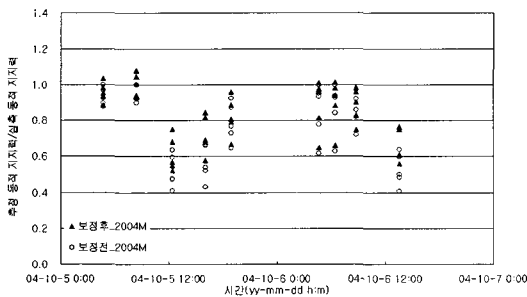


그림 6. 아침타설 추정구간 처짐 보정 후 지지력의 변화

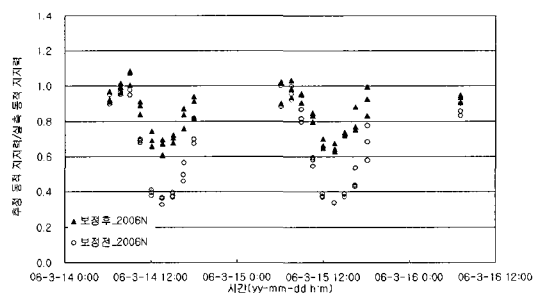
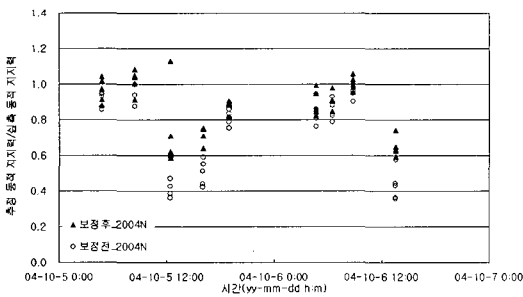


그림 7. 점심타설 추정구간 처짐 보정 후 지지력의 변화

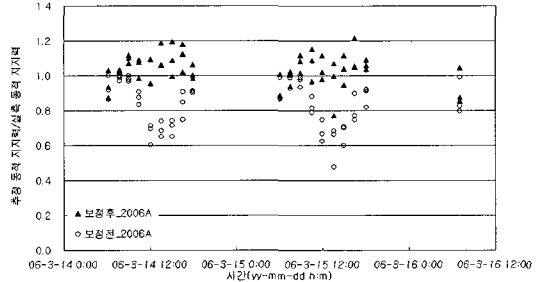
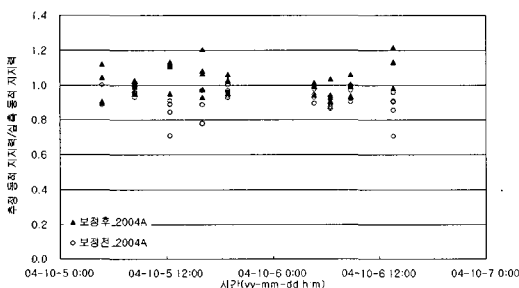
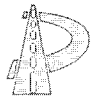


그림 8. 저녁타설 추정구간 처짐 보정 후 지지력의 변화



단되며 이로 인해 실제보다 컬링이 과소평가된 것으로 판단된다. 따라서 향후 추가연구를 통해서는 측정 방법의 표준화를 통해서 더욱 신뢰성 있는 결과를 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

8. 결론 및 향후과제

온도구배를 받는 콘크리트포장의 48시간 연속적인 거동을 시험도로를 통해서 조사하였다. 시험은 슬래브의 중앙과 줄눈에서의 FWD를 이용한 처짐을 조사하여 비교하는 방법을 택하였고 다음과 같은 결론을 도출할 수 있었다.

- 1) 임의시간 줄눈의 처짐을 중앙의 처짐으로 나누어 계산된 처짐 비는 시간에 따라 변화하였다. 변화의 경향은 줄눈 처짐의 시간에 따른 변화와 유사하게 나타났고 임의 시간 중앙 처짐을 기준시간 중앙 처짐으로 나누어 계산된 처짐 비의 변화와 반대되는 양상을 보였다.
- 2) 임의 시간 줄눈에서 얻어진 처짐을 중앙에서 얻어지는 처짐으로 나누어 구한 비율과 임의시간 중앙 처짐을 기준시간 중앙 처짐으로 나누어 얻어지는 비율 사이에는 상관성이 존재하는 것으로 나타났다. 상관성의 정도는 비교적 높게 나타났고 임의시간 줄눈처짐/임의시간 중앙처짐이 낮아질수록 임의시간 중앙처짐/기준시간 중앙처짐은 급속히 증가하였고 일정 값 이상이 되는 경우 1에 수렴하는 것으로 나타났다.
- 3) 처짐의 보정 후에 AREA법을 사용하여 동적 지지력을 계산하는 경우 4개의 처짐에 각각 다른 처짐 환산공식을 적용하여 얻어진 처짐을 이용하여 계산하는 것 보다는 하중재하지점 처짐에 대한 환산공식을 4개 처짐의 환산에 적용하여 계산하는 경우 더욱 합리적인 결과를 얻는 것으로 판단되었다.
- 4) 동적지지력 추정결과를 타설 시간에 따라 구분하여 조사한 결과 저녁에 타설된 구간에서 과대평

가하는 경향을 보였는데 이 구간은 동적지지력의 변화가 심하게 나타나지 않은 구간으로 타설 시간에 기인하는지에 대해서는 향후 추가적인 연구가 필요하다.

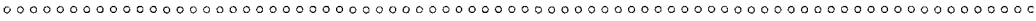
- 5) 본 시험에서 2006년의 시험결과에 비해서 2004년의 시험결과는 비교적 지지력의 보정 효과가 크지 않았다. 이러한 결과는 시험방법의 차이점과도 관련이 있을 것으로 판단되며 향후 다양한 단면에 대하여 표준화된 시험방법의 적용을 통해 처짐 환산 공식을 검토하는 과정이 필요할 것으로 판단되었다.

감사의 글

본 논문은 건설교통부의 국책과제인 “한국형 포장설계법 개발과 포장성능 개선방안 연구”의 일부 결과로서, 본 연구가 성공적으로 수행되도록 지원하여 준 건설교통부에 감사를 드립니다.

참고문헌

1. AASHTO(1993), Guide for Design of Pavement Structures, AASHTO, Washington, D.C.
2. Morales-Valentin, G. E., Meyer, A. H. and Hudson, W. R.(1987), “Temperature Differential Effect on The Falling Weight Deflectometer Used for Structural Evaluation of Rigid Pavements, Center for Transportation Research”, *Research Report 460-1*.
3. Higashi, S., Matsui, K. and Nishizawa, T.(1997), “Effect of Temperature Gradient in Concrete Pavement Slab on Backcalculated Moduli”, *6th International Purdue Conference on Concrete Pavement, Volume 2*, pp.115~126.
4. Tang, B. and Sugano, K.(1997), “Temperature Effects on FWD Measurements of Concrete Pavement”, *6th International Purdue Conference on Concrete Pavement, Volume 2*, pp.127~138.
5. Zaghoul, S., Marukic, I. and Vitillo, N.(2005),



“Impact of Slab Curling on Backcalculation Analysis”, *8th International Conference on Concrete Pavements*, pp.995~1011.

6. 유태석, 정진훈, 한승환, 심종성(2006), 온도구배에 의한 시험도로 줄눈콘크리트 포장의 동적응답, 한국 도로학회 논문집, 제8권 제1호, pp.25~32.

7. 유태석, 한승환, 서진원, 우정원(2000), 비파괴시험을 통한 콘크리트포장 하부 평가기법 개발, 도로연 00-23, 한국도로공사 도로교통기술원.

접 수 일: 2006. 6. 8
심 사 일: 2006. 8. 18
심사완료일: 2006. 8. 31