

호소 슬러지 혼합토의 다짐 및 전단 특성

Characteristics of Compaction and Shear Strength for Mixed Soil with Sludge in Pond

김택상¹⁾, Taek-Sang Kim, 이준현²⁾, Heon-Jun Lee, 채창우²⁾, Chang-Woo Chae, 이주형²⁾, Ju-Hyeong Lee, 이명구²⁾, Myung-Gu Lee, 송창섭³⁾, Chang-Seob Song,

¹⁾ 충북대학교 지역건설공학과 석사, Graduate Student, Dept. of Agricultural & Rural Engineering, Chungbuk National Univ.

²⁾ 충북대학교 지역건설공학과 석사과정, Graduate Student, Dept. of Agricultural & Rural Engineering, Chungbuk National Univ.

³⁾ 충북대학교 지역건설공학과 교수, Professor, Dept. of Agricultural & Rural Engineering, Chungbuk National Univ.

SYNOPSIS : The pond sludge from golf course which is a place of business waste that recycling is necessary. But, Most pond sludge was controlled by incineration and reclamation. Also, There are no research about pond sludge from waste point of view. The purpose of this study was focusing on recycling of pond sludge to make block of vegetation. In this study, in order to recycle the pond sludge with block of vegetation from mixed additive that analyzed characteristics of strength from compaction test and shear strength test.

Keywords : sludge in pond, compaction, shear strength, mixed soil

1. 서 론

우리나라 골프는 중요한 레저스포츠 산업의 한 분야로 자리 잡아 가면서, 골프장 산업 시장규모는 급성장하였다. 이러한 시장규모의 증가에 따라 골프장 개발사업은 많은 환경오염 문제가 제기되고 있는데, 그 중 골프장 잔디는 대부분 수입한 것으로, 기후와 풍토가 맞지 않는 우리나라에서 관리하려면 많은 양의 농약과 비료가 투입된다. 따라서 골프장 잔디에 비가 오면 골프장내의 호소로 농약성분과 함께 많은 찌꺼기들이 쌓여 호소슬러지를 발생시킨다.

현재 전국의 골프장 수는 200개정도로 슬러지의 양이 해마다 꾸준히 증가하는 추세이며, 현재 건설중인 골프장을 고려하면 앞으로 더욱 많은 양의 슬러지가 발생할 것으로 추측된다. 이에 따라 골프장의 슬러지의 처리 방법의 개발이 시급한 실정이다.

호소슬러지는 현행법상 사업장 폐기물로서 재활용의 필요성이 있음에도 불구하고 매립이 주처리방법이 되고 있으며, 매립되는 과정에도 많은 문제점이 발생하고 있다. 우리나라 폐기물 관리의 우선순위를 보면 폐기물의 억제 및 감량, 재이용, 재활용, 에너지 회수, 소각, 매립의 순으로 이는 원칙적으로 폐기물을 감소하여 매립장 확보의 난관을 극복하는데 목적이 있다 (환경부, 1998). 폐기물 관리법에 의하면 회수된 호소 슬러지는 소각하거나 수분을 탈수, 건조하여 매립하도록 규정을 하고 있다. 그러나 소각의 경우 2차 대기오염 물질을 발생시키며, 매립하는 경우에도 탈수 및 건조 등의 중간 처리 비용이 상당히 많이 소요되고 매립공간 확보도 어려워 현재의 처분 방법은 비효율적이다.

본 연구에서는 폐기물인 호소 슬러지를 재활용하기 위하여, 호소 슬러지의 단점인 함수비와

전단강도를 개선하기 위한 여러 종류의 혼화재를 첨가하여 다짐 및 일축압축시험을 수행하였다. 연구결과를 바탕으로 식생블럭 등 호소 슬러지의 재활용을 위한 기초자료로 제공하고자 한다.

2. 시료와 다짐도에 따른 배합비

2.1 호소슬러지

호소 슬러지는 500% 이상의 함수비를 포함하고, 식물이 자라기에 풍부한 유기물과 무기물을 함유하고 있어 사면의 초기 녹화시 초본류의 성장에 유용한 것으로 알려져 있다. 그러나 함수비가 높음에도 불구하고 굳을 경우 돌처럼 단단해지는 경향으로 식물의 식재에 어려움이 있어 재료로서의 활용은 어려운 실정이다. 주재료인 호소 슬러지와 토사가 전단강도에 미치는 특성을 분석하기 위해 호소슬러지와 토사의 혼합비로 조제하였다. 호소슬러지와 토사의 배합비율은 표 2과 같다. 공시체의 재령일은 7일과 14일로 제작하였다.

2.2 토사

본 연구에서는 호소 슬러지의 단점을 보완하기 위하여 여러 재료를 혼합하였다 토사는 입도 유지용으로써 남원에서 채취한 토사를 사용하였으며, 토사에 대한 물리적 특성은 표 1과 같고 입도 곡선은 그림 1과 같다.

표 1. 토사의 물리적 특성

Gs		2.64
Grain size distribution (%)	2.00mm	66.4
	0.85mm	44.7
	0.425mm	27.4
	0.250mm	16.3
	0.150mm	2.0
	0.075mm	-
PI		N.P
LL(%)		N.P
γ_{dmax} (gf/cm ³)		1.94
OMC (%)		11.1
USCS		SM

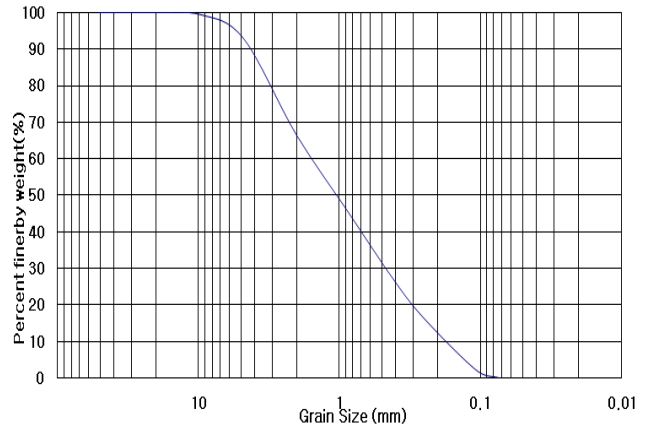


그림 1. 토사의 입도 곡선

2.3 벤토나이트

벤토나이트는 천연 점토광물로서 물속에서 자체 중량의 몇 배가 되는 물을 흡수하는 특유의 분자구조를 가지고 있으며, 완전히 수화되었을 때 그 건조중량의 약 15배까지 팽창하는 성질이 있다. 이러한 성질로 인하여 흙 속의 공극을 채움으로서 투수성을 낮게 하고, 매립지의 차수층을 형성하여 하중의 일부를 분담하는 재료로 사용되고 있다. 벤토나이트는 점토입자 표면의 치환 가능한 이온의 종류에 따라 나트륨계와 칼슘계 벤토나이트로 나뉜다. 나트륨계 벤토나이트가 칼슘계 벤토나이트보다 전단강도는 작으나, 오염물질 차폐재로서 필요한 팽창성과 투수계수 측면에서 동등한 성능을 보인다.

본 연구에서는 물에 대한 팽창성과 점착력을 증가시키기 위하여 이온 치환한 토목공사용 나트륨계 벤토나이트를 사용하였다. 벤토나이트의 영향을 분석하기 위하여 슬러지 및 토사의 배합비율을 일정하게 유지하고, 벤토나이트의 혼합비율을 5~15% 변화시켜 시료를 조제하였다. 표 2는 벤토나이트의 혼합비에 따른 시료의 종류를 나타낸 것이다.

2.4 생석회

생석회는 오래 전부터 냄새를 제거하거나 슬러지를 안정화하는데 사용되어 왔으며 생석회의 주 반응은 소화반응과 유기성물질의 가수분해 반응이다. 음식물쓰레기, 인분, 축분, 도축 폐기물 등의 유기성 폐기물이 생석회와 혼합하면 슬러지를 안정화시키는 작용을 한다. 또한, 혼합처리에 대상폐기물과 생석회를 혼합 및 교반 시키면 폐기물에 함유된 수분과 생석회 사이에서 발열반응이 일어나 혼합기 내부온도가 100~130℃가 되고, 이때 발생하는 열량을 이용하여 유기성 폐기물에 함유된 수분을 감량시킨다. 석회의 영향을 분석하기 위하여 슬러지 및 토사의 배합비율을 일정하게 유지하고, 석회의 혼합비율을 5~15% 변화시켜 시료를 조제하였다. 표 2는 석회의 혼합비에 따른 시료의 종류를 나타낸 것이다.

2.4 시멘트

넓은 의미의 시멘트는 접착시키는 물질을 총칭하나, 건설공사에서 단순히 시멘트라 하는 경우는 포틀랜드시멘트 및 포틀랜드 시멘트계 혼합시멘트를 지칭한다. 시멘트는 연약지반이나 팽창성 흙의 안정제로 많이 이용되고 있으며 강도증진을 목적으로 사용하고 있다.

2.5 유기질 비료

유기질비료는 비료적 효과, 화학적 개량효과 및 물리성 개량 효과 등의 목적으로 사용하고 있다. 비료 공급효과가 큰 것은 전질소 함량이 높고, 탄질률이 낮은 것들로서 계분비료, 돈분비료, 식품산업폐기물 등이 해당되고, 비교적 효과가 적은 것은 톱밥, 왕겨 등과 같이 분해하기 어려운 유기물들이다. 본 연구에서는 돈분퇴비를 사용하였다.

표 2. 시료의 종류

Classification	Specimen	Degree of compaction	Mixing proportion
Group I	SA-1	95 %	sludge 40 : soil 60
	SA-2	95 %	sludge 45 : soil 55
	SA-3	95 %	sludge 50 : soil 50
	SA-4	95 %	sludge 55 : soil 45
	SA-5	95 %	sludge 60 : soil 40
Group II	SD-1	85 %	sludge 40 : soil 52 : bentonite 3 : quicklime 3 : cement 1 : manure 1
		90 %	
		95 %	
	SD-2	85 %	sludge 45 : soil 47 : bentonite 3 : quicklime 3 : cement 1 : manure 1
		90 %	
		95 %	
	SD-3	85 %	sludge 50 : soil 42 : bentonite 3 : quicklime 3 : cement 1 : manure 1
		90 %	
		95 %	

3. 결과

3.1 다짐특성 분석

3.1.1 호소 슬러지와 토사의 혼합비에 따른 다짐 특성

호소 슬러지와 토사의 배합비에 따른 다짐정도를 분석하기 위하여 95%로 다짐한 결과를 검토하였다. 다짐율은 현장상태를 고려하여 95%로 선정하였으며, 시험결과를 요약하면 표 3과 같다. 그림 2에서 볼 수 있듯이 시험에 사용된 슬러지의 함유범위 내에서는 슬러지의 양이 증가할수록 최대건조단위중량은 증가하고, 최적함수비는 감소하는 것으로 나타났다. 또한, 최대건조단위중량은 슬러지의 45%에서 50%, 55%에서 65%의 범위에서 가장 크게 증가하는 것으로 나타났으며, 최적함수비는 슬러지 함유율이 50%에서 55%로 증가할 때 가장 크게 감소하는 것으로 나타났다.

표 3. 슬러지와 토사의 다짐실험 결과

Specimen	Sludge proportion	Soil proportion	γ_{dmax} (gf/cm^3)	OMC (%)
SA-1	40	60	1.27	34.4
SA-2	45	55	1.27	34.1
SA-3	50	50	1.33	32.7
SA-4	55	45	1.36	30.2
SA-5	60	40	1.41	29.4

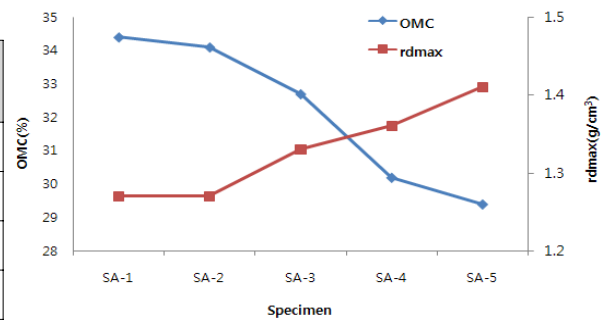


그림 2. 슬러지와 토사의 다짐실험 결과

3.1.2 다짐율에 따른 특성

호소슬러지와 토사, 혼합재료들을 혼합하여 85%, 90%, 95% 다짐시험을 한 결과 표 4와 같이 결과가 나왔다. 다짐율에 따른 최대건조단위중량과 최적함수비를 나타낸 것이며, 토사비율이 많은 SD-1이 토사의 비율이 가장 적은 SD-3보다 최대건조단위중량을 크고 최적함수비는 작게 나타났다.

표 4. 다짐율에 따른 결과

	SD-1			SD-2			SD-3		
	85%	90%	95%	85%	90%	95%	85%	90%	95%
γ_{dmax} (gf/cm^3)	1.16	1.23	1.36	1.10	1.17	1.29	1.08	1.14	1.27
OMC (%)	30.4	30.4	30.4	33.2	33.2	33.2	34.8	34.8	34.8

3.2 일축압축강도 특성 분석

3.2.1 다짐도에 따른 일축압축강도

각 재료들을 혼합하여 85%, 90%, 95% 다짐율에 대한 일축압축시험을 실시한 결과 표 5와 같이 나타났다. 그림 3에서 볼 수 있듯이 SD-1의 공시체에서 다짐율이 높아짐에 따라 일축압축강도 및 변형률이

증가되는 것을 알 수 있었다. 재령기간에 따른 압축강도에서도 그림 4에서 볼 수 있듯이 재령기간이 길수록 압축강도가 크게 나타났다.

표 5. 일축압축시험 결과(SD-1)

Specimen	85% Compaction				90% Compaction				95% Compaction			
	Stress		Strain		Stress		Strain		Stress		Strain	
	7(days)	14	7	14	7	14	7	14	7	14	7	14
SD-1	1.88	2.86	2.29	2.85	2.59	3.01	2.57	2.95	1.33	3.43	3.21	3.31
SD-2	1.52	2.53	1.90	1.60	2.26	2.94	2.76	2.66	2.68	3.16	2.33	2.29
SD-3	1.33	2.23	3.20	2.74	1.99	2.52	2.52	2.17	2.32	2.87	2.41	2.47

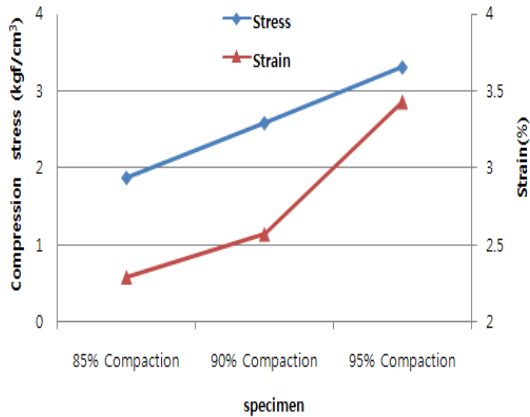


그림 3. 일축압축시험 결과(SD-1, 7일)

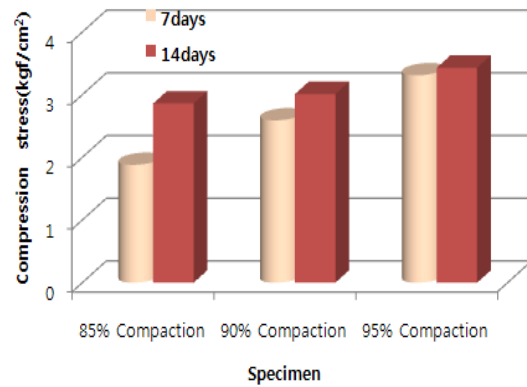


그림 4. 일축압축시험 결과(SD-1, 7일)

3.2.2 호소슬러지와 토사의 배합에 따른 일축압축강도

호소슬러지와 토사의 배합 후 일축압축시험을 실시한 결과는 표 6에서 나타내었다. 그림 5에서 볼 수 있듯이 슬러지의 비율이 토사의 비율보다 증가할 경우 강도가 점차 증가하는 것으로 나타났다. 이는 토사의 공극이 슬러지로 채워지기 때문이며, SA-3의 공시체의 강도가 가장 크게 나타났다. 이 결과 값으로 볼 때 비율을 50 : 50으로 제작한 공시체에서 토사의 공극을 슬러지가 가득 채운 것으로 판단한다. 같은 배합비율에서 재령일이 7일과 14일을 비교해 볼 때 재령일이 낮을수록 압축강도가 크게 나타남을 알 수 있었으며, 압축변형 또한 크게 나타났다. 재령기간이 길수록 공시체 내의 함유하고 있는 수분이 증발되면서 공극이 형성되고 그로 인해 강도가 감소되었다고 판단된다. 또한, 호소슬러지의 배합비율이 토사 비율보다 커질수록 강도는 크게 나타났다.

표 6. 슬러지와 토사혼합에 따른 응력과 변형률

Specimen	stress(kgf/cm ²)		strain(%)	
	7 day	14일	7일	14일
SA-1	3.12	1.16	2.81	2.01
SA-2	3.16	1.78	3.30	2.20
SA-3	4.00	2	2.48	1.21
SA-4	3.45	1.81	2.99	1.40
SA-5	3.75	3.17	2.80	1.61

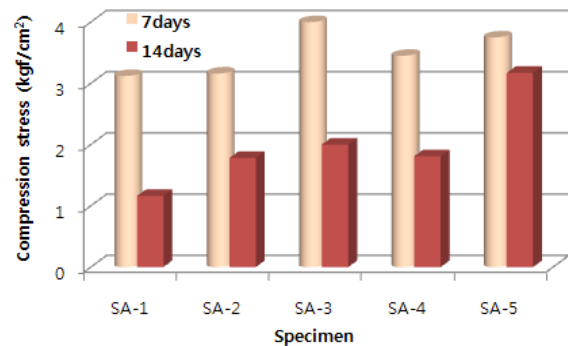


그림 5. 슬러지와 토사의 혼합에 따른 강도변화

4. 결론

골프장 연못에서 발생하는 호소 슬러지를 재활용하기 위하여 호소 슬러지와 토사 및 혼합재의 비율을 달리하여 공시체를 제작하고, 다짐시험 및 일축압축시험을 수행하였다. 공시체는 다짐도를 85%~95%로 달리하여 제작하였으며, 공시체의 재령은 7일과 14일로 하였다. 실험결과를 바탕으로 호소 슬러지의 다짐특성 및 전단특성을 분석하였으며 이를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 다짐도에 따른 일축압축강도를 시험하기 위한 다짐시험에서는 SD-1, SD-2, SD-3순으로 최대건조단위중량은 크고, 최적함수비는 작게 나타났다.
- 2) 호소슬러지와 토사만을 배합하여 다짐을 시험을 한 결과, 토사의 비율이 증가할수록 최대건조단위중량은 증가되고, 최적함수비는 감소하였다. 슬러지의 함유율이 45%에서 50%로 증가할 때 최대건조단위중량이 가장 크게 증가하였으며, 최적함수비는 슬러지 함유율이 50%에서 55%로 증가할 때 가장 크게 감소하는 것으로 나타났다.
- 3) 다짐도에 따른 압축강도 시험에서는 다짐율 95%, 90%, 85%에 대한 일축압축강도 시험을 실시하였다. 그 결과 다짐율이 증가할수록 일축압축강도가 증가하였고, 재령기간이 길어질수록 강도가 증가되었다.
- 4) 호소 슬러지와 토사의 비율에 따른 일축압축시험결과 슬러지와 토사의 배합비율을 같게 했을 때의 강도가 가장 크게 나타났으며. 이는 토사의 공극이 슬러지로 채워져 공극이 줄어들었기 때문이라 판단된다. 재령 기간에 있어서 재령 7일의 공시체가 재령 14일의 공시체보다 강도가 더 크게 나타났으며, 이는 재령기간이 길어질 경우 공시체내에 함유된 수분이 증발하면서 공극이 형성되어 강도가 감소했다고 판단된다.

참고문헌

1. 김영갑, 2006, 준설토 매립지반에서의 시간경과에 따른 강도특성 연구, 전남대학교 석사학위 논문.
2. 김세호, 2002, 생석회와 전로슬래그를 이용한 미소화슬러지의 안정화 및 고화특성에 관한 연구, 홍익대학교 석사학위 논문.
3. 김팔규, 김우식, 류권일, 1997, 혼합토의 다짐 효과에 관한 연구, 충남대학교 산업기술연구소 논문집 12(1), pp. 66~73.
4. 남영우, 박태욱, 박주양, 박경태, 2001, 성토재료의 재활용을 위한 하수슬러지의 석회계 고화재를 이용한 안정화 연구, 한국폐기물학회지, 18(7), pp. 612~626.
5. 허목, 현해남, 이용두, 1998, 오존을 이용한 골프장 연못의 수질관리, 수처리기술 6(3), pp. 113~119.
6. Kida, D. and Tsuji, H., 1981, Treatment and Utilization of Discharged Slurry from Slurry Methods, Tsuchi-to-Kiso, JSSMFE, pp. 11.
7. Takeshi, Kawachi. and Takeshi, Katsumi., 1996, Treatment and Utilization of Waste Sludge/Slurry from Construction Work, Proceeding of the 2nd International Congress on Environmental Geotechnics, 5(8), p. 767~772.
8. Yuji, n., Sumio, H. and Kanji, H., 1996, Status on Utilization and Disposal of Industrial Waste in Japan, Proceeding of the 2nd International Congress on Environmental Geotechnics, 5(8), p. 839~844.