

본딩효과를 고려한 폐어망 보강 경량토의 압축강도 특성

윤대호* · 김윤태*

*부경대학교 해양공학과

Strength Characteristic of Waste Fishing Net-added Lightweight Soil Considering Glue Treatment

Dae-Ho Yun* and Yun-Tae Kim*

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

KEY WORDS: Recycling 재활용, Lightweight soil 경량토, Waste fishing net 폐어망, Bonding effect 본딩 효과

ABSTRACT: This paper investigates the strength characteristics and stress-strain behaviors of waste fishing net (WFN)-added lightweight soil. The lightweight soil, which consisted of dredged soil, crumb rubber, and cement, was reinforced with WFN in order to increase its shear strength. Glue treated WFN was also added to lightweight soil to improve the interlocking between the soil mixture and WFN. Three kinds of test specimens were prepared: unreinforced lightweight soil, reinforced lightweight soil without glue treatment, and reinforced lightweight soil with glue treatment. Several series of laboratory tests were carried out, including flow value tests, unconfined compression tests, and SEM analyses. From the experimental results, it was found that the peak strength of the reinforced lightweight soil with glue treatment was increased by the increased interlocking between the soil mixture and WFN, which was induced from the bonding effect. The stress-strain relation of the reinforced lightweight soil, irrespective of the glue treatment, showed a more ductile behavior than that of the unreinforced lightweight soil.

1. 서 론

우리나라 경제 성장에 따른 전력 사용량은 매년 증가하고 있는 추세이다. 이에 따라 화력발전소에서 발생하는 부산물인 석탄회(Bottom ash)가 차지하는 비율은 약 20% 정도이며, Fly ash에 비해 재활용 기술이 턱없이 부족하여 대부분 재활용되지 못한 채 매립되고 있는 실정이다. 또한 폐타이어의 경우 매년 발생량이 증가하고 있으나 회수율이 70%로 회수되지 못한 폐타이어는 환경적, 사회적 문제를 야기하고 있다(강효섭, 2010).

한편 우리나라 해양환경은 육상 및 해상에서 투기된 폐기물로 인해 크게 오염되어 가고 있다. 해양폐기물의 경우 상선 및 유람선의 운항, 어업활동 중에 플라스틱, 로프, 어망, 발포캡 등이 주로 배출 또는 투기되는데 특히 어망이나 낚시줄 등이 대부분이다(최동현과 홍성욱, 2001). 이러한 해양폐기물 중 폐어망의 경우 해양에서 분해가 되지 않기 때문에 그 양이 축적되면서 어장의 황폐화 및 해양생물의 서식, 산란을 방해한다. 폐어망과 로프에 의한 해양사고 발생량은 총 사고 발생량의 약 24% 정도를 차지하고 있으며 폐어망으로 인한 사고 발생량 또한 매년 증가하고 있는 추세이다. 또한 폐어망과 로프로 인해 발생하는 사고는 선박의 추진기에 폐어망과 로프가 걸려 발생하는 것이 대부분인데 이는 선박의 안전항

해를 저해하는 요인이 된다(동해지방해양안전심판원, 2008).

따라서 본 연구에서는 해양 폐기물인 폐어망, 준설토 및 폐타이어를 재활용하기 위한 방안으로 보강 경량토를 제작하였으며, 폐어망의 보강유무에 따른 보강 및 무보강 경량토의 강도 특성을 비교·분석하였다. 또한 폐어망과 주변 흙 사이에 유발되는 억물림(Interlocking)을 증진시키기 위해 폐어망 그물실(Twine)에 본딩처리(Glue treatment)를 한 폐어망을 사용하여 본딩처리된 폐어망 보강 경량토 제작하였다. 흐름특성 분석, 단위중량 분석, 일축압축강도 분석 및 SEM 분석을 통해 폐어망 보강 유무 및 본딩처리 유무에 따른 경량토의 공학적 특성을 비교·분석하였다.

2. 재료특성 및 시험방법

2.1 재료특성

2.1.1 준설토

준설토는 부산신항 배후부지에서 채취된 것으로 실내 물성시험을 통해 산정된 기본적인 물리적 특성은 Table 1과 같다. 초기 함수비는 30%이며, 200번 체 통과율이 81% 이상으로, 통일분류법(Unified soil classification system, USCS)으로 분류한 결과 CL로 분류되었다.

Table 1 Properties of dredged soil

Initial water content (%)	Liquid limit (%)	Plastic limit (%)	Specific gravity	Percent passing No. 200 sieve (%)	USCS
30	39.2	18.5	2.62	81.2	CL

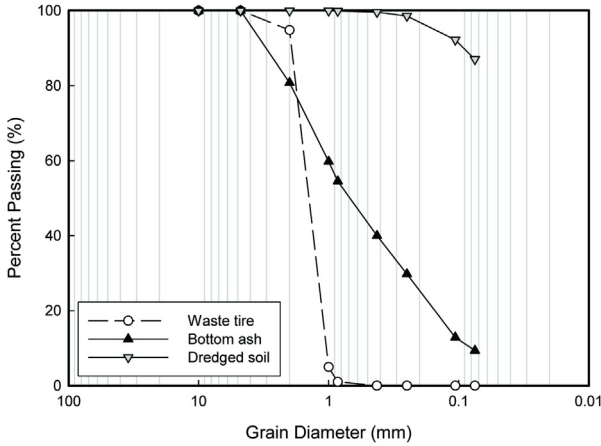


Fig. 1 The grain size distribution curves of admixtures

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
52.7	19.33	11.48	9.98	3.09	0.38	0.55	0.67	1.09

2.1.2 저회

본 연구에서 사용된 저회는 삼천포 화력발전소에서 발생한 것을 사용하였으며, 4번체를 통해 자갈크기의 입자를 배제시켜 시험결과의 일관성을 얻고자 하였다. 입도분포곡선(Fig. 1)에 나타난 저회의 입도분포는 입도불량한 모래(Poorly graded sand, SP)와 유사하게 나타났으며, 비중 시험결과 2.0으로 나타났다. Table 2는 XRF 분석 결과로부터 얻은 저회의 화학적 구성성분을 나타낸 것으로서 주요 성분은 실리카(Silica, SiO₂)로서 50% 이상을 차지한다. 실리카는 이산화규소라고도 불리며 시멘트 수화시 장기압축강도를 증가시키는 경향이 있다. 또한 실리카의 함유량에 따른 압밀시험 결과에서 실리카 함유량이 높을수록 압축지수 값이 낮아져 압축력에 대한 저항성이 증가한다는 연구 결과가 제시된 바 있다(이용희 등, 2009). 또한 저회를 재활용할 경우 저회에 포함된 화학적 구성성분에 의한 포졸란 반응으로 보강효과 뿐만 아니라 장기적인 내구성 증대에도 도움을 주는 것으로 나타났다(김운태 등, 2007; Kim et al., 2011).

2.1.3 페타이어 분말

페타이어 분말은 C사에서 제조한 페타이어 분말을 이용하였다. 페타이어의 직경은 0.9mm~5mm 사이의 크기로 상온에서 절단 및 분쇄된 타이어 조각을 동결조(Freezer, -120°C)에 투입하여 유리 온도 (T_g=-68°C) 이하에서 동결 분쇄한 것이다. Table 3은 입도분포곡선을 통해 구한 페타이어 분말의 유효입경(D₁₀), 균등계수(C_u), 곡률계수(C_c) 및 단위중량을 나타내고

Table 3 The grain size of waste tire powder

D ₁₀ (mm)	D ₃₀ (mm)	D ₆₀ (mm)	Uniformity coefficient (C _u)	Coefficient of gradation (C _c)	Unit weight (kN/m ³)
2.16	2.66	3.64	1.69	0.90	4.96

있다. 페타이어 분말의 단위중량이 낮으므로 페타이어 분말을 적절히 혼합하면 충분한 경량성을 가질 수 있다(Kim et al., 2011).

Fig. 1은 페타이어, 준설토 및 저회의 입도분포곡선을 나타내고 있다. 페타이어와 저회가 준설토에 비해 굵은 입자를 가지는 것으로 나타났다.

2.1.4 페어망

본 연구에서 사용된 페어망은 합성섬유의 일종으로 천연섬유와는 달리 순화학적으로 합성된 화학섬유이다. 어망의 재질은 Table 4와 같이 다양하게 구분할 수 있으며, 이들 중 폴리에틸렌 (Polyethylene, PE) 계열의 어망을 본 연구에서 사용하였다. 폴리에틸렌의 경우 인장강도 시험시 파단되기 전까지 인장강도가 다른 섬유에 비해 높은 편이다. 또한 비중이 0.94-0.96으로 1보다 작은 것이 특징이며 환경에 따른 인장강도의 변화가 거의 없다. 사용된 어망은 폴리에틸렌 섬유를 Fig. 2와 같이 이중겹실 방법으로 꼬은 것이다. 이중겹실 방법이란 홑실(Single yarn)을 몇 가닥 모아 꼬아서 겹실(Plied yarn)로 만든 후 한번 더 꼬아 그물실(Twine)로 만든 것을 말한다. 꼬임이 많을수록 섬유 상호간에 마찰이 발생하여 강도가 증가한다(부산수산대학 1종 도서연구개발위원회, 1983).

어망과 페어망의 기본적인 특성을 살펴보면 Table 5와 같다. 폴리에틸렌 원료의 겉보기 밀도는 물과 유사하나 이를 원료로 사용한 어망과 페어망의 겉보기 밀도는 물의 약 1/5 수준으로 물에 쉽게 부상할 수 있음을 알 수 있다. 이는 어망의 특성상 겉보기 밀도를 낮게 유지하는 것이 필요하기 때문이다. 또한 페어망의 겉보기 밀도는 어망보다 약 1~2% 정도 높지만 값의 차

Table 4 Type and property of fishing net

	PP	PA	PVA	PVD	PVC	PES	PE
Specific gravity	0.91	1.14	1.26-1.30	1.70	1.39	1.38	0.94-0.96
Elongaion percentage of staple(%)	30-60	27-63	12-26	20-40	20-25	20-50	8-35

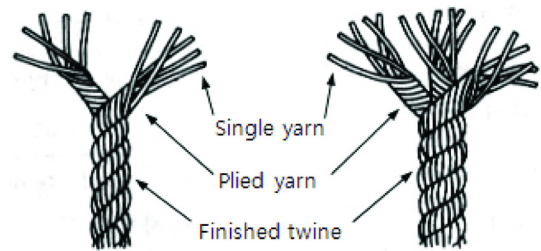


Fig. 2 shape of twine

Table 5 Apparent densities of fishing net and waste fishing net

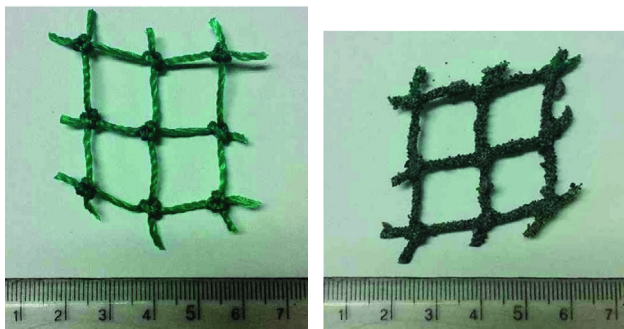
Item	Apparent density (kg/m ³)		Remark
Fishing net	PE	173.91±0.29	Apparent density of PE materials : 950kg/m ³
Waste fishing net	PE	175.07±0.48	

Table 6 Chemical analysis of fishing net and waste fishing net

	C	H	O	N	S	Cl	Total
Fishing net	84.62	15.38	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0
Waste fishing net	85.04	14.96	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0

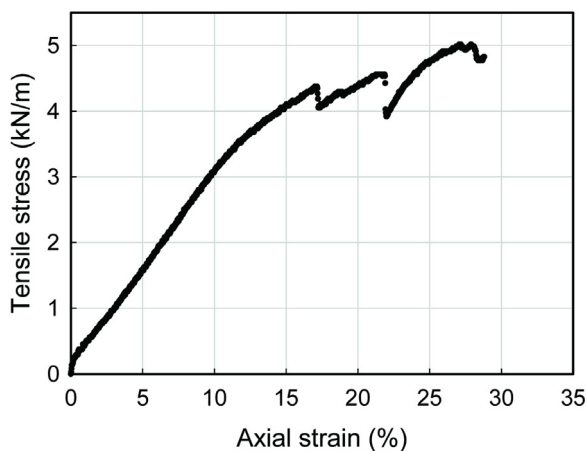
이가 미소하므로 겉보기 밀도 차이에 의한 영향은 거의 없다고 판단된다(김승도, 2003).

Table 6은 어망과 페어망에 대한 원소분석 결과로서 어망과 페어망의 성분 차이는 거의 없음을 알 수 있다. 폴리에틸렌은 탄소와 수소만으로 구성되어 있으며, 해양에 오랜 기간 침적되어 염소 성분이 있을 것이라 예상하였으나 원소분석에서는 검출되지



(a) Waste fishing net, WFN (b) Gluing treated waste fishing net, WFN(G)

Fig. 3 Waste fishing net used in this study



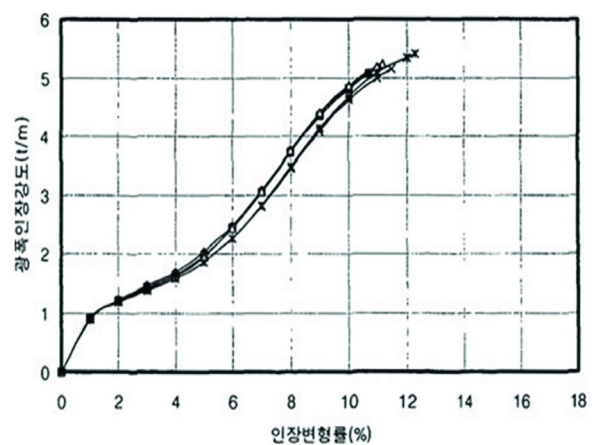
(a) Waste fishing net

않았다. 경량토의 전단강도 증진을 위해 사용된 페어망은 Fig. 3(a)와 같다. 크기는 가로 약 47mm, 세로 약 47mm로서 직경 50mm인 공시체에 맞도록 제작하였다. 페어망에 의한 보강 효과를 증가시키기 위하여 다른 페어망에는 본딩처리(Glue treatment)를 한 후 Bottom ash를 도포하여 역물림(Interlocking)이 강화되도록 하였다(Fig. 3(b)). 본 연구의 본딩처리 방법은 분사형 본드 스프레이를 페어망에 분사한 후 저회를 도포하는 것이다.

보강재로서 페어망의 적합성을 파악하기 위해 페어망에 대하여 인장시험을 실시하였다. 인장강도시험은 UH-F100A(SHIM-ADZU) 만능인장시험기를 사용하였으며 페어망의 인장과괴 거동은 Fig. 4(a)와 같다. 응력-변형 거동은 지오그리드와 유사하나 페어망의 변형률이 지오그리드에 비해 높게 나타났다. 페어망은 변형률이 약 27%일 때 최종적으로 파단되었는데 이는 폴리에틸렌 섬유의 일반적인 파단시 신장률인 20% 보다 조금 높은 수치이다(부산수산대학 1종 도서연구개발위원회, 1983). 이는 페어망 섬유 자체의 신장률 뿐만 아니라 페어망의 매듭 부분이 조여짐으로 인해 증가된 것으로 판단된다. 인장강도의 경우 지오그리드에 비해 낮은 수준이었으나 보강재로서의 기능은 충분히 발휘할 것으로 판단된다. 페어망의 응력-변형 곡선에서 강도가 일시적으로 하락한 부분은 페어망의 홀실이 끊어지면서 발생한 것으로 페어망의 손상 정도에 따라 홀실의 최초 파단 발생이 약간 차이났으나 그 값의 차이는 크지 않았다.

2.2 공시체 제작 및 시험방법

토목섬유를 이용하여 지반보강시 토목섬유를 층으로 포설하는 방법과 섬유자체를 흙과 랜덤하게 혼합하는 방법(조삼덕과 김진만, 1994)이 있다. 페어망을 보강재로 이용한 기존의 연구는 페어망을 랜덤하게 혼합하여 보강하는 방법(김홍주, 2007)만 실시되었다. 본 연구에서는 페어망을 공시체에 층으로 포설하여 페어망 보강에 따른 경량토의 일축압축강도 특성을 파악하였다. 이를 위해 무보강 경량토(Case 1), 페어망을 보강한 보강경량토(Case 2) 및 본딩처리된 페어망을 보강한 보강경량토(Case 3)를 Table 7과 같이 각각 제작하였다. 페어망을 제외한 다른 재료에 대해서는 일정한 배합비로 고정하여 페어망의 보강 유무 및 본딩처리 유



(b) Geogrid(조삼덕 등, 1999)

Fig. 4 Tensile strength of reinforcement materials

Table 7 Case of specimens

Type	Mixing ratio	Glue treatment
Case 1 Unreinforced lightweight soil	w=52%, Ci=5% W _{BA} :W _{DS} :W _{CR} = 0.5:1:0.5	NO
Case 2 Reinforced lightweight soil without glue treatment		NO
Case 3 Reinforced lightweight soil with glue treatment		YES

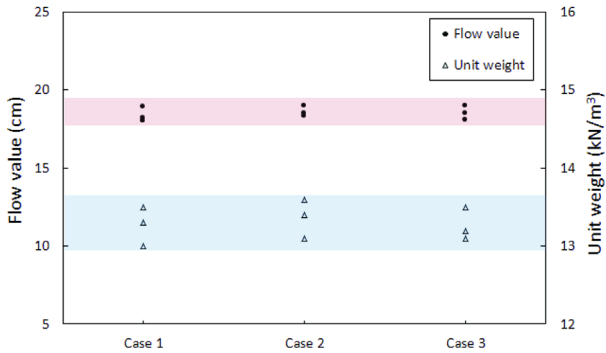


Fig. 5 Flow value and Unit weight of Lightweight soil

무에 따른 경량토의 강도특성을 비교·분석하고자 하였다. 초기함수비는 52%, 시멘트 함량은 5%, 저회 무게 : 준설토 무게 : 페타이어 분말 무게 비는 0.5 : 1 : 0.5로 하여 흐름값이 허용범위 내에 들어올 수 있도록 제작하였다. 여기서 초기함수비의 값은 충분한 유동성을 가지기 위해 함수비를 다양하게 조정하여 산정한 결과이다. 제작된 공시체의 크기는 직경 50mm, 높이 100mm이며, 균등하게 혼합하여 7일 및 28일간 대기 양생하였다.

3. 시험결과 및 분석

3.1 흐름값 및 단위중량 특성

페어망 보강 경량토의 유동성 및 경량성을 알아보기 위해 흐름값 및 단위중량을 측정하였다. 유동성 시험은 JHS A 313의

유동성 시험(Flow test) 규격을 따라 수행하였으며, 경량토를 현장 타설할 때 요구되는 흐름값(Flow value)의 최적범위는 20±5cm이다(Japan Highway Public Corporation, 1992). 시험시 배합비의 적정성을 판단하기 위해 Table 7과 같은 배합비로 각 Case 별 공시체를 각각 3개씩 제작하여 흐름값 및 단위중량을 측정하였다. Fig. 6는 페타이어 혼합경량토의 흐름값 및 단위중량을 측정된 결과이다. 흐름값은 18~19cm 범위로서 평균 18.3cm가 나왔으며, 단위중량은 13.0~13.6kN/m³ 범위에 있으며 평균 13.3kN/m³로 나타났다.

3.2 응력-변형곡선

페어망 보강 경량토의 보강에 따른 압축강도 특성 및 응력-변형거동 특성을 파악하기 위해 일축압축강도시험(KSF2314)을 수행하였다. 일축압축강도시험은 변형률 제어가 가능한 시험기를 사용하였으며, 시험시 축변형률은 1%/min으로 제어하였다.

Fig. 6은 양생기간에 따른 무보강 및 페어망 보강 경량토의 응력-변형곡선을 나타내고 있다. 양생기간에 따른 강도증가율을 살펴보면 무보강의 경우(Case 1) 7일에서 28일로 양생기간이 증가함에 따라 약 1.6배의 증가율을 보였으며, 페어망을 보강한 경우(Case 2) 약 1.5배의 증가율을 보였다. 또한 페어망에 본딩처리를 한 보강경량토의 경우(Case 3) 강도 증진은 약 2배의 증가율을 나타내었다. Tsuchida et al.(2004)은 혼합토의 양생일이 7일에서 28일로 증가함에 따라 최대강도는 1.5~2배 정도의 강도 증가가 나타난다고 제시한 바 있다. 최대 일축압축강도에 대응하는 축변형률은, 무보강과 페어망 보강에 관련없이, 평균적으로 7일 양생일 때 4.4%, 28일 양생일 때 2.8%로서 양생일이 증가할수록 최대 일축압축강도에 대응하는 파괴시 축변형률은 감소하였다. 파괴시 축변형률에 대한 페어망의 영향은 거의 없는 것으로 판단되었다.

3.3 압축강도 특성

Fig. 7은 무보강 경량토(Case 1), 무처리된 페어망을 보강한 경량토(Case 2) 및 본딩처리된 페어망을 보강한 경량토(Case 3)의 파괴시 강도와 잔류강도를 나타내고 있다. Fig. 7(a)와 같이 양생 7일의 경우에는 페어망 보강 및 본딩처리 유무에 상관없

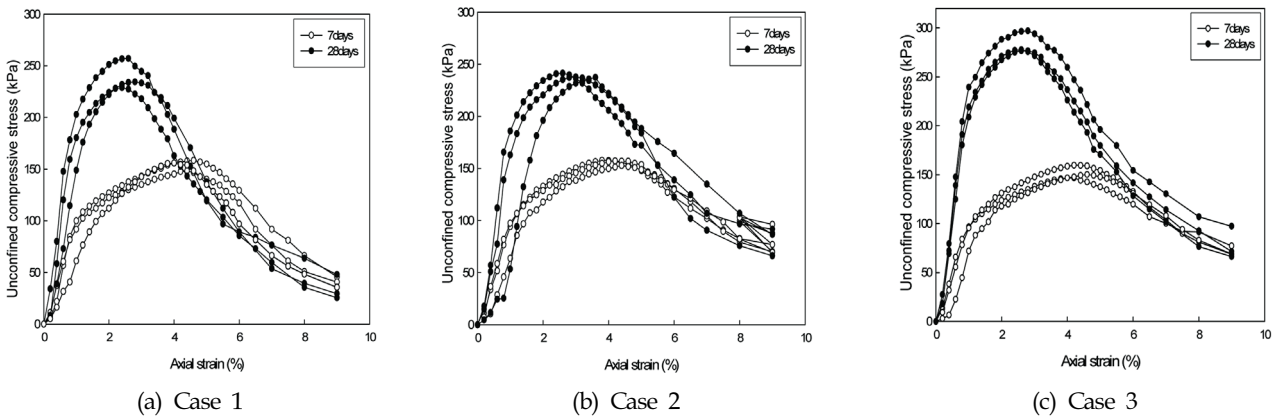
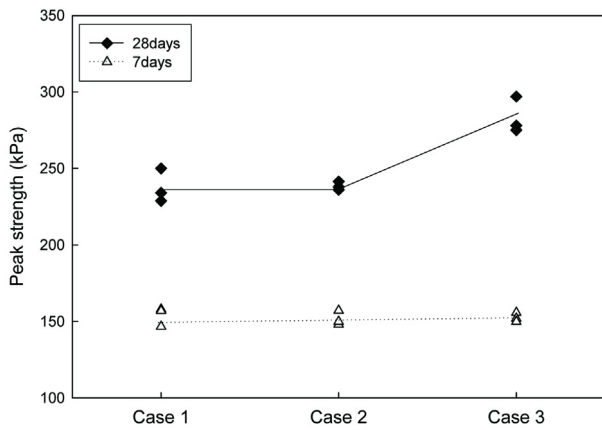
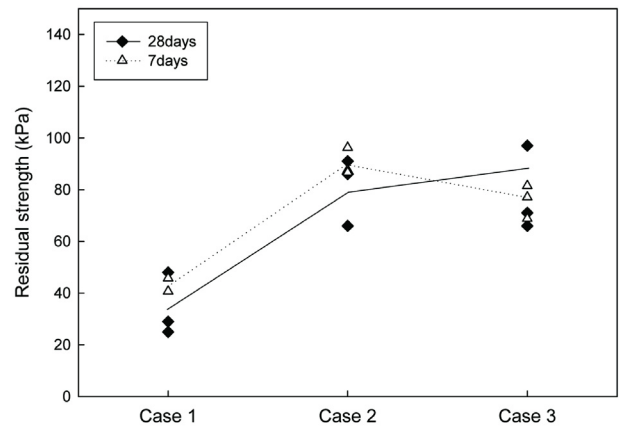


Fig. 6 Stress-strain curves with respect to curing time



(a) Peak strength



(b) Residual strength

Fig. 7 Peak or Residual strength

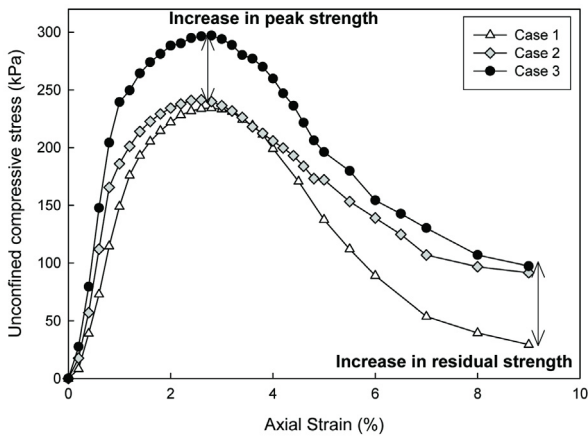


Fig. 8 Comparison of strain-stress curves

이 최대강도는 비슷하게 나타났다. 그러나 양생 28일의 경우에는 본딩효과를 준 폐어망을 보강한 경우(Case 3)가 뚜렷한 강도증진을 나타내었다. 잔류강도의 경우 양생기간 및 폐어망의 본딩유무에 상관없이 폐어망을 보강한 경우(Case 2와 3)가 보강하지 않은 경우(Case 1)보다 잔류강도가 증진되었음을 알 수 있다.

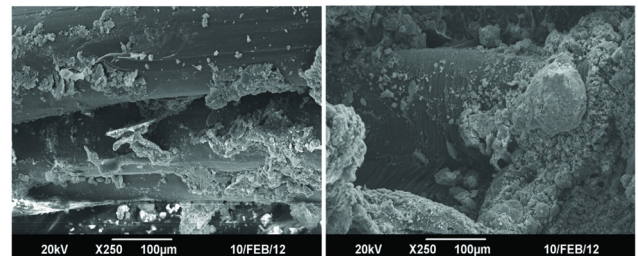
무처리된 폐어망 보강시 최대강도 증가는 없으나 잔류강도의 증가는 발생하였다. 이는 폐어망을 보강함으로써 보강경량토의 취성적인 파괴 특성을 연성적인 파괴거동으로 개선하는 효과가 있다고 판단된다. Fig. 8은 무보강 경량토(Case 1), 무처리된 폐어망을 보강한 경량토(Case 2) 및 본딩처리된 폐어망을 보강한 경량토(Case 3)의 응력-변형 거동을 나타낸다. 파괴 후 거동을 보면 무보강 경량토(Case 1)는 강도가 급격히 하락하는 취성적인 거동 특성을 보이나, 폐어망 보강 경량토(Case 2와 3)는 파괴 이후 거동이 무보강 경량토에 비해 보다 연성적인 거동이 가짐을 알 수 있다.

Fig. 9는 일축압축시험 후 수거된 폐어망의 주사전자현미경(Scanning electronic microscope, SEM) 분석결과를 나타낸다. Fig. 9(a)는 무처리된 폐어망의 250배 확대 사진이며, Fig. 9(b), 9(c)는 본딩처리를 한 폐어망의 250배 및 500배 확대 사진이다. Fig. 9(a)

의 경우 폐어망의 표면이 매끈하고 입자가 많이 떨어져 나간 반면, Fig. 9(b)와 Fig. 9(c)의 경우 표면이 거칠며 입자들이 대부분 붙어 있는 것을 알 수 있다. 본딩처리를 한 폐어망의 경우 흙 입자와 폐어망 사이의 본딩효과로 인해 폐어망 표면의 부착력이 커짐에 따라 결속력과 역물림(Interlocking)이 높아져 강도 증진이 나타난 것으로 보인다.

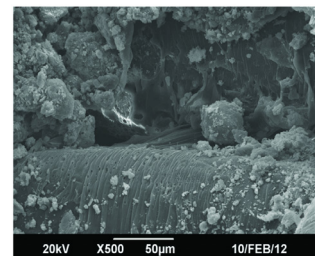
3.4 활성탄성계수(E50)와 일축압축강도(qu) 관계

Fig. 10은 폐어망을 보강한 폐타이어 혼합경량토의 일축압축강도와 활성탄성계수와의 관계를 나타낸다. 폐어망을 보강한 폐타이어 혼합경량토의 활성탄성계수는 압축강도의 43~84배 정



(a) ×250 (Untreated waste fishing net)

(b) ×250 (Gluing treated waste fishing net)



(c) ×500 (Gluing treated waste fishing net)

Fig. 9 Scanning electroscope of waste fishing net after unconfined compressive test

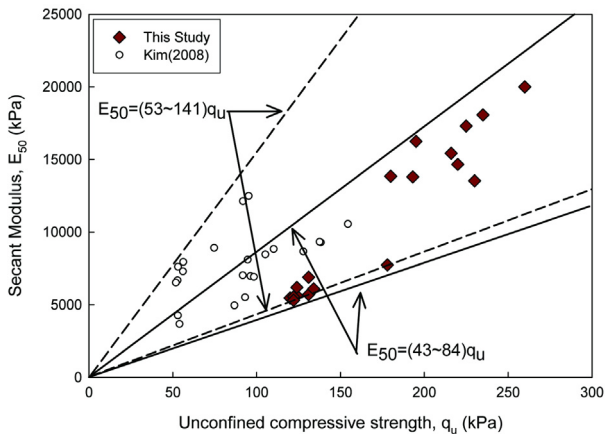


Fig. 10 The relationship between secant modulus and unconfined compressive strength

도의 범위를 나타냈다. Tang et al.(1996)은 기포를 혼합한 경량 혼합토의 활산탄성계수는 압축강도의 40~260배이라는 일반적인 범위를 제시하였고, 김홍주(2007)는 기포 혼합경량토에 페어망을 랜덤으로 혼합하여 보강한 경우 압축강도의 53~141배 정도이라는 것을 실험으로부터 구하였다. 본 연구에서 제시한 활산탄성계수와 일축압축강도와의 범위는 김홍주(2007)의 결과와 유사한 범위를 가진다. 이것으로부터 페어망을 랜덤으로 분포하여 보강하는 것 뿐만 아니라 층으로 보강하여도 강성도 특성에는 큰 차이를 보이지 않는다는 것을 알 수 있다.

4. 결 론

본 논문에서는 산업폐기물로 분류되는 페타이어, 저회, 준설토를 재활용하여 적절한 유동성, 단위중량 및 강도를 가지는 혼합경량토에 해양쓰레기 문제로 대두되고 있는 페어망을 보강재로 포설하여 강도 증진효과를 보고자 하였다. 또한 페어망에 본딩처리(Glue treatment)를 하여 흙입자와 페어망 사이의 결속력과 역물림(Interlocking)을 증진시켜 경량토의 강도를 개선시키고자 하였다. 또한 유동성 시험, 일축압축시험, SEM 시험을 실시하여 페어망 보강 유무, 본딩처리 유무에 따른 페어망 보강 및 무보강 경량토의 역학적 특성을 파악하였다.

(1) 무보강 및 페어망을 보강한 경량토의 양생기간에 따른 강도 증가는 7일에서 28일로 증가됨에 따라 1.5~2배의 증가율을 보였으며 파괴시 축변형률은 평균 4.4%에서 2.8%로 감소하였다.

(2) 무보강 및 페어망 보강에 따른 경량토의 일축압축시험결과, 최대강도는 본딩처리를 한 페어망 보강 경량토의 경우 뚜렷한 강도 증진이 나타났다. 페어망 보강 경량토의 잔류강도는 약 80kPa 정도이며, 무보강 경량토는 50kPa 미만으로 나타났다. 페어망을 보강함으로써 잔류강도가 증가하여 연성적인 거동특성을 보임을 알 수 있다. SEM 분석 결과 무처리된 페어망은 표면이 매끈하며 대부분의 입자들이 떨어져 나가 있었으나, 본딩처리를 한 페어망의 경우 흙 입자와 페어망 사이의 본딩효과로 인해 페어망 표면의 부착력이 커짐에 따라 결속력과 역물림(Interloc-

king)이 증가한다는 것을 알 수 있다.

(4) 페어망을 보강한 페타이어 혼합경량토의 활산탄성계수는 압축강도의 43~84배 정도의 범위를 나타내었다. 김홍주(2007)가 연구한 페어망을 랜덤으로 분포하여 보강한 경량토의 범위인 53~141배의 범위와 유사하다. 이를 통해 페어망을 층으로 보강할 경우에도 보강효과가 나타난다는 것을 알 수 있다.

후 기

이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(2011-0007023)의 성과이며, 이에 깊은 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

- 강효섭 (2010). "산업부산물을 재활용한 페타이어 혼합경량토의 공학적 특성에 관한 연구", 석사학위논문, 부경대학교 대학원, pp 13-87.
- 김운태, 한우종, 정두희 (2007). "준설토와 Bottom Ash 재활용을 위한 복합지반재료 개발", 한국지반공학회논문집, 제23권, 제11호, pp 77-85.
- 김승도 (2003). 저온 열분해를 이용한 페어망의 재활용 기술개발 사업, 한국해양수산기술진흥원, pp 25-35.
- 김홍주 (2007). "페어망과 토목섬유를 이용한 보강 경량토의 역학적 특성 연구", 석사학위논문, 부경대학교 대학원, pp 10-73.
- 동해지방해양안전심판원 (2008). "2008년 해양사고 분석보고서", 국토해양부 중앙해양안전심판원, pp 3-33.
- 부산수산대학 1중도서연구개발위원회(1983). "어업", 수산·해양계 고등학교, pp 52-70.
- 이용희, 김종열, 강진태 (2009). "실리카 함유량에 따른 연약지반의 물리적-역학적 특성 연구, Korean Geo-Environmental Conference 2009, pp 325-329.
- 조삼덕, 김진만 (1994). "섬유혼합 보강토 연구", 한국건설기술연구원, pp 1-5.
- 조삼덕, 김진만, 안주환, 오세용, 전한용, 김정효, 정진희, 김소영, 최윤희, 삼양사 섬유본부(1999). "지오그리드 보강재의 공학적 특성 및 현장 적용성 평가:삼양그리드(최종결과 요약), 한국건설기술연구원.
- 최동현, 홍성욱 (2001). 해양환경보고정책 집행의 실효성 제고방안 ; 페어망·페로프 관리를 중심으로, 한국해양수산개발원, pp. 11-20.
- Kim, Y.T., Lee, C. and Park, H.I. (2011). Experimental Study on Engineering Characteristics of Composite Geomaterial for Recycling Dredged Soil and Bottom Ash, Marine Georesources & Geotechnology, Vol 29, No 1, pp 1-15.
- Japan Highway Public Corporation (1992). "Mortar Flow Test", Japan highway Public Corporation Test Method, JHS A313- 1992.
- Tsuhida, T. and Egashira, K. (2004). "The Lightweight Treated Soil Method", New Geomaterials for Soft Ground Engine-

ring in Coastal Areas, A.A. Balkema Publisher, London. pp 13-43.

Tang, Y.X., Tsuchida, T., Shirai, A., Ogata, H. and Shiozaki, K. (1996). "Traixial Compression Characteristics of Super Geomaterial Cured Underwater", Proceedings of 31st Conferences on Geotechnical Engineering, pp 2493-2494.

2012년 3월 16일 원고 접수

2012년 5월 7일 심사 완료

2012년 6월 21일 게재 확정