

섬유보강 혼합경량토의 역학적 특성 비교

김윤태* · 한우종*
*부경대학교 해양공학과

Comparison of Mechanical Characteristics of Fiber-Reinforced Lightweight Soils

YUN-TAE KIM* AND WOO-JONG HAN*

*Department of Ocean Engineering, Pukyong National University, Busan, Korea

KEY WORDS: Dredged soil 준설토, Bottom ash 저회, Monofilament 단섬유, Waste fishing net 폐어망, Unconfined compression test 일축압축강도시험, Direct shear test 직접전단시험

ABSTRACT: The objective of this study was to investigate the mechanical characteristics of fiber-reinforced lightweight soil using waste fishing net or monofilament for recycling both dredged soils and bottom ash. Reinforced lightweight soil consists of dredged soil, cement, air foam, and bottom ash. Waste fishing net or monofilament was added the mixture in order to increase the shear strength of the lightweight soil. Test specimens were fabricated with various mixing conditions, including waste fishing net content and monofilament content. Several series of unconfined compression tests and direct shear tests were carried out. From the experimental results, it was found that the unconfined compressive strength, as well as the stress-strain behavior of reinforced lightweight soil was strongly influenced by mixing conditions. In this study, the maximum increase in shear strength was obtained with either a 0.5% content of monofilament or 0.25% waste fishing net. The unconfined compressive strength of reinforced lightweight soil with monofilament was greater than that of reinforced lightweight soil with waste fishing net.

1. 서 론

국내 연안해안을 중심으로 대규모 산업시설 및 해양공간 개발을 위한 준설토, 통항로 확보를 위한 항로유지준설토, 오염해역의 환경복원을 위한 청소준설토 등이 필수적으로 행해지고 있다. 이로 인하여 해마다 많은 양의 준설토가 발생되고 그에 따른 준설토작업에 투입되는 금액 역시 증가하고 있다. 현재 준설토 처리는 별다른 처리과정 없이 외해 단순투기 및 육상매립에 의존하고 있는 실정이다. 이로 인해 대규모 부지확보 및 주변 환경의 오염이 발생하는 등 많은 사회적 문제점들이 제기되고 있다. 따라서 국가적 차원에서 추진하는 자원의 재활용 및 자연환경 보전에 부합하기 위하여 준설토를 재활용할 수 있는 요소기술을 개발하는 것이 시급한 실정이다.

산업 발전과 경제 성장으로 인하여 전력수요량이 급증하면서 국내 발전량의 40% 이상을 차지하는 화력발전의 부산물인 석탄회 발생량도 증가하는 추세이다. 한국전력은 2010년경에 국내 연간 석탄회 발생량이 약 600만톤에 이를 것으로 전망하였다. 석탄회는 크게 플라이애쉬(Fly ash)와 저회(Bottom ash) 두 가지로 구분되며 이중 저회는 전 체발생량의 15~20%를 차지한다. 플라이애쉬는 콘크리트 혼화재, 시멘트 원료 등으로 많은양이 재활용되거나 저회는 대부분 Ash pond 등에 단순 매립 투기

되는 실정이다. 현재 이를 처리하기 위한 매립지나 Ash pond 등이 포화상태에 이르러 새로운 매립지나 처리시설이 필요하다. 또한 앞으로 에너지 수요 증가와 화석연료의 사용으로 석탄회 발생량은 계속 늘어날 전망이다. 따라서 준설토와 마찬가지로 저회도 재활용할 수 있는 기술이 시급히 마련되어야 한다.

우리나라의 연안 해역은 육상의 쓰레기가 흘러 들어가거나 해상에서 버린 폐기물 등으로 인하여 오염되어 가고 있는 실정이다. 이러한 해양 폐기물 중에 특히 어민들이 어로 중에 고의 또는 실수로 버리는 폐어망은 연안해역에서 큰 문제를 야기시킨다. 폐어망은 대부분 폴리에틸렌(Polyethylene), 폴리프로필렌(Polypropylene) 및 나일론(Nylon)과 같은 석유화학물질이어서 오래도록 분해되지 않고 원형 그대로 해저 바닥에 침강된다. 이러한 폐기물이 바다 밑에 가라 앉으면 어류, 이동성 저서생물의 서식처 및 어장이 황폐화되고, 해양 식·동물의 서식과 산란을 방해하는 원인이 된다. 또한 선박의 프로펠러에 폐어망이 감기는 문제가 발생하여 크고 작은 해난 사고의 원인이 되며 선박의 안전항해를 저해한다. 1993년 292명의 귀중한 생명을 잃었던 서해훼리호 침몰사고도 바다에 떠다니던 폐어망 로프가 사고선박의 스크류에 감겨서 발생된 것이다.

따라서 본 연구에서는 준설토와 저회를 적극적으로 재활용할 뿐만 아니라 혼합재료의 역학적인 특성 개선을 위하여 보강재로서 폐어망이나 단섬유를 혼합한 저회 혼합경량토를 제작하였다. 저회 혼합경량토는 다양한 배합조건에 따라서 제작

교신저자 김윤태 : 부산광역시 남구 대연3동 599-1번지
051-620-6229 yunkim@pknu.ac.kr

되어졌고, 일축압축강도시험과 같은 실내실험을 통해 역학적 특성을 분석하였다.

2. 섬유보강 저회 혼합경량토

지반 보강과 안정성 도모를 위하여 지반보강재로 사용되는 섬유는 지반구조물의 역학적 안정성을 증가시키기 위하여 오래전부터 사용되고 있다. 이용형태는 크게 두 가지로 나뉘는데 첫째는 섬유를 직조하여 제품화한 토목섬유라고 명명되는 평면적인 형태이며, 둘째는 섬유 자체를 흙과 랜덤하게 혼합하는 선형적인 형태이다. 이 중 섬유를 직접 혼합하는 방법은 흙과 혼합이 용이하고, 강도의 등방성과 지속성이 우수하다(김윤태 등, 2006a).

Fig. 1은 흙과 섬유의 경계면에서 유발되는 역학적인 거동을 나타낸 개념도이다(Tang et al., 2007). 흙과 섬유와의 경계면에서 흙과 섬유의 부착력, 마찰력과 맞물림 하중이 작용하여 섬유의 미끄러짐을 막고 섬유가 인장응력을 받아서 지반의 전단 강도를 증가시키는 보강효과를 발휘하게 된다.

Fig. 2는 무보강 저회 혼합경량토와 페어망이나 단섬유를 각각 혼합한 섬유보강 저회 혼합경량토의 개념도를 각각 나타낸 것이다. 무보강 혼합경량토의 강도를 증대시킬 뿐만 아니라 인장 및 전단에 대한 취약점을 개선시키기 위하여 페어망이나 단섬유를 각각 랜덤하게 혼합하였다. 첨가된 섬유로 인하여 충격 및 균열에 대한 저항성 증대, 파괴 또는 균열의 조절·제어 등과 같은 장기 안정성에도 효과적이라 판단된다. 김윤태 등(2005)은 무보강 경량토 보다 페어망이 보강된 경량토의 압축 강도에서 파괴후 응력이 일정한 값에 수렴하는 잔류강도를 나타낸다고 밝힌바 있다.

이러한 개념을 바탕으로 본 연구에서는 기존의 무보강 저회 혼합경량토에 페어망이나 단섬유를 혼합한 보강 경량토를 각각 제작하여 보강효과를 보고자 하였다.

3. 실험방법

3.1 섬유보강 저회 혼합경량토의 제작

섬유보강 저회 혼합경량토는 준설토, 기포, 시멘트, 저회와 보강재인 단섬유 혹은 페어망으로 구성되어 있다.

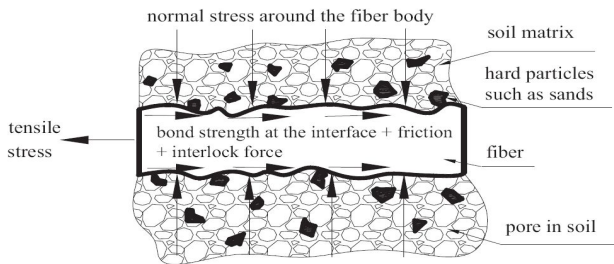


Fig. 1 Sketch of mechanical behavior at the interface between fiber surface and soil matrix

본 연구에서 사용한 준설토 시료는 부산 신항만 배후부지에서

채취하였으며 지반공학적 특성은 Table 1과 같다. 재료의 경량성 확보를 위해 사용된 기포제는 배합 전에 발포시키는 방식을 사용하였으며 고화제인 시멘트는 1종 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였다.

저회는 화력발전소에서 발생된 석탄회 중 바닥에 남은 재료서 입도분포는 일반적으로 자갈에서 모래까지 분포하며 실트와 점토크기의 입자는 매우 드물다. 저회의 특성은 연소되는 석탄의 종류와 연소조건 등에 의존되며 같은 발전소에서 발생한 저회라도 발생한 시간이 다르면 성분이 다른 특징이 있다(Kumar and Stewart, 2003). 본 연구에서 사용한 저회는 삼천포 화력발전소에서 발생한 것으로서 공시체 제작을 위해 #4번체에 통과시켜 자갈크기의 입자를 배제시켰으며 입도 분포곡선은 Fig. 3과 같다. 저회의 비중은 약 2.0으로 나타났으며, 본 연구에서는 XRF(X-ray Fluorescence)와 XRD(X-ray Diffractogram)를 통하여 저회의 화학성분 분석 및 주요 결정상을 조사하였다. Table 2는 XRF 분석결과로부터 구한 저회의 화학적인 구성성분을 나타낸 것이다. 또한 XRD 분석결과로부터 Fig. 4와 같이 주요 결정상이 Quartz(SiO_2)과 Mullite($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$)임을 알 수 있었으며, 약 $27^\circ(2\theta)$ 에서 최대 광학값을 나타내는 형태이다.

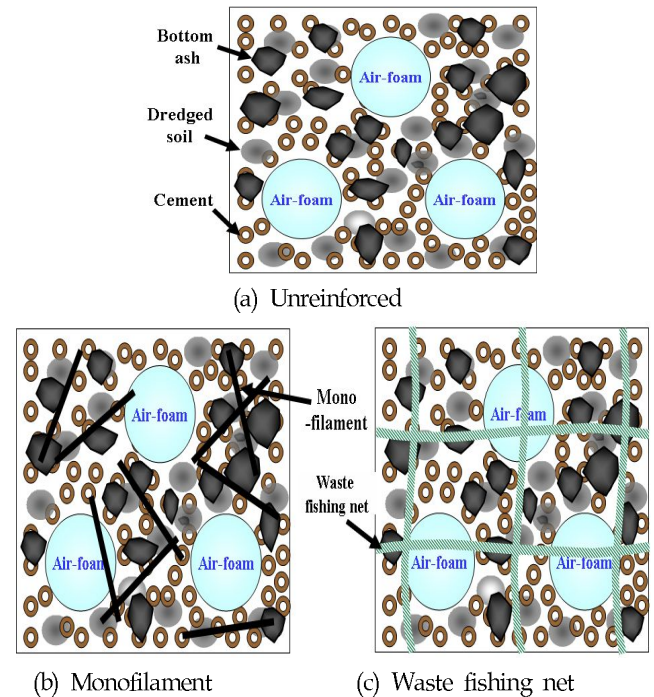


Fig. 2 The conceptual diagrams of bottom ash-added lightweight soil

Table 1 Properties of dredged soil

Initial water content (%)	Liquid limit (%)	Plastic limit (%)	Specific gravity	Percent passing No. 200 sieve (%)	USCS
57.5	39.2	18.5	2.62	81.2	CL

Table 2 Chemical properties of bottom ash

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	SO ₃	K ₂ O	TiO ₂
49.8	18.2	10.4	13.9	3.52	0.69	0.55	1.17	0.96

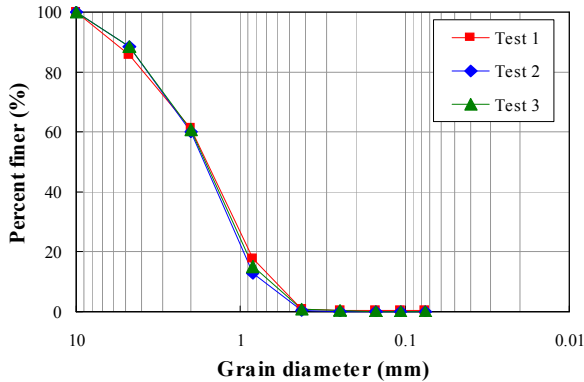


Fig. 3 The grain size distribution of bottom ash

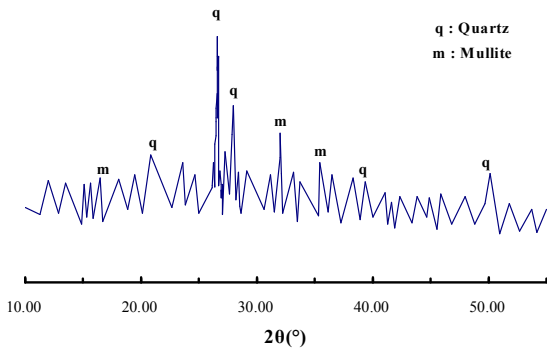


Fig. 4 X-ray diffractogram of bottom ash

본 실험에서 보강재로 사용된 섬유재는 합성섬유 제품인 S사의 모노필라멘트이다. 모노필라멘트의 재질은 고밀도 폴리에틸렌이 주원료로서 인장강도가 크고 비중이 1보다 작아 경량성을 가지고 있다. 직경이 0.25mm이고 단섬유의 주요 특성은 Table 3과 같다.

어망은 크게 폴리에틸렌, 폴리프로필렌 및 나일론으로 크게 구분된다. 본 논문에서 사용한 페어망은 폴리에틸렌 계열이다. Table 4는 본 연구에서 사용한 페어망의 재질인 폴리에틸렌의 일반적인 특징을 나타낸다.

배합특성에 따른 거동특성을 파악하기 위해 Table 5와 같이 페어망 함유량, 단섬유 함유량 등에 따라 배합 및 시험조건을 달리 적용하였으며, 섬유 혼합에 따른 압축거동 특성과 보강효과를 파악하였다. 이때 재료별 함유량은 건조된 준설토의 중량비로서 결정되었다. 기포제는 시간이 지남에 따라 소포가 되기 때문에 공시체 제작과정에서 기포 혼합은 5분 이내로 실시하였으며 시멘트 경화에 대한 영향을 고려하여 전체 공시체 제작 시간은 10분 이내로 조절하였다.

Table 3 Properties of monofilament

Density (g/cm ³)	Yield stress (kg/cm ²)	Surface hardness (Rockwell ,HRC)	Heat deflection temperature (°C)	Softening point (°C)	Diameter (mm)
0.96 ~ 0.98	39.2	50	75	125	0.25

Table 4 Physical and engineering properties of waste fishing net

Parameter	Waste fishing net	
Type(abbreviations)	Polyethylene(PE)	
Aperture [width×length]	22 mm × 22 mm	
Diameter	0.8 mm	
Cross-section	Circularity	
Tensile strength	120 kN/m	
Tensile elongation	drying	8~35%
	wetting	8~35%
Young's modulus	300~850 kg/m ²	
Specific gravity	0.94~0.96	

Table 5 Mixing and test conditions

Material condition	Mixing condition
Cement content, Ci(%)	20
Water content, Wi(%)	120
Air-foam content, Ai(%)	2
Bottom ash content, BA(%)	100
Waste fishing net content, Ni(%)	0, 0.25, 0.5, 0.75, 1.0
Monofilament content, MFi(%)	0, 0.25, 0.5, 0.75, 1.0
Curing time (day)	28

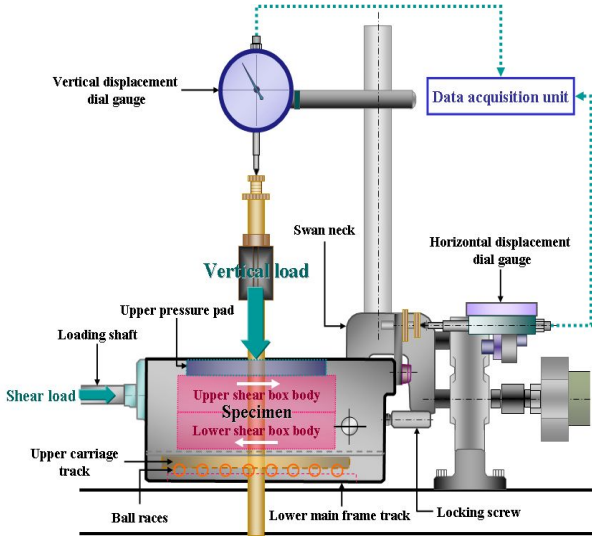


Fig. 5 The conceptual layout of digital shear machine

3.2 일축압축강도시험

다양한 배합조건에 따라 제작된 공시체를 각각 재령 28일까지 양생시킨 후 일축압축강도 시험을 수행하였다. 일축압축강도시험은 변형을 제어 가능한 D사의 일축압축 시험기를 사용하였으며 이때 축변형률은 1.0%/min으로 제어하였다. 공시체 크기는 섬유 혼합을 고려하여 $\phi 72 \times 148$ mm로 제작하였다.

3.3 직접전단시험

Fig. 5와 같이 섬유보강 혼합경량토의 전단강도 정수를 구하기 위하여 공시체를 수직응력 70, 140, 210, 280kPa에 따라 직접전단시험을 수행하였다. 페어망과 단섬유 함량에 따라 비교를 위해 재령 28일 까지 양생시킨 후 각각 3수준의 시험을 실시하였다. 전단시험시 축변형률은 1.0%/min으로 제어하였으며 공시체 크기는 $60 \times 100 \times 100$ mm로 제작하였다.

4. 실험결과 및 분석

4.1 응력변형 거동 특성

본 연구에서는 페어망이나 단섬유를 각각 혼합한 섬유보강 저회 혼합경량토의 응력-변형 거동 특성을 비교·분석하였다.

Fig. 6은 무보강 저회 혼합경량토와 단섬유 보강 저회 혼합경량토의 응력-변형 거동 특성을 나타낸 것이다. 단섬유의 길이는 3cm이고, 건조 준설토 무게에 대한 단섬유 함유량은 0.5%이다. 무보강 저회 혼합경량토에 비하여 단섬유 함유량이 0.5%일 때 약 50%정도 일축압축강도가 증가하였다.

Fig. 7은 무보강 저회 혼합경량토와 페어망 보강 저회 혼합경량토의 응력-변형 거동 특성을 나타낸 것이다. 페어망의 크기는 $4\text{cm} \times 6\text{cm}$ 의 격자모양이고, 건조 준설토 무에 대한 페어망의 함유량은 0.25%이다. 무보강 저회 혼합경량토에 비하여 페어망 함유량이 0.25% 혼합되었을 때 최대일축강도와 잔류 응력이 증가하는 것으로 나타났다. 이로서 단섬유와 페어망 혼합이 보강 경량토의 역학적 특성 개선에 효과가 있는 것으로 판

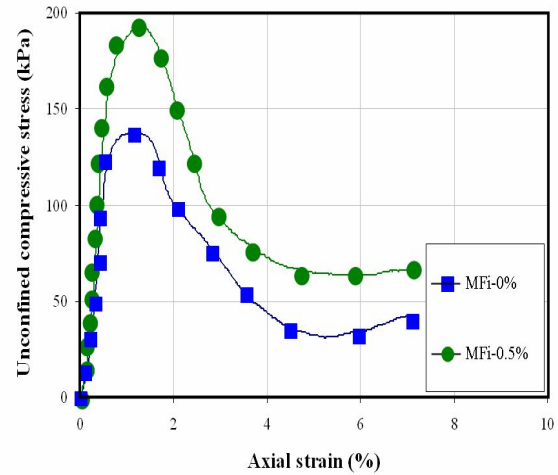


Fig. 6 Characteristics of compressive strength with monofilament content

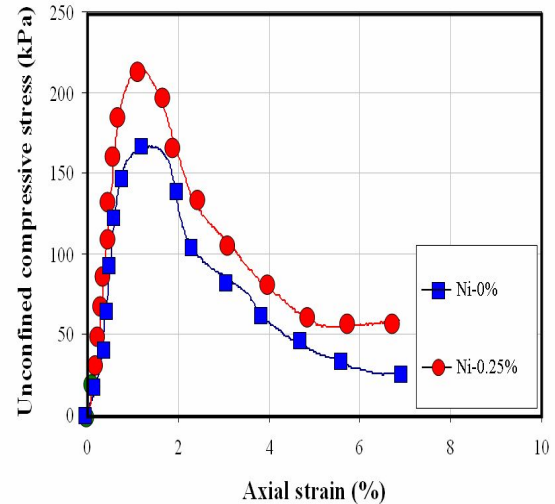


Fig. 7 Characteristics of compressive strength with waste fishing net content

단된다.

Tang et al.(2007)은 섬유로 보강된 고화처리 점토의 역학적 특성 연구에서 섬유가 공시체 파괴시 발생하는 전단균열의 진행을 지연시키는 현상을 Bridge effect로 명명하였다. Fig. 8은 단섬유 보강 저회 혼합경량토의 일축압축시험시 발생된 Bridge effect를 나타낸 것으로 공시체의 전단균열 발생 부분에서 단섬유가 저항하면서 전단균열의 진행을 지연시키는 역할을 하고 있다.

4.2 압축강도 특성

Fig. 9는 단섬유 함유량에 따른 섬유 보강 저회 혼합경량토의 압축강도 특성을 나타낸 것이다. 최대일축강도와 잔류응력은 단섬유 함유량이 0.5%일 때 가장 크게 나타났고, 이후 단섬유 함유량이 증가할수록 감소하는 경향이 나타났다. 즉 최적

함유량인 0.5%까지는 단섬유 혼합에 의하여 저회 혼합토와 단섬유가 맞물림(Interlocking)효과에 의해 압축강도가 증가된 것으로 판단된다. 그러나 0.5%를 초과하는 경우에는 혼합되는 섬유의 양이 과다해지면서 섬유재 자체의 엉킴에 의해서 맞물림 효과가 감소하게 되고, 섬유재와 섬유재 사이의 마찰력이 전체 거동을 지배하여 상대적으로 마찰력과 저항력이 감소하게 된다. 이는 Nataraj et al.(1996)의 연구에서 섬유혼합비를 0.2%, 0.3%, 0.5%의 비율로 혼합하여 실험한 결과 0.3%일 때 가장 큰 보강효과가 나타난 결과와 유사하다.

Fig. 10은 폐어망의 함유량에 따른 섬유 보강 저회 혼합경량토의 압축강도 특성을 나타낸 것이다. 최대압축강도는 폐어망 함유량이 0.25%일 때 가장 크게 나타나고 이후 폐어망 함유량이 증가할수록 감소하는 경향이 나타났다. 실내실험결과 폐어망의 최적 함유량은 0.25%로 나타났으며 이는 김윤태와 김홍주(2006b)의 연구결과와 유사하다. 잔류응력은 폐어망 함유량이 증가할수록 증가하는 것으로 나타났다.



Fig. 8 Bridge effect

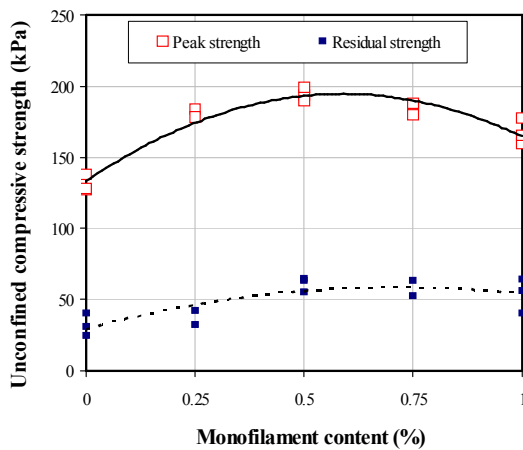


Fig. 9 Characteristics of compressive strength with monofilament content

Fig. 11은 단섬유나 폐어망을 혼합한 섬유보강 혼합경량토의 압축강도를 비교하여 나타낸 것이다. 보강효과를 알아보기 위해 압축강도를 무보강 공시체의 압축강도로 정규화하였다. 단섬유를 혼합한 경우가 폐어망을 혼합한 경우보다 보강효과가 크게 나타났다. 이는 폐어망의 직경(약 1mm)이 단섬유의 직경(0.25mm)에 비해 크기 때문에 동일한 섬유 혼합률에서의 섬유 표면적이 작아 섬유와 흙 사이의 마찰면이 작게 될 뿐만 아니라 섬유의 유연성이 작아져서 보강경량토 사이에서 섬유의 맞물림 효과가 감소하기 때문으로 판단되며, 섬유와 흙 사이에서 유발되는 마찰응력이 섬유가 보유하고 있는 인장강도보다 극히 작기 때문인 것으로 판단된다. 김윤태와 한우중(2007)의 연구에서 서로 다른 직경을 가지는 단섬유 보강 혼합경량토의 실내실험결과 직경이 작은 단섬유를 사용하였을 때 더 큰 보강효과가 나타났으며, 조삼덕과 김진만(1995)의 연구에서도 직경이 0.46mm인 섬유재를 혼합한 경우가 직경 0.21mm인 섬유재를 혼합한 경우보다 전단강도가 작게 보고되었다.

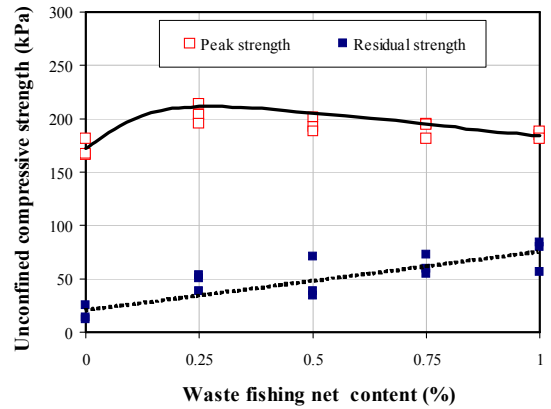


Fig. 10 Characteristics of compressive strength with waste fishing net content

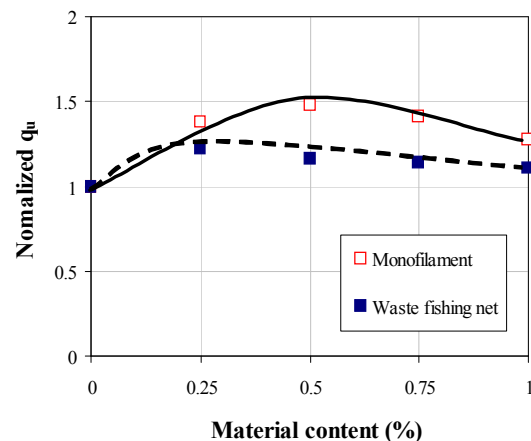


Fig. 11 Comparison of compressive strength of lightweight soils reinforced with waste fishing net and monofilament, respectively

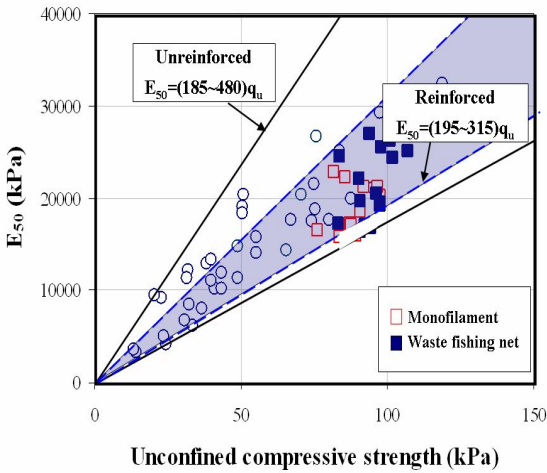
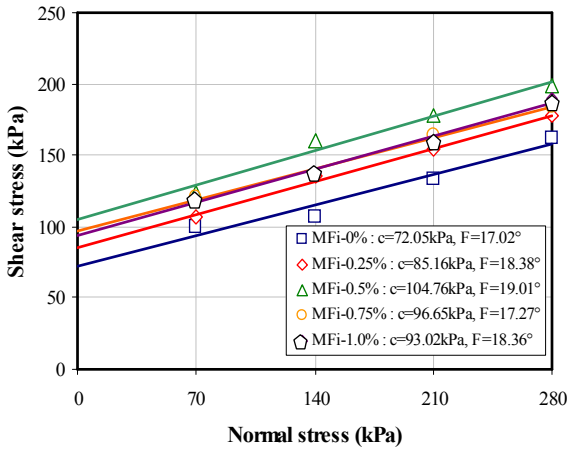
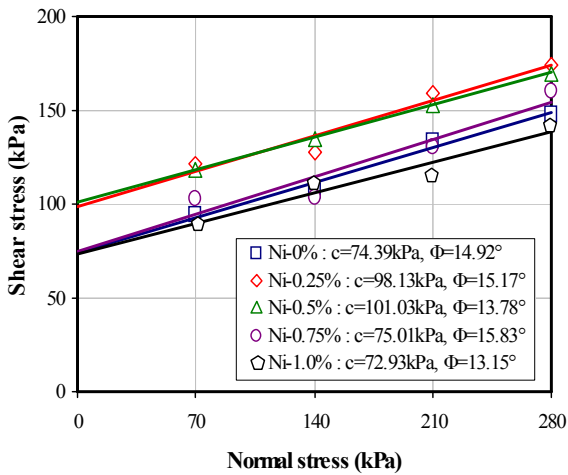


Fig. 12 Relation between deformation modulus and unconfined compressive strength



(a) Monofilament



(b) Waste fishing net

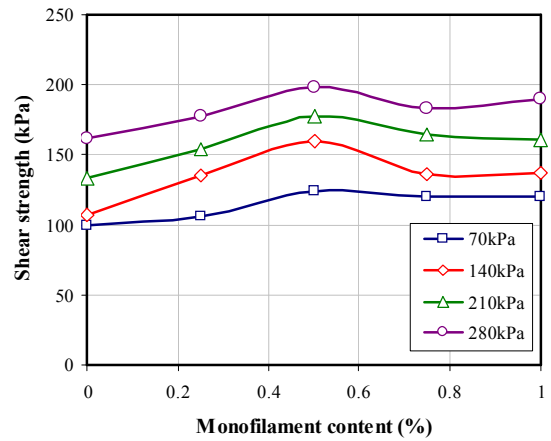
Fig. 13 Variation of shear strength with respect to normal stress

4.3 일축압축강도와 변형계수 특성

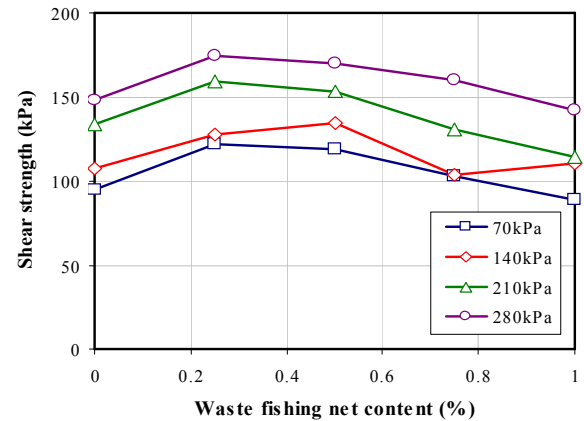
Fig. 12는 섬유보강 혼합경량토의 일축압축강도와 변형계수 (E50)와의 관계를 나타낸다. 섬유보강 혼합경량토의 변형계수는 압축강도의 195~315배 정도의 범위를 가지는 것으로 나타났으며 이는 기존의 연구 범위에 포함되는 것으로 나타났다. 향후 추가실험을 통하여 저회 혼합경량토의 일반적인 일축압축강도와 할선 탄성계수(E50)의 관계를 제시할 수 있을 것으로 사료된다.

4.4 전단강도 특성

Fig. 13은 섬유보강 혼합경량토의 수직응력에 대한 전단강도를 나타낸다. 모든 경우에서 수직응력이 증가함에 따라 전단강도도 역시 증가하는 것을 알 수 있다. Fig. 13(a)는 단섬유 함유량에 따른 전단강도 특성을 나타내는 것으로 내부 마찰각 (φ)은 17~19° 내외의 값을 가지며 단섬유 함유량 0.5%에서 가장 큰 점착력(c)을 가지는 것으로 나타났다. 이것은 단섬유 함유량 0.5%에서 가장 큰 보강효과를 나타내는 일축압축시험의 결과와 유사하게 나타났다. Fig. 13(b)는 폐어망 함유량에 따른



(a) Monofilament

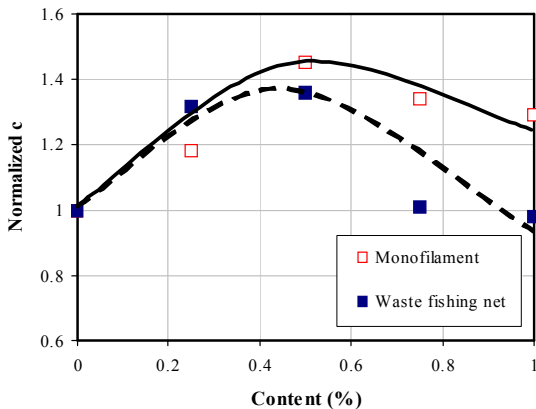


(b) Waste fishing net

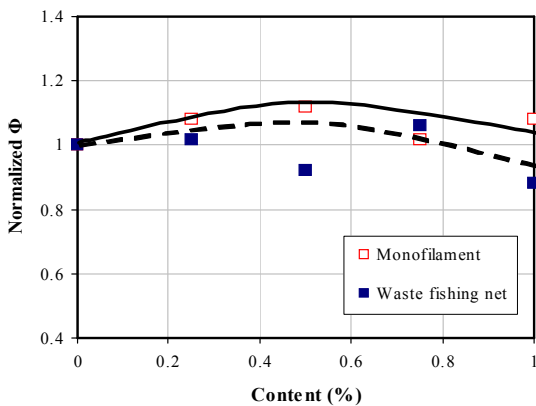
Fig. 14 Variation of shear strength with respect to fiber content

섬유 함유량에 따른 섬유보강 혼합경량토의 전단강도는 Fig. 14와 같다. 섬유 보강 공시체가 무보강 공시체 보다 상대적으로 큰 전단강도를 가진다. Fig. 14(a)에 나타난 것과 같이 단섬유 함유량별 전단강도는 0.5%에서 최대 전단강도를 가짐으로써 최적 섬유비가 존재함을 확인하였다. Fig. 14(b)는 폐어망 함유량별 전단강도를 나타낸 것으로서 함유량 0.25%에서 최대 전단강도가 나타났으며 단섬유와 마찬가지로 최적 섬유혼합비가 존재함을 알 수 있었다.

Fig. 15는 단섬유나 폐어망을 혼합한 섬유 보강 혼합경량토의 전단강도 정수변화를 나타낸 것이다. 각 섬유의 배합비에 따른 효과를 보기 위하여 무보강 공시체 값으로 정규화를 실시하였다. Fig. 15(a)는 점착력에 대한 결과로 단섬유 혼합시에는 함유량 0.5%에서 최대 점착력이 나타나서 일축 및 전단시험결과와 유사함을 알 수 있었다. 폐어망 혼합 시에 최대 점착력은 폐어망 함유량 0.5%에서 나타났으며, 실험결과의 분산이 다소 크게 나타났다. Fig. 15(b)는 내부마찰각에 대한 결과를 나타낸 것으로서 단섬유 혼합시는 함유량 0.5%에서 최대 값이 나타났으나 폐어망을 혼합한 경우는 실험결과의 분산이 다소 크게 나타났다.



(a) Normalized cohesion



(b) Normalized angle of internal friction

Fig. 15 Characteristics of shear strength parameter with fiber content

5. 결 론

본 연구에서는 준설토와 저회를 적극적으로 재활용하기 위하여 폐어망이나 단섬유를 각각 혼합한 섬유보강 저회 혼합경량토를 제작하였으며 일축압축시험과 직접전단시험을 통해 응력-변형거동 특성, 압축 및 전단강도 특성을 분석함으로써 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 섬유보강 저회 혼합경량토의 응력-변형 거동 특성은 단섬유와 폐어망의 함유량에 크게 의존한다. 섬유보강 저회 혼합경량토에서 섬유와 흙의 맞물림 효과와 Bridge effect로 인해 강도 및 잔류응력이 증가되었다.

(2) 섬유보강 저회 혼합경량토의 압축 및 전단강도는 단섬유 함유량 0.5%와 폐어망 함유량 0.25%에서 최대 보강효과가 나타났다. 이는 최적 함유량까지는 맞물림 효과에 의해 압축강도가 증가하나, 초과할 경우에는 혼합되는 섬유의 양이 과다해지면서 섬유자체의 영킴에 의해서 맞물림 효과가 감소하고, 섬유재와 섬유재 사이의 마찰력이 전체적인 거동을 지배하면서 마찰력과 저항력이 감소되기 때문으로 판단된다.

(3) 단섬유나 폐어망을 혼합한 섬유보강 저회 혼합경량토의 압축강도 변화는 단섬유를 혼합한 경우가 폐어망을 혼합한 경우보다 보강효과가 크게 나타났다. 이는 폐어망의 직경이 단섬유보다 크기 때문에 섬유의 유연성이 작아져서 혼합경량토와 섬유의 맞물림 효과가 감소했기 때문인 것으로 판단된다.

(4) 섬유보강 저회 혼합경량토의 변형계수는 압축강도의 약 195~315배의 범위를 가지는 것으로 나타났으며 이러한 결과는 기존의 연구결과에 포함되는 것으로 나타났다. 향후 추가적인 실험을 통하여 저회 혼합경량토의 일반적인 압축강도와 변형계수와의 관계를 제시할 수 있을 것으로 사료된다.

후 기

본 논문은 2006년도 정부재원(교육인적자원부 학술연구조성사업비)으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 연구되었으며 (KRF-2006-311-D00877), 이에 깊은 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

김윤태, 한우중 (2007). "단섬유 보강 Bottom ash 혼합경량토의 역학적 특성 연구", 한국지반공학회 준설패립기술위원회 학술발표회 논문집, pp 135-143.

김윤태, 권용규, 김홍주 (2006a). "지오그리드 혼합 보강경량토의 압축강도특성 연구", 한국지반공학회지, 제22권, 제7호, pp 37-44.

김윤태, 김홍주 (2006b). "폐어망을 이용한 보강경량토의 압축거동 특성", 한국지반공학회지, 제22권, 제11호, pp 25-35.

김윤태, 권용규, 김홍주 (2005). "준설토 재활용을 위한 무보강 및 보강 경량토의 압축거동특성 비교", 한국해양공학학회지, 제19권, 제6호, pp 44-49.

- 조삼덕, 김진만 (1995). "섬유혼합 보강토의 공학적 특성에 관한 실험연구", 한국지반공학회 논문집, 제11권 제2호, pp 23-28.
- Kumar, S. and Stewart, J. (2003). "Evaluation of Illinois Pulverized Coal Combustion Dry Bottom Ash for Use in Geotechnical Engineering Applications", Journal of Energy Engineering, Vol 129, No 2, pp 42-55.
- Nataraj, M.S., Addula, H.R. and Mcmanis, K.L. (1996). "Strength and Deformation Characteristics of Fiber Reinforced Soils", Environmental Technology, Proceedings of 3rd International Symposium, pp 826-831.
- Tang, C., Shi, B., Gao, W., Chen, F. and Cai, Y. (2007). "Strength and Mechanical Behavior of Short Polypropylene Fiber Reinforced and Cement Stabilized Clayey Soil", Geotextiles and Geomembranes 25, pp 194-202.
-
- 2007년 12월 13일 원고 접수
2008년 6월 5일 최종 수정본 채택