

동평판 재하시험을 이용한 정적 및 동적 변형계수 비교

A Comparison of Static and Dynamic Deformation Modulus by Dynamic Plate Test

박 용 부*¹ Park, Yong-Boo

정 형 식*² Chung, Hyung-Sik

Abstract

The method of measuring ground deformation modulus, in situ-testing has the disadvantage where the exam number is limited because it needs counter weight and a lot of measurement times. Recently, it has supplemented this problem and the equipments by which measurement can be made quickly are developed and applied in field.; That is Falling Weight Deflectometer(FWD), Light Drop Weight Tester(LDWT), Geogauge. Light Drop Weight Tester(LDWT) is introduced firstly in the name of "a lightweight fall circuit tester for a railroad public corporation" by KTX. Since KTX introduced LDWT, a number of research organizations have used LDWT to find out domestic standard for quality management of base ground. In this study we used ZFG 02 which was manufactured by Stendal in Germany and measured the dynamic deformation modulus in soil box and in-situ. And we analyzed the correlation of the dynamic deformation modulus with static deformation modulus based on plate test in the same ground.

요 지

지반 변형계수를 측정하는 방법중에서 원위치 시험법은 반력으로 대형 장비가 필요하고 많은 측정시간이 소요되므로 시험횟수가 제한되는 단점이 있다. 최근에는 이런 문제점을 보완하고 보다 신속하게 측정할 수 있는 장비들이 개발되어 적용되고 있다. 즉, Falling Weight Deflectometer(FWD), Light Drop Weight Tester(LDWT), Geogauge 등이 있다. 이중에서 Light Drop Weight Tester(LDWT)는 경부 고속철도 공사에 "철도공사를 위한 경량 낙하 시험기"라는 명칭으로 적용된 이래로 여러 기관에 도입되어 노반의 품질관리 및 성토관리용으로 국내 조건에 맞는 기준을 정립하기 위한 연구가 진행중이다. 본 연구에서는 현장에서 지반변형계수를 쉽게 측정하는 방안을 제안하기 위해 독일 Stendal의 동적 평판 재하시험 장비(Light Drop Weight Tester(LDWT))인 ZFG 02를 이용하여 현장과 토조에서 동적 변형계수를 측정하였다. 동일한 지반에서 실시한 평판재하시험 결과에 의한 정적 변형계수와와의 상관성을 분석하였다.

Keywords : Correlation, Deformation modulus, LDWT, Plate test

1. 서 론

일반적으로 변형계수는 등방 탄성체의 측면이 구속되지 않은 상태에서 축방향으로 압축 또는 인장을 받을 경우에 응력-변형을 관계를 나타내는 비례정수를 말하

며 초기 접선계수(탄성계수)와 할선 변형계수로 정의된다. 지반 변형계수를 측정하는 방법에는 원위치 시험법, 실내 시험, 시험 제안식, 경험식등이 있는데 원위치 시험법에는 보링홀내 횡방향 재하시험, 평판 재하시험, 표준 관입시험, 전단파 속도 측정시험등이 있다. 원

*1 정회원, 한양대학교 대학원 토목공학과 박사과정 (Member, Graduate Student, Dept. of Civil Engrg., Hanyang Univ., parkyb@jugong.co.kr)

*2 정회원, 한양대학교 토목공학과 교수 (Member, Prof., Dept. of Civil Engrg., Hanyang Univ.)

위치 시험법중 현장 CBR이나 평판 재하시험 방법은 반력으로 대형 장비가 필요하고 많은 측정시간이 소요되므로 시험횟수가 제한되는 단점이 있다. 최근에는 이런 문제점을 보완하고 보다 신속하게 측정할 수 있는 장비들이 개발되어 적용되고 있다. 즉, Falling Weight Deflectometer(FWD), Light Drop Weight Tester(LDWT), Geogauge등이 있다. 이중에서 Light Drop Weight Tester(LDWT)는 경부 고속철도 공사에 “철도공사를 위한 경량 낙하 시험기”라는 명칭으로 적용된 이래로 한국도로공사 도로교통기술원, 철도 기술연구원등 여러 기관에 도입되어 노반의 품질관리 및 성토관리용으로 국내 조건에 맞는 기준을 정립하기 위한 연구가 진행중이다.

본 연구에서는 KS F2310, ASTM D1195, DIN 18134 등에 규정되어 있는 평판 재하시험을 대응하기 위해 독일 Stendal의 동적 평판 재하시험 장비(Light Drop Weight Tester(LDWT))인 ZFG 02를 이용하여 현장과 토조에서 동적 변형계수를 측정하고 동일한 지반에서 실시한 평판재하시험 결과에 의한 정적 변형계수와와의 상관성을 분석하였다.

2. 현장 시험법

강성을 현장에서 측정하는 시험법은 크게 정적 재하방법, 동적 재하방법, 비파괴 시험등으로 분류할 수 있다.

2.1 정적 재하방법

1920년 이래로 정적인 시험방법으로 평판재하 또는 지지력 시험이 subgrade(노상) 또는 granular 포장층의 강성을 평가하기 위해 사용되고 있다. 일반적으로 평판 재하시험에서 구한 결과를 분석하기 위해 Burmister 방법이 적용되며 completed layer의 상부에서 시험이 실시된다. 평판 재하시험에 의한 지지력은 재하하중과 평판변위에 상수, 평판직경을 곱한 값의 비로 계산된다. 이 시험법은 많은 나라에서 독자적인 시험규격을 가지고 있는데 평판직경, 하중크기 및 하중 repetitions number에서 차이를 보이고 있다. 이 시험법의 단점은 재하하중을 만족하기 위해 큰 반력하중이 필요하고 이동성과 장비 운영에서 제약이 많다.

2.2 동적 재하방법

동적 재하시험은 일정한 높이에서 규정된 중량을 재하판(보통 300mm)에 낙하시키는 것으로 재하판의 크기가 중요

하며 단순히 지반입자가 아니고 입상층에 충분한 하중이 가해져야 하며 하중크기는 로드셀에 기록된다. 속도를 측정하는 지오폰이 낙하중량의 영향범위에 있는 plate나 지반의 수직변위를 구하는데 이용된다. 이런 변위를 구하는 방법은 이 분야에서 주요한 관심사의 하나로서 재하판에 부착된 1개의 지오폰을 사용하여 plate의 deceleration을 측정하는 방법도 있다. TRL foundation tester은 실제 지반 표면에 1개의 지오폰을 설치하는 것이며 이런 장비중에서 가장 복잡한 것은 Falling Weight Deflectometer(FWD)로 재하 지점에서 다수의 지점에 여러개의 지오폰(보통 7개)을 설치한다. FWD는 가해진 중량으로부터 deflection bowl의 형상을 감지할 수 있고 전체 구조물과 각 층의 강성에 대한 역계산도 가능하다. FWD와 LDWT로부터 측정된 계수비는 보통 LDWT 계수(E_{vd})가 FWD 계수의 0.3~0.4배로 LDWT 계수(E_{vw})가 적은 것으로 보고되고 있다(Moshe, 2000).

2.2 비파괴 시험법

Non-impact 시험에는 Laser Rolling Deflection Meter(Laser RDM), Ground Penetration Radar 방법등이 있다. Laser Rolling Deflection Meter(Laser RDM)은 정규 교통속도에서 도로의 처짐을 레이저를 통해 측정하는 장비로서 스웨덴에서 처음 개발되었다. 측정 램프는 20개의 레이저를 가지고 있으며 재하상태에서 2개 축사이의 도로단면을 측정하며 동일한 방법으로 차량의 전륜과 후륜에 의해 발생하는 처짐 궤적을 분석한다. 재하 하중이 큰 후륜축에 위치한 2번째 측정 램프는 재하상태의 도로단면을 측정하는데 동일한 도로 단면에서 차이가 처짐을 나타낸다. Ground Penetration Radar는 현장 측정 자료의 해석을 위해 필요한 정보를 제공하는데 도로 구조에서 각 층의 심도, 변형에 대한 해석에 유용하다.

3. 현장측정 및 해석방법

3.1 시험장비

동평판 재하시험(Dynamic Plate Load Test, DPLT)은 California Bearing Ratio(CBR)이나 Plate Bearing Test(PBT)을 대체할 목적으로 독일에서 개발된 시험법이다. 이 시험법은 최대 입경 63mm이내의 조립토 지반에 적합하고 동적 변형계수(E_{vd} Dynamic Modulus of Deformation)가 150~800 kg/cm^2 인 도로, 철도 및 기초의 다짐관리용

으로 사용되며 기존 평판 재하시험에 비해 시험이 간편하고 반력으로 차량하중이 불필요하며 협소한 공간이나 높은 곳에서도 시험이 가능하다.

3.1.1 시험장비의 구성(사진 1)

- 재하판 : 300×20mm(직경×두께)
- 재하판 무게 : 15kg
- 낙하중량 : 10kg
- guide rod 중량 : 5kg
- 크기 : 210×80×25mm

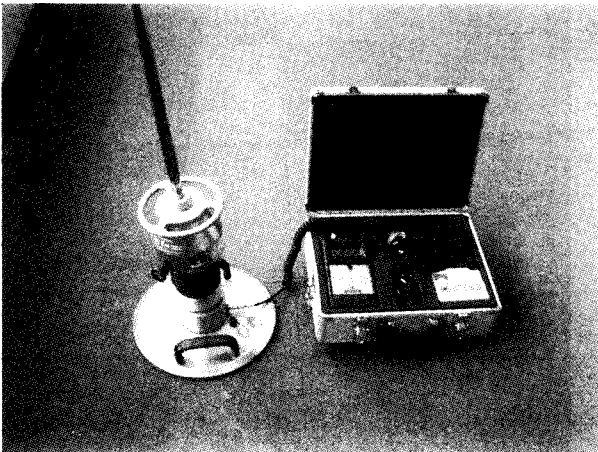


사진 1. 동평판 재하시험기

3.1.2 시험방법

- (a) 재하판을 시험위치에 수평으로 설치한다.
- (b) Drop Weight를 가이드 로드 상부에 있는 Latching Device에 건다.
- (c) 재하판의 안정을 위해 본실험전에 Drop Weight를 3회 낙하시킨다.
 - 가이드 로드를 수직으로 세운다.
 - Drop Weight를 낙하시킨다.
 - 리바운드되는 Drop Weight를 잡아서 Latching Device에 건다.

Device에 건다.

- (d) 시험장비와 Display을 연결한다.
- (e) 연결후 Drop Weight를 3회 낙하시키고 결과치를 기록한다.
- (f) 3회 측정에 대한 평균 침하량과 동적 변형계수를 구할 수 있다.

3.2 해석방법 및 적용실태

3회 측정으로부터 구한 침하량을 평균하여 Dynamic Modulus of Resilience(E_{vd})를 구한다(식 (1)).

$$E_{vd} = \frac{22.5}{\text{평균침하량}} (\text{범위: } 150 - 800 \text{ kg/cm}^2) \quad (1)$$

독일의 구조설계에서는 노반과 노상의 지지력을 평판 재하시험을 2회 실시하여 측정하여 정적인 변형계수로 설계에 이용하고 있으나 식 (2)를 이용하면 동적 평판 재하시험에서 구한 변형계수(E_{vd})로 정적인 변형계수(E_{v2}) 값으로 환산할 수 있다.

$$E_{v2} (\text{MN/m}^2) = 600 * \ln \left[\frac{300}{300 - E_{vd}} \right] \quad (2)$$

표 1. E_{vd} 와 E_{v2} 관계

Requirement of the ZTVE-Stb76 ($E_{vd} = \text{MN/m}^2$)	Suggestion for New Limit Values ($E_{v2} = \text{MN/m}^2$)
180	80
150	70
120	55
100	45
80	40
60	30
45	25
20	15

표 2. 다짐도(Proctor, Dpr)와 E_{vd} 관계

sub-layer	다짐도 D_{pr}	변형계수 E_{v2}	동적 변형계수 E_{vd}
DIN 18196	%	MN/m^2	MN/m^2
GW, GI (예 : Stone Soil이나 Mineral Mixture)	≥ 103	≥ 120	≥ 60
	≥ 100	≥ 100	≥ 50
	≥ 98	≥ 80	≥ 40
	≥ 97	≥ 70	≥ 35
GE, SE, SW, SI	≥ 100	≥ 80	≥ 40
	≥ 98	≥ 70	≥ 35
	≥ 97	≥ 60	≥ 32
혼합지반과 미세입자 지반	≥ 100	≥ 45	≥ 25
	≥ 97	≥ 30	≥ 15
	≥ 95	≥ 20	≥ 10

이 식을 바탕으로 E_{vd} 와 E_{ν} 관계는 표 1과 같으며 다짐도, 지반조건별 관계식은 표 2에 나타나 있다. 여기서, E_{ν} 는 평판 재하시험에서 구한 변형계수이고 E_{vd} 는 동적 변형계수이다.

독일에서는 “ZTVE-StB94”에 의거하여 비동결성 노반에 시공되는 도로 등급 SV, I~IV는 동적 변형계수가 최소한 $60 MN/m^2$, V, VI은 $50 MN/m^2$ 이 되도록 규정하고 있다. 단지 노상층을 다짐만하여 채움을 하는 경우에는 도로 등급 SV, I~IV은 동적 변형계수가 최소한 $50 MN/m^2$, V, VI은 $40 MN/m^2$ 을 만족해야 한다. 동결성 예민 노상층에서의 동적 변형계수는 최소한 $25 MN/m^2$ 이 요구된다. 여기서, 도로 등급은 동결에 대한 최소 포장두께에 의해 분류하는 것으로 F2(중간 정도의 지반)

은 SV, I~IV, V~VI인 경우, 최소 두께가 각각 60, 50, 40cm이고 F3(점성계열 지반)은 SV, I~IV, V~VI인 경우, 최소 두께가 각각 70, 60, 50cm이다.

4. 시험결과 및 고찰

4.1 모형토조

정적인 변형계수를 구하기 위해 화강 풍화토 지반을 대상으로 $2,000 \times 2,000 \times 1,000$ mm 크기의 모형토조내에서 평판 재하시험(PBT)을 실시하였다. 또, 재하시험후 지반조건별로 8회의 동평판 재하시험을 실시하고 평균한 침하량과 동적 변형계수 E_{vd} 는 아래 표 3과 같다. 평판 재하시험 결과로부터 변형계수는 다음 식을 이

표 3. 모형 토조시험에서 침하량과 동적 변형계수

				평균 침하량(mm)	정적 변형계수 (kg/cm^2)		동적 변형계수 (kg/cm^2)
					$\nu = 0.2$	$\nu = 0.3$	
십정	자연 함수비	D15	3층 3회	4.49	63.23	55.33	50.3
			3층 20회	3.63	42.66	37.33	62
		D25	3층 3회	5.26	39.18	34.29	44.3
			3층 20회	4.51	24.33	21.29	49.3
	함수비 증가	D15	3층 3회	-	21.71	19.0	37.6
			3층 20회	6.06	-	-	37.4
		D25	3층 3회	8.46	23.09	26.39	27.3
			3층 20회	-	30.34	26.54	-
안중	자연 함수비	D15	3층 3회	7.57	6.26	5.48	29.3
			3층 20회	5.2	78.97	69.1	42.4
		D25	3층 3회	6.68	31.65	27.65	33.4
			3층 20회	4.72	44.56	38.99	46.7
	함수비 증가	D15	3층 3회	8.56	5.5	4.81	26
			3층 20회	8.22	3.89	3.4	27
		D25	3층 3회	9.72	5.67	4.98	22.9
			3층 20회	7.3	17.22	15.07	30.6
송화	자연 함수비	D15	3층 3회	5.71	10.33	9.04	39.9
			3층 20회	4.3	36.02	31.52	52.3
		D25	3층 3회	5.74	22.91	20.05	40.3
			3층 20회	4.31	67.15	58.76	58.6
	함수비 증가	D15	3층 3회	8.36	3.79	3.32	27.1
			3층 20회	-	3.13	2.74	-
		D25	3층 3회	8.97	2.84	2.49	25.4
			3층 20회	8.36	6.64	5.81	27
율전	자연 함수비	D15	3층 3회	3.25	23.7	20.74	73
			3층 20회	-	-	-	-
		D25	3층 3회	4.5	27.81	24.33	50.9
			3층 20회	2.92	45.66	39.95	82.8
	함수비 증가	D15	3층 3회	-	-	-	-
			3층 20회	-	-	-	-
		D25	3층 3회	6.05	9.8	8.57	37.4
			3층 20회	-	-	-	-

주) D15, D25, : 재하판 직경 각각 15cm, 25cm

3층 3회, 3층 20회 : 토조 내부(90cm)를 심도별로 3회 나누어 성형하여 컴팩터로 3회, 20회 다짐

용하여 구하였다.

$$E = (1 - \nu)b \cdot I_p \cdot k \quad (3)$$

여기서, ν : 지반의 포아슨비(0.2, 0.3)

b : 재하판의 직경 I_p : 재하판의 형상계수(원형판 = 0.79, 정사각형 = 0.8)

하중-침하곡선에서 지반반력계수 k 를 산출하는 방법은 미육군법(U.S Army Method)과 영국 도로 연구 실험실법(U.K. RRL Method)등이 있는데 본 연구에서는 아래 식을 사용하여 계산하였다.

$$k_{sv} = q/s \quad (4)$$

표 4. 현장재하시험에서 침하량과 동적 변형계수

현장명	재하판 직경(cm)	평균 침하량 (mm)	정적 변형계수 (kg/cm^2)		동적 변형계수 (kg/cm^2)
			$\nu = 0.2$	$\nu = 0.3$	
안중	D25	2.29	115.66	101.2	99
	D30	2.71	79.63	69.68	85.7
	D40	2.57	130.95	114.58	94.8
가경	D25	2.98	75.84	66.4	76.5
	D30		56.25	49.22	
	D40		72.05	63.04	
	75×75		171.84	148.48	
	140×210		69.89	60.4	
노은	D25	4.28	70.78	61.93	57
	D30		50.05	43.74	
	D40		74.58	65.23	
	75×75(1)	2.69	62.4	54.6	85.7
	140×210(1)		45.7	39.98	
	75×75(2)		2.76	58.08	
140×210(2)	59.14	51.74			
건산	D25	2.40	66.99	58.68	85.7
	D30		133.29	116.68	
	D40		125.14	109.47	
	140×210		261.9	179.54	
울전1	D25	0.83	214.41	187.59	273.5
	D30	0.8	221.26	193.66	282
	D40	0.67	274.29	240.05	339.5
울전2	D25(1)	0.42	569.43	498.2	541.3
	D30(1)		759.92	665.0	
	D40(1)		998.56	873.74	
	D25(2)	0.34	395.0	345.63	681
	D30(2)		584.92	511.86	
	D40(2)		612.03	535.53	
	D25(3)	0.39	491.06	429.47	584.3
	D30(3)		515.14	450.83	
D40(3)	853.2		746.51		
볼로	D25	0.76	246.16	215.37	306.3
	D30		226.0	197.74	
	D40		246.73	215.95	
도농	D15	0.23	1595.77	1396.26	1000
	D25		1427.53	1249.09	
	D40		1529.44	1338.29	
화곡	D25(1)	1.22	260.7	228.17	185.5
	D30(1)		114.14	99.87	
	D40(1)		114.27	99.98	
	D25(2)	3.48	63.2	55.3	64.5
	D30(2)		56.69	41.34	
D40(2)	75.59	66.14			

D15, D25, D30, D40 : 재하판 직경 각각 15, 25, 30, 40cm

여기서, k_{sv} : 지반반력계수 (kg/cm^3)

q : 재하압력 (kg/cm^2) s : 침하량(mm)

재하시험 결과인 하중-침하량 곡선의 초기가 직선이면 그 기울기가 지반반력계수로 사용할 수 있지만 직선이 아닌 경우는 보정을 해야 하며 보정후 $q = 0.7 kg/cm^2$ 일 때의 침하량을 찾아서 k_{sv} 을 구한다. 도로용 평판재하시험 결과 해석방법도 기초 지반용과 동일하지만 도로의 평판 재하시험은 극한 지지력이나 항복하중보다 지반반력계수를 구하는 것이 주목적이므로 하중-침하량 곡선을 작도하여 구한다.

4.2 현장시험

현장에서 평판재하시험후 재하판 직경별 3회 동적 평판 재하시험을 실시하고 평균한 침하량과 동적 변형계수는 표 4와 같다.

4.3 정적 및 동적 변형계수 관계식

정적 및 동적 변형계수 관계식은 재하시험 방법별(평판, 동재하)로부터 변형계수 값을 먼저 비교하고 동평판 재하시험법이 규정되어 있는 독일에서 제안된 2개의 식

과 분석하였다. 그 식은 각각 3.2절의 정적 변형계수와 동적 변형계수 환산식, 모래에 적용되는 식으로 모래에 적용되는 식은 지반특성상 현장 재하시험 결과에만 적용하여 비교, 분석하였다.

4.3.1 변형계수 관계식(모형토조)

모형토조 시험에 사용된 시료는 단위중량이 1.62~19.1 (t/m^3), 함수비가 8.68~29.42, 소성지수가 NP~14, 비중이 2.65~2.79이며 통일분류법상으로 SC에 속한다. 변형계수는 3~60 (kg/cm^2)로 다양하게 분포하고 있다.

이와 같은 지반조건을 대상으로 평판재하시험(PBT)의 하중-침하곡선에서 구한 정적인 변형계수와 동평판 재하시험에 측정된 동적 변형계수 E_{vd} 를 도출하고 추세선 분석을 통한 적합식을 $\nu = 0.2, 0.3$ 인 경우로 구분하여 분석하였다(그림 1~그림 2).

(a) 포아송비 $\nu = 0.2$

$$y = -0.0013x^2 + 1.3619x + 20.313 \quad (R^2 = 0.53)$$

(b) 포아송비 $\nu = 0.3$

$$y = -0.0015x^2 + 1.5587x + 18.197 \quad (R^2 = 0.53)$$

그림 2, 3에서처럼 정적 및 동적 변형계수사이의 상

표 5. 현장별 물성치

구분	비중	액성 한계	소성 한계	소성 지수	체 통과량(%)		C_u	C_v	분류
					200번체	4번체			
안중	2.75	36.5	22.5	14	42.5	96.5	40	1.4	SC
십정	2.79	34.7	21.8	12.9	42	92	66.7	2.7	SC
송화1	2.69	36.1	25.6	10.5	44.4	96.7	350	0.4	SC
송화2	2.67	34.9	24.6	10.3	41.3	93.9	166.7	0.8	SC
을전	2.65		NP		32.6	91.3	110	6.9	

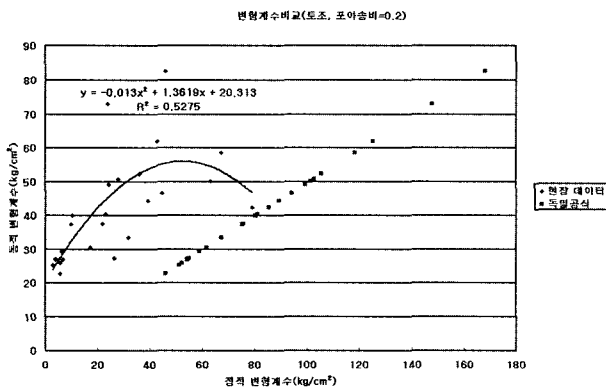


그림 1. 포아송비=0.2에서 정적 및 동적 변형계수 비교(토조)

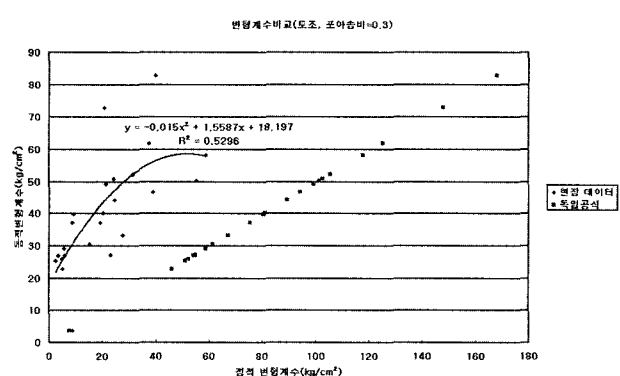


그림 2. 포아송비=0.3에서 정적 및 동적 변형계수 비교(토조)

관성은 약 0.53으로 상관관계가 적었고 독일의 환산식도 많이 이격도를 보이고 있다. 이것은 모형토조내에 성형된 지반이 액성한계 35전후의 연약 지반으로 강성이 적기 때문에 상관성이 없는 것으로 분석되었다.

4.3.2 변형계수 관계식(현장)

현장 재하시험 대상지반은 모형토조 시료와 달리 N치가 10/30~50/10로 지반강성이 다양하고 소성한계 및 액성한계가 NP이다. 비중이 2.64~2.79이며 통일분류법상으로 대부분은 SM이며 나머지는 CL, ML, GP-GM이며 변형계수 60~1000 (kg/cm²)로 분포하고 있다.

이와 같은 지반조건을 대상으로 평판재하시험(PBT)의 하중-침하곡선에서 구한 정적인 변형계수와 동평판재하시험에 측정된 동적 변형계수 E_{vd} 를 도출하고 추세선 분석을 통한 적합식을 $\nu = 0.2, 0.3$ 인 경우로 구분하여 제안하였다(그림 3~그림 4).

(a) 포아송비 $\nu = 0.2$

$$y = -0.0003x^2 + 1.1164x + 8.8685 \quad (R^2 = 0.91)$$

(b) 포아송비 $\nu = 0.3$

$$y = -0.0004x^2 + 1.2911x + 8.5015 \quad (R^2 = 0.91)$$

표 6. 현장별 지반조건

현장명	비중	액성지수	소성지수	통일분류법	N치
노은	2.67	NP	NP	SM	36~42/30
가경	2.68	NP	NP	CL	10/30~30/30
안중	2.67	NP	NP	ML	10/30~20/30
건산	2.66	NP	NP	SM	10/30~20/30
불로		NP	NP		50/24~50/7
화곡1	2.64	NP	NP	SM	44/30~50/17
화곡2	2.68	NP	NP	ML	10/30~22/30
울전1	2.65	NP	NP	SM	50/20~50/29
울전2	2.67	NP	NP	GP-GM	50/10~50/29

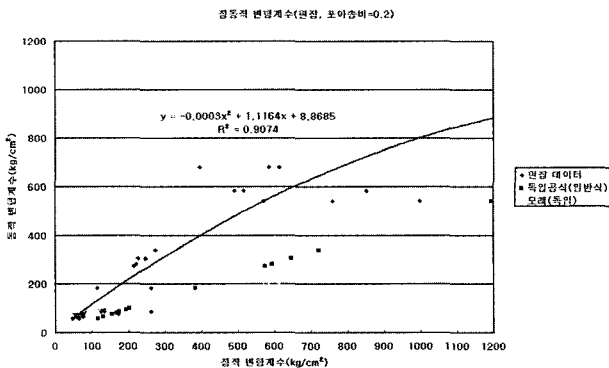


그림 3. 포아송비=0.2에서 정적 및 동적 변형계수 비교(현장)

또, 독일의 변형계수 환산식(식 (2))과 모래에 대한 관계식(식 (5))과 비교하였다.

$$E_{vd} = 8.04 + 0.207 * E_{v2} \quad (R^2 = 0.921) \quad (5)$$

그림 3, 4에서 본 연구에서 의해 도출된 변형계수를 식 (2)와 비교한 결과, 포아송비 0.2, 0.3인 경우에 동일한 동적 변형계수에 비해 평균 50.8%, 44.1% 되었다. 이것은 본 연구에서 실시된 현장의 지반조건이 일정하지 못하고 특히, 75×75cm, 140×210cm 크기의 재하시험에서 충분한 반력하중을 확보하지 못하므로서 발생하는 실험적 오차가 주요 원인으로 분석된다. 또, 반력하중의 제한으로 그림 3, 4에서 상대적으로 변형계수가 적은 데이터가 많이 분포하고 있다. 보다 강성이 큰 지반에서 충분한 반력하중을 통해 정밀한 재하시험을 실시하면 상관성이 큰 결과가 도출될 수 있음 표 4에서 알 수 있다.

5. 결론

모형토조와 현장 재하시험에서 구한 변형계수와 동적 평판재하 시험(Light Drop Weight Test)으로부터 측정된 변형계수와의 상관성을 분석하고 다음과 같은 결

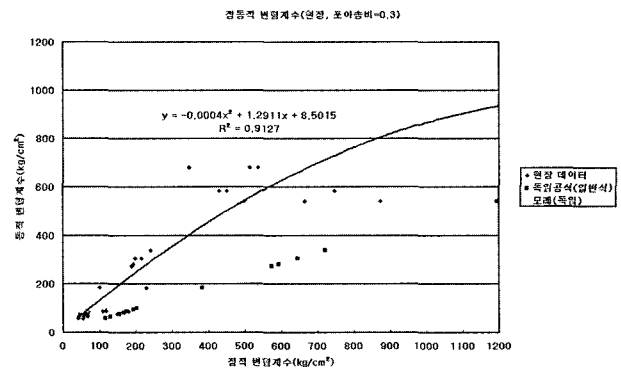


그림 4. 포아송비=0.3에서 정적 및 동적 변형계수 비교(현장)

론을 얻었다.

- (1) 모형 토조시험의 지반조건인 변형계수는 3~60 (kg/cm^2)이고 SC로 분류되는 화강풍화토에서의 정적 및 동적 변형계수는 포아송비 $\nu = 0.2$, $\nu = 0.3$ 일때는 각각

$$y = -0.0013x^2 + 1.3619x + 20.313 \quad (R^2 = 0.53)$$

$$y = -0.0015x^2 + 1.5587x + 18.197 \quad (R^2 = 0.53)$$

로 제시되어 상관성이 없었다. 이 결과는 독일 규정 "German Technical Test Code for Soil and Rock in Road Construction TP BF-St B Part B 8.3/1997"에서 제시된 동적 평판 재하장비(Light Drop Weight Tester)의 사용범위인 변형계수 150~800 (kg/cm^2)보다 적은 경우에는 신뢰성이 없는 것을 의미한다. 또, 식 (2)와 비교에서도 동일하게 상관성이 없는 것으로 분석되었다.

- (2) 통일분류법상으로 지반종류가 대부분은 SM이고 변형계수 60~1000 (kg/cm^2)로 분포한 현장에서의 정적 및 동적 변형계수는 포아송비 $\nu = 0.2$, $\nu = 0.3$ 일때는 각각

$$y = -0.0003x^2 + 1.1164x + 8.8685 \quad (R^2 = 0.91)$$

$$y = -0.0004x^2 + 1.2911x + 8.5015 \quad (R^2 = 0.91)$$

로 제시되어 변형계수가 큰 지반에서는 평판 재하시험(PBT)와 동적 평판 재하시험에서 구한 결과가 상

관성이 많은 것으로 분석되었다. 독일의 환산식(식 (2))과 모래에 적용하는 환산식(식 (5))에 의한 변형계수 값에 비해 50.8%, 44.1% 정도로 나타났는데 보다 명확한 지반조건과 반력장치를 통해 현장 실험을 실시하면 국내 지반에 적합한 상관식을 제시할 수 있을 것으로 분석되었다.

- (3) 따라서, 동적 평판재하시험을 실시하였을때 모형토조의 지반조건에서는 상관성이 떨어지고 현장 지반 조건에서는 90% 이상의 상관성을 가지므로 상기 언급된 현장 재하시험과 동일한 지반강성을 가진 화강풍화토, 화강암 조건에서는 동적 평판재하 시험방법을 통해 변형계수를 측정할 수 있는 것으로 분석되었다. 또, 향후에 다짐도와 변형계수 관계 규명을 통해 도로의 다짐관리의 적용여부를 판단하는 연구가 필요할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

1. 대한주택공사(2003), "지내력 기초에서의 크기효과(Scale Effect) 적용방안에 관한 연구".
2. 노한성, 김태수, 최영철, 박양수, 조주기(2003), "토공의 다짐두께 개선 및 토질별 실내 다짐 적정기준", 제20회 도로기술 연구성과 발표회, 50-59.
3. 이상덕(1996), "토질시험 - 원리와 방법 -", pp.371-388.
4. Moshe, L., Yair, G.(2000), "Use of Falling-Weight Deflectometer and Light Drop Weight for Quality Assessment During Road Formation and Foundation Construction", Haifa, Tel Aviv
5. Livneh, M.(2000), "Small-Scale Dynamic Devices for Subgrade and Granular Layers Characterization", Proc. of the 3rd Transportation Engineering Specialty Conference, CSCE, London, Ontario.

(접수일자 2003. 8. 28, 심사완료일 2003. 10. 20)