

## 대형공기구조물을 이용한 가두리양식장의 성능해석

최진<sup>†\*</sup>, 김수영<sup>\*</sup>, 김덕은<sup>\*</sup>, 정성재<sup>\*\*</sup>

부산대학교 조선해양공학과<sup>\*</sup>  
국립수산과학원 수산공학팀<sup>\*\*</sup>

### A Study on Performance Analysis of a Fish Cage using Air Chamber Structure

Jin Choi<sup>†\*</sup>, Soo Young Kim<sup>\*</sup>, Duk Eun Kim<sup>\*</sup> and Seong Jae Jeong<sup>\*\*</sup>

Department of Naval Architecture & Ocean Engineering, Pusan National University<sup>\*</sup>  
Fisheries Engineering Team, National Fisheries Research & Development Institute<sup>\*\*</sup>

#### Abstract

Recently as a result of excessive development, pollution of the coast and occurrence of a typhoon year after year, fishermen suffer heavy losses in fish farming which is the one of the most important earnings ways. For solution of these problems, we need to go out into the open sea from an inland sea. In this study we suggested new fish cage which makes up for the structural weakness of existing wooden fish cages. It can farm fishes in the open sea of high wave and current with no damages from a typhoon. We substituted TPU(Thermoplastic Polyurethane) air chamber for existing styrofoam flotation which was harmful to the environment and impermanent. We used PE(Polyethylene) pipes for the maintenance of formation and the prevention of buoyancy loss caused by a breakdown of flotation. PE brackets were designed to combine PE pipes with TPU air-chamber flotation. It has good strength and light weight. As a result of modeling test, it is great in buoyancy, strength and flexibility against wave. Because it can control buoyancy arbitrarily, moreover, we expect that it will reduce damages of a red water by applying it as semi-submerged fish cages.

※Keywords: Fish farming(양식업), Fish cage(가두리 양식장), TPU(폴리우레탄), Air chamber(공기방), PE(폴리에틸렌)

---

접수일: 2005년 8월 12일, 승인일: 2005년 11월 2일

† 주저자, E-mail: jinnycc@hotmail.com

Tel: 051-510-2754

#### 1. 서론

우리나라의 어류 양식업은 1970년대 이후 급속한 양적 발전을 이루어 왔다. 그러나 최근에 이르

러 연안 환경은 산업화·도시화로 인해 점차 부영양화 되고 있으며, 장기간에 걸친 과도한 개발과 지속적인 대량 생산의 결과, 양식장의 노화가 촉진되어 점차 생산량이 감소하고 있을 뿐만 아니라 어류의 품질마저 저하되고 있는 실정이다. 이에 최근에는 내만에 비해 오염과 개발이 덜 이루어진 외해로의 가두리 양식장의 이동이 시도되고 있으며, 이를 위해서는 외해의 높은 파도와 강한 조류에서도 어류 양식이 가능한 가두리로의 시설 대체가 요구되고 있다(국립수산과학원 1999).

본 연구에서는 기존의 목재 가두리에 비해 내구성이 우수하여 반영구적으로 사용 가능하고, 부력을 임의로 조절할 수 있는 열가소성 폴리우레탄(Thermoplastic Polyurethane : TPU) 공기방과 PE(Polyethylene)를 이용한 가두리를 설계하였다.

내파성 가두리에 관한 연구 및 자료는 국내에서는 현재 국립수산과학원에서 일부 이루어지고 있을 뿐 관련 연구 및 자료가 거의 없는 실정이어서 연구에 이용된 제품을 중심으로 본 논문을 작성하였다.

일반적으로 많이 이용하는 표층 가두리 양식은 Fig. 1, 2와 같이 대형의 뜰으로 묶어 닻으로 일정 수면에 띄우고, 뜰에 가두리 그물을 고정한다. 그리고 그물이 조류에 쏠리거나 뜨는 것을 방지하기 위하여 그물 밑바닥이나 귀통이에 추를 달아 바닥을 편평하게 유지한다. 어장 관리와 먹이를 주기 위해 관리자, 사료제조기 등도 함께 갖추는 것이 보통이다.



Fig. 1 A general view of fish cage

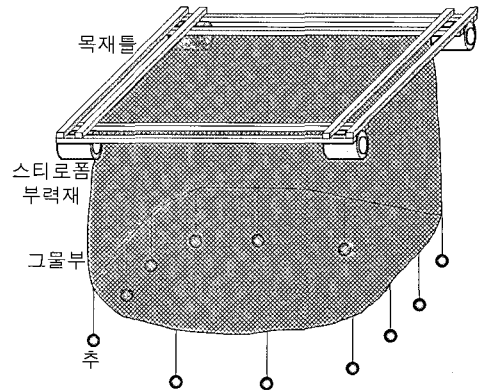


Fig. 2 Formation of fish cage

우리나라의 어류 가두리는 주로 내만 및 섬으로 둘러싸인 연안에 설치되어 있으며, 설치 수심은 대부분 5~25m 정도이다. 해면 가두리의 수량은 약 25,000조이며, 외관상 모양이 다양하지만 자세히 보면 물고기를 기르는 가두리 그물부(사육망)와 이를 수면이나 수중에 띄우면서 일정한 형을 유지시키는 뜰부, 그리고 시설 전체를 일정한 위치에 고정시키기 위한 계류 시설로 나눌 수 있다. 시설의 형태는 대부분 사각형이며, 크기는 주로 10×10m, 12×12m, 14×14m이다(국립수산과학원 2004).

## 2. TPU 공기방 부력재

가두리양식장의 부력재료는 TPU 공기방을 사용하였다. 이는 기존의 스티로폼 부력재료보다 인장강도, 내수성 및 부력 등이 우수하고, 공기를 주입하는 방식이기 때문에 이동, 조립 및 분해가 간편하며, 벤젠(Bezene), 톨루엔(Toluene), 크실렌(Xylene), 디메틸포름아미드(Dimethylformamide) 등을 비롯하여 VOC(휘발성유기산화물)가 검출되지 않으며 기타 환경호르몬이 발생되지 않는 청단 신소재로서 친환경적이라는 장점을 가진다.

Table 1은 원사직물연구원에 우레탄 공기방의 TPU 코팅원단을 시험분석 의뢰하여 얻은 결과이며 분석결과 인장강도, 인열강도, 마모강도 등에서 기존의 튜브의 재질인 하이파론 재질보다 2~3배

이상의 강도를 가지고 있었으며 내유성 등에서도 우수한 것으로 나타났다.

Table 1 The properties of TPU

시험항목	시험결과
1. 인장강도 (KS K 0520-1995, C.R.E, 컷스트립법) : kgf/5cm	
제시상태	
-경사	676.4
-위사	637.8
내후처리후	
-경사	607.2
-위사	588.6
내후처리후	
-경사	656.4
-위사	627.0
주) 내유처리조건 : ASTM NO 1에 48시간 침지 내후처리조건 : KS K 0704-2001, XENON ARC LAMP, 40시간 연속조광, 102분 조광 18분 분무	
2. 인열강도 (KS K 0536-2001, C.R.E, 텅법) : kgf	
경사	40.9
위사	47.4
3. 마모강도 (KS K 0818-2001, TABER법) : 중량감소(mg)	
137.6	
주) 마모자: H-18 적용하중 : 1000g 시험횟수 : 10000회, 마모 후 중량감소량측정 의뢰자 요청으로 상기 시험방법 적용	
4. 두께 (KS K 0506-2001) : mm	
0.98	
5. 접합부 인장강도 (KS K 0530-1997 준용, C.R.E) : kgf	
제시상태	
532.1	
내유처리후	
501.9	
내후처리후	
414.0	
주) 내유처리조건 : ASTM NO 1에 48시간 침지 내후처리조건 : KS K 0704-2001, XENON ARC LAMP, 40시간 연속조광, 102분 조광 18분 분무	
6. 내후건뢰도 (KS K 0704-2001, WETHER-0-METER, XENON- ARC-LAMP, ISO BLUE SCALE) : 급	
5	
주)시험조건 : 102분 조광, 18분 분무+조광, 연속순환 40시간, 블랙패널온도 : 70±5℃	

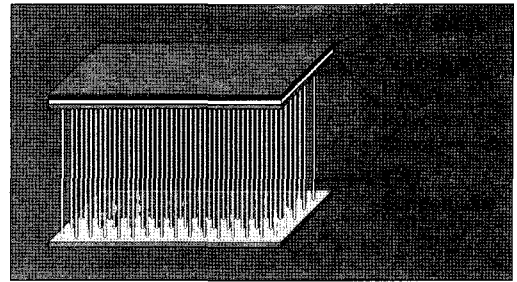


Fig. 3 A cross-section view of TPU air chamber

Fig. 3은 TPU 공기방의 단면도이며 주요특징은 다음과 같다.

- 두 평행한 평면을 결합시키며 3차원 형상을 지니므로써 초경량 구조를 가진다.
- 높은 충격에도 박리현상을 일으키지 않고, 고온 에너지를 흡수하는 구조를 가진다.
- 다양한 형상의 튜브를 만들 수 있다.
- 내부는 형상의 변화를 최소화한 상태에서 고압의 기체를 함유할 수 있으므로 높은 부력을 유지한다.
- 내마모성, 내한성, 내유성을 지니며 환경 유해 요소를 포함하지 않는다.
- TPU 공기방의 두께를 최대 200mm까지 시공 가능하며 외부의 불균일 하중에도 변형이 거의 일어나지 않는다.

TPU 공기방 부력재의 형상 및 치수는 Fig. 4, 5와 같이 최대 제작가능 두께(200mm)와 길이, 폭에 따른 처짐을 고려하여 최대한 형상을 유지하도록 설계하였다. 최종 형상 및 치수는 건현 확보 및 파도에 의한 가두리양식장 내부로의 해수유입을 방지하기 위해 200mm 공기방 3개를 결합하여 600mm의 높이로 설계하였다.

### 3. PE 파이프 부 설계

가두리 간의 연결, 그물부의 고정, TPU 공기방의 형상 유지 및 혹시 있을지 모르는 파손에 의한

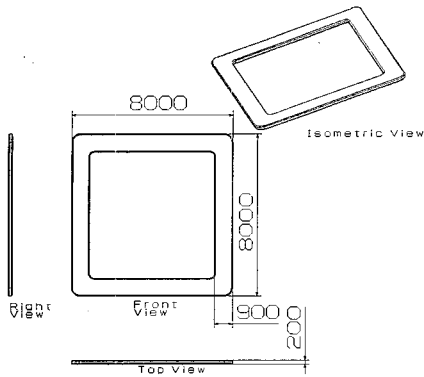


Fig. 4 A plan of TPU air chamber

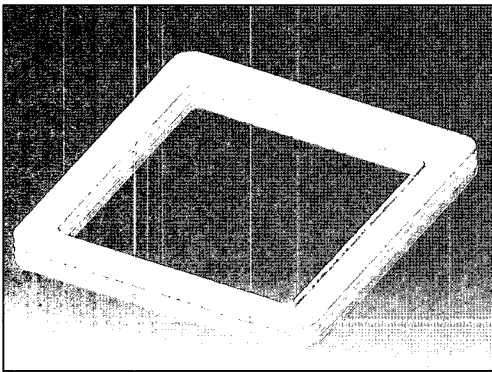


Fig. 5 3D modeling of TPU air chamber

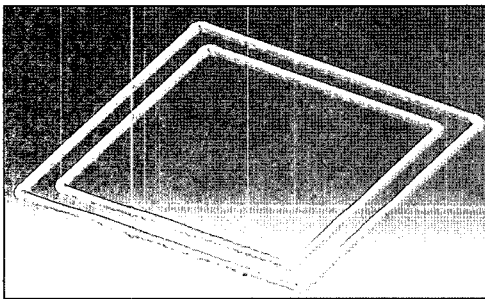
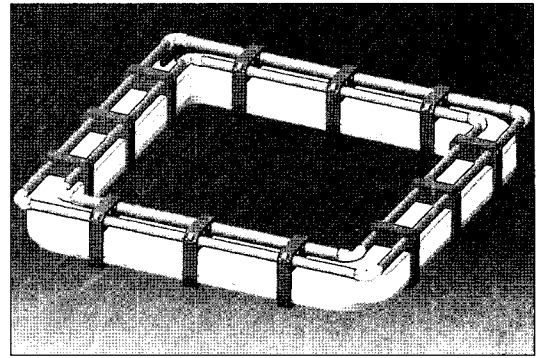
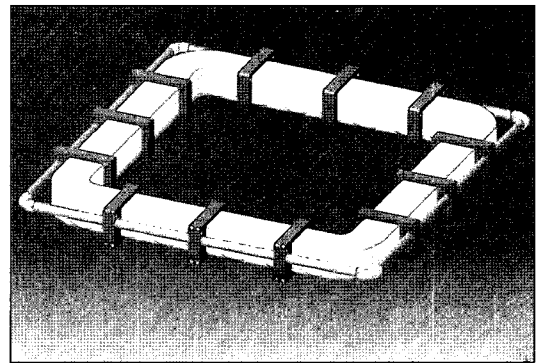


Fig. 6 Formation of PE pipe

부력 손실을 보완하기 위해 PE 파이프를 사용하였다. PE 파이프는 이미 다른 내파성 가두리양식장에 널리 이용되고 있으며, 파이프 자체만으로도 부력을 가진다. 본 연구에서는 엘보우를 사용하여 사각의 형태(Fig. 6)로 TPU 공기방 상부 외측과 내측에 배치하였다.



(a) Model type 1



(b) Model type 2

Fig. 7 Connection between PE pipe and air chamber

4. 블록 구조물 연결부 설계

TPU 공기방과 PE 파이프 구조물 간의 연결부는 가공 및 부력 성능, 강도 면에서 우수한 PE를 사용하였으며, Fig. 7과 같이 두 가지 모델로 설계하였다.

두 가지 모델의 강도해석 결과와 작업대의 설치, 구조물 간의 연결 편의성 및 견련 확보 측면에서 우수하다고 판단되는 첫 번째 모델을 최종 연결부(Fig. 11)로 결정하고, 이에 대해 모델링 해석과 시제품 모형 해석을 수행하였다. Fig. 8과 같이 시제품의 압축실험 결과에서 알 수 있듯이 약 10 mm 지점부터 항복이 일어났다. Fig. 9는 10 mm 변형을 가하였을 때의 응력분포이다. Fig. 9에서 PE 물성치의 특성상 구조물 자체가 받는 하중이나 변형보다는 볼트가 지지하는 하중이 더 크

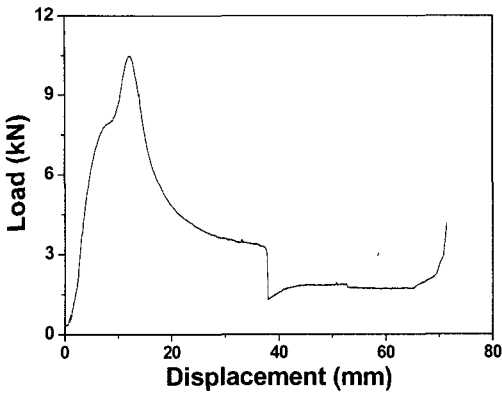


Fig. 8 S-S Curve of compression test

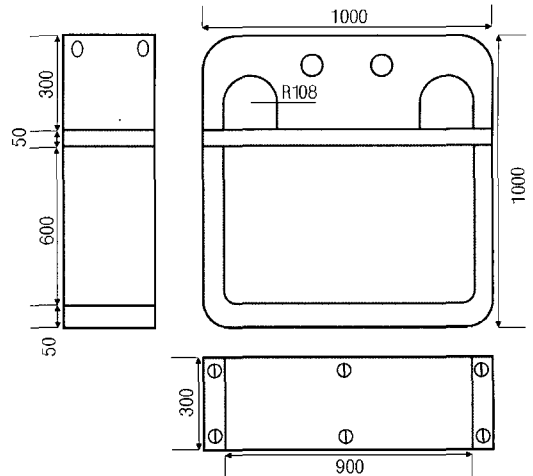


Fig. 11 Drawings of bracket

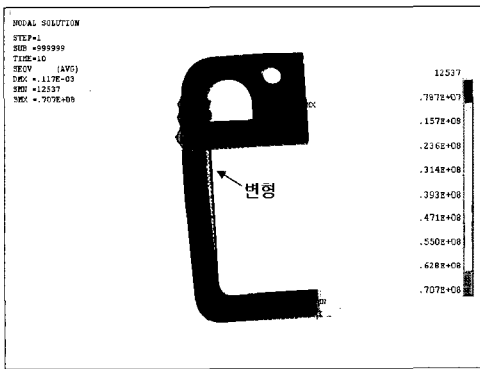


Fig. 9 Stress distribution of bracket

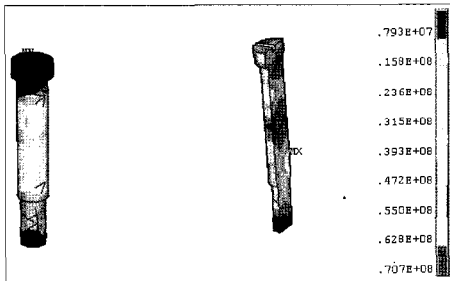


Fig. 10 Stress distribution of bolt

다는 것을 알 수 있다. 시제품 실험에서도 40 mm 지점의 좌굴 발생은 볼트의 굽힘 현상에 기인한 것이다. 시제품에서 사용된 볼트 재질은 SUS 이며; 아래 Fig. 10은 동일한 조건에서 볼트의 응력분포를 나타낸 것이다.

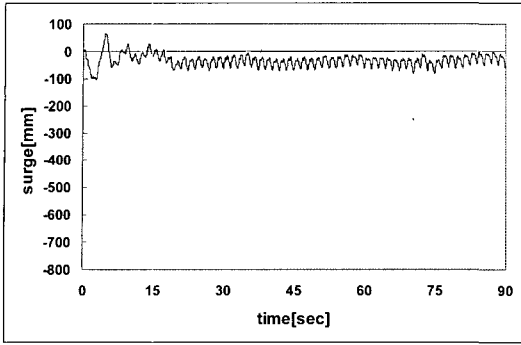
압축 실험과 CAE 결과로 유추해 볼 때 PE를

이용한 구조물에서는 PE 소재의 특성상 연결부 소재의 강도 및 연신율이 더 큰 영향을 미칠 것이다.

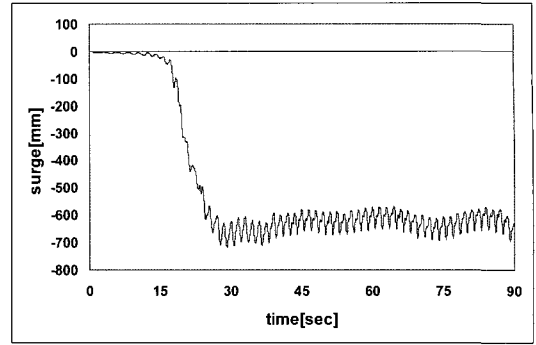
### 5. 가두리 최종 형상 및 해상부유성능

가두리의 최종 형상은 Fig. 14와 같으며, 약 1/10 크기의 모형을 제작하여 모형수조에서 부유성능 및 운동 특성을 분석하였다. 각 가두리 간의 운동 특성을 함께 관찰하기 위해 4개의 가두리를 하나의 세트로 구성하여 파에 의한 6자유도 운동성능 실험을 수행하였다. 실험에 사용된 파는 단방향 파로 규칙, 불규칙 두 가지를 이용하였다. 규칙파의 경우 파고  $H=0.2m$ , 주기  $T=1.5sec$  이며(정성재 2003), 불규칙파에 대해서는 유의파고  $H_{1/3}=0.2m$ , 주기  $T=1.5sec$ 인 ISSC 스펙트럼을 사용하였다.

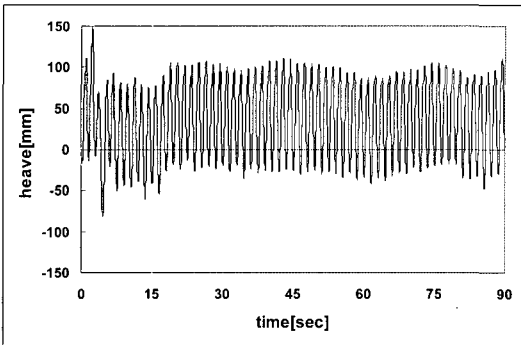
단방향 파에 대한 부유성능 모형수조실험 결과에서 주의 깊게 볼 운동특성은 전후요(surge), 상하요(heave), 종요(pitch)의 세 가지이다. Fig. 12, 13에서 볼 수 있듯이 사각가두리(신준근 등 2005)의 운동과 비교해보면, 전후요의 경우 운동 폭이 1/2 정도 수준이고, 수직운동을 나타내는 상하요의 경우 공기방가두리는 수면 위로, 사각 가두리는 수면 아래로 운동하는 특성을 보이고 있는 것으로 보아 공기방가두리의 해수 유입이 적을 것으



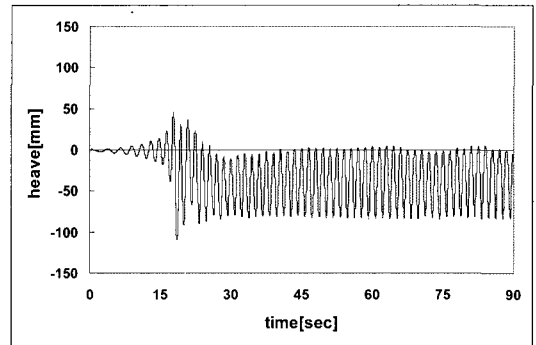
(a) 공기방가두리 전후요운동



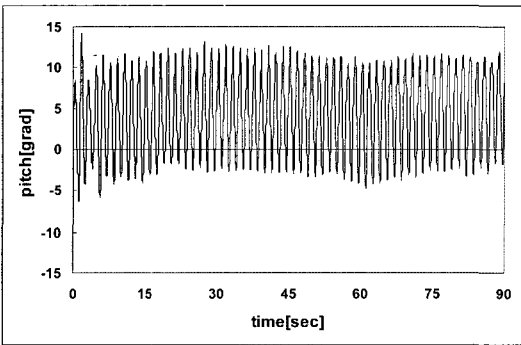
(b) 사각가두리 전후요운동



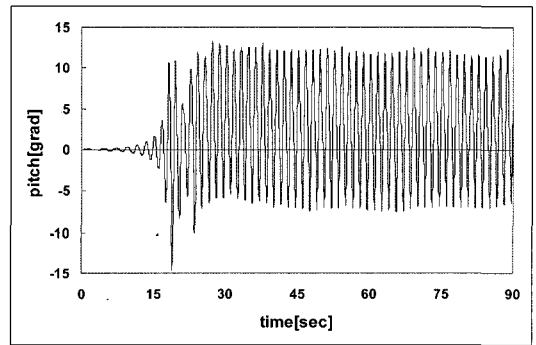
(c) 공기방가두리 상하요운동



(d) 사각가두리 상하요운동

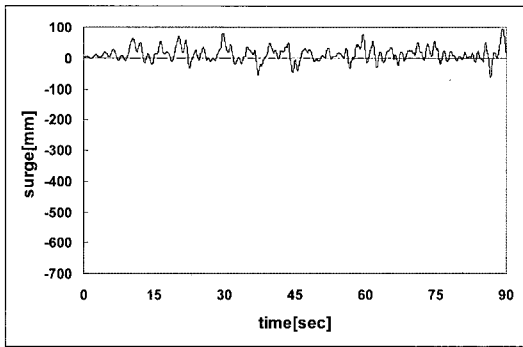


(e) 공기방가두리 중요운동

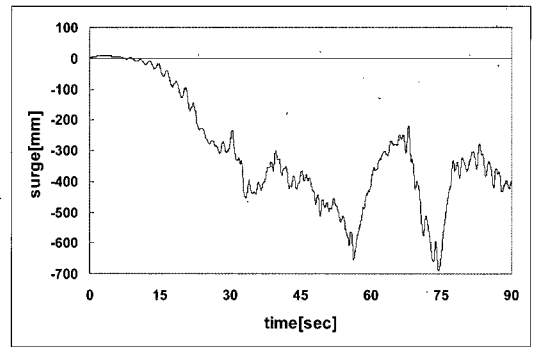


(f) 사각가두리 중요운동

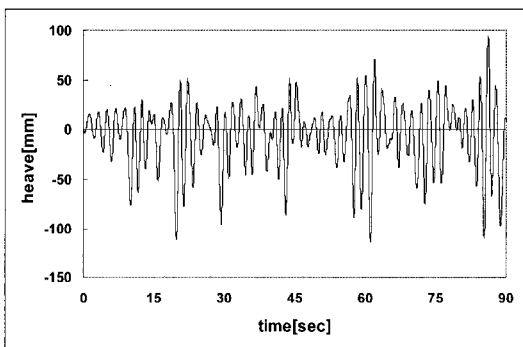
Fig. 12 Response of the model test under the regular wave



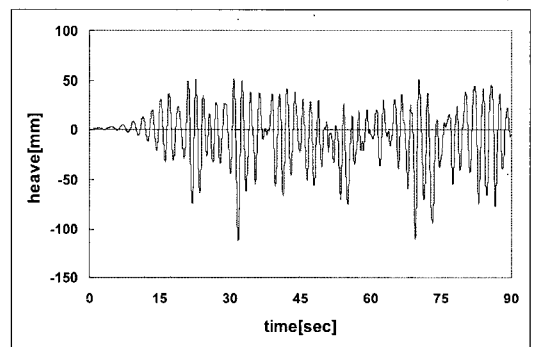
(a) 공기방가두리 전후요운동



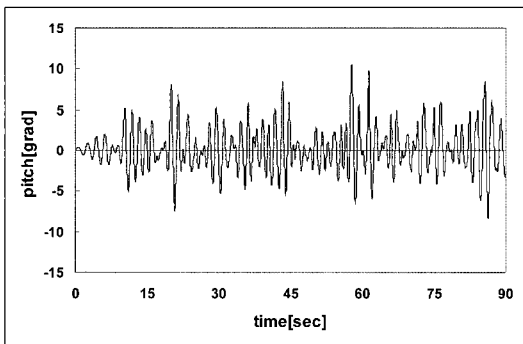
(b) 사각가두리 전후요운동



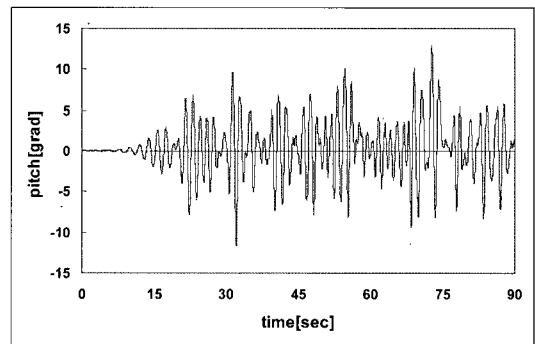
(c) 공기방가두리 상하요운동



(d) 사각가두리 상하요운동



(e) 공기방가두리 종요운동



(f) 사각가두리 종요운동

Fig. 13 Response of the model test under the irregular wave

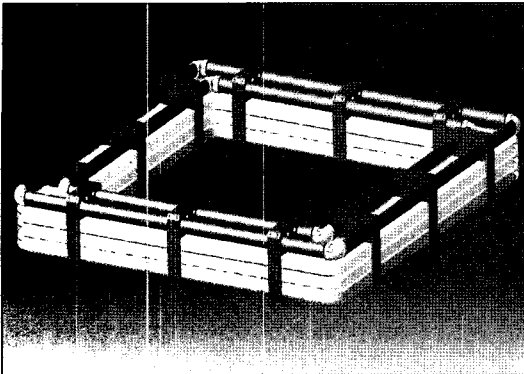


Fig. 14 TPU air chamber fish cage

Table 2 Comparison among fish cages

	목재 가두리	PE 가두리	내파성 가두리	공기방 가두리
재질	스티로폼부자 목재, 각재 로프, 볼트	스티로폼부자 PE, PE파이프 로프, 볼트 커플링	PE파이프 PE브라켓 PE사각파이프	TPU공기방 PE파이프 PE브라켓
크기	14×14	14×14	14×14	8×8
수명	5~7년	3~5년	10년~	-
가격	5~600만원	6~700만원	800만원	1000만원~

로 예상할 수 있다. 중요한 경우도 사각가두리의 2/3 정도 수준으로 공기방가두리의 운동 성능이 보다 우수하다는 것을 알 수 있다. 특히 불규칙파에 대한 전후요 운동의 경우 공기방가두리 운동 폭이 현저히 적으며, 안정적인 운동을 하고 있다는 것을 잘 알 수 있다. 가두리의 운동이 적고 안정적이라는 것은 사육되는 생물에게 최적의 환경을 제공한다는 것으로 판단할 수 있으며, 이는 곧 생산되는 어류의 양과 질을 향상시켜 어민들에게 고수익을 보장할 것으로 판단된다.

6. 기존 가두리와의 비교

Table 2는 현재 사용, 개발되고 있는 가두리와 본 연구에서 개발한 가두리의 재질 및 비용에 대한 비교를 나타내고 있다. 공기방가두리의 경우 아직 이용 사례가 없어 그 수명에 대해 논할 수는 없지만, Table 1의 결과에서 알 수 있듯이 인장,

인열, 마모강도 등이 우수하고, 부품의 부분적 교체 및 수리가 편리하여 기존 가두리 이상의 수명을 가질 수 있을 것으로 판단한다.

7. 결론

본 연구에서는 TPU 공기방과 PE를 이용하여 가두리를 설계하고, 연결부에 대한 압축시의 강도 해석, 규칙파와 불규칙파에 대해서 전후요, 상하요, 중요 운동을 중심으로 6자유도 해상부유 운동 성능 실험을 수행한 후 그 결과를 비교, 분석해보았다. 본 연구를 통해 TPU 공기방과 PE 파이프를 이용한 가두리 양식장 개발이 가능해졌으며, TPU 공기방은 내부공기압 조절을 이용한 부력 조절이 가능해 가두리를 침하시킬 수 있어 해마다 어민들에게 큰 피해를 주는 적조의 피해를 대폭 줄일 수 있을 것으로 기대한다. 또한 이동, 조립 및 분해가 간편하며, 해상 부유 시험에서 알 수 있듯이 어류에게 최적의 사육 환경을 제공하여 어민 소득 증대에 큰 기여할 것이다.

가두리 형상 설계에 초점을 맞춘 연구이기 때문에 향후 계류방식과 그물부 설치 등의 조건을 고려한 연구가 이루어져야 할 것으로 생각하며, 보다 다양한 크기와 형태의 가두리 개발에 관한 연구도 함께 이루어져야 할 것이다. 더불어 어민들에게 보급하기에 다른 가두리에 비해 비용이 많이 든다는 단점을 보완할 수 있는 설계의 수정이 필요할 것으로 판단된다. 국내·외적으로 내파성 가두리 양식장에 관한 연구가 아직 초기 단계에 있어 연구 결과에 대한 비교 및 고찰이 미약한 실정 이지만, 본 연구의 결과는 앞으로 이루어질 양식업 관련 연구에 참고 자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

후 기

본 연구는 중소기업청 중소기업기술혁신개발사업의 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- 국립수산물과학원, 1999, 내파성 가두리 양식시설



- 및 개량부자, 보고서, pp. 1-20.
- 국립수산과학원, 2004, 외해 가두리 시설의 설계 외력 산정 및 역학적 특성 해석, 최종보고서 pp. 12-14.
  - 동해지방해양수산청, 2002, 동해안 내파성 가두리 양식, 발표자료
  - 신종근, 정성재, 윤지현, 2005, "외해용 양식 구조물 개발에 관한 연구," 한국항해항만학회, 춘계학술대회 논문집, 제 29권, 제 1호, pp. 285-290.
  - 정성재, 2003, 학위논문, "Ein Beitrag zur erzeugung nichtlinearer Entwurfsseegaenge im numerischen Wellenkanal, Technische Universitaet Berlin," D83.



< 최 진 >



< 김 수 영 >



< 김 덕 은 >



< 정 성 재 >