

다양한 지반의 물리적 특성과 다짐특성 상관성

Correlation Between Physical and Compaction Characteristics of Various Soils

박 춘 식¹⁾ · 김 종 환[†]

Choonsik Park · Jonghwan Kim

Received: October 14th, 2016; Revised: October 27th, 2016; Accepted: November 25th, 2016

ABSTRACT : This study, to provide quantitative data related to compaction characteristics, identifies the compaction characteristics of various types of soil samplers, in relation to their particle-size distribution and plasticity degree, and the compaction characteristics of artificially created granular materials, in relation to their A & D compaction. The results of the experiments show as follows. r_{dmax} of clay is less than those of both sand and gravel approximately by 10%. O.M.C of clay has turned out to be greater than sand and gravel approximately by 20% and 30%, respectively. Changes in the compaction characteristics can be observed clearly around 30~60% of sand and 30~50% of passing No.200 sieve. It has also been shown that the compaction characteristics related to LL and PL are similar to each other in changes, and that the compaction characteristics become less clear with higher percent of fine grained soil. The compaction characteristics of the artificially created granular materials and field materials have appeared almost similar to each other. r_{dmax} is less approximately by 30% and O.M.C greater approximately by 20% in A compaction than in D compaction. As r_{dmax} and O.M.C become greater, its rate increases.

Keywords : r_{dmax} , O.M.C, A·D compaction test, Passing No.200 sieve, LL, PL

요 지 : 본 연구는 다짐특성과 관련된 정량적인 자료를 제공하고자, 현장에서 채취된 여러 종류의 흙에 대한 입도분포 및 소성도에 따른 다짐특성을 파악하고, 인위적으로 조성한 입상체 흙에 대하여 A, D다짐에 따른 다짐특성 관계를 파악하였다. 실험 결과 최대건조단위중량은 점토질 흙이 모래질 흙과 자갈질 흙에 비해 약 10% 작게 나타났다. 또한 점토질 흙의 최적함수비는 모래질 흙에 비해 약 20%, 자갈질 흙에 비해 약 30% 크게 나타나는 경향을 보였다. 또한 #200체 통과량은 30~50%, 모래 함유량은 30~60% 정도에서 다짐특성의 뚜렷한 변화를 확인할 수 있었다. 액성한계와 소성한계에 따른 다짐특성은 유사한 변화특성을 나타내었고, 세립토의 함유량이 많을수록 다짐특성이 뚜렷하지 않은 결과를 얻을 수 있었다. 인위적으로 조성된 입상체 재료와 현장재료의 다짐특성은 거의 유사한 변화특성을 보였다. 한편 D다짐에 비해 A다짐이 최대건조단위중량은 약 10% 작게, 최적함수비는 약 20% 크게 나타났으며, 최대건조단위중량과 최적함수비가 커질수록 그 비는 증가하는 것으로 나타났다.

주요어 : 최대건조단위중량, 최적함수비, A·D다짐시험, #200체 통과량, 액성한계, 소성한계

1. 서 론

일반적으로 흙에 대한 다짐특성은 점토질, 모래질, 자갈질의 구성성분에 따라 다양한 변화를 보이며, 물리적 특성에 따라서도 다짐특성의 변화가 나타난다. 다짐에 대한 연구는 Jonson & Sallberg(1960)가 다짐시험을 통해 여러 종류의 흙에 대한 표준화된 다짐곡선을 제시하였고, Lee & Suedkamp(1972)도 35종류의 흙에 대한 A다짐시험을 수행하여 4가지 형태의 다짐곡선을 예측할 수 있는 연구를 수행하였다. 또한 Ring et al.(1962)은 액성한계, 소성한계, 유효입경(D_{10}), 세립을 등을 사용하여 최대건조단위중량(Maximum

dry unit weight, r_{dmax})과 최적함수비(Optimum moisture content, O.M.C)의 상관관계식에 대하여 연구하였다. 그리고 Pandian et al.(1997)은 액성한계에 의한 다짐특성을 예측할 수 있는 관계식을 제안하였으며, Sridharan & Nagaraj(2005)는 액성한계(Liquid limit, LL)와 소성한계(Plastic limit, PL)의 소성도와 다짐특성의 관계를 연구하였다. Gurtug & Sridharan(2004)는 다짐에너지에 따른 다짐특성에 대해서 연구를 수행하였고, Chinkulkijniwat et al.(2010)은 SP, SM, CH, CL로 분류된 흙에 대한 소형 다짐장치에 대한 최대건조단위중량과 최적함수비의 관계를 자갈질 함유량을 기준으로 구분하였다.

국내에서는 Seo et al.(2003) 등이 7개 현장의 시료에 대

1) School of Civil, Environmental and Chemical Engineering, Changwon University

† School of Civil, Environmental and Chemical Engineering, Changwon University (Corresponding Author : gypsys@nate.com)

해서 액성한계와 다짐에너지로부터 다짐특성과 삼축시험으로부터 탄성계수와 최대건조단위중량과의 관계에 대해서 연구를 수행하였고, Lim(2007)은 국내 17개 노상토 시료에 대한 다짐시험 결과를 분석하여 오하이오 다짐곡선의 국내 적용성을 분석하였으며, Park(2010)은 벤토나이트와 일반 흙의 혼합비에 따른 다짐시험을 바탕으로 다짐에 적합한 흙 구성비와 다짐기준과 비교·분석하였다. 또한 동절기 영하의 온도가 다짐효과에 대하여 미치는 영향을 알아보기 위한 Lee et al.(2015)이 연구를 수행하였다.

이와 같이 국내·외에서 다짐에 관한 많은 연구가 수행되었다. 하지만 국내지반에 대한 기본적인 물리적 특성과 다짐특성에 대한 연구가 다소 미비한 실정에 있으며, 또한 현장에서 사용할 수 있도록 뚜렷하게 제시된 정량적 다짐특성에 대한 연구 자료가 많이 부족한 실정이다. 따라서 그로 인해 소규모 도로 및 제방 등의 현장에서는 정확한 다짐관리를 위해 실내시험과 현장시험을 통한 다짐시험을 수행함으로써 필요 이상의 다짐에 대한 경비와 시간이 소요되는 경향이 없지 않다. 이러한 점을 보완하기 위해서 본 연구는 다양한 종류의 흙에 대해서 실내다짐시험을 실시하여 입도 분포 및 소성도에 따른 다짐특성을 파악하고, 또한 다짐종류에 따른 다짐특성관계를 파악하여 기초적인 자료를 제공함으로써 다짐시험이 수행되는 공사에 대한 효율성을 높이고자 하였다.

2. 다짐재료 및 시험

본 연구에서는 Table 1과 같이 경상도 여러 지역의 지표면 부근의 표토층을 교란상태로 채취한 357개 시료에 대하여 A다짐을 실시하였다. 입도분석에 의한 통일분류법에 의해 점토질이 145개, 모래질이 196개 자갈질이 16개로 분류

Table 1. Materials of compaction test

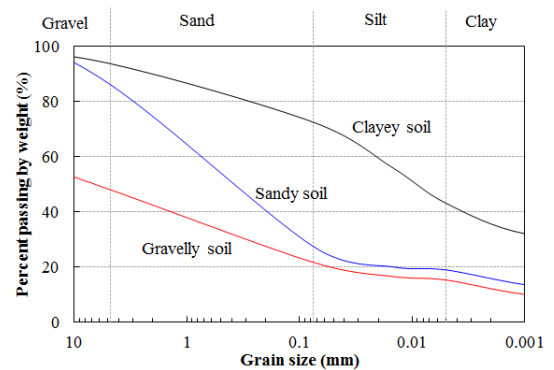
	Number of sample	Remarks
Clayey soil	145	CL, ML
Gravelly soil	16	GP, GM, GC
Sandy soil	196	SP, SW, SC

Table 2. Properties of soils

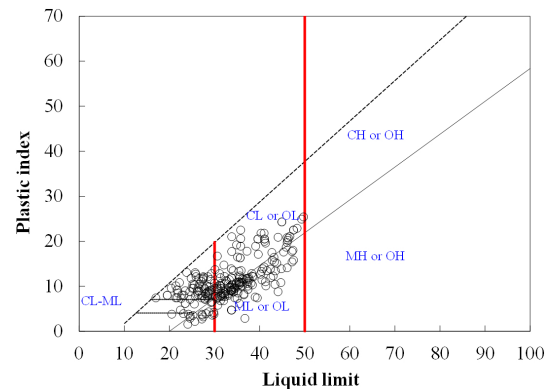
	Clayey soil		Sandy soil		Gravelly soil	
	Range	Average	Range	Average	Range	Average
Water content (%)	10.5~74.2	29.2	1.7~39.6	16.3	2.3~24.4	13.6
Specific gravity	2.642~2.745	2.688	2.610~2.700	2.666	2.641~2.694	2.657
Liquid limit (%)	19.8~49.8	35.9	17.0~43.8	29.8	27.0~41.1	34.6
Plasticity index (%)	1.6~25.4	12.9	2.7~21.8	9.8	8.2~20.5	14.7

되었으며, 각 흙에 대한 기본적인 물리적 특성은 Table 2에 나타내었다. Fig. 1(a)에 점토질, 모래질, 자갈질 흙의 입도분포곡선을 평균적으로 나타내었고, Fig. 1(b)에는 소성도표에 액성한계와 소성지수를 나타내었으며, 액성한계 50% 이하의 저소성으로 CL과 ML로 주로 분포하는 것으로 나타났다. 하지만 본 대상시료 중 자갈질은 자료 수가 충분하지 못하기 때문에 자료축척이 이루어져야 할 것으로 판단되었다.

D다짐은 A다짐에 비해 다소 번거롭고, 시험시간도 많이 걸림으로 본 연구에서는 357개의 자연시료에 대해서는 D다짐을 수행하지 않았다. 따라서 다짐에너지에 따른 다짐특성을 비교하기 위해서 인위적인 혼합비에 의해 별도의 15개 입상체를 구성하여 A, D다짐을 실시하였다. 인위적인 혼합비에 의한 흙 시료는 통일분류법에 의해 자갈질과 모래질, 점토질로 분류될 수 있도록 Fig. 2와 같은 재료를 이용하여,



(a) Curve of particle size distribution



(b) Plasticity chart

Fig. 1. composition and plasticity of soils

Table 3과 같은 비율로 배합하였다.

다짐시험은 일반적으로 Table 4와 같이 KS F 2312(2001) 방법 중 노체에서는 A다짐방법, 노상의 경우는 D다짐방법을 이용하여 실내시험을 실시한 후 실내시험의 최대건조단위중량 및 최적함수비를 기준으로 다짐도 관리를 한다. KS F 2312에서는 몰드의 크기와 해머무게의 조합에 따라 다짐방법을 A, B, C, D, E의 5가지 방법으로 나누고, A와 B방법은 표준다짐시험과 같은 다짐에너지를 사용하며, C, D, E방법은 수정다짐과 같은 다짐에너지를 사용하는 방법이다. 따라서 본 연구에서 다짐에너지에 따른 특성을 연구하기 위해서 A, D다짐을 실시하였다.

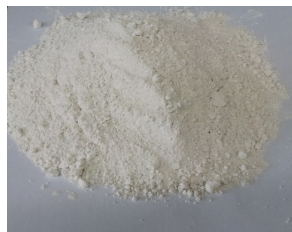
3. 다짐시험 결과 및 분석

3.1 입도분포에 따른 결과분석

357개 자연시료의 A다짐시험 결과를 점토질, 모래질, 자

갈질로 분류하여 #200체 통과량에 따른 최대건조단위중량과 최적함수비의 평균을 Fig. 3과 같이 나타내었다. 최대건조단위중량은 자갈질은 17.31kN/m³, 모래질이 16.97kN/m³, 점토질이 15.74kN/m³으로 점토질에 비해 모래질과 자갈질이 약 8%, 10% 증가하는 것으로 분석되었고, 최적함수비는 자갈질이 15.44%, 모래질이 17.03%, 점토질이 21.13%으로 점토질에 비해 모래질과 자갈질이 약 20%, 27% 감소하는 것으로 분석되었다.

#200체 통과량과 모래함유량에 따른 다짐특성을 Fig. 4에 나타내었다. #200체 통과량이 30%까지는 다짐특성이 거의 일정한 변화를 보이다가 #200체 통과량이 30~50%에서 최적함수비는 증가하는 경향을, 최대건조단위중량은 감소하는 경향을 나타내었다. 그리고 50% 이상에서는 최적함수비는 다소 산란되었지만 최적함수비와 최대건조단위중량이 거의 일정한 경향을 나타내었다. 또한 모래함유량 30% 이하에서와 60% 이상의 범위에서는 비교적 일정한 특성을 나타내었고, 30~60% 범위에서는 최적함수비는 감소하는 경향



(a) Kaolin Clay



(b) Sand



(c) Gravel

Fig. 2. Using materials

Table 3. Mixing ratio of samples

No.	Mixing ratio (%)			Soil type	No.	Mixing ratio (%)			Soil type
	Gravel	Sand	Clay			Gravel	Sand	Clay	
1	0	20	80	Clayey	9	40	0	60	Clayey
2	0	40	60	Clayey	10	40	20	40	Sandy
3	0	60	40	Sandy	11	40	40	20	Sandy
4	0	80	20	Sandy	12	60	0	40	Gravelly
5	20	0	80	Clayey	13	60	10	30	Gravelly
6	20	20	60	Clayey	14	60	20	20	Gravelly
7	20	40	40	Sandy	15	60	30	10	Gravelly
8	20	60	20	Sandy					

Table 4. Sorts of compaction test (KS F 2312)

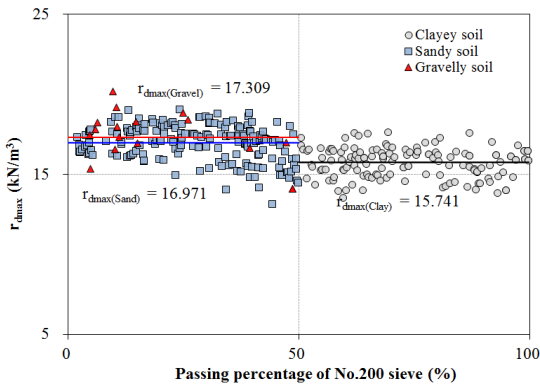
Compaction test		Gmax (mm)	Rammer weight (kg)	Mold Dia (mm)	Layers	Drop	
						Number	Height (cm)
Standard	A	19.0	2.5	100	3	25	30
	B	37.5	2.5	150	3	55	30
Modified	C	19.0	4.5	100	5	25	45
	D	19.0	4.5	150	5	55	45
	E	37.5	4.5	150	5	92	45

을, 최대건조단위중량은 약간 증가하는 경향을 나타내었다.

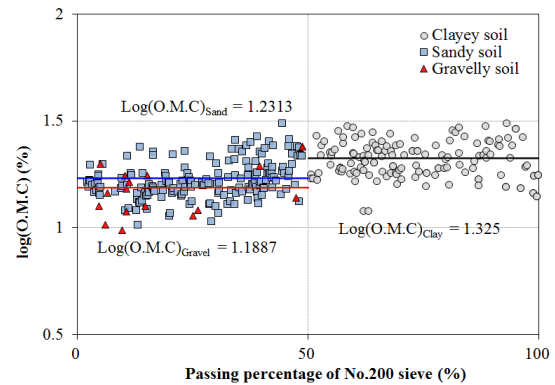
이와 같은 결과에 의해 점토질 및 자갈질 성분의 흙은 모래질 성분의 흙보다는 다짐특성의 변화가 없는 것으로 판단할 수 있다. 특히, 다짐효과는 #200체 통과량이 30~50% 정도 함유된 모래질 흙에서 뚜렷한 특성 변화를 보였다. 그러므로 이와 같은 결과에 의해 현장에서 유용할 수 있는 다짐에 유리한 흙은 모래질 흙임을 알 수 있고, 점토질과 자갈질 흙은 크게 다짐특성 변화를 발휘하지 못하는 것으로 판단할 수 있다. 즉, 적절한 양의 모래질 성분의 함유에 따라 현장 다짐에

따른 지반특성을 개선할 수 있을 것으로 기대할 수 있다.

Fig. 5(a)에서 최대건조단위중량과 최적함수비와 관계는 $r_{dmax} = 22.06e^{-0.016(O.M.C)}$ 의 관계식을 가지며, 기존의 연구(Gurtug & Sridharan, 2004)와 비교해서 약 3% 정도 감소하는 경향을 나타내었다. 또한 (b)에서 #200체 통과량과 모래함유량에 따른 관계는 유사한 특성을 보였고, 이는 입도분포에 따른 특성으로 #200체 통과량이 증가할수록 모래함유량이 감소하기 때문에 나타난 결과라 판단할 수 있다.

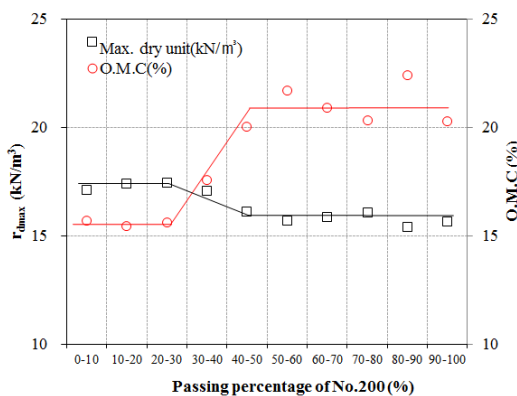


(a) r_{dmax}

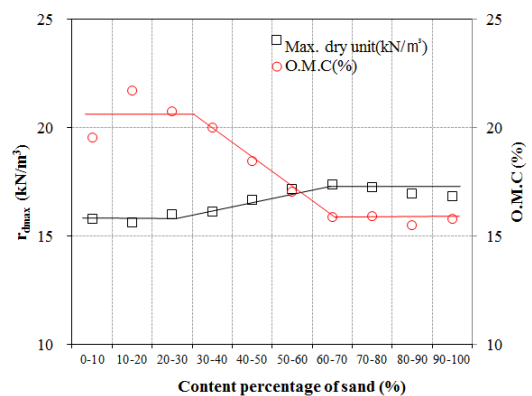


(b) O.M.C

Fig. 3. Compaction characteristics by passing percentage of No,200

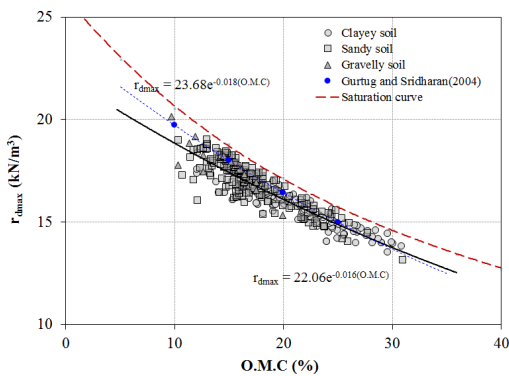


(a) Passing percentage of No,200

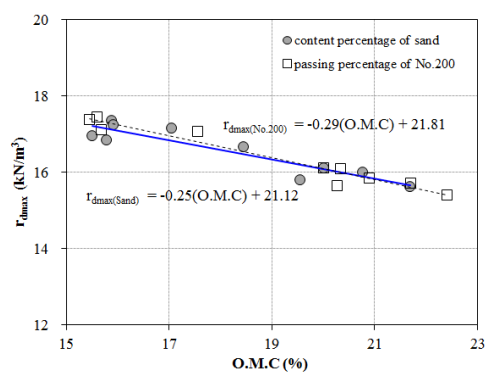


(b) Content percentage of sand

Fig. 4. Compression characteristics by particle size distribution



(a) Total samples



(b) Particle size distribution

Fig. 5. Correlation of r_{dmax} with O.M.C

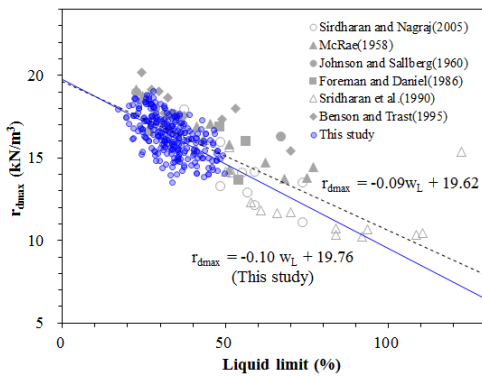
3.2 소성도에 따른 결과분석

액성한계와 소성한계에 따른 다짐특성을 알아보기 위해서 현장에서 채취한 자연시료에 대해 액성한계와 소성한계에 따른 최대건조단위중량과 최적함수비 관계를 Fig. 6과 같이 나타내었고, 액성한계 50%, 소성한계 30% 이하의 범위에서 자료 분포가 기존 연구들과 유사하였다. 최대건조단위중량은 액성한계와 소성한계가 증가할수록 감소하는 경향이 나타났고, 최적함수비는 증가하는 경향을 나타내었다. 소성한계의 경우 Sridharan et al.(1990)의 연구 자료를 제외

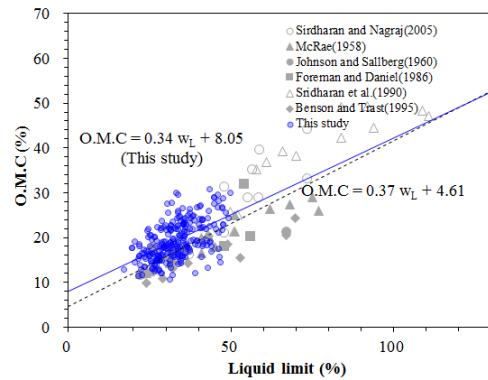
할 경우 비교적 유사한 결과를 나타내었지만, 액성한계와 소성한계의 분포는 이전의 연구결과들과 유사하였다. 따라서 국내의 지반특성을 고려한 자료로 충분히 활용할 수 있을 것으로 판단되었다.

3.3 다짐에너지에 따른 결과분석

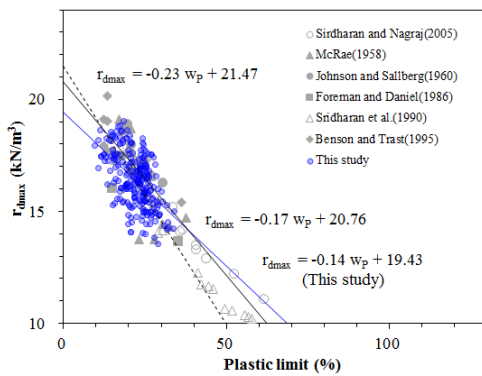
자연시료와 인위적으로 조성한 입상체 시료에 대한 A다짐시험 결과를 Fig. 7과 같이 나타내었다. 점토함유량에 따라 인위적으로 조성한 입상체와 357개 자연시료의 점토함



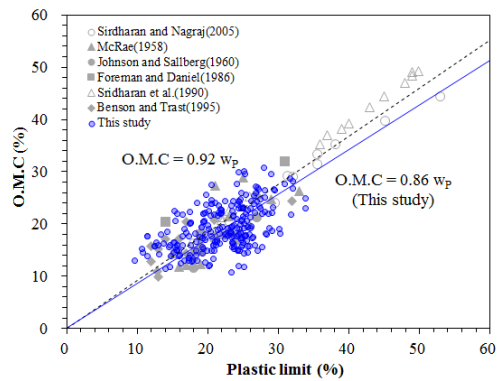
(a) r_{dmax} and liquid limit



(b) O.M.C and liquid limit

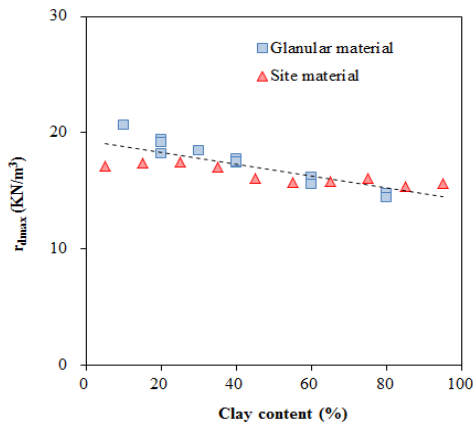


(c) r_{dmax} and plastic limit

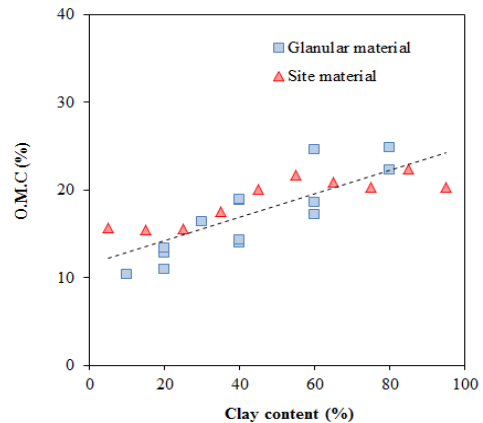


(d) O.M.C and plastic limit

Fig. 6. Correlation compaction characteristics with plasticity degree



(a) r_{dmax}



(b) O.M.C

Fig. 7. Comparison by material type

유량에 따른 평균적인 최대건조단위중량은 Fig. 7(a)와 같이 거의 유사한 값을 나타냈고, Fig. 7(b)의 최적함수비도 최대건조단위중량보다 약간은 넓은 범위로 분포하지만 비교적 유사하게 분포하였다. 또한 최대건조단위중량의 감소하는 경향과 최적함수비의 증가하는 경향은 자연시료와 인위적으로 조성한 입상체에서 같은 경향성을 나타내었다. 따라서 인위적으로 조성한 입상체의 결과는 자연시료에 대한 결과와 유사한 경향을 가진다고 판단되었고, 인위적인 입상체의 다짐시험 결과를 자연시료에 적용할 수 있을 것으로 판단되었다.

인위적으로 조성한 입상체 시료에 대한 A, D다짐시험 결과를 Fig. 8에 나타내었다. Fig. 8(a)는 A다짐시험 결과를 Fig. 8(b)는 D다짐시험 결과를 나타내었다. 조립토 성분이 많이 함유될수록 최대건조단위중량은 증가하고, 최적함수비는 감소하는 경향을 보였다.

A다짐은 $r_{dmax} = 43.51(O.M.C)^{-0.33}$ 의 관계를 보였고, D다짐은 $r_{dmax} = 50.19(O.M.C)^{-0.36}$ 의 관계를 나타내어 D다짐이 A다짐보다는 좌측 위에 위치하는 다짐에너지에 따른 일반적인 경향을 나타내었다. 또한 Fig. 8(c)와 (d)에는 다짐에너

지에 따라 다짐특성의 차이를 알아보기 위해 D다짐시험 결과에 대해서 정규화를 시켜 나타내었다. 그 결과 최대건조단위중량은 A다짐이 D다짐에 보다 약 10% 작게 나타나는 것으로 검토되었고, 최적함수비는 약 20% 크게 나타나는 것으로 검토되었다. 또한 다짐특성이 크게 나타날수록 증감비율이 증가하는 경향을 나타내었으며, 다짐에너지가 작을수록(D다짐→A다짐) 입도가 커지면, 즉, 자갈질>모래질>점토질일수록 최적함수비는 차이는 많이 발생하고, 최대건조단위중량은 반대의 경향이 나타났는데 이는 자갈질 지반이 다짐에너지의 영향을 많이 받아 체적변화가 크게 발생하기 때문에 나타나는 특성이라 판단되었다.

4. 결론

본 연구는 흙의 구성, 소성도, 다짐에너지에 따른 다짐특성에 대하여 연구를 수행하였고, 소규모 공사의 효율성을 높이고자 다짐 관련 정량적인 기초자료를 제공하고자 하였다.

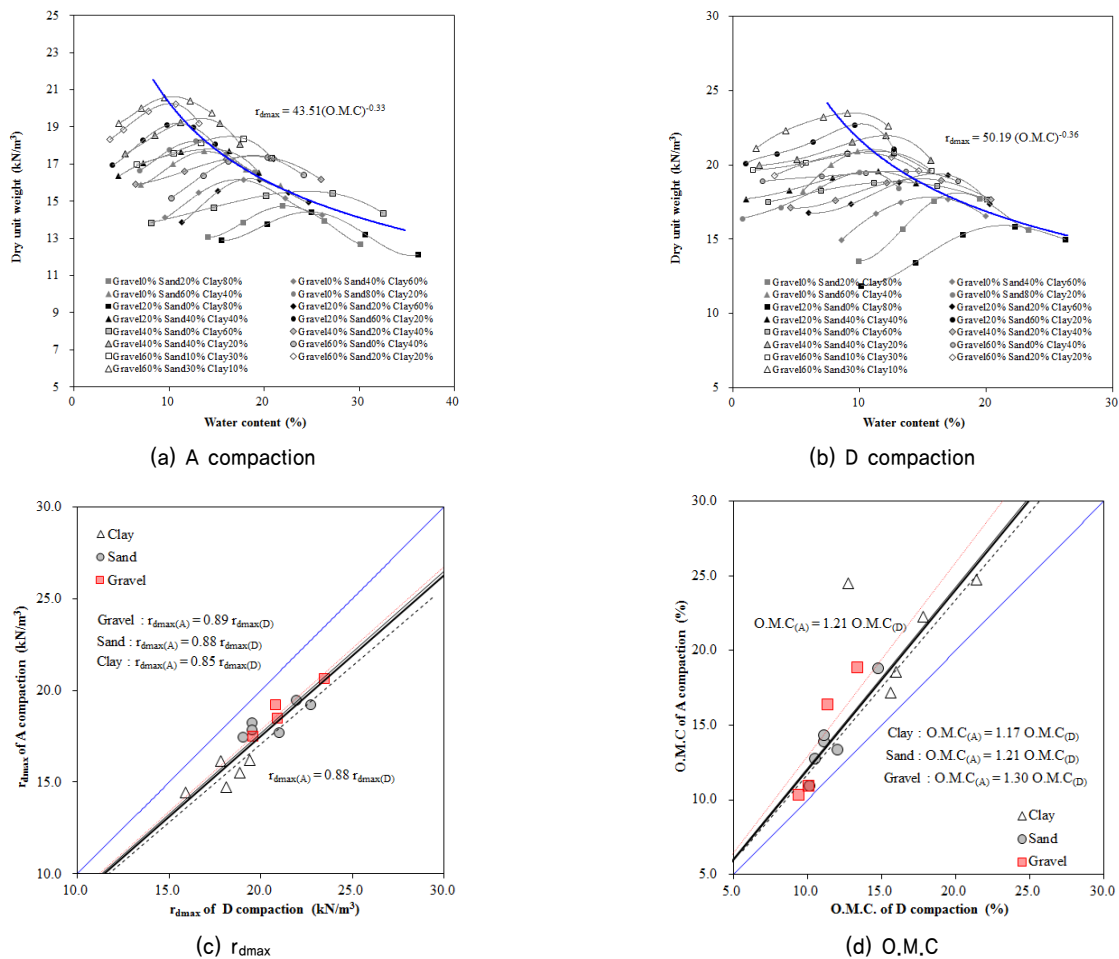


Fig. 8. Results of A, D compaction

- (1) #200체 통과량에 따라 30~50%에서 최대건조단위중량은 감소하고, 최적함수비는 증가하는 경향을 나타내었고, 그 이외에서는 세립분이 많을수록 최적함수비가 산란되는 경향이 있지만 대체적으로 다짐특성이 일정한 값을 갖는 것으로 나타났다. 또한 자갈질과 모래질은 점토질에 비해 약 10% 정도 최대건조단위중량이 크게 산정되었고, 최적함수비는 점토질이 자갈질과 모래질에 비해 약 20~30% 정도 크게 나타났다.
- (2) 모래함유량이 30~60% 사이에서 다짐특성의 변화가 #200체 통과량과는 다르게 나타났으며, 최적함수비와 최대건조단위중량과의 관계는 $r_{dmax} = 22.06e^{-0.016(O.M.C)}$ 으로 기존연구보다 3% 정도 감소한 결과를 얻었다.
- (3) 최대건조단위중량은 액성한계와 소성한계가 증가할수록 감소하였고, 최적함수비는 증가하는 경향을 나타내어 기존 연구결과와 유사하였으며, 국내의 지반특성을 고려한 자료로 충분히 활용할 수 있을 것으로 판단되었다.
- (4) 최대건조단위중량과 최적함수비의 관계는 A다짐이 $r_{dmax} = 43.51(O.M.C)^{-0.33}$, D다짐이 $r_{dmax} = 50.19(O.M.C)^{-0.36}$ 의 관계를 나타내어 D다짐이 A다짐보다는 좌측 위에 위치하는 일반적인 경향을 나타내었다. 또한 최대건조단위중량은 A다짐이 D다짐에 보다 약 10% 작게 나타났고, 최적함수비는 약 20% 크게 나타나는 것으로 검토되었으며, 다짐특성이 크게 나타날수록 증감비율이 증가하는 경향을 나타내었다.

감사의 글

“이 논문은 2015~2016년도 창원대학교 자율연구과제 연구비 지원으로 수행된 연구결과임”으로 이에 감사드립니다.

References

1. Chinkulkijniwat, A., Man-Koksung, E., Uchaipichat, A. and Horpibulsuk, S. (2010), Compaction characteristics of non-gravel and gravelly soils using a small compaction apparatus, *Journal of ASTM International*, Vol. 7, No. 7, pp. 1~15.
2. Gurtug, Y. and Sridharan, A. (2004), Compaction behaviour and prediction of its characteristics of fine grained soils with particular reference to compaction energy, *Soil and Foundation*, Vol. 44, No. 5, pp. 27~36.
3. Johnson, A. W. and Sallberg, J. R. (1960), Factors that influence field compaction of soils, *Highway Research Board Bulletin*, No. 272, pp. 206.
4. KS F 2312 (2001), Standard test method for soil compaction using a rammer, <https://standard.go.kr/KSCI/standardIntro/getStandardSearchView.do>
5. Lee, J. H., Hwang, B. S., Chae, D. H. and Cho, W. J. (2015), Evaluations on the compaction energy effects on the soil compaction at sub-zero temperature, *Journal of the Korean Geo-Environmental Society*, Vol. 16. No. 8, pp. 13~18 (in Korean).
6. Lee, K. W. and Suedkamp, R. J. (1972), Characteristics of irregularly shape compaction curvers of soils, *Highway Research Record*, No. 381, National Academy of Sciences, Washington, D.C., pp. 1~9.
7. Lim, J. H. (2007), Application of Ohio compaction curve in Korea using compaction test results of subgrade, Master's thesis, Yonsei University, pp. 6~44 (in Korean).
8. Pandian, N. S., Nagaraj, T. S. and Manoj, M. (1997), Re-examination of compaction characteristics of fine grained soils, *Geotechnique*, Vol. 47, No. 2, pp. 363~366.
9. Park, J. H. (2010), A study on evaluation of compaction ratio using 10% air voids line, Master's thesis, Keimyung University, pp. 36~51 (in Korean).
10. Ring III, G. W., Sallberg, J. R. and Collins, W. H. (1962), Correlation of compaction and classification test data, *Highway Research Board Bulletin*, No. 325, pp. 577~587.
11. Seo, J. W., Choi, J. S., Kim, J. M., Roh, H. S. and Kim, S. I. (2003), Fundamental study for compaction methods by mechanical tests, *International Journal of Highway Engineering*, Vol. 5, No. 4, pp. 23~35 (in Korean).
12. Sridaran, A. and Nagaraj, H. B. (2005), Plastic limit and compaction characteristics of fine-grained soils, *Ground Improvement*, Vol. 9, No. 1, pp. 17~22.
13. Sridharan A., Rao, S. M. and Joshi, S. (1990), Classification of expansive soils by sediment volume method, *Geotechnical Testing Journal*, Vol. 3, No. 4, pp. 375~380.