

시험도로 데이터를 이용한 줄눈 콘크리트 포장의 거동 분석

Analysis of JCP Behavior with Data Collected in KPRP Test Road

류성우¹⁾ · 이재훈²⁾ · 박민영³⁾ · 조윤호⁴⁾

Ryu Sung Woo · Lee, Jae Hoon · Park, Min Young · Cho, Yoon Ho

1. 서론

콘크리트 포장 파손에 영향을 주는 요인으로 교통하중과 환경하중으로 구분된다. 교통하중은 주행하는 차량 하중이며 환경하중은 포장체 내의 온도 및 습도 변화를 의미한다. 환경하중으로 인한 포장파손은 컬링과 같이 직접적인 원인이 되는 경우도 있으며 포장체의 지지력 약화, 재료 열화 등과 같이 간접적인 원인이 되기도 한다. 이와 같이 포장체의 공용성에 영향을 주는 환경 하중의 역학적 특성을 이해하고 이를 설계에 반영할 수 있다면 한단계 진보한 포장 설계가 될 것이다.

본 논문에서는 습도변화는 제외하고 시험도로에서 측정된 온도 변화에 따른 줄눈 콘크리트 포장의 거동 데이터를 이용하여 그 거동 특성을 분석하였다.

2. 시험도로 현장 데이터 측정

본 연구에서는 시험도로에 묻힌 온도 계측기, 변형률 계측기(Strain gauge), 변위 계측기(Crack gauge) 데이터를 획득하였다. 이를 이용하여 2003년 11월과 2007년 5월의 온도 및 하부층 조건에 따른 콘크리트 포장의 거동을 분석하였다. 2003년 11월에는 표층 30cm, 린 콘크리트 15cm 구간에서 포장체의 줄눈부의 수평 변위와 수직 변위를 측정하여 온도에 따른 포장체의 변화를 살펴보았다. 2007년 5월에는 표층 30cm로 동일하지만 기층이 린콘크리트 층, 아스팔트안정처리 층, 골재 층으로 된 구간과 린콘크리트 층 위에 표층이 25, 30, 35cm 구간의 슬래브 내에 묻힌 변형률 게이지의 데이터를 측정하여 거동 특성을 관찰하였다.

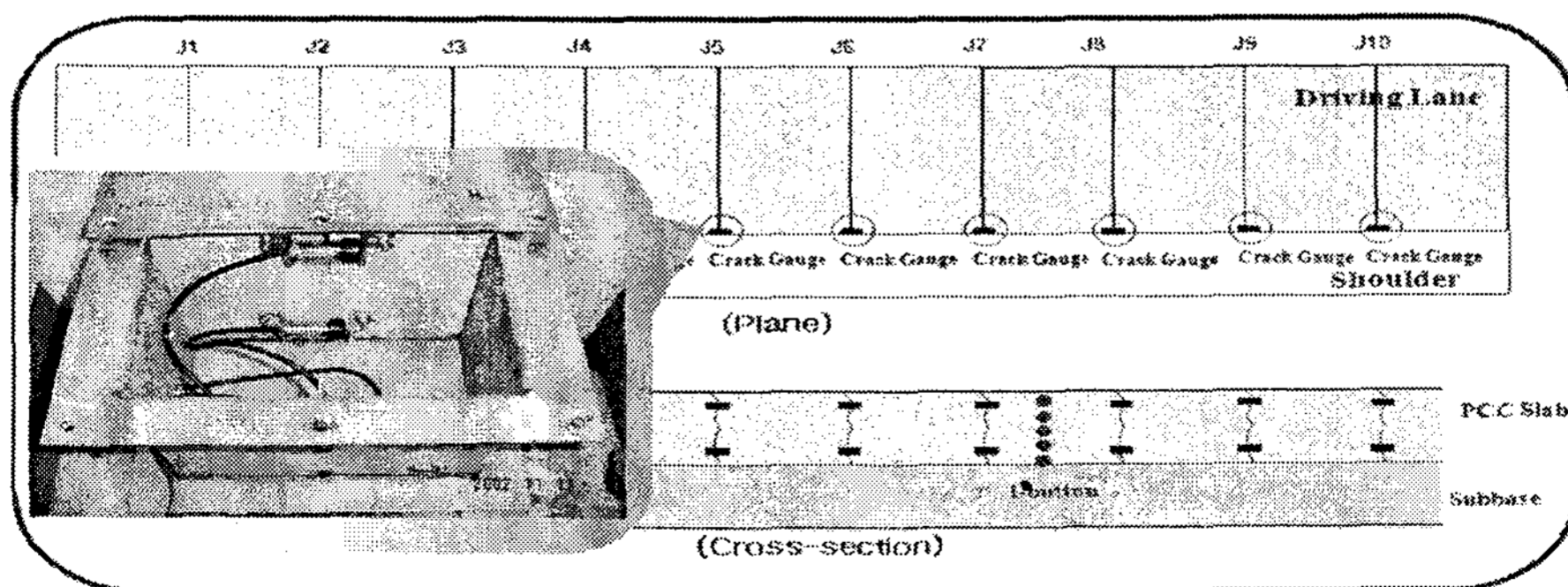


그림 1. 줄눈부 수평 변위 측정 계측기

1) 정회원 · 중앙대학교 건설환경공학과 박사과정 · 02-816-0251(E-mail : htsw@naver.com)
 2) 정회원 · 한국도로공사 도로교통기술원 연구원 · 031-371-3411(E-mail : ranian74@naver.com)
 3) 비회원 · 중앙대학교 건설환경공학과 석사과정 · 02-816-0251(E-mail : ttipmy@nate.com)
 4) 정회원 · 중앙대학교 건설환경공학과 정교수 · 02-820-5336(E-mail : yhcho@cau.ac.kr)

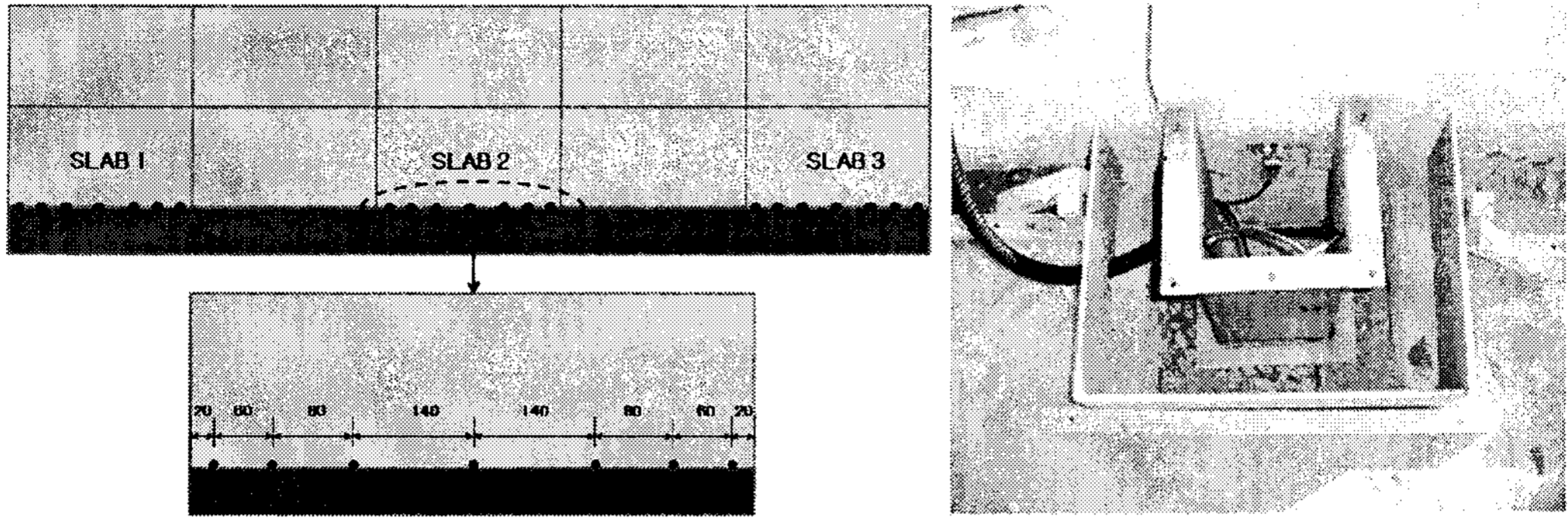


그림 2. 길어깨부 컬링 변위 측정 계측기

3. 데이터 분석

3.1 온도 데이터

포장체의 깊이에 따라 묻힌 온도 계측기를 통해 얻은 2003년도 11월 온도 데이터를 분석한 결과 그림 3과 같다. 표면으로부터 3cm 정도 깊이에서는 8℃ 정도에서 22℃ 까지 14℃의 변화폭을 갖는 반면 깊이 27cm 정도에서는 12℃에서 15℃까지 약 3℃ 정도 내에서 변화하는 것을 알 수 있다.

새벽에 포장체 온도가 떨어지다 아침 7시가 되면 최하의 온도 상태가 된다. 이후 해가 뜨면서 급격히 포장체의 온도가 상승하여 오후 2시가 되면 최대에 이르는 것을 확인할 수 있다.

이러한 온도 변화를 겪는 줄눈 콘크리트 포장에서는 슬래브의 상하부 온도 차에 따른 컬링 응력이 발생한다. 따라서 11월과 5월의 온도 데이터를 바탕으로 슬래브 상하부 온도차를 계산하였다. 슬래브 상하부 온도차는 Mohamed and Hansen 이 제안한 식을 이용하여 분석한 결과와 최상부 온도와 최하부 온도의 차이를 계산한 것을 비교하였다.

Mohamed and Hansen 이 제안한 식은 그림 4와 같이 슬래브 깊이의 중심을 원점으로 하여 좌표를 잡는다. 각 깊이별 데이터를 이용하여 식 (1)과 같은 3차 회귀식을 만든다. 회귀식의 각 계수들 중 B 값과 D 값을 이용하여 식 (2)와 같이 등가 온도차를 구한다.

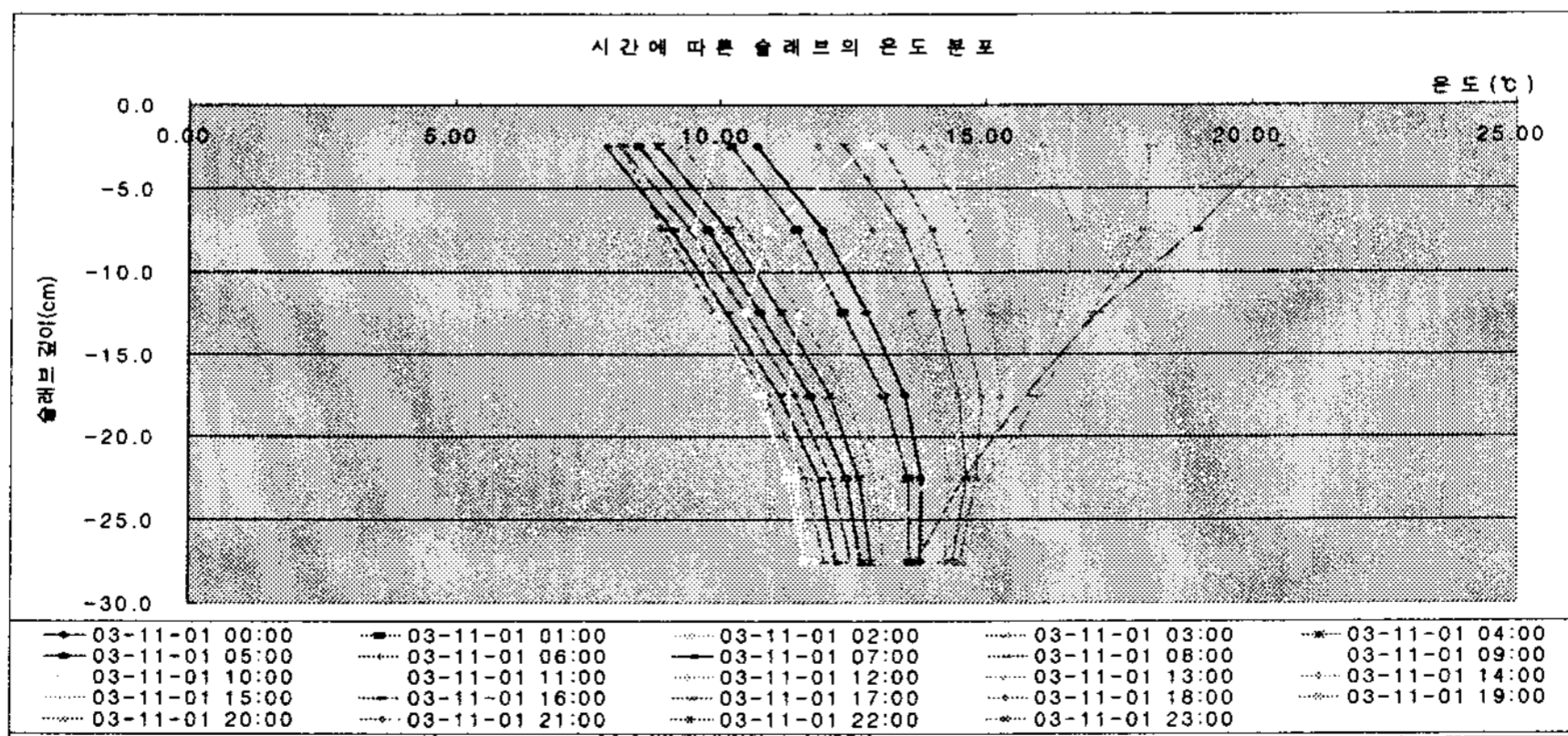


그림 3. 길어깨부 컬링 변위 측정 계측기

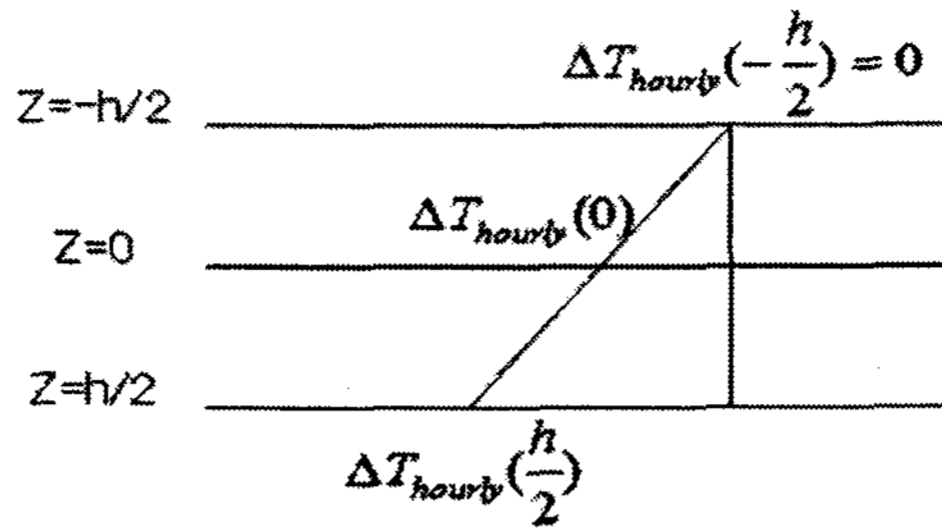


그림 4. 슬래브 깊이의 중심을 기준으로 좌표 설정

$$\Delta T_{hourly}(z) = A + Bz + Cz^2 + Dz^3 \quad \text{식 (1)}$$

$$(\Delta T_{hourly})_{eq} = -\frac{12M^*}{\alpha h^2} = -12 \left(\frac{Bh}{12} + \frac{Dh^3}{80} \right) \quad \text{식 (2)}$$

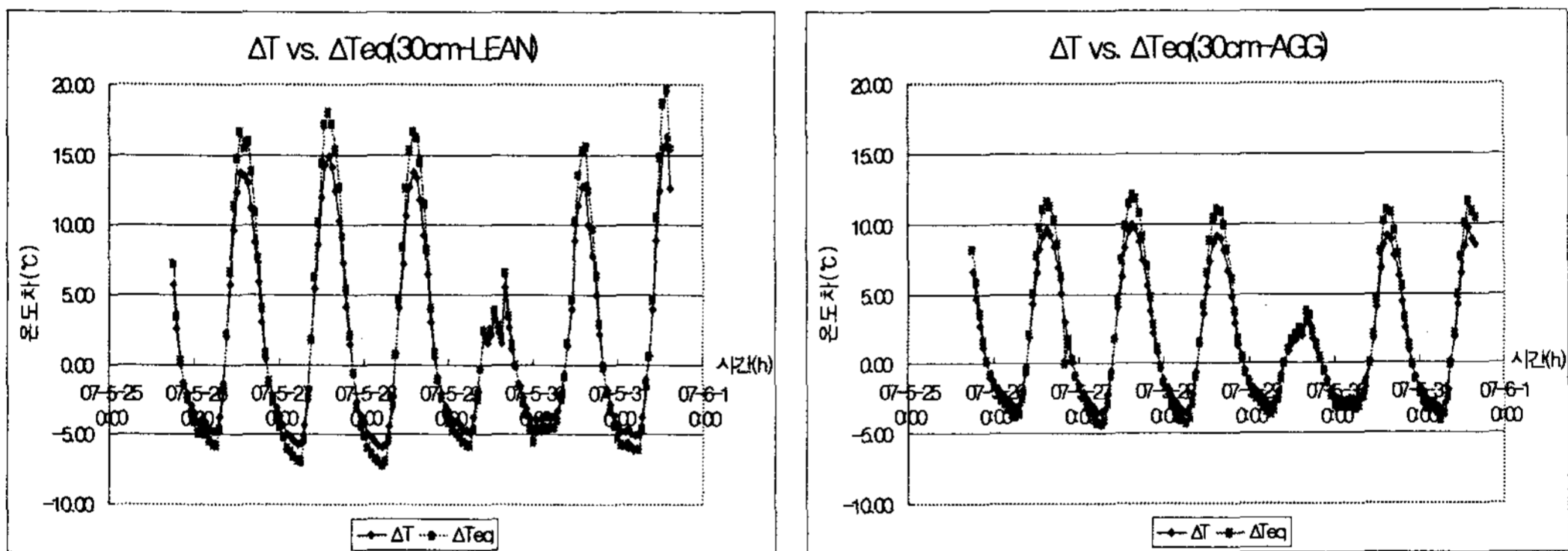


그림 5. 슬래브 깊이의 중심을 기준으로 좌표 설정

그림에서 알 수 있듯이 상하부의 온도차는 Mohamed and Hansen이 더 크게 평가하는 것을 알 수 있다. 또한 동일한 날이더라도 위치에 따라, 하부 상태에 따라 상하부의 온도차가 다름을 알 수 있다.

3.2 수평 변위

그림 1에서와 같이 슬래브의 상하부에 묻힌 변위 계측기를 이용하여 줄눈부 10개에서 변위를 측정하였다. 이를 정리한 것이 그림 6이다. 여기서, “0” 점은 ΔTeq가 “0”일 때의 변위를 기준으로 삼았으며 그래프에서의 변위는 기준에 대한 상대적인 값들이다. 10개의 데이터중 약 4개의 값이 나머지 6개의 데이터에 비해 상대적으로 변위가 컸다. 이러한 원인을 고찰한 결과, 슬래브의 1차 줄눈 터짐과 2차 줄눈 터짐이 발생한 것의 차이임을 확인하였다. 그림 6은 평균을 값을 나타낸 것으로 온도가 상승하면 줄눈부가 닫히는 것을 데이터를 이용해 검증하였다. 줄눈부의 폭이 최소가 될 때는 슬래브 상부가 최고가 되는 오후 2시~3시, 최대가 될 때는 아침 7시~8시였다. 변화폭은 상부의 변화폭이 하부의 변화 폭보다 더 컸다.

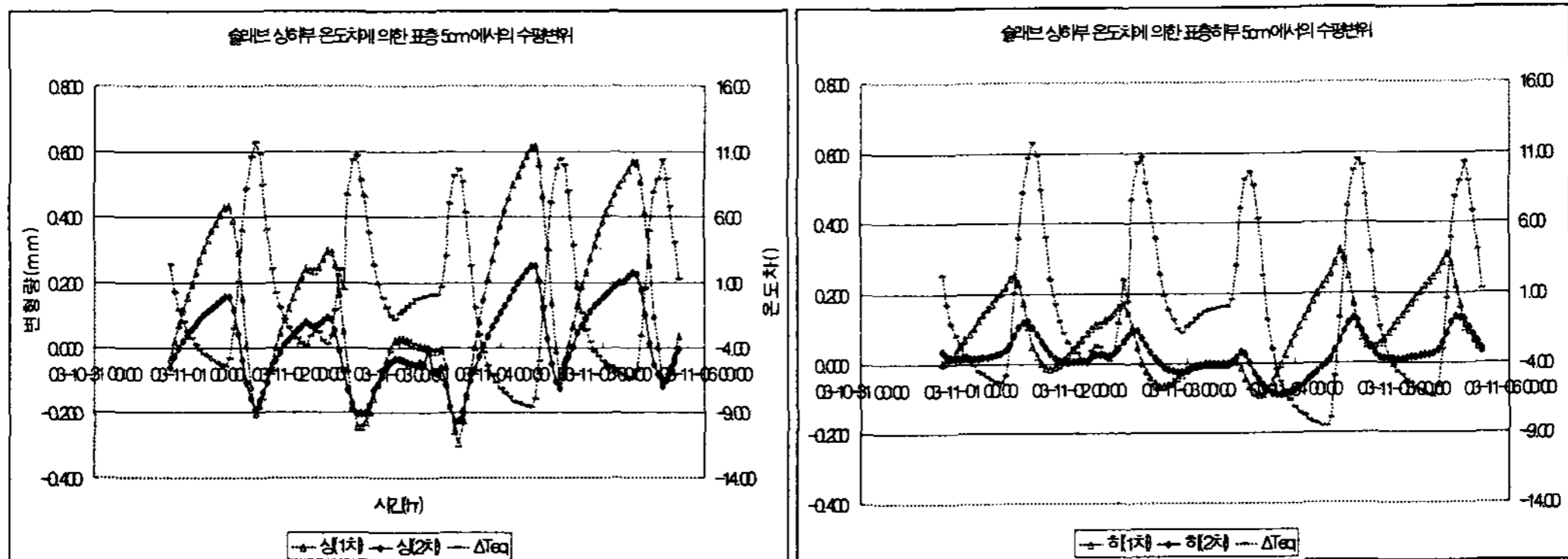


그림 6. 줄눈 콘크리트의 수평 변위

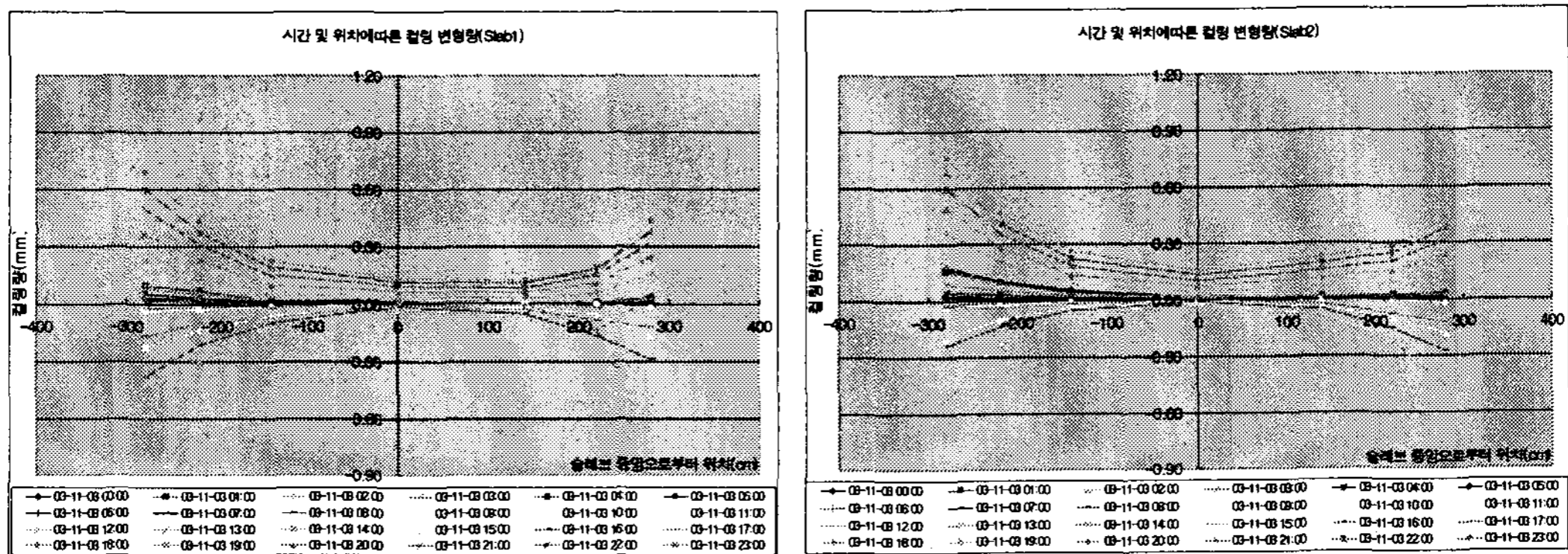


그림 7. 줄눈 콘크리트의 수직 변위

3.3 수직 변위

그림 2에서와 같이 슬래브의 길어깨를 따라 린콘크리트 층과 표층에 걸쳐서 묻힌 변위 계측기 3개를 이용하여 경계면에서 변위를 측정하였다. 그림 7은 시간 및 온도 변화에 따른 켈링 변형량을 보여준다. 기준 "0" 점은 수평변위 분석할 경우와 동일하다. 슬래브의 동일한 이격거리마다 다소 차이는 있지만 이격거리가 멀어지면 멀어질수록 변위가 커지는 것을 알 수 있다. 3개의 슬래브 모두 슬래브 중앙부로부터 왼쪽의 켈링량이 더 많은 것을 알 수 있다. 이러한 원인은 슬래브의 단부의 다웰바 상태, 하부 조건의 차이 등으로 인한 것으로 판단된다. 전체적으로 슬래브 양 끝단 1~1.5 m 위치에서 활발히 상하 운동을 하지만 그 이외의 영역에서는 상대적으로 미약함을 알 수 있다.

3.4 슬래브의 변형률

변형률 계측기는 중앙부와 단부의 변형률 게이지는 차량의 진행방향에 수직으로, 길어깨와 우각부의 변형률 게이지는 수평으로 매설되어 있으며 앞서 설명한 바와 같이 2007년 5월에 측정된 데이터들이다.

3.4.1 깊이별 포장체 변형률 비교

린콘크리트층이 있는 표층 30cm 구간에서 깊이별 변형률의 변화를 살펴본 것이 다음 그림이다. 단부, 중앙부, 우각부의 경우는 최상부에서 변형률이 가장 컸으며 12.5cm, 20cm 깊이에서는 거의 유사했으며 깊이 27cm 구간에서 가장 작았다. 하자만 길어깨부에서의 변형률은 다소 차이가 있었다. 가장 아래에서 그 변화폭이 가장 컸으며 최상부의 변형률보다 4~5배 정도 큰 것을 알 수 있다.



3.4.2 하부 조건에 따른 상하부 변형률

하부 조건에 따른 상하부의 변형률을 도시한 것이 그림 9와 같다. 이를 자세히 살펴보면 먼저 슬래브 중앙부의 상부 변형률은 린콘크리트가 슬래브 하부에 시공된 단면에서 가장 큰 변화를 보이며 거동하였다. 하지만 하부 변형률은 골재보조기층과 BB 층이 시공된 단면이 린 콘크리트 보다 더 크게 변화하였다. 여기서 알 수 있듯이 상부의 변화폭이 하부의 변화폭 보다 최대점을 기준으로 2~2.5 배 더 큰 것을 알 수 있다.

단부의 변형률 데이터는 중앙부와 다른 거동을 보였다. 상부에서의 거동은 린 콘크리트 층이 더 크게 변화하는 것은 동일하다. 하지만 하부층의 거동이 린 콘크리트의 경우가 더 크게 발생하였다. 길어깨 부분의 변형률은 중앙부와 상이한 경향을 나타냈다. 상부 변형률은 골재보조기층과 BB 층이 린 콘크리트 보다 더 크게 발생한 반면 하부에서의 변형률은 반대의 결과가 나타났다. 우각부의 역시 상부 변형률은 길어깨 부분의 결과와 경향은 같았지만 그 차이는 줄어들었다. 하지만 하부의 변형률은 특이하게 골재보조기층과 BB의 변형률 경향과 린 층의 변형률 경향이 대칭적으로 나타나는 것을 알 수 있었다.

전체적으로 변형률을 측정된 위치에 따라 그 경향이 다른 것을 알 수 있다. 이러한 차이가 온도에 의해 나타나는 것인지를 확인하기 위하여 상하부의 온도차를 계산하였다. 린 콘크리트 층과 BB 층의 슬래브의 온도 변화는 거의 유사하였으며 골재보조기층의 변화가 상대적으로 작은 것을 확인하였다.

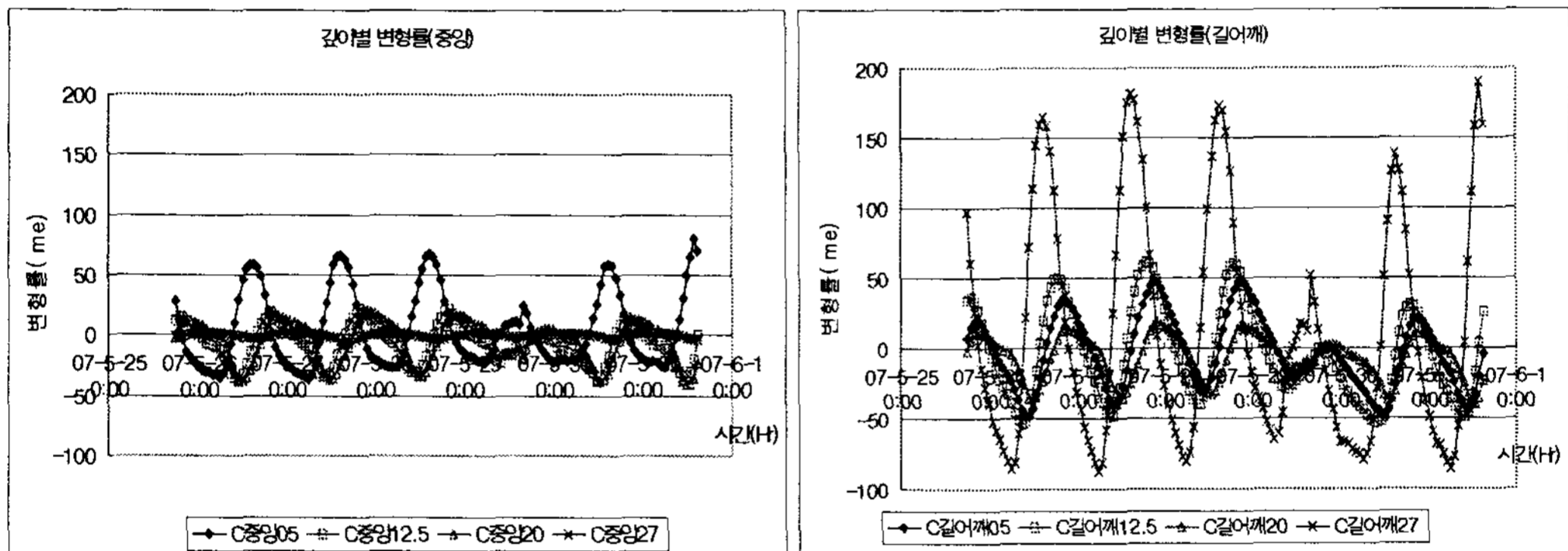
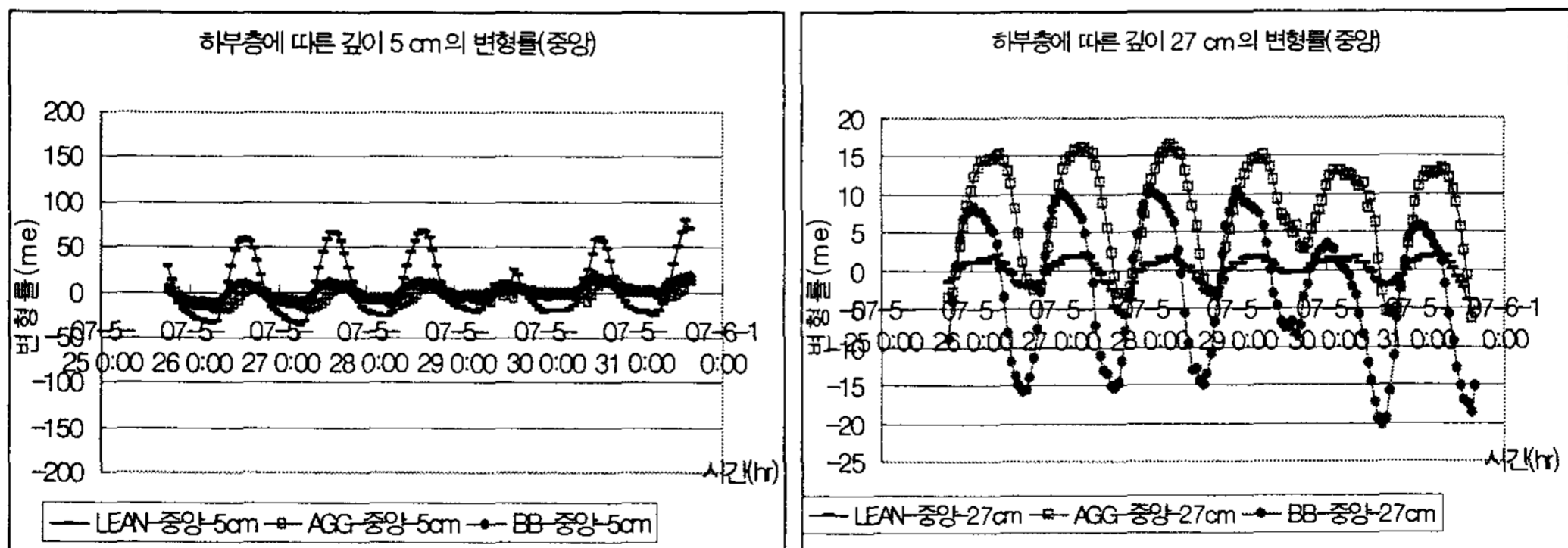


그림 8. 깊이별 변형률 데이터



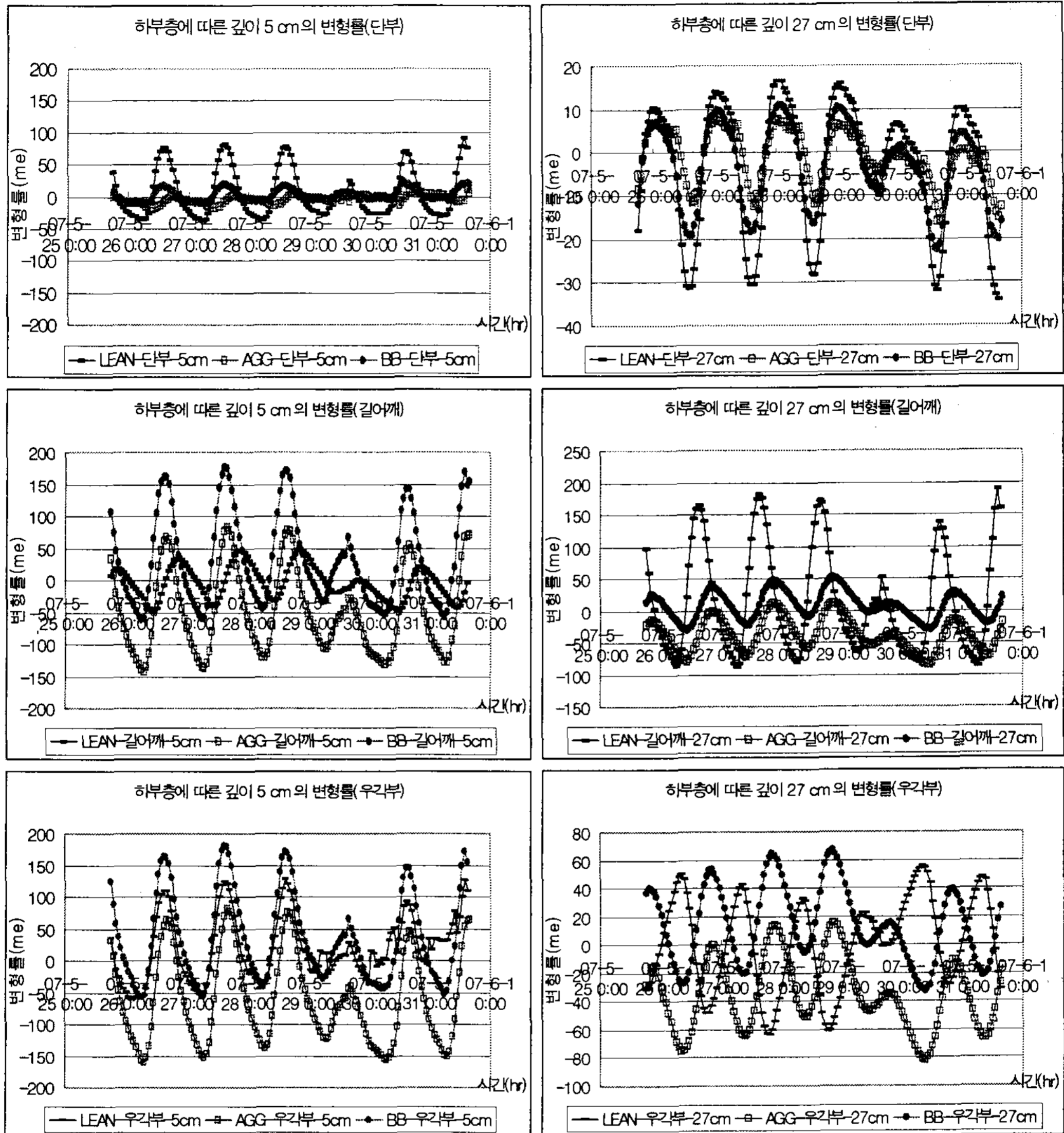


그림 9. 슬래브 위치 및 하부조건에 따른 상하부의 변형률 데이터

3.4.3 포장층 두께에 따른 변형률

두께변화에 따른 상하부의 변형률을 도시한 것이 그림 10과 같다. 전체적으로 살펴보았을 때 슬래브 상부에서는 큰 차이가 없었지만 하부에서의 거동은 다소 차이가 있었다. 하부 조건에 따른 거동과 유사하게 슬래브 중앙부와 단부에서의 변형률은 길어깨나 우각부에서의 변형률 폭보다 2~3배정도 작은 것을 알 수 있다. 먼저 슬래브 중앙부 및 단부의 상부 변형률폭은 25cm 두께에서 변화가 가장 작았으며 30cm/35cm는 거의 유사하였다. 하지만 길어깨의 상부 변형률은 25cm 두께에서 가장 컸으며 35cm, 30cm 순으로 나타났다. 우각부는 일반적으로 생각하는 것과 동일하게 25cm 두께에서 가장 컸으며 30cm, 35cm 순으로 나타났다.

하부에서 변형률 변화의 경우 중앙부는 25cm 두께에서 가장 컸으며 다음으로 35cm이며 30cm 두께는 변화가 거의 없는 것을 알 수 있다. 단부의 경우는 두께별로 변형률 변화폭이 거의 유사하였다. 길어깨부는 35cm가 가장 작았으며 25cm, 30cm 순으로 나타났다. 우각부는 25cm, 30cm 순으로 나타났지만 그 방향이



서로 반대인 것을 확인하였다.

표층 5cm 에서의 변형률이 가장 크게 발생할 시기는 깊이가 같기 때문에 거의 유사하였다. 하지만 하부층에서는 그 시기가 다른 것을 확인할 수 있었으나 어떠한 규칙성을 갖지는 않았다.

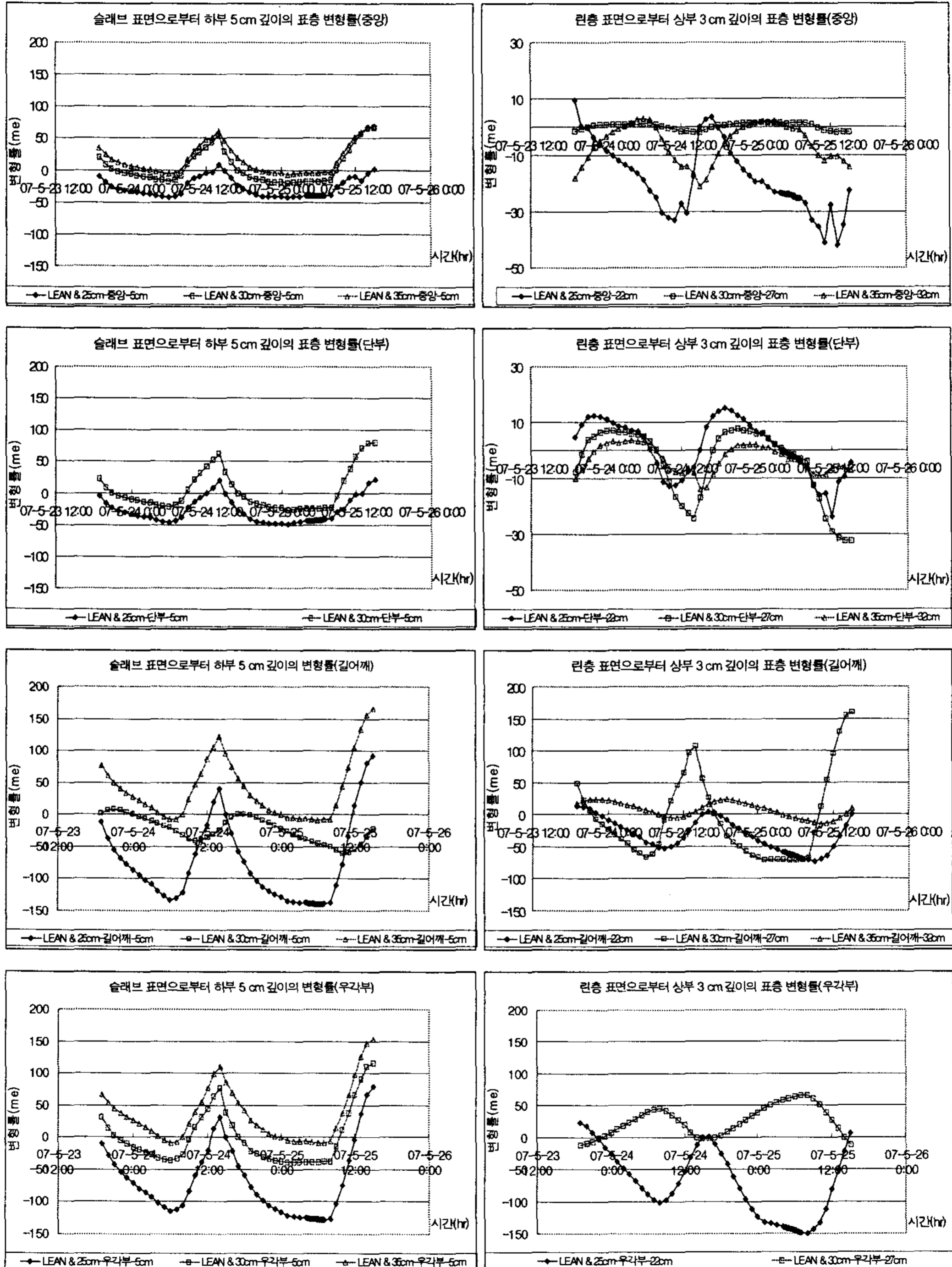


그림 10. 슬래브 위치 및 두께조건에 따른 상하부의 변형률 데이터



4. 결 론

본 연구에서는 시험도로에서 측정한 온도, 변위, 변형률 데이터를 이용하여 하부구조 및 슬래브 두께에 따라 줄눈 콘크리트 포장의 거동을 분석하였으며 그 결과는 다음과 같다.

- 포장체의 온도 변화를 살펴본 결과, 온도차가(상부와 하부의 차) 양의 부호로 크게 발생하는 시각은 오후 2~3시이며 음의 부호로 최대는 아침 7~8시 정도였다.
- 슬래브의 수평 거동을 분석한 결과, 상하부 온도차와 반대로 거동하는 것을 확인하였으며 줄눈부 터짐 시기에 따라 그 거동폭도 다른 것을 알 수 있었다. 슬래브의 수직 거동은 줄눈부의 상태가 동일하지 않기 때문에 대칭적으로 나타나지는 않았으며 변화폭은 줄눈부 양 끝단의 1~1.5m 정도에서 가장 컸다.
- 슬래브내의 위치별 변형률 데이터를 분석한 결과, 깊이 변화에 따른 변형률은 길어깨에서의 변형률 데이터가 다른 위치의 패턴과는 차이를 보였다. 하부 종류에 따른 거동은 슬래브 중앙부나 단부에서의 거동보다 길어깨, 우각부에서 변화폭이 컸으며, 하부 조건에 따라 상부는 길어깨 및 우각부에서 골재와 BB 층일 때가 가장 크게 변화하였으며, 하부는 우각부 및 길어깨에서 린콘크리트 층이 있을 경우 가장 크게 발생하였다. 슬래브 두께에 따른 거동도 위치에 따라 차이가 났으며 상부는 일부구간을 제외하고 두께별 변형률이 큰 차이를 보이지 않았다. 하부는 큰 차이를 보였으며 일정한 경향을 나타내지는 않았으며 피크값이 두께별로 차이가 나는 것을 알 수 있었다.

향후에는 거동차이를 나타내는 원인을 좀 더 자세히 연구할 것이며 이를 이용하여 KPRP 콘크리트 포장 설계법의 구조해석 모형을 개선할 예정이다.

참고문헌

1. Ashraf R. Mohamed and Will Hansen, "Effect of Nonlinear Temperature Gradient on Curling Stress in Concrete Pavement", 1996
2. Yang H. Huang " Pavement Analysis & Design"
3. E.J. Yoder, M.W. Witczak "Principles of Pavement Design"Second edition
4. 건설교통부 "한국형 포장 설계법 개발과 포장성능 개선방안 연구" 2차년도 보고서, 2003
5. 건설교통부 "한국형 포장 설계법 개발과 포장성능 개선방안 연구" 3차년도 보고서, 2004