

## 거금수로에 시설된 사각형 인공어초 주변의 조류에 의한 세굴 퇴적 변화

김대권<sup>†</sup> · 이진영<sup>2</sup> · 서성호<sup>1</sup> · 김창길<sup>1</sup> · 조재권<sup>1</sup> · 차병열<sup>1</sup>

(원고접수일 : 2009년 8월 15일, 원고수정일 : 2009년 11월 10일, 심사완료일 : 2009년 11월 26일)

### Scouring and accumulation by tidal currents around cubic artificial reefs installed at Gegeom waterway

Dae-Kweon Kim<sup>†</sup> · Jin-Young Lee<sup>2</sup> · Sung-Ho Suh<sup>1</sup> · Chang-Gil Kim<sup>1</sup> · Jea-Kwon Cho<sup>1</sup> · Byung-Yul Cha<sup>1</sup>

**요 약 :** 인공어초 시설해역 1개 정점에서 15일 연속조류를 관측하였다. 정점의 최강유속은 약 82.4 cm/sec로 나타났으며, 평균유속은 최강유속보다 대략 5.9 ~ 19.0 cm/sec 정도 작은 값을 보였다. 조시별 평균유속은 12.8 ~ 28.0 cm/sec로 나타났다. 어초군 주변 4방위에 대해 시료를 채취하여 분석한 결과, 주조류방향에 따라서 서로 다른 저질로 구성되어 있는 것을 볼 수 있었다. 이와 같은 결과로 볼 때, 인공어초 전면 및 후면에서 퇴적 및 세굴이 지속적으로 발생하기 때문에 주조류 방향에 따라서 서로 상이한 저질이 분포하는 것으로 판단된다.

**주제어 :** 인공어초, 세굴, 조류, 퇴적

**Abstract:** Tidal currents were observed at 1 station of artificial reefs group during 15days. Maximum current was 82.4cm/s, and mean current showed 12.8~28.0cm/s, respectively. Flood currents magnitude were bigger than ebb ones due to wake region. To grasp sediment distributions, sediments were sampled at 4-direction(E, W, S, N) around each station. According to the results of sample analysis, sediments showed different distribution by main current direction. It showed that sediments distribution at front and back of artificial reefs were differently occurred by change of main current direction. It suggest that artificial reefs need to install after confirming tidal currents direction and sediments type.

**Key words:** Artificial reef, Scouring, Tidal current, Accumulation

### 1. 서 론

연안어장은 지속적인 오염 증가와 간척 등으로 어장이 축소되고 있으며, 수산자원의 생산량도 점차적으로 감소하고 있다. 연안해역에서 수산자원의 번식과 보호를 위한 수단으로 정부는 막대한 예산을 투자하여 수중에 구조물(인공어초)을 시설함으로써 해양생물의 산란장 및 서식장을 인위적으로

조성하고 있다. 이러한 목적으로 시설된 인공어초 어장은 2007년 말 현재 198,151ha이다(국립수산과학원, 2008)[1].

이 연구가 이루어진 거금수로의 조류와 해양환경에 관한 연구는 수로국(1978)[2]의 25시간 조류 관측 결과와 전라남도(1993)[3]가 조사한 거금수로내의 고흥군 풍남, 가화 지역어장의 입체적 이용

<sup>†</sup> 교신저자(국립수산과학원 남해수산연구소, Email:daikweon@nfrdi.go.kr, Tel:061-690-8984)

1 국립수산과학원 남해수산연구소

2 오션주식회사

방안에 관한 연구, 거금수로 해역의 수온과 염분의 변동(추, 1997)[4] 등이 있다. 거금수로내의 조류는 창조류시 북류한 남해외해수가 수로 서쪽으로 빠져 나가며, 수로 서쪽은 녹동과 소록도 사이의 협수로와 소록도와 거금도 사이의 수로가 있으며 수로 모두 득량만과 연결된다. 낙조류시는 득량만의 만내수가 수로의 남쪽 외해로 빠져나간다. 따라서 거금수로는 남해의 외해수가 득량만으로 유입되는 입구로 해수교환이 이루어지는 곳이다.

인공어초는 지반위에 시설되게 되면 여러 가지 해양학적 물리외력에 대해 구조적 불안정성을 야기하게 되는데, 그 중에서도 세굴 및 퇴적은 인공어초기능의 일부 및 전부를 소실케 하는 요소로서 인공어초의 어장 조성시 반드시 고려되어야 하는 부분이다. 인공어초어장의 세굴 및 퇴적이 일어나는 가장 큰 요인은 흐름과 파랑이며, 본 연구해역인 거금수로는 조류로 인한 유속이 매우 발달된 곳이며, 시설된 곳이 수심 20m이심으로 파랑의 영향은 비교적 적을 것으로 판단되는 해역이다. 따라서 거금수로에 시설된 인공어초의 세굴 및 퇴적특성을 파악하기 위하여, 조류로 인한 유속 및 유향의 변화가 인공어초어장의 지반에 대한 세굴 및 퇴적에 어떠한 영향을 미치는 지를 분석하여 향후, 인공어초 사업에 있어 그 기능과 효과를 극대화하고자 한다.

## 2. 연구 방법

인공어초의 영향을 받는 조류의 특성을 파악하기 위하여 정점 St. 1에서 2008년 3월 16일 동안 연속조류 관측을 실시하였다. 유속이 측정된 거금수로는 거금도와 고흥사이의 협수로로서 창조류시에는 수로의 동입구에서 북류하여 점차 유속을 가속화하면서 육안으로 압류하는 경향을 나타내는 곳으로 최강 창·낙조류시 약 0.5~1.3m/s의 유속분포를 보이는 곳이다[5]. 유속계는 관측정점 수심 24.5 m 지점에 설치하여 어초의 영향을 받는 조류 특성을 파악하였다. 유속계를 설치한 후 매 10분 간격으로 유향과 자료를 취득하였으며, 관측된 결과는 조류 조화분석을 수행한 후, 어초 주변의 조류 특성을 파악하는데 사용하였다. 정점 St. 1의 연속조류관측 결과는 Canada 해양연구소

M.G.G. Forman에 의해 개발된 IOS Tidal Package를 사용하여 조류조화분석을 실시하였으며, 유속성분을 동방성분과 북방성분으로 분해한 후 TASK (Tidal Analysis Software Kit) Package를 사용하여 조류조화분해를 실시하여 4개의 조류조화상수를 계산하였다. 관측된 조류자료를 대상으로 유향에 대하여 16방위로, 유속에 대하여 0~최강유속 범위에서 10 cm/sec 간격으로 유향/유속의 출현율을 계산하였다. 그리고 인공어초의 세굴 및 퇴적특성을 파악하기 위하여 실제 해역에 시설된 인공어초에 대하여 측면주사 음파탐지기 (Side Scan Sonar), 다중빔 음향측심기(Multi Beam Echo Sounder)를 이용하여 어초의 세굴, 매몰 현상이 현저히 나타나는 구역 7개소(St. 2 ~ St. 8)에서 Sum-Bottom Profiler 조사와 함께 저질시료에 대한 퇴적물실험을 실시하였으며, 이중 St. 4에서는 4방위의 시료를 채취하여 저질시료에 대한 퇴적물 실험으로서 함수비, 비중, 액성한계, 소성한계, 입도분포 등의 저질퇴적물 실험을 실시하여 인공어초의 시설지반에서의 세굴 및 퇴적특성을 조사하였다. 또한 지층탐사 통하여 인공어초의 시설지에서 세굴발생 및 깊이를 조사하였다 (Figure 1).

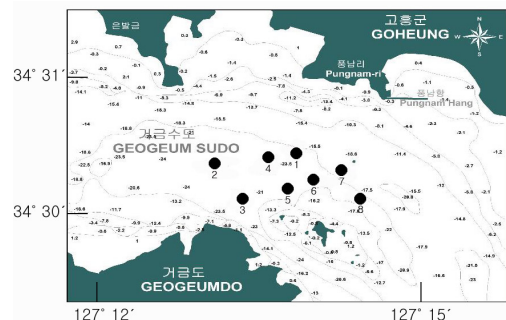


Figure 1: Locations and bathymetry around the study area.

## 3. 결 과

### 3.1 인공어초 시설해역 연속조류관측 결과

정점 St. 1에서는 약 79.3% 이상이 30 cm/sec 이하의 유속을 나타내고, 창조시에는 WNW 방향의 흐름이, 낙조시에는 E와 ESE 방향의 흐름이

우세한 것으로 나타났다. 정점 St. 1에서 최강유속은 약 82.4 cm/sec로 나타났다(Table 1). 상위 5% 평균유속은 최강유속보다 대략 5.9 ~ 19.0 cm/sec 정도 작은 값을 보인다. 조시별 평균유속은 12.8 ~ 28.0 cm/sec로 나타나고 있으며, 창조류 시가 낙조류시보다 유속이 상당히 크게 나타남을 알 수 있다(Figure 2).

잔차류는 장기적인 물질분포를 결정하는 중요한 요소이다. St. 1에서의 관측결과 잔차류는 유속이 7.43 cm/sec, 유향은 296.6°로 시간에 따라 큰 변화를 보이지 않고 북서 방향으로 거의 일정하게 존재하는 것을 알 수 있다(Figure 3).

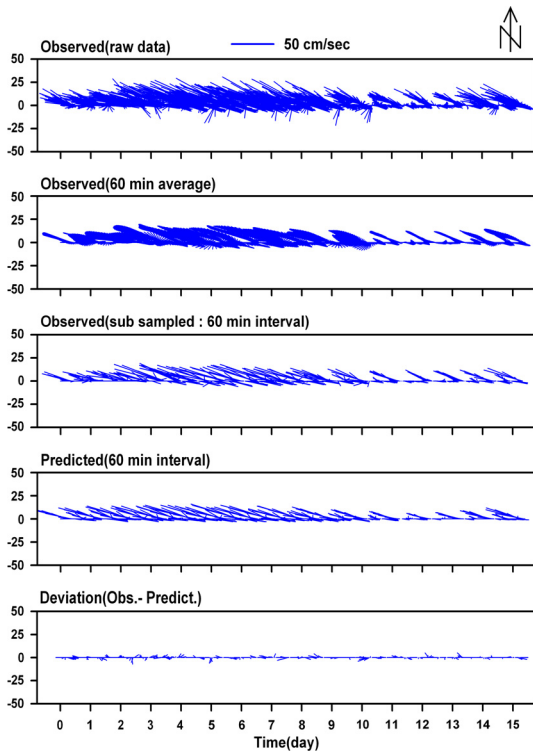


Figure 2: Stick vector diagrams current velocity at St.1

Table 1: Results of current analysis of St.1

Obs. Station	Obs. Period (16 day)	Max.		5%		10%		50%		Mean current velocity (cm/sec)	
				Mean current velocity		Mean current velocity		Mean current velocity			
		flood tide	ebb tide	flood tide	ebb tide	flood tide	ebb tide	flood tide	ebb tide	flood tide	ebb tide
St. 1	Mar. 2008	82.4	30.8	63.4	24.9	55.7	22.9	24.9	12.0	28.0	12.8

Table 2: Residual currents of St.1

Obs. Station	Obs. Period (16 day)	traveling distance (km)	progressive traveling distance (km)	Residual velocity (cm/sec)	Residual direction (deg.)
St 1	Mar. 2008	99.59	266.40	7.43	296.60

정점 St. 1에서는 M<sub>2</sub>분조의 크기가 전체의 33.8%를 차지하고 있으며, 주요 4대분조인 M<sub>2</sub>, S<sub>2</sub>, K<sub>1</sub>, O<sub>1</sub> 분조의 합은 전체의 66.0%로 나타났다. 하지만, M<sub>2</sub>와 S<sub>2</sub>분조의 합이 전체의 52.4%를 차지하여 이 해역이 반일주조 성분이 우세하다는 것을 보여준다. 단기 조류 조화분석한 타원요소를 Figure 3에 조류타원도로 나타냈으며, 단기 조류 조화분석 결과 잔차류는 정점 St. 1에서는 유속이 0.4 cm/sec로 서남서 방향으로 나타났다. 이 결과는 Table 2의 결과와 비교하면 유향은 유사하지만, 유속의 크기는 단기 조류 조화분석한 결과가 크게 나타났는데, 이는 단기 조류 조화분석시의 값은 대조기의 값이고, Table 2는 16일간의 평균값이기 때문이다.

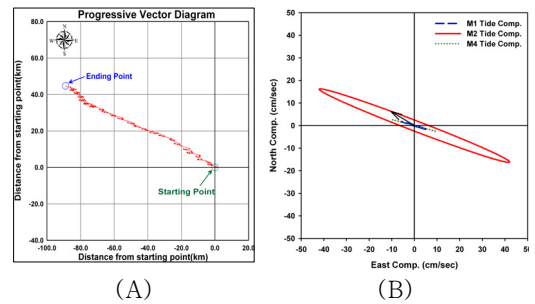


Figure 3: Progressive vector diagrams of the current (A) and tidal current ellipses(B) at St.1

Table 3 Tidal and current harmonic analysis during 16days of spring tide.

Sta.	axis	diurnal tide(V1)			semidiurnal tide(V2)			1/4diurnal tide(V4)			Residual current		V1 /V2	V4 /V2
		Dir.	Vel.	Amp	Dir.	Vel.	Amp	Dir.	Vel.	Amp	Dir.	Vel.		
St.1	major	107	6.1	10.5	111	45.0	3.5	105	10.0	0.4	299	12.1	0.13	0.22
	minor	197	0.2	16.5	201	2.3	6.5	195	0.0	1.9				
	Major/minor	0.02			0.05			0.00						
	Angle	CCW			CCW			CW						

\* CW : Clockwise, CCW : Counter Clockwise

3.2 인공어초 시설지반의 세굴 퇴적특성분석결과

3.2.1 St. 4의 4방위 저질시료의 분석 결과

저질시료의 시험결과 St 4의 동, 서, 남측 시료의 경우 점토(CL)로 분석되었으나 북측 시료의 경우 자갈의 함량이 높아 실트질자갈(GM)으로 분석되었다. 이와 같은 분석 결과로 볼 때, 평탄한 해역에 인공어초라는 구조물의 시설됨에 따라서 조류에 의하여 인공어초 전면 및 후면에서의 퇴적 및 세굴이 지속적으로 발생하기 때문에 조류의 방향에 따른 저질구성이 상이한 것으로 판단된다(Table 4).

**Table 4: Results of Sediment samples test of St.4 at 4-direction.**

Observation Station	Unified Soil Classification System	Specific gravity (Gs)	Atterberg limits(%)			Grain size distribution(%)			
			LL	PL	PI	Gravel	Sand	Silt	Clay
St.4(E)	CL	2.675	42.07	25.46	16.61	-	13.82	38.49	47.69
St.4(W)	CL	2.665	42.42	25.60	16.82	-	26.10	33.44	40.46
St.4(S)	CL	2.699	47.80	26.25	21.54	-	3.10	48.11	48.79
St.4(N)	GM	2.636	N.P			60.47	19.26	13.41	6.86

3.2.2 인공어초 시설지반의 세굴 분석 결과

전남 인공어초 조사대상 해역의 인공어초의 세굴 현상을 조사하기 위해서 잠수조사와 Multi Beam Echo Sounder 조사를 통하여 확인하였다[6]. 확인결과, 어초의 평균 세굴량은 0.32 m 로 조사되었다. 사각형어초에서 최대 2.1 m 평균 0.4 m 로 거름수로 일대의 다른 어초의 세굴량보다 비교적 높은 세굴량을 보이고 있다(Table 5). Table 5와

**Table 5: Scouring of Sea bottom by artificial reefs in Jeonlanamdo.**

	Reef modules (Ind.)	Scouring			
		Max. (m)	Mean. (m)	Over 0.5m	
				Reef modules (Ind.)	ration (%)
square reef	162	2.1	0.4	67	41.4
Hemispheric reef	66	1.4	0.2	7	10.6
JUMBO reef	27	1.2	0.4	11	40.7
Overbridge reef	6	0.4	0.2	0	0.0
TUBOS reef	19	1.1	0.4	5	26.3
Steel reef for soft sea bottom reef	4	0.2	0.1	0	0.0
계	284			90	31.7

같이 세굴량이 0.5 m 이상인 단위어초가 90군데로 전체 단위어초중 약 31.7%에 달하는 것으로 조사되었으며, 연구 대상해역 7개 지점의 단위어초 중 2개 지점에서 0.5m 이상의 세굴량을 보였다 (Table 6).

**Table 6: Over 0.5m of scouring and burial depth at Sea bottom installed unit artificial reef in the study area.**

	Reef modules (Ind.)	scouring (m)	Sedimentary burial depth (m)	settlement burial depth (m)	total burial depth (m)
St. 2	square reef		0.7		0.70
St. 3	square reef	1.0		1.20	1.20
St. 4	square reef		0.8	0.20	1.00
St. 5	square reef	0.4	0.7		0.70
St. 6	square reef		0.7	0.35	1.05
St. 7	square reef	0.6	1.3		1.30
St. 8	square reef	0.8	1.1		1.10

3.3 Sub-Bottom Profiler를 이용한 매몰 조사 결과

단위어초 주변의 퇴적상과 단위어초의 퇴적량을 산정하기 위하여 Multi Beam Echo Sounder, Side Scan Sonar 자료를 취합하여 어초의 세굴 현상이 현저히 나타나는 구역 7개소를 선정 Sub-Bottom Profiler 조사를 수행하였다.

대부분의 해저면 퇴적층은 1.0 ~ 4.0 m의 층서 두께 분포를 보이고 있으나 St. 4 인공어초 주변은 10 m 내외의 퇴적층을 형성하고 있어 시간의 경과에 따라서 인공어초의 매몰이 지속적으로 진행될 것으로 판단되며, a-a단면방향으로 퇴적이 많이 진행되고 있으며, 전반적으로 표층 퇴적물에 의해 0.5~1.0m 정도 매몰이 진행되는 경향을 보이고 있고, St. 4(사각형 인공어초)는 4단 분산 시설되어 있으므로 시간의 경과에 따라서 완전히 매몰될 수 있을 가능성도 배제 못하므로 지속적인 관찰이 필요할 것으로 판단된다(Figure 4, Figure 5). 구역별 세부적인 조사내용을 살펴보면 조사구역 중 사각형 어초가 시설되어진 St. 3구역은 2.0 ~ 3.0 m의 니질의 해저면 퇴적층이 형성되어 있으며 1.0 ~ 3.0 m 가량의 세굴이 진행중이었다. St. 4은 니사질로 판단되는 퇴적층으로 추정되며, St. 6의 인공어초는 1.0 ~ 3.0 m 가량의 사니질의 퇴

적층 위에 시설되어 있다.

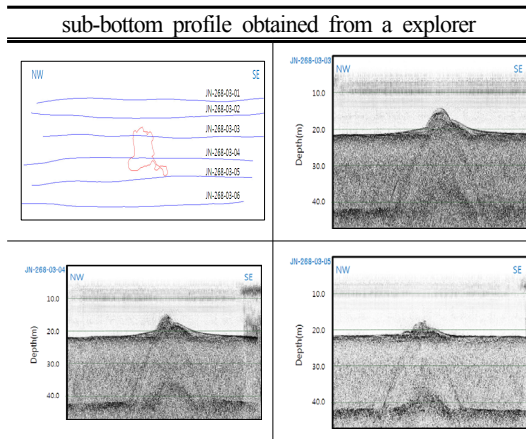
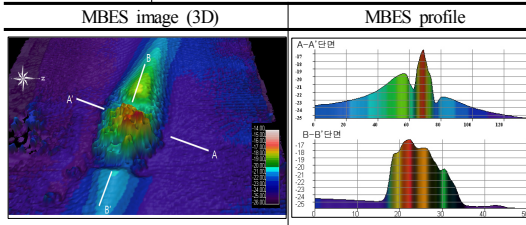


Figure 4: Sub-bottom profile at St.4

Unit artificial reef of St. 4	
Type	Cubic reef
Total area	395 m <sup>2</sup>
The Number of reef	100(Ind.)
Size	35×31 m



- Unit reef MBES profile A-A' : Depth 17.0 m ~ 25.0 m, Distance 1.0 m
- Unit MBES profile B-B' : depth 17.0 m ~ 25.0 m, Distance 1.0 m

Figure 5: MBSS image and profile of square reefs.

#### 4. 결 론

인공어초 시설해역 2개 정점에 대한 15일 연속 조류를 관측한 결과, 정점 St. 1에서 최강유속은 약 82.4 cm/sec로 나타났다. 상위 5% 평균유속은 최강유속보다 대략 5.9 ~ 19.0 cm/sec 정도 작은 값을 보였으며, 조시별 평균유속은 12.8 ~ 28.0 cm/sec로 나타났다. 전반적으로 창조류시가 낙조류 시보다 유속이 상당히 크게 나타남을 알 수 있는데, 이는 설치된 유속계 인근의 어초군의 영향으로 창조류시는 어초군의 영향을 받지 않지만, 낙조류

시는 어초군이 방조제와 같은 역할을 함으로써 유속이 약화되기 때문으로 사료된다. 정점 St. 4 단위어초에서는 어초를 중심으로 4방위로 시료를 채취하여 분석한 결과, 주조류방향에 따라서 서로 다른 저질로 구성되어 있는 것을 볼 수 있었다. 이와 같은 결과로 볼 때, 인공어초 전면 및 후면에서 퇴적 및 세굴이 지속적으로 발생하기 때문에 주조류 방향에 따라서 서로 상이한 저질이 분포하는 것으로 판단된다. 해저면의 퇴적층의 두께가 대부분 1.0~4.0 m을 보였으나, St. 4은 1.0~3.0 m 정도의 퇴적층을 가지고 있는 지점에 인공어초가 시설되어 시간의 경과에 따른 침하가 지속적으로 나타날 것으로 사료된다. 그러므로 인공어초 시설시에는 퇴적층의 두께를 확인하여 인공어초를 시설하는 것이 필요할 것으로 판단된다.

#### 참고문헌

- [1] 국립수산과학원, “인공어초 시설실적(1971~2007)”, 2008.
- [2] 수로국, 나로도 부근일대 조류관측결과. 수로기술연보, 1978.
- [3] 전라남도, “고흥군 풍남, 가학지역 어장의 입체적인 이용방안에 관한 연구보고서”, 1993.
- [4] 추효상, 이규형, 윤양호, “거금수로 해역의 수온과 염분의 변동”, 한국수산학회지, 제 30권, 제 2호, pp. 252~253, 1997.
- [5] 국립해양조사원, “조류도(여수에서 완도)”, 2001.
- [6] 국립수산과학원, “전라남도 인공어초 어장관리사업 보고서”, 2008.

#### 저 자 소 개



#### 김대권(金大權)

1956년 8월생. 2006년 제주대학교 수산생물학과 졸업(이학박사). 1976-현재 국립수산과학원남해수산연구소, 해양수산연구소



### 서성호(徐聖昊)

1972년 6월생. 2008년 전남대학교 해양공학과 졸업(공학박사). 현재 국립수산과학원 .해양수산연구소



### 이진영(李鎭泳)

1976년 5월, 2008년 전남대학교 해양학과대학원. 2009.8-현재 (주)오션



### 김창길(金昌吉)

1956년 12월생.1996년 일본동국대학원(공학박사). 1976-현재 국립수산과학원 서해수산연구소. 해양수산연구소



### 조재권(趙宰港)

1969년 12월생. 2000년 여수대학교 수산생물학과 졸업(이학박사). 1999-현재 국립수산과학원남해수산연구소. 해양수산연구소



### 차병열(車炳烈)

1963년 8월생. 1999년 부경대학교 해양학과 졸업(이학박사). 1993-현재 국립수산과학원동해수산연구소. 해양수산연구소