

고속도로 건설 시 성토부 다짐관리를 위한 LFWD의 활용성

Utilization of LFWD for Compaction Management of Embankment in Expressway Construction

박 양 흠¹⁾ · 장 일 영²⁾ · 도 종 남[†]

Yangheum Park · Ilyoung Jang · Jongnam Do

Received: February 16th, 2021; Revised: February 19th, 2021; Accepted: February 25th, 2021

ABSTRACT : The evaluation of the degree of compaction of the embankment area, which accounts for most of highway earthworks, is generally performed by a flat plate loading test. The plate loading test is a traditional test method and has high reliability in the field. However, as reaction force equipment must be carried out and it takes about 40 minutes per site during the test, there may be limitations in managing the entire expanse of earthworks. Meanwhile, in order to overcome this, the Ministry of Land, Infrastructure and Transport proposed a simple method of evaluating the level of compactness in the provisional guidelines for compaction management of the packaging infrastructure in 2010. However, it has not been utilized at the highway construction site until now, 10 years later. Therefore, this study attempted to verify the utility of the compaction evaluation method using LFWD (Light Falling Weight Deflectometer) of the impact loading method among the test methods suggested in the provisional guideline. To this end, the correlation was derived by conducting a plate loading test and an LFWD test for each site property and compaction degree. As a result of the test, there was no consistency of test data in the ground with a relative compaction of 80% or less. However, it was confirmed that the correlation has a tendency to increase beyond that. If the test method or test equipment is improved to ensure the consistency of the test values of the impact loading method in the future, it will play a big role in solving the blind spot for compaction management in the earthworks.

Keywords : Earthwork, Embankment, Compaction management, Compaction test, Plate loading test, Light Falling Weight Deflectometer

요 지 : 고속도로 토공에서 대부분을 차지하는 성토부의 다짐도 평가는 일반적으로 평판재하시험에 의해 이루어진다. 평판재하시험은 전통적인 시험법으로 높은 신뢰성을 가지고 있지만, 반력장비를 공수해야 하고, 시험 시 개소당 약 40분의 시간이 소요됨에 따라 광활한 토공부 전체를 관리하기에는 한계가 발생할 수 있다. 한편, 국토해양부에서는 이를 극복하고자 2010년에 ‘포장 하부구조 다짐관리 잠정지침’에서 간편한 다짐도 평가방법 기준을 제시한 바 있다. 하지만 10년이 지난 지금까지 고속도로공사 현장에서는 활용하고 있지 못하고 있다. 따라서, 본 연구에서는 잠정지침에서 제시한 시험법 중 충격재하 방식의 LFWD(Light Falling Weight Deflectometer)를 활용한 다짐도 평가방법에 대한 활용성을 검증하고자 하였다. 이를 위하여 현장 토질 성상 및 다짐도별로 평판재하시험 및 LFWD시험을 실시하여 상관관계를 도출하였다. 시험결과, 80% 이하의 상대 다짐도를 가진 지반에서는 시험데이터의 일관성이 없었으나, 그 이상에서 상관도가 증가하는 경향을 가지는 것을 확인할 수 있었다. 향후 충격재하 방식의 시험값의 일관성 확보를 위하여 본 연구 결과를 참고하여 시험방법 또는 시험장비를 개선한다면 토공부 다짐도 관리 사각지대를 해소하는 데에 큰 역할을 할 수 있을 것으로 기대한다.

주요어 : 토공, 성토, 다짐관리, 다짐도시험, 평판재하시험, 소형충격재하시험

1. 서 론

도로 및 교량 접속부 등에 설치된 구조물의 하부 성토부 다짐 불량에 의한 손상은 대부분 보수보강 후에도 추가적인 손상이 발생되고 있다. 한편, 현재 포장하부의 보조기층재료와 노상재료 다짐관리는 시간과 비용이 많이 소요되는 들 밀도시험 및 평판재하시험이 사용되고 있다. 시공 시 현장

에서 성토부 등의 토공부를 대상으로 층다짐에 대한 관리감독을 위해 현재 다짐 관리기법을 적용하는 것은 정해진 절차에 의거하여 장비를 활용해야 하므로 공기에 영향을 미칠 수도 있다. 또한, 구조물(교대, 옹벽) 뒤채움 부는 장비 진입의 한계로 인해 평판재하시험에 의한 다짐관리가 이루어지지 않고 있는 실정이다. 이와 같은 사유로 토공부 다짐도 관리 시 사각지대가 발생할 우려가 있는 실정이다. 이를 개

1) Ph.D. Candidate, Department of Civil Engineering, Kumoh National Institute of Technology

2) Professor, Department of Civil Engineering, Kumoh National Institute of Technology

† Principal Researcher, Korea Expressway Corporation Research Institute (Corresponding Author : donamtech@ex.co.kr)

선하기 위하여 ‘한국형 포장설계법 개발과 포장성능 개선 방안 연구’(Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, 2010)에서는 평판재하시험(PBT, Plate Bearing Test)을 소형 충격재하시험(LFWD, Light Falling Weight Deflectometer)으로 대체하는 ‘포장 하부구조 다짐관리 잠정지침’(Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, 2011)을 제시한 바 있다. 그러나 이 잠정지침은 포장 하부 보조기층과 노상에 대한 다짐관리 방법을 제시하였고 구조물(교대, 옹벽 등) 뒤채움, 노체 등에 대한 기준은 제시하지 않고 있다. 또한, 지금까지 고속도로건설현장에 적용된 사례가 전무하여 기초적인 검증을 Korea Expressway Corporation(2018c)에서 수행한 바 있다. 현재 건설시장은 국가주도의 스마트건설사업이 추진되는 등 신속하고 정확한 건설관리 기법에 대한 수요가 늘어나고 있다. 여기서 토공 부분은 토공량과 다짐관리의 자동화 부분이 중요한데, 소형충격재하시험과 같은 신속한 시험법을 활용하게 되면 유용할 것으로 판단된다.

따라서, 본 연구에서는 잠정지침에서 제시한 시험법 중 충격재하 방식의 소형충격재하시험을 활용한 다짐도 평가 방법에 대한 활용성을 검토하고자 하였다.

2. 이론적 배경

2.1 LFWD 시험기 개요

2.1.1 소형충격재하시험기 구성

소형충격재하시험기는 일정 중량(m)의 낙하추를 일정 낙하고(h_0)에서 자유낙하시키는 충격재하 시 재하판에서의 모멘텀 평형방정식과 평판에 작용하는 평균충격압($p=100kPa$) 및 기기 내 내장된 가속도계로부터 결정되는 재하판 평균침

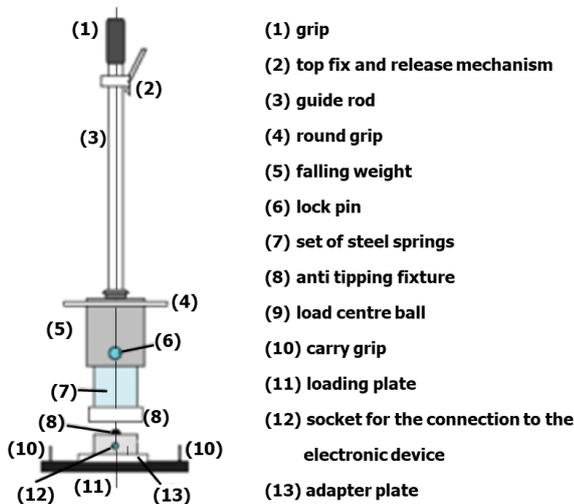


Fig. 1. General compact impact load tester configuration

Table 1. General LFWD specifications

Components		Specification	Remark
Loading plate	Diameter	300mm	
	Thickness	20mm	
	Weight	15kg	
Falling weight	Weight	10kg	
Guide rod	Weight	5kg	
Measuring equipment	Measuring range	8~100Hz	
	Displacement	0.2~1.0mm	
	Accuracy	0.02mm	

하량(s)을 이용하여 동탄성계수 E_{vd} 를 산정한다. 이때 충격재하임에도 불구하고 관성과 속도효과를 무시한 채, 균질하고 등방인 반 무한 탄성공간에 대한 평판재하시험(PLT; Plate load test)에 적용할 수 있는 이론 탄성계수 산정식을 그대로 사용하여 동탄성계수를 구한다. 본 연구에서는 소형충격재하시험 장비의 재하 추를 자유낙하시켜 측정된 침하량을 평판재하시험의 k_{30} 값과 비교하여 다짐관리 기준을 수립하고자 하였다. Fig. 1과 Table 1은 일반적인 소형충격재하시험기의 구성 사양을 정리한 것이다.

2.1.2 구동원리 및 지반반력계수 산정법

소형충격재하시험기의 구동원리는 Fig. 2로 설명할 수 있다. 즉, 소형충격재하시험기는 스프링-감쇠기-질량 시스템으로 구성된 동적충격장치로 간주할 수 있으며 일정 낙하고에서 자유낙하되는 질량체(m_f)의 충격력이 가이드축(질량 m_s)를 따라 움직일 때 재하판 질량(m_p)에 침하량(z_0)을 발생시킨다. 이 때 발생하는 충격 시의 스프링-댐퍼의 역학적 거동을 Kelvin-Voigt 유동모델로 모델링할 수 있다.

Fig. 2의 오른쪽 그림은 충격직후 지반과 충격력 사이의 역학적 거동을 스프링과 질량체 및 감쇠기(damper)로 가정한 것으로서 흙의 거동을 스프링과 감쇠기로 구성된 유동모

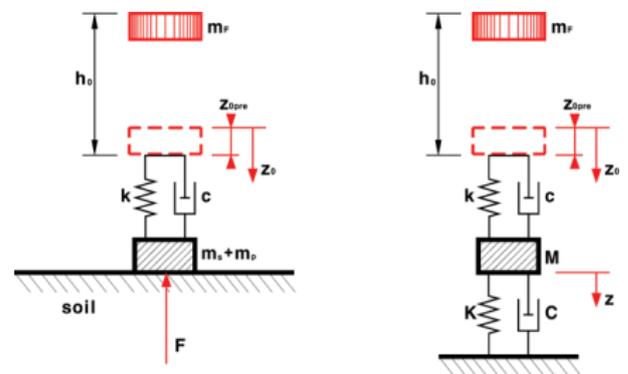


Fig. 2. Ground stiffness measurement principle of impact loading method (Korea Expressway Corporation, 2018c)

델로 가정된 것이다. 따라서 이때의 침하량과 스프링 계수 및 감쇠비를 이용하여 지반의 강성을 추정할 수 있다.

이와 같은 구동원리로 소형충격재하시험기는 하중추의 충격력을 하중으로 측정이 가능한 하중계와 재하판 중앙부에 매립된 가속도계(가속도를 시간에 대하여 적분하여 얻은 속도를 시간에 대하여 적분하면 변위값을 산정할 수 있음)로 하중변위 곡선을 얻어 지반반력계수를 산정한다.

2.2 다짐도 판정 기준

2.2.1 국내 다짐관리 관련 기준

포장 하부구조인 노상과 보조기층은 국토해양부에서 2011년 제시한 Table 2, 3의 다짐 기준을 만족하여야 한다. 여기

Table 2. Criteria for subgrade compaction test (Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, 2011)

Division	Contents	Remark
Thickness after completion of 1st floor compaction	20cm or less	Design thickness 10% or more, not increase or decrease
Compaction (%)	95% or more of γ_{dmax}	KS F 2311 KS F 2312
Compaction method	C, D, E	KS F 2312
Moisture content (%)	Optimum moisture content $\pm 2\%$	KS F 2306
LFWD	$E_{LFWD} = 0.44M_R - 19.37$	Design $E_{LFWD} \leq$ Field E_{LFWD}
DCPT	$PR = 805.72 / (M_R - 43.93)$	Design $PR \geq$ Field PR
PBT	$k_{30} = 0.85M_R - 15.66$	Design $k_{30} \leq$ Field k_{30}

Table 3. Criteria for subbase compaction test (Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, 2011)

Division	Contents	Remark
Thickness after completion of 1st floor compaction	20cm or less	Design thickness 10% or more, not increase or decrease
Compaction	95% or more of γ_{dmax}	KS F 2311 KS F 2312
Compaction method	E	KS F 2312
Moisture content (%)	Optimum moisture content $\pm 2\%$	KS F 2306
LFWD	Gravel $E_{LFWD} = 0.71M_R$	Design $E_{LFWD} \leq$ Field E_{LFWD}
	Sand $E_{LFWD} = 1.09M_R - 86.22$	
DCPT	-	Design $PR \geq$ Field PR
PBT	$k_{30} = 0.68M_R + 141.8$	Design $k_{30} \leq$ Field k_{30}

서 소형충격재하시험을 다짐 판정에 활용하기 위해서는 설계탄성계수(M_R) 값을 활용하여 설계치를 환산한 다음 현장 시험치와 비교하여야 한다. 그런데, 노체부나 구조물 뒤채움부에 활용하기 위해서는 M_R 을 산정하기가 어려우므로 소형충격재하시험 등 다른 방법을 활용하는 것이 실효적이다.

2.2.2 국외 다짐관리 관련 기준

2.2.2.1 미국의 다짐관리 기준

미국에서는 동적콘관입시험기(DCPT, Dynamic Cone Penetrometer Test)를 표준 다짐 관리장비로 선정하고, ASTM (2015)으로 표준화가 되어 있다. Table 4는 동적 콘관입시험의 P_R 값과 CBR의 상관관계를 나타낸 것이다. 본 연구에서도 다짐관리 방법으로 동적콘관입시험을 고려하였다. 그러나, 동적콘관입시험은 타격횟수와 관입 깊이를 육안으로 확인해야 하는 번거로움이 있고, 특히 관입 깊이를 확인 하는 과정은 시험자에 따라 차이가 발생할 수 있는 요소이므로 채택하지 않았다.

Table 4. Correlation between dynamic cone penetration test value (P_R) and CBR (ASTM, 2015)

DCPT P_R (mm/blow)	CBR (%)	DCPT P_R (mm/blow)	CBR (%)	DCPT P_R (mm/blow)	CBR (%)
Less than 3	100	39	4.8	69~71	2.5
3	80	40	4.7	72~74	2.4
4	60	41	4.6	75~77	2.3
5	50	42	4.4	78~80	2.2
6	40	43	4.3	81~83	2.1
7	35	44	4.2	84~87	2.0
8	30	45	4.1	88~91	1.9
9	25	46	4.0	92~96	1.8
10~11	20	47	3.9	97~101	1.7
12	18	48	3.8	102~107	1.6
13	16	49~50	3.7	108~114	1.5
14	15	51	3.6	115~121	1.4
15	14	52	3.5	122~130	1.3
16	13	53~54	3.4	131~140	1.2
17	12	55	3.3	141~152	1.1
18~19	11	56~57	3.2	153~166	1.0
20~21	10	58	3.1	166~183	0.9
22~23	9	59~60	3.0	184~205	0.8
24~26	8	61~62	2.9	206~233	0.7
27~29	7	63~64	2.8	234~271	0.6
30~34	6	65~66	2.7	272~324	0.5
35~38	5	67~68	2.6	324 or more	0.5 or less

2.2.2.2 일본의 다짐관리 기준

일본에서는 LFWD를 활용한 다짐관리 방법을 JIS(Japanese Industrial Standards)에 규정하고자 하는 연구가 Koonama et al.(2009)에 의해 수행된 바 있다. 그 결과, 지반의 종류에

다른 평판재하시험과 소형충격재하시험의 지지력 계수의 상관관계는 Table 5와 같이 정리되었다. 이때 평판재하시험의 노상 지지력 계수(k_{30})의 변위는 1.25mm와 소형충격재하시험의 변위는 0.375mm로 정하여 상관관계를 도출하였다.

Table 5. Correlation between plate loading test and LFWD (Koonama et al., 2011)

Soil type	$k_{30} : k_{HFWD}$
Cohesive soil	1.0 : 1.0
Sandy soil	1.0 : 1.5
Roadbed soil	1.0 : 2.0

2.2.2.3 독일의 다짐관리 기준

독일의 경우 표준 시험법으로 동평판재하시험(DPLT, Dynamic Plate Loading Test)을 채택하였다. 동평판재하시험이란 10kg의 재하 추를 자유 낙하시켜 지름 30cm의 재하 판 침하량을 측정하여 동적탄성계수(E_{vd})를 산정하는 시험이다. 독일의 경우 평판재하시험을 2회 수행하며, 정적탄성계수(E_{v2}) 산정하고 동적탄성계수(E_{vd})와 비교하여 독일 시방서 DIN 18-196 규정에 Table 6과 같이 표준화하여 적용하고 있다. 동평판재하시험은 소형충격재하시험과 유사하며 시험결과를 활용하는 방법에 있어서 평판재하시험을 2회동안 수행하는 번거로움이 있으므로 본 연구에서는 다른 방법론을 찾고자 하였다.

Table 6. Correlation between static modulus (E_{v2}) and dynamic modulus (E_{vd}) (DIN, 2011)

Division	Compaction D_{pr} (%)	Static modulus E_{v2} (MPa)	Dynamic modulus E_{vd} (MPa)
GW, GI	≥ 103	≥ 120	≥ 60
	≥ 100	≥ 100	≥ 50
	≥ 98	≥ 80	≥ 40
	≥ 97	≥ 70	≥ 35
GE, SE SW, SI	≥ 100	≥ 80	≥ 40
	≥ 98	$\geq 70 \geq 60$	≥ 35
	≥ 97		≥ 32
Mixture soil, fine grain soil	≥ 100	≥ 70	≥ 35
	≥ 97	≥ 45	≥ 25
	≥ 95	≥ 30	≥ 20

- 1) G : gravel, S : sand, W : loose, I : Middle, E : dense
- 2) GW, GI, GE : < 0.06mm 5% or less, < 2mm 40% or more
- 3) SW, SI, SE : < 0.06mm 5% or less, < 2mm 40% or more

3. 현장 시험

3.1 개요

본 연구의 목표는 현행 평판재하시험이 가지는 문제점인

중차량 확보, 시험시간, 시험자 숙련도 등의 문제를 상대적으로 간편한 비파괴시험인 소형충격재하시험을 이용하여 개선하는 것이다. 이를 위해서는 먼저 평판재하시험과 소형충격재하시험 결과값의 상관관계를 실제 현장에서 검증할 필요가 있다. 즉, 향후 소형충격재하시험 시험을 실시하였을 경우 기존 평판재하시험과 동일한 결론을 취득할 수 있도록 다짐 상관관계 계수를 도출하여야 한다.

본 연구에서 소형충격재하시험과 평판재하시험의 상관관계 분석을 위한 현장시험은 고속국도 건설공사 현장 중에 2곳의 시험부지에서 수행하였다. 시험부지 A와 B는 아스팔트 콘크리트 포장으로 설계되었으며, 노상 구간에서 노체 일반쌍기 재료를 대상으로 시험을 수행하였다. 고속도로공사 전문시방서(Korea Expressway Corporation, 2018a; 2018b)에 제시된 다짐시험의 판정기준은[지지력 계수(K_{30})] 기준 침하량 2.5mm에서 150 MN/m³이다. 성토재료는 통일분류법 기준으로 시험부지 A는 SP~SW, 시험부지 B는 GW~GP를 사용하였다. 그리고, 다짐장비는 모두 진동롤러를 사용하였다.

3.2 시험방법

3.2.1 시험부지 A

시험 부지 A는 아스팔트 콘크리트 포장으로 설계된 노상 다짐 구간에서 시험을 수행하였다. 성토재료는 통일분류법에서 SP~SW이고, 다짐장비는 진동롤러를 사용하였다. 다짐 장비의 통과횟수(N)는 문헌고찰을 통해 4~12회까지 총 5단계로 선정하였다.

시험부지 A에서 수행된 현장시험 횟수를 정리하여 Table 7에 나타내었다. 각 통과횟수(N)에서 현장단위중량 시험은 각 6회, 총 30회 수행하였다. 각 통과횟수(N)에서 소형충격재하시험은 각 8회, 총 40회 수행하였다. 각 통과횟수(N)에서 현장단위중량시험은 각 6회, 총 30회 수행하였다.

Table 7. Number of field tests performed at test site A

Site	Number of passes through compaction roller (N)	Unit weight test	LFWD	PBT
A	4, 6, 8, 10, 12	30 times	40 times	30 times

3.2.2 시험부지 B

시험 부지 B는 아스팔트 콘크리트 포장으로 설계된 노상 다짐 구간에서 구조물 뒤채움 재료를 대상으로 시험을 수행하였다. 성토재료는 통일분류법에서 GP~GW이고, 다짐장비는 진동롤러를 사용하였다. 다짐 장비의 통과횟수(N)는 2~12회까지 총 6단계로 선정하였다.

Table 8은 시험부지 B에서 수행된 현장시험 횟수를 정리

한 것이다. 각 통과횟수(N)에서 현장단위중량 시험은 각 2회, 총 12회 수행하였다. 각 통과횟수(N)에서 소형충격재하시험은 각 6회, 총 36회 수행하였다. 각 통과횟수(N)에서 평판재하시험은 각 3회, 총 18회 수행하였다.

Table 8. Number of field tests performed at test site B

Sie	Number of passes through compaction roller (N)	Unit weight test	LFWD	PBT
B	2, 4, 6, 8, 10, 12	12 times	36 times	18 times

3.3 시험결과

3.3.1 시험부지 A

3.3.1.1 현장 단위중량시험

통과횟수(N)에 따른 현장 단위중량시험의 건조단위중량 변화(시험부지 A)를 Fig. 3에 나타내었다. 최대 건조단위중량은 21.85 kN/m^3 이며, 상대다짐도 95%는 통과횟수 6회부터 만족하였다. 현장 단위중량시험은 모래치환법을 이용하였으며, 실험 결과에 많은 편차가 발생되었다. 그 이유는 시험부지 A의 성토재료에 많은 양의 골재가 포함되어있기 때문이다. A부지 성토재료의, #4번체 통과율은 약 70%이다. 즉, 30%의 골재가 포함되어있기 때문에 반구 형태로 땅을 파면서 경계면에 끼여있는 골재로 인해 시험의 오차가 발생할 우려가 있었다.

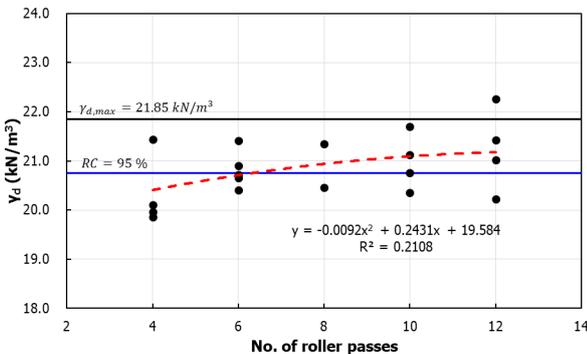


Fig. 3. Dry unit weight trend of on-site unit weight test according to the number of passes (N) (site A)

3.3.1.2 평판재하시험

Fig. 4는 통과횟수(N)에 따른 평판재하시험의 지지력 계수 변화(시험부지 A)를 나타낸 것이다. 평판재하시험도 동일한 시험조건에서의 편차가 크게 나타났다. 그 이유도 앞서 현장 단위중량시험에서 언급하였듯이 골재의 함유량이 높았기 때문으로 예측되었다.

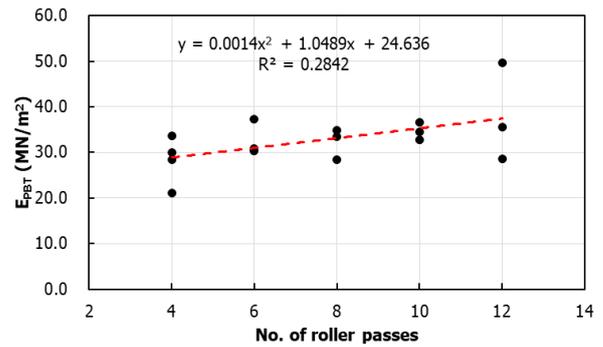


Fig. 4. The bearing capacity factor of the plate loading test according to the number of passes (N) (site A)

3.3.1.3 소형충격재하시험

통과횟수(N)에 따른 소형충격재하시험의 지지력 계수 변화(시험부지 A)를 Fig. 5에 나타내었다. 현장 단위중량 시험과 평판재하시험과 같이 소형충격재하시험의 결과도 큰 편차를 나타냈다. 그 이유는 시험 장비의 정확도가 떨어진다기 보다는 흙의 비균질, 비등방에 의한 것으로 판단되었다. 특히, 다져진 지반의 표면에 골재가 노출될 경우에 측정 값의 편차가 크게 나타났다.

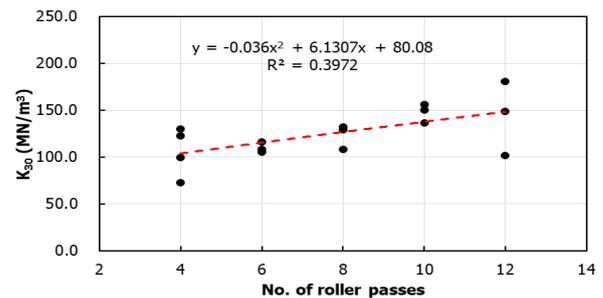


Fig. 5. The bearing capacity factor of the LFWD according to the number of passes (N) (site A)

3.3.2 시험부지 B

3.3.2.1 현장 단위중량시험

통과횟수(N)에 따른 현장 단위중량시험의 건조단위중량

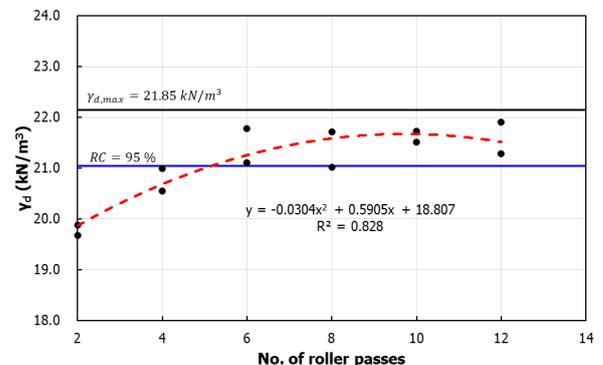


Fig. 6. Dry unit weight trend of on-site unit weight test according to the number of passes (N) (site B)

변화(시험부지 B)를 Fig. 6에 나타내었다. 최대 건조단위중량은 $21.85 kN/m^3$ 이며, 상대다짐도 95%는 통과횟수 6회부터 만족하였다. 시험부지 B는 각 통과횟수에서 현장 단위중량시험을 2회 수행하였다.

3.3.2.2 평판재하시험

통과횟수(N)에 따른 평판재하시험의 지지력 계수 변화(시험부지 B)를 Fig. 7에 나타내었다. 평판재하시험에서 동일한 시험조건에서 측정값의 편차가 크게 나타났다. 이와 같은 원인도 시험부지 A와 같이 골재의 함유량이 높게 나타 분포되어 있었기 때문으로 판단된다.

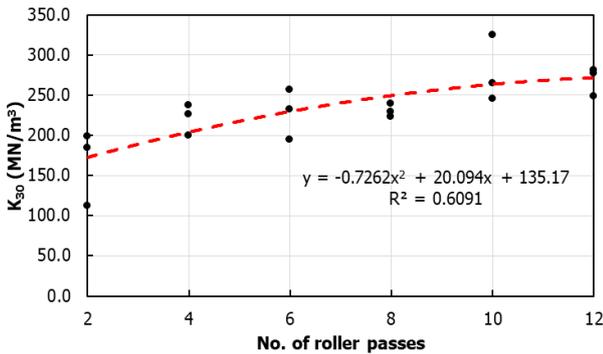


Fig. 7. The bearing capacity factor of the plate loading test according to the number of passes (N) (site B)

3.3.2.3 소형충격재하시험

통과횟수(N)에 따른 소형충격재하시험의 지지력 계수 변화(시험부지 B)를 Fig. 8에 나타내었다. 시험부지 A와 비교하면, 편차가 상대적으로 감소된 것을 알 수 있다. 이는 골재의 함유량이 60~70%인 골재 지반이므로, 토사의 함량이 상대적으로 작아서 나타난 결과로 판단된다.

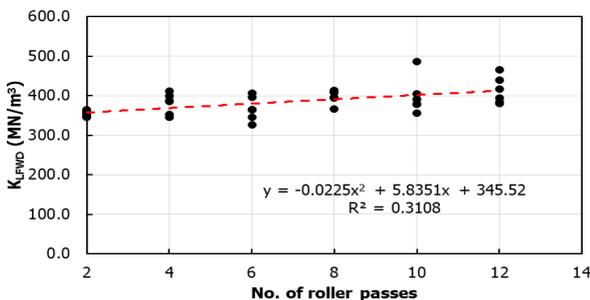


Fig. 8. The bearing capacity factor of the LFWD according to the number of passes (N) (site B)

3.4 시험결과 분석

현장시험 결과를 정리하여 평판재하시험과 소형충격재하시험의 지지력 계수를 비교하여 나타내면 Fig. 9와 같다. 여

기서, 시험부지 A와 시험부지 B의 지지력 계수의 관계는 모두 1:2 선을 따랐다. 일본 철도종합기술연구소에서 제시한 소형충격재하시험의 매뉴얼에는 자갈 지반에서는 1:2선, 모래 지반에서는 1:1.5선, 퇴적토 등의 연약한 모래 지반에서는 1:1.0의 상관관계를 가진다고 제시하였다. 시험부지 A와 B는 모두 골재의 함유량이 40~70%로 상당히 높은 재료로 성토를 하였다. 따라서, 평판재하시험과 소형충격재하시험의 지지력 계수의 관계는 1:2 선을 따르는 것이 적절하다. 전체적인 지반의 지지력 계수는 시험부지 B의 골재 지반이 시험부지 A의 골재가 혼재된 토사 지반보다 측정값이 높게 나타났다. 이와 같은 결과는 골재의 함량이 클수록 지반의 강성이 커지기 때문으로 판단되었다.

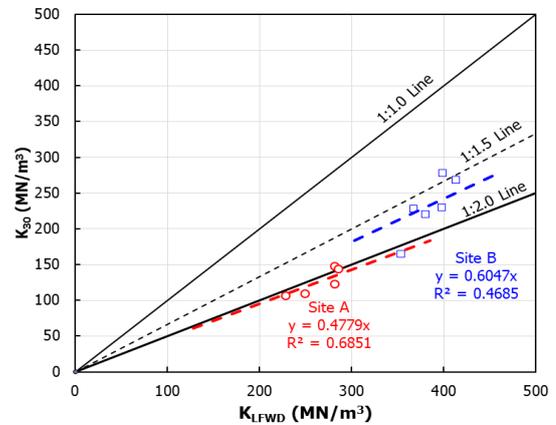


Fig. 9. Comparison of bearing capacity factor by plate bearing test and LFWD

4. 결 론

본 연구에서는 다짐장비의 통과횟수에 따른 평판재하시험과 소형충격재하시험의 상관관계를 분석하여 기존 다짐관리 기준에 따른 소형충격재하시험의 적용성을 판단하고자 하였으며, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 현장 단위중량 시험과 평판재하시험, 소형충격재하시험의 결과는 큰 편차를 나타냈다. 그 이유는 시험 장비의 정확도가 떨어진다기 보다는 흙의 비균질, 비등방에 의한 것이다. 특히, 다져진 지반의 표면에 골재가 노출될 경우에 측정값의 편차가 크게 나타났다.
- (2) 평판재하시험과 소형충격재하시험의 지지력 계수를 비교한 결과, 시험부지 A와 시험부지 B의 지지력 계수의 관계는 모두 1:2 선을 따랐다. 일본 철도종합기술연구소에서 제시한 자갈 지반의 1 : 2선과 동일하다. 시험부지 A와 B는 모두 골재의 함유량이 40~70%로 상당히 높은

재료로 성토를 하였다. 따라서, 평판재하시험과 소형충격재하시험의 지지력 계수의 관계는 1:2 선을 따르는 것이 적절하다. 전체적인 지반의 지지력 계수는 시험부지 B의 골재 지반이 시험부지 A의 골재가 혼재된 토사 지반보다 측정값의 편차가 크게 나타났다. 이는 골재의 함량이 커질수록 지반의 강성이 커지기 때문에 나타나는 현상으로 판단되었다.

- (3) 본 연구에서는 소형충격재하시험의 현장적용 가능성에 대한 판단을 수행하였으며, 그 결과 일정한 상관성을 나타내어 적용 가능한 것으로 판단하였다. 따라서, 소형충격재하시험은 평판재하시험을 수행하기 어려운 구조물 뒤채움부, 옹벽 벽면 인접부 등에 편리하게 적용할 수 있고 시험방법이 비교적 간단하여 충분한 활용성을 가지는 것으로 나타났다. 다만, 평판재하시험을 대체할 수 있는 평가 방법으로 사용되어지기 위해서는 다짐지반의 재료 특성이 반영된 다양한 시험이 추가적으로 수행되어야 할 것으로 보여진다.

References

1. ASTM (2015), Standard test method for use of the dynamic cone penetrometer in shallow pavement applications, ASTM D6951-03.
2. DIN (2011), Soil classification for civil engineering purposes, DIN 18-196.
3. Koonnama Punthutaecha., Kitti manokhoon. and Warat Kongkitkul. (2009), Development of Falling Weight Deflectometer (FWD) for evaluating the pavement conditions, pp. 25~133.
4. Korea Expressway Corporation (2018a), Expressway construction special specification-soil embankment, EXCS 11 20 20.
5. Korea Expressway Corporation (2018b), Expressway construction specialized specification-backfill and backfill, EXCS 11 20 25.
6. Korea Expressway Corporation (2018c), A study on verification of consolidation management standards using LFWD, pp. 46~81.
7. Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (2010), A study on the development of Korean pavement design method and improvement of pavement performance, pp. H1-3~H1-14.
8. Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (2011), Provisional guidelines for pavement substructure compaction management, pp. 41~56.