

트롤어구용 해파리 분리배출장치 기본 구조 개발

김인옥* · 안희춘 · 신종근 · 차봉진
국립수산과학원 수산공학과

The development of basic structure of jellyfish separator system for a trawl net

In-Ok KIM*, Heui-Chun AN, Jong-Keun SHIN and Bong-Jin CHA

Fisheries Engineering Division, National Fisheries Research & Development Institute, Busan, 619-902, Korea

The purpose of this study is to develop the jellyfish separator system(JSS) for reducing fishery damage by the increase of jellyfish in the sea area of Korea in summer. First of all, to find the optimum structure of a JSS, six types of JSS in trawl fishery were designed and manufactured, the underwater shape of JSS and the separating process by JSS were observed in the circulating water channel(CWC). And the field experiments were carried out in July and September 2004 in the southern sea of Korea. For the moving path of the jellyfish model in the CWC, in case that the model was larger than the mesh size of the separator net, it was guided toward the lower part of the separator net by the guiding net and discharged through the outlet. In case that the model was smaller than the mesh size of the separator net, some models which passed through the upper part of the guiding net were smaller than the mesh size of the guiding net and discharged through the outlet and most of the model which passed through the lower part of the guiding net moved to the cod-end passing through the separator net. According to the field experiment result, the optimum tilt angle of separator net was inferred 20° that the discharge rate of jellyfish was higher than the other tilt angle of separator net and the optimum structure of JSS was inferred GS type(consists of guiding net and separator net) that the discharge rate of jellyfish was higher than S type(consists of separator net). It was demanded to carry out more study for the countermeasure to reduce loss of fish.

Key words : Trawl, Jellyfish, Separator system, Guiding net, Separator net

서 론
해파리는 전 세계 바다에 널리 분포하며, 우리나라에서는 거의 모든 어업에 피해를 입히고 있는 실정이다. 그 중 우리나라 주변 해역에서 어

*Corresponding author: iokim@nfrdi.re.kr, Tel: 82-51-720-2571, Fax: 82-51-720-2586

업에 피해를 주고 있는 대표적인 해파리 종류는 보름달물해파리(*Aurelia aurita*), 노무라입깃해파리(*Nemopilema nomurai*)와 유령해파리(*Cyanea nozakii*)이며, 소형종인 보름달물해파리는 주로 수심이 낮은 연안 해역 및 항만내에, 대형종인 노무라입깃해파리와 유령해파리는 비교적 수심이 깊은 해역에 주로 출현하여 트롤어업, 안강망어업, 정치망어업, 선망어업, 자망어업 등에 피해를 입히고 있다.

해파리로 인한 어업 피해 유형으로는 첫째, 대량의 해파리가 자루그물로 유입되어 중량 및 수력 저항에 의하여 그물이 파손되거나 유실 또는 그물을 양망할 수 없는 경우이고, 둘째, 자루그물로 유입된 해파리가 그물코를 매워서 자루그물내의 흐름을 막아 어류의 입망을 방해하여 어획량이 감소하는 경우이고, 셋째, 어류와 혼획된 해파리를 분리하는 작업이 늘어나게 되어 선원들의 노동력이 가중되는 경우이며, 넷째, 해파리의 점액 등에 의해 어획물이 손상되어 선도 및 상품성이 하락되는 경우, 다섯째, 해파리 독성으로 인해 어업인의 피부가 손상되는 경우, 여섯째, 해파리 대량어획시 과중량에 의한 양망과정에서의 작업선 전복 위험성 등을 들 수 있다 (Lee, 2003; Iizumi, 2004; Cheng, 2004; Uye, 2005; Yasuda, 2005).

이와 같은 해파리로 인한 어업 피해에 대한 연구로 Walther(1995)는 발트해 트롤어업에서 해파리 혼획이 어업에 미치는 영향에 관해서, Hayashi(1998)는 정치망 어선의 어장에서 해수 냉각과정에서의 보름달물해파리에 의한 어획물 선도 저하에 관해서, Honda(2004) 및 Honda et al.(2005)은 노무라입깃해파리 피해를 입는 어업에 대한 어업 피해 현황과 방지대책에 관한 것이 있지만, 우리나라에서는 Park et al.(1991) 및 Bae et al.(2002)이 해파리 접촉에 의한 피부염 발생 사례에 대한 보고가 있을 뿐이다.

트롤어업에서 거북 탈출을 주 목적으로 개발된 TED(Turtle Excluder Device)는 고품체인 그리

드를 사용하고 있으며, 고품체인 그리드의 경사각에 대하여는 여러 연구자들에 의해 연구된 바가 있다(Isaken et al., 1992; Mitchell et al., 1995; Lossius, 1997). 미국에서는 새우트롤어업에 거북탈출장치(TED) 사용을 의무화하면서 TED의 설치 경사각까지 규정에 정하고 있다(Mitchell et al., 1995). 해파리 대상으로는 예망어구의 해파리 분리배출장치에 관한 연구(Matsushita et al. 2005)가 있을 뿐이며, 우리나라에서는 관련 연구가 없는 실정이다.

본 논문에서는 트롤어업을 대상으로 해파리 피해를 줄일 수 있는 어구개발의 첫 단계로써 해파리 분리배출장치의 구조에 대해 연구한 내용을 보고하고자 한다.

재료 및 방법

해파리 분리배출장치

해파리 분리배출장치의 적정 구조를 파악하기 위하여 분리망으로만 구성된 형태(S형)와 분리망앞에 유도망이 설치된 형태(GS형)의 2종류를 제작하였다. 또한, 분리망이 수평면과 이루는 경사각에 따른 해파리 배출률을 조사하기 위하여, S형에서는 10°, 15°, 20°, GS형에서는 20°,

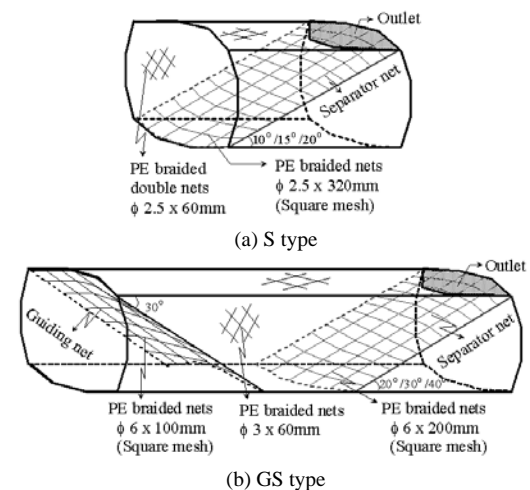


Fig. 1. Schematic shape of the S type and GS type jellyfish separator system.

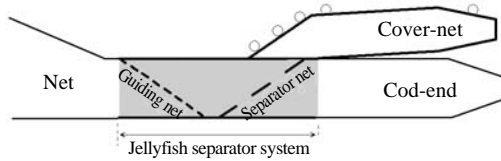


Fig. 2. General design of a trial trawl with jellyfish separator system and collecting cover-net mounted on the outlet. The jellyfish separator system was mounted at the front of the cod-end.

30°, 40° 되는 분리배출장치 6종을 제작하였다. 유도망과 분리망의 크기는 분리배출장치 본체 그물의 성형률을 95%로 하였을 때를 기준으로 제작하였으며, 제작된 분리배출장치는 트롤어구의 끝자루 앞에 삽입하여 필요에 따라 탈·부착할 수 있게 하였다(Fig. 2).

S형 해파리 분리배출장치

S형 분리배출장치(Fig. 1(a))는 분리망과 배출구로만 구성되어 있으며, 분리망은 PE 직경 2.5mm 망은 그물실로 한 발의 길이가 320mm 되는 사각망목 그물감을 사용하였다.

배출구는 분리망의 상부 끝단이 분리배출장치의 등판과 만나는 곳에 자루그물의 앞쪽으로 높이 1m의 사다리꼴로 만들었다.

분리배출장치의 본체는 PE 직경 2.5mm 망은 그물실을 이중으로 하여 그물코 크기 60mm인 그물감을 사용하여 제작하였다.

GS형 해파리 분리배출장치

GS형 분리배출장치(Fig. 1(b))는 유도망, 분리망 및 배출구로 구성되어 있다.

유도망은 PE 직경 6.0mm 망은 로프로 한 발의 길이가 100mm 되는 사각망목 그물감으로 등판에서 밀판 쪽으로 자루그물 뒤쪽을 향하여 30° 경사지도록 등판과 양 옆판에 부착하였으나, 밀판과 닿는 부분은 부착하지 않아 밀판과의 사이에 통로가 형성될 수 있도록 하였으며, 밀단에는 직경 10mm 연심 로프를 덧대어 수중에서 하중

을 받도록 하였다.

분리망은 PE 직경 6.0mm 망은 로프로 한 발의 길이가 200mm 되는 사각망목 그물감을 사용하였으며, 기타 부착방법 등은 S형의 것과 같게 하였다.

분리배출장치의 본체는 PE 직경 3.0mm 망은 그물실로 그물코 크기 60mm인 그물감을 사용하여 제작하였으며, 배출구는 S형의 경우와 같으나 사다리꼴의 높이를 0.3m로 작게 하였다.

수조실험

수조실험은 해파리가 분리 배출되는 과정을 관찰하기 위하여 유도망과 분리망으로 구성된 실물 크기의 GS형 분리배출장치에서 해파리 대응 모형을 이용하여 수직순환형 회류수조(circulating water channel, CWC)에서 실시하였다.

수조실험에 사용된 GS형은 Fig. 1(b)에 제시한 GS형과 구조는 같으나, 유도망의 하부 끝단이 밀판과 약 0.3m 떨어지게 하여 유도망 하부와 밀판 사이에 공간이 크게 생기도록 한 것과 분리망의 경사각은 40°로 한 것이 다른 점이다.

실험에 사용된 해파리 대응 모형은 구형 스펀지로 직경이 40mm, 50mm, 100mm, 200mm, 280mm인 5종이었고, 스펀지의 재질은 Polyurethan Foam으로 비중이 0.0202, 경도가 13 ± 3(kg/314cm²)이었다. 또한, 수중에서의 해파리 유영특성을 반영하기 위하여 해파리 모형이 수중에서 중성부력을 가질 수 있도록 해파리 모형 속에는 모형의 크기에 따라 적정량의 중량물을 삽입하였다. 실험시의 유속은 0.8m/s이며, 해파리 분리배출장치 입구 쪽에서 임의로 해파리 모형을 넣어 흐름에 따라 해파리 모형이 움직이는 과정을 회류수조의 측면과 상부에서 캠코더로 녹화 촬영한 후 재생하면서 분석하였다.

해상시험

해상시험에는 국립수산물과학원 시험조사선인 탐구 3호(369톤, 1,600HP, 저층트롤선)를 사용하

였으며, 사용된 트롤어구는 총 길이가 43.12m인 저층트롤어구로 날개그물 길이가 16.0m, 자루그물 길이가 20.4m, 끝자루 길이가 6.72m이었다.

시험조업은 2004년 7월7일 - 7월17일까지 10일간과 9월13일 - 9월24일까지 12일간 남해의 욕지도와 돌산도 사이 해역에서 하였으며, 조업 수심은 19 - 50m였다. 조사회수는 2004년 7월에는 S형 분리배출장치를 사용하여 분리망 경사각도별(10°, 15°, 20°)로 각각 5회씩 총 15회, 9월에는 GS형 분리배출장치를 사용하여 분리망 경사각도별(20°, 30°, 40°)로 각각 6회씩 총 18회 실시하여 총 33회이었다.

해상시험조사시 예망시간은 투망완료시각부터 양망 시작시각까지로 하여 30분 예망을 기준으로 하였으며, 예인속도는 3.5노트를 기준으로 하였다.

해상시험에서는 배출구로 배출되는 해파리와 어류의 양을 조사하기 위하여 배출구에는 덮그물(Cover-net)을 부착하여 시험하였다(Fig. 2). 덮그물은 끝자루의 제작 재질과 그물코 크기를 같게 하여 PE 직경 3.0mm 망은 그물실로 그물코 크기 60mm인 그물감을 사용하여 제작하였으며, 배출구 입구를 수집망이 덮어 해파리 배출 및 어류 탈출이 방해받는 현상을 방지하기 위하여 덮그물 입구측 상부의 양쪽 힘줄에 직경 200mm인 PVC 튜브를 각각 5개씩 총 10개를 부착하여 조업시 배출구의 공간이 확보되도록 하였다.

어획물 조사는 끝자루(Cod-end)와 덮그물(Cover-net)로 구분하여 각각에 대해 해파리와 해파리를 제외한 어획물로 분류하여 총 중량을 0.1kg 단위로 측정하였다. 해파리를 제외한 어류 등의 어획물은 체장(전장, 가랑이 체장, 항문장, 동장 또는 최대두흉갑폭)을 측정하였는데, 측정미수는 그 개체수가 100개체 이하일 경우에는 전량을 측정하였으며, 100개체를 넘을 경우에는 100개체까지만 측정하고 그 이상은 개체수만 조사하였다. 어류 등의 체장조사는 0.1cm까지 측정하였다.

해파리 분리배출장치의 성능 분석

해파리 분리배출장치의 성능을 분석하기 위하여 해파리 배출률을 산출하였다. 즉, 해파리 배출구로 배출되어 덮그물에서 어획된 해파리 양을 COV_j 라 하고, 끝자루에서 어획된 해파리 양을 COD_j 라 할 경우, 해파리 배출률 R_j 는 다음과 같이 정의하였다.

$$R_j = \frac{COV_j}{(COV_j + COD_j)}$$

또한, 해파리 분리배출장치 성능 분석의 다른 요소로서 배출구로 빠져나가는 어류의 양인 어획 손실률을 산출하였다. 즉, 배출구를 통하여 자루그물 밖으로 빠져나가는 어류의 양(또는 미수)을 COV_f 라 하고, 끝자루에서 어획되는 어류의 양(또는 개체수)을 COD_f 라 할 경우, 어획 손실률 L_f 는 다음과 같이 정의하였다.

$$L_f = \frac{COV_f}{(COV_f + COD_f)}$$

결 과

해파리 분리배출과정의 수조실험

유도망의 형상은 위쪽으로 볼록한 완만한 곡선형상, 분리망은 아래쪽으로 볼록한 완만한 곡선형상을 하였으며(Photo 1(a)), 유도망의 그물코 크기(한 발의 길이 100mm)보다 큰 직경 200mm와 직경 280mm의 해파리 모형인 경우에는 유도망의 만곡부분에서 일시적으로 머무는 경우도 있었지만 유도망을 따라 아래쪽으로 유도되어 분리망의 하부로 이동된 후, 분리망의 그물코 크기(한 발의 길이 200mm)보다 큰 직경 280mm 모형은 분리망의 그물코를 따라 위로 흘러 배출구를 통하여 자루그물 밖으로 배출되었고, 분리망의 그물코와 같은 직경 200mm 모형은 분리망을 따라 위로 흘러 배출되는 경우와 분리망의 그물코에 끼였다가 끝자루로 들어가는 경우가 있었다. 이와 같은 분리배출 유형은 해파리

및 대형 어류가 이런 과정을 거쳐 어획되거나 자루그물 밖으로 분리배출될 것으로 판단된다.

해파리 모형이 유도망의 그물코 크기보다 작은 직경 40mm와 직경 50mm 모형인 경우에는 유도망을 통과하여 분리망에 도달한 후 분리망을 통과하여 끝자루로 유입되는 경우와 배출구를 통하여 배출되는 경우도 있었다. 배출구로 배출되는 경우는 유도망의 상부 그물코를 통과한 경우가 많았고, 유도망의 중간 그물코를 통과한 경우에는 분리망의 그물코를 통과하여 끝자루로 들어가는 경우가 많았으나 분리망의 그물실에 부딪혔을 경우에는 그물실을 따라 위로 흘러 배출구로 배출되는 경우도 있었다. 이와 같은 분리배출 유형은 개체 크기가 작은 어류가 이런 과정을 거쳐 어획될 것으로 판단된다.

그리고 해파리 모형이 침강력을 갖고 있을 경우에는 유도망과 만나지 않고 유도망의 하부 공간을 통과하여 분리망의 하부에 도달한 후 분리

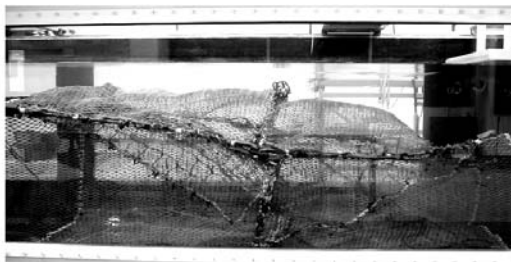
망의 그물코 크기보다 작을 경우에는 분리망의 하부 그물코를 통과하여 끝자루로 들어갔다. 그러나 분리망의 그물코 크기보다 큰 경우에는 분리망의 경사를 따라 배출구로 유도되어 배출되었다. 이와 같은 유형은 저서성 어류가 이런 과정을 거쳐 어획될 것으로 판단된다.

해파리 배출구의 형상은 설계상으로는 사다리꼴로 설계하였으나 수조실험 시 관찰한 결과 흐름에 의해 큰 원형 형태로 유지되고 있어 해파리를 배출하는 데에는 충분한 공간이라 판단된다(Photo 1(b)).

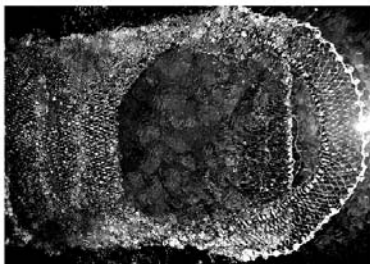
어획 손실률

끝자루와 덮그물에 어획된 개체의 미수에 따른 어종별 어획 손실률을 Table 1에 나타내었다.

2004년 7월 S형 분리배출장치 조사결과 활동성이 강한 어류는 배출구를 통해 빠져나가 덮그물에서 어획되는 비율이 높아 어획 손실률은 전갱이(*Trachurus japonicus*) 94%, 셋돔(*Psenopsis anomala*) 91%, 참조기(*Pseudosciaena manchurica*) 89%, 덕대(*Pampus echinogaster*) 85% 그리고 갈치(*Trichiurus lepturus*) 74%를 보였다. 그렇지만 저서성 어류 및 유영력이 약한 어류는 끝자루에서 많이 어획되어 어획 손실률은 별넙치(*Pseudorhombus cinnamoneus*) 및 참가자미(*Limanda herzensteini*) 33%, 점넙치(*Pseudorhombus entopthalmus*) 26%, 얼룩통구멍(*Uranoscopus japonicus*) 25%로 나타났으며, 물가자미(*Eopsetta grigorjewi*)인 경우에는 배출구로 빠져나간 개체는 없었다. 갑각류의 경우에는 어획 손실률이 새우류(*Shrimp spp.*) 13%, 소형게류(*Crab spp.*) 2%로 저서성 어류보다 어획 손실률이 적게 나타났는데 이들은 저서성 어류보다 유영력이 떨어져서 생기는 현상으로 보인다. 하지만 저서성 어류인 황아귀(*Lophius litulon*)의 경우에는 어획 손실률이 51%로 다른 저서성 어류보다 높게 나타났는데, 이는 분리망의 그물코 크기에 따른 선택작용에 의한 결과로 보여진다.



(a) Separating process



(b) Outlet shape

Photo 1. The view of the separating process experiment using the various size sponge models as the jellyfish and the outlet shape of the prototype jellyfish separator system in the CWC.

Table 1. Summary of catch analysis for jellyfish separator system performance in 2004

No.	Scientific name	Number of individuals					
		July(S-type)			September(GS-type)		
		Cover-net	Cod-end	Exclusion ratio	Cover-net	Cod-end	Exclusion ratio
1	<i>Raja kenoei</i>					1	0
2	<i>Ilisha elongata</i>				2		1
3	<i>Setipinna taty</i>				301	222	0.58
4	<i>Saurida undosquamis</i>	5		1			
5	<i>Hime japonica</i>					1	0
6	<i>Muraenesox cinereus</i>		1	0	1	3	0.25
7	<i>Regalecus russellii</i>	1	1	0.50			
8	<i>Zeus japonicus</i>	2	2	0.50			
9	<i>Zenopsis nebulosa</i>	8	2	0.80			
10	<i>Sphyaena japonica</i>	1	2	0.33	6	5	0.55
11	<i>Sphyaena pinguis</i>				12	2	0.86
12	<i>Lateolabrax japonicus</i>				1		1
13	<i>Dderleinia berycoides</i>	12	1	0.92		2	0
14	<i>Apogon lineatus</i>	15		1	1	9	0.10
15	<i>Sillago japonica</i>	2		1			
16	<i>Nibea argentatus</i>	5	4	0.56	82	64	0.56
17	<i>Johnius belengerii</i>				47	17	0.73
18	<i>Pseudosciaena manchurica</i>	47	6	0.89	7	1	0.88
19	<i>Chrysophrys major</i>					1	0
20	<i>Caranx equula</i>				3	2	0.60
21	<i>Trachurus japonicus</i>	29	2	0.94	46	33	0.58
22	<i>Seriola purpurascens</i>					1	0
23	<i>Leiognathus nuchalis</i>	2	1	0.67			
24	<i>Neopercis sexfasciatus</i>	1		1			
25	<i>Uranoscopus japonicus</i>	7	21	0.25	4	3	0.57
26	<i>Trichiurus lepturus</i>	101	36	0.74	1,384	574	0.71
27	<i>Scomber japonicus</i>				1	1	0.50
28	<i>Scomberomorus niphonius</i>				49	11	0.82
29	<i>Pampus argenteus</i>	12	7	0.63			
30	<i>Pampus echinogaster</i>	50	9	0.85	622	680	0.48
31	<i>Psenopsis anomala</i>	41	4	0.91	11,717	5,685	0.67
32	<i>Lepidotrigla microptera</i>	15	23	0.39			
33	<i>Platycephalus indicus</i>	1	3	0.25	1		1
34	<i>Pseudorhombus cinnamomeus</i>	7	14	0.33		3	0
35	<i>Pseudorhombus entophthalmus</i>	7	20	0.26			
36	<i>Eopsetta grigorjewi</i>		23	0		1	0
37	<i>Pleuronichthys cornutus</i>		3	0	1		1
38	<i>Limanda yokohamae</i>				1	1	0.50
39	<i>Limanda herzensteini</i>	7	14	0.33			
40	<i>Zebrias fasciatus</i>	1	1	0.50			
41	<i>Cynoglossus robustus</i>				1	9	0.10
42	<i>Navodon modestus</i>					1	0
43	<i>Fugu niphobles</i>	1		1		1	0
44	<i>Lagocephalus wheeleri</i>				1		1
45	<i>Lophius litulon</i>	122	118	0.51			
	Subtotal (fish)	502	318	0.61	14,291	7,334	0.66
46	<i>Sepia esculenta</i>				23	17	0.58
47	<i>Todarodes pacificus</i>	8	2	0.80			
48	<i>Loligo (Photololigo) edulis</i>	11	2	0.85			
49	<i>Loligo (Photololigo) chinesis</i>	1		1			
50	<i>Loligo beka</i>	2		1	1	0	1
51	<i>Octopus minor</i>				0	1	0
52	<i>Paroctopus dofleini</i>		2	0		2	0
53	<i>Portunus trituberculatus</i>		1	0	58	280	0.17
54	<i>Charybdis japonica</i>					1	0
55	<i>Erimacrus isenbecki</i>		1	0			
56	<i>Crab spp.</i>	1	58	0.02	1	8	0.11
57	<i>Penaeus orientalis</i>				0	1	0
58	<i>Squilla oratoria</i>	7	4	0.64	12	62	0.16
59	<i>Shrimp spp.</i>	5	33	0.13	59	159	0.27
60	<i>Sea cucumber</i>		1	0			
	Total	537	422	0.56	14,445	7,865	0.65

2004년 9월 GS형 분리배출장치 조사결과 어류의 어획 손실률은 민태(*Johnius belengerii*) 73%, 갈치 71%, 셋돔 67%, 반지(*Setipinna taty*) 및 전갱이 58%, 보구치(*Nibea argentatus*) 56% 그리고 덕대 48%로 2004년 7월 S형 분리배출장치 조사 때보다 20% 이상 낮게 나타났다. 이것은 GS형 분리배출장치는 S형 분리배출장치에 유도망을 추가 설치한 형태로 이 유도망이 자루그물로 유입되는 어획물을 분리망의 하부로 유도하여 분리망에서 어류와 해파리가 분리될 수 있는 기회가 많아졌기 때문이라 판단된다. 갑각류의 경우에는 꽃게(*Portunus trituberculatus*) 17%, 갯가재(*Squilla oratoria*) 16%, 새우류 27%의 어획 손실률을 보여 어류보다 낮은 어획 손실률을 나타내었다.

해파리 분리배출장치의 구조별 성능

해파리 분리배출장치의 두 가지 형태 즉, S형과 GS형의 성능 해상시험결과, 해파리 분리배출률은 S형인 경우에는 41 - 66% (평균 50%, Table 2), GS형인 경우에는 81 - 95% (평균 86%)로 나타났다(Table 3). 분리망으로만 된 형태(S형)에서가 분리망 앞에 유도망이 있는 형태(GS형)에서 보다 해파리 분리배출률이 적은 것은 해파리가 자루그물내의 흐름을 직접 받으면서 분리망에 접하게 되고 가속된 흐름의 힘에 의해 분리망의 그물살에 의해 해파리가 잘려져서 그물코사이로 들어갈 경우가 많이 있기 때문인 것으로 생각된다. 실제적으로 해상시험에서 어획된 해파리를 보면 끝자루에서는 잘려진 해파리 조각을 많이 관찰할 수 있었지만, 배출구로 배출된 해파리는 온전한 상태의 것이 많이 관찰되었다(Photo 2). 그리고 GS형의 경우에는 자루그물내로 유입되는 어획물을 분리망의 하부로 유도하기 위한 유도망을 분리망 앞에 부착하여 자루그물내의 흐름의 가속력을 줄이고 대상물이 분리망의 하부로부터 상부로 이동할 수 있도록 하여 분리망의 선택성을 최대한 활용하였기 때문에



(a) Cod-end



(b) Cover-net

Photo 2. The jellyfish view caught in (a) the cod-end and (b) the cover-net.

해파리 분리배출률이 높게 나타난 것으로 생각된다. 그러므로 해파리 분리배출망의 구조는 유도망과 분리망이 있는 형태(GS형)로 하는 것이 해파리 분리배출에 효율적이라 생각한다.

그러나 GS형 해파리 분리배출장치는 어획 손실률이 약 65%로 높게 나타나(Table 1) 이를 줄일 수 있는 방안 마련이 필요하였다.

해파리를 직접적으로 분리하는 분리망의 역할을 구명하기 위하여 분리망의 경사각에 따른 해파리 분리배출률을 조사한 결과, S형 및 GS형에서 공히 분리망의 경사각이 낮을수록 해파리 분리배출률이 높은 경향을 보였다(Table 2 - 3).

즉, S형 분리배출장치에서 분리망 경사각이 10°인 경우의 해파리 배출률은 평균 66%였고, 15°에서는 41%, 20°에서는 44%로 나타났다

(Table 2). 그리고 GS형 분리배출장치에서는 분리망 경사각이 20°인 경우의 해파리 배출률은 평균 95%였고, 30°에서는 81%, 40°에서는 84%로 나타났다(Table 3). 이 결과로부터 분리망의

Table 2. Exclusion ratio of jellyfish(weight, kg) and fish(weight, kg) by the slope of separator net in S-type JSS in July 2004

Slope of separator net	No. of haul	Weight of jellyfish(kg)		Exclusion ratio	Weight of fish(kg)		Fish loss ratio
		Cod-end	Cover-net		Cod-end	Cover-net	
10°	1	4.5	19.5	0.81	1.0	0.6	0.39
	2	12.4	4.0	0.24	7.2	5.8	0.45
	3	1.5	5.5	0.79	4.4	3.8	0.46
	4	0	8.3	1.00	0.1	0.3	0.71
	5	13.5	12.3	0.48	17.0	14.2	0.46
	Subtotal	31.9	49.6	0.66	29.7	24.7	0.49
15°	1	10.5	13.5	0.56	8.0	13.5	0.63
	2	4.0	3.0	0.43	4.5	2.9	0.39
	3	16.5	7.5	0.31	6.4	7.7	0.55
	4	11.5	0	0.00	1.6	1.5	0.48
	5	4.1	13.5	0.77	2.8	2.8	0.50
	Subtotal	46.6	37.5	0.41	23.3	28.4	0.51
20°	1	83.0	125.5	0.60	0	5.0	1.00
	2	38.0	39.0	0.51	17.0	23.5	0.58
	3	49.0	52.5	0.52	18.5	15.5	0.46
	4	62.0	12.0	0.16	11.0	5.5	0.33
	5	53.5	34.5	0.39	12.5	10.0	0.44
	Subtotal	285.5	263.5	0.44	59.0	59.5	0.56
Total		364.0	350.6	0.50	112.0	112.6	0.52

Table 3. Exclusion ratio of jellyfish(weight, kg) and fish(weight, kg) by the slope of separator net in GS-type JSS in September 2004

Slope of separator net	No. of haul	Weight of jellyfish(kg)		Exclusion ratio	Weight of fish(kg)		Fish loss ratio
		Cod-end	Cover-net		Cod-end	Cover-net	
20°	1	-	305	1.00	35.0	29.0	0.45
	2	-	-	-	3.0	6.2	0.67
	3	71	1,122	0.94	13.0	11.0	0.46
	4	32	534	0.94	3.7	7.3	0.66
	5	20	108	0.84	11.0	36.0	0.77
	6	1	261	1.00	3.0	7.0	0.70
	Subtotal	124	2,330	0.95	68.7	96.5	0.62
30°	1	364	2,444	0.87	26.3	22.8	0.46
	2	75	416	0.85	30.0	68.5	0.70
	3	11	260	0.96	2.8	18.0	0.87
	4	416	1,604	0.79	18.5	13.6	0.42
	5	114	159	0.58	17.5	17.5	0.50
	6	156	700	0.82	12.0	22.0	0.65
	Subtotal	1,136	5,583	0.81	107.1	162.3	0.60
40°	1	90	180	0.67	70.0	142.5	0.67
	2	70	436	0.86	38.0	112.5	0.75
	3	50	595	0.92	64.5	115.4	0.64
	4	90	728	0.89	134.0	223.0	0.63
	5	30	130	0.81	56.0	113.5	0.67
	6	3	20	0.87	52.0	129.0	0.71
	Subtotal	333	2,089	0.84	414.5	835.9	0.68
Total		1,593	10,002	0.86	590.3	1,094.7	0.63

설치 경사각은 해파리 배출률이 가장 높은 GS형의 20°가 적정한 것으로 보여진다.

Table 2와 Table 3의 자료를 이용하여 해파리 분리배출장치에서 분리망의 적정 설치 경사각, S형과 GS형 해파리 분리배출장치의 해파리 분리배출성능에 대한 검증을 유의수준 5%로 단측 t-검정을 실시하였다. S형 해파리 분리배출장치에서 분리망의 경사각(10°, 15°, 20°)에 따른 t-검정 결과 유의한 차이는 없어($p > 0.05$) 이들 경사각 간에는 해파리 배출률에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

그러나 GS형 해파리 분리배출장치에서는 분리망의 경사각(20°, 30°, 40°)에 따른 t-검정 결과 경사각 20°와 30° 및 40°에서는 유의한 차이가 있었으나($p < 0.05$) 30°와 40°에서는 유의한 차이가 없었다($p > 0.05$). 이 검정 결과로부터 해파리 분리망의 설치 경사각은 GS형에서 20°가 가장 적정한 것으로 판단된다.

해파리 분리배출장치의 형태별 t-검정 결과는 GS형과 S형 간에는 유의한 차이가 있어($p < 0.05$) 유도망이 설치되어 있는 GS형이 S형보다 해파리 분리배출 성능이 좋은 것으로 나타났다.

고 찰

해파리 분리배출장치의 재질

일반적으로 바다거북과 같이 부수적으로 어획되는 수산생물의 혼획을 방지하기 위하여 미국의 새우트롤어업에서 사용하고 있는 거북탈출장치(TED)의 재질은 철봉, 유리 섬유봉, 알루미늄봉, 철관 또는 알루미늄관으로 제한되고 있고(Mitchell et al. 1995), 이런 재질로 제작된 TED는 고형체이면서 하중이 무겁기 때문에 취급이 불편하여 어업인이 사용을 기피하고 있다(Coreil 1985). Coreil(1985)은 무게를 줄이기 위해 새우트롤선에서 그리드의 철제 재질을 알루미늄으로, Angel and Lilleng(2001)은 저층트롤에서 그리드의 재질을 플라스틱과 고무로 하여 연구한 바 있다. 또한 Mounsey et al.(1995)과

Robins-Troeger et al.(1995)은 호주 새우트롤어업에서 그리드의 bar를 고형체가 아닌 유연체 즉, 와이어로프 등으로 만들어 기존 어구와의 시험 연구에서 새우의 어획에는 큰 차이가 없음을 밝힌 바 있다. 그리고 Robins-Troeger (1994), Kendall(1990), Andrew et al.(1993)은 새우트롤어업에서 그리드를 그물감으로 제작한 Morison soft TED 시험결과 거북의 혼획을 효과적으로 저감시킬 수 있음을 밝힌 바 있다.

이와 같이 혼획 저감장치의 개발에 있어서는 어업인이 사용하고 다루는 데 편리해야 하므로 고형체 보다는 유연체로 개발하는 것이 필요하며, 이 연구에서 제시한 그물감으로 제작한 분리배출장치는 어업인에게 거부감을 주지 않으며 재질 개선에 따른 무게 감소와 분리배출효과도 뛰어나므로 현장 적용도 가능할 것으로 판단된다.

해파리 분리배출장치의 구조

이 연구에서는 해파리를 분리 배출하는 장치로써 분리망의 선택작용을 높이기 위해 설치한 유도망과 부수 어획물(해파리)을 분리하는 기능을 갖는 분리망을 제시하였다.

유도망은 분리망의 선택작용을 높이기 위하여 분리망의 앞쪽에 설치되어 자루그물로 들어오는 모든 어획물을 분리망과 접촉할 수 있도록 분리망의 하부로 유도하므로, 분리망에서 해파리와 어획물이 효율적으로 분리될 수 있도록 유도망의 부착 경사각과 부착방법이 고려되어야 한다. Matsushita et al.(2005)은 유도망을 경사각 30°로 하여 자루그물의 등판에서 밑판 쪽으로 연직높이의 1/2되는 지점까지 부착하였으나 예망중에 유도망의 하단부가 흐름에 날려 이 위치보다 높을 것으로 예상하였다. 유도망의 날림에 대해서는 이 연구에서 수조실험을 통하여 유도망의 하부가 많이 날리는 것을 확인한 바 있다. 이러한 날림 현상은 유도망의 기능을 저해할 가능성이 많으므로 유도망의 부착은 이 연구에서와 같이 경사각을 주어 자루그물의 등판에서 밑판

까지 부착하여도 날림으로 인한 공간이 확보되어 유도망의 기능을 유지할 수 있다고 생각된다.

또한, 유도망에 의해 분리망으로 유도되는 어획물은 분리망의 분리효율을 높이기 위하여 분리망의 하부로 유도되어야(Isaksen et al., 1992; Mounsey et al., 1995; Oravetz and Seidel, 1984) 분리망의 경사면을 따라 위쪽으로 올라가면서 분리망의 그물코 크기에 따른 선택 기회가 많이 주어져 분리효율이 높아지게 된다. 그러므로 유도망은 자루그물 등판에서 밑판까지 부착하는 것이 타당하다고 생각되어 해파리 분리배출장치 개발에 적용하였다.

분리망은 부수 어획중(비 목표종)을 분리하는 기능을 하며 분리망의 설치 경사각에 대한 기존의 연구결과는 연구자에 따라 그리드의 경사각을 35 - 50°(Isaksen et al., 1992), 40 - 55°(Mitchell et al. 1995), 30 - 55°(미국의 새우트롤 어업 TED 규정, Mitchell et al. 1995)로 제시하였고, 제시된 경사각 보다 작은 경우에는 새우류 등 어획대상물이 그리드 bar를 따라배출구로 유도되어 어획 손실이 발생하며, 제시된 경사각 보다 클 경우에는 거북 탈출이 방해를 받으며(Mitchell et al. 1995) 가오리, 가자미, 기타 쓰레기 등이 그리드 앞에 쌓여 그리드 bar를 막아 어획 손실을 가져 온다고 했다(Isaksen et al., 1992; Mitchell et al., 1995; Matsushita et al., 2005). 이런 현상을 해소할 수 있는 그리드의 최적 경사각은 연구자에 따라 45°(Isaksen et al., 1992), 37°(Lossius, 1997)를 제시하고 있으며, 예인어구에서 해파리를 분리하기 위한 시험에서는 53°를 사용한 바 있다(Matsushita et al., 2005).

이렇게 비 목표종을 분리하기 위한 그리드(분리망)도 어류에게는 하나의 장벽이라 할 수 있다. 어류가 장애물을 인식하는 것은 주로 시각에 의하며, 그 반응 거리는 1m 이내이고, 장애물을 만나면 일반적으로 해저로 향해 도피행동을 보인다(Lee, 1977). 그러므로 설치 경사각이 클 경우에는 유영력이 큰 어류는 예망 방향으로 유영

을 하다가 유영력이 떨어지면 흐름에 휩쓸려 분리망을 통과하여 어획된다. 이때 분리망의 공간이 클수록 어류의 통과가 쉬우므로 분리망의 경사각이 클수록 분리망의 수직공간이 커지게 되어 유영력을 잃은 어류의 경우에는 어획효율이 좋을 것으로 생각된다. 또한, 설치 경사각이 작을 경우에는 분리망의 수직공간은 작아지게 되어 분리망은 어류를 등판에 설치된 배출구로 안내 주는 역할이 더 우세할 것으로 판단된다. 이와 같은 현상은 실제 해상시험결과에서 유영력이 떨어지는 해파리의 경우 경사각이 작을수록 배출물이 높게 나타나는 경향을 보였다(Table 2 - 3). 분리망의 경사각에 따른 어획 손실률은 대체적으로 경사각이 클수록 높게 나타나는 경향을 보이고 있다(Table 2 - 3). 이것은 분리망의 경사각이 클수록 분리망의 수평공간이 작아지게 되어 유영력이 있는 어류의 경우에는 장애물을 만났을 때의 해저로 향해 도피하는 행동에 제약을 주고 있기 때문인 것으로 판단된다.

기존의 연구들은 분리망으로써 고행체 그리드를 사용하였기 때문에 그리드의 경사각을 37 - 53° 까지 사용하고 있으며, 30 - 55° 까지 추천하고 있다. 고행체 그리드를 사용했을 경우에는 흐름 속에서 그리드 bar의 굴곡은 없고 그리드 설치 경사각만 약간의 변화를 보인다. Isaksen et al.(1992)은 수중촬영결과 유속 0.7일 경우에 3 - 5°정도 경사각이 작아진다고 밝혀 그리드 경사각을 45°를 권장하면서 부착은 흐름 속에서의 경사각 줄어듦을 감안하여 48°로 하여 시험한 바 있다.

그렇지만 그리드(분리망)를 그물감으로 사용할 경우에는 그 설치 경사각을 기존의 고행체 그리드 설치 경사각을 적용하는 것은 그리드(분리망)의 사용 재료 차이로 인하여 고려해야 할 사항이다. 그물감으로 된 분리망을 밑판에서 등판 쪽으로 경사지게 설치할 경우에는 흐름의 저항을 받아 분리망은 아래쪽이 블록한 형상을 보일 수 있고 이런 현상은 수조시험에서 확인한 바 있

다. 이 경우에는 분리망의 불룩한 부분의 아랫부분은 당초 설치 경사각보다 작아지고, 윗부분은 커지는 경향을 보일 것이므로 고행체인 그리드를 대상으로 한 연구결과를 그물감으로 된 분리망의 설치 경사각에 바로 적용할 경우에는 기존의 연구결과에서 제시하고 있는 경사각보다 커지게 될 가능성이 매우 높다. 그러므로 그물감으로 된 분리망은 고행체로 된 그리드의 설치 경사각보다 작게 설치하는 것이 타당하다고 생각한다. 이 연구에서는 분리망의 경사각에 따른 해파리 배출률을 시험한 결과 분리망의 경사각이 작을수록 해파리 배출률이 높아지는 경향을 보였고(Table 2, Table 3), 경사각 20°에서 해파리 배출률이 가장 높게 나타나 분리망의 설치 경사각을 20°로 결정하여 해파리 분리배출장치 개발에 적용하였다.

유도망과 분리망의 설치 거리도 분리망의 선택작용을 높이기 위해서는 중요하다. 이에 대해서 Lossius(1997)는 분리망과 가깝게 설치하여야 한다고 했고, Isaksen et al.(1995)은 분리망과의 거리를 50cm로 권장하고 있다. 어획선택이 일어나기 위해서는 대상물과 어구가 접촉할 수 있는 기회 확률이 높아야 하므로 이 연구에서도 분리망에서의 어획 선택효과를 높일 수 있도록 유도망과 분리망간의 거리를 약 0.3m로 짧게 하여 유도망의 하부를 통과한 어획물이 분리망의 하부에서 바로 접촉할 수 있도록 하였다.

유도망이 없는 분리망으로만 구성된 구조에 대해서, Isaksen et al.(1992)은 새우트롤어업에서 유도통로(유도망)없이 시험 조업한 결과 어류의 분리는 좋았으나 새우 손실률은 40%로 높았다는 연구가 있다. 해파리가 혼획되는 상황에서 해파리는 자체 유영력이 매우 약하기 때문에 흐름에 의해 상층부로 뜬다고 가정했을 경우, 해파리 분리배출장치의 해파리 배출구는 자루그물의 등판에 있으므로 해파리 배출률을 높이기 위해서는 어획물을 자루그물의 밑판 쪽으로 유도하는 유도망 설치가 오히려 해파리 배출에 방해가

된다고 할 수 있다. 그러나 실제 해상시험에서 유도망은 없고 분리망으로만 구성된 분리배출장치(S형) 시험 결과는 해파리 배출률에 있어 큰 차이를 보여 S형 분리배출장치에서는 평균 50%이고, GS형 분리배출장치에서는 평균 86%로 오히려 GS형 분리배출장치가 해파리 배출률이 좋게 나타났다(Table 2, Table 3). 따라서 유도망 설치하는 해파리 배출률을 높이기 위해서도 필요하다고 생각하여 해파리 분리배출장치 개발에 있어 그 기본 구조로서 유도망과 분리망이 있는 형태인 GS형을 선정하였다.

결 론

매년 여름철에 우리나라 주변 해역에 출현하여 어업에 피해를 입히고 있는 해파리를 대상으로 트롤어구에서 조업과정 중에 해파리를 어획물과 분리하여 배출할 수 있는 장치의 구조를 개발하기 위하여 분리배출장치 6종을 설계·제작하여 남해안에서 2004년 7월과 9월에 총 33회의 현장 시험한 결과를 분석하였다. 해파리 모형을 이용한 해파리 분리배출장치내에서 분리배출과정은 해파리 모형이 분리망의 그물코 크기보다 클 경우에는 유도망을 따라 분리망의 하부로 유도된 후 분리망을 따라 배출구로 유도되어 배출되었다. 분리망의 그물코 크기보다 작을 경우에는 유도망의 그물코 크기보다 작아 유도망의 상부를 통과할 경우는 배출구로 배출되는 경우가 많았고, 유도망의 하부를 통과한 것은 분리망의 선택작용에 의해 거의 분리망을 통과하여 끝자루로 흘러 들어갔다. 침강력이 있는 모형은 유도망 하부를 곧바로 통과하여 분리망의 하부 그물코를 통하여 끝자루로 흘러 들어갔다. 분리망의 경사각별 해파리 배출률은 S형 분리배출장치의 10°, 15°, 20° 경사각에서는 각각 평균 66%, 41%, 44% 였으며, GS형 분리배출장치의 20°, 30°, 40° 경사각에서는 각각 평균 95%, 81%, 84% 였다. S형과 GS형 분리배출장치의 해파리 배출률을 비교해 보면 각각 평균 50%와 86%로

GS형 분리배출장치가 해파리 배출률 성능이 높게 나타났다. 그러므로 해파리 분리배출장치의 구조는 유도망과 분리망이 있는GS형이 적정하다고 판단되며, 이때 분리망의 설치경사각은 해파리 배출률이 가장 높은 20°가 적정하다고 생각된다. 그러나 이 GS형 분리배출장치의 어획손실은 65%로 이를 줄일 수 있는 방안 강구가 필요하였다.

사 사

본 논문은 국립수산물과학원(해파리가 어업에 미치는 영향조사 및 분리배출장치 개발, RP-2008-FE-003)의 지원에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

- Andrew, N.L., S.J. Kennelly and M.K. Broadhurst, 1993. An application of the Morrison soft TED to the offshore prawn fishery in New South Wales, Australia. *Fisheries Research*, 16, 101 -111.
- Angel, S. and D. Lilleng, 2001. New type of size selective system made of plastic and rubber: The "flexigrid". *Technical regulations and by-catch criteria in the Barents Sea fisheries*, 108 -113.
- Bae, G.Y., S.E. Chang, J.H. Choi, K.J. Sung, K.C. Moon and J.K. Koh, 2002. A case of jellyfish dermatitis. *Korean Journal of Dermatology*, 40(6), 692 -694.
- Cheng, J.H., 2004. The conditions of giant jellyfish in the East China Sea and Yellow Sea. Summary of international workshop on giant jellyfish, 46 -50.
- Coreil, P.D., 1985. Trawling efficiency device acceptance and use by Louisiana commercial shrimpers. *Int. Symp. on Kemp's Ridley Sea Turtle Biology, Conservation and Management*, Galveston, TX (USA), 1 -4.
- Hayashi, Y., 1998. Detrimental effect of moon jellyfish *Aurelia aurita* on cooling of sea water in the fish hold of set net fishing boat. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 64, 1046 -1052.
- Honda, N., 2004. The status of fisheries damage by giant jellyfish and countermeasure. *Marine Fisheries Engineering*, 36, 57 -63.
- Honda, N., Y. Matsushita, T. Watanabe and H. Iizumi, 2005. The countermeasures for mitigating impacts of the giant jellyfish *Nemopilema nomurai* to fishing industries. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 71(6), 975 -976.
- Iizumi, H., 2004. The influence and mass appearance of giant jellyfish in Japan. Summary of international workshop on giant jellyfish, 1 -8.
- Isaksen, B., J.W. Vademarsen, R.B. Larsen and L. Karlsen, 1992. Reduction of fish by-catch in shrimp trawl using a rigid separator grid in the aft belly. *Fisheries Research*, 13, 335 -352.
- Kendall, D., 1990. Shrimp retention characteristics of the Morrison Soft TED: a selective webbing exclusion panel inserted in a shrimp trawl net. *Fisheries Research*, 9, 13 -21.
- Lee, B. G., 1977. Modern trawl fishing method. Taehwa publishing company, Busan, pp. 38 -57.
- Lee, T.W., 2003. In search of "Hyunsaneobo" 2. *Chungarammedia*, Seoul, pp. 354 -367.
- Lossius, L.L., 1997. Size selection of Northern shrimp (*Pandalus borealis*) by metal sorting grids in the shrimp trawls. *Cand. Scient. theis in Fisheries biology*, University of Bergen, pp. 82.
- Matsushita, Y., N. Honda and S. Kawamura, 2005. Design and tow trial of JET(Jellyfish Excluder for Towed fishing gear). *Nippon Suisan Gakkaishi*, 71(6), 965 -967.
- Mitchell, J.F., J.W. Watson, D.G. Foster and R.E. Caylor, 1995. The turtle excluder device(TED): A guide to better performance. NOAA Tech. Memo. NMFS-SEFSC-336, NMFS Mississippi Laboratory, Pascagoula: pp. 35.
- Mounsey, R.P., G.A. Baulch and R.C. Buckworth, 1995. Development of a trawl efficiency device(TED) for Australian prawn fisheries. I. The AusTED design. *Fisheries Research*, 22, 99 -105.
- Oravetz, C. and W. Seidel, 1984. Shrimpers can reduce by catch levels with trawling device. *NATL. FISHERMAN*, 64(11), 46 -47.

- Park, B.C., D. Houh, H.O. Kim and C.W. Kim, 1991. A case of delayed cutaneous reaction caused by jellyfish. *Korean Journal of Dermatology*, 29(2), 214 –217.
- Robins-Troeger, J.B., 1994. Evaluation of the Morrison soft turtle excluder device: Prawn and bycatch variation in Moreton Bay, Queensland. *Fisheries Research*, 19, 205 –217.
- Robins-Troeger, J.B., R.C. Buckworth and M.C.L. Dredge, 1995. Development of a trawl efficiency device(TED) for Australian prawn fisheries. II. Field evaluations of the AusTED. *Fisheries Research*, 22, 107 –117.
- Uye, S., 2005. Jellyfish blooms in the Seto Inland Sea. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 71(6), 971 –972.
- Walther, Y., 1995. Bycatches of cod in swedish trawl fishery for pelagic species in the Baltic Sea. *Inf. Havasfiskelab. Lysekil.*, 2, pp. 14.
- Yasuda, T., 2005. Blooms of the giant jellyfish *Nemopilema nomurai* and fisheries damages by the medusae in the Japan Sea and neighbouring waters from 1958 to 2004. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 71(6), 973 –974.
-
- 2008년 2월 22일 접수
2008년 4월 2일 1차 수정
2008년 4월 11일 수리