

# 주행차량의 내부거동을 통한 아스팔트 콘크리트 포장구조체의 물성추정에 관한 연구

## Estimation of Flexible Pavement Layer Properties Using the Interior Behavior of Pavement under Moving Vehicle

서주원\* · 최준성\*\* · 김수일\*\*\* · 김도형\*\*\*\* · 김형배\*\*\*\*\*

See, Joo Won · Choi, Jun Seong · Kim, Soo Il · Kim, Do Hyung · Kim, Hyung Bae

### 1. 서 론

건설중인 시험도로에서는 포장체 파손정도의 예측과 파손방지를 위하여 주행차량에 따른 동적특성과 포장체 거동특성을 분석하여 설계 및 유지관리기법 개발에 적용하여야 한다. 그러나 주행차량에 따른 동적특성이 현장시험을 통하여 검증되어지지 않고 있다. 시험도로를 건설하는 이유중의 하나가 이러한 이동하중의 동적특성이 포장체에 미치는 영향을 연구하는 것이고, 또한 포장구조체의 물성은 포장구조체의 기하학적 형태, 포장두께, 예상되는 추후 교통량 등의 요소와 함께 포장구조체의 잔존수명과 포장구조체 각 층의 응력, 변형률, 처짐 등 포장구조체의 동적거동을 파악하기 위하여 사용되므로 포장구조체 내부거동 측정과 주행차량의 깊이별 처짐을 통한 포장구조체의 물성추정은 꼭 필요한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 다양한 주행속도로부터 측정된 깊이별 처짐자료를 이용하여 포장구조체의 물성을 추정하는 방법을 개발하였다.

### 2. MDD 현장시험

깊이별 처짐장비(MDD:Multi Depth Deflectometer)로부터 주행차량에 따른 포장체 거동분석을 위하여 영동고속도로 상행선 신갈기점 29km에 위치한 경기도 이천 덕평포도 충돌 시험장을 시험구간으로 선정하였다. 깊이별 처짐장비를 시험구간에 설치한 후 2000년 11월 27일 트럭 주행시험을 실시하여 MDD를 통한 깊이별 처짐신호를 획득하였다. 주행시험에 사용된 트럭하중은 정적 축중계로 측정된 단축 8.2ton을 사용하였다. 주행속도는 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80km/hr로 각 1~2회씩 시행하였다.

\* 정회원 · 연세대학교 대학원 토목공학과 박사과정 · 02-312-5101 (E-mail:iamgon94@hanmail.net)

\*\* 정회원 · 인덕대학 토목환경설계과 전임강사 · 02-901-7658 (E-mail:soilpave@mail.induk.ac.kr)

\*\*\* 정회원 · 연세대학교 사회환경건축공학부 교수 · 02-2123-2800 (E-mail:geotech@yonsei.ac.kr)

\*\*\*\* 정회원 · 한국도로공사 아스팔트포장연구실 연구원 · 02-2230-4853 (E-mail:goodman@freeway.co.kr)

\*\*\*\*\* 정회원 · 한국도로공사 아스팔트포장연구실 책임연구원 · 02-2230-4851 (E-mail:kimhyun3@freeway.co.kr)



그림 1은 2000년 11월 27일 시험시 MDD 처짐장비로 측정된 각 주행속도에 따른 깊이별 상대처짐이다. 표 1은 각 module 에서 주행속도별 최대처짐을 나타내었다. 이를 살펴보면 속도가 증가함에 따라 처짐은 작게 나타남을 알 수 있다.

표 1 주행속도에 따른 실측 MDD 깊이별 상대처짐

깊이별 상대처짐(micron)								
하중형태	주행차량 동적하중 (단축 8.2ton)							
주행속도 MDD모듈	10	20	30	40	50	60	70	80
1(9.5cm)	167	157	147	143	137	133	128	125
2(24cm)	149	141	134	129	126	121	115	113
3(53cm)	90	78	75	73	72	71	69	68
4(93cm)	42	37	36	35	35	34	33	33

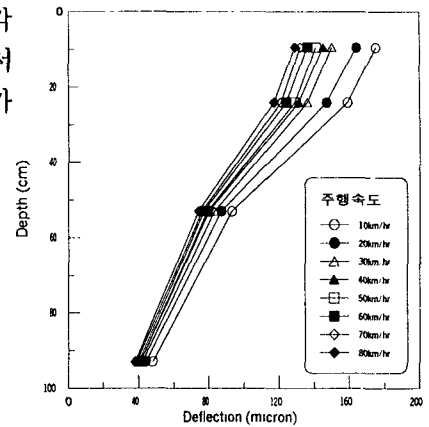


그림 1. 주행하중에 의한 MDD 깊이별 상대처짐

### 3. 유한요소해석을 이용한 수동역해석

1999년 이강진 등의 연구결과에 의하여, 그림 2에서 보는 바와 같이 차량주행방향으로는 17.1m의 유한요소망을 구성하고, 중앙부 5.1m 구간에만 차량의 주행을 구현시킨다. 주행직교방향으로는 10.5m의 폭 이상에서는 포장체의 거동응답이 경계의 영향을 거의 받지 않는다. 차량이 지나가는 중앙부에는 주행하중을 효과적으로 구현하기 위하여 주행 직교방향으로 30cm 간격으로 구성된 아스팔트층의 상부 한 층을 10cm 간격으로 더욱 세밀하게 구성하였다.

동적 탄성계수의 추정은 11월 27일 시험시 얻은 주행하중에 의한 MDD 깊이별 상대처짐 중 저속,

중속 그리고 고속주행 데이터인 20km/hr, 40km/hr 그리고 80km/hr 를 그 대상으로 선정하였다. MDD 깊이별 상대처짐으로부터 정적으로 역산(이강진, 1998)한 각층의 탄성계수를 초기값으로 하여 그림 3과 같이 각 주행속도에 따라 동해석 프로그램인 ABAQUS 에 의해 각층의 물성을 바꾸어가며 실측된 깊이별 처짐을 대변하는 3층 아스팔트 콘크리트 포장구조체의 동적 탄성계수를 산정하였다. 이와 같은 정적 수동역해석 및 동적 수동역해석 방법으로 산정된 각 층의 탄성계수를 표 2에 정리하였다.

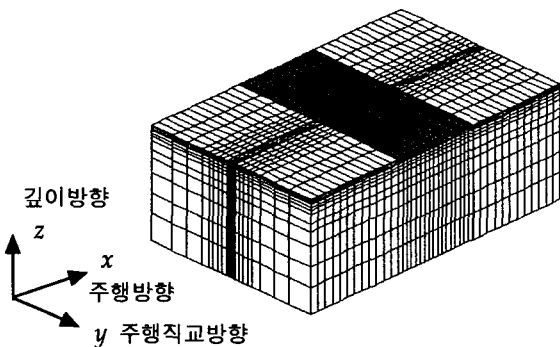


그림 2. 3차원 유한요소망

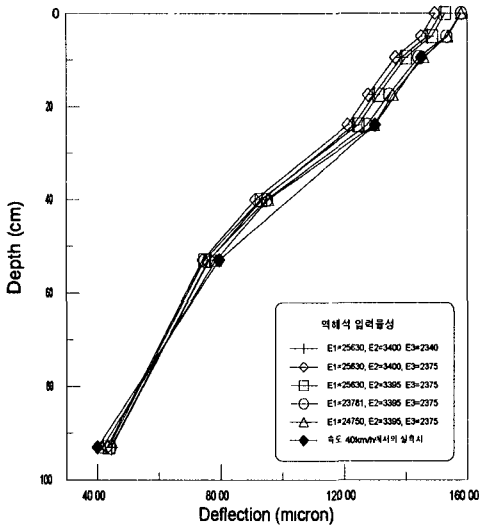


그림 3. MDD 상대처짐을 이용한 각 층의 동적탄성계수 추정과정에

여 개발하였다. Newton-Raphson 법은 아스팔트 포장구조체와 같이 해석하고자 하는 대상이 되는 함수의 굴곡변화가 완만한 경우에 가장 효율적으로 해석을 수행할 수 있으며 해석자체가 간단한 방법이다. 개발된 역해석프로그램을 현장검증하기 위하여 2000년 11월에 실시한 현장 시험에서 측정된 주행 속도에 따른 깊이별 처짐값을 이용하여 역해석을 실시하였다. 표 1의 깊이별 처짐 자료를 이용하여 역해석을 실시한 결과는 표 3과 같다.

표 2. MDD 깊이별 상대처짐으로부터 수동 역산한 탄성계수(kg/cm<sup>2</sup>)

구분	주행속도 (km/hr)		20		40		80	
	정적	동적	정적	동적	정적	동적	정적	동적
아스팔트층 (25 cm)	20250	19960	25630	24750	33790	31142		
보조기층 (30 cm)	3060	3109	3400	3395	3730	3629		
노상 (745 cm)	2330	2324	2340	2375	2330	2406		

#### 4. 현장 시험을 통한 자동 역해석 기법의 개발과 검증

본 연구에서는 MDD 깊이별 처짐을 이용한 역해석 알고리즘으로 초기값의 영향을 비교적 적게 받는다고 판단되는 Newton-Raphson 법(김영덕, 1997)을 이용하여

표 3. 주행속도에 따른 역산탄성계수의 비교

주행속도 (km/hr)	구분	수동 동적역해석에 의한 역산탄성계수 (kg/cm <sup>2</sup> )	자동 정적역해석에 의한 역산탄성계수 (kg/cm <sup>2</sup> )	오차 (%)
20 (저속)	아스팔트층	19960	19980	0.11
	보조기층	3109	3100	0.45
	노상	2324	2330	0.11
40 (중속)	아스팔트층	24750	25690	3.80
	보조기층	3395	3370	0.86
	노상	2375	2340	1.42
80 (고속)	아스팔트층	31142	33830	8.62
	보조기층	3629	3700	1.93
	노상	2406	2340	3.23



유한요소해석을 이용한 동적 수동역해석과 본 연구에서 개발한 정적 자동역해석 결과의 차이는 최대오차 8.62%를 보임을 알 수 있다. 이는 주행하중이 속도에 따라 변하는 영향, 주행차량 타이어의 포장구조체에 접지되는 단면적의 변화등 주행하중에 미치는 영향을 고려하지 못한 점에 기인한다고 판단된다. 본 연구의 역해석 기법은 주행속도의 변화에 따른 주행하중의 크기 변화의 영향을 고려할 수 없으므로 주행하중을 고정시키고 역해석을 수행하였다. 그 결과 주행속도가 증가할수록 역산탄성계수가 커짐을 알 수 있다. 동일한 시험구간에서 각 층 물성의 변화가 없음을 고려할 때 주행하중에 속도에 관계없이 일정한 공용성을 평가하기 위해서는 주행속도에 따른 주행하중의 크기와 주기의 변화에 대한 연구가 필요하다고 판단된다.

### 5. 결론

본 연구에서는 주행차량의 속도에 따른 깊이별 처짐데이터를 이용한 포장구조체의 물성추정 역해석 기법을 개발하였다. 본 연구로부터 얻은 결론은 다음과 같다.

- (1) 깊이별 처짐을 이용하여 주행차량에 따른 포장체 특성을 분석한 결과, 차량의 속도가 증가함에 따라 처짐은 작게 나타남을 알 수 있었다.
- (2) 본 연구에서 개발한 물성추정 역해석 기법의 현장적용성을 분석하기 위하여 현장주행시험시 측정된 MDD 깊이별처짐자료를 이용하여 정적 수동역해석기법과 동적 수동역해석기법으로 역해석 물성을 추정하여 비교분석한 결과 본 연구에서 개발한 역해석 기법이 충분히 신뢰성이 있음을 알 수 있었다.

### 참고문헌

1. 이강진(1998), 차량 주행속도에 따른 아스팔트 콘크리트 포장구조체의 거동분석, 석사학위논문, 연세대학교
2. 최준성, 김수일, 유지형(1999), 아스팔트 콘크리트 포장구조체의 내부처짐에 의한 물성추정 및 주행속도에 따른 거동분석, 한국도로포장공학회논문집, 제2권, 제1호, pp.135-145.
3. 김영덕(1997), MDD 시험에 의한 아스팔트 콘크리트 포장구조체의 물성추정 및 검증에 관한 연구, 석사학위논문, 연세대학교