ISSN 1225-827X (Print)
ISSN 2287-4623 (Online)
J Korean Soc Fish Technol, 52(4), 290－298, 2016
http://dx.doi.org/10.3796/KSFT.2016.52.4.290

FISHERIES TECHNOLOGY
www.fishtech.or.kr
〈Original Article〉

자망어구 부이의 깃대가 부이줄 장력에 미치는 영향

조삼광 · 이건호* · 차봉진[1] · 정성재[1] · 김인옥[1]
국립수산과학원 서해수산연구소 자원환경과, [1]국립수산과학원 수산공학과

Effect of flagpole attached to buoy on tension of buoy rope of gillnet

Sam-Kwang Cho, Gun-Ho Lee*, Bong-Jin Cha[1], Seong-Jae Jung[1] and In-Ok Kim[1]

Fisheries resources and environment Division, West Sea Fisheries Research Institute, National Institute of Fisheries Science, Incheon 22383, Korea
[1]Fisheries Engineering Division, National Institute of Fisheries Science, Busan 46083, Korea

This study aims to reduce the force exerted to the buoy of the gillnet by wave and current. Five buoy models were selected for experiments and their rope tensions under wave and current action were compared. Five models were EL (ellipsoid), EL-H (ellipsoid-hole), SL (streamlined body), SP (sphere) and CL (cylinder, traditional type). In the first experiment, the Five models were tested without any attachment. In the second experiment, a flagpole was attached to each model. As a result, in the condition without flagpole, the tensions of four models with the exception of the CL were about a half of that of the CL. In the condition with flagpole, the tension of all models was twice larger than that without flagpole. Thus, a new model was suggested to improve the problem, which has a combined body that of a flagpole and a buoy Three new models of CL-L (long and thin cylinder), LF (leaf shape) and LF-F (leaf shape with fin) were designed. Also a cylinder type (CLD) with a flagpole as a control was included in the experiment. As a result, the LF-F had the smallest tension and a half tension of the CLD. Therefore, it is supposed that the flagpole and buoy combined model could reduce the tension on buoy rope and contribute to improve the gillnet loss problem.

Keywords : Fishing gear loss, Flagpole, Buoy, Gillnet, Wave, Current, Mooring tension

서 론

우리나라에서 서해는 강풍에 의한 어구 유실이 가장 많은 해역이며, 그 중에서도 자망어구는 유실이 많은 어구 중 하나이다 (Lee et al., 2015). 일반적으로 우리나라 연안에서 사용되는 자망어구는 어구의 위치를 표시하거나 어구의 양망을 위해 대나무 깃대와 스티로폼 등으로 구성된 부이를 어구와 로프로 연결해서 사용한다. 부이는 항상 수면에 위치하기 때문에 수면에 파랑이 발생하면 이 영향을 직접적으로 받게 된다. 특히 파랑에 의해 수면이 상승할 때 로프를 통해 연결된 어구를 들어 올리거나 수평방향으로 당기게 되는데 이러한 정도가 닻줄이 유지하고 있는 최대 파주력을 초과하게 되면 어구의 위

*Corresponding author: ghlee94@korea.kr, Tel: +82-32-745-0631, Fax: +82-32-745-0569

치가 이동하게 된다. 이러한 현상은 Lee et al. (2015)의 연구에서 밝혀진 바 있다. 그러므로 어구의 이동을 줄이기 위해서는 부이가 파랑으로부터 받는 영향을 최소화하는 것이 필요하다.

관련된 연구로는 부이가 조류나 파랑의 영향을 받을 때의 거동 특성을 실험 및 수학적 모델링을 통해 해석한 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) 의 연구들이 있다. 그러나 대부분의 연구는 해양환경계측용 부이 개발을 위한 연구로서 어구에 사용되는 부이에 대한 연구는 부족한 실정이다. 다행히 최근에 어업에서 사용되는 스티로폼 부이를 비롯한 여러 가지 형태의 부이에 대해 파랑과 조류의 흐름 중에서 각 부이의 형상에 따라 부이줄에 전달되는 힘이 어떻게 달라지는 가에 대한 모형실험이 Lee et al. (2014)의 연구에서 수행된 바 있다. 그러나 이 연구에서는 부이 자체에 대해서만 연구되어 있고 부이에 연결되어 있는 깃대의 영향에 대해서는 연구가 이루어지지 않았다.

깃대는 깃발을 부착하기 위해 사용하는데 깃발을 부착하는 이유는 자망어구가 설치된 위치의 육안식별과 어구실명을 용이하게 확인하기 위해서다. 깃발은 깃대 상부에 부착되는데 깃대 맨 하단에 약 20 N 정도의 철근으로 된 추가 부착되기 때문에 수면에서 깃발은 위쪽을 향하게 되고 깃대 아랫부분은 자연스럽게 수중에 잠긴다. 이처럼 깃대 일부분이 수중에 잠겨 있기 때문에 이 부분이 유체저항을 형성하여 부이줄에 추가적인 힘을 가하여 어구의 고정력에 영향을 미칠 것으로 예상할 수 있으므로 깃대가 부이줄에 미치는 영향을 파악할 필요가 있다. 또한 깃대가 부이에 부착되어 있으면서 부이와의 상호작용을 통해 부이 자체의 저항에 어떠한 변화를 줄 지 알 수 없기 때문에 깃대의 영향에 대한 연구는 더더욱 필요하다. 따라서 본 연구에서는 깃대가 부이줄의 장력에 미치는 영향을 파악하고자 깃대가 연결된 부이와 그렇지 않은 부이를 파랑과 흐름 중에 놓이게 한 뒤 각각에 대해 부이줄에 걸리는 장력을 비교하는 모형실험을 수행하였으며, 이 실험 결과를 바탕으로 깃대의 영향을 최소화할 수 있는 새로운 부이 모형을 고안하여 깃대가 연결된 기존 부이와 비교하는 실험을 추가로 수행하였다.

재료 및 방법

깃대 유무에 따른 비교 실험

수조 실험에 사용한 부이 모형은 물방울형 (SL), 구형 (SP), 타원형 (EL) 그리고 타원체 중심에 구멍이 있는 타원-관통형 (EL_H) 등 4종이며, 여기에 대조구로써 어업인들이 많이 사용하는 원통형 (CL)을 포함해 총 5종 이었다. 각 모형은 Froude 상사법칙 (Jeon et al., 2012)을 적용하여 실물크기의 1/2.5 크기의 플라스틱 (ABS, 비중 1.04) 모형으로 제작하였다. 각 모형 부이의 모양은 다르지만 서로 같은 부력을 갖게 하기 위해 체적 (0.00136 m^3)을 동일하게 하였다. Fig. 1은 실험에 사용된 모형 부이 5종의 형태와 규격을 나타낸다. 5개의 모형을 Fig. 2와 같이 준비한 실험장치에 계류줄 (Nylon coated stainless steel wire ∅0.6 mm, 길이 3.75 m)을 이용하여 계류하였다. 이 실험장치는 계류된 부이가 조파수조에서 흐름과 파랑의 영향을 동시에 받을 수 있도록 고안된 것이다. 또한 실험장치에 부착된 4개의 PVC 파이프 (∅22 mm, 길이 3.5 m)는 각 부이의 계류줄이 서로 엉키는 것을 방지하기 위해 사용된 것이다. 계류줄 끝부분에는 수중 장력계 (SUMM(SP)-10K, Max 100 N, Senstech.CO,.Ltd., Korea)를 연결하여 파랑 및 흐름 조건에서 각 부이의 계류줄에 걸리는 장력을 동시에 측정할 수 있게 하였다. 이 실험은 국립수산과학원 3차원 조파 수조 (L 85.0 m, W 10.0 m, D 3.5 m)에서 수행되었으며, 유속은 프로펠러식 유속계 (VOT2-200-20, KENEK Co.)로, 파고는 용량식 파고계 (CH401, KENEK Co.)를 이용하여 측정하였다. 각 데이터의 측정 빈도는 200 Hz였다.

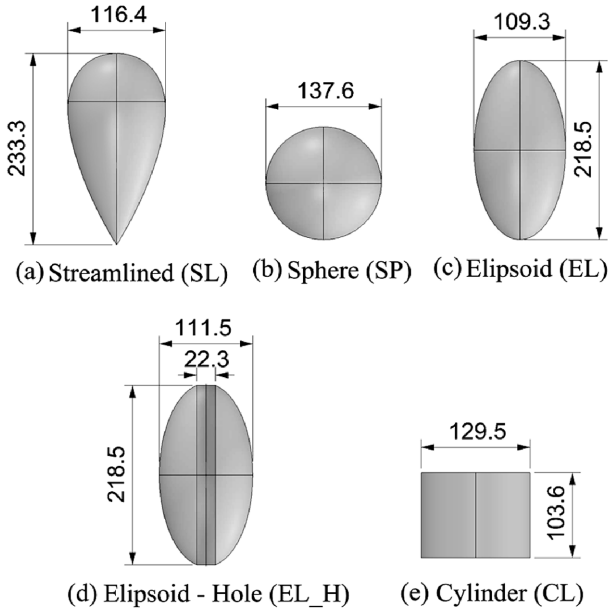


Fig. 1. Schematic of buoys for the test by flagpole presence (unit : mm).

실험은 2가지 경우로 구분하여 실시하였다. 첫번째는 표식용 깃대가 없는 경우, 두번째는 깃대가 있는 경우로 나누어 실시하였다. 깃대의 길이는 1.4 m, 굵기는 10 mm, 재질은 ABS (비중 1.04)수지였다. 부이와 깃대를 연결하는 줄의 길이는 0.12 m였고, 연결 위치는 깃대 아래 끝에서 0.6 m 지점이었다. 줄의 종류는 계류줄과 동일하였다.

그리고 깃대 하단에는 1.38 N의 철추 (∅11.8 mm, 길이 0.15 m)를 부착하였다. 계류줄은 깃대 하단 끝에서 0.15 m 떨어진 위치에 연결하였다. 모든 실험에서 깃발은 바람의 영향이 없는 것으로 가정하고 제외하였다. 각 실험에 적용한 파랑은 규칙파였고, 파고는 0.25 m, 파주기는 1.42, 1.58, 1.74, 1.90 sec, 예인전차의 이동 속력은 0.316, 0.474 m/s이었다.

깃대 일체형 부이 성능 실험

이 실험에서는 부이를 깃대와 줄로 연결한 일반적인 구조의 부이와, 부이 몸체 중심을 깃대가 관통하여 부이와 깃대가 한 덩어리로 된 구조의 깃대 일체형 부이 (oneness type buoy with flagpole : OBF)의 성능을 비

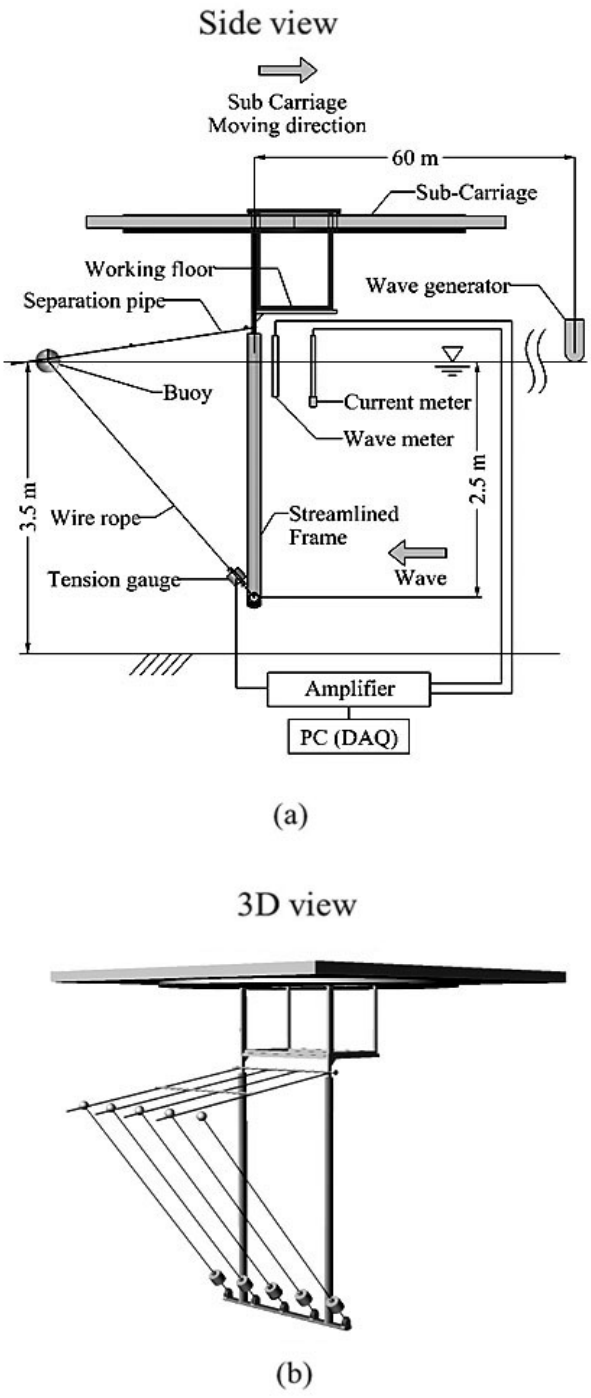


Fig. 2. Arrangement of experimental apparatus in towing tank.

교하였다. Fig. 3은 실험에 사용한 부이 5종의 형태를 나타내며, Fig. 4 는 형태별 상세 규격을 나타낸다. Fig. 3에서 첫 번째 부이 (CLD)는 기존 어업인들이 사용하는 타입으로 깃대와 원기둥 모양의 부이가 로프로 연결되어 있는 구조의 부이다. 두번째 막대형 부이 (CL-L)는 깃대 일체형 부이 타입인데 적재나 운반이 용이하도록 폭은 가늘고 길이가 길게 제작하였으며 물과의 저항을 줄이기 위해 위와 아래를 뾰족하게 하였다. 세 번째 부이 (CL-R)는 첫 번째와 동일하나 깃대와 계류줄이 연결되는 사이에 0.2 m 길이의 고무줄 (용수철 상수 38 N/m)을 연결하였다. 이것은 부이가 파도로부터 받는 힘을 순간적으로 흡수하여 부이줄 장력을 줄이려는 목적으로 고안한 것이다. 네 번째 부이 (LF)는 나뭇잎이 바람을 받을 때 저항을 최소화하기 위해 취하는 자세를 본떠서 만든 잎새형 부이다 (White, 2003). 역시 깃대와 일체형으로 제작하였다. 다섯 번째 부이 (LF-F)는 네 번째 부이에 방향키를 추가한 형태이다. 이것은 흐름이나 파랑 중 일정한 자세를 유지하게 함으로써 유선형 물체의 저항 감소 효과를 최대화하기 위한 것이다. 각 모형은 Froude 상사법칙을 적용하여 실물의 1/4 크기로 제작하였으며 재질은 플라스틱 (ABS, 비중 1.04)이었다. 각 부이는 모양은 다르지만 체적 (0.00033 m^3)은 동일하다. 깃대의 길이는 0.875 m, 굵기는 7.5 mm, 재질은 부이 모형의 것과 동일하다. 부이와 깃대를 연결하는 줄의 길이는 0.075 m였고, 연결 위치는 깃대 아래 끝에서 0.375 m 지점이었다. 계류줄의 규격은 첫 번째 실험에 사용한 것과 동일하였고 깃대 하단끝에서 0.075 m 떨어진 위치에 연결하였다. 그리고 깃대 하단에는 0.337 N의 철추 (∅8.0 mm, 길이 0.075 m)를 부착하였다. 이 실험에서도 깃발은 사용하지 않았다. 각 실험에 적용한 파랑은 규칙파였고, 파고는 0.25 m, 파주기는 1.38, 1.50, 1.63, 1.75, 1.88 sec, 예인전차의 이동 속력은 0.125. 0.250, 0.375 m/s이었다.

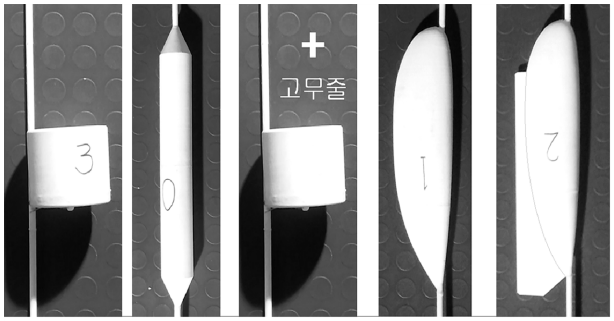
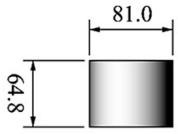
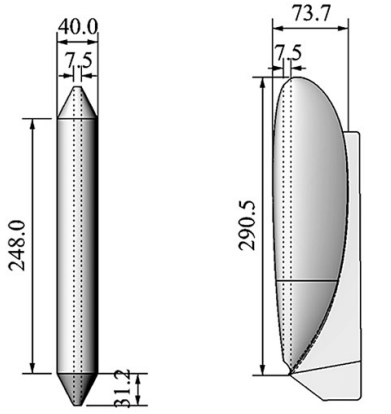


Fig. 3. Model buoys with OBF* and traditional type (a) CLD (b) CL-L (c) CL-R (d) LF (e) LF-F.
(* : Oneness type buoy with flagpole)



(a) Cylinder (CL)



(b) Cylinder-Long (CL-L) (c) Leaf-Fin (LF-F)

Fig. 4. Schematic of OBF and traditional type buoy (unit : mm).

결과 및 고찰

깃대 유무에 따른 비교 실험

Fig. 5는 깃대를 부착하지 않은 조건에서, Fig. 6은 깃대를 부착한 조건에서 실험한 부이 5종의 계류줄의 최대

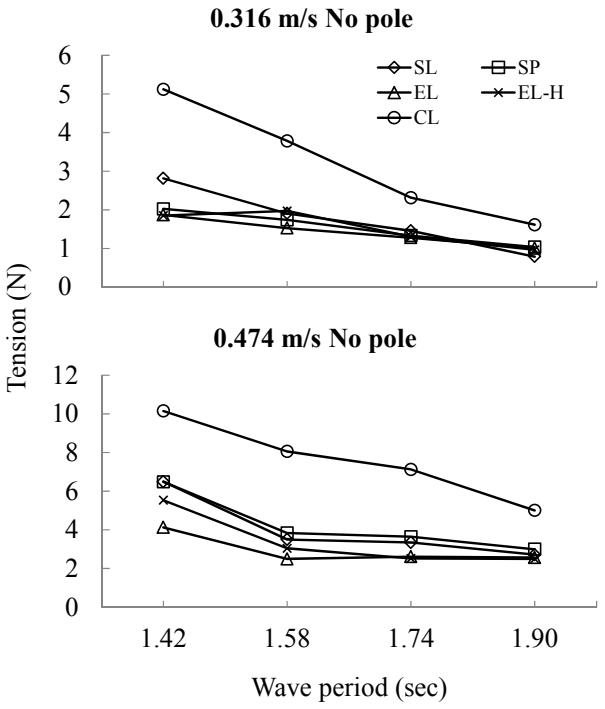


Fig. 5. Mooring tension by the buoy type without flagpole under wave and current condition.

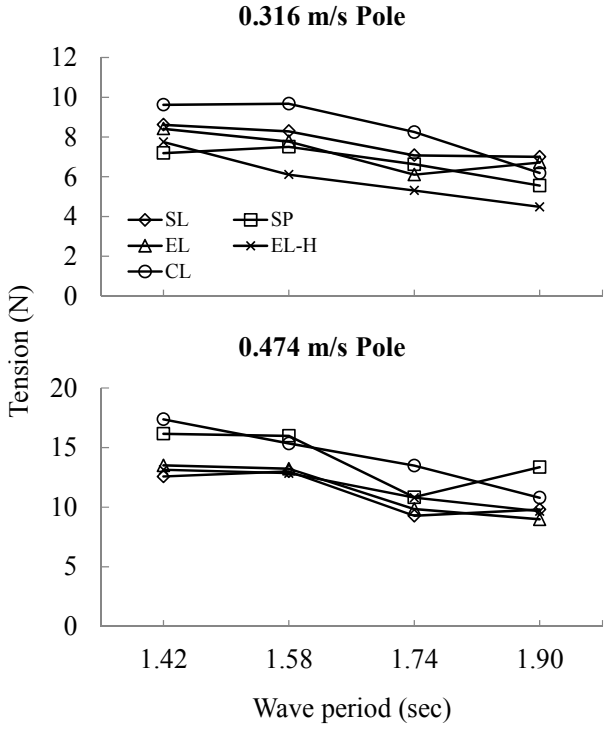


Fig. 6. Mooring tension by buoy type with flagpole under wave and current condition.

장력을 유속 및 파랑 주기별로 나타낸 것이다. 그리고 Fig. 7은 Fig. 5와 6에서 나타낸 장력 값들을 파랑 주기에 대해 평균한 것이다.

Fig. 5에 나타난 것과 같이 원통형 (CL)을 제외한 부이 4종의 계류줄 장력이 파랑 주기 및 유속 조건에 상관없이 모두 대조구인 원통형 부이의 약 1/2 정도로 나타났다. 가장 장력이 작은 것은 타원형 (EL) 부이였다. 깃대를 부착한 조건에서도 역시 원통형 부이의 계류줄 장력이 거의 모든 실험 조건에서 가장 크게 나타났다 (Fig. 6). 그러나 깃대가 없는 경우와 달리 실험구의 부이 4종과 대조구인 원통형 부이 사이에 장력 차이가 많이 줄어들었다. 게다가 계류줄 장력이 깃대가 없을 때 보다 최소 1.9배에서 최대 5.1배까지 증가하였다 (Fig. 7). 특히 실험구 부이 4종은 최소 2.8배 이상 증가하였다. Fig. 7에서 유속 0.316과 0.474 m/s의 결과를 살펴보면 공통적으로 실험구 부이 4종이 깃대 사용 전후의 장력 차이가 월등히 크고 대조구인 원기둥 형은 상대적으로 작다는 것을 알 수 있다.

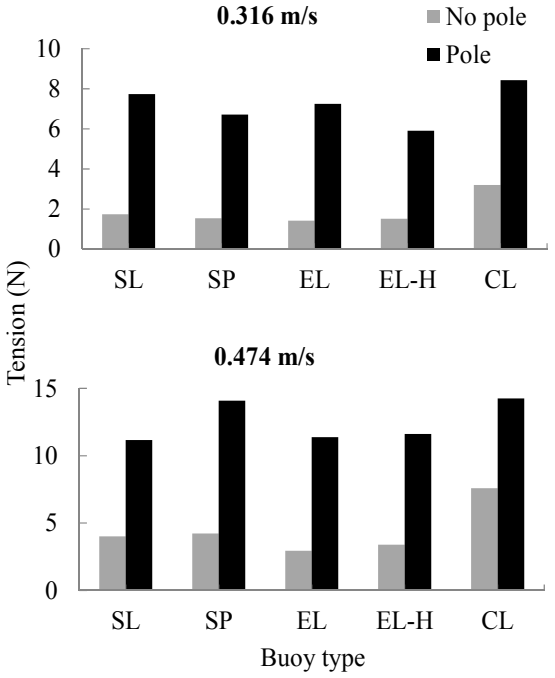


Fig. 7. Wave period-averaged mooring tension by flagpole presence.

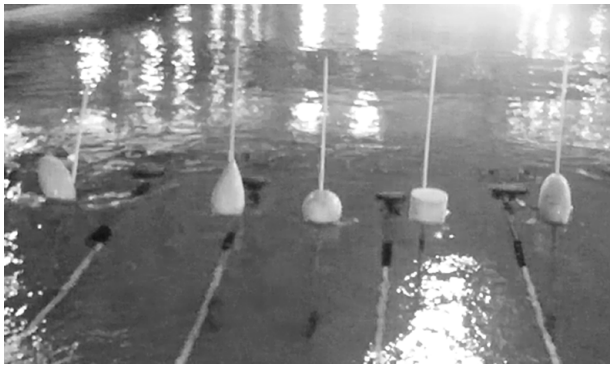


Fig. 8. Photo showing a position of flagpole and buoy in the test.

실험구의 부이들의 공통점은 모두 표면이 매끄럽고 둥글다는 공통점이 있다. 반면 원기둥 형은 그것의 단면에 초점을 두어 살펴본다면 모서리가 날카로운 사각형이다. 직사각형 실린더와 같이 예리한 모서리가 있는 경우 이 모서리 부분에서 유동이 박리되므로 표면이 매끄러운 실험구의 부이들보다 유체 저항이 크다 (White, 2003). 이처럼 원통형 부이의 경우 기본적인 저항이 크기 때문에 깃대 사용으로 인한 장력 증가의 영향은 상대적으로 적게 나타났다고 볼 수 있다. 또한 원기둥 부이의 반류 영역이 상대적으로 넓기 때문에 이 부분에 깃대가 위치하면 저항감소의 효과가 발생하는 것도 일부 원인일 가능성이 있다. 실제로 실험 장면을 관찰할 결과, 깃대가 실험 과정에서 줄곧 부이의 뒤쪽에 위치하는 것을 확인하였다 (Fig. 8).

깃대를 사용할 경우 계류줄의 장력이 전체적으로 증가하는 원인은 깃대와 깃대 하단의 철추가 생성하는 저항에 있다고 볼 수 있다. 깃대의 절반 정도와 철추는 부이와 함께 수중에 상시 계류되어 있기 때문에 흐름과 파랑의 영향을 받으면 추가적인 저항을 생성할 수밖에 없다. 그러나 깃대와 철추가 차지하는 부피나 면적이 부이에 비해 상대적으로 작기 때문에 이것이 장력 증가의 모든 것을 설명한다고 볼 수 없다. 깃대 사용에 따른 장력 증가의 다른 원인은 부이와 깃대와의 상호작용에 의한 추가적인 저항 증가를 들 수 있다. 흐름을 받는 원기둥 물체 주변에 이 물체보다 크기나 지름이 작은 막대나 로프 형태의 소형 구조물이 존재할 경우 물체가 단독으로 있을 때보다 물체가 받는 항력이 조금 줄어드는 경우가 있다 (Wu et al., 2016; Huang and Herfjord, 2013). 그러나 이러한 저항 감소는 주변의 소형 구조물들이 특정 위치에 고정되어 있을 때만 적용되므로 소형 구조물의 위치가 유동적으로 변하는 경우에도 유효한 지 알 수 없다.

실제로 문제가 되는 점은 양력인데 일정한 진폭으로 진동하는 양력이 물체가 단독으로 있을 때보다 크게 발생하는 것으로 알려져 있다 (Wu et al., 2016). 이러한 사실로 미루어 보아 흐름을 받고 있는 부이의 주변에 깃대와 같은 물체가 있으면 진동하는 양력이 추가적으로 발생한다는 것을 짐작할 수 있으며, 이 상태에서 파랑의 힘을 받으면 이 양력의 힘은 순간적으로 더욱 크게 증가할 것으로 예상된다. 이러한 추정의 타당성은 두 조건에 대한 장력 그래프 형상 비교를 통해 알 수 있다. Fig. 9는 주기 1.42 sec, 유속 0.474 m/s일 때 타원형 (EL) 부이의 계류줄에 나타난 장력을 깃대의 유무에 따라 비교한 것이다.

깃대가 있는 경우의 계류줄 장력을 나타내는 Fig. 9a에는 파랑이 작용하는 구간에서 여러 개의 진폭이 큰 진동이 나타나지만 깃대가 없는 경우인 Fig. 9b는 이러한 진동이 보이지 않는다. 이러한 이유로 부이에 깃대가 연결된 경우 계류줄의 장력이 증가한다는 것을 알 수 있다.

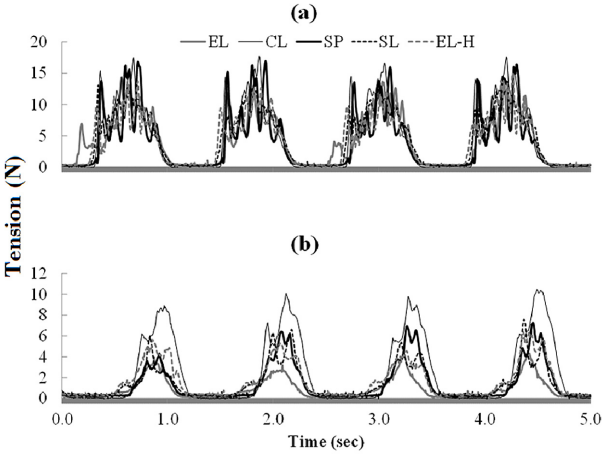


Fig. 9. Example for mooring tension of buoy by flagpole presence. (a) flagpole (b) no flagpole. (Wave period : 1.42 sec, flow speed :0.474 m/s)

깃대 일체형 부이 성능 실험

Fig. 10은 깃대 일체형 부이 3종 (CL-L, LF, LF-F)과 깃대를 줄로 연결한 원통형 부이 (CLD), 그리고 여기에 고무줄을 계류줄 사이에 연결한 CL-R을 포함한 부이 5종의 계류줄에 걸리는 최대 장력을 유속 및 파랑 주기별로 나타낸 것이다. 그리고 Fig. 11은 Fig. 10에서 나타낸 장력 값들을 파랑 주기에 대해 평균한 것이다.

Fig. 10에 나타낸 것과 같이 모든 유속과 파주기 조건에 대해서 나뭇잎 모양의 LF 부이를 제외한 나머지 부이들의 계류줄 장력은 대조구 (CLD)의 절반에 가까운 수준을 나타냈다. LF는 깃대일체형 구조임에도 불구하고 평균적으로 실험군에서 가장 큰 장력값을 기록하였다. 그러나 유속이 증가할수록 장력 감소 정도가 증가하여 0.375 m/s

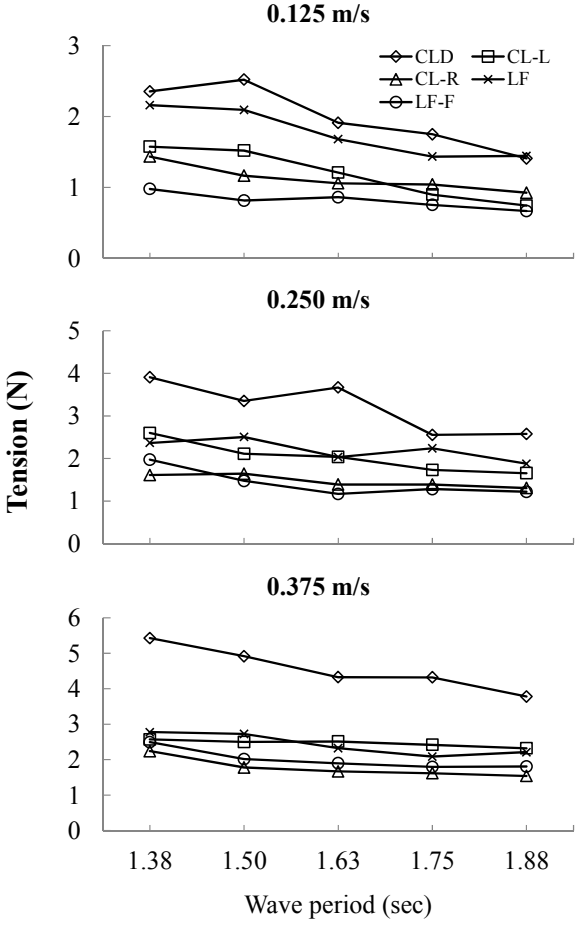


Fig. 10. Comparison of mooring tension between traditional and new type buoys (OBF).

의 유속에서는 거의 다른 부이들과 비슷한 값을 나타냈다. Fig. 11과 12에 나타낸 바와 같이 가장 장력이 낮은 부이는 LF-F이었다. LF-F의 값은 모든 파랑 주기와 유속에서 대조구의 50% 이하로 나타났다. 다음으로 값이 작은 것은 CL-R이었는데 LF-F와의 차이는 미미하였다 (Fig. 11). 유속 0.125 m/s에서는 CL-R이 LF-F보다 약간 크게 나타났고, 나머지 유속에서는 거의 비슷한 값을 기록하였다. 다음으로 값이 작은 것은 CL-L이었다. CL-L은 평균 장력값이 대조구의 약 60%이었다 (Fig. 11). 이처럼 LF를 제외한 실험구로 사용한 깃대 일체형 부이 2종이 비교적 절반에 가까운 장력 감소효과를 나타냈다. 깃대와 부이를 한 몸으로 구성한 부이와 따로 구성한 부이 사이에 장력 차이가 크게 나타난 것은 부이 주변에 깃대와 같은 부수적인 물체가 있을 때 추가적인 저항 (양력)이 발생하므로 이를 줄이기 위해서 깃대를 부이에 포함시켜 하나의 물체로 구성함으로써 저항을 최소화하였기 때문인 것으로 판단된다 (Wu et al., 2016). 이것은 앞의 실험결과를 통해 제시한 고찰의 내용과 일맥상통하는 결과이다.

부이가 받는 유체력을 최소화하기 위해 나뭇잎의 특성을 참고해서 고안한 LF 부이의 성능은 예상과 달리 매우 저조하였다. 심지어 유속 0.25 m/s에서는 대조구 (CLD)의 값과 거의 비슷한 결과를 나타내기도 하였다. 실험과정을 촬영한 동영상을 살펴본 결과, 파랑의 영향을 받을 때 LF형 부이의 자세가 수면에서 불규칙하게 바뀌는 것이 관찰되었다. 특히 자세가 바뀌다가 나뭇잎 모양의 넓은 부분에 파랑이 닿을 때는 부이가 옆으로 기우는 정도가 매우 크게 나타났다. 따라서 방향을 일정하게 유지하지 못하는 것이 계류줄의 장력을 높이는 원인인 것으로 판단된다. 이에 반해 LF-F형에 대해서는 실험과정 내내 일정한 방향을 유지하는 것이 확인되었다. 이와 같이 방향키의 유무에 따라 부이에 작용하는 유체력의 차이가 매우 큰 것을 알 수 있다. LF-F형이 모든 조건에서 성능이 우수하였지만 실제 현장에서는 조류의 방향과 파랑의 진행 방향이 다른 경우가 많다. 흐름과 파

랑의 진행 방향이 서로 다른 경우에는 LF형에서 나타났던 문제가 발생할 가능성이 있다. 따라서 현장 실험을 통한 추가적인 검증이 필요하다. 이러한 문제점들을 고려하면 CL-L형 부이가 실용성이 있을 것으로 보인다. 구조적으로 단면이 원형이므로 방향의 영향을 적게 받을 뿐만 아니라 대조구에 비해 평균 약 40% 포인트의 장력 감소 효과가 있으므로 성능 면에서도 고려할 만하다. 그러나 CL-L 역시 파랑과 흐름의 방향이 다른 조건에서 어떤 결과가 나올지 알 수 없으므로 추가적인 성능 검증이 필요할 것으로 보인다.

CL-R의 성능이 LF-F 못지않게 좋게 나타난 것은 예상치 못한 결과였다. CL-R의 계류줄 장력이 매우 낮았던 이유는 고무줄의 탄성이 파랑의 유체력을 상당량 흡수했기 때문으로 판단된다. 해수에서도 장시간 사용가능

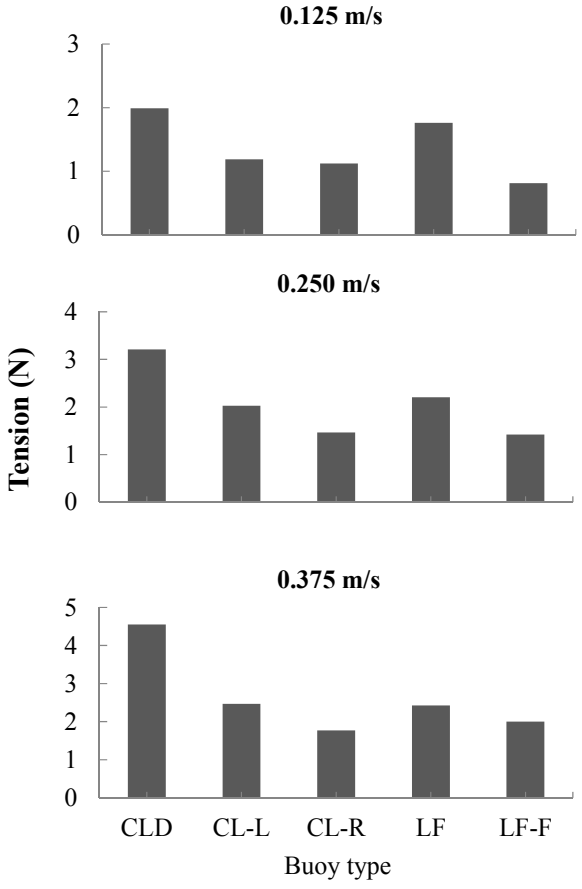


Fig. 11. Wave period-averaged mooring tension for the result of OBF performance test.

하고 강도와 탄성이 충분히 갖춰진 탄성체가 개발될 경우 부이의 계류줄 장력을 줄이는 데 기여할 수 있을 것으로 판단한다. 또한 성능이 우수한 깃대 일체형 부이가 개발된다면 이것과 결합해서 사용함으로써 더욱 효과를 높일 수 있을 것으로 판단된다.

결 론

깃대가 부이줄의 장력에 미치는 영향을 파악하고자 깃대가 연결된 부이와 그렇지 않은 부이를 파랑과 흐름 중에 놓이게 한 뒤 각각에 대해 계류줄에 걸리는 장력을 비교하는 모형실험을 수행하였으며, 이와 더불어 깃대의 영향을 최소화할 수 있는 깃대 일체형 부이를 고안하여 깃대와 부이가 줄로 연결된 기존 모델과 비교하는 실험을 수행하였다. 그 결과는 다음과 같다.

조파수조에서 예인전차를 이용해 생성한 흐름에 파랑을 동시에 가하는 조건하에 모형 부이 5종 (SL, SP, EL, EL_H, CL)의 계류줄에 걸리는 장력을 측정하는 실험에서 대조구인 CL의 계류줄 (최대)장력이 모든 파랑 주기 (1.42, 1.58, 1.74, 1.90 sec)와 유속 (0.316, 0.474 m/s)에서 가장 컸고, 그 크기는 나머지 부이 4종의 약 2배였다. 그러나 같은 부이에 깃대를 부착할 경우 (최대)장력값들이 평준화될 뿐만 아니라 그 크기가 최소 1.9배에서 최대 5.1배까지 증가하였다. 깃대를 부이 몸체 중심에 삽입한 일체형 부이 3종 (CL-L, LF, LF-F)과 깃대를 부이와 줄로 연결한 원통형 부이 (CLD), 그리고 CLD의 계류줄에 고무줄을 삽입한 CL-R을 포함한 부이 5종의 계류줄에 걸리는 장력을 측정한 실험에서 LF형을 제외한 부이 3종 각각의 최대 장력은 모든 파랑주기 (1.38, 1.50, 1.63, 1.75, 1.88 sec) 및 유속 (0.125. 0.250, 0.375 m/s)에서 대조구인 CLD의 약 40～60%이었으며, 그 중에서 LF-F형의 값이 약 40%로 가장 작았다. 이처럼 LF-F형의 성능이 가장 우수하였지만 유향과 파향이 다를 경우 성능이 급감할 가능성이 있으므로 이에 대한 추가적인 연구가 필요하다. 이에 반해 CL-L형 부이는 장력 감소 효과는 다소 적었지만 구조적으로 방향의 영향을 적게 받

을 가능성이 높아 오히려 실용성이 좋을 것으로 생각된다. CL-R의 경우 LF-F 만큼 성능이 좋았으며, 재료의 내구성이 갖춰질 경우 부이의 계류줄 장력을 줄이는 데 크게 기여할 수 있을 것으로 판단된다. 따라서 이상과 같은 결과들을 종합해 볼 때 부이에 깃대를 줄로 연결해서 사용하는 방식보다 깃대와 부이를 일체식으로 사용하는 것이 계류줄의 장력을 낮추는데 효과가 있을 것으로 판단된다.

사 사

이 논문은 2016년도 국립수산과학원 수산과학연구사업(R2016041)의 지원으로 수행된 연구이며 연구비 지원에 감사드립니다.

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. Marine Technology Society Washington DC, 169-176.

Carpenter EB, Leonard JW and Yim SCS. 1995. Experimental and numerical investigations of tetherd spar and sphere buoys in irregular waves. Ocean Engineering 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. Applied Ocean Research 24, 309-320. (DOI:10.1016/s0141-1187(03)00026-9)

Jeon IK, Nam IK, Park SC, Lee UL and Jeong IH. 2012. Hydrography. Donghwa, Gyeonggi, Korea, 451-454.

Jenkins, CH, Leonard JW, Walton JS and Carpenter EB. 1995. Experimental investigation of moored-buoys using advanced video techniques. Ocean Engineering 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. Journal of Sound and vibration 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 Engineering 27, 1345-1371. (DOI:10.1016/s0029-8018(99)00046-3)

Lee GH, Kim IO, Cha BJ, Jung SJ. 2014. Difference of tension on mooring line by buoy type. J Korean Soc Fish Technol 50(3), 233-243. (DOI:10.3796/ksft.2014.50.3.233)

Lee GH, Kim IO, Cha BJ, Jung SJ. 2015. Analysis for gillnet loss in the West Sea using numerical modeling. J Korean Soc Fish Technol 51(4), 600-613. (DOI:10.3796/ksft. 2014.50.3.233)

Lin H, Yim SCS and Gottlieb O. 1998. Experimental investigation of response stability and transition behavior of a nonlinear ocean structural system. Ocean Engineering 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 Engineering 34, 261-274. (DOI:10.1016/j.oceaneng.2006.01.010)

Umar A and Datta TK, 2003. Nonlinear response of a moored buoy, Ocean Engineering 30, 1625-1646. (DOI:10.1016/s0029-8018(02)00144-0)

White FM. 2003. Fluid mechanics 5th Edition. McGraw-Hill, Korea, 518－532.

Wu WB, Wang JS, Jiang SQ, Xu LB and Sheng LX. 2016. Flow and flow control modeling for a drilling riser system with auxiliary lines. Ocean Engineering 123, 204-222. (DOI: 10.1016/j.oceaneng.2016.06.043)

Williamson CHK and Govardhan R. 1997. Dynamics and forcing of a tethered sphere in a fluid flow. Journal of Fluids and Structures 11, 293-305. (DOI:10.1006/jfls.1996.0078)

Huang S and Herfjord K. 2013. Experimental investigation of the forces and motion responses of two interfering VIV circular cylinders at various tandem and staggered positions. Applied Ocean Research 43, 264-273. (DOI:10.1016/j.apor.2013.10.003).

2016. 10. 31 Received
2016. 11. 29 Revised
2016. 11. 29 Accepted