

# 유한 요소법을 이용한 어업용 프레임 구조물의 변형 및 강도 해석

김태호 · 류청로\* · 김대안\*\*

국립수산과학원, \*부경대학교, \*\*여수대학교  
(2002년 8월 19일 접수)

## Analysis on Deformation and Stiffness of Frame Structure for Fishery using Finite Element Methods

Tae Ho KIM, Cheong Ro ryu\* and Dae An KIM\*\*

National Research and Development Institute, \*Pukyong National University,  
\*\*Yeosu National University  
(Received August 19, 2002)

### Abstract

In order to evaluate the deformation and stiffness of frame structure for fishery, composed of unit platforms which made of two concentric high density polyethylene buoys fixed by clamps and belts and rubber hinge components, under wave, the structural analysis for the square type of the structure was carried out by using finite element methods. The accurate physical properties of rubber hinge components determined by material tests were an important parameter to evaluate more reliable structural stability for the structure. The idealization to beam element with equivalent stiffness and rubber element with linearity for rubber hinges was necessary for the modeling of rubber component which has hyper-elastic characteristics. In addition, it was shown that the structural response of the structure under wave was larger in the hogging condition than that of in the still water or in the sagging condition.

Key words : Deformation, Stiffness, Frame structure for fishery, Rubber hinge components, Finite element methods

### 서 론

연안 어장에서 사용되고 있는 어업용 프레임 구조물의 대부분은 어류 양식용 가두리 시설이나 어로용 낙망, 승망, 통발 등과 같은 우리 형태의 구조물이다. 이들 우리 형태의 구조물은 목재, 철재, 플라스틱 재료, 밧줄 등으로 만들어진 선형 프레임에 그물감을 부착하여 제작하는 것이 보통이기 때문에, 그것의 강도에 한계가 있어서 조류, 파랑 등에 의한 유체력이 어느 한계를 초과할 때는 각부 재료의 파단 및 구조물 전체의 유실을

초래하기 쉽다는 문제점을 가진다(Kim, 2000).

따라서 어업용 프레임 구조물에 있어서는 작용 외력에 대한 안전성의 확보가 가장 크게 요구되고 있는데, 이를 위해서는 구조물에 작용하는 조류, 파랑 등의 유체 동역학적 특성을 정확하게 해석하고 이들 외력에 견디어 낼 수 있는 구조물의 최적 설계 방법과 각 재료의 배치 기술 및 조류에 의한 그물의 변형과 파랑에 의한 구조물의 운동을 최소화시키는 방법을 강구할 것이 필요하다.

특히 어업용 프레임 구조물은 파랑과 조류에 충분히 견딜 수 있도록 설계해야 하고, 이를 위해서

는 우선 이 구조물에 작용하는 유체력 및 운동 특성을 명확하게 규명하지 않으면 안 되기 때문에, 이 구조물의 유체력 및 운동 특성에 관해서는 비교적 많은 연구(Hidesima, 1982; Fu *et al.*, 1989, 1989, 1994; Oltedal *et al.*, 1989; Aarsnes *et al.*, 1990; Matsubara, 1990; Slaattelid., 1990; Fujita *et al.*, 1991; LØland, 1991; Ormberg, 1991; Ormberg and Slaattelid, 1993; Kim *et al.*, 2000, 2001; Colbourne *et al.*, 2001; Tsukrov *et al.*, 2001)가 있지만 파랑에 대한 이 구조물을 구성하는 부재의 변형 및 강도 해석을 통한 안정성의 해석에 관한 연구는 거의 없는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 어업용 프레임 구조물의 안정성 해석을 위한 기초 자료를 얻어낼 목적으로, 유한 요소법을 사용하여 고밀도 PE(HDPE) 부이가 클램프와 벨트로 고정된 단위 틀이 힌지로 연결된 어업용 프레임 구조물의 변형 및 강도를 해석하였다.

## 구조 해석

### 1. 대상 모델

본 연구에서 대상으로 한 어업용 프레임 구조물은 정사각형으로 각 변의 길이가 12.5m이며, 이것의 공기 중 무게는 66.3kN이다(Fig. 1). 또한 이 구조물을 구성하는 각각의 단위 틀은 Fig. 2에서와 같이 2개의 부이가 클램프 및 벨트로 고정되고, 그 위에 발판을 지지하기 위한 프레임, 목재 및 보조 받침대가 구성되어 있으며, 이와 같이 구성된 각각의 단위 틀은 Fig. 3과 같은 힌지로 서로 연결되어 있다.

단위 틀을 구성하는 각 성분의 재질은 부이, 클램프 및 발판의 경우 고밀도 PE(HDPE)이고, 프레임은 철(SS41)이며, 벨트는 나일론이다. 특히 구조적으로 외부 하중에 저항하는 부분인 부이와 프레임을 구성하는 재료는 Table 1에서와 같이 각각 지름이 370mm인 고밀도 PE 파이프와 지름이 89.1mm인 철 파이프로 구성되어 있다. 한편 힌지의 재질은 내부 연결재의 경우 스프링강이고, 중앙부인 외부 탄성재는 고무 성분인 네오플렌으로 이루어져 있으며, 주 재료의 결합부는 아연 주조물이다. 이와 같이 제작된 힌지는 Table 2에서와 같이 일정 하중이 작용하면 전후, 좌우 및 상하 방향으로 최대 허용치 내에서 변형을 하게 되며, 이것은 유연성을 증대시켜 구조물이 파손되는

것을 방지시켜 주는 역할을 한다.

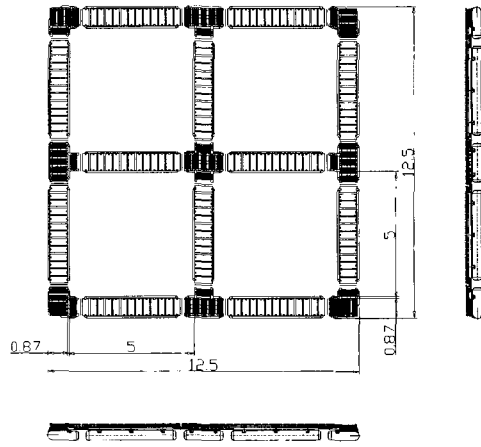


Fig. 1. Frame structure for fishery used for finite element analysis(Unit : m).

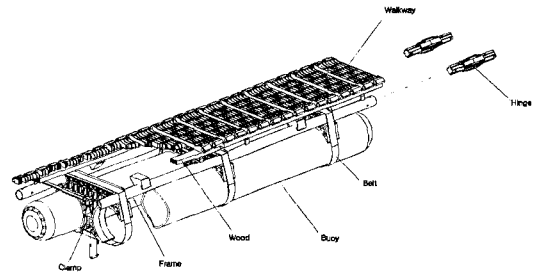


Fig. 2. Unit platform consisting of frame structure for fishery.

Table 1. Mechanical properties of material for buoy and frame

Material	Mechanical properties	
	Buoy	Frame
Material	High density PE(HDPE)	Steel(SS41)
Diameter(mm)	370	89.1
Thickness(mm)	14.2	5.5
Tensile strength (N/mm <sup>2</sup> )	22.56	235
Young's modulus (N/mm <sup>2</sup> )	353.4	206,000
Poison ratio	0.4	0.3
Density(N/mm <sup>3</sup> )	9.8 × 10 <sup>-6</sup>	76.9 × 10 <sup>-6</sup>

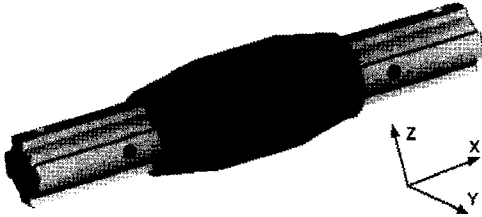


Fig. 3. Hinge component for the linkage of each unit platform.

Table 2. Maximum allowable limit of hinge components

Direction	Max. allowable limit	Action
X	3mm(Tensile)	53,900N
	20mm(Compressive)	14,700N
Y	20°	980N · m
Z	30°	980N · m

## 2. 구조 모델링

어업용 프레임 구조물의 구조 해석에 필요한 모델 생성은 MSC/NASTRAN 전용 Pre/Post Processor인 MSC/PATRAN Ver 9.0, Solver는 MSC/NASTRAN Ver 70.7을 이용하였다.

또한 파랑 하중을 집적 받는 부력 부재인 PE 부이의 경우 MSC/NASTRAN에서 제공하는 2차원 Shell 요소(3각형 및 4각형 요소)로, 이 구조물의 골격을 유지하는 프레임의 경우 1차원 Beam 요소로 모델링 하였으며, 계산 및 모델링 시에는 다음과 같은 가정을 하였다.

1) 작용 외력에 저항하는 부재인 PE 부이 및 프레임은 클램프와 벨트로 고정되어 있는데, 이들 부재 사이에 슬립 현상은 발생하지 않는다고 가정한다. 즉 그들이 벨트로 고박된 상태이므로 벨트가 느슨하게 되면, PE 부이와 클램프 및 프레임은 상대 운동을 하게 된다. 그렇게 되면 벨트와 PE 부이, 클램프와 PE 부이 및 클램프와 프레임 사이에 슬립 현상을 고려해야 되는데, 이와 같은 경우에는 비선형 문제까지 확대되기 때문에 벨트의 고박 상태가 매우 양호한 것으로 가정하면 부재 사이의 상대 운동이 발생하지 않고 각 부재간 자유도를 공

유하게 함으로써 모든 부재가 일체로 거동하는 것으로 모델링 하였다.

- 2) 클램프는 PE 부이에 작용하는 파랑 하중을 프레임에 전달하는 역할을 하는 것인데, 본 해석에서는 클램프 자체의 구조 해석은 배제하였으며, 그 대신에 밀도가 없고 강성이 큰 요소로 모델링 하였다.
- 3) 벨트는 인장만을 받는 1차원 Rod 요소로 모델링 될 수 있는데, 본 연구에서는 단면적이 크고 밀도가 없는 요소로 모델링 하였다.
- 4) 발판, 보조 받침대 및 목재는 구조적으로 외부 하중에 저항하는 부재가 아니기 때문에 하중으로 치환하였다.
- 5) 힌지는 인장 및 압축 허용치가 서로 다른 비선형 요소이므로 MSC /NASTRAN의 경우 이와 같은 비선형 요소의 모델링을 하기 위해서는 스프링 요소를 사용해야 한다. 즉 스프링 요소는 비선형 거동을 해석할 수 있는 유한 요소로서 사용자가 요소의 축 방향 하중에 대하여 인장 및 압축 허용치를 정의하여 비선형 해석을 할 수 있다.

또한 본 구조물의 거동은 힌지가 축 방향으로 하중을 받는 경우보다 굽힘 하중을 받는 경우가 지배적이고 힌지의 중앙부인 외부 탄성재의 재질이 고무 성분인 네오플렌으로 이루어져 있으며, 이 고무 성분에 대한 모델링이 본 연구에서 가장 중요한 사항이라 할 수 있다. 즉, Kim *et al.* (2001a)에 의하면 고무의 힘과 변위의 비선형 및 점탄성 특성으로 인해 실제로 해석하는데 어려운 점이 많이 있으나, 변형 범위가 작은 경우에는 선형으로 간주하여 해석을 하는 것도 가능하다.

따라서 고무 힌지 부분을 선형 문제로 이상화하여 구조 해석을 하기 위한 주요 인자는 스프링 강성이며, 이것은 실험을 통하여 얻는 것이 가장 정확하다. 그러나, 본 연구에서는 이러한 스프링 강성을 산정하기 위하여 탄성 이론에 근거하여 Table 3에서와 같이 힌지 부분의 강성을 등가의 강성을 갖는 Beam 요소와 선형 거동의 고무 요소로 치환하였다.

먼저 등가의 강성을 갖는 빔 요소에 대해서는 Table 2에서 보는 바와 같이 힌지의 좌우(Y) 및 상하(Z) 방향의 허용 모멘트가 980N · m이므로 이와 같은 크기의 모멘트가 작용을 하면 부재는 항복을 한다고 가정하며, 이 경우 허용 굽힘 응력은 항복 응력의 75%이므로 176.25N/mm<sup>2</sup>이다.

즉,

$$M = \sigma Z \text{에서}$$

$$Z = \frac{M}{\sigma} = \frac{100 \times 9.8 \times 1000}{176.3} = 5558.7 \text{ mm}^3 \text{이 얻}$$

어지므로 원형 단면을 갖는 Beam으로 가정하여 지름  $d$ 를 구하면

$$Z = \frac{\pi \times d^3}{32} \text{ 이고,}$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 \times Z}{\pi}} = \sqrt[3]{\frac{32 \times 5558.7}{\pi}} = 38.4 \text{ mm}$$

이다.

따라서 단면 2차 모멘트  $I$ 는

$$I = \frac{\pi \times d^4}{64} = 106,843.3 \text{ mm}^4 \text{ 이다.}$$

한편 종탄성 계수(영 계수)  $E$  값은 외팔 보의 자유단에 모멘트가 가해질 때 처짐 각을 구하는 식을 이용하였다. 이 경우 힌지는 중앙부를 중심으로 상하( $Z$ ) 방향으로 굽힘 작용을 하게 되므로 힌지를 2등분하여 그것의 중앙부에 외팔 보의 경계 조건을 적용하여 영 계수 값을 산정하였으며, 처짐각  $\theta$ 는 다음과 같은 식으로 구하였다. 즉,

$$\theta = -\frac{M l}{EI} \text{이며,}$$

Table 2에서 힌지의 상하( $Z$ ) 방향의 처짐 허용 각이  $30^\circ$ 이므로

$$E = \frac{M l}{I \theta} = \frac{100 \times 9.8 \times 1000 \times 2405}{106843.3 \times 0.5236} = 4217.3 \text{ N/mm}^2$$

이다.

단, 여기서  $l$ 은 힌지의 양단 구멍까지의 거리의 1/2인  $2,405 \text{ mm}$ 이다.

또한 힌지를 선형 거동의 고무 요소로 치환하기 위하여 위와 같은 방법으로 단면 2차 모멘트  $I$  및 종탄성 계수  $E$  값을 계산한 결과, 각각  $3,516,585.7 \text{ mm}^4$  및  $1281.3 \text{ N/mm}^2$ 이었다.

한편, 본 어업용 프레임 구조물의 유한 요소 해석을 위한 모델링에 사용된 총 절점수는 4,168개 이고 요소수는 4,844개이며, 구조 해석을 수행하기 위하여 모델링된 형상은 Fig. 4와 같다.

Table 3. Substituted values to beam element with equivalent stiffness and rubber element with linearity for hinge components

	Beam element	Rubber element
Diameter(mm)	38.4	92.0
Second moment of inertia, $I(\text{mm}^4)$	106,843.3	3,516,585.7
Young's modulus, $E(\text{N/mm}^2)$	4217.3	1281.3
Tensile strength $(\text{N/mm}^2)$	176.3	6.9

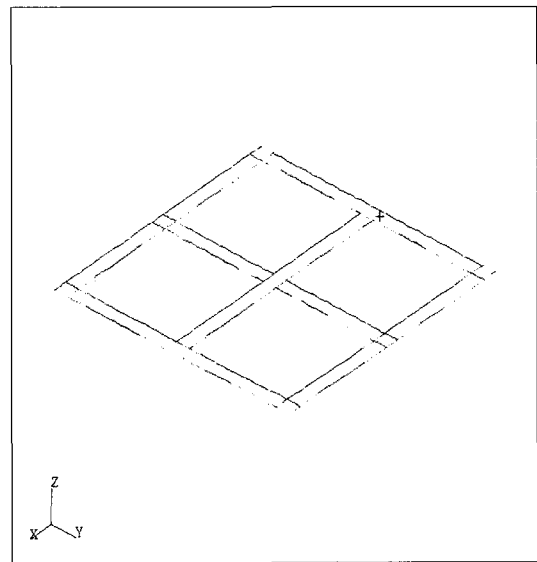


Fig. 4. Finite element model of frame structure for fishery.

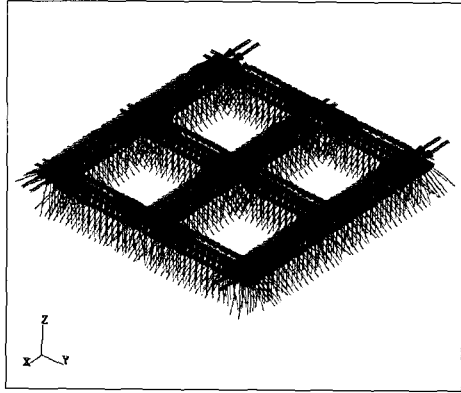
### 3. 경계 조건 및 하중 조건

파랑 하중은 시간에 따라 변화하므로 그것을 고려한 동적 해석을 수행하기 위해서는 많은 장비와 시간이 소요된다. 따라서 본 어업용 프레임 구조물과 같이 물위에 떠 있으면서 강체 운동을 하는 부유식 구조물을 대상으로 구조 해석을 하는 경우 시간의 변화에 따라 가장 극심한 하중을 유발하는 하나의 파랑을 선정하여 준정적 해석(Quast-static analysis)을 하는 것이 일반적이다. 이 경우 경계 조건은 선박의 전선 해석 등 부유체의 구조 해석시 많이 이용되고 있는 MSC/

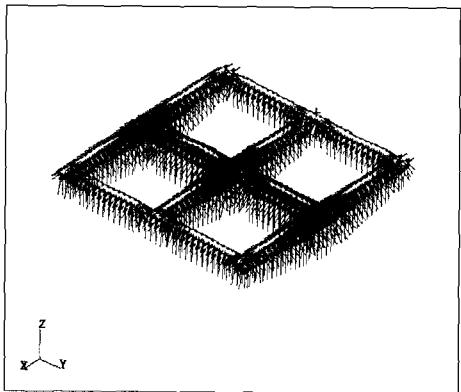
NASTRAN에서 제공하는 Inertia relief를 사용하는데, 이것은 Inertia relief 설정 시 지정한 절점을 기준으로 상대 변위 값을 계산하게 된다.

한편 하중 조건의 경우 앞에서 언급한 바와 같이 본 연구에서 대상으로 하는 어업용 프레임 구조물의 공기중 무게가  $66.3kN$ 이며, 이것은 배수량이  $66.3kN$ 인 상태에서 정수 중 정적 평형을 이루게 되므로 배수량이  $66.3kN$ 이 되기 위한 흘수는 약  $192mm$ 이다. 또한 환경 하중의 경우 파랑 하중이 가장 지배적이며, 일반적으로 부유식 구조물의 경우 그것의 길이와 같은 크기의 파장을 가지는 파랑이 왔을 때 가장 큰 구조 응답을 보이게 된다.

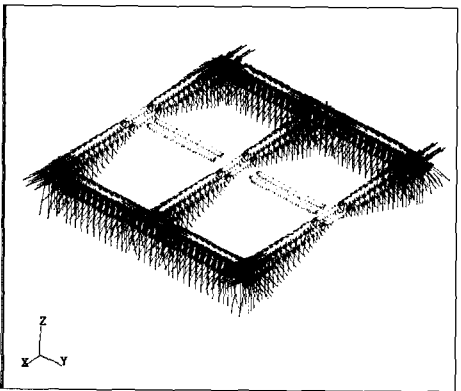
따라서, 본 어업용 프레임 구조물을 해석하기 위한 파랑 조건은 구조물의 길이와 같은 크기인 파장이  $12.5m$ 인 파랑을 기준으로 하여, 구조물에 접근하는 파랑의 위상별로 하중 조건을 설정하였다. 즉 정수 중인 경우를 Load case 1, 파정이 어업용 프레임의 중앙부에 왔을 때, 즉 Hogging 거동을 하는 경우를 Load case 2, 그리고 파정이 어업용 프레임의 양 끝단에 왔을 때, 즉 Sagging 거동을 하는 경우를 Load case 3으로 하여 3가지의 하중 조건에 대하여 계산을 수행하였다. Fig. 5는 각각의 하중 조건에 대하여 입력된 파랑 하중을 보여주고 있다.



(a) Still water condition



(b) Hogging condition



(c) Sagging condition

Fig. 5. Wave forces acting on frame structure for fishery by load case.

#### 4. 계산 방법

해석 시에는 각 하중 조건별로 힌지의 모델을 변화시켜 가면서 계산을 수행하였는데, 편의상 힌지의 강성이 프레임과 같은 경우를 Mat-1, 힌지를 등가의 Beam으로 모델링하여 계산한 경우를 Mat-2, 힌지를 선형 거동의 고무 요소로 모델링한 경우를 Mat-3이라 하였으며, 각 경우에 대하여 프레임과 힌지의 구조 강도 측면에서 안정성을 평가하였다.

#### 결 과

Fig. 6은 정수 중 상태인 Load case 1 가운데 힌지를 선형 거동의 고무 요소로 모델링한 Mat-3에 대한 변위 형상과 프레임 요소의 굽힘 응력 분포를 나타낸 것이며, Table 4는 정수 중 상태에서 힌지의 모델링 요소별 최대 굽힘 및 축 응력과 프레임 및 변위량을 보여주고 있다.

Table. 4. Stress and deformation of frame structure for fishery by hinge case in the still water condition

Cases	Max. bending stress ( $N/mm^2$ )		Max. axial stress ( $N/mm^2$ )	Max. displacement (mm)
	Frame	Hinge		
Mat-1	9.3	5.3	0.3	19.0
Mat-2	9.6	28.0	0.3	1,636
Mat-3	11.0	1.7	0.4	76.0

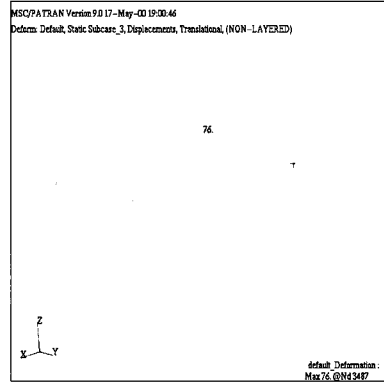
Fig. 6 및 Table 4에서 보면, 정수 중 상태에서 Mat-1, Mat-2 및 Mat-3의 경우 프레임 요소의 최대 굽힘 응력은 각각 9.3, 9.6 및  $11.0N/mm^2$ 이고, 힌지의 경우 5.3, 28.0 및  $1.7N/mm^2$ 이다. 즉, 각 요소별 최대 굽힘 응력은 Mat-1 및 Mat-3의 경우 프레임 요소에서, Mat-2의 경우 힌지 요소에서 나타났다. 또한 프레임 요소의 경우 허용 굽힘 응력이  $176.3N/mm^2$ 으로 구조적인 면에서 안전하다고 할 수 있으며, 힌지의 경우 Mat-1 및 Mat-2에서 허용 굽힘 응력이  $175.3N/mm^2$ 이고, Mat-3에서는  $5.2N/mm^2$ 으로 볼 수 있다. 그런데 네오플렌 고무판의 최저 인장 강도는  $6.2N/mm^2$ 이며, 허용 인장 응력은 그것의 75%를 취하면  $5.2N/mm^2$ 이다. 따라서 Load case 1의 경우 즉, 정수 중 상태에서는 본 어업용 프레임이 구조적으로 안전하다는 것을 알 수 있다.

Table. 5. Stress and deformation of frame structure for fishery by hinge case in the hogging condition

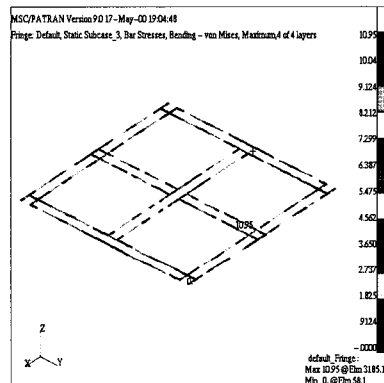
Cases	Max. bending stress ( $N/mm^2$ )		Max. axial stress ( $N/mm^2$ )	Max. displacement (mm)
	Frame	Hinge		
Mat-1	185.1	185.1	3.8	296
Mat-2	901.5	590.5	3.8	39,738
Mat-3	127.9	186.1	4.1	4,081

Fig. 7은 구조물이 Hogging 거동을 하는 Load case 2 중에서 Mat-3에 대한 변위 형상, 프레임 요소의 굽힘 응력 분포 및 PE 부이에 대한 von-Mises 응력 분포를 나타낸 것이며, Table 5

는 Hogging 상태에서 프레임 및 힌지의 모델링 요소별 최대 굽힘 및 축 응력과 변위량을 보여 주고 있다.



(a) Deformation of buoy

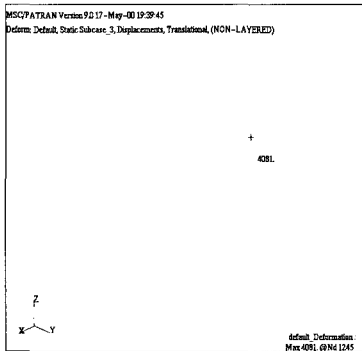


(b) Bending stress distribution

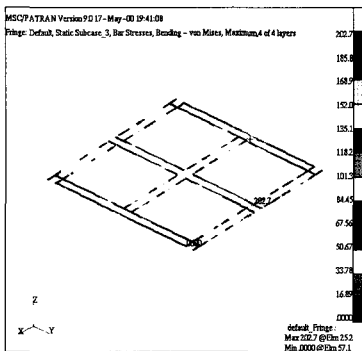
Fig. 6. Deformation and Stiffness of frame structure for fishery in the still water (Mat-3).

Fig. 7 및 Table 5에서 보면 Hogging 상태에서 Mat-1, Mat-2 및 Mat-3의 경우 프레임 요소의 최대 굽힘 응력은 각각 185.1, 901.5 및  $127.9N/mm^2$ 이며, 힌지의 경우 185.1, 590.5 및  $186.1N/mm^2$ 이다. 또한 프레임 요소의 경우 허용 굽힘 응력이  $176.3N/mm^2$ 이므로 Mat-3을 제외하고는 허용 응력을 초과하고 있으므로 구조적인 측면에서는 안전성이 작다는 것을 알 수 있으며, 힌지의 경우 Mat-1, Mat-2 및 Mat-3의 모두 구조적으로 문제가 있음을 알 수 있다. 한편 PE 부력 부재는 허용 응력인  $18.0N/mm^2$ 의 범위내에 있으므로 구조물이 안전한 것으로 사료된다.

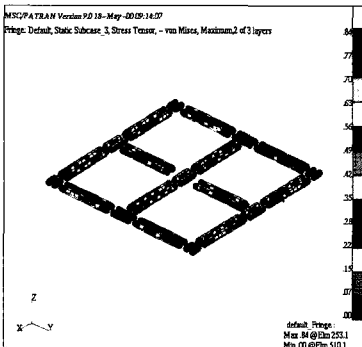
Fig. 8은 구조물이 Sagging 거동을 하는 Load case 3 중에서 Mat-3에 대한 변위 형상, 프레임 요소의 굽힘 응력 분포 및 PE 부이의 von-Mises 응력 분포를 나타낸 것이며, Table 6은 프레임 및 힌지의 모델링 요소 별로 최대 굽힘 및 축 응력과 변위량을 보여주고 있다.



(a) Deformation of buoy

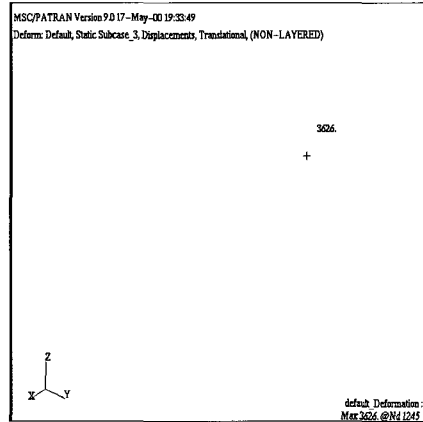


(b) Bending stress distribution

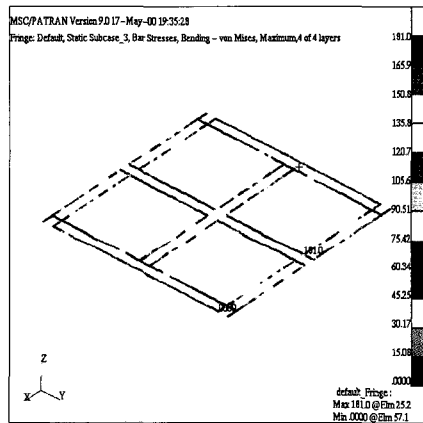


(c) von-Mises stress distribution

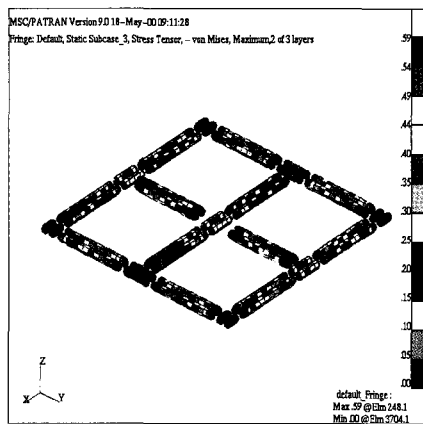
Fig. 7. Deformation and stiffness of frame structure for fishery in the hogging condition(Mat-3).



(a) Deformation of buoy



(b) Bending stress distribution



(c) von-Mises stress distribution

Fig. 8. Deformation and stiffness of frame structure for fishery in the sagging condition(Mat-3).

Table 6. Stress and deformation of frame structure for fishery by hinge case in the sagging condition

Cases	Max. bending stress ( $N/mm^2$ )		Max. axial stress ( $N/mm^2$ )	Max. displacement (mm)
	Frame	Hinge		
Mat-1	162.8	162.8	2.9	251
Mat-2	795.7	522.6	2.9	34,404
Mat-3	114.1	166.2	3.0	3,626

Fig. 8 및 Table 6에서 보면 Sagging 상태에서 Mat-1, Mat-2 및 Mat-3의 경우 프레임 요소의 최대 굽힘 응력은 각각 162.8, 795.7 및  $114.1N/mm^2$ 이며, 힌지의 경우 162.8, 522.6 및  $166.2N/mm^2$ 이다. 즉, 각 요소별 최대 굽힘 응력은 앞의 Hogging 상태에서와 같이 Mat-1 및 Mat-2의 경우 프레임 요소에서, Mat-3의 경우 힌지 요소에서 나타났다. 또한 프레임 요소의 경우 허용 굽힘 응력이  $176.3N/mm^2$ 으로 Mat-1과 Mat-3은 허용 응력 범위내에 있으므로 구조적인 면에서 안전하다고 할 수 있으나, 이들과는 대조적으로 Mat-2는 허용 응력을 초과하고 있어 구조적인 면에서 문제가 있으며, 힌지의 경우에도 Mat-1을 제외하고는 허용 응력을 초과하고 있으므로 구조적인 측면에서 안전성이 작은 것으로 사료된다.

## 고 찰

앞에서 설명한 바와 같이 힌지의 중앙부인 외부 탄성체의 재질은 고무 성분인 네오플렌으로, 그것은 탄성 범위내에서 하중과 변형이 선형적인 관계를 유지하는 일반적인 재료와는 달리 하중과 변형이 비선형 관계를 보이는 대변형 범위에서도 탄성 거동을 나타내는 초탄성(Hyper-elastic)특성을 지닌다. 특히 고무 재료의 거동은 비선형, 비압축성 및 대변형의 특성을 지니고 있으며, 그 양상이 고무의 성분에 따라 큰 차이를 나타내고 있기 때문에 고무 부품에 대한 유한 요소 해석을 수행하기 위해서는 그것과 동일한 재료에 대한 물성 시험이 요구된다(Kim et al., 2001a). 그러나 기존의 단순 인장 시험만으로 고무 재료의 물성을 구하게 되면 해석 결과에 오류를 범할 수 있

으므로 고무 부품을 설계할 때는 재료의 물성 즉 영 계수, Mooney 상수, Ogden 상수 등을 구해야 한다(Kim et al., 2001b). 즉 힌지를 단순한 선형 요소로 모델링하여 탄성 계수 E 값만을 인자로서 계산하면 신뢰성이 있는 해석 결과를 얻을 수 없으므로 유한 요소법을 사용하여 고무류 부품에 대한 구조 해석을 수행하기 위해서는 먼저 그들에 대한 재료 시험을 실시하여 정확한 물성치를 확보한 후 고무류 해석 전문 프로그램을 사용해야 할 것으로 사료된다.

한편, 본 계산에 사용된 힌지의 유한 요소 모델에 대하여 살펴보면, 외팔보의 처침각을 구하는 식을 이용하여 힌지를 등가의 Beam 요소로 모델링 한 Mat-2는 각 하중 조건에 대하여 대변형이 발생하였지만 선형계이므로 영 계수 E와 단면 2차 모멘트 I 값을 증가시키면, 결국 Mat-1의 결과로 수렴하여 갈 것이다. 또한 Mat-3의 경우, 영 계수 E 값과 항복 응력에 대해 보 이론을 적용하여 단순하게 추정하였는데, 앞에서 언급한 바와 같이 재료 시험 등을 통해 정확한 물성치를 확보할 수 있다면 본 구조물의 구조적 안전성을 보다 유효하게 평가할 수 있을 것으로 사료된다.

따라서 본 어업용 프레임 구조물에 대해 보다 정확한 유한 요소 해석을 하기 위해서 앞으로 보완해야 할 사항은 다음과 같다.

- 1) 부유식 구조물의 구조적인 안전성을 정확하게 평가하기 위해서는 적합한 유한 요소로 이것을 모델링 해야 하는데, MSC/NASTRAN 프로그램에는 고무 힌지의 모델리에 적합한 유한 요소가 아직 개발되어 있지 않으므로 고무류 부품을 설계·해석하기 위한 전용 프로그램을 이용하여 보다 정확한 계산을 수행하여야 한다.
- 2) 본 연구에서는 구조물의 고정을 위한 계류 시스템을 제외하였으나, 보다 신뢰성이 있는 해석 결과를 얻기 위해서는 이것을 포함한 해석이 요구된다.
- 3) 힌지가 선형 거동을 하는 단순 요소로 이상화하여 구조 해석을 하는 경우에도 재료 시험을 통해 얻은 그것의 정확한 물성치가 필요하다.

## 요 약

2개의 PE 부이가 클램프 및 벨트로 고정되고 그 위에 발판을 지지하기 위한 프레임 등으로 구성된 단위 틀이 외부 재질이 고무 성분인 힌지로



연결된 어업용 프레임 구조물의 강도 및 변형을 해석하여 구조적 안정성을 평가하고자 유한 요소법을 이용하여 그것의 구조 해석을 수행하였으며, 해석에서 얻어진 결과는 다음과 같이 요약할 수 있다.

- 1) 고무 힌지로 구성된 어업용 프레임 구조물의 구조적인 안정성을 해석하기 위해서는 힌지 부분을 정확하게 모델링하는 것이 중요하며, 특히 해석 결과는 모델링의 기법에 따라 다르게 나타났다.
- 2) 고무 힌지의 경우 먼저 재료 시험을 통해 그것의 정확한 물성치를 확보한 후 구조 해석을 수행해야 하며, 단순히 영 계수 E만을 인자로서 해석하는 경우 신뢰성이 있는 결과를 얻을 수 없다는 것을 확인하였다.
- 3) 초탄성 거동을 하는 고무는 대변형을 하지만 하중과 변형이 선형 관계를 유지하고 있으므로 영 계수 E 등의 물성치를 적절히 사용하면, 힌지를 단순하게 선형 문제로 이상화하여 구조 해석을 수행할 수 있을 것으로 사료된다.
- 4) 동일한 조건에서 파랑 하중에 대한 어업용 프레임 구조물의 구조 응답은 Hogging 상태 즉, 파정이 그것의 중앙부에 오는 것이 정수 중이나 Sagging 상태인 경우보다 크게 나타났다.

### 참고문헌

Aarsnes, J. V., Rudi, H. and LØland, G.(1990) : Current forces on cage, net deflection, Engineering for Offshore Fish Farming, Thomas Telford, London, 137-152.

Colbourne, D. B. and Allen, J. H.(2001) : Observations on motions and loads in aquaculture cages from full scale and model scale measurements. aquacultural engineering 24, 129-148.

Fu, E. B., Sato, O., Nashimoto, K. and Yamamoto., K.(1989) : Fluid force on simplified models of aquaculture net cage. Nippon Suisan Gakkashi 55(7). 1211-1216 (in Japanese).

Fu, E. B., Nashimoto, K., Yamamoto, K., Hiraiishi, T. and Takagi, T.(1994) : Model experiment examination of mooring method in aquaculture net cage. Bulletin of the Faculty of Fisheries, Hokkaido University

45(1). 9-18 (in Japanese).

Fujita, S., Fukahori, K. and Nishinokubi, H. (1991) : Tension of the mooring ropes on the net cage model of raft type in regular waves. Nippon Suisan Gakkashi 57(12). 2229-2235 (in Japanese).

Hideshima, Y.(1982) : Fundamental study on mooring force of the aquacultural wire netting cage (1). Fisheries Engineering 19(1). 1-6 (in Japanese).

Kim, T. H.(2000) : Hydrodynamic characteristics of frame structures for fishery, Ph. D. thesis, Department of Ocean Engineering, Pukyong National University, 67-84 (in Korean).

Kim, T. H., Kim, J. O. and Ryu, C. R.(2001) : Dynamic motions of model fish cage systems under the conditions of waves and current. J. Korean Fish. Soc. 34(1). 67-84 (in Korean).

Kim, W. D., Han, S. W., Lee, H. J., Woo, C. S., Kim, J. Y., Kim, W. S. and Kim., C. H. (2001a) : Development of design and analysis system of mechanical rubber components. Proceeding of the 6th Pusan-Kyungnam Automotive Techno Center (PKATEC) Workshop on Automotive Technology, Pusan National University, 67-84 (in Korean).

Kim, W. D., Kim, W. S. and Lee, H. J. (2001 b) : Experimental testing of rubber materials for finite element analysis, 6th Pusan-Kyungnam Automotive Techno Center (PKATEC) Workshop on Automotive Technology. Pusan National University, 67-84 (in Korean).

LØland, G.(1991) : Current forces on and flow through fish farms, Ph. D. thesis, Division of Marine Hydrodynamics, The Norwegian Institute of Technology, 126-129.

Matsubara, Y.(1990) : Dynamic response of offshore fish cage in the regular wave, Journal of the Japan Coastal Engineering Society 37, 714-718.

MSC/PATRAN(1999) : User documentation ver 9.0.

MSC/NASTRAN(1999) : User documentation ver 70.7.

- Oltedal, G., Lien, E. and Aarsnes, J. V. (1989) : Simulation of fish cage response to waves and current. Aquaculture Engineering Technologies for the Future, IchemE Symposium Series 111, 123-132.
- Ormberg, H.(1991) : Non-linear response analysis of floating fish farm systems. Ph. D. thesis. Division of Marine Structures. The Norwegian Institute of Technology, Trondheim, 54-79.
- Ormberg, H and Slaattelid, O. H.(1993) : Response analysis of floating fish farms. Proceedings of The First International Conference on Fish Farming Technology, 185-192.
- Slaattelid, O. H.(1990) : Model test with flexible, circular floats for fish farming. Engineering for Offshore Fish Farming Conference. Glasgow, United Kingdom, 93-106.
- Tsukrov I., Mustafa, O. Fredriksson, D., Swift, M. Baldwin, K. and Celikkol, B. (2001) : Open ocean aquaculture engineering: Numerical modeling. MTS Journal 34(1), 29-40.