

서해연안의 시구아테라어독 원인 착생 외편모조류 출현 양상

박종우 · 임재현* · 김주희†

국립수산과학원(연구사 · *연구관) · †국립해양생물자원관(선임연구원)

Abundance of Ciguatera-Causing Dinoflagellates from Coastal Waters off West-sea, South Korea

Jong-Woo PARK · Jae-Hyun LIM* · Ju-Hee KIM†

National Institute of Fisheries Science(researcher · *senior researcher) ·

†National Marine Biodiversity Institute of Korea(senior researcher)

Abstract

Sea surface temperatures have shown a long-term increasing trend along the Korean coasts in association with climate change. Consistent with this warming trend, subtropical benthic dinoflagellate genera, including *Gambierdiscus*, *Ostreopsis*, *Coolia*, *Prorocentrum*, and *Amphidinium*, were first reported from the coastal waters of Jeju Island in 2009. These genera include toxin-producing species associated with ciguatera fish poisoning (CFP) and therefore warrant continued monitoring because of their potential implications for marine ecosystems, fisheries, and aquaculture.

This study surveyed the dominant macroalgal species along the west coast of Korea and compared the occurrence patterns of five genera of subtropical benthic dinoflagellates epiphytic on these macroalgae during 2022 and 2023. *Prorocentrum cf. lima* and *Ostreopsis* sp. were consistently detected during spring, summer, and autumn over two consecutive years in the coastal waters of Seocheon, Buan, and Gochang, whereas they were absent during winter.

These findings indicate that these subtropical benthic dinoflagellates are capable of surviving in the highly dynamic intertidal environment of the West Sea, characterized by a large tidal range. Their repeated seasonal occurrence over two consecutive years suggests that they are recurring components of the western Korean coastal ecosystem and highlights the need for continued monitoring under ongoing ocean warming.

Key words : Epiphytic dinoflagellate, Ciguatera fish poisoning, Climate change, West sea, Seaweed

I. 서론

시구아테라 어독은 열대 및 아열대 해역에서 산호초와 해조류 표면에 부착하여 생육하는 착생성 외편모류이나, 주로 저층에 서식하는 저서성 외편모조류가 먹이사슬을 통해 어류에 유입되어 어류가 독화되고, 이를 섭취한 인간에게 발생하

는 식중독을 야기한다(Ciminiello et al., 2006; Larsson, 2019a; Larsson, 2019b). 기후변화의 영향으로 우리나라 해역에 지속 출현 가능성이 높은 시구아테라 어독 원인 착생성 외편모조류의 출현량 및 분포에 관하여 2011년 보고가 있었으며(Jeong et al., 2012a, 2012b), 시구아테라 어독을 유발하는 착생성 또는 저서성 외편모조류는

† Corresponding author: 041-950-0871, algae2030@mabik.re.kr

* 이 논문은 국립수산과학원(R2026015) 및 국립해양생물자원관(2026M00300) 과제로 수행되었음

Gambierdiscus 속, *Ostreopsis* 속, *Prorocentrum* 속, *Coolia* 속, *Thecadinium* 속, *Amphidinium* 속 등으로 알려져 있다(Heredia-Tapia et al., 2002; Hoppenrath et al., 2013; Jang et al., 2018). 이들 외편모조류는 주로 해조류 등과 같은 저서생물의 엽체를 지지대로 활용하여 서식하거나 퇴적물의 표면에 서식하는 특성을 가지고 있다. 시구아테라 어독 원인 생물과 관련된 착생 또는 저서성 외편모조류에 관한 연구를 2009년에 제주연안에서 채집한 시료를 대상으로 최초로 연구를 시작하였고(Kim et al., 2011), 2011~2012년 사이에 많은 조사가 이루어졌으나(Jeong et al., 2012b; Kang et al., 2013), 이후 비정기적인 조사로 이들 외편모류에 관한 정기적이고 연속적인 연구가 부족한 현실이다. 국내 연안에서 확보한 착생 또는 저서성 외편모류 배양체로부터 기존에 알려지지 않은 새로운 독소가 확인되었다는 연구보고(Larsson, 2019a; Gemin et al., 2020)가 있어 독소 연구에 대한 추가적인 연구도 필요한 실정이다.

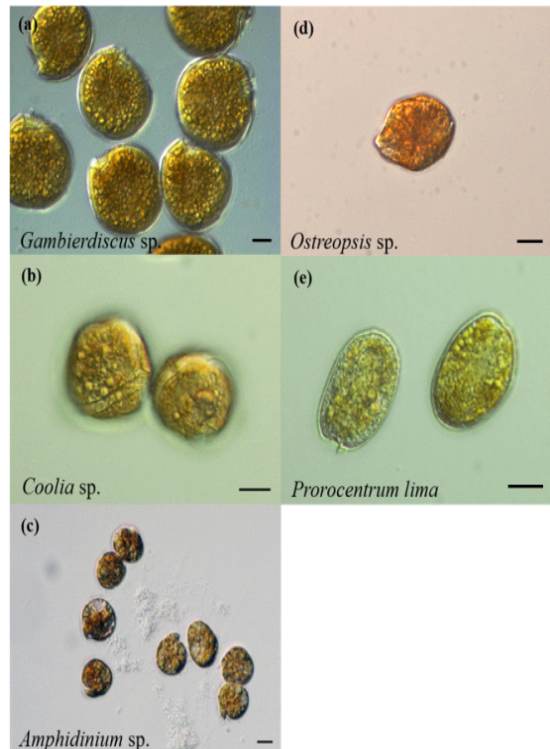
이러한 중이 우리나라에 정기적으로 출현하고 있는지를 확인하기 위해, 2022년과 2023년 서해연안의 계절별 조사를 수행하여 해조류에 부착하고 있는 착생 외편모조류를 정량화하였다. 현재까지 서해안의 시구아테라 어독 원인 착생성 외편모조류를 정량화한 자료는 없었으며, 본 조사 결과를 통해 서해역의 해조류 착생선택성 및 출현양상을 구명함으로써 향후 유해종 출현에 대한 수산물 위생관리 등 선제적 대응에 기여하고자 한다.

II. 연구 방법

1. 조사 대상

본 연구에 대상이 된 시구아테라 어독 원인 착생성 외편모조류(이후 시구아테라 어독 원인생물로 명명)는 *Gambierdiscus* 속, *Ostreopsis* 속, *Prorocentrum* 속, *Coolia* 속, *Amphidinium* 속([Fig.

1])으로, 이 중 *Prorocentrum* 속은 독성이 있는 것으로 알려진 *Prorocentrum lima* 종을 중점으로 조사하였다. *Prorocentrum lima* 종을 제외하고, *Gambierdiscus* 속, *Ostreopsis* 속, *Coolia* 속, *Amphidinium* 속은 외편모조류의 형태학적 형질(Hoppenrath et al., 2013; Jeong et al., 2012b; Kang et al., 2013; Larsson, 2019b)로 구분이 가능한 속까지 동정하였다.



[Fig. 1] Ciguatera-causing dinoflagellates species(size bar=20 μ m). (a)*Gambierdiscus* sp., (b)*Coolia* sp., (c)*Amphidinium* sp., (d)*Ostreopsis* sp., (e)*Prorocentrum lima*.

2. 조사 정점

우리나라 서해연안의 강화(GH), 인천(IC), 태안(TA), 보령(BR), 서천(SC), 군산(GS), 부안(BA), 고창(GC), 목포(MP), 진도(JD), 총 10개 지역을 선정하였다([Fig. 2], <Table 1>).



[Fig. 2] Sampling sites in the West-sea.

<Table 1> Sampling station locations

site	latitude & longitude
GH(Ganghwa)	37.710235, 126.319929
IC(Incheon)	37.437693, 126.378185
TA(Taean)	36.840139, 126.166295
BR(Boryong)	36.333384, 126.521287
SC(Seocheon)	36.148117, 126.520800
GS(Gunsan)	35.819834, 126.473161
BA(Buan)	35.603834, 126.473643
GC(Gochang)	35.508787, 126.480679
MP(Mokpo)	34.868733, 126.327548
JD(Jindo)	34.479862, 126.172360

3. 조사 및 분석방법

계절별 출현량을 파악하기 위해 2022년과 2023년 2, 5, 8, 10월 중순에 조사를 수행하였으며, 정점별로 수심 3m 이내에서 잠수를 통해 우점하는

해조류를 종류별(각 정점당 10종 이내, 10개 샘플)로 작성 외편모조류가 탈락되지 않도록 조심스럽게 해조류를 절단하여 채집하고, 해조류 시료는 해수와 함께 2~5% 포르말린으로 고정하였다. 수환경 자료 확보를 위해 표층~수심 3m 이내를 다함복수질측정기(YSI ProPlus, USA)를 이용하여 수온, 염분, pH, DO를 1회 측정하였다. 채집된 고정 시료는 실험실로 운반하여, 해조류에서 부착된 시구아테라어독 원인생물이 떨어지도록 강하게 흔들어 분리하고, 300 μ m mesh sieve를 이용하여 해조류를 걸러내었다. 분리된 해조류는 흡수지를 이용하여 물기를 충분히 제거한 후, 전자저울(0.001g)로 습중량을 측정하고 중 수준까지 동정하여 출현종 리스트를 작성하였다. 해조류에서 분리된 시구아테라어독 원인생물 시료는 2일 이상 정치 후, 사이폰으로 상등액을 제거하여 농축하였다. 농축된 시료는 Sedgwick-Rafter counting chamber를 사용하여 광학현미경(Olympus, CH2) 40배 및 100배 하에서 속 혹은 중 수준까지 시료를 2번 검경하여 습중량당 세포수(cells wwt-g-1)를 산정하였다. 조사정점에서 채집한 해조류 시료(연도별 400개씩 총 800개)를 독립적인 실험단위로 사용하였으며, 분류학적 체계에 따라 최소목(order) 수준으로 동정·구분하였다. 해조류 목에 따른 시구아테라 어독 원인생물 중 5종의 출현량 차이를 비교하기 위해 일원배치분산분석(one-way analysis of variance, one-way ANOVA)를 실시하였다. 출현량 자료는 정규성 확보 및 분산 안정화를 위하여 $\log_{10}(x+1)$ 로 변환한 후 분석하였으며, 모형 잔차의 정규성은 Shapiro-Wilk 검정, 등분산성은 Levene 검정을 이용하여 확인하였다. 분산 분석 결과 유의한 차이가 확인된 경우($P<0.05$), Tukey's honestly significant difference(HSD) 검정을 이용하여 해조류 목 간 평균을 사후 비교하였다. 모든 통계분석은 IBM SPSS Statistics(IBM Corp., Armonk, NY, USA)를 이용하였으며, 통계적 유의수준은 $P<0.05$ 로 설정하였다.

III. 연구 결과

1. 계절별 수환경

2022년과 2023년 2월은 수온 1.3~5.5℃(평균 3.5), 염분 26.4~32.6(평균 30.9), DO 9.0~12.8 mg L-1(평균 10.5), pH 6.9~8.9(평균 8.1)로 측정되었고, 5월은 수온 11.1~20.6℃(평균 17.4), 염분 27.5~33.2(평균 30.5), DO 10.1~13.1 mg L-1(평균 11.1), pH 6.6~8.2(평균 7.7)로 측정되었다. 8월은 수온 22.1~33.1℃(평균 28.9), 염분 20.0~33.2(평균 30.0), DO 5.4~8.6 mg L-1(평균 7.2), pH 6.9~8.5(평균 7.8)로 측정되었고, 10월은 수온 17.5~23.1℃(평균 20.6), 염분 30.1~32.7(평균 31.3), DO 7.3~10.1 mg L-1(평균 8.9), pH 6.8~8.9(평균 7.9)로 측정되었다(<Table 2>). 수온, 염분, DO, pH는 각 조사시기별 온대기후역에 해당하는 수환경과 유사한 패턴으로 나타났으며, 2월(겨울철)에는 5℃ 내외의 해조류가 성장하기 좋은 수온대를 유지하고 있었으나, 아열대성 시구아테라어독 원인생물이 성장하고 서식하는 15℃ 이상의 수온대는 유지되지 않았다. 5월(봄)~10월(가을)은 수온이 15℃ 이상으로 형성되었고, 특히 2023년은 2022년에 비해 계절별 평균 수온이 2~5℃ 높았으며, 염분, DO, pH는 2022년과 2023년 유사한 패턴을 보였다. 이외 지역별 차이나 특이한 현상은 뚜렷하게 나타나지 않았다.

2. 서해역의 계절별 출현 해조상

2022년 2월(겨울철)은 수온이 5℃ 이하로 해조류 성장에 좋은 수온이었으나, 아열대성 시구아테라어독 원인종의 성장 온도(15~30℃) 대비 낮은 수온으로 인해 해조류에서 시구아테라어독 원인생물은 검출되지 않았다. 해조상은 진도, 목포, 고창, 부안, 군산, 서천, 태안 해역에 많은 해조류종이 분포하였으며, 인천해역에 1종, 강화해역에 해조류가 출현하지 않아 충청도 보다 높은 위도

의 해역에서는 해조류 출현량이 많지 않았다. 우점해조류는 *Sargassum thunbergii*(지충이), *Ulva linza*(잎파래), *Chondrus ocellatus*(진두발) 순으로 나타났으며 서해에서 일반적으로 겨울철 출현하는 해조상과 유사한 패턴을 보였다< . 5월(봄철) 해조상은 진도, 목포, 고창, 부안, 군산, 서천, 태안 해역에 많은 해조류종이 분포하였으며, 겨울철과 같이 인천해역과 강화해역에 해조류가 출현하지 않아 충청도 보다 높은 위도의 해역에서는 해조류 출현량이 없었다. 우점 해조류는 *Sargassum thunbergii*(지충이), *Ulva linza*(잎파래), *Ishige okamurae*(패) 순으로 나타났으며 일반적으로 서해역에 출현하는 해조상과 유사한 패턴을 보였다. 8월(여름철) 해조상은 진도, 목포, 고창, 부안, 군산, 서천, 태안 해역에 많은 해조류종이 분포하였으며, 인천해역에서 해조류 1종, 강화해역에 해조류가 출현하지 않아 겨울철과 봄철과 동일한 패턴을 보였다. 여름철의 해조류 출현종은 겨울과 봄철에 비해 큰 차이는 없었으나, 같은 종임에도 불구하고 업체가 작고 적은량의 해조류가 서식하여 해조류 성장과 맞지않는 현상이 뚜렷하여 수온에 의한 해조류 성장저해 패턴이 현장에서 나타난 이유로 해석된다. 우점해조류는 *Sargassum thunbergii*(지충이), *Ulva linza*(잎파래), *Chondrus ocellatus*(진두발) 순으로 나타났다. 10월(가을철) 해조상은 진도, 목포, 고창, 부안, 군산, 서천, 태안 해역에 많은 해조류종이 분포하였으며, 인천해역과 강화해역에 해조류가 출현하지 않았다. 우점 해조류는 *Sargassum thunbergii*(지충이), *Ulva linza*(잎파래), *Chondrus ocellatus*(진두발) 순으로 나타나 서해역에서는 지충이, 잎파래, 진두발, 패 등이 지속적으로 우점하는 패턴이 뚜렷하였다.

2023년 2월(겨울철)은 수온이 5℃ 이하(평균 3.6℃)로 해조류 성장에 좋은 수온이었으며, 해조상은 진도, 목포, 고창, 부안, 군산, 서천, 태안 해역에 많은 해조류종이 확인되었고, 인천해역에 2종, 강화해역에는 해조류가 출현하지 않았다.

<Table 2> Physical parameters at each sampling site in 2022 and 2023(water temperature, salinity, dissolved oxygen and pH).

site	sampling date (2022-2023)	temp.(℃) (range/ave.)	sal. (range/ave.)	DO(mg L-1) (range/ave.)	pH (range/ave.)
GH	Feb.	2.8-4.0/3.4	29.3-31.3/30.3	10.4-11.1/10.8	8.6-8.9/8.7
	May	11.2-18.6/14.9	27.5-28.9/28.2	10.1-11.1/10.6	7.1-8.2/7.6
	Aug.	22.1-29.0/25.5	20.0-30.1/25.1	8.5-8.6/8.6	7.1-7.7/7.4
	Oct.	19.5-22.8/21.1	31.7-32.1/31.9	9.1-9.1/9.1	7.2-7.5/7.3
IC	Feb.	1.3-2.2/1.75	29.3-31.3/30.3	12.3-12.8/12.6	8.3-8.4/8.3
	May	11.1-18.6/14.9	27.5-29.0/28.2	10.1-11.1/10.6	7.0-8.2/7.6
	Aug.	23.2-30.1/25.5	25.2-32.1/25.1	6.7-8.1/7.4	8.1-8.4/8.3
	Oct.	18.2-23.1/20.7	30.1-31.5/30.8	9.1-9.1/9.1	7.2-7.5/7.3
TA	Feb.	2.0-3.1/2.6	31.7-32.6/32.1	10.4-11.6/11.1	7.8-8.0/7.9
	May	13.5-19.1/16.3	30.1-31.2/30.7	10.8-12.2/11.5	6.9-8.0/7.7
	Aug.	26.5-30.0/28.2	30.7-31.2/31.0	7.1-7.4/7.3	8.2-8.5/8.3
	Oct.	18.5-23.0/20.8	30.1-31.3/30.7	8.4-8.5/8.4	8.2-8.4/8.3
BR	Feb.	3.2-3.4/3.3	31.2-32.2/31.7	10.1-10.3/10.2	7.8-8.0/7.8
	May	16.1-20.3/18.2	28.6-31.2/29.9	11.3-13.1/12.2	7.1-8.1/7.6
	Aug.	28.6-31.1/29.8	29.0-30.2/29.6	6.0-7.2/6.6	8.0-8.1/8.0
	Oct.	20.0-20.8/20.4	31.8-32.1/32.0	8.6-8.7/8.7	8.4-8.4/8.4
SC	Feb.	4.1-5.5/4.8	31.2-32.1/31.7	9.1-10.5/9.8	8.4-8.5/8.5
	May	16.4-18.8/17.4	27.9-31.1/29.5	11.0-12.1/11.6	7.7-8.0/7.8
	Aug.	31.9-32.7/32.3	30.1-30.9/30.5	6.5-7.5/6.8	7.4-7.5/7.4
	Oct.	20.0-22.0/21.0	30.1-31.3/30.7	9.1-9.2/9.2	7.6-8.1/7.9
GS	Feb.	3.2-4.4/3.8	26.4-30.3/28.4	10.4-11.1/10.8	6.9-7.7/7.3
	May	15.9-18.9/17.4	30.0-31.1/30.5	11.1-11.8/11.4	7.9-8.2/8.1
	Aug.	25.6-33.1/29.3	26.3-32.1/29.2	6.1-8.1/7.1	7.9-8.0/8.0
	Oct.	18.9-23.1/21.0	30.9-31.3/31.1	7.3-8.9/8.1	7.4-8.2/7.8
BA	Feb.	3.1-4.4/3.7	29.6-30.1/29.9	9.0-10.1/9.6	7.9-8.0/7.9
	May	16.6-20.0/18.1	29.7-32.2/31.4	10.7-11.2/10.9	8.0-8.1/8.1
	Aug.	25.2-32.8/29.0	29.2-32.2/30.7	6.5-7.7/7.1	7.8-8.1/8.0
	Oct.	20.1-20.6/20.3	30.9-31.1/31.0	9.8-10.1/9.9	8.0-8.3/8.2
GC	Feb.	3.8-4.0/3.9	30.5-30.6/30.6	10.5-10.6/10.5	8.0-8.1/8.0
	May	17.8-20.1/19.0	31.5-32.2/31.8	10.7-12.2/11.4	7.7-8.1/7.9
	Aug.	29.1-32.2/30.6	31.4-32.0/31.7	6.6-7.6/7.0	6.9-8.1/7.5
	Oct.	17.7-22.1/19.9	31.1-31.2/31.1	8.1-9.1/8.6	7.7-8.1/7.9
MP	Feb.	4.0-4.1/4.1	32.1-32.2/32.1	9.7-10.8/10.3	7.8-8.0/8.0
	May	17.3-19.2/18.3	32.6-33.2/32.9	10.1-11.1/10.6	6.6-7.8/7.2
	Aug.	27.0-31.8/29.4	31.8-33.2/32.5	6.0-7.4/6.7	7.7-7.8/7.7
	Oct.	17.5-23.0/20.2	32.2-32.7/32.5	9.1-9.2/9.2	6.8-8.0/7.5
JD	Feb.	3.2-3.8/3.5	29.8-30.1/30.0	9.1-9.4/9.3	8.0-8.2/8.1
	May	17.1-20.6/18.9	31.1-31.4/31.2	10.7-11.1/10.9	7.6-8.1/7.9
	Aug.	25.9-32.2/29.0	31.1-31.4/31.2	5.4-8.2/6.8	7.5-7.8/7.6
	Oct.	17.8-22.9/20.3	31.4-31.9/31.6	8.9-9.0/9.0	7.1-8.9/7.9

우점 해조류는 *Sargassum thunbergii*(지층이), *Ulva linza*(잎과래), *Chondrus ocellatus*(진두발) 순으로 나타났으며 2022년 2월(겨울철)의 해조상과 유사한 패턴을 보였다<. 5월(봄철) 해조상은 진도,

목포, 고창, 부안, 군산, 서천, 태안 해역에 많은 해조류종이 분포하였으며, 인천 과 강화해역에 해조류가 출현하지 않았다. 우점 해조류는 *Sargassum thunbergii*(지충이), *Ishige okamurae*(패), *Ulva linza*(잎파래) 순으로 나타나 우점량의 차이만 있었을 뿐 2022년과 동일한 패턴을 보였다. 8월(여름철) 해조상은 진도, 목포, 고창, 부안, 군산, 서천, 태안 해역에 많은 해조류종이 분포하였으며, 인천과 강화도해역에 해조류가 출현하지 않았다. 여름철 해조류 종은 업체가 작은 해조류가 서식하는 현상이 2022년과 2023년에 똑같은 패턴으로 확인되었으며, 이는 수온에 의한 성장저해 영향이 있는 것으로 판단된다. 우점 해조류는 *Sargassum thunbergii*(지충이), *Chondrus ocellatus*

(진두발), *Ulva linza*(잎파래) 순으로 나타났다. 10월(가을철) 해조상은 진도, 목포, 고창, 부안, 군산, 서천, 태안 해역에 많은 해조류종이 분포하였으며, 인천과 강화해역에 해조류가 출현하지 않았다. 우점 해조류는 *Sargassum thunbergii*(지충이), *Ulva linza*(잎파래), *Chondrus ocellatus*(진두발) 순으로 나타나 서해역에서는 지충이, 잎파래, 진두발, 패 등이 지속적으로 우점하는 패턴이 뚜렷하였다. 2022년도와 2023년도 출현패턴을 비교해보면, 제1 우점종 해조류는 2023년도에도 2022년도와 동일하게 출현하였고, 제2 우점종과 제3 우점종 패턴도 검출량의 변동이 있었을 뿐 동일종이 우세하게 검출되었다.

<Table 3> Seaweeds collected from the West Sea in 2022-2023

sampling sites	<2022> species name(occurrence period)	<2023> species name(occurrence period)
IC	<i>Gracilaria vermiculophylla</i> (Feb., Aug.)	<i>Gracilaria vermiculophylla</i> (Feb.)
		<i>Chondracanthus intermedius</i> (Feb.)
TA	<i>Gracilaria vermiculophylla</i> (Feb., May, Aug.)	<i>Gracilaria vermiculophylla</i> (Feb., May, Aug.)
	<i>Ulva linza</i> (Feb., May)	<i>Ulva linza</i> (Feb., May)
	<i>Scytosiphon lomentaria</i> (Feb., May, Aug., Oct.)	<i>Scytosiphon lomentaria</i> (Feb., May, Aug.)
	<i>Sargassum thunbergii</i> (May, Aug., Oct.)	<i>Sargassum thunbergii</i> (May, Aug., Oct.)
	<i>Ulva pertusa</i> (Aug.)	<i>Ulva pertusa</i> (Aug., Oct.)
	<i>Chondracanthus intermedius</i> (Oct.)	<i>Chondracanthus intermedius</i> (Aug., Oct.)
	<i>Corallina pilulifera</i> (Oct.)	<i>Corallina pilulifera</i> (May, Aug., Oct.)
BR	<i>Ulva linza</i> (Feb., May)	<i>Ulva linza</i> (Feb., May)
	<i>Ulva pertusa</i> (Feb.)	<i>Ulva pertusa</i> (Feb., May)
	<i>Corallina pilulifera</i> (Feb., Aug.)	<i>Corallina pilulifera</i> (Feb., May)
	<i>Sargassum thunbergii</i> (Feb., May, Aug., Oct.)	<i>Sargassum thunbergii</i> (Feb., May, Aug., Oct.)
	<i>Polysiphonia</i> sp. 1 (Feb.)	<i>Gelidium divaricatum</i> (Feb., May, Aug.)
	<i>Gelidium divaricatum</i> (May, Aug.)	<i>Gracilaria vermiculophylla</i> (May, Oct.)
	<i>Gracilaria vermiculophylla</i> (May, Oct.)	
	<i>Chondracanthus intermedius</i> (Oct.)	<i>Chondracanthus intermedius</i> (Aug., Oct.)
SC	<i>Sargassum thunbergii</i> (Feb., May, Aug., Oct.)	<i>Sargassum thunbergii</i> (Feb., May, Aug., Oct.)
	<i>Polysiphonia</i> sp. 1 (Feb.)	<i>Ulva pertusa</i> (Feb., May)
	<i>Ulva pertusa</i> (Feb., May)	<i>Corallina pilulifera</i> (Feb., Oct.)
	<i>Corallina pilulifera</i> (Feb., Oct.)	<i>Porphyra tenera</i> (May, Aug., Oct.)
	<i>Porphyra tenera</i> (May, Aug., Oct.)	
	<i>Sargassum fusiforme</i> (Aug.)	<i>Sargassum fusiforme</i> (Feb., Aug.)

sampling sites	<2022> species name(occurrence period)	<2023> species name(occurrence period)
GS	<i>Sargassum fusiforme</i> (Feb., May, Aug.)	<i>Sargassum fusiforme</i> (Feb., May, Aug.)
	<i>Sargassum thunbergii</i> (Feb., May, Aug., Oct.)	<i>Sargassum thunbergii</i> (Feb., May, Aug., Oct.)
	<i>Ulva pertusa</i> (Feb., May, Aug., Oct.)	<i>Ulva pertusa</i> (Feb., May, Aug., Oct.)
	<i>Ulva linza</i> (May)	<i>Ulva linza</i> (Feb., May)
	<i>Corallina pilulifera</i> (May, Aug.)	<i>Corallina pilulifera</i> (May, Aug.)
	<i>Gelidium amansii</i> (Oct.)	
BA	<i>Sargassum thunbergii</i> (Feb., May, Aug., Oct.)	<i>Sargassum thunbergii</i> (Feb., May, Aug., Oct.)
	<i>Ishige sinicola</i> (Feb., May)	<i>Ishige sinicola</i> (Feb., May)
	<i>Ishige okamurae</i> (Aug., Oct.)	<i>Ishige okamurae</i> (Aug., Oct.)
	<i>Gelidium amansii</i> (Feb., May, Aug., Oct.)	<i>Gelidium amansii</i> (Feb., May, Aug., Oct.)
	<i>Sargassum coreanum</i> (Feb., May, Aug.)	<i>Sargassum coreanum</i> (Feb., May, Aug.)
	<i>Ulva linza</i> (Aug.)	<i>Ulva linza</i> (Aug.)
	<i>Ulva intestinalis</i> (Aug.)	<i>Ulva intestinalis</i> (Aug.)
	<i>Corallina pilulifera</i> (Aug.)	<i>Corallina pilulifera</i> (Feb., Aug.)
	<i>Gelidium divaricatum</i> (Oct.)	<i>Gelidium divaricatum</i> (Aug., Oct.)
	<i>Silvetia siliquosa</i> (Oct.)	<i>Silvetia siliquosa</i> (Feb., May, Oct.)
GC	<i>Sargassum thunbergii</i> (Feb., May, Aug., Oct.)	<i>Sargassum thunbergii</i> (Feb., May, Aug., Oct.)
	<i>Ishige okamurae</i> (Feb., May, Aug., Oct.)	<i>Ishige okamurae</i> (Feb., May, Aug., Oct.)
	<i>Corallina pilulifera</i> (Feb., May, Aug., Oct.)	<i>Corallina pilulifera</i> (Feb., May, Aug., Oct.)
	<i>Sargassum coreanum</i> (Feb., May, Aug., Oct.)	<i>Sargassum coreanum</i> (Feb., May, Aug., Oct.)
	<i>Gelidium divaricatum</i> (May, Aug., Oct.)	<i>Gelidium divaricatum</i> (May, Aug., Oct.)
	<i>Ulva linza</i> (May)	<i>Ulva linza</i> (Feb., May)
	<i>Polysiphonia</i> sp. (Aug.)	
MP	<i>Sargassum thunbergii</i> (Feb., May, Aug., Oct.)	<i>Sargassum thunbergii</i> (Feb., May, Aug., Oct.)
	<i>Polysiphonia</i> sp. 1 (Feb., Oct.)	<i>Dumontia simplex</i> (Feb., May)
	<i>Polysiphonia</i> sp. 2 (Oct.)	<i>Chondria crassicaulis</i> (Feb., May, Aug., Oct.)
	<i>Dumontia simplex</i> (Feb., May)	<i>Symphyclocladia latiuscula</i> (Feb., May)
	<i>Chondria crassicaulis</i> (Feb., May, Aug., Oct.)	<i>Chondracanthus intermedius</i> (Feb., May, Aug.)
	<i>Symphyclocladia latiuscula</i> (Feb., May, Aug.)	<i>Ulva linza</i> (Feb., May)
	<i>Chondracanthus intermedius</i> (Feb., May, Aug.)	<i>Gelidium divaricatum</i> (Feb., May, Oct.)
	<i>Ulva linza</i> (Feb., May, Oct.)	
	<i>Ulva pertusa</i> (Feb.)	
	<i>Gelidium divaricatum</i> (May, Oct.)	<i>Polysiphonia</i> sp. (Feb.)
	<i>Polysiphonia</i> sp. (May)	
	<i>Ulva intestinalis</i> (Aug.)	
JD	<i>Sargassum thunbergii</i> (Feb., May, Aug., Oct.)	<i>Sargassum thunbergii</i> (Feb., May, Aug., Oct.)
	<i>Ulva intestinalis</i> (Feb., May, Aug.)	<i>Ulva intestinalis</i> (Feb., May)
	<i>Ishige okamurae</i> (Feb., May, Aug., Oct.)	<i>Ishige okamurae</i> (Feb., May, Aug.)
	<i>Silvetia siliquosa</i> (Feb., Aug., Oct.)	<i>Silvetia siliquosa</i> (Feb., May, Aug.)
	<i>Chondrus ocellatus</i> (Feb., May)	<i>Chondrus ocellatus</i> (Feb., May)
	<i>Ulva pertusa</i> (Feb., May, Oct.)	<i>Ulva pertusa</i> (Feb., May)
	<i>Gloiopeltis furcata</i> (May, Aug., Oct.)	<i>Gloiopeltis furcata</i> (Feb., Aug., Oct.)
	<i>Sargassum fusiforme</i> (Aug.)	<i>Sargassum fusiforme</i> (Aug.)
	<i>Chondria crassicaulis</i> (Oct.)	

3. 해조류별 시구아테라 어독 원인생물의 출현량

2022년 2월(겨울철)은 수온이 5℃ 이하로 해조류 생장에 좋은 수온이었으나, 시구아테라어독 원인생

물의 생장 온도(15~30℃) 대비 낮은 수온으로 인해 해조류에서 시구아테라어독 원인생물은 검출되지 않았다. 5월(봄철)은 시구아테라어독 원인생물이 고창해역에서 *Gelidiophycus freshwateri*(애기우뚝가사리)에 *Prorocentrum lima* 2 cells wwt-g⁻¹, *S. thunbergii*(지충이)에서 *Ostreopsis* sp. 2 cells wwt-g⁻¹ 그리고 부안해역은 *Ishige okamurae*(괘)에서 *Prorocentrum lima* 4 cells wwt-g⁻¹으로 소량 검출되었다. 8월(여름철)은 *Prorocentrum lima*가 고창해역에서 *G. freshwateri*(애기우뚝가사리)에 4, 서천해역에서 *Sargassum fusiforme*(툇)에 11 cells wwt-g⁻¹이 검출되었고, *Ostreopsis* sp.는 고창해역에서 *S. thunbergii*(지충이)에 34, *Ishige okamurae*(괘)에 13, 부안해역에서 *S. thunbergii*(지충이)에 8 cells wwt-g⁻¹가 검출되었다. 10월(가을철)은 *Prorocentrum lima*가 고창해역에서 *S. thunbergii*(지충이)와 *G. freshwateri*(애기우뚝가사리)에 각각 8, 4, 부안해역에서 *Gelidium elegans*(우뚝가사리)와 *I. okamurae*(괘)에 각각 15, 4, 태안해역에서 *S. thunbergii*(지충이)에 3 cells wwt-g⁻¹이 검출되었고, *Ostreopsis* sp.는 고창해역에서 *G. freshwateri*(애기우뚝가사리)에 3, 부안해역에서 *G. freshwateri*(애기우뚝가사리)와 *Silvetia siliquosa*(뽕부기)에 각각 13, 2, 서천해역에서 *S. thunbergii*(지충이)에 8 cells wwt-g⁻¹이 검출되었다(<Table 4, 5>).

2023년 2월(겨울철)도 수온이 5℃ 이하로 해조류 생장에 좋은 수온이었으나, 시구아테라 어독 원인생물의 생장 온도(15~30℃) 대비 낮은 수온으로 인해 2022년 2월과 동일하게 검출되지 않았다. 5월(봄철)은 시구아테라 어독 원인생물이 고창해역에서 *G.*

freshwateri(애기우뚝가사리)에 *Prorocentrum lima* 2 cells wwt-g⁻¹ 그리고 부안해역의 *S. thunbergii*(지충이)에서 *Prorocentrum lima* 4 cells wwt-g⁻¹으로 소량 검출되었다. 2022년에는 해조류에서 *Ostreopsis* sp.가 소량 검출되었으나, 2023년에는 출현하지 않았다. 8월(여름철)은 *Prorocentrum lima*가 고창해역에서 *G. freshwateri*(애기우뚝가사리)에 23, 서천해역에서 *G. freshwateri*(애기우뚝가사리)에 11 cells wwt-g⁻¹이 검출되었고, *Ostreopsis* sp.는 고창해역의 *S. thunbergii*(지충이)에 14, *G. freshwateri*(애기우뚝가사리)에 13, 부안해역에서 *S. thunbergii*(지충이)에 14, 보령해역에서 *Gelidium elegans*(우뚝가사리)에 5 cells wwt-g⁻¹으로 검출되었다. 10월(가을철)은 *Prorocentrum lima*가 고창해역에서 *S. thunbergii*(지충이)와 *Gelidium elegans*(우뚝가사리)에 각각 6, 5, 서천해역에서 *I. okamurae*(괘)에 1, 태안해역에서 *S. thunbergii*(지충이)에 7 cells wwt-g⁻¹이 검출되었고, *Ostreopsis* sp.는 고창해역에서 *G. freshwateri*(애기우뚝가사리)에 11, 서천해역에서 *G. freshwateri*(애기우뚝가사리)와 *Silvetia siliquosa*(뽕부기)에 각각 2, 2, cells wwt-g⁻¹이 검출되었다(<Table 6, 7>).

2022년과 2023년 서해역에 출현한 시구아테라 어독 원인생물은 *Prorocentrum lima*와 *Ostreopsis* sp. 2 종이였으며, 겨울철에는 출현하지 않았으나, 봄철부터 가을철까지 출현함을 확인하였다([Fig. 3]). 2종의 출현량을 정점별로 정리한 결과, 서천, 부안, 고창해역에서 2년 동안 지속적으로 2종이 출현하는 양상을 보였고, 특히 고창해역에서는 다른 정점보다 많은 출현량을 보인 결과를 얻을 수 있었다.

<Table 4> Abundance of *Prorocentrum lima* by seaweed species in 2022

date	site	abu. (cells wwt-g ⁻¹)	seaweed species
May	GC	2	<i>Gelidium divaricatum</i>
Aug.	GC	4	<i>Gelidium divaricatum</i>
Oct.	GC	12	<i>Sargassum thunbergii</i> , <i>Gelidium divaricatum</i>
May	BA	6	<i>Ishige sinicola</i> , <i>Sargassum thunbergii</i>
Oct.	BA	19	<i>Gelidium amansii</i> , <i>Ishige okamurae</i>
Aug.	SC	11	<i>Sargassum fusiforme</i>
Oct.	TA	3	<i>Sargassum thunbergii</i>

<Table 5> Abundance of *Ostreopsis* sp. by seaweed species in 2022

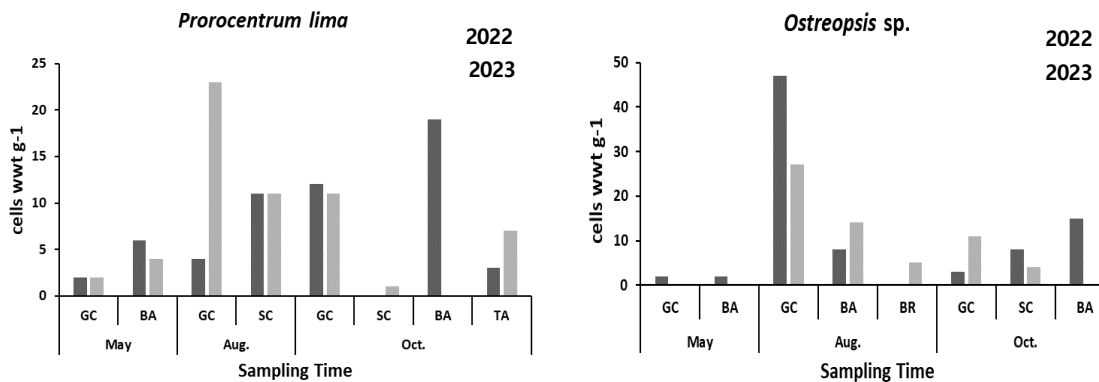
date	site	abu. (cells wwt-g-1)	seaweed species
May	GC	2	<i>Sargassum thunbergii</i>
Aug.	GC	47	<i>Sargassum thunbergii</i> , <i>Ishige okamurae</i>
Oct.	GC	3	<i>Gelidium divaricatum</i>
May	BA	2	<i>Sargassum thunbergii</i>
Aug.	BA	8	<i>Sargassum thunbergii</i>
Oct.	BA	15	<i>Gelidium divaricatum</i> , <i>Silvetia siliquosa</i>
Oct.	SC	8	<i>Sargassum thunbergii</i>

<Table 6> Abundance of *Prorocentrum lima* by seaweed species in 2023

date	site	abu. (cells wwt-g-1)	seaweed species
May	GC	2	<i>Gelidiophycus freshwateri</i>
Aug.	GC	23	<i>Gelidiophycus freshwateri</i>
Oct.	GC	11	<i>Sargassum thunbergii</i> , <i>Gelidium elegans</i>
May	BA	4	<i>Sargassum thunbergii</i>
Aug.	SC	11	<i>Gelidiophycus freshwateri</i>
Oct.	SC	1	<i>Ishige okamurae</i>
Oct.	TA	7	<i>Sargassum thunbergii</i>

<Table 7> Abundance of *Ostreopsis* sp. by seaweed species in 2023

date	site	abu. (cells wwt-g-1)	seaweed species
Aug.	GC	27	<i>Sargassum thunbergii</i> , <i>Gelidiophycus freshwateri</i>
Oct.	GC	11	<i>Gelidiophycus freshwateri</i>
Aug.	BA	14	<i>Sargassum thunbergii</i>
Aug.	BR	5	<i>Gelidium elegans</i>
Oct.	SC	4	<i>Sargassum thunbergii</i> , <i>Silvetia siliquosa</i>



[Fig. 3] Comparison of the abundance of species *Prorocentrum lima* and *Ostreopsis* sp. in 2022 and 2023.

IV. 결 론

최근 제주해역과 남해역에서 검출된 해조상(국립수산과학원 보고서, 2024) 결과와 비교해보면, 남해역(제주 포함)과 동해역에서 산호말목이 가장 많이 출현하여 29종이었고, 우뚝가사리목 17종, 말목 14종, 돌가사리목과 갈파래목 13종, 깃털말목과 도박목 7종, 꼬시래기목 6종, 굽슬이목과 솜털목 4종, 끈적이목 3종, 분홍치마목 및 비단풀목이 각각 1종씩이었던 결과에 비해 2022년과 2023년 서해역에서는 말목, 우뚝가사리목, 갈파래목이 주요 출현종으로 나타나 해조상의 차이를 보였다. 또한 해조류 목(order)별 적조생물의 출현종수는 유의적인 차이를 보이지 않았으나 ($P>0.05$), 해조류 목별 적조생물의 평균 출현량은 유의한 차이를 보여($P<0.05$), 시구아테라 어독 원인생물이 선호하는 해조류가 있는 것으로 판단되는 결과를 얻었다. 특히 이전에 보고된 자료(국립수산과학원 보고서, 2024)를 확인해 보면, 제주해역의 우뚝가사리목 10종, 산호말목과 말목에서 9종, 솜털목에서 8종 순으로 시구아테라 어독 원인생물이 높은 출현 종수를 보인 결과와 서해역 우뚝가사리목에서 검출량이 높았던 부분은 유사한 결과로 나타나 해조상의 선택적 부착은 서해역 해조상에서도 동일하게 적용되는 것으로 판단된다. 특히 *Ostreopsis* sp.의 경우 예전 결과와 비교해도 분지형의 해조류에서 높게 출현하는 결과와 유사한 패턴을 보였다. 그러나 *Prorocentrum lima*의 경우에는 엽체형 해조류에 부착되어 출현하는 선택성이 있다는 예전 결과와 비교했을 때 선택성이 나타나지 않은 결과가 확인되어, 분지형과 엽체형 해조류간 출현량 정밀비교 분석이 차후 필요할 것으로 판단된다. 해조류에 부착되어 출현한 시구아테라 어독 원인생물은 *Prorocentrum lima*와 *Ostreopsis* sp. 두 종만 검출되었으며, 출현량은 각각 2~19, 2~47 cells wwt-g-1으로 남해역(제주 포함)에 비해 소량 확인되었으나 동해역에 출현량과 유사하거나 높은 출현량을 보였다(국립

수산과학원 보고서, 2024).

다만 본 조사를 통해 검출된 시구아테라 어독 원인생물은 본 종의 독성유무 실험과 유전적 종분석이 결여되어 있어, 확실하게 독소 생산 가능성을 확인할 수 없음을 인지해야 한다. 그럼에도 불구하고 본 종들의 착생 외편모조류라는 특성을 고려했을 때 서해안의 조수간만의 차로 인한 난류(turbulence)의 영향으로 착생 외편모조류가 서식하기 어려운 환경임에도 검출되었다는 점은 서해역의 차후 확대 출현 가능성 및 지속적 모니터링의 필요성을 보인다.

정리하자면, 2022년과 2023년 계절별 조사결과, 해조류에 부착하여 출현한 시구아테라 어독 원인생물은 *Prorocentrum lima*와 *Ostreopsis* 속 2종에 한정되어 소량 검출되는 결과를 보였다. 그러나 계절별 조사를 통해 2년 연속 봄철에 검출된 결과는 해당 분류군이 서해 연안에서 월동하거나 반복적으로 출현할 가능성을 시사한다. 다만 휴면포자의 존재와 발아 여부는 추가 연구가 필요하다. 특히 2년간 연속적으로 봄철에 출현한 결과는 하계나 추계에 대마난류로 인한 일시적 유입이 아닌 지속출현 또는 정착 가능성을 보여주는 자료로 사료된다. 더 나아가 고창 동호해수욕장과 곰소항 주변에는 2종의 출현이 지속되는 것으로 나타나 관심을 가지고 모니터링 해야할 정점으로 여겨지며, 최소 10년 전후의 장기 시간동안 기후변화로 인한 수온 변동을 비롯한 해양환경변화에 본 조사종들의 출현양상을 고려한 연구가 필요할 것으로 생각한다.

References

- Ciminiello P, Dell'Aversano C, Fattorusso E, Forino M, Magno GS, Tartaglione L, Grillo C and Melchiorre N(2006). The Genoa 2005. Outbreak-Determination of putative palytoxin in Mediterranean *Ostreopsis ovata* by a new liquid chromatography tandem mass spectrometry Method. Analytical Chemistry, 78(17), 6153~6159.

- <http://doi.org/10.1021/ac060250j>.
- Gemin MP, Reveillon D, Herve F, Pavaux AS, Tharaud M, Sechet V and Amzil Z(2020). Toxin content of *Ostreopsis* cf. *ovata* depends on bloom phases, depth and macroalgal substrate in the NW Mediterranean Sea. *Harmful algae*, 92, 101727. <http://doi.org/10.1016/j.hal.2019.101727>.
- Heredia-Tapia A, Arredondo-Vega B, Nunez-Vazquez E, Yasumoto, T, Yasuda M and Ochoa J(2002). Isolation of *Prorocentrum lima* (Syn. *Exuviaella lima*) and diarrhetic shellfish poisoning (DSP) risk assessment in the Gulf of California, Mexico. *Toxicon*, 40(8), 1121~1127. [http://doi.org/10.1016/S0041-0101\(02\)00111-3](http://doi.org/10.1016/S0041-0101(02)00111-3).
- Hoppenrath M, Chomerat N, Horiguchi T, Schweikert M, Nagahama Y and Murray S(2013). Taxonomy and phylogeny of the benthic *Prorocentrum* species (Dinophyceae); A proposal and review. *Harmful algae*, 27, 1~28. <http://doi.org/10.1016/Sj.hal.2013.03.006>.
- Jang SH, Jeong HJ and Yoo YD(2018). *Gambierdiscus jejuensis* sp. nov., an epiphytic dinoflagellate from the waters of Jeju Island, Korea, effect of temperature on the growth, and its global distribution. *Harmful Algae*, 80, 149~157. <http://doi.org/10.1016/j.hal.2018.11.007>.
- Jeong HJ, Yih W, Kang NS, Lee SY, Yoon EY, Yoo YD, Kim HS and Kim JH(2012a). First report of the epiphytic benthic dinoflagellates *Coolia canariensis* and *Coolia malayensis* in the waters off Jeju Island, Korea: Morphology and rDNA sequences. *J. Eukaryot. Microbiol.*, 59, 114~133. <http://doi.org/10.1111/j.1550-7408.2012.00610.x>.
- Jeong HJ, Lim AS, Jang SH, Yih WH, Kang NS, Lee SY, Yoo YD and Kim HS(2012b). First report of the epiphytic dinoflagellate *Gambierdiscus caribaeus* in the temperate waters off Jeju Island, Korea: morphology and molecular characterization. *J Eukaryot Microbiol*, 59(6), 637~650. <http://doi.org/10.1111/j.1550-7408.2012.00645.x>.
- Kang NS, Jeong HJ, Lee SY, Lim AS, Lee MJ, Kim HS and Yih W(2013). Morphology and molecular characterization of the epiphytic benthic dinoflagellate *Ostreopsis* cf. *ovata* in the temperate waters off Jeju Island, Korea. *Harmful Algae*, 27, 98~112. <http://doi.org/10.1016/j.hal.2013.05.006>.
- Kim HS, Yih WH, Kim JH, Myung GO and Jeong HJ(2011). Abundance of epiphytic dinoflagellates from coastal waters off Jeju Island, Korea during Autumn 2009. *Ocean Science Journal*, 46: 205~209. <http://doi.org/10.1007/s12601-011-0016-9>.
- Larsson ME(2019a). First description of the environmental niche of the epibenthic dinoflagellate species *Coolia palmyrensis*, *C. malayensis*, and *C. tropicalis* (dinophyceae) from eastern Austrailia. *J. Phycol*, 55(3), 565~577. <http://doi.org/10.1111/jpy.12833>.
- Larsson ME(2019b). Toxicology and Ecology of *Gambierdiscus* from Australia: A Dinoflagellate Genus Associated with Ciguatera Fish Poisoning. Submitted in fulfilment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy in Science. <http://doi.org/10.3990/md16010007>.

-
- Received : 14 July, 2026
 - Revised : 27 July, 2026
 - Accepted : 31 July, 2026