

해운대 해수욕장에 설치된 해파리 차단망의 수중 안정성 분석

박성욱* · 이동길 · 양용수 · 이형빈 · 이경훈¹ · 한민수² · 이태화²

국립수산과학원 시스템공학과, ¹전남대학교 해양기술학부, ²한국과학기술원 전기및전자공학과

Analysis on underwater stability of the jellyfish sting protection net installed in the Haeundae beach

Seongwook PARK*, Donggil LEE, Yongsu YANG, Hyungbeen LEE, Kyoungsoon LEE¹, Minsoo HAHN²
and Taewha LEE²

Fisheries System Engineering Division, National Fisheries Research Development Institute, Busan 619-750, Korea

¹Division of Marine Technology, Chonnam National University, Yeosu 550-749, Korea

²Department of Electrical Engineering, Korea Advanced Institute of Science and Technology, Daejeon 305-701, Korea

The worldwide abundance of various jellyfish appears to have increased in coastal ecosystems in recent years. The enormous jellyfish blooms cause a variety of problems for the local ecology, fisheries, and aquatic-sports in coastal locations. In this study, jellyfish sting protection net was installed to ensure the safety and reduction of the inflow into the Haeundae beach. In order to confirm the stability of the protection net, the tension for protection net was measured from variation of current speed. The periods for maximum tension were observed correspond to the periods of maximum current speed. The maximum tension for protection net was measured up to 4,100 kg. From field evaluations, the jellyfish sting protection net has demonstrated to stability from the current and tide in the Haeundae beach.

Keywords : Jellyfish, Jellyfish sting protection net, Tension calculation

서론

최근 전 세계적으로 해파리 (jellyfish)의 대량 발생이 빈번하게 일어나고 있다. 이로 인하여 수산 자원 측면에서 해파리의 대량 섭식으로 인한 어류 자원의 먹이 감소로 어획량에 영향을 주고, 경제적으로는 연안 어망의 손실 및 해수를 사용하는 임해 산업시설에 직접적인 피해를 유발하고 있다 (Kang et al. 2010). 우리나라의 경우에도 해파리의 대량 발생에 따른 직·간접적인 피해

액은 2013년 해양수산부 국정감사 자료에 의하면 연간 약 3,000억 원에 이른다고 추정하고 있을 정도로 그 피해가 막대한 편이다.

해파리는 수산업에 막대한 피해를 주고 있을 뿐만 아니라 해수욕장에 진입하여 여름철마다 해수욕객의 쓰임 사고를 발생시켜 사회적 문제를 야기 시키고 있다. 특히 2012년에는 서해 을왕리 해수욕장에서 해파리 쓰임으로 인하여 여아가 사망하는 사고도 발생하였다. 국내

*Corresponding author: swp4283@korea.kr, Tel: 82-51-720-2560, Fax: 82-51-720-2586

해수욕장에 유입되는 해파리는 주로 대형종인 보름달물 해파리 (Moon jellyfish, *Aurelia aurita*)와 노무라입깃해파리 (*Nemopilema nomurai*)이고, 불연속적으로 맹독성이면서 소형 개체인 커튼원양해파리 (*Dactylometra quinquecirrha*), 라스톤입방해파리 (*Carybdea rastoni*) 등이 있다. 해운대 해수욕장인 경우, 해파리에 의한 해수욕객의 쓰임 사고는 2007년 650건, 2009년 634건, 2012년 1,317건으로 해마다 증가하고 있는 실정이다 (Park et al., 2014).

해파리에 대한 연구로서 해파리의 분포 및 현존량을 추정하기 위한 해파리의 계측 기술 개발 (Hirose et al., 2005; Hirose et al., 2007; Lee et al., 2007; Hirose et al., 2009; Lee and Hwang, 2009; Yoon et al., 2010). 그리고 해파리로 인한 어업피해 방지를 위한 해파리 분리 배출 장치 (Matsushita and Honda, 2006; Kim et al., 2008; Park et al., 2010)도 개발 등의 연구가 다양하게 이루어지고 있다. 반면 해파리로 인한 어업피해를 저감시키기 위해 예망어구를 이용한 해파리 절단 연구 (Park et al., 2015)를 제외하고는 거의 없는 실정이다.

본 연구는 매년 1천만명 이상 해수욕객이 사용하는 해운대 해수욕장 내로 해파리의 유입을 저감시켜 안전을 확보하기 위한 하나의 수단으로써 해파리 차단망을 설치하였다. 해수욕장 내에 2단 구조로 설계 및 제작된 해파리 차단망에 대한 수중 안정성 및 원격 감시 시스템의 성능을 분석한 결과를 보고하고자 한다.

재료 및 방법

설치해역 해저 및 해양 특성 조사

해운대 해수욕장 내 해파리 차단망 (jellyfish sting protection net)이 설치될 해운대 해수욕장의 해저 지형 확인을 위해서 다방향 음향 측심기 (Multibeam 7101-ST, Denmark)를 이용하여 해저면 조사를 실시하였다 (Fig. 1). 해저면 조사시 조사 측량 라인은 총 20개이며, 라인 간격은 40 m였다. 수집된 음향 자료는 후처리 소프트웨어 (Fledermaus visualization 7.0, USA)를 이용하여 자료 처리 후 3차원으로 구현하여, 차단망 선정 위치를 설정하였다. 해운대 해수욕장 내 차단망 설치 및 운영시 영향을 주는 환경 요소인 유속 및 조석은 국립해양조사원 인터넷 제공 자료 (KHOA)를 활용하였다.

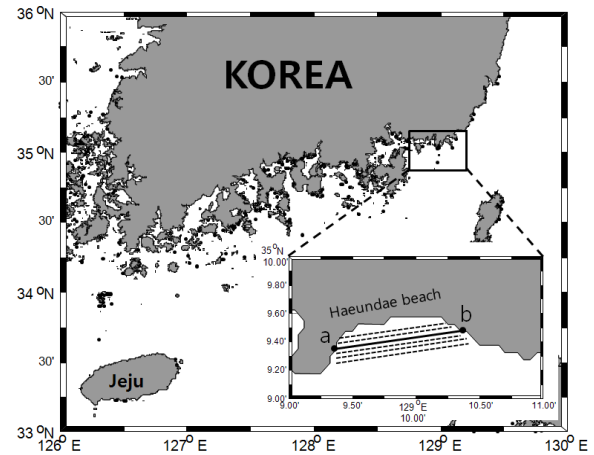


Fig. 1. Survey lines of bottom topography (dotted line) and installation area of jellyfish sting protection net (solid line).

a: pusan chosun hotel, b: mipo harbor.

해파리 차단망의 구조 및 규격

해수욕장에 해파리 유입 저감을 위한 해파리 차단망은 2014년 6월 28일부터 9월 10일까지 해운대 해수욕장에 설치 및 운영하였다. 해파리 차단망의 모양 및 규격은 Fig. 2와 Table 1에 도식화 및 기술하였다. 차단망의 길이는 해운대 조선히에서 미포항 입구까지의 거리 (1,400 m)를 고려하여 제작하였고, 해수욕객의 인명구조 활동을 위한 선박 통행로 2개를 조선히와 미포항의 외측 (100 m)에 설치하였다 (Fig. 2). 해운대 해수욕장의 만조시 수심은 수변부인 내측의 조선히와 미포항에서 100 m 외측까지는 2 m 내외였고, 중앙부는 최대 6 m 였다. 따라서 차단망의 높이는 파도에 의한 해파리 차단망 하부가 해저로부터 이탈을 고려하여 수변부와 중앙부를 각각 3 m와 7 m로 제작하였다. 또한 차단망 형태는 어류가 그물코에 낚히는 것을 방지하고, 소형 개체의 해파리 유입저감을 동시에 고려한 2단 구조로 설계하여 제작하였다. 차단망의 그물실 재질 및 굵기는 상부와 하부 모두 PE 230Td 120합사 (직경 2.1 mm)이고, 상부와 하부 그물의 망목 크기는 각각 75 mm와 150 mm로 정하였다. 이들 그물감의 부력 (F)은 식 (1)을 이용하여 계산하였다.

$$F = W \left(\frac{1}{C} - 1 \right) \quad (1)$$

여기서, W 는 공기중 무게 (kg), C 는 PE의 비중 0.95이다.

해파리 차단망 1쪽의 뜰줄과 발줄의 길이는 각각 200 m와 208 m였다. 이는 파도에 의해 그물감이 부자에 얽히는 순대말이 (tangling of net) 현상을 방지하기 위해 뜰줄보다 발줄의 길이를 8 m 더 길게 하였다. 차단망의 성형률은 뜰줄과 발줄측의 길이 방향을 모두 70%로 하였으며, 깊이 방향을 60%로 제작하여 파도에 의해 그물에 미치는 수직 방향의 충격을 10% 정도 저감하였다. 이는 그물감의 가로와 세로방향의 상형률을 각각 X, Y라 할 때 주름없이 그물감을 펼쳐지기 위해서는 $X^2+Y^2=1$ 이 성립되기 때문이다. 뜰은 부력이 3.54 kg인 고압 부이를 3 m마다 PP Ø 21.0 mm의 땅은 로프에 1개씩 부착하였으며, 30 m 마다 부력이 92 kg인 스티로폼 부이를 부착하였다. 발돌은 공기 중 중량이 350 g인 납을 25 cm 마다 PP Ø 24.0 mm의 로프에 부착하였으며, 납의 침강력 (G)은 식 (2)를 이용하여 계산하였다.

$$G = W(1 - \frac{1}{C}) \quad (2)$$

여기서, W는 공기 중 무게 (kg), C는 납의 비중 11.34이다.

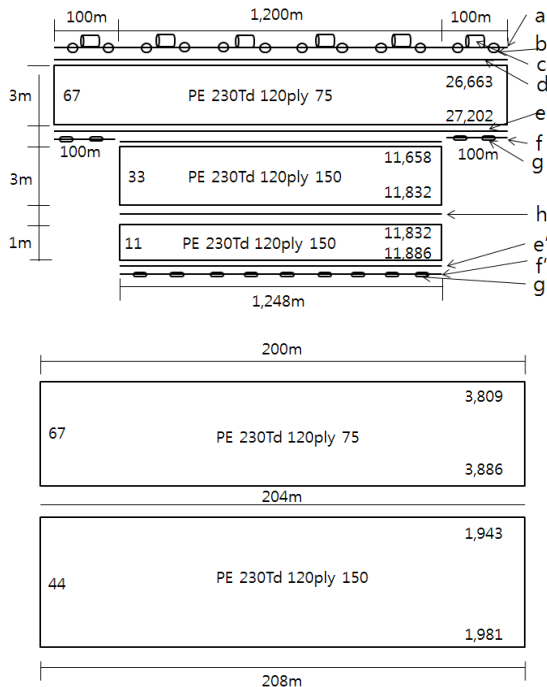


Fig. 2. Schematic design (upper) and cutting method per panel (lower) with jellyfish sting protection net.

PE 그물감의 비중이 0.95인 점을 감안하여 수중에서 그물코의 전개가 용이하도록 Ø 14.0 mm의 연심로프를 그물 폭 6 m 지점에서 길이 방향으로 연결시켰으며, 연심로프의 침강력 (G)은 식 (2)를 이용하여 계산하였으며, 비중은 1.38이다.

Table 1. Specification of the jellyfish sting protection net

Code	Item	Dimension	Size	
			Length (m)	Number (ea)
a	Frame of leader	PP BR Ø 21.0 mm	1,400	-
b	Float	Ø 200 mm	-	367
c	Buoy	Styrofoam 100 L	-	70
d	Poach line	PP Ø 6.0 mm	1,400	-
e, e'	Poach line	PP Ø 4.5 mm	2,572	-
f, f'	Sinker line	PP Ø 24.0 mm	1,448	-
g, g'	Sinker	51.5×45.2 mm (L×D)	-	5,600
h	Lead cored rope	PP Ø 14.0 mm	1,242	-

해파리 차단망은 모래 멍 (sand bag)을 사개줄과 연결하여 해저면에 고정시켰다(Fig. 3). 모래 멍은 포대 1개에 50 kg의 모래를 넣은 후, 포대의 수량을 조절하여 각각 500 kg와 1,000 kg로 제작하였다. 제작된 모래 멍은 해파리 차단망을 기준으로 해수욕장 내측과 외측에 30 m 간격으로 각각 500 kg와 1,000 kg를 투하하였으며, 멍줄의 길이는 수심을 고려하여 내측과 외측 각각 수심의 2배인 10 m와 3배인 15 m로 차단망과 멍을 연결하였다.

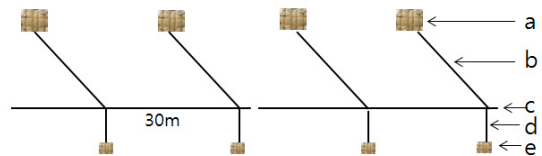


Fig. 3. Schematic mooring system of the jellyfish sting protection net. a: sand bag (1,000 kg), b: mooring rope (PP Ø 28.0 mm, length 15 m), c: frame of leader, d: mooring rope (PP Ø 28.0 mm, length 10 m), e: sand bag (500 kg).

멍줄의 수평 고정력 (Horizontal force, R)은 식 (3) - 식 (6)을 이용하여 계산하였다.

$$R = T \cos \theta \quad (3)$$

$$k = R / W = T \cos \theta / W \quad (4)$$

$$W = A \times \left(1 - \frac{1}{C}\right) \quad (5)$$

식 (4)와 식 (5)에서

$$R = W \times k = A \times \left(1 - \frac{1}{C}\right) \times k \quad (6)$$

여기서, A 는 모래 멍의 공기 중 중량, W 는 모래 멍의 수중 중량, C 는 비중 (7.79)이다. 그리고 k 는 수심을 기준으로 멍줄의 길이 비를 수치화 한 것으로 내측과 외측 수심의 2배와 3배인 각각 0.866와 0.939였다.

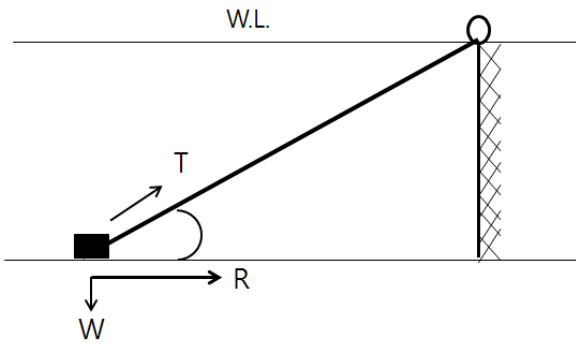


Fig. 4. Horizontal force of mooring rope. T: tension of mooring rope, W: underwater weight, R: horizontal force.

Fig. 5는 해운대 해수욕장에 설치된 해파리 차단망의 모식도와 실측 사진으로 해파리 차단망의 좌, 우측에는 인명 구조 활동을 위한 선박 통항로를 만들었다. 선박 통항로는 체인을 이용하여 해파리 차단망의 사개줄과 연결한 후, 체인을 중심에 두고 좌, 우로 총 중량 6,000 kg의 모래 멍을 투하하여 고정하였다. 해파리 차단망의 설치시 사개줄의 고정과 모래 멍의 투하 후 그물을 1폭씩 항을 치면서 연결시켰다. 또한 차단망 설치 30일 후 부력을 보강을 위해서 100 L의 스티로폼 부이를 30 m 간격으로 추가 설치하였다.

조류에 의해 해파리 차단망에 걸리는 장력 (R)은 식 (7) - 식 (9)을 이용하여 계산하였다. 차단망의 크기 (An)와 투영 면적 (At)은 각각 식 (7), 식 (8)로 나타낼 수 있다.

$$An = L \times H \quad (7)$$

투영면적 (solid area, At)은 식 (8)로 나타낼 수 있다.

$$At = 2 \times Ek \times \left(\frac{Dt}{ml}\right) \times \left(\frac{An}{E1 \times E2}\right) \quad (8)$$

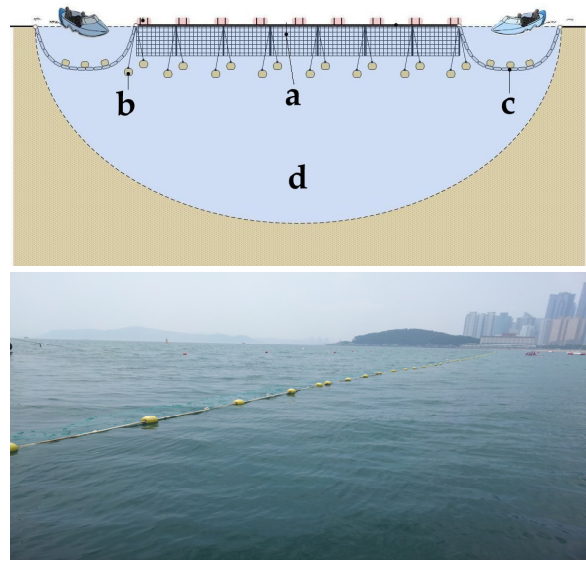


Fig. 5. Schematic drawing (left) and photograph (right) of the jellyfish sting protection net installed in the haeundae beach.

a: jellyfish sting protection net, b: sand bag, c: chain, d: beach inside.

여기서, L 은 그물의 길이 (m), H 는 그물의 높이 (m), Ek 는 single knot의 계수 값인 1.1 (Pridman, 1986), Dt 는 그물실의 굵기인 2.1 mm, ml 는 그물코의 길이로 상부와 하부 각각 75 mm와 150 mm, $E1$ 와 $E2$ 는 가로와 세로방향의 성형률로 각각 70%와 60% 이다.

해파리 차단망에 걸리는 장력 (R)은 식 (9)로 나타낼 수 있다.

$$R = \frac{1}{2} \rho V^2 \times C \times At \quad (9)$$

여기서, C 는 영각이 90° 일 때 저항계수 (1.4), ρ 는 해수밀도 ($105 \text{ kg} \cdot \text{sec}^2/\text{m}^4$), V 는 유속 (0.8 m/sec)이다.

해파리 차단망의 안정성 확인을 위해서는 차단망에 걸리는 장력을 측정하여야 한다. 따라서 차단망에 걸리는 장력을 측정을 위해 자체 제작한 해파리 차단망 원격감지 시스템을 설치하였다. 해파리 차단망에 걸리는 장력 측정부터 데이터의 수집까지 해파리 차단망 원격감지 시스템은 크게 측정부와 데이터 변환부 (A/D converter) 및 송수신부로 구성되었다 (Fig. 6). 장력계 (TS-AMP, Korea)는 최대 5,000 kg까지 측정 할 수 있으며, 측정된 값은 OP-AMP를 통해 증폭되고, 이 신호는 데이터 변환부 (Micom, ATMEGA328)를 통해 아날로그 신호를 약 1.95 배 (5,000 kg/2,560) 단위로 디

지털화 된다. 이 때, 디지털화된 신호는 10 초 단위로 10 회 측정하여 데이터를 축적한 후 10 분 단위로 최대 값을 송·수신 하도록 하였다.

장력을 측정을 위한 장력계는 해파리 차단망의 중앙 부에 해파리 차단망을 기점으로 해수욕장 내측과 외측 수심 약 3 m에 설치하였다 (Fig. 7). 장력계에 수집된 자료는 무지향성 안테나 (Radio buoy, 주파수 424 MHz, 통신거리 2 km, 데이터 전송속도 1,200 bps, 소비 전류 30~50 mA)를 수면 위 (1.5 m)에 설치하여 전송하였다. 시스템 운영을 위한 전원은 스테인리스 관 (stainless pipe, 직경 150 mm) 내부에 12 V/200 A의 배터리를 삽입하여 고정 후 이용하였다. 수신기는 장력계가 설치된 지점으로부터 약 700 m 떨어진 해운대 해수욕장 관리사무소에 설치하였다. 설치 기간은 2014년 7월 23일부터 7월 30일까지 7일간 운영하였다.

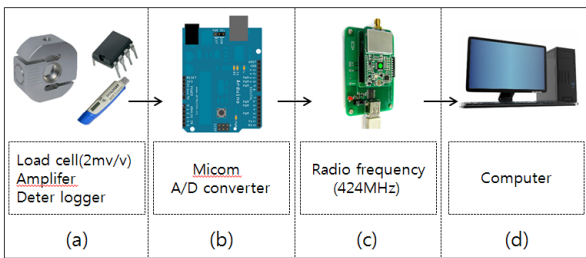


Fig. 6. Configuration of remote monitoring system for jellyfish sting protection net.
a: measuring of tension, b: data conversion, c: transmitted signal equipment, d: display.

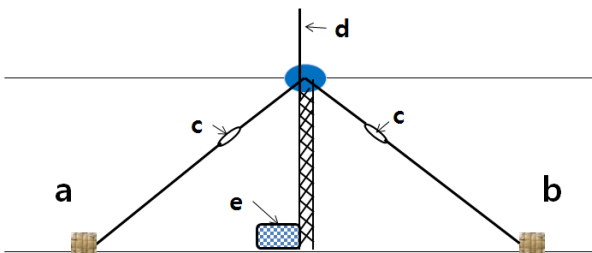


Fig. 7. Schematic set up for the tension meter.
a: outside of the beach, b: inside of the beach, c: load cell, d: nondirectional antenna, e: power supply unit.

결과 및 고찰

해운대 해수욕장의 해저지형

해파리 차단망 설치를 위해 2014년 6월 5일 만조시 해운대 해수욕장 주변에서 다방향 음향 측심기를 이용

하여 해저지형을 측정하였다 (Fig. 8). 차단망이 설치될 해운대 해수욕장의 수심 범위는 2-15 m로 해안에서 멀어질수록 수심이 증가하는 경향을 보였다. 해저 경사는 동백섬 전면 해역에서 외해로 갈수록 0.96°로 완만하게 깊어진 반면에 미포항 전면 해역은 3.15°로 상대적으로 급격한 수심 변화를 보였다. 또한 해수욕장 중앙부로 갈수록 암반으로 인한 복잡한 수심 분포를 보였다. 해파리 차단망이 설치될 지역의 수심은 조선히otel과 미포항 부근에서 2 m 내외였으나 중앙부로 갈수록 깊어져 최대 5 m까지 측정되었다. 조사해역의 저질은 미포항 부근의 암반을 제외하고 주로 사니질대로 나타났다.

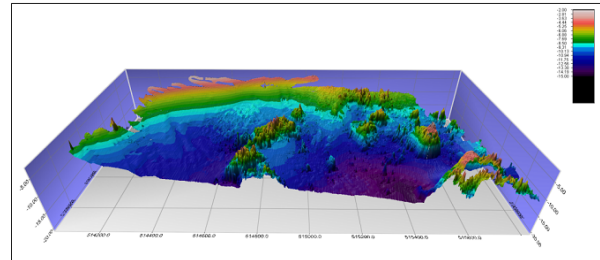
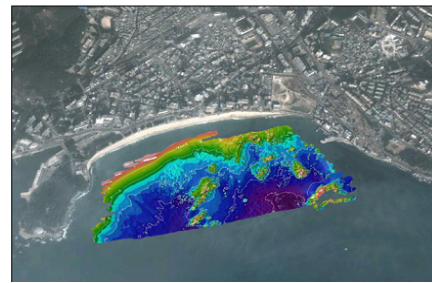


Fig. 8. Sea bottom image processing at the surrounding sea of haeundae beach.

해파리 차단망의 외력 추산

해파리 차단망의 사개줄에 부착된 고압 부자 (367개)와 스티로폼 부자 (70개)의 개당 부력은 각각 3.54 kg와 91.94 kg이며, 이들 부자의 총 부력은 약 7,826 kg였다. 해파리 차단망의 그물감으로 사용된 PE 230 Td 120합사 망목 75 mm 및 PE 230 Td 120합사 망목 150 mm으로 공기 중 무게는 각각 2,830 kg, 2,040 kg였다. 따라서 PE 그물감 자체의 비중 (0.95)을 고려한 그물감의 부력은 각각 149.0 kg와 107.4 kg으로 나타났다. 즉 그물감을 침강력보다 부력이 높아 수면에 뜨는 것으로 계산되었다. 이들 그물감을 수중에 가라앉히기 위해 그물의 깊이 6 m에 연심로프를 직선으로 연결하였으며,

또한 최 하부의 발줄에는 25 cm 마다 납 (350 g)을 부착하였다. 연심로프와 납의 침강력은 각각 48.7 kg와 1,803 kg으로 계산되어 총 침강력은 1,852 kg으로 그물감의 부력보다 7배 높았다. 따라서 연심로프는 그물감이 수면으로 뜨는 것을 완전히 억제할 수 없었지만 그물감을 수중으로 가라앉히는 완충역할을 하였고, 발줄에 연결된 납에 의해 해저바닥으로부터 이탈되지 않은 것으로 판단된다. 반면에 정조시 연심로프가 없을 경우, 수심 4-5 m 지점에서 여유분의 그물감 2-3 m는 수면에 뜨게되고, 순대말이 현상이 지속적으로 발생되어 부력이 감소하여 해파리 차단망으로서의 기능이 상실될 것으로 판단된다. 따라서 본 연구에서 그물감의 높이 6 m 위치에 연심로프를 길이 방향으로 부착한 결과, 순대말이 현상은 발생되지 않았을 뿐만 아니라 차단망을 철거한 후 확인 결과 그물코에 어류가 걸린 흔적은 발견되지 않았다.

해파리 차단망은 사개줄의 양 끝단을 암반에 고정시키고, 해수욕장 내측과 외측에 모래 멍을 각각 24,000 kg (48개)와 48,000 kg (48개)를 투하하였다. 해수욕장 내측과 외측 해파리 차단망의 수평 고정력은 각각 19,183 kg과 39,286 kg 이었다. 창조시 최대 유속 0.8 m/sec에 의한 상부와 하부의 해파리 차단망에 걸리는 수직저항은 각각 19,318 kg와 12,419 kg로, 총 저항은 사개줄의 고정력 39,286 kg의 80.8%인 31,736 kg으로 나타난 것으로 보아 조류에 의한 해파리 차단망이 해수욕장 내로 진입하는 것을 억제 할 수 있었다. 또한 낙조시 최대 유속 0.4 m/sec에 의한 상부와 하부의 해파리 차단망에 걸리는 수직저항은 각각 4,829 kg와 3,105 kg 이었다. 따라서 해파리 차단망에 걸리는 총 저항은 사개줄의 고정력 19,183 kg의 41.4%인 7,934 kg으로 계산되어 조류에 의한 해파리 차단망이 해수욕장 외측으로 밀려 나가는 것을 방지하는데 충분하였다고 사료된다.

해파리 차단망의 모니터링

2014년 7월 23일부터 7월 30일까지 해운대 해수욕장의 유속을 Fig. 9에 나타냈다. 유속의 변동은 7월 23일 (음 6월 27일, 4물)의 경우 05시와 12시에 0.08 m/sec으로 최소 유속, 09시와 17시에 각각 0.34 m/sec와 0.56 m/sec로 최대 유속이 나타났다 (Fig. 9). 이러한 경향은 7월 26일까지 유지되었고, 동일 18시에 0.72 m/sec로 조사기간 동안 최고의 유속을 보인 후 7월 28일부터 감

소하기 시작하였다.

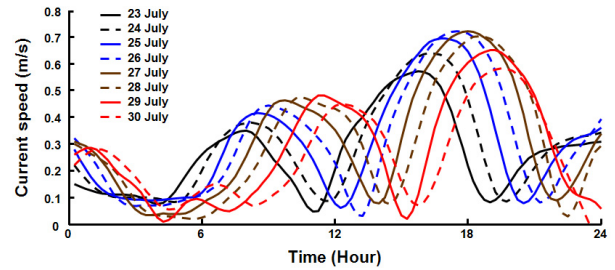


Fig. 9. The current speed of the hacundae beach from 23 July to 30 July 2014.

2014년 7월 23일 12시부터 7월 30일 23시까지 8일간 해파리 차단망의 중앙부에서 해파리 차단망의 외측과 내측에서 측정된 장력값을 Fig. 10과 Fig. 11에 나타냈다. 해수욕장 외측 장력은 약 6시간 간격으로 최고와 최저값이 나타났지만 (Fig. 10), 내측에 설치된 장력은 불규칙하게 측정되었다 (Fig. 11). 이는 해파리 차단망 외측의 장력은 유속의 변동에 따라 해파리 차단망 장력에 영향을 주었고, 내측의 경우 해수욕장으로 유입된 해수가 외측으로 불규칙하게 빠져나갔기 때문이라고 판단된다. 따라서 해파리 차단망 장력에 대한 모니터링을 실시하기 위해서는 차단망 외측에 장력계를 설치하여 모니터링 할 필요가 있다.

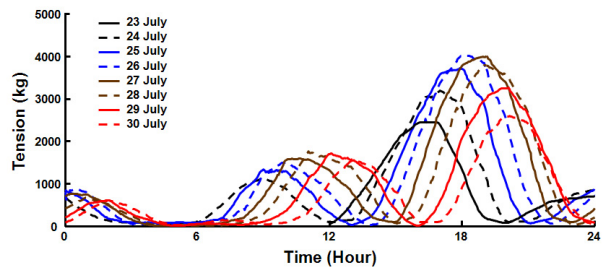


Fig. 10. The tension measured at the beach outside from 23 July to 30 July 2014.

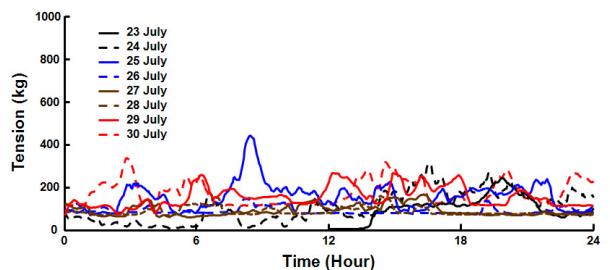


Fig. 11. The tension measured at the beach inside from 23 July to 30 July 2014.

해운대 해수욕장의 유속과 해파리 차단망의 최대 장력과 관계는 최고 유속을 나타내었던 시간과 해파리 차단망 모니터링 시스템에서 측정된 최대 장력을 나타내는 시간은 유사하였다 (Table 2). 조사기간 동안 해파리 차단망의 최대 장력은 유속 0.72 m/sec일 때 약 4,100 kg이 나타났다. 식 (10)를 이용한 장력이 미치는 그물의 범위를 추정 결과 면적은 96.2 m²로 나타났다. 이는 만조 수심이 6 m 일 경우, 길이 방향으로 16 m 지점까지 장력이 미치는 것으로 추정된다. 따라서 본 결과를 통한 정확한 실측 검토를 위해서는 일정한 간격으로 다수의 장력계를 설치하여 측정할 필요가 있는 것으로 사료된다.

$$R = \frac{1}{2} Cd\rho SV^2 \quad (10)$$

여기서, Cd 는 저항계수 (1.1), ρ 는 해수밀도 105 kg·sec²/m⁴, V 는 유속 0.72 m/sec이다.

Table 2. The relationship between current speed and maximum tension

Date (yyyy mm.dd)	Maximum current speed				Maximum tension measured			
	1st		2nd		1st		2nd	
	Hour	m/sec	Hour	m/sec	Hour	Mt (kg)	Hour	Mt (kg)
2014.								
07.23	-	-	16-17	0.56	-	-	16:12	2,400
07.24	09-10	0.38	17-18	0.64	09:03	1,150	16:57	3,200
07.25	09-10	0.41	18-19	0.69	09:06	1,400	17:33	3,690
07.26	10-11	0.44	18-19	0.72	10:12	1,452	18:21	4,100
07.27	10-11	0.45	19-20	0.72	10:24	1,576	19:21	3,901
07.28	11-12	0.47	19-20	0.70	10:57	1,875	19:36	3,683
07.29	12-13	0.47	20-21	0.65	12:00	1,719	20:00	3,288
07.30	13-14	0.45	20-21	0.58	13:06	1,665	21:09	2,361

결론

해운대 해수욕장에 진입하는 해파리를 저감시키기 위해 2014년 6월 28일부터 9월 10일까지 해파리 차단망을 설치하였고, 안정성 확인을 위해서 조류 및 조석의 변동에 의해 차단망에 가해지는 장력을 측정하였다. 장력 측정을 위해서 해파리 차단망 감시 시스템을 구축하여 해파리 차단망에 설치된 장력계로부터 700 m 떨어진 육상에서 측정된 장력값을 10분 단위로 수신하였다. 해파리 차단망은 2단 구조로 제작되었으며, 상부와

하부는 각각 PE 230 Td 120합사 망목 75 mm와 PE 230 Td 120합사 망목 150 mm으로 제작하였고, 차단망은 모래 명을 30 m 간격으로 투하하여 고정하였다. 차단망의 가로와 세로방향의 성형률은 각각 70%와 60%로 구성하여 파도에 의해서도 파망되는 경우가 발생하지 않도록 하였으며, 또한 순대말이 현상이 발생하지 않도록 발줄의 길이를 뜰줄보다 4% 더 길게 하고, 그물 폭 6 m 지점에서 길이 방향으로 연심로프를 부착하였다. 그 결과 순대말이 및 파망 현상이 발생되지 않았으며, 조류에 의해 차단망이 밀리는 현상도 발생되지 않았다. 조사기간 동안 해파리 차단망 외측의 최대 장력은 4,100 kg으로 측정되었다. 해파리 감시시스템에서 수신된 최대 장력 시간과 최고 유속 시간은 동일한 시간대로 나타났다. 본 연구는 해수욕장으로 유입되는 해파리를 저감시키기 위하여 해운대 해수욕장에 설치한 차단망에 대한 보고 결과로 해파리에 대한 해수욕객의 안전을 위한 기초 결과로 활용 될 것이다.

사사

본 연구는 국립수산물품질관리원 2015년 수산시험연구사업 (RP-2015-FE-004)과 2014년 산업통상자원부 재원으로 한국산업기술평가관리원의 지원을 받아 수행되었음 (유영해양생물 해파리 대량발생에 따른 대국민 피해 저감 방안 개발).

References

- Hirose M, Mukai T, Hwang DJ and Iida K. 2005. Target strength measurements on tethered live jellyfish. *Nippon Suisan Gakkaishi* 71(4), 571-577.
- Hirose M, Mukai T, Shimura T, Yamamoto J and Iida K. 2007. Measurements of specific density of and sound speed in Nomura's jellyfish to estimate their target strength using a theoretical scattering model. *J Mar Acoust Soc Jpn* 34(2), 109-118.
- Hirose M, Mukai T, Hwang DJ and Iida K. 2009. The acoustic characteristics of three jellyfish species: *Nemopilema nomurai*, *Cyanea mozakii*, and *Aurelia aurita*. *ICES J Mar Sci* 66(6), 1233-1237.
- Kang DH, Kim JH and Lim SH. 2010. Acoustic Target Strength Characteristics of Two Species of Multiple Jellyfishes, *Aurelia aurita* and *Cyanea nozakii*, in the Southern Coast of Korea. *Ocean Pol Res* 32(2), 113-122. (DOI: 10.4217/OPR.2010.32.2.113)

- Kang YS, Jo YJ, Go WJ, Kim SS, Jeon KA and Oh HJ. 2000. Swarm of salps (*Tunicata: Thaliaca*) and its impact on marine ecosystem in the south sea of Korea. *The Sea* 5(1), 47-58. KHOA. <http://sms.khoa.go.kr/koofs/kor/tide>.
- Kim IO, An HC, Shin JK and Cha BJ. 2008. The development of basic structure of jellyfish separator system for a trawl net. *J Kor Soc Fish Tech* 44(2), 99-111. (DOI: 10.3796/KSFT.20008.44.2.099)
- Lee KH, Kim IO, Yoon WD, Shin JK and An HC. 2007. A study on vertical distribution observation of giant jellyfish using acoustical and optical methods. *J Kor Soc Fish Tech* 43(4), 355-361.
- Lee YW and Hwang BK. 2009. Theoretical examination of the effects of fluctuation of acoustic scattering on the swimming behavior of giant jellyfish. *J Kor Fish Soc* 42(2), 165-170.
- Matsushita Y and Honda N. 2006. Method of designing and manufacturing JET (Jellyfish Excluder for Towed Fishing gear) for various towed fishing gears. *Bull Fish Re Agen* 16, 19-27.
- NFRDI. 2008. Scientific report on the mass occurrence of jellyfish and prevention and utilization 1-222.
- Park CD, Kim IO, Lee KH, Lee GH and Park SW. 2010. The performance of a wedge type jellyfish excluder device inserted in a trawl net. *J Kor Soc Fish Tech* 46 (4), 302-312. (DOI: 10.3796/KSFT.2010.46.4.302)
- Park SW, Lee GH, Yoon WD, Lee DG, Kim SH, Yang YS and Lee GH. 2015. A study on the damage reduction strategy against toxic jellyfish's bloom. *Jour Fish Mar Sci* 26(1), in press.
- Pridman AL.1986. Calculations for fishing gear designs. pp 25. (ISBN 0-85238-141-7)
- Yoon EA, Hwang DJ, Hirose M, Kim EH, Mukai T and Park BS. 2010. Characteristics of acoustic scattering according to pulsation of the large jellyfish. *Kor J Fish Aqua Sci* 43(5), 551-556.
-
2015. 2. 3 Received
2015. 2.18 Revised
2015. 2.25 Accepted