

# 실내 토조 DCPT 시험을 통한 탄성계수 예측식 및 CBR 평가식의 적용성 검토

## An Comparison Study on Evaluation Equations of Elastic Modulus and CBR by DCPT on the Laboratory Model

김종민\* 최준성\*\* 김부일\*\*\* 한진석\*\*\*\*

Kim, Jong Min · Choi, Jun Seong · Kim, Bu Il · Han, Jin Seok

### 1. 서론

현재 우리나라에서 시행되고 있는 다짐관리기준은 노상의 지지력을 주로 CBR (California Bearing Ratio 이하 CBR) 값을 사용하여 결정하고 있으며 시공 후 품질관리에서는 평판재하시험을 사용하고 있다. 그러나 이러한 현행 방법들은 많은 위치에서 시험이 필요하나 소요시간이 길어 관측점이 제한적일 수밖에 없고 장소의 제약이 따른다는 단점이 있다. 또한, 역학적인 관점에서 볼 때 도로의 설계와 유지관리는 탄성계수와 같은 흙의 역학적 특성을 이용하여 수행하는 반면 시공시에는 현장에서의 들밀도시험, 평판재하시험으로 품질관리를 하고 있어 설계, 시공관리, 그리고 유지관리 간의 개념적 차이를 만든다. 이는 전체 건설공정의 일관성을 떨어뜨리고 있으며 기술자의 경험적 판단에 크게 의지하는 불합리한 면을 지니고 있다.

이에 본 연구에서는 시공 시 현장다짐관리에 있어 단위중량을 이용하는 기존의 방법 대신 DCPT (Dynamic Cone Penetrometer 이하 DCPT 표기)를 이용하여 탄성계수와 같은 역학적 특성을 이용하는 새로운 관리방법을 정립하기 위한 초기적 단계 과정으로 CBR 값과 DCPT 값 간의 상관관계인 기존 제안식들을 비교 분석하였다.

### 2. 다짐 품질 관리의 DCPT 적용

동적관입시험 (DCPT : Dynamic Cone Penetrometer Test)은 도로포장과 노상의 지지력을 측정하기 위해 1950년대에 처음 고안된 것으로, 일정 무게의 자유 낙하에 의한 힘이 Cone Tip을 타고 실험 지표면을 뚫고 들어가는 능력을 측정하여 지지력을 계측할 수 있게 한 장비이다. DCPT의 발달은 점성토의 특성을 보다 쉽고 빠르게 계측할 필요성에 의해 이루어졌다. 미국에 DCPT 방법 적용은 1980년대 후반에서야 알려졌지만, 최근엔 몇몇 주의 DOT에서 DCPT의 유용한 몇가지 이유들로 DCPT 방법을 활성화 시키고 있다.

DCPT는 많은 평가 방법들과 융통성을 발휘할 수 있어 DCPT의 PR(penetration rate 이하 PR로 표기. PR = mm/blow)값은 CBR, 동적탄성계수, E 값과 비교 산정할 수 있다. 또한, 다른 어떤 실험방법보다 간단한 측정 방법을 보여주어 최근에는 많은 실험 데이터 값의 축척과 다양한 경험 값들이 축척되어 있으며 ASTM D6951에서도 도로포장 적용에 DCPT의 사용을 새로운 표준 실험 방법으로 사용하고 있다.(ASTM, 2003) 국내에서도 류명찬 등이 앞서 말한 장점들을 바탕으로 DCPT의 도로적용을 위한 많은 노력을 하고 있다.

### 3. DCPT PR 값과 CBR 값의 상관관계 제안식 검토

Penetration Rate와 CBR 사이의 관계를 이미 많은 실험을 통하여 제시 되어 있으며, 그에 따른 계산식들 중

\* 정희원 · 세종대학교 토목환경공학과 교수 · 공학박사 · 02-3408-3293 (Email : jongmin@sejong.ac.kr)  
\*\* 정희원 · 인덕대학 건설환경설계과 교수 · 공학박사 · 02-950-7565 (Email : soilpave@induk.ac.kr)  
\*\*\* 정희원 · 건설기술연구원 선임연구원 · 공학박사 · 032-910-0174 (Email : bikim@kict.re.kr)  
\*\*\*\* 학생희원 · 세종대학교 토목환경공학과 석사과정 · 02-464-0716 (Email : for1000dayshan@nate.com)



가장 널리 알려진 식들은 다음과 같다.

- Kleyn (1975) :  $\text{Log CBR} = 2.62 - 1.27 \log PR$  (1)
- Smith and Pratt (1983) :  $\text{Log CBR} = 2.56 - 1.15 \log PR$  (2)
- Harison (1984, 1986) :  $\text{Log CBR} = 2.55 - 1.14 \log PR$  (3)
- Livneh (1987, 1991) :  $\text{Log CBR} = 2.20 - 0.71 (\log PR)^{1.5}$  (4)
- Army Corps of Engineers :  $\text{CBR} = 292 / PR^{1.12}$  (5)

이중 Army Corps of Engineers의 계산식은 후에 Waterways Experiment Station (WES)의 실험에 의해 CBR 값은 포화된 점토에서 실험을 하는 경우 위의 식에 부합하지 못하고 CBR 값이 10% 줄어들음을 알게 되었다. 또한 Webster et al. (1992)에 의해 토양이 CH인 경우 CBR 값이 10% 줄어들이 또 밝혀졌다. 이들의 제안식은 다음 식(6)과 같다. 위 식들을 CBR 값과 DCPT 투과율 그래프로 나타내면 다음 그림 1과 같다.

- $\text{CBR} = 1/(0.017019 * PR)^2$  If  $\text{CBR} < 10\%$  (6-1)
- $\text{CBR} = 1/(0.00281 * PR)$  (CH) (6-2)

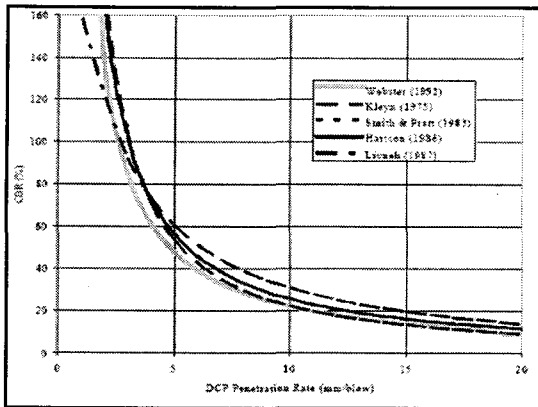


그림 1. CBR 값과 DCPT PR 과의 관계

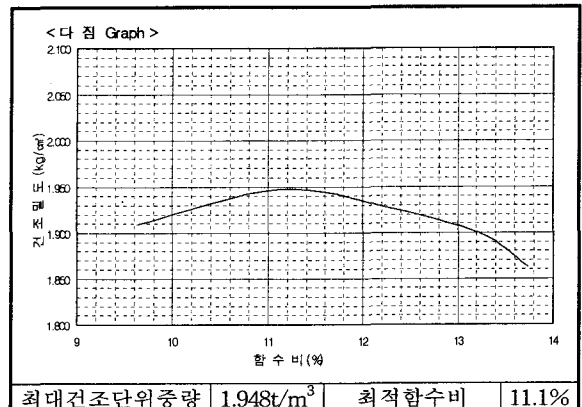


그림 2. 우정-장안 구간 다짐 그래프

#### 4. 기초물성시험을 통한 설계탄성계수 추정

토조내 DCPT 시험에 앞서 우정-장안구간 시료의 기초물성시험을 실시하였고 이를 토대로 설계탄성계수를 추정하였다.

##### 4.1 기초 물성 시험

(가) 체분석

우정-장안 구간 시료를 체분류를 통해 통일분류법으로 분류한 결과 표 1과 같이 SP로 분류되었다.

(나) 다짐시험

다짐 시험은 시료를 사용하지 않는 비반복법으로 5층 55회 D다짐 하였으며 그림 2와 같이 최대 건조단위중량( $\gamma_{dmax}$ ) = 1.948t/m<sup>3</sup>과 최적함수비(OMC) = 11.1% 를 얻었다.

(다) CBR 시험

기존 연구에서 제안된 CBR값과 DCPT PR 값의 상관관계식의 적용성을 검토하고자 실시하였으며 결과는 표 2와 같다.

- $\text{CBR} = \frac{\text{하중강도}}{\text{표준하중강도}} \times 100(\%)$  (7)
- 우정 - 장안 구간 노상토 CBR 값 = 16



표 1. 우정-장안 시료 체분류

우정 - 장안 구간 체 분류 (총 2812g)				
체 번호	통과량 (g)	잔존량 (g)	잔존율 (%)	잔존 누적(%)
No 4	2114	668	23.76	100.00
No 10	1602	542	13.27	76.24
No 20	1054	548	19.49	56.97
No 40	718	336	11.95	37.48
No 60	446	272	9.67	25.53
No 100	252	194	6.90	15.86
No 140	210	42	1.49	8.96
No 200	136	74	2.63	7.47
체 바닥		136	4.84	4.84
누 계		2812	100	
200번 체 통과량		4.84 %		
균등 계수 (Cu)		9.62		
곡률 계수 (Cc)		0.726		

표 2. 우정 - 장안 구간 CBR 시험

CBR 시험											
공시체 (단위 g)											
다짐횟수	몰드 번호	시료+몰드(g)	몰드 (g)	시료 (g)	공시체 체적(cm <sup>3</sup> )	γ <sub>t</sub> (g/cm <sup>3</sup> )	γ <sub>d</sub> (g/cm <sup>3</sup> )				
55회	1	10,328	5,435	4,893	2,208	2.126	1.949				
25회	2	10,072	5,570	4,502	2,208	2.039	1.863				
10회	3	9,083	4,870	4,213	2,208	1.908	1.726				
관입시험 피스톤 단면적 19.625cm <sup>2</sup>											
관입량 (mm)	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	5.0	7.5	10.0	수정 2.5	
하중 임음 (kg)	55회	118.3	184.3	264.8	341.0	421.0	495.0	546.7	695.1	845.6	421.0
	25회	35.1	74.1	122.1	174.5	220.9	270.0	308.7	399.1	479.1	220.9
	10회	24.6	44.6	74.6	119.2	145.2	175.0	196.2	258.3	318.1	145.2
CBR 표준하중 1370kg											
		55회		25회		10회		수정 CBR			
CBR%		30		16		11		16			

4.2 설계탄성계수 추정

노상의 탄성계수는 각 지점에서의 체적응력과 각 노상재료의 기초물성 값으로 결정되며, 실제 설계시 사용하는 탄성계수와 비교하기 위하여 본 연구에서는 구조해석을 통하여 하부구조재료의 민감도를 분석하였다.

(가) 하부구조 설계 입력변수 경험모형 분석

설계 탄성계수를 시공 현장에서 구현하기 위하여 다음과 같은 순서에 의해 설계 탄성계수를 산정하여야 한다. 먼저 설계 수준을 결정한 후, 탄성계수식에 대해 각 계수를 실험 또는 추정식에 의해 산정하여야 한다.

① 설계 수준 결정

- 설계 수준을 두 단계로 구분하며, 본 연구에서는 지수물성치로부터 결정된 설계입력변수를 결정하였다.

Level 1 : 설계입력변수 물성치를 역학시험으로부터 직접 결정

Level 2,3 : 지수물성치로부터 설계입력변수 결정

② 설계입력 변수 결정을 위한 구성 모델

$$E = k_1 + k_2\theta + k_3 \text{Log}(\sigma_d) + k_4(w_{opt} - w) + k_5(w_{opt} - w)^5 \quad (8)$$

여기서, E = 탄성계수 (MPa)

θ = 체적응력(=σ1+σ2+σ3) (kPa)

σ<sub>d</sub> = 축차응력 (kPa)

w<sub>opt</sub> = 최적함수비 (%)

w = 함수비 (%)

k1 ~ k5 = 모델계수

③ 설계입력 변수 결정 응력 단계<표 3>

④ Level 2,3에서 설계입력변수 결정 (경험적 상관 모형)

실험을 통하지 않고 시공현장의 기본물성만 가지고 탄성계수를 추정하기 위하여 경험적 상관모형을 이용하여 추정하여야 한다. 본 방법은 권기철 등에 의해 제안된 인공 신경망 이론을 이용하여 간단하게 추정되며, 탄성계수 적용범위 및 입력기본 물성치 범위가 제시되어 있다.



(가) 경험적 상관 모형 결과 (인공신경망 이론 : 권기철 2002)

$$E = \frac{1}{2}(E_{\max} - E_{\min}) \times (E_n + 1) + E_{\min} \tag{9}$$

여기서 E = 탄성계수 (Mpa)

$E_{\max}, E_{\min}$  = 상관모형 탄성계수 범위 <표 4>

$E_n$  = 정규화된 탄성계수 (식 10)

표 3. 설계 입력 변수 응력

노상도		
구속응력(kpa)	축차응력(kpa)	체적응력(kpa)
0	14	14
	28	28
	51	51
	55	55
	69	69
10	14	44
	28	58
	51	81
	55	85
21	69	99
	14	77
	28	91
	51	114
41	55	118
	69	132
	14	137
	28	151
	51	174
	55	178
	69	192

표 4. 상관모형의 탄성계수 범위 값

구분	$E_{\min}$	$E_{\max}$
노상도	39.0	276.0

표 5. 인공신경망 이론에 사용되는 weight와 biases

1st layer					
W1 weight		1.6802	-6.3186	6.663	-4.06410
		1.4511	-0.9576	4.1434	-0.2054
		-0.5022	-2.5796	2.5069	-6.948
		2.855	1.3243	-0.0565	11.6866
		0.3869	-0.3452	0.1749	0.1086
b1 bias					6.6233
					-1.4545
					-4.5847
					-6.1669
2nd layer		Input			
W2 weight		-0.2555	1. 최적함수비 (%)		
		-1.3316	2. 최대건조단위중량(t/m <sup>3</sup> )		
		-2.0114	3. 균등계수 (Cu)		
		-1.0652	4. #200 통과량 (%)		
b2 bias			5. 구속응력 (kpa)		
		0.6634	6. 축차응력 (kpa)		

$$E_n = [W_2]^T \times \log \text{sig}([W_1]^T \times [p_n] + [b_1]) + b_1 \tag{10}$$

여기서  $E_n$  = 정규화된 탄성계수

$$\log \text{sig}(X) = \frac{1}{1 + \exp(-X)}, \text{함수식}$$

$W_1, W_2, b_1, b_2$  = 인공신경망 이론에 사용된 weight 와 biases <표 5>

$p_n$  = 정규화된 입력물성치 (식 11)

$$p_n = \frac{2(p - p_{\min})}{(p_{\max} - p_{\min})} - 1 \tag{11}$$

여기서  $p_n$  = 정규화된 입력물성치

$p$  = 입력물성치

$p_{\max}, p_{\min}$  = 상관모형 입력물성치 범위 계수 <표 6>

(나) 우정-장안 구간 탄성계수 예측

하부구조 설계 입력변수 경험모형을 이용하여 본 토조실험을 실시하는 우정 - 장안 구간의 설계 탄성계수를 추정하였다. 설계 입력변수 경험모형에 사용되는 기초물성 입력값은 우정-장안 간 기초물성시험결과를 이용하여 표 7과 같이 산정하였다.



표 6. 입력 기본 물성치 범위

구분	항 목	Minimum	Maximum
노상토	최적함수비 (%)	6.2	19.0
	최대건조단위중량(t/m <sup>3</sup> )	1.65	2.34
	균등계수 (Cu)	0	40.74
	#200 통과량 (%)	1.28	29.5
	구속응력 (kpa)	0	41
	축차응력 (kpa)	14	69

표 7. 우정-장안 구간 탄성계수 예측

OMC (%)					10.4				
Ydmax (t/m <sup>3</sup> )					2.09				
Cu					10.9				
#200 pass (%)					6.15				
단계	구속응력 (kpa)	축차응력 (kpa)	체적응력 (kpa)	탄성계수 (Mpa)	단계	구속응력 (kpa)	축차응력 (kpa)	체적응력 (kpa)	탄성계수 (Mpa)
1	0	14	14	193.31	11	21	14	77	237.97
2	0	28	28	168.7	12	21	28	91	109.31
3	0	51	51	135.9	13	21	51	114	168.35
4	0	55	55	131.27	14	21	55	118	162
5	0	69	69	117.33	15	21	69	132	143.63
6	10	14	44	213.35	16	41	14	137	290
7	10	28	58	186.75	17	41	28	151	258.05
8	10	51	81	150.12	18	41	51	174	209.28
9	10	55	85	144.83	19	41	55	178	201.7
10	10	69	99	128.76	20	41	69	192	177.83

5. 실내 토조 시험을 통한 기존 제안식 평가

본 연구에서는 국내 현장에 맞는 탄성계수의 측정식 제안을 위한 토조시험을 계획하였고, 우정-장안 구간 시료의 기초물성시험과 DCPT 토조<그림 3> 시험을 수행하였으며, 시험 결과를 기존 연구에서 제안된 CBR 값과 DCPT PR 값의 상관관계식의 적용성을 검토하였다.

5.1 토조 시험

(가) 토조제작

Ayer, M. E.(1990)에 따르면, DCPT 토조 시험시 토조의 크기는 DCPT 시험 결과값에 영향을 주며, 지름 304.8mm 이상의 크기를 만족시켜야 한다 하였다. 이를 토대로 그림 3과 같이 내경 0.9m, 높이 0.65m, 두께 5mm의 원통형 토조를 제작 후 시험을 실시하였다.

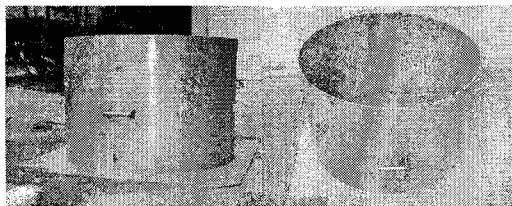


그림 3. 토조의 외형

(가) 시료 준비

충분한 양의 우정-장안 구간 노상토를 19mm 체로 친 후 다짐 시험을 통한 최대건조단위중량 값을 토조의 부피에 맞춰 식 (8)(9)로 계산되어진 필요한 만큼의 시료를 준비 하였다.

$$V = \frac{1}{4} \times \pi \times 0.9^2 \times 0.5 = 0.32m^3 \tag{12}$$

$$W = V \times Y_{dmax} = 0.32 \times 1.950 = 0.624t \tag{13}$$

위 시료량을 자동래머를 이용하여 토조내 5층 다짐을 하였다.



다져진 시료를 들밀도시험을 통하여 다짐도<표 8>을 계산한 후 토조내 DCPT시험을 하였다.

표 8. 들밀도 시험을 통한 다짐도 측정

	토조 시료 1	토조 시료 2	토조 시료 3
토조 내 시료 $Y_{dmax}(t/m^3)$	1.853	1.856	1.858
우경-장안 시료 $Y_{dmax}(t/m^3)$	1.948		
상대 다짐 (%)	95.1	95.3	95.4

표 9. 한계 DCPT PR (burnham. 1997)

Material Type	Limiting PR(mm/blow)
Silty/Clay subgrade	<25
Select Granular Subgrade	<7
Class 3 Special gradation granular base materials	<5

5.2 DCPT PR값 분석

우경-장안의 동일 시료를 다짐도만 달리한 후 표 10과 같이 세 번에 나누어 DCPT 시험을 실시하였으며 그림 4에서와 같이 DCPT 시험 결과값을 얻었다. 그림 4에서 보면 몇 개의 점을 빼고는 각 타격 횟수별 관입량이 25mm를 넘지 않고 각 토조의 PR값 역시 20mm/blow 이하로 세 토조의 평균 PR 값이 18.7mm/blow 인 것을 볼 수 있다. 이는 체분류를 통한 노상토의 통일 분류인 SP가 표 9의 "silty/clay subgrade" 에 상응함을 보여준다. 또한 들밀도 시험으로 확인된 바와 같이 DCPT 토조 시험을 통해서도 요구 다짐강도를 획득했음을 알 수 있다.

표 10. 타격 횟수 별 DCPT 관입량

토조 1차 실험			토조 2차 실험			토조 3차 실험		
타격횟수	측정값	관입량	타격횟수	측정값	관입량	타격횟수	측정값	관입량
0	1092	0	0	1092	0	0	1092	0
1	1070	22	1	1074	18	1	1063	29
2	1051	19	2	1043	31	2	1041	22
3	1026	25	3	1021	22	3	1021	20
4	1003	23	4	997	24	4	1007	14
5	987	16	5	978	19	5	987	20
6	966	21	6	958	20	6	973	14
7	951	15	7	934	24	7	948	25
8	931	20	8	912	22	8	927	21
9	910	21	9	888	24	9	907	20
10	890	20	10	873	15	10	886	21
11	872	18	11	857	16	11	867	19
12	855	17	12	839	18	12	849	18
13	838	17	13	821	18	13	831	18
14	820	18	14	803	18	14	813	18
15	803	17	15	787	14	15	796	17
PR (mm/blow) = 19.3			PR (mm/blow) = 19			PR (mm/blow) = 17.8		

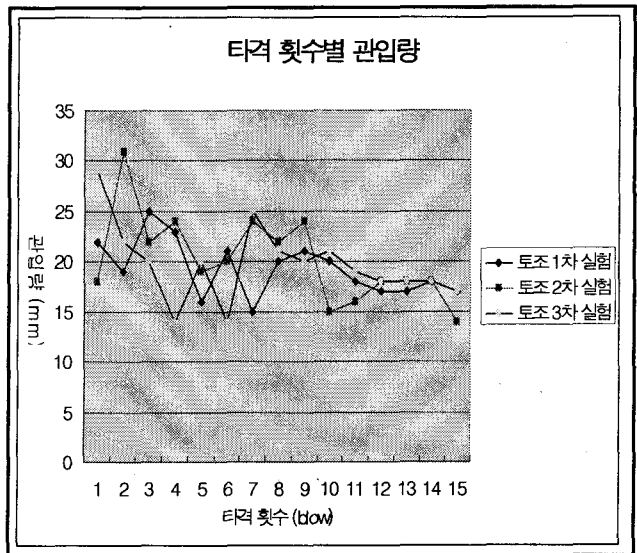


그림 3. 타격 횟수별 DCPT 관입량

5.3 실험 결과를 통한 각 제안식 적용성 검토

DCPT 토조 시험 결과를 자료로 기존 제안식의 적용성을 확인였다. 각 제안식에 CBR 값 16과 평균 PR값 18.7(mm/blow) 를 대입하면 다음과 같다.

• Kleyn (1975)  
 $\text{Log CBR} = 2.62 - 1.27 \log \text{PR} \Rightarrow 2.62 - 1.27 \times 1.27 = 1.01$  (1-A)

• Smith and Pratt (1983)  
 $\text{Log CBR} = 2.56 - 1.15 \log \text{PR} \Rightarrow 2.56 - 1.15 \times 1.27 = 1.09$  (2-A)



- Harison (1984, 1986)  
 $\text{Log CBR} = 2.55 - 1.14 \log PR \Rightarrow 2.55 - 1.14 \times 1.27 = 1.10$  (3-A)
- Livneh (1987, 1991)  
 $\text{Log CBR} = 2.20 - 0.71 (\log PR)^{1.5} \Rightarrow 2.20 - 0.71 \times 1.27^{1.5} = 1.18$  (4-A)
- Army Corps of Engineers  
 $\text{CBR} = 292 / PR^{1.12} \Rightarrow 292 / 18.7^{1.12} = 11$  (5-A)

기존 제안식 적용성을 살표본 결과 DCPT 토조 시험으로 얻은 평균 PR값과 CBR값 16 간에 가장 부합하는 식은 Livneh 식임을 알수 있었다.

다음으로 DCPT PR 값으로 Mr 값 계산 제안식에 대입하여 얻어진 탄성계수 Mr 값을 4.2장에서 얻은 탄성계수 예측값과 가장 많이 부합되는 제안식을 찾아보았다. 평균 PR값 18.7(mm/blow) 를 대입하여 얻은 Mr 값은 다음과 같다.

- Hasan (1996)  
 $Mr(psi) = 7013.065 - 2040.783 \ln(PR) = 7013.065 - 2040.783 \ln(18.7 \div 25.4) \Rightarrow 7637.99 \text{ (psi)}$   
 $\Rightarrow 52.66 \text{ (MPa)}$  (6-A)
- Chen (1999)  
 $Mr(MPa) = 338 (PR)^{-0.39} = 338 (18.7)^{-0.39} \Rightarrow 107.87 \text{ (MPa)}$  (7-A)
- George (2000)  
 $Mr(MPa) = 532.1 (PR)^{-0.492} = 532.1 (18.7)^{-0.492} \Rightarrow 125.96 \text{ (MPa)}$  (8-A)
- Pandy (2003)  
 $Mr(MPa) = 357.87 (PR)^{-0.6445} = 357.87 (18.7)^{-0.6445} \Rightarrow 54.20 \text{ (MPa)}$  (9-A)
- Pradesh(2004)  
 $Mr(MPa) = 415.4 (PR)^{-0.25} = 415.4 (18.7)^{-0.25} \Rightarrow 199.76 \text{ (MPa)}$  (10-A)

위의 제안식에 대입한 결과값과 표 6의 탄성계수 예측값을 비교 분석해 보면, (3)번 George의 식과 (6)번 Pradesh의 식 이외에는 탄성계수 예측값 범위내에서 벗어남을 알 수 있다. 하지만, 두 제안식을 통해 얻은 탄성계수 값이 73.8 MPa 라는 큰 차이를 보이므로 보다 안전하고 효율적인 다짐 설계법을 정립하기 위해서는 보다 많은 실내/현장 시험을 통하여 많은 데이터를 축적, 분석하여 국내 현장에 맞는 다짐 관리 기준을 마련하여 하겠다.

## 6. 결론

본 연구는 현재 도로의 설계와 유지관리는 탄성계수와 같은 흙의 역학적 특성을 이용하여 수행하는 반면 시공시에는 현장에서의 들밀도 시험, 평판재하시험으로 품질관리를 하고 있어 설계, 시공관리, 그리고 유지관리 간의 개념적 차이를 만들어 전체 건설 공정의 일관성을 떨어뜨리고, 기술자의 경험적 판단에 크게 의지하는 불합리한 면을 개선하고자, 시공시 현장다짐관리에 있어 단위중량을 이용하는 기존의 방법 대신 DCPT를 이용하여 탄성계수와 같은 역학적 특성을 이용하는 새로운 관리방법을 정립하는 초기 단계로 CBR 값과 DCPT 값 간의 상관관계인 기존 제안식을 비교 분석하였다.

본 연구에서 얻은 결과는 다음과 같다.

- ① DCPT는 시험이 간단하고 휴대성이 용이하며 여타 평가 방법들과의 유통성을 발휘 할 수 있어, DCPT PR 값으로 CBR, 동적탄성계수, E 값 등을 비교 산정할 수 있다. 이에 많은 나라에서 DCPT를 다짐평가 시험장비로 많이들 채택하고 있으며, 이에 많은 시험 데이터 값의 축적과 다양한 경험값들이 축적되고 있다.
- ② DCPT PR 값과 CBR 값 간의 상관관계 제안식을 조사하였으며, 이를 시험하여 각 제안식에 대한 결과값들을 비교 분석 하였다.
- ③ 국내현장에 맞는 다짐관리기준을 마련하기 위한 초기 단계로, DCPT 시험을 통해 얻은 탄성계수를 확인하기 위한, 기초물성시험을 통한 설계탄성계수 추정 방법을 마련하였다.



- ④ 국내 하부지반 조건에 대한 DCPT 지수와 동탄성 계수의 상관관계를 제안하기 위한 현장시험에 앞서 재현 가능한, 보다 통제된 조건에서의 시험을 위해 토조 시험을 수행하고자 토조 설계 기본 계획을 수립하였다.
- ⑤ 국내 노상조건과 동일하게 만들기 위하여 설계법에 제시된 다짐강도에 맞게 토조 시료에 자동램머를 이용하여 다짐을 실시하였고, 요구하는 다짐강도를 획득한 후에 DCPT 시험을 통해 PR값을 얻었다.
- ⑥ DCPT 측정치와 탄성계수 상관관계를 정립하기 위해 DCPT 시험 값으로부터 나온 측정값을 CBR값 및 Mr 값에 대한 DCPT 상관식에 대입하여 비교, 분석하였다

본 연구를 통하여 DCPT 시험으로 보다 간단하고, 효율적이며 경제적으로 다짐 현장 탄성계수를 획득할 수 있음을 알 수 있었으며, 이를 통해 설계, 시공관리, 유지관리에 있어서 역학적인 특성을 이용한 일관성있는 건설 공정을 마련할 수 있게 되었다. 이에 본 연구에서는 보다 안전하고 효율적인 다짐 설계를 정립하기 위하여 다짐 기준을 마련하고자 하였으며, 이를 위한 방법으로 DCPT PR 값으로 탄성계수를 추정하는 제안식들을 비교 분석하고 노상의 설계입력 변수 경험모형 분석을 통해 얻은 설계탄성계수 값과 비교해 보았다.

결과적으로 DCPT PR 값과 CBR값간의 상관관계식에서는 Livneh 식이 가장 많이 부합됨을 알 수 있었으며, 탄성계수 추정 제안식들 중에 George(2000)의 식과 Pradesh(2004)의 식이 국내 다짐 설계 조건에 가장 근접함을 알 수 있었으나 두 식으로 추정된 탄성계수간에 상당한 차이를 보임에 따라, 보다 많은 실내/현장 시험을 통한 데이터 축적과 비교, 검토로 국내 현장 여건에 맞는 탄성계수 추정식을 마련하여 더욱 안전하고 효율적인 다짐 기준을 정립하여야 하겠다.

### 감사의 글

본 연구는 건설교통부의 국책연구과제인 “ 한국형 포장설계법 개발과 포장성능개선방안 연구”의 일부결과로 이에 감사를 드립니다.

### 참고문헌

1. American Society of Testing Materials (2003). Standard Test Method for Use of the Dynamic Cone Penetrometer in Shallow Pavement Applications. ASTM D6951-03, ASTM International, West Conshohocken, PA
2. Ayerx, M.E. (1990), Rapid Shear Strength of In Situ Granular Material Utilizing the Dynamic Cone Penetrometer. University of Illinois at Urbana-Champaign, Ph. D. thesis.
3. Burnham, T. R. (1997). Application of Dynamic Cone Penetrometer to Minnesota Department of Transportation Pavement Assessment Procedures. Report No. MN/RC-97/19, Minnesota Department of Transportation, St. Paul, MN
4. Harison, J. R. (1987). "Correlation Between California Bearing Ratio and Dynamic Cone Penetrometer Strength Measurement of Soils." Proc. Instrn. of Civ. Engrs., London, Part2, pp. 83-87
5. Livneh, M. and Ishai, I. (1988). "The Relationship Between In Situ CBR Test and the Various Penetration Tests." Proc. First Int. Conf. on Penetration Testing, Orlando, FL, pp. 445-452
6. Siekmeier, J. A., Young, D., and Beberg, D. (1999). "Comparison of the Dynamic Cone Penetrometer with Other Tests During Subgrade and Granular Base Characterization in Minnesota." Nondestructive Testing of Pavements and Backcalculation of Moduli: Third Volume. ASTM 1375, S. D. Tayabji and E. O. Lukanen, Eds., ASTM, West Conshohocken, PA
7. Burnham, 1997, Limiting DCP Penetration Rates by MNDOT
8. Siekmeier et al.(1999), Report, Minnesota Department of Transportation
9. 안지환, 향성린, 박희문, 권수안 현장에서의 동적관입시험을 이용한 노상토의 지지력 평가 연구, 2004. 9
10. 건설 교통부, 한국형 포장설계법 개발과 포장성능 개선방안 연구, 2004. 10
11. 최준성 외 4명, 역학적 시험에 의한 다짐 방법의 적합성 평가를 위한 기초연구, 한국 도로포장공학회 논문집, 2003. 10
12. 박현일, 권기철, 오세봉, 인공 신경망 모델에 근거한 노상토 및 보조기층 재료의 탄성계수 추정, 대한토목학회 논문집 2005. 3