

비파괴시험을 통한 콘크리트포장 하부 공동조사

Void Detection Under Concrete Pavement Using Nondestructive Testing

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

ABSTRACT

One of the major causes of concrete pavement deterioration is the loss of support due to erosion and pumping of subbase and subgrade. In this study, procedures for the detection of voids under concrete pavement slab are presented using nondestructive test method such as FWD(Falling Weight Deflectometer) and GPR(Ground Penetration Radar). The deflection responses of concrete slab obtained in FWD field test are analysed for determining the presence of void. Also, reflection responses in GPR test are interpreted. It was concluded that these procedures are available for detecting the voids under concrete pavement slab.

1. 서론

도로 포장체는 표층인 콘크리트 슬래브와 하부 보조기층 또는 기층, 그리고 지반으로 구성되어 도로를 주행하는 차량하중을 지탱한다. 콘크리트 슬래브 하부의 기층 및 보조기층은 콘크리트 슬래브로부터 전달되는 하중을 분배하고 슬래브를 지지하는 역할을 한다. 그러나 동결융해의 반복과 침투수의 작용에 의해 일부 취약구간 콘크리트 포장 슬래브 하부층의 지지력 손실이 발생하거나 팽팽현상에 의해 공동이 발생되는데, 이는 콘크리트 포장 슬래브의 지지조건을 불리하게 변화시켜 포장체의 균열 및 처짐, 단차 등을 유발한다. 따라서 이러한 콘크리트 포장 하부의 지지력 손실을 판단하고 적절한 보수를 수행하는 것은 도로 포장체의 건전성을 유지하는데 중요한 요소가 된다.

* 정회원, 한국도로공사 도로연구소 연구원

** 정회원, 한국도로공사 도로연구소 책임연구원

본 연구에서는 FWD와 GPR을 이용한 비파괴 시험을 통해 콘크리트 포장 슬래브 하부에 있는 공동을 조사하고 최종적으로 보수물량을 결정하는 방안에 대해 분석을 수행하였다. 그리고 각 방법의 효율성 검토를 위해 88고속도로상의 취약구간에 대한 현장조사를 실시하였다.

2. FWD 시험

FWD 시험은 도로 포장체의 구조 지지력 조사를 위해 널리 사용되는 비파괴 시험법으로 일정질량의 추를 충격완화장치가 붙어 있는 재하판에 임의 높이에서 낙하시켜 포장체의 반응을 측정하는 장비이다. 이러한 FWD시험은 포장체의 구조지지력을 조사하기 위한 목적으로 현장에서 손쉽게 적용될 수 있는 방법으로 비교적 장비도 많이 보급되어 있다. 콘크리트 포장 슬래브의 반응은 하중재하점으로 부터 일정거리 만큼 떨어진 Geophone을 통해 얻어지게 되는데, 주로 충격하중에 의한 포장체의 처짐응답에 대한 정보를 활용한다.

2.1 하중-처짐 관계를 이용한 공동조사

2.1.1 측정방법

그림 1과 같이 하중단계를 달리하면서 하중재하점으로부터 30cm 간격으로 설치되어 있는 7개의 Geophone을 통해 포장체의 충격하중에 의한 최대처짐응답을 얻는다. 먼저, 하중에 의한 슬래브 포장체의 해석적인 분석을 위하여 건전단면에서 포장체의 응답을 조사한다. 이로부터 포장 슬래브의 탄성계수와 하부지지력을 역해석으로 구해낸다.

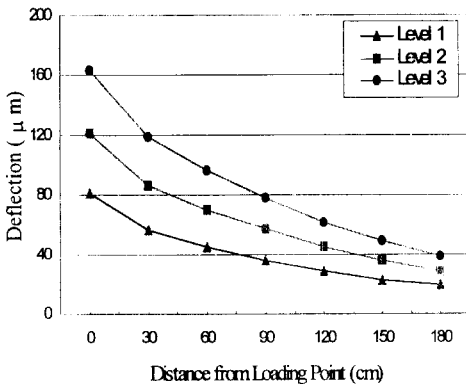


그림 1 FWD 조사를 통해 얻어진 포장처짐

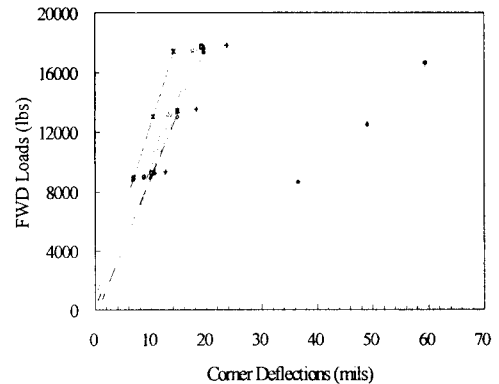


그림 2 FWD 조사에 의한 포장 모서리부 처짐

2.1.2 FWD 하중-변위곡선 분석법

앞서의 그림 2와 같이 3단계의 FWD 하중에 의한 포장 슬래브의 처짐을 도시하면, 건전부 콘크리트 포장 슬래브의 경우에 원점을 지나는 직선을 형성하게 된다. 그러나 포장 슬래브 하부에 공동이 존재하게 되는 경우는 현상적으로 하중-처짐을 연결한 직선이 공동의 크기 및 성상에 따라 절편값을 갖게 된다. 이러한 절편의 생성원인은 공동 경계부의 이완된 지지력과 미세한 틈이 채하되는 하중의 크기에 따라 다른 구조계를 형성하여 발생되어지는 현상으로 판단된다.

본 연구에서는 다음 그림 3과 같은 종형의 함수를 하부공극의 형상함수로 가정하여 분석을 수행하였는데, 하중 상태에 따라 함수 꼬리부분에 형성되는 미세간격이 처짐량에 따라 지지조건을 변화시키게 된다. 이때 사용 프로그램에 존재하는 Gap 모델을 사용하여 해석을 수행하거나 지지조건 변화를 반복적인 방법으로 고려하여 해석을 수행한다. 본 연구에서 수행된 2차원 분석에서의 형상함수식은 다음 (1)과 같다.

$$v = \frac{0.1 \times l}{(1 - e^{-l^2})} [e^{-(x/d)^2} - e^{-l^2}] \quad (1)$$

여기서, v = 포장슬래브하부의 처짐, l = 공동깊이,
 x = 공동중심으로부터의 거리, d = 함수형상계수

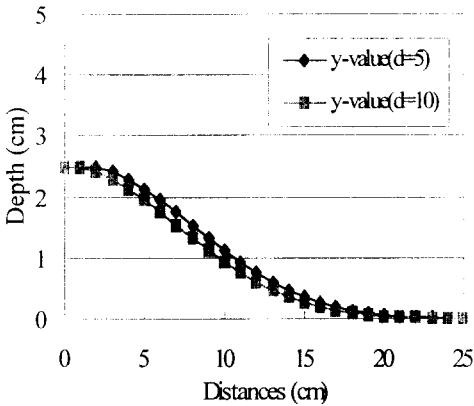


그림 3 포장 슬래브 하부 공극 형상함수

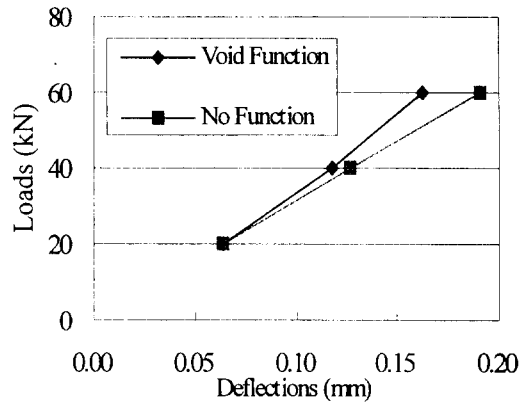


그림 4 공극 형상함수를 사용한 해석결과에

본 연구에서 제안되는 형상함수 조건을 이용한 분석과 현장 FWD 결과를 통해 콘크리트 포장 슬래브 하부의 공동조사가 가능한 것으로 판단된다.

2.2 처짐-하중전달율을 이용한 공동조사

앞 절에서 제시된 공식은 빠른 시간에 적은 노력으로 공동을 확인할 수 있다는 장점이 있는 반면 하중전달에 따른 영향을 고려하지 못한다는 단점이 있다. 이러한 점을 보완하기 위하여 처짐과 하중전달율의 관계로부터 공동을 찾는 방법이 AASHTO에 의해 제시되고 있으며 본 연구의 공동탐사에 적용되었다.

본 기법은 모든 측정데이터를 같은 조건으로 정규화시켜 비교하는 것으로 모서리 부의 처짐은 9000lb에 대한 처짐 값으로, 슬래브의 탄성계수는 4,000,000psi에 대한 값으로 환산하여 도시한다. 공동 여부와 규모는 이러한 조건에서 포장하부에 공동이 생길 때의 처짐을 구하여 범위를 설정하므로써 예측할 수 있다. FWD의 조사는 그림 5와 같이 슬래브의 중앙과 모서리를 측정하므로써 얻을 수 있다. 본 조사구간에 적용한 결과 그림 6과 같은 결과를 얻을 수 있었으며 예상한 바와 같이 2.1절의 공동에 상구간과 동일한 장소에서 공동의 존재를 확인할 수 있었다.

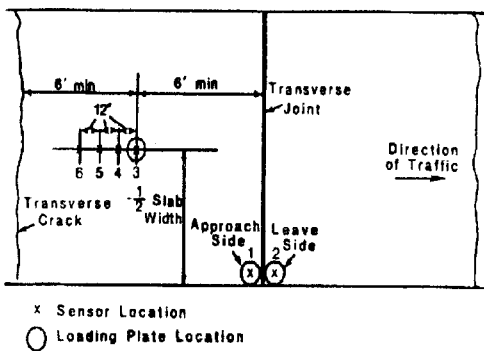


그림 5. 슬래브의 모서리 및 중앙에 대한
하중판과 센서의 위치

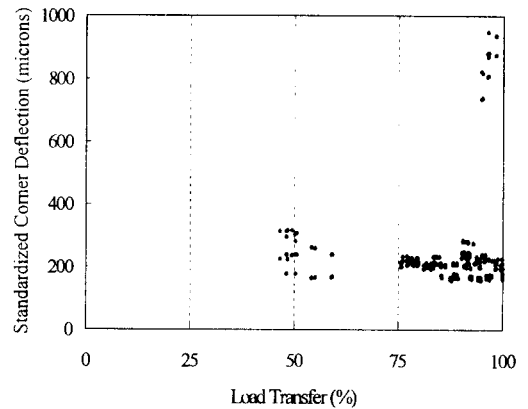


그림 6 처짐과 하중전달율의 관계로 나타낸 측정데이터

3. GPR 측정

3.1 기본이론

최근 GPR(Ground Penetrating Radar)을 이용하여 포장상태를 조사하고자 하는 연구가 활발히 적용되고 있다. GPR은 전자기파의 펄스에너지가 전기적 성질이 바뀌는 경계면에서 에너지 가운데 일부가 반사되고 나머지는 통과하는 성질을 이용한 것으로 매질의 성질에 따른 파형과 반사시간 등을 이

용하여 포장을 해석하는 원리이다. GPR에서 수신된 반사파는 각 층의 유전상수를 구하거나 단면의 두께를 구하는데 사용될 수 있다. 포장 각 층의 반사파 크기비(R)와 유전율(ϵ) 사이에는 다음 식 (1)과 같은 관계가 성립한다.

$$R = \frac{\sqrt{\epsilon_1} - \sqrt{\epsilon_2}}{\sqrt{\epsilon_1} + \sqrt{\epsilon_2}} \quad (2)$$

위의 공식을 통해 얻어지는 유전율은 포장의 두께를 얻는데 사용되며 다음과 같은 식(2)를 사용하여 계산할 수 있다.

$$h = \frac{c\Delta t}{2\sqrt{\epsilon}} \quad (3)$$

여기서, h = 포장두께, ϵ = 유전율

c = 공기중의 빛의 속도, Δt = 층 경계간의 도달시간,

3.2 데이터해석

본 연구에서는 송수신기가 따로 분리되어 있는 차량용 GPR과 송수신기 일체형 GPR을 사용하여 데이터를 취득하였다. 데이터는 거리 및 시간에 따라 얻도록 할 수 있으며 고주파(1GHz)를 사용하는 차량용 GPR 보다는 송수신기 일체형인 저주파(400KHz) GPR이 파의 감쇄가 적어 포장조사에 더 적합한 것으로 판단되었다. 현장에서 얻은 데이터는 캘리브레이션과 필터링을 거쳐 다음 그림 7 및 8과 같이 나타나며 파형의 크기, 위치에 따른 변화양상, 반사시간 등을 이용하여 포장의 두께를 계산하게 된다. 또한 최종적으로 위의 데이터는 체계적인 수집 및 관리과정을 거쳐 포장관리시스템의 자료로도 사용될 수 있다.

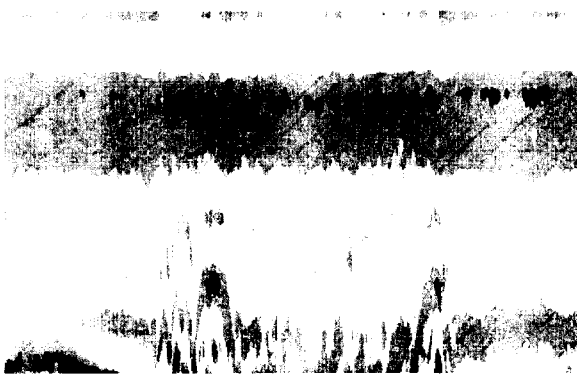


그림 7 LineScan Mode

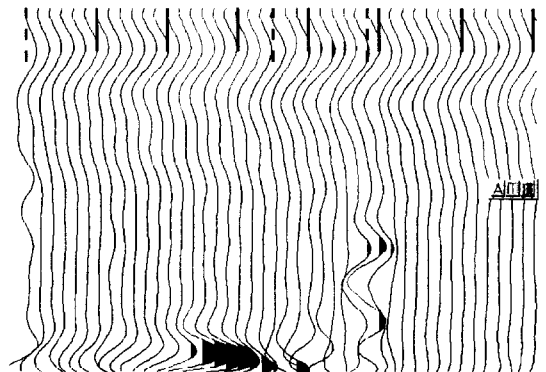


그림 8 Wiggle Mode

4. 결론

포장파손의 원인이 되는 포장하부의 공동을 측정하기 위하여 88고속도로 취약부에 비파괴 시험을 적용하고 분석하였으며 다음과 같은 결론에 도달할 수 있었다.

- (1) FWD를 통한 하중-처짐의 관계를 분석하였다. 정상적인 슬래브의 경우 하중에 대한 처짐은 선형적으로 원점에 근접한 관계를 나타내지만 공동의 영향이 있는 곳은 x축에 절편을 가지는 것으로 나타났다. 본 연구에서 제시된 분석절차를 통해 공동 경계부의 이완된 지지력과 미세한 틈이 재하되는 하중의 크기에 따라 다르게 형성되는 구조계를 형성하여 발생되어지는 이러한 현상에 대한 합리적 분석이 가능할 것으로 판단된다.
- (2) 하중전달율과 처짐의 관계에 따른 공동분석을 실시하였다. 이 방법은 하중전달율에 따른 공동의 여부와 규모를 판단하는 방법으로 좀 더 합리적인 판단이 가능할 것으로 사료되며 하중-처짐의 관계에서 공동으로 추정되는 부분을 이 방법을 통해서도 확인할 수 있었다.
- (3) 전자파의 원리를 이용한 GPR을 적용하였고 위치에 따른 파의 변화를 통해 공동을 추정하였다. GPR의 측정은 체계적인 수집과 관리를 통해 포장유지관리에 유용하게 사용할 수 있을 것으로 사료된다.
- (4) 본 연구에서 제시된 FWD, GPR을 이용한 콘크리트포장 슬래브 하부 공동조사기법을 활용하여 공동조사와 이에 대한 적절한 보수대책 수립이 가능할 것으로 사료된다.

5. 참고문헌

- (1) 변근주 외, "무근콘크리트 포장하부 공동현상 확인방법 연구", 연세대학교 산업기술연구소, 1988.
- (2) AASHTO, "Design of Pavement Structures", 1993.
- (3) Crovetti J. A., Darter M. I., "Void Detection for Jointed Concrete Pavements", TRR1041, TRB, 1985
- (4) Smith S., Scullion T., "Development of Ground Penetrating Radar Equipment for Detecting Pavement Condition for Preventive Maintenance" SHRP-H-672, 1993.
- (5) Quintas, H. L., Bush A. L., Baladi G. Y. "Nondestructive Testing of Pavements and Back calculation of Moduli" STP 1198, ASTM, 1994.
- (6) Hetenyi M., "Beams on Elastic Foundation", The Universities of Michigan Press, 1946.