

계면활성제를 사용한 유기물 혼합토의 다짐 특성

Compaction Characteristics of Organic Mixture Soils with Surfactants

권 호 진¹ Kwon, Ho-Jin

박 판 영² Park, Pan-Young

Abstract

Compaction tests have been performed to investigate the compaction characteristics of sands and clays with organic mixture. Weathered granite soil, kaolinite, and granulated carbon were used as the alternatives of sand, clay, and organics, respectively. The soapy water which is a kind of surfactant solutions was also used as water substitute to see the engineering properties changes of each soil. As seen when water was used, the optimum moisture contents increased and the maximum dry unit weight decreased for the soil with surfactants as the percentage of the organic contents increased. Surfactants slightly improved the compaction efficiency at low compactive energy level for the weathered granite soil with organics. As the organic contents increased for clays with surfactants, the optimum moisture contents decreased and the maximum dry unit weight increased. Surfactants slightly improved the compaction efficiency of clays with organics at all levels of compaction energy.

요 지

본 연구에서는 유기물이 혼합된 사질토와 점성토의 다짐특성을 파악하기 위하여, 사질토로는 풍화토를, 점성토로는 카오리나이트를, 유기물로는 석탄을 사용하여 혼합토를 만들고 다짐시험을 실시하였다. 또한 다짐시험시 계면활성제의 일종인 비눗물을 물 대신에 사용하여 다짐특성의 차이를 검토하였다. 유기질 풍화토에서 비눗물을 사용해 다짐시험을 하는 경우 물을 사용하여 다짐시험을 하는 경우와 마찬가지로 유기물함량이 클수록 최적함수비는 증가하고 최대건조단위중량은 감소하였다. 유기질 풍화토에서 작은 다짐에너지를 사용하는 경우에는 물 대신에 비눗물을 사용하면 다짐효과가 다소 증진하는 것으로 나타났다. 유기질 점성토에서는 비눗물을 사용해 다짐시험을 하는 경우 물을 사용하여 다짐시험을 하는 경우와 마찬가지로 유기물함량이 클수록 최적함수비는 감소하고 최대건조단위중량은 증가하였다. 유기질 점성토에서는 다짐에너지의 크기에 관계없이 물 대신에 비눗물을 사용하면 다짐효과가 다소 증진하는 것으로 나타났다.

Keywords : Compaction, Kaolinite, Organics, Soapy water, Surfactants, Weathered granite soil

1. 서 론

흙에 유기질 성분이 함유되어 있으면 흙의 강도가 변화하기 때문에 일반적으로 유기물함량이 큰 흙은 성토

재료로 사용하지 않는다. 그러나 현장사정 등에 의하여 유기질 성분이 들어있는 흙에 대해 다짐을 하여 개량시켜 활용할 수도 있다.

본 연구에서는 유기물 혼합토의 다짐 특성을 파악하

1 정회원, 광주대학교 토목공학과 교수 (Member, Prof. of Civil Engrg., Gwangju Univ., hojinkon@gwangju.ac.kr, 교신저자)

2 정회원, 다산 이엔지(주) 주임 (Member, Dasan ENG)

* 본 논문에 대한 토의를 원하는 회원은 2011년 9월 30일까지 그 내용을 학회로 보내주시기 바랍니다. 저자의 검토 내용과 함께 논문집에 게재하여 드립니다.

기 위하여 유기질 사질토와 유기질 점성토를 인위적으로 조성하여 다짐시험을 실시하였다(박판영 2009).

사질토로는 광주광역시 진월동 광주대학교 근처에서 채취한 풍화토를 사용하였고, 점성토로는 대표적 점성토인 카오리나이트(kaolinite)를 사용하였다. 유기물로는 석탄을 사용하였으며, 혼합토에 대한 유기물의 중량비를 각각 0%, 25%, 50%, 75%로 변화시켜 혼합하였다.

이러한 유기물 혼합토에 대해 비반복법으로 다짐시험을 실시하여 다짐에너지의 크기와 유기물 함량에 따른 최대건조단위중량과 최적함수비의 관계를 살펴보았다.

계면활성제의 일종인 비눗물은 계면장력의 저감효과 때문에 흡입자 사이의 마찰을 줄여 다짐효율의 변화가 발생할 수 있으므로(남기대 등 1997), 위와 같은 다짐시험을 할 때 물 대신에 비눗물을 사용하여 다짐특성의 차이를 검토하였다.

2. 계면활성제

2.1 계면활성제의 정의

계면활성제(surfactants; surface active agents)는 물질간의 계면에 모이기 쉬운 성질을 가지고 계면에서 그 물질간의 성질을 현저히 변화시키는 것이다.

일반적으로 계면활성제는 친수성단(hydrophilic end)과 소수성단(hydrophobic end)을 동시에 가지고 있으며(남기대 등 1997), 수용액 상에서 친수성단은 극성을 띄거나 이온화되는 부분으로 물과 같은 극성용매에 친화도가 크다. 반면에, 소수성단은 긴 사슬모양의 탄화수소 화합물로 구성되어, 소수성 또는 무극성 용매에 친화도가 크다. 이러한 특징은 계면장력을 크게 감소시키는 원인이 된다(Rouse, J. D. 등 1993).

2.2 계면활성제의 특성

2.2.1 흡윤작용과 침투작용

계면활성제는 두 물질간의 접촉각을 감소시켜 흡윤작용 또는 침투작용을 증대시키는 효과를 낳는다. 두 물질간의 접촉각이 작아지면 흡윤성이 좋아져 물질의 표면에서 쉽게 퍼지게 되며, 이것은 흡입자 내부에서 용액의 침투를 증진시킨다(Porter, M. R. 1994). 이러한 흡윤성은 다공질 매체내의 여러 가지 물질에 대하여 모세관압력에 영향을 미치는 주된 인자이다.

2.2.2 유화작용 및 분산작용

친수성과 친유성의 두 가지 액체의 혼합물로서 한 가지 액체가 다른 액체에 미세입자로 분산되어 있는 상태를 유탁액 또는 에멀전이라고 하며, 고체가 미세한 입자로 존재하고 있을 경우에는 현탁액이라고 한다(박래정, 1997).

이 경우 미세입자와 액체 사이에서 작용하는 힘(계면장력) 때문에 유화 또는 분산시키기가 어렵게 된다. 하지만, 계면활성제를 사용하게 되면 계면장력이 감소하기 때문에 유화 또는 분산이 쉽게 이루어진다.

2.2.3 기포작용

기포는 기체가 액체의 얇은 막으로 싸여 있는 것으로, 계면활성제의 분자는 기체와 액체의 계면에 흡착해서 튼튼한 막을 만들면서 계면장력을 저하시키고 기포의 파괴를 어렵게 만든다. 하지만, 복잡한 인자에 의하여 기포가 쉽게 발생되기도 하고, 쉽게 없어지기도 하기 때문에 현재로서는 아직 완전히 규명되지 않은 상태이다.

2.2.4 세정작용

계면활성제에 대하여 일반적으로 많이 알려져 있는 작용으로, 계면장력의 저하작용에 의한 습윤, 침투, 유화, 분산, 기포작용 등 계면활성제의 유용한 작용 모두를 필요로 하는 것이다. 충분한 습윤 및 침투작용으로 인하여 오염물질의 탈착을 촉진하며, 액체상에서 유화 및 분산하도록 하는 작용을 포함해야 한다.

3. 시험 재료 및 방법

3.1 시험 재료

본 연구에서 사용한 사질토는 광주광역시 진월동 광주대학교 근처에서 채취한 풍화토 중 4번체를 통과한 것을 사용하였고, 기본물성치는 표 1과 같다. 점성토는 경

표 1. 풍화토의 기본 물성치

자갈비율	4.54%
모래비율	92.36%
실트 및 점토 비율	3.1%
균등계수	9.4
곡률계수	0.7
비중	2.62
흙의 분류	SP (poorly graded sand)

표 2. 카오리나이트의 기본 물성치

비 중	2.57
액성한계	45.19(%)
소성한계	39.92(%)
소성지수	5.27(%)
200번체 통과율	97.1(%)

표 3. 석탄의 입도분포

입자의 크기	중량비
4.75mm~0.075mm(모래 크기)	99.7%
0.075mm 이하(실트/점토 크기)	0.3%

상남도 산청군에서 채취한 카오리나이트(kaolinite)를 시중에서 구입하여 사용하였으며, 기본물성치는 표 2와 같다. 유기물로는 고정탄소의 함량이 85~95%로서 탄소를 기본골격으로 한 화합물인 석탄을 사용하였다. 석탄은 광주광역시 OO산업에서 생산하는 연탄을 분쇄하여 가루로 만든 후 4번체를 통과한 것을 사용하였다(표 3).

유기물을 풍화토 또는 카오리나이트에 혼합한 흙에 대한 유기물의 중량비율이 0%, 25%, 50%, 75%가 되도록 만든 혼합토 시료에 대하여 다짐시험을 실시하였다.

또한 다짐시험시 계면활성제의 일종인 비눗물을 물 대신에 사용하여 다짐효과의 차이점을 비교 검토하였으며, 이때 비눗물로는 음이온성 계면활성제와 비이온성 계면활성제가 주성분인 약알칼리성 1종 가루비누(시중판매제품)를 사용하였으며, 물에 대한 중량비 2%의 가루비누를 물과 함께 혼합하여 사용하였다.

3.2 시험 방법

유기물함량이 다른 여러 가지의 유기질 풍화토와 유기질 점성토에 대하여 표준다짐시험을 실시하였다(한국표준협회, 2001). 다짐시험시 입자파쇄에 의한 세립분 증가로 인한 영향을 방지하기 위하여 다짐에 사용한 흙시료를 반복 사용하지 않는 비반복법을 적용하였다.

표준다짐시험에서 다짐에너지를 변화시키기 위하여 낙하횟수 25회는 일정하게 하고 낙하높이만 10cm, 20cm, 30cm의 3가지로 바뀌가면서 다짐시험을 실시하였다. 각 낙하높이에 해당하는 다짐에너지를 계산하면 표 4와 같다(권호진 외 3인, 2001).

또한 계면활성제의 다짐효과를 알기 위하여 물드안의 흙시료를 다짐 때 물 대신에 계면활성제의 일종인 비눗물을 사용하여 다짐시험을 실시하였다.

표 4. 낙하높이와 다짐에너지

낙하높이(cm)	다짐에너지(kg·cm/cm ³)
10	1.875
20	3.75
30	5.625

위와 같은 다양한 경우에 대하여 최적함수비와 최대 건조단위중량을 알아내고 다짐의 특성을 비교 검토 하였다.

4. 유기질 풍화토의 시험 결과 및 분석

4.1 물을 사용한 다짐시험

유기질 풍화토에 대한 다짐시험에서 물을 사용한 경우의 유기물함량에 따른 다짐시험 결과는 그림 1~그림 3과 같다. 또 유기물함량에 따른 최적함수비의 변화는 그림 4와 같이, 유기물함량에 따른 최대건조단위중량의 변화는 그림 5와 같이 정리할 수 있다.

유기질 풍화토에서 물을 사용해 다짐시험을 한 결과 그림 1~그림 3에서처럼 다짐에너지가 클수록 다짐곡선이 왼쪽으로 상향 이동하여 최적함수비는 감소하고

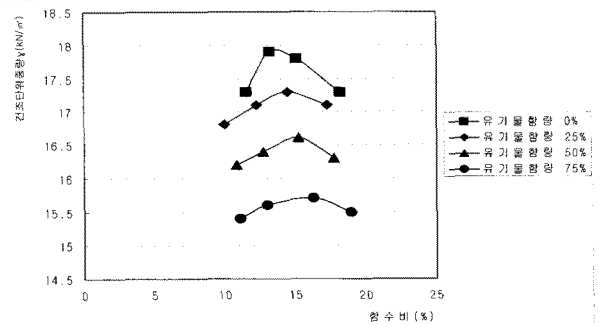


그림 1. 유기질 풍화토의 다짐곡선(물 사용, 낙하높이 30cm)

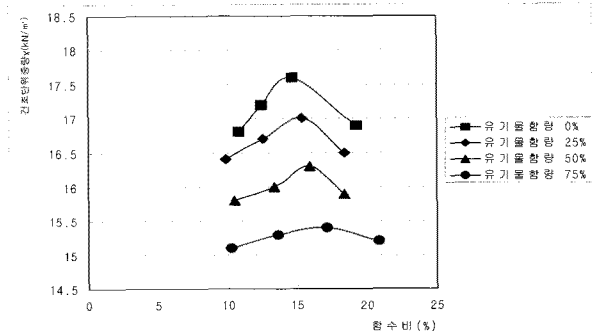


그림 2. 유기질 풍화토의 다짐곡선(물 사용, 낙하높이 20cm)

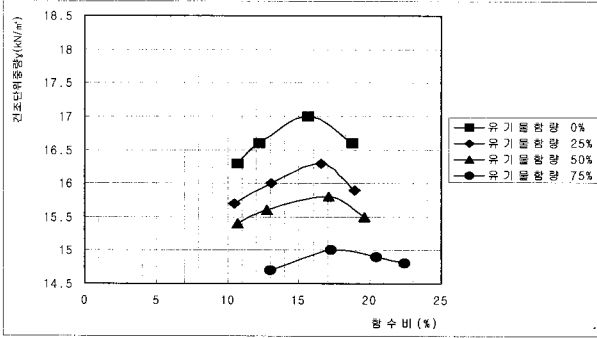


그림 3. 유기질 풍화토의 다짐곡선(물 사용, 낙하높이 10cm)

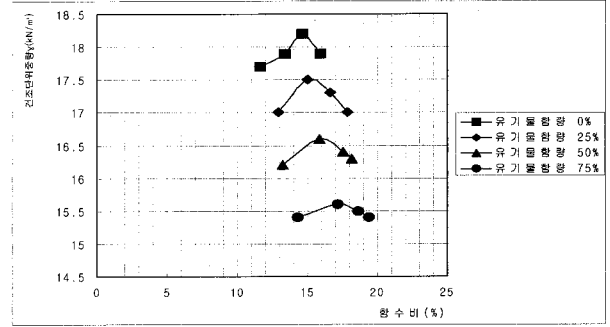


그림 6. 유기질 풍화토의 다짐곡선(비눗물 사용, 낙하높이 30cm)

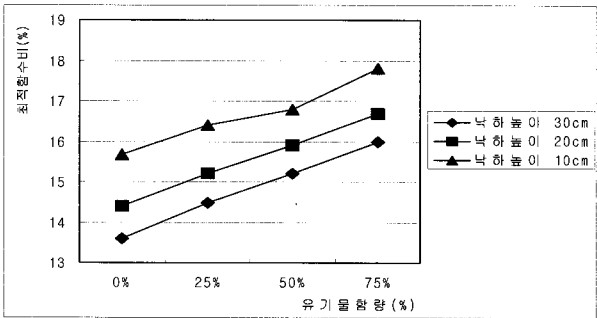


그림 4. 유기질 풍화토의 유기물함량에 따른 최적함수비(물 사용)

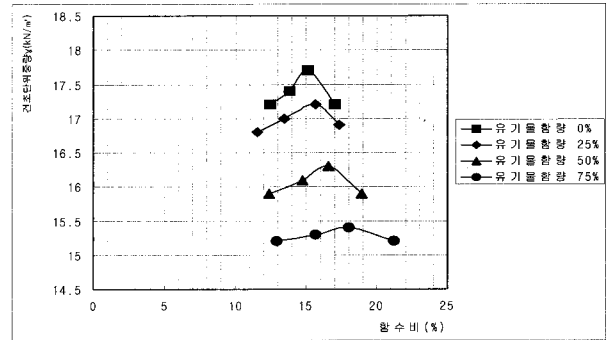


그림 7. 유기질 풍화토의 다짐곡선(비눗물 사용, 낙하높이 20cm)

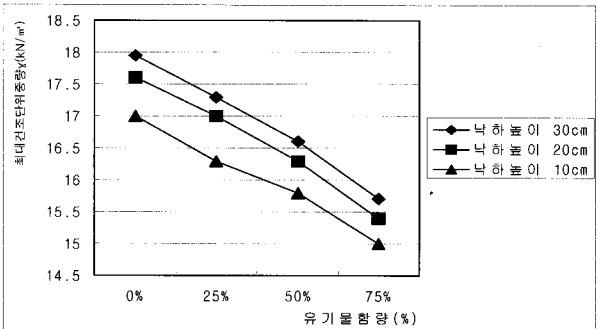


그림 5. 유기질 풍화토의 유기물함량에 따른 최대건조단위중량(물 사용)

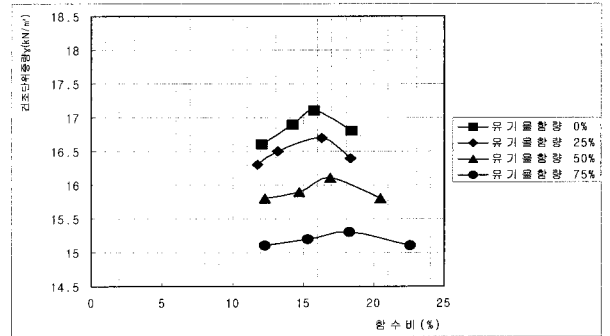


그림 8. 유기질 풍화토의 다짐곡선(비눗물 사용, 낙하높이 10cm)

최대건조단위중량은 증가하는 것을 확인할 수 있었다.

그림 4~그림 5에서 알 수 있듯이 유기물함량이 클수록 최적함수비는 증가하고 최대건조단위중량은 감소하는 경향을 나타내었다. 또한 유기물함량이 클수록 다짐곡선의 경사가 완만하게 나타났으며, 특히 유기물함량이 75%인 경우에는 다짐함수비에 따른 다짐효과가 크지 않은 것을 알 수 있었다. 이와 같은 특성은 다짐에너지의 크기에 관계없이 동일한 경향을 나타내었다.

4.2 비눗물을 사용한 다짐시험

유기질 풍화토에 대한 다짐시험에서 비눗물을 사용한 경우의 유기물함량에 따른 다짐시험 결과는 그림 6~그

림 8과 같다.

유기질 풍화토에서 비눗물을 사용해 다짐시험을 한 결과는 물을 사용하여 다짐시험을 한 경우와 마찬가지로 다짐에너지가 클수록 최적함수비는 감소하고 최대건조단위중량은 감소하였다. 또한 유기물함량이 클수록 최적함수비는 증가하고 최대건조단위중량은 감소한 것으로 나타났다.

유기물 풍화토에서 물 및 비눗물을 사용한 다짐시험 결과를 비교하면 최적함수비의 비교는 그림 9~그림 11과 같고, 최대건조단위중량의 비교는 그림 12~그림 14와 같다.

그림에서 유기물 풍화토에서는 다짐에너지가 큰 경우에는 비눗물을 사용한 경우가 물을 사용한 경우에 비

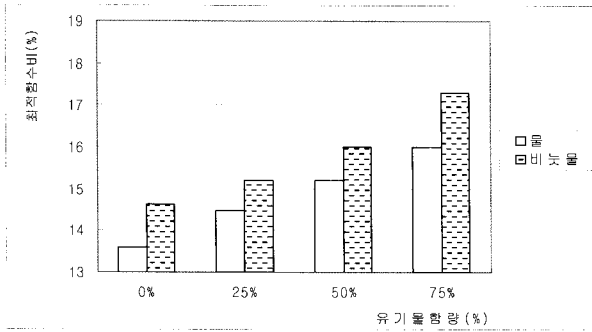


그림 9. 유기질 풍화토의 유기물함량에 따른 최적함수비(낙하높이 30cm)

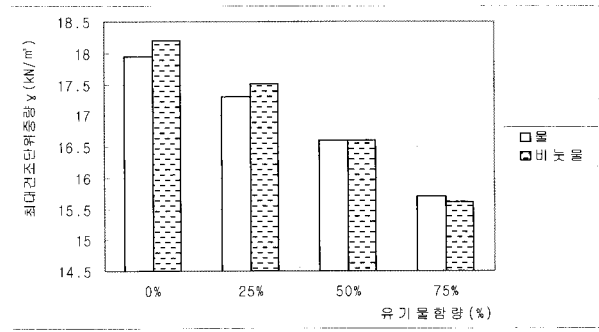


그림 12. 유기질 풍화토의 유기물함량에 따른 최대건조단위중량(낙하높이 30cm)

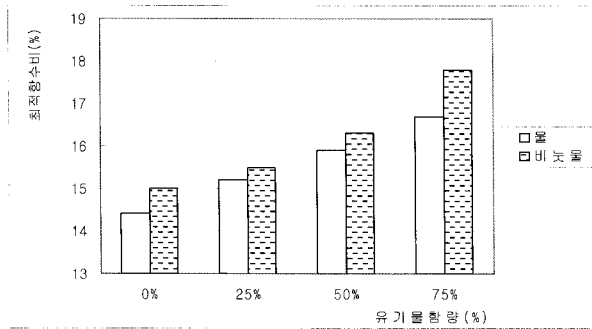


그림 10. 유기질 풍화토의 유기물함량에 따른 최적함수비(낙하높이 20cm)

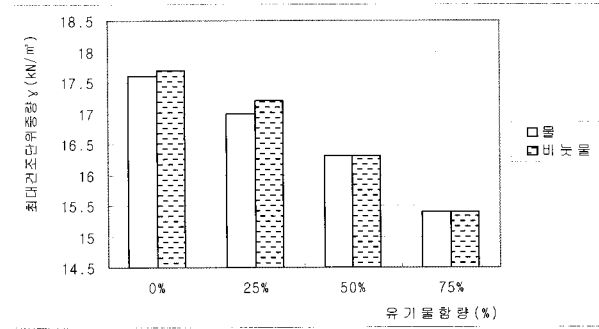


그림 13. 유기질 풍화토의 유기물함량에 따른 최대건조단위중량(낙하높이 20cm)

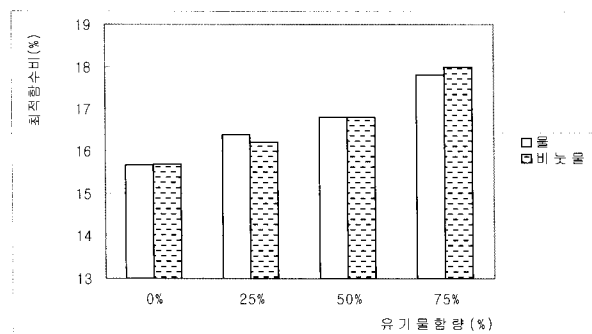


그림 11. 유기질 풍화토의 유기물함량에 따른 최적함수비(낙하높이 10cm)

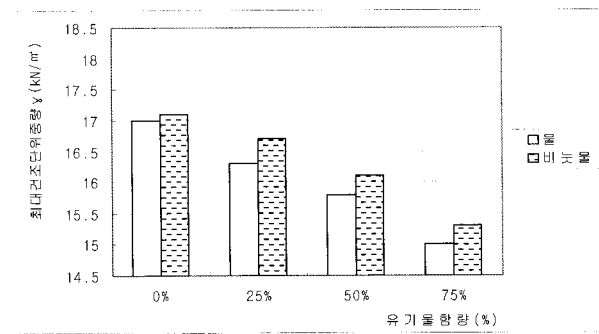


그림 14. 유기질 풍화토의 유기물함량에 따른 최대건조단위중량(낙하높이 10cm)

하여 최적함수비는 증가율 5%~8% 정도로 다소 증가하지만 최대건조단위중량은 증가율 1% 미만으로 크게 증가하지 않는다는 것을 알 수 있다. 그러나 다짐에너지가 작은 경우에는 비눗물을 사용하면 최적함수비는 거의 비슷하지만 최대건조단위중량은 증가율 2%~4% 정도로 약간 증가한다는 것을 알 수 있다.

이러한 현상은 다짐에너지가 작은 경우에는 비눗물이 흡입자 사이에 윤활작용을 하여 다짐효과를 다소 증진시키며, 다짐에너지가 큰 경우에는 윤활작용에 의한 증진효과가 다짐에너지의 증가효과에 상쇄되기 때문인 것으로 여겨진다.

따라서 유기질 풍화토에서 작은 다짐에너지를 사용

하는 경우에는 물 대신에 비눗물을 사용하면 다짐효과가 다소 증진하는 것으로 판단되며, 추후 비눗물농도에 따른 다짐효과의 차이도 검토할 필요가 있다.

5. 유기질 점성토의 시험 결과 및 분석

5.1 물을 사용한 다짐시험

유기질 점성토에 대한 다짐시험에서 물을 사용한 경우의 유기물함량에 따른 다짐시험 결과는 그림 15~그림 17과 같다. 또 유기물함량에 따른 최적함수비의 변화는 그림 18과 같이, 유기물함량에 따른 최대건조단위중

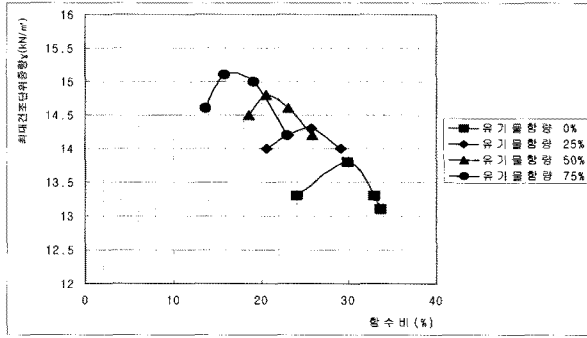


그림 15. 유기질 점성토의 다짐곡선(물 사용, 낙하높이 30cm)

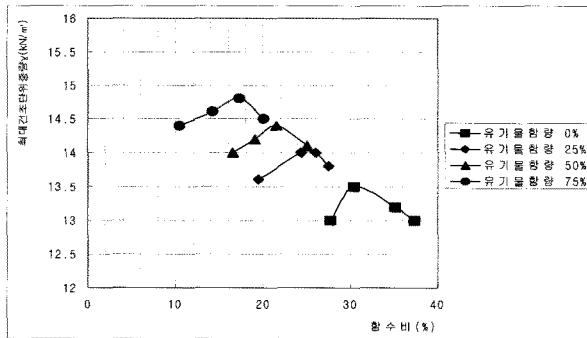


그림 16. 유기질 점성토의 다짐곡선(물 사용, 낙하높이 20cm)

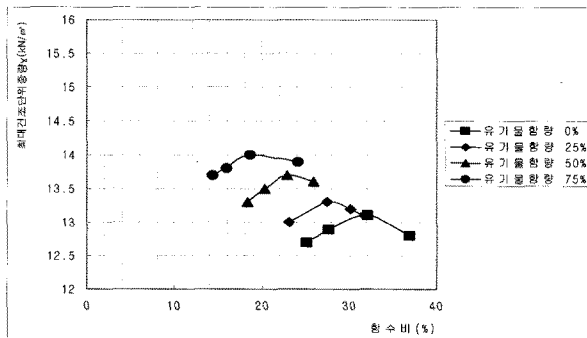


그림 17. 유기질 점성토의 다짐곡선(물 사용, 낙하높이 10cm)

량의 변화는 그림 19와 같이 정리할 수 있다.

유기질 점성토에서 물을 사용해 다짐시험을 한 결과 그림 15~그림 17에서처럼 다짐에너지가 클수록 다짐곡선이 왼쪽으로 상향 이동하여 최적함수비는 감소하고 최대건조단위중량은 증가하는 것을 확인할 수 있었으며, 이는 유기질 풍화토의 경우와 동일한 경향이다.

그러나 그림 18 및 그림 19에서 알 수 있듯이 유기물 함량이 클수록 최적함수비는 감소하고 최대건조단위중량은 증가하는 것을 알 수 있으며, 이는 유기질 풍화토의 경우와는 반대의 경향이다.

이와 같은 경향은, 다짐에너지가 같을 경우 조립토가 세립토보다 최대건조단위중량이 크고 최적함수비는 작아지는 것처럼, 세립토인 카오리나이트에 혼합된 유기

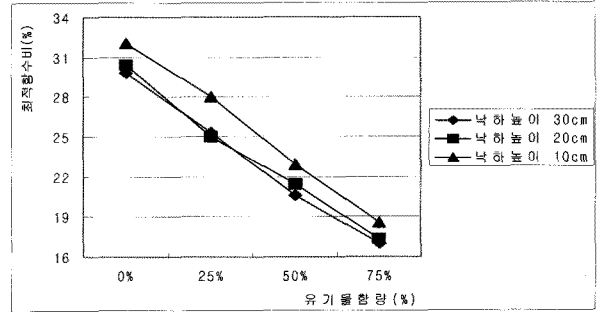


그림 18. 유기질 점성토의 유기물함량에 따른 최적함수비(물 사용)

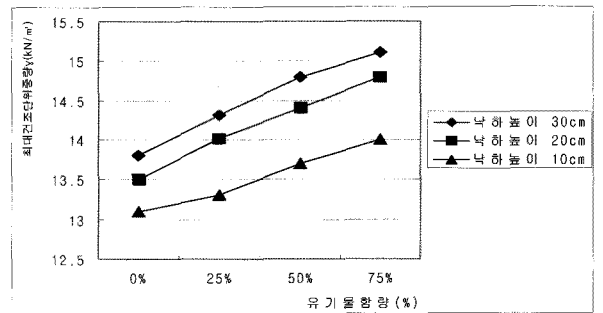


그림 19. 유기질 점성토의 유기물함량에 따른 최대건조단위중량(물 사용)

물(석탄)이 카오리나이트보다 입자가 커서 조립토 역할을 하여 최적함수비는 감소하고 최대건조단위중량은 증가한 것으로 판단된다.

5.2 비눗물을 사용한 다짐시험

유기질 점성토에 대한 다짐시험에서 비눗물을 사용한 경우의 유기물함량에 따른 다짐시험 결과는 그림 20~그림 21과 같다.

유기물 점성토에서 비눗물을 사용해 다짐시험을 한 결과는 물을 사용하여 다짐시험을 한 경우와 마찬가지로 다짐에너지가 클수록 최적함수비는 감소하고 최대건조단위중량은 증가하였다. 또한 유기물함량이 클수록 최적함수비는 감소하고 최대건조단위중량은 증가한 것으로 나타났다.

유기질 점성토에서 물 및 비눗물을 사용한 다짐시험 결과를 비교하면 최적함수비의 비교는 그림 23~그림 25와 같고, 최대건조단위중량의 비교는 그림 26~그림 28과 같다.

그림 23~그림 25에서 비눗물을 사용한 경우가 물을 사용한 경우보다 최적함수비가 3%~8% 정도 작아지는 것을 알 수 있고, 이와 같은 경향은 다짐에너지가 작을수록 뚜렷하게 나타났다. 이는 유기물 풍화토의 경우와는 다른 경향으로 볼 수 있다.

또 그림 26~그림 28에서는 비눗물을 사용한 경우가

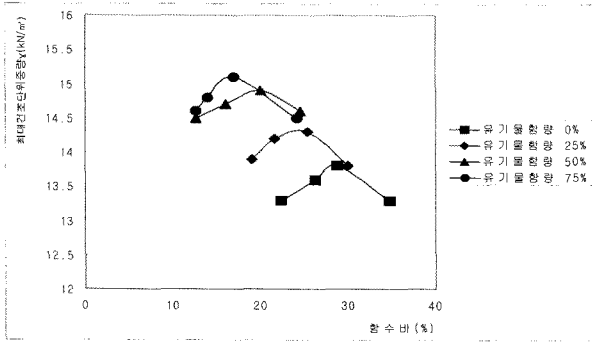


그림 20. 유기질 점성토의 다짐곡선(비눗물 사용, 낙하높이 30cm)

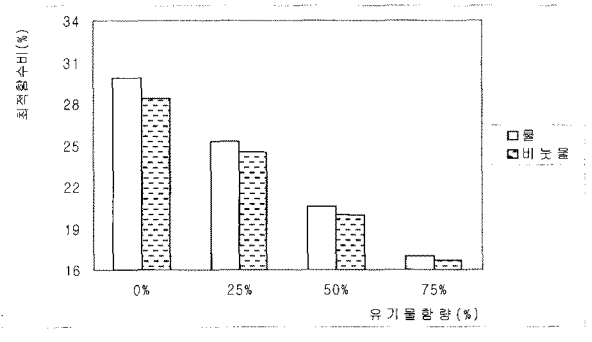


그림 23. 유기질 점성토의 유기물함량에 따른 최적함수비(낙하높이 30cm)

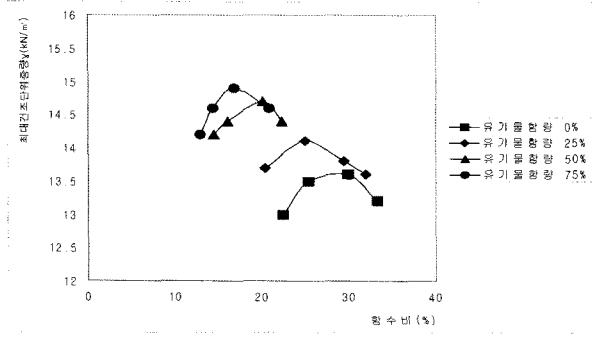


그림 21. 유기질 점성토의 다짐곡선(비눗물 사용, 낙하높이 20cm)

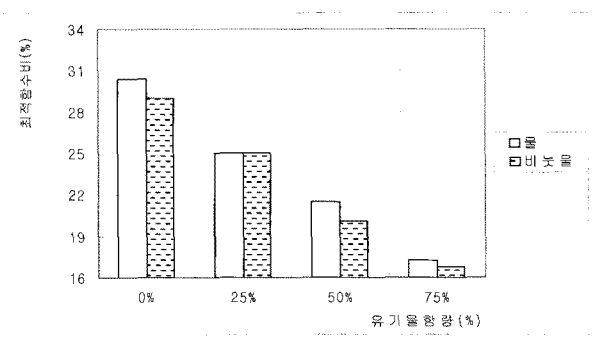


그림 24. 유기질 점성토의 유기물함량에 따른 최적함수비(낙하높이 20cm)

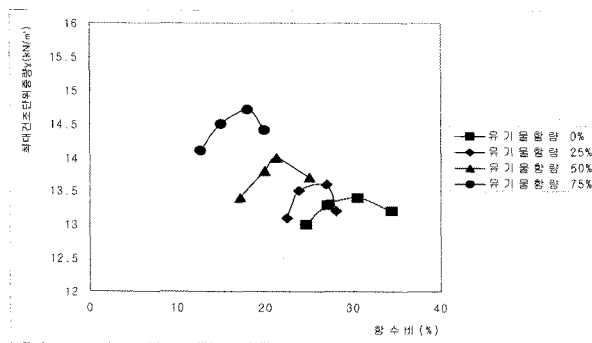


그림 22. 유기질 점성토의 다짐곡선(비눗물 사용, 낙하높이 10cm)

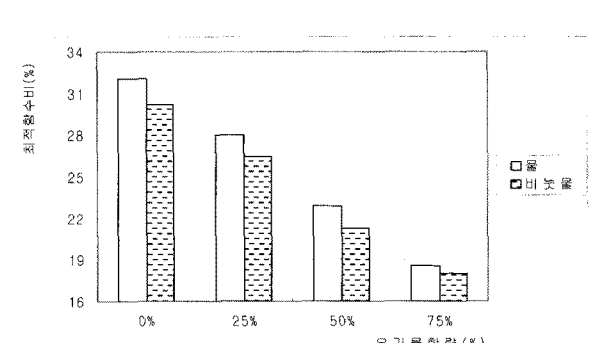


그림 25. 유기질 점성토의 유기물함량에 따른 최적함수비(낙하높이 10cm)

물을 사용한 경우보다 최대건조단위중량이 3%~5% 정도 커지는 것을 알 수 있고, 이와 같은 경향은 다짐에너지가 작을수록 뚜렷하게 나타났다. 이는 유기물 풍화토의 경우와 동일한 경향으로 볼 수 있다.

이와 같이 유기질 점성토에서 다짐에너지의 크기와 관계없이 다짐효과가 증진하는 것은 비눗물의 음이온 성분과 점성토의 음전기 사이에 반발력이 작용하여 점성토입자가 이산화되어 다짐효과가 증진되기 때문인 것으로 여겨진다.

따라서 유기질 점성토에서는 다짐에너지가 작은 경우뿐만 아니라 다짐에너지가 큰 경우에도 물 대신 비눗물을 사용하면 최적함수비는 다소 감소하고 최대건조단위중량은 다소 증가하여 다짐효과가 증진하는 효과

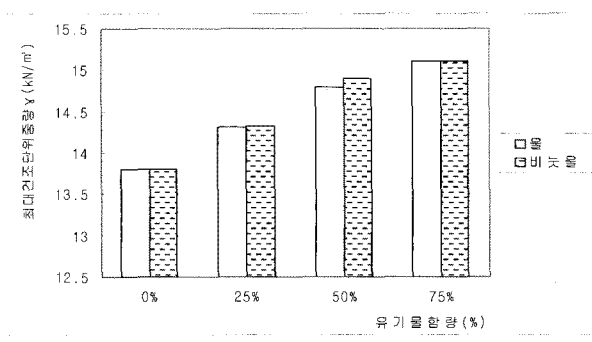


그림 26. 유기질 점성토의 유기물함량에 따른 최대건조단위중량(낙하높이 30cm)

가 있는 것으로 판단되며, 추후 비눗물농도에 따른 다짐효과의 차이도 검토할 필요가 있다.

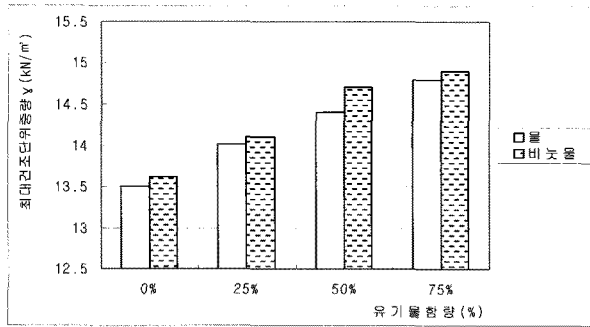


그림 27. 유기질 점성토의 유기물함량에 따른 최대건조단위중량(낙하 높이 20cm)

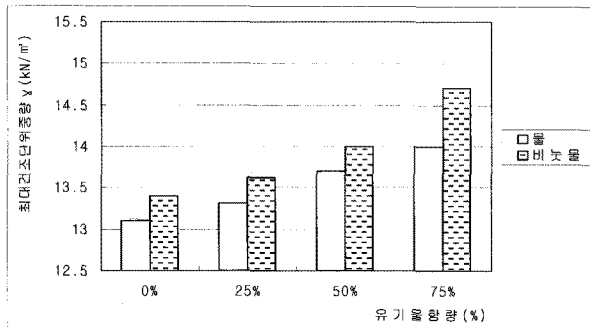


그림 28. 유기질 점성토의 유기물함량에 따른 최대건조단위중량(낙하 높이 10cm)

6. 결론

본 연구에서는 유기물이 혼합된 사질토와 점성토의 다짐특성을 파악하기 위하여, 사질토로는 풍화토를, 점성토로는 카오리나이트를, 유기물로는 석탄을 사용하여 혼합토를 만들고 비반복법으로 다짐시험을 실시하였다. 또한 다짐시험시 계면활성제의 일종인 비눗물을 물 대신에 사용하여 다짐특성의 차이를 검토하였다. 그 결과는 다음과 같다.

- (1) 유기질 풍화토에서 비눗물을 사용해 다짐시험을 하는 경우 물을 사용하여 다짐시험을 하는 경우와 마찬가지로 유기물함량이 클수록 최적함수비는 증가하고 최대건조단위중량은 감소하였다. 또 유기물함량이 클수록 다짐곡선의 경사가 완만한 경향을 나타내었다.
- (2) 유기질 풍화토에서 다짐에너지가 큰 경우에는 비눗물을 사용한 경우가 물을 사용한 경우에 비하여 최적함수비는 5%~8% 정도 다소 증가하고 최대건조단위중량은 비슷하게 나타났다. 그러나 다짐에너지가 작은 경우에는 비눗물을 사용하면 최적함수비는 비슷하지만 최대건조단위중량은 2%~4% 정도 약간 증가하였다. 이는 다짐에너지가 작은 경우에는 비눗물이 흡입

자 사이에 윤택작용을 하여 다짐효과를 다소 증진시키며, 다짐에너지가 큰 경우에는 윤택작용에 의한 증진효과가 다짐에너지의 증가효과에 상쇄되기 때문인 것으로 여겨진다. 따라서 유기질 풍화토에서 작은 다짐에너지를 사용하는 경우에는 물 대신에 비눗물을 사용하면 다짐효과가 다소 증진하는 것으로 판단된다.

- (3) 유기질 점성토에서는 비눗물을 사용해 다짐시험을 하는 경우 물을 사용하여 다짐시험을 하는 경우와 마찬가지로 유기물함량이 클수록 최적함수비는 감소하고 최대건조단위중량은 증가하였으며, 이는 유기질 풍화토에서의 결과와는 반대의 결과이다. 이는 세립토인 카오리나이트에 혼합된 유기물(석탄)이 카오리나이트보다 입자가 커서 조립토 역할을 하기 때문인 것으로 판단된다.
- (4) 유기질 점성토에서는 다짐에너지가 큰 경우나 작은 경우 모두 비눗물을 사용해 다짐시험을 하는 경우가 물을 사용한 경우에 비하여 최적함수비는 3%~8% 정도 감소하고 최대건조단위중량은 3%~5% 정도 증가하였다. 이는 비눗물의 음이온성 성분과 점성토의 음전기 사이에 반발력이 작용하여 점성토입자가 이산화되어 다짐효과가 증진되기 때문인 것으로 여겨진다. 따라서 유기질 점성토에서는 다짐에너지의 크기에 관계없이 물 대신에 비눗물을 사용하면 다짐효과가 다소 증진하는 것으로 판단된다.

감사의 글

이 연구는 2010년도 광주대학교 대학연구비의 지원을 받아 수행되었으며 이에 감사하는 바입니다.

참고 문헌

1. 권호진, 박준범, 송영우, 이영생 (2001), *토질역학*, 구미서관, pp.65-79.
2. 남기대, 정노희, 권석기 (1997), *유기공업화학*, 보성각, pp.127-185.
3. 박래정 (1997), *유기공업화학*, 청문각, pp.52-556.
4. 박판영 (2009), *유기물이 혼합된 풍화토와 카오리나이트의 다짐 특성에 관한 연구*, 광주대학교 산업대학원 석사학위논문.
5. 한국표준협회 (2001), *한국산업규격 KS F 2312*.
6. Porter (1994), M. R., *Handbook of Surfactants*, 2nd Edition, pp. 26-93.
7. Rouse, J. D., Sabatini, D. A., and Harwell, J. H., "Minimizing Surfactant Losses Using Twin-Head Anionic Surfactants in Subsurface Remediation", *Environmental Science & Technology*, Vol.27, No.10, 1993.

(접수일자 2010. 2. 22, 심사완료일 2010. 11. 25)