

## 연안 해역 인공어초의 수리모형실험 Hydraulic model test on the artificial reefs placed in coastal zones

신문섭<sup>1</sup>·이동주<sup>1</sup>·김재형<sup>2</sup>  
Moon Seup Shin<sup>1</sup>, Dong Joo Lee<sup>1</sup>, Jae Hyoung Kim<sup>2</sup>

### 1. 서 론

연안해역은 육지의 대륙붕을 따라 존재하기 때문에 육지로부터 담수의 영향을 크게 받고 영양염이 풍부하고 수심이 얕기 때문에 저층에 침강했던 영양염도 쉽게 유광층(有光層)으로 이동하는 등 생물활동이 활발한 해역이다. 따라서 면적으로는 많은 비율을 차지하지 않지만 연안해역의 어획가능량은 전세계의 약 50%에 달한다고 한다. 그리고 연안해역에는 육안(陸岸)에서 공급되는 여러 형태의 물질이 해양 중의 물질과 합류되기 때문에 화학적으로도 다양한 반응이 활발하게 일어나고 있다. 최근 들어 이러한 연안해역에 매립 및 간척사업 등으로 인한 어장축소와 공단조성이나 오염으로부터 오는 어장폐쇄, 오염원의 증대 등으로 수산생물의 생산량을 감소시키고 있다. 연안해역의 다양한 생태계 보전과 생산기능의 강화를 위해서는 해역에 인공어초 사업에 의한 어장환경 조성사업을 실시하여 연안해역의 개발 후 해양환경을, 개발 전의 해양환경으로 만들어 주어야 한다. 어장환경 조성기술 개발을 위한 일환으로 인공어초의 개발은 우선 "왜 어초주위에 어패류가 모이는가?"라는 지금까지 연구된 집어(위집)기능에 관한 종래학설을 요약하여 어류특성에 알맞은 인공어초를 개발하는 것이 바람직하다. 본 실험은 제주외항 해역을 대상으로 부근 해역의 기상, 해상, 해저 등 물리적인 조건과 생물조건을 고려하고 천연초, 어장이용 현황, 어업동향, 유통 등 어장조건을 명확히 하여 인공어초의 규모, 구조, 배치 등을 검토한 어장환경조성을 통하여 제주외항 해역의 개발에 따른 어장손실이나 오염에서 오는 장폐쇄 등

피해영향을 보완할 수 있는 어초 모형을 제시한다.

### 2. 기초자료조사

#### 2.1 조석특성

제주항의 조석은 조석 형태수(Tide Factor)  $F=(H'+H_0)/(H_m+H_s)=0.40$  으로 반일주조가 우세한 혼합형의 조석으로 매일 두 번의 고조와 저조가 나타나지만 높이 및 출현시간의 부등은 심하다. 제주항의 평균 만조간격은 달의 자오선 경과시로부터 10시 31분이며, 제주항의 대조차 및 소조차는 각각 202.8cm 및 82.4cm 로서 서귀포항보다는 약간 낮다. 제주항의 약최고만조위, 대조평균만조위는 각각 283.4cm 및 243.1cm 로 나타났으며, 국립 해양 조사원에서 1964 ~ 1999년까지 조사된 자료에 의하면 1974년 8월에 관측된 제주항의 기왕 고극조위는 DL.(+) $3.24c m$  로 조사되었다.

#### 2.2 파랑특성

심해 설계파 제원은 최근까지 연구 발표된 제주항의 심해설계파에 대하여 각종 자료를 조사·정리한 결과 심해 설계파는 서방파제 NNW 파향의 7.0m 파고, 동방파제 NE 파향의 4.7m 파고를 나타내고 있다.

#### 2.3 해양 동·식물상

- 조사항목 : 저서생물, 해산어, 어란 및 치자어
- 조사지점 : 조사항목별로 제주외항 주변지역을 중심으로 4개 지점

<sup>1</sup> 群山大學校 土木·環境工學部 教授

<sup>2</sup> 群山大學校 土木·環境工學部 大學院

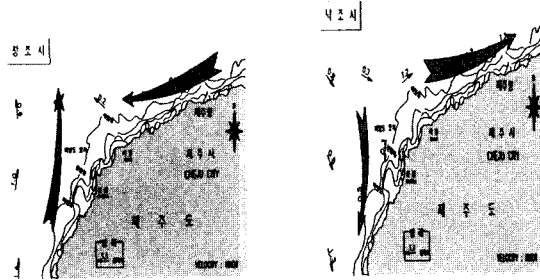


Fig. 1. 조류도.

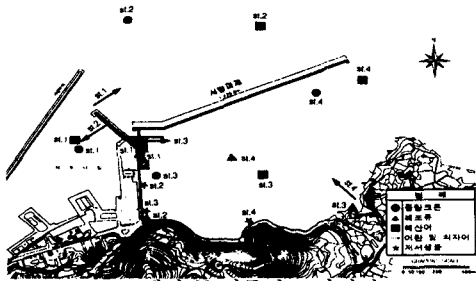


Fig. 2. 해양 동·식물상 조사지점도.

### 3. 제주항 주변 해역의 어종과 어초의 위치관계

#### 3.1 어종과 어초의 위치관계

- I형 : 어초에 어체 전부 혹은 일부분을 접촉시키는 어종(쥐노래미, 조피볼락, 솜뽕이, 볼락 등)
- II형 : 어초에 어체를 접촉시키지는 않지만, 어초의 주위를 유영하는 어종(참돔, 돌돔, 농어, 벤자리 등)
- III형 : 거의 몸을 어초에 접촉시키지 않지만 가까운 거리에서 항상 어초를 필요로 하는 어류로서 먹도미, 돌돔, 뽕어돔 등이 있고 일반적으로 암초성이라고도 하며, 크라르 핏슈 등이 여기에 속한다.
- IV형 : 어초의 존재가 반드시 필요한 것은 아니지만 어초가 있으면 이곳에 정위행동을 취한다. 이들은 유체자극만으로도 생활이 가능한 어류이고 전갱이, 고등어, 방어 등이 이것에 속한다.
- V형 : 고행체의 존재를 전혀 필요로 하지 않고 유체자극만으로도 생활이 가능한 어류이며 다랑어, 청새치, 꽂치, 연어, 송어 등이 이것에 속한다.

#### 3.2 어초의 선정이유

국립 수산진흥원에서 수행한 “한국연안 인공어초의 자원 조성 효과에 관한 연구자료”와 “제주의항 방파제(1 단계) 축조를 위한 실시 설계 용역 환경영향

평가서(2000)”에서 제주해역의 생물 조사자료를 참고로하여 제주해역의 어초어장에서 어획된 어종을 어초에 모여든 유형별로 살펴보면 I-II형은 3-4종, III-V형은 6-13종으로 대체로 각 어장에서 주성을 갖는 어종이 많이 어획되었으며 그 중 III-V형에 속하는 어종수는 I-II형에 속하는 어종수보다 2-9종이 더 많이 어획되어 조사된 1개 어초 단지가 어초군 전체로서 유효 어획범위 안에 있음을 알 수 있다.

Table 1. 제주도 연안에 투하된 인공어초 어장의 규모별 낚시에 의해 어획된 어종수(1989-90)

조사장소 (지질번호)	시설량 (어초용량)	어초에 모여든 어류형태					합계	주요 어획 어종
		I	II	III	IV	V 기타		
제주 남제주군 은행 (47)	1,380㎡ (사각형)	0	2	1	9		농락류, 말귀치, 뽕망이, 송쟁어	
제주 서귀포 임원동 (48)	2,496㎡ (원통형)		6	2	8		달랑, 말귀치, 갈대	
제주 서귀포 임원동 (49)	3,200㎡ (사각형)	4	1	4	9		농락류, 말귀치, 뽕망이	
제주 북제주군 할미리 (50)	10,000㎡ (사각형)	3	3	1	7		말귀치, 뽕망이, 갈대	

Table 2. 제주도 연안에 투하된 인공어초 어장규모별 삼중다망에 의해 어획된 어종수(1989-90)

조사장소 (지질번호)	시설량 (어초용량)	어초에 모여든 어류형태					합계	주요 어획 어종
		I	II	III	IV	V 기타		
제주 남제주군 은행 (47)	1,380㎡ (사각형)	6	2	1	9		농락류, 말귀치, 뽕망이, 송쟁어	
제주 서귀포 임원동 (48)	2,496㎡ (원통형)		6	2	8		달랑, 말귀치, 갈대	
제주 서귀포 임원동 (49)	3,200㎡ (사각형)	4	1	4	9		농락류, 말귀치, 뽕망이	
제주 북제주군 할미리 (50)	10,000㎡ (사각형)	3	3	1	7		말귀치, 뽕망이, 갈대	

### 4. 해역의 수심별·인공어초의 높이별 설계조건

#### 4.1 설계 조건

해역의 파고( $H_{1/3}=7m$ )와 유의파주기( $T_{1/3}=11sec$ )  
 설계유속 :  $U_H=0.62 m/s$  (1.2knot 해표면)  
 파향 : 흐름의 주방향은 파향(NNW)은  $22.5^\circ$  )  
 설치수심 :  $h=26m, (20m, 23m)$ ,  
 설치방법 : 바다표면에서 자유낙하  
 설치장소의 저질조건 :  $d_{50}=0.47mm$   
 마찰계수 : 어초와 모래지반과의 마찰계수는 0.6  
 지반반력계수 :  $k=5,000 ton/m^2$

항력계수 :  $C_D=2.0$ , 부가질량력 계수 :  $C_{MA}=1.0$   
 가상질량력계수 :  $C_M=C_{MA}+1=2.0$   
 해수의 단위체적중량 :  $w_0=1.03 \text{ ton/m}^3$   
 중력가속도 :  $g = 9.8 \text{ m/sec}^2$

## 4.2 안정 계산

### 4.2.1 수심 26m 인공어초의 높이 8m 에서 설계

1. 활동에 대한 안정성 검토

$$S_{FS} = \frac{W(1 - w_0/\sigma_0)}{F} \frac{l_V}{l_A} \geq 1.2$$

$$S_{FS} = \frac{83,728 \times 0.6 \times (1 - 1.03/2.45)}{23.992} \frac{2.5}{2.5} = 1.213 \geq 1.2$$

2. 전도에 대한 안정성 검토

$$S_{FS} = \frac{W(1 - w_0/\sigma_0)}{F} \frac{l_V}{l_A} \geq 1.2$$

$l_V$  : 어초중심의 저면에서 전도중심까지 거리  
 $l_A$  : 흐름에 직각인 어초 정사영면의 도심까지의 높이

$$S_{FS} = \frac{83,728 \times (1 - 1.03/2.45)}{23.992} \frac{2.5}{3.86} = 1.31 \geq 1.2$$

### 4.2.2 수심 20m 인공어초의 높이 5m 에서 설계

1. 활동에 대한 안정성 검토

$$S_{FS} = \frac{W(1 - w_0/\sigma_0)}{F} \geq 1.2$$

$$S_{FS} = \frac{63,286 \times 0.6 \times (1 - 1.03/2.45)}{20.605} = 1.068 < 1.2$$

2. 전도에 대한 안정성 검토

$$S_{FS} = \frac{W(1 - w_0/\sigma_0)}{F} \frac{l_V}{l_A} \geq 1.2$$

$$S_{FS} = \frac{63,286 \times (1 - 1.03/2.45)}{20.605} \frac{2.5}{2.5} = 1.78 \geq 1.2$$

### 4.2.3 수심 23m 인공어초의 높이 5m 에서 설계

1. 활동에 대한 안정성 검토

$$S_{FS} = \frac{W(1 - w_0/\sigma_0)}{F} \frac{l_V}{l_A} \geq 1.2$$

$$S_{FS} = \frac{63,286 \times (1 - 1.03/2.45)}{20.605} \frac{2.5}{2.5} = 1.78 \geq 1.2$$

2. 전도에 대한 안정성 검토

$$S_{FS} = \frac{W(1 - w_0/\sigma_0)}{F} \frac{l_V}{l_A} \geq 1.2$$

$$S_{FS} = \frac{63,286 \times (1 - 1.03/2.45)}{20.605} \frac{2.5}{2.5} = 1.78 \geq 1.2$$

## 5. 어초별 평면 3차원 조파실험

### 5.1 실험을 위한 자료수집 및 분석

해역의 파고( $H_{1/3}=7\text{m}$ )와 유의파주기( $T_{1/3}=11\text{sec}$ )  
 설계유속 :  $U_H=0.62 \text{ m/s}$  (1.2knot 해표면)  
 파향 : 흐름의 주방향은 파향(NNW)은  $22.5^\circ$  )  
 설치수심 :  $h=26\text{m}$

### 5.2 어초의 중량조건 결정

어초의 용적 :  $34.1747\text{m}^3$   
 어초의 중량 :  $83,728 \text{ ton}$   
 축척 1/60 의 중량 :  $83,728,000\text{g} / 60^3 = 387.6\text{g}$   
 바다의 밀도를 고려한 경우의 어초 목적중량 :  $376\text{g}$

### 5.3 어초의 배치 및 안정성 실험

어초의 안정성 실험을 위하여 원형수심 26m(모형 수심 : 0.43m)에서 단체어초와 4 개의 단체어초로 구성된 군체어초군으로 배치하였으며, 파발생 시간은 심해파고 추정에서 심해파고가 7.0m 일 때 취송시간이 9 시간이므로, 시간 축척을 고려하여 70 분동안 파를 발생시켜 안정성을 실험하였다.

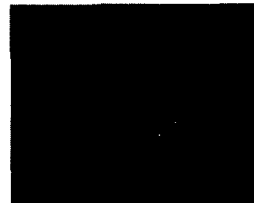


Fig. 3. 단체어초.

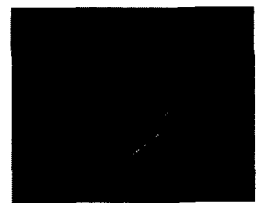


Fig. 4. 군체어초.

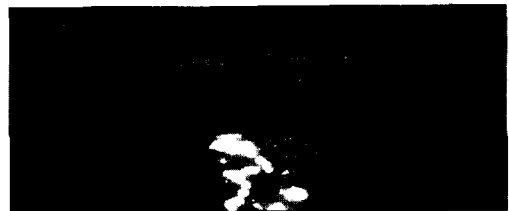


Fig. 5. 어초의 안정성 실험중 파 발생사진.

## 6. 결 론

해역의 설치수심(h)별 · 인공어초의 높이별 설계 조건을 고려하여 안정성을 검토한 결과 인공어초의 높이가 8m · 해역의 설치수심(h)이 20m 인 경우에는 활동에 대해서는 불안정하였으나, 설치수심(h)이 23m 인 경우에는 활동과 전도 모두 안정하였다.

어초의 안정성 실험을 위하여 원형수심 26m(모형 수심 : 0.43m)에서 단체어초와 4 개의 단체어초로 구성된 군체어초군으로 배치하였다. 파의 발생시간은 유의 파고 7.0m(모형 유의파고 : 0.1167m)로 하여 심해파고 추정에서 심해파고가 7.0m 일 때 취송시간 은 9 시간이 되므로 시간 축척을 고려하면 70 분 동안 파를 발생시켜 단체어초와 4 개의 단체어초로 구성된 군체어초군으로 배치하여 어초의 안정성 실험을 하였다. 그 결과 단체어초와 4 개의 단체어초로 구성된 군체어초군은 활동과 전도에 대하여 안정하였다.

## 참고문헌

- 국립 수산 진흥원, 1992, 한국연안 인공어초의 자원 조성 효과에 관한 연구.
- 제주 지방 해운 항만청, 2000, 제주 외항 방파제(1 단계) 축조를 위한 실시 설계 용역 보고서.
- 제주 지방 해운 항만청, 2000, 제주 외항 방파제(1 단계) 축조를 위한 실시 설계 용역 환경 영향 평가서.
- 제주 지방 해운 항만청, 1998, 화순항 방파제 수리 모형실험 용역보고서.
- 李羲允, 2000, 해안항만공학, 지양사.
- 李種南,申文燮, 1987, 水産土木, 京文社.
- 李種南,片宗根,申文燮,金圭漢,洪聖根, 1995, 海岸水理學, 東明社.
- 林迎春,申東壽,申文燮, 1988, 干拓工學,京文社.
- 申文燮, 1998, 沿岸水理學, 日光出版社.