Original Research Article

Journal of Ocean Engineering and Technology 29(1), 85-91 February, 2015 http://dx.doi.org/10.5574/KSOE.2015.29.1.078

하용수^{*} · 김윤태^{*}

Bearing Characteristics of Waste Fishing Net – Reinforced Sand With Different Embedded Depths

Yong-Soo Ha* and Yun-Tae Kim*

^{*}Dept. of Ocean Engineering, Pukyong National Univ., Busan, Korea

KEY WORDS: CBR test 노상토 지지력 시험, Bearing Capacity Ratio 지지력 비, Reinforcement 보강재, Waste Fishing Net 폐어망, Recycling 재활용

ABSTRACT: Geosynthetics such as geogrids or geotextiles have been widely used to improve the bearing capacity of soft ground. This study investigated the California bearing ratio (CBR) of waste fishing net (WFN)-reinforced sand. CBR tests were carried out to evaluate the improvement in the bearing capacity of WFN-reinforced sand with different embedded depths. The experimental results indicated that the CBR increased as the embedded depth of the WFN decreased. The bearing capacity ratio (BCR) is the ratio of the bearing capacity of reinforced ground to that of unreinforced ground. The BCR at the penetration depths of 2.5 mm, 5 mm, and the peak point decreased with an increase in the embedded depth.

1. 서 론

우리나라의 연안해역은 육상에서 발생한 쓰레기와 해상에서 버린 폐기물 등으로 인해 심각한 오염문제를 가지고 있는 실정 이다. 해양 폐기물 중 특히 어민들이 어로 중에 고의 또는 실수 로 버리는 각종 어구 중에서 폐어망은 열가소성 고분자 물질이 고, 염분이 함유되어 있어서 매립을 하는 데에도 어려움이 있 다. 또한 폐어망이 연안해역에서 분해되지 않고 조류나 해류에 의해 연안으로 오거나 원형 그대로 침적, 부유하게 된다면 해양 생태계에도 악영향을 미칠 뿐만 아니라 선박의 프로펠러에 감 기는 등 선박의 안전항해를 방해한다. 해양환경을 개선하고 선 박의 안전운항의 위해요소를 제거할 목적으로 연안 해역의 폐 어망을 인양하는 작업을 실시하였으나, 수거된 폐어망을 마땅 하게 처리하는 방안이 없는 실정이다. 따라서 이와 같은 문제를 해결하기 위해 흙의 강도를 개선하는 지반보강재로 폐어망을 재활용하기 위한 연구가 진행되어졌다.

Kim and Kim(2006), Kim et al.(2007), Kim and Kang(2008), Yun and Kim(2012), Kwon and Kim(2013a), Kwon and Kim(2013b)은 폐어망을 보강토 구조물의 보강재로 재활용하기 위해 직접전단시험, 인발시험, 삼축압축시험 등을 수행하여 저 회와 폐어망, 경량토와 폐어망 사이의 마찰특성 등을 분석하였 다. 저회는 화력발전소에서 에너지 생산 시 발생하는 석탄회 중 하나로 천연 골재의 부족 현상을 해결하기 위해 사용되었으며, 기존 연구결과에 의하면 폐어망 보강 저회의 마찰 및 전단특성 은 폐어망의 보강층수에 의존하며, 폐어망 보강은 전단강도 및 내부마찰각 증가에 긍정적인 영향을 미친다(Kwon, 2014). 그러 나 현재까지 진행된 연구들은 마찰 및 전단 특성에 국한된 것 으로 연약지반의 지지력 개선에 미치는 영향에 대해서는 연구 가 진행되어 있지 않은 실정이다. 따라서 본 연구에서는 지반의 지지력을 판단하기 위해 노상 및 보조기층의 다짐관리 판정기 준인 CBR(California bearing ratio) 시험을 실시하고, CBR 수치 를 통해 폐어망 보강 지반의 지지력 특성을 파악하고자 하였다. 지반에서 보강재의 보강유무에 따른 지지력 보강효과를 정량 적으로 판단하기 위해 지지력 비(Bearing capacity ratio, BCR) 를 이용하며, 지지력 비는 식 (1)과 같이 보강 지반의 지지력 (q_(R))을 무보강 지반의 지지력(q)을 나눠준 값으로 구할 수 있

Received 6 September 2014, revised 18 December 2014, accepted 9 February 2015 Corresponding author Yun-Tae Kim: +82-51-629-6587, yuntkim@pknu.ac.kr

^{© 2015,} The Korean Society of Ocean Engineers

다. 비슷한 방법으로 극한상태의 지지력 비(Bearing capacity ratio at ultimate, BCR_u)는 식 (2)와 같이 보강 지반의 극한지지 력(q_{u(R)})과 무보강 지반의 극한지지력(q_u)의 비로 구할 수 있다. 일반적으로 극한상태의 지지력 비가 클수록 지반의 극한강도 또는 잔류강도 측면에서 보강효과가 크다는 것을 의미한다. Yoo and Shin(1994), Shin et al.(1999), Kim and Kang(2009)은 모형실험을 수행할 경우 생기는 크기효과(Size effect)로 인한 오차를 줄이기 위하여 수치해석을 통하여 지오그리드를 보강한 지반의 지지력을 분석하여 최적 포설깊이를 얻고자 하였다. 최 적 포설깊이와 최대 보강비는 연구자에 따라 차이가 있으나 보 강재의 포설 깊이가 깊어짐에 따라 관입에 의한 영향 영역을 벗어나기 때문에 극한 상태의 지지력 비가 작아지는 것을 볼 수 있다(Fig. 1).

$$BCR = \frac{q_{(R)}}{a} \tag{1}$$

$$BCR_{u} = \frac{q_{u(R)}}{q_{u}} \tag{2}$$

본 연구에서는 극한 영역에서의 지지력 비가 아니라 CBR을 측정하는 2.5mm, 5mm 관입 지점 그리고 첨두(Peak) 상태에서 의 지지력을 측정하여 지지력 비를 분석하였다. 이는 파괴 이후 의 거동을 나타내는 극한상태의 지지력 비는 실제 CBR을 측정 하는 지점 그리고 최대지지력이 발생하는 지점에서의 지지력 비 보다 현저히 낮은 값을 보여 그 값을 비교하기 쉽지가 않을 뿐만 아니라, 파괴 이후에 얻게 되는 강도개선 효과 보다 파괴 이전의 강도개선 효과가 실제 지반의 안정성에 더 큰 영향을 미치기 때문이다. 따라서 본 연구에서는 파괴 이전의 강도개선 효과를 통해 폐어망 보장 지반의 지지력 거동을 분석하고자 하 였고 극한상태에서의 지지력 비에 대해서는 분석하지 않았다.



Fig. 1 $\ensuremath{\mathsf{BCR}}\xspace_u$ with different embedded depths of reinforcement

2. 노상토 지지력 시험 (California Bearing Ratio test, CBR test)

2.1 시험 재료

2.1.1 모래

본 연구에서 사용된 모래는 일반적인 성토재로 사용되는 모래 로 일관된 실험결과를 얻기 위해 No.4 체(Mesh size : 4.75mm)에 통과시켜 자갈크기의 입자를 배제하여 사용하였다. Table 1은 입 도분포시험, 표준다짐시험을 통해 구한 모래의 물리적 특성을 나 타내고 있다. 실험에 사용된 모래의 균등계수는 1.81, 곡률계수 0.89로 입도가 불량한 모래(Poorly graded sand, SP)의 특성을 가 지고 있다. Fig. 2는 모래의 입도분포곡선을 나타낸다. 입도분포 곡선을 통해 구한 유효입경(D₁₀)은 0.26mm이다.

2.1.2 보강재

토목용 보강재는 지반 속에서 흙 구조물의 안정성을 증진시 키는 것으로 지반 내 토체의 결합을 유도하여 강도를 향상시키 는 역할을 수행한다. Fig. 3은 하중 재하 시 발생하는 전단과괴 면과 지반 보강재의 마찰 및 지지력 특성을 나타낸 것으로, 각 각의 활동에 따라 크게 3 종류의 마찰 및 지지력 특성을 나타낸 다. A 부분의 마찰특성은 흙과 보강재가 맞물린 경계면에서 유 발되는 마찰특성으로 흙-보강재 경계면 전단시험을 통해 구할 수 있다. B 부분은 인발에 의한 마찰특성으로 인발시험을 통해 구할 수 있다. C 부분의 마찰특성은 전단파괴면에 대해 경사진 보강재에 대한 전단시험의 마찰방식과 유사하다(Kwon, 2014).

Table 1 Physical properties of sand

Mechanical analysis of soil	D ₁₀ [mm]	0.26
	D ₃₀ [mm]	0.33
	D ₆₀ [mm]	0.47
	Uniformity coefficient [Cu]	1.81
	Coefficient of gradation [C _c]	0.89
Compaction test	Optimum moisture content [ω_{opt}]	13.10 %
	Maximum dry unit weight $[\gamma_{\text{dmax}}]$	16.0 kN/m ₃



Fig. 2 Particle-size distribution curves of sand



Fig. 3 Friction and bearing mechanism in shear zones observed during model tests on sand

Fig. 3과 같이 하중이 작용할 경우 발휘되는 지지력 특성은 A, B, C 각 부분에서 흙과 보강재의 마찰로 인해 발생하는 인발,

전단과 같은 저항력의 결과라고 할 수 있다.

Fig. 4는 상부 하중 작용 시 폐어망 보강 지반의 지지력 보강 메카니즘을 나타낸다. 하중 작용 전에는 Fig. 4(a)와 같이 모래 에 폐어망을 보강한 형태로 구성되어 있다. 이것은 폐어망을 재 활용할 뿐만 아니라 지반 자체의 전단, 인장 및 활동파괴에 대 한 취약점을 개선시키고 지반의 지지력을 증강시키기 위하여 폐어망을 포설한 형태이다. 상부의 하중 작용 시 폐어망이 보강 되지 않은 지반은 Fig. 4(b)와 같이 외부 하중에 의해 큰 침하가 발생하고, 폐어망이 보강된 지반의 경우 Fig. 4(c)와 같이 양옆 으로 발생하는 인장력과 모래 입자와 폐어망 표면 사이의 마찰 (Friction)과 억물림(Interlocking)이 작용하여 침하를 감소시키 고 지지력을 증가시킨다.

Kim and Kim(2006), Kim et al.(2007), Kim and Kang(2008), Kwon and Kim(2013a), Kwon and Kim(2013b)은 폐어망의 마 찰특성을 평가하였고, 섬유감별시험 및 광폭인장시험을 통해 폐어망 및 지오그리드의 물리적 특성을 조사하였다. 실험에 사 용된 폐어망과 지오그리드의 특성은 Table 2와 같으며 폐어망 의 최대 인장강도는 56.8kN/m, 지오그리드의 최대 인장강도는



(a) Before loading

Fig. 4 Bearing mechanism of sand ground



(b) Loading at unreinforced sand

(c) Loading at reinforced sand



(a) WFN



Reinforcement	WFN	Geogrid
Туре	PET	PET + PVC Coating
Thick [mm]	2	1
Mesh-size	$20 \text{ mm} \times 20 \text{ mm}$	$20 \text{ mm} \times 20 \text{ mm}$
Peak tensile strength [kN/m]	56.8	69.2
Tensile strain at failure [%]	10	10.1

Table 2 Physical properties of reinforcement

PET : Polyester, PVC : Polyvinyl chloride



Fig. 6 Specimen for CBR test

69.2kN/m이다. 폐어망과 지오그리드는 Fig. 5에 나타내었으며, 폐어망과 지로그리드의 망목의 크기(mesh size)는 각각 20mm× 20mm, 두께는 각각 2mm, 1mm이다.

2.2 시험 장치 및 방법

```
폐어망의 보강 깊이(H)에 따른 모래지반의 지지력 특성을 파
```

Table 3 Details of CBR test with different types of reinforcement

악하기 위해 Fig. 6에 나타난 형식으로 폐어망을 보강하여 CBR 시험을 수행하였다. CBR 시험은 노상토 지지력 시험이라고도 하며, 관입봉이 2.5mm, 5mm 관입하였을 때 관측된 하중강도를 각각의 표준하중강도로 나눠준 값 중에서 큰 값을 사용하여 지 지력의 크기를 나타내는 것이다. CBR 몰드는 높이 175mm, 직 경 150mm인 원주형이다. 몰드에 모래를 표준다짐시험방법 중 의 하나인 A 다짐방법(랩머 무게 : 2.5kg, 낙하 높이 : 30cm, 다 짐 횟수 : 25회, 3층)으로 다짐을 진행하여 조성하였으며, 이를 통해 조성된 모래의 상대밀도(D,)는 80%이다. 상대밀도는 흙 시 료의 최대건조단위중량, 최소건조단위중량과 조성된 시료의 건 조단위중량의 비로 구할 수 있으며 식 (3)과 같다. CBR 시험 시 50mm의 재하 폭(B)을 가진 관입봉을 1mm/min의 속도로 일정 하게 관입하여 관입 깊이에 따라 발생하는 하중강도를 관측하 였다.

$$D_r = \left[\frac{\gamma_d - \gamma_{d(\min)}}{\gamma_{d(\max)} - \gamma_{d(\min)}}\right] \left[\frac{\gamma_{d(\max)}}{\gamma_d}\right]$$
(3)

본 연구에서는 폐어망을 10mm, 20mm, 30mm 깊이에 각각 보강한 후 CBR 시험을 실시하여 최적의 포설깊이를 알아보고 자 하였다. 또한 10mm와 20mm에 2층으로 보강한 후 CBR 시 험을 실시하여 2층 보강의 효과를 판단하고자 하였다. 폐어망 보강 효과를 비교하기 위해 무보강 지반과 지오그리드 보강 지 반(보강 깊이는 10mm, 20mm)에 대하여 각각 CBR 시험을 수 행하였다. CBR 시험의 개요는 Table 3과 같다.

3. 시험 결과 분석 및 토론

Fig. 7은 폐어망과 지오그리드 보강에 따른 CBR 시험 결과를 각각 나타낸다. 무보강 모래지반의 경우 관입이 진행됨에 따라 하중이 서서히 증가하는 것을 확인할 수 있다. 이 지반에 지오 그리드나 폐어망을 보강하게 되면 보강효과가 확실히 나타나게 된다. 지오그리드와 폐어망 보강 지반에서 보강 깊이가 깊어질 수록 보강재의 보강효과가 감소하는 것을 알 수 있다. 이는 Fig. 3에서 알 수 있듯이, 보강 깊이가 깊어질수록 보강재가 지반과 의 마찰력이 상대적으로 적게 발생하여 관입에 저항하지 못한 다는 것을 의미한다. 특히 30mm 깊이에 보강 할 경우, 초기 지

Specimen type	Embedded depth [mm]	Soil	γ_{dmax} [kN/m ³]	Υ _{dmin} [kN/m ³]	γ_d [kN/m ³]	D _r [%]
Unreinforced	-					
Geogrid	10					
	20					
WFN	10	Sand	16.0	13.75	15.5	80
	20					
	30					
	10,20					



Fig 7. Load-penetration depth curves with different type of reinforcement and depths



(a) Load-penetration depth curves with different types of reinforcement



(b) Pullout force versus pullout displacement curves for waste fishing net and geogrid(Kwon and Kim, 2013)

Fig. 8 Comparison of behaviors of WFN- and Geogrid-reinforced soils

지력이 무보강 지반의 지지력과 유사한 값을 가진다. 이것은 초 기 관입 시(2mm 이전) 30mm 깊이에 포설되어 있는 보강재에 충분한 저항력이 발휘되지 않아 관입에 저항하지 못했다는 것 을 의미한다.

Fig. 8은 지오그리드와 폐어망을 보강한 지반의 지지력 거동 을 비교한 그림이다. Fig. 8 (a)는 지오그리드와 폐어망을 보강 한 지반의 지지력을 나타낸 그래프이다. 지오그리드를 보강한 지반의 지지력의 경우 초기에는 높은 기울기를 가지고 증가하 지만 관입이 진행됨에 따라 그 기울기가 감소하고 특정 값에 수렴하는 형태를 보인다. 그러나 폐어망을 보강한 지반의 지지 력의 경우 지오그리드 보강 지반에 비해 초기에는 낮은 지지력 값을 보이나 꾸준히 지지력이 증가하여 12mm 관입 지점에는 비슷한 지지력 값을 가진다. 이와 같은 지오그리드와 폐어망을 보강한 지반의 거동은 Fig. 8 (b)와 같이 인발시험결과와 비슷하 다. 지오그리드는 인발시험 초기에 폐어망보다 더 큰 인발 저항 력을 가지지만, 폐어망 보강 지반의 최대 인발저항력이 지오그 리드보다 더 큰 것을 알 수 있다(Kim and Kwon, 2013). 일반적 으로 인발저항력은 보강재의 강성도, 인장강도, 두께 등에 의존 한다. 특히 보강재의 두께가 증가할수록 지반과 보강재 사이의 마찰과 억물림 현상이 증가되고, 수동저항력이 증가된다(Kwon, 2014). 폐어망의 두께(2mm)가 지오그리드의 두께(1mm)보다 크 기 때문에 강성도와 인장강도는 작음에도 불구하고, 관입깊이 가 증가함에 따라 수동저항력이 크게 발휘되어 12mm 관입 상 태에서 비슷한 지지력 값을 가진다고 판단된다. 그러나 CBR 시 험 결과는 몰드의 구속효과, 크기효과(기초 폭 대 보강재 너비 등) 등에 의해 현장적용 결과와 차이가 날 수 있기 때문에 추후 현장 실험을 통한 추가적인 분석이 필요하다.

Table 4와 Fig. 9는 폐어망의 보강 깊이에 따른 CBR을 나타 낸다. 폐어망의 보강 깊이가 10mm일 때(*H/B*=0.2) 가장 큰 보강 효과를 가지며, 보강 깊이가 깊어질수록 CBR이 감소하여 보강 효과가 작아지는 것을 알 수 있다. 또한 10mm 지점과 20mm 지점을 2층으로 보강할 경우 10mm 지점만을 보강한 지반보다 더 큰 CBR을 가지게 되는데, 이는 한 지점이 아닌 두 지점에서 관입에 의한 마찰과 저항이 발생하여 더 큰 값을 가진 것으로

Table 4 CBR with different embedded depths of reinforcement

H/B(depths, mm)	0.2(10)	0.4(20)	0.6(30)	0.2.0.4(10.20)
	28.81	24.20		
Geogrid	28.93	17.26	-	-
	-	18.68		
	16.38	20.66	12.88	23.02
WFN	22.65	21.12	10.47	24.09
	22.36	-	-	-



Fig. 9 CBR with different embedded depths of reinforcement



Fig. 10 Bearing ratio with different embedded depths of reinforcement

판단된다.

Fig. 10는 지반 보강의 효과를 상대적으로 확인하기 위해 보 강 지반의 CBR을 무보강 지반의 CBR로 나눈 값으로서 폐어망 을 보강하게 되면 지지력이 2.11배에서 4.88배까지 증가하는 것 을 나타낸다. 또한 10mm에 폐어망을 보강한 지반과 20mm에





어망을 보강한 지반의 CBR은 서로 비슷하게 나오나 30mm에 폐어망을 보강한 지반의 CBR은 다른 보강 깊이에 비해 급격히 작아지는 것을 확인할 수 있다.

(c) BCR at peak state

Fig. 11은 2.5mm, 5mm, 첨두 상태에서 측정한 BCR을 나타낸 것이다. 우선 지지력 그래프와 CBR을 통해 알 수 있었던 것과 같이 BCR도 보강 깊이가 지면으로부터 깊어질수록 보강효과가 작아지는 것을 세 그래프에서 확인 할 수 있다. 또한 BCR을 측 정한 관업지점이 깊어짐에 따라[(a)→(b)→(c)] 각 보강 깊이별 BCR은 점점 작아지는 것을 확인할 수 있다. 이는 관입 초기 시 폐어망이나 지오그리드가 지반과 빈틈없이 맞물려 있던 상태에 서 큰 마찰력을 발생하였으나, 관입이 진행됨에 따라 국부적인 균열이 발생하여 지반과 보강재 간의 마찰력이 점점 감소하였 기 때문이다. 폐어망은 지오그리드와 같은 토목용 보강재처럼 지지력 증가에 긍정적인 영향을 미친다. 하지만 보강 깊이에 따 라 다른 보강효과를 나타내기 때문에 보강하고자 하는 목적에 따라 최적의 보강 깊이를 구하여 보강하는 것이 최대의 효과를 낼 것이라 판단된다.

4. 결 론

본 논문에서는 폐어망 보강 깊이에 따른 보강 지반의 지지력 특성을 파악하기 위하여 CBR 시험을 수행하였고, 실험결과를 통해 얻은 결론은 다음과 같다.

(1) 관입 - 하중 그래프에서 무보강 모래지반의 경우 관입이 진행됨에 따라 하중이 서서히 증가하였다. 지오그리드와 폐어 망을 보강할 경우 지지력이 증가하는 보강효과를 확인할 수 있 다. 하지만 보강 깊이가 깊어질수록 관입 시 보강재와 지반 사 이의 저항력이 작게 발생하기 때문에 관입에 크게 저항하지 못 하고 지지력 보강효과도 감소하는 것을 알 수 있다.

(2) 폐어망 보강 지반의 CBR을 무보강 지반의 CBR로 나누어 폐어망에 의한 지지력 보강 효과를 확인한 결과, 2.11배에서 4.88배까지 증가하였다.

(3) 본 연구에서는 지반의 파괴 이전의 강도개선 효과를 파악 하기 위해 파괴 이후의 거동을 나타내는 극한상태의 BCRu가 아닌 실제 CBR을 측정하는 지점 그리고 최대지지력이 발생하 는 지점에서의 BCR을 측정하였다. 우선 보강 깊이가 깊어질수 록 BCR도 작아지는 것을 알 수 있으며, 관입이 진행될수록 보 강재와 지반과의 마찰력이 작게 발생하여 BCR도 작아지는 것 을 알 수 있다.

후 기

이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연 구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(NRF-2011-0029426) 과 2014년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 중견연구자지원사업(NRF-2014R1A2A1A 11052721)의 성과이며 이에 깊은 감사를 드립니다.

References

- Kim, Y.T., Kang, H.S., 2008. Mechanical Properties of Waste Tire Powder - Added Lightweight Soil. Journal of the Korean Society of Civil Engineers, 28(4), 247-254.
- Kim, Y.M., Kang, S.G., 2009. The Analysis of Bearing Capacity Behavior of Strip Footing on Geogrid-Reinforced Sand over a Soft Clay by Numerical Method. Journal of the Korean Geosynthetics Society, 8(3), 1-7.
- Kim, Y.T., Kim, H.J., 2006. Compressive Behaviors of Reinforced Lightweight Soil Using Waste Fishing Net. Journal of the Korean Geotechnical society, 22(11), 25-35.
- Kim, Y.T., Kim, H.J., Lee, J.S., 2007. Experimental Study on Mechanical Properties of Fiber-Reinforced Lightweight Soil. Journal of the Korean Society of Civil Engineers, 27(3C), 195-202.
- Kwon, S.J., 2014. Mechanical Characteristics of Waste Fishing Net Reinforced Bottom Ash For Recycling Waste Fishing Net and Bottom Ash. Master's Degree Dissertation, 1-37.
- Kwon, S.J., Kim, Y.T., 2013a. Pullout Characteristics of Waste Fishing Net Reinforced Bottom Ash using Pullout Test. Journal of the Korean Geosynthetics society, 12(4), 57-66.
- Kwon, S.J., Kim, Y.T., 2013b. Shear Properties of Bottom Ash-Crumb Rubber Mixture Reinforced with Waste Fishing Net Using Triaxial Test. Journal of the Korean Geotechnical society, 29(9), 81-91.
- Shin, E.C., Shin, D.H., Oh, Y.I., 1999. Bearing Capacity of Strip Foundation on Geogrid-Reinforced Sand with Embedment Depth. Journal of the Korean Geotechnical society, 16(3), 57-65.
- Yoo, C.S., Shin, S.W., 1994. Bearing Capacity of Strip Footing on Geogrid-Reinforced Soft Ground. Korean Geotechnical Society Fall 94 National Conference.
- Yun, D.H., Kim, Y.T., 2012. Strength Characteristic of Waste Fishing Net-added Lightweight Soil Considering Glue Treatment. Journal of Ocean Engineering and Technology, 26(3), 39-45.