

여러가지 다짐 평가장비의 적용성을 위한 실내시험 Laboratory Tests for the Applicability of Various Testing Devices for Measuring Degree of Compaction

유완규¹⁾, Wan-Kyu Yoo, 임남규²⁾, Nam-Gyu Lim, 김병일³⁾, Byoung-Il Kim, 김주형⁴⁾, Ju-Hyong Kim

- 1) 명지대학교 토목환경공학과 박사과정, Ph. D. Student, Dept. of Civil & Environmental Eng., Myongji University
- 2) 명지대학교 토목환경공학과 석사과정, Graduate Student, Dept. of Civil & Environmental Eng., Myongji University
- 3) 명지대학교 토목환경공학과 교수, Professor, Dept. of Civil & Environmental Eng., Myongji University
- 4) 한국건설기술연구원 선임연구원, Senior Researcher, Korea Institute of Construction Technology

SYNOPSIS : Quality assurance for embankment compaction is one of very important procedures to guarantee high quality construction. However, only sand replacement method (KS F2312) and static plate load test (KS F2310) which are conventional and tiresome methods are used to evaluate degree of compaction at construction fields. Recently, new types of devices such as the geogauge and the light falling weight deflectometer (LFWD), the soil impact hammer (CASPFOL) and dynamic cone penetration test etc. which are able to substitute for the conventional methods are begun to use to evaluate soil stiffness. In this study, a laboratory model test was performed to evaluate correlations among test results obtained from the new devices and to assess the potential use of them. All test results have correlations with relative density and water content. Especially, the coefficients of correlation between E_G from the geogauge and K_{30} from the soil impact hammer and between E_G from the geogauge and E_{LFWD} from LFWD are more than 0.7 but those between the results from DCP and others are less than those between E_G and K_{30} and E_G and E_{LFWD} .

Key words : Geogauge, Light falling weight deflectometer(LFWD), Dynamic cone penetration test(DCP), Soil impact hammer(CASPFOL), Laboratory model test

1. 서 론

성토는 각 공사의 종류에 따라 넓은 부지를 조성하기 위하여 사용되거나, 도로의 경우 하부에 전달되는 하중을 분산시키기 위하여 사용된다. 성토과정 중 다짐은 가장 중요한 부분이라고 할 수 있는데, 성토된 지반위에 도로나 철도, 기타 구조물 축조 후에 성토지반의 지지력 부족, 부등침하 등의 문제가 발생할 수 있고, 이러한 문제는 대부분 다짐불량에 의한 것이기 때문이다. 대형 토목장비의 생산으로 인하여 그 속도는 점차 빨라지고 있는 실정이지만 다짐도를 평가하는 방법은 과거부터 사용하고 있는 밀도시험(KS F2312), 평판재하시험(KS F2310) 등을 사용하고 있어 시험 방법이 복잡하고 결과를 얻는데 일정시간이 소요되며, 제한된 몇몇 위치에서만 시험이 가능하다는 단점을 갖고 있다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위하여 최근 유럽, 미국, 일본 등을 중심으로 새로운 다짐평가장비의 개발이 진행되고 있으며, 지오게이지(geogauge), 동평판재하시험기(LFWD), 동적콘관입시험기(DCP), 간이지지력측정기(CASPFOL) 등이 개발되어 사용되고 있다.

이 연구에서는 이러한 새로운 다짐평가장비인 지오게이지(geogauge), 동평판재하시험기(LFWD), 동적

콘관입시험기(DCP), 간이지지력측정기(CASPFOL)를 이용하여 직경 100cm, 높이 50cm의 모형토조를 이용한 실내모형시험을 실시하여, 상대밀도와 함수비의 변화에 따른 다짐평가장비들의 변화 추이를 파악하여 이들 장비의 현장 적용성을 확인하고 상관관계분석을 실시하고자 한다.

2. 실내모형시험

2.1 시험에 사용된 장비와 재료

2.1.1 다짐평가장비

(1) 지오게이지(Geogauge)

Geogauge(그림 1)의 기술은 원래 지뢰 발견을 위한 방위산업에 의해 발전되었다(Fiedler, S. et al(1998)). 지오게이지는 1.3분당 1회 테스트의 속도로 다져진 흙의 강성을 측정하는 장비이다. 지오게이지에 달린 셰이커(shaker)라는 장치는 100~196Hz 범위내의 특정한 25개 진동수에서 매우 작은 동력을 발생시키는데, 강성 측정값(H_{SG})은 25번의 다른 진동수에서 측정된 25개 강성지수 값을 평균한 값이고, 이 값은 식 (1)에 의해 탄성계수(E_G)로 변환된다.

$$E_G = H_{SG} \frac{(1-\nu^2)}{1.77R} \quad (1)$$

여기서, E_G : 탄성계수(MPa)

H_{SG} : Geogauge 강성 읽음 값(MN/m),

ν : 포아송비

R : Geogauge 다리의 반경(57.15 mm)

(2) 간이지지력측정기(CASPFOL)

간이지지력측정기(그림 2)는 본체와 표시부로 구성되며, 직경 50mm, 질량 4.5kg의 래머를 높이 45cm에서 자유 낙하시켜 래머에 내장된 가속도계에서 충격가속도를 측정하고 내부의 관계식으로부터 CBR 등을 계산하여 표시하는 장비이다. 가속도계에서 측정한 충격가속도의 최대값을 찾아 그 값을 CPU에 기록하고 식 (1)을 이용하여 impact값(Ia)으로, 식(2)를 이용하여 K_{30} 값으로 변환한다.

$$\text{impact 값}(Ia) = \frac{\text{가속도 (gal)}}{2.78 \times 980 \text{ (gal)}} \quad (2)$$

$$K_{30} = -3.831 + 0.872Ia \quad (3)$$

여기서, K_{30} =지반반력계수(kgf/cm³)



그림 1. 지오게이지

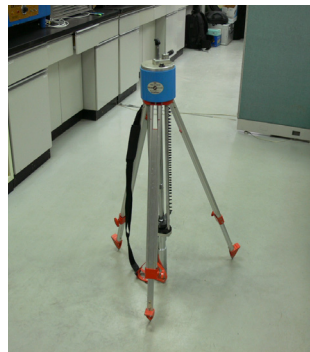


그림 2. 간이지지력 측정기(CASPFOL)

(3) 동평판재하시험기(LFWD)

동평판재하시험기(그림 3)는 독일에서 원위치 시험장치인 평판재하시험의 대안으로 FWD를 휴대용으로 개발한 것이다(Abu-Farsakh, Y. Murad et al.(2004)). 이 연구에 사용된 동평판재하시험기는 독일에서 제작한 “Light Drop Weight Tester ZFG2000”이고, 재하장치와, 재하 판, 그리고 중앙부의 처짐을 측정하는 지오폰 센서로 구성되어 있다.

동적하중으로 10kg 무게의 추를 떨어 뜨려 재하판의 중앙 변위량(δ_c)을 측정하고, 식 (4)에 의해 LFWD의 탄성강성계수(E_{LFWD})가 계산된다.

$$E_{LFWD} = \frac{2(1-\nu^2)\sigma \times R}{\delta_c} \quad (4)$$

여기서, σ : 적용된 응력
 R : 재하판의 반경

(4) 동적콘관입시험기(DCP)

동적콘관입시험(Dynamic Cone Penetration(DCP), 그림 4)은 남아프리카에서 포장부의 현장 평가를 위해 개발되었다(Kleyn(1975)). 상부는 575mm 높이에서 8kg의 추를 떨어뜨릴 수 있도록 되어 있고, 하부는 끝부분이 60° 각도의 직경 20mm인 교체 가능한 콘으로 구성되어 있다. 시험은 575mm 높이에서 추를 떨어뜨려 깊이에 대한 타격 회수를 기록하여 관입속도(DCP-PR)를 산정한다. 또한 DCP-PR은 Konard and Lachance(2000)가 제안한 식 (5)에 의해 E_{PLT} 으로 변환할 수 있다.

$$\text{Log}(E_{PLT}) = (-0.88405)\text{Log}(PR) + 2.90625 \quad (5)$$

여기서, E_{PLT} : PLT 탄성계수(MPa)
 PR : 평균 DCP-PR(mm/blow)

DCP는 깊이에 따른 다짐 수준과 균일성 모두를 확인할 수 있어 포장공사의 품질 조절을 위한 훌륭한 장비임이 확인된 바 있으며 시험 층의 두께 결정에도 사용할 수 있는 장점이 있다(Chen et al.(2001)).



그림 3. 동평판재하시험(LFWD)



그림 4. 동적콘관입 시험기(DCP)

2.1.2 흙 시료

시험에 사용된 시료는 명지대학교 용인캠퍼스에서 채취한 화강풍화토를 사용하였으며, 시료의 기본 물성치와 수정다짐시험(D 다짐)으로 구한 최적함수비 등을 표 1에 나타내었다. 이 시료의 최대건조단위중량과 최적함수비는 각각 19.6 kN/m^3 , 11.9%인 것으로 나타났으며, 통일분류법에 의해 SM으로 분류되었다.

표 1. 시험에 사용된 흙의 기본 물성치

비중, G_s	아터버그 한계		OMC (%)	γ_{dmax} (kN/m ³)	통과중량백분율					USCS
	LL(%)	PI(%)			No. 10	No. 40	No.60	No.100	No.200	
2.70	NP	NP	11.9	19.6	93.2	57.1	44.8	28.2	18.1	SM

2.1.3 다짐장비와 모형토조

이 연구에서는 다짐장비로 소형 다짐 장비인 탬퍼를 사용하였다(그림 5). 하지만 탬퍼의 경우 무게와 다짐 에너지가 크기 때문에 표면을 평탄하게 하는데 다소 어려움이 있었으며, 이러한 단점을 보완하기 위하여 소형 핸드브레이커를 변형시켜 그림 6과 같이 소형 다짐장치를 제작하여 표면을 평탄하게 정리하였다. 또한, 시험에 사용된 모형토조는 지름 100cm의 철제 원형토조로 제작되었다(그림 7 참조).



그림 5. 탬퍼



그림 6. 핸드브레이커

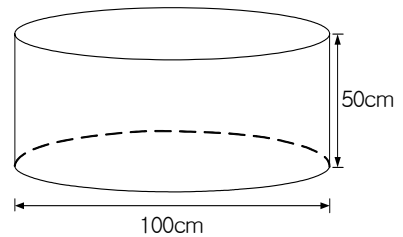


그림 7. 모형토조 제원

2.2 시험방법

이 연구에서는 여러 다짐 평가장비(Geogauge, CASPFOL, LFWD, DCP)의 상관성 분석 및 적용성 평가를 위하여 지름 100cm의 모형토조를 이용하여 시료의 함수비와 상대다짐도에 변화를 주며 시험을 실시하였다. 모형지반은 총 40cm의 두께를 10cm씩 나누어 조성하였고 시험은 시료 두께가 20, 30, 40cm인 경우에 각각 실시하였는데 최초 시험 두께를 20cm로 결정한 것은 장비의 영향범위와 최초 10cm층의 경우 장비의 진동으로 인한 토조 진동으로 인해 다짐상태가 다소 불량하기 때문이다. 시험 장비 측정은 지반교란이 적은 Geogauge, LFWD, CASPFOL 순으로 실시하였으며, DCP의 경우 지반을 관입해야하는 장비의 특성상 최종 40cm 높이에서만 실시하였다.

시험순서는 다음과 같다.

- 1) 건조시킨 시료를 일정한 함수비로 조성하기 위하여 물을 혼합하여 잘 섞는다.
- 2) 일정한 상대다짐도로 지반을 조성하기 위하여 계산된 양의 시료를 토조에 넣고 탬퍼와 핸드브레이커를 이용하여 총 40cm의 층을 10cm 간격으로 다짐을 실시한다(그림 8 참조).
- 3) 층 두께 20cm부터 40cm까지 각 층에서 다짐평가장비를 이용하여 그림 9와 같은 위치에서 4회 시험을 실시한다. 단, LFWD의 경우 영향반경을 고려하여 4번 위치에서만 시험을 실시하고, DCP의 경우 지반의 교란을 고려하여 최종 40cm 다짐 후 그림 9와 같은 위치에서 4회 시험을 실시한다.
- 4) 측정된 데이터를 이용하여 각 시험장비의 결과를 비교 분석한다.



그림 8. 모형지반 조성

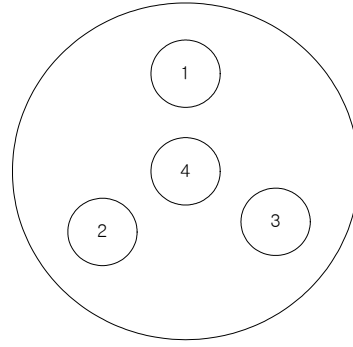


그림 9. 측정위치

3. 시험결과

3.1 각 장비별 측정결과

3.1.1 지오게이지(Geogauge)

지오게이지(geogauge) 측정결과를 표 2에 나타내었으며, 상대다짐도에 따른 변화를 그림 10에, 함수비에 따른 변화를 그림 11에 나타내었다. 그림 10 및 11에서 보는 바와 같이 지오게이지 측정값(E_G)은 상대밀도의 증가에 따라 증가하는 경향을 보이지만 94% 이상에서는 뚜렷한 증가양상을 나타내지 않고 거의 수렴하는 것을 알 수 있다. 또한 함수비의 증가에 따라 측정값이 감소하는 경향을 나타내며 최적함수비의 건조측에서 습윤측에 비해 더 큰 강성을 갖는 것으로 나타났으며, 함수비의 증가에 따라 E_G 은 거의 선형적으로 감소하는 것으로 나타났다.

표 2. 지오게이지(geogauge) 측정결과

측정높이 (cm)	측정 위치별 Geogauge 측정값(E_G MPa)														
	$w=11\pm 0.4\%$														
	RC=90%($\gamma_{s,d}=17.6 \text{ kN/m}^3$)					RC=98%($\gamma_{s,d}=19.2 \text{ kN/m}^3$)					RC=94%($\gamma_{s,d}=1.84 \text{ kN/m}^3$)				
	1	2	3	4	평균	1	2	3	4	평균	1	2	3	4	평균
40	79.5	77.85	79.8	92.3	82.36	145.7	155.4	142.5	149.5	148.28	143.8	141.3	149.2	139.9	143.55
30	84.6	98.7	101.7	91.5	94.13	150.2	149.1	146.8	144.5	147.65	150.1	147.8	148.8	138.1	146.20
20	89.9	83.3	86.6	114.7	93.63	149.9	156.9	155.7	158.4	155.22	158.7	152.1	148.1	156	153.72
	$w=8\%(RC=94\%)$					$w=13.5\%(RC=94\%)$									
	1	2	3	4	평균	1	2	3	4	평균					
40	183.6	175.5	174.1	180.5	178.43	116.8	104.4	105.9	110.3	109.35					
30	188.1	160.7	171.6	199.1	179.88	94.36	103.5	93.8	94.13	96.45					
20	179.9	185.6	183.4	181.5	182.60	106.7	94.5	108.7	99.9	102.45					

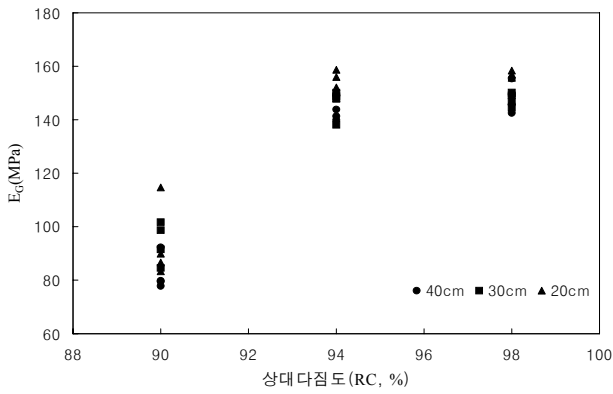


그림 10. 상대다짐도에 따른 E_G 의 변화

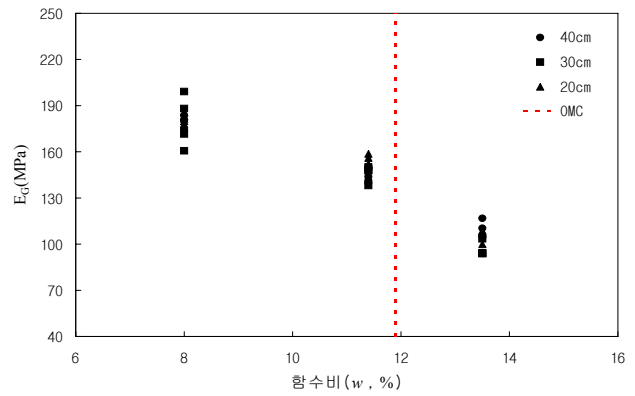


그림 11. 함수비에 따른 E_G 의 변화

3.1.2 간이지지력측정기(CASPFOL)

간이지지력측정기(CASPFOL) 측정결과를 표 3에 나타내었으며, 상대다짐도에 따른 변화를 그림 12에, 함수비에 따른 변화를 그림 13에 나타내었다. 그림 12 및 13에서 보는 바와 같이 CASPFOL로 측정된 I_d 를 식 (3)으로 변환시켜 나온 측정값 K_{30} 은 지오게이지의 E_G 값 증가양상과 유사하게 상대밀도의 증가에 따라 증가하는 경향을 보이다가 94% 이상에서는 뚜렷한 증가양상을 나타내지 않고 거의 수렴하는 것을 알 수 있다. 또한 함수비의 증가에 따라 측정값의 감소가 최적함수비 이후 현저하게 발생하였다. 다만, 최적함수비의 건조측에서 지오게이지와는 다르게 함수비의 변화에 따라 큰 변화양상을 보이지 않는 것으로 나타났다.

표 3. 간이지지력시험기(CASPFOL) 측정결과

측정높이 (cm)	측정 위치별 CASPFOL 측정값 (K_{30} , kg/cm ³)														
	$w=11\pm 0.4\%$														
	RC=90% ($\gamma_{s,d}=17.6$ kN/m ³)					RC=98% ($\gamma_{s,d}=19.2$ kN/m ³)					RC=94% ($\gamma_{s,d}=1.84$ kN/m ³)				
	1	2	3	4	평균	1	2	3	4	평균	1	2	3	4	평균
40	12.1	12.4	13.0	13.4	12.73	17.6	17.5	17.9	16.8	17.45	16.2	15.2	18.1	15.3	16.20
30	11.6	13.3	13.4	13.5	12.95	16.7	18.3	18.7	17.7	17.85	16.8	15.9	15.3	17.5	16.38
20	11.1	12.1	12.7	12.4	12.07	15.7	17.1	17.9	18.4	17.27	15.6	17.3	17.1	18.5	17.13
	$w=8\%$ (RC=94%)					$w=13.5\%$ (RC=94%)									
	1	2	3	4	평균	1	2	3	4	평균					
40	16.2	17.2	16.5	18.4	17.07	12.3	11.3	11.4	12.2	11.80					
30	15.2	18.6	15.6	19.1	17.13	11.1	13.4	12.3	11.9	12.18					
20	16.4	16.7	15.9	19.2	17.05	10.8	11.1	12.2	12.0	11.53					

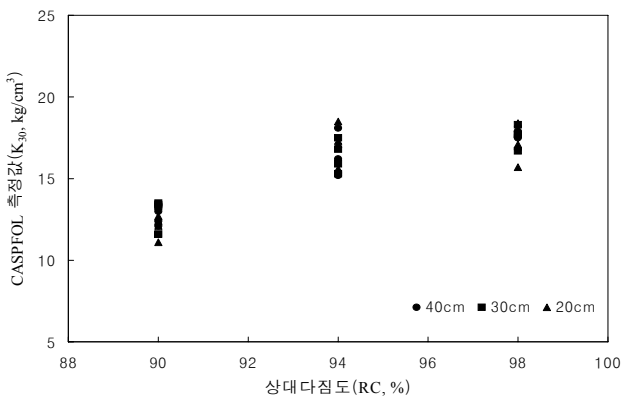


그림 12. 상대다짐도에 따른 K_{30} 의 변화

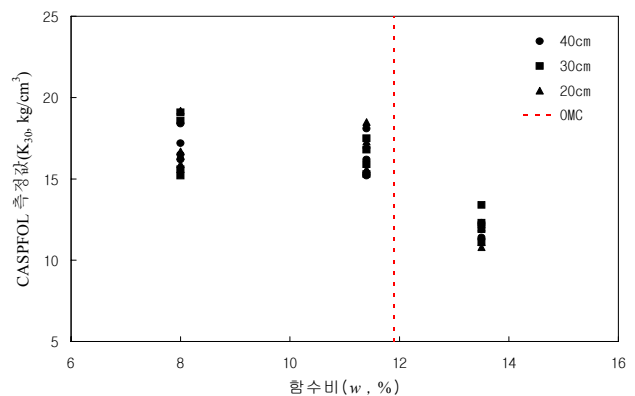


그림 13. 함수비에 따른 K_{30} 의 변화

3.1.3 동평판재하시험기(LFWD)

동평판재하시험기(LFWD)는 타격시 발생하는 침하량을 측정하여 E_{LFWD} 를 산정하게 되는데 그 측정 결과를 표 4에 나타내었으며, 상대다짐도에 따른 E_{LFWD} 의 변화를 그림 14에, 함수비에 따른 변화를 그림 15에 나타내었다. 그림 14 및 15에서 보는 바와 같이 LFWD로 측정된 E_{LFWD} 는 지오게이지의 E_G 값과 함수비 변화에 따른 변화양상이 유사하게 함수비의 증가에 따라 거의 선형적 감소를 보이는 것으로 나타났지만, 상대밀도의 변화에 대한 E_{LFWD} 의 변화는 지오게이지의 E_G 값과 CASPFOL의 K_{30} 값의 변화양상과 달리 상대밀도의 증가에 따라 거의 선형적으로 증가하는 것으로 나타났다. 다만, 다른 장비들의 시험결과와 달리 단 한번의 시험으로 얻어진 결과라는 점을 고려해 볼 때, 상대밀도와 함수비에 대한 정확한 변화양상을 확인하기 위해서는 추가적인 연구를 통해 좀 더 많은 양의 데이터를 바탕으로 분석해야 할 필요성이 있을 것으로 판단된다.

표 4. 동평판재하시험기(LFWD) 측정결과

측정높이 (cm)	측정 위치별 LFWD 측정값 (E_{LFWD} , MPa)		
	$w=11\pm0.4\%$		
	RC=90% ($\gamma_d=17.6 \text{ kN/m}^3$)	RC=98% ($\gamma_d=19.2 \text{ kN/m}^3$)	RC=94% ($\gamma_d=1.84 \text{ kN/m}^3$)
40	22.3	31.3	23.3
30	25.4	29.8	25.6
20	23.4	28.9	26.9
	$w=8\%$ (RC=94%)		$w=13.5\%$ (RC=94%)
40	33.4	22.5	
30	32.8	21.7	
20	31.3	22.8	

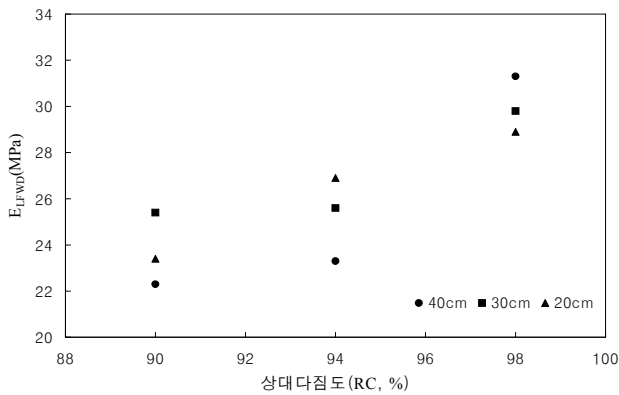


그림 14. 상대다짐도에 따른 E_{LFWD} 의 변화

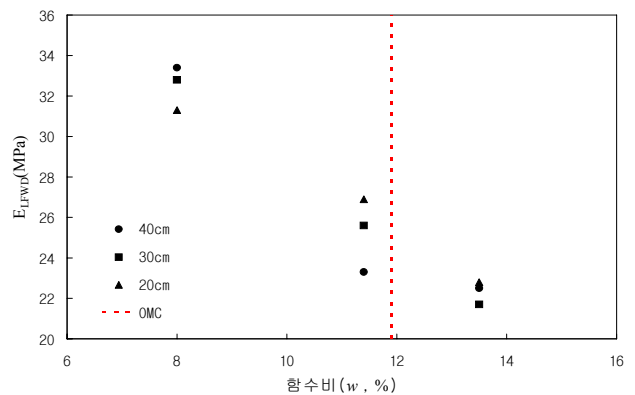


그림 15. 함수비에 따른 E_{LFWD} 의 변화

3.1.4 동적콘관입시험기(DCP)

동적콘관입시험기(DCP) 시험결과로 얻어진 각 시료별 DCP-PR(mm/blow)을 표 5에, 상대밀도와 함수비에 따른 변화를 그림 15와 16에 나타내었다. 그림 15에서 보는 바와 같이 DCP-PR은 상대밀도의 변화에 따라 증가하다가 94% 이상의 상대밀도에서 수렴하는 경향을 보였으며, 그림 16에서 보는 바와 같이 함수비의 변화에 따라 최적함수비의 건조측에서는 큰 변화를 보이지 않다가 최적함수비 이후 급격히 감소하는 것을 알 수 있다. DCP의 경우 시험장비의 특성상 다른 3가지 장비로 측정을 하지 않은 바닥으로부터 10cm 높이의 층에 대한 시험을 할 수 있었으며 그 결과 다른 층들에 비해 강도가 현저히 낮게 나타났으며, 이는 앞에서 설명한 바와 같이 다짐시 층이 얇은 관계로 바닥에서 발생하는 진동으로 인해 흙이 잘 다져지지 않았기 때문인 것으로 판단된다. 또한 DCP의 경우 표 5에서 보는 바와 같

이 바닥으로부터 40cm 높이의 층에 대한 시험결과가 다른 층들의 시험결과에 비해 다소 크게 나타나 강도가 상대적으로 약한 것으로 나타났는데 이는 처음 또는 두 번째 타격시 이후 타격시에 비해 관입량이 상대적으로 많이 발생했기 때문이며, 이러한 결과가 발생한 이유는 아래 지층에 비해 표면이 상대적으로 구속력이 덜 작용하기 때문인 것으로 판단된다.

표 5. 동적콘관입시험기(DCP) 측정결과

측정높이 (cm)	측정 위치별 DCP-PR(mm/blow) : 각 층에서의 평균값														
	$w=11\pm0.4\%$														
	RC=90%($\gamma_d=17.6 \text{ kN/m}^3$)					RC=98%($\gamma_d=19.2 \text{ kN/m}^3$)					RC=94%($\gamma_d=1.84 \text{ kN/m}^3$)				
	1	2	3	4	평균	1	2	3	4	평균	1	2	3	4	평균
40	9.75	9.28	8.75	8.92	9.18	8.2	7.42	6.77	7.24	7.41	7.27	7	7.58	7.68	7.38
30	8.55	8.9	8.64	8.87	8.74	7	6.19	6.19	6.59	6.49	6.38	6.67	7.46	5.71	6.55
20	8.75	8	8	8.5	8.31	6.18	5.65	6.73	6.25	6.20	6.86	6.73	7.69	5.7	6.75
10	11	9.78	9.3	10.63	10.18	10.67	10.8	11.8	11.87	11.29	9.36	9.22	10.38	9.38	9.59
	$w=8\%(RC=94\%)$					$w=13.5\%(RC=94\%)$									
	1	2	3	4	평균	1	2	3	4	평균					
40	8.8	8.33	8.7	7.21	8.26	15	14.28	15.29	14.57	14.79					
30	7.3	6.6	6.87	5.61	6.59	12.88	12.38	12.5	12.25	12.50					
20	7.85	6.69	5.76	6.38	6.67	15.2	13.88	12.14	12.25	13.37					
10	12.3	10.33	8.82	10.88	10.58	20.25	16.6	17.33	16.16	17.59					

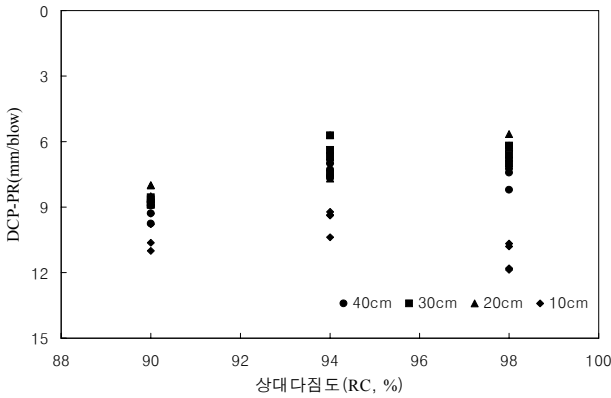


그림 16. 상대다짐도에 따른 DCP-PR의 변화

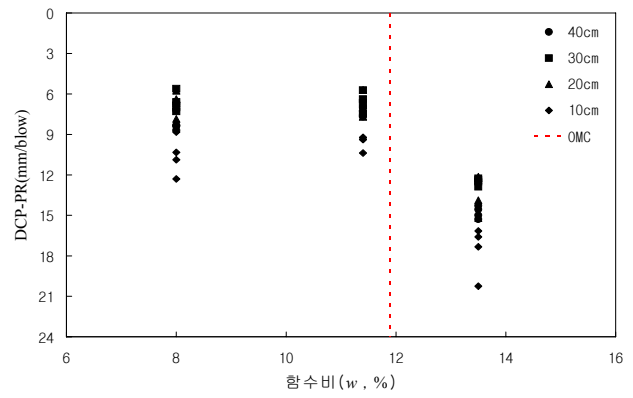


그림 17. 함수비에 따른 DCP-PR의 변화

3.2 시험장비간 상관관계 분석

이 연구에서는 시험장비간 상관관계를 파악하기 위하여 회귀분석을 실시하였으며, 그 결과를 그림 18~23에 나타내었다. 분석 결과 그림 18에 나타난 바와 같이 지오게이지의 측정값 E_G 와 K_{30} (70.6%), E_G 와 E_{LFW} (74.62%)의 상관관계가 70% 이상으로 비교적 좋게 나타났으며, DCP 측정값인 DCP-PR의 경우 다른 장비들에 비해 상관관계가 다소 낮은 것으로 나타났다. DCP 측정값이 다른 장비들과 상관관계가 낮게 나타난 이유는 앞에서 설명한 바와 같이 표층에서 다소 크게 발생한 DCP-PR 값에 원인이 있다고 생각되며 이 층을 제외한 상관관계 해석시 상관관계가 다소 증가하는 것을 확인할 수 있다. 또한, DCP의 경우 함수비가 최적함수비를 넘어서면서 다른 장비들에 비해 지반강도가 현저하게 감소하는 것 역시 한 가지 원인인 것으로 판단되며, 함수비의 변화에 따라 비슷한 변화 양상을 보이는 CAPFOL의 측정값 K_{30} 과의 상관관계가 다른 장비들에 좀 더 크게 나타난 이유도 이에 기인한다고 판단된다.

이 연구결과에서 나타난 상대밀도와 함수비에 대한 시험결과의 경향, 장비간 상관관계로 볼 때 좀 더 다양한 지반, 더 많은 실내·현장시험을 통해 데이터를 축적하고, 기존의 다짐평가 장비인 평판재하시험

등을 병행하여 그 결과를 비교, 분석한다면 이들 4종류의 다짐평가장비들은 시험이 간편하고, 빠르고, 취급이 용이한 다짐평가장비로 현장적용성에 대한 가능성은 충분한 것으로 판단된다.

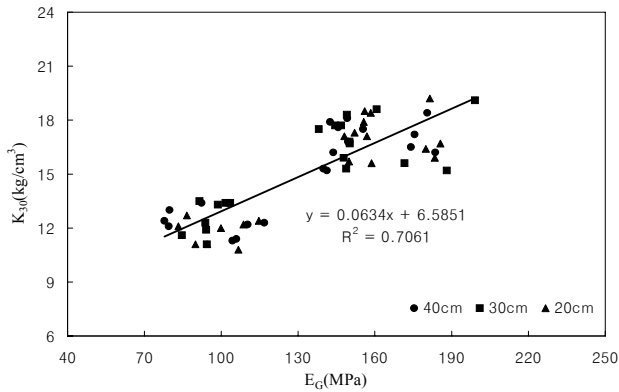


그림 18. $E_G - K_{30}$ 의 상관관계 분석결과

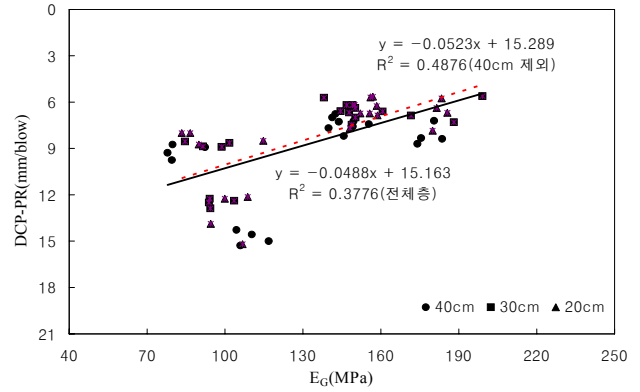


그림 19. $E_G - \text{DCP-PR}$ 의 상관관계 분석결과

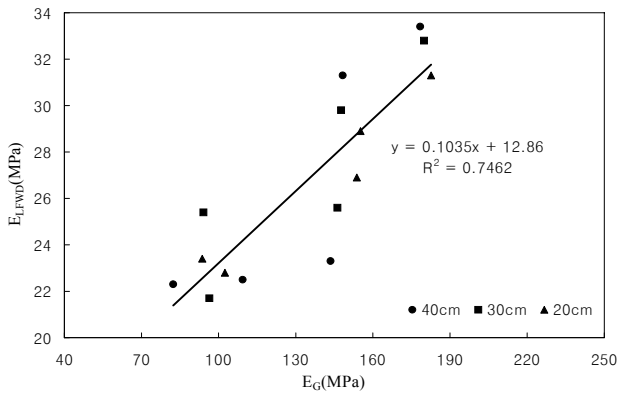


그림 20. $E_G - E_{LFWD}$ 의 상관관계 분석결과

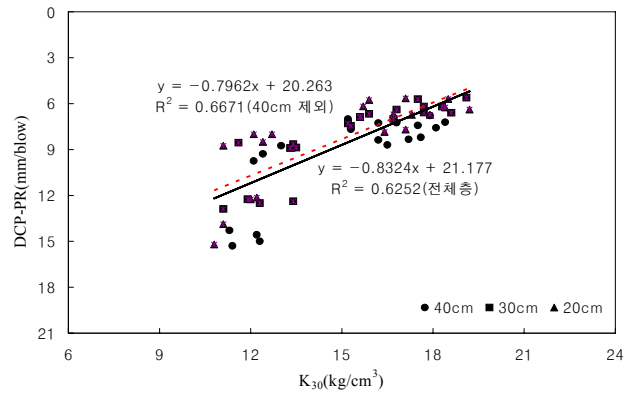


그림 21. $K_{30} - \text{DCP-PR}$ 의 상관관계 분석결과

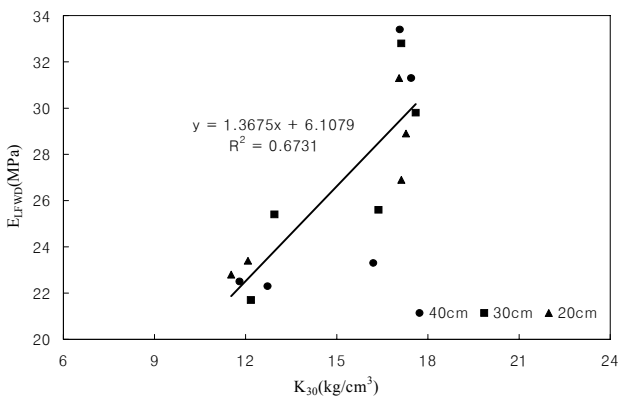


그림 22. $K_{30} - E_{LFWD}$ 의 상관관계 분석결과

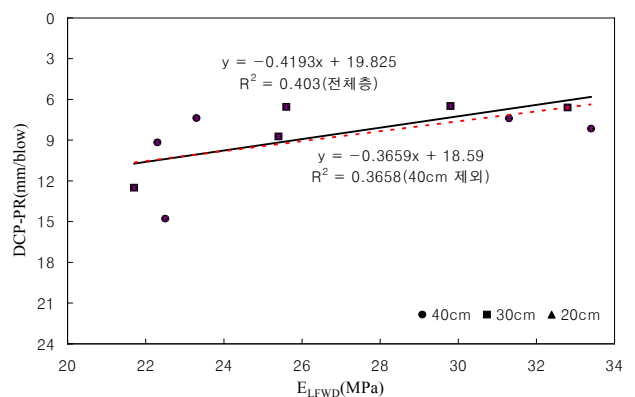


그림 23. $E_{LFWD} - \text{DCP-PR}$ 의 상관관계 분석결과

4. 결 론

이 연구에서는 시험이 간편하고, 쉽고, 빠른 결과를 얻을 수 있는 다짐평가장비인 geogauge, LFWD, CASPFOL, DCP의 적용성 및 장비간 상관성 분석을 위하여 시료의 상대밀도를 90%, 94%, 98%, 함수

비를 8%, 11%±0.4, 13.5%로 바뀌가면서 실내모형시험을 실시하였으며, 시험결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) geogauge, CASPFOL, DCP의 경우 상대밀도의 증가에 따라 증가하다 상대밀도 94% 이후 수렴하는 경향을 나타냈으며, LFWD의 경우 상대밀도의 증가에 따라 거의 선형적인 증가경향을 나타내었다.
- 2) geogauge와 LFWD는 함수비의 증가에 따라 거의 선형적인 감소경향을 나타내었으며, CASPFOL과 DCP의 경우 최적함수비의 건조측에서는 큰 변화를 보이지 않고 최적함수비 이후 급격하게 감소하는 경향을 나타내었다.
- 3) 상관관계 분석결과 지오게이지의 측정값 E_G 와 K_{30} (70.6%), E_G 와 E_{LFWD} (74.62%)의 상관관계가 70% 이상으로 비교적 좋게 나타난 반면, DCP의 경우 다른 장비들과의 상관관계가 비교적 낮은 것으로 나타났다.
- 4) DCP의 상관관계가 비교적 낮은 것은 DCP의 경우 구속압력이 존재하지 않는 시료표면에서 다소 크게 발생한 DCP-PR 값과, 함수비가 최적함수비를 넘어서면서 다른 장비들에 비해 지반강도가 현저하게 감소하는데 그 원인이 있는 것으로 판단된다.
- 5) 다양한 지반, 많은 실내·현장시험을 통해 데이터를 축적하고, 기존의 다짐평가 장비인 평판재하시험 등을 병행하여 그 결과를 비교, 분석한다면 이들 장비는 다짐평가장비로 현장적용성에 대한 가능성은 충분한 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 건설핵심기술연구개발사업 “텔레매틱스를 활용한 지능형 성토다짐/운송시스템 개발” (06건설핵심D02)의 지원으로 수행되었음을 밝힙니다.

참 고 문 헌

1. Abu-Farsakh, Y. Murad, Alshibli, K., Nazzal, D. Munir, and Seyman, Ekrem(2004), "Assessment of In-situ Test Technology for Construction Control of Base Courses and Embankments", Louisiana Transportation Research Center.
2. Chen, D. H., Wang, J. N. and Bilyeu, J.(2001), "Application of the DCP in Evaluation of Base and Subgrade layers", *80th Annual Meeting of Transportation Research Board*, Washington, D. C.
3. Fiedler, S., Nelson, C., Berkman, F. and Dimillio, A.(1998), "Soil Stiffness Gauge for Soil Compaction Control.", *public Road Magazine*, Vol. 61, No. 5, pp.5 ~ 11.
4. Kleyn, E. G.(1975), "The Use of the Dynamic Cone Penetrometer(DCP)", Report 2/74. *Transvaal Roads Department*, Pretoria.
5. Konard, J-M., and Lachance, D.(2000), " Mechanical Properties of Unbound Aggregates from DCP and Plate Load Test", *Proceedings of the Fifth International Conference on Unbound Aggregate in Roads*, Nottingham, United Kingdom.