



장수명 아스팔트포장 단면설계에 관한 연구

Determination of the Layer Thickness for Long-Life Asphalt Pavement

박 희 문* 김 제 원** 황 성 도*** 이 현 중****
 Park, Hee Mun Kim, Je Won Hwang, Sung Do Lee, Hyun Jong

Abstract

This study is a part of research for developing the technologies of long life pavements having more than 40-year design life. The objective of this study is to develop the simplified design procedure for determining the layer thickness and modulus of the long life pavement. A synthetic database was established using the finite element program of a pavement structure with various combinations of layer thickness and modulus. The synthetic database includes the structural and material information, surface deflection, and critical pavement responses. Using the developed synthetic database, this paper suggests the minimum layer thickness and modulus for long life pavements based on the limited strain level concept.

Results demonstrate that the pavement greater than 410mm of total AC layer thickness is considered as the long life pavements regardless of the material characteristics and thickness in each layer. To become a long life pavement, a total thickness of AC layer should be greater than 250mm. The design procedure for determining the layer thickness and modulus of the pavements with AC layer thickness ranging from 250 to 410mm is also presented in this paper.

Keywords : long life pavement, limited strain level, pavement response model

요 지

본 연구는 장수명 아스팔트 포장 공법개발 연구의 일환으로 포장수명을 40년이상 지속시킬 수 있는 단면설계를 수행하였다. 본 연구의 목적은 포장체의 장수명화를 위하여 효과적이고 간편하게 포장체의 각층 단면두께 및 탄성계수를 결정하는 절차를 제시함에 있다. 포장체의 유한요소해석을 통하여 장수명 아스팔트포장의 가상데이터베이스를 구축하였다. 이 가상데이터베이스는 포장체 각 층의 두께, 탄성계수 및 포장체 내의 치짐, 응력 및 변형률을 포함하고 있다. 구축된 데이터베이스를 이용하여 포장의 장수명에 필요한 한계변형률을 만족하는 포장의 단면을 제시하였다. 연구결과, 총 아스팔트층의 두께가 410mm 보다 큰 경우에는 포장층의 각층의 두께나 재료의 특성과 관계없이 항상 장수명 아스팔트 포장으로 간주할 수 있으나, 250mm보다 작을 경우에는 장수명 아스팔트 포장에서 제외되었다. 총 아스팔트층의 두께가 250mm 보다 크고 410mm 보다 작은 경우에는 장수명 아스팔트 포장 조건에 만족하기 위한 포장층 두께와 탄성계수값을 결정할 수 있는 절차를 제시하였다.

핵심용어 : 장수명 포장, 한계변형률, 포장체반응모델

- * 정회원 · 한국건설기술연구원 도로연구부 선임연구원 · 공학박사
- ** 정회원 · 한국건설기술연구원 도로연구부 연구원 · 공학석사
- *** 정회원 · 한국건설기술연구원 도로연구부 선임연구원 · 공학석사
- **** 정회원 · 세종대학교 토목환경공학과 부교수 · 공학박사



1. 서론

1990년대 이후 폭발적인 증가를 보이는 교통량과 차량하중의 중량화 및 대형화, 환경적 영향 등의 복합적인 요인들로 인해 국내 도로포장의 피로균열 또는 소성변형과 같은 파손들이 전국에 광범위한 범위로 발생하여, 도로사용자에 대한 교통사고의 유발 증대 및 이에 따른 국가 도로포장 유지·보수예산이 급증하고 있다. 아스팔트포장은 공용기간을 10년, 분석기간은 20년으로 하고 있는데, 덧씌우기 수명은 공용수명 10년보다 짧게 나타난다. 이는 막대한 보수비용의 손실을 초래하므로 이를 근본적으로 해소할 수 있는 장수명 아스팔트 포장공법의 개발이 필요하다.

장수명 아스팔트 포장은 도로의 심각한 구조적 결함 또는 전체 포장층에 대한 보수 없이 40년 이상 유지가 가능한 포장으로 이러한 개념의 포장은 단지 주기적인 일상 보수만을 시행함으로써 전체 포장의 재시공을 필요로 하지 않는다. 장수명 아스팔트 포장 공법은 피로균열을 유발시키는 아스팔트층 하부에서 발생하는 인장변형률과 노상에서 발생하는 소성변형에 영향을 미치는 노상토 상부에서 발생하는 압축변형률을 한계변형률 이하로 조절하여 구조적 결함이 발생하지 않도록 제어한다. 장수명 아스팔트 포장은 다른 기존의 포장보다 아스팔트층의 두께가 두껍고, 일반적으로 3층구조로 이루어져 있어서 아스팔트층 하부에서 발생하는 인장변형률을 감소시키고 소성변형을 아스팔트층 상부에 제한시킬 수 있다. 여기에서는 장수명 아스팔트 포장 개념을 이용하여 효과적으로 포장체의 각층 단면두께를 결정하는 연구를 수행하고 잠정적인 장수명 포장단면 설계(안)를 개발하였다.

2. 장수명 아스팔트 포장체내 변형률에 대한 민감도 분석

TRB Circular 가운데 “Concepts of Perpetual Pavements (Newcomb 등, 2001)”를 참고하여 장

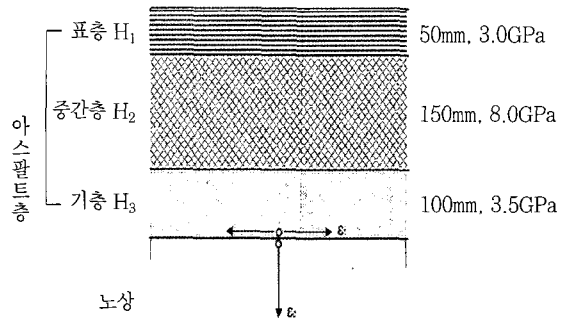


그림 1. 장수명 아스팔트 포장의 표준단면

수명 아스팔트 포장의 대표적인 표준단면으로 그림 1과 같은 단면을 사용하였다.

변형률에 대한 민감도 분석은 장수명 아스팔트 포장층에서 소성변형과 피로균열에 가장 심각하게 영향을 미치는 인자를 결정하기 위함이다. 이러한 목적으로 그림 1에 나타나 있는 표준단면의 중간층과 기층의 두께와 탄성계수를 $\pm 30\%$ 변화시켜 포장체 각층의 두께와 탄성계수가 아스팔트층 하부의 인장변형률(ϵ_t)과 노상토 상부의 압축변형률(ϵ_s)에 미치는 영향을 ILLIPAVE 유한요소법 프로그램을 사용하여 분석하였다. 표층의 경우 장수명 포장에서는 5~10년 주기로 질삭 후 덧씌우기를 하므로 50mm와 3.0GPa로 고정하여 분석에서는 제외하였다. 여기서는 표층, 중간층, 기층의 두께를 H_1 , H_2 , H_3 로, 표층, 중간층, 기층, 노상의 탄성계수를 E_1 , E_2 , E_3 , E_s 로, 아스팔트층 하부의 인장변형률과 노상토 상부의 압축변형률을 ϵ_t , ϵ_s 라 정의한다.

2.1 H_2 와 H_3 가 ϵ_t 와 ϵ_s 에 미치는 민감도 분석

중간층과 기층의 두께를 150mm와 100mm를 기준으로 $\pm 30\%$ 씩 변화시켜 각각의 아스팔트층 하부의 인장변형률과 노상토 상부의 압축변형률을 구하여 기준값일 때의 인장변형률과의 차이를 백분율로 구하여 민감도를 분석했으며 그림 2에 그 결과가 나타나 있다.

인장변형률에 있어서 중간층의 % Change 변화폭

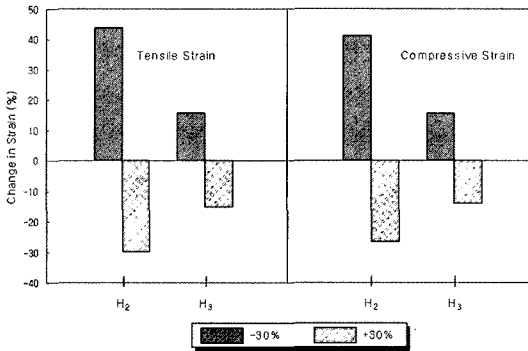
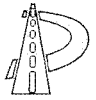


그림 2. H₂와 H₃의 ϵ_t 와 ϵ_c 에 대한 민감도

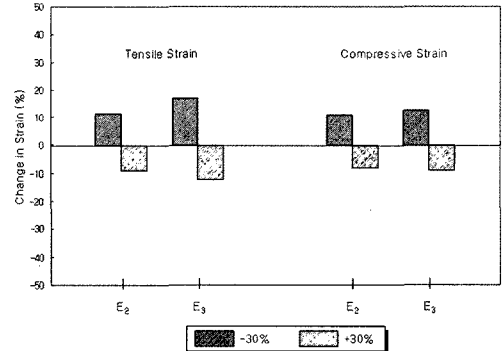


그림 3. E₂와 E₃의 ϵ_t 와 ϵ_c 에 대한 민감도

은 기층의 % Change 변화폭보다 약 2.3배 이상 크고, 압축변형률에 있어서 중간층의 % Change 변화폭 또한 기층보다 약 2.3배 이상 크다. 즉, 아스팔트층 하부의 인장변형률과 노상도 상부의 압축변형률은 중간층과 기층의 두께 변화에 상당히 민감하며, 특히 중간층의 두께 변화에 매우 민감함을 알 수 있다.

2.2 E₂와 E₃가 ϵ_t 와 ϵ_c 에 미치는 민감도 분석

중간층과 기층의 탄성계수를 8.0GPa과 3.5GPa을 기준으로 $\pm 30\%$ 씩 변화시켜 2.1절과 같은 방법으로 인장변형률과 압축변형률에 대한 민감도를 분석했으며 그림 3에 그 결과가 나타나있다.

인장변형률에 있어서 기층의 % Change 변화폭은 중간층의 % Change 변화폭보다 약 1.4배정도 크고, 압축변형률에 있어서 기층의 % Change 변화폭은 중간층의 % Change 변화폭보다 약 1.1배정도

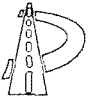
크다. 즉, 아스팔트층 하부의 인장변형률과 노상도 상부의 압축변형률은 중간층과 기층 탄성계수의 영향을 받으며 그 중에서 기층 탄성계수의 영향이 크기는 하나 그 차이는 미미하다. 위의 결과들을 종합하면, 중간층 두께는 아스팔트층 하부의 인장변형률과 노상도 상부의 압축변형률에 가장 큰 영향을 미치는 인자로 단면설계시 가장 중요시 여겨야 할 요소이다.

2.3 각 변수들 간의 상관관계 분석

피어슨 적률 상관계수는 두 변수들 사이의 관계를 나타내는데 일반적으로 가장 많이 사용되는 계수이다. 피어슨 적률 상관계수(r)는 -1부터 1사이의 값을 가지는데 $r = -1$ 은 완벽한 음의 선형관계, $r = 0$ 은 관계가 없음, $r = 1$ 은 완벽한 양의 선형관계를 나타낸다. 표 1은 각 변수들의 피어슨 적률 상관계수를 보여주는 관계 매트릭스를 나타낸다.

표 1. 각 변수들의 피어슨 적률 상관계수 관계 매트릭스

	H ₂	H ₃	E ₂	E ₃	E ₆	ϵ_t	ϵ_c
H ₂	1.00	-0.03	0.01	0.04	-0.03	-0.81	-0.66
H ₃	-0.03	1.00	-0.05	0.01	-0.02	-0.36	-0.36
E ₂	0.01	-0.05	1.00	-0.04	-0.01	-0.24	-0.17
E ₃	0.04	0.01	-0.04	1.00	0.00	-0.17	-0.07
E ₆	-0.03	-0.02	-0.01	0.00	1.00	-0.01	-0.35
ϵ_t	-0.81	-0.36	-0.24	-0.17	-0.01	1.00	0.86
ϵ_c	-0.66	-0.36	-0.17	-0.07	-0.35	0.86	1.00



각 변수들과 아스팔트층 하부의 인장변형률과의 상관도는 H_2, H_3, E_2, E_3, E_6 순으로 나타나고, 노상 토 상부의 압축변형률과의 상관도는 H_2, H_3, E_6, E_2, E_3 순으로 나타난다. 이 표를 보면 민감도 분석과 마찬가지로 중간층 두께(H_2)가 아스팔트층 하부의 인장변형률(-0.81)과 노상 토 상부의 압축변형률(-0.66)에 가장 큰 영향을 미치는 요소임을 알 수 있다.

3. 장수명 아스팔트 포장 반응 모델을 위한 데이터베이스 구축

장수명 아스팔트 포장의 단면구성은 현재 우리나라에서 시행중인 아스팔트 포장의 단면구성과 유사하도록 표층, 중간층, 기층, 보조기층, 동상방지층, 노상의 여섯 개 층으로 구성하였다. 포장체내의 반응들을 결정하기 위하여 포장체 각층의 두께와 탄성계수를 입력변수로 하여 ILLIPAVE 유한요소프로그램을 이용하여 데이터베이스를 구축하였다. 모든 포장재료는 선형탄성거동을 한다고 가정하였다. 교통하중을 모사하기 위해 접지압 689kPa의 하중이 152.4mm 반지름의 원형접지면에 가해졌다. 여기서 중요시 여기는 반응들은 피로균열을 유발시키는 아스팔트층 하부에 발생하는 인장변형률과 소성변형에

표 2. 데이터베이스 구축에 사용된 입력변수 값 범위 및 통계변수

	MIN(mm, GPa)	MIN(mm, GPa)	평균	분산
H_1	50.8	50.8	-	-
H_2	101.6	101.6	203.2	3440.853
H_3	0	0	76.2	1935.48
H_4	203.2	203.2	304.8	3440.853
H_5	0	0	101.6	3440.853
E_1	3.00	3.00	-	-
E_2	4.00	4.00	8.03	5.414
E_3	2.07	2.07	3.535	0.715
E_4	0.17	0.17	-	-
E_5	0.10	0.10	-	-
E_6	0.03	0.03	0.065	0.0004

아스팔트층	표층 H_1 (고정, 50.8mm)	E_1 (고정, 3.00GPa)
	중간층 H_2	E_2
	기층 H_3	E_3
	보조기층 H_4	E_4 (고정, 0.17GPa)
	동상방지층 H_5	E_5 (고정, 0.10GPa)
	노상 H_6	E_6

그림 4. 장수명 아스팔트 포장 단면 개요도

영향을 미치는 노상 토 상부에서 발생하는 압축변형률이다. 그림 4는 데이터베이스 구축을 위해 사용된 장수명 아스팔트 포장단면 개요도를 나타내고, 표 2는 입력변수값의 범위 및 통계변수를 제시하고 있다. 여기서 제시된 범위는 중간층의 탄성계수값을 제외하고 이제까지 우리나라 일반국도에 포설된 포장의 두께와 탄성계수값들의 범위이다. 중간층은 내구성을 증가시키기 위해 고강성 아스팔트를 사용함으로 일반 아스팔트보다 약 4배까지 큰 탄성계수를 사용하였다. 이 범위 안에서 $H_2, H_3, H_4, H_5, E_2, E_3, E_6$ 를 Random Number Generation 방법으로 구하고, 이를 ILLIPAVE 프로그램의 입력변수로 사용하여 1000개의 데이터를 구축했다. 구축된 데이터는 균등분포(uniform distribution)를 따른다.

장수명 아스팔트 포장에서는 510년 주기로 단지 표층만을 절삭한 후 덧씌우기를 하므로 표층의 두께를 5cm로 고정하였다. 기층은 인장변형률을 감소시키기 위한 아스팔트 재료를 사용하기 때문에 최소 2GPa 정도의 탄성계수값을 사용하였다. 또한 현재 국내에서 사용 중인 설계방법을 여기에 접목시키기 위해 보조기층과 동상방지층을 포함시켰다. 보조기층과 동상방지층 재료의 탄성계수는 각각 $E_4=0.17GPa$ 과 $E_5=0.10GPa$ 로 가정하였다. 노상 토의 탄성계수값은 0.030.1GPa 범위 안에서 사용하였다.



4. 데이터 분석

TRL Report 250(Nunn 등, 1997)과 Overlay Design for Cracked and Seated PCC(Monismith 등, 1999)를 참조하여 장수명 아스팔트 포장에 되기 위한 조건으로 포장체 내의 중요한 위치(아스팔트층 하부, 노상토 상부)에서의 한계변형률의 기준을 $\epsilon_t = 65 \mu\text{strain}$ (아스팔트층 하부), $\epsilon_c = 200 \mu\text{strain}$ (노상토 상부)으로 결정하였다. 공용성 모델을 적용시, 잔존 수명이 장수명 아스팔트로 요구되는 수명은 40년 이상인데, 이때의 아스팔트층 하부와 노상토 상부의 변형률은 $\epsilon_t = 65 \mu\text{strain}$ (아스팔트층 하부), $\epsilon_c = 200 \mu\text{strain}$ (노상토 상부)이 된다. 이 기준 이하의 변형률이 발생할 경우에는 잔존수명이 40년 이상 지속될 수 있으므로 장수명 아스팔트 포장으로 간주하였다.

4.1 총아스팔트층 두께와 변형률과의 관계

그림 5와 그림 6은 1000개의 데이터를 사용하여 총아스팔트층 두께 (H_{ac})와 ϵ_t , 총아스팔트층 두께 (H_{ac})와 ϵ_c 의 관계를 각각 도식화 한 것이다.

데이터 결과를 보면 아스팔트층 하부의 인장변형률이 $65 \mu\text{strain}$ 이하인 경우의 포장체는 모두 노상토 상부의 압축변형률이 $200 \mu\text{strain}$ 이하가 되므로, 아스팔트층 두께와 아스팔트층 하부의 인장변형률의 관계에서 장수명 아스팔트 포장으로 간주되면 압축 변형률의 기준($200 \mu\text{strain}$ 이하)을 만족시킨다. 그

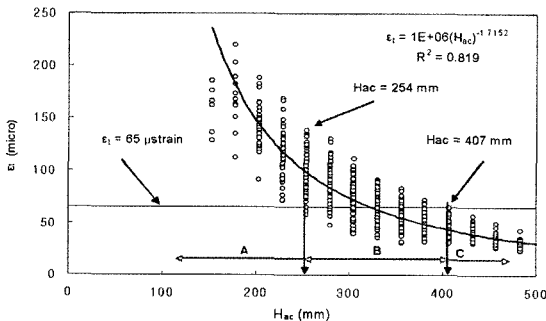


그림 5. H_{ac} 와 인장변형률과의 관계

리므로 아스팔트층 하부의 인장변형률(ϵ_t)과 다른 변수들과의 관계만을 고려하여 분석을 수행하였다.

한계변형률을 기준으로 A, B, C지역으로 구분한다. A지역은 입력변수값에 상관없이 변형률이 한계 변형률보다 크게 나타나는 곳, C지역은 입력변수값에 상관없이 변형률이 한계변형률보다 작게 나타나는 곳, B지역은 그 중간지역으로 정의한다.

그림 5를 보면, A 지역의 경우 ($H_{ac} < 250\text{mm}$)에는 입력변수를 아무리 조합한다 하더라도 계산되어진 변형률이 한계 변형률 보다 크게 발생하므로 장수명 포장에서는 제외된다. C 지역의 경우에는, 즉 총 아스팔트층의 두께가 410mm 이상일 경우에는 재료의 탄성계수나 각 층의 두께와 상관없이 장수명 포장으로 간주되어도 무방하다. B 지역의 경우에는 각 층의 두께와 탄성계수의 조합에 의해 장수명 아스팔트 포장 조건에 적합한지가 결정된다.

4.2 B지역의 분석

1000개의 데이터에서 주요 관심대상인 B지역에 해당되는 데이터는 총 761개로, B지역의 분석결과 는 1000개의 데이터를 사용한 결과와 비슷한 양상을 타나낸다. 그림 7과 그림 8은 아스팔트 중간층의 두께 (H_2)와 탄성계수(E_2)가 아스팔트층 하부의 인장 변형률에 미치는 영향을 나타내고 있다.

중간층의 두께와 탄성계수가 증가하면 인장변형률이 감소하는 경향을 보이고 있다. 또한 중간층의 두

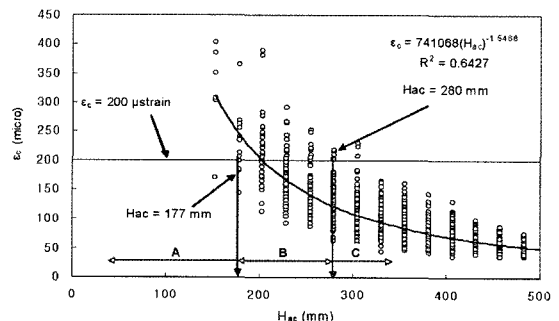


그림 6. H_{ac} 와 압축변형률과의 관계

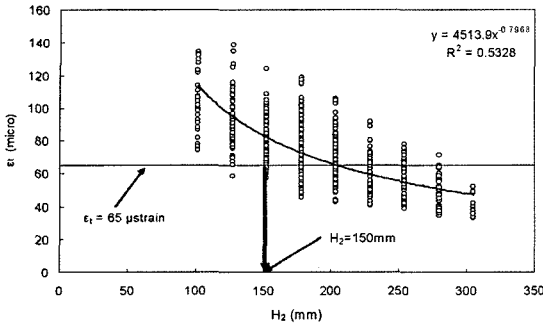


그림 7. H₂와 인장변형률과의 관계

께가 150mm 이하이거나(그림 7) 탄성계수값이 5GPa 이하일 경우에는(그림 8) 95%이상의 경우가 65μstrain 이상의 인장변형률값을 나타내고 있으므로 장수명 아스팔트 포장의 조건을 만족하기 위해서는 중간층의 두께는 항상 150mm 이상이어야 하며, 5GPa보다 큰 탄성계수를 가진 재료를 사용하여야 한다.

기층, 보조기층, 동상방지층과 인장변형률의 관계에서는 장수명 아스팔트 포장 조건에 필요한 경계값을 구할 수 없었다. 그 이유는 중간층과 같이 장수명 아스팔트 포장에 큰 영향을 주는 변수를 제외하고는 각 변수들의 값의 조합이 아스팔트층 하부의 인장변형률에 영향을 주기 때문이라 생각된다.

5. 포장체 반응 모델 개발

장수명 포장 단면 설계를 하기 위해서는 포장체 반응 모델이 필요하다. 포장체 반응 모델은 입력변수들과 포장체내의 변형률로 구성된 데이터베이스를 이용하여 아래와 같은 회귀식으로 결정하였다. 여기서, H₄, H₅, E₆는 아스팔트층 하부의 인장변형률에 거의 영향을 미치지 않으므로 인장변형률식에서 제외되었다.

5.1 아스팔트층 하부의 인장변형률

구축된 데이터를 사용하여 아스팔트층 하부의 인

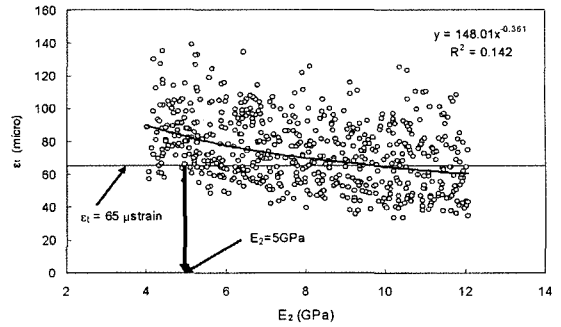


그림 8. E₂와 인장변형률과의 관계

장변형률에 대한 회귀식을 이끌어내었다. H₂, H₃, E₂, E₃, ILLIPAVE 유한요소프로그램을 이용하여 구해진 인장변형률에 log값을 취하여 아래와 같은 회귀식을 구했다.

$$\log(\epsilon_1) = 5.54532 - 1.19153 \log(H_2) - 0.27331 \log(H_3) - 0.39788 \log(E_2) - 0.28803 \log(E_3) \quad (1)$$

[R² = 0.9579 , SEE 0.0375]

여기서,

ε₁ = 아스팔트층 하부의 인장변형률(μstrain)

H₂ = 중간층의 두께(mm)

H₃ = 기층의 두께(mm)

E₂ = 중간층의 탄성계수(GPa)

E₃ = 기층의 탄성계수(GPa)

구축된 데이터를 사용하여 아스팔트층 하부 인장 변형률의 회귀식을 검증하였다. ILLIPAVE 유한요

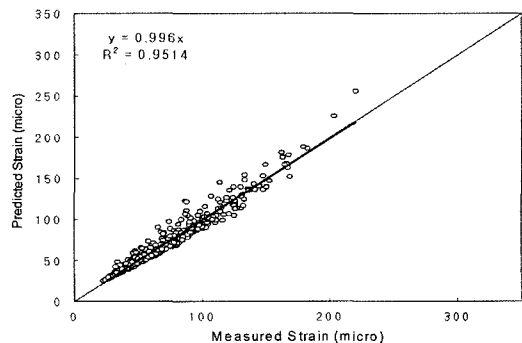


그림 9. 계산된 인장변형률값과 회귀식으로 구한 인장변형률값의 비교



소프트프로그램을 이용하여 구해낸 인장변형률값을 Measured Strain이라고 회귀식으로 구한 인장변형률값을 Predicted Strain이라하면 그림 9에 나타난 바와 같이 거의 비슷한 값을 나타낸다는 것을 알 수 있다.

5.2 노상토 상부의 압축변형률

구축된 데이터를 사용하여 노상토 상부의 압축변형률에 대한 회귀식을 이끌어내었다. $H_2, H_3, H_4, H_5, E_2, E_3, E_6$, ILLIPAVE 유한요소프로그램을 이용하여 구해낸 압축변형률에 log값을 취하여 아래와 같은 회귀식을 구했다.

$$\log(\epsilon_c) = 5.86856 - 1.03272\log(H_2) - 0.25597\log(H_3) - 0.38691\log(H_4) - 0.14277\log(H_5) - 0.31266\log(E_2) - 0.12672\log(E_3) - 0.44282\log(E_6) \quad (2)$$

[$R^2 = 0.9720$, $SEE = 0.0306$]

여기서, ϵ_c = 노상토 상부의 압축변형률(μ strain)

H_2 = 중간층의 두께(mm)

H_3 = 기층의 두께(mm)

H_4 = 보조기층의 두께(mm)

H_5 = 동상방지층의 두께(mm)

E_2 = 중간층의 탄성계수(GPa)

E_3 = 기층의 탄성계수(GPa)

E_6 = 노상의 탄성계수(GPa)

구축된 데이터를 사용하여 노상토 상부 압축변형

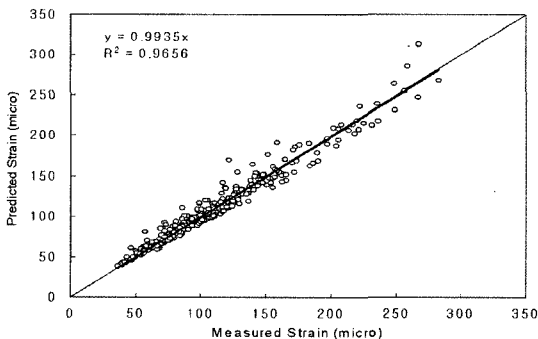


그림 10. 계산된 인장변형률값과 회귀식으로 구한 압축변형률값의 비교

률의 회귀식을 검증하였다. ILLIPAVE 유한요소프로그램을 이용하여 구해낸 압축변형률값을 Measured Strain이라고 회귀식으로 구한 압축변형률값을 Predicted Strain이라하면 그림 10에 나타난 바와 같이 거의 비슷한 값을 나타낸다는 것을 알 수 있다.

6. 장수명 아스팔트 포장 단면결정(안)

분석된 결과를 종합하여 장수명 아스팔트 포장의 단면결정 절차를 순서도로 나타내면 그림 11과 같다. 각 단계에서 장수명 포장의 조건에 만족하지 않을 경우에는 각층의 두께와 탄성계수를 변화시켜가며 최적의 단면을 결정한다.

보다 간단한 방법으로 그래프를 이용하여 장수명 아스팔트 포장의 단면두께를 결정하는 방법을 제시하였다. 포장체 반응 모델에서 한계변형률을 지정한 후 아스팔트 각층의 두께와 탄성계수의 상호관계를 그림 12, 그림 13, 그림 14에 나타냈다. 기층의 두

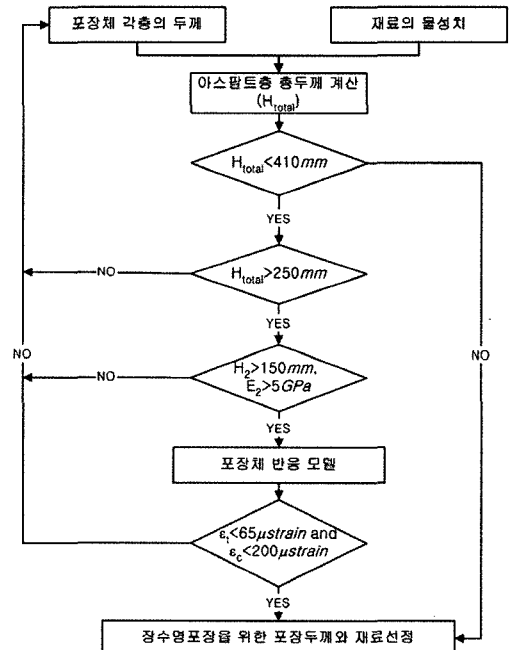


그림 11. 장수명 아스팔트 포장 단면 결정을 위한 순서도

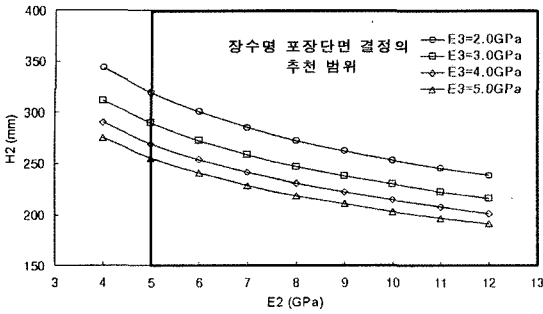


그림 12. $H_3=25.4\text{mm}$ 인 경우의 E_2 와 H_2 의 관계

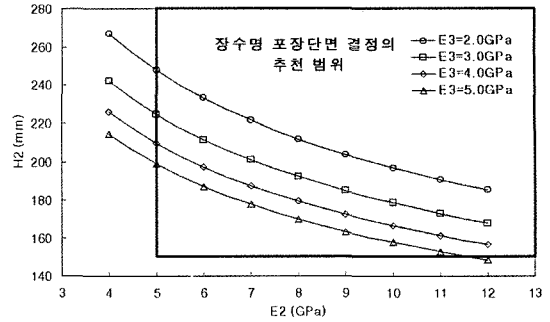


그림 13. $H_3=76.2\text{mm}$ 인 경우의 E_2 와 H_2 의 관계

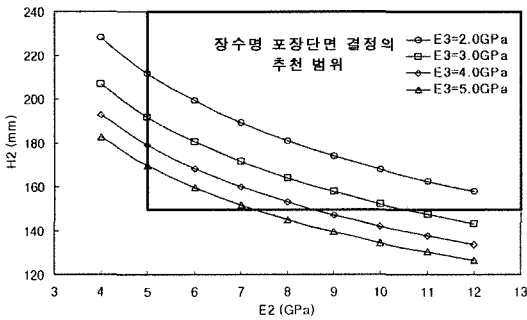


그림 14. $H_3=152.4\text{mm}$ 인 경우의 E_2 와 H_2 의 관계

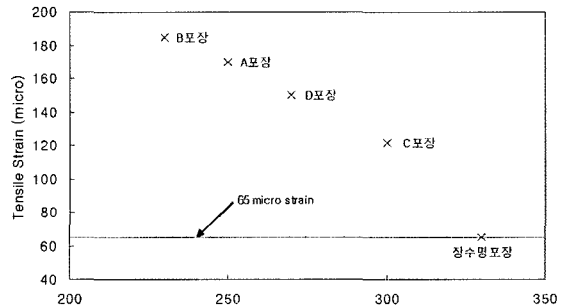


그림 15. 장수명포장과 현 국내 포장의 아스팔트층 하부의 Tensile Strain 비교

께를 25.4mm, 76.2mm, 152.4mm로 증가시키며 각 두께에서의 기층의 탄성계수를 2GPa, 3GPa, 4GPa, 5GPa로 증가시킨다. 각각의 경우에 있어서 중간층의 탄성계수의 변화에 따른 중간층 두께를 회귀식을 이용하여 구할 수 있다. 이 그래프를 이용하면 효과적으로 중간층의 두께나 탄성계수 또는 역으로 기층의 두께나 탄성계수의 최소값을 쉽게 구할 수 있다.

현재 국내 일반국도에 설계된 아스팔트 포장과 장수명 아스팔트 포장의 아스팔트층 하부 인장변형률을 비교해보았다. 일반국도 2호선, 29호선, 38호선, 43호선의 어느 특정구간에 설계된 포장을 A포장, B포장, C포장, D포장이라 하고, 그 단면두께와 탄성계수를 표 3에 나타냈다. 장수명 포장은 표 2에 제시한 입력변수값의 중앙값을 사용하였으며 그림 15에 그 결과가 나타나있다.

총아스팔트층 두께가 250mm보다 크고 410mm보

다 작은 경우에 각층의 두께와 탄성계수를 적절히 조합하여 아스팔트층 하부의 인장변형률이 $65\mu\text{strain}$ 이하가 되도록 조절해야만 장수명 포장이 된다. 물론 이 경우에도 항상 중간층의 두께는 150mm 이상이어야 하며 5GPa보다 큰 탄성계수를 가진 재료를 사용해야한다.

그림 15를 보면, 장수명 포장의 경우에는 330mm의 총아스팔트층 두께를 가지며 $65\mu\text{strain}$ 의 인장변형률값을 나타낸다. B포장은 230mm의 H_{ac} 로 $185\mu\text{strain}$ 의 인장변형률을 나타내므로 장수명 포장에서 제외된다. A, C, D포장은 각각 250mm, 300mm, 270mm의 H_{ac} 로 각층의 두께와 탄성계수를 적절히 조합하면 $65\mu\text{strain}$ 이하의 변형률이 나타나도록 할 수 있으나 그림에서 보는 바와 같이 한계변형률값 ($65\mu\text{strain}$)의 2배 이상의 변형률을 나타낸다. 현재 국내 포장의 공용수명은 20년 정도로 아스팔트층 하부의 인장변형률은 $120\mu\text{strain}$ 이상의 값을 나타내



표 3. 실제 설계된 포장의 두께와 탄성계수

	A포장		B포장		C포장		D포장	
	두께 (mm)	탄성계수 (GPa)	두께 (mm)	탄성계수 (GPa)	두께 (mm)	탄성계수 (GPa)	두께 (mm)	탄성계수 (GPa)
표층	50	3.0	50	3.0	50	3.0	50	3.0
중간층	60	4.1	60	4.1	60	4.1	60	4.1
기층	140	2.1	120	2.1	190	2.1	160	2.1
보조기층	150	0.17	240	0.17	350	0.17	210	0.17
동상방지층	150	0.10	290	0.10	200	0.10	380	0.10
노상	-	0.069	-	0.069	-	0.069	-	0.069

고 있다. SK에서 연구중인 고강도 포장재의 개발이 완료되면 현재 우리나라에서 사용되는 포장두께와 비슷한 두께를 가지며 40년 이상의 수명을 유지할 수 있는 장수명 포장공법으로의 전환이 필요할 것으로 생각된다.

7. 결론

본 연구에서는 포장의 내구성 증가와 수명을 연장시키는 장수명 아스팔트 포장 단면 설계에 관한 연구를 수행하였으며 본 연구에서 가정한 각 층의 두께와 탄성계수의 범위 내에서 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 총 아스팔트층의 두께가 410mm 보다 큰 경우 (C 지역, $H_{ac} > 410\text{mm}$)에는 포장층의 각층의 두께나 재료의 특성과 관계없이 항상 장수명 아스팔트 포장으로 간주한다.
2. 총 아스팔트층의 두께가 250mm 보다 크고 410mm 보다 작은 경우 (B 지역, $250\text{mm} < H_{ac} < 410\text{mm}$)에는 각 층의 두께와 재료의 물성치에 따라 계산된 변형률이 한계 변형률보다 크거나 작아질 수 있다. 장수명 아스팔트 포장조건에 만족하기 위한 최소 중간층의 두께와 탄성계수값을 제시하였다.
3. 장수명 아스팔트 포장체내의 반응을 예측할 수 있는 모델을 개발하였고, 장수명 포장 단면 결정을 위한 절차(안)을 제시하였다.

참고문헌

1. Newcomb, E. D., Buncher, M., and Huddleston, I. J. (2001) Concepts of Perpetual Pavements, *Transportation Research Circular No. 503*, pp. 4-11.
2. Nunn, M. E., A. Brown, D. Weston, and J. C. Nicholls. (1997) *Design of Long-Life Flexible Pavements for Heavy Traffic*. TRL Report 250, Transport Research Laboratory, Crowthorne, U.K.
3. Von Quintus, H. L. (2001) Hot-Mix Asphalt Layer Thickness Design for Longer-Life Bituminous Pavements, *Transportation Research Circular No. 503*, pp. 66-78.
4. Asphalt Pavement Alliance (2001) *Perpetual Pavement: Structured for the future*.
5. Monismith, C. L., and F. Long. (1999) Overlay Design for Cracked and Seated Portland Cement (PCC) Pavement - Interstate Route 710. *Technical Memorandum TM UCB PRC 99-3*, Pavement Research Center, Institute for Transportation Studies, University of California, Berkeley.

(접수 : 2004. 8. 4)