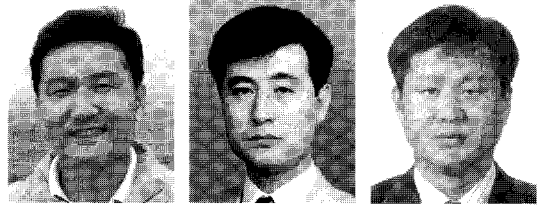


도로포장 하부구조 설계입력 물성치의 변천사



권기철 | 정회원 · 동의대학교 토목공학과 부교수
 이승원 | 정회원 · 경북대학 토목설계과 교수
 최동식 | 정회원 · (주)한맥기술 도로부 전무

1. 서언

BC 3500년경 바퀴의 발명과 더불어 도로 포장의 역사가 시작된 이래 Appin way, 트리사게 (Tresaguet) 공법, 마카담 (Macadan) 공법으로 발전을 거듭하여 19C 말~20C 초에는 현대적 개념의 아스팔트 및 시멘트 콘크리트 포장이 탄생하기에 이르렀다.

조선시대까지 우리나라의 길은 자연 그대로의 길이었다. 길의 중요성을 미처 인식하지 못했으니 길다운 길이 만들어질 리 없었다. 이 당시의 도로사정을 적절하게 비유한 말이 하나 있다. 바로 구절양장 (九折羊腸)이다. 그렇지 않아도 구불구불한 양의 창자가 아홉 번이나 꺾였으니 그 모양새가 어떨지는 익히 상상이 간다 (남인희, 2006).

우리 국토의 모습이 하루가 다르게 바뀌고, 도로 또한 획기적으로 발달하기 시작한 때는 1960년대 들어와서부터다. 1970년 7월 7일 드디어 경부고속도로가 최종 완공되었다. 경부고속도로 개통으로 도로부분에 획기적인 전환이 이루어졌다 (남인희, 2006).

우리나라의 현대적인 도로포장 설계기술은 경부고

속도로 건설과 같이 시작되었으며, "AASHTO Interim Guide for Design of Pavement Structures 1972"를 받아들이면서 본격적인 기술력을 축적하여오고 있다. 이후 일본의 TA 설계법을 일부 수용하고, 1980년대 후반 "AASHTO Guide for Design of Pavement Structure 1986"를 국내 기술력으로 소화하고자 하는 노력과 더불어 국내의 독자적인 포장 기술력을 축적해 나가고 있다. 현재는 '86 AASHTO 설계법은 물론 2002 AASHTO 설계법을 극복해 나가는 과정으로, 국내의 교통, 환경, 재료 특성에 합당한 한국형 포장 설계법 개발이 활발히 진행되고 있다.

포장 설계법의 변화와 더불어 하부구조 설계입력 물성치 또한 변화하여 오고 있다. 크게 나누면 '86 AASHTO 포장 설계법 이전까지 사용하였던 CBR (California bearing ratio)과 '86 AASHTO 설계법 이후에 적용되었던 회복탄성계수 (M_R , Resilient Modulus)로 대별된다. 그 이후 2002 AASHTO 포장설계법이 제안되면서 실제 포장체에서 하부구조의 환경영향 변화와 관련한 보다 다양한 설계입력변수가 사용되고 있다.

본 특집기사에서는 CBR을 중심으로한 설계입력

변수, 회복탄성계수(M_R , Resilient Modulus)를 중심으로 한 설계입력변수, 한국형포장 설계법에서의 설계입력 변수로 나누어 정리하여 보았다.

2. CBR 중심의 하부구조 설계입력변수

노상도 및 보조기층 재료의 설계입력변수로 CBR을 사용하는 대표적인 설계법이 '72 AASHTO 포장 설계법이다. AASHTO 포장 설계법은 AASHTO road test 결과를 바탕으로 개발된 경험적인 포장 설계법이다. '72 AASHTO 포장설계법에서는 CBR로부터 결정되는 노상지지력계수 (SSV or S:Soil Support Value)와 환경영향을 고려한 지역계수(R)을 기본 설계입력변수로 하고 있다.

'72 AASHTO 설계법의 기본 설계모형은 식 (1)과 같다.

$$\log W_{18} = 9.36 \log(SN+1) - 0.20 + \frac{G_i}{1094} - \frac{0.40}{(SN+1)^{5.19}} \quad (1)$$

여기서, $G_i = \log\left(\frac{4.2 - P_i}{4.2 - 1.5}\right)$

$W_{18} = 18kips$ 단축하중의 통과 횟수

식 (1)로 표현된 설계식은, AASHTO road test가 수행되었던 조건과 유사한 지반조건 및 기후조건일 때만 성립하는 실험자료에 근거하여 회귀분석으로 결정된 설계식이다. 따라서 이를 기후조건과 지반조건(노상의 조건)변화에 따라 고려할 필요가 있다.

AAHSO에서는 road test가 수행되었던 지역과 설계 대상 지역의 기후조건 차이를 고려하기 위해서 식 (2)와 같은 관계를 가정하였다.

$$W_{18} = N_{18} \left(\frac{1}{R}\right) \quad (2)$$

여기서, W_{18} = 지역계수 R을 갖는 지역에서의

단축하중 통과횟수

N_{18} = AASHTO road test 기후조건일 때의 ($R=1$) 18kips 단축하중 통과횟수

R = Regional Factor (지역계수)

식 (2)의 관계는, 양변에 log를 취하여, 식 (3)과 같이 쓸 수 있다.

$$\log W_{18} = \log N_{18} + \log\left(\frac{1}{R}\right) \quad (3)$$

다음으로, road test가 수행되었던 지역과 설계 대상 지역의 지반조건(노상조건) 차이를 고려하기 위해서 노상지지력계수 (SSV or S:Soil Support Value)를 도입한다. SSV는 road test가 수행되었던 노상조건을($SN=1.98, P_i=2, W_{18}=2.5$ (회/일)일 때의 노상조건) $SSV=3$ 으로 하고, 노상의 영향을 거의 받지 않는 정도로 충분한 쇄석기층 (현재의 개념으로는 보조기층에 해당) 두께를 갖는 경우(AASHTO road test에서는 아스팔트 표층의 두께 114mm이고, 그 아래에 충분한 두께의 쇄석 기층을 둔 경우로, 즉 아스팔트 층의 $SN=1.98$ 이고 그 아래에 쇄석의 노상이 존재하는 경우로, 측정결과 $P_i=2.0$ 의 조건에서 $W_{18}=1000$ (회/일)에서의 노상의 $SSV=10$ 으로 설정하였다. 그리고, 노상의 영향정도는 식 (4)와 같이 $\log(W)$ 와 선형의 관계가 있는 것으로 가정하였다.

$$\log W_{18} = \log N_{18} + f(S) \quad (4)$$

여기서, $f(S) = K(S_i - S_o)$

S_i = Soil support value for any condition "i"

S_o = Soil support value for Road Test conditions ($S_o=3$)

N_{18} = Total load applications for Road Test condition

W_{18} = Total load applications for any condition "i"

K = Constant

이상을 정리해 보면 조건 1($SN=1.98, P_i=2.0$ 일

때 $W_{18}=2.5$ 대/일)일 때 $SSV=3$ 이고, 조건 2($SN=1.98, P_t=2.0$ 일 때 $W_{18}=1000$ 대/일) 일 때 $SSV=10$ 이며, 그 사이의 조건에 대해서는 식(4)와 같은 선형의 비례관계로 가정된 모델을 적용하여 SSV 가 결정된다. 이를 그림으로 나타내면 그림 1과 같다.

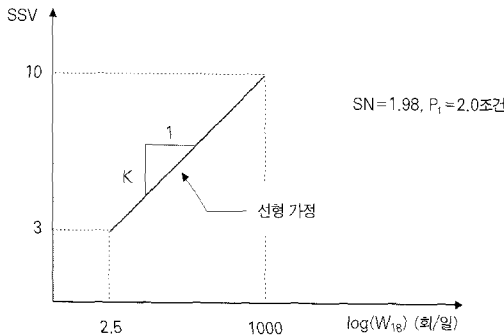


그림 1. 72 AASHTO 설계법에서 SSV

식 (4)와 그림에서 나타난 선형의 가정을 결합하면 식 (5)가 성립한다.

$$10^{K(10-3)} = \frac{1000}{2.5} \quad (5)$$

$$\therefore K = 0.372$$

따라서 식 (4)는 식 (6)과 같이 노상의 조건을 고려하여 다시 쓸 수 있다.

$$\log W_{18} = 0.372(S_i - 3.0) + \log N_{18} \quad (6)$$

따라서 CBR을 이용하여 노상토의 특성과 환경을 고려하여 설계식은 식 (7)과 같이 정리된다.

$$\log W_{18} = 9.36 \log(SN + 1) - 0.20 + \frac{G_r}{0.40 \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + \log\left(\frac{1}{R}\right) + 0.372(SSV - 3.0) \quad (7)$$

여기서, W_{18} : 설계 공용기간 동안 18kips(80kN, 8.2ton) EAL 반복횟수

SN : 포장 두께지수 (Structure Number)

$$G_r = \frac{\log(4.2 - P_t)}{\log(4.2 - 1.5)}$$

P_t : 최종 서비스 지수

R : 지역계수 (Regional Factor)

SSV : 노상 지지력 계수 (Soil Support value)

지역계수는 포장이 설치되는 지역의 기후조건(온도, 함수비)에 따른 노상의 강도변화를 반영한 것이며 AASHTO 설계법에서는 설계자가 포장이 설계되는 지역의 환경조건을 고려하여 결정하도록 하고 있다. 이러한 지역계수는 월단위로 결정하여 연중 가중 평균치로부터 결정하며, 동결에 의한 노상의 동상(heaving)은 고려하지 않고 있는 방법이다. 우리나라에서는 지역에 따라서 일정한 값으로 사용하고 있는 실정이다.

3. 회복탄성계수 중심의 하부구조 설계입력변수

'72 AASHTO 포장설계법과 같은 경험적 설계법에서는 포장 재료의 역학적 특성치를 상대적인 값으로 나타내는 방법(CBR, R 등), 즉 경험적 방법을 적용하여 평가하였다. 이와 같은 경험적인 평가방법은 시험의 간편성과 특정조건에서 재료의 성질을 비교할 때 유용하다는 장점이 있으나, 경험적 상관관계가 개발된 제반 조건이 유사한 경우에만 유효하다는 제약이 있다.

산업의 발달과 더불어 물류량이 급격히 증가하여 지속적으로 교통량과 차량하중이 증가하고 있다. 또한 도로가 위치하는 지역의 기후, 환경, 지반조건 등이 매우 다양하여, 기존의 경험적인 포장 설계법으로 건설된 도로들이 조기에 파손되는 문제점이 발생하기에 이르렀다. 따라서, 보다 역학적인 포장 설계법이 요구되었고, 1986년 미국 도로교통협회(AASHTO)는 종래의 CBR 값을 기준으로 한 경험적 포장 설계법을 개정하여 회복탄성계수(Resilient Modulus: M_R) 값을 적용한 보다 역학적인 포장 설

계법을 제정하게 되었다.

포장체에 차량 이동으로 인한 축하중이 작용하면 포장체는 그림 2와 같은 응력을 경험하게된다. 그림 2에 나타난 포장체 내부의 응력분포를 포장체 내의 하나의 요소를 기준으로 본다면, 차량하중의 이동에 의해 시간변화에 따라 발생하는 응력변화와 같게 된다. 즉, 운하중이 포장체 내부의 어느 한 요소에 접근함에 따라 축차응력이 점점 증가하여 요소 중심에 올 때 최고 값을 갖고 멀어짐에 따라 축차응력이 감소한다. 연속적인 차량하중 재하로 포장체 내부의 요소는 반복적인 축차응력을 경험하게 되고, 반복재하식 M_R 시험에서는 이와 같은 실제 포장체가 경험하는 응력상태를 모사하여 일정한 주기를 갖는 반정현파형의 축차응력을 재하한다. 이때 요소에 작용하는 축차응력의 크기는 차량하중의 크기에 따라 변화하고, 구속응력의 크기는 요소 상부의 포장체 두께와 층 구조에 따라 결정된다.

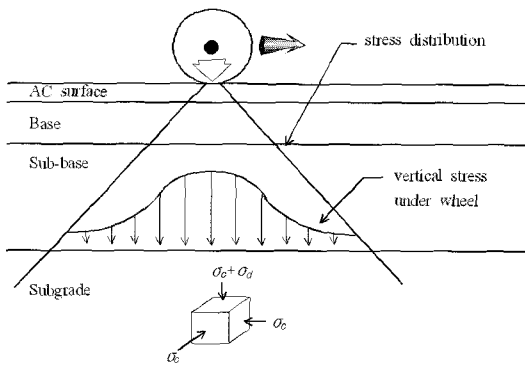


그림 2. 운하중에 의한 포장체 내부의 응력분포(Baladi, 1989)

그림 3과 같이 반복적인 하중을 받는 포장 재료는 변형을 경화(Strain-hardening)를 통하여 재료가 안정화되어 반복재하횟수가 충분히 증가하면 변형은 회복변형(Recoverable strain) 성분이 지배적이 된다. 이 때의 응력-변형을 곡선의 기울기를 회복탄성계수(M_R : Resilient Modulus)라 정의하며 식 (8)과 같이 반복축차응력(σ_d)에 대한 회복변형을(ϵ_r)의 비로 표시된다.

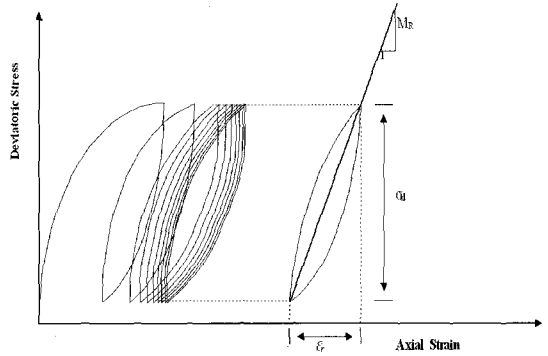


그림 3. 반복하중 재하에 따른 포장체의 응력-변형을 관계

$$M_R = \frac{\sigma_d}{\epsilon_r} \quad (8)$$

회복탄성계수는 차량하중의 반복재하 조건에서 유발되는 포장재료의 응력-변형 상태를 반영한 특성치로서, 이론적인 포장 설계 및 해석에 기본이 되는 입력 물성치이며, 포장재료의 특성을 가장 합리적으로 반영할 수 있는 물성치로 평가되고 있다. AASHTO 포장 설계법에서 회복탄성계수를 입력 물성치로 적용한 이후, 포장 설계·해석뿐 아니라 포장 평가, 유지관리 등에도 회복탄성계수를 이용하는 방법이 보편화 되어가고 있다.

AASHTO에 의한 회복탄성계수의 채택은 포장설계 분야의 많은 발전을 가져왔으나, 다음과 같은 이유로 실무 적용에 있어서 여러 가지 문제점이 제기되고 있다. 포장재료의 회복탄성계수(M_R)를 결정하기 위한 반복재하식 M_R 시험은 포장 구조체에 작용하는 교통하중의 반복재하 조건을 실험적으로 재현하여 포장재료의 탄성계수를 평가하는 시험기법이다. 그러나, 반복재하식 M_R 시험은 반복하중 재하에 필요한 매우 복잡하고 고가의 시험장치가 필요할 뿐 아니라, 까다로운 시험절차로 인하여 고도로 숙련된 전문적 기술을 요구한다. 따라서 시험의 경제성이 낮고 시험기기의 고유 특성과 시험자의 숙련도에 따라 시험성과의 재현성(Reproducibility) 및 반복성(Repeatability)이 크게 좌우되므로 일관성 있고 대표성 높은 시험성과의 획득이 어렵다. 이러한 이유

로 인하여 반복재하식 M_R 시험을 일상적 시험법 (Routine test)으로 쉽게 수행·적용하는 데는 많은 문제점을 안고 있다(김수일 등, 1991; 우제운 등, 1993, Zaman 등, 1994; Drumm 등, 1996).

일상적 시험법으로 적용하기 곤란한 반복재하식 M_R 시험의 문제점은, 회복탄성계수(M_R)가 포장재료의 응력-변형 상태를 합리적으로 반영할 수 있는 특성치로 평가받고 있음에도 불구하고, 경험적 포장 설계법에서 역학적 포장 설계법으로의 전환을 가로막는 중요한 장애요인이 되고 있다. 따라서, 일상적 시험법으로부터 회복탄성계수를 합리적으로 결정할 수 있다면, 회복탄성계수와 관련한 기존의 여러 연구결과의 실제적 활용이 가능하고, 경험적 포장 설계법에서 회복탄성계수를 적용한 역학적 포장 설계법으로의 전환을 가로막는 주요한 장애요인을 극복하게 된다.

회복탄성계수를 보다 간편한 일상적 시험법으로 결정하기 위한 대체 M_R 시험법에 관한 연구로는 기존의 경험적 설계법에서 널리 사용되어오던 CBR (California bearing ratio)등과 같은 지수물성치 (Index properties)로부터 M_R 을 결정하는 연구가 활발히 수행된 바 있다(Heukelon 등, 1960; Green 등, 1975; Lister, 1987; Lotfi 등, 1988; 김수일 등, 1991). 이러한 경험적 상관관계들은 현장 실무자들에게 매우 친근한 지수물성치를 그대로 사용한다는 장점이 있으나, 제한된 시료에 대하여 개발된 것으로 매우 다양한 포장재료에 대한 일반적 관계로 적용하기 힘들다. 또한, 응력상태에 따른 회복탄성계수를 합리적으로 결정하기 곤란하여 역학적 포장 설계법에서 회복탄성계수를 입력변수로 도입한 취지에 부합되지 못하는 단점이 있다.

따라서, 역학적인 포장구조 해석 및 설계에 적용 가능한 회복탄성계수를 결정하기 위한 대체 M_R 시험법은 크게 다음의 두 가지의 조건을 만족시켜야 한다. 첫째는 일상적 시험으로 수행 가능한 간편한 시험이어야 하고, 둘째는 포장단면이 경험하는 응력상태(포장단면 구성 및 교통하중에 따라서 변화)에 따

른 신뢰성 있는 회복탄성계수 결정이 가능하여야 한다.

4. 경험적-역학적 설계법에서 하부구조 설계 입력변수

포장체의 역학적 해석을 위한 기본 입력물성치는 탄성계수다. 그런데 하부구조 재료의 탄성계수는 매우 다양한 요소에 영향 받아서 어떠한 조건에서 평가하는 가하는 것이 매우 중요하다. 앞에서 서술하였던 회복탄성계수 또한 특정한 조건에서의 탄성계수의 한 종류에 불과한 것이다.

하부구조 재료의 변형특성(탄성계수)에 대한 연구가 본격적으로 시작된 것은 '86 AASHTO 포장 설계법에서 기본 설계입력변수로 회복탄성계수(M_R)를 채택한 이후다. 초기의 연구는 신뢰성 있는 회복탄성계수 시험법을 만들어내는 것이었다.

1986년 AASHTO 설계지침의 M_R 시험법은 M_R 시험에 대한 일반적인 사항만을 기술하고 있으며 응력조합의 작용순서 및 크기 등을 세부적으로 기술하지 않았다. 따라서 ASTM, SHRP, WS DOT, Florida DOT, Idaho DOT, KICT 등은 각 해당 지역의 교통하중과 포장형식 및 실제 포장체에 작용하는 하중을 모사(Simulation)하는 견해에 따라 각각의 시험법을 개발하여 사용하기에 이르렀다. 매우 다양한 시험법으로 회복탄성계수를 결정함에 따라 동일한 시료에 대한 회복탄성계수가 어느 시험법을 적용하느냐에 따라 서로 상이한 값을 얻게되는 문제점이 발생하였다. 따라서 1992년 AASHTO에서는 SHRP Protocol P46의 시험법을 근간으로 AASHTO T294-92I 시험법을 제정하였고, 대부분의 기관에서 이를 적용한 회복탄성계수 시험을 수행하게 되었다. 이후 2002 AASHTO 포장 설계법을 제안하면서 시험법의 일부를 수정한 AASHTO T307-99를 제안하고 있는 단계다.

우리나라 도로 포장에서 사용하고 있는 노상토는

대부분 모래 또는 실트질 모래(70% 이상)로 보고되고 있다. 또한 #200체 통과량이 10% 이하인 경우가 50% 이상이고, 70% 이상이 비소성(NP)으로 나타나고 있다(한국도로공사, 2002). 아울러 CBR과 노상지력계수도 대단히 우수한 것으로 평가되고 있다. 국내에서 사용되는 입상 보조기층 재료는 GP 또는 GW로 분류되고, 비소성(NP)이며, #200체 통과량이 거의 대부분이 5% 미만으로 나타나고 있다.

한편 국내 하부구조 재료의 특성은 회복탄성계수 시험법이 제안된 미국의 노상토 조건과는 대단히 상이하다. 미국을 포함한 국외의 많은 보고 자료에 나타난 노상토는 점성이 많은 흙으로 축차응력의 영향, 하중주파수의 영향 등을 크게 받는 특징이 있으나 국내의 노상토는 사질성분을 대단히 많이 함유하고 있어서 보조기층 재료와 유사한 거동을 한다는 특징이 있다. 국내 입상 보조기층 재료는 체적응력의 영향을 매우 크게 받는 것으로 밝혀졌다.

국내 하부구조 재료의 다양한 변형특성을 기반으로 한국형 포장 설계법에 사용될 구성모델이 제시되어 있다. 구성모델에 사용된 함수비 영향은 실제 현장에서 함수비 변화 형태를 재현한 시험방법을 적용하여 모델계수의 범위가 제안되어 있다. 회복변형특성과 관련한 구성모델과 함께 국내 하부구조 재료의 영구변형 특성에 대한 모델 및 모델계수의 범위가 제안되어 있으며, 국내 하부구조 재료의 변형특성에 대한 축적된 시험자료를 바탕으로 지수물성치로부터 설계입력변수를 결정하는 경험모형이 개발·제시되어 있는 상황이다. 또한 설계입력변수 결정시험에서 시편 다짐 방법을 무엇으로 할 것인가와 관계된 연구가 진행되고 있다.

현재, 한국형 포장 설계법과 관련하여 현재 진행되고 있는 하부구조 부분의 연구는, 덧씌우기 포장 설계에서 하부구조 재료의 물성평가기법, 복합지력계수 결정모형, 설계입력변수 결정을 위한 시험장치, 시험절차, 해석기법 개발 등에 초점을 두고 있다.

경험적-역학적 포장 설계법에서 탄성계수 이외에 중요한 하부구조 재료의 입력수는 환경영향을 고려하는 것과 관련된 것이다. 최근의 2002 AASHTO 포장 설계법에서는 EICM(Enhanced Integrated Climatic Model)을 사용하여 환경하중을 정량화하고 있다. EICM은 기존의 대단히 방대한 연구성과를 통합한 환경영향 평가 시스템으로서 미국의 LTPP 자료를 활용하여 검증을 완료하고 있다. EICM을 활용하기 위해서는 하부구조 재료에 있어서는 계절별 지하수위 변동, 배수특성, 열전달 특성, SWCC(Soil-Water Characteristics Curve)를 필요로 한다.

EICM에 필요한 설계입력물성치는 설계관점의 일상적인 실험적으로 결정하기 어려운 것들을 많이 내포하고 있어서, 대부분의 경우는 지수물성치로부터 추정하는 방법을 적용하고 있다. 하부구조에 있어서, EICM 해석의 최종적인 결과는 각 위치에서의 온도와 Matric suction이며, 이를 SCWW와 함수비 변화에 따른 탄성계수 변화 모델과 결합하여 시간에 따른 포장 구조해석에 필요한 설계입력 물성치를 결정하는 것이다.

국내 하부구조 재료의 물성특성, 구성모델, 모델계수의 범위, 경험모형 등에 대한 핵심적인 일련의 연구들이 완료되어 가고 있다. 그러나 아직까지도 국내 하부구조 재료의 특성에 대한 보고된 시험자료수의 빈약, 입자크기가 큰 입상 보조기층 원시료에 대한 시험결과의 부족, 실제 포장체에서 경험하는 비등방 응력조건에서의 변형특성, 연약지반에서 하부구조의 장기 변형, 포장단면 구성 및 도로 배수구조에 따른 환경영향 변화, 동결융해 과정에서 하부구조 재료의 물성변화 등, 매우 많은 부분에 대한 연구가 필요한 실정이다.

5. 결 언

과거의 경험적 설계법에서 점차적으로 역학적 설계법으로 전환·발전 되어가고 있다. 이러한 설계법

의 변화에 맞추어 하부구조 재료의 설계입력물성치 또한 경험적인 CBR에서 역학적인 탄성계수 전환되어 가고 있다. 또한 하부구조 재료의 환경영향 변화를 역학적으로 예측할 수 있는 기법이 개발·적용되고 있어서 환경영향과 관련한 다양한 하부구조 설계 입력물성치 들이 제안되어 있다.

우리나라에서는 1990년대 초반부터 도로 포장 분야에 대한 체계적인 연구가 본격적으로 시작되어 나름의 많은 연구성과를 구축하고 있다. 현재는 한국형 포장 설계법 개발을 위한 핵심 요소기술로서 활발히 연구가 진행되고 있다. 그러나 아직까지도 국내 하부구조 재료의 특성에 대한 보고된 시험자료수의 빈약, 입자크기가 큰 입상 보조기층 원시료에 대한 시험결과의 부족, 실제 포장체에서 경험하는 비등방 응력조건에서의 변형특성, 연약지반에서 하부구조의 장기 변형, 포장단면 구성 및 도로 배수구조에 따른 환경영향 변화, 동결융해 과정에서 하부구조 재료의 물성변화 등, 매우 많은 부분에 대한 연구가 필요한 실정이다. 특히 환경영향의 역학적인 고려 기법과 관련해서는 아직까지도 초보적인 수준에 머물러 있는 것이 현실이다.

최근에는 설계속도 160km/hr 이상의 슈퍼하이웨이 설계·시공·운용기술 개발이 국가적으로 계획되고 있으며, 이에 따른 다양한 기술적 요구가 제기되고 있다. 특히 설계속도에 합당한 설계입력변수 결정, 시공관리 기법에 대한 연구, 고속주행 조건에서 이용자의 안전과 직결된 구조물 접속 부분의 단차해결, 원지반 침하에 따른 포장 공용성 확보 등의 기술력이 요구되고 있다.

따라서 경험적 설계법에서 역학적 설계법으로의 기술발전에 부응하는 국내 하부구조 재료에 대한 합리적인 설계입력변수 정량화를 시급히 달성해야 할 뿐 아니라, 향후 슈퍼하이웨이 개발에 필요한 하부구조 설계입력변수 결정기법을 지금부터 충실히 준비해 나가야 할 것이다.

참고문헌

1. 건설교통부, (2000), "도로설계편람".
2. 건설교통부 (2002, 2003, 2004, 2006), "한국형 포장설계법 개발과 포장성능 개선방안 연구:아스팔트 포장 설계법 개발(하부구조 물성정량화)"
3. 권기철, (1999), "변형특성을 고려한 노상토 및 보조기층 재료의 대체 M_R 시험법", 박사학위논문, 한국과학기술원.
4. 권기철 (2000), "국내 노상토의 회복탄성계수에 대한 구성모델" 대한토목학회논문집, 제30권, 제 3-D호, pp. 301-310.
5. 김동수, 권기철, 이광호 (1997), "현장공진주 시험을 이용한 노상토의 대체 M_R 시험법" 대한토목학회 논문집, 제17권, 제 III-4호, pp. 393-402.
6. 남영국, 최한중, (1997), "최신도로공학 총론", 청문각.
7. 남인희 (2006) "남인희의 길 이야기" 도서출판 삶과꿈 (89-7594-702-5)
8. 박현일, 권기철, 오세봉 (2005) "인공 신경망 모델에 근거한 노상토 및 보조기층 재료의 탄성계수 추정" 대한토목학회논문집, 제25권, 제2C호, pp. 61-71.
9. AASHTO (1982), "Standard Method of Test for Resilient Modulus of Subgrade Soils, AASHTO T-294-82," AASHTO, Washington D.C.
10. AASHTO(1986), "AASHTO Guide for Design of Pavement Structure," AASHTO, Washington, D.C.
11. AASHTO (1992), "Resilient Modulus of Unbounded Granular Base/Subbase Materials and Subgrade Soils-SHRP Protocol P-46 AASHTO, T-294-92I," AASHTO, Washington D.C.
12. AASHTO (1993), "AASHTO Guide for Design of Pavement Structure," AASHTO, Washington, D.C.
13. AASHTO (2002), "Determining the Resilient Modulus of Soils and Aggregate Materials AASHTO T 307-99", AASHTO, Washington D.C.