

## 뜸줄 길이가 패류껍질어구의 유실에 미치는 영향

이건호 · 조삼광 · 차봉진<sup>1\*</sup> · 정성재<sup>1</sup>

국립수산과학원 서해수산연구소 자원환경과, <sup>1</sup>국립수산과학원 수산공학과

### Effect of length of buoy line on loss of webfoot octopus pot

Gun-Ho LEE, Sam-Kwang CHO, Bong-Jin CHA<sup>1\*</sup> and Seong-Jae JUNG<sup>1</sup>

*Fisheries Resources and Environment Division, West Sea Fisheries Research Institute, National Institute of Fisheries Science, Incheon 22383, Korea*

<sup>1</sup>*Fisheries Engineering Division, National Institute of Fisheries Science, Busan 46083, Korea*

This study aims to investigate effects of the length of the buoy and sand bag line on the loss of webfoot octopus pot. A numerical modeling and simulation was carried out to analyze the process that the pot gear affected by wave using the mass spring model. Through the simulation, tensions of sand bag line under various condition were investigated by length of buoy and sand bag line. The drag force and coefficient  $k$  of an artificial shell used in the webfoot octopus pot was obtained from an experiment in a circular water channel, and the coefficient  $k$  was applied to the simulation. To verify the accuracy of the simulation model, a simple test was conducted into measuring a rope tension of a hanging shell under flow. Then, the test result was compared with the simulation. The lengths of the buoy line in the simulation were 1.12, 1.41, 1.80, 2.23, 2.69, and 3.17 times of water depth. The lengths of sand bag line were 10, 20, 30, and 40 meters, and conditions of water depth were 8, 15, 22 meters. 4 meter height and 8 second period of wave were applied to all simulations. As a results, the tension of the sand bag line was decreased as the buoy and sand bag line were increased. The minimum tension of the sand bag line was appeared in conditions that the length of the buoy line is twice of water depth and the sand bag line length is over 40 meters (except in case of depth 8 meters.).

Keywords : Fishing gear loss, Buoy line length, Simulation, Sand bag line, Tension

#### 서론

우리나라에서 강풍에 의한 어구 유실은 상당수가 서해안에서 발생하며 그 손실액도 연간 27억 원이 넘는다 (Lee et al., 2015). 이러한 문제가 지속적으로 발생되고 있으나 이에 대한 대안이나 연구는 부족한 실정이다. 관련 연구를

찾아보면 어구가 조류나 파랑의 영향을 받을 때의 거동에 관한 연구 (Xu et al., 2011; Lee et al., 2008; Fredriksson et al., 2004; Decew et al., 2010; Zhao et al., 2013)나 서해의 해양환경을 분석하여 지역별 파랑의 영향을 밝힌 Kim et al. (2004)과 Ko et al. (2005)의 연구들을 찾아 볼 수 있

\*Corresponding author: holdu@korea.kr, Tel: +82-51-720-2581, Fax: +82-51-720-2586

지만 어구 유실 문제를 주제로 해서 수행된 연구는 찾아보기 힘들다. 2015년에 수행된 Lee et al. (2015)의 연구에 의하면 우리나라 서해안에 위치한 지역 중에서도 충청남도 지역이 강풍에 의한 어구 유실이 가장 많은 것으로 나타났다. 충청남도 지역의 어촌계를 직접 방문하여 수행한 현장 조사 결과에 따르면, 강풍에 의해 유실되는 어구는 자망, 패류껍질어구, 통발, 안강망 등이 대부분인 것으로 나타났으며, 그 중에서도 패류껍질어구의 유실이 상당 부분을 차지하는 것으로 나타났다. 연안복합어업에 속하는 패류껍질어업(일명 주꾸미 소호)은 피뿔고등과 같은 패류껍질을 횡으로 전개되는 모릿줄에 연속적으로 매달아 물속에 침지시켜서 일정 시간 경과 후 패류 껍질 속에 들어간 주꾸미를 포획하는 어업이다. 서해에서 패류껍질어구는 다른 연안 어업들에 비해 비교적 얇은 수심인 15 m 전후의 연안에 설치되어 파랑의 영향에 쉽게 노출될 뿐만 아니라, 어구 고정을 위한 수단으로 닻에 비해 상대적으로 파주력이 약한 명을 사용하므로 어장 환경이나 어구 구성이 어구 유실에 매우 취약한 것을 알 수 있다. 이러한 패류껍질어구의 유실을 줄이기 위해서는 근본적으로 어구의 고정력을 개선하는 것도 필요하지만 강풍에 의해 강한 파랑이 발생할 때 어구가 받는 힘을 줄이는 것도 필요하다. 파랑에 의한 유체력이 가장 크게 발생하는 곳은 수면 근처인데, 패류껍질어구에서 이와 관련된 부분은 뜰과 뜰줄이다. 뜰의 부력이나 형상이 어구 유실에 미치는 영향은 일부 연구된 바 있으나 뜰줄 길이 차이가 어구 유실에 미치는 영향은 연구된 바가 많지 않다 (Lee et al, 2015). 따라서 본 연구에서는 뜰줄 길이가 패류껍질어구의 유실에 미치는 영향을 파악하고자 패류껍질어구가 파랑의 영향을 받는 과정을 수치모델링하고 뜰줄 길이에 따라 명줄 장력이 어떻게 달라지는지를 조사하였다. 더불어 명줄의 길이에 따른 명줄 장력 변화도 조사하였다.

## 재료 및 방법

### 모델링

모델링 대상 어구는 주꾸미를 어획하는 패류껍질어구였으며, 패류껍질의 수량은 800개, 패류껍질의 간격은 1

m이었다. 어구 양쪽에는 Fig. 1과 같이 뜰줄과 명줄 1쌍이 각각 연결되며 뜰줄 끝에 달린 뜰의 부력은 10 kg이었다. 명줄의 장력을 확인하기 위해서 명줄의 끝부분인 명은 초기위치에 고정되도록 하였다.

파랑의 영향을 받는 패류껍질어구의 거동과 어구에 작용하는 힘을 해석하기 위해 Lee et al. (2008)의 연구에서 기술한 질량 스프링 모델링 기법을 적용하였다. 식 (1)은 질량 스프링 모델을 구성하는 각 질점에 작용하는 힘을 기술하는 운동방정식을 나타낸다.

$$(m + m_a)\ddot{\mathbf{q}} = \mathbf{F}_i + \mathbf{F}_e \quad (1)$$

여기서  $m$ 은 질점의 질량,  $m_a$ 는 부가질량,  $\ddot{\mathbf{q}}$ 는 질점의 가속도,  $\mathbf{F}_i$ 는 질점에 작용하는 내력,  $\mathbf{F}_e$ 는 외력이다.

Fig. 2는 질량 스프링 모델로 구성한 패류껍질어구를 나타낸다. 어구 모델에 파랑을 적용하기 위해 Lee et al. (2015)의 연구에서 기술한 방법을 이용하였다. 식 (2)와 (3)은 각각 질점에 작용하는 파랑 물입자의 연직방향 및 수평 방향의 속도 벡터를 기술하는 방정식이다.

$$u = \frac{\pi H}{T} \frac{\cosh[k(d+y)]}{\sinh(kd)} \cos(kx - \sigma t) \quad (2)$$

$$v = \frac{\pi H}{T} \frac{\sinh[k(d+y)]}{\sinh(kd)} \sin(kx - \sigma t) \quad (3)$$

여기서  $u$ 는 물입자 속도 벡터의 수평 성분이고,  $v$ 는 수직 성분이다. 그리고  $H$ 는 파고,  $T$ 는 주기,  $k$ 는 파수,  $\sigma$ 는 파의 각빈도,  $d$ 는 수심,  $x$ 와  $y$ 는 물입자의 수평 및 연직 방향상의 위치,  $t$ 는 시간이다 (Jeon et al., 2012).

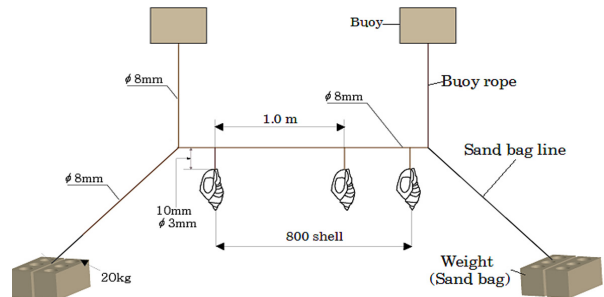


Fig. 1. Schematic diagram of webfoot octopus pot for modeling.

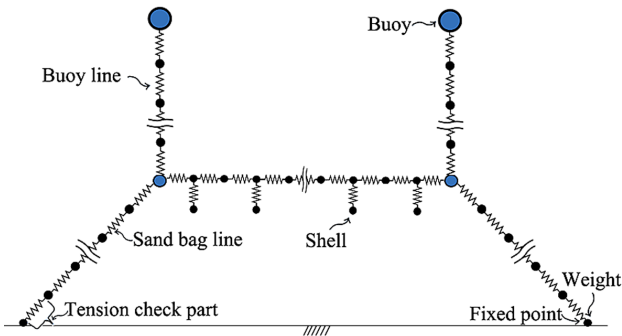


Fig. 2. Webfoot octopus pot modeled with mass-spring.

수중에서의 패류껍질어구 저항을 구하기 위해 국립수산물학원 수직순환형 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 6분력계 (Denshikogyo Co., DL 61025)를 이용하여 저항을 측정하였다. 실험에 사용한 패류껍질어구는 생분해성 어구 성능 시험을 위해 이전에 제작한 생분해성 인조 고동이었다. 실험 대상 고동의 규격과 실험 세트의 구성은 Fig. 3과 같다. 고동의 저항은 Fig. 4에 나타낸 바와 같이 0도에서 90도까지 15도 간격으로 측정하였다.

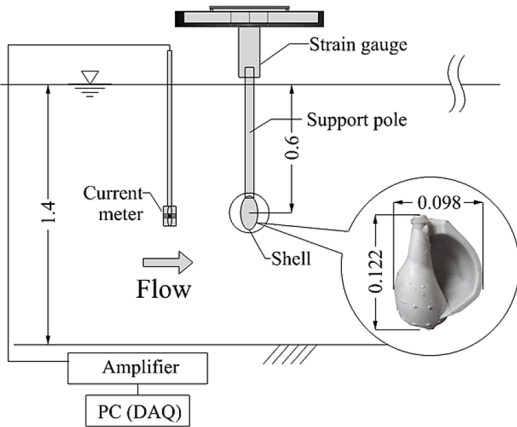


Fig. 3. Schematic of shell and apparatus for drag measurement of shell (unit : m).

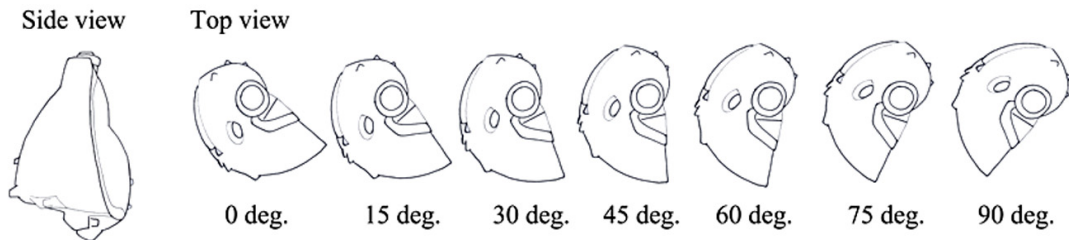


Fig. 4. Attack angle of shell for measuring drag force.

저항 측정 실험 시 유속 범위는 0.4 m/s에서 1.0 m/s, 측정 간격은 0.1 m/s이었다. 이와 같은 방법으로 각 유속 및 영각에 대해 측정된 저항값을 식 (4)에 대입하면 고동의 저항계수를 구할 수 있다 (Morison et al., 1950). 그러나 본 연구에서는 저항계수를 식 (5) 및 식 (6)과 같이 투영면적을 포함하는 값으로 재구성하였다. 이것은 투영면적의 경우, 그 값이 일정하여 상수 취급이 가능하므로 저항계수에 포함시켜도 무방할 뿐만 아니라 고동의 복잡한 구조 때문에 이론적으로 계산한 투영면적이 정확하지 않기 때문이다. 이와 같이 구한 저항계수를  $k$ 로 나타내었으며, 이 값을 시뮬레이션에 대입하였다. 시뮬레이션의 정확성을 검증하기 위해 Fig. 5와 같이 고동을 와이어로프 ( $\varnothing$  0.6 mm, Nylon coated stainless steel wire, 0.75 m)에 연결하여 흐름 중에 놓이게 한 뒤 이 로프에 작용하는 장력을 유속 0.4~1.0 m/s까지 0.1 m/s 간격으로 측정함으로써 각 유속에서의 장력 값을 구하고 이 결과를 시뮬레이션과 비교하였다.

$$C_d = \frac{2F}{\rho S U^2} \quad (4)$$

$$k = C_d S \quad (5)$$

$$k = \frac{2F}{\rho U^2} \quad (6)$$

#### 시뮬레이션

모든 시뮬레이션에서 조사한 값은 멍줄 (최대)장력 벡터의 수평 성분의 크기 (이하 멍줄 장력 또는 S-line tension : sand bag line tension)였다. 이 값은 멍의 파주력과 평형을 이루는 값이다. 즉 방향은 반대이고 크기가 같은 값이다. 이 값이 증가하면 멍의 파주력도 함께 증가하는데, 이 값이 멍의 최대 파주력을 초과하면 멍이 끌리기

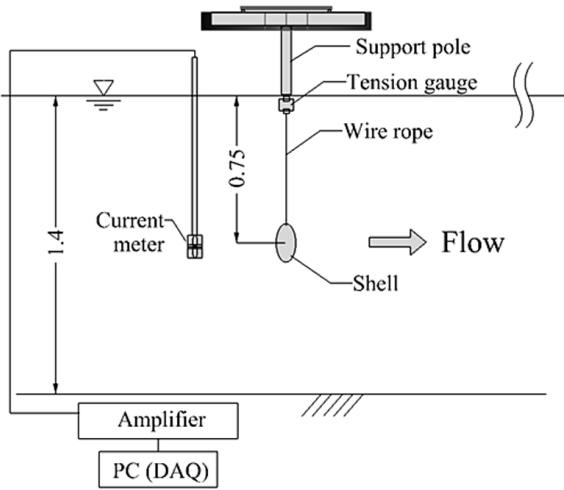


Fig. 5. Experimental setup to verify accuracy of shell model.

시작하고 어구가 초기 설치 위치를 벗어나 이동하기 시작한다. 이 과정이 지속적으로 장시간 발생하면 어구가 유실되는 것이다. 모든 시뮬레이션에서 명줄의 장력은 명을 나타내는 질점과 이 명에 직접 연결된 질점 사이에서 발생하는 장력으로 기술하였다.

네 가지 경우에 대한 시뮬레이션을 수행하였다. 첫 번째 시뮬레이션은 수심이 일정한 어장에서 뜬줄 길이가 달라졌을 때 명줄에 걸리는 장력의 차이를 알아보는 것이다. 어장 수심 15 m, 뜬줄 길이는 16.8, 21.2, 27.0, 33.5, 40.4, 47.5 m로 정하였다. 이 뜬줄 길이는 뜬줄이 Fig. 6과 같이 놓였을 때 수심  $d$ 에 대한 가로길이  $w$ 의 비율이 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0인 값이다. 이렇게 정한 것은 뜬줄에 작용하는 장력이 동일할 때 뜬줄과 명줄이 연결되는 매듭 지점에 작용하는 힘이 명의 이동에 영향을 미칠 뿐만 아니라 이 힘이  $w/d$ 와 비례관계에 놓이기 때문이다 (Fridman, 1986). 뜬줄의 길이 변화와는 별도로 명줄의 길이도 명의 고정력과 관련이 있을 것으로 추정하고 명의 길이 차이에 따른 장력의 변화를 함께 조사하였다. 현장 조사결과를 바탕으로 명줄의 길이는 10, 20, 30, 40 m로 정하였다. 뜬줄과 명줄의 길이에 따른 시뮬레이션에 적용한 파랑은 파고 4 m에 주기 7, 8, 9초인 규칙 파였다.

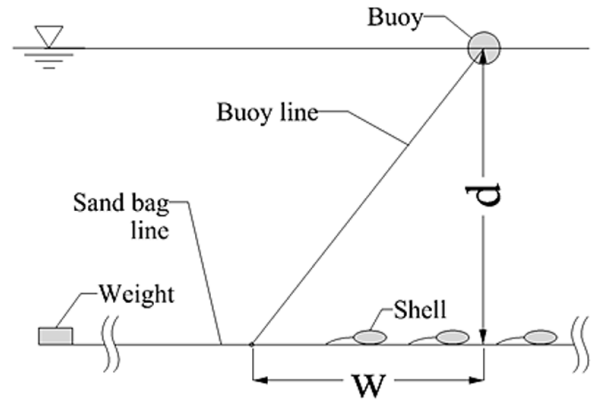


Fig. 6. Figure explaining the concept of  $w/d$ .

두 번째 시뮬레이션은 조수간만의 차이에 의해 수심이 달라졌을 때 뜬줄 길이에 따른 명줄 장력의 차이를 확인하기 위해 수행하였다. 서해안은 다른 해역과 달리 조차가 커 수심 변화가 매우 큰 편이다. 그런데 실제 현장에서는 어장에 따라 뜬줄이나 명줄의 길이를 정하기 때문에 어장이 결정되면 이들의 규격은 어장의 만조 시 수심을 기준으로 정해진다. 그러므로 만조에서 간조로 수심이 낮아졌을 때의 현상에 대한 해석도 필요하다. 이를 위해 만조 시 수심을 15 m, 간조 시 수심을 8 m로 가정하고, 뜬줄 길이를 만조 수심 15 m 기준인 16.8, 21.2, 27.0, 33.5, 40.4, 47.5 m (수심  $d$ 가 15 m 일 때  $w/d$ 가 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0인 길이)로 둔 상태에서 수심만 간조 시 수심인 8 m로 변경하여 각 뜬줄 길이 조건에 대한 시뮬레이션을 실시한 후 첫 번째 시뮬레이션 결과와 비교하였다. 이때 파랑은 파고 4 m, 주기 8초인 규칙파를 적용하였다.

세 번째 시뮬레이션은  $w/d$ 와 명줄장력 사이의 상관관계가 수심이 달라져도 동일하게 성립하는지를 파악하기 위해 수행하였다. 이를 위해 수심은 8 m로 정하고, 뜬줄 길이를 수심이 8 m일 때  $w/d$ 가 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0인 길이 8.9, 11.3, 14.4, 17.9, 21.5, 25.3 m로 변경하여 시뮬레이션을 실시한 후 첫 번째 시뮬레이션 결과와 비교하였다. 이때 적용한 파랑 조건은 파고 4 m에 주기 8초의 규칙파였다.

네 번째 시뮬레이션은 두 번째 시뮬레이션과 같은 방

식으로 실시하되 간조와 만조 시 수심을 보다 깊게 했을 때 앞에서 나타난 결과들과 어떤 차이가 있는지를 알기 위해서 만조 시 수심을 22 m, 간조 시 수심을 15 m로 하여 시뮬레이션을 수행하였다. 이 때 적용한 파랑 조건 역시 파고 4 m에 주기 8초의 규칙파였다

### 결과 및 고찰

#### 모델링

영각에 따른 패류껍질의 저항 측정 결과는 Fig. 7과 같았다. 패류껍질의 저항은 0도일 때 가장 작았고 영각이 증가할수록 지수적으로 증가하였다. Fig. 8과 같이 전체 관측점에 대한 회귀 곡선을 구하고 이 곡선의 방정식을 유속에 따른 패류껍질의 저항 계산식으로 정하였다 (식 (7)). 이 때 관측값 중 0도와 90도의 측정 결과는 최소 및 최댓값에 해당하므로 계산의 오차를 최소화하기 위해 계산에서 제외하였다. 식 (7)에서 F는 패류껍질의 저항, v는 유속을 나타낸다.

$$F = 0.02233 e^{2.31112v} \quad (7)$$

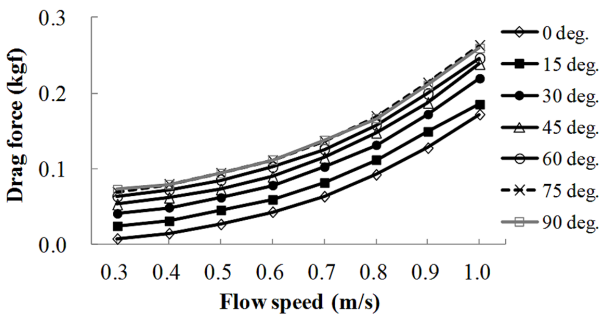


Fig. 7. Drag force of the shell by attack angle and flow speed.

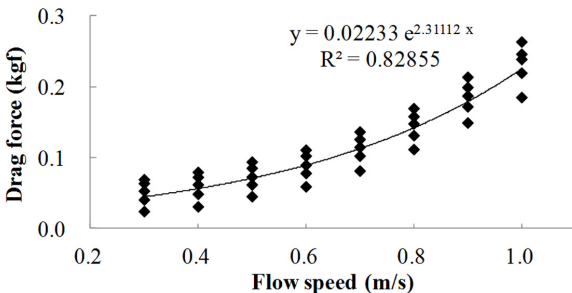


Fig. 8. Regression curve for measured drag data of shell.

구해진 식 (7)을 식 (6)에 대입하여 계수 k를 구하였다 (Fig. 9). 이렇게 얻은 계수 k를 패류껍질의 운동을 기술하는 방정식에 대입하여 패류껍질어구에 로프가 연결된 기본 모델에 대해 시뮬레이션을 실시하고 유속별 로프의 장력을 계산하였다. Fig. 10은 패류껍질어구가 매달린 로프의 장력을 유속별로 실험 실험과 시뮬레이션에 대해서 비교한 그래프이다. 느린 유속 조건에서는 실험결과가 시뮬레이션에 비해 조금 낮게 나타났으나 전반적으로 두 개의 결과는 잘 일치하였다. 패류껍질어구는 거의 전체가 줄과 패류껍질의 연결로 구성되어 있고, 각 패류껍질간의 간격과 패류껍질의 크기를 고려했을 때 하나의 패류껍질에서 생긴 반류가 이웃한 패류껍질에 미칠 영향이 매우 미미할 것으로 생각되어 이 결과를 복수개의 패류껍질이 달린 어구에 적용하여도 무리가 없을 것으로 판단하였다.

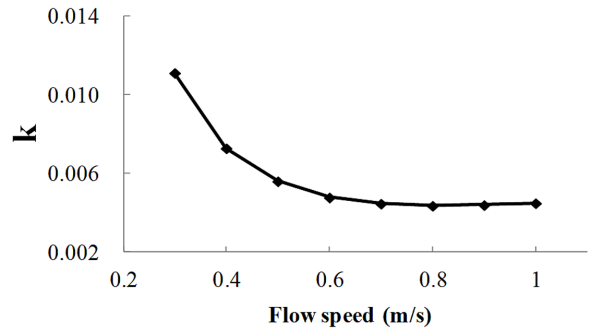


Fig. 9 Drag coefficient k by flow speed.

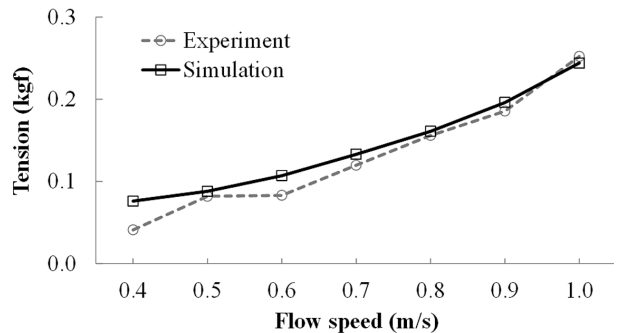


Fig. 10. Comparison of experiment and simulation for the test of a shell hanging tension.

시뮬레이션

패류껍질 모델에 대한 검증결과를 바탕으로 800개의 패류껍질이 연결된 어구 1조에 대한 시뮬레이션을 수행하였다. Fig. 11은 앞서 언급한 네 가지 시뮬레이션 중 첫 번째 시뮬레이션에 대한 결과를 나타낸 것으로서, 수심이 15 m인 조건에서 이 어구에 파고 4 m, 주기 7, 8, 9초의 규칙파를 각각 400초 동안 가했을 때 한쪽 명줄에 걸리는 장력의 최댓값을 뜰줄 및 명줄 길이별 그리고 파랑 주기별로 나타낸 것이다. 이 결과에서 패류껍질어구의 명줄에 작용하는 장력은 파랑 주기에 상관없이 뜰줄과 명줄의 길이가 증가할수록 감소하였다. 그러나 명줄보다는 뜰줄 길이에 따른 장력의 변화가 보다 극적으로

나타났다. 특히 뜰줄의 길이가 21.2 m에서 27.0 m로 변할 때 장력이 감소하는 정도가 매우 컸고, 그 이후 33.5 m까지 완만하게 감소하다가 그 이후로는 감소의 정도가 미미하였다. 이러한 현상은 거의 모든 파랑 주기에서 비슷하게 나타났다.

이처럼 뜰줄의 길이가 길수록 명줄이 받는 하중이 줄어든다는 것을 알 수 있으나, 뜰줄의 길이를 무작정 길게 하는 것은 어구 비용을 증가시킬 뿐만 아니라 조업의 편리성을 떨어뜨리고 안전에도 지장을 줄 우려가 있기 때문에 여러 가지 상황을 고려한 최소 길이를 도출하는 것이 필요하다. 이러한 관점에서 뜰줄의 길이를 명줄의 하중이 가장 극적으로 감소하는 27.0 m와 33.5 m의 사이 값인 30 m로 정하는 것이 적절할 것으로 판단된다 (Fig. 11). 이 값을 수심 15 m에 대한 비율로 환산하면 수심의 두 배에 해당하는 값이다. 현장에서는 통상 수심의 1.5 배를 뜰줄의 수심으로 정하고 있으나 시뮬레이션 결과를 반영한다면 수심의 약 2배 또는 w/d 약 1.75가 적당한 뜰줄의 길이로 판단된다.

첫 번째 시뮬레이션에서 제시한 적정 뜰줄 길이에 대한 판단은 수심이 15 m로 고정된 조건에 대해서만 성립된다. 수심 15 m가 만조 시 수심이고 조수간만의 차이가 7 m라고 가정하면 이 어구는 6시간 후에 수심 8 m의 간조 조건에 놓이게 된다. Fig. 12는 두 번째 시뮬레이션에 대한 결과를 나타낸 것으로서, 파고 4 m, 주기 8초의 규칙파 조건에서 만조 시인 수심 15 m와 간조 시인 수심 8 m에서의 뜰줄 및 명줄 길이에 따른 명줄 장력을 함께 나타낸 것이다. 모든 조건에서 명줄의 장력은 만조 시 장력보다 간조 시에 2배 이상 상승하였다. 그리고 만조 시에 나타났던 장력의 극적인 감소효과가 사라졌을 뿐만 아니라 뜰줄 길이에 상관없이 명줄 장력은 거의 동일한 것으로 나타났다. 뜰줄 길이에 따른 장력 감소 효과가 현저히 감소한 이유는 수심이 얇은 간조 시에도 만조 시 수심을 기준으로 뜰줄 길이가 맞춰져 있기 때문이다. 앞서 제시된 연구결과에 따르면 뜰줄의 길이가 수심의 약

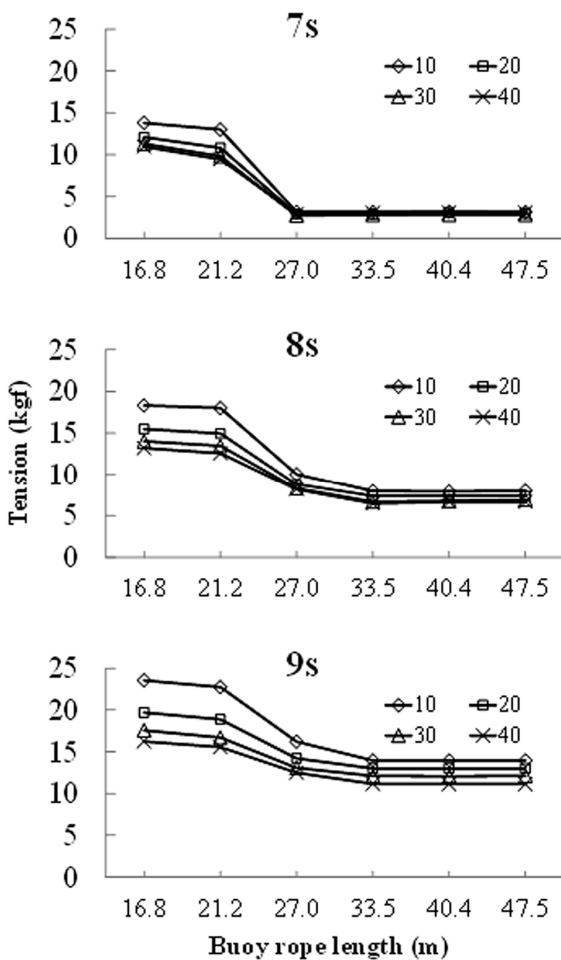


Fig. 11. S-line\* tension in depth 15 m by length of buoy and S-line, and wave period (\*: Sand bag line).

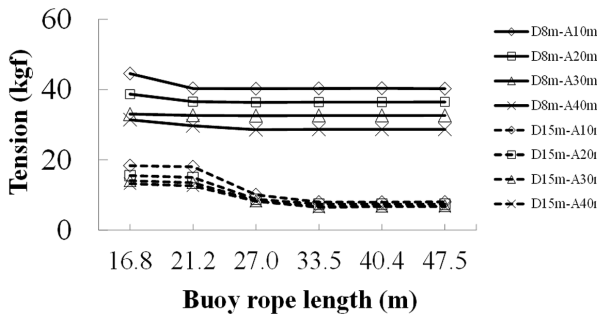


Fig. 12. S-line tension by buoy line length in high (depth 15 m) and low (depth 8 m) tide.

두 배일 때 뜸줄 장력 감소가 효과가 가장 크게 나타난다고 하였는데, Fig. 12의 결과에서는 뜸줄 길이가 가장 짧은 조건인 16.8 m의 뜸줄 길이에서도 이미 간조 시 수심인 8 m의 두 배를 초과한 조건이기 때문에 그 이후의 뜸줄 길이에서는 뜸줄 장력 감소의 효과가 현저히 사라졌다고 추정할 수 있다.

이에 반해 뜸줄의 길이에 따른 장력 차이는 상대적으로 크게 나타났다. 뜸줄 길이가 길수록 뜸줄 장력이 거의 선형에 가깝게 감소하였는데, 뜸줄 길이가 10 m일 때보다 40 m일 때 약 1/4 정도의 장력이 감소하였다. 따라서 이상과 같은 파랑과 만조 시 수심이 15 m이고 간조 시 수심이 8 m가 되는 조건에서는 뜸줄 길이 차이에 따른 뜸줄 장력의 감소 효과가 미미하다는 것을 알 수 있으며, 반면 뜸줄의 길이가 길어질수록 장력이 선형적으로 감소하는 효과가 있다는 것을 알 수 있다. 그러나 40 m 이상으로 길어졌을 때의 효과는 추가적인 시뮬레이션을 통해 확인해야 할 것이다.

Fig. 13은 세 번째 시뮬레이션의 결과로서, 수심 8 m와 15 m일 때 w/d 비에 따른 뜸줄 장력의 변화를 비교한 것이다. 결과를 살펴보면, 수심 8 m에서도 w/d 비율을 수심 15 m 조건과 같이 주면 뜸줄 길이가 증가할 때 뜸줄 장력이 감소하는 것을 알 수 있다. 그러므로 w/d의 값은 8 m 수심에서도 뜸줄 장력과 상관관계가 있음을 알 수 있다. 그러나 수심 15 m일 때와는 달리 특정 뜸줄 길이에서 값이 급격하게 변하는 경향은 나타나지 않았고

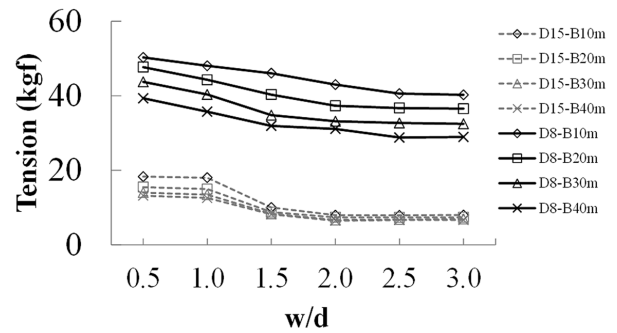


Fig. 13. S-line tension by w/d in depth of 8 m and 15 m.

뜸줄 길이 증가에 선형에 가까운 패턴으로 뜸줄 장력이 감소하였다. 또한 수심 15 m 조건에서는 w/d가 1.75인 지점에서 장력값이 수렴하는 경향을 보인 것과 달리 2.0에서 2.5 사이에서 수렴하였다. 따라서 첫 번째 시뮬레이션 결과를 통해 도출한 추정 즉, 뜸줄의 장력을 최소화할 수 있는 적정 뜸줄 길이가 수심의 두 배라는 추정은 수심 8 m인 조건에서는 성립하지 않는 것을 알 수 있다.

네 번째 시뮬레이션에서는 만조 수심 22 m와 간조 수심 15 m에서 각각 첫 번째 시뮬레이션의 결과인 Fig. 11과 유사한 패턴이 나타났다 (Fig. 14). 뜸줄 길이 증가에 따라 뜸줄 장력이 감소하였을 뿐만 아니라 특정한 값에서 장력 값이 급격하게 감소하는 현상도 함께 나타났다. 그러나 뜸줄 길이에 따른 장력 차이는 크지 않았다. 수심 15 m 조건에서는 뜸줄 길이 31.1 m에서 최저 장력을 기록했고, 수심 22 m 조건에서는 뜸줄 길이 39.7 m에서 최저장력을 기록하였다. 각 뜸줄 길이는 약간의 차이는 있지만 거의 수심의 2배 또는 w/d 가 1.75에 해당하는 길이이다. 따라서 만조 시 수심이 22 m이고, 간조 시 수심 15 m인 조건에서 뜸줄 길이를 수심의 두 배 이상으로 하면 뜸줄의 하중을 최소화할 수 있다는 것을 알 수 있다.

본 연구를 통해 얻은 뜸줄 길이의 적정 수심에 대한 결과들은 Kim et al. (2001)의 연구에서 제시한 해상 양식시설의 적정 계류줄 길이에 대한 연구 결과와 매우 유사하다. 이 연구에서는 수심 15 m 내외의 지역에 설치되고 파랑의 영향을 받는 해사가두리에 대해서 계류줄의



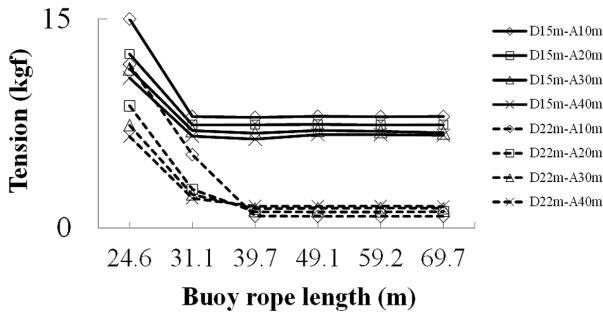


Fig. 14. S-line tension by length of buoy line in high (depth 22 m) and low (depth 15 m) tide.

하중을 최소화할 수 있는 적정 길이를 도출하였는데, 그 결과치가 수심의 2배 이상인 것으로 나타났다. 또한 본 연구의 결과에서도 나타난 바와 같이 Kim et al. (2001)의 연구에서도 계류줄의 장력이 계류줄의 길이와 반비례하는 것으로 나타났다.

지금까지의 결과들을 종합해 볼 때, 앞에서 제시한 적정 뜰줄 길이에 대한 추정은 어느 정도 타당성이 있다는 것으로 생각된다. 이처럼 w/d 증가에 따른 명줄 장력 감소 경향은 수심에 관계없이 적용되는 것으로 볼 수 있지만, 뜰줄 길이가 수심의 2배인 것이 명줄 장력이 최소가 되는 적정 길이라는 것은 현재까지의 연구결과로는 15 m 이상의 수심 범위에서만 적용되는 것으로 추정된다. 또한 조수간만의 차이가 7 m일 때 만조 시 수심이 15 m인 조건에서는 뜰줄 길이 조절에 따른 명줄 장력 감소의 효과가 미미하기 때문에 뜰줄보다는 명줄 길이를 길게 하는 것이 효과가 큰 것으로 판단된다. 이와는 달리 만조 시 수심이 22 m인 조건에서는 뜰줄 길이 조절에 따른 명줄 장력 감소의 효과가 큰 반면 명줄 길이 조절에 따른 효과는 미미한 것으로 보인다.

## 결론

뜰줄 길이가 패류껍질어구의 유실에 미치는 영향을 파악하고자 패류껍질어구가 파랑의 영향을 받는 과정을 수치모델링하고 뜰줄 및 명줄 길이에 따라 명줄 장력이 어떻게 달라지는지를 조사한 결과는 다음과 같다.

파고 4 m, 주기 8초인 규칙파를 받는 조건에서 패류껍질어구의 명줄에 작용하는 장력은 뜰줄과 명줄의 길이가 증가할수록 감소한다. 패류껍질어구 명줄의 장력은 w/d가 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0의 값으로 증가할 때 수심 8, 15, 22 m 조건 모두에서 감소한다. 그리고 뜰줄 길이가 수심의 약 두 배 또는 w/d가 약 1.75일 때 명줄 장력은 최소가 된다. 단 이러한 결과는 수심이 15 m와 22 m인 조건에서만 적용되고 수심이 8 m 일 때는 적용되지 않는다. 조수간만의 차이가 7 m일 때 만조 시 수심이 15 m인 조건에서는 뜰줄 길이 증가에 따른 명줄 장력 감소의 효과는 미미한 반면 명줄 길이 증가의 효과가 있다. 이와는 달리 만조 시 수심이 22 m인 조건에서는 뜰줄 길이 조절에 따른 명줄 장력 감소의 효과가 크고 명줄 길이 조절에 따른 효과는 미미하다. 이상과 같은 조건에서 명줄의 길이를 40 m 이상, 뜰줄의 길이를 수심의 2배 이상으로 할 때 명줄이 받는 하중을 최소화할 수 있고, 어구 유실 가능성도 낮출 수 있을 것으로 판단한다.

## 사사

이 논문은 2016년도 국립수산물과학원 수산과학연구소 (R2016041)의 지원으로 수행된 연구이며 연구비 지원에 감사드립니다.

## References

- DeCew J, Tsukrov I, Risso A, Swift MR and Celikkol B. 2010. Modeling of dynamic behavior of a single-point moored submersible fish cage under currents. *Aquacultural Engineering* 43(2), 38-45. (DOI:10.1016/j.aquaeng.2010.05.002)
- Fredriksson DW, DeCew J, Swift MR, Tsukrov I, Chambers MD and Celikkol B. 2004. The design and analysis of a four-cage grid mooring for open ocean aquaculture. *Aquacultural Engineering* 32(1), 77-94. (DOI:10.1016/j.aquaeng.2004.05.001)
- Fridman AL. 1986. Calculations for fishing gear designs. Fishing News Books Ltd, Farnham (UK) 66-67.
- Jeon IK, Nam IK, Park SC, Lee UL and Jeong IH. 2012. *Hydrography*. Donghwa. Gyeonggi, Korea 406-414.



- Kim JH, Kim HJ, Hong S. 2001. Experiment and analysis of mooring system for floating fish cage. *Journal of the Korean fisheries society* 34(6), 661-665.
- Kim TH, Oh HJ and Youn YH. 2004. Comparison on Local Wind Waves in Gyeonggi Bay. *Journal of the Korean Meteorological Society* 40(4), 485-495.
- Ko HJ, Pang CI and Kim TH. 2005. The relationships between wave and wind at five stations around the Korean Peninsula. *Jour Korean Earth Science Society* 26(3), 240-252.
- 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)
- Lee CW, Kim YB, Lee GH, Choe MY, Lee MW and Koo KY. 2008. Dynamic simulation of a fish cage system subjected to currents and waves. *Ocean Engineering* 35(14), 1521-1532. (DOI:10.1016/j.oceaneng.2008.06.009)
- Morison JR, O'Brien MP, Johnson JW and Schaaf SA. 1950. The forces exerted by surface waves of piles. *Petroleum Transactions AIME* 189, 149-154.
- Xu TJ, Dong GH, Zhao YP, Li YC and Gui FK. 2011. Numerical investigation of the hydrodynamic behaviors of multiple net cages in waves. *Aquacultural Engineering* 48, 6-18. (DOI:10.1016/j.aquaeng.2011.12.003)
- Zhao YP, Bi CW, Dong GH, Gui FK, Cui Y, Guan CT and Xu TJ. 2013. Numerical simulation of the flow around fishing plane nets using the porous media model. *Ocean Engineering* 62, 25-37. (DOI:10.1016/j.oceaneng.2013.01.009)
- 
2016. 10. 31 Received  
2016. 11. 29 Revised  
2016. 11. 29 Accepted