

아스팔트 포장체의 물성치 추정을 위한 소형 FWD의 성능평가

Evaluation of Portable FWD Test for Estimation of Mechanical Properties of Asphalt Concrete Pavements

김종열* · 박진규** · 강희복*** · 박달수****

Kim, Jong Ryeol · Park, Jin Kyu · Kang, Hee Bog · Park, Dal Su

1. 서 론

사회기간시설인 도로를 효율적으로 사용하고 도로의 수명을 연장하기 위해서는 도로의 체계적이며 과학적인 유지, 관리, 보수가 필요하다. 또한 이는 지역사회의 발전 및 국가예산의 효율적인 집행과 직접적인 연관이 있다. 도로의 효율적인 유지, 관리, 보수를 위해서는 도로 포장체의 파손 특성과 파손이 일어나는 이유를 설명할 수 있는 포장체의 역학적 특성을 이해해야 한다.

일반적으로 포장구조물은 시공 전후 시험실에서 측정된 포장체의 물성치를 기준으로 설계하며 역학적 해석도 병행한다. 하지만 아스팔트 포장체의 물성치는 시간이 지남에 따라 큰 차이로 변화하기 때문에 현 상태의 포장구조체의 물성치는 효율적인 유지관리를 위하여 포장구조체의 잔존수명과 포장구조체의 각 층의 응력, 변형률, 물성치를 추정할 수 있는 현장 시험방법이 필수적이다.

FWD(Falling Weight Deflectometer) 시험기기는 일정질량의 추를 일정한 높이에서 낙하시켜 포장구조물의 표면에 충격하중을 가하고 동시에 가속도계의 원리를 이용하여 표면의 처짐을 측정하는 비파괴 시험이다. 본 연구에서는 소형 FWD 기기를 사용하여 아스팔트 포장체 물성치 예측 가능성과 타당성을 검증하고자 한다. 또한, 표면처짐 실측치와 역해석에 의한 추정치를 비교하여 아스팔트 물성치 추정이 가능한지에 대한 선행연구를 수행하고자 한다.

2 시험방법

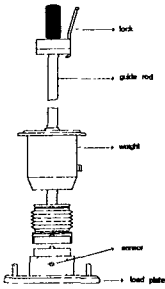
소형FWD의 제원은 총무게가 15kgf, 낙하추의 무게는 10kgf, 낙하 높이 720mm이며, 최대 충격력은 7.07kN이고, 재하판 직경은 300mm이다. 처짐 측정범위는 0.0001~2.0mm \pm 0.00002이다. 그림 1

* 정희원 · 전남대학교 토목공학전공 교수 · 062-530-1654 (E-mail: jrkim@chonnam.chonnam.ac.kr)

** 정희원 · 전남대학교 토목공학 석사졸업, 한국토지개발공사 (E-mail: jinkyu@koland.co.kr)

*** 정희원 · 여수공업대학교 토목공학과 교수 · 061-650-4104 (E-mail: kangsung@mail.yosutc.ac.kr)

**** 정희원 · 전남대학교 토목공학과 석사 과정 · 062-267-9437 (E-mail: rabby200@moiza.chonnam.ac.kr)



은 소형 FWD의 개략도이다.

처짐을 감지할 수 있는 센서를 하중 재하판 중심과 중심으로부터 20cm, 50cm, 90cm 떨어진 지점에 설치하여, 낙하추를 3회 낙하시키고, 전용프로그래로부터 처짐 곡선을 구한다.

3 시험결과 및 고찰

3.1 현장시험결과

그림 1. 소형 FWD기의 개략도

본 시험에서 사용되는 처짐 측정장비로는 소형 FWD의 기본 장비 및 가속도계를 사용하였다. 시험은 광주풍암지구 중로1류(20m) 및 광주종합유통단지 대로2류(30m)에서 시행하였으며 풍암지구 중로구간의 포장단면은 아스팔트층 15cm, 쇄석기층 15cm, 보조기층 25cm이며 풍암유통단지 대로구간의 포장단면은 아스팔트층 16cm, 쇄석기층 15cm, 보조기층 20cm구성되어 있다. 포장의 최대수직변형 측정은 4개의 가속도계에서 획득된 data를 증폭기를 거쳐 전용프로그램을 통하여 저장한 후 2회의 적분을 통하여 최대수직변형을 구하였다. 풍암지구 및 종합유통단지의 현장 시험결과는 다음과 같다.

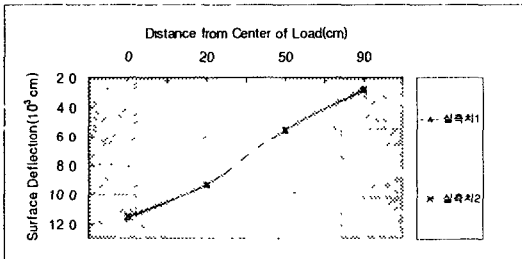


그림 2. 광주풍암지구 실측표면처짐

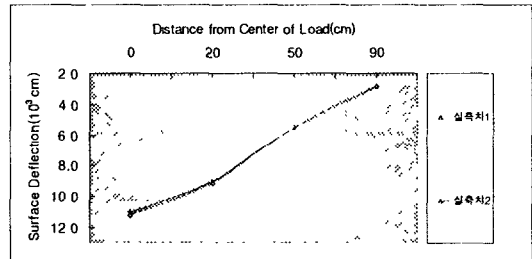


그림 3. 광주종합유통단지 실측표면처짐

표 1. 아스팔트 콘크리트 포장구조체의 실측처짐

지구명	SITE	일시	FWD 표면처짐(micron)				
			처짐	W1	W2	W3	W4
광주풍암지구	1	'00.9.25, 14:00	측정치	11.572	9.342	5.525	2.809
	2	'00.9.25, 15:00	측정치	11.509	9.319	5.547	2.837
광주종합유통단지	1	'00.9.27, 16:00	측정치	11.062	9.035	5.494	2.842
	2	'00.9.27, 17:00	측정치	11.191	9.096	5.476	2.809

3.2 다층탄성해석프로그램을 이용한 역해석 결과

본 연구에서는 수치 적분시 적분구간을 세분화함으로써 해석결과에 보다 신뢰성을 줄 수 있도록 한 KENLAYER 프로그램을 사용하였다. 다층탄성해석프로그램을 이용한 반복해석 방법은 포장의 층 구조에 대하여 탄성계수를 가정하고 하중으로부터 반경방향의 여러 개의 표면 변형량을 계산하고 변형량의 계산치와 측정치를 비교하였다. 이 방법을 반복하여 각 회마다 각 층의 탄성계수를 바꾸어 계산



치와 측정치와의 차가 어느 정도 범위 내에 들어 갈 때까지 반복해서 실시하는 것이다. 다음은 프로 그래프에 사용된 입력변수와 광주풍암지구 및 유통단지에서의 다층탄성해석결과이다.

【광주풍암지구】

- 포장단면 :
 - 아스팔트층 15cm, 쇠석기층 15cm,
 - 보조기층 25cm, 노상 infinite
- 초기탄성계수가정치
 - 아스팔트층 15,400~25,870kgf/cm²,
 - 쇠석기층 2,540~3,250kgf/cm²
 - 보조기층 1,630~2,080kgf/cm²,
 - 노상 890~1,190kgf/cm²
- 포와스비
 - AP층 : 0.3
 - 쇠석층 : 0.35
 - 노 상 : 0.40
- 재하판 직경 : 300mm
- 가속도계 위치 : 0, 20cm, 50cm, 90cm

【광주종합유통단지】

- 포장단면 :
 - 아스팔트층 16cm, 쇠석기층 15cm,
 - 보조기층 20cm, 노상 infinite
- 초기탄성계수가정치
 - 아스팔트층 15,400~25,870kgf/cm²
 - 쇠석기층 2,570~3,250kgf/cm²
 - 보조기층 1,680~2,080kgf/cm²
 - 노상 890~1,190kgf/cm²
- 포와스비
 - AP층 : 0.30
 - 쇠석층 : 0.35
 - 노 상 : 0.40
- 재하판 직경 : 300mm
- 가속도계 위치 : 0, 20cm, 50cm, 90cm

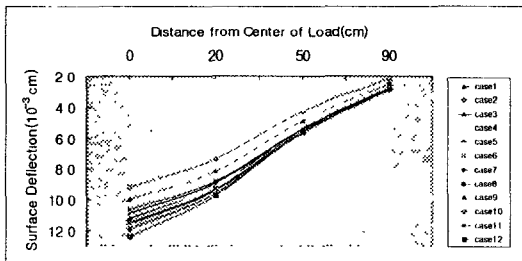


그림 4. 광주풍암지구 다층탄성해석결과

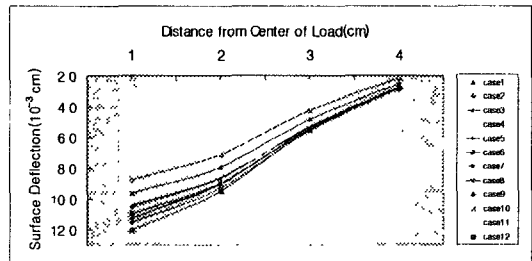


그림 5. 광주종합유통단지 다층탄성해석결과

표 2. 다층탄성해석결과 표면처짐

지구명	case	탄성계수 가정치(kgf/cm ²)				정해석결과 표면처짐(micron)			
		E1	E2	E3	E4	W1	W2	W3	W4
광주 풍암 지구	case 1	22,300	2,850	1,720	900	11,212	9.108	5.443	2.784
	case 2	23,200	2,910	1,820	930	11.852	9.581	5.664	2.870
	case 3	24,100	2,950	1,870	920	10.894	8.905	5.392	2.794
	case 4	20,450	2,640	1,650	890	11.146	9.088	5.476	2.822
	case 5	19,480	2,610	1,630	900	11.563	9.337	5.523	2.809
	case 6	21,750	2,860	1,720	890	11.547	9.378	5.603	2.868
	case 7	19,150	2,540	1,630	910	11.958	9.591	5.585	2.799
	case 8	20,500	2,670	1,750	915	11.480	9.259	5.496	2.812
	case 9	25,300	3,120	1,950	1,020	10.091	8.207	4.912	2.514
	case10	25,870	3,250	2,080	1,190	9.169	7.363	4.285	2.138
	case11	25,870	3,250	2,080	890	10.671	8.804	5.456	2.896
	case12	15,400	3,250	2,080	890	12.405	9.731	5.555	2.799



지구명	case	탄성계수 가정치(kgf/cm ²)				정해석결과 표면처짐(micron)			
		E1	E2	E3	E4	W1	W2	W3	W4
광주 종합 유통 단지	case 1	22,540	2,870	1,760	920	9.657	7.912	4.841	2.516
	case 2	20,680	2,720	1,640	890	10.546	8.646	5.301	2.764
	case 3	24,100	2,950	1,870	920	10.429	8.588	5.311	2.786
	case 4	23,200	2,940	1,790	910	11.367	9.243	5.570	2.858
	case 5	20,900	2,730	1,810	910	11.521	9.319	5.552	2.822
	case 6	21,750	2,860	1,720	890	10.973	8.982	5.442	2.865
	case 7	19,520	2,570	1,680	910	11.562	9.327	5.527	2.797
	case 8	21,300	2,920	1,790	900	11.253	9.018	5.425	2.786
	case 9	25,300	3,120	1,950	1,020	10.925	8.948	5.476	2.850
	case10	25,870	3,250	2,080	1,190	8.766	7.092	4.224	2.142
	case11	25,870	3,250	2,080	890	10.244	8.509	5.375	2.888
	case12	15,400	3,250	2,080	890	12.040	9.512	5.512	2.781

3.3 실측치와 정해석 결과 비교

그림 6, 그림 7 및 표 3은 소형 FWD 시험의 표면처짐 측정치와 다층탄성해석 프로그램인 KENLAYER 프로그램을 이용한 계산치에 의하여 탄성계수를 추정한 결과이다. 광주지구의 경우 측정치와 계산치의 오차는 초기에 3.11%로 나타났으며 탄성계수값을 수정하여 반복계산한 결과 오차가 0.92% 이내로 줄어들었다. 결과적으로 오차가 0.92% 이내인 탄성계수가정치를 탄성계수 추정결과값으로 결정하였으며 광주종합유통단지 또한 초기에 4.50%로 나타난 탄성계수가정치를 반복수정하여 오차가 0.95% 이내인 탄성계수가정치를 탄성계수 추정결과값으로 결정하였다

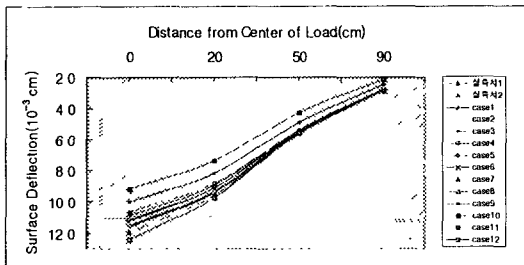


그림 6. 광주풍암지구 실측치와 정해석결과

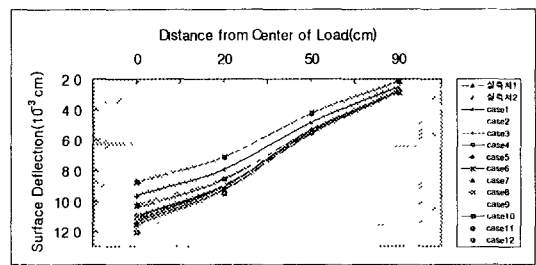


그림 7. 광주종합유통단지 실측치와 정해석결과

표 3. 아스팔트 콘크리트 포장구조체의 정해석결과 표면처짐

지구명	SITE	일시	FWD 표면처짐(micron)				탄성계수 추정결과(kgf/cm ²)				
				W1	W2	W3	W4	E1	E2	E3	E4
종합 지구	1	'00.9.25 14:00	측정치	11.572	9.342	5.525	2.809	20,900	2,730	1,810	910
			계산치	11.567	9.339	5.523	2.809				
			오차 (%)	0.78	0.58	0.24	0.17				
	2	'00.9.25 15:00	측정치	11.509	9.319	5.547	2.837	21,300	2,920	1,790	900
			계산치	11.480	9.259	5.496	2.812				
			오차 (%)	0.25	0.64	0.92	0.87				



지구명	SITE	일시	FWD 표면처질(micron)				탄성계수 추정결과(kgf/cm ²)				
				W1	W2	W3	W4	E1	E2	E3	E4
종합 유통 단지	1	'00.9.27 16:00	측정치	11.062	9.035	5.494	2.842	21,750	2,860	1,720	890
			계산치	10.973	8.982	5.442	2.873				
			오차 (%)	0.80	0.58	0.95	-0.80				
	2	'00.9.27 17:00	측정치	11.191	9.096	5.476	2.809	20,500	2,670	1,750	915
			계산치	11.253	9.018	5.421	2.781				
			오차 (%)	-0.55	0.86	0.94	0.83				

4. 결 론

1. 광주 풍암지구의 측정치와 계산치의 오차는 초기에 3.11%로 나타났으며, 탄성계수값을 수정하여 다층탄성해석 프로그램을 반복수행한 결과 0.92% 오차범위 내에서 탄성계수값을 추정해낼 수 있었다.
2. 광주 종합유통단지의 측정치와 계산치의 오차는 초기에 4.5%로 나타났으며, 탄성계수값을 수정하여 다층탄성해석프로그램을 반복수행한 결과 0.95% 범위 내에서 탄성계수값을 추정해낼 수 있었다.
3. 역해석 수행결과 아스팔트 콘크리트 표면처질 측정을 위한 가속도계의 설치간격은 각각의 위치에서 각 층의 특성을 잘 반영하여 적정한 것으로 나타났다.
4. 전술한 결론들을 종합해볼 때 소형 FWD를 이용한 아스팔트 포장체의 물성치 예측은 가능한 것으로 판명되었다. 향후 소형 FWD에 적용할수 있는 합리적인 역해석방법의 개발과 최대충격력을 증가시키기 위한 낙하추의 중량증가 등이 개선되고, 보다 많은 시험결과가 축적된다면 저렴한 비용으로 합리적인 유지보수방법 및 보수기기를 결정하여 아스팔트 포장도로의 공용성을 증가시킬 수 있는 방안이 될 것으로 기대된다.

6. 참고문헌

1. 도로포장공학회지(1999): "FWD를 이용한 포장구조 평가 및 유지보수방법", 박태순, p.27~33.
2. 도로포장공학회지(1999): "전산해석 프로그램을 이용한 아스팔트포장 단면의 거동특성분석", p.15 5~167.
3. 한국도로공사(1994): "고속도로 아스팔트포장설계법 개선에 관한 연구" 도로연 94-15-6, p.42~82.
4. Huang, Y. H.(1993): "Pavement Analysis and Design" Prentice-Hall Inc.
5. Huang, Y. H.(1972): "Flexible Pavement Analysis Computer Program Manual, University of Kentucky"
6. 김수일, 최준성, 이양구(1998): "아스팔트 콘크리트 포장체의 물성추정을 위한 FWD 시험결과와 최적 역산기법 개발", 대한 토목학회논문집, 제18권, 제3-1호, 대한토목학회.



7. 유지형(1989): “처짐 곡선에 의한 아스팔트 콘크리트 포장 구조체의 층별 탄성계수 추정에 관한 연구”, 연세대학교 대학원 박사학위논문.
8. 건설부(1988): “AASHTO 도로포장 구조설계 지침서”, 건설부
9. 이광호(1992): “아스팔트 포장구조체의 구조적 능력 평가에 관한 연구”, 연세대학교 대학원 박사학위논문.
10. 최준성(1998): “동적표면처짐의 의사정적해석에 의한 아스팔트 콘크리트 포장구조체의 물성추정”, 연세대학교 대학원 박사학위논문.
11. 이경하, 이광호(1999): “전산해석 프로그램을 이용한 아스팔트포장 단면의 거동특성분석”, 한국도로포장공학회지, 제1권, 제2호, 한국도로포장공학회.
12. 최준성(2000): “아스팔트 콘크리트 포장구조체의 내부처짐에 의한 물성추정과 주행속도에 따른 거동분석”, 한국도로포장공학회지, 제2권, 제1호, 한국도로포장공학회
13. 박진규(2001): “비파괴시험을 이용한 아스팔트 포장체의 물성치 추정에 관한 연구” 전남대학교 대학원 석사학위논문.