

동해안 대문어(*Enteroctopus dofleini*)의 문어상자 행동 실험

김병관 · 서영일 · 정성재¹ · 양재형*

국립수산과학원 동해수산연구소 연구원, ¹국립수산과학원 남해수산연구소 연구원

Behavioural experiments of Pacific giant octopus (*Enteroctopus dofleini*) to wooden octopus pot in the tank

Pyungkwan KIM, Youngil SEO, Seong-Jae JEONG¹ and Jaehyeong YANG*

Researcher, East Sea Fisheries Research Institute, National Institute of Fisheries Science, Gangneung 25435, Korea

¹Researcher, South Sea Fisheries Research Institute, National Institute of Fisheries Science, Yeosu 59780, Korea

The Pacific giant octopus (*Enteroctopus dofleini*) is one of the most important species in the East Sea fishery of Korea. The annual production of Pacific giant octopus in 2021 was 3,880 metric ton between Gangwon province and Gyeongsangbuk province. Most of the fishing gears for the octopus fishery were based on behavioral properties such as thigmotaxis and chemotaxis. Wooden octopus box is also one of the fishing gears, which is application of thigmotaxis for the octopus capture in fishing industry. In this study, the tank experiments were designed to examine the behaviour and the effect of surface roughness to the infiltration of the octopus quantitatively. Three different types of octopus boxes were used for the experiments with different surface roughness on the average of 701.6 μm , 141.7 μm and 2.09 μm for each gear. 22 trials were conducted from June to September 2021. The normality of the experiments was tested using Shapiro-Wilk normality test (p -value < 0.05). The significance of results was conducted by Kruskal-Wallis rank sum test (Chi-squared = 21, Degree of freedom = 3, p -value < 0.05). The use of wooden octopus box with rough surface was found to enhance the catch efficiency and observe infiltration behaviour of the octopus frequently.

Keywords: Pacific giant octopus, Wooden octopus box, Spawning ground

서론

우리나라 동해안 대문어는 두족강 문어목, 문어과의 연안 저서종으로 수심 200 m 내외에서 분포하며 산란기에는 수심 50 m 내외의 연안역으로 이동하는 것으로 알려져 있다(Fukuda 1995; Lee et al., 2014). 동해안 대문어 어업은 연안어선을 중심으로 연안복합과 연안통발

어업의 형태로 이루어지고 있다. 동해안 문어류 어업생 산량은 2021년 현재 3,880 톤이다. 하지만, 전체 문어류의 생산량은 2011년 대비 11.34% 감소하였다(KOSIS, 2022). 이에 대한 대책으로 중앙 정부와 지자체 등은 대문어 어업자원의 적정 수준 유지를 위하여 대문어 산란·서식장 보호구역 지정, 어린 대문어 성장 및 서식처

*Corresponding author: yangjh159@korea.kr, Tel: +82-33-660-8522, Fax: +82-33-661-8513

등 생태정보 수집과 연구를 위한 표지방류 사업 등을 시행하고 있다. 이와 병행하여 대문어 산란장 조성 사업은 산란·서식장 기반 시설마련을 위하여 다양한 형태의 산란초를 이용하고 있다.

하지만 대문어 관련 연구는 성숙과 산란 같은 생태학적 연구를 중심으로 진행되고 있다. 국내외의 대문어 연구는 대문어 통발의 어획성능 연구, 바이오 텔레메트리 기법을 이용한 생태연구, 성(性) 성숙과 관련된 조직학적 연구가 수행되고 있다(Fukuda and Yamashita 1978, Fukuda 1995; Rosa et al., 2004; Barry et al., 2011; Brewer and Norcross 2012; Lee et al., 2014). 그러나 대문어의 행동이나 어구어법적 연구는 문어 외출낚시에 관한 연구가 일부 있으나 그 내용이 제한적인 실정이다(Park et al., 2004; An and Park 2006). 우리나라의 대문어 어구어법은 주성(走性) 등 대문어의 행동특성을 이용하여 문어단지, 통발, 낚시 어구를 중심으로 어업이 이루어지고 있다(Lee 1986; Park et al., 2004). 대문어의 행동 특성 연구는 동해안 대문어 자원의 지속적 이용과 어획과정의 혼획저감, 산란장 조성사업의 효율화, 수산자원회복 사업의 정책효과 증대 등을 위해서 어구·어법적 관점에서 필요한 시점이다.

본 연구에서는 대문어를 대상으로 하는 단지형 어구 중의 하나인 문어상자를 이용하여 어구의 표면 거칠기가 대문어의 잠입행동(어획)에 미치는 영향을 실험적으로 관찰하고 비교·분석하였다. 이러한 연구를 통하여 문어류의 지속적 이용을 위해 산란초 개선, 자원관리형 어구어법 개발과 수산자원관리 방안 모색 등을 위한 기초 자료로 활용하고자 하였다.

재료 및 방법

수조실험

본 연구의 수조실험은 대문어를 대상으로 어구의 표면 거칠기가 다른 3종류의 문어상자를 제작하여 수행하였다. 수조 실험의 문어상자는 일본 북해도 지역 등에서 대문어를 어획하기 위하여 사용하는 목재형 문어단지 어구를 참고하였다. 실험어구는 사각상자 형태로 소나무와 검정색 아크릴을 이용하여 동일한 크기(Width 300 mm X Height 185 mm X Length 420 mm)로 각각 제작하였다. 문어상자의 표면 거칠기는 아크릴 소재와 사포를 이용하여 달리하였다. 실험수조는 내부에 하늘색 타

일이 부착된 콘크리트 수조(Width 1300 mm X Height 630 mm X Length 5500 mm)를 이용하였다. 수조는 입수구가 상단에 위치하고 배수구가 하단에 설치된 유수식 수조로 구성하였다. 실험 수조의 수온은 냉각기(DA-4500CL, Daeil Co., Korea)와 저수조(Reserve tank)를 이용하여 일정하게 유지되도록 구성하였다. 수조 내 수온과 조도는 실험기간 중 로거(Hobo UA-002-64, Onset Computer, U.S.A.)를 이용하여 측정하였다. 실험용 대문어는 강원도 동해시 연안해역에서 외출낚시로 어획된 개체를 구입하여 사용하였다. 대문어의 평균 중량은 1,371 g(중간값 1,360 g)이었다. 대문어는 실험수조와 동일한 크기의 대기 수조에서 10일간 순치 후 실험하였다. 실험에 사용된 대문어의 체중 분포는 Fig. 1과 같다. 실험용 문어상자는 내부에 침강력을 부여하기 위하여 벽돌(1.7 kg)을 넣은 후 실험 수조의 입수구의 상단 부근에 평행하게 설치하였다. 소형 카메라(Hero5 CHDNH-B15,

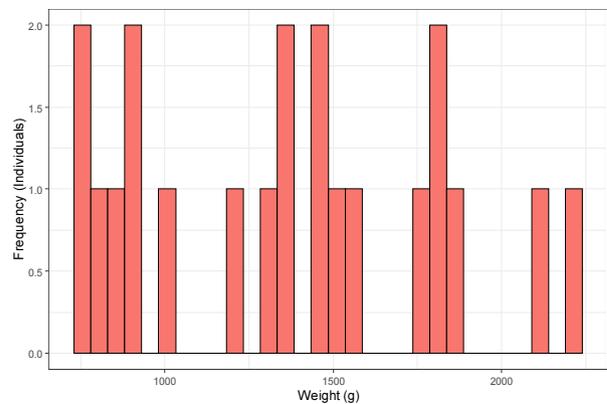


Fig. 1. Weight distribution of the Pacific giant Octopus for experiments.

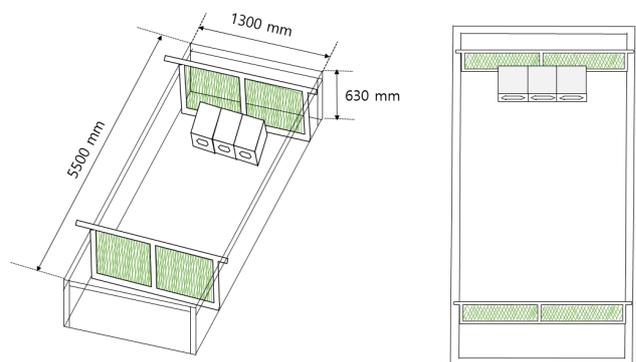


Fig. 2. Schematic drawing for the tank experiment.

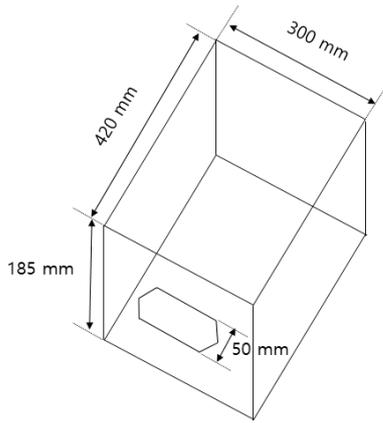


Fig. 3. Drawing of wooden octopus pot for the experiments.

Gopro, Taiwan)는 실험결과 판독 보조 수단으로 활용하기 위해 배수구 부근에 설치하였다. 대문어는 실험수조 중앙에 표시한 지점에서 투입하여 각 실험마다 동일하게 위치시켰다. 대문어의 잠입(어획)여부는 24시간 경과 후 문어상자의 대문어를 확인하고 그 결과를 기록하는 방식으로 독립 시행하였다. 잠입행동(어획)은 문어상자 내 잠입한 경우를 기준으로 하였다. 문어상자 상단에 위치하는 경우나 주변에 위치한 경우 등은 제외하였다.

표면 거칠기 측정

본 연구는 표면 조도계(AR-131A, Amittari, Taiwan)를 이용하여 각 실험어구에 대한 표면 거칠기를 계측하였다. 조도계의 세부 기술사양은 Table 1과 같다. 거칠기 측정은 항온·항습 설비가 된 KOLAS (Korea Laboratory

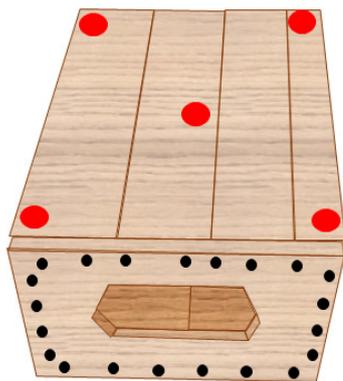


Fig. 4. Basic measuring points of surface roughness of the wooden octopus pot (in red dots).

Table 1. The device specification of surface roughness measurement

Classification	Specification
Range	0 μm ~ 750 μm
Resolution	1 μm
Operating temperature	0 $^{\circ}\text{C}$ ~ 50 $^{\circ}\text{C}$
Relative humidity (R.H.)	< 80% R.H.
Accuracy	\pm 5%

Accreditation Scheme) 실험실에서 동일한 측정 조건(22.2 $^{\circ}\text{C}$, R.H. 51%)으로 각각의 실험어구에 대하여 10회 반복 측정하였다. 측정 실험은 Fig. 4와 같이 각 문어상자 상단의 모서리 4개소와 정 중앙 1개소를 기본으로 측정한 후 나머지 5회는 무작위로 계측점을 선정하여 측정하는 방식으로 수행하였다.

통계 분석

본 연구는 문어상자에 대한 행동 수조실험을 수행하고 그 결과를 Shapiro-Wilk normality test를 이용한 비모수 검정을 시행하였다. 각 실험어구에 대한 잠입률은 Kruskal-Wallis rank sum test를 이용하여 유의성을 비교하였다. 통계 분석은 R 패키지(Version 4.1.2)를 이용하여 수행하였다.

결과 및 고찰

표면 거칠기 측정

실험어구의 표면 거칠기의 측정 결과는 Table 2와 같다. 대조군과 실험군은 계측기의 측정 범위 내에서 모두 측정되었다. 실험에 사용된 문어상자의 거칠기는 최대값이 701.6 μm 이었다. 최소값은 2.09 μm 로 조사되었다.

Table 2. The surface roughness of octopus boxes for the tank experiments

Classification	Surface roughness	Standard Deviation	Remarks
Control	141.7 μm	\pm 21.44	Wood
Treatment 1	2.09 μm	\pm 0.76	Black acrylic
Treatment 2	701.6 μm	\pm 69.36	Wood with sandpaper

수조 실험

대문어의 문어상자에 대한 행동 실험은 2021년 6월부터 9월까지 3종의 표면 거칠기가 다른 실험 어구를 이용하여 수행하였다. 총 22마리의 대문어에 대하여 실험하

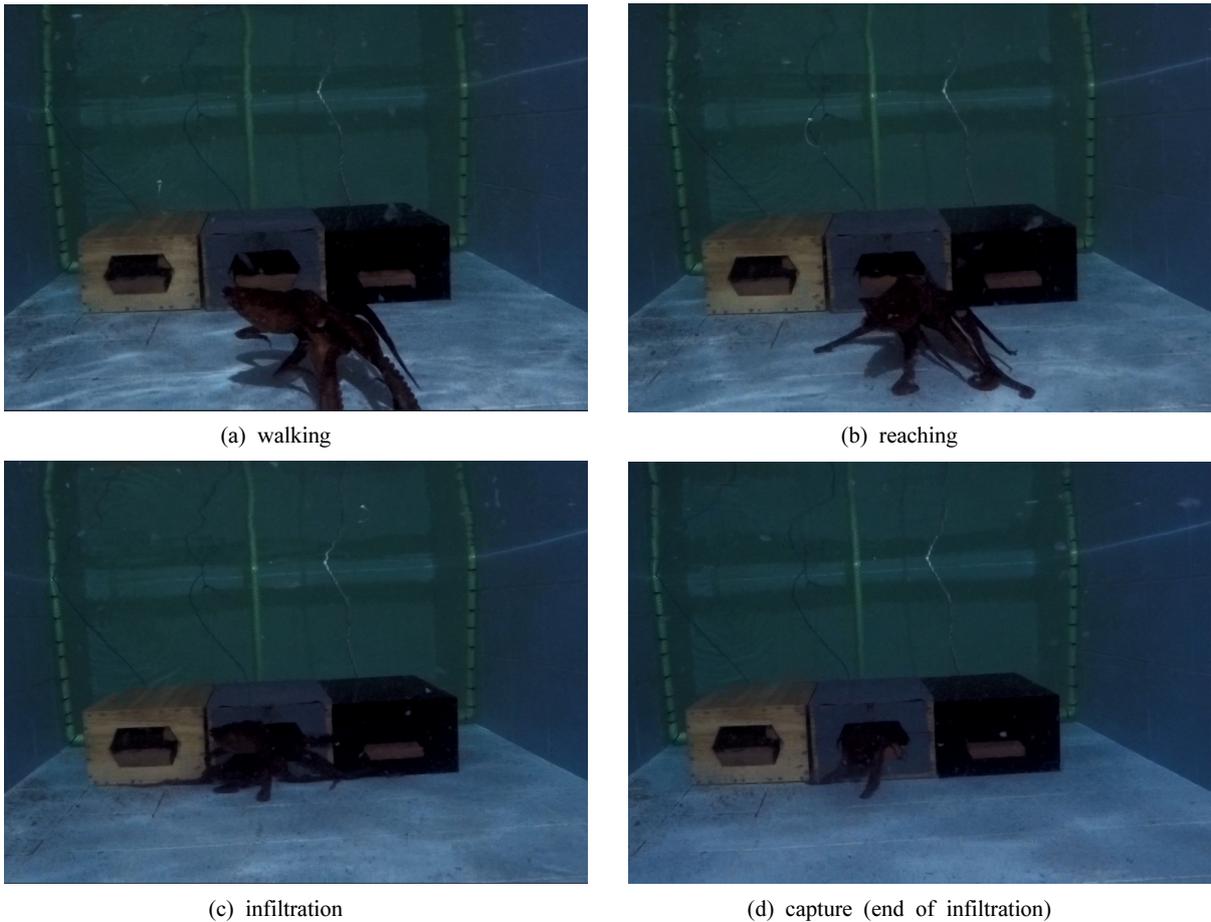


Fig. 5. The infiltration process of Pacific giant octopus into the octopus box in the tank; from (a) to (d).

였고 수조를 탈출하는 등의 결측값을 제외한 총 21개체의 실험결과를 분석하였다. 실험기간 중 수조의 평균 수온은 9.79℃였다. 평균 수중 조도는 0.14 lum/ft²이었다. 대문어 행동 실험결과는 거친 표면의 어구에서 8개체, 대조군 어구에서 3개체, 아크릴 어구에서 2개체가 잠입하였다. 무반응, 수조탈출 등 기타 경우는 8개체로 조사되었다.

수조 실험결과는 Shapiro-Wilk normality test를 이용하여 정규성 검정을 수행하였다(p-value<0.05). 각 군의 차이는 그 결과를 바탕으로 Kruskal-Wallis rank sum test를 이용하여 통계적 유의성을 확인하였다(Chi-squared = 21, Degree of freedom = 3, p-value<0.05). 실험결과는 Fig. 6과 같이 거친 표면의 문어상자에서 대문어의 어획으로 이어지는 잠입 행동이 상대적으로 높았다. 이는 선행 연구로부터 주축성(Thigmotaxis)에 기인한 것으로 추론할 수 있다.

우리 나라 문어류 어업의 어구어법은 통발, 외줄낚시, 문어단지 등을 주로 이용한다. 이들 어법의 기본 원리는 미끼 등에 의한 주축성(Chemotaxis)과 동물의 행동 중 접촉하려는 주성인 주축성을 기반으로 한다(Lee 1986). 선행 연구에서 문어단지와 문어상자는 문어가 암초 등에 흡착하는 주축성에 기반한다(Wells, 1962; Carlisle et al., 1964). 산란초(産卵礁)에 대한 문어단지의 입초량은 단지의 종류에 따른 차이가 있는 것으로 알려져 있다(Carlisle et al., 1964; Lee 1986). Wells (1962)의 문어 학습 실험결과는 접촉 자극에 의하여 재질의 차이를 판별할 수 있으나 무게, 크기, 형태 등의 차이는 판별할 수 없는 것으로 보고하였다. 수조 내 문어상자의 잠입 행동은 이로부터 그 어획 메커니즘을 추정할 수 있다.

현재의 수조실험은 그 결과만으로 주성이 문어의 잠입이나 어획이 어떻게 작용하였는지에 대한 설명은 명확하지 않다. 하지만, 선행 연구결과로부터 표면의 거칠

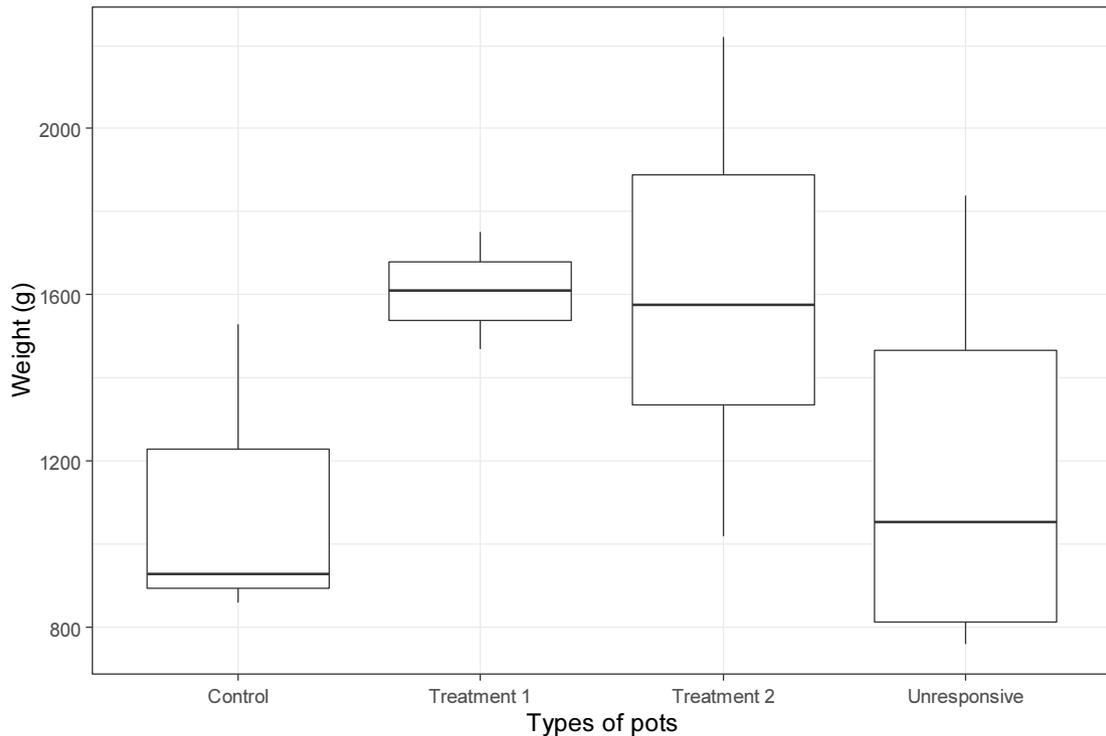


Fig. 6. Box plot of the octopus weight in accordance with the tank test results.

기가 직접적으로 또는 간접적으로 대상 생물을 유인하여 어획되도록 영향을 미친 것으로 추론할 수 있다. 통발 어구의 경우, 어획은 대상 어업생물의 밀도, 미끼의 종류와 특성, 침지 시간, 어기, 어구의 형태, 어장환경 등 다양한 조건들에 따라 영향을 받는 것으로 알려져 있다(Winger and Walsh, 2007; 2011; Tran et al., 2020). 문어상자와 같은 단지류의 어구도 미끼를 제외한 주성의 관점에서 어로 과정은 통발어구와 유사하다. 본 연구의 수조실험은 대문어를 이용하여 제한된 조건 하에서 표면 거칠기 구성에 따른 잠입행동(어획)을 간접적으로 추정하였다. 수조실험은 특정 인자 또는 환경적 요인에 따라 과소 또는 과대 평가될 수 있다. 그러나 어획 인자의 관점에서 수조실험의 결과는 선행 연구결과와 유사하였다. 본 연구는 문어상자에서 거친 표면이 대문어의 어획을 증가시킬 수 있다는 것을 보여준다. 하지만, 추가적인 연구를 통하여 거칠기에 대한 임계치 등의 연구는 산란장 조성을 위한 산란초 개선, 문어단지 등의 어획성능 개선, 혼획저감 연구 등에 활용할 수 있을 것이다.

결론

본 연구는 대문어를 대상으로 하는 어구어법의 하나인 문어상자를 이용하여 표면 거칠기에 대한 선택작용과 관련된 행동을 수조실험과 통계적 검증을 통하여 표면 거칠기에 따른 잠입 행동 특성을 어구어법적 관점에서 비교·분석하였다.

문어상자에 대한 행동 실험은 표면 거칠기가 다른 3종의 실험어구(어구별 평균 거칠기 701.6 μm , 141.7 μm , 2.09 μm)를 이용하여 어획과정의 행동을 실험하였다. 실험은 대문어 22 개체를 대상으로 수조 내 문어상자에 잠입 여부를 관찰하고 그 결과를 영상과 같이 분석하였다. 실험 결과는 통계적 유의성을 Shapiro-Wilk normality test ($p\text{-value}<0.05$)와 Kruskal-Wallis rank sum test ($p\text{-value}<0.05$)를 이용하여 확인하였다. 대문어는 실험 결과로부터 거친 표면의 문어상자에서 잠입행동이 빈번하다는 것을 확인할 수 있었다. 대문어의 문어상자에 대한 잠입 행동은 표면의 거칠기가 영향을 줄 수 있다는 것을 알 수 있었다. 더불어, 대문어의 어구에 대한 선택작용 등의 행동연구는 표면의 거칠기와 대상 개체의 접

축 행동에 대한 고려가 필요할 것으로 생각된다. 이러한 연구를 통하여 대문어의 지속적 이용을 위한 산란초 기반 산란장 조성의 효율화, 정책사업의 경제적 효과 증대, 자원원관리형 어구어법 개선 방안 모색을 위한 기초 자료가 될 수 있을 것이다.

사 사

본 논문은 국립수산물품질관리원 수산과학연구소(R2022035)의 지원에 의해 수행된 연구입니다. 수조실험 및 조사에 협조하여 주신 김난근, 김재철 연구원 등에게도 깊이 감사드립니다. 본 논문의 내용에 대하여 많은 조언을 주신 박창두 박사님과 심사 위원님께서도 감사의 뜻을 전합니다.

References

An YI and Park JY. 2006. Octopus fisheries in the coastal waters of Gangneung II, J Kor Soc Fish Tech 42, 78-85. <https://doi.org/10.3796/KSFT.2006.42.2.078>

Barry PD, Tamone SL and Tallmon DA. 2011. A comparison of tagging methodology for North Pacific giant octopus *Enteroctopus dofleini*. Fish Res 109, 370-372. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2011.02.011>.

Brewer RS and Norcross BL. 2012. Long-term retention of internal elastomer tags in a wild population of North Pacific giant octopus (*Enteroctopus dofleini*). Fish Res 134, 17-20. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2012.07.020>.

Carlisle JG, Turner CH and Ebert EE. 1964. Artificial habitat in the marine environment. Resources Agency of California, Department of Fish and Game. Fish bulletin 124 124, 90.

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

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

Korean Statistical Information Service (KOSIS), 2022. Korean

statistical information service, Fishery production survey. Retrieved form https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=101&tblId=DT_1EW0005&conn_path=I3 on 2011 to 2021. Accessed 19 Jul 2022.

Park SW, Lee JW, Yang YS and Seo DO. 2004. A study on behaviour of giant Pacific Octopus, *Parotopus dofleini* to single line hook for hook design. J Kor Soc Fish Tech 40, 1-8. <https://doi.org/10.3796/ksft.2004.40.1.001>.

Lee BG. 1986. Introduction of fishing methology, Taehwa press, Busan, Korea, 30-95.

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>.

Rosa R, Costa PR and Nunes ML. 2004. Effect of sexual maturation on the tissue biochemical composition of *Octopus vulgaris* and *O. defilippi* (Mollusca: Cephalopoda). Mar Biol 145, 563-574. <https://doi.org/10.1007/s00227-004-1340-8>.

Tran PD, Nguyen LT, To PV and Nguyen KQ. 2020. Effects of the trap entrance designs on the catch efficiency of swimming crab (*Charybdis feriata*) fishery. Fish Res 232, 105730. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2020.105730>.

Wells MJ. 1962. Brain and behaviour in cephalopods. Stanford University Press. Standford, U.S.A., 100-171.

Winger PD and Walsh PJ. 2007. The feasibility of escape mechanisms in conical snow crab traps. ICES Jor of Mar Sci 64, 1587-1591. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsm125>.

Winger PD and Walsh PJ. 2011. Selectivity, efficiency, and underwater observations of modified trap designs for the snow crab (*Chionoecetes opilio*) fishery in Newfoundland and Labrador. Fish Res 109, 107-113. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2011.01.025>.

2022. 07. 22 Received

2022. 08. 10 Revised

2022. 08. 19 Accepted