

해저 연약지반 보강 조건에 따른 인공어초 침하 거동에 대한 실험적 연구

An Experimental Study of Settlement Behavior of Artificial Reef according to Reinforcement Characteristics

윤대호¹, 김운태^{2*}

Dae-Ho Yun¹, Yun-Tae Kim^{2*}

¹Member, Graduated student, Department of Ocean engineering, Pukyong National University, 45, Yongso-ro, Nam-gu, Busan, Republic of Korea

²Member, Professor, Department of Ocean Engineering, Pukyong National University, 45, Yongso-ro, Nam-gu, Busan, Republic of Korea

ABSTRACT

Seabed settlement and erosion sometimes occur when an artificial reef is installed in soft seabed. Therefore, this study carried out CBR test and water tank settlement test to investigate settlement behavior of artificial reef according to reinforcement characteristics such as reinforced types and reinforced area. Soil types of ground are sand, silt and clay deposits. Three reinforced types were prepared: unreinforced, geogrid and hybrid bamboo mat(HBM) with different reinforced area. Laboratory test results indicated that reinforced artificial reef improved bearing capacity of ground and reduced settlement as reinforced area increased. Especially, reinforced HBM provided more bearing capacity and less settlement than reinforced geogrid.

요 지

바다 자원의 조성을 위해 시설되는 인공어초는 해저 연약지반에 설치될 경우 침하 및 세굴에 의한 기능 상실이 발생할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 해저 연약지반의 보강에 따른 인공어초의 침하 거동을 알아보기 위해 모래, 실트 및 점토 지반을 각각 조성하여 관입실험, 침하실험 등과 같은 다양한 실내실험을 수행하였다. 무보강(unreinforced), 지오그리드(geogrid) 보강 및 하이브리드 대나무매트(hybrid bamboo mat, HBM) 보강과 같은 3종류의 보강과 보강재의 면적에 따른 특성을 살펴보았다. 실험 결과 보강재의 면적이 증가할수록 보강 효과가 증가하는 경향을 보였으며, HBM이 지오그리드 단일 보강에 비해 더 뛰어난 보강 효과를 보였다.

Keywords : Artificial reef, Bearing capacity increase ratio, Settlement reduction ratio, Reinforcement, Hybrid bamboo mat

1. 서 론

산업기술의 발달 및 고도화에 따라 임해공업단지의 조성 및 연안매립 및 개발이 활발해지고, 해안이 육지화되고 있으며, 배타적 경제수역(exclusive economic zone, EEZ)의 협약으로 인해 원양 어업이 위축되고 있다. 특히 우리나라는 주변국인 중국, 일본과 해역에 대한 분쟁이 빈번하

게 발생하여 연·근해 수산자원이 심각하게 고갈되어 가고 있는 실정이다. 이에 따라 정부에서는 종래의 잡는 어업에서 탈피하여 기르는 어업으로 그 방향을 전환하고 있으며, 그에 대한 대책으로 인공어초(artificial reef)를 이용한 바다 목장 사업을 추진하고 있다. 인공어초란 인공적인 구조물을 해저나 해중에 설치하여 해양 생물의 보호 기능과 더불어 정착 및 배양하는 것을 목적으로 하는 대표적인 수산자원 조성 방법이다. 일반적으로 수심, 유속, 해저 지형, 환경 오염, 해조류, 지반 조건 등 다양한 항목을 조사 및 검토하여 인공어초 설치 지역을 판정한다. 하지만 이러한 항목의 조사 및 검토에도 불구하고 해저 연약지반에 설치

Received 2 Jan. 2017, Revised 14 Mar. 2017, Accepted 14 Mar. 2017

*Corresponding author

Tel: +82-51-629-6587; Fax: +82-051-629-6590

E-mail address: yuntkim@pknu.ac.kr (Y. Kim)

될 경우 시간이 지남에 따라 침하가 발생하여 인공어초의 기능을 상실하는 경우가 종종 발생한다. 많은 연구자들이 동해안 및 남해안에 설치된 인공어초를 다중빔 음향 측심기(multi beam echo sounder, MBES) 및 양방향 음파 탐지기(side scan sonar, SSS)와 잠수 조사(scuba diving)를 이용하여 인공어초의 매몰 및 침하를 조사하였으며, 그 결과 인공어초의 침하 및 매몰 등을 확인하였다(Kim et al., 2008; Kim et al., 2009; Kim et al., 2010, Choi et al., 2009). 또한 남해 중부 지역에 설치된 사각어초의 경우 평균 0.56m의 침하가 발생하였으며, 전체 어초군 중 약 28%가량 매몰 및 침하된 것으로 확인되었다. 또한 국립수산물과학원 남해수산연구소에서 수행한 남해 서부해역에 설치된 인공어초를 대상으로 침하량을 조사한 결과에 따르면 전체 어초어장의 약 31.7%가 0.5m 이상 침하가 진행되었다.

인공어초의 침하를 저감하기 위한 기존 연구를 살펴보면, Kim(2001)와 Yun and Kim(2001)은 인공어초 주변 흐름장의 변화에 따른 인공어초의 침하 및 매몰 특성에 대한 연구를 수행하였으며, Suh and Kim(2009)은 석선과일을 이용한 인공어초의 침하 방지 기법을 제시하였다. 또한 Suh et al.(2010)은 인공어초의 침하, 매몰 등을 저감하기 위해 인공어초가 설치되는 해저 연약 지반에 대한 토질공학적인 판단 및 평가가 이루어져야 한다고 제시하였다. 하지만 침하가 발생할 수 있는 해저 연약 지반에 대한 특별한 대처방법이 아직 미비한 실정이며, 침하를 저감할 수 있는 인공어초를 특별히 제작할 경우 경제적 문제가 야기될 수 있다.

따라서 본 연구에서는 해저 연약지반에 설치되는 인공어초의 침하를 저감하고자 지오그리드(geogrid)와 같은 토목용 보강재를 지반에 보강함으로써 인공어초의 외형이나 재질을 변화시키는 것이 아닌, 해저 연약지반 자체의 지지력을 높이고자 하였다. 토목용 보강재인 지오그리드는 주로 흙구조물이나 지반의 보강에 쓰이는 격자 구조의 고분자 합성 섬유로서 분리와 보강의 기능을 수행하며, 주로 사면, 댐, 옹벽, 비행장, 도로, 터널 등 건설현장에서 광범위하게 적용되어 지반의 지지력을 증가시켜 정·동적 안정성을 개선할 수 있다는 것이 많은 연구자들에 의해 밝혀져 있다(Yoo and Lee, 1997; Shin, 2001; Kim, 2002).

또한 상대적으로 강성이 취약한 지오그리드의 단점을 보완하기 위해 지오그리드와 대나무매트(bamboo mat)를 결합한 하이브리드 대나무매트(hybrid bamboo mat, HBM)를 제작하여 보강 면적에 따라 CBR 실험, 대형 침하 수조

실험 등과 같은 다양한 실내실험을 통해 인공어초의 침하저감 특성을 알아보았다. 보강 면적은 인공어초 하부 면적 대비 각각 1배(1A), 3배(3A) 및 5배(5A)의 보강 면적으로 실험을 수행하였으며, 수조 침하 실험의 경우 총 3단계의 하중(인공어초 무게 대비 1배, 2배, 4배)을 재하하고 압밀 침하를 고려하여 각각 지반 및 보강 조건에 따라 24시간 동안 침하량을 관측하였다.

2. 실험 재료 및 방법

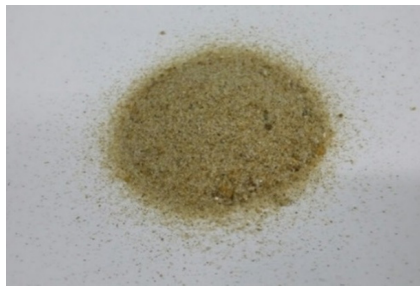
2.1 실험 재료

본 연구에서 사용된 지반은 해저 연약지반의 분포 경향을 고려하여 Fig. 1과 같이 모래, 실트 및 점토 지반으로 각각 준비하였다. Fig. 2는 실험에 사용된 지반의 입도 분포 곡선을 나타내며, Table 1~3은 각각 모래, 실트 및 점토의 물리적 특성을 나타낸다. 표준 다짐 시험을 통해 구한 모래 지반과 실트 지반의 최적함수비와 최대건조단위 중량은 각각 13.1%, 17.55%와 16kN/m^3 , 15.02kN/m^3 으로 나타났다. 모래 및 실트 지반의 조성은 실제 해저 지반과 유사한 상태를 재현하기 위해 수중낙사법으로 조성하였다. 수중낙사법은 수중에서 퇴적된 자연 상태의 흙의 구조를 가장 잘 나타낼 수 있는 시료 조성방법으로 균등한 시료의 조성과 더불어 시료의 포화가 확실하게 되는 장점이 있다(Vaid et al., 1999; Lee et al., 2008). 점토지반으로 사용된 카올리나이트(kaolinite)는 해저 연약지반 상태를 고려하여 70%의 함수비로 지반을 조성하였다. 또한 모든 지반은 일관된 실험 결과를 얻기 위해 4번 체(4.75mm)로 걸러 자갈, 조개 등 불순물을 제거하였다.

여기서 D_{10} , D_{30} , D_{50} 은 각각 입도분포곡선에서 10%, 30%, 50% 통과시의 입자의 크기를 나타내며, C_u 는 균등계수(uniformity coefficient), C_c 는 곡률계수(coefficient of curvature)를 나타낸다.

2.2 보강재

본 연구에서는 사용된 보강재의 종류는 지오그리드와 hybrid bamboo mat(HBM)이다. Fig. 3에 지오그리드 및 HBM의 보강 형태를 나타내었다. 여기서 HBM은 지오그리드와 대나무매트를 결합한 보강재(Fig. 4)로서 강성이 우수하여 인공어초의 안정성을 높일 수 있다. 보강 면적에



(a) Sand



(b) Silt



(c) Clay

Fig. 1. Soil types

Table 1. Geotechnical properties of sand

D ₁₀ (mm)	D ₃₀ (mm)	D ₅₀ (mm)	C _u	C _c	Optimum moisture content (%)	Maximum dry unit weight (kN/m ³)	USCS
0,26	0,33	0,47	1,81	0,89	13,1	16,0	SP

Table 2. Geotechnical properties of silt

D ₅₀ (mm)	Liquid limit (%)	Plastic index	Specific gravity	Optimum moisture content (%)	Maximum dry unit weight (kN/m ³)	USCS
0,085	29,6	N,P	2,69	17,55	15,02	SM

Table 3. Geotechnical properties of clay

Water content (%)	Unit weight (kN/m ³)	Plastic limit (%)	Liquid limit (%)	Specific gravity	USCS
70	15,3	30,64	59,57	2,19	CH

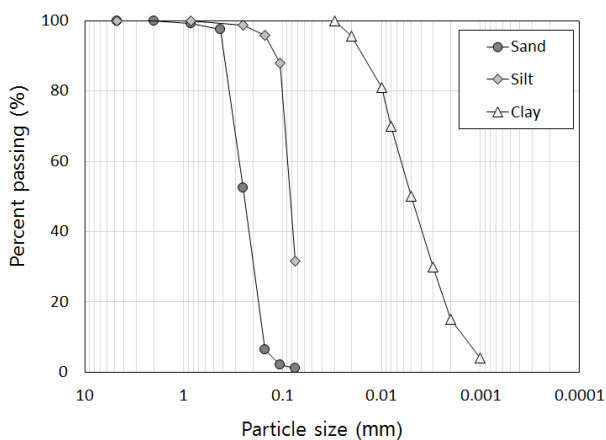
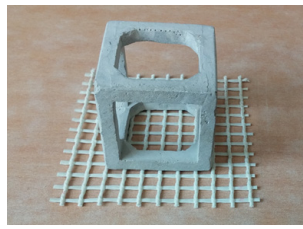


Fig. 2. Particle size distribution curves

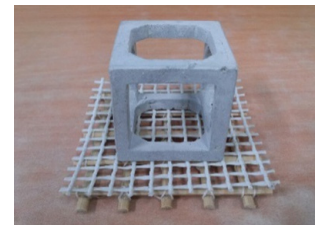
따른 침하 저감 효과를 살펴보기 위해 Fig. 5와 같이 보강 면적에 따른 실내 시험을 수행하였다. 보강재의 면적은 인공어초 하부지반의 면적에 비례하여 무보강(0A), 1배(1A), 3배(3A), 5배(5A)로 설치하여 실험을 수행하였다. 이때 HBM 보강의 경우 대나무매트의 크기도 지오그리드와 동일한 사이즈로 제작하여 보강하였다. 실험에 사용된 인공어초 모형은 해양수산부(Ministry of oceans and fisheries, MOF) 통계자료 기준(MOF, 2014)을 바탕으로 우리나라 전체 시설량의 약 66%를 차지하는 사각어초를 모델로 제작하였다. 모델의 제원은 직경 50mm, 두께 6.25mm의 정육면체 형태이며, 1개당 무게는 약 6.3g이다.



(a) Unreinforced



(b) Reinforced geogrid



(c) Reinforced HBM

Fig. 3. Reinforced type

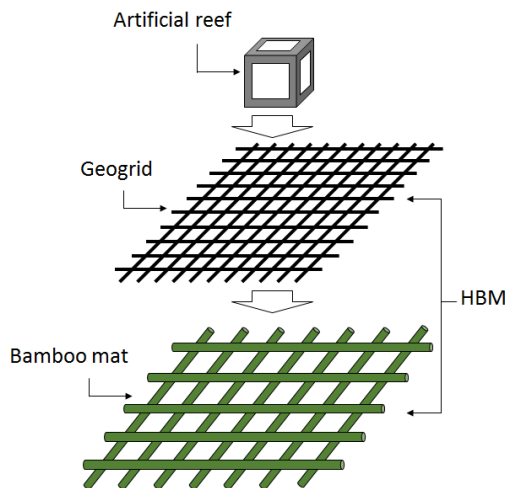


Fig. 4. Concept of HBM

실험에 사용된 지오그리드는 연약지반 보강용 제품으로 인장강도는 6t/m, mesh size는 6mm×6mm이다. 대나무 매트는 실험을 위해 자체 제작하였으며, mesh size는 지오그리드의 2배인 12mm×12mm의 사이즈로 제작하였다.

2.3 실험 방법

인공어초의 침하 특성을 알아보기 위해 CBR(California bearing ratio) 시험 및 수조 침하 실험(water tank settlement test)을 수행하였다. CBR 시험은 노상토 지지력 시험이라고도 하며, 직경 5cm인 관입봉을 원통형 몰드(직경 150mm, 높이 175mm)에 일정한 변형률 속도로 관입할 때 관입 깊

이가 각각 2.5mm 및 5.0mm 깊이에서 발생하는 하중 강도를 표준하중강도로 나눠 더 큰 값으로 지반의 지지력을 판단하는 시험이다. 본 연구에서는 CBR 시험과 동일한 몰드 및 실험방법을 이용하였으나, 원형 관입봉이 아닌 인공어초의 모형을 고려하여 정육면체 모형을 관입하였다. 이때 관입 속도는 1mm/min이며, 각각 보강재의 면적에 따른 관입실험을 수행하였다(Ha and Kim, 2015).

대형 수조 침하 실험은 가로, 세로 및 높이가 각각 200cm이며, 50cm 및 100cm의 직육면체 모양의 수조에 모래, 실트 및 점토 지반을 각각 조성하여 각각 보강재의 보강에 따른 침하 거동을 측정하였다. 각각의 보강재에서 인공어초의 하중이 증가할 때 침하 거동을 살펴보았다. 하중 단계는 총 3단계로 각각 어초 무게 대비 1배(AR 1), 2배(AR 2) 및 4배(AR 4)로 재하하였다. 이때 침하 시간은 지반 조건에 관계 없이 24시간 동안 관측하였으며, 24시간 이후 다음 하중을 증가시켰다. 모든 실험은 동일한 실험 조건에서 3회씩 각각 수행하였다.

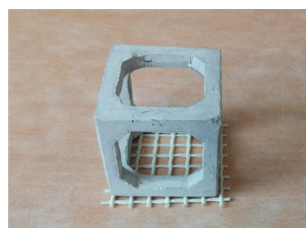
3. 실험 결과

3.1 CBR 시험 결과

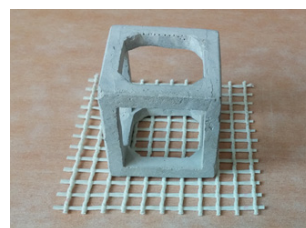
Fig. 6은 각각 모래, 실트 및 점토 지반 조건에서 지오그리드 및 HBM의 보강에 따른 관입 시험 결과를 나타낸다. 이때 지오그리드의 면적은 1A, 3A 및 5A로 하였으며,



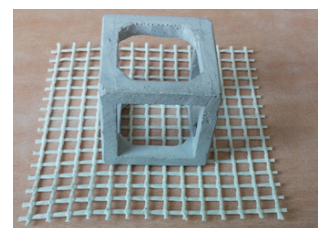
(a) 0A



(b) 1A



(c) 3A



(d) 5A

Fig. 5. Reinforced area

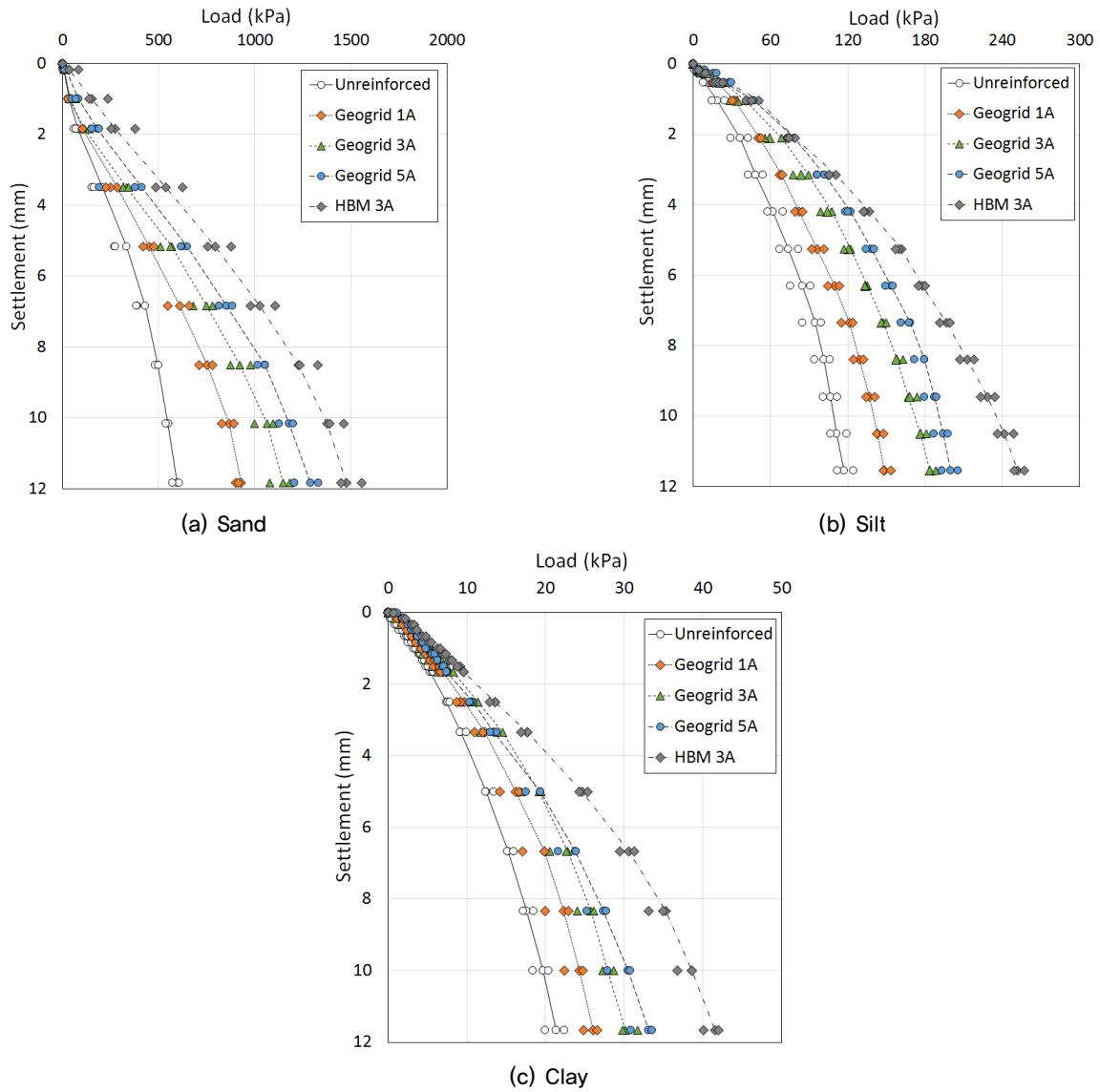


Fig. 6. Load-settlement curves with different soil types

HBM의 면적은 3A로 하였다. 모든 지반에서 무보강 지반에 비해 지오그리드 및 HBM 보강시 지지력이 크게 증가하는 것을 알 수 있으며, 보강재의 면적이 증가할수록 지지력이 점차 증가하는 경향을 보였다. 실트 및 점토 지반과 달리 모래 지반에서는 초기에 지지력이 서서히 증가하는 것을 볼 수 있다. 이는 모래지반을 조성할 때 생긴 상부층 이완영역이 압축되면서 나타난 오차인 *Bedding error*로 판단된다. Fig. 7은 지반 조건에 따른 지지력 실험 결과를 나타낸다. 모래지반에서 가장 큰 지지력을 나타내었으며, 실트 및 점토 순으로 지지력이 낮게 측정되는 결과를 보였다. Park and Kim(2003)에 따르면 200번체 통과율이 많을수록 지지력이 상대적으로 작게 나타난다고 밝힌 바 있다.

Fig. 8은 관입 실험 결과를 이용하여 식 (1)을 통해 산정

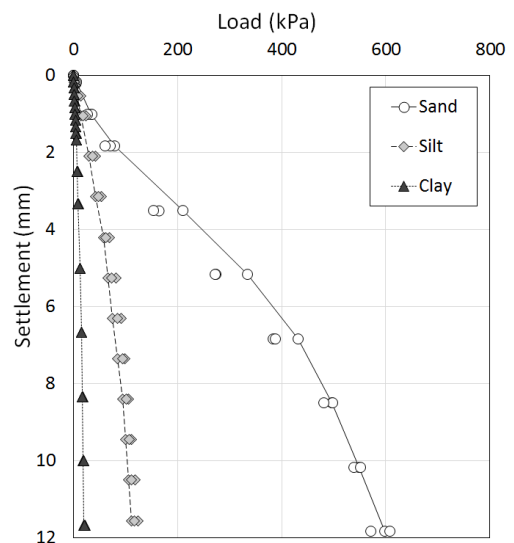
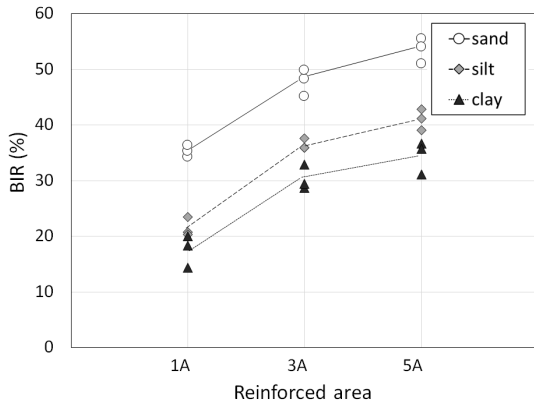
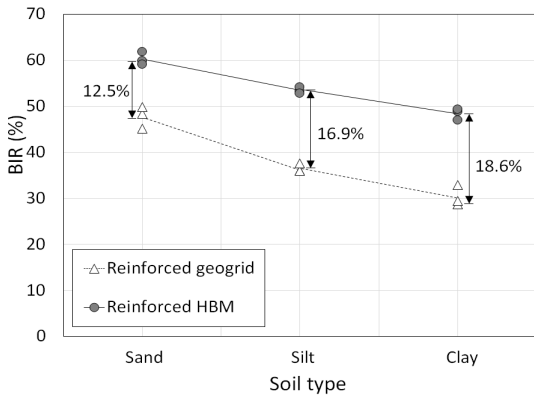


Fig. 7. Load-settlement curves



(a) BIR with reinforced area



(b) BIR with reinforced types

Fig. 8. BIR results with reinforced area and type

한 지지력 증가비(Bearing capacity increase ratio, BIR)을 나타낸다. 지지력 증가비는 지지력의 증가량을 정량적으로 평가하기 위한 것으로 무보강된 지반과 보강된 지반의 지지력 관계를 통해 계산할 수 있다. 본 연구에서는 각 조건에서의 최대 지지력을 이용하여 지지력 증가비를 산정하였다.

$$BIR(\%) = \frac{q_{(R)} - q_{(UR)}}{q_{(R)}} \times 100(\%) \quad (1)$$

여기서, $q_{(UR)}$ 은 무보강 지반의 지지력(bearing capacity of unreinforced soft ground), $q_{(R)}$ 은 토목용 보강재가 보강된 지반의 지지력(bearing capacity of reinforced soft ground)이다.

먼저 Fig. 8(a)에 나타난 바와 같이 지반 조건 및 보강재의 면적에 따른 BIR 분포 경향을 살펴보면, 모든 지반에서 보강재의 면적이 증가함에 따라 BIR 값이 증가하는 것을 알 수 있다. 이러한 결과는 토목용 보강재의 보강 면적이 증가함에 따라 지반과 토목용 보강재와의 마찰 면적이 증

가하여 나타난 결과로 판단된다. 특히 모래 지반의 BIR 값의 경우 토목용 보강재의 보강 면적에 따라 각각 1A에서 35.3%, 3A에서 47.8%, 5A에서 53.5%의 지지력 증가비를 보여 실트(1A : 21.5%, 3A : 36.5%, 5A : 41.0%) 및 점토(1A : 17.6%, 3A : 30.3%, 5A : 34.5%) 지반에 비해 더 큰 보강 효과를 보였다. 일반적으로 토목용 보강재가 보강된 지반에 하중이 작용할 경우 지반과 토목용 보강재 사이의 마찰 저항(frictional resistance)가 발생하여 지반의 지지력이 증가하게 되는데 실트 및 점토 지반의 경우 모래에 비해 상대적으로 입자가 매우 작아 맞물림이나 마찰 저항이 충분히 발생되지 않는다(Abdi et al., 2009). 이러한 이유로 인해 모래 지반 보강의 경우 더 큰 지지력이 나타난 것으로 보인다.

Fig. 8(b)는 지오그리드와 HBM의 보강에 따른 BIR 값의 변화를 나타낸다. 이때 보강재의 면적은 지오그리드 보강과 HBM 보강 모두 동일하게 3A이다. HBM 보강의 경우 지반 조건에 관계없이 모든 값이 약 50%를 상회하는 것으로 나타났으며, 지오그리드 단일 보강의 BIR 값은 약 30%에서 47% 범위에 있다. 각각의 지반 조건에서 HBM 보강에 따른 BIR을 지오그리드 보강에 따른 BIR과 비교해보면 모래 지반의 경우 약 12.5%, 실트 및 점토 지반에서는 각각 16.9%와 18.6%의 차이가 발생하였다. 이는 강성이 우수한 대나무 매트가 보강됨으로 인해 상대적으로 지지력이 낮은 실트 및 점토 지반의 지지력이 크게 증가하게 되어 나타난 결과로 판단된다.

3.2 대형 수조 침하 실험 결과

Fig. 9는 수조 침하 실험을 통해 구한 침하량을 나타낸다. 실험의 오차를 줄이고 침하 경향을 보다 정확하게 파악하기 위해 모든 실험은 각각 3회씩 측정하였으며, 24시간 침하 측정 후 다음 하중을 재하하였다. 여기서 하중은 인공어초의 무게 대비 1배(AR 1), 2배(AR 2) 및 4배(AR 4)의 하중을 나타내며, 지오그리드 및 HBM의 보강 면적은 3A로 하였다. 침하량 측정 결과 최종 침하량은 모래지반이 가장 작게 나타났으며, 실트 및 점토 순으로 침하량이 크게 나타났다. 무보강된 지반의 최종 침하량은 모래지반에서 약 0.5mm, 실트 지반에서 약 3.07mm이며, 점토 지반의 최종 침하량은 약 12.5mm로 모형 인공어초 1개 높이인 50mm를 기준으로 약 25% 가량 침하되는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 CBR 실험 결과를 통해 나타난

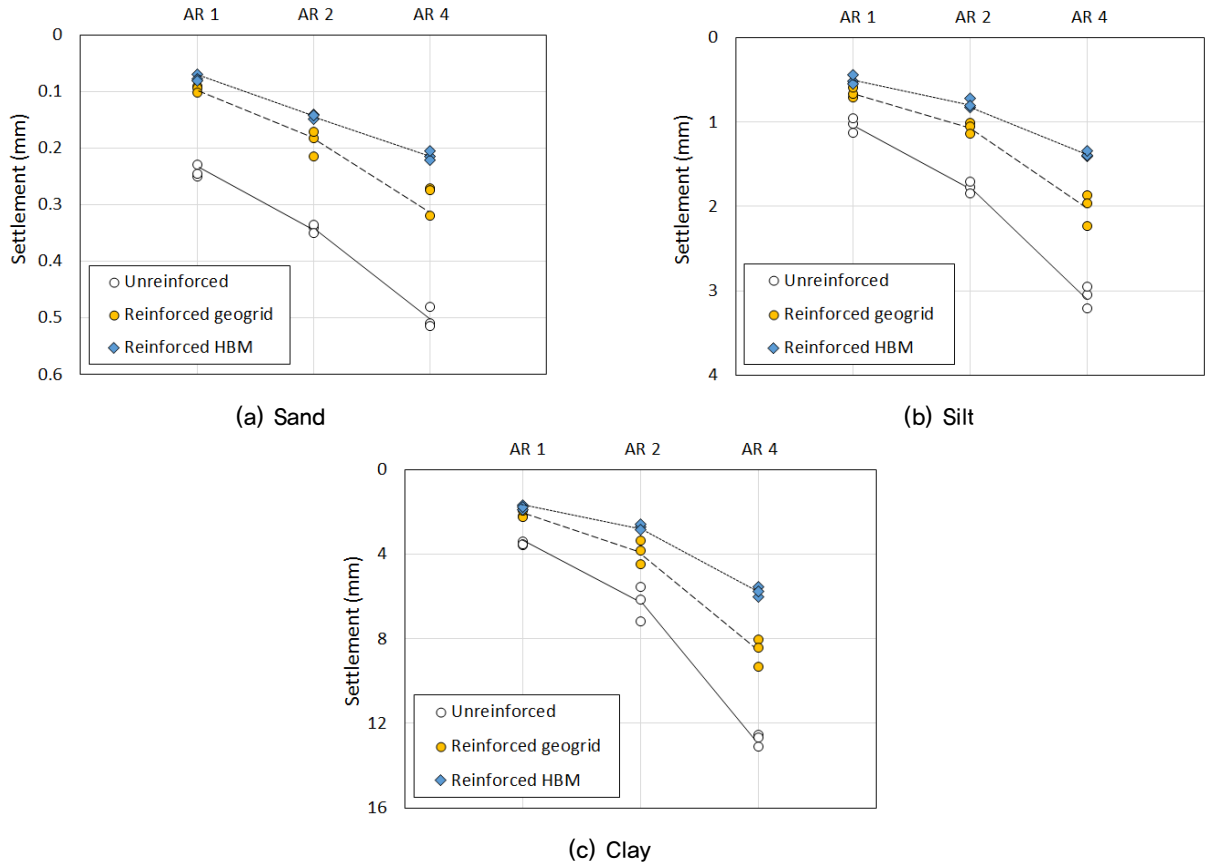


Fig. 9. Settlement results

바와 같이 점토 지반의 지지력이 모래 및 실트 지반에 비해 상대적으로 작고, 압축성이 크기 때문에 침하가 가장 크게 발생한 것으로 판단된다. 또한 지오그리드 및 HBM 보강에 따른 인공어초의 침하량은 초기 하중 단계(AR 1)에서는 큰 차이가 없었으나 하중 단계가 증가함에 따라 침하량의 차이가 점차 벌어지는 것으로 나타났다.

토목용 보강재의 보강에 따른 침하 저감 효과를 분석하기 위해 침하 저감비(Settlement reduction ratio, SRR)을 식 (2)를 이용하여 산정하였으며, 그 결과를 Fig. 10에 나타내었다.

$$SRR(\%) = \frac{S_{(UR)} - S_{(R)}}{S_{(UR)}} \times 100(\%) \quad (2)$$

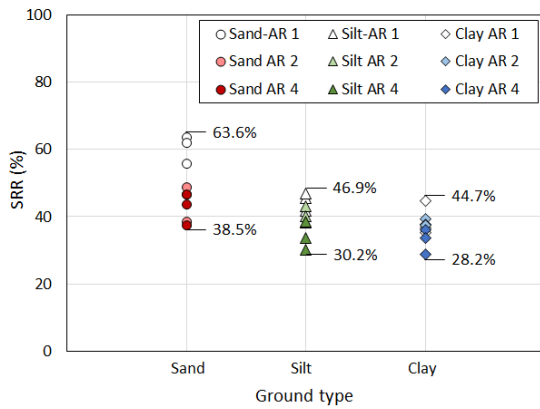
여기서, $S_{(UR)}$ 은 무보강된 지반의 침하량(Settlement of unreinforced soft ground), $S_{(R)}$ 은 토목용 보강재가 보강된 지반의 침하량(Settlement of reinforced soft ground)을 나타낸다.

Fig. 10(a)는 식 (2)를 통해 산정한 지반 조건별 침하 저

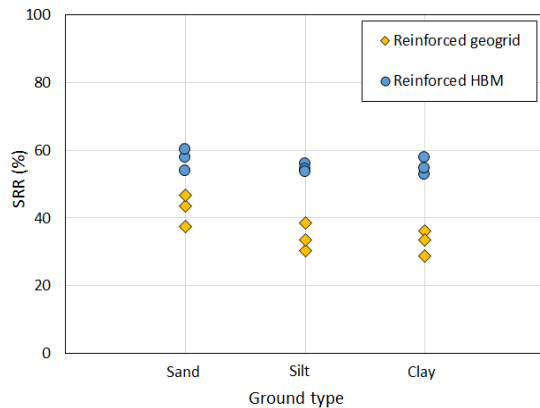
감비를 나타낸다. 지반에 따른 침하 저감비는 모래 지반의 경우 약 38.5~63.6%, 실트 지반의 경우 약 30.2~46.9%, 점토 지반의 경우 약 28.8~44.7%의 범위를 보였다. 또한 인공어초의 하중 단계가 증가함에 따라 침하 저감비는 약간 감소하는 경향을 보였으나, 전반적으로 침하 저감비 값이 약 30%를 상회하는 결과를 보였다.

Fig. 10(b)는 지오그리드 보강과 HBM 보강에 따른 침하 저감비를 비교한 결과이다. 지오그리드 보강에 비해 HBM를 보강한 경우 침하 저감비가 더 큰 값을 가지는 경향을 보였다. 지반 조건별 HBM 보강에 따른 침하 저감비는 모래 지반의 경우 57.3%, 실트 및 점토 지반의 경우 각 54.69%와 55.06%로서 지오그리드 보강에 비해 침하 저감비가 각각 14.8%, 20.6% 및 22.2% 더 크게 나타났다. 이러한 결과는 앞서 수행한 CBR 실험 결과와 유사한 결과로서 대나무 매트와 강성으로 인해 지반의 지지력이 증가하고 마찰 저항이 증가하여 지반의 침하가 저감되며, 특히 연약 지반에 보강할 경우 그 효과가 더 크게 나타나는 것으로 판단된다.

본 연구의 결과는 실내 실험 규모에 따라 모형의 크기를



(a) SRR with different soil types



(b) SRR with different reinforced types

Fig. 10. SRR distributions

1:40으로 축소하였으나, 지반 재료의 특성상 scale 축소의 제한이 있으므로 이에 따른 일반화는 한계가 있다. 또한 따라서 추후 다양한 실험 및 분석을 통해 이를 검증할 필요가 있다.

4. 결론

본 연구에서는 해저 연약지반에 설치되는 인공어초의 침하를 저감하기 위해 지오그리드 및 HBM를 각각 보강하여 해저 연약지반의 보강 조건에 따른 침하 저감 효과를 알아보았다. 다양한 지반 조건에 따른 침하 특성을 알아보기 위하여 모래, 실트 및 점토 지반을 각각 조성하여 보강재의 종류(지오그리드, HBM) 및 보강 면적(0A, 1A, 3A, 5A)을 다르게 하여 CBR 실험 및 대형 수조 침하 실험을 수행하였으며, 이에 따른 결론은 다음과 같다.

(1) 모래, 실트 및 점토 지반에서 관입실험을 수행한 결과 일반적으로 보강재의 면적이 증가할수록 지지력이 증가하는 경향을 보였다. 또한 각 지반 조건에 따른 지지

- 력 증가비(bearing capacity increase ratio, BIR)을 비교해보면 모래 지반의 BIR 값이 가장 크게 나타났다.
- (2) 지오그리드와 HBM의 보강에 따른 지지력 증가비를 비교한 결과 HBM 보강에 따른 지지력 증가비가 지오그리드 보강에 비해 평균 약 15.8% 더 크게 나타났으며, 점토 지반에서 약 18.6%로 가장 큰 효과를 보였다. 이는 강성이 우수한 대나무 매트가 점토의 지지력을 크게 증가시킨 결과로 보인다.
- (3) 대형 수조 침하 실험 결과를 이용하여 보강에 따른 침하 저감비(settlement reduction ratio)를 산정한 결과, 침하 저감비는 지오그리드 보강시 모래 지반에서 38.5~63.6%, 실트 지반에서 30.2~46.9%, 점토 지반에서 28.2~44.7%의 범위를 보였다. 또한 HBM으로 보강한 경우 침하저감비는 지오그리드 보강에 비해 모래 지반의 경우 14.8%, 실트 및 점토 지반의 경우 각각 20.6%와 22.2% 더 크게 나타났다.

감사의 글

This research was supported by basic science research program through the National research Foundation of Korea funded by the Ministry of Science, ICT and Future Planning (2014R1A2A1A11052721).

References

- Abdi, M.R., Sadmejad, A., Arjomand, M.A. (2009), "Strength Enhancement of Clay by Encapsulating Geogrids in Thin Layers of Sand", *Journal of Geotextiles and Geomembranes*, Vol.27, pp.447-455.
- Choi, I.H., Suh, S.H., Kim, D.K., Cho, J.K., Cha, B.Y., Kim E.O. (2009), "The Calculation Floor Area Ratio of Artificial Reefs at South Southwest Sea", *Conference of Korea Society of Marine Engineering*, pp.487-489.
- Ha, Y.S. and Kim, Y.T. (2015), "An Experimental Study on Settlement Reduction of Artificial Reef using Geosynthetics", *Journal of Korean geosynthetics Society*, Vol.14, No.3, pp. 21-29.
- Kim, D.K., Suh, S.H., Cho, J.K., Kim, C.G., Choi, I.H., Kim, B.S. (2010), "Settlement Characteristics of Square Reefs installed on Soft Seafloor Ground", *Journal of the Korean Society of Marine Engineering*, Vol.34, No.1, pp.163-167.
- Kim, H.T. (2001), "A Study of Artificial Reef Subsidence in Unsteady Flow Field", *Journal of The Korean Society of Ocean Engineers*, Vol.15, No.2, pp.33-38.

6. Kim, I.D. (2002), "Bearing Capacity of Geogrid-Reinforced Soil Layer on Soft Ground", University of Incheon, Master's thesis, pp.1-20.
7. Kim, T.J., Kim, D.K., Suh, S.H., Cho, J.K., Cha, B.Y. (2009), "Preservation of Artificial Reefs Installed in Western-south Coast", Conference of The Korean Society of Marine Engineering, pp.497-498.
8. Kim, W.K., Lee, J.H., Kim, D.K., Jo, Q.T., Ahn, J.M., Gong, Y.G. (2008), "Stability of Artificial Reefs Installed in Gangwon Coastal Waters of the East Sea", Journal of the Korean Society of Marine Engineering, Vol.32, No.1, pp.200-205.
9. Lee, M.J., Choi, S.K., Choo, H.W., Cho, Y.S., Lee, W.J. (2008). "Uniformity of Large Gypsum-cemented Specimens Fabricated by Air Pluviation Method", Journal of the Korean Geotechnical Society, Vol.24, No.1, 91-99.
10. Ministry of Oceans and Fisheries(MOF). (2014), "Oceans and Fisheries Statistics, Ministry of Oceans and Fisheries", pp. 3-158.
11. Park, H.G. and Kim, K.R. (2003), "A Study of Correlation between Soil Characteristic and CBR value by Experimented Method", Journal of Korean Geo-Environmental Society, Vol.4., No.1, pp.41-48.
12. Shin, D.H. (2001), "Bearing Capacity of Strip Foundation on Geogrid-Reinforced Sand with Embedment Depth", University of Incheon, Master's thesis, pp.1-18.
13. Suh, S.H. and Kim, D.K. (2009), "Settlement Prevention Method of Artificial Reefs using Suction Pile", Conference of the Korean Society of Marine Engineering, pp.321-322.
14. Vaid, Y.P., Sivathayalan, D.S., Stedman, D. (1999), "Influence of Specimen Reconstituting Method on the Undrained Response of Sand", Journal of Geotechnical Testing, Vol.22, No.3, pp. 187-195.
15. Yoo, C.S. and Lee, D.Y. (1997), "Bearing Capacity of Strip Footing on Geogrid-Reinforced Slope", Journal of Korean Society of Civil Engineers, Vol.17, pp.579-588.
16. Yun, S.J., Kim, H.T. (2001), "A Study of Artificial Reef Subsidence in Unsteady Flow-Wave Field", Journal of The Korean Society of Ocean Engineers, Vol.15, No.3, pp.28-34.