

현장시험을 통한 다양한 지반강성 평가방법에 대한 연구

유완규^{1*}, 김병일¹, 김주형², 박근보²

¹명지대학교 토목환경공학과, ²한국건설기술연구원 지반연구실

A Study on Various Soil Stiffness Evaluation Methods with Field Test

Wan-Kyu Yoo^{1*}, Byoung-II Kim¹, Ju-Hyong Kim² and Keun-Bo Park²

¹Dept. of Civil & Environmental Eng., Myongji University

²Geotechnical Eng. & Tunnelling Research Div., KICT

요 약 현재 우리나라의 다짐관리와 평가에는 주로 평판재하시험, 현장에서 모래치환법에 의한 흙의 밀도 시험방법 등이 이용되고 있지만 이러한 방법들은 여러 문제점을 갖고 있다. 지난 30년 동안 문제점을 보완하기 위해 유럽, 미국 등을 중심으로 연속다짐관리에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 이 외에도 새로운 다짐평가장비인 지오게이지, 동평판재하시험기, 동적콘관입시험기 등을 개발하여 사용하고 있다. 이 연구에서는 이러한 새로운 다짐평가장비들을 기존 다짐평가방법을 보완, 대체할 수 있는 시험방법으로 활용하고자 시험성토를 통하여 현장시험을 실시하였다. 그 결과 연속다짐평가 장비인 컴팩토미터와 동평판재하시험기의 경우 기존 다짐도 평가 방법인 평판재하시험, 현장밀도시험결과와 경향이 비교적 잘 일치하는 것으로 나타났다.

Abstract The plate loading test(PLT) and the field density test are mainly used on the construction of embankments to control the compaction of a limited layer thickness. These two test methods are very time consuming and inefficient, but they are still commonly used as the methods of quality control for soil compaction. In the last 3 decades, many devices such as geogauge, light falling weight deflectometer(LFWD) and dynamic cone penetrometer(DCP) etc., have been introduced into the engineering market with the objective of acquiring in situ stiffness properties of the compacted soil layers. Recently, a new type of sensor, called compactometer, which is mounted on the drum of a roller and measures impact forces continuously with GPS, called as Continuous Compaction Control(CCC), has come into use in many countries such as America, Germany, Japan and so on. The main objective of this paper is to assess the potential use of these new devices as quality control and assurance devices for compacted soil layers. Based on this study, compactometer and the LFWD results were strongly correlated with the result obtained from the PLT and the field density test.

Key Words : Degree of compaction, Continuous Compaction Control(CCC), Geogauge, Light Weight Falling Deflectometer(LFWD), Dynamic Cone Penetrometer(DCP)

1. 서론

토목공사에서 성토작업은 흙을 쌓아 얽은 부지를 조성하거나 도로 등을 건설하는데 반드시 필요한 공정이다. 다짐공정은 이러한 성토 작업에서 흙의 물리적, 역학적

특성을 개선하기 위하여 반드시 요구되며 흙을 다짐으로써 강도와 지지력 증가, 투수성 감소, 과도한 침하 방지 및 감소, 동상(frost heave)이나 수축 등 바람직하지 않은 부피변화 억제 등의 효과를 얻을 수 있다[1]. 따라서 다짐 공정 중 다짐의 관리와 평가는 매우 중요하며 객관적으

이 논문은 국토해양부 건설기술혁신사업(06건설핵심-D-02)에 의해 수행된 연구의 일부이며, 이 연구를 지원해준 국토해양부/한국건설교통기술평가원에 감사의 말씀을 드립니다.

*교신저자 : 유완규(lyu5553@hanafos.com)

접수일 10년 02월 01일

수정일 10년 03월 23일

게재확정일 10년 04월 09일

로 이루어져야 한다. 현재 우리나라의 다짐관리와 평가에는 주로 평판재하시험[2], 현장에서 모래치환법에 의한 흙의 밀도 시험방법[3], 흙의 다짐 시험 방법[4] 등이 이용되고 있다. 하지만 이러한 방법들은 큰 반력하중과 많은 시간을 필요로 하거나 시험결과가 시험자의 경험과 숙련도에 큰 영향을 받는 등의 문제점을 갖고 있다.

이와 같은 단점을 보완하기 위해 지난 30년 동안 유럽, 미국 등을 중심으로 연속다짐관리(Continuous Compaction Control, CCC)에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 연속다짐관리 방법은 다짐시공시 다짐평가를 동시에 연속적으로 수행할 수 있는 방법으로 진동 다짐 로울러에 가해지는 진동과 이로 인한 지반의 반발력의 관례로 지반 강성을 측정하는 방법이다. 외국의 경우 이미 연속다짐관리 방법에 대한 많은 시방기준들이 제시되고 있는데 대표적인 예로 스웨덴의 “ROAD94”, 오스트리아의 “Technical Contract Stipulation RVS 8S.02.6, Earthworks, Continuous Compaction Integrated Compaction-Proof (Proof of compaction)” 등이 있으며, 미국의 경우 2007년 “Compaction by IC, LFWD & Test Rolling-Pilot Specification for Embankment Grading Materials”이 미네소타주 교통국(Mn/DOT)에 의해 제안되었다. 반면 국내의 경우 조성민 등[5]이 연구한 “반발력을 이용한 다짐도 검사기법” 연구 이외에 이에 대한 연구조차도 전무한 실정이다. 이외에도 유럽, 미국, 일본 등에서는 간편성, 신속성, 경제성, 접근성 등이 우수한 새로운 다짐평가장비인 지오게이지(geogauge), 동적콘관입시험기(Dynamic Cone Penetrometer, 이하 DCP), 동평판재하시험기(Light Weight Falling Deflectometer, 이하 LFWD) 등을 개발하여 사용하고 있다.

이 연구에서는 이러한 새로운 다짐평가장비들을 기존 다짐평가방법을 보완, 대체할 수 있는 시험방법으로 활용하고자 시험성토를 통하여 현장시험을 실시하였고 그 결과를 기존 다짐평가 방법인 평판재하시험, 들밀도시험결과와 비교 분석하였다.

2. 새로운 다짐평가 장비

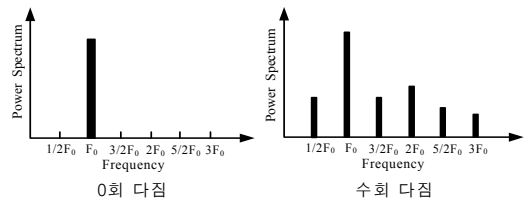
2.1 컴팩토미터(Compactometer)

스웨덴 Geodynamik사에서 개발한 연속다짐평가 장비로 진동로울러 드럼에 센서를 부착하여 진동로울러에 가해지는 진동과 진동으로 인한 반발력의 관계를 이용하여 지반의 강성을 연속적으로 측정하는 장치이다(그림 2 (a) 참조). 진동로울러의 진동주기에 따른 지반반력은 지반의

강성에 따라 다양한 형태로 나타나며, 여기서 얻어진 진동 가속도 값에 대해 고속 푸리에변환(Fast Fourier Transform, FFT)을 적용하면 그림 1과 같은 주파수 파워스펙트럼을 구할 수 있다. 그림 1의 주파수 파워스펙트럼을 이용하여 식 (1)과 같이 CMV(compactometer value)를 산정 할 수 있으며, 제작사인 Geodynamik사에서 제안한 흙의 종류에 따른 일반적인 CMV 값은 표 1과 같다.

$$CMV = (A4/A2) \times 300 \quad (1)$$

여기서, A2 : F₀ 해당 진폭, A4 : 2F₀ 해당 진폭
F₀ : 진동장치에서 발생된 기본 진동수



[그림 1] 다짐횟수 증가에 따른 주파수 파워스펙트럼

[표 1] CMV에 따른 흙의 종류

흙의 종류	CMV	흙의 종류	CMV
암성토	60~100	모래	20~50
자갈	30~80	점토 및 실트	5~30

2.2 동평판재하시험기(LFWD)

이 연구에서 사용된 동평판재하시험기(그림 2 (b) 참조)인 “Light Drop Weight Tester ZFG2000”은 10kg 추를 재하판에 자유낙하시켜 변위량(δ_c)을 측정하고 이를 식 (2)을 이용한 소프트웨어를 통해 동평판재하시험의 탄성 계수(E_{LFWD}, MPa)로 나타낸다.

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

여기서, σ : 적용된 응력, R : 재하판 반경
ν : 포아송비

2.3 지오게이지(geogauge)

지오게이지(그림 2 (c) 참조)의 기술은 원래 지뢰 발견을 위한 방위산업에 의해 발전되었다[6]. 장비의 무게는 약 10kg이고 직경 280mm, 높이 254mm이다. 외경

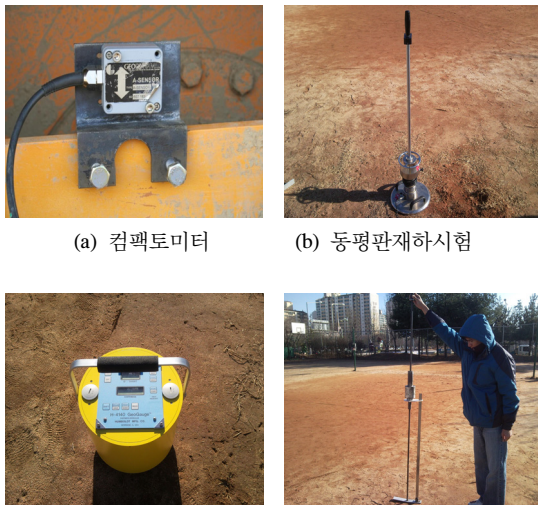
114mm, 내경 89mm, 두께 13mm의 흙에 접촉하는 환형 링을 갖고 있다[7]. 지오게이지 강성 측정값(H_{SG} , MN/m)은 식 (3)을 이용해 지오게이지 탄성계수(E_G , MPa)로 변환된다.

$$E_G = H_{SG} \frac{(1-\nu^2)}{1.77R} \quad (3)$$

여기서, ν : 포아송비, R : 다리 반경(57.15 mm)

2.4 동적콘관입시험기(DCP)

동적콘관입시험기(DCP)(그림 2 (d) 참조)는 남아프리카에서 포장부의 현장 평가를 위해 개발되었다[8]. 시험은 575mm 높이에서 추를 낙하시켜 타격에 대한 관입깊이를 기록하여 관입속도(DCP-PR)를 계산한다.



(a) 컴팩토미터 (b) 동적관입시험
(c) 지오게이지 (d) 동적콘관입시험

[그림 2] 새로운 다짐평가 장치

3. 현장시험

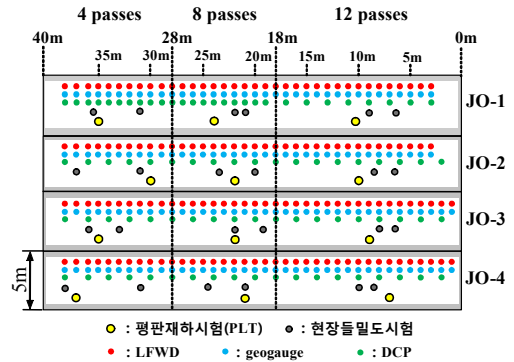
3.1 시험부지 및 재료

현장시험은 경기도 일산에 위치한 OO 공사 현장에서 표 2, 그림 3과 같이 조건을 달리한 4개의 레인(폭 5m, 길이 40m)을 3구역으로 나누어 컴팩토미터를 진동다짐로 울러에 장착한 후 다짐횟수를 4, 8, 12회로 달리하여 다짐을 수행하며 CMV를 측정하였고, 각각의 다짐평가시험을 실시하였다. JO-1현장시험에 사용한 흙은 통일분류법(USCS)상 GP로 기본물성치는 표 3와 같고 입도분포 곡

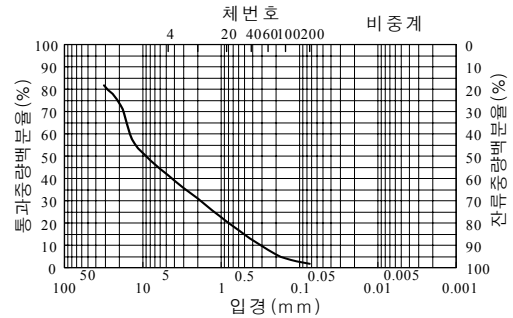
선은 그림 4와 같다.

[표 2] 각 시험레인에 대한 시험조건

시험레인	다짐횟수	다짐속도	다짐방향	측정방법
JO-1	4, 8, 12	4km/h	전진 후 후진	분할
JO-2	4, 8, 12	8km/h	전진 후 후진	분할
JO-3	4, 8, 12	4km/h	후진 후 전진	분할
JO-4	4, 8, 12	4km/h	전진 후 후진	연속



[그림 3] 시험조건 및 시험위치



[그림 4] 시험에 사용된 흙의 입도분포곡선

[표 3] 시험에 사용된 흙의 물성치

흙 종류	비중 (G_s)	OMC (%)	γ_{dmax} (kN/m ³)	함수비 (%)	USCS
화강풍화토	2.67	8.57	20.38	11.96	GP

* 함수비는 4개 레인에 대한 평균 값임

3.2 시험장비

3.2.1 다짐장비

현장시험에 사용된 다짐로울러는 일본 SAKAI사에서 제작한 SV500으로 다짐 폭이 약 2.2m이고 진동횟수는 23~28Hz까지 조절이 가능한 제품으로 총 중량은 약

10ton이다. 다짐로울러에는 그림 2(a)와 같이 컴팩토미터를 설치하여 연속적으로 지반강성을 측정하였다.

3.2.2 다짐평가시험

이 시험에서는 다짐도 평가를 위하여 새로운 다짐평가 장비와 더불어 평판재하시험(PLT), 현장들밀도시험도 함께 실시하였으며, PLT결과로부터 식 (4)을 이용하여 E_{PLT} 를 산정하였다[8].

$$E_{PLT} = \frac{2P(1-\nu^2)}{\pi R\delta} \quad (4)$$

여기서, E_{PLT} : 탄성계수, P : 작용하중,

R : 재하판 반지름, δ : 재하판 침하량

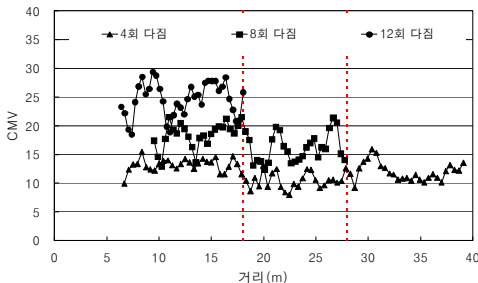
시험지층의 탄성계수(E_{PLT}) 계산을 위한 하중크기와 침하량은 시험에서 측정된 ‘하중-침하’곡선의 초기부분 접선을 이용하였다.

4. 시험결과 및 분석

4.1 JO-1 시험결과

4.1.1 컴팩토미터(CMV) 시험결과

JO-1은 다짐로울러로 4km/h 속도와 27~28Hz 진동수의 진동을 가하여 다짐을 실시하였으며 이 때 측정된 컴팩토미터의 CMV는 그림 5와 같다. JO-1의 경우 다짐횟수 증가에 따른 CMV 증가를 확인할 수 있었으며 11회와 12회 다짐시 CMV는 5~15m 구간에서 20~30정도로 가장 큰 값을 나타내었다.



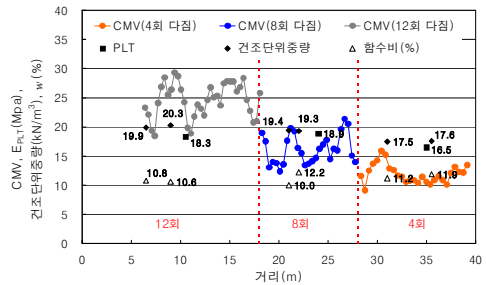
[그림 5] 컴팩토미터(Compactometer)결과(JO-1)

4.1.2 평판재하시험(PLT), 현장들밀도시험결과

그림 6은 CMV와 평판재하시험(PLT)으로 구한 E_{PLT}

(MPa), 현장들밀도시험으로 구한 건조단위중량(γ_d , kN/m^3)과 지반 함수비(%)를 비교한 것이다.

그림 6에서와 같이 CMV의 경우 다짐횟수 증가에 따라 뚜렷한 증가 경향을 보이는 반면 E_{PLT} 의 경우 4회에서 8회로 다짐횟수 증가에 따라 증가하는 경향을 보이다가 8회에서 12회로 다짐횟수 증가시 약간 감소하는 경향을 보인다. 하지만 12회 다짐에 대한 E_{PLT} 측정 위치의 경우 CMV 값 역시 12회 다짐구역 중 지반 강성이 가장 작은 위치로 CMV와 E_{PLT} 값이 유사한 결과를 나타낸다고 볼 수 있다. 또한, 현장들밀도시험 측정 위치에서의 CMV 변화에 따른 건조단위중량의 변화는 4회 다짐시 35.5m(17.6kN/m³) 지점에서 측정된 결과가 약간 높게 나타난 것을 제외하면 거의 유사한 경향을 보이는 것으로 나타났다.



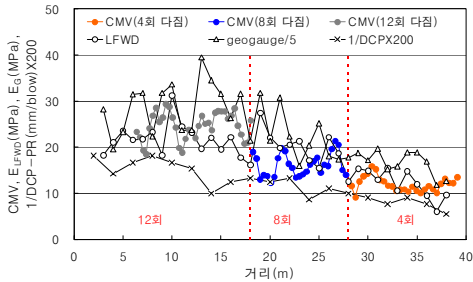
[그림 6] 평판재하시험, 현장들밀도시험결과(JO-1)

4.1.3 지오게이지, LFWD, DCP시험결과

그림 7은 다짐횟수에 따른 CMV와 LFWD로 측정된 동적탄성계수 E_{LFWD} (MPa), 지오게이지로 측정된 지반강성 E_G (MPa), DCP로 측정된 DCP-PR(mm/blow)의 거리에 따른 변화를 나타낸 것이다. E_G 의 경우 값이 일반적으로 크게 산정되어 비교를 쉽게 하기 위하여 이 현장시험에서는 E_G 를 5로 나누어 정규화 한 값(geogauge/5)을 적용하였다. 또한, DCP-PR의 경우 지반강성이 커질수록 감소하는 특징을 나타내므로 다른 시험결과와 비교를 용이하게 하기 위하여 DCP-PR의 역수를 취하고 다른 시험결과와 유사한 크기의 값을 갖도록 200을 곱하여 나타내었다.

그림 7에서와 같이 CMV와 E_G 의 변화양상이 일부구간에서는 유사하게 보이지만 약 13m와 20m 부근에서 CMV 값에 비해 E_G 값이 상대적으로 크게 산정되었으며 4회 다짐 구간에서는 CMV가 감소하는 경향을 보이는데 반해 E_G 의 경우 증가하는 경향을 보이는 것으로 나타났다. E_{LFWD} 의 경우 15에서 20m 정도 구간을 제외

한 전 구간에서 변화양상이 거의 유사한 것으로 나타났다. 한편 DCP로 측정된 지반강성은 CMV와 같이 다짐횟수 증가에 따라 증가하는 경향을 잘 나타내기는 하지만 각 위치에 따른 값의 변화 양상은 잘 일치하지 않는 것으로 나타났다.



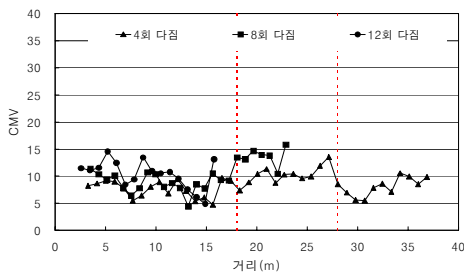
[그림 7] LFWd, 지오게이지, DCP 시험결과(JO-1)

4.2 JO-2 시험결과

4.2.1 컴팩토미터(CMV) 시험결과

JO-2는 CMV 값에 대한 다짐속도 영향을 파악하기 위하여 다짐로울러를 다른 레인에서 적용한 4km/h의 2배인 8km/h 속도로 다짐을 실시하였으며 이 때 측정된 CMV는 그림 8과 같다. 그림 8에서와 같이 JO-2 레인의 경우 CMV 측정결과 8회 다짐구간(18~28m)이 12회 다짐구간(0~18m)과 지반강성이 비슷하거나 약간 큰 것으로 나타났다. 또한 다짐속도가 빠르기 때문에 4km/h의 속도로 다짐을 실시한 다른 레인에 비해 CMV 측정 수가 상대적으로 적었으며 값의 변화도 크게 발생하였다.

JO-2의 경우 다짐횟수 증가에 따라 CMV가 증가하는 경향을 보이긴 하였으나 그 차이와 값의 크기는 JO-1에 비해 상대적으로 작게 나타났다. 이러한 결과가 나타난 이유는 빠른 다짐속도와 함수비 등의 지반조건으로 인해 다짐효과가 덜 발생해 지반 강성이 작기 때문인 것으로 판단되며 이러한 결과는 평판재하시험 등 다른 다짐평가 장비의 결과에서도 유사하게 나타났다.

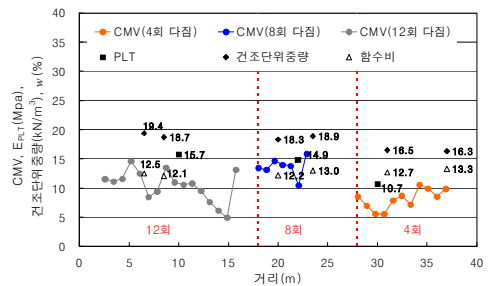


[그림 8] 컴팩토미터(Compactometer)결과(JO-2)

4.2.2 평판재하시험(PLT), 현장들밀도시험결과

그림 9는 CMV와 E_{PLT} (MPa), 건조단위중량(γ_d , kN/m^3), 지반 함수비(%)를 비교한 것인데 그림에서와 같이 CMV의 경우 8회 다짐구간이 12회 다짐구간에 비해 지반강성이 비슷하거나 약간 큰 것으로 나타났으며 4회에서 8회로 다짐횟수 증가에 따라 CMV 역시 크게 증가하는 경향을 나타내었는데 이러한 경향은 E_{PLT} 의 경우와 유사하게 나타났다. 특히 E_{PLT} 측정위치에서의 CMV와 E_{PLT} 를 비교할 경우 CMV 변화 따른 E_{PLT} 의 변화가 더욱 잘 일치하는 것으로 나타났다.

그림 9에서와 같이 현장들밀도시험 측정 위치에서의 CMV 변화에 따른 건조단위중량의 변화는 8회 다짐에 대한 건조단위중량이 12회 다짐에 대한 건조단위중량에 비해 약간 작게 나타났지만 전반적으로 거의 유사한 것으로 나타났다.

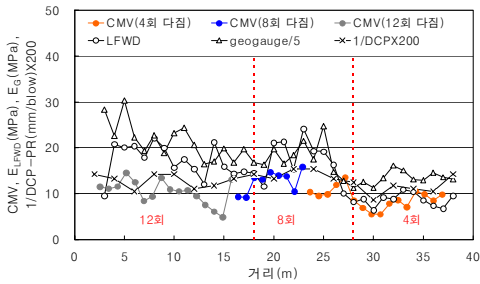


[그림 9] 평판재하시험, 현장들밀도시험결과(JO-2)

4.2.3 지오게이지, LFWd, DCP시험결과

그림 10은 JO-2의 다짐횟수에 따른 CMV와 E_{LFWd} (MPa), E_G (MPa), DCP-PR(mm/blow)의 거리에 따른 변화를 나타낸 것이다. 그림 10에서와 같이 CMV와 E_G 값의 증감에 따른 변화양상은 전반적으로 유사하게 나타나기는 하지만 E_G 값이 12회 다짐구간에서 상대적으로 매우 크게 산정된 것으로 나타났다.

E_{LFWd} 의 경우 CMV와 비교시 값 증감에 따른 변화 형태가 거의 유사한 것으로 나타났고 8회와 12회 구간의 값이 전반적으로 유사한 값을 보여 앞에서 설명한 ‘CMV-PLT’, ‘CMV-현장들밀도시험’ 결과와 잘 일치하는 것으로 나타났다. 한편 JO-2의 경우 DCP로 측정된 지반강성의 변화양상은 CMV의 변화양상과 15m 부근을 제외한 전 구간에서 비교적 잘 일치하는 것으로 나타났다.

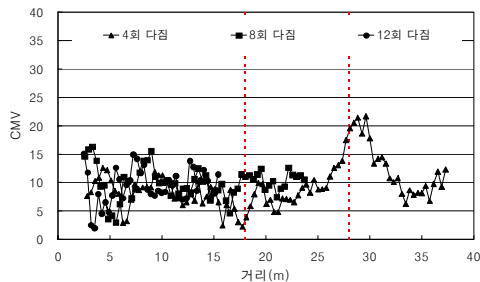


[그림 10] LFWD, 지오게이지, DCP 시험결과(JO-2)

4.3 JO-3 시험결과

4.3.1 컴팩토미터(CMV) 시험결과

JO-3은 다짐로울러의 전·후진 방향이 CMV에 미치는 영향을 파악하기 위하여 4km/h 속도로 후진하여 먼저 다짐을 수행하고 이후 전진하여 다짐을 수행하는 식으로 다른 다짐레인과 반대로 로울러를 운행하여 다짐을 실시하였다. 이 때 측정된 CMV는 그림 11과 같다. JO-3의 경우 JO-2와 같이 다짐횟수 증가에 따른 CMV 증가를 뚜렷하게 확인 할 수 없었다. 이러한 결과는 평판재하시험과 현장들밀도시험 등 다른 다짐평가시험 결과와도 유사하게 나타나는데 CMV가 다짐횟수를 증가시켰음에도 크게 증가하지 않은 이유는 상대적으로 CMV 값이 크게 산정된 JO-1, JO-4레인에 비해 JO-2, JO-3레인의 함수비가 상대적으로 큰 것으로 나타나 다짐 에너지에 비해 다짐효과가 크게 발생하지 않았기 때문인 것으로 판단된다. JO-3의 경우 13~18m, 23~26m 구간이 다른 구간에 비해 상대적으로 지반강성이 작은 것으로 측정되었다.



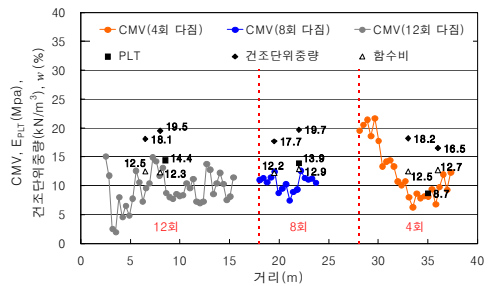
[그림 11] 컴팩토미터(Compactionmeter)결과(JO-3)

4.3.2 평판재하시험(PLT), 현장들밀도시험결과

그림 12는 JO-3 레인의 CMV와 E_{PLT} (MPa), 건조단위중량(γ_d , kN/m^3), 지반 함수비(%)를 비교한 것인데 그림에서와 같이 CMV의 경우 8회 다짐구간이 12회 다짐구간에 비해 지반강성이 비슷하거나 약간 큰 것으로 나타났으며 4회에서 8회로 다짐횟수 증가시 약 28~31m 구

간에서 4회 다짐시의 CMV 값이 8회 다짐시에 비해 크게 증가하는 경향을 나타내었지만 E_{PLT} 측정위치에서의 CMV와 E_{PLT} 를 비교할 경우 CMV 변화 따른 E_{PLT} 의 변화가 비교적 잘 일치하는 것으로 나타났다.

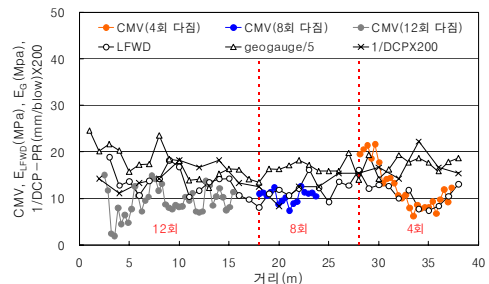
CMV와 현장들밀도시험으로 구한 건조단위중량(γ_d , kN/m^3)과 지반 함수비(%)를 비교했을 때 현장들밀도시험 측정 위치에서의 CMV 변화에 따른 건조단위중량의 변화는 8회 다짐에 대한 건조단위중량이 12회 다짐에 대한 건조단위중량에 비해 약간 작게 나타났지만 전반적으로 거의 유사한 것으로 나타났다.



[그림 12] 평판재하시험, 현장들밀도시험결과(JO-3)

4.3.3 지오게이지, LFWD, DCP시험결과

그림 13은 JO-3의 다짐횟수에 따른 CMV와 E_{LFWD} (MPa), E_G (MPa), DCP-PR(mm/blow)의 거리에 따른 변화를 나타낸 것이다. JO-3의 경우 29~30m 지점에서 CMV에 비해 E_{LFWD} 가 다소 작게 산정되었지만 이를 제외한 전 구간에서 그 변화 양상이 잘 일치하는 것을 알 수 있다. E_G 의 경우 E_G 값이 4회와 12회 구간에서 상대적으로 크게 산정되어 E_{LFWD} 에 비해 잘 일치하지 않는 것으로 나타났다. 한편, DCP로 측정한 지반강성 변화양상의 경우 CMV 값 변화양상과 8회 다짐 구역을 제외한 전 구간에서 일치하지 않는 것으로 나타나 나았다.

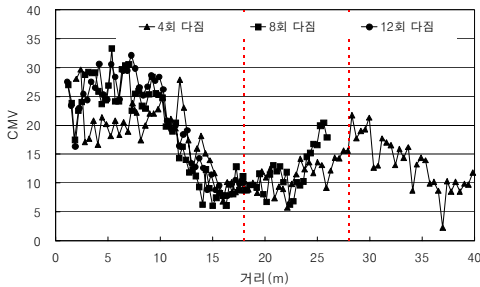


[그림 13] LFWD, 지오게이지, DCP 시험결과(JO-3)

4.4 JO-4 시험결과

4.4.1 컴팩토미터(CMV) 시험결과

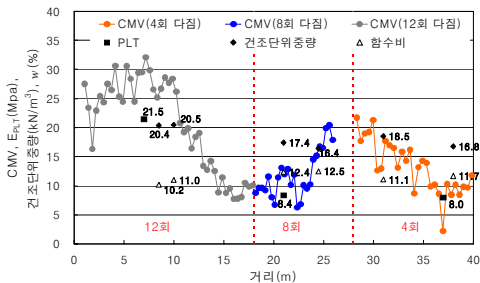
JO-4에서는 JO-1과 동일한 조건으로 다짐로울러의 멈춤 없이 CMV를 1~12회 다짐시까지 연속적으로 측정하였으며 그 결과를 그림 14에 나타내었다. JO-4의 경우 다짐횟수의 증가에 따라 CMV이 증가하는 경향을 보이긴 하지만 4회에서 8회로 다짐횟수가 증가할 때에 비해 8회에서 12회로 다짐횟수가 증가할 때 그 증가량이 상대적으로 작아 8회 이후 CMV 값은 거의 수렴하는 경향을 나타내었다. 또한 JO-4는 JO-3과 유사하게 10~25m 구간이 다른 구간에 비해 상대적으로 지반 강성이 약하게 나타났고 이러한 경향은 지오게이지(E_G)시험을 제외한 다른 다짐평가시험결과와 유사한 것으로 나타났다.



[그림 14] 컴팩토미터(Compactometer)결과(JO-4)

4.4.2 평판재하시험(PLT), 현장들밀도시험결과

그림 15는 JO-4 레인의 CMV와 E_{PLT} (MPa), 건조단위 중량(γ_d , kN/m³), 지반 함수비(%)를 비교한 것인데 그림에서와 같이 CMV 값은 약 0~10m, 25~30m 구간에서 다른 구역에 비해 상대적으로 매우 큰 값을 나타내었다.



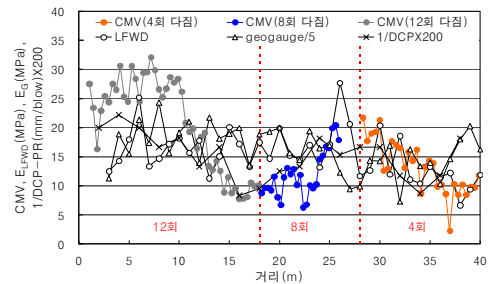
[그림 15] 평판재하시험, 현장들밀도시험결과(JO-4)

이러한 결과는 E_{PLT} 의 경향과 잘 일치하는 것으로 나타났는데 CMV가 작게 평가된 위치(4, 8회 시험위치)에서 결정된 E_{PLT} 값은 작게 나타난 반면 CMV가 상대적으로

으로 큰 값으로 나타난 위치(12회 시험위치)에서 결정된 E_{PLT} 값은 2배 이상 큰 값을 나타내었다. 또한, 현장들밀도시험 측정 위치에서의 CMV 변화에 따른 건조단위중량의 변화는 8회 다짐구간에서 측정된 값을 제외하면 전반적으로 잘 일치하는 결과를 나타내었다.

4.4.3 지오게이지, LFWD, DCP시험결과

그림 16은 JO-4 레인의 다짐횟수에 따른 CMV와 E_{LFWD} (MPa), E_G (MPa), DCP-PR(mm/blow)의 거리에 따른 변화를 나타낸 것이다. JO-4 레인에 대한 E_{LFWD} 의 경우 12회 다짐 구역에서 CMV 값에 비해 다소 작게 산정되긴 했지만 전반적인 값의 증감 경향은 비교적 잘 일치하는 것으로 나타났고, E_G 의 경우 변화양상이 전체 구간에 걸쳐 잘 일치하지 않는 것으로 나타났다. 반면, DCP로 측정된 지반강성의 변화양상은 CMV의 변화양상과 비교적 잘 일치하는 것으로 나타났다.



[그림16] LFWD, 지오게이지, DCP 시험결과(JO-4)

5. 결론

현장 시험시공을 통해 다양한 다짐도 평가장비들의 시험결과를 비교, 분석해 본 결과 컴팩토미터 (Compactometer)를 이용하여 측정한 CMV의 경우 기존 다짐도 평가 방법인 평판재하시험(PLT), 현장들밀도시험결과와 비교시 경향이 비교적 잘 일치하는 것으로 나타났으며, 새로운 다짐도 평가 장비들 중에선 동평판재하시험(LFWD)의 결과가 비교적 유사한 경향을 나타내었다. 하지만 앞에서 설명한 바와 같이 기존 다짐도 평가방법의 경우 시험에 있어 많은 제약과 단점을 내포하고 있다. 따라서 기존의 다짐도 평가 방법을 대체하기 위한 다짐도 평가방법으로는 CMV 측정을 이용한 실시간, 연속적인 다짐도 평가와 함께 시험 속도가 상대적으로 빠르고 신뢰성 있는 결과를 제공해주는 동평판재하시험(LFWD)을 기준시험으로 실시하여 CMV에 대한 다짐도 평가를

검증하는 방법이 매우 효과적일 것으로 판단된다.

한편 지오게이지(geogauge)와 동적콘관입시험(DCP)의 경우 몇몇 레인에서 비교적 좋은 경향을 나타내긴 하였지만, 지오게이지의 경우 그 값의 편차가 크고 지표면 함수비 등에 큰 영향을 받으며, 동적 콘관입시험의 경우 큰 자갈이 포함된 지역에서의 사용이 제한되는 등의 단점이 있어 사용에는 한계가 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

- [1] 박용원, 김병일, 이승현, "토질역학", 대영사, pp. 38-39, 1월, 2005.
- [2] KS F 2310, "도로의 평판 재하 시험 방법", 한국산업규격, 2000.
- [3] KS F 2311, "모래 치환법에 의한 흙의 밀도 시험 방법", 한국산업규격, 2001.
- [4] KS F 2312, "흙의 다짐 시험 방법", 한국산업규격, 2001.
- [5] 조성민, 정경자, "반발력을 이용한 새로운 다짐도 검사기법 개발", 2000년도 소과제 연구보고서, 한국도로공사 도로연구소, pp. 26, 2000.
- [6] Fiedler, S. et al., "Soil Stiffness Gauge for Soil Compaction Control.", public Road Magazine, Vol. 61, No. 5, pp.5-11, April, 1998.
- [7] Lenke, L. R. et al, "Laboratory Evalyation of Geogauge for Compaction Control.", National Research Council, Washington, D.C, PP. 20-30, 2003.
- [8] Kleyn, E. G., "The Use of the Dynamic Cone Penetrometer(DCP)", Report 2/74. Transvaal Roads Department, Pretoria, 1975.

유 완 규(Wan-Kyu Yoo) [정회원]



- 2004년 2월 : 명지대학교 토목환경공학과 (공학사)
- 2006년 2월 : 명지대학교 토목환경공학과 (공학석사)
- 2006년 3월 ~ 현재 : 명지대학교 토목환경공학과 박사과정

<관심분야>
토질역학, 기초공학

김 병 일(Byoung-II Kim) [정회원]



- 1987년 2월 : 서울대학교 토목공학과 (공학사)
- 1989년 2월 : 서울대학교 토목공학과 (공학석사)
- 1994년 2월 : 서울대학교 토목공학과 (공학박사)
- 1995년 3월 ~ 현재 : 명지대학교 토목환경공학과 교수

<관심분야>
토질역학, 기초공학

김 주 형(Ju-Hyung Kim) [정회원]



- 1995년 2월 : 한양대학교 토목공학과 (공학사)
- 1997년 2월 : 서울대학교 토목공학과 (공학석사)
- 2002년 2월 : 서울대학교 토목공학과 (공학박사)
- 2003년 3월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 선임연구원

<관심분야>
토질역학, 기초공학

박 근 보(Keun-Bo Par) [정회원]



- 1998년 2월 : 인하대학교 토목공학과 (공학사)
- 2000년 2월 : 인하대학교 토목공학과 (공학석사)
- 2008년 2월 : 연세대학교 토목공학과 (공학박사)
- 2009년 4월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원

<관심분야>
토질역학, 기초공학