

## 국내 노상토의 강도 및 강성도 특성 상관모형

### Correlation Model between Strength and stiffness characteristics for Subgrade Soils in Korea

권 기 철 Kweon Gi-Chul  
조 정 남 Jo Jung-Nam  
황 택 진 Hwang Taik-Jean

정회원 · 동의대학교 토목공학과 부교수 (E-mail : gckweon@deu.ac.kr)  
비회원 · (주)도담이엔씨 지반부 (E-mail : nam424@hanmail.net)  
정회원 · 부산광역시 도시개발실장 (E-mail : tajhwang@korea.kr)

#### ABSTRACT

Deformational characteristics of subgrade soils are very important input parameters for pavement design. It is necessary to make an amount of effort to estimate experimentally the modulus of subgrade soils. In case of designing simple (or lower level) pavement section, the estimation of the modulus based on experiments must cause an excessive cost. It has proposed various empirical correlation models to estimate the modulus from basic properties of the materials or more simple alternative tests. Seven subgrade soils in Korea were tested in this study. It was founded that the deformational characteristics of subgrade soils in Korea has a close relation to strength characteristics, the empirical correlation model was proposed. There was a close relation between cohesion value and modulus at low confining stress ( $r^2=0.93$ ). By comparing with the measured modulus and the modulus determined by proposed correlation model from strength characteristics, the value of the coefficient of determination ( $r^2$ ) is 0.75.

#### KEYWORDS

subgrade soils, modulus, deformational characteristics, strength characteristics, correlation model

#### 요지

노상토의 변형특성은 포장설계에 있어서 매우 중요한 기본적인 입력물성치다. 노상토의 탄성계수를 실험적으로 결정하기 위해서는 많은 노력이 필요하다. 포장 단면이 간단하거나 중요도가 낮은 도로 설계의 경우 시험적인 탄성계수 결정이 과도한 비용을 요구하게 된다. 보다 간편한 대체시험 또는 기초물성치로부터 탄성계수를 결정하는 다양한 경험모형이 제안되어 있다. 본 연구에서는 7종의 국내 노상토에 대한 시험을 수행하였다. 국내 노상토의 경우 강도특성과 변형특성의 밀접한 상관성을 확인 하였으며, 경험적 상관모형을 제안하였다. 점착력과 낮은 구속응력단계에서의 탄성계수는 매우 큰 상관관계가 있었다( $r^2=0.93$ ). 제안된 상관모형을 적용하여 강도특성으로부터 추정된 탄성계수와 시험을 통하여 측정된 탄성계수의 비교에서 결정계수( $r^2$ )는 0.75로 나타났다.

#### 핵심용어

노상토, 탄성계수, 변형특성, 강도특성, 상관모형

## 1. 서론

노상토를 포함한 토목 재료에 힘이 작용하면 변형을 수반하면서 어느 일정한 한계에 이르러 파괴가 유발된다. 파괴에 도달하는 과정의 특성을 변형특성이라 하고 파괴시의 극한하중과 이때의 변형률 크기를 강도특성이라 부른다. 강도특성

과 변형특성이 별개의 물리적 의미를 갖지만, 유사한 재료 범위에서는 강도특성과 변형특성이 밀접한 상관관계를 갖고 있는 것으로 알려져 있다(Tatsuoka 등, 1991; 안남식, 2002; 양성철 등, 2007).

노상토는 포장층의 상부에 작용하는 교통하중을 최종적으

로 지지하는 층으로서, 포장 단면설계 관점에서는 공용상태 노상토가 경험하는 다양한 조건에서의 변형특성이 매우 중요하다. 이러한 노상토의 변형특성은 회복탄성계수( $M_R$ , resilient modulus)를 사용하여 평가하고 역학적 포장 설계법에서 기본 설계입력변수로 사용하는 것이 일반적이다 (AASHTO, 1986; AASHTO, 2002; 건설교통부, 2007). 노상토의 변형특성 및 회복탄성계수( $M_R$ ) 특성에 대한 매우 다양한 연구가 진행되어 오고 있으며, 국내 노상토의 특성에 대해서도 많은 연구가 진행된 바 있다(건설교통부, 2007; Kweon 등, 2000; 권기철, 2000). 그러나 노상토의 변형특성과 강도특성을 동시에 평가하는 연구는 상대적으로 미비하였는데, 이는 노상토의 강도특성 중요도가 변형특성에 비하여 상대적으로 낮았기 때문이다.

노상토의 변형특성을 결정하는 방법은 크게 시험을 통하여 직접적으로 결정하는 방법과 경험적 상관모형을 사용하여 기초적인 지수물성치로부터 결정하는 기법으로 대별된다. 시험을 통하여 변형특성을 결정하는 방법에 있어서도, 회복탄성계수시험의 실무 적용의 여러 어려움들로 인하여 다양한 대체방법(alternative  $M_R$  test)이 개발되어 사용되고 있다(박현일 등, 2005; Kim 등, 2001; Lee 등, 1997).

일반적으로 강도특성을 평가하는 시험기법이 변형특성의 평가보다는 수월하고, 유사한 재료특성 범위에서는 일정한 상관성이 있기 때문에 하나의 시험으로 다양한 물성특성을 평가하기 위한 목적으로 다양한 재료에 대한 강도-변형특성 상관관계 연구가 많이 진행된 바 있다(김영진, 2003; 안남식, 2002; 양성철 등, 2007; 오상훈, 2008; 조윤희 등, 2000). 노상토의 대체 시험기법의 하나로 강도특성과 변형특성의 상관관계를 이용하여 강도시험으로부터 변형특성을 평가하고자 하는 연구 또한 다양하게 진행된 바 있다(Lee 등, 1997).

강도특성과 변형특성은 엄밀하게는 별도의 물리적 특성을 갖기 때문에 두 물성의 상관관계는 유사한 재료 범위에서만 유효하고, 따라서 국내 노상토에 대한 강도-변형 상관관계는 국내재료에 대한 시험결과를 바탕으로 개발되어야 한다. 본 연구에서는 7종의 국내 노상토에 대해 탄성계수와 강도특성을 동시에 평가하고, 두 물성사이의 상관모형을 제시하였다.

## 2. 시험시료 및 시험절차

### 2.1. 시험시료

본 논문에서는 국내 고속도로 및 국도에 사용되는 7종의 노상토를 현장에서 채취하여 시험을 수행하였다. 시험에 사용된 노상토 시료의 기초물성치를 정리하면 표 1과 같다. 시험에 적용한 노상토는 대부분 사질토 성분을 많이 함유한 것

으로, 권기철(권기철, 2000)이 보고하고 있는 국내 노상토의 일반적인 특성에 잘 부합하는 것이다.

표 1. 시험 노상토 시료의 기초물성치

시료	입도특성				소성 지수 (PI, %)	다짐특성 (D 다짐)		흙 분류	
	#4 통과율 (%)	#200 통과율 (%)	골울 계수 (Cc)	균등 계수 (Cu)		OMC (%)	$\gamma_{dmax}$ (t/m <sup>3</sup> )	통일 분류	AASHTO 분류
NS-1	82.42	9.39	0.75	11.53	NP	9.78	2.08	SP-SM	A-1-b
NS-2	75.23	3.95	0.89	13.75	7.93	19.00	1.75	SP	A-1-b
NS-3	83.45	3.92	1.39	18.00	7.18	13.42	1.85	SW	A-1-b
NS-4	95.00	10.91	0.54	6.43	7.42	13.80	1.87	SP-SC	A-2-4
NS-5	83.94	4.50	1.03	15.50	NP	8.30	2.12	SW	A-1-a
NS-6	70.12	2.77	1.45	17.27	5.60	8.60	2.15	SW	A-1-a
NS-7	80.06	4.20	0.43	16.18	2.73	10.25	2.12	SP	A-1-b

### 2.2. 시편성형

본 연구에서는 삼축압축시험장치를 사용하여 변형특성과 강도특성을 평가하였다. 두 시험 모두 직경 70mm, 높이 150mm 시편을 성형하여 시험에 사용하였다. 최적함수비 조건으로 흐트러진 시료의 함수비를 균일하게 조절한 후 다짐 시험에서 결정된 최대 건조단위중량의 95%를 목표로 성형하였다.

시편 성형방법은 권기철(권기철 등, 2007)이 국내 노상토의 시편성형기법으로 제안한 5층 봉다짐을 적용하였다. 모든 시험 시편의 다짐도와 함수비 차이는, 다짐도 95%  $\pm$  0.5%, 함수비 OMC  $\pm$  0.4% 범위 이내로 시편의 동질성을 확보하였다.

### 2.3. 시험장치 및 시험절차

본 논문에서는 동일한 삼축압축시험장치를 사용하여, 각각의 시편에 대하여 서로 다른 시험방법을 적용하여 강도특성과 변형특성을 평가하였다. 시험에 사용한 삼축압축시험장치는 변형률 조절(strain control) 방식이고, 하중계(load cell, 용량 20kN)와 변형측정을 위한 LVDT (용량 20mm)는 삼축셀 외부에 장착한 외부측정시스템을 적용하였다(그림 1). 구속응력은 공기압을 사용하였으며 압력계(용량 10kg/cm<sup>2</sup>)와 레귤레이터(regulator)를 사용하여 일정한 구속응력을 제어하였다. 자료 획득은 정적 데이터로거를 사용하였다.

강도특성 평가 시험은 압밀배수(CD) 조건에서 시험을 수행하였다. 시험에 사용한 노상토는 사질토 성분을 많이 함유하고 있고 포화되지 않은 최적함수비 조건으로 구속응력 재하 및 축차응력 재하단계에서 간극수압의 유발 우려는 대단히 작다. 이러한 특성을 고려하여 구속응력을 재하하고 1시간 이상 대기하여 시편의 균일한 유효응력 조건이 되도록 하

였고, 축차응력은 변형률 속도 0.5%/min으로 재하하였다. 강도특성 평가를 위한 삼축압축시험에서는 시편의 단부구속 효과를 줄이기 위하여 시편단부에 석고처리를 생략하였다. 시험의 구속응력 단계는 0.5kg/cm<sup>2</sup>, 1.0kg/cm<sup>2</sup>, 2kg/cm<sup>2</sup> 3 단계를 적용하였다.

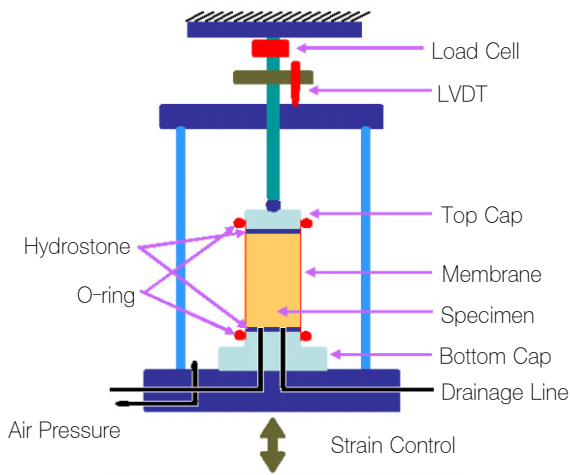


그림 1. 삼축압축시험 장치의 개요도

노상토의 변형특성과 관련된 포장 설계 입력변수 결정을 위한 시험기법은 매우 다양하게 제안되어 있다(건설교통부, 2007; 김동수 등, 1996). 본 연구의 대상 시료는 국내 노상토이므로, 노상토의 변형특성 평가를 위한 삼축압축시험의 절차와 해석 기법은 한국형 포장설계법(건설교통부, 2007)에서 제안하고 있는 반복재하 삼축압축시험 방식을 적용하였다.

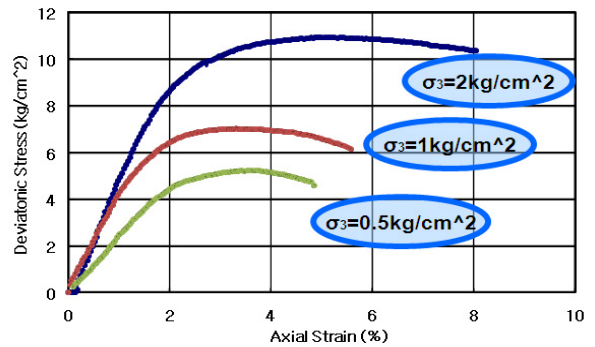
본 연구에서는 외부변형 측정장치를 사용하고 있고 노상토의 변형특성 평가 범위가 중간변형률 이하이므로 시편과 단부캡 사이의 오차(단부오차)를 효과적으로 제거해야 한다. 이러한 단부제거 효과 목적으로 성형된 시편의 양단부를 석고로 처리하여 시험장치에 거치하는 방법을 적용하였다(김동수 등, 1996). 석고 양생을 위한 2시간 이상의 대기시간을 둔 후, 구속응력을 재하한 상태에서 1시간 이상 여유를 두어 균일한 구속응력이 재하되도록 하였다. 안정응력은 6.9kPa, 변형률 속도는 0.04%/min를 적용하였다. 각 구속응력 단계에서 2회 이상의 반복 축차응력을 재하하였다. 시험에 사용한 하중조합은 표 2와 같다.

표 2. 변형특성 평가를 위한 삼축압축시험의 하중조합

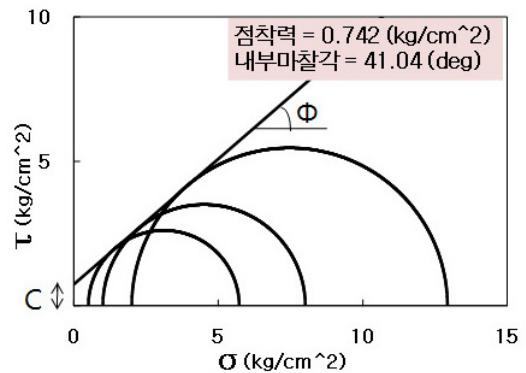
구속응력(kPa)	하중반복횟수	축차응력(kPa)	
		재하	역재하
41	2	0→69	69→0
21	2	0→69	69→0
10	2	0→69	69→0
0	2	0→69	69→0

### 3. 노상토의 강도 및 강성도 특성

강도특성 평가를 위한 파괴시험에서, 파괴과정에서의 응력-변형률 관계의 일례를 그림 2(a)에 나타내었다. 각각의 구속응력단계에서 파괴시 최대축차응력(강도)를 결정하여 그림 2(b)와 같이 Mohr-Coulomb 파괴포락선을 구하여 점착력(c)과 내부마찰각( $\Phi$ )을 결정하였다.



(a) 각 구속응력 단계별 응력-변형률 관계 일례(NS-5)



(b) Mohr-Coulomb 파괴포락선 결과 일례(NS-5)

그림 2. 강도특성 결정을 위한 삼축압축시험 결과 일례(NS-5)

노상토의 변형특성, 즉 탄성계수를 구하기 위하여 반복재하 삼축압축시험 결과의 일례를 그림 3에 나타내었다. 시험 노상토의 탄성계수는 우리나라 노상토의 일반적인 범위인 100~300 MPa 안에 있었고, 구속응력에 비례하고, 축차응력에 반비례하는 전형적인 패턴으로 나타났다.

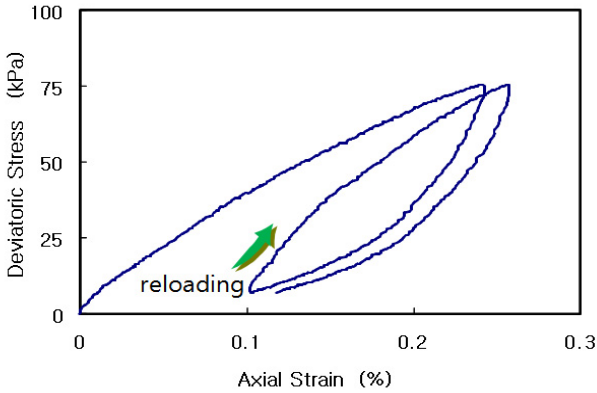
그림 3(b)에 일례로 나타난 구속응력과 축차응력에 따른 탄성계수 결과에 대하여 한국형 포장 설계법(건설교통부, 2007)에서 적용하고 있는 식 (1)과 같은 구성모델을 적용하여 모델계수를 결정하였다. Mohr-Coulomb 파괴포락선의 전단강도정수(점착력, 내부마찰각) 및 노상토의 탄성계수 구성모델 식 (1)의 모델계수를 정리하여 표 3에 나타내었다.

$$E = k_1 \theta^{k_2} \sigma_d^{k_3} \quad (1)$$

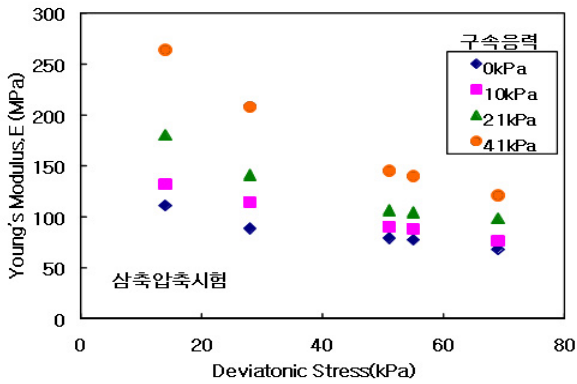
여기서,  $E$  = 탄성계수(MPa)

$\theta$  = 체적응력 ( $\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3$ ) (kPa)

$\sigma_d =$  축차응력 (kPa)  
 $k_1, k_2, k_3 =$  모델계수



(a) 반복재하 삼축압축시험의 응력-변형률 관계 일례(NS-5)



(b) 구속응력 및 축차응력에 따른 탄성계수 변화 일례(NS-5)

그림 3. 반복재하 삼축압축시험 결과 일례(NS-5)

표 3. Mohr-Coulomb 전단강도정수 및 탄성계수 구성모델 모델계수

구분		NS-1	NS-2	NS-3	NS-4	NS-5	NS-6	NS-7
Mohr-Coulomb 전단강도정수	$c(kPa)$	109.3	108.5	77.0	120.7	72.7	96.1	103.9
	$\Phi(deg)$	29.6	33.0	29.4	27.0	41.0	40.5	31.3
탄성계수 구성모델 식 (1) 모델계수	$k_1$	1256.3	1282.7	168.8	1382.9	142.5	796.8	753.4
	$k_2$	0.258	0.003	0.126	0.184	0.448	0.229	0.188
	$k_3$	-0.835	-0.504	-0.400	-0.760	-0.606	-0.678	-0.707

그림 4는 각 구속응력단계에서 결정된 전단강도와 구속응력 41kPa, 축차응력 69kPa 단계에서 결정된 탄성계수를 비교하여 나타낸 것이다. 전단강도와 탄성계수 결정의 구속응력이 가장 유사한 경우(강도시험 구속응력=49kPa, 탄성계수 결정시험 구속응력=41kPa) 강도와 탄성계수와의 선형의 비례관계를 나타내었으며 결정계수( $r^2$ )는 0.799로 의미 있는 상관관계를 발견할 수 있고, 두 시험의 구속응력의 차이가 커질수록 상관성은 낮아지는 것으로 나타났다.

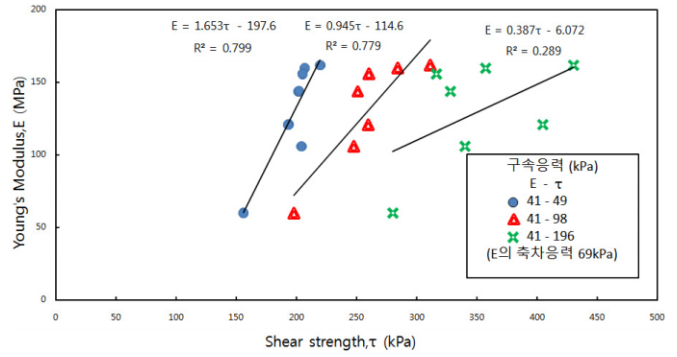


그림 4. 구속응력 조건에 따른 전단강도와 탄성계수의 상관관계 비교

그림 5는 두 시험의 구속응력 조건이 유사한 경우(강도시험 구속응력=49kPa, 탄성계수 결정시험 구속응력=41kPa)에 대하여 축차응력 단계에 따른 탄성계수와 전단강도를 비교한 것이다. 그 결과 축차응력이 높은 상태에서 결정된 탄성계수가 전단강도와 보다 높은 상관관계를 보이고 있음을 확인할 수 있다. 이것은 시험의 축차응력이 높다는 것이 좀 더 파괴상태와 가깝다는 의미이므로 시험의 파괴를 의미하는 전단강도와 좀 더 연관성이 있다고 볼 수 있다.

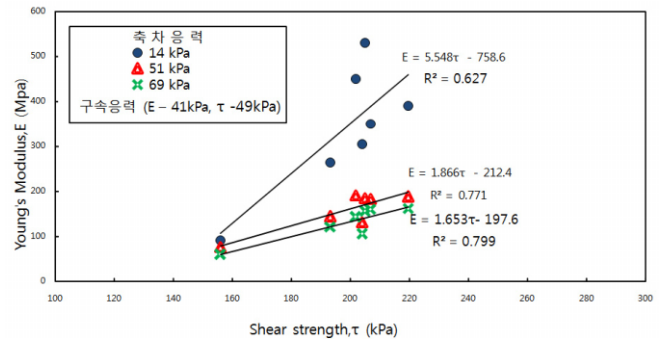


그림 5. 축차응력 조건에 따른 전단강도와 탄성계수의 상관관계 비교

그림 4 및 그림 5에서 국내 노상토에 있어서도 변형특성(탄성계수)과 강도특성(전단강도)이 일정한 상관관계가 있음을 확인할 수 있다. 아울러 이러한 상관성은 강도시험이 수행되는 조건과 탄성계수를 결정하는 시험의 구속응력이 유사하고, 파괴에 보다 가까운 높은 축차응력단계에서 결정된 탄성계수가 보다 좋은 상관성이 있음을 확인하였다.

강도와 탄성계수는 시험의 응력조건에 따라서 변화하고, 이러한 응력 영향요소를 강도특성은 구속응력을 변수로 한 Mohr-Coulomb 파괴포락선 모델을, 탄성계수는 구속응력과 축차응력의 영향을 고려한 구성모델을 사용하고 있다. 즉, 전체 응력단계에서의 강도와 탄성계수의 상관관계를 개발하기 위해서는 각각의 모델계수와의 상관성을 평가해야 한다.

그림 6은 점착력(cohesion)과 식 (1)과 같은 탄성계수 구성모델에서 모델계수  $k_1$ 의 상관성을 나타낸 것이다. 그림 6에서 확인할 수 있듯이 두 값 사이에는 결정계수( $r^2$ )가

0.933으로 매우 밀접한 상관성이 있음을 알 수 있다.

강도평가의 Mohr - Coulomb 파괴포락선에서 점착력 (cohesion)은 낮은 구속응력단계에서의 강도를, 식 (1)과 같은 탄성계수 구성모델에서 모델계수  $k_1$ 은 낮은 응력단계에서의 탄성계수와 밀접하게 관련된 물리적 의미를 갖고 있다. 즉 점착력과 모델 계수  $k_1$ 은 유사한 조건에서 강도와 탄성계수 특성을 대표하고 있다. 앞에서 확인한 바와 같이(그림 3 및 그림 4의 결과) 두 시험의 응력조건이 유사한 경우에는 강도와 탄성계수가 매우 좋은 상관성이 있었고, 이와 같이 낮은 응력상태의 강도와 탄성계수 특성을 반영한 점착력과 모델계수  $k_1$ 사이에도 매우 큰 상관성이 있음을 확인하였다.

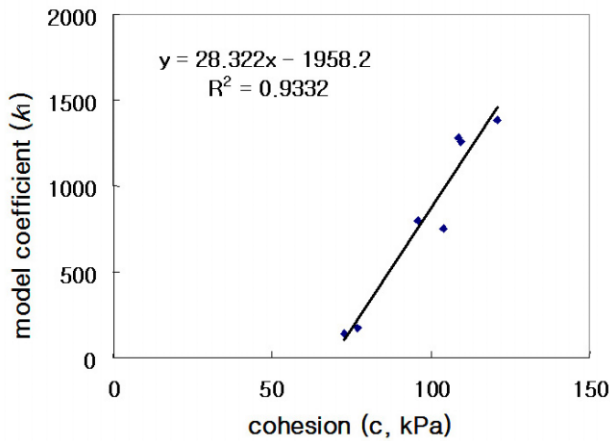


그림 6. 점착력과 모델계수  $k_1$ 의 상관관계

그림 7은  $\tan(\phi)$ 과 모델계수  $k_2$ 의 상관관계를 나타낸 것이다. 내부마찰각은 강도에 대한 구속응력의 영향을 모델계수  $k_2$ 는 탄성계수에 대한 체적응력의 영향정도를 나타낸다. 그림 7에서 보면 두 계수사이 어느 정도의 상관성은 확인할 수 있으나, 결정계수( $r^2$ )가 0.489로 높은 수준으로는 나타나지 않았다. 이것은, 강도와 탄성계수의 공학적 특성의 차

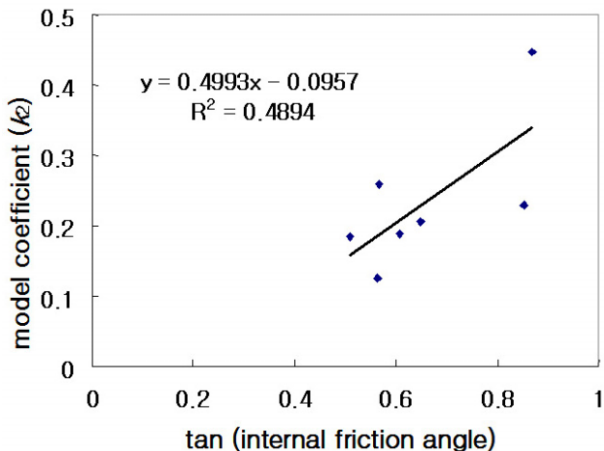


그림 7. 내부마찰각과 모델계수  $k_2$ 의 상관관계

이, 구속응력과 체적응력의 물리적 의미 차이, 그리고 구속응력의 영향을 선형적으로 묘사하는 Mohr-Coulomb 모델과 지수형태로 표현하는 탄성계수 구성모델의 함수형태의 차이 함으로 인한 두 모델계수를 직접적인 비교의 곤란성 등 때문으로 판단된다.

탄성계수에 대한 구성모델 식 (1)에서 모델계수  $k_3$ 는 탄성계수에 대한 축차응력의 영향을 나타낸다. 즉 모델계수  $k_3$ 는 탄성계수의 비선형성을 의미하게 되는데, 강도특성은 파괴시점의 특성만을 대상으로 하므로 모델계수  $k_3$ 에 상응하는 물리적 의미를 갖는 계수를 갖고 있지 못하다.

파괴까지 이르는 응력-변형곡선에서 평균적인 의미로서는 강도와 파괴시 변형률 크기의 비가 모델계수  $k_3$ 의 물리적 의미와 약간은 유사한 측면이 있다. 그러나 강도시험에서 결정된 강도와 파괴시 변형률 크기 비가 일정한 값으로 나타나지 않아서, 특정한 구속응력조건에서의 강도와 모델계수  $k_3$ 의 상관성을 그림 8과 같이 비교하게 되었다. 그림 8의 결과에서 보면 두 물성치 사이에 어느 정도의 상관성은 확인할 수 있으며, 결정계수( $r^2$ )는 0.447로 평가되었다.

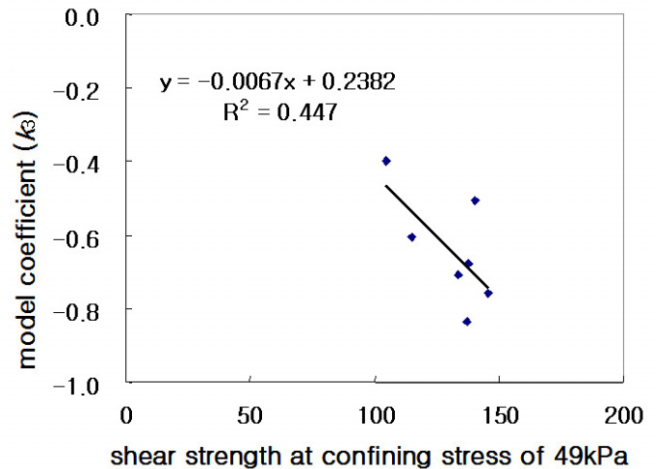


그림 8. 특정 구속응력조건에서의 전단강도와 모델계수  $k_3$ 의 상관관계

그림 6~그림 8에 나타내었던 상관성의 결과를 정리하여, 강도정수(점착력 및 내부마찰각)와 강성도 구성모델 식 (1)의 모델계수와의 상관모형을 결정하면 식 (2)~식 (4)와 같이 나타난다.

$$k_1 = 28.32 \times c - 1958.2 (r^2 = 0.933) \quad (2)$$

$$k_2 = 0.50 \times \tan(\phi) - 0.10 (r^2 = 0.489) \quad (3)$$

$$k_3 = -0.0067 \times (\tau_f \text{ at } \sigma_3 = 49kPa) + 0.24 (r^2 = 0.447) \quad (4)$$

그림 9는 제안한 경험모형을 통하여 결정된 강성도 구성모

델 식 (1)의 모델계수와 탄성계수 시험을 통하여 결정된 탄성계수를 비교한 것이다. 탄성계수 결정의 응력단계는 실제 포장체가 경험하는 응력범위를 고려하여 결정된 탄성계수결정 시험의 응력단계를 적용하였다. 그림 9와 같이, 포장체가 경험하는 응력범위에서 경험모형에서 결정된 탄성계수와 실제 시험을 통하여 결정된 탄성계수는 상관계수( $r^2$ ) 0.754로 매우 좋은 상관성을 보이고 있다.

식 (2)에 나타난 각각의 모델계수를 결정하는 상관모형의 결정계수( $r^2$ )를 고려할 때, 최종적으로 추정된 탄성계수와 시험에서 결정된 탄성계수가 높은 상관성을 나타내고 있는 것은, 포장체가 경험하는 응력범위에서 탄성계수는 모델계수  $k_1$ 의 영향이 대단히 크고 모델계수  $k_2$  및  $k_3$ 의 영향이 상대적으로 작기 때문인 것으로 판단된다. 아울러 제안된 경험모형의 개발에 사용된 데이터를 대상으로, 개발된 모형의 적합성을 검증하는 순환 논리적 모순을 일부 포함하고 있기 때문에 높은 상관성이 결정된 측면도 있다. 그러나 이러한 제한적 요소들에도 불구하고 국내 노상토의 강도특성과 강성도 특성 사이에서는 공학적으로 활용 가치가 충분한 수준의 상관성을 가지고 있음을 확인할 수 있었다.

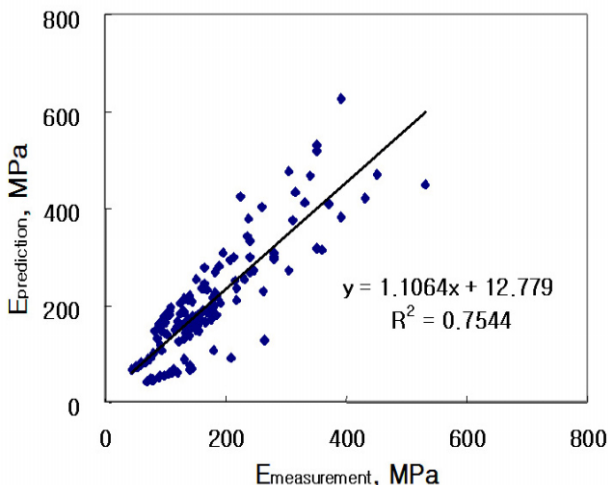


그림 9. 제안된 상관모형과 시험을 통하여 결정된 탄성계수의 비교

#### 4. 결론

본 연구에서는 7종의 노상토에 대한 시험을 통하여, 국내 노상토의 강도특성과 탄성계수 특성의 상관성을 평가하였다. 강도특성과 변형특성이 별개의 물리적 의미를 갖지만, 노상토라는 유사한 재료 범위에서는 강도특성과 변형특성이 밀접한 상관관계를 갖고 있음을 확인하였다. 세부적인 결론은 아래와 같다.

(1) 탄성계수 결정의 응력단계가 강도평가의 응력수준과

유사할수록 강성도와 강도 특성은 더 좋은 상관성이 있는 것으로 나타났다. 특히, 매우 낮은 구속응력 단계의 강도특성을 나타내는 점착력과 낮은 응력단계에서 결정된 탄성계수는 매우 밀접한 상관관계가 있음을 발견하였다 (결정계수,  $r^2 = 0.93$ ).

(2) 강도특성 평가 시험에서 연계 되는 Mohr-Coulomb 파괴포락선의 강도정수(점착력 및 내부마찰각)로부터 탄성계수 구성모델 식 (1)의 모델계수를 결정하는 상관모형을 식(2)와 같이 제안하였다.

(3) 제안된 강성도-강도 상관모형을 적용하여 강도특성으로부터 추정된 탄성계수와 시험을 통하여 측정된 탄성계수를 비교한 결과, 결정계수( $r^2$ )는 0.75 수준에서 강도시험 결과로부터 강성도를 결정할 수 있음을 확인하였다. 이러한 결과는 국내 노상토라는 유사한 재료의 경우에만 유효한 것이며, 모형 개발에 사용한 시료수의 제한으로 보다 실용적인 활용을 위해서는 보다 많은 시험결과 확보가 필요한 제한적 요소가 있다. 그러나 이러한 제한적 요소들에도 불구하고 국내 노상토의 강도특성과 강성도 특성 사이에서는 공학적으로 활용 가치가 충분한 수준의 상관성을 가지고 있음을 확인할 수 있었다.

#### 감사의 글

이 논문은 2007년도 정부재원(교육인적자원부 학술연구조성사업비)으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 연구되었음(KRF-2007-313-D00823)

#### 참고 문헌

건설교통부 (2007), "한국형 포장설계법 개발과 포장성능 개선방안 연구: 설계입력변수 정량화: 아스팔트 포장재료 물성정량화", KPRP-G-07.

권기철 (2000), "국내 노상토의 회복탄성계수에 대한 구성모델", *대한토목학회 논문집*, 제30권, 제 3-D호, pp. 301-310.

권기철, 황창일 (2007) "시편 성형기법에 따른 국내 다짐 노상토의 변형특성" *한국도로학회논문집*, 제9권, 제4호, pp. 55-63.

김동수, 권기철 (1996), "신뢰성 있는 노상토의 회복탄성계수 시험법", *대한토목학회 논문집* 제16권 제3-1호, pp. 81-91.

김영진 (2003), "동결토의 일축압축강도와 부동수분, 초음파 속도와의 관계", *대한토목학회 논문집* 제23권 제5호, pp. 309-317.

박현일, 권기철, 오세봉 (2005), "인공신경망 모델에 근거한 노상토 및 보조기층 재료의 탄성계수 추정", *대한토목학회 논문집* 제25권 제2호, pp. 61-71.

안남식 (2002), "재령과 온도에 따른 콘크리트의 압축강도와 탄성계수에 관한 연구", *한국도로포장공학회 학술발표 논문집*, 제4권 제1호, pp. 127-132.

양성철, 박종원 (2007), "포장용 콘크리트의 강도 및 탄성계수 상관관계식", *한국도로학회 논문집* 제9권 제4호, pp. 205-213.

오상훈 (2008), "실트의 비배수 전단강도 및 밀도와 전단파속도와의 상관관계", *한국지반공학회* 제24권 제5호, pp. 79-87.

조윤희, 조성호, 여성훈 (2000), "파괴 및 비파괴시험을 통한 콘크리트강도와 탄성계수에 관한 실험적 연구", *대한토목학회 학술발표회 논문집*,

pp. 265-268.

AASHTO (1986), "AASHTO Guide for Design of Pavement Structure", AASHTO, Washington D.C.

AASHTO (2002) "AASHTO Guide for Design of New and rehabilitated Pavement Structures", AASHTO, Washington D.C..

Kim, D. S., Kweon, G. C. and Lee, K. H. (2001), "Alternative Method of Determining Resilient Modulus of Subgrade Soils Using Static Triaxial Test", *Canadian Geotechnical Journal*, Vol 38, No. 1, pp. 107-116.

Kweon, G. C and Kim, D. S. (2000), "Deformational Characteristics of Subgrade Soils in Korea", *KSCE Journal of Civil Engineering*, vol. 4, no. 2, pp. 83-90.

Lee. W., Bohra, N. C., Altschaeffl, A. G., and White, T. D. (1997), "Resilient Modulus of Cohesive Soils," *Journal of Transportation Engineering*, Vol. 123, No. 2, ASCE, pp. 131-136.

Tatsuoka, F. and Shibuya, S. (1991), "Deformation Characteristics of Soils and Rocks from Field and Laboratory Tests", Key Note Lecture for Session No. 1, *The 9th Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Bangkok, December.

접 수 일 : 2009. 3. 18

심 사 일 : 2009. 3. 18

심사완료일 : 2009. 9. 22