

자체변형에 의한 부분지지조건을 갖는 콘크리트 슬래브

Concrete Slab with Partial Supports due to its Deformation

한 승 환* 유 태 석**
Han, Seung-Hwan Yoo, Tae Seok

ABSTRACT

The concrete slab on the foundation may have curling and warping deformations due to moisture and temperature gradient of its section. These deformations may change the support conditions of concrete slabs, and cause higher level of stresses than expected. This study was performed to verify the effect of partial support condition of concrete slab on the foundation due to its deformations and to develop the useful analytic method for describing these phenomenons. The partial support condition verified by FWD test results, and it was concluded that the gap model could be useful in analysing the concrete slab with partial support conditions.

1. 서론

탄성지반위에 놓인 콘크리트 슬래브는 하부 경계조건에 의해 매우 상이한 응력상태를 나타낸다. 특히 슬래브의 전단면이 하부 구조체에 의해 지지되는 경우, 하부 단면내 지지조건에 의한 소실은 상당한 수준의 응력증가를 발생시키므로 이에 대한 세심한 고려가 슬래브의 설계 및 평가절차에 적절히 반영되어야 한다.

탄성지반위의 콘크리트 슬래브가 외부 환경조건에 의해 노출되어 온도영향을 받게 되면 단면내 온도구배가 형성되고 이로 인해 슬래브 자체의 변형이 유발되게 된다. 이러한 슬래브의 변형은 단순히 슬래브 내부의 온도에 의한 응력수준을 증가시킬 뿐만 아니라 탄성지반의 지지조건을 변화시켜 다른 구조 시스템을 형성하게 된다. 이러한 자체변형에 의한 지지조건 변화는 도로 포장체와 같은 하부 지지조건을 갖는 콘크리트 슬래브의 손상 및 파괴에 많은 중대한 영향을 미치게 된다.

본 연구에서는 온도 및 습도 변화에 의해 콘크리트 슬래브에 발생되어지는 Curling, Warping 등과 같은 변형에 의한 하부 지지조건 변화를 적절히 모사하고 이를 설계 및 해석시 고려하는 방안에 대한 분석을 수행하였다. 특히 콘크리트 슬래브와 하부 지지조건 사이에 Gap 요소를 설정하여 콘크리트 슬래브의 자체변형량에 따라 수반되는 지지조건 변화에 대응하는 방안을 제시하여 해석시 적절히 고려하도록 하였으며, 그 영향에 대한 슬래브의 응력수준의 변화를 분석하였다.

2 콘크리트 슬래브의 변형

콘크리트 슬래브는 온습도 조건과 같은 환경요인에 의해 하부 지지조건을 변화시키는 단면 전체에 걸친 변형을 갖는다. 이러한 변형은 대표적으로 단면내 온도 구배에 의해 설정되는데 다음의 그림 1과

* 한국도로공사 도로연구소 책임연구원

** 한국도로공사 도로연구소 연구원

같이 단면내 상부가 하부의 온도보다 낮은 경우는 (a) 와 같은 형태의 지지조건을 갖고, 그 반대의 경우 (b)와 같은 지지조건을 갖는다.¹⁾ 이러한 지지조건은 초기 탄성지반위에 전단면이 올라가 있는 일 반조건과는 매우 상이한 다른 구조 시스템이 된다. 따라서 콘크리트 슬래브의 설계, 해석, 평가시 이에 대한 정의가 반드시 필요하다.²⁾

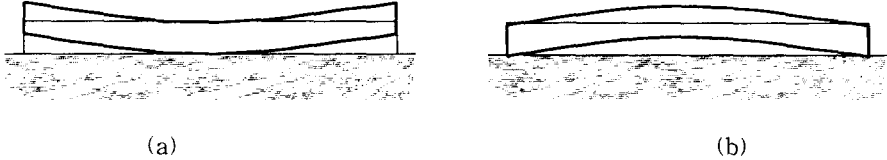


그림 1. 콘크리트 슬래브의 자체 변형에 의한 지지조건 변화

다음의 그림 2는 Bureau of Materials and Research of the Florida Department of Transportation 에서 조사된 실제 콘크리트 포장 슬래브에 대한 현장조사 결과로 단면 온도 구배에 의한 단면 변형의 상태를 보여주고 있다.³⁾ 습도 조건에 의해 약 5°C(9°F) 정도의 단면 온도구배가 있을 때 슬래브가 편평한 상태로 되는 것을 알 수 있었다. 그리고 약 12°C(21.5°F)의 단면 온도구배가 발생되었을 때 중앙에서 0.5mm 이상의 변형이 발생되어지는 것을 알 수 있다.(콘크리트 슬래브 두께 약 23cm, Undo)

3. 온도구배 변화에 따른 콘크리트 슬래브 거동 특성

본 연구에서는 FWD(Falling Weight Deflectometer) 장비를 이용하여 콘크리트 포장 슬래브의 단면내 온도구배로 설정되는 변형에 따라서 슬래브에 가해지는 충격하중에 대한 반응특성을 알아보았다. 다음의 그림 3은 서해안 고속도로 상에 온도계이자를 매설하여 콘크리트 포장 슬래브내의 온도구배를 측정 한 것으로⁴⁾, 그림 3과 같은 온도구배에서 다음의 그림 4와 같은 처짐응답 특성을 얻을 수 있었다. 그림 4에서 보는 바와 같이 동일개소에 대해 낮시간대, 즉 상부의 온도가 높고 하부의 온도가 낮은 상태에서는 그림 1의 (b)와 같은 변형을 보여 중앙부의 지지조건이 소실되어 상대적으로 높은 처짐을 보이고, 줄눈 및 모서리부는 반대로 밤시간대에 슬래브의 상부 온도가 낮고 하부 온도가 높아 그림 1의 (a)와 같은 형태의 변형을 보여 상대적으로 낮은 지지조건, 큰 처짐을 보였다.

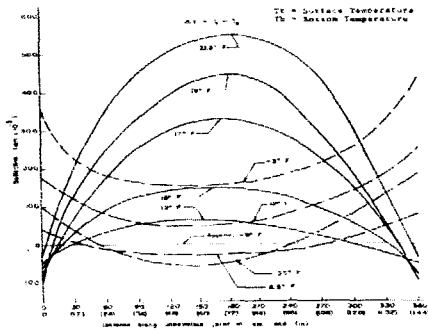


그림 2. 콘크리트 슬래브 단면내 온도구배에 따른 변형

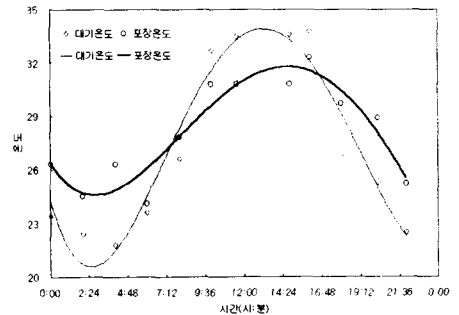


그림 3. 콘크리트 슬래브의 온도변화

다음의 그림 5는 앞서의 FWD 응답결과를 바탕으로 AASHTO에 제시된 방법⁵⁾에 의해 콘크리트 슬래브 하부의 지지력을 구한 것으로 콘크리트 슬래브의 자체 변형에 의한 구조 시스템의 변화로 지지력과 슬래브 탄성계수의 차이가 두배 이상 발생되어지는 것을 알 수 있었다. 따라서 콘크리트 슬래

브 자체의 변형에 의한 지지조건 변화를 고려치 않은 슬래브의 평가나 응력산정은 상당한 오차를 포함할 수 있게 되며 이의 고려가 반드시 필요한 것으로 판단된다.

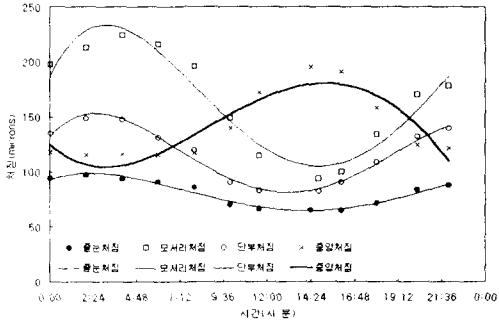


그림 4. 콘크리트 슬래브 변형에 의한 FWD 처짐 변화

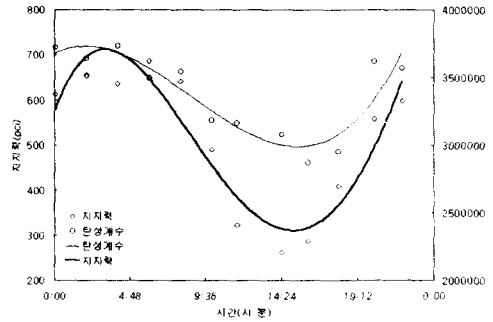


그림 5. 콘크리트 슬래브 변형에 의한 지지력변화

4. 지지력 변화를 고려한 슬래브 해석

앞서 기술한 바와 같은 콘크리트 슬래브 자체 변형에 의한 지지력 변화를 고려한 해석 및 평가는 콘크리트 슬래브 요소와 하부 지지층 요소 사이에 Gap 요소를 설정하여 다음의 식과 같이 인접 요소 사이의 상대변형으로 접촉조건을 정의한다. 이때 h =Gap 간격, d =초기 간격, x^N =절점 N의 현재위치 이고, h 가 0보다 작거나 같으면 두 요소가 접촉한 것으로 판단하여 재해석을 수행한다. 본 연구에서는 상용 프로그램인 ABAQUS를 이용하여 본 해석을 수행하였다.⁶⁾

$$h = d - | \bar{x}^2 - \bar{x}^1 | \quad (1)$$

본 연구의 해석은 다음의 표 1과 같은 조건에서 수행되었으며, 해석 모델의 개념은 다음의 그림 6과 같으며, 그림 7과 같은 셀요소, Gap 요소, 탄성지반 조건 등을 사용하여 구성하여 수행하였다.

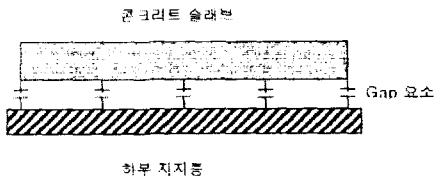


그림 6. 해석모델 개념도

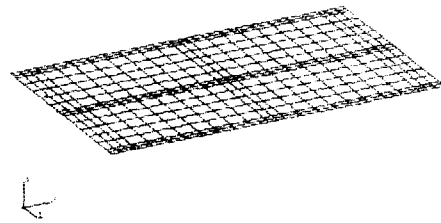


그림 7. 해석모델

다음의 그림 8은 콘크리트 슬래브 단면내 온도구배의 크기에 따른 처짐형상을 나타낸 것이고, 이에 따른 단면내 처짐변화 및 인장응력변화를 나타낸 것이 다음의 그림 9 이다. 그림 9에서 보는 바와 같이 탄성지반위 콘크리트 슬래브에서 자체 변형에 의한 지지조건 변화를 고려하는 경우 상당한 처짐의 증가와 응력의 증가가 나타났다. 따라서 반드시 이에 대한 고려를 설계 및 평가시 수행하여야 한다.

표 1. 슬래브 부분지지 해석 모델 개요

모델크기	슬래브 탄성계수	하부 지지력	단면 온도절점	차량륜하중	륜하중분포
5.0×3.6m	2.76e4 MPa	1.04 MN/m ²	5개	80.06kN(18kips)	0.2×0.3m

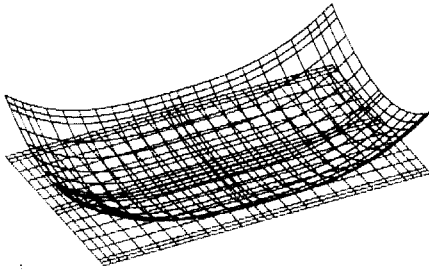


그림 8. 온도구배에 대한 처짐형상

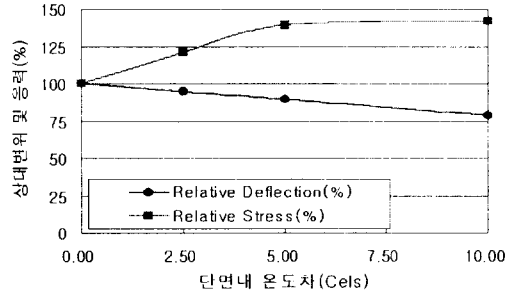


그림 9. 온도구배에 따른 슬래브의 처짐 및 응력변화

5. 결론

본 연구에서 도출되어진 결론을 간단히 요약하여 기술하면 다음과 같다. 이러한 결과를 바탕으로 좀 더 세부적인 연구가 지속적으로 수행되어져야 한다.

- (1) 본 연구에서 기술한 바와 같이 탄성 지반 등과 같은 하부 지지조건을 갖는 콘크리트 슬래브는 단면내 온도도 구배에 의한 변형으로 초기 상태와는 상이한 지지조건을 갖게되며 다른 구조 시스템을 형성하게 된다.
- (2) 콘크리트 슬래브는 부분지지조건에 의해 초기 상태보다 상당히 증가한 응력 수준을 경험하게 되고 이로인해 파괴에 이르게 된다.
- (3) 콘크리트 포장 슬래브 평가를 위한 FWD 조사 또한 슬래브의 부분지지조건을 고려하여 수행되어야 하고, 결과 평가시 이를 반드시 고려하여야 한다.
- (4) 하부지지조건을 갖는 콘크리트 슬래브의 설계 및 해석, 평가시 부분지지조건에 대한 고려를 반드시 수행하여야 한다.

참 고 문 헌

- 1) Huang, Y. H., Pavement Analysis and Design, Prentice Hall, 1993.
- 2) Uddin, W., Zhang, D., and Fernandez, F., "Finite Element Simulation of Pavement Discontinuities and Dynamic Load Response", Transportation Research Record 1448, Committee on Rigid Pavement Design, TRB.
- 3) Armaghani, J. M., Larsen, T. J., and Smith, L. L., "Temperature Response of Concrete Pavement", Transportation Research Record 1121, TRB.
- 4) 한승환, 홍승호, "길어깨 접속부 및 단면개선에 관한 연구", 한국도로공사 도로연구소 연차보고서, 1998.
- 5) AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, AASHTO, Washington D. C., 1993.
- 6) ABAQUS/Standard Theory Manual, ver5.7, 1997.