

지오그리드 혼합 보강경량토의 압축강도특성 연구

Characteristics of Compressive Strength of Geogrid Mixing Reinforced Lightweight Soil

김 윤 태¹ Kim, Yun-Tae

권 용 규² Kwon, Yong-Kyu

김 홍 주³ Kim, Hong-Joo

Abstract

This paper investigates strength characteristics and stress-strain behaviors of geogrid mixing reinforced lightweight soil. The lightweight soil was reinforced with geogrid in order to increase its compressive strength. Test specimens were fabricated by various mixing conditions including cement content, initial water content, air content and geogrid layer and then unconfined compression tests were carried out. From the experimental results, it was found that unconfined compressive strength as well as stress-strain behavior of lightweight soil was strongly influenced by mixing conditions. The more cement content that is added to the mixture, the greater its unconfined compressive strength. However, the more initial water content or the more air foam content, the less its unconfined compressive strength. It was observed that the compressive strength of reinforced lightweight soil increased reinforcing effect by the geogrid for most cases. Stress-strain relation of geogrid mixing reinforced lightweight soil showed a ductile behavior rather than a brittle behavior. In reinforced lightweight soil, secant modulus (E_{50}) also increased as its compressive strength increased due to the inclusion of geogrid.

요 지

본 연구는 지오그리드 혼합 보강경량토의 응력-변형 거동과 강도 특성에 대해 조사하였다. 경량혼합토의 압축강도를 증진하기 위해 경량혼합토에 지오그리드를 혼합하였다. 시험 공시체는 다양한 종류의 배합조건 즉, 시멘트 함유율, 함수비, 기포 함유율에 따라서 각각 제작되어졌고, 여러번의 일축압축강도시험이 수행되었다. 시험결과로부터, 경량혼합토의 일축압축강도와 응력-변형 거동은 배합조건에 의해 큰 영향을 받는 것으로 나타났다. 시멘트 함유율이 증가됨에 따라 일축압축강도 또한 증가한다. 그러나 초기 함수비나 기포 함유율이 증가함에 따라 일축압축강도는 감소하였다. 거의 모든 경우에서 지오그리드에 의한 보강 효과 때문에 지오그리드 보강경량토의 강도가 증가되는 것이 관찰되었다. 지오그리드 혼합 보강경량토의 응력-변형률 관계는 취성거동이라기 보다는 연성적인 거동특성을 가졌다. 보강경량토에서 할선 탄성계수(E_{50})는 지오그리드 함유로 인해 강도가 증가함에 따라 증가되었다.

Keywords : Dredged soil, Geogrid, Reinforced lightweight soil, Unconfined compression test

1 정회원, 부경대학교 해양공학과 조교수 (Member, Assistant Prof., Dept. of Ocean Engrg., Pukyong National Univ., yuntkim@pknu.ac.kr, 교신저자)

2 정회원, (주) 도담이앤씨 (Member, Assistant, Dept. of Geotechnical, Dodam Eng & Construction)

3 정회원, 부경대학교 해양공학과 석사과정 (Member, Graduate student, Dept. of Ocean Engrg., Pukyong National Univ.)

* 본 논문에 대한 토의를 원하는 회원은 2007년 1월 31일까지 그 내용을 학회로 보내주시기 바랍니다. 저자의 검토 내용과 함께 논문집에 게재하여 드립니다.

1. 서론

부산 신항만 건설, 군산항 건설, 광양 신항만 건설 등의 대규모 개발공사가 진행됨에 따라 최근 우리나라의 준설토 발생량은 점점 증가추세에 있으며 아울러 항로 유지 준설과 청소 준설, 해양 생태환경 복원 및 조성 등으로 인하여 준설토는 지속적으로 발생할 것으로 예상된다. 현재 국내 준설토 처리방법은 준설직후 외해에 투기하거나 또는 투기장에 장기간 방치하여 건조처리하는 상황이며, 이를 위해서는 대규모 부지확보, 처리비용 부담 및 주변환경오염 발생 등 많은 문제점을 야기하고 있다(김주철 등, 2002).

이러한 준설토의 처리 및 재활용을 위하여 국내에서는 2000년대 초반부터 뒷채움재, 성토재 등의 건설재료로서 준설토가 재활용될 수 있도록 경량혼합토(lightweight treated soil)에 대한 연구를 수행하고 있다. 국외(일본)의 경우에는 경량혼합토가 1960년대 항만구조물의 경량화 재료로서 사용될 수 있도록 개발된 후 1990년대 초반에 실용화되었으며 1996년 고베항의 Port Island에서 대규모 복원사업의 일환으로 약 20,000m³의 경량혼합토가 시공된 이후 많은 연구결과와 발표와 함께 다양한 현장에서 시공되고 있다.

경량토는 준설토와 같은 슬러리 상태인 지반 재료에 물과 시멘트 등의 고화재를 혼합하여 유동성과 강도를 확보하고 기포(air foam)를 혼합하여 경량화한 균질한 지반재료로 정의할 수 있다. 이러한 경량토는 혼합되는 시멘트와 기포 함량을 조절함으로써 목표 강도뿐만 아니라 단위중량을 8~13kN/m³ 범위로 조절할 수 있다.

경량혼합토는 일반토사에 비하여 큰 압축강도와 작은 단위중량 특성을 가지기 때문에 성토시 인접지반의 침하와 변형을 억제하여 구조물의 이동, 변위 등에 대한 영향이 적으며 구조물과 주변지반의 부등침하를 경감 또는 방지할 수 있는 장점이 있다(Tsuchida 등, 1996). 또한 항만공사시 발생된 준설토나 항로유지 준설토를 직접 이용할 수 있으므로 무분별적인 외해투기로 인한 환경오염을 최소화할 수 있으며, 육상매립에 따른 경제적인 비용을 절감할 수 있다.

준설토 재활용을 위하여 국내에서 수행된 경량혼합토에 대한 기존연구를 살펴보면 준설토와 EPS를 혼합한 경량혼합처리토의 강도 특성에 관한 연구(김수삼 등, 2002), 준설토를 이용한 경량기포혼합토의 역학적 특성 연구(김주철 등, 2002), 준설토를 활용한 경량혼합토의

역학적 특성 연구(윤길립 등, 2002; 윤길립 등, 2004), 수중양생 및 수압조건을 고려한 경량기포혼합토의 거동에 관한 연구(윤길립 등, 2005), 준설토 재활용을 위한 무보강 및 보강 경량토의 압축거동특성 비교에 관한 연구(김윤태 등, 2005a), 섬유혼합 보강 경량토의 거동 특성에 관한 연구(김윤태 등, 2005b) 등이 수행된 바 있다.

지금까지 준설토 재활용을 위하여 고화재, 기포제 등을 이용한 경량혼합토에 대한 많은 연구결과가 발표되었지만 아직까지 국내 현장에 적용된 사례가 없을 뿐만 아니라 사용된 재료나 시험결과가 일본의 선행연구와 유사한 경향을 나타내고 있기 때문에 보다 다양한 방법을 통한 연구가 수행될 필요성이 있다.

한편, 지반보강 및 안정에 사용되는 섬유재는 지반의 전단 및 활동파괴와 같은 지반구조물의 역학적 안정성을 증가시키기 위하여 오래 전부터 사용되고 있다. 섬유재는 흙과 혼합이 용이하고, 강도의 등방성과 지속성이 우수하며, 섬유재의 단위중량이 9.4kN/m³~9.6kN/m³ 정도 범위로서 경량화된 재료이기 때문에 경량성을 유지할 수 있는 장점이 있다. 섬유재를 이용한 기존 연구를 살펴보면 Gray 등(1986), Markou 등(2004)은 모래에 지오택스타일을 혼합한 경우 섬유혼합토의 내부마찰각이 증가한다는 것을 실험적으로 증명하였으며, Yetimoglu 등(2005)은 점토에 랜덤하게 섬유재를 혼합함으로써 압축강도 증가를 확인하였다. 또한 김윤태 등(2005a)은 합성섬유 제품의 일종인 페어망을 이용한 보강경량토 연구에서 페어망이 강도증가에 효과가 있음을 확인하였다.

따라서 본 연구는 준설토 재활용을 위하여 지반보강 재료로서 널리 사용되고 있는 지오택스타일을 이용한 보강경량토를 제작하였으며 일축압축강도시험을 수행함으로써 응력-변형 거동 특성, 압축강도 특성 등을 분석하였다.

2. 지오택스타일 혼합 보강경량토의 개념

지오택스타일 혼합 보강경량토는 기존의 경량혼합토에 지반의 전단 및 활동파괴와 같은 지반구조물의 역학적 안정성을 증가시키기 위하여 지오택스타일을 보강재료로 추가하여 제작되었다. 그림 1(a)는 기존 경량토의 단면을 개념화한 것이고, 그림 1(b)는 경량토에 지오택스타일을 층으로 보강된 단면을 나타낸 것이다. 지오택스타일 혼합 보강경량토는 기존의 무보강 경량토가 가진 휨, 인장 및 충격강도가 작은 단점을 향상시킬 수 있고, 최대강도

이후 발생하는 취성파괴를 감소시킬 뿐만 아니라, 충격 및 균열에 대한 저항성 증대, 파괴 또는 균열의 조절·제어 등과 같은 장기 안정성에도 효과적일 것이라 판단된다. 따라서 보다 다양한 준설토를 적극적으로 이용 가능하게 할 것으로 기대된다.

3. 보강경량토 실험 및 방법

3.1 낙동강 하구지역의 준설토 특성

본 연구에서는 낙동강 하구역 일대에서 항로유지 준설, 항만건설, 생태환경 복원 및 조성 등에 따라 발생 또는 발생할 것으로 예상되는 준설토를 재활용하기 위하여 이 지역에 분포하는 연약점토를 대상으로 하였다. 일

반적으로 연약점토층의 공학적 성질은 흙 입자의 배열 뿐만 아니라 점토광물의 성분, 시멘테이션(cementation) 효과 및 입자간의 전기적인 작용력에 의해 서로 상이하 며, 이와 같은 특성은 경량혼합토의 거동특성에도 지배적 인 영향을 미친다. 최진용 등(1998)에 의하면 낙동강 유역 부근에 퇴적된 연약지반에 존재하는 대표적인 점토 광물 은 Illite, Kaolinite 및 Chlorite이며 그 밖에 Halloysite, Smectice 등이 분포하는 것으로 보고되었다. 그림 2는 본 연구에서 사용된 낙동강 하구역 준설토의 주사전 사현미경분석(SEM) 결과로서 육각형의 결정형을 보이 는 Kaolinite와 길쭉한 엽상모양을 보이는 Chlorite 집합 체를 관찰할 수 있다.

낙동강 하구역 준설토에 대한 실내 물성실험 결과는 표 1에 나타난 바와 같이 초기 함수비가 125%로 측

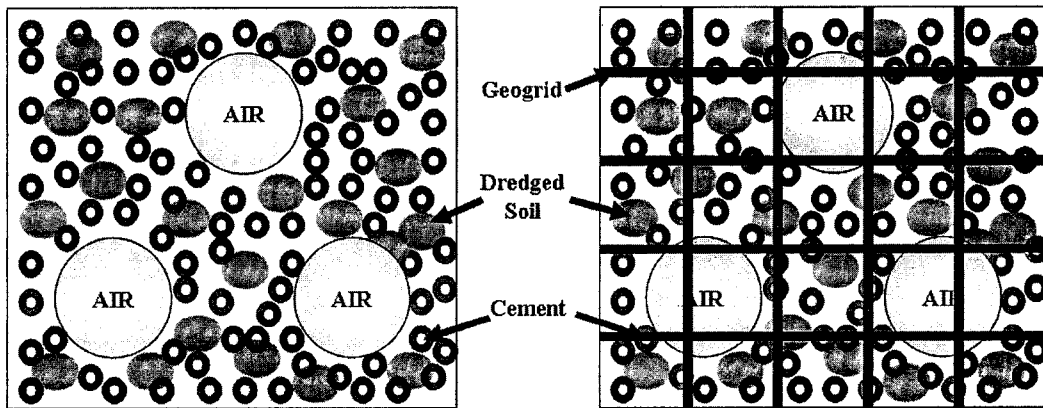


그림 1. 무보강과 보강경량토의 개념도(김윤태 등, 2005b)

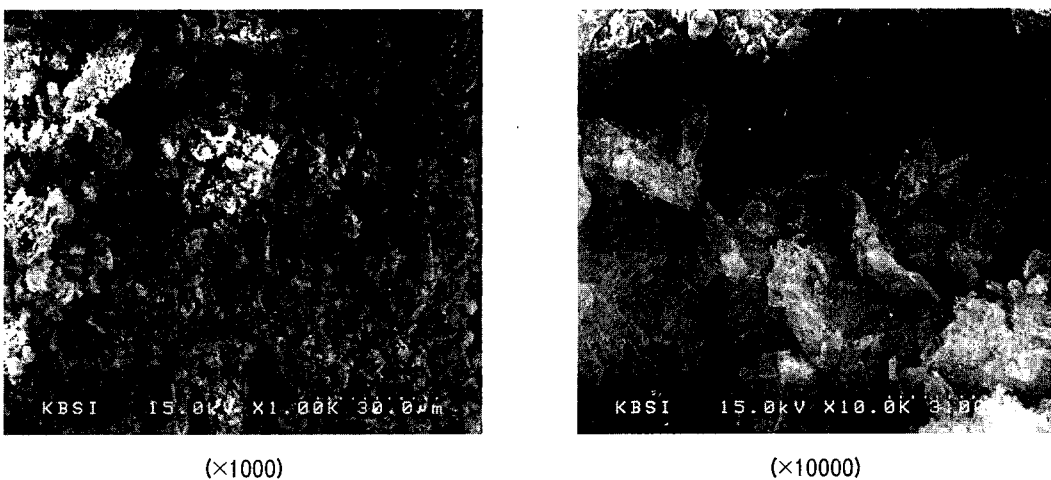


그림 2. 준설토 SEM 촬영 사진(안용수, 2004)

표 1. 준설토의 물성시험 결과

초기 함수비(%)	액성한계(%)	소성지수(%)	비중	No.200체 통과율(%)	USCS
125	39.2	18.5	2.60	81.2	CL

정되었으며 비중 2.60, 액성한계 39.2% 그리고 소성지수 18.5%이며, 사용된 준설토를 통일분류법(USCS)에 근거하여 분류한 결과 CL인 것으로 나타났다.

3.2 지오그리드 특성

고화재와 함께 보강경량토의 강도 증가를 위하여 사용된 보강재료는 합성섬유 제품인 S사의 지오그리드이다. 지오그리드는 토목섬유(geosynthetics) 제품으로서 고강도 폴리에스테르사를 격자모양의 원단으로 만든 후 PVC로 코팅하여 제조한 결합형 지오그리드이며 일반적인 특징은 표 2와 같다.

3.3 보강경량토 공시체 제작과 배합조건

본 연구에서는 그림 3과 같이 지오그리드 혼합 보강

표 2. 지오그리드의 특성

항 목	내 용	트리그리드(trigrid)
보강사	재질	폴리에스테르 고강력 원사
	용융온도 (°C)	258
	연화온도 (°C)	250
	그리드 조직	결합형
코팅재	코팅량 (%)	50~60
	용융온도 (°C)	150
	재질	PVC
인장강도	세로방향 (t/m)	10
	가로방향 (t/m)	10
신장율	세로방향 (%)	12
	가로방향 (%)	14
그리프		1.56

경량토의 거동특성을 분석하기 위하여 직경 72mm, 높이 148mm의 공시체를 제작하였으며 공시체 몰드는 자체 제작한 투명 PVC원통을 사용하였다.

고화재로 사용되는 시멘트는 물과 반응하여 수화물이 되기 때문에 강도발현을 하며 강도발현성이나 고화재의 사용량, 재료비를 고려하여 선정하였다. 일반적으로 강도발현이 좋은 점성토 등에는 보통 포트랜드 시멘트 또는 고로 시멘트 B종을 사용하며, 유기질토 등에는 시멘트계 고화재를 사용한다. 본 실험에서는 보통 포트랜드 시멘트를 이용하였다. 경량화를 위해 사용된 기포제는 표면활성제라고도 불리는 계면활성제이며 형상에 관계없이 시멘트가 응결하고 경화될 때까지 기포를 안정하게 유지하여야 한다. 기포의 생성을 위하여 기포제와 물을 1:20의 비율로 혼합한 후 공기압을 가해 사전에 발포시키는 방식을 사용하였다.

배합 특성에 따른 거동 특성을 파악하기 위해 표 3과 같이 준설토의 초기 함수비, 시멘트 함량, 기포 함량 등에 따라 배합 및 시험조건을 달리 적용하였으며 지오그리드 혼합에 따른 압축거동 특성과 보강효과를 파악하였다. 이때 재료별 함량은 건조된 준설토의 중량비로서 결정되었다. 보강경량토의 기준 배합비는 시멘트 함량

표 3. 배합 및 시험조건

시험조건	일축압축실험
시멘트 함유율, Ci (%)	20, 25, 30, 35
준설토 함수비, wi (%)	125, 156, 187, 218, 250
기포 함유율, Ai (%)	1, 1.5, 2, 2.5, 3
지오그리드 배치 간격	4단
양생기간, Tc (day)	28
양생조건	대기양생

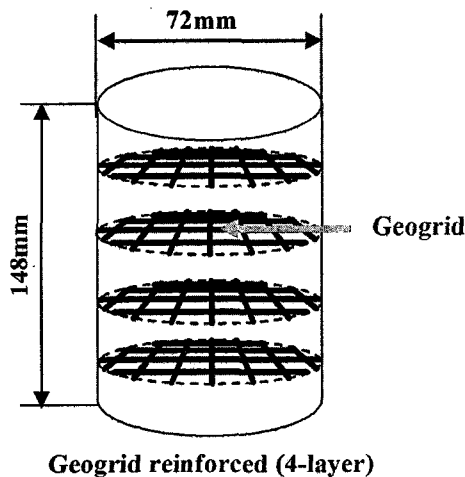


그림 3. 제작된 보강경량토 공시체

30%, 초기 함수비 187%, 기포 함량 2%, 지오그리드 4단 배치로 정하였다. 이는 본 연구에 앞서 수행된 예비실험 결과를 바탕으로 단위중량, 흐름값 등을 고려하여 결정된 배합조건이다. 경량성 확보를 위하여 사용되는 기포제는 시간이 지남에 따라 소포가 되기 때문에 공시체 제작과정에서 기포의 혼합은 5분 이내로 실시하였으며 시멘트 경화에 대한 영향을 고려하여 전체 공시체 제작 시간은 10분 이내로 조절하였다.

3.4 일축압축강도시험

다양한 배합조건에 따라 제작된 보강경량토 공시체를 각각 재령 28일까지 양생시킨 후 지오그리드 혼합 보강경량토의 거동특성 파악을 위하여 일축압축강도 시험 KS F2314를 따라서 수행하였다. 일축압축강도시험은 변형률 제어가 가능한 Geocomp사의 일정변형률(CRS) 시험기를 사용하였으며 이때 축변형률은 0.7%/min으로 제어하였다.

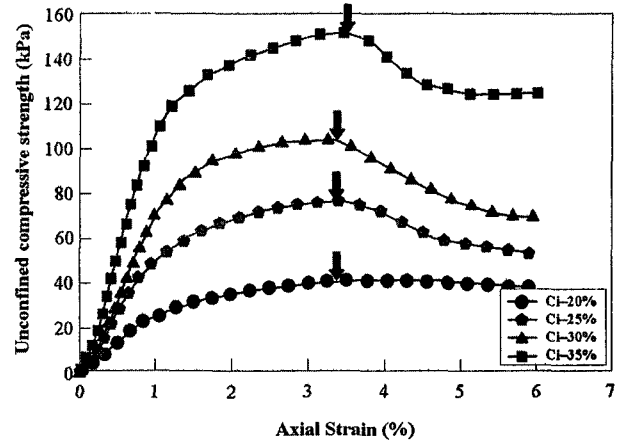
4. 실험결과 및 분석

4.1 응력-변형 거동 특성

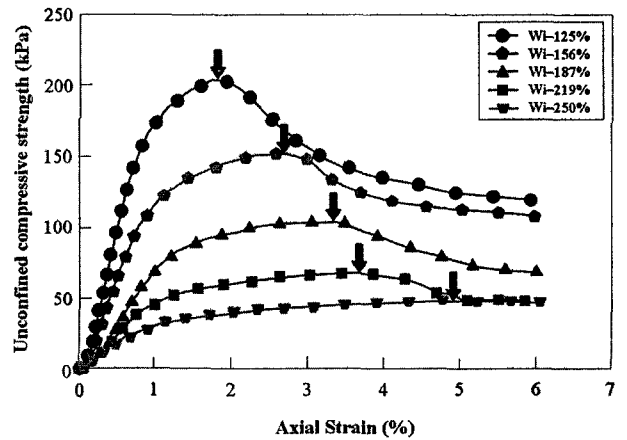
지오그리드 혼합 보강경량토의 일축압축강도 시험결과 재료별 함량에 따른 응력-변형 거동 특성은 그림 4와 같다. 그림 4(a)는 초기 함수비 187%, 기포 함량 2%일 때 시멘트 함량에 대한 일축압축강도의 변화를 나타내는 그림으로서 시멘트 함량이 증가할수록 최대강도와 응력-변형 곡선의 기울기가 증가하는 것을 알 수 있으며 파괴시 축변형률은 3.1%~4.0%의 범위내에서 미소하게 감소하는 것으로 나타났다. 최대강도 이후의 응력-변형 거동은 축변형률이 증가함에 따라 응력감소가 적은 연성적인 거동을 나타내었다.

그림 4(b)는 시멘트 함량 30%, 기포 함량 2%일 때 초기 함수비에 대한 일축압축강도의 변화를 나타내는 그림으로서 초기 함수비가 감소할수록 최대강도와 응력-변형 곡선의 기울기는 증가하며 파괴시 축 변형률은 1.9%~4.5%의 범위로 크게 감소하는 것으로 나타나 초기 함수비가 파괴시 축 변형률에 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 최대강도 이후의 거동은 대부분 연성적인 거동을 나타내었다. 그림 4(c)는 시멘트 함량 30%, 초기 함수비 187%일 때 기포 함량에 대한 일축압축강도의

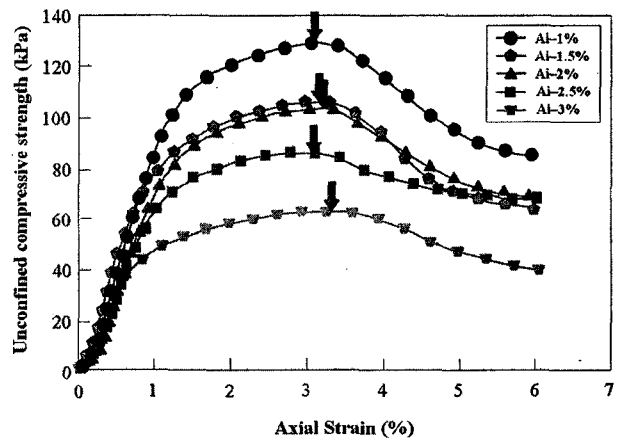
변화를 나타내는 그림으로서 기포 함량이 감소할수록 최대강도와 최대강도까지의 기울기는 증가하며 파괴시 축 변형률은 대부분 약 3%의 범위로 큰 변화가 없는 것으로 나타났다. 최대강도 이후의 응력-변형 거동은 앞의 두 경우와 유사한 경향을 나타내었다.



(a) 시멘트 함량



(b) 초기 함수비



(c) 기포 함량

그림 4. 재료별 특성에 따른 응력-변형 거동

그림 5는 시멘트 함량 35%, 초기 함수비 187%, 기포 함량 2%인 조건에서 무보강 및 지오그리드 혼합 보강 경량토의 응력-변형 특성을 나타낸다. 무보강 경량토의 실험결과와 비교하여 지오그리드가 강도증가에 효과가 있다는 것을 알 수 있으며 최대강도 이후의 거동특성에서도 취성파괴를 크게 감소시켜준다는 것을 확인할 수 있다.

그림 6은 무보강 경량토와 보강경량토에서 최대 일축 압축강도시 축변형률의 범위를 나타내는 그림이다. 함수비가 125%에서 250%로 변화될 때 파괴시 축변형률의 범위도 크게 변화됨을 알 수 있다. 또한 보강토의 파괴시 축변형률이 무보강 경량토의 파괴시 축변형률보다 일반적으로 큼을 알 수 있다. 이상의 결과에서 지오그리드 혼합 보강경량토의 응력-변형 거동 특성은 지오그리드 혼합에 의해 최대강도가 증가할 뿐만 아니라, 기존 경량혼합토와 비교하여 파괴시 축변형률도 증가하는 특징을 가지며, 최대강도 이후의 거동은 연성파괴의 거동을 나타낸다.

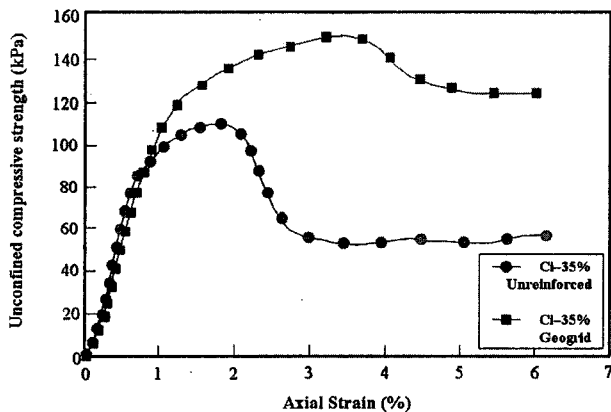


그림 5. 무보강 및 지오그리드 혼합 보강경량토의 응력-변형 거동 비교

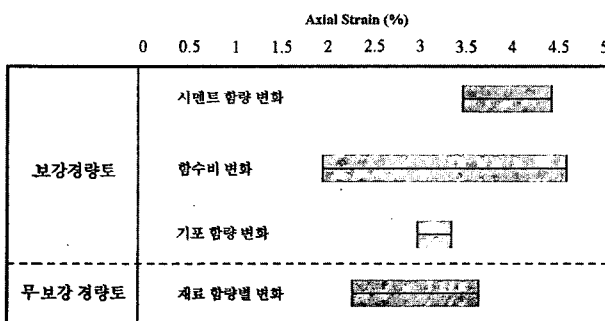
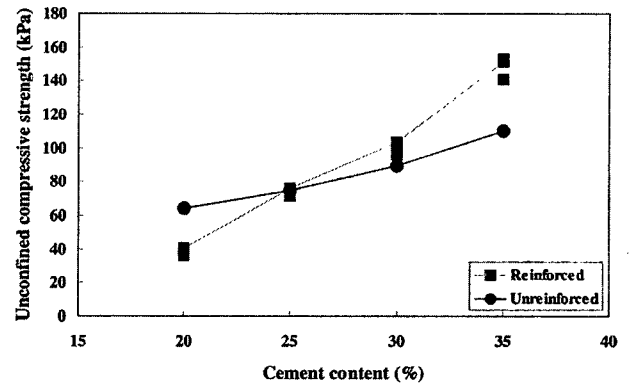


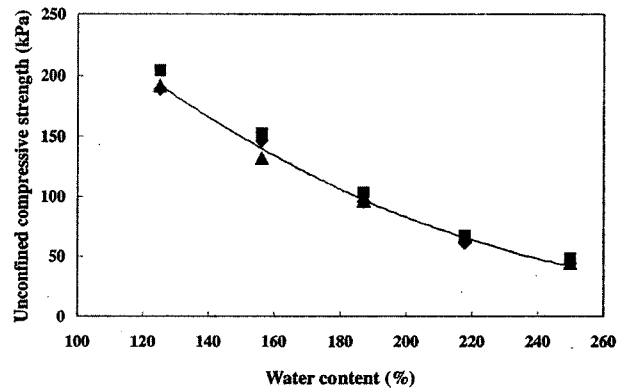
그림 6. 파괴시 축변형률의 범위

4.2 압축강도 특성

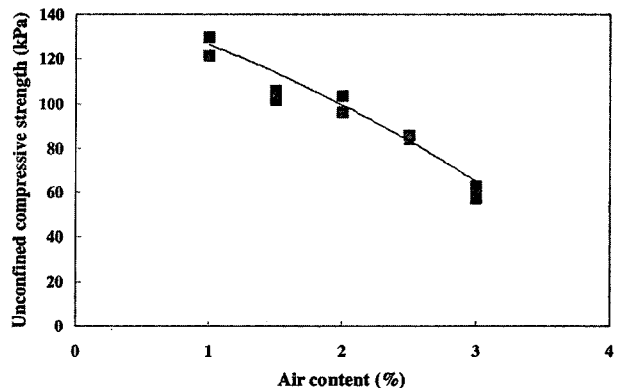
시멘트 함량, 초기 함수비, 기포 함량에 따른 지오그리드 혼합 보강경량토의 압축강도 특성은 그림 7과 같다. 그림 7(a)는 무보강 경량토와 지오그리드를 4단으로 배치한 지오그리드 보강경량토의 시멘트 함량에 대한 압축강도의 영향을 비교한 것으로 시멘트 함량이 증가할수록 두 경우 모두 압축강도가 거의 선형적으로 증가하는 것을 알 수 있다. 그러나 압축강도의 증가비는 지



(a) 시멘트 함량



(b) 초기 함수비



(c) 기포 함량

그림 7. 재료별 특성에 따른 압축강도 특성

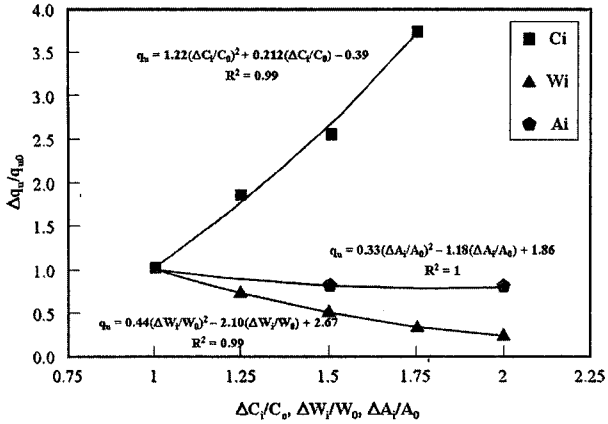


그림 8. 각 배합비 변화에 대한 압축강도의 상관관계

오그리드 혼합 보강경량토에서 무보강 경량토보다 큰 것을 알 수 있으며 시멘트 함량이 20%인 경우에는 지오그리드 혼합 보강경량토의 압축강도가 무보강 경량토의 압축강도보다 작게 유발되었다. 이것은 그림 3과 같이 본 실험에서 사용된 지오그리드 격자의 간격(mesh size)이 5mm × 6mm로 매우 좁아 시멘트 함량이 작은 경우 흡입자 자체의 부착강도가 약화되어 발생된 것이라 사료된다. 그림 7(b)와 그림 7(c)는 초기 함수비 및 기포 함량에 대한 영향으로 초기 함수비와 기포 함량은 감소할수록 압축강도는 증가하며 이러한 결과는 무보강 경량토 결과와 유사한 경향을 나타낸다(김윤태 등, 2005a).

그림 8은 시멘트(C_i), 함수비(w_i), 기포 함량(A_i)의 변화를 초기 값으로 정규화한 값($\Delta C_i/C_0$, $\Delta w_i/w_0$, $\Delta A_i/A_0$)에 대한 정규화된 압축강도의 변화($\Delta q_u/q_{u0}$)를 회귀분석한 결과이다. 여기서 q_{u0} 는 초기강도, Δq_u 는 강도 증가비를 나타낸다. 그림으로부터 정규화된 압축강도의 변화는 초기 함수비 및 기포 함량의 변화보다 시멘트 함량의 변화에 크게 의존함을 알 수 있다. 상대적으로 기포 함량의 변화는 압축강도에 가장 적은 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 이때 상관계수는 99% 이상으로 거의 일치하고 있음을 알 수 있으며 이러한 상관관계식은 향후 배합설계를 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

4.3 일축압축강도와 변형계수와의 관계

지오그리드 혼합 보강경량토의 일축압축상태에서의 압축강도와 변형계수(E_{50})의 관계를 고찰하면 그림 9와 같다. 양생기간 28일에서 변형계수는 압축강도 117~208

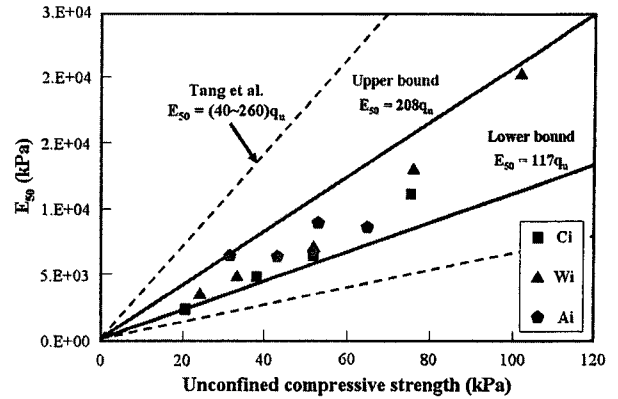


그림 9. 보강 경량토의 일축압축강도와 할선 탄성계수간의 관계

배 정도의 범위를 가지는 것으로 나타났으며 재료별 함량에 따라 보강효과의 영향이 각각 다르기 때문에 다소 분산되어 나타났다. 그러나 이러한 결과는 Tang 등(1996)이 제시한 일반적 범위 $E_{50}=(40\sim 260)q_u$ 에 있음을 알 수 있으며, E_{50} 의 하한계값(lower bound)이 증가한 이유는 지오그리드 보강에 의해서 시편의 강성도가 증가하였기 때문이라고 판단된다.

5. 결론

본 연구는 준설토 재활용을 위하여 기존 경량혼합토에 지오그리드를 혼합한 보강경량토 시편을 제작하였으며 일축압축강도시험을 실시하여 응력-변형 거동 및 압축강도 특성을 분석함으로써 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 지오그리드 혼합 보강경량토의 응력-변형 거동 특성은 시멘트, 초기 함수비, 기포 함량과 같은 배합특성에 크게 의존한다. 즉 시멘트 함량이 증가할수록, 초기 함수비와 기포 함량은 감소할수록 최대강도와 응력-변형 곡선의 기울기는 증가하였다. 이것은 기존 경량혼합토의 응력-변형 거동 특성과 유사하다.
- (2) 보강경량토의 파괴시 축변형률은 배합 특성에 따라 서로 다른 범위를 나타내었지만 경량혼합토와 비교할 때 지오그리드 혼합에 의해서 전반적으로 증가되었다. 또한 파괴후 거동특성은 축변형률이 증가함에 따라 응력감소가 작은 연성적인 거동특성을 나타내어 지오그리드 혼합에 의해 기존 경량혼합토의 취성적인 거동을 개선시켜 줄 수 있었다.
- (3) 지오그리드 혼합 보강경량토의 일반적인 압축강도 특성은 시멘트 함량, 초기 함수비, 기포 함량에 의존

한다. 그러나 정규화된 압축강도는 초기 함수비 및 기포 함량의 변화보다 시멘트 함량의 변화에 크게 의존함을 알 수 있었다.

- (4) 양생기간 28일에서 변형 탄성계수는 압축강도의 117~208배 정도 범위를 가지는 것으로 나타나 Tang 등이 제시한 일반적 범위 $E_{50}=(40\sim 260)q_u$ 에 있음을 알 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 해양수산부의 지원으로 한국해양수산개발원의 수산특정연구개발과제(연안 생태환경공간 복원/조성 기술)로 수행된 연구 중 일부이며, 연구비 지원에 깊은 감사를 드립니다.

참고 문헌

1. 김수삼, 김병일, 한상재, 신현영 (2002), "준설토와 EPS를 혼합한 경량혼합처리토의 강도 특성", *한국철도학회 논문집*, 제 5권, 제 2호, pp.61-69.
2. 김윤태, 권용규, 김홍주 (2005a), "준설토 재활용을 위한 무보강 및 보강 경량토의 압축거동특성 비교", *한국해양공학회지*, 제19권, 제6호, pp.44-49.
3. 김윤태, 권용규, 김홍주, 조상찬 (2005b), "섬유혼합 보강경량토의 거동특성 분석", *대한토목학회 정기학술대회 논문집*, pp.3362-3365.
4. 김주철, 이종규 (2002), "준설토를 이용한 경량기포혼합토의 역학적 특성연구", *한국지반공학회 논문집*, 제18권, 제4호, pp.309-317.
5. 안용수 (2004), "남해안지역 준설토의 지역별 침강 및 침하특성", 동서대학교 석사학위 논문.
6. 윤길림, 김병탁 (2002), "준설토를 활용한 경량혼합토의 역학적 특성 연구", *한국지반공학회 논문집*, 제18권, 제4호, pp.75-83.
7. 윤길림, 유승경 (2004), "현장발생토를 활용한 경량기포혼합토(LWFS)의 강도 및 변형특성", *한국지반공학회 논문집*, 제20권, 제9호, pp.125-131.
8. 윤길림, 유승경 (2005), "수중양생 및 수압조건을 고려한 경량기포혼합토의 거동", *한국지반공학회 논문집*, 제21권, 제4호, pp.21-29.
9. 최진용, 김석윤 (1998), "한반도 주변해역 점토광물의 함량과 분포", *한국지구과학회지*, 제 19권, 제 5호, pp.524-532.
10. Gray, H.D., A.M. ASCE and Talal Al-Refeai. (1986), "Behavior of Fabric-Versus Fiber-Reinforced Sand", *Journal of Geotechnical Engineering*, Vol.112, No.8, pp.804-820.
11. Markou, I. and Droudakis, A. (2004), "Evaluation of Sand-Geotextile Interaction by Triaxial Compression and Direct Shear Testing".
12. Tang, Y. X., Tsuchida, T., Shirai, A., Ogata, H. and Shiozaki, K. (1996), "Triaxial Compression Characteristics of Super Geo-Material Cured Underwater", *Proceedings of 31st Conference on Geotechnical Engineering*, pp.2493-2494.
13. Tsuchida, T., Takeuchi, D., Okumura, T. and Kishida, T. (1996), "Development of Lightweight Fill from Dredgings", *Proc. of Environmental Geotechnics*, Balkema, pp.415-420.
14. Yetimoglu, T., Inanir, M. and Inanir, O.E. (2005), "A Study on Bearing Capacity of Randomly Distributed Fiber-Reinforced Sand Fills Overlying Soft Clay", *Geotextiles and Geomembranes*, Vol.23, pp.174-183.

(접수일자 2006. 4. 24, 심사완료일 2006. 7. 7)