



## 아스팔트 콘크리트 포장구조체의 내부처짐에 의한 물성추정과 주행속도에 따른 거동분석

Evaluation of Flexible Pavement Layer Moduli Using the Depth Deflectometer  
and Flexible Pavement Behavior under Various Vehicle Speeds

최준성\* · 김수일\*\* · 유지형\*\*\*

Choi, Jun-Seong · Kin, Soo-Il · Yoo, Ji-hyung

### ABSTRACT

A new procedure needs to be developed to predict the dynamic layer properties under moving truck loads. In this study, a computer code to evaluate layer moduli of asphalt concrete pavement from measured interior deflections at various depths were developed and verified from numerical model tests. Interior deflections of the pavement are measured from Multi-Depth Deflectometer(MDD). It was found that errors between the given and backcalculated moduli in numerical analysis were less than 0.32% for several numerical models tested. When impact loads were used, a technique to determine the depth to virtual rigid base was proposed through the analysis of compressive wave velocity and impulse loading durations. It was found that errors between the given and backcalculated moduli in numerical analysis were less than 0.114% when virtual rigid base was considered in numerical analysis.

The pavement behavior must be evaluated under various vehicle speeds when determining the dynamic interaction between the loading vehicle and pavement system. To evaluate the dynamic behavior on asphalt concrete pavement under various vehicle speeds, truck moving tests were carried out. From the test results with respect to vehicle speed, it was found that the vehicle speed had significant effect on actual response of the pavement system. The lower vehicle speed generates the higher interior deflections, and the lower dynamic modulus.

**Key Words** : Dynamic layer properties, Truck moving tests, Multi-Depth Deflectometer, Backcalculation procedure, Vehicle speed

### 요 지

최근 포장도로의 역학적 상태를 평가하는 방법으로 비파괴 시험인 FWD(Falling Weight Deflectometer)와 탄성파시험이 많이 이용되고 있다. 그러나 기존의 방법들은 공용중인 도로에서 차량을 통제시킨 후 시험을 실시해야 하는 제한이 있다. 그러므로 실제 주행하중 통

\* 한국도로공사 도로연구소 책임연구원

\*\* 연세대학교 토목공학과 교수

\*\*\* 경일대학교 토목공학과 부교수



과시 아스팔트 콘크리트 포장구조체의 물성을 추정하여 잔존수명 예측 및 이동하중에 대한 포장체 거동을 분석하는 경우에는 FWD와 같이 표면처짐으로부터 아스팔트 콘크리트 포장구조체 각 층의 물성을 추정하는 방법의 사용이 곤란하다. 이런 경우에 MDD (Multi-Depth Deflectometer)를 통해 얻어진 깊이별 처짐을 사용하여 아스팔트 콘크리트 포장구조체 각 층의 물성을 역산 추정하고자 본 연구에서는 다층 탄성이론의 반복적인 역산과 충격하중의 영향을 고려하여 깊이별 처짐으로부터 아스팔트 콘크리트 포장구조체 각 층의 물성을 추정할 수 있는 역산반복기법을 개발한 후 이를 수치검증하였다. 수치모델을 통하여 검증한 결과, 역산추정된 탄성계수와 실제탄성계수 사이의 오차는 최대 0.114%로 신뢰성 있는 결과를 얻었다.

또한 본 연구에서는 주행하중의 속도에 따른 아스팔트 콘크리트 포장구조체의 동적특성을 파악하여 실제적인 포장구조체의 거동을 분석하고자 수도권 외곽 순환고속도로 김포구간에서 실제 트럭주행을 통한 현장시험을 실시하였다. 주행하중에 대한 아스팔트 콘크리트 포장구조체의 거동을 깊이별 처짐 측정장비인 MDD를 이용하여 깊이별 상대처짐을 측정하고, 주행속도에 따라 포장구조체의 거동을 해석하여 차량의 속도와 포장체 거동을 역학적으로 분석하였고, 주행속도별 층별 동적물성을 개발된 역해석 프로그램으로부터 산정하였다. 주행속도별 동적특성 분석결과, 차량의 주행속도가 증가할수록 깊이별 상대처짐은 감소하였고, 실측된 깊이별 처짐으로부터 포장구조체의 층별 물성을 역해석한 결과 속도가 증가할수록 탄성계수가 증가하였다. 따라서 주행속도가 줄어들수록 포장체의 구조적 능력 저하에 크게 영향을 주는 것을 알 수 있었다.

## 1. 서 론

주행하중속도에 의해 유발되는 동적영향은 포장구조체 파손의 중요한 요인이 된다. 그러므로 주행하중의 동적특성과 포장체 거동특성은 포장체 파손정도의 예측과 파손방지를 위하여 고려되어야 한다. 정하중과 동하중의 차이를 규명하는 것은 대부분 도로설계나 해석에 정하중 개념을 사용하기 때문에 이러한 가정이 안전추인가를 판단하는 중요한 요인이 될 수 있다. 기존의 설계나 해석과정에 정하중을 받는 포장구조체의 정해리를 이용하는 방법은 포장구조체의 해석범위와 중차량의 주행속도에 따라 포장체의 거동이 매우 달라질 수 있다. 최근에는 이러한 한계를 극복하기 위하여 수치해석 방법이 많이 사용되고 있으나 이동하중의 주행속도에 따른 동적특성의 현장시험에 의한 검증이 이루어지고 있지 않다(최준성의, 1998).

본 연구에서는 주행하중으로부터 유발되는 내

부처짐을 이용하여 아스팔트 콘크리트 포장구조체의 동적물성을 산정하는 역해석 프로그램을 개발하고 이를 수치모델을 통하여 검증한다. 또한 아스팔트 콘크리트 포장구조체의 주행하중에 따른 거동 특성을 파악하기 위하여 현장시험을 실제 고속도로상에서 실시한다. 이를 위하여 수도권 외곽순환 고속도로 김포신설구간을 선정하고, 깊이별 처짐을 측정할 수 있는 MDD가 매설된 위치에서의 트럭주행시험을 실시하고, 획득한 깊이별 처짐자료와 역산된 동적물성을 주행하중 속도에 따라 분석하여 아스팔트 콘크리트 포장구조체의 동적특성을 분석하고자 한다.

## 2. 깊이별 처짐곡선을 이용한 포장구조체의 물성추정

주행하중으로 아스팔트 콘크리트 포장구조체의 상태를 평가하기 위해서는 속도계를 사용하



여 표면처짐을 측정할 수 없기 때문에 포장구조체의 내부거동인 깊이별 처짐을 직접적으로 측정할 수 있는 측정장비 MDD 를 이용한다. MDD 시험은 시험하중의 재하로 인하여 발생하는 일련의 아스팔트 콘크리트 포장구조체 깊이별 처짐을 측정하기 위한 것으로, FWD시험으로부터 추정된 물성의 검증에 사용된 바 있다(최준성의 3인, 1998, 최준성의 5인, 1998). 본 연구에서는 그림 1에서와 같이 측정된 깊이별 처짐값을 역해석 입력값으로 사용하여 아스팔트 콘크리트 포장구조체의 구조적 상태를 평가하고자 한다. 깊이별 처짐은 일정한 시험하중하에서 포장구조체 각 층의 물성과 두께에 의존한다. 본 연구에서는 각 층의 두께를 설계단면의 기지의 값으로 가정하여 물성만을 역산 추정한다.

## 2.1 Newton-Raphson법을 이용한 역해석 알고리즘

본 연구에서는 MDD 깊이별 처짐을 이용한 역해석 알고리즘으로 초기값의 영향을 비교적 적게 받는다고 판단되는 Newton-Raphson법을 이용한 BALMAT 역해석 프로그램을 수정하여

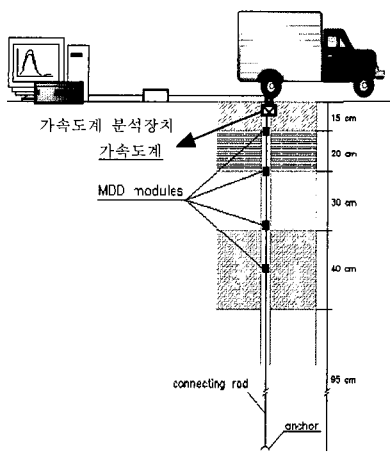
개발한다.(김수일의 2인, 1998) MDD 깊이별 처짐의 오차에 대하여 행렬의 형태로 표시하면 식 (1)과 같다.

$$\begin{pmatrix} \frac{\partial w_1}{\partial E_1} & \frac{\partial w_1}{\partial E_2} & \dots & \frac{\partial w_1}{\partial E_4} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial w_4}{\partial E_1} & \frac{\partial w_4}{\partial E_2} & \dots & \frac{\partial w_4}{\partial E_4} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \Delta E_1 \\ \vdots \\ \Delta E_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} w_1^m - w_1^c \\ \vdots \\ w_4^m - w_4^c \end{pmatrix} \quad (1)$$

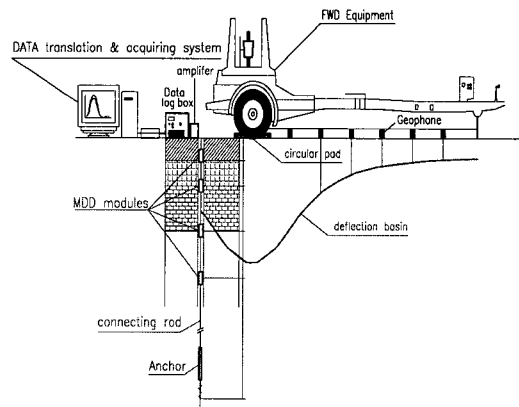
식 (1)을 매트릭스 해법을 통해 풀면  $\{\Delta E_1, \Delta E_2, \Delta E_3, \Delta E_4\}$  를 구할 수 있다. 이를 원래의 탄성계수에 더하여 보정을 하는 과정을 반복하여 오차가 수렴구간내에 포함이 되면 반복과정을 종료하고 이 때 구해진 탄성계수를 역산탄성계수라 정의한다.

측정된 깊이별 처짐과 계산된 깊이별 처짐과의 오차는 측정점이 4개 지점일 때 다음 식 (2)와 같이 정의된다.

$$\text{처짐값의 평균제곱근 오차} = \sqrt{\frac{1}{4} \sum_{j=1}^4 \left( \frac{w_j^c - w_j^m}{w_j^m} \right)^2} \quad (2)$$



(a) 트럭 주행하중



(b) FWD 충격하중

그림 1. 재하하중 및 MDD의 조합설치 개요도



여기서,  $w_j^m$ 는 MDD시험에서 얻은 j번째 센서의 깊이별 처짐이고  $w_j^c$ 는 계산된 깊이별 처짐이다.

## 2.2 가상압반층에 대한 고려

동하중에 대한 아스팔트 콘크리트 포장구조체의 물성추정에는 깊이별 처짐치를 다층 탄성이론에 적용하여 포장구조체 각 층의 탄성계수를 역산하는 정적 해석 방법을 사용하게 된다. 이때 동하중에 의한 깊이별 처짐치를 정하중에 의한 것으로 가정하여 탄성계수를 추정할 경우 실제적이지 못한 결과를 얻게 된다. 이와같은 이유는 동하중이 가해질 때 일정 시간 충격하중의 지속으로 포장표면으로부터 연직하향으로 충격영향범위가 결정되며, 동하중에 의한 깊이별 처짐값은 이와같은 충격영향범위의 물성에만 의존하기 때문이다. 따라서 충격영향범위 이하의 물성은 동하중 적용시 깊이별 처짐곡선의 형성에 영향을 주지 못하는 것으로 평가할 수 있으며, 이와같은 동적처짐곡선을 이용하여 포장구조체 각 층의 탄성계수를 역산할 때 충격영향범위 이하의 깊이별 처짐에 영향을 주지 않는 물성이 매우 큰 가상압반층이 존재하는 것으로 가정하여야 실제적인 물성추정이 가능하다.

본 연구에서는 각층의 탄성계수, 포아송비, 단위중량으로부터 각 층의 압축파 속도를 산정하고 동하중의 충격지속시간을 고려하여 가상압반층의 깊이를 추정하며, 추정된 가상압반층의 깊이를 해석에 적용하여 포장체 각 층의 탄성계수를 추정하는 과정을 반복할 수 있도록 하였다. (최준성, 1999) 각 층의 탄성계수, 포아송비, 단위중량으로부터 압축파의 속도를 구하면 식 (3)과 같다.

$$V_{pj} = \left[ \frac{E_j(1-\mu_j)}{(1+\mu_j)(1-2\mu_j)} \left( \frac{g}{\gamma_j} \right) \right]^{0.5}, \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

여기서,  $V_{pj}$ ,  $E_j$ ,  $\mu_j$ ,  $\gamma_j$ 는 각각 j 층 재료의 압축파속도, 탄성계수, 포아송비, 단위중량이며, g는 중력가속도이다.

포장구조체 각 층의 탄성계수를 기지의 값으로 할 때 4 층 포장구조체의 경우 동하중으로부터 유발된 압축파가 각 포장층을 따라 이동하는데 소요되는 시간은 식 (4)와 같다.

$$t = \frac{x}{V_{p5}} + \frac{2h_1\sqrt{V_{p5}^2 - V_{p1}^2}}{V_{p5}V_{p1}} + \frac{2h_2\sqrt{V_{p5}^2 - V_{p2}^2}}{V_{p5}V_{p2}} + \frac{2h_3\sqrt{V_{p5}^2 - V_{p3}^2}}{V_{p5}V_{p3}} + \frac{2h_4\sqrt{V_{p5}^2 - V_{p4}^2}}{V_{p5}V_{p4}} \quad (4)$$

각 층으로부터 반사된 압축파가 표면에 도달할 때의  $t_{j4}$ 는 식 (5)과 같이 식 (4)에  $x = 0$ 을 대입하여 구할 수 있다.

$$t = t_{j4} = \frac{2h_1\sqrt{V_{p5}^2 - V_{p1}^2}}{V_{p5}V_{p1}} + \frac{2h_2\sqrt{V_{p5}^2 - V_{p2}^2}}{V_{p5}V_{p2}} + \frac{2h_3\sqrt{V_{p5}^2 - V_{p3}^2}}{V_{p5}V_{p3}} + \frac{2h_4\sqrt{V_{p5}^2 - V_{p4}^2}}{V_{p5}V_{p4}} \quad (5)$$

노상상부로부터 가상압반까지의 깊이  $h_4$ 는 식 (5)를 정리하면, 식(6)과 같이 쓸 수 있다.

$$h_4 = \frac{1}{2} \left( t - \sum_{j=1}^3 \frac{2h_j\sqrt{V_{p5}^2 - V_{pj}^2}}{V_{p5}V_{pj}} \right) \frac{V_{p5}V_{p4}}{\sqrt{V_{p5}^2 - V_{p4}^2}} \quad (6)$$

여기서,  $t$ 는 하중지속시간,  $h_j$ 는 j번째 층의 두께,  $V_{pj}$ 는 j번째 층에서의 압축파 속도이다.

이렇게 계산된  $h_4$  노상두께를 이용하여 가상압반층 깊이를 추정한다. 깊이별 처짐은 가상압반층이하에서는 처짐이 발생하지 않는다고 가정하여 가상압반층 상단에서부터 깊이별 처짐값을 산정한다. 가상압반층 깊이 산정이 실제 압반층



이 존재하지 않는 깊이에 존재한다고 산정할 시에는 잘못된 결과를 나타내므로 본 연구에서는 실제 암반층의 깊이를 입력할 수 있도록 개선하였다.

### 2.3 역해석의 수치검증

MDD 시험에서 얻은 실측된 깊이별 처짐을 통한 역해석을 실시하기 이전에, 개발된 역해석 프로그램을 수치적인 방법으로 검증하여 실제 현장에 적용이 가능한지를 판단하고자 한다. 수치검증은 국내에서 실제로 사용하고 있는 4층 아스팔트 콘크리트 포장구조체를 수치모델로 선정하고 수치모델에 대한 이론적 깊이별 처짐 곡선을 실측 깊이별 처짐 곡선으로 간주하여, 본 연구의 역해석 프로그램에 의해 추정된 탄성계수를 수치모델 본래의 탄성계수와 비교하였다.

해석대상으로 선정한 단면은 영동고속도로 폐도구간과 경부고속도로 양재 IC 구간 단면이다. 해석에 쓰이는 포장구조체의 물성은 이광호(한국도로공사, 1996) 등이 제시한 값을 기준으로 하였다. 이광호 등은 국내 고속도로 현장에 대한 회복탄성계수 시험과 FWD 시험을 통하여 아스팔트표층, 안정처리기층, 보조기층, 노상의 회복탄성계수 범위를 제시한 바 있다. 수치검증을 위한 단면과 물성은 표 1과 같다.

표 1. 4층 포장구조체 탄성계수 추정을 위한 단면 및 물성

구분	층	층두께(cm)	탄성계수(kg/cm <sup>2</sup> )	포아송비
영동 고속도로	아스팔트층	15.0	21000	0.30
	안정처리기층	15.0	19000	0.30
	보조기층	30.0	1300	0.35
	노상	Infinite	780	0.40
경부 고속도로	아스팔트층	10.0	38000	0.30
	안정처리기층	25.0	13000	0.30
	보조기층	45.0	2000	0.35
	노상	Infinite	1250	0.40

수치검증을 위해서 정해석(다층탄성해석)에 의해 산정된 깊이별 처짐곡선은 표 2와 같다. 이를 실측처짐곡선이라 가정하여 역해석을 수행한 결과는 표 3에서와 같이 역해석에 의해 추정된 탄성계수와 실제탄성계수와의 최대오차가 0.32% 로 높은 신뢰성을 보였다.

표 2. 정해석에 의해 산정된 깊이별 처짐

구분	처짐(micron)	W <sub>1</sub>	W <sub>2</sub>	W <sub>3</sub>	W <sub>4</sub>
영동고속도로		281	275	228	186
경부고속도로		148	145	112	96

표 3. 4층 포장구조체의 탄성계수 추정

구분	층	층두께(cm)	처짐위치(cm)	실제탄성계수(kg/cm <sup>2</sup> )	역산탄성계수(kg/cm <sup>2</sup> )	오차(%)
영동 고속도로	아스팔트표층	15.0	14.9	21000	21014	-0.067
	안정처리기층	15.0	29.9	19000	19007	-0.037
	보조기층	30.0	59.9	1300	1299	0.077
	노상	Infinite	89.9	780	780	0.000
경부 고속도로	아스팔트표층	10.0	9.9	38000	37879	0.318
	안정처리기층	25.0	34.9	34200	34229	-0.085
	보조기층	45.0	79.9	2000	2001	-0.05
	노상	Infinite	109.9	1250	1250	0.000

MDD 현장시험시 MDD 모듈이 여러 가지 요인에 의해 계측이 어려운 경우에는 물성이 비슷한 층들을 하나로 묶어서 해석해야만 하는 경우가 생길 수 있다. 국내 고속도로의 아스팔트 포장에서는 대부분의 기층을 아스팔트 안정처리기층으로 사용하고 있으며 탄성계수의 크기가 표층의 그것과 거의 비슷하다. 이러한 조건을 감안하여 미국에서는 표층과 안정처리기층을 등가의 단일 아스팔트층으로 묶어서 해석하고 있는 추세이다. 본 연구에서도 3층 포장구조체 탄성계수 추정을 위한 역해석에서 이러한 추세를 반영하여 기층이 아스팔트 안정처리기층인 경우



는 표층과 기층을 하나의 아스팔트층으로 묶어 해석하였다. 해석결과는 표 4에서와 같이 보조 기층과 노상부분의 역산탄성계수의 오차가 0.4% 이하로 만족할만한 결과를 보였으며, 아스팔트층은 약 6% 정도의 오차를 보이나, 이는 표층과 안정처리기층의 등가탄성계수 개념을 고려하면 표층의 역산탄성계수 추정은 적절하다고 판단된다.

표 4. 3층 포장구조체의 탄성계수 추정 결과

사례	층	두께 (cm)	치점위치 (cm)	깊이별 치점 (micron)	실제 탄성계수 (kg/cm <sup>2</sup> )	역산 탄성계수 (kg/cm <sup>2</sup> )	오차 (%)
영동 고속도로	아스팔트층	30	29.9	275	21000	19334	5.076
	보조기층	30	59.9	228	1300	1298	0.154
	노상	Infinite	89.9	186	780	783	-0.385
경부 고속도로	아스팔트층	35	34.9	145	38000	35638	6.216
	보조기층	45	79.9	112	2000	1998	0.100
	노상	Infinite	109.9	96	1250	1254	-0.320

실측된 깊이별 치점을 통한 역해석과정에서 비파괴시험장비 또는 주행하중의 충격하중 영향을 고려하여 현장시험결과를 3층과 4층으로 역 해석한 결과, 표 5에서와 같이 표층 상단에서 가상암반층까지의 깊이는 영동고속도로의 경우 4.6m, 경부고속도로의 경우 5.8m 정도로 산정되었고 실제 탄성계수와 역산탄성계수 사이의 오차는 3층의 경우 최대 0.038%, 4층의 경우 최대 0.114%로 신뢰성 있는 결과를 얻었다.

### 3. 현장시험을 통한 포장구조체의 동적 특성 분석

#### 3.1 주행하중의 현장시험

본 연구에서는 건설중인 수도권 외곽순환 고속도로 중 김포구간을 시험구간으로, 주행시험에 사용된 트럭하중은 그림 2와 같이 정적 축중 계로 측정된 단축 8.2ton 을 사용하였다. 본 시

표 5. 가상암반층을 고려한 역해석 결과

구 분	층	두께 (cm)	실제 탄성계수 (kg/cm <sup>2</sup> )	역산 탄성계수 (kg/cm <sup>2</sup> )	오차 (%)
3층 (영동 고속도로)	아스팔트층	30.0	21000	21008	-0.038
	보조기층	30.0	1300	1300	0.000
	노상	397.7	780	780	0.000
	표층상단에서 가상암반층까지의 깊이 (cm)				458
3층 (경부 고속도로)	아스팔트층	35.0	38000	38399	0.003
	보조기층	45.0	2000	2000	0.000
	노상	497.3	1250	1250	0.000
	표층상단에서 가상암반층까지의 깊이 (cm)				578
4층 (영동 고속도로)	아스팔트층	15.0	21000	20997	0.014
	안정처리기층	15.0	19000	19004	-0.021
	보조기층	30.0	1300	1300	0.000
	노상	397.5	780	780	0.000
	표층상단에서 가상암반층까지의 깊이 (cm)				458
4층 (경부 고속도로)	아스팔트층	10.0	38000	38415	-0.039
	안정처리기층	25.0	34200	34239	-0.114
	보조기층	45.0	2000	1998	0.100
	노상	496.9	1250	1250	0.000
	표층상단에서 가상암반층까지의 깊이 (cm)				577



험시에는 그림 3과 같이 트럭이 깊이별 처짐장비인 Multi-Depth Defectometer(MDD)가 매설된 바로 위 지점을 통과할 수 있도록 환경을 조성하였다. 주행시험은 Creep 속도와 포장체에 가장 큰 영향을 미친다고 보고되어 있는 5, 10, 20, 30, 40, 50km/h 로 각 2회씩, 대표적으로 균열이 문제가 되는 겨울철과 소성변형이 문제가 되는 여름철에 비파괴시험 FWD시험과 동시에 실시하였고, 측정된 깊이별처짐의 평균을 산정하였다. 깊이별 처짐 측정일례로 주행속도 40km/h 의 경우 재하하중에 따른 포장도로 거동은 그림 4와 같다. 본 시험기간은 건설중인 신설도로로서 포장체 표면은 기능적·구조적 문제가 전혀 발생하지 않은 상태이며, 아스팔트 콘크리트층의 대표온도는 대기온도 및 표면온도로부터 깊이별 온도분포를 고려한 방법으로 산정한 결과, 1997년 11월 27일의 아스팔트 콘크리트층의 대표온도는 10℃ 이고 1998년 8월 20일은 40℃ 였다(최준성, 1998).

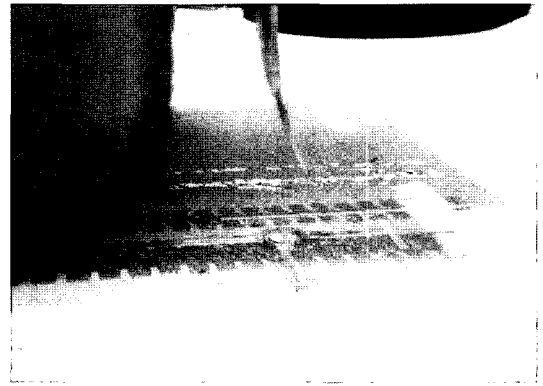


그림 3. MDD 설치지점에서의 트럭 주행

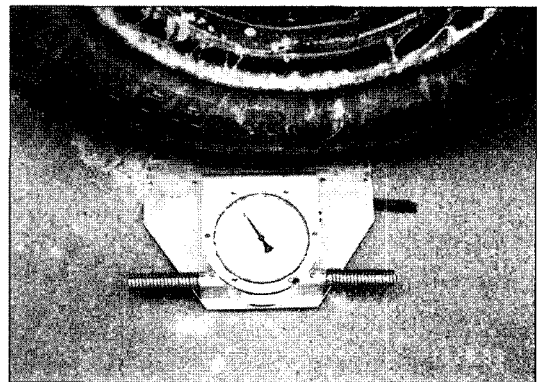
서는 축종류·타이어압·주행속도 등 차량의 특성을 대변할 수 있는 거동측정방법이 필요하다. 본 연구에서는 이동하중의 동적특성을 측정하기 위한 현장시험으로서 깊이별 처짐장비의 적용성을 평가하기 위하여 포장체 내부거동인 깊이별 처짐의 주행속도에 따른 거동을 분석하였다. 일례로·현장시험으로부터 측정된 표 6과 이를 분석한 그림 5를 살펴보면 주행속도가 증가함에 따라 깊이별 처짐이 감소하는 경향을 보임을 알 수 있다. 주행속도가 증가함에 따라 포장구조체에 가해지는 동하중은 증가한다고 알려져 있다.(Sebaaly and Tabatabaee, 1993, 한국건설기

### 3.2 주행속도에 따른 MDD 내부처짐 비교

차량의 특성에 따른 포장구조체의 거동분석을 위해서는 축종류·타이어압·주행속도 등 차량의 특성에 따른 포장구조체의 거동분석을 위해

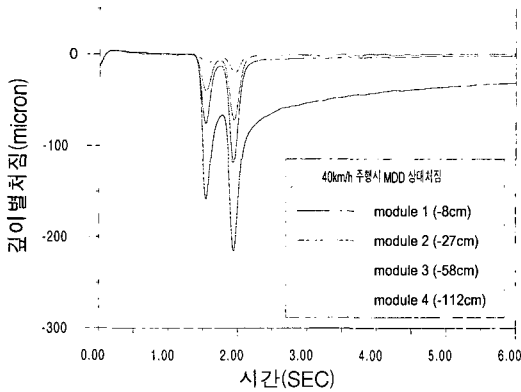


(a) 축중량 8.2 ton 시험 트럭

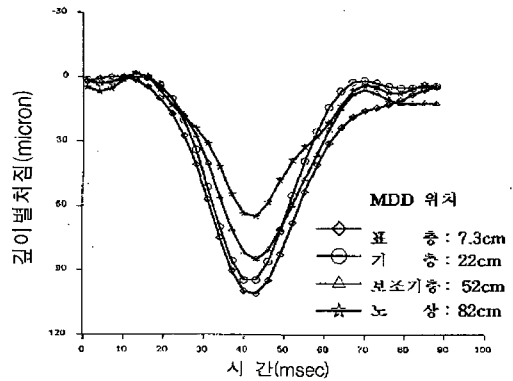


(b) 정적 축중계에 의한 트럭 하중의 계량

그림 2. 현장주행시험



(a) 주행하중



(b) FWD 충격하중

그림 4. 재하하중에 따른 포장도로 거동

술연구원, 1997). 본 연구에서 포장체에 가해지는 하중이 증가함에도 불구하고 내부처짐이 작게 측정되고 있는 것은 일시적으로 포장구조체 물성 자체가 구속압의 증가로 인하여 증가되기 때문으로 사료된다.

주행속도에 따른 포장구조체의 공용성 평가기준이 되는 내부거동은 추후 역학적 포장설계법과 관련하여 각 교통조건에 따른 구간별 제한속도와 기존 AASHTO 방법의 등가단축하중계수

산정방법과 등가단축하중횟수 산정방법의 타당성 검토뿐만 아니라 물성추정에 따른 공용성 모델 정립과 도로기준 파괴메커니즘의 분석에 토대가 될 것이다.

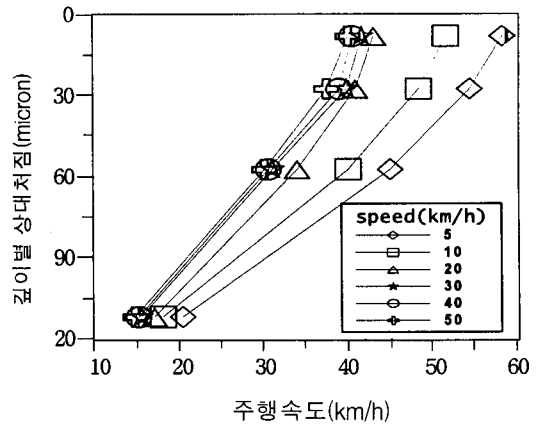
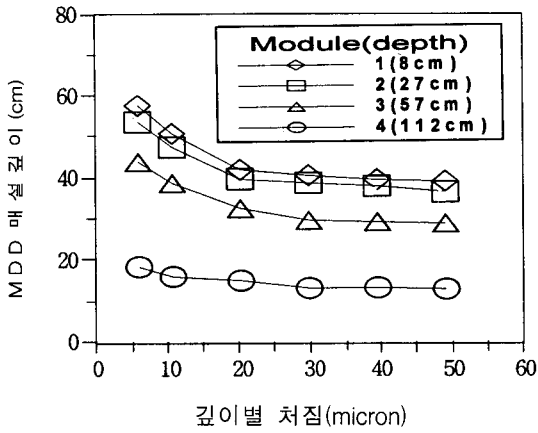
### 3.3 주행하중의 동적특성 분석

주행하중의 동적특성을 규명하는 또 다른 방법은 주행속도에 따라 측정된 깊이별 처짐을 역해석된 물성으로부터 계산된 이론치와 비교하는

표 6. 실측 MDD 깊이별 처짐과 역산물성에 의한 이론 깊이별 처짐(1997.11.27)

offset distance(cm)	FWD 표면처짐 (micron)							앵커처짐											
	0	30	60	90	120	150	180												
	74.2	55.1	45.1	35.1	27.6	22.1	17.5	21.9											
No.modules	깊이별 상대처짐 (micron)																		
하중형태	주행차량 동적하중(실측처짐)																	비고	
주행속도 (km/h)	5			10			20			30			40			50			
실험회수	1	2	평균	1	2	평균	1	2	평균	1	2	평균	1	2	평균	1	2	평균	
1 (8cm)	59.4	-	59.4	48.6	56.1	52.3	46.0	40.3	43.2	42.0	41.4	41.7	-	40.5	40.5	39.6	40.3	40.0	1997.11.27
2 (27cm)	55.3	-	55.3	43.3	54.4	48.9	45.1	36.1	40.9	38.7	39.5	39.8	-	38.9	38.9	37.5	37.1	37.3	
3 (57cm)	45.3	-	45.3	41.4	39.0	40.0	35.9	31.3	33.6	30.7	30.2	30.5	-	30.0	30.0	29.6	29.4	29.5	
4 (112cm)	19.2	-	19.2	15.5	17.9	16.7	19.7	11.4	15.6	17.1	10.0	13.9	-	13.6	13.6	14.6	11.6	13.1	





(a) 주행속도에 따른 깊이별 상대처짐 (b) MDD 위치에 따른 주행속도별 MDD 깊이별 상대처짐

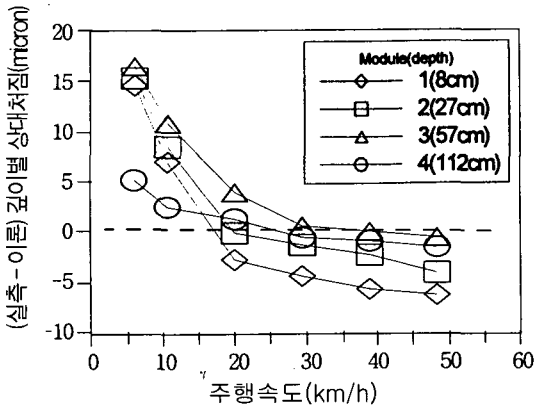
그림 5. 주행하중에 의한 MDD깊이별 상대처짐

것이다. 이를 위하여 겨울철과 여름철 FWD 시험결과로부터 의사정적 역해석방법으로 동적물

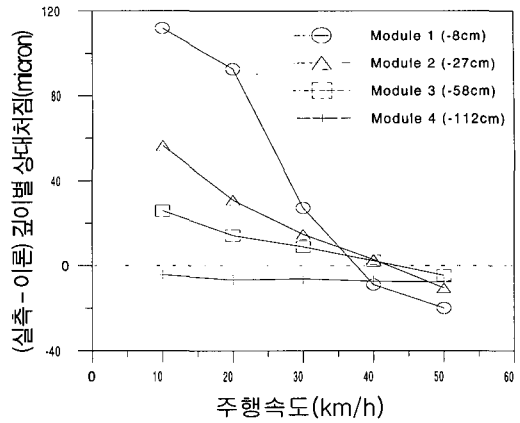
성을 추정하고(최준성, 1999), 역산된 물성을 이용하여 정해석 프로그램인 KENLAYER 로부터

표 7. 주행속도별 실측 깊이별처짐과 FWD 역해석으로부터의 산정 깊이별처짐 비교

구 분		1997 11.27					1998 8.20					앵커처짐 (micron)		깊이별 산정처짐 (micron)	
		5	10	20	30	40	50	10	20	30	40	50	예측		예측
표 층												30150		9740	
기 층												168740		21570	
보 조 기 층												3990		4420	
노 상												2960		3640	
차량주행 속도 (km/h)												21.9		21.2	
												46.0		48.59	
비교깊이 (cm)	실측 MDD 처짐(micron)						실측 MDD 처짐(micron)						깊이별 산정처짐 (micron)		깊이별 산정처짐 (micron)
													유한요소 해석		
8.0	59.4	52.3	43.2	41.7	40.5	40.0	271.0	251.7	186.5	150.3	139.2	46.0	48.59	159.12	
27.0	55.3	48.9	40.9	39.8	38.9	37.3	159.0	133.4	117.2	105.3	91.9	41.2	47.95	102.5	
57.0	45.3	40.0	33.6	30.5	30.0	29.5	87.3	75.6	70.3	63.7	56.8	30.1	37.63	61.4	
128.0	19.2	16.7	15.6	13.9	13.6	13.1	19.3	17.0	17.5	16.3	15.9	14.6	21.1	23.6	



(a) 1997/11/27 현장시험결과



(b) 1998/8/20 현장시험결과

그림 6. 주행하중의 동적특성

이론적 깊이별 처짐을 산정하였다(Huang,1993).

표 7과 같이 비파괴시험 FWD의 동적물성으로부터 동해석과 정해석의 차이를 비교한 결과 정해석이 동해석보다 깊이별처짐을 과다산정하여 포장도로의 물성을 과소추정함을 알 수 있었고, FWD 동적물성에 따른 계절별 주행속도에 따른 영향을 분석한 결과, 겨울철의 경우 Creep 속도인 10-20km를, 여름철의 경우 30-40km를 대변함을 알 수 있었다. 또한 주행하중의 속도에 의한 동적특성은 그림 6의 실측 및 이론 깊이별 처짐차에서 보듯이 노상을 제외한 나머지 층에서 뚜렷하게 나타남을 알 수 있었다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 FWD 하중과 주행하중으로 인한 Multi-Depth Deflectometer(MDD)의 깊이별 처짐자료로부터 아스팔트 콘크리트 포장구조체 각 층의 탄성계수를 역산하는 기법을 개발하고 수치검증하였다. 또한, 포장체 내부거동인 깊이별처짐의 주행속도에 따른 영향과 이동하중하에서의 포장구조체 거동평가를 위한 깊이별 처

짐장비의 적용성을 고찰하였다. 본 연구로부터 얻은 결론은 다음과 같다.

1. MDD로부터 측정된 깊이별 처짐을 이용하여 본 연구에서 개발한 아스팔트 콘크리트 포장구조체의 탄성계수를 역산추정하는 프로그램을 수치검증한 결과, 역산추정된 탄성계수와 실제탄성계수의 오차는 본 연구의 수치모델에 대해 4층의 경우 최대 0.32%로 신뢰성 있는 결과를 얻었다. 3층의 경우 보조기층과 노상은 0.4%이하로 신뢰성 있는 결과를 얻었으나, 아스팔트층은 약 6%의 오차를 보임을 알 수 있었다.
2. 깊이별 처짐의 가상암반층을 고려한 역해석시 실제탄성계수와 역산탄성계수 사이의 오차는 본 연구에서 검증한 수치 모델에 대해 3층의 경우 최대 0.038%, 4층의 경우 최대 0.114%로 신뢰성 있는 결과를 얻었다.
3. 주행하중을 재하하중으로 주행속도에 따라 측정된 깊이별 처짐을 분석한 결과 주행속도가 증가함에 따라 깊이별 처짐이 감소하였고, 역해석 물성으로 계산된 이론 깊이별 처짐과의 차이를 살펴보면 주행속도에 따



른 주행하중의 동적특성이 뚜렷하게 나타남을 알 수 있었다.

4. 아스팔트 콘크리트 포장구조체의 거동분석에 사용되는 정해석과 동해석을 FWD 동적물성으로부터 비교분석한 결과, 기존에 사용중인 정해석은 실제 깊이별 처짐을 과다 산정함을 알 수 있었다. 이는 아스팔트 콘크리트 포장구조체의 물성을 역해석시 과소추정하는 것으로 덧씌우기 시기를 짧게 추정하여 유지관리비용을 낭비하는 바, 실시간 해석이 가능하며 역학적 포장설계법에 이용가능한 거동분석 동해석 기법의 개발이 필요함을 알 수 있었다.

### 참고문헌

1. 최준성, 이승훈, 김수일, 유지형, 육창권, 이광호, "FWD의 동적특성을 고려한 아스팔트 콘크리트 포장도로의 물성추정에 관한 연구 II: 현장시험을 통한 검증", 대한토목학회논문집, 제 18권, 제 3-6호, 대한토목학회, 1998.11, pp. 811-821
2. 김수일, 최준성, 이양구, "아스팔트 콘크리트 포장도로의 물성추정을 위한 FWD 시험결과의 최적 역산기법 개발", 대한토목학회논문집, 제 18권 제 3-1호, 대한토목학회, 1998.1, pp 41-52

3. 최준성, 이승훈, 김수일, 유지형, "FWD의 동적특성을 고려한 아스팔트 콘크리트 포장도로의 물성추정에 관한 연구 I: 역해석기법 개발", 대한토목학회논문집, 제 18권, 제 3-5호, 대한토목학회, 1998.9, pp. 623-634
4. 최준성, 동적표면처짐의 의사정적해석에 의한 아스팔트 콘크리트 포장구조체의 물성추정, 연세대학교 대학원 박사학위논문, 1998
5. 한국도로공사, 아스팔트 포장 설계의 표준화 연구, 도로연 96-46-20, 1996, pp.98-136.
6. Sebaaly, P.E., Tabatabaee, N., "Influence of Vehicle Speed on Dynamic Loads and Pavement Respond," TRR 1410, TRB, National Research Council, Washington, D. C., 1993, pp.107-114.
7. 한국건설기술연구원, "수도권 도로 교통정보·관리체계 구축 기본설계 및 평가연구 기술보고서/검지기 성능 평가편", 건설교통부, 1997.12
8. Huang, Y.H., *Pavement Analysis and Design*, Prentice-Hall Inc., 1993