

부력 제어식 가두리 모형의 부침 특성 및 안정성 해석

이건호 · 차봉진^{1*} · 정성재²

국립수산과학원 서해수산연구소 해역산업과

¹국립수산과학원 시스템공학과, ²국립수산과학원 동해수산연구소 해역산업과

Analysis of submerging characteristics and stability of the model submersible fish cage operated by buoyancy control

Gun-Ho LEE, Bong-Jin CHA^{1*} and Seong-Jae JEONG²

Aquaculture Industry Division, West Sea Fisheries Research Institute, NFRDI, Incheon 400-420, Korea

¹Fisheries Engineering Division, NFRDI, Busan 619-902, Korea

²Aquaculture Industry Division, East Sea Fisheries Research Institute, NFRDI, Gangneung 210-861, Korea

This study aims to analyze the performance of a submersible fish cage which was designed for developing an economical cage system can be applied in Korean aquaculture environment easily. To analyze the performance of the designed cage a model test was carried out. In the test, inclination changes of the upper frame and mooring tensions of model cage were measured during the submerging and surfacing motion in still water and wave condition (period: 2s, wave height: 0.1, 0.2, 0.3m). As a result, in the still water condition the model cage kept horizontal balance and inclination degree of the upper frame was about 1°. In the wave condition, the model cage showed bilateral symmetric up-and-down motion but the average inclination degree of the upper frame was about 0°. When the model cage reached at a depth of 1m, the up-and-down motion of the cage was decreased by 12% compared with that of at the surface (period 2s, height 0.3m). In the same wave condition, the maximum and average line tension under the bottom position were about 8% and 11% respectively compared with that of at surface.

Keywords: Submersible fish cage, Surfacing and Submerging, Variable ballast, Model cage, Mooring load

*Corresponding author: holdu@nfrdi.go.kr, Tel: 82-51-720-2581, Fax: 82-51-720-2586

서 론

부침식 가두리는 태풍과 같은 거친 해상 상황이나 적조 등의 재해가 발생할 경우 가두리를 일시적으로 수중으로 침하시킴으로써 가두리 내부의 양식생물을 보호하는 양식시설이다 (Zhao et al., 2010). 부침식 가두리와 관련하여 Fredriksson (2003)과 Kim and Yang (2007) 및 DeCew et al. (2010)은 파랑과 조류에 대한 가두리의 침하 및 부상 운동을 수학적 모델링을 통해 해석하는 연구를 수행하였고, Kim and Shin (1996)과 Fredriksson (2004) 및 Kim (2006)은 가두리의 거동과 계류력을 모형과 실물 실험을 통해 분석하는 연구를 수행하였다. 이와 같은 연구들에 힘입어 최근에는 상업화에 성공한 여러 가지 부침식 가두리들이 현장에 설치되고 있다 (Jensena et al., 2007). 근래 우리나라도 부침식 가두리를 현장에 설치하는 사례가 늘고 있다. 최근 미국 Ocean spar사에서 개발한 Sea Station 가두리가 제주도 표선 앞바다에 설치되었고, 미국 Ocean Farm Technologies사의 AquaPod 가두리가 강원도 양양군 앞바다에 설치되었다. 그리고 거문도에는 국내의 양식업체에서 자체 개발한 부침식 가두리가 수중에 설치되었다.

이러한 가두리들은 내만에 비해 상대적으로 넓고 오염이 없는 외해지역에서의 양식을 고려해서 만들어졌으며 외해지역의 거친 환경에 견디기 위해 수중에서 운용되는 외해가두리 시스템들이다 (Fredriksson et al., 2000). 그러므로 평상시 가두리는 수중에 위치해 있고 양식이 출하 또는 입식 시기에 잠시 부상했다가 침하하는 방식으로 운용된다. 그러나 이러한 방식은 수면에 있는 가두리를 필요시 일시적으로 가라앉히는 방식과는 다른 것이다. 현재 우리나라 양식장에서 사용하고 있는 가두리의 상당수는 평상시 수면에서 운용되며 위급할 때 일시적으로 침하시킬 필요가 있는 가두리에 해당한다. 앞서 언급한 가두리들이 부침식 가두리이기는 하지만 부침기능을 활용하기 위해 기존의 가두리 대신으로

사용하기에는 시설 및 수중관리에 대한 비용 부담이 적지 않고 운용방식도 다르다는 문제가 있다. 따라서 이러한 현실을 고려한 부침식 가두리 개발이 필요하다.

부침식 가두리가 우리나라 양식 산업에 보다 적극적으로 활용되기 위해서는 부침기능을 수행하되 평상시에는 수면에 떠 있어서 운용과 관리가 편리하고, 구조가 간단하여 문제 발생 시 비교적 대응이 쉽고 가두리 자체의 비용도 기존 가두리와 크게 차이하지 않아야 한다. 따라서 본 연구에서는 이러한 조건의 가두리를 개발하고자 기존의 현장에서 사용 중인 수면 계류 방식의 가두리에 부침기능을 수행할 수 있는 장치를 결합한 가두리 모형을 제안하였다. 그리고 부침기능을 확인하기 위해 제안 모델에 대한 모형을 제작하여 정수중과 파랑 조건에서 침하 및 부상 동작이 안정적으로 수행되는지를 확인하였다.

재료 및 방법

모형가두리와 실험장치

모형가두리는 남해 연안지역에서 실제로 사용하고 있는 양식용 가두리의 형태를 기본으로 하여 설계되었다. Fig. 1은 제안한 부침식 가두리 모형의 모식도를 나타낸 것이다. 가두리의 상부 및 하부에는 가두리의 형태를 유지해주는 원형 프레임이 부착되어 있고 하부 프레임 아랫부분에는 부력제어기가 붙어 있다. 상부 프레임은

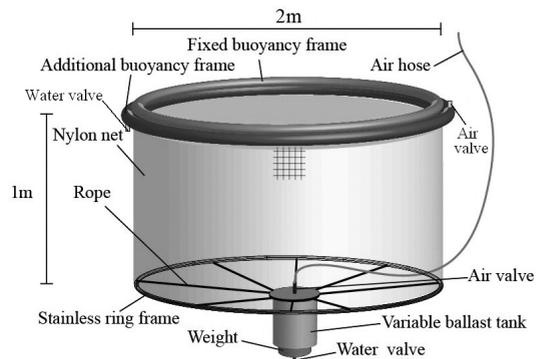
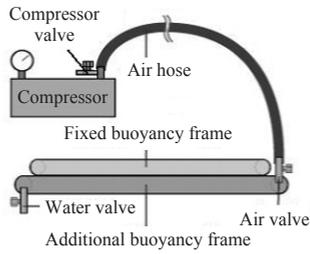


Fig. 1. Schematic of the model cage.

(a) Side view



(b) Top view

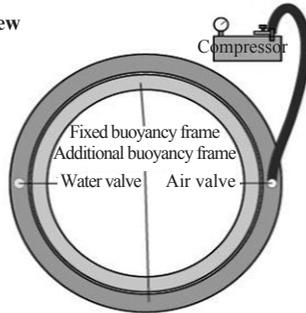


Fig. 2. Schematic of the upper frames.

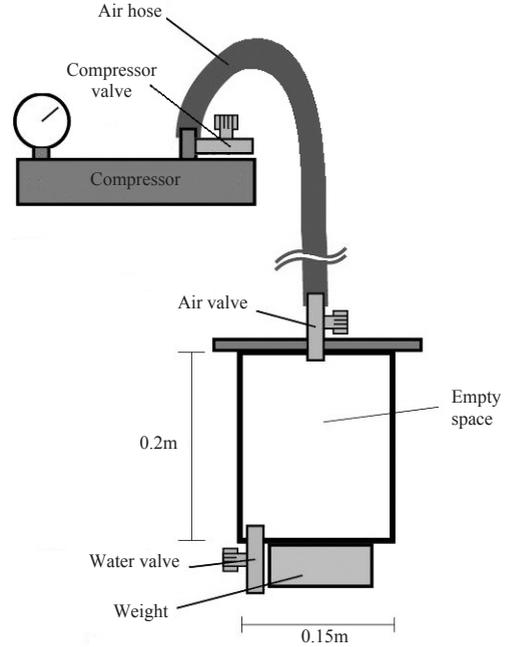


Fig. 3. Schematic of the variable ballast tank.

Table 1. Full-scale and model components of the cage

Cage component		Full-scale	Model
Upper Frame (Fixed buoyancy)	Diameter (m)	20	2
	Cros-sectional diameter (m)	0.34	0.034
	Thickness (m)	0.035	0.0035
	Material	HDPE	HDPE
Upper Frame (Additional buoyancy)	Diameter (m)	20	2
	Cros-sectional diameter (m)	0.34	0.034
	Thickness (m)	0.035	0.0035
	Material	HDPE	HDPE
Bottom Frame	Diameter (m)	20	2
	Thickness (m)	0.06	0.006
	Material	Stainless	Stainless
Variable ballast tank (VBT)	Diameter (m)	1.5	0.15
	Height (m)	2.0	0.20
	Buoyancy (N)	34617.5	34.61
	Material	HDPE	HDPE
VBT weight	Weight (N)	49033.3	49.03
	Material	Steel	Steel
Net	Full mesh size (m)	0.08	0.017
	Twine diameter (m)	0.004	0.0008
	Material	Nylon	Nylon

도넛 형태이며 속이 비어 있어 부력재의 역할을 할 수 있게 하고 하부의 바닥 쪽에는 상부 프레임과 동일한 직경의 스테인리스 링을 부착하였다. 상부 프레임은 Fig. 2와 같이 고정 부력 프레임 (fixed buoyancy frame)과 잉여 부력 프레임 (additional buoyancy frame) 두 종류로 나누어진다. 고정 부력 프레임은 구멍한처럼 프레임 내부로 공기나 해수의 출입이 차단된 밀폐형 구조이며, 잉여 부력 프레임은 상부 및 하부에 각각 한 개씩의 밸브가 있어 공기 및 해수의 출입이 가능한 구조로 되어 있다. 부력제어기는 Fig. 3과 같이 하부에 중량추가 붙어 있는 원통형 탱크 구조로 되어 있으며 동일한 길이로 된 복수 개의 줄

들을 통해 하부 프레임의 중앙 (원의 중심)에 매달려 있다. 부력제어기 역시 상부와 하부에 부착된 밸브를 통해 내부로 공기와 물의 출입이 가능한 구조로 되어 있다.

모형가두리는 10배 크기의 실물 가두리를 가정하여 제작되었다. Table 1은 본 모형에 Froude 상사법칙을 적용했을 때 모형과 실물 가두리의 규격을 나타낸 것이다. 본 가두리를 해상에서 계류하고 운영하는 방법은 Fig. 4와 같이 될 것으로 예상되는데, 평상시 수면에 떠있는 상태 (Fig. 4 (b))를 유지하다가 침하 시에는 Fig. 4c와 같이 bridle line에 의해 일정 수심에 떠 있는 상태가 된다. 그러나 본 모형실험에서는 수조크기를 감

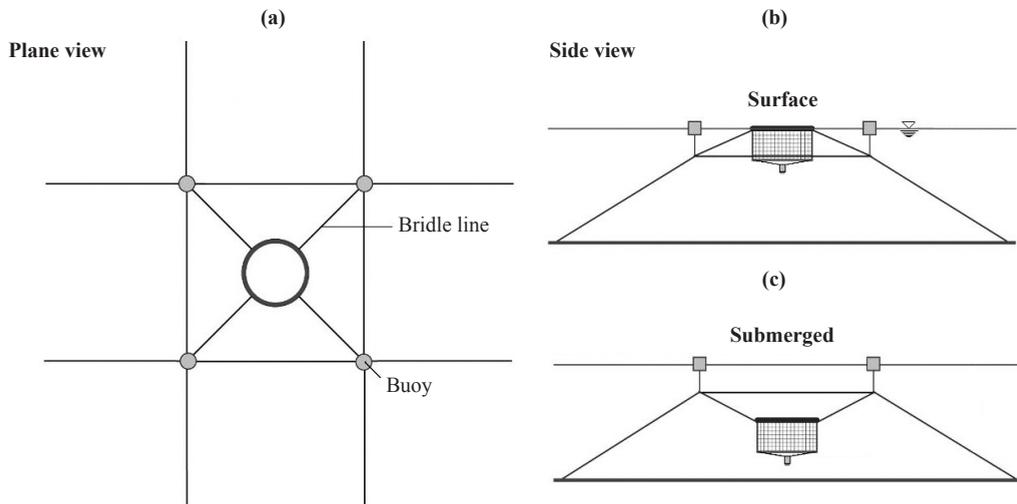


Fig. 4. Hypothetical mooring and operating method of a submersible fish cage at sea.

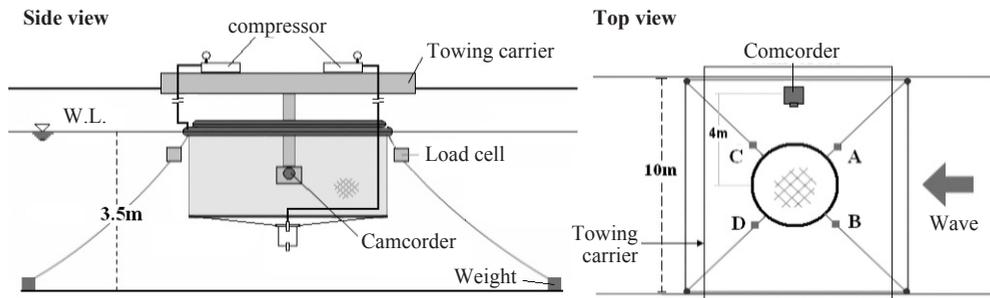


Fig. 5. Arrangement of experimental apparatus in wave tank.

안하고 실험을 편의를 위해 bridle line을 생략하고 계류 로프 (와이어 $\phi 2\text{mm}$)를 Fig. 5와 같이 상부 프레임에 직접 연결하였다. 각 계류로프는 수조 바닥에 있는 철 weight (980.6 N)에 고정하였고 로드셀 (Summ (sp)-50K, SensTEK, Korea, max.490N)을 각 로프마다 추가적으로 장치하였다. 침하 및 부상 운동 촬영을 위해 수중카메라 (Sony, HDR- XR550, Japan)를 자체 제작한 거치대와 조파수조 (L 85.0m, W 10.0m, D 3.5m)의 예인전차를 이용하여 수심 0.5 m에 설치하였고 촬영방향은 파랑의 진행방향에 대해 직각으로 하였다.

실험 및 분석방법

모형실험에서 가두리를 침하 부상시키는 방법은 다음과 같다. 최초 잉여 부력 프레임의 Air valve ($\phi 0.008\text{m}$), water valve ($\phi 0.008\text{m}$), compressor valve ($\phi 0.008\text{m}$)를 모두 개방하여 프레임 내부를 물로 충전한다 (Fig. 2). 충전이 끝나면 부력제어기의 Air valve, water valve, compressor valve를 모두 개방하여 내부를 물로 충전한다 (Fig. 3). 부력제어기 내부에 물이 가득 차면 침하 운동을 하게 된다. 가두리를 부상 시킬 때는 역순으로 부력제어기에 먼저 공기를 주입한다. 이 때 공기는 compressor valve를 닫은 상태에서 7s간 약 0.004m^3 를 compressor (cartec HX-302, flow rate : $0.00058\text{m}^3/\text{s}$, max. pressure :

100psi)를 이용해 주입한다. 가두리가 완전히 수면으로 부상하면 각 공기 주입구를 차단한 후 잉여 부력 프레임에도 같은 방법으로 공기를 충전하면 부상 운동이 끝난다.

본 실험에서 잉여 부력 프레임은 침하 부상 운동에 직접적인 영향을 미치지 않으므로 실험의 편의를 위해 잉여 부력 프레임을 처음 물로 충전한 이후 물을 빼지 않은 상태로 놓고 실험을 하였다. Table 2는 침하 운동의 각 단계에 따른 모형 가두리의 중량 변화를 나타낸 것으로 초기 수면 계류상태, 잉여 부력 프레임에 물을 채운 상태, 잉여부력 및 고정부력 프레임 둘 다 물을 채운 상태에서의 중량을 나타낸다. 공기 중 중량은 참고사항으로 표기하였다.

모형 가두리의 안정성 분석을 위해 침하 부상 운동 중 모형 가두리 상부 프레임의 기울기와 수심 및 계류줄의 장력을 측정하였다. 프레임의 기울기와 수심은 정수중과 파랑조건 (period 2s, height 0.3m)에서 측정하였다. 특히 파랑조건에서는 가두리가 수면에 있을 때와 수심 1m에 있을 때의 프레임 기울기를 비교하였다. 계류줄의

Table 3. Conditions of the model test

Condition	Period (s)	height (m)	Wave type
Still water	0	0	
Wave (1)	2	0.1	regular
Wave (2)	2	0.2	regular
Wave (3)	2	0.3	regular

Table 2. Weight changes of the model cage by submerging step

Cage component	In air	In water (Surface)	(unit: N)	
			After filling ABF with water	After filling ABF and FBF with water
FBF	20.33	(-)36.96	(-)36.96	(-)36.96
ABF	20.33	(-)36.96	(-)0.85	(-)0.85
VBТ	3.17	(-)34.75	(-)34.75	(-)0.13
VBТ weight	49.03	42.79	42.79	42.79
Bottom Frame	13.82	12.07	12.07	12.07
Net	11.54	1.42	1.42	1.42
Total weight	118.23	(-)52.39	(-)16.27	18.34

Note: FBF: fixed buoyancy frame; ABF: additional buoyancy frame; VBТ: variable ballast tank; (-): positive buoyancy.

장력 측정은 Table 3의 3가지 파랑조건에 대해서 실시하였다.

침하부상 시 가두리의 기울기 (gradient) 및 수심 변화를 확인하기 위해 수중카메라로 촬영한 후 이미지를 분석하였다. 이미지 분석은 Fredriksson et al. (2000)의 연구에서 사용한 이미지 분석법에 착안하여 다음과 같은 방법으로 수행하였다. 우선 가두리의 기울기는 Fig. 6과 같이 정수중 상태일 때의 수면을 기준으로 상부 프레임의 기울어진 정도로 나타내었다. 분석을 위해 수중 카메라 촬영 영상을 0.2s 간격의 정지화상으로 추출한 뒤 각 정지화상에 나타난 가두리 프레임의 윤곽선을 2차로 추출하였다. 다음으로 추출한 윤곽선 이미지를 격자가 0.001m 간격으로 표시된 측정용 이미지에 겹쳐서 놓고 영각 계산을 위해 필요한 치수를 측정하였다.

수심 측정에서 수심은 정수중 상태의 수면에서 가두리 프레임까지의 거리로 정의하였다. 정지화상은 1s 간격으로 추출하였으며 추출 및 측

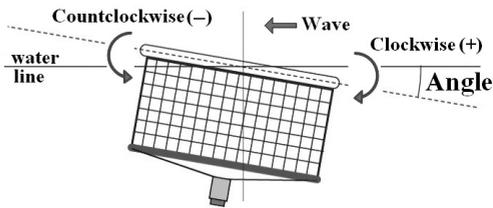


Fig. 6. Concept of the angle (gradient).

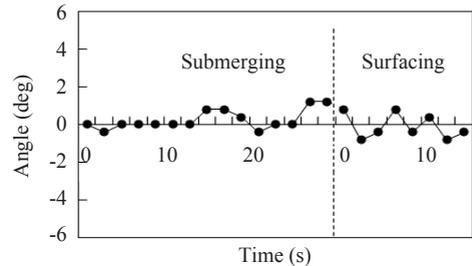
정 방법은 기울기 측정 방법과 동일하였다. 정지화상에서 측정한 가두리 프레임 길이의 실제 값은 2m이므로 비례식을 이용하여 정지화상에서 측정한 수심 (수면과 가두리 프레임 사이의 거리)을 실제 거리로 환산하였다.

결 과

침하 시 가두리의 안정성 분석

정수 중에서 가두리를 침하 및 부상 시켰을 때, 가두리 상부 프레임의 기울기 변화는 Fig. 7과 같이 나타났으며 최대 기울기는 약 1° 였다. 그리고 이때 가두리의 수심변화는 Fig. 8과 같이 나타났다.

Fig. 9는 주기 2s, 파고 0.3m 파랑조건에서 가두리가 수면 위치에 있을 때와 수심 1m 지점에 있을 때의 가두리 상부 프레임의 기울기 변화를 나타낸 것이다. 수면 위치에서의 가두리 프레임



(+) value: clockwise, (-) value: counterclockwise

Fig. 7. Time series of angles of the upper frame on submerging and surfacing in still water.

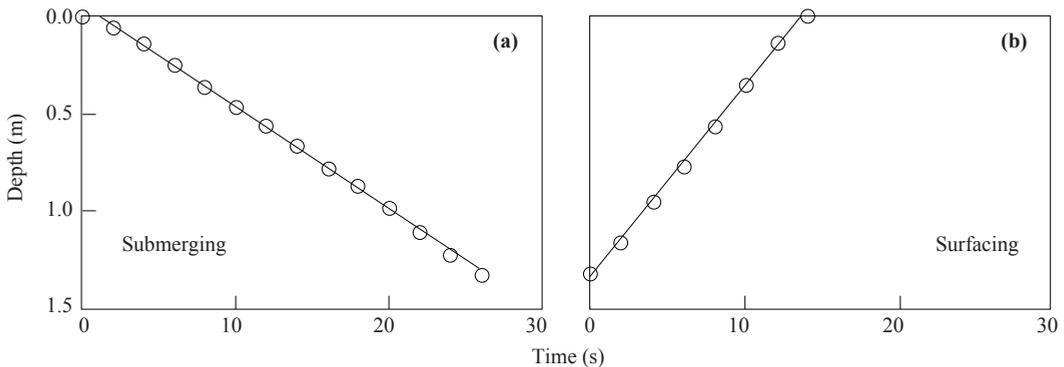


Fig. 8. Depth changes of the cage on submerging (a) and surfacing (b) in still water.

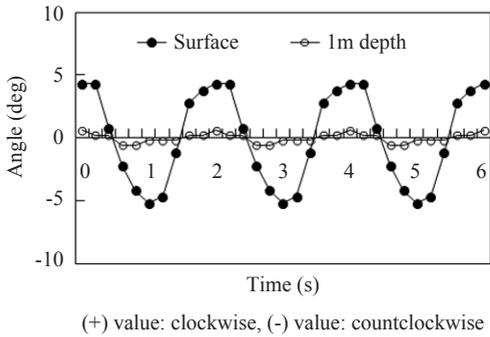


Fig. 9. Time series of angles of the upper frame at surface and 1m depth in wave (period 2s, height 0.3m).

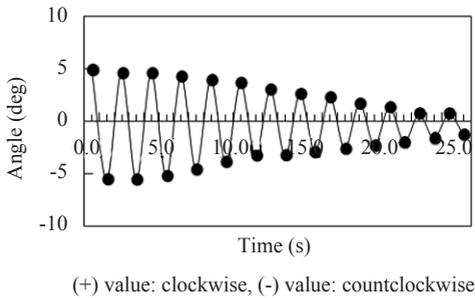


Fig. 10. Time series of angles of the upper frame on submerging in wave (period 2s, height 0.3m).

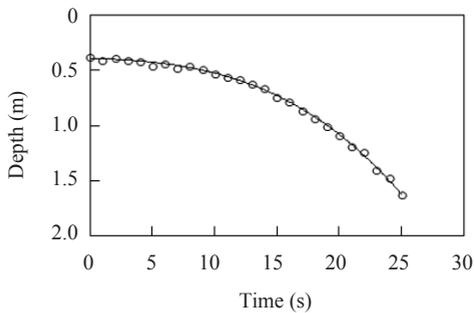


Fig. 11. Depth changes of the cage on submerging in wave (period 2s, height 0.3m).

의 최대 기울기는 5.2° 정도로 나타났으나, 수심 1m 지점에서는 0.62° 로 약 12% 수준까지 감소하였다.

Fig. 10은 같은 파랑 조건에서 가두리 침하과정 중 상부 프레임의 기울기 변화를 시간변화에 따라 나타낸 것이며 Fig. 11은 수심변화를 나타

낸 것이다. 주기 2초, 파고 0.3m의 파랑 조건에서 가두리의 수심은 정수 중에서의 선형적인 증가와는 달리 3차 함수 형태로 증가하였다.

계류로프의 장력 측정 결과

Fig. 12는 주기가 2s, 파고가 각각 0.1, 0.2, 0.3m인 조건에서 모형 가두리를 침하 시킨 후 수면으로 부상시키는 과정을 2회 반복하는 동안 각 로드셀에 측정된 장력 값의 변화를 시간에 따라 나타낸 것이다. 침하 및 부상 운동 중 계류로프에 걸리는 장력은 침하 시 줄었다가 부상 시에 증가하는 경향을 나타냈다. 또한 파고가 증가할수록 계류로프에 걸리는 장력이 증가하였다. Table. 4에 나타난 것과 같이 침하 시 가두리의 계류로프에 걸리는 장력은 가두리가 수면에 위치할 때에 비해 파고 0.1m 조건에서는 최대장력이 16.3%, 평균장력은 13.3%로 감소하였고, 파고 0.2m 조건에서는 각각 10.0%와 11.6%, 파고 0.3m 조건에서는 8.1%와 11.0%로 감소하여 파고가 높아질수록 장력 값의 감소비율이 상대적으로 증가하는 것으로 나타났다.

고 찰

모형가두리의 침하 및 부상 운동이 정확하게 수행되기 위해서는 부력제어기의 부력을 정확하게 산정하는 것이 필요하다. 가두리가 수면에 떠 있는 상태에서는 가두리 전체가 양성 부력을 가지는데 이때의 양성부력의 크기는 부력제어기가 해수로 충전될 때 상실하는 부력 값의 크기보다 반드시 작은 값을 가져야한다. 그렇지 않은 경우 침하동작 시 부력제어기에 해수가 완전히 충전되더라도 시스템 전체의 부력은 양성부력이 되어 계속 수면에 떠있는 상태가 된다. 상술 내용에서 잉여부력 프레임의 부력은 고려하지 않았다. Table 2에서도 알 수 있듯이 잉여부력 프레임의 부력 변화가 침하 및 부상운동에는 영향을 미치지 않기 때문이다. 본 가두리 모델에서 잉여부력 프레임은 수면 계류 시 여분의 부력을

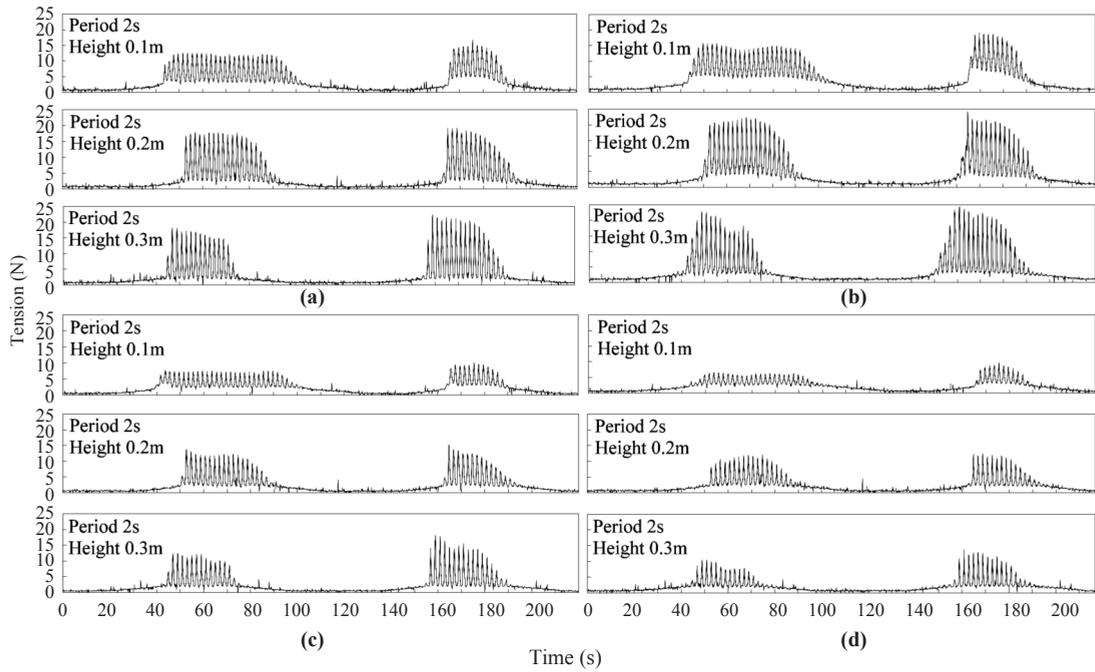


Fig. 12. Times series of mooring tensions on the mooring lines in wave ((a) line A, (b) line B, (c) line C, (d) line D).

Table 4. Mooring tensions on mooring lines in wave conditions

(Unit : N)

Load cell	Wave condition (Period 2s)	Surface position		Submerged position		Reduced ratio*	
		Maximum tension	Mean tension	Maximum tension	Mean tension	Maximum tension	Mean tension
A	Height 0.1m	12.38	6.60	1.38	0.76	11.15	11.52
	Height 0.2m	18.00	7.08	1.57	0.70	8.72	9.89
	Height 0.3m	22.31	8.17	1.82	0.77	8.16	9.42
B	Height 0.1m	14.37	8.03	2.08	1.03	14.47	12.83
	Height 0.2m	21.00	9.21	2.36	1.11	11.24	12.05
	Height 0.3m	24.29	9.86	1.62	1.12	6.67	11.36
C	Height 0.1m	7.52	3.96	1.26	0.46	16.76	11.62
	Height 0.2m	13.70	5.46	1.23	0.47	8.98	8.61
	Height 0.3m	18.14	5.78	1.14	0.49	6.28	8.48
D	Height 0.1m	6.01	3.69	1.36	0.63	22.63	17.07
	Height 0.2m	10.73	3.75	1.20	0.59	11.18	15.73
	Height 0.3m	13.67	4.49	1.55	0.67	11.34	14.92

*Note: tension at bottom / tension at surface × 100

제공하여 가두리가 수면에 안정적으로 떠 있게 할 뿐만 아니라 부력제어기의 크기를 작게 하여 가두리 침하 부상 시 수평 유지력을 높여주는 역할도 한다. 잉여부력 프레임이 없을 경우 고정부력 프레임의 크기가 잉여부력 프레임을 합한 만

큼 커져야하며 동시에 부력제어기도 커져야 한다. 그러나 부력제어기가 커질수록 해수 충전 시 자유표면 효과가 증대되어 수평이 불안정해질 가능성이 있다. 이러한 점에서 잉여부력 프레임의 역할은 중요하다.

본 연구에서는 부침식 가두리를 우리나라 양식 산업에 보다 적극적으로 활용하기 위해 기존의 가두리에 부침기능을 추가하여 개량한 모델을 제안하였고 그 성능을 확인하기 위해 모형실험을 수행하였다. 실험은 정수 중 및 파랑조건에서 모형 가두리의 침하 부상 시 가두리의 수심변화 및 가두리 상부 프레임의 영각변화를 측정하고 그 결과를 해석하는 것으로 하였다.

정수 중에서의 침하 부상 시 상부 프레임의 영각변화는 Fig. 7에서와 같이 최대값이 약 1° , 평균값은 약 0.12° 로 나타났다. 일반적으로 수평균형이 맞지 않을 경우 한쪽방향으로 편향된 값이 지속적으로 나타나는 경향이 나타나는데 실험결과에서는 그러한 현상이 발견되지 않았고 영각 변화도 매우 작게 나타난 것으로 보아 침하 부상 시 수평균형 유지가 양호한 것으로 판단된다. 수심변화에 대한 결과에서는 Fig. 8의 시간에 따른 수심변화 그래프가 직선에 가깝게 나타나는 것으로 보아 침하 및 부상 운동 속도가 거의 일정하고 운동이 안정적인 것으로 판단할 수 있다. 이러한 결과는 Kim and Shin (1996)의 연구결과와도 일치하나 본 연구에서는 측정방법의 한계로 인해 침하운동 초기의 해수유입과정과 부상운동 초기의 공기주입과정의 수심변화를 측정하지 못한 관계로 그것에 대한 결과는 비교하지 못하였다.

파랑조건에서는 모형가두리가 침하할 때 상부 프레임이 Fig. 10과 같이 좌우가 대칭적인 상하운동을 반복하는 것으로 나타났으며 이를 통해 파랑 중에도 가두리가 일정한 균형을 유지하는 것을 알 수 있었다. 또한 수심이 증가할수록 가두리의 움직임이 감소하였는데 특히 기울기 변화가 수심 1m 이하의 지점에서 수면지점의 약 12% 수준으로 감소하는 것을 확인하였다. 일반적으로 파랑에 의한 물입자의 운동력은 수심이 깊어질수록 감소하는데 모형실험에서도 이러한 현상을 반영하여 수심이 깊어짐에 따라 가두리의 진동이 감소한 것으로 판단된다 (Huguenin

and Ansuini, 1978). 계류로프의 장력 변화 또한 수심에 따라 비슷한 경향을 나타내었는데 관련 연구 (Huang et al., 2008)에 따르면 주기 6초, 파고 2m-4m인 파랑조건에서 수심 30m 지점의 물입자의 속도는 수면 위치의 약 10% 수준으로 감소하는 것으로 알려져 있다. 수심에 따른 파랑의 물입자 속도와 가두리의 계류력과 관계를 명확히 알 수는 없으나 본 실험결과는 이러한 경향을 어느 정도 반영한다고 볼 수 있다. Fig.12에서 조파측의 계류장력이 조하측의 장력 값 보다 크게 나타났는데 이것은 조파측에서 조하측으로 이동하는 파랑 물입자의 수평성분이 가두리를 통과한 후 줄어들기 때문인 것으로 판단되며 이러한 결과는 관련연구에서도 확인할 수 있다 (Fredriksson, 2004).

본 연구에서 제안한 가두리는 일반적인 원통형 가두리와 그 하부에 매달린 부력 제어기로 구성된다. 그러나 부력제어기가 로프를 통해 매달려 있기 때문에 파랑의 영향으로 흔들림이 발생할 수 있고 이것이 가두리 침하 및 부상 시 수평균형에 영향을 미칠 가능성도 있다. 그러나 실험영상을 자세히 관찰한 결과 침하 및 부상 시 부력제어기는 소폭의 상하운동을 주로 하였고 수평방향의 운동은 미미하였다. 이것은 실험결과에서도 알 수 있듯이 부력제어기가 수심 1m 이하의 지점에 있기 때문에 파랑의 영향을 매우 적게 받기 때문인 것으로 생각된다. 따라서 부력제어기의 운동이 가두리 균형변화에 미치는 영향은 매우 적을 것으로 판단된다. 한편 제안한 가두리는 부력제어기 자체의 저항을 무시한다면 기존의 가두리와 저항 특성이 거의 동일하다는 것을 알 수 있다. 그리고 부력제어기 자체의 저항만을 생각할 때 이러한 구조의 부력제어기는 국외에서 개발된 가두리 시스템 (Fredriksson et al., 2000)의 원기둥 형태의 부력제어기 (spar buoy) 보다 상대적으로 크기가 작아 유수저항이 적고 구조가 간단하여 제작 및 유지 보수비용이 매우 적게들 뿐만 아니라 설치가 쉽다는 장점이

있다.

수조실험 결과 각 조건에서 비교적 안정적인 침하 부상이 이루어졌으나 이러한 안정성이 일정시간이 흐른 뒤 불규칙하게 변화한다면 가두리의 부침 기능에도 많은 문제가 생길 것이다. 기존에 수행된 연구에 의하면 가두리 양식장의 환경에 따라 다양한 형태로 수중 부착생물이 가두리 그물과 구조물에 부착되어 가두리의 계류 상태에 상당한 영향을 주는 것으로 알려져 있다 (Huguenin and Ansuini, 1978). 부침식 가두리와 관련하여 지금까지 진행된 대부분의 연구들은 매우 이상적인 환경에서 수행되었으며 수중 부착생물에 의한 부침식 가두리의 거동 변화에 대한 연구는 거의 이루어지지 않았다. 향후, 개발된 모델에 이러한 요인들을 적용하여 추가적인 연구를 수행한다면 보다 현실성 있는 시스템 개발이 가능할 것이다.

결 론

본 연구에서는 부침식 가두리를 우리나라 양식 산업에 보다 적극적으로 활용하기 위해 기존의 가두리에 부침기능을 추가하여 개량한 모델을 제안하였고 그 성능을 확인하기 위해 모형실험을 수행하였다. 실험결과 정수 중을 비롯한 파랑 조건 (실험 파고 0.3m, 주기 2s)에서도 침하 및 부상 동작이 안정적으로 수행됨을 확인하였다. 또한 동일 파랑조건에서 가두리가 3.5m 수심으로 침하할 경우 파랑의 영향이 수면계류시의 10% 수준으로 줄어드는 것을 확인하였다. 제안한 가두리는 구조가 비교적 간단하면서도 현장에서 운용 중인 가두리와 형태와 운용방식이 동일하다는 점에서 현장 적용에 유리할 것으로 판단된다. 향후 다양한 조건의 파랑과 조류에 대한 실험을 통해 보다 정량적인 해석이 수행되어야 할 것으로 생각되며 현장의 환경조건을 구체적으로 적용한 연구를 수행함으로써 현장 적용 가능성을 높여야 할 것으로 본다.

사 사

본 연구는 국립수산물연구원 수산시험연구 (RP-2012-FE-002)의 지원에 의해 수행되었으며, 본 논문을 세심하게 검토하여 주신 심사위원님과 편집위원님께 감사드립니다.

참고문헌

- DeCew, J., I. Tsukrov, A. Risso, M.R. Swift and B. Celikkol, 2010. Modeling of dynamic behavior of a single-point moored submersible fish cage under currents. *Aquacult. Eng.*, 43 (2), 38–45.
- Fredriksson, D.W., M. Erik, B. Kenneth, M.R. Swift and B. Celikkol, 2000. Open ocean aquaculture engineering: system design and physical modeling. *Mar. Technol. Soc. J.*, 34 (1), 41–52.
- Fredriksson, D.W., M.R. Swift, J.D. Irish, I. Tsukrov and B. Celikkol, 2003. Fish cage and mooring system dynamics using physical and numerical models with field measurements. *Aquacult. Eng.*, 27 (2), 117–146.
- Fredriksson, D.W., J. DeCew, M.R. Swift, I. Tsukrov, M.D. Chambers and B. Celikkol, 2004. The design and analysis of a four-cage grid mooring for open ocean aquaculture. *Aquacult. Eng.*, 32 (1), 77–94.
- Fredriksson, D.W., J.C. DeCew, and Tsukrov, M.D., 2007. Development of structural modeling techniques for evaluating HDPE plastic net pens used in marine aquaculture. *Ocean Eng.*, 34 (16), 2124–2137.
- Huang, C.C., H.J. Tang and J.Y. Liu, 2008. Effects of waves and currents on gravity-type cages in the open sea. *Aquacult. Eng.*, 38 (2), 105–116.
- Huguenin, J.E. and F.J. Ansuini, 1978. A review of the technology and economics of marine fish cage systems. *Aquaculture*, 15 (2), 151–170.
- Jensen, O., A.S. Wroldsen, P.F. Lader, A. Fredheim and M. Heide, 2007. Finite element analysis of tensegrity structures in offshore aquaculture installations. *Aquacult. Eng.*, 36 (3), 272–284.
- Kim, J.O. and H.I. Shin, 1996. Studies on the compressed air submersible fish cage system—I. *Bull. Kor. Soc. Fish. Tech.*, 32 (2), 117–124.

- Kim, T.H., 2006. Mooring loads analysis of submersible aquaculture cage system using finite element method. *J. Kor. Soc. Fish. Tech.*, 42 (1), 44–53.
- Kim, T.H. and K.U. Yang, 2007. Numerical analysis on the submerging characteristics of submersible fish cage system operated by compressed air. *J. Kor. Soc. Fish. Tech.*, 43 (1), 38–48.
- Zhao, Y.P., T.J. Xu, G.H. Dong and Y.C. Li, 2010. Numerical simulation of a submerged gravity cage with the frame anchor system in irregular waves. *Journal of Hydrodynamics*, 22 (5), 416–420.
-
- 2011년 9월 15일 접수
2012년 1월 13일 1차 수정
2012년 2월 8일 2차 수정
2012년 2월 8일 수리