

유기질 혼합토의 토공재로서의 활용에 관한 연구

A Study on the Utilization of Organic Mixed Soil as Earthwork Materials

박흥규* · 구제민**

Park, Heung-Gyu · Koo, Je-Min

Abstract

In order to establish the applicability of organic soil as Earthwork Materials, this research conducts a battery of laboratory tests using two kinds of test materials. The test material A, a mixture of sand and organic soil, and the test material B, a mixture of granite soil and organic soil varying the proportion of organic soil through 5%, 10%, 20%, 30%, 40%, and 50% are used. Continuous column leaching tests of the test materials A and B indicate that their COD value is substantially smaller than that of pure organic soil, the COD value of the early leached water slightly exceeds the standard level for leached water. The COD value after 4 hours of leaching becomes very small.

The mixed soil of sand and organic soil is considered usable as embankment materials when the proportion of organic soil is up to 40% with the corresponding concentration ratio of organic contents is less than 11.3%. Similarly, the mixed soil of granite soil and organic soil is considered usable as earthwork materials when the proportion of organic soil is less than 30% with the corresponding concentration ratio of organic contents is less than 16.4%.

Keywords : Organic soil, Continuous column leaching tests, Organic contents, Earthwork materials

요 지

본 연구는 유기질토를 토공재로서 활용할 목적으로 시료A(모래+유기질토)와 시료B(풍화토+유기질토)의 두 가지 시료를 유기질토 혼합비를 5%, 10%, 20%, 30%, 40%, 50%로 혼합하여 각종 실내시험을 실시하였다. 시료A, B의 용출시험에 의한 COD값은 순수 유기질토에 비해 상당히 낮은 값을 보였으며, 초기 침출수의 COD 값은 침출수 수질기준을 약간 상회하였지만 용출시작 4시간후의 COD 값은 매우 적게 나타났다. 모래와 유기질토의 혼합토는 유기질토 혼합비 40%(유기물함유량 11.3%)내에서는 성토재로서의 활용이 가능한 것으로 나타났으며, 풍화토와 유기질토의 혼합토는 유기질토 혼합비 30%(유기물함유량 16.4%)내에서 토공재로서 활용이 가능하다고 판단되어진다.

주요어 : 유기질토, 용출시험, 유기물함유량, 토공재

* 정회원 · 관동대학교 이공대학 토목공학과 교수

** 정회원 · ㈜한일네트워크엔지니어링 연구소 연구원

1. 서론

최근 우리나라에서는 급속한 산업화에 따른 대규모 주택 단지 및 공업단지 그리고 고속도로의 건설공사가 이루어지는 등 각종 구조물 축조공사가 연약지반상에서 실시되고 있다. 이러한 연약지반 중에서 대표적인 연약지반으로 분류되는 유기질토는 습지, 늪 등의 수생식물과 같은 식물체가 일부 부식화되어 쌓인 것으로 OL, OH, Pt가 있다. 유기질토 지반은 주로 미분해된 섬유질로 구성되어 있어 보수력 및 팽창성이 특히 크며, 탈수시에도 수축성이 큰 특징을 가지고 있어 유기질토 지반 위에 구조물 등이 놓여진다면 침하량이 과대하여지고 지지력이 부족하여 구조물 시공시 지반 안정성에 문제가 생긴다. 따라서 건설공사시 유기질토 지반은 지반개량 공사가 선행되고 있는 실정이다. 유기질토 분포가 소규모 또는 심도가 얇은 유기질토 지반의 현장인 경우 대부분이 치환공법이 적용된다. 그러나 치환시 굴착도에 대한 처리 장소 확보 문제 및 주변지역 환경오염 문제가 발생한다. 따라서 자원의 재활용의 측면과 경제성의 확보 차원에서 유기질토와 모래 및 풍화토의 혼합물을 건설재료로서 활용하는 방안에 대한 연구가 필요하다.

본 연구는 유기질토와 모래, 유기질토와 화강암 풍화토를 섞은 유기질 혼합토의 공학적인 특성을 파악하여 토공재료로서의 활용 가능성을 분석하여 혼합토의 적합한 혼합비를 제시함에 그 목적이 있으며 유기질 혼합토를 토공재료로 활용시 혼합토내에 함유되어 있는 화학성분이 주변환경에 미치는 영향을 평가하기 위하여 지반환경적 측면에서 용출시험과 pH시험을 행하여 공사용 목적에 적합성을 파악하여 구체적 활용을 도모하고자 한다.

2. 실험개요

본 연구에 사용된 시료토는 강원도 영동지역에서 채취한 시료A(강모래+유기질토)와 시료B(풍화토+유기질토)를 사용하였으며, 강모래 및 풍화토에 대한 유기질토의 중량 혼합비는 5%, 10%, 20%, 30%, 40%, 50%로 하였으며, 각 시료A, B의 건조방법에 따른 특성을 파악하기 위하여 공기 중에서 자연건조한 시료와 오븐에서 건조한 노 건조 시료로 나누어서 시료를 조제하였다. 시료토의 공학적 성질 및 화학적 시험은 KS F 2103~4, 2301~9, 2312, 2320의 규정에 의거하여 시험을 실시하였다.

3. 시험결과 및 분석

3.1 시료토의 공학적 특성

시료토인 유기질토, 모래, 풍화토에 대한 입도시험 결과는 그림 1과 같으며 시료토의 공학적 특성은 표 1에 나타났다. 유기질토의 No.200체 통과율은 58.2%, 비중은 2.47, 액성한계는 103.3%, 소성지수는 47.1%이며 OH로 분류되었다. 다짐시험결과 최대건조단위중량은 0.788 g/cm³, 최적함수비는 34.4%, CBR값은 2.1%이며 유기물함유량(OC)은 24.1%였다. 모래는 No.4체 통과율이 100%, No.200체 통과율은 1.5%이고, 균등계수(Cu)는 8.10, 곡률계수(Cc)가 0.81로 입도분포가 불량한 SP로 분류되었다. 비중이 2.63이며 최대건조단위중량은 2.152 g/cm³, 최적함수비는 8.9%이고 CBR값은 29.2%이다. 풍화토는 No.200체 통과율이 24.1%로서 SM으로 분류되고 비중이 2.67, 비소성(N.P)이며 최대건조단위중량이 1.862 g/cm³, 최적함수비는 11.3% 그리고 CBR값은 19.6%이다.

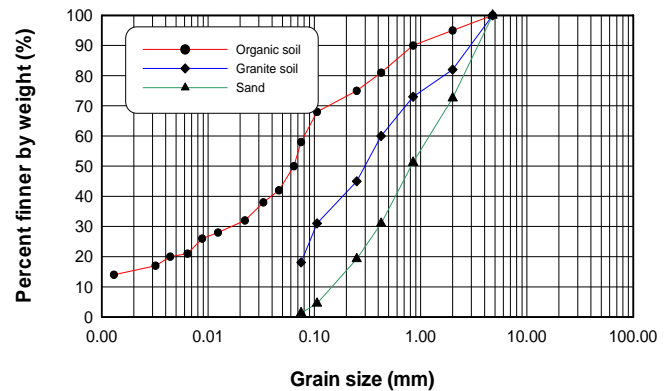


그림 1. 시료토의 입도분포곡선

표 1. 시료토의 공학적 특성

시료	Gs	LL (%)	PI (%)	직접전단시험		다짐시험		CBR (%)	OC (%)
				C (kg/cm ²)	φ (°)	γ _{dmax} (g/cm ³)	OMC (%)		
유기질토	2.47	103.3	47.1	0.21	1.2	0.788	34.4	2.1	24.1
풍화토	2.67	NP	NP	0.02	26	1.862	11.3	19.6	3.3
모래	2.63	NP	NP	0	34	2.152	8.9	29.2	-

3.2 혼합토의 화학적 시험

3.2.1 유기물함유량

시료A, B의 혼합비에 따른 혼합토에 대한 유기물함유량 시험을 행한 결과는 표 2와 같다. 유기질토의 혼합비가 증가함에 따라 유기물함유량도 증가하였다. 시료A의 공기 중 자연건조시킨 시료의 유기물함유량이 4.0~13.1%이고 오븐(110±5℃)에서 10시간 이상 건조시킨 노건조 시료의 유기물함유량이 3.6~10.9%로서 자연건조 시료가 노건조한 시료에 비해 혼합비에 따른 유기물함유량이 다소 크게 나타났다. 또한 시료B의 자연건조시킨 시료의 유기물함유량은 5.3~23.9%이고 노건조시킨 시료의 유기물함유량 5.1~19.5%보다 크게 나타났다. 이러한 경향은 기존의 연구결과(Casagrande, 1948; Franklin 등, 1974)와 유사한 경향을 보였다.

표 2. 혼합비에 따른 유기물함유량

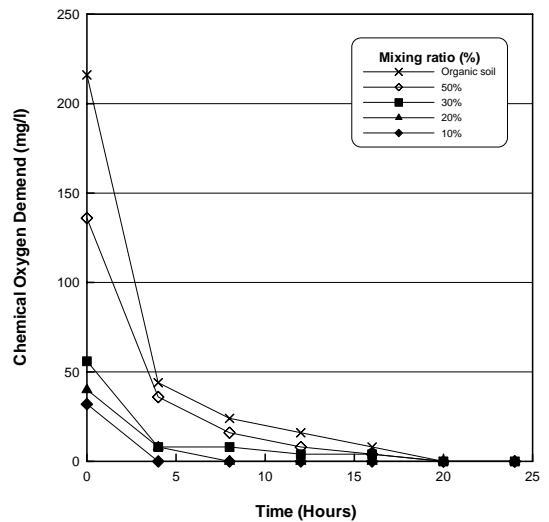
Sample	Organic soil mixing ratio(%)	Organic content(%)	
		Natural dry	Oven dry
시료 A	5	4.00	3.60
	10	5.36	4.60
	20	8.32	6.55
	30	9.11	8.66
	40	11.31	9.81
	50	13.10	10.89
시료 B	5	5.29	5.07
	10	7.53	6.23
	20	12.80	10.19
	30	16.48	12.42
	40	20.06	17.11
	50	23.88	19.49

3.2.2 용출시험

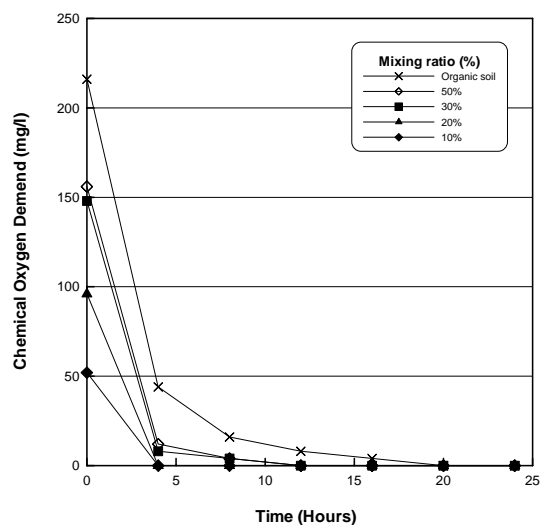
순수 유기질토와 시료A, 시료B의 혼합토를 도로 성토제로서 활용하기 위한 환경적 영향 평가에 대한 분석을 위해 컬럼(Continuous Column Leaching Test)을 사용하였는데, 각 시료의 양(70g)은 일정하게 하고 연속적으로 일정 유량(20ml/min)의 증류수를 통과시켜 발생된 침출수의 화학적 산소요구량(COD)을 분석하였다. 이는 유기질

을 함유한 재료가 성토제로 사용되었을 경우에 강우나 홍수 등으로 인하여 생긴 침출수가 지하수, 하천, 호수 등으로 유입될 때에 발생할 수 있는 문제 등을 고려하였다.

시험결과 순수 유기질토에서 초기 216ppm의 COD 값이 나왔지만 시간이 경과함에 따라 COD 값이 떨어지면서 16시간까지 발생되었고 시료A, 시료B의 초기 침출수의 최대COD값은 수질기준인 130(mg/l)을 약간 상회하였지만 순수 유기질토에 비해 상당히 낮은 값을 나타내었고 용출시작 4시간후의 COD 값은 36(mg/l)이하로 매우 적게 나타났다. 또한 시료B가 시료A에 비해 초기 COD 값이 크게 나타났다. 시간변화에 따른 COD 값의 변화를 그림 2에 나타내었다.



(a) 시료 A

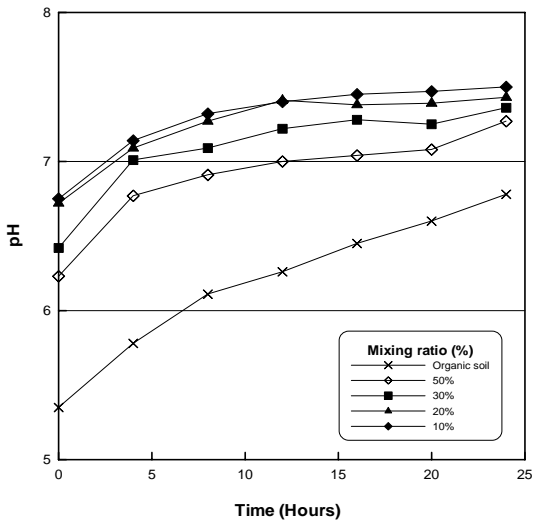


(b) 시료 B

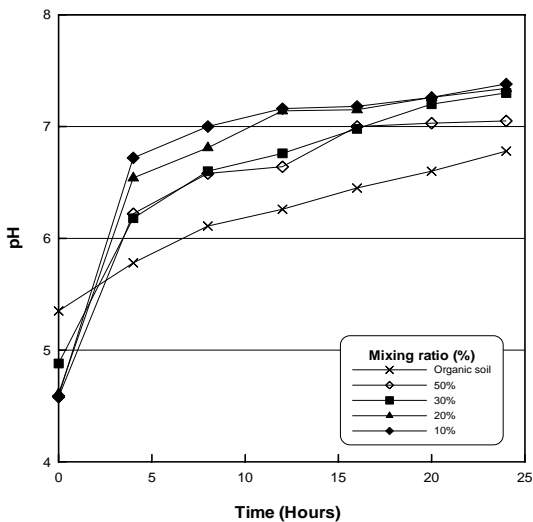
그림 2. 유기질토 혼합비별 시간에 따른 COD의 변화

3.2.3 pH 시험

순수 유기질토와 시료A, 시료B의 용출시험에 의한 침출수 분석에서 유입수의 pH가 7.0~7.5이었으며, 시간의 변화에 따른 각 시료의 pH의 변화를 조사한 결과 시간이 경과함에 따라 pH는 산성에서 점차 중성으로 되는 것으로 나타났다. 특히 시료B의 초기 pH는 침출수 수질기준 범위인 5.8~8.0을 약간 벗어나는 약산성의 값을 나타내었으나 4시간 이후 측정된 pH는 수질기준 범위내였다.



(a) 시료 A



(b) 시료 B

그림 3. 유기질 혼합비별 시간에 따른 pH 값의 변화

3.3 혼합토의 역학적 시험

3.3.1 다짐특성

자연건조 및 노건조한 유기질토를 모래와 풍화토에 각각 5%, 10%, 20%, 30%, 40%, 50%씩 혼합한 시료A, B에 대한 다짐시험을 실시한 결과는 표 3과 같다. 시험 결과 시료A의 자연건조한 유기질 혼합토의 최대건조단위중량이 1.625~2.082 g/cm³의 범위이고 노건조한 유기질 혼합토는 1.679~2.141 g/cm³의 범위로 노건조한 시료의 건조단위중량이 자연건조한 시료보다 크게 나타났다. 또한 혼합비 10%이하인 혼합토에서 건조단위중량이 크게 증가하는 경향을 보이고 있다.

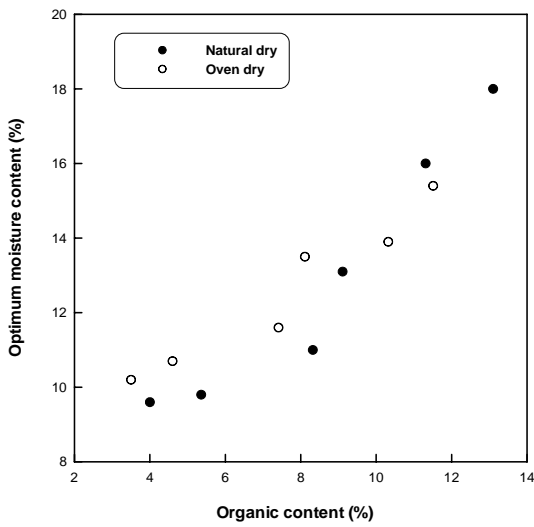
시료B에서는 자연건조한 유기질 혼합토 시료의 단위중량이 1.449~1.847 g/cm³의 범위를 나타내었으며 노건조한 유기질 혼합토는 1.462~1.873 g/cm³으로서 시료A와 비슷한 경향을 나타냈고 건조단위중량은 시료A 보다 작게 나타났다. 이러한 경향은 기존의 연구결과(Braja, 1985; Franklin 등, 1974; Lambe, 1958)와 유사하게 나타났다. 본 다짐시험결과 현장조건을 고려한 자연건조시료에 대한 최대건조단위중량은 시료A는 모두 시료B는 유기물함유량 30%정도 까지가 국내 건설공사 토공제 다짐기준인 1.50 g/cm³보다 크게 나타났다.

표 3. 혼합토의 다짐시험결과

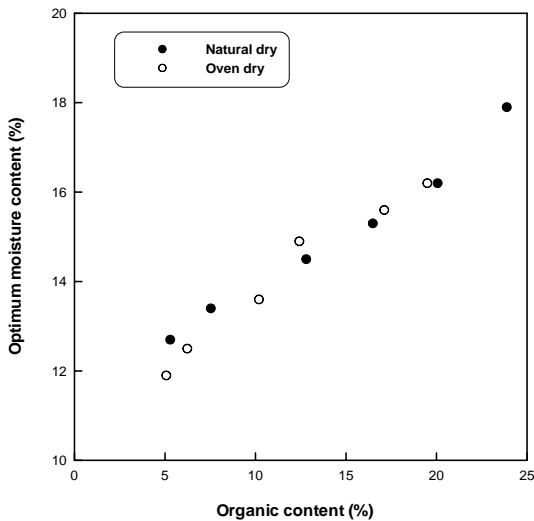
시료	Organic soil mixing ratio(%)	$\gamma_{dmax}(g/cm^3)$		OMC(%)	
		Natural dry	Oven dry	Natural dry	Oven dry
시료 A	5	2.082	2.141	9.6	10.2
	10	2.031	2.121	9.8	10.7
	20	1.895	1.952	11.0	11.6
	30	1.796	1.903	13.1	13.5
	40	1.690	1.749	16.0	13.9
시료 B	5	1.625	1.679	18.0	15.4
	10	1.847	1.873	12.9	11.9
	20	1.778	1.815	13.4	12.5
	30	1.741	1.762	14.5	13.6
	40	1.586	1.691	15.3	14.9
시료 B	30	1.498	1.602	16.2	15.6
	40	1.498	1.602	16.2	15.6
	50	1.449	1.462	17.9	16.2

3.3.2 유기물함유량과 최적함수비 및 최대건조단위중량의 관계

시료A, B에 대한 유기물함유량과 최적함수비의 관계는 그림 4와 같다. 유기물함유량이 증가할수록 최적함수비가 증가하는 경향을 보였다. 시료A는 유기물함유량 9%까지는 유기물함유량에 따른 최적함수비의 증가가 완만하였으나 9% 이상에서는 크게 증가하였다. 시료B의 유기물함유량에 따른 최적함수비는 거의 직선적으로 증가하는 경향을 보였다.



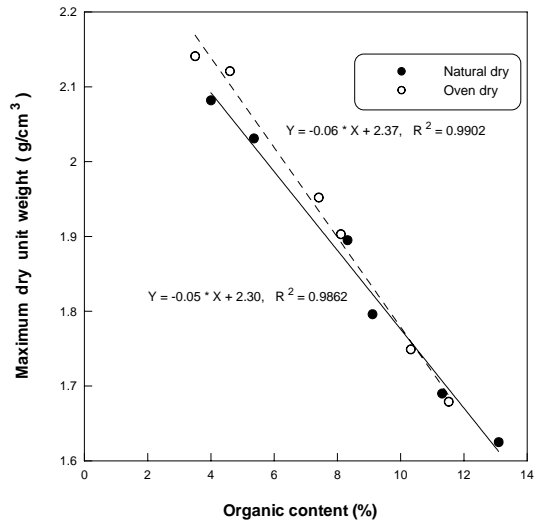
(a) 시료 A



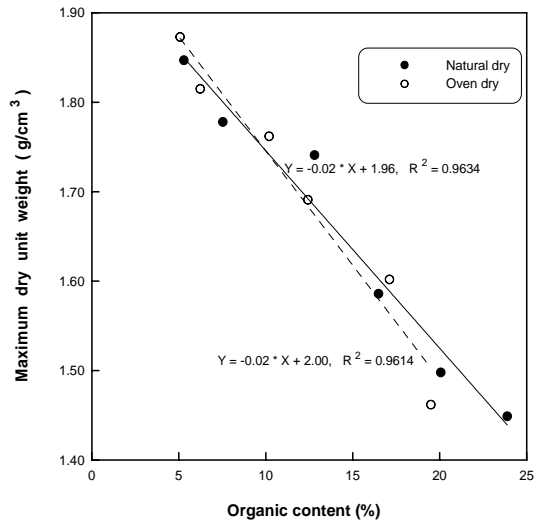
(b) 시료 B

그림 4. 유기물함유량에 따른 최적함수비

유기물함유량의 증가에 따른 최대건조단위중량을 그림 5에 나타냈다. 시료A, B는 유기물함유량이 증가함에 따라 최대건조단위중량이 거의 직선적으로 감소하는 것으로 나타났다. 유기물함유량이 시료A인 경우 14% 이하, 시료B는 22%이하에서 최대건조단위중량은 1.50 g/cm³이상으로 나타났다.



(a) 시료 A



(b) 시료 B

그림 5. 유기물함유량에 따른 최대건조단위중량

3.3.3 혼합토의 CBR

CBR값은 도로나 비행장과 같은 가요성 포장의 설계에 이용된다. 이것은 포장아래에 있는 노체 및 노상, 보조기층재의 강도 압축성, 팽창성과 같은 특성을 표시하는 반경험

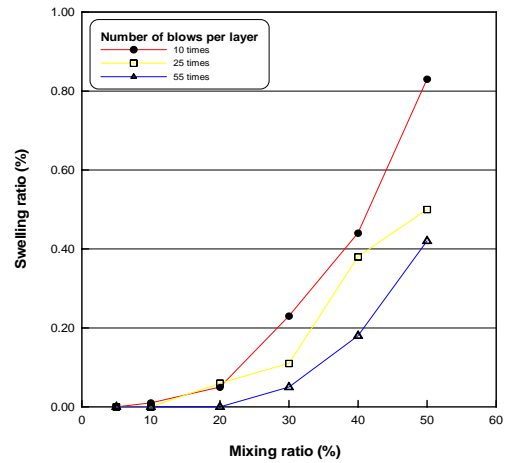
적 수치이므로 예상되는 차륜하중과 관련시켜 각 재료의 두께를 결정하는 자료가 된다. 또 도로시방서에는 노체 및 노상, 보조기층에 대한 CBR의 최소값을 규정하고 있다. 유기질 혼합토의 매립·성토재로서의 타당성을 검토하기 위하여 실내 CBR 시험을 수행한 결과는 표 4와 같다. 모래에 대한 유기질토의 혼합비 40%에 대한 수정 CBR값이 10.3%로 나타났다. 이 값은 도로공사설계서 표준안(1996)의 토공용 재료의 품질기준을 거의 만족하는 CBR 값을 나타내고 있으며 혼합토가 성토용 재료로 이용이 가능하다는 것을 나타내 주고 있다.

유기질토와 풍화토의 혼합토에 대한 수정 CBR 시험결과 혼합비 30%에 대한 CBR 값이 11.7%로 나타났으며 이는 토공용 재료품질기준에 적합한 값을 나타내고 있다. 시료A는 혼합비 40%까지 노상토(상부)의 품질기준에 만족하고 있으며 시료B는 유기질토 혼합비 30%까지 품질기준을 만족한다. 유기질토의 혼합비가 증가함에 따라 유기물함유량도 증가하며, 시료A(모래+유기질토)가 시료B(풍화토+유기질토)에 비해 우수한 CBR값을 보이고 있다.

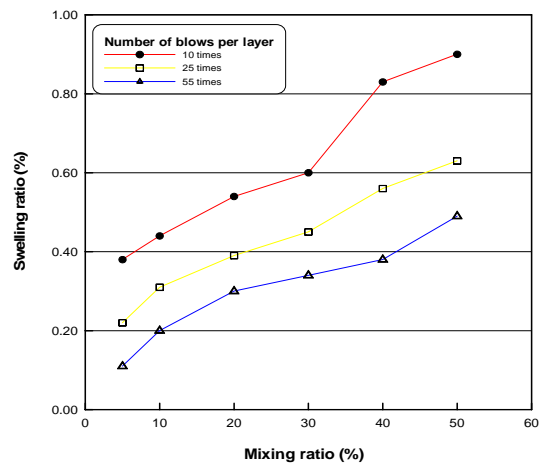
유기질혼합토에 대한 CBR시험과 동시에 4일간 수침시키면서 팽창비시험을 한 결과는 그림 6과 같다. 시료A에 대한 팽창비는 유기질토의 혼합비가 클수록 증가하였고 혼합비 30%이상부터 크게 증가하는 경향을 보였고, 최대 팽창비가 0.83으로 나타났다. 시료B의 팽창비는 혼합비가 클수록 점증하는 경향이고, 최대 팽창비가 0.91로 나타났으며 시료A,B 모두 1이하로서 양호한 상태로 나타났다.

표 4. 혼합비에 따른 수정 CBR값

시료	Organic soil mixing ratio(%)	Corrected CBR
시료 A	5	24.3
	10	20.8
	20	18.0
	30	14.9
	40	10.3
	50	8.2
시료 B	5	18.7
	10	16.6
	20	14.0
	30	11.7
	40	4.9
	50	2.3



(a) 시료 A



(b) 시료 B

그림 6. 유기질토 혼합비에 따른 다짐횟수별 팽창비의 변화

3.3.4 유기질 혼합토의 전단강도

두 시료A, B에 대한 각 혼합비별로 다짐시험에서 구한 최대건조단위중량과 동일한 단위중량으로 KS F 2343에 의거하여 직접전단시험을 실시한 결과를 그림 7에 나타내었다. 시료A에서 유기질토 혼합비가 증가함에 따라서 내부마찰각이 급하게 감소하고 점착력은 증가하는 경향으로 나타났다. 유기질토 50%혼합시의 내부마찰각이 20.7°, 점착력이 0.21 kg/cm²으로 나타났다. 또한 시료B도 유기질토의 혼합비 증가에 따라 내부마찰각이 감소하고 점착력이 증가하는 경향을 보였다. 유기질토 50%혼합시 강도정수 값은 15.4°, 0.33kg/cm²로서 시료A보다 점착력은 크게 나타났으나 내부마찰각은 작게 나타났다.

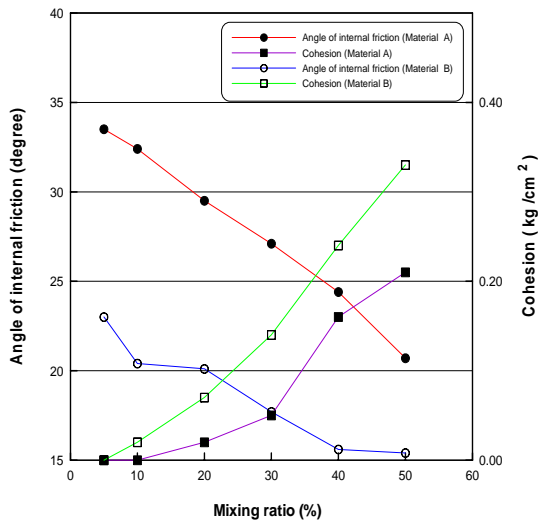


그림 7. 각 시료의 혼합비에 따른 강도정수

4. 결 론

본 연구는 유기질토를 토공재로서 활용할 목적으로 유기질토에 풍화토 및 모래를 혼합하여 공학적성질을 개선하여 각종 실내시험을 실시하였으며 그 결과를 정리하면 다음과 같다.

1. 시료A(모래+유기질토), 시료B(풍화토+유기질토)의 용출시험에 의한 COD값은 순수 유기질토에 비해 상당히 낮은 값을 보였으며 초기 침출수의 COD 값은 침출수 수질 기준을 약간 상회하였지만 용출시작 4시간 후의 COD값은 매우 적게 나타났다. 또한 시간변화에

- 따른 pH의 변화를 조사한 결과 시간이 경과함에 따라 pH는 산성에서 점차 중성으로 되는 것으로 나타났다.
2. 각각의 다른 배합비를 가진 시료에 대한 다짐시험한 결과, 현장조건을 고려한 자연건조시료에 대한 최대건조단위중량의 값이 시료A는 유기질토의 혼합비 50%, 시료B는 30%까지 국내 건설공사 토공재 다짐기준인 1.50 g/cm³보다 크게 나타났다.
 3. CBR시험 결과, 시료A는 유기질토의 혼합비 40%에 대한 수정 CBR값이 10.3%로 나타났고, 시료B는 혼합비 30%에 대한 CBR 값이 11.7%로 나타났다. 시료A는 유기질토 혼합비 40%까지 노상토의 품질기준에 만족하고 있으며, 시료B는 유기질토의 혼합비 30%까지 품질기준을 만족한다.
 4. 시료A, B의 팽창비 시험결과에서 팽창량이 A, B시료 모두 1이하(노상토기준)로서 양호한 상태로 나타났다.
 5. 두 시료A, B에 대한 각 혼합비별 직접전단시험을 실시한 결과 유기질토의 혼합비가 증가함에 따라서 내부마찰각이 감소하였으며 점착력은 증가하는 경향으로 나타났다.
 6. 이상의 실험결과에서 모래와 유기질 혼합토는 유기질토의 혼합비가 40%(유기물함유량 11.3%)내에서는 성토재료로서의 활용이 가능한 것으로 나타났으며, 풍화토와 유기질토의 혼합토는 유기질토 혼합비가 30%(유기물함유량 16.4%)내에서 성토재료로서 활용이 가능하다고 판단 되어진다. 그러나 유기질토에 대한 재료특성으로 인한 나무뿌리나 기타 유기물 등이 다소 많이 포함된 경우에는 이보다 더 안전 측의 혼합비를 고려해야 할 것이다.

(접수일자 : 2002. 9. 17)

참 고 문 헌

1. 건설교통부(1996), 도로공사 설계서 표준안.
2. 구제민, 박홍규(2000), 영동지역 유기질토의 압밀특성, 2000년도 학술발표회논문집(Ⅱ), 대한토목학회, pp. 395~398.
3. 박홍규, 구제민(2001), 영동지역 유기질토의 공학적 특성에 관한 연구, 한국지반환경공학회 논문집, 한국지반환경공학회, Vol. 2, No. 1, pp. 23~30.
4. APHA(1995), Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 19th Edition.
5. Braja M. Das(1985), Principles of Geotechnical Engineering, PWS Publishing Company, Boston.
6. Casagrande, A.(1948), Classification of Soils, Transactions, ASCE, Vol. 113, Paper No. 2351, pp. 901~991.
7. Franklin, AF., Orozco, LF., and Semrau, R.(1974), Compaction of Slightly Organic Soils, Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, Vol. 99, No. SM7, pp. 541~557.
8. Lambe, T. W.(1958), The Structure of Compacted Clay, Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, Vol. 84, No. SM2, pp. 1654-1~1654-34.
9. Lambe, T. W.(1958), The Engineering Behavior of Compacted Clay, Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, Vol. 84, No. SM2, pp. 1655-1~1655-35.