

철도 노반의 지지력 평가를 위한 현장 시험법 적용성 연구

Application of in-situ testing Methods for Bearing Capacity Estimation of Railroad Roadbed

박창우¹⁾, Chang-Woo Park, 최찬용²⁾, Chan-Yong Choi, 이일화³⁾, Il-Wha Lee, 김대상⁴⁾, Dae-Sang Kim

- 1) 한국철도기술연구원 연구원, A researcher of Korea Railroad Research Institute
- 2) 한국철도기술연구원 선임연구원, A senior researcher of Korea Railroad Research Institute
- 3) 한국철도기술연구원 선임연구원, A senior researcher of Korea Railroad Research Institute
- 4) 한국철도기술연구원 선임연구원, A senior researcher of Korea Railroad Research Institute

SYNOPSIS : The field plate load test a good potential for determining modulus since it measures both plate pressure and settlement. However, because The field plate load test is expensive and takes plenty of time for operation, it is very difficult to figure out the test characteristics of railroad roadbed in detail. For faster and economical operation, the Dynamic Cone Penetrometer(DCP) and the Light Falling Weight Deflectometer(LFWD) have been utilized for estimating the bearing capacity of railroad roadbed.

The objective of this study is to determine the relationship between the test(PLT, DCP, LFWD) of the railroad roadbed in Korea. The DCP test and LFWD test for evaluating the strength of railroad roadbed materials produced in Korea are presented in this paper.

Key words : DCP, LFWD, PBT, Railroad roadbed

1. 서 론

철도노반은 열차하중에 대하여 충분한 지지력을 가지고 있어야 하며, 압축침하가 발생되지 않도록 충분히 다져야 한다. 일반적으로 성토하부의 침하와 강성은 노반의 다짐 정도에 좌우된다고 알려져 있다. 국내 철도현장에서 널리 사용하고 있는 다짐관리기준은 모래치환법과 같은 밀도관리기준과 지지력에 의한 관리기준을 병행하여 노반의 품질관리를 실시하고 있다. 현재 국내 철도현장에서 다짐관리하기 위한 기준은 철도설계기준(노반편)과 고속철도공사 전문시방서(노반편)에서 2원화하여 관리하고 있다. 일반철도의 경우에는 평판재하시험을 수행하여 일정 변위를 유발한 하중강도에서의 지지력계수인 k_{30} 을 사용하고 있으며, 고속철도의 경우 반복평판재하시험을 통하여 구한 2번째 재하단계에서의 변형율계수 E_{v2} 및 첫 번째 하중재하시의 변형계수 E_{v1} 에 대한 비(比)인 E_{v2}/E_{v1} 을 사용하고 있다. 일반철도와 고속철도 모두 현장다짐강성 평가를 평판재하시험방법을 적용하고 있으나 최대하중, 단계별 하중증가량, 단계별 하중재하시간, 하중재하 단계수 및 반복재하 횟수 등에 차이가 있다. 또한, 평판재하시험을 통한 시험방법은 다른 시험방법에 비하여 하중과 변위를 측정함으로써 역학적인 특성치 결정의 가능성이 높은 시험방법으로 인식되어져 왔으나, 시험횟수 및 시험 소요시간, 반력하중, 개인적인 오차 등으로 인하여 개선된 시험항목을 요구하고 있는 실정이다.

따라서, 본 논문에서는 철도건설현장에서 가장 널리 사용하고 있는 평판재하시험과 도로에서 일부 적용하고 있는 DCP(Dynamic Cone Penetrometer)와 1990년 이후 고속철도 시공시 국내에 도입된 미국의 LFWD(Light Falling Weight Deflectometer)와의 상관성을 검토하여 보다 신속하고 경제적인 노반 지지력을 평가할 수 있는 시험방법을 제시하고자 하였다.

2. 하부구조의 지지력 평가 방법

국내 철도, 도로, 공항 등 건설현장에서 하부구조의 지지력을 평가하기 위하여 다양한 시험법들이 제시되고 있다. 하부구조의 지지력 평가 방법으로 가장 많이 사용하고 있는 PBT(Plate Bearing Test)와 남아프리카공화국의 DCP(Dynamic Cone Penetrometer)가 있으며, 1990년 이후 고속철도 시공시 국내에 도입된 미국의 LFWD(Light Falling Weight Deflectometer)와 PBT의 변형인 독일의 E_{v2} 평가법이 있다. 본 논문에서는 일반적으로 널리쓰이는 k_{30} 시험과 이를 변형한 반복평판재하시험, 동적 콘 관입시험, LFWD시험을 실시하여 각 시험방법에 따른 현장변형계수를 산정하여 상관성을 검토하였다.

2.1 평판재하시험(PBT)

평판재하시험은 하부구조의 지지력을 평가하는 가장 널리 사용되어지는 방법이다. 이 시험법은 미국에서 개발되었으며 국내에는 1970년대 들어와 현장조건별로 KS F 2310, 2338, 2339, 2444 등 몇 개의 KS 기준이 있다. 평판재하시험은 직경 30cm, 40cm, 75cm의 강철편판을 노반표면에 놓고 하중을 가하여 하중강도(q)와 침하량(s)을 구하는 시험방법이다. 평판재하 시험으로부터 구한 하중강도와 침하량의 관계로부터 지지력계수(k , modulus of subgrade reaction)을 식(1)과 같이 결정할 수 있다.

$$k = \frac{q}{s} \quad (1)$$

설계시 사용하는 탄성계수는 k_{30} 값으로부터 Vesic(1961)이 제안한 식(2)의 근사식인 식 (3)을 이용하여 구할 수 있다.

$$k = 0.65 \sqrt[12]{\frac{E_s B^4}{E_f I_f}} \frac{E_s}{B(1-\nu^2)} \quad (2)$$

$$k = \frac{E_s}{B(1-\nu^2)} \quad (3)$$

E_s = 지반의 탄성계수, B = 기초의 폭(재하판의 직경), E_f = 기초의 탄성계수
 I_f = 기초의 단면 2차모멘트, μ = 지반의 포아송비

본 논문에서의 평판재하시험(k_{30})으로부터 변형계수(E_s)을 식 (3)의 방법으로 포아송비를 0.5으로 가정하여 식(4)와 같이 나타내었다.

$$E_s = 22.5k_{30} \quad (4)$$

변형레벨을 고려할 때 평판재하시험에 의한 변형계수의 변형레벨은 10^{-3} 인 경우로 열차하중에 대한 노반부의 변형레벨은 대개 10^{-4} 정도이므로 실제의 열차하중에 상당하는 10^{-4} 의 변형레벨을 고려하는 것이 경제적인 설계방법으로 판단된다. 일본철도총합기술연구소(1994)의 연구 의하면 점성토의 경우는 구속압의 영향이 현저하지는 않아 $E_3/E_4=0.6\sim 0.75$ 정도로 되며, 사질토의 경우는 저구속압으로 됨에 따라 $E_3/E_4=0.6\sim 0.75$ 의 저하는 크지만 1.5kgf/cm^2 이상에서는 점성토와 큰 차가 없기에 점성토와 사질토 모두 $E_3/E_4=0.5$ 로 고려한다. 따라서, 변형계수를 할증하여 식 (5)와 같이 구할 수 있다.

$$E_s = 45.0k_{30} \quad (5)$$

2.2 반복평판재하시험

반복평판재하시험은 경부고속철도 건설시 1990년대부터 시행되어져 왔으며 독일 DIN 18 134에 의거 지지력을 측정하는 방법이다. 평판재하시험과 달리 반복평판재하시험은 기존의 평판재하시험의 최대 하중, 단계별 하중증가량, 하중 재하단계수, 단계별 하중재하시험 및 반복재하 횟수를 변화시켜 기존의 평판재하시험방법보다 현장에서 빠르게 다짐강성을 평가할 수 있는 시험방법이다. 반복평판재하시험은 평판재하시험방법과 달리 초기 재하단계에서 소성변형을 최소화하여 시험을 실시하기 때문에 평판재하시험방법 보다는 진보된 시험방법이라 할 수 있다.

반복평판재하시험방법은 독일(DIN 18 134)기준을 근거로 변형계수를 구하는 방법으로 하중 단계는 최소 6단계 이상이어야 하며, 각 단계별 1~2분 동안 하중을 일정하게 유지하고 다음단계로 하중을 증가하는 방법으로 시험이 진행된다. 시험으로부터 얻은 평균수직응력-변위 관계를 식(6)과 같이 2차원 함수로 표현하고 값을 구한다.

$$S = a_0 + a_1 d \cdot \sigma_0 + a_2 \cdot \sigma_0^2 \quad (6)$$

σ_0 이 재하판 아래의 평균 수직응력(MN/m²)이라면 a_0, a_1, a_2 는 인자이다. 인자를 결정할 때 S값이 "0"이면 이를 무시한다. 변형 계수는 다음 공식을 이용하여 $0.3 \cdot \sigma_{1\max}$ 와 $0.7 \cdot \sigma_{1\max}$ 에 대한 활선기울기(gradient of secant)로 계산한다.(식 7 참조)

$$E_v = 1.5 \times r \times \left[\frac{1}{a_1 + a_2 \cdot \sigma_{1\max}} \right] \quad (7)$$

r = 재하판의 반경(mm), $\sigma_{1\max}$ = 1차 재하 단계시의 최대평균수직응력(MN/m²)

식(5)는 식(3)으로부터 포아송비를 0.5로 가정하고 구하면 식(5)는 Vesic(1961)이 제안한 식(2)의 변형된 형태이다.

일반적으로 고속철도 및 일반철도의 열차하중에 따른 상부노반에 작용하는 수직응력은 2kgf/cm²이하의 범위에 있으므로 독일 DIN 규정에서의 최대수직응력이 5.1kgf/cm²은 철도용 재하시의 최대수직응력으로 충분한 수준이라고 볼 수 있다.

2.3 동적 콘 관입 시험법(DCP)

하부구조의 지지력을 평가하는 방법으로 사용하고 있는 동적콘관입시험(Dynamic Cone Penetrometer)은 신속하고 경제적으로 지지력을 측정하는 방법으로 현장적용성면에서 매우 유리한 면이 있으나, 사용범위(노반재료의 최대입경)가 제한적이기 때문에 모든 지반에 적용하기에는 어렵다. 본 연구에서는 최대입경이 25mm이하의 노반재료이기 때문에 가능한 범위내로 판단되어 실험을 실시하였다. 본 논문에서 사용된 장비는 Kessler社의 장비로 현장 시험시 침입깊이는 300mm이상을 기준으로 하였으며 낙하추는 8.0kgf를 사용하였다. 그림 1은 동적 콘 관입시험기와 시험 전경을 보이고 있다.

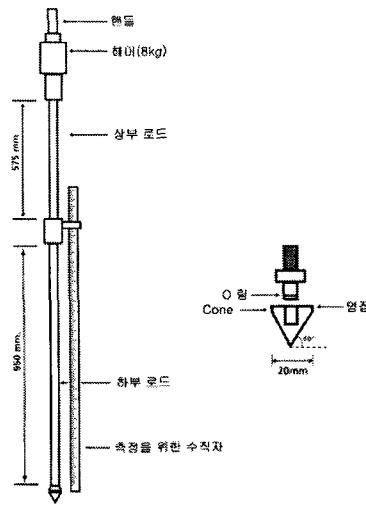


그림 1. 동적 콘 관입시험 및 장비의 구성품

2.3.1 DCP와 CBR의 상관관계

DCP와 CBR의 상관관계는 많은 연구자에 의해 경험적인 관계식이 개발되어져 왔다. Kleyn(1975)은 DCP지수와 CBR값의 상관관계를 위하여 실내에서 DCP와 CBR 시험을 실시하여 상관관계가 있다는 것을 알게 되었다. 표 1은 기존에 연구된 DCP와 CBR값의 상관관계를 나타내었다. 본 논문에서는 미공병단에서 추천한 방법을 사용하여 식 (8)과 같이 DCP와 CBR값을 추정하였다(Peshkin, 1994).

$$\log(CBR) = 2.46 - 1.12\log(DCP) \quad (8)$$

표 1. 기존에 연구된 DCP지수와 CBR값의 상관관계(안치환 외, 2004)

연구자	상관식	데이터 수	실험 장소	년도
Livneh	$\log(CBR)=2.56-1.16\log(DCP)$	76	실험실	1991
Livneh, Ishai and Livneh	$\log(CBR)=2.45-1.12\log(DCP)$	135	현장, 실험실	1993
Harison	$\log(CBR)=2.55-1.14\log(DCP)$	72	실험실	1987
Smith and Pratt	$\log(CBR)=2.56-1.16\log(DCP)$	-	현장	1983
Kleyn	$\log(CBR)=2.62-1.27\log(DCP)$	2000	실험실	1975
NCDOT	$\log(CBR)=2.60-1.07\log(DCP)$	-	현장, 실험실	1989
Norwegian Road Research	$\log(CBR)=2.44-1.07\log(DCP)$	79	현장, 실험실	1995

2.4 LFWD(Light Falling Weight Deflectometer)

LFWD(Light Falling Weight Deflectometer)는 자유낙하 시킨 추로 인해 발생하는 에너지를 하중과 처짐으로 나누어 측정하는 장비로써 차량 이동식 FWD와 손으로 이동할 수 있는 LFWD가 있다. LFWD는 장소의 제약을 받지 않는다는 장점을 가지고 있다. 차량이 접근하기 곤란한 어떠한 측점까지도 사용이 가능하다. 또한, 노상, 기초 층의 충분한 지지력을 확보하기 위해 실시되는 Stiffness 시험인 전형적인 시험법들에 비해 시간적 한계를 극복할 수 있다는 데 그 장점이 있다(박태순 외, 2001).

본 논문에서 사용된 장비는 Dynatest社의 Keros Prima100 Portable FWD를 사용하였다. 이 장비는 낙하 추(Falling Mass, 20kg)를 이용하여 고정 손잡이를 눌러 자유낙하된 낙하 추(Falling Mass)를 고무 완충기(Rubber buffer)에 등분포에 가까운 하중을 가하여, 하중판을 통해 표면에 가해진 충격력에 의해 하중판 중앙에 위치한 Geophone에 움직임을 측정함으로써 PDA로 전송된 Data는 바로 처짐량(μm)과 회복탄성계수(MPa)로 화면상에 확인하는 방식이다. 표 2와 표 3은 층 종류에 따른 하중판의 크기와 탄성계수의 기대치 범위를 나타내었다. 본 논문에서는 철도노반에 주로 사용하기 때문에 하중판의 직경을 Φ 30cm를 사용하였으며 지점별 각각 3회씩 측정하였다(그림 2 참조).

표 2. 층 종류에 따른 하중판

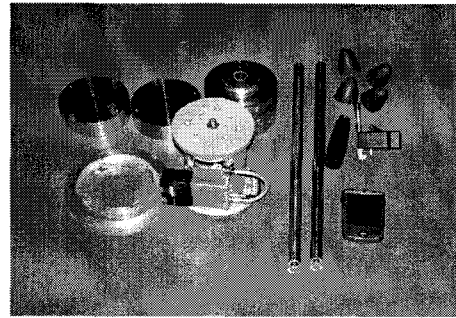
하중판 직경	층 종류
300mm	노반, 매립층, 보조기층, 자갈 기초층
200mm	자갈 기초층, 연약도록 구조물
100mm	강성 도로구조물

표 3. 층 종류에 따른 탄성계수의 기대치

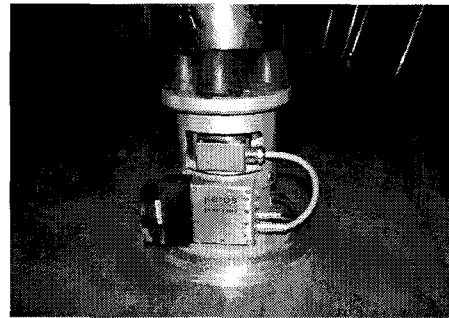
층 종류	범위
노상	5~60MPa
노반	25~75MPa
사력층	40~125MPa
쇄석을 깬 포장도로	60~150MPa
아스팔트	100~300MPa



(a) LFWD 현장시험전경



(b) LFWD 장비 구성품



(c) 고무 완충기(Rubber buffer)

그림 2. 현장 LFWD 현장시험전경 및 구성품

3. 현장시험개요

현장시험구간은 장항선 온양온천 00구간(그림 3 참조)에서 실시하였으며 총 5개소에서 시험이 실시되었다. 현장시험구간은 총 연장이 700m 구간으로 상부노반, 하부노반구간, 절토구간 등 여러 가지 지반조건을 대표할 수 있는 구간이다. 현장시험은 평판재하시험, 반복평판재하시험, DCP, LFWD시험을 실시하여 각각의 측정별 지지력 계수를 평가하였다. 표 4는 측정별 시험항목과 현장조건 등을 정리하였다.

표 4. 각 측정점별 시험항목 및 현장조건

측점	현장시험	현장조건
STA-1	평판재하시험, 반복평판재하시험, DCP, LFWD	절토부(토포 3m 제거)
STA-2	평판재하시험, 반복평판재하시험, DCP, LFWD	상부노반 완공(중앙지점)
STA-3	평판재하시험, 반복평판재하시험, DCP, LFWD	상부노반 완공(측선지점)
STA-4	평판재하시험, 반복평판재하시험, DCP, LFWD	하부노반 완공(측선지점)
STA-5	평판재하시험, 반복평판재하시험, DCP, LFWD	하부노반 완공(측선지점)

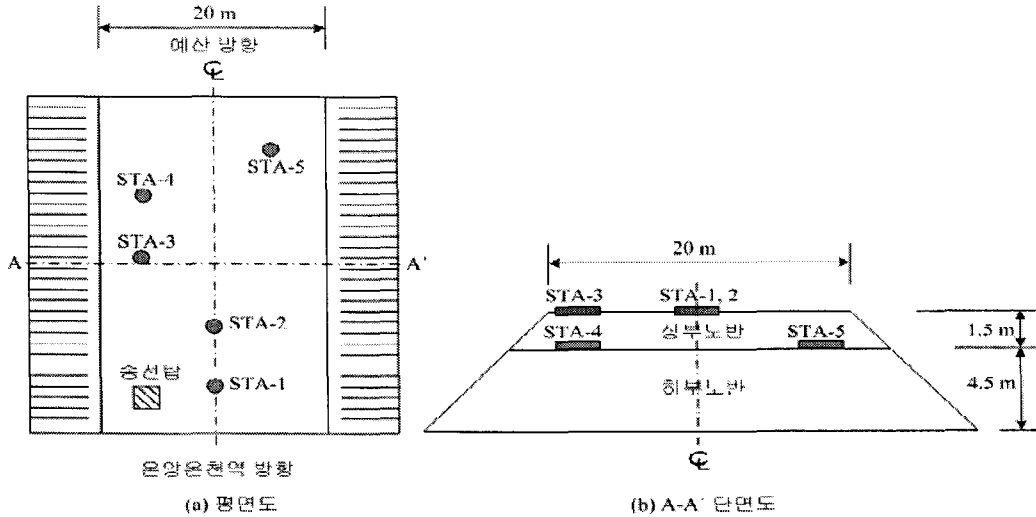


그림 3. 현장 개요도

3.1 현장토의 기본물성값

현장에서 사용된 흙쌓기 재료는 현장구간내에서 발생된 토사로서 흙쌓기 재료의 기본물성값은 표 5와 같다. 표 5에서와 같이 최대입경이 10mm, 최대건조밀도(γ_{dmax}) 1.987gf/cm³, 최적함수비 9.5%로서 철도설계기준에서 제시한 최대입경 25mm이내의 재료이며, 소성한계 9이하의 재료로 흙쌓기 재료로 적합한 재료인것을 알 수 있다.

표 5. 현장토의 기본물성값

구 분	측정치	구 분	측정치
함수비	9.9%	건조밀도(γ_{dmax})	1.987gf/c m ³
비중(G_s)	2.595	최적함수비(OMC)	9.5%
최대입경	10mm	습윤밀도(γ_{sat})	2.176gf/c m ³
0.084mm 체 통과율	15.4%	소성한계	N·P

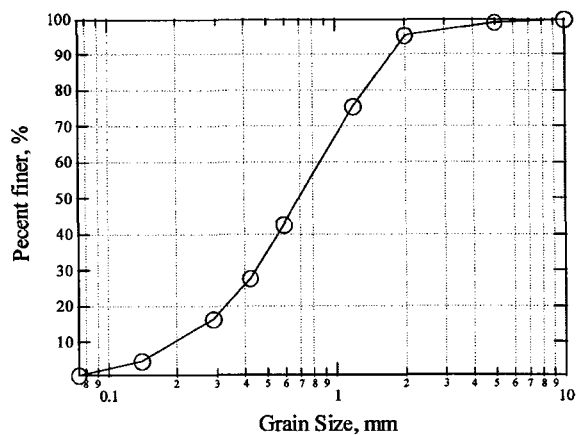


그림 4. 흙쌓기 재료의 입도분포곡선

4. 현장시험 결과

4.1 각 시험방법에 따른 하부구조 지지력 결과

하부구조의 지반 지지력을 평가하기 위하여 평판재하시험, 반복평판재하시험, DCP, LFWD 시험을 실시하였다. 평판재하시험에서 구한 지반반력계수(k_{30})은 1.25mm 변위가 발생하였을 때의 하중강도로서 식(1)의 방법으로 구하였으며, E_{v1} 과 E_{v2} 는 반복평판재하시험으로 첫 번째와 두 번째 재하했을 때 각각의 기울기로서 식(6), 식(7)로 구하였다.

DCP와 CBR의 경험적인 상관관계는 많은 연구자에 의해 연구되어져 있으며 본 논문에서는 식(8)의 상관관계식을 이용하여 CBR값을 추정하였다. 또한, 추정된 CBR값을 PCA1984(Portland Cement Association, 1984)에서 제시한 값을 이용하여 k_{30} 값을 추정하여 비교분석하였다. 각 각의 시험방법에 따라서 최종적으로 LFWD에서 제시한 변형계수(E_s)값과 비교하였다. 또한, 각 시험방법에서 도출된 k_{30} 값을 식(5)의 방법을 이용하여 변형계수를 산정하였다. 표 6은 각 시험방법으로 구한 각 종 측정값을 나타내었다.

표 6. 각 시험별 측정값

구분	평판재하시험 k_{30} (kgf/cm ²)	반복평판재하시험			DCP		LFWD (kgf/cm ²)
		E_{v1} (kgf/cm ²)	E_{v2} (kgf/cm ²)	k_{30} (kgf/cm ²)	k_{30} (kgf/cm ²)	CBR(%)	
STA-1	4.00	229.5	382.5	4.64	7.53	21.95	1,672.34
STA-2	9.92	229.5	459.0	9.04	6.06	13.45	1,488.79
STA-3	6.00	183.6	510.0	8.4	5.12	8.51	941.50
STA-4	2.40	114.7	353.0	3.12	5.31	9.18	876.96
STA-5	3.35	139.0	327.8	4.64	5.81	11.82	1,498.98

그림 5~6은 평판재하시험(PBT)과 반복평판재하시험(CPBT)결과를 나타내었다. 각 위치별 평판재하시험결과와 STA-4 지점에서 가장 작은 k_{30} 값이 측정되었으며, 반복평판재하시험결과도 STA-4 지점에서 가장 작은 E_{v1} , E_{v2} 값이 나타났다. 반복평판재하시험(CPBT)으로 추정된 k_{30} 값과 평판재하시험(PBT)으로 구한 k_{30} 값은 STA-4의 지점을 제외하고는 거의 유사한 결과를 보이고 있는 것을 볼 수 있다. 반복평판재하시험으로 구한 E_{v1} , E_{v2} 의 변형계수값의 차이가 약 40~64%정도의 차이가 발생되어 초기 소성변형에 따른 변화가 매우 큰 것으로 판단된다.

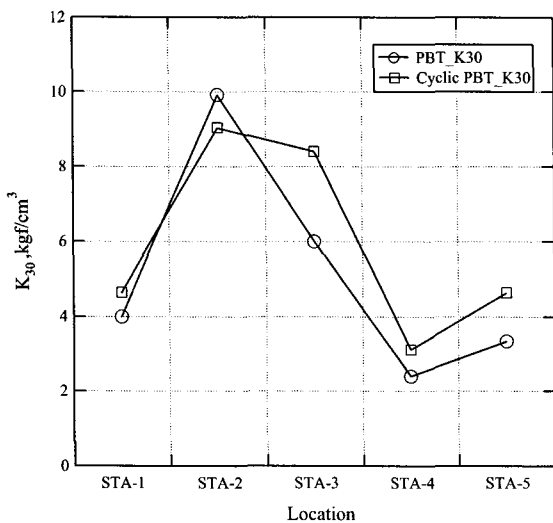


그림 5. 각 위치별 평판재하시험결과

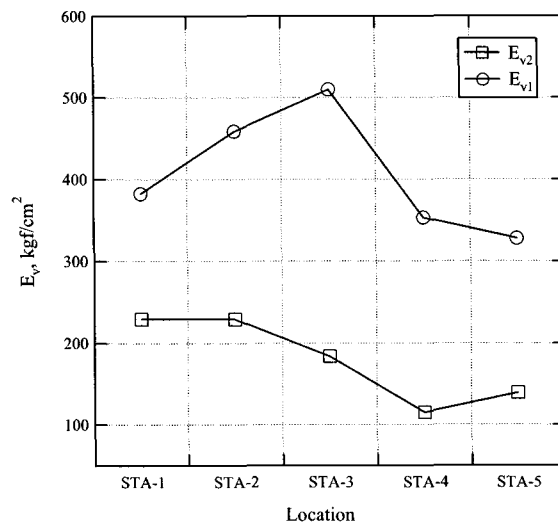


그림 6. 각 위치별 반복평판재하시험결과

그림 7은 DCP시험을 통해 추정된 k_{30} 과 CBR값을 나타내었다. DCP시험을 통해 구한 k_{30} 과 CBR값은 전반적으로 STA-3, STA-4 구간에서 가장 작은 값을 보이고 있으며, STA-1에서 가장 큰 값을 보이고 있다. 이는 앞서 측정한 평판재하시험결과와는 약간 상이한 결과를 보이고 있으나, CBR값과 추정된 k_{30} 과는 유사한 경향을 보이고 있는 것을 알 수 있다.

그림 8은 LFWD시험을 통해 구한 변형계수값을 나타내었다. LFWD로 구한 변형계수는 약 876~1672kgf/cm²의 범위를 보이고 있으며, STA-1에서 가장 큰 변형계수를 보이고 있으며, STA-3과 STA-4에서 가장 작은 변형계수가 나타나 다른 시험과 유사한 결과를 보이고 있는 것을 알 수 있다.

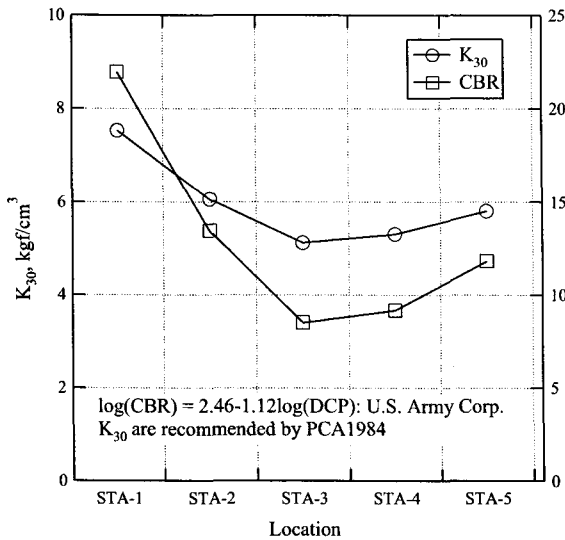


그림 7. DCP 시험을 통한 k_{30} 과 CBR 추정값

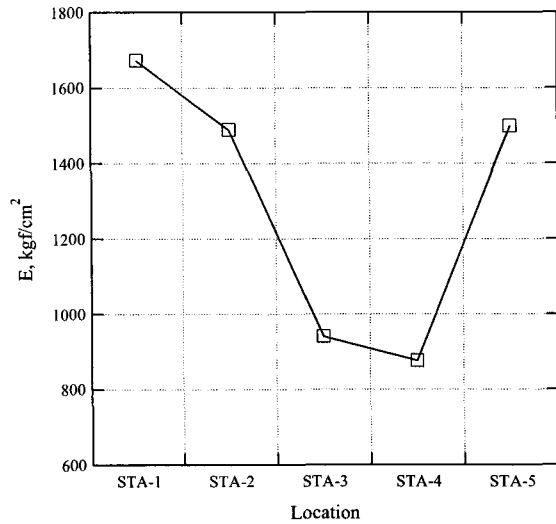


그림 8. LFWD에서 구한 변형계수(kgf/cm²)

4.2 변형계수와의 상관성

본 논문에서는 각각의 시험방법에 따라 구해진 지반의 지지력에 대하여 변형계수로 변환하여 시험방법간의 상관성을 검토하였다. 표 7은 각 시험방법에 따른 변형계수값을 나타내었다. 각 시험방법에서 추정된 k_{30} 값은 식(6)의 방법으로 변형계수를 추정하였다.

표 7. 시험방법에 따른 변형계수(kgf/cm²)

	PBT	반복평판재하시험(CPBT)			DCP	LFWD
	k_{30}	E_{v1}	E_{v2}	k_{30}	k_{30}	
STA-1	180.0	229.5	382.5	208.8	338.85	1,672.34
STA-2	446.4	229.5	459.0	406.8	272.70	1,488.79
STA-3	270.0	183.6	510.0	378.0	230.40	941.50
STA-4	108.0	114.7	353.0	140.4	238.95	876.96
STA-5	150.75	139.0	327.8	208.8	261.45	1,498.98

그림 9는 각 시험방법에 근거하여 추정된 변형계수를 나타내었다. 그림 9에서와 같이 LFWD에서 구한 변형계수가 다른 시험방법에 구한 값보다 약 3~5배 크게 나타났으며, 이러한 경향은 시험방법에 따라 각각의 변형레벨이 다르기 때문에 발생된 결과로 판단된다. 그러나, DCP로 구한 변형계수의 값은 평판재하시험(PBT) 또는 반복평판재하시험방법(CPBT)으로 구한 값들과 유사한 결과를 보였으며, DCP시험으로 적용 가능한 토질의 경우에는 DCP시험방법도 현장에서 가능한 시험방법인 것으로 판단된다. 향후 현장시험과 실내시험 등을 추가하여 전체 변형을 레벨에서의 변형특성을 고려한 변형특성을 비교할

예정이다. 또한, 보다 쉽게 현장에 적용시킬 수 있는 LFWD에 대해서도 많은 시험을 수행하여 적용성을 검토할 예정이다.

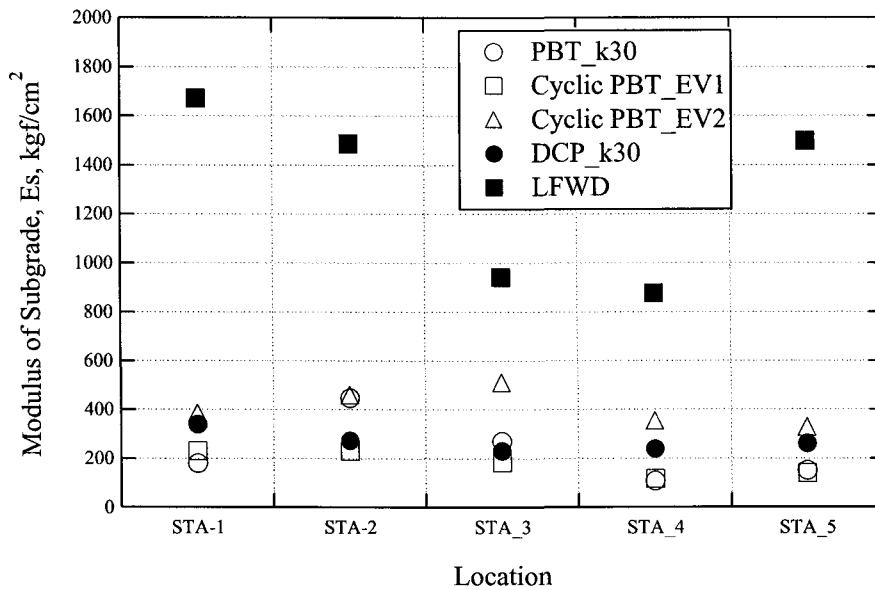


그림 9. 각 시험방법에 의한 추정된 변형계수(kgf/cm²)

5. 결론

본 논문에서는 현장 지지력을 평가할 수 있는 평판재하시험, 반복평판재하시험, DCP, LFWD 시험을 장항선 개량 OO구간 5개소에 대하여 현장시험을 수행한 결과 아래와 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 각 위치별 평판재하시험, 반복평판재하시험, DCP, LFWD 시험을 실시한 결과 모든 실험방법에서 공통적으로 STA-4가 가장 작은 값을 보이고 있으며, 각각의 결과는 약간씩 다르게 계측되었다. 특히, 중간변형영역의 평판재하시험과 반복평판재하시험방법과 유사한 결과를 보였으며, DCP는 변형영역이 작은 LFWD시험과 유사한 결과를 보였다.
- (2) 각 시험방법에 따른 변형계수를 추정한 결과 LFWD에서 구한 변형계수가 다른 시험방법에 구한 값보다 약 3~5배 크게 나타났으며, 이러한 경향은 시험방법에 따라 각각의 변형레벨이 다르기 때문에 발생한 결과로 판단된다. LFWD시험방법의 신뢰성을 검토하기 위하여 현장에서 크로스홀시험과 공진주 시험을 통해 전체변형영역에서의 변형특성을 고려하여 신뢰성을 확보할 예정이다.
- (3) DCP로 구한 변형계수의 값은 평판재하시험(PBT) 또는 반복평판재하시험방법(CPBT)으로 구한 값들과 유사한 결과를 보였으며, DCP시험으로 적용 가능한 토질의 경우에는 DCP시험방법도 현장에서 가능한 시험방법인 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 건교부 건설기반기술구축사업의 일환으로 “토공노반 최적두께 산정을 위한 설계표준 기술 연구”의 일부 성과물로 이에 감사를 표합니다.

참 고 문 헌

1. 김동수, 서원석, 권기철(2005), “반복식 평판재하시험을 이용한 노상토의 현장 변형계수 평가”, 한국지반공학회논문집, 제21권, 6호, pp.67~79
2. 박태순, 최준성, 박재균(2001), “회복탄성계수 측정을 위한 Portable LFWD의 활용”, 대한토목학회 2001학술발표회 논문집[창립50주년], Vol.0, No.0
3. 안지환, 양성린, 박희문, 권수안(2004), “현장에서의 동적관입시험을 이용한 노상토의 지지력 평가연구”, 한국도로학회 논문집, 제6권, 3호, pp.17~26
4. 오재화, 이광찬(2005), “콘 지수(CI)를 이용한 노상토의 CBR 및 다짐도 측정에 대한 기초 연구”, 대한토목학회논문집, 제25권, 2C호, pp.73~78
5. 윤길림, 이규환, 채광석(2006), “지반조사기술의 현재와 미래”, 한국지반공학회지, Vol 22, No.1, pp.11~21
6. Amini, F.(2003), "Potential Applications of Dynamic and Static cone penetrometers in MDOT pavement design and construction", Final Report, Mississippi Department of Transportation
7. Kremer, C., Dai, S.(2004), "Improvement Validation of Mn/DOT DCP Specifications for Aggregate Base Materials and Select Granular", Minnesota Department of Transportation
8. Oman, M.(2004), "Advancement of Grading and Base Material Testing", Final Report, Minnesota Department of Transportation
9. Peshkin, D.(1994), "Pavement Analysis and Design Checks", National Highway Institute, U.S. Department of Transportation
10. Seyman, E.(2003), "Laboratory evaluation of in-situ tests as potential quality control/quality assurance tools", Bogazici University, Istanbul, Turkey