

과학어군탐지기를 이용한 노무라입깃해파리(*Nemopilema nomurai*)의 분포 밀도 추정

오선영 · 김경연¹ · 윤석현¹ · 이사라 · 박근창 · 오우석² · 이경훈^{3*}

부경대학교 수산물리학과 학생, ¹국립수산과학원 기후변화연구과 연구원, ²부경대학교 저탄소해양생산기술연구소 연구원, ³부경대학교 해양생산시스템관리학부 교수

Density estimation of giant jellyfish (*Nemopilema nomurai*) using a scientific echosounder

Sunyoung OH, Kyoung-Yeon KIM¹, Seok-Hyun YOUN¹, Sara LEE, Geunchang PARK, Wooseok OH² and
Kyounghoon LEE^{3*}

Student, Department of Fisheries Physics, Pukyong National University, Busan 48513, Korea

¹Researcher, Oceanic Climate and Ecology Research Division, National Institute of Fisheries Science, Busan 46083, Korea

²Scientist, Institute of Low-Carbon Marine Production Technology, Pukyong National University, Busan 48513, Korea

³Professor, Division of Marine Production System Management, Pukyong National University, Busan 48513, Korea

In this study, we estimated the distribution density of giant jellyfish in coastal waters of Korea in 2023 and compared the occurrence of giant jellyfish over four years. In May, the giant jellyfish were mainly distributed in the waters of the Yangtze River outflow, and in July, they were highly distributed in the west of Jeju Island and near the south coast of Korea. In addition, when comparing the distribution densities of giant jellyfish in Korea over four years, both acoustic and sighting surveys showed that the highest density of jellyfish occurred in 2021.

Keywords: Giant jellyfish, Acoustic survey, Sighting survey, Distribution density

서론

지구온난화는 해수면의 수온 상승 및 폭우, 태풍 등 각종 기후 변화를 초래하고 다양한 아열대 해역에 분포하는 유해해양생물이 유입되고 있으며, 이로 인한 해양

생물 다양성의 감소와 생태계의 불균형에 영향을 미치고 있다. 국내에서 유해해양생물로 지정된 종은 17종이며, 그 가운데 노무라입깃해파리는 강독성을 가지고 있는 대형 종이다. 노무라입깃해파리는 90%가 물로 이루어

Received 19 October 2023; Revised 27 November 2023; Accepted 28 November 2023

*Corresponding author: klee71@pknu.ac.kr, Tel: +82-51-629-5889, Fax: +82-51-629-5886

Copyright © 2024 The Korean Society of Fisheries and Ocean Technology

어져 있고, 우산 직경이 약 2 m, 무게는 약 200 kg까지 성장하는 해파리로 알려져 있다(Kawahara et al., 2006; Kitajima et al., 2020). 2000년대에 들어서면서 대형 종인 노무라입깃해파리가 동중국해역을 통해 우리나라와 일본 연안으로 대량으로 유입되면서 막대한 피해를 입히고 있다(Kim et al., 2014).

동중국해역은 우리나라로 유입되는 노무라입깃해파리가 이동하는 주요 경로로 알려져 있으며, 인근에 위치한 양자강은 주요 번식지로 알려져 있다(Sun et al., 2015). 동중국해역에서 노무라입깃해파리가 대량으로 발생하여 우리나라 인근 해역에 유입되게 되면 피해 유형은 여러 가지가 있다. 먼저, 그물에 어획된 어류와 함께 어획되게 되면 어류의 신선도를 저하시키고, 어구를 파손하는 등 어로행위를 하는 어업인들에게 경제적인 피해를 주게된다. 또한, 해수욕을 즐기는 해수욕객들에게 쏘임 사고를 일으키는 등 사회적으로도 피해를 주게 된다(Karawara et al., 2006; Yoon et al., 2012b; Kitajima et al., 2020).

따라서, 이러한 문제를 해결하기 위해서는 동중국해역에서 초기 발생하는 대형 해파리의 출현량과 우리나라 연안으로 유입되는 해파리의 출현량을 파악하는 것이 중요하다. 현재, 노무라입깃해파리의 분포를 파악하기 위해 주로 목시조사와 어구를 이용한 채집조사 등을 이용하여 밀도 및 현존량을 파악하고 있다(Yoon et al., 2012a). 이러한 조사방법들은 조사할 수 있는 영역이 한

정되어 있어 전 수층을 유효하는 노무라입깃해파리의 정확한 분포량을 파악하기는 어렵다(Lee et al., 2007; Uye, 2008; Oh et al., 2021). 이러한 단점을 보완하기 위하여 음향조사 방법을 이용할 수 있다. 음향조사는 전 수층에 대한 정보를 짧은 시간 안에 넓은 해역을 파악할 수 있고 정량적인 분포량을 파악할 수 있어 전 세계에서 널리 사용되고 있다(Yoon et al., 2010; Drastik et al., 2017).

따라서, 본 연구에서는 음향조사와 목시조사를 이용하여 4년간 봄철 노무라입깃해파리의 주요 이동 경로인 동중국해역을 통해 유입되는 대형 해파리의 분포량과 여름철 우리나라에 유입된 대형 해파리의 유입량을 파악하였고, 연도별 대형 해파리의 변동량을 비교하고 분석하였다.

재료 및 방법

조사 해역

본 연구에서는 2020년부터 2023년까지 5월과 7월에 국립수산과학원 조사선 탐구21호(R/V, 999G/T)를 이용하여 음향조사와 목시조사를 병행하여 해파리의 이동 경로로 추정되는 동중국해역과 여름철 우리나라 연근해역 주변에 출현하는 대형 해파리의 분포를 파악하였다(Fig. 1). 한편, 동중국해역에서 음향조사는 2023년 5월 24일부터 6월 1일까지 조사를 수행하였고, 연근해역에서 음향조사는 2023년 7월 4일부터 14일까지 조사를 수행하였다.

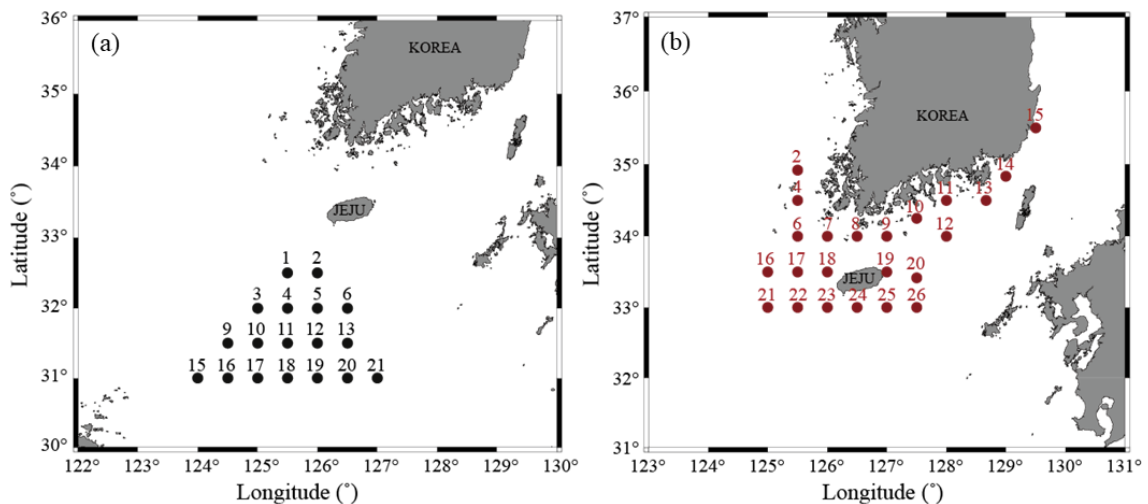


Fig. 1. Survey area; (a) East China sea, (b) Coastal waters in Korea.

음향조사 및 자료 분석

음향조사 시스템은 탐구21호 선저에 부착되어있는 Split beam 방식의 과학어군탐지기(EK80, Kongsberg Maritime, Norway)의 주파수 38, 70, 120, 200, 333 kHz 에 대한 음향자료를 수집하였다. 현장에서 수집한 음향 자료는 펄스폭 0.256 ms로 설정하였고, 핑 간격은 최대 로 설정하여 음향자료를 수집하였다.

음향자료 분석

현장에서 수집된 음향자료를 분석하기 위하여 실험실 로 복귀한 후, 음향분석 후처리 소프트웨어(Echoview V 8.0, Echoview Software Pty Std, Australia)를 이용하여 분석하였다. 현장에서 수집된 음향자료에는 각종 음향잡음이 함께 수집된다. 음향자료와 함께 수집된 음향 잡음은 임펄스 잡음으로, 이것은 주변 선박이나 조사선에 설치된 음향 장비로 인하여 발생하는 잡음이다. 임펄스 잡음은 주변의 신호들보다 높은 강도를 나타내고 불규칙적이고 특정한 간격을 나타내는 특징을 가지고 있다. 해파리의 에코 신호를 추출하기 전에 먼저 수집된 잡음을 제거하였고, 38과 120 kHz를 이용하여 해파리의 에코 신호를 추출하였다.

또한, 대형 해파리를 식별하기 위한 음향후방산란강도는 선행 연구인 Hirose et al. (2007)에서 제시된 값을 인용하였다. 음향후방산란강도 값은 $TS_{38kHz} = 5.94\log(D) - 72.86$, $TS_{120kHz} = 21.23\log(D) - 86.00$ 을 적용하였으며, 이에 따른 주파수차 범위는 Table 1에 나타내었다.

음향을 이용하여 대형 해파리를 식별하기 위하여 음향계수법을 이용하였다. 음향계수법은 에코그램 상에서 나타난 해파리의 에코 신호를 Single target detection 방법을 이용하여 계수하는 방법으로, 생물이 흩어져 분포하는 경우 각각의 개체어로부터 반사되어 되돌아오는 에코 신호는 서로 분리되어 수신된다. 먼저, 주파수차법을 이용하여 해파리 신호로 추정되는 신호를 추출하고 그 외의 신호를 잡음으로 판단하여 제거한 후, Single

Table 1. dB-difference applied to acoustics analysis

		$\Delta MVBS_{120-38}$
May	Min. range	0.67
	Max. range	11.01
July	Min. range	10.08
	Max. range	20.13

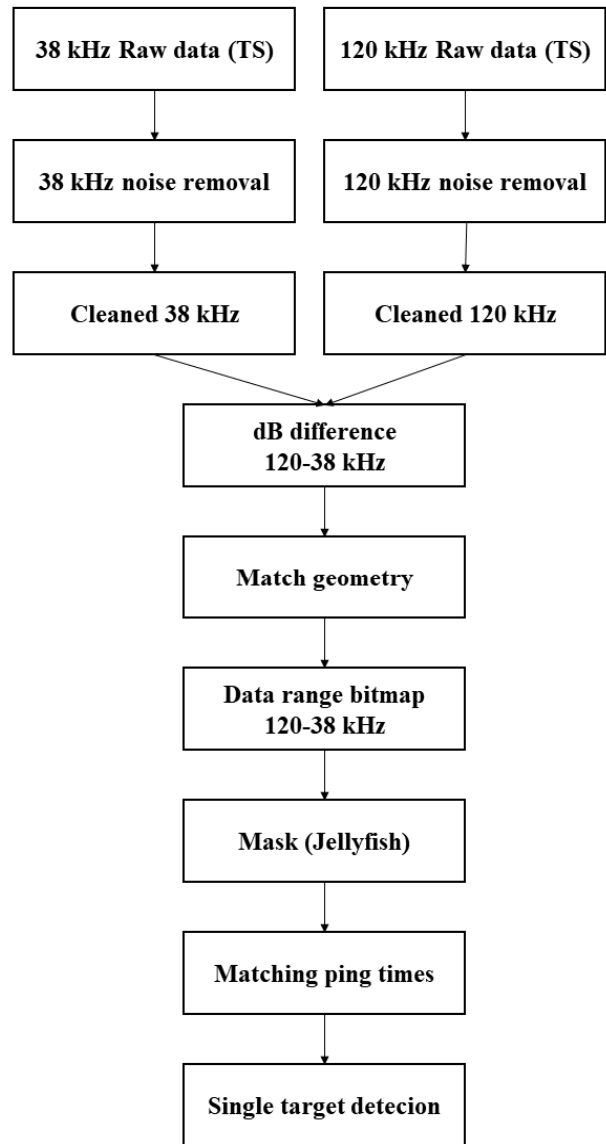


Fig. 2. Flow chart of processing jellyfish identification material using frequencies 38, 120 kHz to apply the single target detection method.

Table 2. Setting parameters to use the single target detection method

Parameter	Value
TS threshold (dB)	-65
Pulse length determination level (dB)	6.0
Minimum normalized pulse length (ms)	7.0
Maximum normalized pulse length (ms)	1.5
Maximum beam compensation (dB)	2.0
Minor axis angles (degrees)	0.4
Major axis angles (degrees)	0.4

target detection 방법을 이용하여 추출된 해파리의 에코 신호만을 계수하였다(Fig. 2). 해파리 신호만을 추출하기 위한 파라미터 설정값은 Table 2와 같다.

목시조사

음향조사 방법과 함께 목시조사 방법을 병행하여 조사를 수행하였다. 목시조사 방법은 해당 정점에 도착할 시 30분간 선속 2 knots로 항주하며 선박의 좌현과 우현에서 각 10 m 간격으로 표층에 출현하는 해파리의 개체수를 계수하였다.

저층트롤조사

본 연구에 사용된 음향후방산란강도는 트롤조사를 이용하여 현장에서 채집된 대형 해파리의 크기에 따른 음향후방산란강도를 적용하였다. 5월에는 해파리 전용 채집망을 이용하여 중층에 분포하는 대형 해파리를 채집하였고, 7월에 수행한 정밀조사에서는 저층트롤을 이용하여 해파리의 표본을 채집하였다. 하지만, 2023년에 수행한 정밀조사에서 채집된 대형 해파리의 수는 작년에 비하여 적게 채집되었으며, 7월에는 대형 해파리가 채집되지 않아 2022년 정밀조사 시에 채집된 해파리의 음향후방산란강도를 적용하여 분석하였다.

조사방법별 밀도 분석

음향조사를 이용하여 대형 해파리의 밀도를 파악하기 위하여 조사면적에 대한 탐지 밀도를 식 (1)과 같이 나타내었다. 또한, 목시조사를 이용하여 대형 해파리의 밀도를 파악하는 방법은 선박 양쪽 10 m에 수심 5 m로 설정하여, 조사선에서 이동한 거리를 바탕으로 면적에 대한 출현 밀도를 식 (2)와 같이 나타내었다.

$$\text{Count of Jellyfish's individuals} \div \text{Acoustic survey area (ind./ha)} \tag{1}$$

$$\text{Count of Jellyfish's individuals} \div \text{Trawl survey area (ind./ha)} \tag{2}$$

결과 및 고찰

2023년 5월 동중국해역에서 대형 해파리의 밀도 분포

동중국해 해역에서 과학어군탐지기를 이용하여 측정된 대형 해파리의 분포 밀도는 조사 해역의 서쪽 부근에서 높은 분포 밀도를 나타내었다. 면적에 따른 대형 해파리의 분포 밀도는 조사 해역의 정점 16번에서 14.2 (ind./ha)로 가장 높은 분포 밀도를 나타내었으며, 제주도 인근 해역인 정점 1번에서 0.6 (ind./ha)로 가장 낮은 분포 밀도를

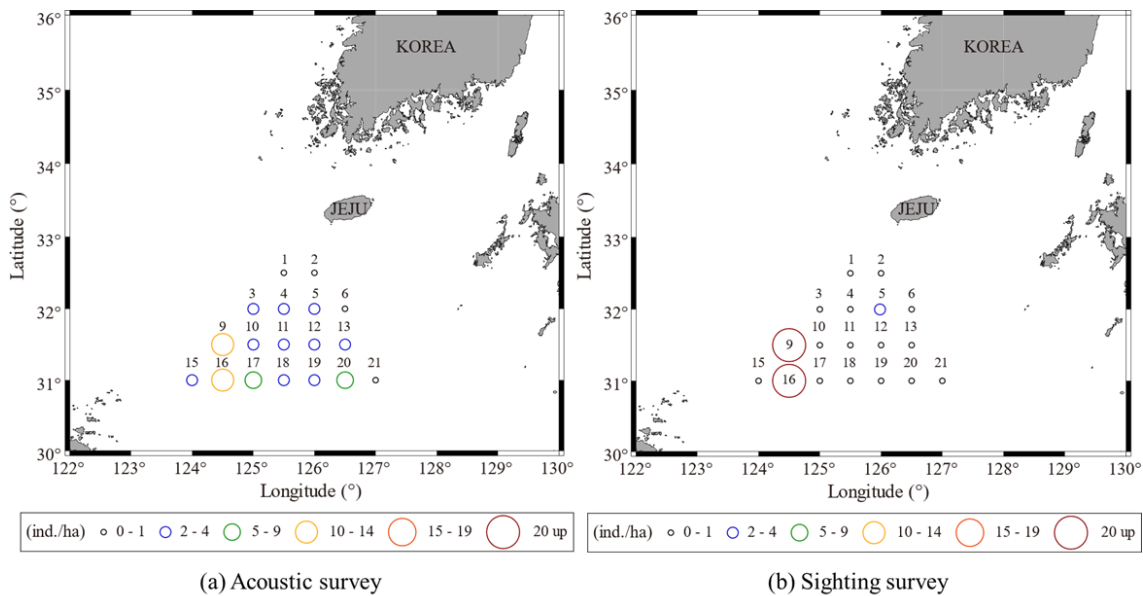


Fig. 3. Density of distribution by survey method in the East China Sea in May 2023; (a) Acoustic survey, (b) Sighting survey.

Table 3. Density distribution of jellyfish in the East China Sea in May 2023

Station	Acoustic survey		Sighting survey	
	Count (ind.)	Density (ind./ha)	Count (ind.)	Density (ind./ha)
1	12	0.6	0	0.0
2	16	0.7	0	0.0
3	24	1.8	0	0.0
4	16	1.3	0	0.0
5	50	2.8	0	2.0
6	14	0.7	0	0.0
7	-	-	-	-
8	-	-	-	-
9	123	12.6	144	34.6
10	42	2.7	0	0.0
11	19	1.5	0	0.0
12	49	3.4	0	0.2
13	46	3.2	0	0.0
14	-	-	-	-
15	39	4.7	3	0.8
16	62	14.2	240	143.3
17	62	5.2	2	0.5
18	29	1.9	0	0.0
19	23	1.5	0	0.0
20	110	5.3	1	0.2
21	18	0.7	1	0.0
Total / Avg.	754	3.6	391	10.1

나타내었다.

목시조사의 분포 밀도 결과에서 대형 해파리는 음향 조사와 유사하게 조사 해역의 서쪽 부근에서 많이 출현하였다. 전체적으로 대형 해파리는 많이 출현하지 않았지만, 정점 16번에서 143.3 (ind./ha)로 가장 높은 분포 밀도를 나타내었다(Fig. 3, Table 3).

2023년 5월 연근해해역에서 대형 해파리의 밀도 분포

연근해해역에서 과학어군탐지기를 이용하여 조사면적에 따른 대형 해파리의 분포 밀도는 우리나라 진도,新安 그리고 고흥 부근에서 비교적 높은 분포 밀도를 나타내었다. 분포 밀도는 진도 부근인 정점 6번에서 4.7 (ind./ha)로 가장 높게 나타났고, 평균 1.1 (ind./ha)로 산정되었다.

목시조사를 이용하여 출현한 대형 해파리의 분포 밀도는 음향조사와 유사하게 진도 부근에서 가장 높은 밀도를 나타내었다. 조사면적에 따른 대형 해파리의 출현 분포 밀도는 정점 6번에서 가장 높게 나타났고, 그 값은 7.980 (ind./ha)로 나타났으며, 두 번째로 분포 밀도가 높게 나타난 정점은 1.968 (ind./ha)로 정점 17번에서 높게 나타났다. 또한, 조사면적에 따른 평균 분포 밀도는 0.448 (ind./ha)로 산정되었다(Fig. 4, Table 4).

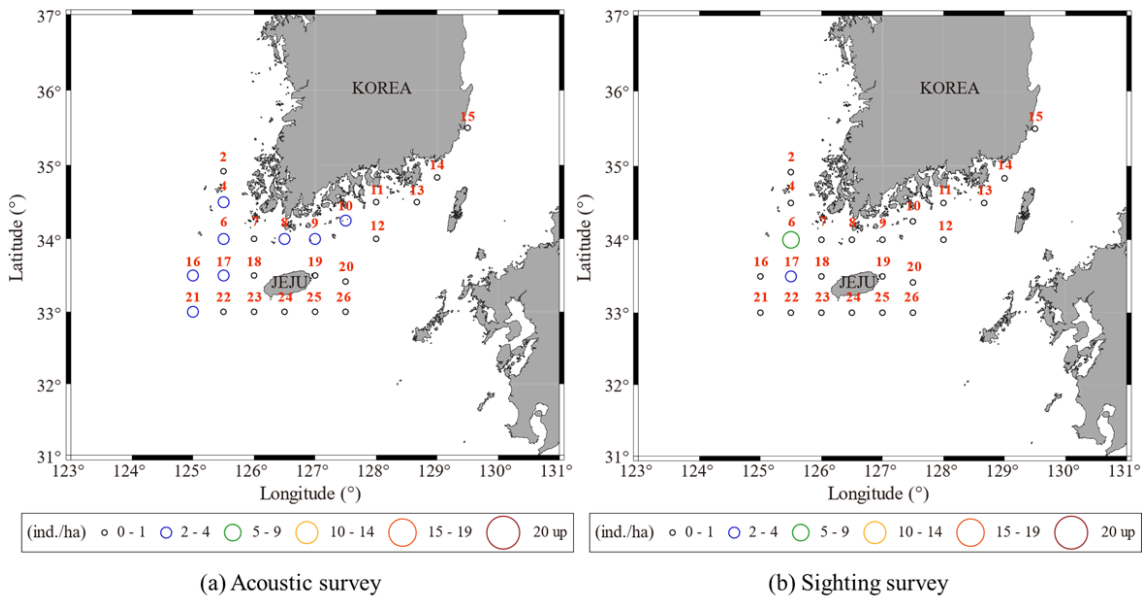


Fig. 4. Density distribution by survey method in Korean nearshore waters in July 2023; (a) Acoustic survey, (b) Sighting survey.

Table 4. Density distribution of jellyfish in Korean nearshore waters in July 2023

Station	Acoustic survey		Sighting survey	
	Count (ind.)	Density (ind./ha)	Count (ind.)	Density (ind./ha)
1	-	-	-	-
2	8	0.5	0	0.0
3	-	-	-	-
4	28	4.4	0	0.0
5	-	-	-	-
6	80	4.7	37	8.0
7	2	0.1	0	0.0
8	10	1.2	0	0.0
9	28	1.6	0	0.2
10	10	2.1	0	0.0
11	6	0.9	0	0.0
12	2	0.1	0	0.0
13	2	0.1	0	0.0
14	2	0.1	0	0.0
15	4	0.1	0	0.0
16	38	4.3	0	0.0
17	45	2.3	9	2.0
18	0	0.0	0	0.0
19	0	0.0	0	0.0
20	1	0.0	0	0.0
21	50	2.0	0	0.0
22	1	0.0	1	0.2
23	0	0.0	0	0.0
24	0	0.0	0	0.0
25	0	0.0	0	0.0
26	0	0.0	0	0.0
Total / Avg.	317	1.1	47	0.4

4년간 표층 대비 중·저층에 대한 분포 밀도 비교

2020년도부터 2023년도까지 5월에 동중국해 해역에서 출현하는 대형 해파리의 분포 밀도 비교를 Table 5에 나타내었다. 지난 4년간 대형 해파리의 월별 표층 대비 중·저층에 대한 분포 밀도를 비교해보았을 때, 4년간 5월 자료를 평균하였을 때, 표층에서 출현하는 대형 해파리의 평균 분포 밀도는 25.8 (ind./ha)로 나타났고, 중·저층에서 출현하는 대형 해파리의 평균 밀도는 7.7 (ind./ha)로 나타났다. 4년 동안 5월에 분포하는 대형 해파리의 분포 밀도는 표층 대비 중·저층에서 약 0.3배 차이가 나는 것으로 나타났다. 우리나라 연근해해역에서 4년간 7월의 자료를 평균하였을 때, 표층에서 출현하는

Table 5. Distribution of mid-low layer density compared to the monthly surface layer for 4 years

Month	Acoustic survey Density (ind./ha)	Sighting survey Density (ind./ha)	Ratio (Acoustics/Sighting)
May	7.7	25.8	0.3
July	4.0	53.3	0.1

Table 6. Distribution of mid-low layer density compared to the surface layer by year for 4 years

Year	Acoustic survey Density (ind./ha)	Sighting survey Density (ind./ha)	Ratio (Acoustics/Sighting)
2020	7.3	56.1	0.1
2021	8.7	80.6	0.1
2022	4.6	19.2	0.2
2023	2.2	4.7	0.5

대형 해파리의 분포 밀도는 53.3 (ind./ha), 중·저층에서 출현하는 대형 해파리의 분포 밀도는 4.0 (ind./ha)로 나타났다. 7월에 표층에서 분포하는 대형 해파리는 중·저층에서 나타나는 대형 해파리보다 0.1배 이상 차이가 나타났다.

연도별 표층 대비 중·저층에 대한 분포 밀도를 Table 6에 나타내었다. 2020년도의 음향조사에서 대형 해파리의 평균 밀도는 7.3 (ind./ha), 2021년에 8.7 (ind./ha), 2022년에 4.6 (ind./ha) 그리고 2023년에 2.2 (ind./ha)로 나타났다. 목시조사에서 대형 해파리의 평균 분포 밀도는 2020년에 56.1 (ind./ha), 2021년에 80.6 (ind./ha), 2022년에 19.2 (ind./ha) 그리고 2023년에 4.7 (ind./ha)로 나타났다. 표층에 분포하는 해파리를 파악할 수 있는 목시조사는 중·저층에 분포하는 음향조사에 비하여 2020년도와 2021년도에 약 0.1배 이상으로 높게 나타났고, 2022년도에 0.2배 이상, 2023년도에 0.5배 이상 차이가 나타났다.

4년간 대형 해파리의 출현 변동

2020년부터 2023년까지 5월과 7월에 동중국해역에서 분포하는 해파리의 밀도를 비교하였을 때, 2023년도는 2020년도에 비하여 약 9.2배, 2021년도에 비하여 약 13.0배 그리고 2022년도에 비하여 약 3.5배 이상 낮게 탐지된 것으로 추정된다. 음향조사 결과 평균 밀도 대비 (ind./ha) 2020년도에 비하여 2023년도에 약 70%, 2021

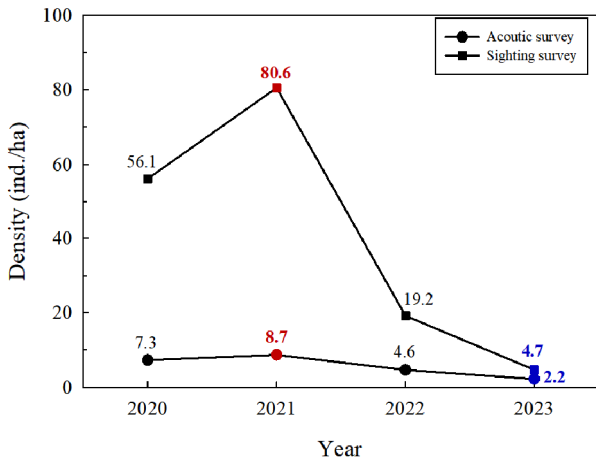


Fig. 5. Graph of changes in appearance by survey method over 4 years.

년도에 75% 그리고 2022년도에 약 53%가 감소하였다. 목시조사 결과 평균 밀도 대비(ind./ha) 2020년도에 비하여 2023년도에 약 92% 감소하였고, 2021년도에 94%, 2022년도에 76%가 감소하였다(Fig. 5). 음향조사와 목시조사 결과 모두 2020년도부터 2021년도까지 해파리의 분포 밀도가 상승하는 경향을 나타내었지만, 2022년도 들어서기부터 점점 분포 밀도는 감소하는 경향을 나타내었고, 2023년도에는 모든 조사에서 가장 낮은 분포 밀도를 나타내었다.

Oh et al. (2021)과 Oh et al. (2022)에 의하면 2020년부터 2021년 5월에 2년 동안 음향조사와 목시조사를 이용하여 동중국해역에서 서식하는 노무라입깃해파리의 분포를 파악하였을 때, 노무라입깃해파리는 모든 조사 결과가 양자강 근처에서 높은 분포 밀도를 나타내었다. 다른 선행 연구인 Sun et al. (2015)의 연구에서도 비슷한 시기인 2013년 5월과 6월에 양자강 하구 근처에서 노무라입깃해파리의 에피라, 메타에피라 그리고 어린 메두사를 발견하였으며, 이 가운데 에피라와 메타에피라가 발견된 개체 중 67%를 차지하였다고 보고하였다. Yoon et al. (2014)의 선행 연구에 의하면 2005년부터 2013년까지 월별 노무라입깃해파리의 분포량을 비교하였을 때, 5월에 주요 이동 경로인 동중국해역에서 높은 밀도를 나타내었고, 7월에는 한반도 전역에 분포하였지만, 동중국해역의 외해에서는 존재하지 않은 것으로 나타났다. 또한, 노무라입깃해파리는 점차 연안에서 높은 밀도를 나타내며 12월 말에는 전혀 관찰되지

않았다고 보고하였다. Sun et al. (2015)는 소수의 어린 노무라입깃해파리가 주로 양자강 앞바다에서 관측되었고, 점차 황해 해역에서도 관찰되었으며, Dong et al. (2010)의 선행 연구에서는 노무라입깃해파리가 동중국해역 북부, 황해 그리고 보하이해를 포함한 중국 온대해역에서 분포하였다고 보고하였다. 본 연구에서도 선행 연구들과 유사한 결과를 나타내었고, 5월과 6월에 분포하는 노무라입깃해파리는 음향조사와 목시조사 결과 모두 주로 동중국해역에서 높은 밀도를 나타내었다. 7월에 분포하는 대형 해파리는 우리나라 남해 연안 부근과 제주 서쪽해역에서 높은 밀도를 나타내었다. 2006년 7월에 제주 인근 해역에서 조사한 결과, 노무라입깃해파리는 제주 북동쪽 한 정점을 제외하고 모두 서쪽해역에서 주로 분포한 것으로 나타났고, 장강희석수의 북동 확산과 바람으로 인해 북동 중국해역에 존재하는 노무라입깃해파리는 장강희석수와 함께 제주도 및 한국 전역에 이동할 것이라고 추측하였다(Yoon et al., 2008). 유사한 결과로 Yoon et al. (2012b)의 연구에서는 소형 노무라입깃해파리가 주로 양자강 유출수가 혼재되어있는 저염분 해역에서 나타났다고 보고하였다. Iguchi et al., (2010)의 연구에서는 황해와 동중국해역에서 초겨울에 미성숙 노무라입깃해파리가 출현하여 황해 및 동중국해역을 근원지로 추정하였다.

늦은 봄과 초여름에 부영양화와 지구온난화는 식물 플랑크톤의 증가를 초래하고, 이를 먹이생물로 취급하는 동물플랑크톤의 수도 증가하기 때문에 이러한 요인을 노무라입깃해파리의 대량 발생의 원인으로 추정하였다(Xu et al., 2013). Nishikawa et al. (2017)의 선행 연구에서는 다른 선행 연구 달리, 노무라입깃해파리의 적정 수온 범위는 15-29℃으로 판단하였고, 대부분 발생 기간의 수온과 일치하였다고 보고하였으나, 겨울철 1월 말과 1월 초까지도 성체 해파리가 혼획이 계속 되었다고 보고하였다. 해양환경을 비교해보았을 때, 해파리의 먹이 섭식에 의한 포식률과 연관성이 있는 것으로 판단된다. Lee (2010)에서 수온과 염분은 노무라입깃해파리의 포식률에 영향을 주는 것으로 나타났다. 수온 23℃로 고정된 후 염분 24, 27, 30, 33 psu의 구간을 두고 실험을 하였을 때, 염분의 농도가 증가할수록 포식률도 함께 증가하였다. 또한, 음향조사와 목시조사 결과 모두 2020년도부터 2021년도까지 해파리의 분포 밀도가 상승하

는 경향을 나타내었지만, 2022년도 들어서기부터 점점 분포 밀도는 감소하는 경향을 나타내었고, 2023년도에는 모든 조사에서 가장 낮은 분포 밀도를 나타내었다. 국립수산과학원에서 제공하는 실시간 관측정보 통계를 확인해보았을 때, 수온의 차이는 크지 않았고, 2020년도의 1월부터 3월까지 평균 표층 염분은 33.9 psu로 나타났고, 2021년도의 1월부터 5월까지 평균 표층 염분은 34.3 psu로 나타났다. 2022년도의 1월부터 5월까지 평균 표층 염분은 33.4 psu로 나타났으며, 2023년도의 1월부터 5월까지 평균 표층 염분은 33.8 psu로 나타났다(NIFS, 2023). 대형 노무라입깃해파리가 성체로 자란 이후에 서식하는 수온의 영향은 크지 않았지만, 어린 개체의 경우 겨울철 및 봄철에 수온간의 차이는 해파리의 횡분열을 촉진시키기 때문에 그해 해파리의 대량 발생에 영향을 주는 것으로 나타났다(Kim, 2021).

결론

본 연구에서는 2023년에 우리나라 해역에서 출현하는 대형 해파리의 분포 밀도를 파악하고, 2020년도부터 2023년도까지 대형 해파리의 출현량을 비교 분석하였다. 5월에 분포하는 대형 해파리는 주로 양자강 유출수가 유입되는 해역에서 분포하였고, 7월에는 제주 서쪽 및 우리나라 남해안 부근에서 높은 밀도를 나타내었다. 4년간의 분포 밀도를 비교해 보았을 때, 음향조사와 목시조사 결과 모두 2021년도 해파리의 분포 밀도가 가장 높게 나타났다.

매년 표층 부분의 평균 염분을 비교해 보았을 때, 2021년 1월부터 5월까지의 표층에서 평균 염분이 가장 높게 나타났으며, 이는 어린 개체의 노무라입깃해파리가 염분의 농도가 증가할수록 먹이 섭식에 의한 성장과 개체 수 증가에 영향을 주는 것이라고 사료된다. 하지만, 성체로 성장한 이후의 해파리는 수온과 염분의 제약을 크게 받지 않으므로 추후 다른 해양환경 자료와 비교하여 분석할 필요가 있다.

사사

이 논문은 국립수산과학원 유해생물 수산피해 대응 연구(R2024040)의 지원을 받아 수행되었으며, 본 논문을 사려 깊게 검토하여 주신 심사위원님들과 편집위원님께 감사드립니다.

References

- Drastik V, Codlweska M, Balk H, Claburn P, Kubeca J, Morrissey E, Hateley J, Winfield IJ, Mrkvicka T and Guillard J. 2017. Fish hydroacoustic survey standardization: A step forward based on comparisons of methods and systems from vertical surveys of a large deep lake. *Limnol. Oceanogr.: Methods* 15, 836-846. <https://doi.org/10.1002/lom3.10202>.
- Dong Z, Liu D and Keesing J. 2010. Jellyfish blooms in China: Dominant species, causes and consequences. *Marine Pollution Bulletin* 60, 954-963. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2010.04.022>.
- Hirose M, Mukai T, Shimura T, Yamamoto J and Lida K. 2007. Measurements of specific density of and sound speed in Nomura's jellyfish *Nemopilema nomurai* to estimate their target strength using a theoretical scattering model. *J Marine Acoust Soc Jpn* 34, 109-118.
- Iguchi N, Lee HY, Yoon WD and Kim S. 2010. Reproduction of the giant jellyfish, *Nemopilema nomurai* (Scyphozoa: Rhizostomeae), in 2006-2008 as peripherally-transported populations. *Ocean Sci J* 45, 129-138. <https://doi.org/10.1007/s12601-010-0011-6>.
- Kawahara M, Uye SI, Ohtsu K and Iizumi H. 2006. Unusual population explosion of the giant jellyfish *Nemopilema nomurai* (Scyphozoa: Rhizostomeae) in East Asian waters. *Mar Ecol Prog Ser* 307, 161-173. <https://doi.org/10.3354/meps307161>.
- Kim DY, Lee JS and Kim DH. 2014. A Study on Direction of Industrial Utilization for Jellyfish in Korea. *JFMSE* 26, 587-596. <https://doi.org/10.13000/JFMSE.2014.26.3.587>.
- Kim KY. 2021. Water temperature and occurrence variability of *Nemopilema nomurai*. Pukyong National university, Korea, 1-40.
- Kitajima S, Hasegawa T, Nishiuchi K, Kiyomoto Y, Taneda T and Yamada H. 2020. Temporal fluctuations in abundance and size of the giant jellyfish *Nemopilema nomurai* medusae in the northern East China Sea, 2006-2017. *Marine Biology* 167, 75. <https://doi.org/10.1007/s00227-020-03682-1>.
- Lee HE. 2010. Reproduction and feeding behavior of giant jellyfish, *Nemopilema nomurai* Kishinouye (Scyphozoa: Rhizostomeae). Doctoral Dissertation, University of Pukyong, Korea, 78-79.

- Lee KY, Kim IO, Yoon WD, Shin JK and An HC. 2007. A study on vertical distribution observation of giant jellyfish (*Nemopilema nomurai*) using acoustical and optical methods. *J Kor Soc Fish Tech* 43, 355-361. <https://doi.org/10.3796/KSFT.2007.43.4.355>.
- NIFS. 2023. Website on statPortal. Retrieved from <https://www.nifs.go.kr/risa/main.risa> on Oct 11.
- Nishikawa T, Miyahara K, Ohtani T and Senjyu T. 2017. Occurrence and potential prediction of the giant jellyfish *Nemopilema nomurai* off Hyogo Prefecture, southwestern Sea of Japan, during 2006-2015. *Regional Studies in Marine Science* 16, 181-187. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2017.09.002>.
- Oh S, Kim KY, Lim WA, Park G, Oh HJ, Oh W and Lee K. 2021. Vertical distribution of giant jellyfish (*Nemopilema nomurai*) in the coastal waters of Korea and its correlation analysis by survey method. *J Korean Soc Fish Ocean Technol* 57, 351-364. <https://doi.org/10.3796/KSFOT.2021.57.4.351>.
- Oh S, Kim KY, Oh HJ, Park G, Oh W and Lee K. 2022. Spatio-Temporal Distribution of Giant Jellyfish (*Nemopilema nomurai*). *water* 14, 2883. <https://doi.org/10.3390/w14182883>.
- Sun M, Dong J, Purcell J, Li Y, Duan Y, Wang A and Wang B. 2015. Testing the influence of previous-year temperature and food supply on development of *Nemopilema nomurai* blooms. *Hydrobiologia* 754, 85-96. <https://doi.org/10.1007/s10750-014-2046-7>.
- Sun S, Zhang F, Li C, Wang S, Wang M, Tao Z, Wang Y, Zhang G and Sun X. 2015. Breeding places, population dynamics, and distribution of the giant jellyfish *Nemopilema nomurai* (Scyphozoa: Rhizostomeae) in the Yellow Sea and the East China Sea. *Hydrobiologia* 754, 59-74. <https://doi.org/10.1007/s10750-015-2266-5>.
- Uye SI. 2008. Blooms of the giant jellyfish *Nemopilema nomurai*: a threat to the fisheries sustainability of the East Asian Marginal Seas. *Plankton Benthos Res* 3, 125-131. <https://doi.org/10.3800/pbr.3.125>.
- Xu Y, Ishuzaka J, Yamaguchi H, Siswanto E and Wang S. 2013. Relationships of interannual variability in SST and phytoplankton blooms with giantjellyfish (*Nemopilema nomurai*) outbreaks in the Yellow Sea and East China Sea. *J Oceanogr* 69, 511-526. <https://doi.org/10.1007/s10872-013-0189-1>.
- Yoon EA, Cha CP, Hwang DJ, Yoon YH, Shin HH and Gwak DS. 2012a. Inter-annual occurrence variation of the large jellyfish *Nemopilema nomurai* due to the changing marine environment in the East China Sea. *J Kor Soc Fish Tech* 48, 242-255. <https://doi.org/10.3796/KSFT.2012.48.3.242>.
- 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 *Nemopilema nomurai*. *Kor J Fish Aquat Sci* 43, 551-556. <https://doi.org/10.5657/kfas.2010.43.5.551>.
- Yoon EA, Hwang DJ, Shin HH, Gwak DS and Cha CP. 2012b. In situ acoustic characteristics of the large jellyfish *Nemopilema nomurai* in the East China Sea. *J. Kor Soc Fish Tech* 48, 256-268. <https://doi.org/10.3796/KSFT.2012.48.3.256>.
- Yoon WD, Lee HY, Han C, Chang SH and Lee K. 2014. Abundance and Distribution of *Nemopilema nomurai* (Scyphozoa, Rhizostomeae) in Korean Waters in 2005-2013. *Ocean Sci J* 49, 183-192. <https://doi.org/10.1007/s12601-014-0018-5>.
- Yoon WD, Yang JY, Shin MB and Kang HK. 2008. Physical processes influencing the occurrence of the giant jellyfish *Nemopilema nomurai* (Scyphozoa: Rhizostomeae) around Jeju Island, Korea. *Journal OF Plankton Research* 30, 251-260. <https://doi.org/10.1093/plankt/fbm102>.