

FWD 처짐값을 이용한 아스팔트 포장체의 구조적 상태 평가기법 개발

Development of the structural condition evaluation techniques for asphalt pavements using FWD deflections

손종철* · 박희문** · 안덕순*** · 박성완****

Son, Jong Chul · Park, Hee Mun · An, Deok Soon · Park, Seong Wan

1. 서 론

1990년도 이후 도로정책의 목표는 부족한 도로시설의 확충에서 기존시설의 운영효율을 극대화하는 도로 관리 운영정책의 도입에 주력하고 있다. 이는 유지보수 예산을 효율적으로 활용하여 도로포장상태를 적정수준 이상으로 유지하여 도로 사용자의 쾌적함과 안정성을 공급하는 것이다. 그러나 도로의 주요 구성원인 포장의 다른 분야에 비해 기술면에서 매우 낙후된 실정이고, 교통 및 환경조건이 점점 악화되어 갈수록 도로포장의 보수비용이 기하급수적으로 증대하고 있다. 도로의 유지관리비용은 매년 기하급수적으로 증가하여 1999년도 기준으로 약 1조 4000억원의 유지보수비가 지출되었으며, 연평균 약 14.5%의 증가율을 보이고 있다. 또한, 향후 20년 간 추가로 고속 및 일반국도를 신설할 경우 유지보수비는 해마다 큰 폭으로 증가할 것으로 예상된다. 도로의 유지관리비용의 대부분은 도로포장의 유지보수에 사용되고 있으며, 이중 아스팔트포장이 전체 포장의 83%를 차지하고 있다. 일반국도의 도로보수비는 1991년 1,223억원에서 2002년 8,472억원으로 매년 크게 증가하고 있다. 이 중 포장도보수비는 1991년 620억원으로 전체 도로보수비의 51%를 차지하고 있으며, 2002년에는 928억원으로 11%를 차지하고 있다. 현재 고속도로, 국도, 그리고 지자체 소유의 도로에서 포장상태의 적절한 수준 유지 및 유지보수비의 효율적인 활용을 위하여 도로유지관리시스템을 광범위하게 도입하고 있는 실정이다. 그러나 기존에 시행중에 있는 도로포장유지관리시스템은 구조적 상태 평가보다는 포장체의 표면파손정도를 근거로한 기능적 상태 평가에 주력하였다. 도로는 다양한 재료와 단면으로 구성된 구조물의 한 종류로 평가되어야 하지만 기존의 시스템에서는 포장체 각 층의 구조적 적정성 또는 지지력 정도를 파악하는 기법이 아직 미흡한 실정이다. 따라서 아스팔트 포장체의 구조적 평가를 하지 않을 경우 과다 또는 과소 유지보수를 할 수 있으며 포장 파손의 근본적 문제점을 해결할 수 없다.

본 연구의 목적은 아스팔트 포장체의 구조적 상태 평가 기법 개발을 통하여 구조적 동질성 구간 선정, 포장 구조체의 지지력 평가, 포장의 잔존수명 예측, 그리고 미래 보수의 필요도를 추정함으로써 적절한 보수시기와 공법을 통하여 사용자에게 보다 양질의 도로 서비스를 제공할 수 있을 뿐만 아니라 유지보수 또는 사용자 비용을 절감할 수 있도록 하는데 있다.

2. PMS와 FWD

2.1 PMS(Pavement Management System)

* 정희원 · 건설교통부 기반시설본부 도로기획관 도로건설팀 사무관 · 공학석사 02-504-9074(E-mail:sonjc1@moct.go.kr)

** 정희원 · 한국건설기술연구원 도로연구부 선임연구원 · 공학박사 031-910-0323(E-mail:hpark@kict.re.kr)

*** 정희원 · 한국건설기술연구원 도로연구부 연구원 · 공학석사 031-910-0172(E-mail:dsan@kict.re.kr)

**** 정희원 · 단국대학교 토목환경공학과 조교수 · 공학박사 02-799-1363(E-mail:spark@dankook.ac.kr)



중차량 교통량 증가에 따라 포장상태의 악화 속도가 빨라지고 포장유지보수 비용이 급증함에 따라 기존의 육안에 의한 단순조사방식을 벗어나 객관적이고 합리적인 포장관리 기법이 필요하게 되어 건설교통부에서 이를 보다 과학적인 체제로 구축한 것이 포장관리시스템(PMS)이다.

PMS는 1987년 최초 시스템 도입이후, 지속적으로 본 사업을 수행하여 '98년도부터 '01 연도까지 매년 약 3,500여 Km의 조사대상구간에 대하여, 최근 들어 개발된 자동 포장 조사 장비를 투입하여 현장조사를 실시하여, 최초 설계된 시스템을 2002년도에 “국도 포장관리 시스템 개선방안 연구”를 통해 개선·보완된 포장 분석체계 및 의사결정논리에 적용하여 합리적인 일반국도 포장관리 시스템을 운영하고 있으며, PMS의 운영 목적은 아래와 같다.

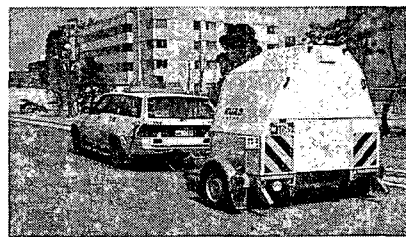
- 가. 각종 조사 장비를 이용하여 도로 표면 상태 및 포장 내부의 구조적 상태 측정
- 나. 조사자료의 분석·평가를 통한 적정 서비스 수준 이상으로 포장 유지관리
- 다. 객관적 포장도 유지보수 기준 및 과학적 유지관리 체계를 확립
- 라. 매년도 마다 최적 보수, 보강 공법 및 보수 우선 순위를 결정
- 마. 적기 사전 보수에 의한 예산 절감 및 효과적인 집행

정확한 포장파손의 측정을 위하여 도입되어 현재 사용중인 장비는 아래와 같다

- ① 노면포장상태 자동측정
 - 장비 : ARAN (Automatic Road Analyzer)
 - 조사항목 : 균열, 소성변형, 종단평탄성
- ② 포장 구조적 지지력 조사
 - 장비 : FWD (Falling Weight Deflectometer)
 - 조사항목 : 처짐량
- ③ 노면 미끄럼 저항성 조사(필요시)
 - 장비 : PFT (Pavement Friction Tester)
 - 조사항목 : 타이어와 노면 사이의 마찰력
- ④ 포장 단면 조사
 - 장비 : GPR (Ground Penetrating Radar)
 - 조사항목 : 포장 각 층의 두께 측정, 포장체 내의 공동 유무 검사



ARAN



FWD



PFT



GPR



2.2 FWD : Falling Weight Deflectometer

포장체의 구조적 상태 평가를 위한 간단하고 편리한 방법은 포장체의 표면에 하중을 가하고 이에 따른 처짐값을 계측하는 것이다. FWD 장비는 포장의 구조적 지지력을 측정하는 장비로서 하중을 자유낙하시켜 그때의 충격하중에 의한 포장체의 처짐량을 측정하는 장비이다. FWD에 의한 충격하중 방식은 실제 교통하중과 가장 유사하다는 점에서 현재까지 개발된 포장 지지력 측정 장비중 가장 우수한 장비로 평가받고 있어, 상태평가를 위해 국·내외로 가장 널리 사용되고 있으며, 이동성 및 반복성이 우수하고, 충격하중으로 교통하중을 정확히 모사할 수 있는 장점이 있다. FWD를 이용하여 포장층의 탄성계수를 역산하여 포장체의 현 상태를 측정할 수 있으며, 공용중인 포장체의 향후 잔존수명을 예측할 수 있다. 이에 본 연구에서는 FWD 표면 처짐값을 이용한 포장체의 구조적 상태 평가 기법을 제시하고자 한다.

3. 아스팔트 포장체 내부 반응 모델

아스팔트 포장체의 내부 반응 모델이란 FWD 처짐값을 이용하여 역산을 통해 각 층의 탄성계수를 추정하지 않고 직접 포장체 내부의 응력 및 변형률을 산정할 수 있는 모델이다. 이 모델을 사용하면 역산시 발생할 수 있는 오차를 최소화할 수 있으며, 반응계산시 소요 시간을 단축시킬 수 있다. 아스팔트 포장체의 내부 반응 모델 개발하기 위하여 먼저 FWD를 이용한 포장체의 처짐과 내부반응과의 상관관계를 규명하였다. 아스팔트 포장체에 하중이 가해질 경우, 포장체의 반응은 아스팔트층의 하부, 중앙 및 보조기층의 상부, 노상토의 상부에서 결정적인 변형률(Critical Pavement Response)이 발생한다. 이와 같은 변형률값은 아스팔트 포장체의 피로균열, 소성변형 등의 공용성에 심각한 영향을 준다(표 1).

표 1. 공용성에 미치는 변형률 요소

변형률 요소	공용성 인자
아스팔트 하부의 인장변형률(ϵ_{ac})	피로균열
아스팔트 중앙의 압축변형률(ϵ_{cac})	소성변형
보조기층 상부의 압축변형률(ϵ_{base})	소성변형
노상토 상부의 압축변형률(ϵ_{sg})	소성변형

3.1 가상적 데이터베이스 구성 및 포장체 반응과 처짐계수와의 상관관계 분석

가상적 데이터베이스는 다양한 단면구조와 물성으로 구성된 포장체를 구조해석 프로그램을 통해 연산 후 포장체의 처짐, 응력, 및 변형률을 계산하여 입력과 출력정보를 축적하여 구성한다. 가상적인 데이터베이스 구성을 위한 구조해석 프로그램으로 본 연구에서 KPAVE를 개발하였다. 이 구조해석 프로그램은 유한요소해석법으로 이루어져 있으며, 다음과 같은 요소를 적용하였다.

- 가. 2D Axisymmetric 포장 구조체
- 나. 약 2,500 Node와 2,200개의 요소로 구성
- 다. 보조기층 및 노상층 : 비선형 토질 모델 적용 가능
- 라. 포장체 내부의 처짐, 응력 및 변형률 계산 가능

가상적인 데이터베이스를 이용하여 포장체의 반응과 FWD 처짐에서 나오는 처짐계수(Deflection Basin Parameter)와의 민감도 분석을 통하여 포장체의 처짐값과 내부반응과의 상관관계를 분석하였다. <그림 1>은 본 연구에서 사용된 FWD 처짐계수를 나타내고 있다.

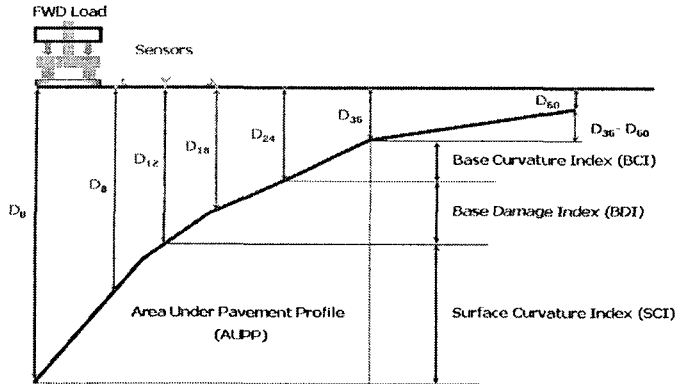


그림 1. FWD 하중에 따른 처짐계수

본 연구에서 수행한 포장체 반응과 처짐계수와의 민감도 분석 결과, 피로균열에서는 ϵ_{ac} 와 BDI, AUPP의 상관관계가 높았고, 소성변형에서는 ϵ_{cac} 의 경우 SCI, ϵ_{base} 의 경우 BDI, ϵ_{sg} 의 경우 BCI와 상관관계가 높은 것으로 나타났다(표 2).

표 2. 민감도 분석을 통한 포장체 반응과 처짐계수와의 관계

파손종류	포장체 반응(변형률)	처짐계수	R ²
피로균열	ϵ_{ac}	BDI	0.9808
		AUPP	0.9319
소성변형	ϵ_{cac}	SCI	0.9110
	ϵ_{base}	BDI	0.9675
	ϵ_{sg}	BCI	0.7461

포장체 반응과 처짐계수와의 민감도 분석을 통해 결정된 변수를 이용하여 포장체의 내부반응을 예측할 수 있는 회귀분석 모델을 개발하였다. 포장체 내부반응모델은 포장층의 두께와 FWD 처짐계수값을 입력으로 하여 아스팔트 하부의 인장변형률, 아스팔트 중앙의 압축변형률, 보조기층 상부의 압축변형률, 노상도 상부의 압축변형률에 대해서 개발하였다. 각 모델은 <표 3>과 같다.

표 3. 변형률 요소별 내부반응모델

변형률 요소	포장체 내부반응 모델
아스팔트 하부의 인장변형률	$\log(\epsilon_{ac}) = 1.082\log(BDI)+0.259\log(H_{ac})+2.772$
아스팔트 중앙의 압축변형률	$\log(\epsilon_{cac}) = 1.076\log(SCI)+1.122\log(H_{ac})+0.315$
보조기층 상부의 압축변형률	$\log(\epsilon_{base}) = 0.938\log(BDI)-0.079\log(H_{ac})+0.045\log(H_{base})+3.826$
노상도 상부의 압축변형률	$\log(\epsilon_{sg}) = 1.017\log(BCI)-0.042\log(H_{ac})-0.494\log(H_{base})+5.072$

4. 유전자 알고리즘이 이용한 포장층의 탄성계수 예측 기법

도로포장체의 구조적 능력과 재료의 물성을 평가하는 기법은 도로유지관리시스템에서 효과적으로 도로를 유지 및 관리하기 위해서 필수적이다. 포장체의 FWD 표면처짐값을 이용하여 포장층의 탄성계수를 추정하는 방법은 이러한 목적을 위해 가장 널리 사용되고 있다. 포장층의 탄성계수를 추정하기 위한 다양한 방법이나 프로그램은 현재 널리 보급되고 있는 실정이다. 본 연구에서는 유전자 알고리즘을 이용하여 포장층의 탄성계



수를 예측할 수 있는 절차와 프로그램을 개발하고자 한다.

4.1 유전자 알고리즘

유전자 알고리즘은 최초로 1970년도 초에 미시간 대학교에 John Holland에 의해 개발되었다(holland, J. Adaptation in Natural and Artificial Systems. University of Michigan Press, Ann Arbor, 1975). 이 알고리즘은 어려운 최적화문제가 주어졌을 때 근사 최적해를 제공하는 효과적인 알고리즘으로 유전자 계승과 다윈적 생존 경쟁이라는 자연현상을 모델링한 확률적인 탐색방법이다(Michalewicz, Z Genetic Algorithms+Data Structures=Evolution Programs, Springer -Verlag, Berlin, 1996).

4.2 유전자 알고리즘의 원리

유전자 알고리즘은 초기에 n개의 개체를 소유하고 있는 집단을 랜덤하게 생성한다. 각 개체집단은 풀어야 할 문제의 해를 나타내며, 유전자 알고리즘은 주어진 수렴조건을 만족할 때까지 정해진 횟수의 세대를 창출하게 된다. 각 세대에서 유전자 알고리즘은 재생산, 교배, 돌연변이의 세 가지 작업을 수행한다. (1) 재생산은 정해진 선정 확률에 따라 시작된다. (2) 재생산 후에는 교배과정이 주어진 확률에 따라 수행되게 되며, 중간 개체집단으로부터 다음 세대의 집단을 창출하게 된다. 이러한 교배과정은 주어진 확률하에 각 개체쌍 사이에서 이루어질 수도 있고, 일어나지 않을 경우도 있다. (3) 교배과정이 마무리되면, 돌연변이 작업이 수행된다. 각 개체에서, 각 bit 값이 주어진 돌연변이 확률에 따라 바뀌게 된다. 이러한 일련의 과정이 끝나면, 새로운 개체집단이 생성된다. 그 다음단계로, 각 개체는 목적함수의 적합도에 따라 평가받게 된다. 이러한 과정은 미리 정해진 최대 세대수가 될 때까지 반복적으로 수행된다.

유전자 알고리즘에서 해는 다양한 포장체의 탄성계수의 조합으로 구성되어 있으며, 이 탄성계수는 자연 진화에서의 염색체와 같은 끈 구조로 이루어져 있다. 또한 해를 대표하는 염색체는 유전인자의 연결로 구성되어 있다. 유전자 알고리즘 절차는 최초로 부모세대의 초기 집단을 랜덤하게 생성하며, 다음세대의 부모집단은 선택, 교배, 그리고 돌연변이를 반복적으로 수행하여 결정하게 된다. 초기 부모집단은 프로그램에 의해 랜덤하게 생성되며, 이론적으로 역산해석의 최종결과에는 영향을 미치지 않는다. 부모세대 집단에서의 각 해는 목적함수에 의해 평가되며, 목적함수에 의해 결정되는 적합도는 자손세대의 새로운 해를 결정하는 확률적 공헌도로 사용된다. 다음 부모세대 집단은 목적함수 값을 근거로 하여 가장 적합도가 높은 자손세대를 선정하여 구성된다.

5. 역산프로그램

포장층의 탄성계수 역산해석의 목적은 비파괴 검사장비로 측정된 표면처짐값과 일치하는 표면처짐을 생성하는 포장층의 탄성계수를 결정하는 것이다. 일반적으로 FWD 장비의 센서는 총 7개로 구성되어 있으며, 역산을 위한 목적함수는 이 센서로부터 측정된 표면 처짐값과 계산을 통한 처짐값의 차이를 최소화하고자 한다.

포장층의 재료에 따라 충분한 범위의 탄성계수를 각층마다 선정하였다. 유전자 알고리즘 수행에 필요한 부모세대와 자손세대의 개체집단의 크기는 60과 120으로 선정하였다. 유전자 알고리즘을 이용하여 자손세대를 생성하고, 새로운 부모세대를 형성하고, 마지막으로, 부모세대의 성능 및 수렴에 대한 평가를 수행하였다. 교배와 돌연변이 작업수행을 위한 확률은 각각 0.85와 0.15로 지정하였다(Fwa et al, 1997). 각 개체는 목적함수를 이용하여 평가하게 되며, 주어진 개체에 대한 탄성계수값을 이용하여 포장체의 표면처짐을 계산하고, 이 값은 목적함수에 입력되어 적합도를 계산하게 된다. 유한요소법을 적용한 포장체 구조해석 프로그램이 표면처짐 계산을 위해 사용되었다. 기존에는 다층탄성이론을 이용한 구조해석 프로그램이 널리 사용되었으나, 보다 정확한 처짐계산을 위하여, 향후 하부재료의 비선형 거동을 추정하기 위해 이 연구에서는 유한요소법을 사용하였다.

6. 현장 및 실내시험



아스팔트 포장체의 구조적 상태 평가 기법을 검증하기 위하여 전국 국도 현장의 11개 동질성 구간을 선정하여 FWD 시험, 보조기층과 동상방지층의 동적관입 시험, 그리고 실내시험을 위한 아스팔트 코어채취를 수행하였다. 시험구간은 국도 도로유지관리시스템(PMS) 데이터를 참조하여 선정하였다.

6.1 FWD 현장조사

본 연구에서는 포장체의 구조적 상태를 분석하고 포장층의 탄성계수를 역산하기 위해 FWD 현장시험을 실시하였다. FWD 현장시험은 조사 조사대상지역에 대해 20m 간격으로 약 300m 구간에 대하여 실시(1개 구간에 대하여 각 15개 지점 조사)하여, 전국 11개 구간에서 165개 지점에 대하여 조사하였다. FWD의 하중수준은 3단계(약 5ton, 8ton, 10ton)로 하였으며, FWD 시험시 적외선 온도계를 이용하여 포장체의 표면온도를 측정하였다. 향후 이 조사대상지역을 다시 방문하여 FWD 시험을 실시할 예정이며, 이 결과를 이용하여 포장체의 처짐값의 계절적 변화에 대해 조사할 예정이다. <표 4는> FWD 처짐값중 하중판의 처짐값과 7번째 센서에서의 처짐값을 나타내고 있다.

6.2 현장 코어채취

포장의 구조적 적정성을 평가할 때, 역산과 포장체 반응 모델에 입력되는 변수 중 포장의 두께는 그 결과값에 큰 영향을 준다. 본 연구에서는 FWD 현장조사 대상지역에서 각 지점별로 총 4개의 코어를 채취하여 실제 아스팔트층의 두께를 파악하였으며, <표 5>는 시험구간의 평균 포장층 두께를 보여주고 있다.

표 4. 국도 현장 조사자료의 D₀와 D₇의 처짐량 분석

구간	D ₀			D ₇		
	Mean(mm)	SD(mm)	COV(%)	Mean(mm)	SD(mm)	COV(%)
가오작	191.6	31.3	16.3	44.4	16.5	37.1
영주	144.1	27.1	18.8	23.2	5.7	24.8
진부	291.3	66.6	22.8	43.7	8.4	19.3
추부	187.9	32.4	17.3	48.4	12.1	25.1
평창	266.4	43.7	16.4	33.0	7.9	24.1
당진	275.3	68.4	24.8	40.9	6.6	16.1
산청	164.8	40.0	24.2	50.8	11.3	22.3
성전	218.4	27.9	12.8	42.8	4.6	10.7
신팔	125.7	8.3	6.6	42.6	5.8	13.5
충주	166.3	21.5	12.9	42.9	5.7	13.4
통도사	252.8	55.5	22.0	52.7	6.2	11.8

표 5. 시험구간에서의 포장층의 두께

구간	층 두께(cm)		
	아스팔트층(코어)	보조기층(DCP)	동상방지층(시공자료)
가오작	22.9	45.2	40
영주	24.8	22.5	20
진부	19.5	37.5	20
추부	24.1	35	25
평창	18.0	40	20
당진	30.7	35	15
산청	29.4	22.5	N/A
성전	27.3	57.5	N/A
신팔	31.0	27.5	35
충주	30.0	52.5	25
통도사	29.0	40	N/A



6.3 동적관입 시험 (Dynamic Cone Penetrometer, DCP)

토공부의 지지력을 조사하기 위하여 동적관입 시험을 아스팔트 코어 채취 후에 보조기층면 상단에서 수행하였다. DCP 지수는 1회 타격시 관입깊이로 현장조사 자료를 이용하여 관입깊이를 타격회수로 나누어 계산한다. 여기서 DCP 지수는 타격회수에 대한 관입깊이의 기울기를 의미한다. 이와 같이 계산된 DCP 지수는 CBR로 환산하는데 활용되며, CBR 환산식은 다음과 같다(KESSLER Soils Engineering Products, Inc., 1998).

$$CBR = \frac{292}{DCP^{1.12}}$$

여기서, DCP : DCP 지수(1회 타격시 관입깊이)

보조기층 및 동상방지층의 두께는 타격회수와 관입깊이의 관계에서 변곡점이 발생하는 지점에서의 누적 관입깊이가 된다(그림 2). 이는 각 층의 지지력 차이로 인해 발생하게 되는 것이다.

6.4 실내시험(삼축압축반복재하시험)

현장 코어채취를 통하여 수집된 아스팔트 콘크리트 샘플은 아스팔트층 구조적 상태 평가 기법 검증에 사용되었다. FWD 처짐값을 이용하여 계산된 탄성계수와 삼축압축반복재하시험을 통해 산출된 탄성계수 값을 비교분석을 수행하였다. 현장에서 채취한 코어는 높이 150mm, 직경 100mm로 절단하여, UTM-25 장비를 이용하여 삼축압축반복재하시험을 수행하여 회복 탄성계수를 측정하였다. 11개 조사 대상구간에서 각 지점별로 채취된 4개의 코어중 일부 파손된 코어를 제외하고, 40개 코어에 대해서 0.1초 하중재하, 0.9초 휴지기로 500cycle을 적용하여 M_R 값을 측정하였다. 삼축압축반복재하 시험에서 사용된 축차응력은 827kPa이며, 구속압은 138kPa이다.

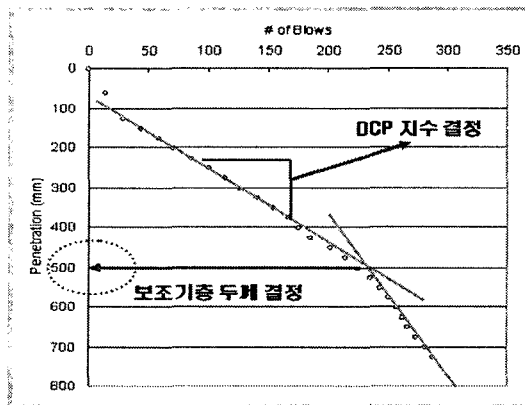


그림 2. DCP 지수 및 보조기층 두께 결정 방법

7. 아스팔트 포장체 구조적 상태 평가 기법 검증

7.1 아스팔트층의 상태 평가

아스팔트층의 상태 평가를 검증하기 위해 본 연구에서는 먼저 FWD 조사 자료를 이용하여 “ $\log(E_{ac}) = -1.134\log(H_{ac}) - 1.105\log(SCI) + 5.306$ ”의 회귀식을 활용하여 아스팔트의 탄성계수를 추정하였다. <그림 3>은 회귀식으로 구한 아스팔트 층의 탄성계수와 유전자 알고리즘으로 이용하여 역산된 아스팔트 층의 탄성계수의 비교를 나타내고 있다. 두 가지 방법으로 구해진 탄성계수는 상호 관계를 나타내고 있으며, 회귀식으로 구한 탄성계수값이 유전자 알고리즘으로 구한값보다 크게 나온 경향을 보였다. 또한 본 연구에서 제안한 기법의 검증을 위하여 현장 코어 시편을 이용하여 삼축압축반복재하시험을 실시하여 아스팔트의 탄성계수를



계측하였다. <그림 4>와 <그림 5>는 두 가지 기법으로 예측된 탄성계수와 삼축압축반복재하시험에서 결정된 탄성계수와와의 관계를 나타내고 있다. 회귀식을 이용한 기법이 유전자 알고리즘을 이용한 역산법보다 실측한 탄성계수를 보다 정확하게 예측하였다. 예측된 탄성계수는 실측값보다 3~5배 크게 나오는데 이는 FWD 하중과 삼축반복재하시험 하중재하 주기가 상이하기 때문에 발생한 결과로 사료된다.

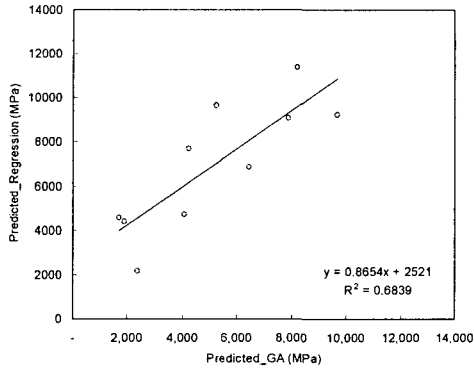


그림 3. 탄성계수 비교(GA vs Regression)

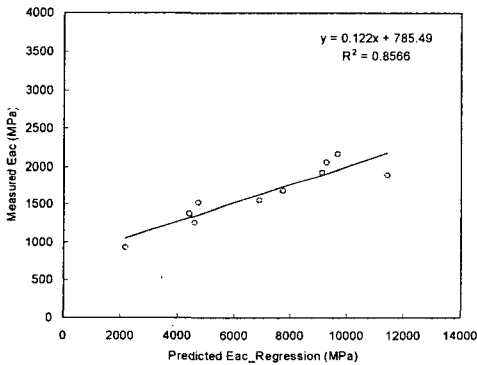


그림 4. 탄성계수 비교(Regression vs 실측)

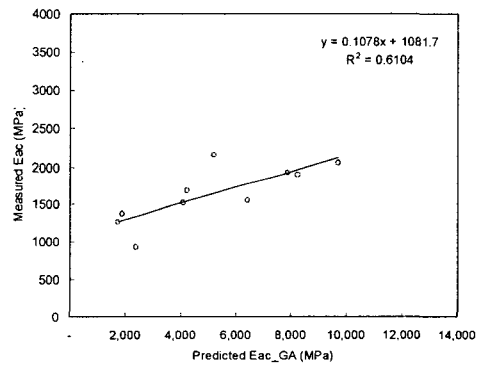


그림 5. 탄성계수 비교(GA vs 실측)

7.2 동상방지층의 상태 평가

동상방지층의 상태 평가는 FWD 조사자료와 DCP 조사자료를 이용하여 수행하였다. FWD에서 측정된 처짐량을 이용하여 동상방지층의 상태를 평가할 수 있는 BCI를 산출하고, 이를 포장예측모델에 적용하여 동상방지층 상부의 압축변형률을 계산한다. 또한 DCP를 이용하여 계측된 자료를 이용하여 동상방지층의 CBR을 산정한다. 본 연구에서는 동상방지층의 상태 평가를 위해 BCI, 변형률, CBR과의 관계를 분석하였다. FWD 처짐량을 이용해 계산된 BCI를 통하여 토공부의 CBR을 평가할 수 있는지에 대한 관계를 분석하였다. <그림 6>은 BCI와 CBR과의 관계를 보여주고 있으며, <그림 7>은 변형률과 CBR과의 관계를 보여주고 있다.

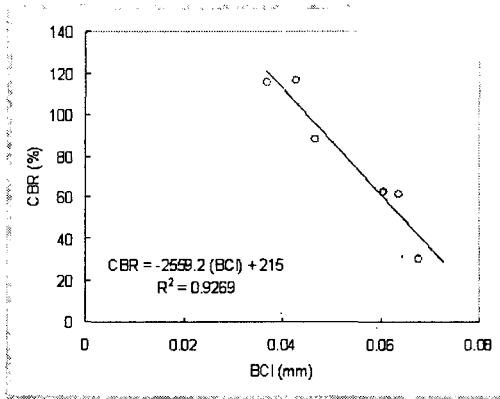


그림 6. BCI와 CBR과의 관계

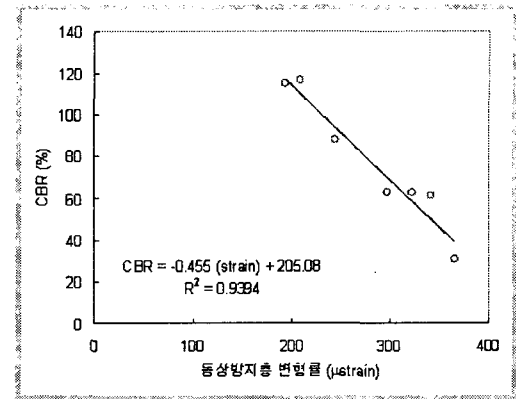


그림 7. 변형률과 CBR과의 관계

8. 결론 및 향후 연구계획

본 연구에서 FWD 처짐값을 이용하여 아스팔트 포장체의 구조적 상태를 평가할 수 있는 기법을 제시하였다. 포장체 반응 모델을 이용한 기법과 유전자 알고리즘을 이용한 탄성계수 예측 기법을 이용하여 포장체의 각 층의 상태평가를 수행하였다. 연구결과, 아스팔트 층의 경우 포장체 반응모델을 이용한 기법이 유전자 알고리즘을 이용한 기법보다 정확하게 아스팔트 재료의 탄성계수를 예측할 수 있었다. 두 기법을 이용하여 예측된 탄성계수는 실측값보다 3~5배 크게 나오는데, 이는 FWD 하중과 삼축반복재하시험 하중재하 주기가 상이하기 때문에 발생한 결과로 사료된다. 하부구조의 지지력을 정확히 예측하기 위해 FWD에서 측정된 처짐량을 이용하여 BCI값을 산출하고, 이를 포장체 반응모델에 적용하여 동상방지층 상부의 압축변형률을 계산하였다. 본 연구결과, 이 기법은 하부구조의 지지력 판단에 보다 효과적으로 적용하리라 사료된다.

감사의 글

본 논문은 한국건설교통기술평가원에서 지원한 “아스팔트 포장체의 구조적 적정성 및 상태 평가 시스템 개발” 과제의 연구수행 결과입니다.

참고문헌

1. Kim, Y. R., S. R. Ranjithan, J. D. Troxler, and B. Xu. *Assessing Pavement Layer Condition Using Deflection Data*. NCHRP Report 10-48, TRB, National Research Council, Washington, D. C., 2000.
2. Xu, Bing, S. R. Ranjithan, and Y. R. Kim. New Relationships Between FWD Deflections and Asphalt Pavement Layer Condition Indicators. In *Transportation Research Record* 1860, TRB, National Research Council, Washington, D.C., 2002, pp. 48-56.
3. Xu, B., S. R. Ranjithan, and Y. R. Kim. A New Condition Assessment Procedure for Asphalt Pavement Layers Using FWD Deflections. In *Transportation Research Record* 1860, TRB, National Research Council, Washington, D.C., 2002, pp. 57-96.
4. Garg, N., and M. R. Thomson. *Mechanistic-Empirical Evaluation of the Mn/Road Low Volume Road Test Sections*. Final Report No. FHWA-IL-UI-262, the Illinois Department of Transportation, Springfield, Illinois, 1998.
5. DataPave 3.0 Long Term Pavement Performance (CD-ROM), Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation, Washington, D.C., 2001.



6. Park, S. W. and E. G. Fernando. (1998) "Sensitivity Analysis of Stress-Dependent and Plastic Behavior for Load Zoning". Proc. of the 5th International Conference on the Bearing Capacity of Roads and Airfields, Vol. 2, pp 627-636, Trondheim, Norway.
7. Chang, D. W. Nonlinear Effects on Dynamic Response of Pavements Using the Non-Destructive Testing Techniques. Ph. D. Dissertation, University of Texas at Austin, Austin, TX, 1991.
8. Michalewicz, Z. Genetic Algorithms+Data Structures=Evolution Programs, Springer-Verlag, Berlin, 1996