

제주외항 해역에 적합한 인공어초 모형실험

○김재형¹ · 신문섭² · 이동주³

1. 서론

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 생물 활동이 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. 최근들어 이러한 연안해역에 매립 및 간척사업 등으로 인한 어장 축소와 공단조성이나 오염으로부터 오는 어장폐쇄, 오염원의 증대 등으로 수산생물의 생산량을 감소시키고 있다. 연안해역의 다양한 생태계 보전과 생산기능의 강화를 위해서는 해역에 인공어초사업에 의한 어장환경 조성사업을 실시하여 연안해역의 개발 후 해양환경을, 개발 전의 해양환경으로 만들어 주어야한다. 어장환경 조성기술개발을 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, 어장이용현황, 어업동향, 유통 등 어장조건을 명확히 하여 인공어초의 규모, 구조, 배치 등을 검토한 어장환경조성을 통하여 제주외항 해역의 개발에 따른 어장손실이나 오염에서 오는 어장폐쇄 등 피해영향을 보완할 수 있는 어초 모형을 제시한다.

2. 기초자료조사

2.1 조석특성

제주항의 조석은 조석 형태수(Tide Factor) $F=(H' + H_o)/(H_m + H_s)=0.40$ 으로 반일주조가 우세한 혼합형의 조석으로 매일 두 번의 고조와 저조가 나타나지만 높이 및 출현시간의 부등은 심하다. 제주항의 평균만조간격은 달의 자오선 경과시로부터 10시 31분이며, 제주항의 대조차 및 소조차는 각각 202.8cm 및 82.4cm 로서 서귀포항보다는 약간 낮음. 제주항의 약최고만조위, 대조평균만조위는 각각

¹ 군산대학교 토목·환경공학부 석사과정

² 군산대학교 토목·환경공학부 교수

³ 군산대학교 토목·환경공학부 교수

283.4cm 및 243.1cm 으로 나타났으며, 국립해양조사원에서 1964~1999년까지 조사된 자료에 의하면 1974년 8월에 관측된 제주항의 기왕 고극조위는 DL.(+)3.24m로 조사되었음.

2.2 파랑특성

심해설계파 제원은 최근까지 연구 발표된 제주항의 심해설계파에 대하여 각종 자료를 조사·정리 한결과 심해 설계파는 서방파제 NNW 파향의 7.0m파고, 동방파제 NE 파향의 4.7m파고를 나타내고있다.

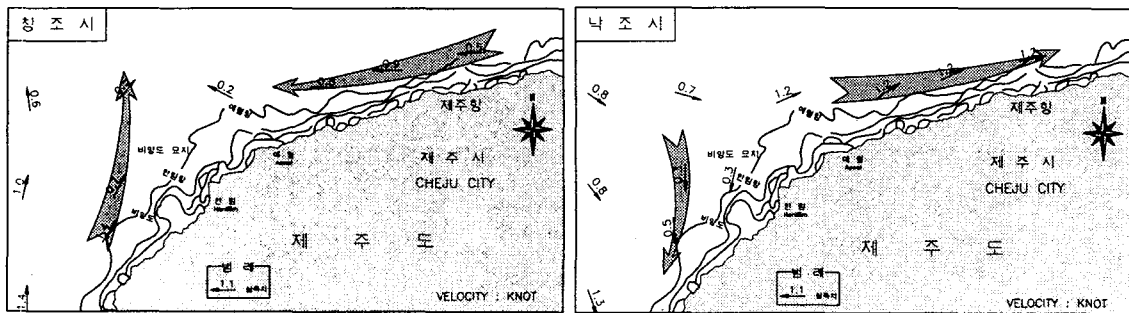


그림1. 조류도

2.3 해양 동·식물상

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

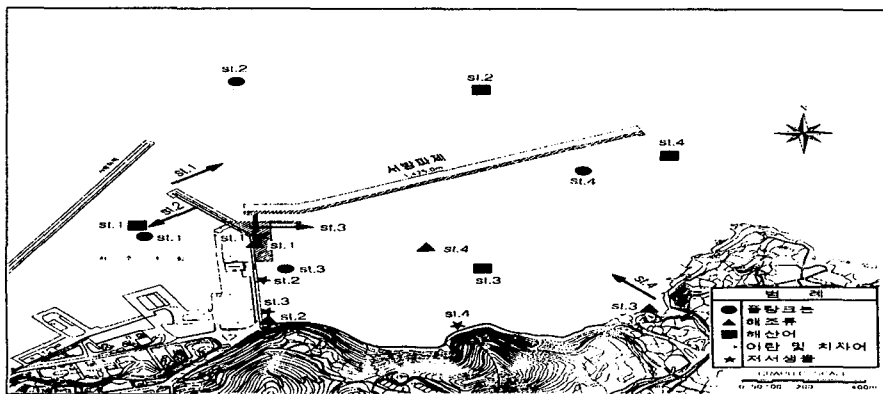


그림2. 해양 동·식물상 조사지점도

3. 제주항 주변 해역의 어종과 어초의 위치관계

3.1 어종과 어초의 위치관계

I형 : 어초에 어채 전부 혹은 일부분을 접촉시키는 어종(쥐노래미, 조피블락, 솜뱅이, 블락 등)

Ⅱ형 :어초에 어체를 접촉시키지는 않지만, 어초의 주위를 수영하는 어종(참돔,돌돔,농어,벤자리 등)
 Ⅲ형 :거의 몸을 어초에 접촉시키지 않지만 가까운 거리에서 항상 어초(고형체)를 필요로하는 어류로서 먹도미, 돌돔, 병에돔 등있고 일반적으로 암초성어라고도 하며, 크라르 횡슈 등이 여기에 속한다.
 Ⅳ형 :어초(고형체)의 존재가 반드시 필요한 것은 아니지만 어초가 있으면 이곳에 정위행동을 취한다. 이들은 유체자극만으로도 생활이 가능한 어류이고, 전갱이, 고등어, 방어 등이 이것에 속한다.
 V형 :고형체의 존재를 전혀 필요로 하지 않고 유체자극만으로도 생활이 가능한 어류이며, 다랑어, 청새치, 쾡치, 연어, 송어 등이 이것에 속한다.

3.2 어초의 선정이유

국립수산진흥원에서 수행한 한국연안 “인공어초의 자원조성효과에 관한 연구자료”와 “제주의항방과제(1단계) 축조를 위한 실시설계용역환경영향평가서(2000)”에서 제주해역의 생물조사자료를 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 그중 Ⅲ - V속하는 어종수는 I - Ⅱ형에 속하는 어종수보다 2 - 9종이 더 많이 어획되어 조사된 1개 어초 단지가 어초군 전체로서 유효 어획범위안에 있음을 알 수 있었다.

표1. 제주도 연안에 투하된 인공어초 어장의 규모별 낚세에 의해 어획된 어종수(1989-90)

조사장소 (지점번호)	시설량 (어초종류)	어초에 모여든 어류형태						합계	주요 어획 어종
		I	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	V	기타		
제주 남제주군 온평 (47)	1,360m ² (사각형)		6	2			1	9	볼락류, 말쥐치, 솜뱅이, 능성어
제주 서귀포 법환동 (48)	2,496m ² (원통형)			6			2	8	참돔, 말쥐치, 양태
제주 서귀포 법환동 (49)	3,200m ² (사각형)		4	1			4	9	볼락류, 말쥐치, 솜뱅이
제주 북제주군 함덕리 (50)	10,600m ² (사각형)		3	3	1			7	말쥐치, 솜뱅이, 갈전갱이

표2. 제주도 연안에 투하된 인공어초 어장규모별 삼중다망에 의해 어획된 어종수(1989-90)

조사장소 (지점번호)	시설량 (어초종류)	어초에 모여든 어류형태						합계	주요 어획 어종
		I	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	V	기타		
제주 남제주군 온평 (47)	1,360m ² (사각형)	1	3	6			4	14	참돔, 말쥐치, 솜뱅이, 능성어
제주 서귀포 법환동 (48)	2,496m ² (원통형)		3	6	2		8	19	“
제주 서귀포 법환동 (49)	3,200m ² (사각형)		3	5		1	8	17	“
제주 북제주군 함덕리 (50)	10,600m ² (사각형)	1	3	9	3	1	11	28	방어, 참돔, 말쥐치, 솜뱅이, 능성어

4. 해역의 수심별 · 인공어초의 높이별 설계조건

4.1 설계조건

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°
설치수심 : $h=26\text{m}, (20\text{m}, 23\text{m})$, 설치방법 : 바다표면에서 자유낙하
설치장소의 저질조건 : ($d_{50}=0.47\text{mm}$)
마찰계수: 어초와 모래지반과의 마찰계수는 0.6
지반반력계수 : $k=5.000\text{ ton/m}^2$, 항력계수 : $C_D=2.0$, 부가질량력계수
가상질량력계수 : $C_M=C_{MA}+1=2.0$
해수의 단위체적중량 : $w_o=1.03\text{ ton/m}^3$, 중력가속도 : $g=9.8\text{m/s}^2$

4.2 안정계산

4.2.1 해역의 수심26m · 인공어초의 높이8m에서 설계

1. 활동에 대한 안정성검토

$$S_{FS} = \frac{W\mu(1-w_o/\sigma_G)}{F} \geq 1.2$$

$$S_{FS} = \frac{83.728 \times 0.6 \times (1 - 1.03/2.45)}{23.992} = 1.213 \geq 1.2$$

2. 전도에 대한 안정성검토(어초의 우각부를 지점으로 회전)

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

l_V : 어초중심의 저면에서 전도중심까지 거리

l_A : 흐름에 직각인 어초 正射影面의 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 해역의 수심20m · 인공어초의 높이5m에서의 설계

1. 활동에 대한 안정성검토

$$S_{FS} = \frac{W\mu(1-w_o/\sigma_G)}{F} \geq 1.2$$

$$S_{FS} = \frac{63.286 \times 0.6 \times (1 - 1.03/2.45)}{20.605} = 1.068 < 1.2$$

2. 전도에 대한 안정성검토(어초의 우각부를 지점으로 회전)

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

$$S_{FS} = \frac{63.286 \times (1-1.03/2.45)}{20.605} \frac{2.5}{2.5} = 1.78 \geq 1.2$$

4.2.3 해역의 수심23m · 인공어초의 높이5m에서의 설계조건

1. 활동에 대한 안정성검토

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

$$S_{FS} = \frac{63.286 \times 0.6 \times (1-1.03/2.45)}{17.277} = 1.274 \geq 1.2$$

2. 전도에 대한 안정성검토(어초의 우각부를 지점으로 회전)

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

$$S_{FS} = \frac{63.286 \times (1-1.03/2.45)}{17.277} \frac{2.5}{2.5} = 2.123 \geq 1.2$$

5. 어초별 평면 3차원 조파실험

5.1 실험을 위한 자료수집 및 분석

해역의 설계조건
 해역의 파고 ($H_{1/3} = 7m$)와 유의파 주기 ($T_{1/3} = 11 \text{ sec}$)
 설계유속 : $U_H = 0.62 \text{ m/s}$ (1.2knot 해표면)
 파향 : 흐름의 주방향은 파향(NNW)에 대하여 22.5°
 설치수심 : $h = 26m$

5.2 어초의 중량조건 결정

어초의 용적 : $34.1747m^3$
 어초의 중량 : 83.728 ton
 축척 1/60의 중량 : $83,728,000g/60^3 = 387.6g$
 바다의 밀도를 고려한 경우의 어초 목적중량 : $376g$

5.3 어초의 배치 및 안정성 실험

어초의 안정성 실험을 위하여 원형유의 파고 7.0m(모형유의 파고 : 0.1167m), 원형유의 파주기 11.0sec (모형유의 파주기: 1.42 sec)로 파의 발생시간은 심해파고 추정에서 심해파고가 7.0m일 때 취송시간은 9시간이므로 시간 축척을 고려하면 70분 동안 파를 발생시켜 단체어초와 4개의 단체어초로 구성된 군체어초군으로 배치하여 어초의 안정성실험을 하였다.

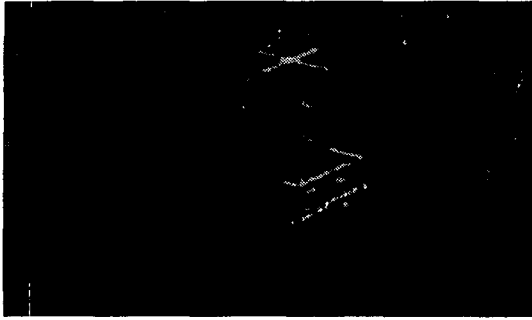


그림3. 단체어초

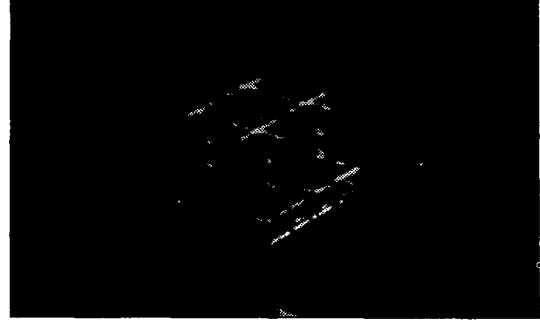


그림4. 군체어초

6. 결 론

해역의 설치수심(h)별 · 인공어초의 높이별 설계조건을 고려하여 안정성을 검토한 결과 인공어초의 높이가 8m · 해역의 설치수심(h)이 26m의 깊이에서는 활동과 전도 모두 안정하였다. 그리고 인공어초의 높이가 5m인 · 해역의 설치수심(h)이 20m인 경우에는 활동에 대해서는 불안정하였으나, 설치수심(h)이 23m인 경우에는 활동과 전도 모두 안정하였다.

어초의 안정성 실험을 위하여 원형수심26m(모형수심 : 0.43m)에서 단체어초와 4개의 단체어초로 구성된 군체어초군으로 배치하였다. 파의 발생시간은 유의 파고 7.0m(모형유의 파고 : 0.1167m)로 하여 심해파고 추정에서 심해파고가 7.0m일 때 취송시간은 9시간이 되므로 시간 축척을 고려하면 70분 동안 파를 발생시켜 단체어초와 4개의 단체어초로 구성된 군체어초군으로 배치하여 어초의 안정성 실험을 하였다. 그 결과 단체어초와 4개의 단체어초로 구성된 군체어초군은 활동과 전도에 대하여 안정하였다.

7. 참고문헌

1. 제주지방해운항만청(1998), 화순항방파제 수리모형실험용역보고서.
2. 李羲允(2000), 해안항만공학, 지양사
3. 林迺春·申東壽·申文燮(1988), 工拓工學, 京文社.
4. 李種南·申文燮(1987), 水産土木, 京文社.
5. 李種南, 片宗根, 申文燮, 金圭漢, 洪聖根(1995), 海岸水理學, 東明社.
6. 申文燮(1998), 沿岸水理學, 日光出版社.
7. 제주지방해운항만청(2000), 제주의항방파제(1단계) 축조를 위한 실시설계용역보고서
8. 제주지방해운항만청(2000), 제주의항방파제(1단계) 축조를 위한 실시설계용역환경영향평가서.
9. 제주지방해운항만청(1998), 화순항방파제 수리모형실험용역보고서.
10. 국립수산진흥원(1992), 한국연안 인공어초의 자원조성효과에 관한 연구.