

# 수리실험을 통한 요철형 인공어초 안정성 검토

백승화<sup>1</sup>, 신범식<sup>2\*</sup>, 김규한<sup>3</sup>

<sup>1</sup>인천대학교 도시건설공학전공, <sup>2</sup>관동대학교 미래융합학과, <sup>3</sup>관동대학교 토목공학과

## Hydraulic model test for corrugated artificial reef stability

Seung Hwa Baek<sup>1</sup>, Bum-Shick Shin<sup>2\*</sup>, Kyu-Han Kim<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Division of urban and Environmental Engineering, Incheon University

<sup>2</sup>Department of Future Convergence Technology, Kwandong University

<sup>3</sup>Department of Civil Engineering, Kwandong University

**요약** 우리나라 연안생태계는 백화현상(갯녹음)에 의한 해조류의 감소와 어패류 등 어업자원의 감소로 인해 연안역의 황폐화에 직면해 있다. 새로운 유형의 인공어초에 대한 안정성을 평가하기 위해 본 연구에서는 2차원 단면수조를 이용하여 새롭게 개발된 인공어초의 설치수심에 따른 재현과고, 주기, 흐름 등 외력을 변화시켜 요철형 어초의 안정 조건이 되는 한계치를 구하고, 설계외력(파랑, 흐름 등)의 안정성에 대한 검토를 수행하였다. 본 연구 결과는 새로운 인공어초의 설계 및 실행에 시공하기 위해 구조물의 안정성을 사전에 검토할 수 있는 기초자료를 제공할 수 있을 것으로 판단된다.

**Abstract** In Korea, the quantitative growth rate of artificial reef construction is supposed to reach the peak point. Therefore, new approach is needed to the point of artificial reefs business. Functional reefs, such as shellfish reefs, recreational reefs, seaweed reefs, and fish reefs, are beneficial alternatives. This study conducted hydraulic testing to assess the stability of corrugated artificial reefs (ARs) that were constructed to promote the growth of shellfish and seaweed. The results of this study showed that some dimensionless design parameters affected the stability of corrugated artificial reefs under a range of wave and water depth conditions in a fixed bed condition. The findings also highlight the importance of hydraulic experiments in solving the problems that have emerged in the design and construction of artificial reefs.

**Key Words** : Artificial Reef, Hydraulic model test, Similarity Law, Wave, Water depth

### 1. 서론

인공어초(人工魚礁)라고 함은 수산자원의 위집, 발생, 육성을 목적으로 돌, 콘크리트, 철재, FRP, 패각, 선박 등 인공구조물들을 수중에 설치한 것을 말한다[1]. 즉 해저 바닥에서 돌출된 암반이나 바위 등의 자연초는 해수의 흐름을 바꾸어 먹이의 공급이나 은신처의 역할을 제공하는데 이들 기능을 인위적으로 만드는 구조물이 바로 인

공어초이다. 세계 연안국들은 최근에 수산자원의 보호 및 육성을 도모하고 효율적인 어획과 생산량 증대 등을 목적으로 인공어초사업을 중시하여 동 사업을 활발하게 추진하고 있다.

인공어초의 사용 년수는 일반적으로 30년 정도이며 어초는 그 기간 동안에 기능을 유지할 수 있도록 설계되어야 한다. 설계의 내용은 주로 어초 침설시의 착저 충격력에 대한 내구성, 설치 후 파랑이나, 조류에 대한 안정

본 연구의 자료 분석은 관동대학교 지역혁신센터와 동성해양개발의 연구비 지원을 받아 수행된 연구결과임을 밝히고 이에 사의를 표합니다.

이 논문은 인천대학교 2011년도 자체연구비지원에 의하여 연구되었음.

\*Corresponding Author : Bum-Shick Shin(Kwandong Univ.)

Tel: +82-33-643-3436 email: [sbs114@kd.ac.kr](mailto:sbs114@kd.ac.kr)

Received June 25, 2014

Revised August 6, 2014

Accepted August 7, 2014

성, 세굴 및 매몰에 대한 검토가 중요하다. 어초의 안정성에 대한 이론적인 검토는 모리슨식을 사용하여 유체력에 의한 활동 및 전도를 검토하고 있다. 아울러, 직방향력과 연직방향의 양력을 합성한 유체력에 대해서 안정계산을 하고, 만약 불안정한 경우에는 자중 및 부재강도를 재검토하고 있다. 최근에는 수리실험 및 현장조사를 통해 흐름장과 파랑장의 환경에서 이루어져 왔으며, 이러한 결과를 바탕으로 인공어초의 안정성 평가에 대한 연구가 진행되고 있다[2]. 본 연구에서는 2차원 단면수조를 이용하여 새롭게 개발된 인공어초의 설치수심에 따른 파고, 주기, 흐름 등 외력을 변화시켜 패조류형 어초의 안정 조건이 되는 한계치를 구하고, 설계외력(파랑, 흐름 등)의 안정성에 대한 검토를 수행하였다.

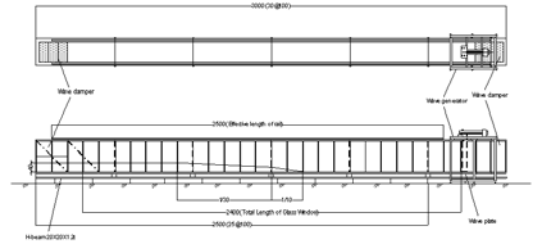
## 2. 신형인공어초

새롭게 개발된 신형인공어초(요철형어초)는 갯녹음의 심각성을 극복하고 연안 수산자원 증강을 위해 2010년 7월 특허권으로 등록 하였으며, 중앙어초협의회에서 시험 어초로 최종 선정되었다. 시험어초의 재질은 콘크리트를 주 재료로 만들었으며, 연안 수심 5~15m 해역에 시설되는 패조류용 인공어초로서 해황의 변동이 심한 천해역에 설치됨으로 피라미드 형태의 구조로 설계하여, 실해역에서의 파랑에 대한 안정성을 확보하고자 하였다. 또한 생물증식을 위한 표면적 확대 및 조류 흐름을 원활하게 하기 위해 어초 표면에 요철구조로 되어있으며, 해조류 광합성 작용에 탁월하도록 상부에 넓은 표면적을 제공하여 유용 해조류인 미역, 다시마, 감태 등이 안정적으로 생장하도록 제작되었다.

## 3. 수리모형실험

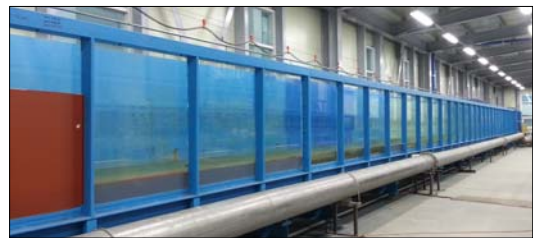
### 3.1 실험모형 및 실험장비

본 실험에 사용된 2차원 수로(two-dimensional flume)는 길이(L) 45m, 폭(B) 1.0m, 높이(H) 1.5m로 양면이 강화유리로 제작되어 실험단면 뿐만 아니라 입사파랑의 전반적인 경향에 대하여 관측할 수 있도록 설계되었다[Fig. 1].




[Fig. 1] Concept of 2-dimensional wave flume

실험에 사용된 실험수로는 주기와 파고를 연속적으로 변화시킬 수 있게 설치되어 있는 전기 서보 피스톤식 조파기로서 규칙파 및 불규칙파를 조파할 수 있도록 설계되었다[Fig. 2]. 본 조파기는 조파판 전면에 용량식 파고계가 부착되어 있어 파고계에서 측정된 자료를 바탕으로 반사파 흡수식 제어가 가능하고, 수로 양쪽 끝 부분에는 여러 겹의 다공성 물질로 구성된 소파장치가 설치되어 있다. 스펙트럼 함수에 의한 불규칙파와 주어진 파고와 주기에 대응하는 규칙파를 조파할 수 있으며, Goda의 입·반사분리법에 기초한 반사파제어 시스템이 내장되어 있다. 단면수조는 파고계와 파압계, 유속계 등을 연결하여 동시에 16채널의 자료를 얻을 수 있다. 본 수리모형실험에서 사용된 실험수로의 제원 및 조파기의 특성은 Table 1과 같다.



[Fig. 2] 2-Dimensional Wave Flume

[Table 1] New artificial reef

Design	Specification	
	Specification(m)	3.0×3.0×1.6
	Volume(m <sup>3</sup> )	11.04
	Weight(ton)	11.30
	Surface area(m <sup>2</sup> )	56.24
	Material	porous concrete
	Porosity	20%(±3%)

[Table 2] Wave Flume and Wave Generator

		specification
Wave Flume		45m(L)×1.0m(B)×1.0m(H)
Wave Generator	Type	Piston
	Driving Sytem	Electronic
	Max Wave Period	0.1~3.0sec
	Max Wave Height	0.3m

### 3.2 주요영향인자

실험역에 인공어초가 설치될 경우, 어초가 설치된 사면상에 도달하면 입사파랑과 수심에 의한 영향으로 천수, 굴절 등에 의해 흐름이 발생함에 따라 어초의 형상에 따른 축류, 와류 등이 발생하게 된다[3]. 어초의 활동, 전도는 이러한 흐름에 의해서 야기된다고 판단된다. 따라서, 인공어초의 안정성을 검토할 경우에는 파랑에 의한 흐름과 같은 안정성에 미치는 영향요소를 명확히 파악하고 활동과 전도특성을 파악하여야한다.

우선 어초가 설치된 사면상에서 입사파 특성에따른 최대수립자속도에 따른 어초 설치해역의 특성(해저경사, 사면의 조도, 공극율 등)에 대한 영향을 검토하여야한다. 여기서 말하는 어초 사면상의 최대수립자속도( $V_{max}$ )는 어초 설치지점에서의 수립자속도 분포의 최대를 나타내는 것이고, 이  $V_{max}$ 의 무차원량  $V_{max}/\sqrt{gH}$ 는 차원해석에 의해 다음과 같이 다양한 무차원량에 의해 좌우된다. 아울러, 최대수립자속도  $V_{max}$ 는 본 연구에서 대상으로 하고 있는 어초 주변의 흐름 발생 메카니즘과 어초의 안정성을 검토하는데 이용하였다.

$$\frac{V_{max}}{\sqrt{gH}} = f(H/h, \tan\theta / \sqrt{H/L} (= \xi), \quad (1)$$

$$(h/L, H/L, \theta, e)$$

여기서,  $\xi$  는 Battjens(1974)가 제안한 Surf similarity parameter이고 H는 입사파고, L은 파장, g는 중력가속도, h는 설치수심이다[4]. 본 실험에서는 다른 힘보다는 중력 성분이 탁월하고 점성의 영향은 무시할 수 있으므로 Froude 상사법칙을 사용하였다.

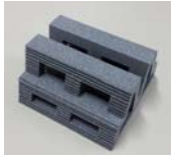
### 3.3 실험내용

#### 3.3.1 실험조건

원형과 모형에서 흐름이 완전상사를 이룬다는 것은 실질적으로 불가능하다 할 수 있으며, 실제의 수리현상에서 하나 혹은 몇 개의 성분력이 작용하지 않거나 혹은 무시할 정도로 작은 경우가 대부분이며, 주로 지배하는 힘 하나만을 고려하여도 충분한 것이 보통이다. 유체가 받는 외력으로는 압력, 중력, 점성력, 표면장력, 탄성력 등이 있으며, 유체에 작용하는 주요 외력이 중력인 경우에는 Froude 상사법칙이 적용되며, 점성력이 흐름을 지배하는 경우에는 Reynold 상사법칙이 적용된다.

본 실험과 같이 자유수면을 갖는 파랑실험에서는 중력이 유체의 운동을 지배하게 된다. 따라서, 모형과 원형 사이의 상사관계는 Froude 상사율에 의해 지배되며, 제반인자는 Froude 상사율에 의해 수심, 해저경사, 모형제작 영역, 실험수조의 크기 등을 종합적으로 고려하여 연직 및 수평방향의 축척을 1/36로 결정하였다. 단, 실험에 사용된 모래의 경우, 해역의 입경을 정확히 상사할 수 없으며, 본 검토의 목적이 침식(세굴), 퇴적을 검토하는 경우가 아니므로, 유사한 입경의 모래를 사용하였다. 실험에 사용되는 어초모형은 합성플라스틱을 이용하여 제작하였으며, 중량 조절을 위해 납 성분을 추가로 혼합하였다. 이 때 추가로 혼합된 성분이 모형의 한쪽 부분으로 치우쳐 무게중심이 이동하지 않도록 주의하였으며, Table 3에 어초의 제원 및 형상에 대해 나타내었다.

[Table 3] Model specification

	Prototype		Model	
	Size(m) (B*H*L)	Weight (t/ea)	Size(cm) (B*H*L)	Weight (g/ea)
	3.0×3.0×1.6	12.18	8.3×8.3×4.4	261.06

#### 3.3.2 파랑조건 및 검증

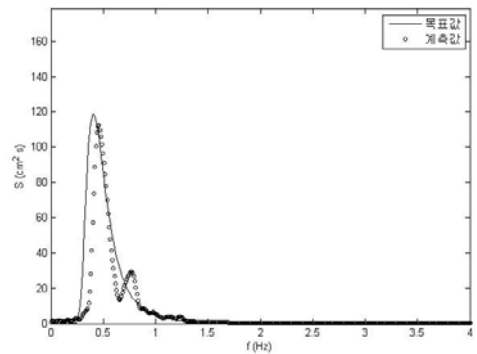
본 실험에서 적용한 입사파랑 조건은 2차원 조파수조의 조파특성을 고려하여 Table 4와 같이 설정하였으며, 파랑의 불규칙성을 고려하여 Bretschneider-Mitsuyasu 스펙트럼을 이용하여 불규칙파 실험을 수행하였다. 어초

[Table 4] Cases of hydraulic model test

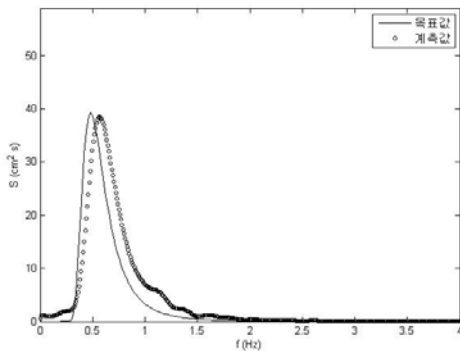
Cases	Water depth(D)		Wave Height(H)		Wave period(T)	
	Prototype(m)	Model(cm)	Prototype(m)	Model(cm)	Prototype(sec)	Model(sec)
Case 01	6.00	16.67	3.00	8.33	7.00	1.17
Case 02	6.00	16.67	3.00	8.33	9.00	1.50
Case 03	8.00	22.22	4.00	11.11	7.00	1.17
Case 04	8.00	22.22	4.00	11.11	9.00	1.50
Case 05	10.00	27.78	4.00	11.11	7.00	1.17
Case 06	10.00	27.78	4.00	11.11	9.00	1.50
Case 07	10.00	27.78	5.00	13.89	7.00	1.17
Case 08	10.00	27.78	5.00	13.89	9.00	1.50
Case 09	10.00	27.78	5.00	13.89	11.00	1.83
Case 10	15.00	41.67	5.00	13.89	7.00	1.17
Case 11	15.00	41.67	5.00	13.89	9.00	1.50
Case 12	15.00	41.67	7.00	19.40	9.00	1.50
Case 13	15.00	41.67	7.00	19.40	11.00	1.83
Case 14	15.00	41.67	7.00	19.40	13.00	2.17

모형의 설치지점에서의 수심을 현지 수심 5~15m에 해당 되는 13.89~41.67cm로 상사하였다. 입사파의 경우 기후 변화로 외해에서 입사하는 파고가 점점 증가하는 경향을 고려하여 파고 5~8m, 주기 2~8sec를 선정하였으며, 100 파 이상 초과하여 구조물의 진도나 활동을 관찰하였다. 디지털 캠코더와 카메라를 이용한 화상해석법을 이용하고, 파랑이 내습하는 동안 영상을 촬영하고, 파랑에 의한 어초의 움직임을 분석하였다.

Fig. 3과 Fig. 4의 경우, 실험조건 가운데 대표적인 Case에 해당되는 파랑스펙트럼 해석결과를 나타낸 것으로, 입사파주기의 첨두치와 실험치와는 큰 차이가 없는 것으로 나타났다[5-6]. 따라서 이들 입사파조건을 실험시 입력 스펙트럼으로 각각의 파고와 주기를 변화시켜 조파기 입력함수로 사용하여 실험을 수행하였다.



[Fig. 4] An example of spectrum analysis (H= 19.40cm)



[Fig. 3] An example of spectrum analysis (H= 13.89cm)



[Fig. 5] Installation of artificial reef(side view)



[Fig. 6] Installation of artificial reef(plane view)

#### 4. 실험결과

##### 4.1 수리모형실험에 의한 어초의 안정성검토

새롭게 개발된 인공어초의 안정성을 검토하기 위해 시설대상해역의 특성(설치수심, 파고, 주기)을 고려하여 실험과에 대한 어초의 안정성을 검토하였다. 본 연구에서 검토한 파랑은 동해안에서 관측 및 예측되고 있는 파랑의 특성을 파형경사 또는 내습파향으로 적용하였으며, 내습하는 파랑에 대한 주기의 비율로 표현될 수 있는 파형경사의 범위로 설정하고 실험조건을 설정하였다. 실험역에서 인공어초의 최종 피해는 일반적으로 구조물이 제 자리를 이탈하거나 파괴되는 현상으로 나타난다. 그러나, 일반적으로 수리모형실험에서의 구조물 안정성을 검토할 때에는 파괴는 고려하지 않고 단지 구조물의 거동으로 안정성을 평가한다. 따라서, 본 실험실에서는 파고 및

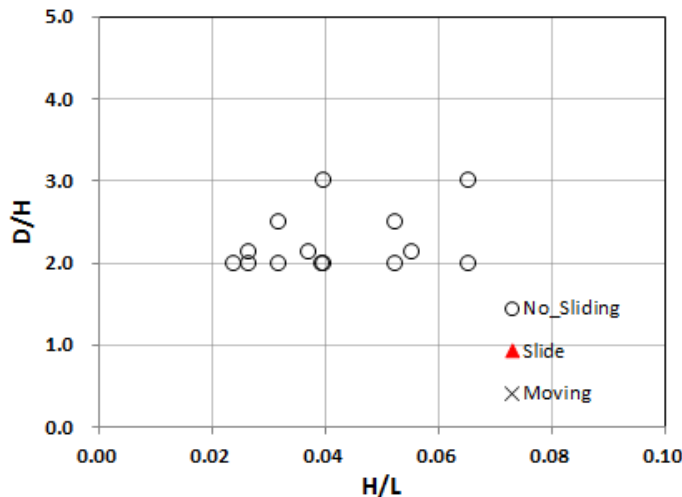
주기조건에 따른 구조물의 거동을 분석하기 위해 조파전과 후의 변화정도를 고화질 비디오로 촬영된 영상분석 자료를 이용하여 대상 어초의 안정성에 대한 평가를 시도하였다. 구조물의 안정성은 동일한 중량의 구조물이라 하더라도 사면의 조건(경사, 지반특성) 정도에 따라 변하며, 그 기초가 되는 저면의 안정성에 따라 큰 영향을 받으므로, 설치위치에 대해서는 해저면의 모래구간을 길이 2m, 중앙입경  $D_{50}=0.16\text{mm}$ 의 모래를 5cm두께로 도포하여 현지조건과 유사한 상태에서 실험을 수행하였다.

##### 4.2 설치수심(D)과 내습파랑(H)에 대한 어초의 안정성 검토

본 검토에서 수행한 설치수심 및 내습파랑조건에 대한 14개의 실험조건에서 안정함을 볼 수 있었다. 설치수심과 내습파랑의 비율(D/H)이 1.67 ~ 3.0 범위에서 어초가 안정함을 보였으며, 설치수심과 내습파랑의 비율(D/H)이 1.67이상의 위치에 설치하는 것이 안정할 것으로 예상된다.

##### 4.3 내습파랑(H)과 파장(L)에 대한 어초의 안정성 검토

Fig. 7에 제시한 검토결과, 설치수심과 일반적으로 보고되고 있는 동해안의 내습파랑에 대한 비율(D/H)이 1.67 ~ 3.0에서 경우 파형경사(H/L)가 완만한 0.02 ~ 0.07의 범위에서 안정성을 확보하고 있는 것으로 판단된다.



[Fig. 7] Experiment results

## 5. 결론

내습파랑에 대한 인공어초의 안정성 검토를 수행한 결과, 새롭게 개발된 인공어초의 사용목적에 따른 설치 대상수심인 15m이내에서는 실험파랑(과고 및 주기)에 대해 전도, 활동을 포함한 구조물이 거동은 발생하지 않았다. 단, 검토대상파랑의 이 수심에 비해 급격히 증가하는 경우에서 불규칙과의 최대파랑에서 거동이 발생하고 있으나, 이후 추가적인 거동은 재현되지 않았다.

아울러, 실험대상 파랑 중 주기가 긴 12sec에 대해서는 파랑이 내습하는 방향(1열)에 설치된 어초의 하단에서 생성되는 사련의 형상에 의해 일부 기울어짐이 발생하였으나, 이러한 현상은 구조물의 특성(형태, 중량)에 의한 기울어짐이라기 보다는 긴 주기의 파랑 내습에 따른 전면 세굴에 의한 영향이며, 실험실에서 발생한 사련의 Scale Effect에 의한 것이라고 판단된다. 이외에 전도 및 활동 등의 거동은 관측되지 않았다. 따라서, 본 연구에서 검토된 인공어초는 설치수심에 따른 외력조건(파랑) 뿐만 아니라, 각각의 배열형식에 충분히 안정성을 확보하고 있는 것으로 판단된다. 본 검토에서는 파랑에 의한 안정성을 검토하였으나, 향후 어초 주변의 매몰 및 세굴에 대해서는 현장조사 및 이동상수리모형실험 등을 통해 해저지형변화에 미치는 영향도 검토할 필요가 있다고 판단된다.

## References

- [1] National coastal fishing development association, Japan 「Thesaurus of Fisheries Development Project」
- [2] Nam-Hyung Kim, Artificial reef for marine structure, Journal of fisheries Vol 30, pp.43-47, 1995
- [3] Cheong-Ro Ryu and Hyeon-Ju Kim, "A Study on the Characteristics of Wave Forces on Artificial Reefs", Korean Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, Vol.27, No.5, pp. 605-612, 1994
- [4] Battjets, J.A. (1974). "Surf Similarity", Proc. 14th Conf. on Coastal Eng., pp 466-480, ASCE
- [5] Horikawa, K (1979). Coastal Engineering, University of Tokyo Press.
- [6] Goda, Y. (1985). Random Sea and Design of Marine Structures, pp 323, University of Tokyo Press

### 백 승 화(Seung-Hwa Baek)

[정회원]



- 1980년 2월 : 연세대학교 대학원 토목공학과 (공학석사)
- 1997년 2월 : 명지대학교 대학원 토목공학과 (공학박사)
- 2010년 3월 ~ 2014년 2월 : 인천대학교 도시환경공학부 건설공학(전공) 교수
- 2014년 3월 ~ 현재 : 인천대학교 명예교수

<관심분야>

토목공학, 수공학

### 신 범 식(Bum-Shick Shin)

[정회원]



- 2002년 2월 : 관동대학교 토목공학과 (공학석사)
- 2007년 2월 : 관동대학교 토목공학과 (공학박사)
- 2007년 3월 ~ 2012년 2월 : 첨단해양공간개발연구센터 선임연구원
- 2012년 3월 ~ 현재 : 관동대학교 미래융합학과 조교수

<관심분야>

토목공학, 해안공학

### 김 규 한(Kyu-Han Kim)

[정회원]



- 1900년 2월 : 명지대학교 토목공학과 (공학사)
- 1987년 2월 : 명지대학교 토목공학과 (공학석사)
- 1990년 4월 ~ 1993년 3월 : 국립 OSAKA 대학 대학원 토목공학과 (공학박사)
- 2014년 1월 ~ 현재 : 관동대학교 토목공학과 교수

<관심분야>

토목공학, 해안공학