

어린 대문어(*Octopus dofleini*) 보호를 위한 통발의 탈출장치 적용에 대한 실험적 고찰

김성훈*

부경대학교 해양생산시스템관리학부 교수

An experimental study on the application of escape device in a net pot for protecting of small giant octopus (*Octopus dofleini*)

Seonghun KIM*

Professor, Department of Marine Production System Management, Pukyong National University, Busan 48513, Korea

In this study, for the purpose of reducing the catch of small giant octopus in a net pot, an escape experiment of octopus was performed on five types of escape rings of different sizes. As a result of the experiment, the smallest giant octopus with a weight of 406 g was found to escape from an escape ring with a diameter of 30 mm or larger, and 592 g octopus, a weight similar to the octopus of the current minimum landing weight (600 g), escaped from an escape ring with a diameter of larger than 40 mm. An individual weight with 406 g becomes 39 mm when converted from a diameter of 25 mm circular escape vent; that is, the circumference to the inner diameter of the mesh. It can be inferred that the converted mesh size of 39 mm cannot escape. Logistic regression analysis was performed using a generalized linear model (GLM) to investigate the correlation between the ratio of escape ring size/Mantle diameter (R/MD) and the escape rate. As a result, it was found that there was a significant correlation between the R/MD ratio and the escape rate and that the higher the R/MD ratio, the greater the escape rate. As a result of logistic regression analysis, the R/MD value was denoted 0.520 with the 50% escape rate. In addition, it can be estimated to be about 50 mm when converted to the mesh size. Therefore, in this study, the diameter of the escape ring and the size of the escape possible of the octopus were experimentally considered. It was found that there was a significant correlation.

Keywords: Giant octopus, *Octopus dofleini*, Escape ring, Octopus pot, Selectivity

서론

문어류는 대게와 더불어 경북 일원 및 강원도를 중심으로 동해안의 주요한 어업자원 중의 하나이다. 문어류는 연안에서 통발, 연안복합의 문어홀림낚시 및 근해통

발 등에 의해 어획되고 있으며, 이들 중에서 통발어업에서 어획되는 생산량이 가장 많다. 동해안에서는 예부터 명절을 비롯하여 대소사에 항상 사용되는 진중한 어종으로 명절 등 시기에 따라 어가의 변동 폭이 상당히 크다

*Corresponding author: seba@pknu.ac.kr, Tel: +82-51-629-5888, Fax: +82-51-629-5886

(Lee et al., 2014).

동해안에서 어획되는 문어의 종류는 대문어(*Octopus dofleini*), 발문어(*Octopus longispadiceus*), 참문어(*Octopus vulgaris*) 등이 어획되고 있으며, 우점하는 어종은 대문어로 상업적 가치가 상당히 높다. 문어의 어획량은 어종별로 분류되어 집계되지 않고 있으며, 문어류로 통칭하여 통계를 수집하고 있어 정확한 대문어의 어획량은 알수 없다. 문어류에 대한 생산동향은 최근 10년간에는 약 4,000톤을 유지하며 증감을 반복하고 있으며, 최근 5년인 2017년도에는 4,729톤으로 최고치를 나타내었으며, 2021년 4,184톤으로 소폭 감소하는 경향을 나타내고 있다(FIPS, 2022).

대문어는 연안 저서종으로 수심 200 m의 대륙붕 사면까지 서식하며, 산란기가 되면 수심 50~60 m의 연안 얕은 곳으로 이동하여 암초, 자갈 등에 부착란을 산란한 후 깊은 곳으로 이동하는 것으로 알려져 있다(Fukuda and Yamashita, 1978; Fukuda, 1990; Fukuda, 1995; Lee et al., 2014).

문어를 대상으로 하는 통발은 여러 가지 형태로 구성되어 있으며, 모두 그물감을 씌운 그물통발이며, 그물코의 크기는 수산업법 시행령에서 35 mm 이하는 사용을 금지하고 있다. 또한 수산자원관리법 시행령 제6조에 의해 포획금지체중을 400 g에서 600 g으로 상향 조정하여 자원관리에 경주하고 있으며, 최소성숙체장이 6~7 kg (Lee et al., 2014)임을 고려하여 주무 부처에서는 어린개체 보호와 자원의 효율적 이용을 위하여 포획금지체중 상향조정을 검토하고 있다.

그러나, 문어통발은 현장실태조사 결과, 현재 사용하고 있는 그물코 크기 35 mm 통발에 어린 문어개체의 어획이 빈번하며, 그물코 크기에 대한 검토와 어린 개체 혼획저감을 위한 탈출장치의 적용이 절실히 필요한 실정이다. 최근 통발에 있어서 탈출장치에 대한 연구는 국외 연구 자료에 의하면 통발에 Escape gap (Bain, 1967), Escape ring (Everson et al., 1992; Crous, 1976), Escape vent (Fofarty and Borden, 1980) 등을 부착하여 소형 개체의 어획을 줄이는 시험에 대해 보고한 바 있으며, 최근 일본에서는 우리나라와 동일한 대문어를 대상으로 어린개체 보호를 위한 통발의 탈출링에 대한 효과에 대한 검증 연구를 수행한 바 있다(Nagano et al., 2019). 반면, 국내에서는 이와 같은 연구가 많지 않으며,

Kim et al. (2010)에 의해 반구형 도화새우통발에 있어서 적정탈출구에 관한 연구와 문어통발의 그물코 크기에 대한 선택성 연구 등 일부 연구가 수행된 바 있다(Shin et al., 2008; Kwon and Kim, 2020).

본 연구에서는 우리나라 동해안 대문어 자원의 관리를 위해 어린 개체 혼획저감을 위한 통발의 탈출장치의 성능에 대해 실험적으로 고찰하였다. 본 연구의 결과로 대문어 자원의 효율적 관리와 지속가능한 통발어업 실현에 기여하고자 하였다.

재료 및 방법

본 연구는 그물통발에 있어서 어린 대문어의 혼획저감을 목적으로, 크기가 다른 5종류의 원형 탈출링(Escape ring)에 대해 탈출하는 대문어의 크기 조성을 알아보기 위하여 수조실험을 수행하였다.

실험통발

대문어의 탈출링의 크기에 따른 탈출행동 실험은 실험수조 주변의 움직임에 의한 대상개체의 스트레스와 통발에 있어서 그물코의 영향을 배제하기 위하여 물이 충분히 여과될 수 있는 반구형의 플라스틱(Poly propylene 재질) 용기에 탈출링을 장착하여 사용하였다. 플라스틱 용기는 직경 60.0 cm, 높이 19.5 cm로 두 개를 상하로 결합하여 사용하였으며, 현장에서 문어 어획에 사용하는 원통형 통발에 비해 부피가 약 80% 정도였다. 탈출링은 밑면으로부터 약 4 cm 높이에 케이블타이로 고정하고 충분히 실험개체의 발이 빠져나갈 수 있는 공간을 확보하였다. 실험에 사용한 실험통발은 Fig. 1에 나타내었다.

실험에 사용한 탈출링은 스테인레스 재질의 굵기 ϕ 5 mm, 원형으로 링의 내경(內徑)은 25 mm, 30 mm, 40



Fig. 1. Experimental basket for escape ring performance of giant octopus used in tank experiments.

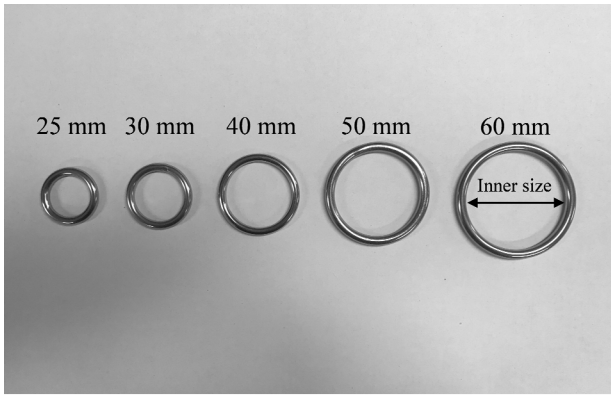


Fig. 2. Escape rings for escape experiments of giant octopus used in tank experiments.

mm, 50 mm, 60 mm로 5가지의 크기를 사용하여 실험하였다. 실험에 사용한 탈출링은 Fig. 2에 나타내었다.

실험장치 및 방법

탈출행동 실험은 2021년 5~12월 동해수산연구소 양식기술지원센터의 순환여과식 사각수조 (300 cm × 120 cm × 60 cm, L×H×D)에서 수행하였으며, 실험수조의 수온은 13~15℃ 범위였다. 실험수조의 규모는 Fig. 3에 나타내었다.

실험은 실험개체가 입수될 때마다 수행하였으며, 입수된 개체는 약 1주일 정도 동일 수조에서 순응한 후 실험에 사용하였다. 실험에 사용된 모든 실험개체의 제원은 Table 1에 나타내었다.

실험에 사용한 대문어는 경북 울진 후포의 연안통발에 어획된 개체를 사용하였으며, 체중 400 g 전후에서

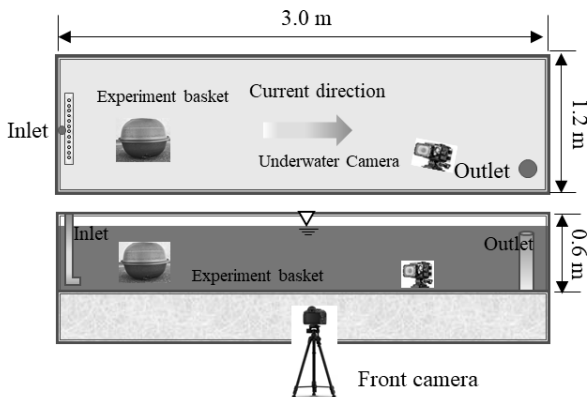


Fig. 3. Schematics of experimental tank for escape behavior test of giant octopus.

Table 1. The size and escape ring size between mantle diameter rate of experimental giant octopus

No.	Body weight (g)	Mantle diameter (mm)	Mantle length (cm)	Ring diameter (mm)	Ring size /Mantle diameter (R/MD)
1	406	52.17	9.67	30	0.575
2	492	56.97	10.56	30	0.527
3	553	59.88	11.10	30	0.501
4	592	61.58	11.42	40	0.650
5	670	64.67	11.99	40	0.619
6	682	65.11	12.07	40	0.614
7	720	66.46	12.32	40	0.602
8	730	66.81	12.38	40	0.599
9	745	67.32	12.48	40	0.594
10	749	67.45	12.50	40	0.593
11	777	68.37	12.67	40	0.585
12	870	71.19	13.20	40	0.562
13	883	71.56	13.26	40	0.559
14	930	72.85	13.50	40	0.549
15	948	73.33	13.59	40	0.545
16	990	74.41	13.79	40	0.538
17	1,209	79.39	14.72	50	0.630
18	1,599	86.37	16.01	50	0.579
19	1,741	88.49	16.40	50	0.565
20	2,480	97.32	18.04	50	0.514
21	2,160	93.87	17.40	50	0.533
22	2,652	98.99	18.35	60	0.606
23	3,441	105.49	19.55	60	0.569
24	3,622	106.77	19.79	60	0.562
25	4,033	109.45	20.29	60	0.548
26	4,590	112.67	20.89	60	0.533
27	4,732	113.43	21.03	60	0.529
28	5,120	115.40	21.39	None	
				Average (R/MD)	0.570

5,000 g 전후로 총 28개체를 사용하여 실험하였다. 또한, 실험개체의 외투장과 외투직경은 이전 연구결과 (Nagano et al., 2019)에 의해, 체중(*W*, g)과 외투장(*ML*, cm)의 관계 식 (1)과 외투장과 외투직경(*MD*, mm)의 관계 식 (2)를 사용하여 환산하여 나타내었다.

$$ML(cm) = 4.624 \times \ln(W) - 18.102 \quad (1)$$

$$MD(mm) = \frac{(78.37 \times \ln(W) - 306.81)}{\pi} \quad (2)$$

실험은 순응시킨 개체를 실험통발에 투입한 후 덮개를 고정하고 수조내에 침지시킴과 동시에 시작하였으며, 탈출링을 통해 탈출여부를 명확히 확인하기 위해 침지시간은 2일간으로 하였으며, 2일이 되는 시점에서 탈출 가부를 판단하였다. 실험기간동안 실험실은 15 W 주광색 LED 등 1개를 연속적으로 점등한 상태에서 실험하였다. 이전의 연구결과에 의하면 대문어는 파장이 480 nm에서 시감도가 최대가 되며, 적색광에서는 시감도가 낮은 것으로 알려져 있다(Nagano et al., 2019). 본 연구에서는 암조건과 명조건에 따른 시감도는 고려하지 않고, 침지기간동안 동일 조도의 조건을 유지하여 탈출 확률을 높였다. 또한, 실험이 끝난 후에는 2~3일 별도로 순응을 시킨 후 재실험에 사용하였으며, 5가지 탈출링에 대한 실험을 각각 수행하였다.

실험자료의 분석은 실험개체의 외투직경(MD)와 사용한 탈출링의 내경(R)의 비(R/MD), 체중(W)를 요인으로 하여 통계소프트웨어(SPSS, PAWStatistics 18, USA)를 사용해서 일반화 선형모델(GLM, Generalized linear model)에 의한 Logistic 회귀분석을 수행하고, 체중과 탈출가능한 링 크기의 관계식을 구하였다.

결과 및 고찰

어린 대문어 혼획저감을 위해 원형 탈출구의 직경 변화에 따른 대문어 탈출 행동실험을 수조에서 수행하였으며, 그 결과, 과거 수산자원관리법 시행령 상 대문어의 포획금지체중인 400 g과 유사한 406 g의 개체는 직경 30 mm 이상의 탈출링에서 탈출하는 것으로 나타났으며, 현재 포획금지체중 600 g과 유사한 체중인 592 g 개체는 직경 40 mm 이상의 탈출링에서 탈출하는 것으로 나타났다. 또한 체중이 상대적으로 큰 1,209 g의 개체는 50 mm 이상, 실험개체 중 상대적으로 큰 개체인 2,652~4,732 g 사이의 개체들은 직경 60 mm 탈출링에서 모두 탈출하는 것으로 나타났으며, 5,120 g 개체는 직경 60 mm 탈출링을 통과하지 못하였다. 각각의 실험 개체에 대해 탈출링 직경 변화에 따른 탈출행동 실험결과는 Table 2에 나타내었다.

한편, 그물코의 내경 35 mm는 그물코 내주(內週)가 그물코 내경의 2배로 약 70 mm이고, 원의 직경으로 환산하면 약 22 mm임을 알 수 있다. 본 실험의 결과에서, 가장 작은 체중인 406 g 개체는 직경 25 mm 원형 탈출

Table 2. Results of escape experiments for giant octopus in accordance with five different escape ring diameters

No.	Body weight (g)	Escape ring diameter (inner size, mm)				
		25	30	40	50	60
1	406	0 ¹⁾	1 ²⁾	1	1	1
2	492	0	1	1	1	1
3	553	0	1	1	1	1
4	592	0	0	1	1	1
5	670	0	0	1	1	1
6	682	0	0	1	1	1
7	720	0	0	1	1	1
8	730	0	0	1	1	1
9	745	0	0	1	1	1
10	749	0	0	1	1	1
11	777	0	0	1	1	1
12	870	0	0	1	1	1
13	883	0	0	1	1	1
14	930	0	0	1	1	1
15	948	0	0	1	1	1
16	990	0	0	1	1	1
17	1,209	0	0	0	1	1
18	1,599	0	0	0	1	1
19	1,741	0	0	0	1	1
20	2,480	0	0	0	1	1
21	2,160	0	0	0	1	1
22	2,652	0	0	0	0	1
23	3,441	0	0	0	0	1
24	3,622	0	0	0	0	1
25	4,033	0	0	0	0	1
26	4,590	0	0	0	0	1
27	4,732	0	0	0	0	1
28	5,120	0	0	0	0	0

¹⁾Not escaped; ²⁾Escaped.

구, 즉 원주로부터 그물코 내경으로 환산하면 39 mm가 되며, 그물코 크기로 환산하였을 때 39 mm 그물코는 탈출하지 못하는 것으로 추측할 수 있다.

수조실험에서 대문어는 실험시작 직후부터 1일 이내에 탈출하는 개체가 대부분이었지만 탈출시간이 그 이상 걸리는 개체도 있었다. 그중에서는 체중에 비해 탈출링의 크기가 충분히 큼에도 불구하고 탈출하기까지 장시간 소요된 경우도 있었으며, 이는 수조실험에 의한 활동성 저하, 실험통발 내에서 순응, 환경변화에 대한 스트레스 등의 원인으로 행동의 저하가 일어났기 때문으로 판단된다.

실험개체의 탈출과정은 처음 촉수가 있는 다리 하나를 먼저 탈출구로 내밀어 탈출가능성을 타진하고, 순차

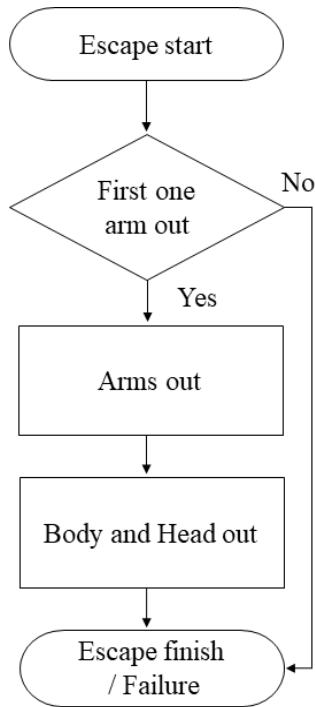


Fig. 4. Escape behavior procedure of giant octopus on escape rings.

적으로 다리를 뺀 후 몸통이 빠져나가고, 마지막으로 머리가 빠져나가 완전히 탈출하는 과정을 보였다. 여기서 첫 번째 다리를 내밀어 탈출공간에 대해 판단을 하고, 두 번째 다리를 내밀 때 탈출공간이 확보되지 않으면 바로 탈출을 포기하고, 모든 발을 되돌려 탈출 시도를 종료하는 형태를 대부분 나타내었다(Fig. 4).

실험개체의 외투직경(MD)과 사용한 탈출링 내경(R)의 비(R/MD)와 탈출률에 대한 상관관계를 알아보기 위하여 일반화 선형모델(GLM, Generalized linear model)에 의한 Logistic 회귀분석을 수행한 결과 $p < 0.05$ 보다 작았으며, R/MD 비와 탈출률에는 유의한 상관관계를 가지고 있음을 알 수 있었으며, R/MD 비가 커질수록 탈출률도 커지는 것을 알 수 있었다. 이러한 결과로 탈출링의 크기를 산정할 때 체중을 충분히 고려해야함을 알 수 있었다. 일반화 선형모델에 의한 Logistic 회귀분석 결과는 Fig. 5에 나타내었다. 회귀분석 결과, 탈출률과 R/MD의 상관관계식은 식 (3)과 같이 나타났다.

$$\ln(p_i) = -19.282 + 38.545 \frac{R}{MD} \quad (3)$$

여기에서 p_i 는 탈출률을 나타내며, R은 탈출링의 직경, MD는 대문어의 외투장 최대직경을 나타낸다.

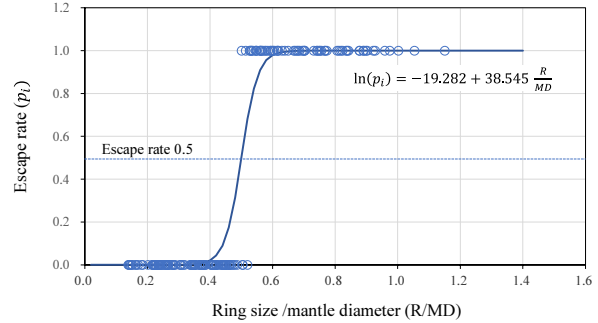


Fig. 5. Logistic regression curve by generalized liner model (GLM) used in SPSS software.

로지스틱 회귀분석 결과에서, 50% 탈출률을 나타내는 R/MD 값은 0.520으로 나타났으며, 포획금지체중 600 g과 유사한 실험개체 592 g 대문어가 50% 탈출할 수 있는 탈출링의 크기는 약 32 mm로 추정할 수 있다. 또한 그물코 크기로 환산하면 약 50 mm로 추정할 수 있다. 본 실험의 결과에서는 대상 개체에 대해 탈출링의 탈출과 미탈출로 결과가 명확히 이분화 되어, 회귀분석에서 최대우도값의 추정 등에 영향이 있었다. 그러나 본 연구에서는 탈출링의 직경과 대문어의 탈출 가능한 크기를 실험적으로 고찰하였으며, 유의한 상관관계가 있음을 알 수 있었다.

통발에 있어서 탈출링과 같은 탈출장치의 효율성에 대해서는 실질적으로 그물코의 크기와 비교할 때 어느 쪽이 효율적인지에 대해서 면밀한 검토가 필요하다. 또한, 탈출장치의 경우 통발에 설치되는 개수에 따라서 그 성능과 효율성이 달라지므로, 현장실험과 다양 정량적인 어획성능 실험이 수반되어야 할 것으로 사료된다.

특히, 문어류는 습성상 구멍이나 틈새를 잘 빠져나가므로, 그물코 크기 혹은 탈출링의 크기 변화에 따라 어획되는 개체의 크기변화에 영향이 크게 작용할 것으로 판단된다. 따라서 대문어 뿐만 아니라 문어류 자원의 효율적인 관리와 통발어업의 적정 관리를 위해 생태적인 특성의 구멍과 더불어 현행 그물코 규정에 대해 면밀히 검토가 필요할 것으로 사료되며, 대문어의 포획금지체중의 상향조정에 따른 어구의 개선에 대한 연구 또한 반드시 수반되어야 할 것으로 판단된다.

결론

본 연구는 그물통발에 있어서 어린 대문어의 혼획저감을 목적으로, 크기가 다른 5종류의 원형 탈출링 (escape ring)에 대해 탈출하는 대문어의 크기 조성을 알아보기 위하여 수조실험을 수행하였다. 실험결과, 가장 소형인 체중 406 g의 개체는 직경 30 mm 이상의 탈출링에서 탈출하는 것으로 나타났으며, 현재 포획금지 체중 600 g과 유사한 체중인 592 g 개체는 직경 40 mm 이상의 탈출링에서 탈출하는 것으로 나타났다. 체중 406 g 개체는 직경 25 mm 원형 탈출구, 즉 원주로부터 그물코 내경으로 환산하면 39 mm가 되며, 환산한 그물코 크기 39 mm는 탈출하지 못하는 것으로 추측할 수 있다. 실험개체의 외투직경(MD)과 사용한 탈출링 내경(R)의 비(R/MD)와 탈출률에 대한 상관관계를 알아보기 위하여 일반화 선형모델(GLM, Generalized linear model)에 의한 Logistic 회귀분석을 수행한 결과 $p < 0.05$ 보다 작았으며, R/MD 비와 탈출률에는 유의한 상관관계를 가지고 있음을 알 수 있었으며, R/MD 비가 커질수록 탈출률도 커지는 것을 알 수 있었다. 로지스틱 회귀분석 결과에서, 50% 탈출률을 나타내는 R/MD 값은 0.520으로 나타났으며, 포획금지체중 600 g과 유사한 실험개체 592 g 대문어가 50% 탈출할 수 있는 탈출링의 크기는 약 32 mm로 추정할 수 있다. 또한 그물코 크기로 환산하면 약 50 mm로 추정할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 탈출링의 직경과 대문어의 탈출 가능한 크기를 실험적으로 고찰하였으며, 유의한 상관관계가 있음을 알 수 있었다.

사사

본 논문은 부경대학교 자율창의학술연구비(2021년, CD2021797)에 의하여 연구되었음.

References

Bain Jr. 1967. Investigations into the effectiveness of escape gaps in crayfish traps. New Zealand Marine. Department of Fisheries Tech Rept 17, Wellington, New Zealand, 1-20.

Crous HB. 1976. A comparison of the efficiency of escape gaps and deck grid sorters for the selection of legal-sized rock lobsters, *Jasus lalandii*. Fish Bull S Africa 8, 5-12.

Everson AR, RA Skillman and JJ Polovina. 1992. Evaluation of rectangular and circular escape vents in the

northwestern Hawaii Islands lobster fishery. N Amer J Fish Manag 12, 161-171.

Fisheries information portal service (FIPS). 2022. Fishery production survey. Retrieved from <https://www.fips.go.kr/p/S020304/#> on 2014 to 2021. Accessed 5 Jul 2022.

Fogarty MJ and DVD Borden. 1980. Effects of trap venting on gear selectivity in the inshore island American lobster, *Homarus americanus* fishery. Fish Bull 77, 925-933.

Fukuda T and Yamashita Y. 1978. Study on *Otopus dofleini* in the La Perouse Strait and the waters off Rirei. Journal of Hokkaido Fisheries Experimental Station 35, 1-16.

Fukuda T. 1990. Ecology of *Otopus dofleini* and the effects of artificial reefs. Monthly report of Japan Fisheries Resources Conservation Association No. 318, 8-16.

Fukuda T. 1995. Ecology of *Octopus dofleini* in the Tsugaru Strait. The aquaculture No. 271, 2-15.

Kim S, Lee JH, Kim HS and Park SW. 2010. Optimal design of escape vent for the dome type coonstrip shrimp (*Pandalus hypsinotus*) pot. J Kor Soc Fish Tech 46, 115-125. <https://doi.org/10.3796/KSFT.2010.46.2.115>.

Kwon IY and Kim TH. 2021. Entering behavior and fishing capacity on pot for *Octopus minor* by mesh size. J Korean Soc Fish Ocean Technol 57, 185-193. <https://doi.org/10.3796/KSFOT.2021.57.3.185>.

Lee SI, Yang JH, Lee HW, Kim JB and Cha HK. 2014. Maturity and spawning of the giant Pacific octopus, *Octopus dofleini* in the coast of Gangwondo, East Sea. J Kor Soc Fish Tech 50, 154-161. <https://doi.org/10.3796/KSFT.2014.50.2.154>.

Nagano K, Miura T and Sakurai Y. 2019. Escape openings reduce the catch of small north pacific giant octopus, *Enteroctopus dofleini* from fishing basket, aomori, Japan. Fisheries Engineering 56, 27-33.

Shin JK, Cha BJ, Park HH, Cho SK, Kim HY, Jeong EC, Kim YH and Kim BY. 2008. Comparison of fishing efficiency on octopus traps to reduce bycatch in the East Sea. J Kor Soc Fish Tech 44, 1-9. <https://doi.org/10.3796/KSFT.2008.44.1.007>.

2022. 07. 05 Received

2022. 07. 22 Revised

2022. 07. 29 Accepted