

# 사용자 편의환경을 이용한 다층탄성 프로그램의 개발

Development of Multi Layered Elastic Analysis Program on Graphic User Interface Environment

서주원<sup>1)</sup> · 최준성<sup>2)</sup> · 김수일<sup>3)</sup>

## 1. 서 론

현재 국내의 경우 외국의 여러 설계법을 검증없이 단순히 도입하여 사용함으로써 여러 문제점이 발생하여 왔고, 우리나라 단일의 표준화된 설계법의 부재로 일선 실무자들의 혼선을 야기시키고 있다. 이러한 문제점으로 인하여 우리나라 자체의 고유 설계법 개발이 절실히 필요하게 되었으며, 이는 21세기 지식사회체제 속에서 국내 기술력 확보라는 차원에서도 한국형 포장설계법 구축을 해야하는 실정이다.

이와 같은 한국형 포장 설계법 구축을 위해 기본적으로 아스팔트 포장구조해석모형 개발이 선행되어야 한다. 본 연구에서는 역학적 방법으로 포장구조체의 거동을 분석하고, 이로부터 공용성 저하를 예측하여, 실제 실내·현장시험 및 장기 공용성시험의 경험적 수치들의 보정을 통하여 도로포장 설계시 합리적이고 경제적인 설계를 할 수 있도록 포장구조체의 거동을 분석할 수 있는 해석 프로그램을 다층탄성이론을 이용하여 개발하고자 한다. 또한 다양한 축상태에서의 해석을 위하여 1차원 다층탄성이론을 확장한 역학적 거동해석 프로그램을 개발하고 이를 현장에서 간편하게 사용될 수 있도록 Visual Basic 프로그래밍을 이용한 사용자 편의의 전·후 처리기법을 도입하여  $\beta$ -버전으로 패키지화한다. 패키지화한 상용프로그램  $\beta$ -버전을 포장체 모델 데이터베이스로부터 난수발생경우에 대한 작동여부를 검증하고, 향후 발생될 문제점을 해결하여 포장구조해석의 전문적인 지식이 없는 일반 사용자들이 쉽게 접근할 수 있는 다층탄성프로그램을 개발하고자 한다.

## 2. 다층탄성프로그램의 개발

포장 구조해석을 위한 다층 탄성이론은 Boussinesq가 제안한 점하중이 반무한(half-space) 탄성체에 가해진 경우의 응력 해석기법에서 Burmister에 의해 등분포하중에 대한 다층 탄성구조체의 해석기법으로 발전되었고, 이후 Michelow가 Burmister의 이론에 매트릭스 기법을 도입하고 전자계산기의 발전과 함께 일반적 사용이 확대되기 시작하였다.

다층구조해석 이론에 의하여 그림 1 과 같은 구조를 갖는 다층구조해석 전산프로그램을 개발하였다. 개발된 전산프로그램은 그림 1 과 같이 크게 입력부분, 수직변위와 응력 및 변형률을 계산하는 부분, 그리고 출력부분으로 구성된다.

## 3. 하중중첩을 이용한 다축하중의 고려

실제 도로상을 주행하는 차량은 축간거리와 축의 개수에 따라 다양한 형태로 존재한다. 실제 차량이 주행하는 도로를 설계할 경우는 단축 하중만을 모사할 수 있는 Axis-Symmetric을 이용한 지금까지의 다층탄성 해석 프로그램만으로는 실제 주행하는 다축 차량에 의한 구조해석이 불가능하다. 따라서 본 연구에서는 탄성 모델의 중첩효과를 이용하여 다양한 축간 거리와 1개 이상의 축을 고려할 수 있도록 프로그램을 개발하였다.

\*정회원 · 연세대학교 토목공학과 박사과정 · 공학석사 · 02-312-5101(E-mail:pooh@yonsei.ac.kr)

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

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

탄성모델에서의 중첩효과를 파악하기 위하여 상용유한요소 해석 프로그램인 ABAQUS를 이용한 2차원 모델링을 실시하였다. 탄성론에 의하면 그림 2 와 같이 한 개의 하중에 의한 효과를 중첩시킨 것과 두 개 이상의 하중을 작용시킨 결과는 동일하다고 할 수 있다.

그림 3 은 본 연구에서 모델링 한 2차원 유한요소망을 나타낸다. 축중량 8.2 ton, 축간거리 2 m의 ESAL 표준트럭을 기준으로 2차원 유한요소해석을 실시하였다. 차량하중에 의한 변위, 변형률, 응력의 분포는 한 개의 하중을 이용하여 해석한 후 간격을 두고 중첩한 결과를 간격을 가지는 두 개의 하중에 의한 해석결과와 비교한 결과 그 결과치가 정확히 일치함을 알 수 있었다. 그림 4 는 각각 변위, 변형률 그리고 응력의 중첩효과를 나타낸다.

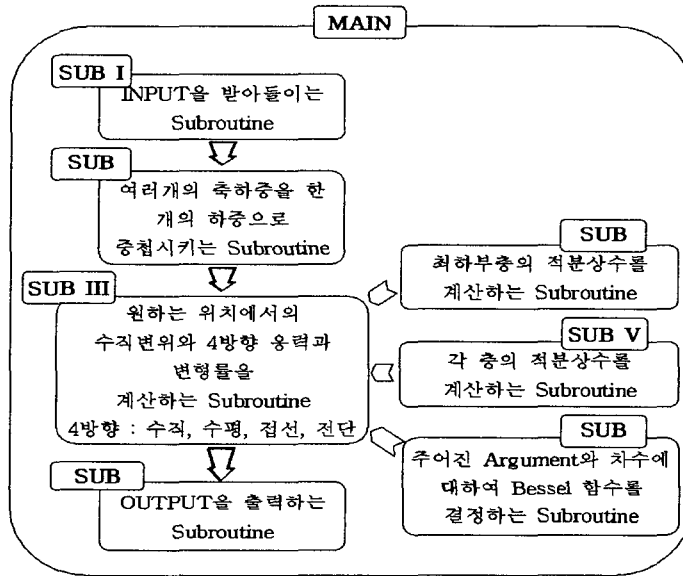


그림 1. 주프로그램과 부프로그램의 관계도

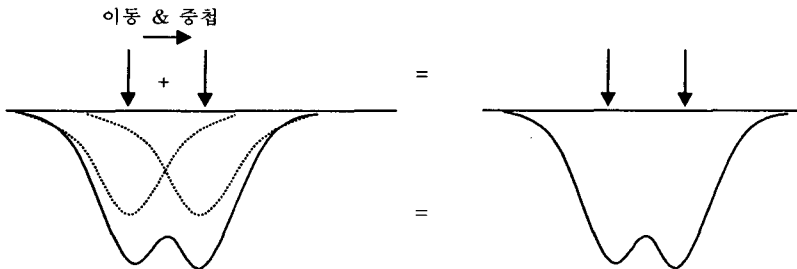


그림 2. 탄성해석에서 하중의 중첩효과

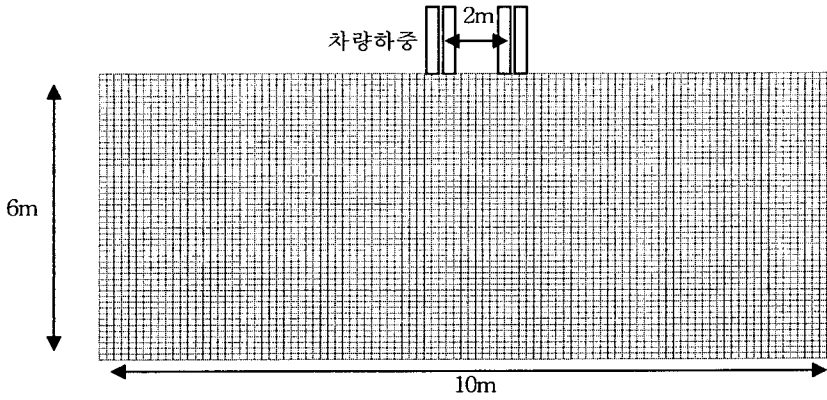


그림 3. ABAQUS를 이용한 2차원 유한요소망

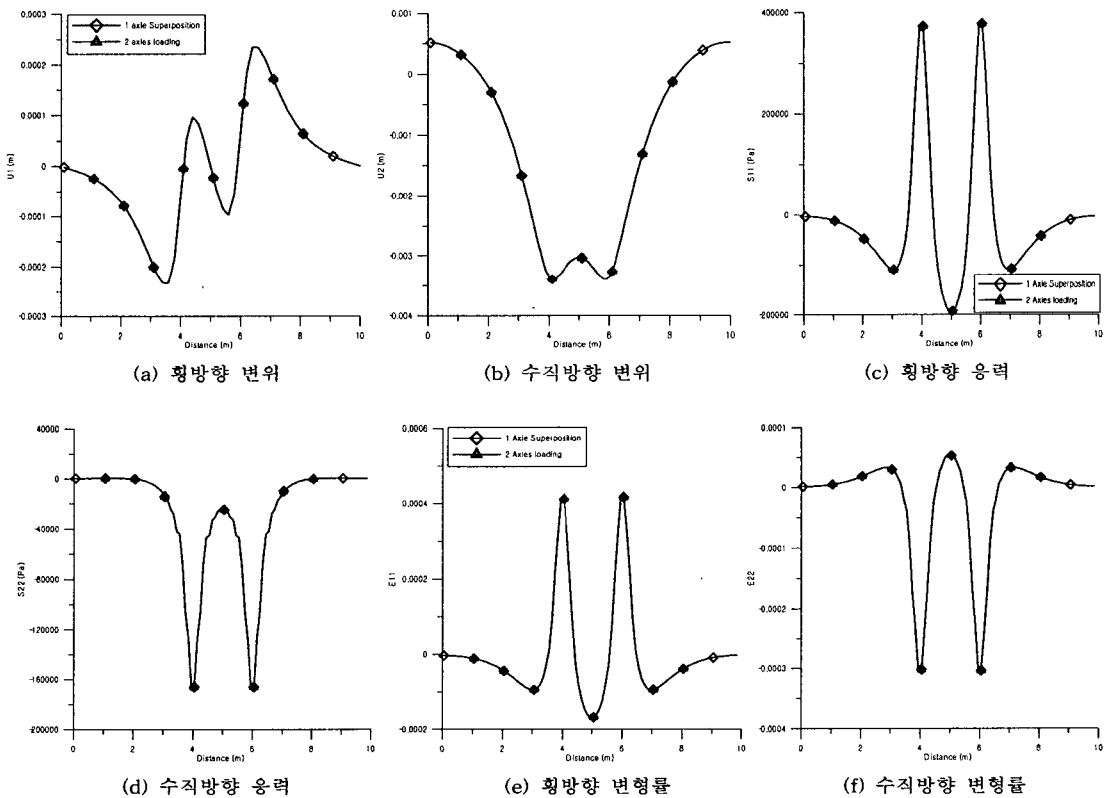


그림 4. 중첩효과의 검증

#### 4. 사용자 편의환경의 배포용 프로그램 개발

실제 아스팔트 콘크리트의 구조적 능력을 평가하고 각 층의 강도를 예측하기 위하여 현장에서 간편하게 사용될 수 있도록 Visual Basic 프로그래밍을 사용한 사용자 편의의 전·후 처리기법을 도입하여 본 연구에서 개발된 다층탄성해석 프로그램을 상용프로그램으로 패키지화하였다. 이 패키지는 프로그램 해석을 위한 Input Data를 사용자가 간편하게 입력할 수 있도록 도와주는 Input Data 마법사와, 다층탄성해석과 출력결과



를 보여주는 세 부분으로 구성되어 있다. 본 연구에서 개발한 IDYSPAP (InDuk-YonSei Pavement Analysis Program) 배포판을 만들어서 각 대학 도로포장 연구실에 배포하여 문제점을 수정하였다.

### 4.1 메인메뉴

그림 5 는 IDYSPAP의 초기화면이자 이 프로그램의 메인부이다. 본 프로그램의 메인 메뉴에는 각각 파일, 도움말, Analyze, Project, Property의 메뉴로 구성되어 있다. 파일 메뉴는 입력변수의 정보를 담고있는 입력파일의 생성, 저장, 불러오기 등의 기능을 가지며, Project 메뉴에는 입력파일 불러오기와 출력파일 이름을 설정하고 프로그램을 직접 수행하는 메뉴가 있으며, Property 메뉴에서는 입력파일과 출력파일을 불러와서 화면으로 결과 값을 보여주는 기능을 한다.

### 4.2 입력변수의 입력

파일메뉴에서 새파일 메뉴를 선택하면 그림 6 과 같이 Input Data를 쉽게 입력할 수 있도록 도와주는 Input Data 마법사창이 화면에 나타난다. 그림 7 ~ 그림 10 은 각각 파일명 정의, 해석층 정보 및 물성치 입력, 해석좌표 입력, 그리고 다축 하중정보 입력창을 보여준다.

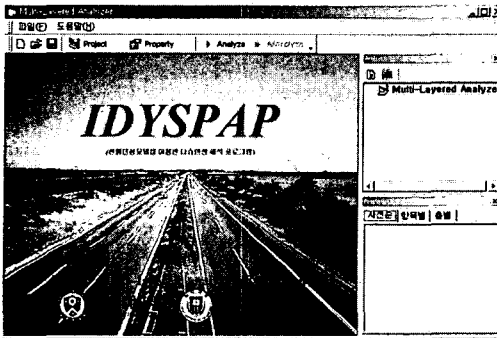


그림 5. IDYSPAP 프로그램의 메인화면

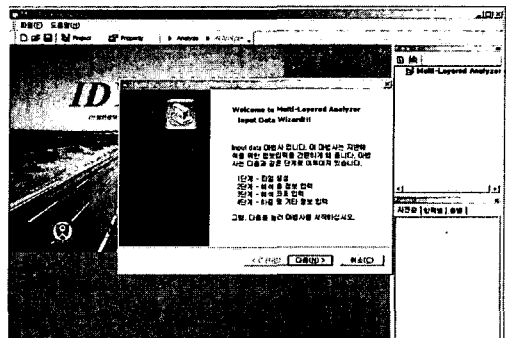


그림 6. Input Data 마법사 화면

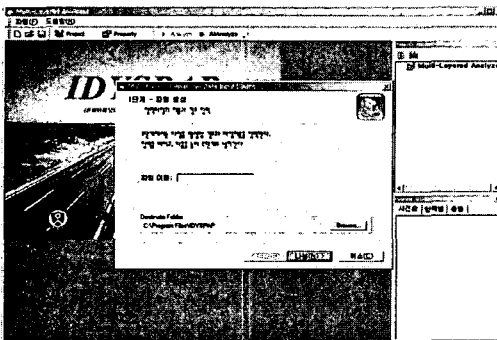


그림 7. Input Data 마법사 화면

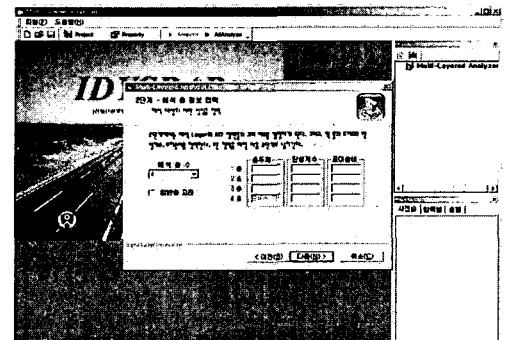


그림 8. 해석층 물성치 입력 화면

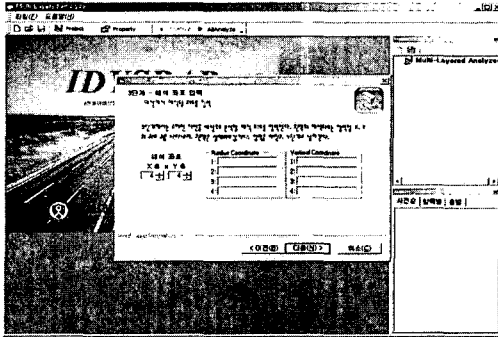


그림 9. 해석 좌표 입력 화면

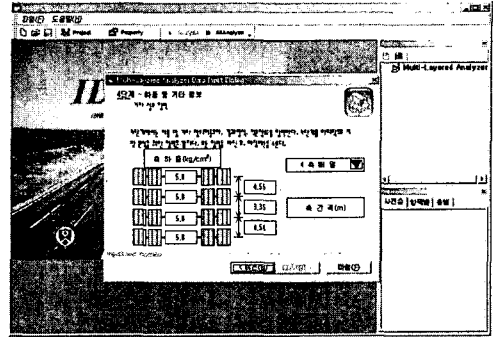


그림 10. 다축하중 입력 화면

본 연구에서 개발한 프로그램에서는 그림 10 과 같이 축의 개수와 각 축의 축하중을 입력할 수 있도록 개발하였다. 최대 4개의 축을 가지는 대형트럭까지 해석이 가능하며, 각 축의 축간 간격 및 각 축의 축 증량을 각각 입력하여 프로그램 내부에서 연속계산에 의해 다축 하중의 영향을 고려할 수 있도록 개발하였다.

### 4.3 결과의 출력

그림 11 은 Project창과 Property창 화면으로, Project창은 Input Data 마법사로 만든 Input 파일을 불러와서 해석하여 Output 파일을 생성한다. Property창은 Data를 사전순으로 항목별, 층별로 보여주고 잘못된 Input Data를 수정하여 저장할 수 있는 기능을 갖고 있다. 그림 12 는 차트와 텍스트를 보여주는 화면이다. 우선 차트는 2D와 3D가 가능하고 차트 유형은 막대형, 꺾은 선형, 영역형, 단계형이 있다.

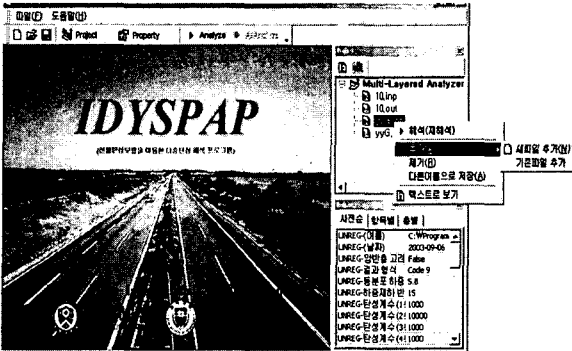


그림 11. Output Data 해석 화면

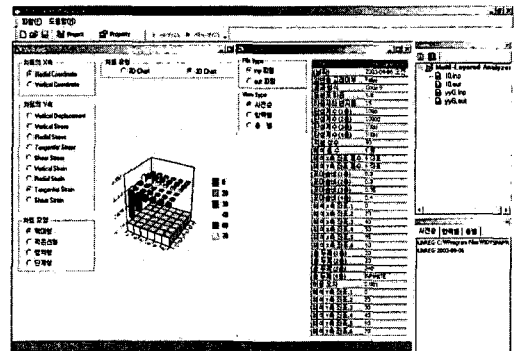


그림 12. Output Data Presentation 화면

## 5. IDYSPPAP 작동검증 및 ELSYM5 와의 결과 비교

본 연구에서 개발한 프로그램의 다양한 조건에서 작동여부를 알아보기 위하여 표 1 에서와 같이 각 층의 두께 및 탄성계수를 각각 상·중·하 3개의 수준으로 나누어 해석을 수행하였다. 각 층의 두께는 국내에서 상용중인 고속도로용 기층이 아스팔트 안정처리기층으로 된 아스팔트 콘크리트 포장구조체의 표준단면을 고려하여 산정하였다. 해석모델은 전체 경우의 수 6,561개의 단면 중 Excel 프로그램을 이용하여 난수발생시킨 100개의 임의의 단면에 대한 해석을 수행하여 프로그램 작동여부의 검증을 실시하였다



표 1. 해석 모델의 입력값

물성	층		안정처리기층	보조기층	노상
	표층				
두께 (cm)	하	5	10	20	무한대
	중	15	20	40	암반층 3m
	상	25	30	60	암반층 6m
탄성계수 (kg/cm <sup>2</sup> )	하	10000	10000	1000	500
	중	50000	100000	5000	1000
	상	100000	200000	10000	2000
포아송비		0.3	0.3	0.35	0.4
단위중량 (kg/cm <sup>3</sup> )		0.00235	0.00235	0.00230	0.00191

또한 Excel 프로그램을 이용하여 난수발생시킨 10개의 임의의 단면에 대하여 국내·외에서 많이 사용하고 있는 다층탄성프로그램인 ELSYM5 프로그램을 이용하여 본 연구에서 개발한 IDYSPAP과 비교검증을 실시하였다. 하중중심점에서의 수직변위와 수직응력, 그리고 인장변형률에 대한 비교검증을 실시한 결과 IDYSPAP 와 ELSYM5의 오차는 표 2 에서와 같이 차이가 거의 없음을 알 수 있었다. 표 3과 그림 13 은 ELSYM5 와 비교검증의 일례이다.

표 2. IDYSPAP과 ELSYM5의 오차

오차	수직 변위 (micron)	응력 (%)	변형률 (%)
단면 1	최대 5	1	1.3
단면 2	최대 7	1.5	1.5
단면 3	최대 10	1.5	2.5

표 3. 해석단면의 물성치

단면	물성 AS 두께	AS 탄성 계수	BA 두 께	BA 탄성 계수	SB 두 께	SB 탄성 계수	SG 두 께	SG 탄성 계수
단면 1	15	50000	10	10000	40	5000	235	2000
단면 2	15	100000	10	100000	20	1000	255	2000
단면 3	15	50000	30	100000	40	5000	515	2000

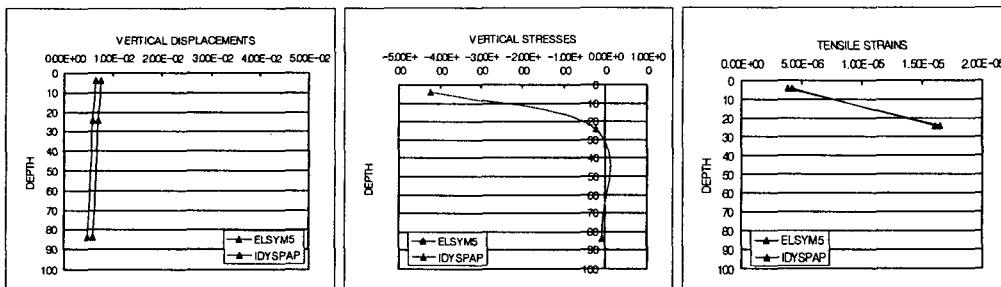


그림 13. 단면 3 해석결과

## 6. 결론

본 연구에서는 기본설계용 다층탄성이론을 이용한 역학적 거동해석 프로그램 개발하였고, 현장에서 간편하게 사용될 수 있도록 Visual Basic 프로그래밍을 사용한 사용자 편의의 전·후 처리기법을 도입하여 본 연구에서 개발된 다층탄성해석 프로그램을 패키지화하였다. 패키지화한 상용프로그램 β-버전을 포장체 모델 DB로부터 난수발생 경우에 대한 자동검증 및 수직검증을 실시하여 프로그램의 타당성을 확인하였다. 본 연구에 의한 결론은 다음과 같다.



1. 다층탄성이론을 이용하여 추후 교통량에 따른 공용성 평가나 각 층의 Interface를 고려할 수 있는 서브루틴의 추가가 용이하도록 개방구조를 지닌 기본설계용 역학적 거동해석 프로그램을 개발하였다.
2. 탄성모델의 중첩효과를 이용하여 다양한 축간 거리와 1개 이상 최대 4개의 축을 고려할 수 있도록 하여 대형트럭까지 해석이 가능하도록 프로그램을 개발하였다.
3. 패키지화한 상용프로그램  $\beta$ -버전을 총 6561개의 포장체 모델 데이터베이스로부터 Excel 프로그램의 난수발생을 통해 선정된 임의의 100가지 단면에 대해 작동검증을 실시하였다.
4. Excel 프로그램의 난수발생을 통해 10개의 단면에 대해 본 연구에서 개발한 IDYSPAP과 ELSYM5의 오차를 비교한 결과 아스팔트 기층 하단 인장변형률에서 최대 2.5 % 로 차이가 거의 없음을 알 수 있었다.

### 감사의 글

본 연구는 건설교통부의 한국형 포장설계법 1단계 2차년도 연구의 일환으로 수행되었습니다.

### 참고문헌

1. AASHTO, "AASHTO Guide for Design of Pavement Structures", *AASHTO*, 1986.
2. Helwany, S., Dyer, J., and Leidy, J., "Finite-Element Analysis of Flexible Pavement", *Journal of Transportation Engineering*, Vol.124, No.5, 1998, pp.491-502.
3. Huang, Y.H., *Pavement Analysis and Design*, Prentice-Hall Inc., 1993.
4. 서주원, 최준성, 김수일, "차량주행속도를 고려한 아스팔트 콘크리트 포장구조체의 물성추정에 관한 연구", *대한토목학회 학술발표회 논문집*, 2001, pp.83.
5. 최준성, "비파괴시험을 이용한 아스팔트 포장의 유지관리", *도로포장공학회지*, 제3권 제3호, pp. 38-49.