한국지반신소재학회논문집 제16권 2호 2017년 6월 pp. 1 ~ 10
J. Korean Geosynthetics Society Vol.16 No.2 June. 2017 pp. 1 ~ 10

DOI: https://doi.org/10.12814/jkgss.2017.16.2.001
ISSN: 2508-2876(Print) ISSN: 2287-9528(Online)

배치 형태에 따른 사각형 복합 인공어초의 침하 및 세굴 특성

Characteristics of Settlement and Scour of Square-Shaped Hybrid Reef according to Placement Types

윤대호[1], 김윤태[2]*
Daeho Yun[1], Yuntae Kim[2]*

[1]*Member, Graduated student, Department of Ocean engineering, Pukyong National University, 45, Yongso-ro, Nam-gu, Busan, Republic of Korea*
[2]*Member, Professor, Department of Ocean Engineering, Pukyong National University, 45, Yongso-ro, Nam-gu, Busan, Republic of Korea*

ABSTRACT

This study carried out several laboratory tests such as water tank settlement test and two-dimensional water flow test to investigate settlement and scour characteristics of a square-shaped hybrid reef which was reinforced with geogrid. In addition, numerical analysis was also performed to find out scour characteristics of the square-shaped hybrid reef with different placement types (type A; straight placement type, type B; zigzag placement type). Laboratory test results indicated that settlement and scouring depth significantly reduced in hybrid reefs reinforced with geogrid, compared with those without reinforcement. Two-dimentional water flow tests and numerical test results also showed that scouring depth and flow velocity of placement type A more decreased than those of type B.

요 지

본 연구에서는 지오그리드로 보강된 사각형 복합 인공어초의 침하 및 세굴 특성을 알아보기 위해 대형 수조 침하 실험, 2차원 흐름 수조 실험 등 다양한 실내 실험을 수행하였다. 또한 인공어초의 각 배치 형태(배치도 A; 나란히 배치된 형태, 배치도 B; 지그재그로 배치된 형태)에 따른 세굴 특성을 알아보기 위해 수치해석을 수행하였다. 실내 실험 결과 무보강된 인공어초에 비해 지오그리드가 보강된 인공어초의 침하 및 세굴 깊이가 크게 저감되었다. 인공어초 배치 형태에 따른 세굴 특성을 알아보기 위한 흐름 수조 실험과 수치해석을 수행한 결과 배치도 A의 세굴 깊이와 유속 벡터는 배치도 B보다 더 감소하는 경향을 보였다.

Keywords **:** Artificial Reef, Settlement, Scour, Reinforcement type

1. 서 론

기후변화와 무분별한 어획으로 우리나라 연안해역의 서식 환경이 점차 악화됨에 따라 수산자원의 감소와 해양 식량의 생산성이 급격하게 감소되고 있는 추세이다. 이에 정부에서는 이런 현상을 해결하고자 수산자원회복 사업을 실시하였다. 수산자원회복 사업은 자원 평가 및 관리와 더불어 수산자원 조성 측면에서 인공어초 시설 사업, 해중림 조성 사업, 종묘 방류 사업, 바다목장 사업 등의 형태로 추진되고 있다. 인공어초(artificial reef)는 인공적으로 해저나 해중에 구조물을 설치하여 대상 해양생물을 정착시키거나 끌어 모으고, 그에 대한 보호와 배양하는 것을 목적으로 하는 어장시설로 해양생물의 생활환경과 특성을 활용한 대표적인 수산자원 조성 방법이다. 2014년 해양수산 주요 통계에 따르면 인공어초 시설사업은 1971년부터 사업에 착수하여 초기(1971～1980년)에는 실험시설단계로 소규모 시설사업을 추진하여 왔으나, 1991년 이후에

Received *2 May. 2017,* ***Revised*** *9 May. 2017,* ***Accepted*** *18 May. 2017*
****Corresponding author***
Tel: +82-51-629-6587; Fax: None
E-mail address: yuntkim@pknu.ac.kr (Y. Kim)

는 시설효과가 입증되면서 전국 11개 연안 시·도로 사업이 확대되었으며, 2013년에는 총 시설대상면적(307천ha) 대비 71%(219천ha)가 시설되었다(MOF, 2014). 인공어초 설치 및 유지·보수에 대한 사업비는 매년 지속적으로 투입되고 있어 수산생물 서식시 조성에 기여하고 있다.

하지만 인공어초가 설치되는 지반이 점토 또는 실트질 점토 등으로 이루어진 해저 연약지반일 경우 인공어초의 자체 무게 및 해양 외력 조건 등에 의해 인공어초가 침하 또는 매몰된다. 이로 인해 인공어초의 유실 및 파손되는 경우가 나타남에 따라 인공어초의 기능을 상실하며, 종종 사회적인 문제로 이슈화되기도 한다. 우리나라 연안 해역에 설치된 인공어초의 시설 상태 조사에 대한 기존 연구를 살펴보면, 전남 고흥 지역의 경우 어초군의 가장자리를 따라 세굴과 퇴적에 의한 침하가 진행되고 있는 것으로 확인되었으며, 동해안 및 남해 서부 해역에서 인공어초의 침하 및 매몰이 확인되었다(Kim et al., 2008; Kim et al., 2009; Kim et al., 2010; NFRID, 2007).

인공어초가 설치된 지반에서 발생하는 침하와 세굴은 인공어초의 형상, 크기, 무게 및 배치 형태에 영향을 받는다. 또한 해수의 흐름, 파랑 및 연약지반의 특성 등에도 영향을 받는다. 이와 같은 변수들 중에서 인공어초의 침하와 세굴에 가장 많이 영향을 주는 인자 중 하나로 연약지반의 특성을 꼽을 수 있다. 정상 흐름장에서 발생하는 침하량은 해저 연약지반의 특성에 주로 의존하며, 조류를 고려한 비정상 흐름장에서는 흐름이 주기를 거듭하면서 어초의 거동과 이에 따른 세굴 현상에 기인하여 추가적인 침하를 발생시킨다(Kim, 2001; Yun and Kim, 2001). 국외 연구의 경우 Kimura et al.(1994)와 Duzbastilar et al.(2006)는 파랑 및 흐름에 의한 인공어초 주변 세굴과 안정성 분석에 대한 실험적 연구를 수행하였다. Manoukian et al.(2011)와 Raineault et al.(2013)은 실 해역에 설치된 인공어초의 침하 및 세굴 현상을 side scan sonar(SSS) 및 multi beam echo sounder(MBES) 등과 같은 현장 관측 장비를 이용하여 조사하였다.

현재까지 수행된 인공어초에 대한 연구는 다양한 종류의 인공어초 설치로 인한 수산자원 위집효과 등과 같은 생태 분야 연구 또는 인공어초 실태 조사 등이 대부분을 차지하고 있다. 그러나 침하 및 세굴 등과 같은 지반공학적인 측면에 대한 분석은 미미한 실정이다.

인공어초는 일반적으로 단일 어초로 설치되기 보다는 일정한 배치 간격으로 해저 지반에 설치된다. 인공어초의 배치에 따른 기존 연구를 살펴보면 Lee(2016)는 수치해석을 통해 각각 정삼각형뿔어초, 이중돔형어초 및 날개부를 가진 어초에 대한 배치 간격을 제시한 바 있다. 또한 Jung et al.(2016)의 연구 결과에 따르면 사각어초의 배치 간격이 어초 높이의 2배 이상에서 큰 후류 체적을 보이는 것으로 나타났다. 여기서 후류 체적(wake volume)은 어초 전면부에 유입되는 유체와 어초와의 상호작용으로 인해 발생하는 와류(voltex)로 인한 역방향 흐름의 체적으로 해양생물의 먹이활동을 촉진하는 요소 중 하나이다(Sheng, 2000; Oh et al., 2011).

한국수산자원관리공단에서 제시한 인공어초의 배치 형태(placement model)는 기본배치 형태인 집중산적 형태(intensively stacked type), 평면분산 형태(flatly distributed type)와 O 배치 형태, Y 배치 형태로 나눌 수 있다. 하지만 이들 배치 모델들은 개념적인 제안으로 어초의 기하학적 형상이나 배치 간격을 결정하기 위한 뚜렷한 근거가 명시되어 있지 않다. 특히 본 연구에서 수행한 사각형 복합 인공어초의 경우 인공어초의 배치에 따른 침하 및 세굴 특성에 대한 실험적 연구는 미흡한 실정이고, 대상 해역 지반을 사용하여 실험적으로 분석한 사례는 찾아보기 힘들다.

따라서 본 연구에서는 사각형 복합 인공어초의 침하 및 세굴을 저감하기 위한 방안으로 지오그리드를 인공어초 설치 지반에 보강하여 대형 수조 침하 실험, 2차원 흐름 수조 실험 등 다양한 실내 실험을 통해 인공어초 설치 지반의 보강 유·무에 따른 침하 및 세굴 저감 특성을 알아보았다. 현장 지반의 거동을 모사하기 위해 전라북도 고창 전면해역에서 현장 시료를 채취해 왔다. 또한 인공어초의 배치 조건에 따른 세굴 특성을 알아보기 위해 두 가지 인공어초 배치 형태에 대한 실내 실험 및 수치해석을 수행하여 인공어초 배치 형태에 따른 특성을 분석하였다.

2. 재료 특성 및 실험 방법

2.1 재료 특성

본 연구에서는 현장 지반의 조건을 유사하게 나타내기 위해 전라북도 고창 전면해역에서 현장 시료를 채취하여 실내실험을 수행하였다. 현장에서 채취된 시료는 주로 실트로 이루어져 있으며, 자갈, 조개 등의 불순물이 거의 섞여 있지 않은 고른 상태로 이루어져 있다(Fig. 1). Table 1은 본 연구에서 사용된 현장 시료의 기본 물성 실험 결과

Fig. 1. Field sampling soil

를 나타낸다. 입도분포실험 결과 평균 입경(D50)은 약 0.085mm로 나타났으며, 통일분류법(USCS)에 의해 실트질 모래(SM)로 분류되었다. 또한 다짐 실험을 통해 구한 최대건조단위중량과 최적함수비는 각각 14.73kg/m^{3}과 17.55%로 나타났다.

일반 어초 중에는 반구형, 원통형, 요철형 어초 등 약 29종의 패조류용 어초가 존재한다. 본 연구에 사용된 어초는 사각형 복합 인공어초로서 패조류용 어초로 분류된다. 대형 수조 침하 실험 및 2차원 수조 세굴 실험을 수행하기 위해 아크릴 및 무게추를 이용하여 Fig. 1과 같은 사각형 복합 인공어초의 모형을 제작하였다. 이때 모형의 크기는 수조의 특성, 실험파의 제원 및 조파기의 성능 등을 고려하여 Froude 상사법칙을 따라서 1:40의 비율로 축소하였다(Ryu et al., 1986). Table 2와 같이 사각형 복합 인공어초 모델의 크기는 75mm×50mm×60mm이다. 인공어초는 그 사용 용도에 따라 설치 수심이 다르며, 패조류용 어초는 수심 5m～15m 이내에 설치해야 한다. 따라서 실험에 적용된 수심은 실제 해역의 환경과 패조류용 어초의 설치 깊이(10m)를 고려하여 250mm로 하였다. 유속은 인공어초 설계 유속(2m/s)과 현장 조건 및 실험실 규모에 따른 제한을 고려하여 150mm/s를 적용하였다.

2.2 실험 방법

사각형 복합 인공어초가 설치된 현장 지반에서 지오그리드 보강 유·무에 따른 침하 특성을 살펴보기 위해 Fig. 3과 같이 대형 수조 침하 실험을 수행하였다. 대형 수조는 폭은 0.5m, 높이는 1.0m이며, 길이는 2m이다. 지반 조성을 하기 위해 수조에 물을 채운 뒤 건조된 흙을 20번 체를 이용하여 수중낙사법으로 지반을 조성하였다. 수중낙사법은 수중에서 퇴적된 자연 상태의 지반 구조를 나타내는 방

Table 1. Geotechnical properties of field soil

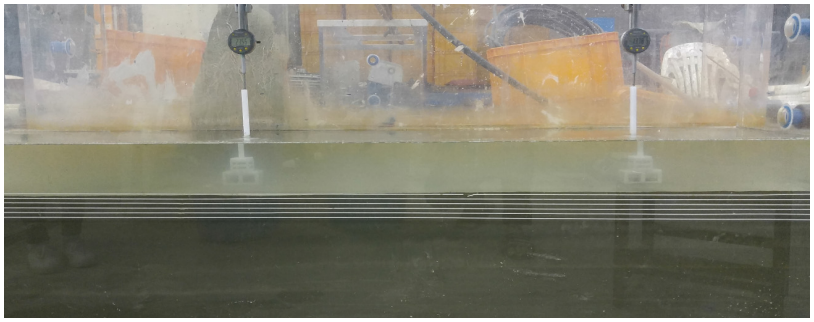
D50(mm)	GS	LL (%)	PI (%)	USCS	γmax (kg/m^3)	OMC (%)
0.085	2.69	29.6	N.P	SM	14.73	17.55

Table 2. Experimental conditions for design condtition

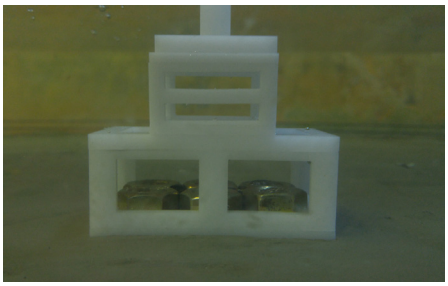
Scale	Type	Artificial reef		Experiment parameter	
		Size	Weight	Wave velocity	Depth
1:40	Real sea	3 m × 2 m × 2.4 m	10.38 ton	1 m/s	10 m
	Experiment	75 mm × 50 mm × 60 mm	162.19 g	150 mm/s	250 mm

(a) Artificial reef model (b) Weight of model

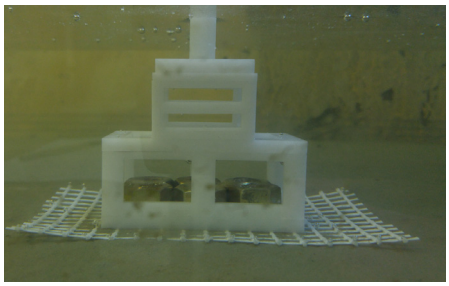
Fig. 2. Artificial reef model



(a) Installation of artificial reef



(b) Unreinforced artificial reef



(c) Reinforced artificial reef

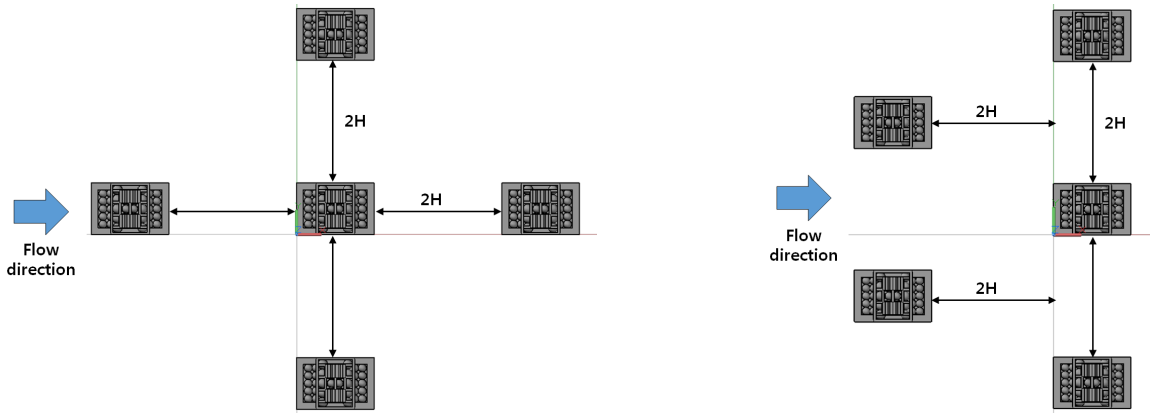
Fig. 3. Large size water tank test

법 중 하나로 현장 지반과 유사한 구조를 잘 나타내며, 건조낙사법보다 시료의 포화가 확실하게 되는 장점이 있다 (Vaid et al., 1999; Lee et al., 2008).

수중낙사법으로 지반의 두께를 약 0.45m까지 균등하게 조성한 후 인공어초를 설치하고, 인공어초 상부에 다이얼 게이지를 설치하여 침하량을 측정하였다. 이때 침하 기간은 총 10일 동안 수행하였으며 실험의 정확성을 위해 지오그리드의 보강 유·무 조건에 따라 각 3회씩 수행하였다. 여기서 실험에 사용된 지오그리드는 연약지반 보강용 제품으로 인장강도는 60kN/m이고, 그리드의 크기는 6mm×6mm이다.

2차원 단면 수로를 이용하여 지오그리드 보강 유·무에 따른 사각형 복합 인공어초의 세굴 실험을 수행하였다. 2차원 단면 수로의 제원은 폭 0.3cm, 높이 0.6m, 길이 11.0m이며 수조의 양 끝단에 수위 조절용 수조가 설치되어 있어 동수경사를 이용하여 일정 유속의 흐름을 지속적으로 발생시킬 수 있다. 유속 지속 시간은 태풍이나 폭풍파의 지속시간을 3시간으로 가정하여 Froude 상사법칙에 의해 30분으로 하였다(Sohn, 2007; Sohn et al. 2010).

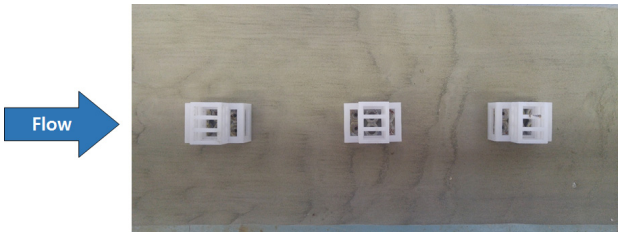
인공어초의 배치에 따른 세굴 저감 특성을 알아보기 위해 인공어초가 일직선으로 배치된 형태(type A, Fig. 4(a))와 인공어초가 지그재그(zigzag)로 배치된 형태(type B, Fig. 4(b))의 두 가지 배치도로 실내 실험 및 수치해석을



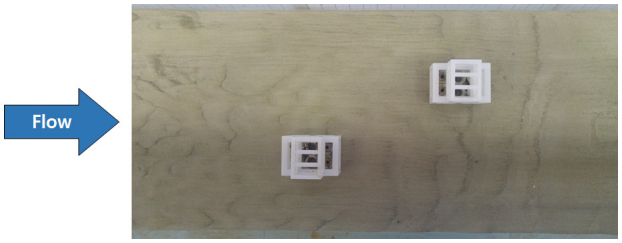
(a) Placement type A

(b) Placement type B

Fig. 4. Placement types of artificial reef



(a) Type A



(b) Type B

Fig. 5. Placement types of artificial reef for laboatory test

수행하였다. 여기서 각각 인공어초 사이의 간격은 인공어초 높이의 두 배로 배치하였다.

그러나 실내실험에서는 각 배치도에 따른 특성 및 흐름 수조 제원에 따른 배치 한계를 고려하여 인공어초 모형을 Fig. 5와 같이 배치하였다. 여기서 각각 인공어초의 간격은 모형 인공어초의 높이(60mm)의 두 배인 120mm로 배치하였다. 수조의 유속과 수심은 Table 2와 같이 각각 150mm/s와 250mm이다.

2.3 수치해석

사각형 복합 인공어초 주변의 흐름장을 해석하기 위해 수치해석 프로그램인 Flow-3D를 이용하였다. 수치해석에 적용된 구조물, 지반, 흐름, 수심 등에 대한 조건은 Table 3과 같다. 수치해석에서 사용된 유속 분포는 인공어초의 설계 유속을 고려하여 2m/s으로 하였으며, 수심은 현장 해역의 수심 분포를 고려하여 10m로 하였다.

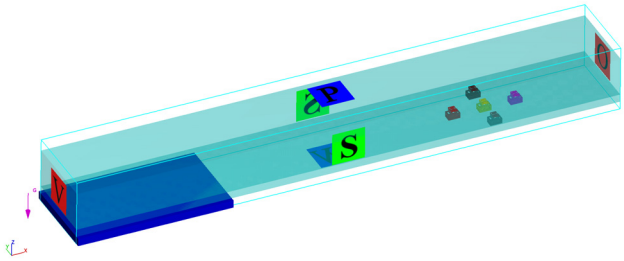


Fig. 6. Boundary condition

수치해석을 위해 사용된 인공어초의 배치형태는 Fig. 4와 같이 type A와 type B이다. 인공어초 배치 및 간격은 실내실험과 동일한 조건인 인공어초 높이(H=2.4)의 두 배인 4.8m로 배치하였다. 수치모델에서 좌표계는 X, Y, Z를 축으로 하는 직교좌표계를 사용하였으며, X축을 흐름 방향으로 하여 인공어초를 설치하였다. 인공어초 주변의 유동특성 및 세굴패턴을 예측하기 위한 격자망은 기준이 되는 인공어초 설치 위치(0,0,0)를 중심으로 X축은 -100m에서 40m까지, Y축은 -10m에서 12m까지, Z축은 -2m에서 14m까지 구성하였다. 흐름장을 수치해석하기 위한 경계조건으로는 Y축 방향은 벽면 마찰 등을 최소화하기 위해 대칭조건(symmetry)으로 하였으며, X축을 기준으로 유입과 유출 경계를 주고, Z축은 벽(wall)으로 하여 흐름의 영향이 발생하지 않도록 하였다(Fig. 6). 각 배치조건 별 격자망 구성은 인공어초가 설치된 부분을 중심으로 조밀한 간격으로 구성하였으며, 배치도 A의 경우 총 530,100개, 배치도 B의 경우 총 540,000개의 격자망으로 구성하였다. 동일한 유속 조건으로 총 2,000초 동안 수치해석을 수행하였다.

3. 실험 결과

3.1 대형 수조 침하 실험 결과

지오그리드의 보강 유·무에 따른 사각형 복합 인공어초

Table 3. Numerical modeling conditions

Structure model	Artificial reef (m)	3.0×2.0×2.4
Sediment	Average particle diameter (D50, m)	8.5e-5
	Specific gravity (kg/m^3)	2720
External force	Critical shields parameter	0.05
	Gravity acceleration (m/s^2)	-9.81
	Fluid density (kg/m^3)	1000
	Fluid viscosity (kg/s/m)	0.001
	Velocity (m/s)	2
	Depth (m)	10

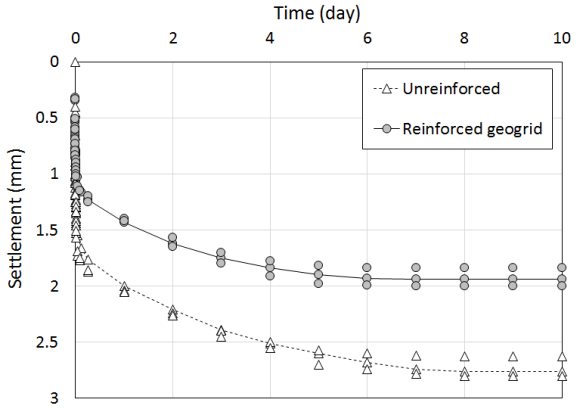


Fig. 7. Time–settlement curve with and without geogrid

의 시간-침하 실험 결과는 Fig. 7과 같다. 지오그리드가 보강되지 않은 지반(unreinfroced)과 지오그리드가 보강된 지반(reinforced geogrid) 조건에 따라 각각 3회씩 실험을 수행하였으며, 10일 후 침하 실험을 종료하였다. 침하 거동을 살펴보면 인공어초를 설치한 후 즉시 침하가 크게 발생하였으며, 이후 시간 경과에 따라 침하가 서서히 발생하는 거동을 보였다. 지오그리드의 보강 유·무에 따른 침하량을 살펴보면, 무보강된 인공어초(unreinforced AR)의 침하량은 각각 2.76mm, 2.63mm, 2.80mm로서 평균 약 2.73mm의 침하가 발생하였으며, 지오그리드가 보강된 인공어초(reinforced AR)의 경우 각각 1.84mm, 1.94mm, 2.00mm로서 평균 약 1.93mm의 침하가 발생하였다.

지오그리드의 보강에 따른 인공어초의 침하 저감비를 알아보기 위해 식 (1)과 같이 지오그리드가 보강된 인공어초와 무보강된 인공어초의 침하 관계인 침하저감비(settlement reduction ratio, SRR)를 산정하였다.

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

여기서 S(UR)은 무보강된 인공어초의 침하량(settlement of unreinforced artificial reef)이며, S(R)은 지오그리드가 보강된 인공어초의 침하량(settlement of reinforced artificial reef)이다.

지오그리드가 보강되지 않은 연약 지반의 경우 인공어초의 자중에 의해 큰 침하가 발생하게 된다. 3회의 대형 수조 침하 실험을 통해 산정된 SRR은 각각 29.7%, 30.0% 및 28.6%로서, 인공어초가 설치된 하부지반에 지오그리드를 보강함에 따라 평균 약 29.4%의 침하를 저감할 수 있다. 이러한 결과는 지오그리드가 보강된 경우 지오그리드 자체에서 발생하는 인장력과 흙 입자와 지오그리드 표면 사이의 마찰력(friction)과 억물림(interlocking)이 작용하여 지반의 지지력을 증가시켜 침하가 감소된 것으로 판단된다.

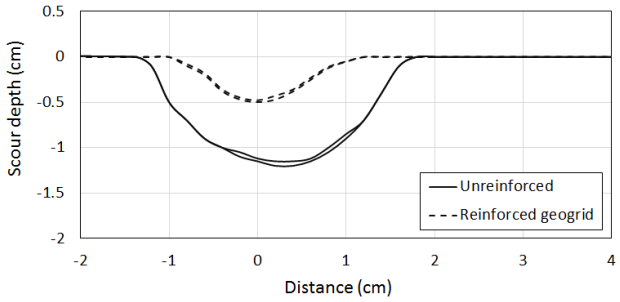


Fig. 8. Profiles of scour depth

3.2 2차원 세굴 실험 결과

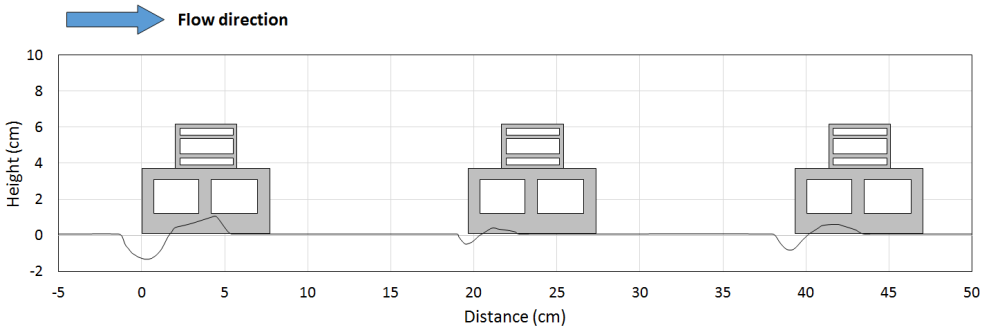
2차원 흐름 수조를 이용하여 지오그리드의 보강 유·무에 따른 사각형 복합 인공어초의 세굴 실험을 수행하였다. 무보강된 인공어초 및 지오그리드가 보강된 인공어초에 대해 각각 2회씩 실험을 수행하였다. Fig. 8은 지오그리드의 보강 유·무에 따른 인공어초 전면부에 발생한 세굴 깊이 결과이다. 반복 실험을 수행한 결과 각 조건에 따라 유사한 세굴 깊이가 나타났다. 세굴 깊이를 살펴보면 무보강된 인공어초의 경우 인공어초 전면부에서 약 1.2cm의 세굴 깊이를 보였으며, 지오그리드가 보강된 인공어초의 경우 약 0.5cm의 세굴이 발생하였다.

세굴 실험 결과를 바탕으로 식 (2)를 이용하여 인공어초 높이에 대한 세굴 깊이의 비인 세굴 깊이비(scour depth ratio, SDR)를 산정하였다. 지오그리드의 보강 유·무에 따른 인공어초의 세굴 깊이비를 산정한 결과 무보강된 인공어초의 세굴 깊이비는 약 19.8%로 나타났다. 지오그리드가 보강된 인공어초의 경우 약 8.0%로서 무보강에 비해 세굴 깊이비가 약 12% 가량 감소하였다.

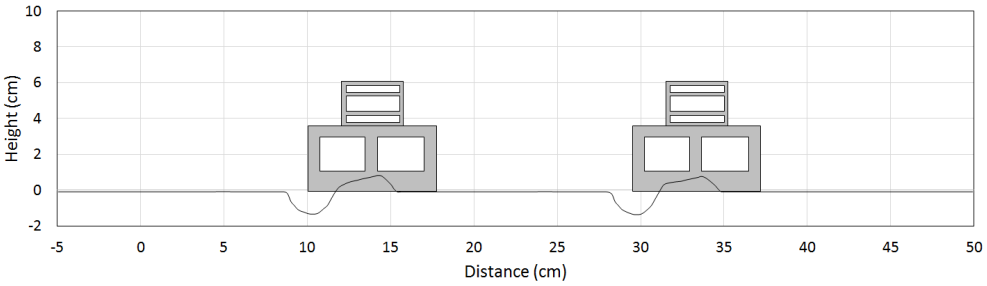
$$SDR(\%) = \frac{H_{SD}}{H_{AR}} \times 100\,(\%) \quad (2)$$

여기서, HSD는 세굴 깊이(scour depth)이며, HAR은 인공어초의 높이(height of artificial reef)이다.

Fig. 9는 세굴 실험을 통해 측정한 각 배치 조건에서 인공어초의 세굴 깊이량을 측정한 결과이다. 흐름에 의해 인공어초 전면부에서는 세굴이 발생하나 인공어초 측면부에



(a) Unreinforced artificial reef (type A)



(b) Unreinforced artificial reef (type B)

Fig. 9. Scour depth with different placement types

서는 점차 퇴적이 발생하였다. 퇴적된 지반의 높이는 세굴 깊이보다 상대적으로 낮은 높이로 퇴적되었다. 먼저 배치도 A의 경우(Fig. 9(a)) 첫 번째 인공어초에서 가장 큰 세굴이 발생하였으며, 두 번째 및 세 번째 인공어초에서는 세굴 깊이가 상대적으로 작게 나타났다. 특히 두 번째에 위치한 인공어초의 경우 세굴 깊이가 가장 작았다. 이러한 결과는 첫 번째 인공어초가 흐름에 저항하여 뒤에 설치된 인공어초의 경우 상대적으로 작은 유속의 범위에 존재하므로 세굴 깊이가 작게 나타난 것으로 보인다. 반면 배치도 B의 경우(Fig. 9(b)) 인공어초의 위치가 횡방향으로 서로 이격해 있어 첫 번째 인공어초와 두 번째 인공어초 세굴 깊이가 유사한 경향을 보였다.

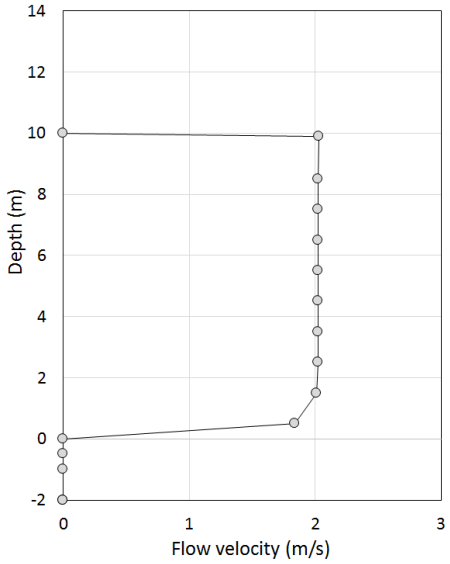
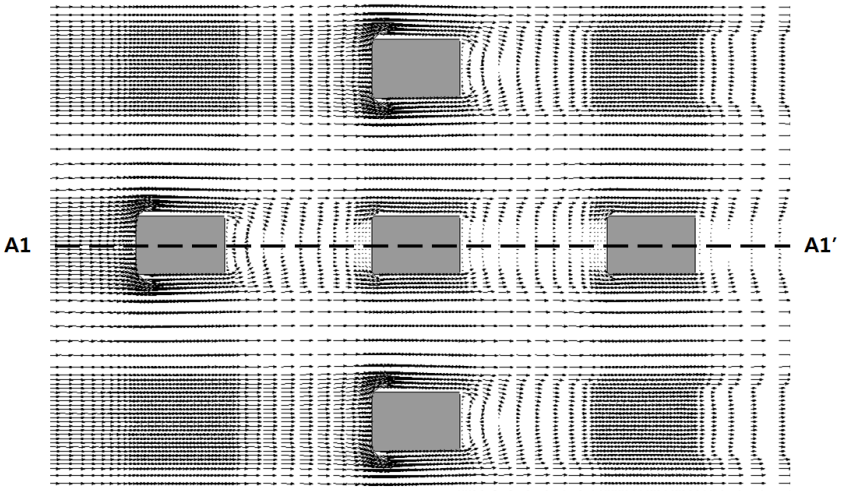


Fig. 10. Vertical flow distribution

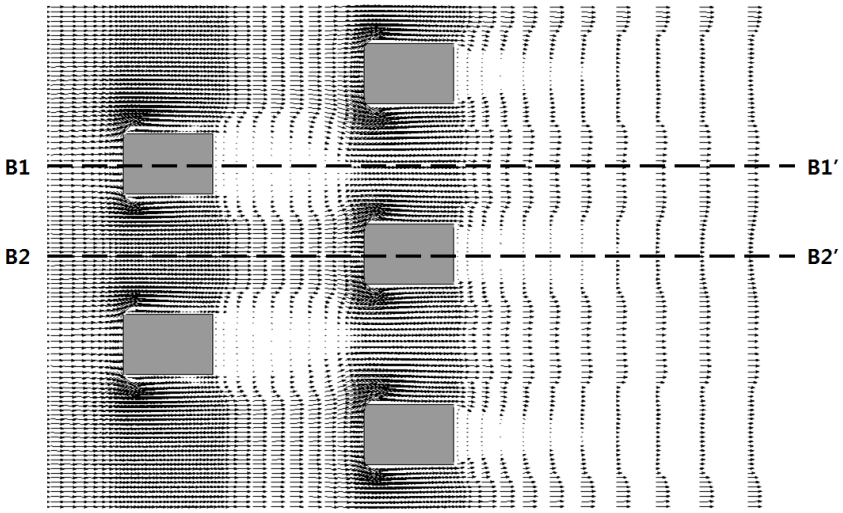
3.3 수치해석 결과

Fig. 10은 수치해석에 적용된 연직 유속 분포이다. 구조물이 없는 경우에서 유입경계 유속이 2m/s일 때를 기준으로 유입경계에서 100m 떨어진 지점에서 인공어초로 접근하는 충분히 잘 발달된 유속의 연직분포를 보였다. 최대 유속은 2.03m/s이고, 저면 마찰에 의한 전단응력이 영향을 미치는 높이는 저면으로부터 약 1.5m로 나타났으며, 전체적으로 균등한 크기의 유속 분포를 나타내었다. 여기서 유속이 0m/s인 수심 -2m～0m 구간은 해저지반으로 구성되어 있다.

Fig. 11은 유입경계 유속이 2m/s, 수심이 10m인 수치해석 조건에서 500초 이후 각 인공어초의 배치도에 따른 저층(z=0.05m)의 유속 벡터 분포이다. 유속 벡터 분포를 살펴보면 흐름 방향으로 일정하게 진행되는 유속 벡터가 인공어초에 의해 첫 번째 인공어초의 전면부 가장자리에 집중되었다. 첫 번째 인공어초의 후면부에서는 유속 벡터가 음의 값을 갖고, 크기도 작았으며, 전면부 모서리에서 집



(a) Artificial reef type A

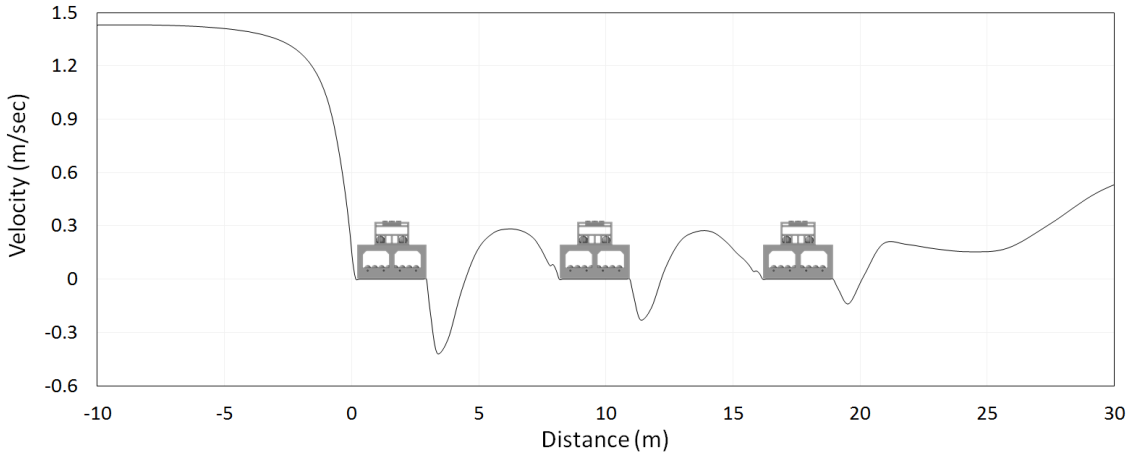


(b) Artificial reef type B

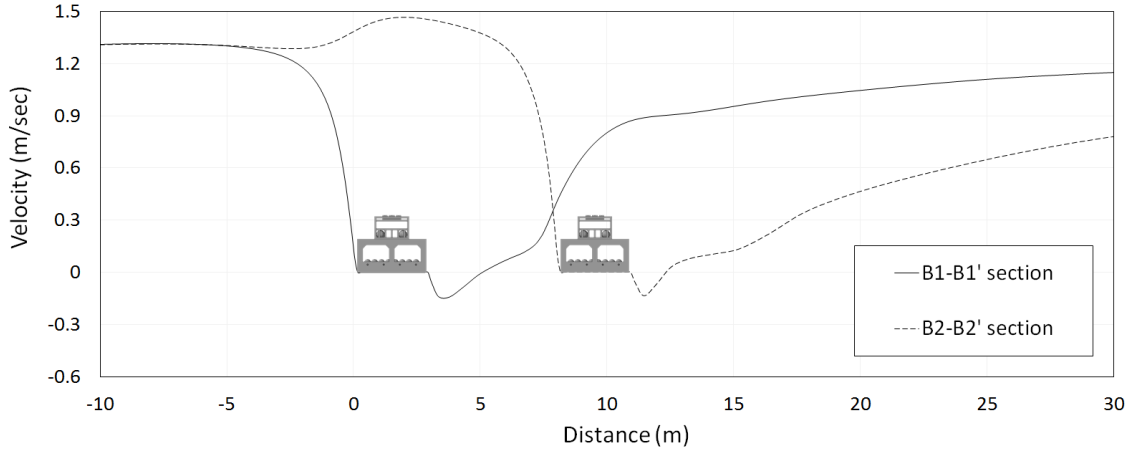
Fig. 11. Velocity vector distribution (z = 0.05 m)

중된 유속 벡터로 인해 지반 입자의 수송이 일어나 세굴이 발생하는 것으로 보인다. 각 배치도에 따른 유속 벡터 분포를 살펴보면 먼저 배치도 A(Fig. 11(a))의 경우 인공어초가 일직선으로 설치되어 있어, 두 번째 및 세 번째에 위치한 유속 벡터의 크기가 상대적으로 감소하였으나, 배치도 B(Fig. 11(b))의 경우 인공어초가 지그재그 형태로 이격하면서 배치되어 있어 첫 번째에 위치한 인공어초가 두 번째에 위치한 인공어초의 흐름 특성에 크게 영향을 미치지 않았다.

인공어초의 각 배치도에 따른 유속 분포를 살펴보기 위해 각 배치도에서 인공어초의 중심 단면에 따른 유속의 크기를 측정하였으며, 그 결과는 Fig. 11과 같다. 각 단면별 유속 분포를 살펴보면 먼저 배치도 A의 경우(Fig. 12(a)) 일정한 크기의 유속이 인공어초를 만나면서 유속이 감소하였으며, 첫 번째 인공어초를 지나면서 유속이 크게 감소하였다. 앞쪽에 설치된 인공어초가 유체의 흐름에 저항하여 뒤쪽에 설치된 인공어초에서 상대적으로 작은 유속을 유발하는 것으로 판단된다. 여기서 인공어초가 설치된 바닥 부분에서는 유속이 0m/s으로 나타났다. 유속이 마이너스 값을 가지는 경우는 수평 방향의 유속 성분이 인공어초에 의해 역방향 흐름이 발생되는 후류 영역(wake region)이다. Fig. 12(b)는 배치도 B에서 첫 번째 인공어초와 두 번째 인공어초의 각 단면에 따른 유속 분포를 나타낸다. 초기 유속 분포 경향은 배치도 A와 유사하였으나, 후류 영역의 크기는 상대적으로 작게 나타났다. 또한 인공어초가 설치된 지점을 통과하여 거리가 멀어질수록 배치도 B의 유속이 배치도 A의 유속보다 더 큰 값을 가지는 경향을 보였다. 이를 통해 배치도 B의 경우 첫 번째 인공어초가 두 번째 인공어초의 유속 저감에 큰 영향을 미치지 못하는 것으로 보이며, 이러한 결과는 앞서 수행한 2차원 흐름 수



(a) Placement type A (A–A' section)



(b) Placement type B (B1–B1', B2–B2' section)

Fig. 11. Velocity vector distribution (z = 0.05 m)

조 실험을 통해 구한 결과와 유사하다.

본 연구의 결과는 실내 실험의 한계 및 수치해석의 조건인 수심 및 유속을 단일 조건으로 수행하였으므로 일반화하기에는 한계가 있다. 따라서 추후 더 많은 실험 및 수치해석을 통해 다양한 분석 및 검증이 필요하다.

4. 결 론

본 연구에서는 사각형 복합 인공어초의 침하 및 세굴을 저감하고자 지오그리드를 보강하여 대형 수조 침하 실험, 2차원 세굴 실험 등과 같은 다양한 실내 실험을 통해 침하 및 세굴 저감 특성을 알아보았다. 또한 인공어초의 배치에 따른 실내 실험 및 수치해석을 수행하였으며, 유속 분포 및 세굴 특성을 조사한 결과는 다음과 같다.

(1) 대형 수조를 이용하여 지오그리드의 보강 유·무에 따른 사각형 복합 인공어초의 침하 실험을 수행한 결과를 살펴보면 지오그리드가 보강된 지반에서 작은 침하량을 보였다. 또한 실험 결과를 이용하여 침하저감비를 산정한 결과 평균 약 29.4%의 침하 저감을 보였다. 이는 지반 입자와 지오그리드 표면 사이의 마찰력(friction)과 억물림(interlocking)이 작용하여 지반의 지지력을 증가시킨 결과로 판단된다.

(2) 2차원 흐름 수조를 이용하여 세굴 실험을 수행한 결과, 세굴 깊이비는 무보강 지반의 경우 19.8%, 보강 지반의 경우 8%로 나타났으며, 지반을 지오그리드로 보강한 경우 약 12% 가량 세굴이 감소하였다. 또한 인공어초의 배치도에 따른 세굴 경향을 살펴본 결과 배치도 A의 경우 첫 번째 인공어초가 흐름에 저항하여 세굴이 점차 감소하였으나, 배치도 B에서는 첫 번째 인공어초와 두 번째 인공어초의 세굴 깊이가 유사하게 나타났다.

(3) 수치해석을 통해 각 배치도에 따른 유속 벡터 분포를 살펴본 결과 일정하게 진행되는 유속이 인공어초의 설치로 인해 첫 번째 인공어초의 전면부 모서리에 집중되었으며, 후면부에서는 유속이 감소되었다. 각 배치도에 따른 유속의 크기를 살펴보면 배치도 A의 경우 일정한 크기로 진행되던 유속이 첫 번째 인공어초를 지나면서 점차 감소되었으나, 배치도 B에서는 첫 번째 인공어초가 두 번째 인공어초의 유속 저감에 큰 영향을 미치지 못하였다.

Acknowledgement

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

1. Kim, D. K., Kim, W. K., Son, Y. S., Yoon, J. T., Gong, Y. G., Kim, Y. D., and Lee, J. H. (2008), Settlement Characteristics of Three Type of Artificial Reefs on Sandy Bottom in the Eastern Coast of Korea, Journal of the Korean Society of Marine Engineering, Vol.32, No.2, pp.359-364.
2. Kim, D. K., Suh, S. H., Choi, I. H., Kim, B. S., Oh, T. G., and Sonh, S. G. (2009), Installation Condition of Artificial Reefs at Middle South Sea in Korea, 2009 Joint conference of the Korean Society of Marine Engineering, pp.485-486.
3. Lee, M. J., Choi, S. K., Choo, H. W., Cho, Y. S., and Lee. W. J. (2008), Uniformity of Large Gypsum-cemented Specimens Fabricated by Air Pluviation Method, Journal of Geotechnical Engineering, Vol.24, No.1, pp.91-99.
4. MOF. (2014), Oceans and Fisheries Statistics, Ministry of Oceans and Fisheries (MOF), pp.3-158.
5. Vaid, Y.P., Sivathayalan, D.S., and Stedman, D. (1999), Influence of Specimen Reconstituting Method on the Undrained Response of Sand, Geotechnical Testing Journal, Vol.22, No. 3, pp.187-195.
6. Duzbastilar, F. O., Lok, A., Uas, A., and Metin, C., 2006. Recent developments on artificial reef applications in Turkey: hydraulic experiments. Bulletin of Marine Science, 78(1), 195-202.
7. Kim, D. K., Suh, S. H., Cho, J. K., Kim, C. G., Choi, I. H., and 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.
8. Kim, H. T. (2001), “A Study of Artificial Reef Subsidence in Unsteady Flow Field”, Jounal of The Korean Society of Ocean Engineers, Vol.15, No.2, pp.33-38.
9. Kimura, H., Ingsrisawang, V., Ban, M., 1994. A study on the local scour of cylinder artificial fish reefs. Fisheries engineering, 31, 33-40.
10. Lee, H. K. (2016), Study on the Stability and Optimal Arrangement of Seaweed Reef, Chonnam university, Maser’s thesis, pp.1-68.
11. Manoukian, S., Fabi, G., and Naar, D. F., 2011. Multibeam investigation of an artificial reef settlement in the adriatic sea(Italy) 33 years after its deployment. Brazilian Journal of oceanography, 59, 145-153.
12. NFRDI-South Sea Fisheries Research Institute. (2007), Artificial reef Management report; Jeollanam-Do Province, National Institute of Fisheries Science(NFRID), pp.15-68.
13. Oh, T. G., Otake, S., and Lee, M. O. (2011), Estimating the Effective Wake Region (Current Shadow) of Artificial Reefs. Artificial Reefs in Fisheries Management, Edited by Shinyaotake, CRC Press, Boca Raton, FL, USA, pp. 279～295.
14. Raineault, N. A., Trembanis, A. C., Miller, D. C., and Capone, V., 2013. Interannual changes in seafloor surficial geology at an artificial reef site on the inner continental shelf. Continental shelf research 58, 67-78.
15. Ryu, C. R, Chang, S. D., and Lim, K. B. (1986), A Study of Scale and Placement of Artificial Reef, Vol.28, pp.1-24.
16. Sheng, Y. P. (2000), Physical Characteristics and Engineering at Reef Sites, Artificial Reef Evaluation with Application to Natural Marine Habitats, Edited by William Seaman, JR., CRC Press, Boca Raton, FL, USA., pp.51-94.
17. Sohn, B. K. (2007), An Experimental Study on the Stability of Artificial Reefs for Shellfish and Seaweed, Journal of the Korean Society of Ocean Engineers, Vol.21, No.6, pp.120-124.
18. Sohn, B. K., Yi, B. H., and Yoon, H. S. (2011), Hydraulic Characteristics of Train Carriage Artificial Reef in Wave and Current Field Conditions, Journal of the Korean Society of Marine Engineering, Vol.35, No.1, pp.108-117.
19. Yun, S. J. and 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.