

부이 형상에 따른 부이줄 장력의 차이

이건호 · 김인옥 · 차봉진*¹ · 정성재¹

국립수산과학원 서해수산연구소 해역산업과, ¹국립수산과학원 시스템공학과

Difference of tension on mooring line by buoy type

Gun-Ho LEE, In-Ok KIM, Bong-Jin CHA*¹ and Seong-Jae JUNG¹

Aquaculture Industry Division, West Sea Fisheries Research Institute, National Fisheries Research & Development Institute, Incheon 400-420, Korea

¹Fisheries System Engineering Division, National Fisheries Research & Development Institute, Busan 619-705, Korea

The difference of mooring tension by type of buoy was investigated in the circulating water channel and the wave tank for deducting the most stable buoy from the current and the wave condition. 5 types of buoy made up of short cylinder laid vertically (CL-V), short cylinder laid horizontally (CL-H), capsule (CS), sphere (SP) and long cylinder (CL-L) were used for experiments. A mooring line and a weight were connected with each buoy. A tensile gauge was installed between a mooring line and a weight. All buoy's mooring tension was measured at the same time for the wave test with periods of 1.5~3.0 sec and wave heights of 0.1~0.3 m, and the current test with flow speeds of 0.2~1.0 m/sec. As a result, the order of tension value in the wave test was CL-H > CL-V > SP > CS > CL-L. In the current test CL-V and CL-H were recorded in the largest tension value, whereas SP has the smallest tension value. So it seems that SP buoy is the most effective in the location affected by fast current. CS is predicted to be suitable for a location that influence of wave is important more than that of current if practical use in the field is considered. And it was found that the difference of mooring tension among buoys in wave is related to the product of the cross sectional area and the drag coefficient for the buoy's bottom side in high wave height. The factor for the current condition was not found. But it was supposed to be related to complex factors like a dimension and a shape by buoy's posture to flow.

Keywords : Buoy, Mooring tension, Water tank experiment, Strong-wind, Loss of fishing gears

서 론

자망 및 통발 어구의 구성 요소 중 하나인 부이는 어구 구성 특성상 해수면에 위치하기 때문에 풍랑이 발생할 때 파랑의 영향을 직접 받는 부분이다. 우리나라 연안에서 사용하는 자망과 통발 어구는 보통 부이를 수면에 띄우고 부이줄을 연결한 뒤 그물 또는 모릿줄을 부이

줄 끝에 연결하여 어구를 전개하는 구조로 되어 있다.

일반적으로 파랑의 영향은 수심이 깊어질수록 감소하므로 자망어구의 그물부나 통발 등의 모릿줄 등과 같이 수면 아래 설치되는 요소들은 부이에 비해 파랑의 영향을 적게 받는다. 따라서 부이는 파랑 발생 시 어구의 위치나 구조에 많은 변화를 주는 요소 중 하나로 볼 수

*Corresponding author: holdu@korea.kr, Tel: 82-51-720-2581, Fax: 82-51-720-25861

있다. 파랑에 의해 부이는 외력을 받아 운동을 하고 이 운동이 부이와 연결된 부이줄을 따라 어구에 전달된 결과가 어구의 형상이나 위치 변화로 연결되므로 부이가 파랑 중에 받는 힘을 연구하면 파랑 발생 시 어구에 어떠한 변화가 발생하는지를 알 수 있으므로, 이를 통해 풍랑 중 어구 유실이나 파망 과정을 밝히는 데 많은 도움이 될 것이다.

이와 관련해서 지금까지 수행된 연구를 살펴보면, Brainard (1967), Capobianco et al. (2002), Carpenter et al. (1995), Jenkins et al. (1995), Kim and Perkins (2002), Leonard et al. (2000), Lin et al. (1998), Radhakrishnan et al. (2007), Umar and Datta (2003), Williamson and Govardhan (1997), Zhang et al. (2012)는 실험 및 수학적 모델링을 통해 조류나 파랑 중 부이의 거동 특성에 대한 해석을 시도하였다. 그러나 이들 연구는 대부분 해양환경계측용 부이 개발에 초점을 둔 연구로서 어업을 목적으로 하는 부이에 대한 연구는 수행된 바는 많지 않다.

따라서 이 연구는 풍랑에 의한 어구 유실을 최소화 할 수 있는 어구를 개발하기 위한 기초 연구로서 우리나라 연안 어업에서 주로 사용되는 스티로폼 부이를 여러 가지 형태의 모형으로 제작하여 파랑과 조류의 흐름 중에서 각 부이의 형상에 따라 계류줄에 전달되는 힘이 어떻게 달라지는 가를 수조 실험을 통해 비교함으로써 가장 안정성이 높은 부이를 도출하고자 한다.

재료 및 방법

실험 방법

부이는 Froude 상사법칙을 적용하여 실물크기의 1/5로 Fig. 1과 같이 다섯 가지 형태와 규격으로 제작하였고, 계류는 Fig. 2 (c)와 같이 하였다.

이 연구에서는 각 부이를 편의상 Fig. 1에 나타난 순서에 따라 (a)는 CL-V, (b)는 CL-H, (c)는 CS, (d)는 SP, (e)는 CL-L로 표기하였다. 다섯 가지 부이는 비중 (15 kg/m^3) 이 같은 스티로폼 재질을 이용하여 부피가 동일하도록 제작하였으므로 부력이 동일하다. 모든 부이는 Fig. 2에 나타난 바와 같이 계류줄 (Kazemaru, Dyneema, 8호 $\phi 0.5 \text{ mm}$, 인장강도 378.4 N)로 연결하였고, 계류줄이 수조 바닥에 닿는 부분에 직육면체 형태의 49 N 철추를 달아 실험 중 설치 지점에서 움직이지 않게 하였다.

계류줄과 무게추 사이에는 장력계 (Summ (sp)-10K, SensTEK, Korea, max. 98 N)를 설치하여 실험 중 계류줄

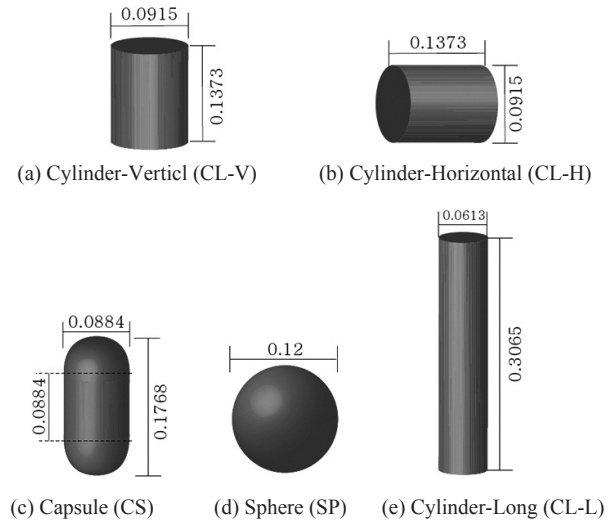


Fig. 1. Schematic of buoys for experiment (unit : m)

의 장력 변화를 측정할 수 있게 하였다.

실험용 부이의 자세한 규격은 Table 1과 같으며, 모든 실험에서 부이는 Fig. 2에서 나타난 것 같이 수면에서 부이 높이의 절반이 잠기도록 설치하여 초기 부력을 전체 부력의 50%로 조정된 후 실시하였고 (Brainard, 1967) 이때 부이 사이의 설치 간격은 약 1 m 였다.

부이줄의 장력 측정 실험은 국립수산과학원의 수직 순환형 회류수조 (L 25.12 m , W 4.5 m , D 8.27 m ; 관측부 L 8.0 m , W 2.8 m , D 1.4 m)와 조파수조 (L 85.0 m , W 10.0 m , D 3.5 m) 시스템을 이용하여 조류와 파랑 조건에 대해서 실시하였다.

조류에 대한 실험은 Fig. 2 (a)에 나타난 바와 같이 수행하였으며, 프로펠러식 유속계 (VOT2-200-20, KENEK Co., 측정범위 : $0.03 - 2.00 \text{ m/s}$, 오차 : $\pm 4\%$)를 이용하여 유속 $0.2, 0.4, 0.6, 0.8$ 및 1.0 m/sec 조건에서 유속별 부이줄의 평균 장력과 장력의 표준편차 그리고 부이줄이 초기 위치에서 수평 방향으로 이동한 변위를 측정하였으며, 부이줄의 수평 이동 변위는 회류 수조 관측창에 설치된 레이저 디지털자를 이용하여 구하였다. 파랑에 대한 실험은 Fig. 2 (b)에 나타난 바와 같이 수행하였으며 파랑의 주기를 $1.5, 2.0, 2.5$ 및 3.0 sec 로 하고, 각 주기에 대해 $0.10, 0.15, 0.20, 0.25$ 및 0.30 m 높이의 파고를 적용한 규칙과 조건에서 부이줄에 걸리는 최대 장력값을 측정하는 방법으로 실시하였다.

모든 실험에서 부이줄의 장력값은 장력 측정 시스템

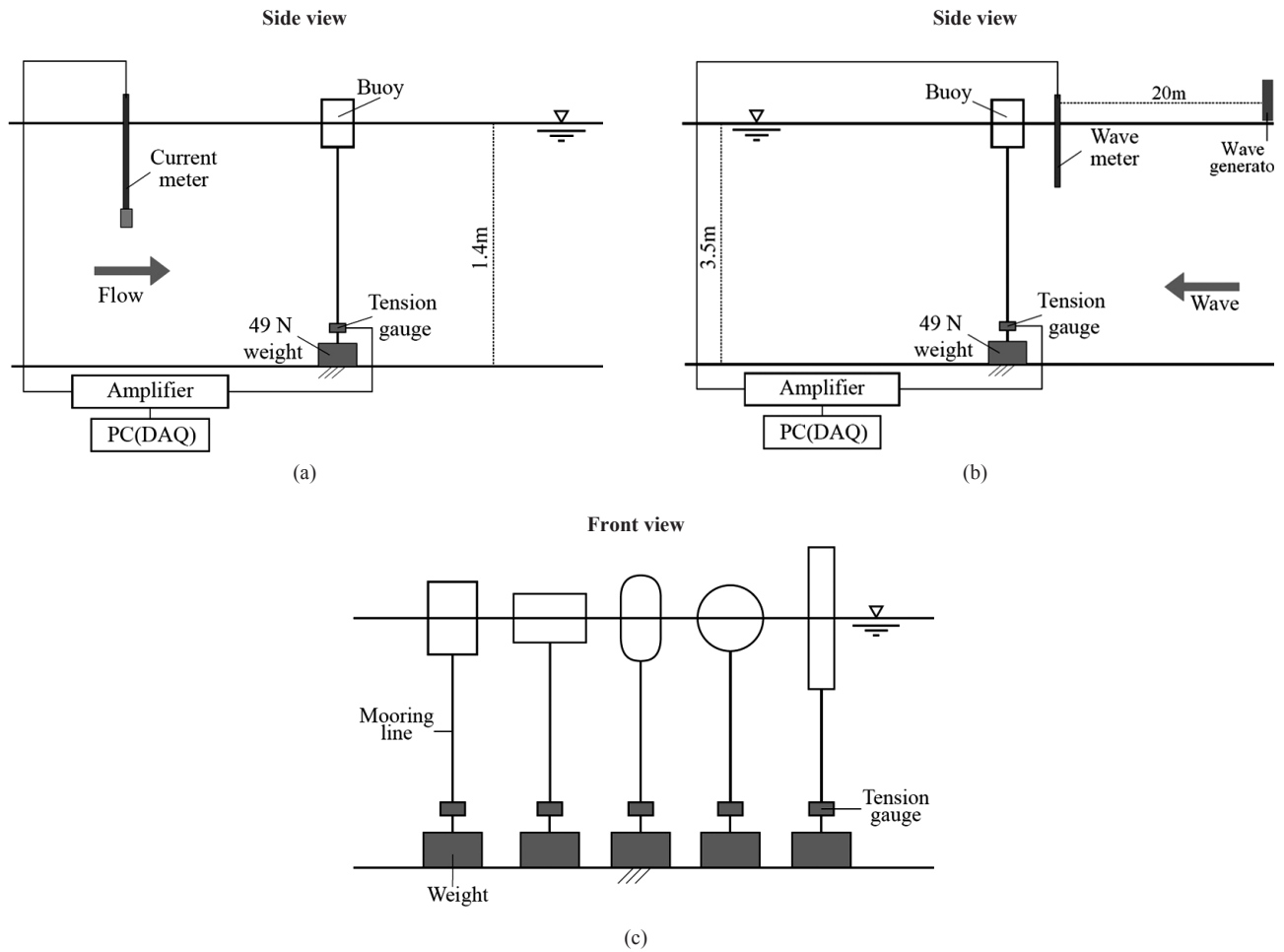


Fig. 2. Arrangement of experimental apparatus in circulating water channel (a) and wave tank (b), and buoy mooring method (c).

Table 1. Specification of buoys for experiment

| | Volume (m ³) | Diameter (m) | Height (m) | Buoyancy (N) |
|------|--------------------------|--------------|------------|--------------|
| CL-V | 0.0009 | 0.0916 | 0.1374 | 8.7426 |
| CL-H | " | 0.0916 | 0.1374 | " |
| SP | " | 0.1200 | | " |
| CS | " | 0.0884 | 0.1767 | " |
| CL-L | " | 0.0613 | 0.3065 | " |

에서 100 Hz의 샘플링 주파수로 30초간 측정하여 얻은 3,000개의 데이터를 취하여 사용하였다.

분석방법

이 연구에서는 조류 조건에 대한 실험결과로 나타나는 부이별 부이줄의 장력 차이에 대한 원인을 파악하기 위해 흐름 중에 놓인 부이의 부이줄에서 발생하는 장력

이 부이의 형상 및 크기와 관련되어 있다고 보았다. 따라서 이와 관련된 요소들을 Table 2와 같이 선정하여 부이줄 장력과의 상관계수를 구하였다. 그리고 흐름 방향에 대한 항력과 부력 차이를 비교하기 위해 실험 및 계산을 통해서 구한 부이별 수평 및 수직 변위 값을 부이줄 장력에 대한 비율로 계산하여 그 결과를 비교하였다 (Brainard, 1967).

파랑 조건에 대한 실험에서도 마찬가지로 부이줄의 장력 차이에 대한 원인 파악을 위해 동일한 가정을 세우고 관련 요소들에 대한 상관 분석을 실시하였다. 상관 분석 결과 가장 관련도가 높은 요소를 도출한 후 차원해석 (Sundaravadevelu et al., 1991)을 실시하여 해당 요소에 의한 부이줄 장력의 영향을 파악하였다.

Table 2. Factors assumed to be related to mooring tension

| Related factors | Unit | CL-V | CL-H | CS | SP | CL-L |
|-----------------|-------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| A* | (m ²) | 0.0066 | 0.0126 | 0.0061 | 0.0113 | 0.0030 |
| C* | | 0.8800 | 0.6550 | 0.2950 | 0.4700 | 0.8300 |
| A* × C* | (m ²) | 0.0058 | 0.0082 | 0.0018 | 0.0053 | 0.0024 |
| A** | (m ²) | 0.0126 | 0.0126 | 0.0140 | 0.0113 | 0.0188 |
| C** | | 0.6550 | 0.6550 | 0.6000 | 0.4700 | 0.7400 |
| A** × C** | (m ²) | 0.0082 | 0.0082 | 0.0084 | 0.0053 | 0.0139 |
| W | (m) | 0.0916 | 0.1374 | 0.0884 | 0.1200 | 0.0613 |
| H | (m) | 0.1374 | 0.0916 | 0.1768 | 0.1200 | 0.3065 |
| H / W | | 1.5000 | 0.6667 | 2.0000 | 1.0000 | 5.0000 |
| W / H | | 0.6667 | 1.5000 | 0.5001 | 1.0000 | 0.2000 |
| D | (m) | 0.0916 | 0.0916 | 0.0884 | 0.1200 | 0.0613 |

A : cross sectional area of buoy which has different value by superscript '*' or '**', C : drag coefficient which has different value by superscript '*' or '**', W, H : width and height of buoy (refer to Fig. 1), D : representative dimension, * : When flow is normal to bottom of buoy, ** : When flow is normal to side of buoy, Coefficients were referred from White(2003), Fridman(1986).

결과 및 고찰

조류 조건에 대한 실험

조류 조건에 대한 실험결과, Fig. 3 (a)와 같이 유속이 증가할 때 부이의 장력 값은 전반적으로 증가하는 경향을 보였으나 CS, SP, CL-L의 경우 유속 0.8 m/sec 이상에서는 유속이 증가하여도 장력의 크기가 거의 일정하였다. 이와 달리 CL-H, CL-V는 유속증가와 함께 장력이 지속적으로 증가하였다. 이것은 구형, 타원형 그리고 원통형 물체, 특히 지름에 대한 길이 비가 5인 원통형 물체의 경우 레이놀즈수가 100000 이상이 될 때 저항계수가 감소 한다는 기존 연구 결과와 관련성이 있어 보인다 (White, 2003). 한편 부이들 사이의 장력 값 크기에 대한 순서는 유속 조건마다 조금씩 다르게 나타났는데 0.2-0.6 m/sec의 유속에서는 순서가 불규칙하게 바뀌다가 0.8 m/sec 이상의 유속에서는 순서가 일정하게 나타났으며, 이 때의 순서는 CL-V > CL-H > CL-L > CS > SP였다. 그러나 유속에 관계없이 SP는 모든 조건에서 가장 낮은 장력을 나타냈다. CL-V와 CL-H는 서로 차이는 있지만 전반적으로 가장 큰 값을 나타냈는데, 0.8 m/sec 이상의 유속에서는 두 부이의 장력이 비슷하게 나타났다. 가장 빠른 유속 조건 1.0 m/sec에서 가장 큰 값을 나타낸 CL-V와 가장 작은 값을 나타낸 SP 사이의 값의 차이는 3.53 N으로 부이 자체 부력인 8.74 N의 40.4% 였고 SP 보다 CL-V가 48.5% 큰 것으로 나타났다.

부이줄의 장력에 대한 표준편차를 조사한 결과에서는 Fig. 3 (b)에 나타난 것과 같이 모든 부이가 0.6 m/sec

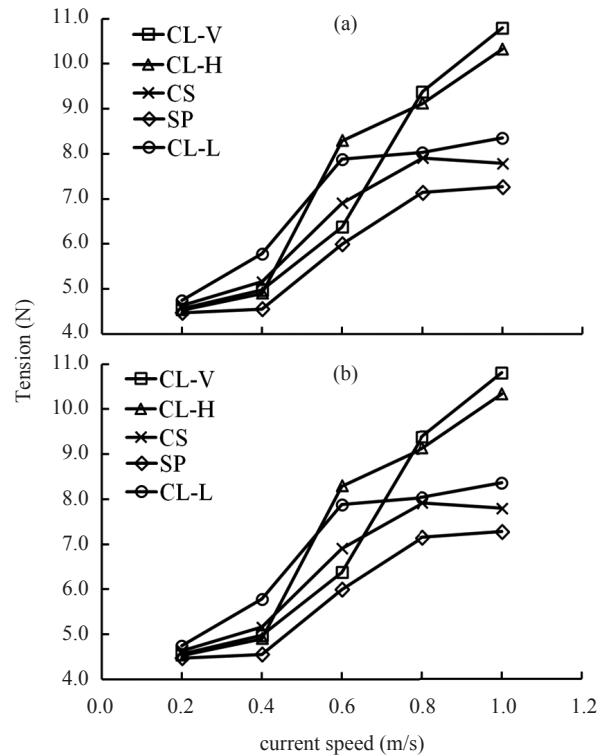


Fig. 3. Average (a) and standard deviation (b) of mooring tension of buoys in current

조건 이하에서는 값의 차이는 있었지만 비교적 일정한 값을 나타냈는데, 특히 SP와 CS는 유속에 상관없이 가장 작고 일정한 값을 나타냈다. 반면 나머지 3개의 부이는 0.6 m/sec 전후로 값의 증가가 두드러지게 나타났는

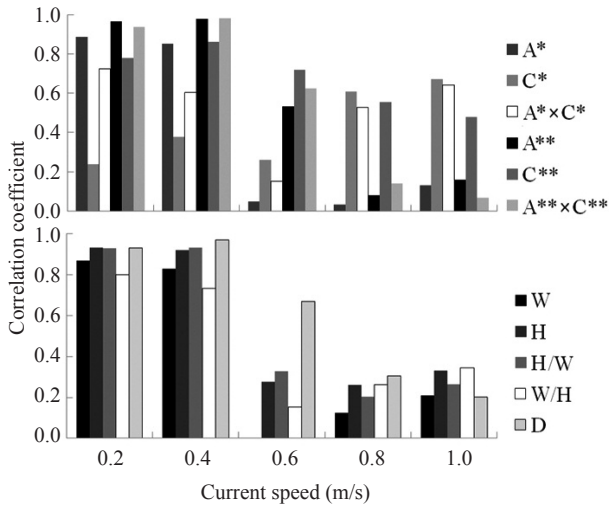


Fig. 4. Correlation coefficients between mooring tension and various factors in current condition (refer to Table 2 for symbols).

데, 그 중에서 CL-H의 값이 유속에 따라 가장 크게 상승하였다. 부이줄 장력에 대한 표준편차가 크다는 것은 흐름 방향으로 작용하는 항력과 상하 방향으로 작용하는 양력의 변화가 크다는 것을 의미하므로 부이줄에 연결된 어구의 거동에도 동일한 변화를 미칠 것으로 예상된다. 따라서 일정 속도 이상의 흐름을 받을 때 다른 부이들에 비해 상대적으로 진동하는 정도 및 그 증가율이 높은 CL-H는 어구 계류에 대한 안정성이 가장 낮을 것으로 판단된다.

한편, 조류 조건에서 측정된 부이줄 장력과 Table 2에 나타낸 각 요소들 사이의 관련성을 파악하기 위해 상관계수 (절대값)를 구하고, 그 결과를 Fig. 4에 나타냈다. 계산 결과 모든 유속조건에 대해 상관계수 0.5 이상을 만족하는 요소는 없었다. 따라서 조류 조건에 대해 부이별 장력의 차이를 유발하는 원인을 정확히 파악하지는 못했다. 그러나 그래프에 나타난 경향을 통해 미루어 볼 때 부이의 자세 변화가 적은 비교적 낮은 유속 범위에서는 부이의 초기 자세에서 흐름과 수직으로 만나는 면과 관련된 요소들에 대해 상관계수의 값이 비교적 크게 나타났고, 부이가 옆으로 눕게 되는 높은 유속 범위에서는 누운 자세에서 흐름과 수직으로 만나는 면과 관련된 요소들에 대해 상대적으로 상관계수의 값이 높게 나타난 것을 알 수 있다. 다시 말해 부이들 사이의 계류 장력의 차이는 유속의 크기에 따라 부이의 자세가 변함에 따라 흐름과 만나는 면이 달라지는 것과 연관성이 있는 것으

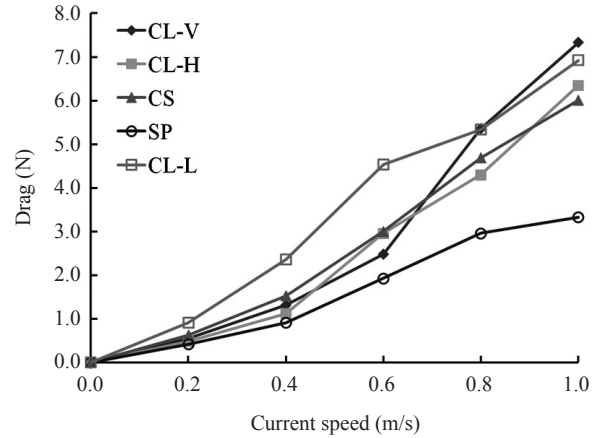


Fig. 5. Drag force by current speed

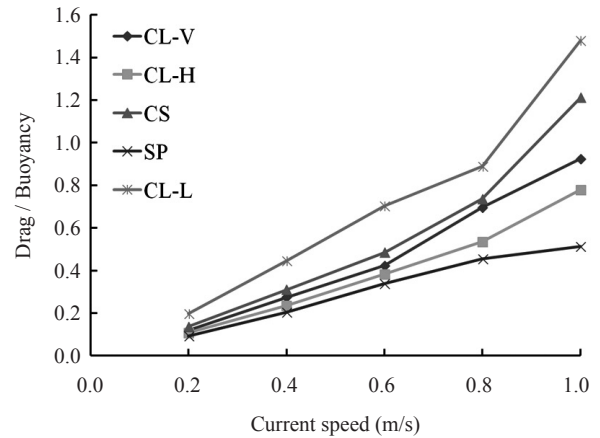


Fig. 6. Drag to buoyancy ratio by current speed

로 판단된다. 또한 낮은 유속 조건에서 관련 요소들에 대한 상관계수의 값이 비교적 크게 나타난 것에 비해 높은 유속에 대해서는 그 값이 작게 나타났는데, 이것은 높은 유속에서는 부이들이 누운 자세와 서 있는 자세 (초기 계류 자세) 사이의 비스듬한 자세를 취하고 있기 때문인 것으로 추정된다.

각 유속 조건에서 부이가 흐름 방향으로 이동한 범위 값을 이용하여 부이줄에 작용하는 분력을 계산한 결과에서는 유속이 동일할 때 항력을 가장 많이 받는 부이는 Fig. 5에서 나타낸 것과 같이 CL-L인 것으로 나타났고, 가장 적게 받는 부이는 SP인 것으로 나타났다. CL-L이 유속 범위 0.8–1.0 m/sec 사이에서는 CL-V와 비슷하거나 약간 작은 값을 나타냈으나, 나머지 범위에서는 큰 폭으로 가장 큰 값을 나타냈기 때문에 항력이 가장 큰

것으로 판단하였다.

Fig. 6에서와 같이 부력에 대한 항력의 비를 조사한 결과에서도 동일하게 CL-L이 가장 크고, SP가 가장 작은 것으로 나타나 조류를 받을 때 흐름을 따라 이동하기 쉬우면서 수면 아래로 잠길 가능성이 가장 높은 것은 CL-L 부이인 것으로 나타났다. 일반적으로 어구 표시를 위해 부이에 깃대와 깃발을 달게 되는데, 부이가 물에 쉽게 잠긴다는 것은 조류를 받을 때 이 부분들이 물에 들어가 부가적인 저항을 발생시킬 소지가 있다는 것을 의미한다. 따라서 결과들을 종합해 볼 때, 5종류의 부이 중 유실 가능성이 가장 높은 부이는 CL-L일 것으로 판단된다.

파랑 조건에 대한 실험

파랑 조건에 대한 실험에서 각각의 부이는 Fig. 7에 나타난 것과 같이 그 종류에 상관없이 동일한 주기에서 파

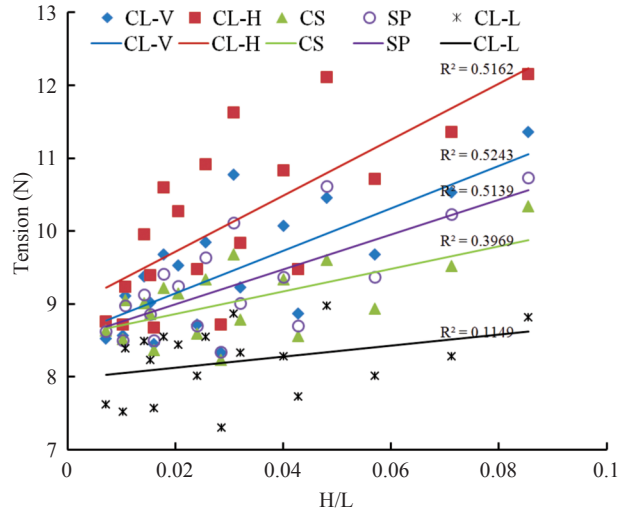


Fig. 8. Relation between mooring tension and H/L (H: wave height, L: wave length)

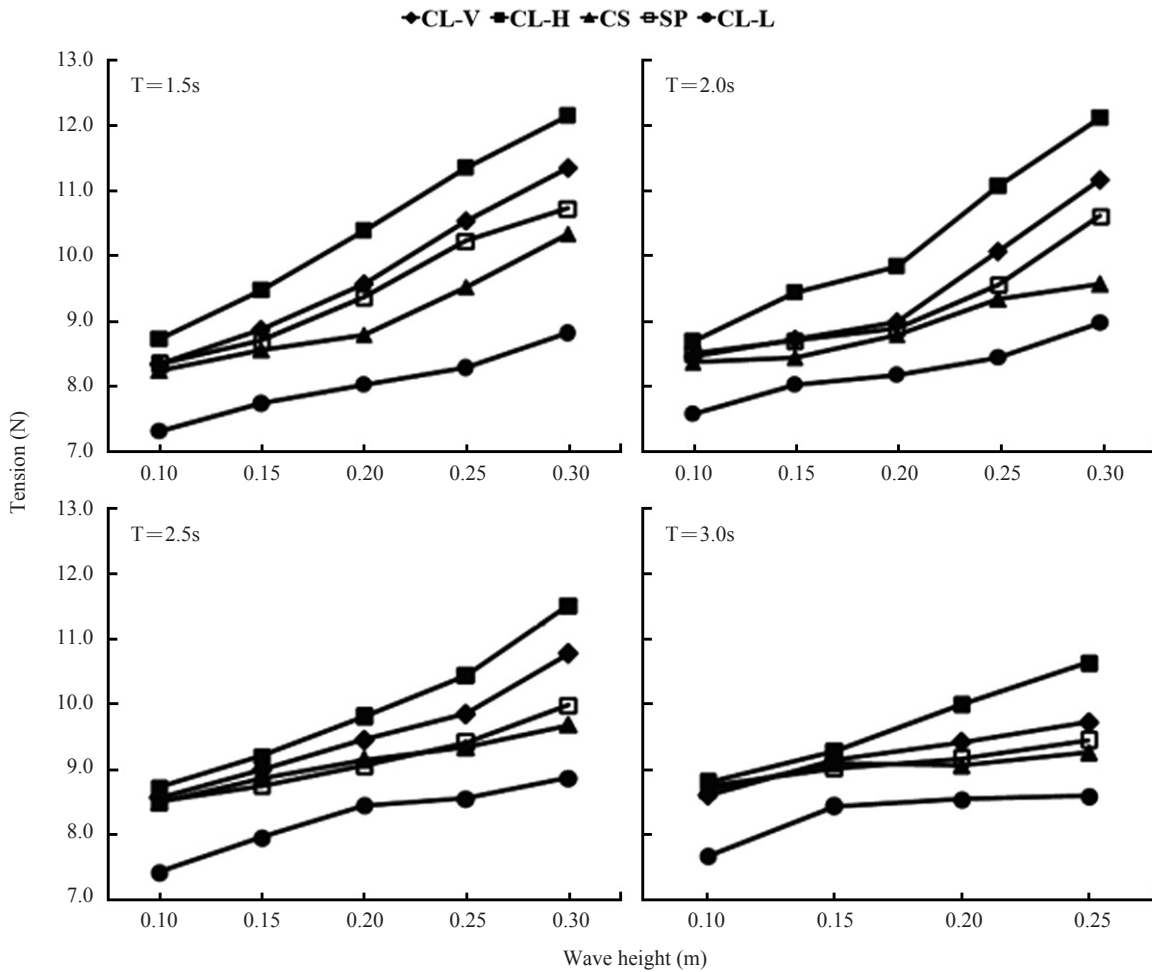


Fig. 7. Mooring tension by buoy type in wave condition

고가 증가할수록 부이줄의 장력이 증가하였으며, 주기가 길어질수록 장력의 값이 조금씩 감소하는 경향을 나타내었다. 부이줄 장력의 크기는 모든 주기와 파고에서 CL-H > CL-V > SP > CS > CL-L 순으로 나타났다. 부이 종류 간에 가장 장력 차이가 큰 경우는 주기 1.5 sec, 파고 0.30 m 조건에서 CL-H와 CL-L 사이였으며, 이때 장력 값의 차이는 3.3 N으로 부이 자체의 부력인 8.74 N의 약 38.2%에 해당하는 값인 것으로 나타났고, CL-H가 CL-L보다 37.8% 큰 것으로 나타났다.

Fig. 8은 파형 경사에 따른 장력의 변화를 회귀직선식을 이용하여 추정한 것으로서 일부 계열에서 결정계수의 값이 낮아 신뢰도는 다소 부족하나, 파형 경사에 따른 부이줄 장력의 대략적인 경향을 파악하고자 작성하였다. Fig. 8에서 나타난 것과 같이 파형 경사가 증가할수록 부이줄의 장력이 증가하는 경향을 보였으며, 파형 경사에 따른 부이줄 장력의 크기는 Fig. 7의 결과와 동일하게 CL-H > CL-V > SP > CS > CL-L 순으로 나타났다.

파랑 조건에 대한 실험에서도 부이 종류별 부이줄 장력 차이의 원인을 파악하고자 각 실험 주기 및 파고 조건에서 측정된 각각의 부이줄 장력과 Table 2에 나타난 각 요소들에 대해 상관계수(절대값)를 구하였다.

Table 3. Correlation between mooring tension and various factors by wave height (all buoy included)

| Related factors | Correlation coefficient | | |
|-----------------|-------------------------|------|------|
| | 0.80 | 0.85 | 0.90 |
| A* | | | |
| C* | | | |
| A* × C* | | | |
| A** | | | |
| C** | | | |
| A** × C** | | | |
| W | | | |
| H | ○ | ○ | |
| H / W | ○ | | |
| W / H | | | |
| D | | | |

(For symbols refer to Table 2)

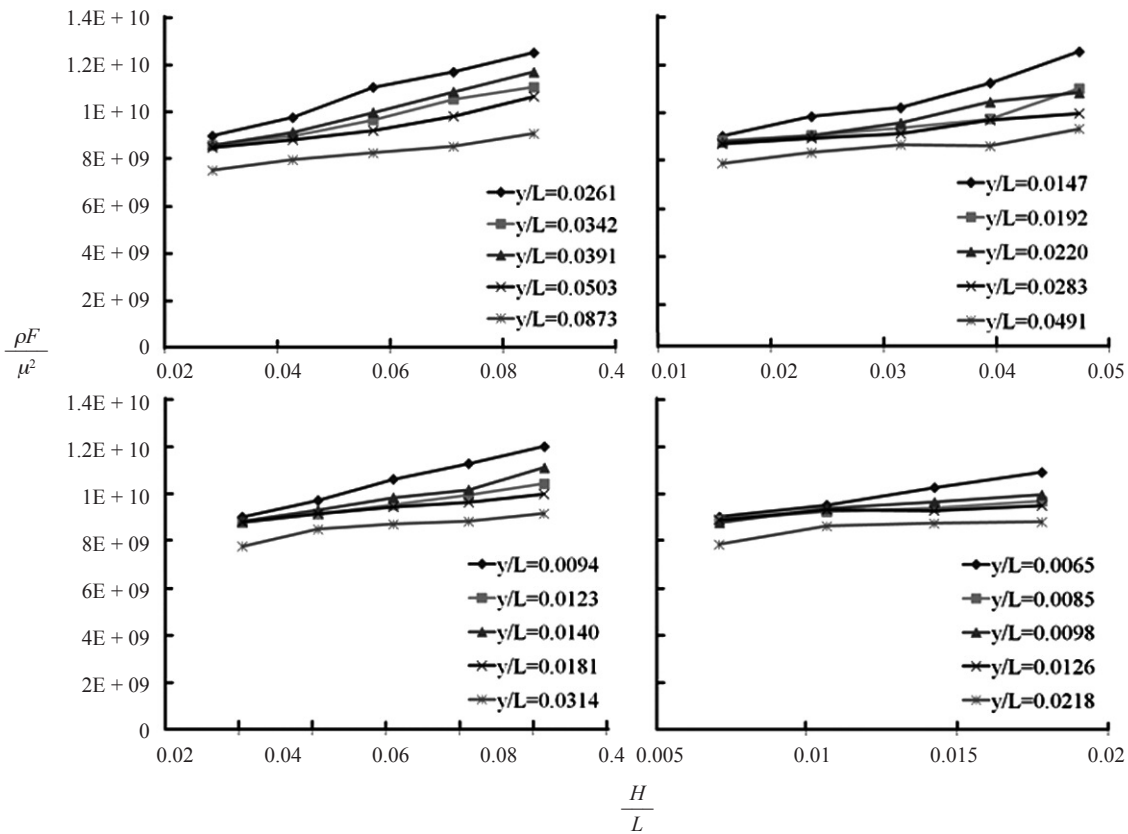


Fig. 9. Relation between $\frac{\rho F}{\mu^2}$, $\frac{H}{L}$ and $\frac{y}{L}$ for all buoy (H: wave height, L: wave length, ρ : water density, F : mooring tension, μ : water viscosity, y : height of buoy)

Table 3은 각 관련 요소에 대한 상관계수 값이 모든 주기와 파고 조건에서 공통적으로 0.8 이상의 값을 갖는 경우를 찾아 ‘○’ 표시로 나타낸 것이다. 계산 결과 ‘부이의 높이’ (H)가 부이줄 장력과 상관관계가 가장 높은 것으로 나타났다. 보다 정확한 검증을 위해 차원해석을 통하여 부이의 ‘높이’와 부이줄의 장력 사이의 관계를 확인하였다.

Fig. 9는 차원해석을 통하여 각 주기별로 파고 증가에 따른 부이줄 장력 변화를 부이 높이 변화에 따라 나타낸

Table 4. Correlation between mooring tension and various factors by wave height (all buoy included)

| Related factors | Wave height | | | | | |
|-----------------|-------------|------|------|-------------|------|------|
| | 1.0~2.5m | | | 3.0m | | |
| | Correlation | | | Coefficient | | |
| | 0.80 | 0.85 | 0.90 | 0.80 | 0.85 | 0.90 |
| A* | | | | | | |
| C* | | | | | | |
| A*×C* | | | | ○ | ○ | |
| A** | | | | | | |
| C** | | | | | | |
| A**×C** | | | | | | |
| W | | | | ○ | | |
| H | ○ | ○ | | ○ | ○ | |
| H/W | ○ | | | ○ | | |
| W/H | | | | ○ | ○ | |
| D | | | | | | |

(Refer to Table 2 for symbols)

Table 5. Correlation between mooring tension and various factors by wave height (except CL-L)

| Related factors | Wave height | | | | | |
|-----------------|-------------|------|------|-------------|------|------|
| | 1.0~2.5m | | | 3.0m | | |
| | Correlation | | | Coefficient | | |
| | 0.80 | 0.85 | 0.90 | 0.80 | 0.85 | 0.90 |
| A* | | | | | | |
| C* | | | | | | |
| A*×C* | | | | ○ | ○ | |
| A** | | | | | | |
| C** | | | | | | |
| A**×C** | | | | | | |
| W | | | | | | |
| H | ○ | | | ○ | | |
| H/W | | | | | | |
| W/H | | | | | | |
| D | | | | | | |

(Refer to Table 2 for symbols)

것이다. 확인 결과 모든 주기 조건에서 ‘높이’ 요소가 증가하는 경향과 부이줄의 장력이 증가하는 경향은 일치 하지 않았다. 따라서 ‘높이’는 부이들 사이의 장력 차이를 발생시키는 원인이 아닌 것으로 판단된다. 이와 같이 상관관계 분석 결과가 부이들 사이의 장력 차이를 설명하지 못하는 이유를 이 연구에서 실험 조건마다 부이가 유체 속에 놓이는 조건 즉, 실험 파고에 따라 부이가 수중에 잠기는 정도가 달라지기 때문인 것으로 추정된다.

이 연구에서는 이러한 추정의 타당성 확인을 위해 5개 부이가 모두 수중에 잠기는 파고인 0.3 m와 나머지 파고 조건들로 분석 조건을 이원화하고 이에 대한 상관계수를 각각 계산하였다. 그 결과 각 조건에 대한 관련 요소가 Table 4에 나타난 것과 같이 서로 다르게 나타났다. 0.3 m 이상의 파고 조건에서는 부이가 수면과 나란히 만나는 부분인 부이 밀면 방향에 대한 ‘단면적과 저항 계수의 곱’ (A*×C*) 요소가 추가적으로 상관성이 있는 것으로 나타났고, 나머지 파고에서는 모두 부이의 치수 (높이 또는 폭)와 관련된 요소들만 상관성이 있는 것으로 나타났다.

보다 자세한 확인을 위해 길이가 최대 실험 파고와 같은 CL-L은 분석 대상에서 제외하고 나머지 4개의 부이에 대해서만 상관분석을 실시하였고, 여기에서도 4개의 부이 높이보다 낮은 파고인 1.0-1.5 m 조건과 그 이상인 2.0-3.0 m 파고 조건으로 이원화하여 분석 하였다. 그 결과 Table 5에서 나타난 바와 같이 1.5 m 이하의 파고에서는 오직 높이 요소만 상관성이 있는 것으로 나타났고, 그 이상의 조건에서는 부이 아랫면에 대한 형상저항계수와 단면적의 곱 요소가 가장 높은 상관성을 갖는 것으로 5개 부이에 대해 실시한 결과와 유사한 경향으로 나타났다.

상관분석의 타당성을 확인하기 위해 앞에서와 마찬가지로 차원해석을 실시하여 장력 변화에 대한 해당 요소의 영향을 확인하였다. 그 결과 Fig. 10에 나타난 바와 같이 주기 2 sec의 일부 파고 조건을 제외하면 해당 요소의 증가하는 경향과 부이줄의 장력이 증가하는 경향이 앞의 해석 결과 보다는 비교적 잘 일치한다는 것을 확인 하였다. 따라서 부이가 수중에 잠기는 파고 조건에서 부이줄의 장력 차이를 결정하는 것은 부이 밀면 단면적과 저항계수의 곱인 것으로 추정할 수 있었다.

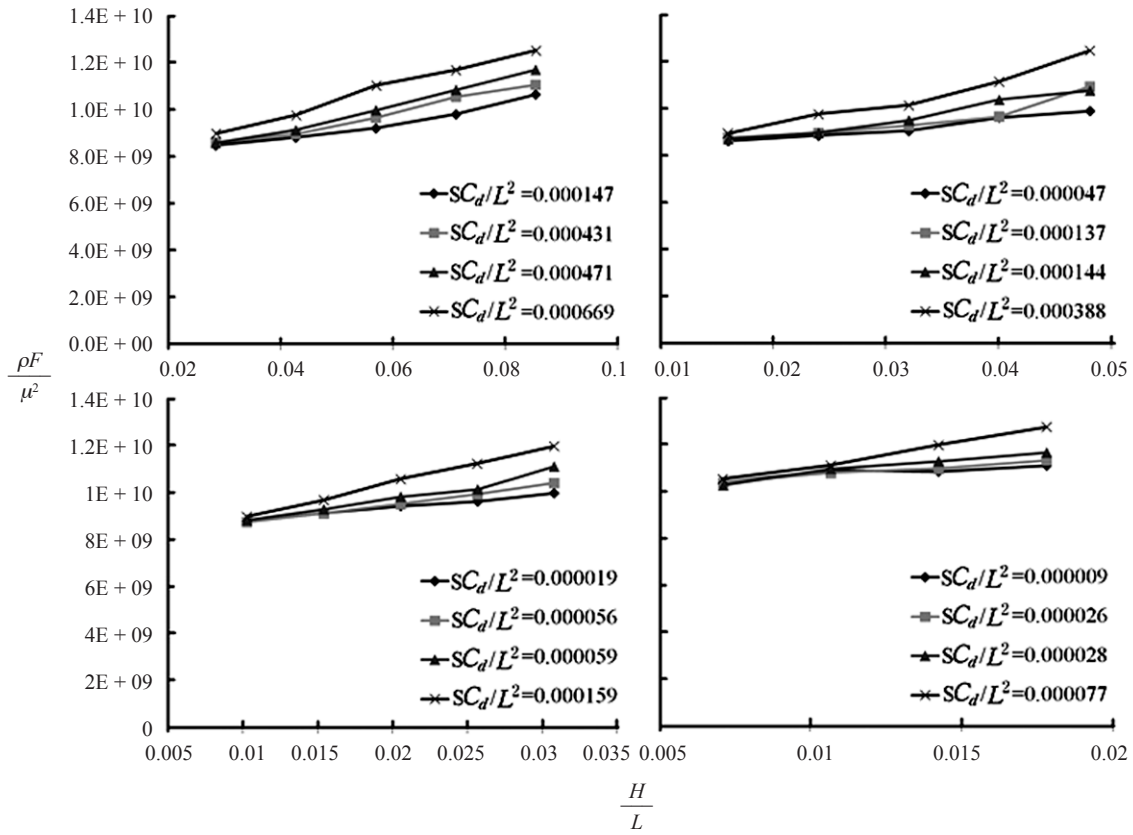


Fig. 10. Relation between $\frac{\rho F}{\mu^2}$, $\frac{H}{L}$ and $\frac{SC_d}{L^2}$ for 4 buoys except CL-L (H: wave height, L: wave length, ρ : water density, F : mooring tension, μ : water viscosity, S : area, C_d : drag coefficient)

부이 성능에 대한 고찰

부이줄에 걸리는 장력이 클수록 부이줄 끝에 연결된 어구에도 상대적으로 큰 힘이 전달되므로 어구가 부이줄을 따라 움직이는 정도도 커질 것이다. 파랑 조건에서 부이줄에 걸리는 장력이 크다는 것은 어구가 파랑 물입자의 운동을 따라 상하 또는 좌우로 움직이는 정도가 크다는 뜻이다. 조류 조건에서 부이줄 장력이 크다는 것은 흐름 방향으로 어구가 움직이는 정도가 크다는 것을 의미한다. 그러므로 각 조건에 대해서 부이줄 장력이 가장 작은 부이가 어구를 안정적으로 유지하는 데 유리한 부이로 볼 수 있다. 파랑 조건에 대한 실험에서 CL-L 부이가 모든 조건에서 가장 낮은 장력 값을 나타내 가장 성능이 나은 것으로 보였으나, 같은 규격의 실물 크기로 제작할 경우 길이가 너무 길어서 현장에서 사용하는 데 많은 어려움이 따를 것으로 예상된다. 그러므로 다음으로 작은 장력 값을 나타낸 CS 부이가 실용적인 면에서

는 CL-L 부이보다 낫다고 판단된다. 따라서 향후 연구에서는 실용성을 고려하여 실험 대상을 선정할 필요가 있다. 또한 본 연구에서는 제한된 공간과 실험장비로 인해 유선형 타입 부이에 대한 실험을 수행하지 못했는데 향후 연구에서는 이를 반영해야 할 것이다. 조류조건에 대한 실험에서는 SP 부이가 가장 저항을 적게 받으면서도 부력 감소가 적고 장력 값의 변화와 폭도 적어 가장 성능이 우수한 것으로 판단된다.

시험 결과를 종합해 볼 때, 파랑보다 조류의 영향이 상대적으로 큰 지역에서는 SP 부이를 사용하는 것이 유리하고, 반대의 경우에는 CS 부이가 유리할 것으로 보인다. 그러나 파랑과 조류의 영향이 모두 중요한 지역에서는 조류에 대한 저항이 가장 낮고, 파랑 조건에서도 CS 부이 다음으로 낮은 저항 값을 나타낸 SP 부이를 사용하는 것이 좋을 것으로 판단된다. 아울러 CL-V와 CL-H과 같이 크기와 모양이 같은 부이라도 계류 자세에 따

라 조류와 파랑 조건에서 성능 차이가 나므로 어장의 현황을 고려한 적절한 사용이 필요할 것으로 생각된다.

부이줄의 수중 장력을 결정하는 것은 부이의 형상과 파랑의 흐름 등과 같은 외력 조건 뿐만 아니라 어장의 수심과 부이에 연결된 그물의 형상과 구조 등에 지배를 받기 때문에 본 논문에서 제시한 결과로써 실제 어업용 부이의 성능을 정확히 판단할 수는 없다. 따라서 향후 연구에서는 본 연구에서 미처 고려하지 못한 요소들을 포함하여 보다 실질적인 연구를 수행해야 할 것이다.

결 론

부피와 재질이 동일하여 부력이 같으나 형상이 다른 5개의 부이 CL-H, CL-V, SP, CS, CL-L를 수중에 계류하여 조류 및 파랑 조건에 대해서 부이줄에 걸리는 장력을 수조실험을 통해 측정된 결과와 그 차이에 대한 원인을 분석하였다.

조류 조건에 대한 실험 결과, 유속이 증가할 때 부이의 장력 값은 증가하는 경향을 보였으나, CS, SP, CL-L는 유속 0.8 m/sec 이상에서는 장력의 크기가 거의 일정하였다. 반면 CL-H, CL-V는 유속 증가에 따라 장력이 지속적으로 증가하였다. 모든 유속에서 SP가 가장 낮은 장력 값을 나타냈고, CL-V와 CL-H는 가장 큰 값을 나타냈다. 부이가 흐름 중 수평방향으로 이동한 변위 측정을 통하여 흐름 방향에 대한 저항을 분석한 결과 저항이 가장 적은 것은 SP였고, 큰 것은 CL-L이었다. 조류 조건에 대한 부이줄 장력 차이의 원인을 밝히고자 관련된 요소들을 정하고, 장력과의 상관성을 분석하였으나 관련 요소를 발견하지 못하였다. 그러나 요소별 상관계수를 나타낸 그래프의 경향 분석을 통해 부이의 자세 변화에 따라 흐름과 만나는 면의 저항계수 및 치수 관련 요소들과 복합적으로 연관성이 있을 것으로 추정하였다.

파랑 조건에 대한 실험에서 모든 부이는 동일한 주기에서 파고가 증가할수록 부이줄의 장력이 증가하였으며, 주기가 길어질수록 장력의 값이 조금씩 감소하였다. 부이줄 장력의 크기는 모든 주기와 파고에서 CL-H > CL-V > SP > CS > CL-L 순으로 나타났다. 부이 종류별 부이줄 장력 차이의 원인을 파악하고자 부이줄 장력과 관련 요소들 사이의 상관관계를 분석하고 차원해석을 수행한 결과, 부이가 물에 잠기는 파고 조건에 한해서 부이 밀면 방향에 대한 단면적과 저항계수를 곱한 값이 부이줄 장력 차이를 결정하는 요인인 것으로 추정되었다.

사 사

이 연구는 국립수산과학원 (서해안 어구유실 저감기술개발, RP-2014-FE-31)의 지원에 의해 수행되었습니다. 실험을 도와주신 오영달 선생님께 감사의 말씀을 전합니다.

REFERENCES

- Brainard EC. 1967. Evaluation of the P.O.E. Buoy with conventional buoy designs. In: Transactions of the 2nd International Buoy Technology Symposium/Exposition, Mar Technol Soc, Washington, D.C., 169 – 176.
- Carpenter EB, Leonard JW and Yim SCS. 1995. Experimental and numerical investigations of tethered spar and sphere buoys in irregular waves. *Ocean Eng* 22 (8), 765 – 784 (DOI: 10.1016/0029 – 8018 (95)00016 – E).
- Capobianco R, Reya V and Calve OL. 2002. Experimental survey of the hydrodynamic performance of a small spar buoy. *Appl Ocean Res* 24, 309 – 320 (DOI: 10.1016/S0141 – 1187 (03)00026 – 9).
- Fridman AL. 1986. Calculations for fishing gear designs. Fishing News Books Ltd, Farnham (UK), 66 – 67.
- Jenkins CH, Leonard JW, Walton JS and Carpenter EB. 1995. Experimental investigation of moored – buoys using advanced video techniques. *Ocean Eng* 22 (4), 317 – 335 (DOI: 10.1016/0029 – 8018 (94)00022 – Y).
- Kim WJ and Perkins NC. 2002. Linear vibration characteristics of cable buoy systems. *J Sound Vib* 252 (3), 443 – 456 (DOI: 10.1006/jsvi.2001.3849).
- Leonard JW, Idris K and Yim SCS. 2000. Large angular motions of tethered surface buoys. *Ocean Eng* 27, 1345 – 1371 (DOI: 10.1016/S0029 – 8018 (99)00046 – 3).
- Lin H, Yim SCS and Gottlieb O. 1998. Experimental investigation of response stability and transition behavior of a nonlinear ocean structural system. *Ocean Eng* 25 (4 – 5), 323 – 43 (DOI: 10.1016/S0029 – 8018 (97)00023 – 1).
- Radhakrishnan S, Datla R and Hires RI. 2007. Theoretical and experimental analysis of tethered buoy instability in gravity waves. *Ocean Eng* 34, 261 – 274 (DOI: 10.1016/j.oceaneng.2006.01.010).
- Sundaravadivelu R, Babu MH and Murugaganesh R. 1991. Experimental investigation on a single point buoy mooring system, *Ocean Eng* 18 (5), 405 – 417 (DOI: 10.1016/0029 – 8018 (91)90022 – I).
- Umar A and Datta TK. 2003. Nonlinear response of a moored buoy,

- Ocean Eng 30, 1625 – 1646 (DOI: 10.1016/S0029 – 8018 (02)00144 – 0).
- White FM. 2003. Fluid mechanics 5th Edition. McGraw-Hill, Korea, 519 – 523.
- Williamson CHK and Govardhan R, 1997. Dynamics and forcing of a tethered sphere in a fluid flow. J Fluid Struct 11, 293 – 305 (DOI: 10.1006/jfls.1996.0078).
- Zhang SX, Tang TG and Liu XJ. 2012. Experimental investigation of nonlinear dynamic tension in mooring lines. J Mar Sci Technol 17, 181 – 186.
-
2014. 6. 03 Received
2014. 8. 25 Revised
2014. 8. 25 Accepted