

碩士學位論文

제주연안 착생 와편모류의
분포생태학적 연구

群山大學校 大學院

海洋學科 生物 · 化學海洋學 專攻

張 보 라

指導教授 李 元 鎬

2013年 2月

제주연안 착생 와편모류의 분포생태학적 연구

指導教授 李 元 鎬

이 論文을 理學碩士 學位
請求論文으로 提出함

2012年 11月

群山大學校 大學院

海洋學科 生物 · 化學海洋學 專攻

張 보 라

張보라의 理學碩士 學位

請求論文을 認准함

2012年 12月

學位論文 審查委員會

審查委員長 _____ 印

審查委員 _____ 印

審查委員 _____ 印

群山大學校 大學院

목 차

| | |
|------------------------------------|-----|
| 목차 | i |
| List of Tables | iii |
| List of Figures | iv |
| | |
| I. 서 론 | 1 |
| II. 재료 및 방법 | 3 |
| 1. 시료 채취 및 전처리 | 3 |
| 2. 착생 와편모류의 생물량 | 4 |
| III. 결 과 | 12 |
| 1. 환경 | 12 |
| 1-1. 기후특성 | 12 |
| 1-2. 정점별 지리적 특성 | 16 |
| 1-3. 수온 및 염분 | 18 |
| 2. 착생 와편모류 및 기저 생물인 대형 해조류 | 20 |
| 2-1. 5속 착생 와편모류 | 20 |
| 2-2. 81종 대형 해조류의 대표 종 | 23 |
| 3. 착생 와편모류의 시 · 공간적 분포 | 25 |
| 3-1. 착생 와편모류 종조성의 시 · 공간적 분포 | 25 |
| 3-2. 착생 와편모류 생물량의 시 · 공간적 분포 | 29 |
| 4. 착생 와편모류의 분포와 환경요인 | 33 |
| 4-1. 수온과의 관계 | 33 |
| 4-2. 염분과의 관계 | 35 |

| | |
|------------------------|----|
| 4-3. 강수량과의 관계 | 37 |
| 4-4. 대형 해조류와의 관계 | 40 |
| IV. 고 찰 | 46 |
| V. 참고문헌 | 56 |
| 국문초록 | 64 |
| Abstract | 66 |

List of Tables

| | |
|---|----|
| Table 1. Location and name of the 6 sampling stations around Jeju Island | 5 |
| Table 2. Macroalgal species collected from the 6 sampling stations for the study of the epiphytic dinoflagellates | 6 |
| Table 3. Annual averaged occurrence of epiphytic dinoflagellates in the 81 macroalgal species | 52 |

List of Figures

| | |
|---|----|
| Fig. 1. A map of the sampling stations around Jeju Island (scale bar = 10 miles). | 5 |
| Fig. 2. Variation in monthly mean rainfall(mm) of Seongsan, Seogwipo, Gosan and Jeju in 2011 modified from Korea Meteorological Administration(2012). | 13 |
| Fig. 3. Variation in monthly mean temperature(°C) of Seongsan, Seogwipo, Gosan and Jeju in 2011 modified from Korea Meteorological Administration(2012). | 14 |
| Fig. 4. Variation in monthly mean wind speed(m/s) of Seongsan, Seogwipo, Gosan and Jeju in 2011 modified from Korea Meteorological Administration(2012). | 15 |
| Fig. 5. Arial view of the 6 sampling stations around Jeju Island. | 17 |
| Fig. 6. Bi-monthly variation in (A) water temperature(°C) and (B) salinity(psu) in each of the 6 stations around Jeju Island. | 19 |
| Fig. 7. Light-microscopic pictures of live epiphytic dinoflagellates. | 21 |
| Fig. 8. Epifluorescence light-microscopic pictures of epiphytic dinoflagellates stained with 1% Calcofluor-white. | 22 |
| Fig. 9. The 10 representative macroalgal species with high density of epiphytic dinoflagellates from Jeju coastal waters. | 24 |
| Fig. 10. The relative abundance and total mean abundance of 5 | |

| | |
|---|----|
| epiphytic dinoflagellates. | 26 |
| Fig. 11. The relative abundance of 5 epiphytic dinoflagellates occurrence at Jeju Island. | 28 |
| Fig. 12. Seasonal mean abundance of 5 epiphytic dinoflagellates. | 30 |
| Fig. 13. Seasonal log transformed mean abundance of 5 epiphytic dinoflagellates. | 31 |
| Fig. 14. Seasonal variation in the mean abundance of 5 epiphytic dinoflagellates occurrence at Jeju Island. | 32 |
| Fig. 15. The relationship between the water temperature and the log transformed mean abundance of 5 epiphytic dinoflagellates. | 34 |
| Fig. 16. The relationship between the salinity and the log transformed mean abundance of 5 epiphytic dinoflagellates. | 36 |
| Fig. 17. The relationship between monthly mean rainfall of 4 stations(Jeju, Gosan, Seogwipo, Seongsan), temperature and mean abundance of 5 epiphytic dinoflagellates. | 38 |
| Fig. 18. The relationship between monthly mean rainfall of 4 stations(Jeju, Gosan, Seogwipo, Seongsan), salinity and mean abundance of 5 epiphytic dinoflagellates. | 39 |
| Fig. 19. Mean abundance of 5 epiphytic dinoflagellates occurrence in each of the 81 macroalgal species. | 41 |
| Fig. 20. Mean abundance of 5 epiphytic dinoflagellates occurrence on 9 macroalgae. | 42 |

| | |
|---|----|
| Fig. 21. The relative abundance of 5 ephiphytic dinoflagellates occurrence on 9 macroalgae. | 43 |
| Fig. 22. The relative temperature, 5 ephiphytic dinoflagellates and 5 macroalgae. | 45 |
| Fig. 23. Mean abundances(\pm SE) ephiphytic dinoflagellates and water temperature. | 49 |
| Fig. 24. The relationship between the temperature, salinity and mean abundance 5 ephiphytic dinoflagellates. | 50 |
| Fig. 25. The relationship between mean abundance of 5 epiphytic dinoflagellates and monthly mean rainfall of 4 stations, Jeju, Gosan, Seogwipo and Seongsan (Korea Meteorological Administration). | 51 |

I. 서 론

전 지구적인 기후 변화로 인하여, 지난 100년 동안 지구표면의 대기 평균온도가 $0.3\sim0.6^{\circ}\text{C}$ 상승하였고, 해수면 높이는 10~25 cm 상승하였다고 한다. 앞으로도 온실가스가 증가할 경우 2100년의 지구 평균기온이 $0.8\sim3.5^{\circ}\text{C}$ 상승하고, 해수면도 15~95 cm 상승할 것으로 예측하고 있다 (환경백서, 1998; 기후변화정보센터, 2012). 육상의 동·식물 분포가 급변하고 있고, 해양생태계도 심각한 영향을 받게 될 것으로 예측되고 있다 (Kordas et al., 2011).

제주도는 한라산의 능선을 중심으로 제주시와 서귀포시로 나누게 되는데, 제주시는 동서로 긴 타원형의 제주섬에서 한라산이 남쪽으로 약간 치우쳐 있어 광활한 용암평원이 발달해 있다. 서귀포시는 남동 및 남서 사면에 해당하며, 제주시보다 완만한 경사의 넓은 용암평원을 갖는다.

제주도 연안은 쓰시마난류, 황해난류를 비롯하여 황해중앙저층냉수, 중국대륙연안수, 한국연안수 등 수계가 혼합되어 복잡한 양상을 나타낸다 (김 등, 1997). 그 중, 쓰시마난류는 큐슈남쪽에서부터 북향하며, 중국대륙연안수와 혼합되면서 제주도의 동쪽을 통과하여 대한해협으로 유입되기 때문에 제주도의 남안과 동안에 영향을 미친다. 그러나 여름에는 동중국해의 저염수의 영향으로 인하여 고온, 고염의 표층수가 형성된다. 중국대륙연안수와 한국 연안수는 대부분 강수에 따른 하천수의 유입에 의한 저염수로 여름에 제주도의 북안과 서안에 영향을 미친다.

최근 국내의 제주도 연안에서 열대성 부유와편모류인 *Ornithocercus* 속(김 등., 2008)과 착생 와편모류의 출현(Kim et al., 2011)에 관한 연구가 보고되었듯이 현재 온난화로 인하여 온도가 상승함으로서 (아)열대

성 생물들이 증가하고 있다고 사료된다. 착생 와편모류는 (아)열대 지역인 태평양, 인도양, 카리브해 지역에서 발견되었고(Yasumoto et al., 1980; Bomber et al, 1985; 1988; Carlson et al., 1985; Bagnis et al., 1988; Faust, 1991; 1996; Lehane et al., 2000; Gárate-Lizárraga et al., 2004; Hernández-Becerril et al., 2004; La Barbera-Sánchez et al., 2004; Tosteson, 2004; Chateau-Degat et al., 2005), 서식 환경은 대형 해조류(갈조류, 녹조류, 홍조류), 퇴적물, 산호초, 해초 등에 부착하여 서식한다(Faust et al., 1991). 착생 와편모류는 Ciguatera Fish Poisoning을 유발하는 독소를 가지고 있으며(Faust et al., 1996; Yasumoto et al., 1980; Richlen et al., 2008; Litaker et al., 2009), 이 독소는 어패류의 체내에 축적되기 때문에 먹이연쇄를 통해 인간에게 큰 피해를 입힐 수 있다(Lewis et al., 1993; Edwin et al., 2006; Erdner et al., 2008; Dickey et al., 2010).

국외에서는 약 40년 전부터 착생 와편모류가 대발생(Yasumoto, 1990)하였고, 그에 따른 피해로 인해 지속적으로 연구가 진행되어 왔지만, 국내에서는 착생 와편모류가 최근에 발견되었기 때문에(Kim et al., 2011) 아직 연구가 미비한 실정이다.

본 연구에서는 2009년 가을에 제주도 연안을 대상으로 대형 해조류에 부착하여 서식하는 착생 와편모류의 분포를 한국에서 처음으로 보고한 논문을 기반으로 (Kim et al., 2011) 2011년 2월~12월까지 6회의 격월 조사를 실시하여 착생 와편모류의 시·공간적 분포 특성을 재 규명하고자 하였다.

II. 재료 및 방법

1. 시료 채취 및 전처리

제주도 연안에서 대형 해조류에 착생하는 와편모류의 분포특성을 연구하기 위해 제주도 전 연안을 등간격으로 6개 정점(Fig. 1; Table 1)을 선정하여 2011년 2월부터 12월까지 격월조사를 실시하였다. 각 정점별로 3 m 이내의 수심에 서식하는 15종 내외의 대형 해조류를 대상으로, SCUBA를 통해 대형 해조류 엽체에서 착생 와편모류가 탈락하지 않도록 조심스럽게 대형 해조류를 절단하여 500 mL HDPE(High density polyethylene) 병에 채집하였다. 채집된 시료는 중성포르말린으로 최종농도 1~2%가 되도록 현장에서 고정하여 실험실로 운반하였다.

또한, 염분과 수온은 Salinometer(YSI, Model 30)를 이용하여 현장의 수심 1 m에서 측정하였고, 기온, 강수량 및 풍속은 기상청 자료를 참고하였다.

운반된 시료는 착생 와편모류가 대형 해조류에서 떨어질 수 있도록 500 mL HDPE 병을 강하게 100회 이상 훃들어 준 후, 300 μm mesh sieve를 이용하여 대형 해조류와 착생 와편모류가 포함된 해수시료로 구분하였다. 분리된 대형 해조류는 흡수지를 이용하여 물기를 충분히 제거한 후, 전기저울(0.001g)로 습중량을 측정하였다.

대형 해조류는 이(2008)의 문현을 참고하여 동정을 실시하였고, 매 시기의 각 정점에서 13~16종의 해조류가 동정되었다(Table 2).

2. 촉생 와편모류의 생물량

대형 해조류로부터 분리된 해수시료는 2일 이상 정치한 후, siphon으로 상등액을 제거하여 약 10배로 농축하였다. 정량분석은 5 mL 병에 2 mL를 분주하여 1% 농도의 Calcofluor-white 3~4 방울을 떨어뜨린 후, 알루미늄 호일로 차광하여 4시간 이상 염색하였다.

염색된 시료는 Sedgwick-Rafter counting chamber에 0.5 mL를 취하여 형광현미경(Olympus BX-51, Japan)으로 단위 체적 당 세포수 (cells mL^{-1})로 계수하였다. 계수된 자료를 최종적으로 대형 해조류의 습중량 당 생물량(cells g^{-1} wwt)으로 환산하였다.

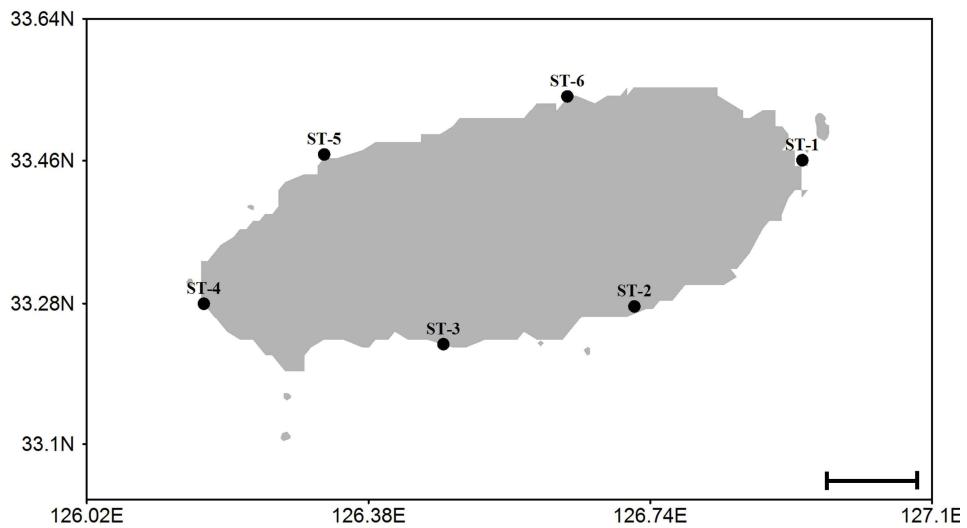


Fig. 1. A map of the sampling stations around Jeju Island (scale bar = 10 miles).

Table 1. Location and name of the 6 sampling stations around Jeju Island

| Sampling stations | | Location |
|-------------------|-----------|---------------------------------|
| St.1 | Seongsan | N33°27' 38.28" /E126°56' 03.64" |
| St.2 | Namwon | N33°16' 34.55" /E126°43' 10.56" |
| St.3 | Gangjeong | N33°13' 39.02" /E126°28' 32.03" |
| St.4 | Shindo | N33°16' 46.89" /E126°10' 09.98" |
| St.5 | Aewol | N33°28' 04.78" /E126°19' 23.69" |
| St.6 | Jocheon | N33°32' 30.72" /E126°38' 02.55" |

Table 2. Macroalgal species collected from the 6 sampling stations for the study of the epiphytic dinoflagellates

| Month | Station | Total sample number | Macroalgal species |
|-------|---------|---------------------|--|
| Feb | St.1 | 14 | <i>Dictyopteris prolifera</i> , <i>Ecklonia cava</i> , <i>Lomentaria catenata</i> , <i>Ahnfeltiopsis flabelliformis</i> , <i>Grateloupia angusta</i> , <i>Galaxaura falcata</i> , <i>Gelidium amansii</i> , <i>Amphiroa</i> sp., <i>Gracilaria textorii</i> , <i>Plocamium telfairiae</i> |
| | St.2 | 16 | <i>Cladophora wrightiana</i> , <i>Ecklonia cava</i> , <i>Lomentaria catenata</i> , <i>Undaria pinnatifida</i> , <i>Colpomenia sinuosa</i> , <i>Martensia bibaria</i> , <i>Galaxaura falcata</i> , <i>Portieria japonica</i> , <i>Gelidium amansii</i> , <i>Amphiroa</i> sp., <i>Corallina</i> sp., <i>Hypnea charoides</i> , <i>Codium minus</i> , <i>Scinaia japonica</i> |
| | St.3 | 16 | <i>Centroceras clavulatum</i> , <i>Cladophora wrightiana</i> , <i>Pterocladiella capillacea</i> , <i>Codium arabicum</i> , <i>Asparagopsis taxiformis</i> , <i>Padina arborescens</i> , <i>Colpomenia sinuosa</i> , <i>Portieria japonica</i> , <i>Corallina</i> sp., <i>Champia parvula</i> , <i>Sargassum horneri</i> , <i>Ecklonia cava</i> , <i>Amphiroa</i> sp., <i>Dudresnaya japonica</i> |
| | St.4 | 15 | <i>Hypnea japonica</i> , <i>Pterocladiella capillacea</i> , <i>Grateloupia elata</i> , <i>Chondracanthus tenellus</i> , <i>Lomentaria catenata</i> , <i>Ahnfeltiopsis flabelliformis</i> , <i>Martensia</i> sp., <i>Grateloupia subpectinata</i> , <i>Galaxaura falcata</i> , <i>Portieria japonica</i> , <i>Gelidium amansii</i> , <i>Amphiroa</i> sp., <i>Gracilaria textorii</i> , <i>Corallina</i> sp. |
| | St.5 | 15 | <i>Ecklonia cava</i> , <i>Ulva pertusa</i> , <i>Grateloupia elata</i> , <i>Undaria pinnatifida</i> , <i>Callophyllis japonica</i> , <i>Polysiphonia</i> sp., <i>Galaxaura falcata</i> , <i>Gelidium amansii</i> , <i>Amphiroa</i> sp., <i>Gracilaria cuneifolia</i> , <i>Gracilaria textorii</i> |
| | St.6 | 13 | <i>Ulva pertusa</i> , <i>Grateloupia elata</i> , <i>Laurencia pinnata</i> , <i>Undaria pinnatifida</i> , <i>Callophyllis japonica</i> , <i>Martensia</i> sp., <i>Jania</i> sp., <i>Gracilaria textorii</i> , <i>Grateloupia</i> sp., <i>Polyopales affinis</i> , <i>Pterocladiella capillacea</i> , <i>Gelidium amansii</i> |

Table 2. Continued

| Month | Station | Total sample number | Macroalgal species |
|-------|---------|---------------------|--|
| Apr | St.1 | 15 | <i>Ecklonia cava</i> , <i>Pterocladiella capillacea</i> , <i>Sargassum horneri</i> , <i>Hydroclathrus clathratus</i> , <i>Grateloupia elata</i> , <i>Lomentaria catenata</i> , <i>Ahnfeltiopsis flabelliformis</i> , <i>Colpomenia sinuosa</i> , <i>Grateloupia angusta</i> , <i>Galaxaura falcata</i> , <i>Gelidium amansii</i> , <i>Amphiroa</i> sp., <i>Grateloupia lanceolata</i> |
| | St.2 | 15 | <i>Hypnea japonica</i> , <i>Ecklonia cava</i> , <i>Ulva pertusa</i> , <i>Lomentaria catenata</i> , <i>Martensia albida</i> , <i>Colpomenia sinuosa</i> , <i>Galaxaura falcata</i> , <i>Scinaia japonica</i> , <i>Gelidium amansii</i> , <i>Amphiroa</i> sp., <i>Dudresnaya japonica</i> , <i>Chondrus ocellatus</i> , <i>Dictyota coriacea</i> , <i>Codium fragile</i> |
| | St.3 | 14 | <i>Cladophora wrightiana</i> , <i>Pterocladiella capillacea</i> , <i>Lomentaria catenata</i> , <i>Padina arborescens</i> , <i>Colpomenia sinuosa</i> , <i>Gelidium amansii</i> , <i>Amphiroa</i> sp., <i>Corallina</i> sp., <i>Dictyota coriacea</i> , <i>Plocamium telfairiae</i> , <i>Dudresnaya japonica</i> , <i>Grateloupia turuturu</i> |
| | St.4 | 14 | <i>Pterocladiella capillacea</i> , <i>Cladophora meridionalis</i> , <i>Acrosorium yendoi</i> , <i>Chondracanthus tenellus</i> , <i>Ahnfeltiopsis flabelliformis</i> , <i>Gelidium amansii</i> , <i>Amphiroa</i> sp., <i>Grateloupia asiatica</i> , <i>Grateloupia elliptica</i> , <i>Grateloupia turuturu</i> , <i>Dictyota coriacea</i> |
| | St.5 | 14 | <i>Grateloupia elata</i> , <i>Ahnfeltiopsis flabelliformis</i> , <i>Dasya scoparia</i> , <i>Gelidium amansii</i> , <i>Grateloupia elliptica</i> , <i>Chondracanthus tenellus</i> , <i>Dudresnaya japonica</i> , <i>Gloiopeltis tenax</i> , <i>Dictyota coriacea</i> , <i>Ecklonia cava</i> , <i>Corallina</i> sp., <i>Hydroclathrus clathratus</i> |
| | St.6 | 15 | <i>Laurencia pinnata</i> , <i>Pterocladiella capillacea</i> , <i>Lomentaria catenata</i> , <i>Grateloupia turuturu</i> , <i>Sargassum miyabei</i> , <i>Lomentaria flaccida</i> , <i>Gelidium amansii</i> , <i>Sargassum thunbergii</i> , <i>Chondrus ocellatus</i> , <i>Champia parvula</i> , <i>Grateloupia subpectinata</i> , <i>Ahnfeltiopsis flabelliformis</i> , <i>Grateloupia elata</i> , <i>Ulva pertusa</i> |

Table 2. Continued

| Month | Station | Total sample number | Macroalgal species |
|-------|---------|---------------------|---|
| Jun | St.1 | 14 | <i>Dictyopteris prolifera</i> , <i>Hypnea</i> sp., <i>Dictyota okamurae</i> , <i>Pterocladiella capillacea</i> , <i>Grateloupia elata</i> , <i>Lomentaria catenata</i> , <i>Galaxaura falcata</i> , <i>Gelidium amansii</i> , <i>Amphiroa</i> sp., <i>Dictyopteris undulata</i> , <i>Polyopsex affinis</i> , <i>Codium fragile</i> , <i>Wrangelia tanegana</i> |
| | St.2 | 14 | <i>Hypnea</i> sp., <i>Cladophora wrightiana</i> , <i>Pterocladiella capillacea</i> , <i>Ulva pertusa</i> , <i>Cladophora meridionalis</i> , <i>Padina arborescens</i> , <i>Ahnfeltiopsis flabelliformis</i> , <i>Galaxaura falcata</i> , <i>Gelidium amansii</i> , <i>Amphiroa</i> sp., <i>Chondrus ocellatus</i> |
| | St.3 | 12 | <i>Hypnea</i> sp., <i>Cladophora wrightiana</i> , <i>Ecklonia cava</i> , <i>Cladophora meridionalis</i> , <i>Colpomenia sinuosa</i> , <i>Grateloupia angusta</i> , <i>Galaxaura falcata</i> , <i>Chaetomorpha moniligera</i> , <i>Gelidium amansii</i> , <i>Amphiroa</i> sp., <i>Plocamium telfairiae</i> |
| | St.4 | 16 | <i>Pterocladiella capillacea</i> , <i>Grateloupia elata</i> , <i>Grateloupia imbricata</i> , <i>Phacelocarpus japonicus</i> , <i>Cladophora meridionalis</i> , <i>Chondracanthus tenellus</i> , <i>Ahnfeltiopsis flabelliformis</i> , <i>Martensia</i> sp., <i>Galaxaura falcata</i> , <i>Gelidium amansii</i> , <i>Amphiroa</i> sp., <i>Chondrus ocellatus</i> , <i>Plocamium telfairiae</i> |
| | St.5 | 16 | <i>Ecklonia cava</i> , <i>Pterocladiella capillacea</i> , <i>Grateloupia elata</i> , <i>Chondracanthus tenellus</i> , <i>Martensia</i> sp., <i>Galaxaura falcata</i> , <i>Gelidium amansii</i> , <i>Marginisporum</i> sp., <i>Amphiroa</i> sp., <i>Corallina</i> sp., <i>Chondrus ocellatus</i> , <i>Plocamium telfairiae</i> |
| | St.6 | 13 | <i>Pterocladiella capillacea</i> , <i>Ulva pertusa</i> , <i>Grateloupia elata</i> , <i>Lomentaria catenata</i> , <i>Martensia albida</i> , <i>Chondrophycus cartilaginea</i> , <i>Ahnfeltiopsis flabelliformis</i> , <i>Gelidium amansii</i> , <i>Chondrus ocellatus</i> , <i>Grateloupia elliptica</i> |

Table 2. Continued

| Month | Station | Total sample number | Macroalgal species |
|-------|---------|---------------------|---|
| Aug | St.1 | 15 | <i>Dictyopteris prolifera</i> , <i>Hypnea</i> sp., <i>Grateloupia elata</i> , <i>Chondrus canaliculatus</i> , <i>Padina arborescens</i> , <i>Gelidium amansii</i> , <i>Corallina</i> sp., <i>Dictyopteris undulata</i> , <i>Plocamium telfairiae</i> , <i>Codium fragile</i> , <i>Pachymeniopsis</i> sp., <i>Ulva lactuca</i> |
| | St.2 | 14 | <i>Pterocladiella capillacea</i> , <i>Ulva pertusa</i> , <i>Galaxaura falcata</i> , <i>Gelidium amansii</i> , <i>Amphiroa</i> sp., <i>Marginisporum</i> sp., <i>Dictyopteris undulata</i> , <i>Plocamium telfairiae</i> , <i>Codium fragile</i> , <i>Ecklonia cava</i> |
| | St.3 | 14 | <i>Cladophora wrightiana</i> , <i>Ecklonia cava</i> , <i>Cladophora meridionalis</i> , <i>Cladophoropsis herpestica</i> , <i>Grateloupia angusta</i> , <i>Amphiroa</i> sp., <i>Corallina</i> sp., <i>Peyssonnelia capensis</i> , <i>Codium fragile</i> |
| | St.4 | 14 | <i>Dictyopteris prolifera</i> , <i>Cladophora wrightiana</i> , <i>Ecklonia cava</i> , <i>Dictyota okamurae</i> , <i>Pterocladiella capillacea</i> , <i>Cladophora meridionalis</i> , <i>Codium subtubulosum</i> , <i>Grateloupia angusta</i> , <i>Galaxaura falcata</i> , <i>Corallina</i> sp., <i>Marginisporum</i> sp., <i>Plocamium telfairiae</i> |
| | St.5 | 14 | <i>Dictyopteris prolifera</i> , <i>Hypnea</i> sp., <i>Grateloupia elata</i> , <i>Grateloupia angusta</i> , <i>Portieria japonica</i> , <i>Gelidium amansii</i> , <i>Amphiroa</i> sp., <i>Chondrus ocellatus</i> , <i>Codium fragile</i> , <i>Ecklonia cava</i> , <i>Ulva pertusa</i> |
| | St.6 | 14 | <i>Hypnea</i> sp., <i>Ulva pertusa</i> , <i>Galaxaura falcata</i> , <i>Chondrus canaliculatus</i> , <i>Martensia</i> sp., <i>Gelidium amansii</i> , <i>Marginisporum</i> sp., <i>Plocamium telfairiae</i> |

Table 2. Continued

| Month | Station | Total sample number | Macroalgal species |
|-------|---------|---------------------|---|
| Oct | St.1 | 14 | <i>Dictyopteris prolifera</i> , <i>Dictyota okamurae</i> , <i>Ulva pertusa</i> , <i>Padina arborescens</i> , <i>Gelidium amansii</i> , <i>Amphiroa</i> sp., <i>Dictyopteris undulata</i> , <i>Chondrus ocellatus</i> , <i>Plocamium telfairiae</i> |
| | St.2 | 15 | <i>Ecklonia cava</i> , <i>Ulva pertusa</i> , <i>Martensia</i> sp., <i>Gelidium amansii</i> , <i>Amphiroa</i> sp., <i>Dictyopteris undulata</i> , <i>Plocamium telfairiae</i> , <i>Codium fragile</i> , <i>Dictyota okamurae</i> |
| | St.3 | 14 | <i>Cladophora wrightiana</i> , <i>Ecklonia cava</i> , <i>Cladophora meridionalis</i> , <i>Synarthrophyton chejuensis</i> , <i>Amphiroa</i> sp., <i>Corallina</i> sp., <i>Amphiroa anceps</i> , <i>Peyssonnelia capensis</i> , <i>Plocamium telfairiae</i> |
| | St.4 | 15 | <i>Ecklonia cava</i> , <i>Dictyota okamurae</i> , <i>Sargassum horneri</i> , <i>Derbesia</i> sp., <i>Amphiroa</i> sp., <i>Corallina</i> sp., <i>Plocamium telfairiae</i> , <i>Codium fragile</i> |
| | St.5 | 12 | <i>Gratelouphia elata</i> , <i>Padina arborescens</i> , <i>Martensia</i> sp., <i>Gelidium amansii</i> , <i>Marginisporum</i> sp., <i>Amphiroa</i> sp., <i>Corallina</i> sp., <i>Plocamium telfairiae</i> , <i>Codium fragile</i> |
| | St.6 | 15 | <i>Pterocladiella capillacea</i> , <i>Ulva pertusa</i> , <i>Gratelouphia elata</i> , <i>Martensia</i> sp., <i>Gelidium amansii</i> , <i>Amphiroa</i> sp., <i>Marginisporum</i> sp., <i>Jania yenoshimensis</i> , <i>Sargassum thunbergii</i> , <i>Plocamium telfairiae</i> , <i>Anotrichium tenuie</i> , <i>Bryopsis maxima</i> |

Table 2. Continued

| Month | Station | Total sample number | Macroalgal species |
|--------------|---------|---------------------|--|
| Dec | St.1 | 15 | <i>Ecklonia cava</i> , <i>Dictyota okamurae</i> , <i>Sargassum horneri</i> , <i>Chordaria flagelliformis</i> , <i>Padina arborescens</i> , <i>Galaxaura falcata</i> , <i>Gelidium amansii</i> , <i>Amphiroa</i> sp., <i>Corallina</i> sp., <i>Dictyopteris undulata</i> , <i>Plocamium telfairiae</i> , <i>Grateloupia</i> sp. |
| | St.2 | 15 | <i>Cladophora wrightiana</i> , <i>Ecklonia cava</i> , <i>Grateloupia elata</i> , <i>Padina arborescens</i> , <i>Gelidium amansii</i> , <i>Amphiroa</i> sp., <i>Dictyopteris undulata</i> , <i>Plocamium telfairiae</i> , <i>Codium fragile</i> |
| | St.3 | 15 | <i>Cladophora wrightiana</i> , <i>Cladophoropsis herpestica</i> , <i>Martensia</i> sp., <i>Corallina pilulifera</i> , <i>Amphiroa</i> sp., <i>Peyssonnelia capensis</i> , <i>Plocamium telfairiae</i> , <i>Anotrichium tenue</i> |
| | St.4 | 15 | <i>Amphiroa</i> sp., <i>Amphiroa anceps</i> , <i>Plocamium telfairiae</i> , <i>Grateloupia elata</i> , <i>Ecklonia cava</i> , <i>Sargassum horneri</i> , <i>Sargassum</i> sp. |
| | St.5 | 14 | <i>Pterocladiella capillacea</i> , <i>Chondracanthus tenellus</i> , <i>Gelidium amansii</i> , <i>Marginisporum</i> sp., <i>Corallina</i> sp., <i>Plocamium telfairiae</i> , <i>Codium coactum</i> , <i>Grateloupia elata</i> , <i>Ecklonia cava</i> |
| | St.6 | 15 | <i>Pterocladiella capillacea</i> , <i>Grateloupia elata</i> , <i>Callophyllis japonica</i> , <i>Martensia</i> sp., <i>Gelidium amansii</i> , <i>Marginisporum</i> sp., <i>Plocamium telfairiae</i> |
| Total | | 520 | 81 species |

III. 결 과

1. 환경

1-1. 기후특성

2011년 제주도 4개 지역(제주, 고산, 서귀포, 성산)의 연 평균 강수량은 9.2 mm로, 월 평균 0.7~23.0 mm의 범위로 나타났다(Fig. 2). 시기별로 살펴보면, 1월이 0.7 mm로 가장 낮았고, 여름철인 6월이 23 mm로 가장 높게 나타났다. 가을철인 11월에도 20.4 mm로 비교적 높은 강수량을 보였다.

지역별 월 평균 강수량은 제주 1.0~24.9, 고산 0.3~17.6, 성산 1.2~25.4, 서귀포 0.4~29.2 mm의 범위로 나타났다. 강수량이 가장 많은 지역은 서귀포로 평균 11.9 mm이었고, 고산은 평균 6.2 mm로 가장 낮게 나타났다(Fig. 2).

연 평균 기온은 15.8(15.4~16.7°C)로, 월 평균 12.8~26.5°C의 범위로 나타났다. 지역별 월 평균 기온은 제주 2.3~27.3°C, 고산 2.4~26.0°C, 서귀포 4.0~26.7°C, 성산 2.4~26.1°C의 범위로 나타났다. 서귀포에서 1.1~1.3°C의 높은 경향을 나타냈고, 제주에서 0.2~1.1°C로 가장 낮게 나타났다(Fig. 3).

연 평균 풍속은 4.0 m/s(2.4~6.9 m/s)로, 월 평균 3.1~5.8 m/s의 범위로 나타났다. 지역별 월 평균 풍속은 제주 2.2~5.0 m/s, 고산 4.7~12.2 m/s, 서귀포 2.2~2.9 m/s, 성산 2.4~3.7 m/s의 범위로 나타났다. 고산에서 3.6~4.4 m/s의 높은 경향을 나타냈고, 서귀포에서 0.8~4.4 m/s로 가장 낮게 나타났다(Fig. 4).

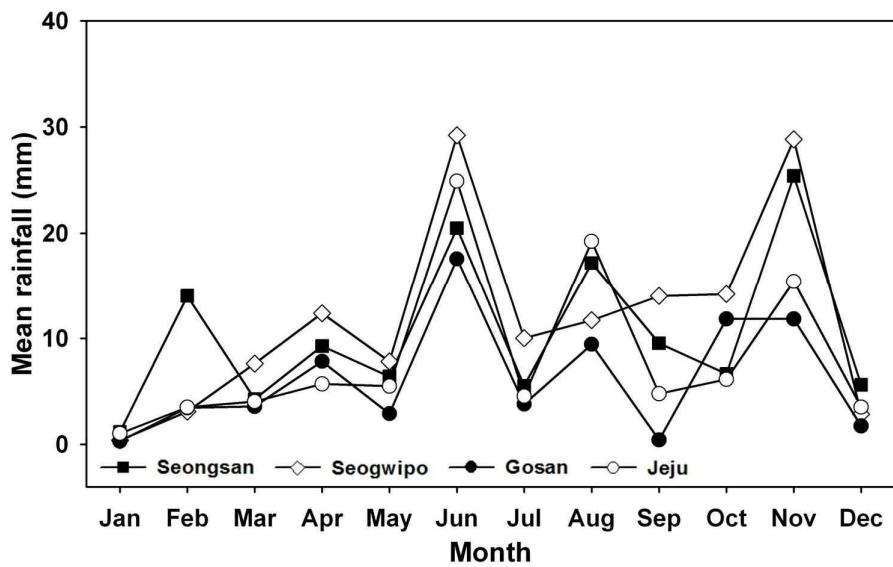


Fig. 2. Variation in monthly mean rainfall(mm) of Seongsan, Seogwipo, Gosan and Jeju in 2011 modified from Korea Meteorological Administration(2012).

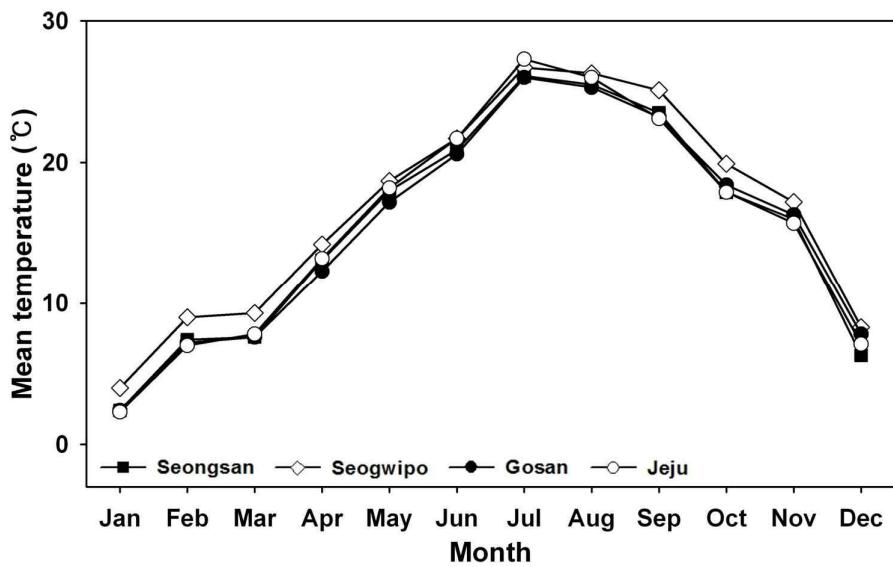


Fig. 3. Variation in monthly mean temperature(°C) of Seongsan, Seogwipo, Gosan and Jeju in 2011 modified from Korea Meteorological Administration(2012).

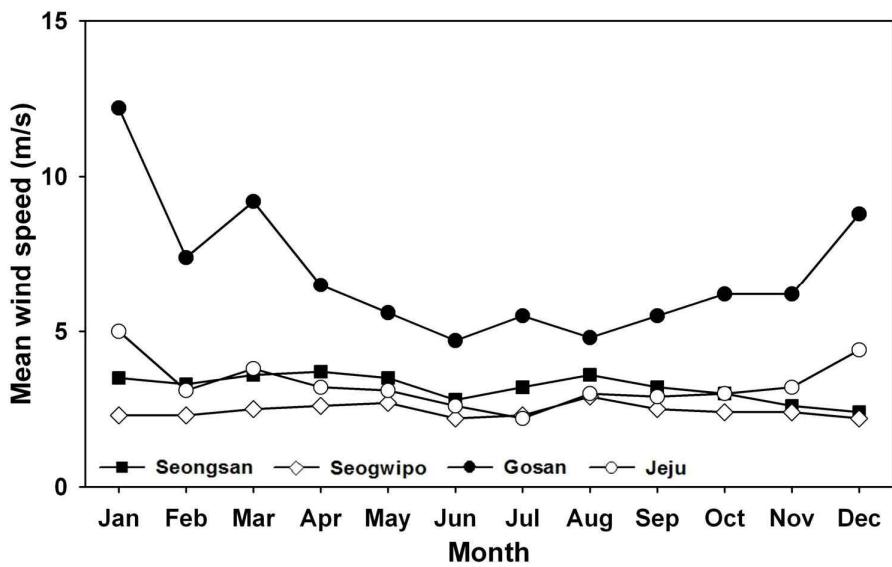


Fig. 4. Variation in monthly mean wind speed(m/s) of Seongsan, Seogwipo, Gosan and Jeju in 2011 modified from Korea Meteorological Administration(2012).

1-2. 정점별 지리적 특성

각 정점의 주변 환경을 살펴보면(Fig. 5), St.1이 위치한(Fig. 5A) 성산은 장축의 능선을 이루는 한라산의 동쪽 끝에 위치하기 때문에 대부분의 지역이 해발고도 200 m 이하의 용암평원으로 되어있어, 제주도에서 가장 해안선이 복잡하다(한국학중앙연구원, 1996).

St.2가 위치한(Fig. 5B) 남원은 동부의 완만한 평원지대와 서부 서귀포시 지역의 경사지대 중간에 위치하여 환경사지를 이룬다. 해발고도 300 m 이하의 해안지대는 드문드문 측화산이 분포하며, 곳곳에 한라산 산정부의 측화산에서 발원한 맑은 유로의 건천이 형성되어 있다(한국학중앙연구원, 1996).

St.3이 위치한(Fig. 5C) 강정은 평소 건천을 이루는 제주의 일반 하천과는 달리 사철 맑은 물이 흘러 서귀포 식수 공급량의 80%를 담당하고 있어 다른 지역보다 담수 유입량이 가장 많은 지역이다(한국학중앙연구원, 1996).

St.4가 위치한(Fig. 5D) 신도는 동서로 긴 타원형을 이룬 한라산의 서사면에 해당하며 환경사지대가 널리 퍼져 전 지역이 해발고도 200 m 이하의 용암평원지대를 형성하고 있다(한국학중앙연구원, 1996).

St.5가 위치한(Fig. 5E) 애월은 깊은 계곡을 이루는 곳도 있으나, 전체적으로 넓은 용암평원에 분포하며, 20여 개의 측화산이 해발고도 600 m 이상의 고지에 집중되어 있다(한국학중앙연구원, 1996).

St.6이 위치한(Fig. 5F) 조천은 한라산 북동쪽에 남북으로 길게 자리잡고 있다. 북쪽으로 갈수록 해발 고도가 점점 낮은 30여 개의 오름이 분포하며 용암동굴이 집중적으로 발달하였다. 해안은 대부분 암석 해안이며, 해안선의 굴곡은 비교적 완만한 편이다(디지털제주시문화대전, 2012).

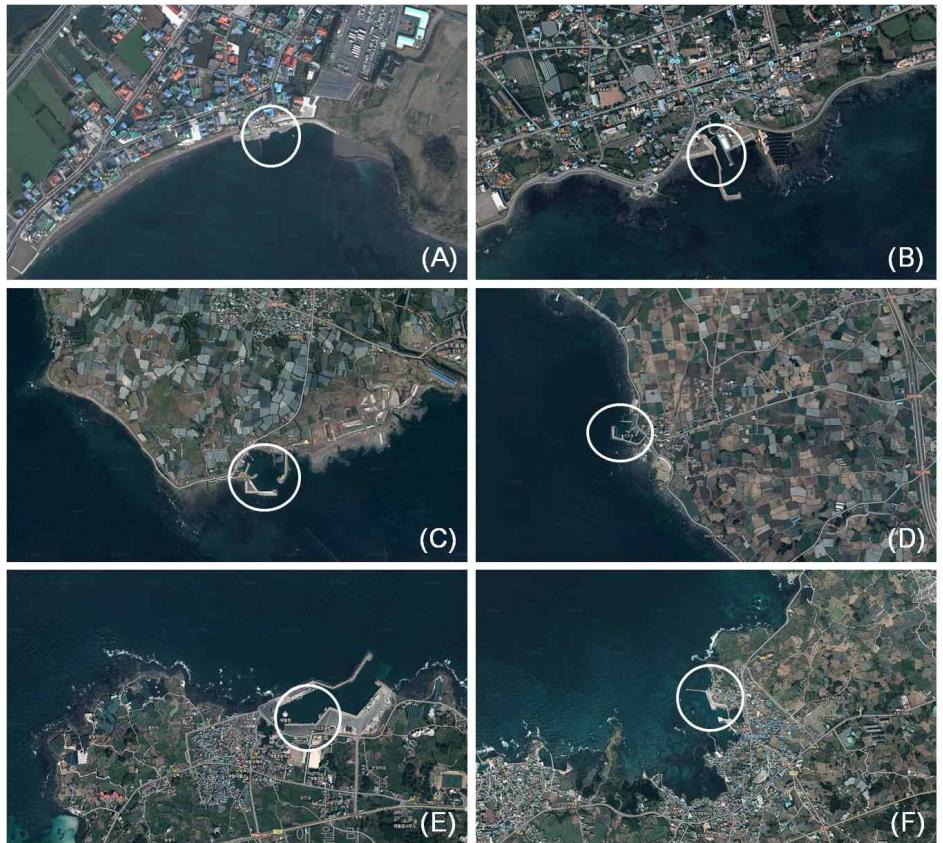


Fig. 5. Aerial view of the 6 sampling stations around Jeju Island.
(A) Seongsan(St. 1), (B) Namwon(St. 2), (C) Gangjeong(St. 3), (D) Shindo(St. 4), (E) Aewol(St. 5) and (F) Jocheon(St. 6).

1-3. 수온 및 염분

제주도 연안 6개 정점에서 연 평균 수온은 18.3°C 로, $12.0\sim25.3^{\circ}\text{C}$ 범위를 나타냈다(Fig. 6A). 시기별 평균 수온 및 범위는 2월에 14.8°C ($13.5\sim16.0^{\circ}\text{C}$), 4월에 15.4°C ($14.6\sim16.9^{\circ}\text{C}$), 6월에 20.5°C ($19.2\sim21.3^{\circ}\text{C}$), 8월에 23.9°C ($22.4\sim25.3^{\circ}\text{C}$), 10월에 20.8°C ($19.3\sim22.7^{\circ}\text{C}$), 12월에 14.6°C ($12.0\sim16.9^{\circ}\text{C}$)로, 12월이 가장 낮고 8월에 가장 높게 나타났다. 정점에 따른 수온 변화는 12월에 4.9°C 로 가장 큰 차이를 보였고, 6월에 2.1°C 로 가장 적은 차이를 보였다.

제주도 연안 6개 정점에서 연 평균 염분은 31.9 psu로, $28.0\sim34.1$ psu 범위를 나타냈다(Fig. 6B). 시기별로는 2월에 평균 31.8 psu ($29.2\sim33.8$ psu), 4월에 평균 31.8 psu ($29.1\sim33.6$ psu), 6월에 평균 31.6 psu ($28.8\sim33.2$ psu), 8월에 평균 30.4 psu ($28.0\sim31.8$ psu), 10월에 평균 33.2 psu ($30.2\sim34.1$ psu), 12월에 평균 32.6 psu ($29.6\sim34.0$ psu)로, 8월에 가장 낮고 10월에 가장 높게 나타났다. 정점별 염분의 차이는 2월에 4.6 psu로 가장 컼고, 8월에 3.8 psu로 가장 적었다.

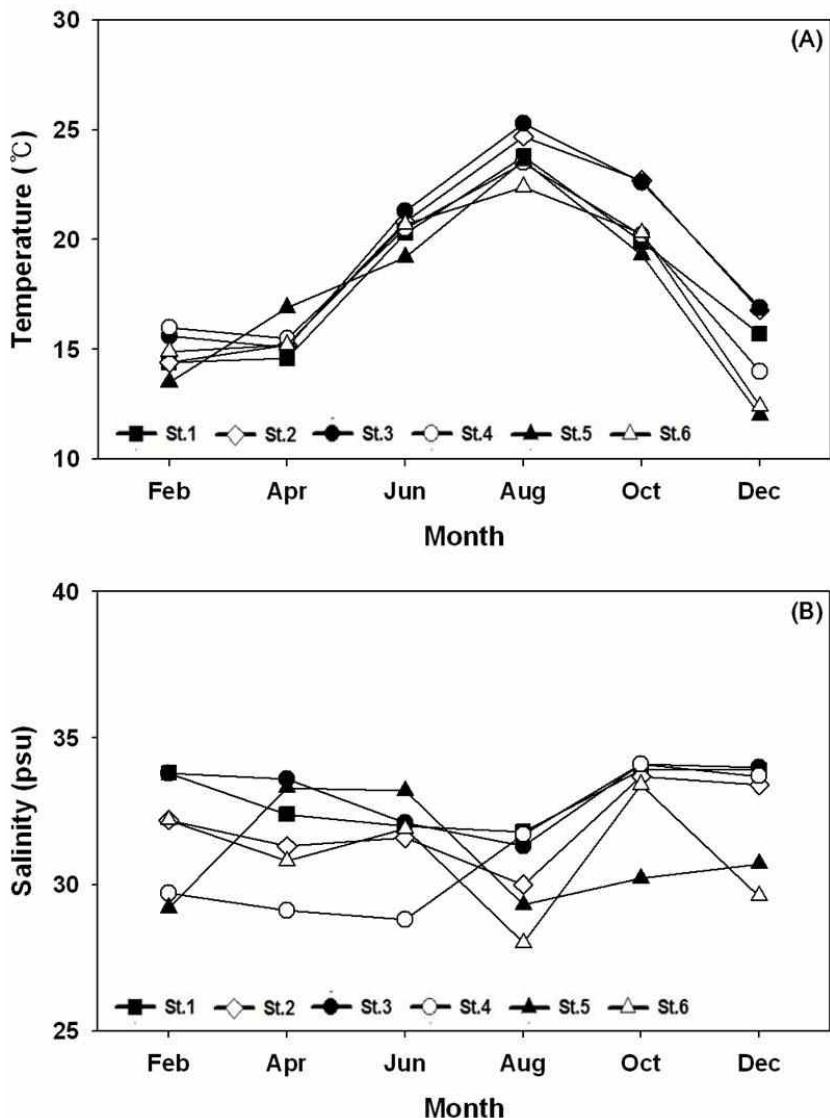


Fig. 6. Bi-monthly variation in (A) water temperature(°C) and (B) salinity(psu) in each of the 6 stations around Jeju Island.

2. 착생 와편모류 및 기저 생물인 대형 해조류

2-1. 5속 착생 와편모류

81종의 대형 해조류에서 확인된 착생 와편모류는 *Amphidinium* spp., *Coolia* spp., *Gambierdiscus* spp., *Ostreopsis* spp., *Prorocentrum* spp. 가 속하였다. 5개 속의 살아있는 세포 및 형광 염색된 세포는 Fig. 7 과 Fig. 8에 나타내었다. 크기를 보면, *Amphidinium* spp.는 길이 10~43 μm , 폭 7~23 μm 이었고, *Coolia* spp.는 길이 30~40 μm , 폭 28~42 μm 이었다. *Gambierdiscus* spp.는 길이 45~150 μm , 폭 42~140 μm 이었고, *Ostreopsis* spp.는 길이 26~65 μm , 폭 13~57 μm 이었다. *Prorocentrum* spp.는 길이 35~55 μm , 폭 10~45 μm 이었다. 표면 형광현미경에서 관찰 된 각 세포들의 형광을 비교해 보면, plate pattern이 *Ostreopsis* spp.에 서 가장 뚜렷하게 나타났으나, *Coolia* spp.에서는 형광 관찰에서 plate pattern을 정밀 관찰하는 것은 쉽지 않았다.

이상의 두 가지 관찰 방법으로 착생 와편모류의 종류를 구분하였음에 도 불구하고, 속 수준 이하의 상세한 검색은 불가능하다고 판단하여, 본 연구에서는 착생 와편모류의 형광 염색된 세포의 표면을 관찰하여 속 수 준을 관찰하였다.

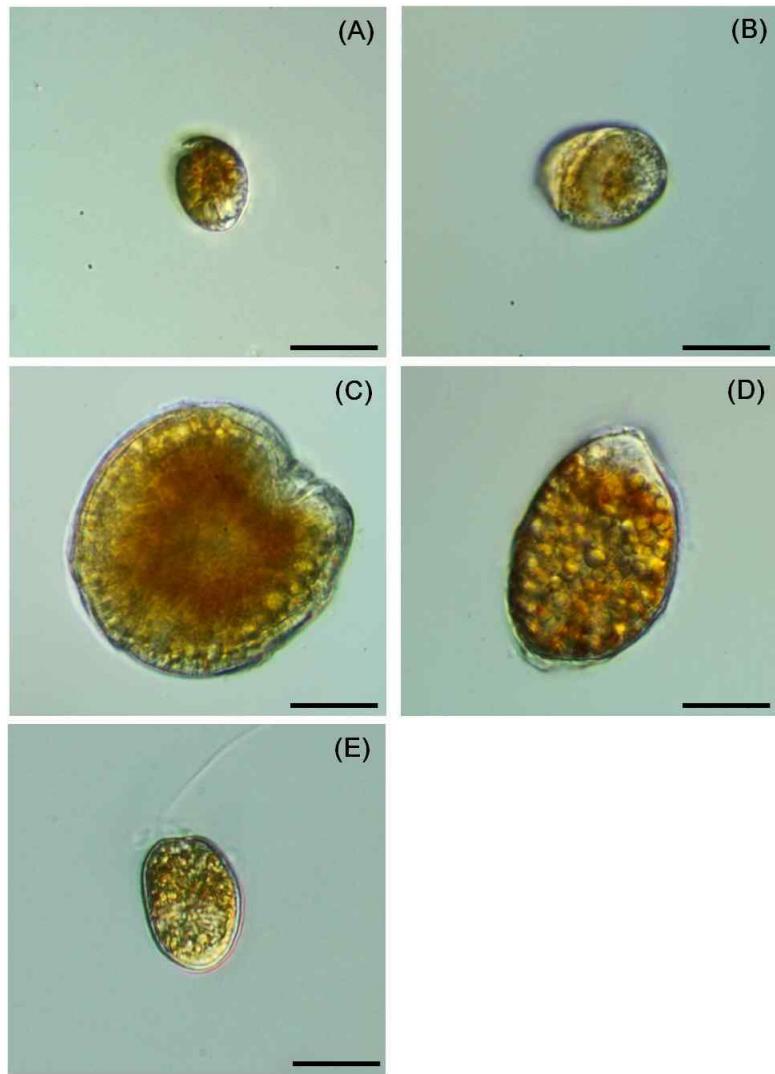


Fig. 7. Light-microscopic pictures of live ephiphytic dinoflagellates.
(A) *Amphidinium* sp., (B) *Coolia* sp., (C) *Gambierdiscus* sp.,
(D) *Ostreopsis* sp., (E) *Prorocentrum* sp. (scale bar = 20
μm).

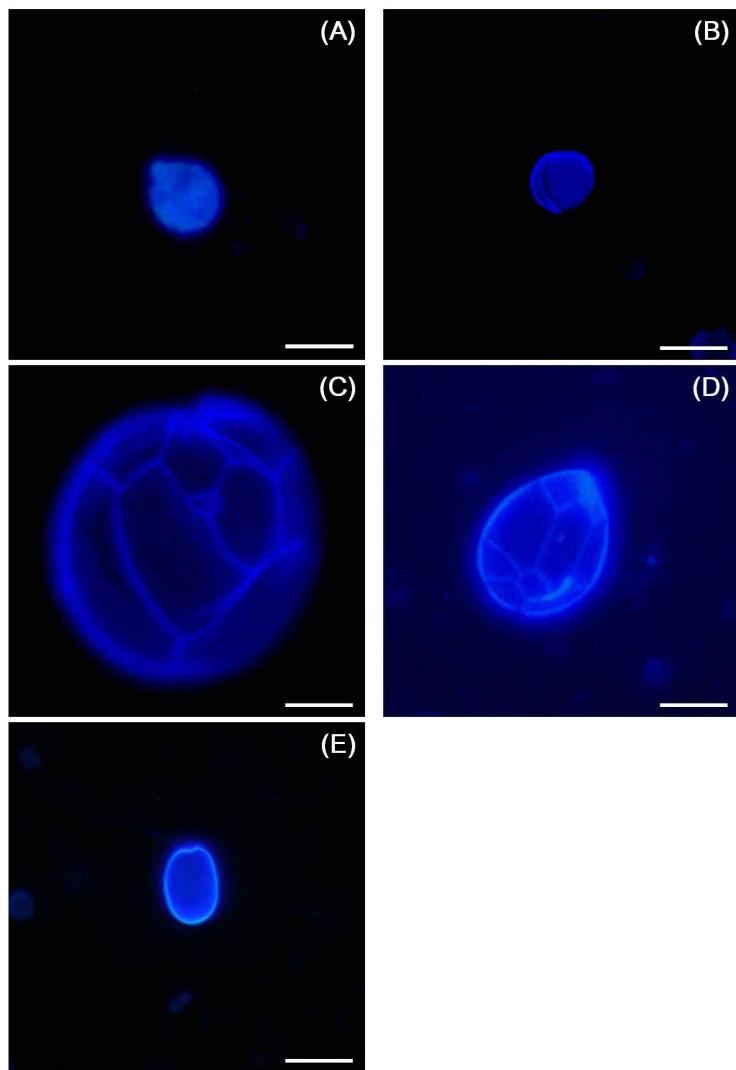


Fig. 8. Epifluorescence light-microscopic pictures of ephiphytic dinoflagellates stained with 1% Calcofluor-white. (A) *Amphidinium* sp., (B) *Coolia* sp., (C) *Gambierdiscus* sp., (D) *Ostreopsis* sp., (E) *Prorocentrum* sp. (scale bar = 20 μ m).

2-2. 81종 대형 해조류의 대표 종

동해안과 남해안을 중심으로 이뤄진 조하대 해조군집의 국내 연구(강 등, 1993; 고, 1983; 고와 성, 1983; 손 등, 1983; 유, 2003; 이 등, 1991; 정 등, 1991)에서 이를 군집을 대표하는 우점 종은 대부분 대형 갈조류(다시마, 미역, 감태, 모자반류 등)에 속하였다. 그 중, 제주도 연안의 해조군집에서 감태와 모자반류가 주요 종으로 보고되었다(옥 등, 2004).

조사 기간 동안 제주도의 주요 종으로 알려진 감태와 모자반류를 포함한 81종의 대형 해조류를 채집하였다. 그 중, 착생 와편모류 5개 속 (*Amphidinium* spp., *Coolia* spp., *Gambierdiscus* spp., *Ostreopsis* spp., *Prorocentrum* spp.)이 모두 부착된 대형 해조류는 23종으로 나타났다. 대형 해조류의 대표 종으로는 착생 와편모류의 생물량이 가장 높게 나타난 10종으로, 우뭇가사리(*Gelidium amansii*), 계발류(*Amphiroa* sp.), 참꼽슬이(*Plocamium telfairiae*), 감태(*Ecklonia cava*), 개우무(*Pterocladiella capillacea*), 산호말류(*Corallina* sp.), 갈색대마디말(*Cladophora wrightiana*), 긴까막살(*Gratelouphia elata*), 청각(*Codium fragile*), 여린가위손말(*Galaxaura falcata*)을 선정하였다(Fig. 9).

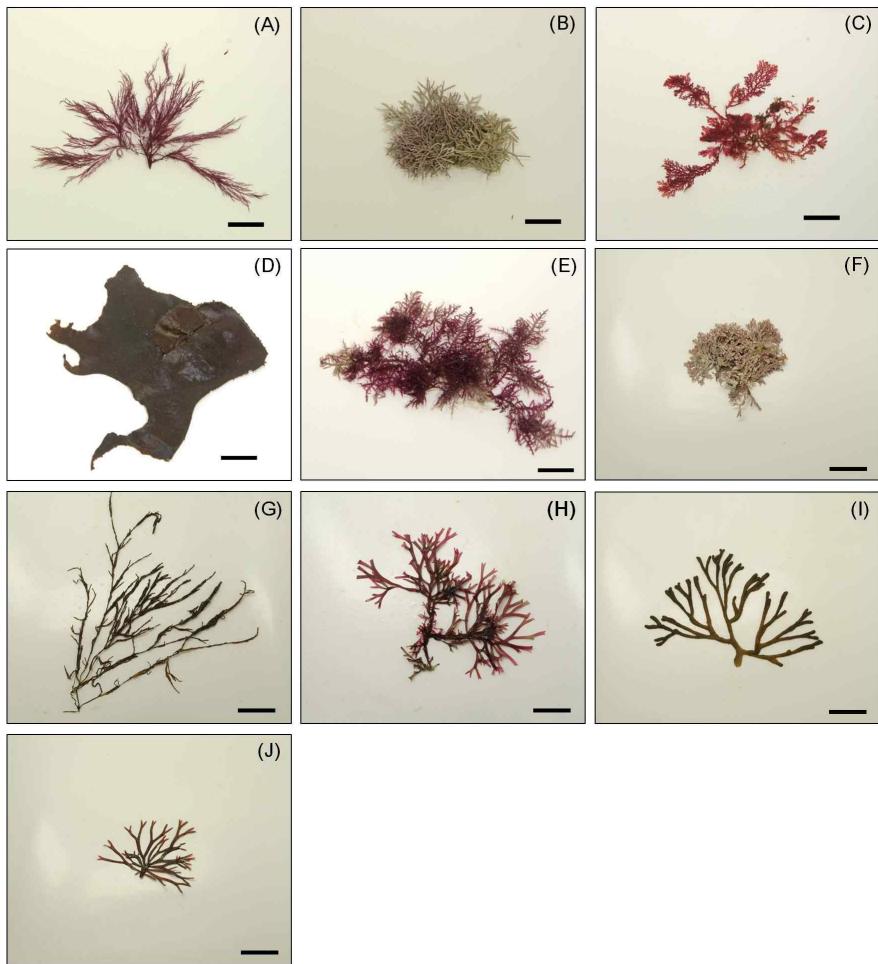


Fig. 9. The 10 representative macroalgal species with high density of epiphytic dinoflagellates from Jeju coastal waters. (A) *Gelidium amansii*, (B) *Amphiroa* sp., (C) *Plocamium telfairiae*, (D) *Ecklonia cava*, (E) *Pterocladiella capillacea*, (F) *Corallina* sp., (G) *Cladophora wrightiana*, (H) *Grateloupia elata*, (I) *Codium fragile*, (J) *Galaxaura falcata* (scale bar = 20 cm).

3. 촉생 와편모류의 시 · 공간적 분포

3-1. 촉생 와편모류 종조성의 시 · 공간적 분포

전체 조사기간 동안에 출현한 촉생 와편모류의 생물량(Fig. 10)은 St.1에서 $690 \text{ cells g}^{-1} \text{ wwt}$ 로 가장 많이 나타났고, St.2에서 $162 \text{ cells g}^{-1} \text{ wwt}$ 로 가장 낮게 나타났다(Fig. 10A). St.1에서 최대 우점종은 *Gambierdiscus* spp.가 30%를 차지하였고, St.2, 3, 4, 5, 6에서는 *Ostreopsis* spp.가 각각 40, 36, 65, 56, 89%를 차지하였다(Fig. 10B).

계절별로 살펴보면, 6월과 10월에 각각 $756 \text{ cells g}^{-1} \text{ wwt}$ 와 $578 \text{ cells g}^{-1} \text{ wwt}$ 로 생물량이 가장 많이 나타났고, 4월에 $108 \text{ cells g}^{-1} \text{ wwt}$ 로 가장 낮게 나타났다(Fig. 10C). 우점종은 2, 6, 8월에 *Ostreopsis* spp.가 각각 61, 55, 43%를 차지하였고, 4월과 12월에는 *Gambierdiscus* spp.가 각각 35%와 44%를 차지하였다. 10월에는 *Coolia* spp.가 30%를 차지하였다(Fig. 10D).

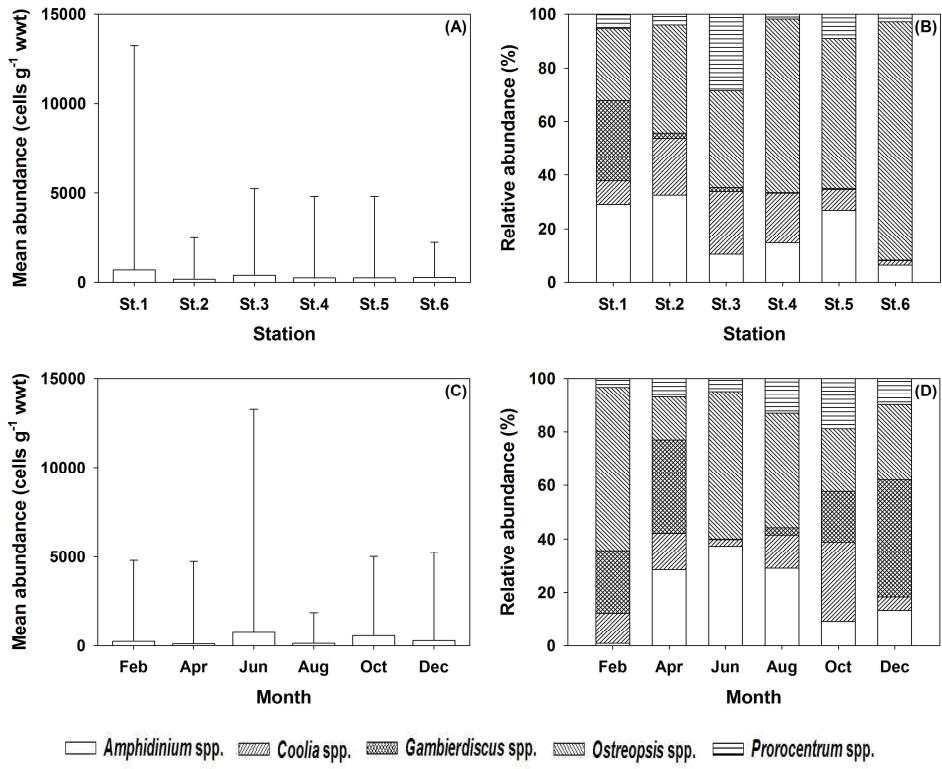


Fig. 10. The relative abundance and total mean abundance of 5 ephiphytic dinoflagellates. (A) total mean abundance of 5 ephiphytic dinoflagellates at stations, (B) relative abundance of 5 ephiphytic dinoflagellates at stations, (C) monthly total mean abundance of 5 ephiphytic dinoflagellates, (D) monthly relative abundance of 5 ephiphytic dinoflagellates.

종별 우점율을 살펴보면(Fig. 11), *Amphidinium* spp.는 St.1, 2, 3, 4, 5에서 출현하였다. St.1(6, 8월)에서 각각 50%와 41%를 차지하였고, St.2와 St.4(4, 8월)에서 각각 50%와 67%, 61%와 56%를 차지하였다. St.3(4, 12월)에서 각각 62%와 34%를 차지하였고, St.5(6월)에서 47%를 차지하였다.

Coolia spp.는 St.2, 3, 4에서 출현하였다. St.2와 St.4(10월)에서 각각 35%와 55%를 차지하였고, St.3(2월)에서 54%를 차지하였다.

Gambierdiscus spp.는 St.1과 St.2에서 출현하였다. St.1(2, 4, 10, 12)에서 각각 63, 61, 49, 71%를 차지하였고, St.2(12월)에서 34%를 차지하였다.

Ostreopsis spp.는 St.2, 3, 4, 5, 6에서 출현하였다. St.2(2, 6, 10월)에서 각각 58, 34, 35%를 차지하였고, St.3(6, 8월)에서 각각 63%와 40%를 차지하였다. St.4(2, 6, 12월)에서 각각 70, 89, 100%를 차지하였고, St.5(2, 4, 10, 12월)에서 각각 97, 51, 66, 100%를 차지하였다. St.6(2, 4, 6, 8, 10, 12월)에서 각각 76, 61, 95, 48, 74, 94%를 차지하였다.

Prorocentrum spp.는 St.3과 St.5에서 출현하였다. St.3(10월)에서 35%를 차지하였고, St.5(8월)에서 25%를 차지하였다.

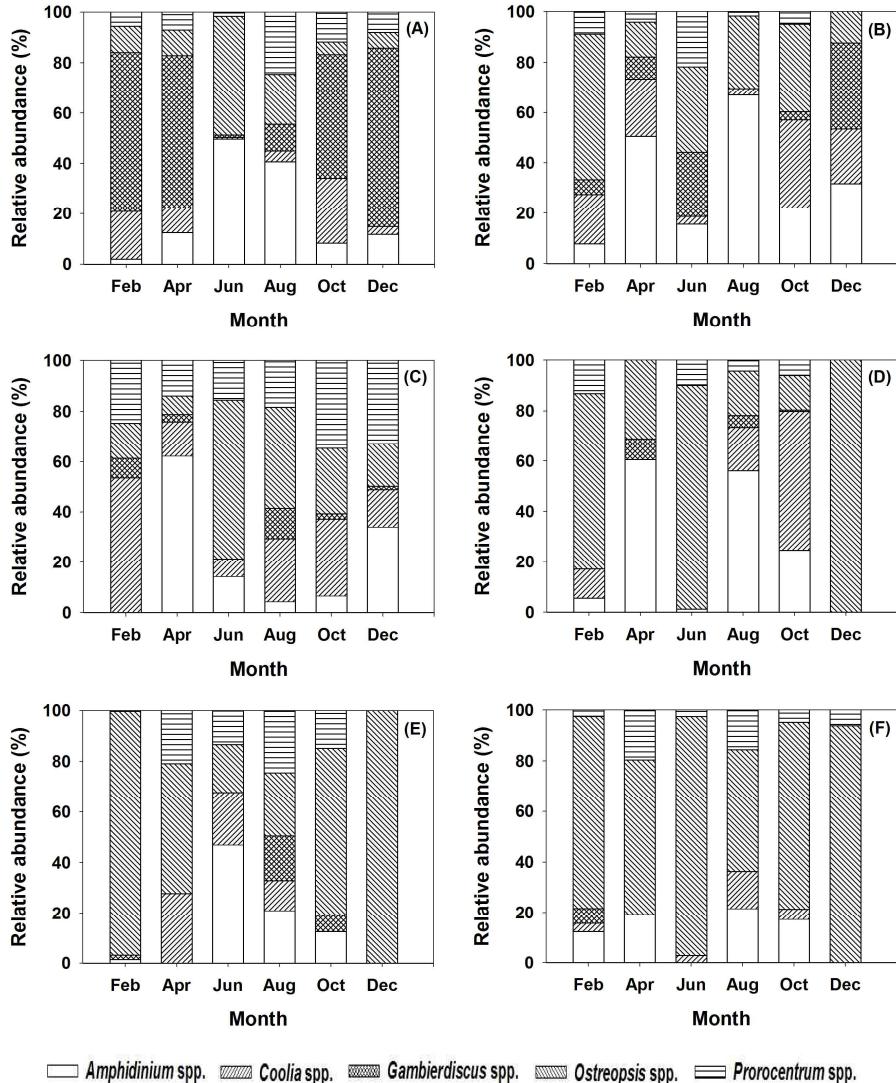


Fig. 11. The relative abundance of 5 ephiphytic dinoflagellates occurrence at Jeju Island. (A) Seongsan(St. 1), (B) Namwon(St. 2), (C) Gangjeong(St. 3), (D) Shindo(St. 4), (E) Aewol(St. 5), (F) Jocheon(St. 6).

3-2. 착생 와편모류 생물량의 시 · 공간적 분포

St.1에서는 대부분 *Gambierdiscus* spp.가 높은 생물량을 나타내었다 (6월과 8월 제외). *Gambierdiscus* spp.는 2, 4, 10, 12월에 각각 754, 690, 2,046, 1,238 cells g^{-1} wwt을 나타냈고, *Amphidinium* spp.는 6월과 8월에 각각 3,011 cells g^{-1} wwt와 145 cells g^{-1} wwt을 나타냈다. *Ostreopsis* spp.는 6월에 2,852 cells g^{-1} wwt을 나타냈다. St.2에서는 *Ostreopsis* spp.가 2월과 6월에 각각 179 cells g^{-1} wwt와 186 cells g^{-1} wwt을 나타냈고, *Amphidinium* spp.는 4월과 8월에 각각 191 cells g^{-1} wwt와 717 cells g^{-1} wwt을 나타냈다. *Coolia* spp.는 10월에 446 cells g^{-1} wwt을 나타냈고, *Gambierdiscus* spp.는 12월에 177 cells g^{-1} wwt을 나타냈다. St.3에서는 *Coolia* spp.가 2월과 10월에 각각 165 cells g^{-1} wwt과 1,365 cells g^{-1} wwt을 나타냈고, *Amphidinium* spp.는 4월과 12월에 각각 280 cells g^{-1} wwt와 293 cells g^{-1} wwt을 나타냈다. *Ostreopsis* spp.는 6월과 8월에 각각 1,045 cells g^{-1} wwt와 332 cells g^{-1} wwt을 나타냈고, *Prorocentrum* spp.는 10월에 1,547 cells g^{-1} wwt을 나타냈다. St.4에서는 *Ostreopsis* spp.가 2, 6, 12월에 각각 113, 984, 279 cells g^{-1} wwt을 나타냈고, *Amphidinium* spp.는 4과 8월에 각각 67 cells g^{-1} wwt와 307 cells g^{-1} wwt을 나타냈다. *Coolia* spp.는 10월에 544 cells g^{-1} wwt을 나타냈다. St.5에서는 대부분 *Ostreopsis* spp.가 높은 생물량을 나타내었다(6월 제외). *Ostreopsis* spp.는 2, 4, 8, 10, 12월에 각각 1,255, 25, 91, 402, 183 cells g^{-1} wwt을 나타냈고, *Amphidinium* spp.는 6월에 637 cells g^{-1} wwt을 나타냈다. St.6에서는 *Ostreopsis* spp.가 모든 계절에서 많은 부분을 차지하였고, 각각 573, 52, 678, 199, 690, 783 cells g^{-1} wwt을 나타냈다(Fig. 12, 13, 14).

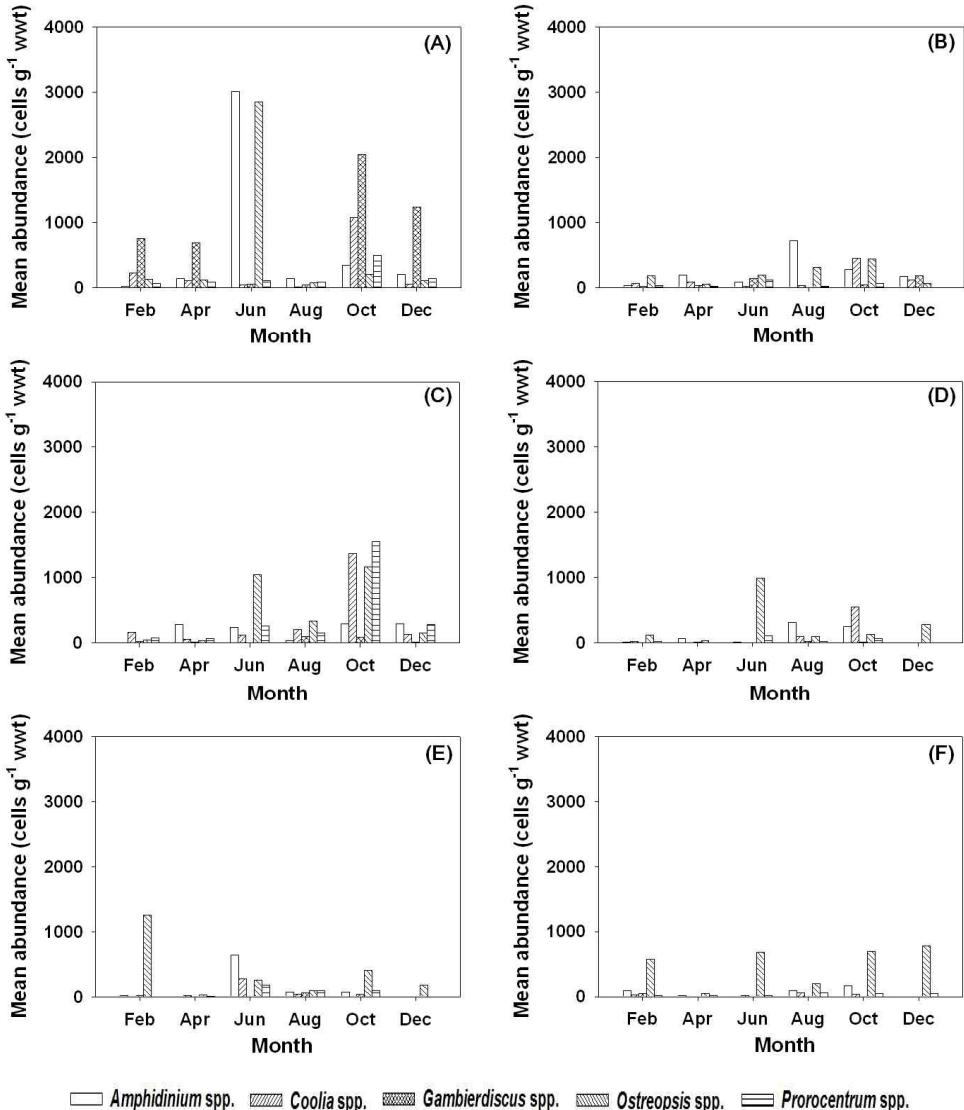


Fig. 12. Seasonal mean abundance of 5 epiphytic dinoflagellates.
 (A) Seongsan(St. 1), (B) Namwon(St. 2), (C) Gangjeong(St. 3), (D) Shindo(St. 4), (E) Aewol(St. 5), (F) Jocheon(St. 6).

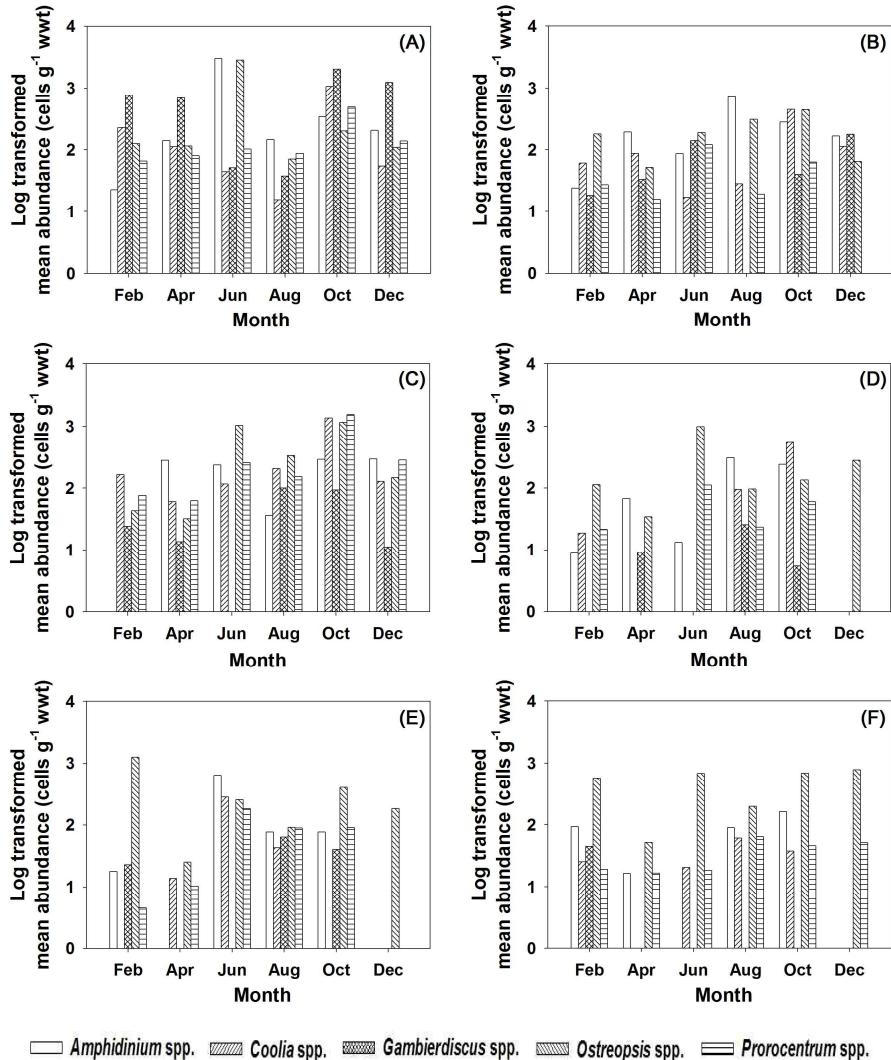


Fig. 13. Seasonal log transformed mean abundance of 5 epiphytic dinoflagellates. (A) Seongsan(St. 1), (B) Namwon(St. 2), (C) Gangjeong(St. 3), (D) Shindo(St. 4), (E) Aewol(St. 5), (F) Jocheon(St. 6).

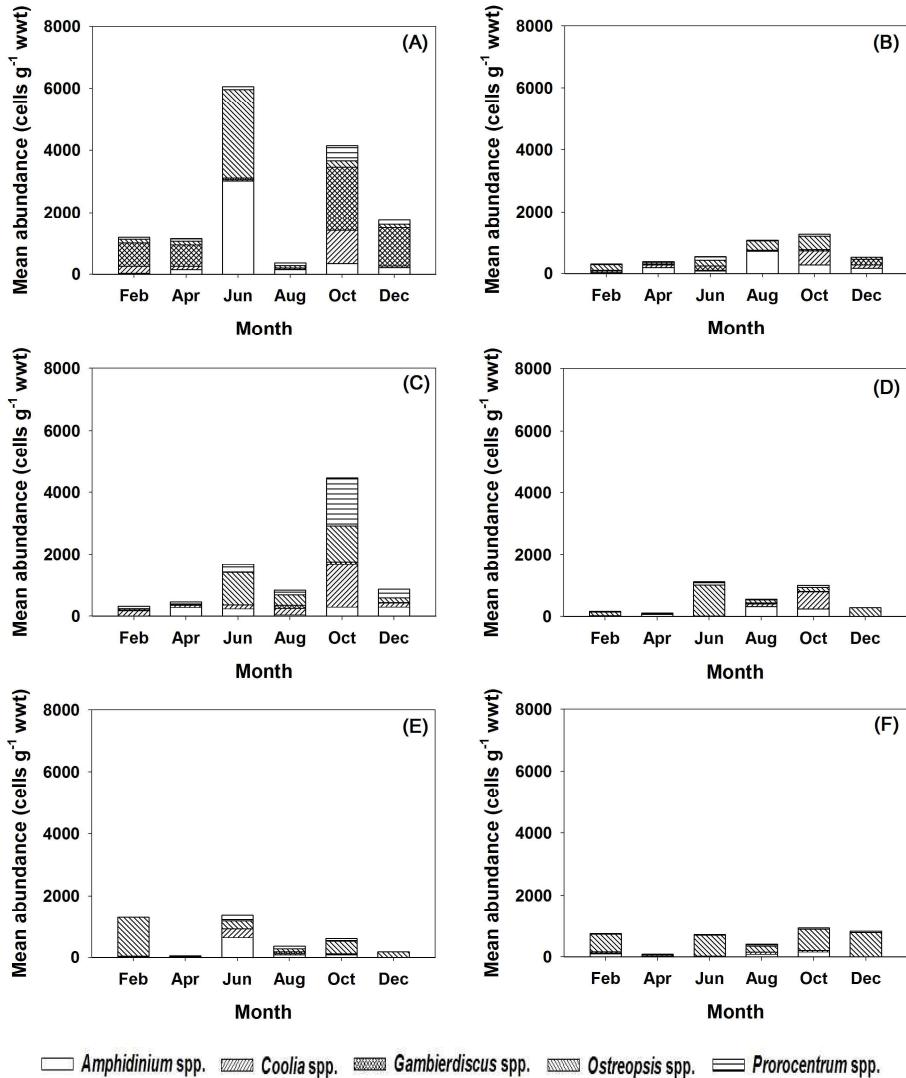


Fig. 14. Seasonal variation in the mean abundance of 5 epiphytic dinoflagellates occurrence at Jeju Island. (A) Seongsan(St. 1), (B) Namwon(St. 2), (C) Gangjeong(St. 3), (D) Shindo(St. 4), (E) Aewol(St. 5), (F) Jocheon(St. 6).

4. 착생 와편모류의 분포와 환경요인

4-1. 수온과의 관계

채집기간 동안 제주도 연안의 수온범위는 12.0~25.3°C로, *Amphidinium* spp., *Coolia* spp.와 *Gambierdiscus* spp.는 13.5°C 이하의 수온에서 전혀 출현하지 않았으며, *Ostreopsis* spp.와 *Prorocentrum* spp.는 12.0~25.3°C의 전체 수온 범위에서 분포하였다(Fig. 15). *Amphidinium* spp.는 13.5~25.3°C 범위에서 출현하였다. 최적의 생물량 범위는 14.6~24.7°C로, 141~3,011 cells g⁻¹ wwt을 나타냈으며, 20.3°C에서 최대 생물량을 보였다. *Coolia* spp. 와 *Gambierdiscus* spp.는 14.4~25.3°C 범위(최적의 생물량 범위)에서 출현하여 비슷한 출현특성을 보였다. 각각의 생물량은 112~1,365 cells g⁻¹ wwt 와 101~2,046 cells g⁻¹ wwt을 나타냈으며, 각각 22.6°C 와 19.9°C에서 최대 생물량이 나타내 *Coolia* spp.가 더 높은 수온에서 최대의 생물량을 나타냈다. *Ostreopsis* spp.는 12~25.3°C 범위에서 출현하였다. 최적의 생물량 범위는 13.5~25.3°C로, 110~2,852 cells g⁻¹ wwt을 나타냈으며, 20.3°C에서 최대 생물량을 나타냈다. *Prorocentrum* spp.는 12.4~25.3°C 범위에서 출현하였고, 최적의 생물량 범위는 15.7~25.3°C로, 103~1,547 cells g⁻¹ wwt을 나타냈으며, 22.6°C에서 최대 생물량이 나타났다. 착생 와편모류 5개 속의 생물량이 100 cells g⁻¹ wwt 이상을 나타낸 적정 수온 범위는 13.5~25.3°C이었고, 착생 와편모류 5개 속의 각 종류별 최대 생물량은 19.9~22.6°C 범위에서 나타났고, 23°C보다 높은 온도에서는 5개 속 모두 최대 생물량을 기록하지 않음으로써 착생 와편모류 5개 속은 20°C 전후의 중온을 선호하는 것으로 판단된다.

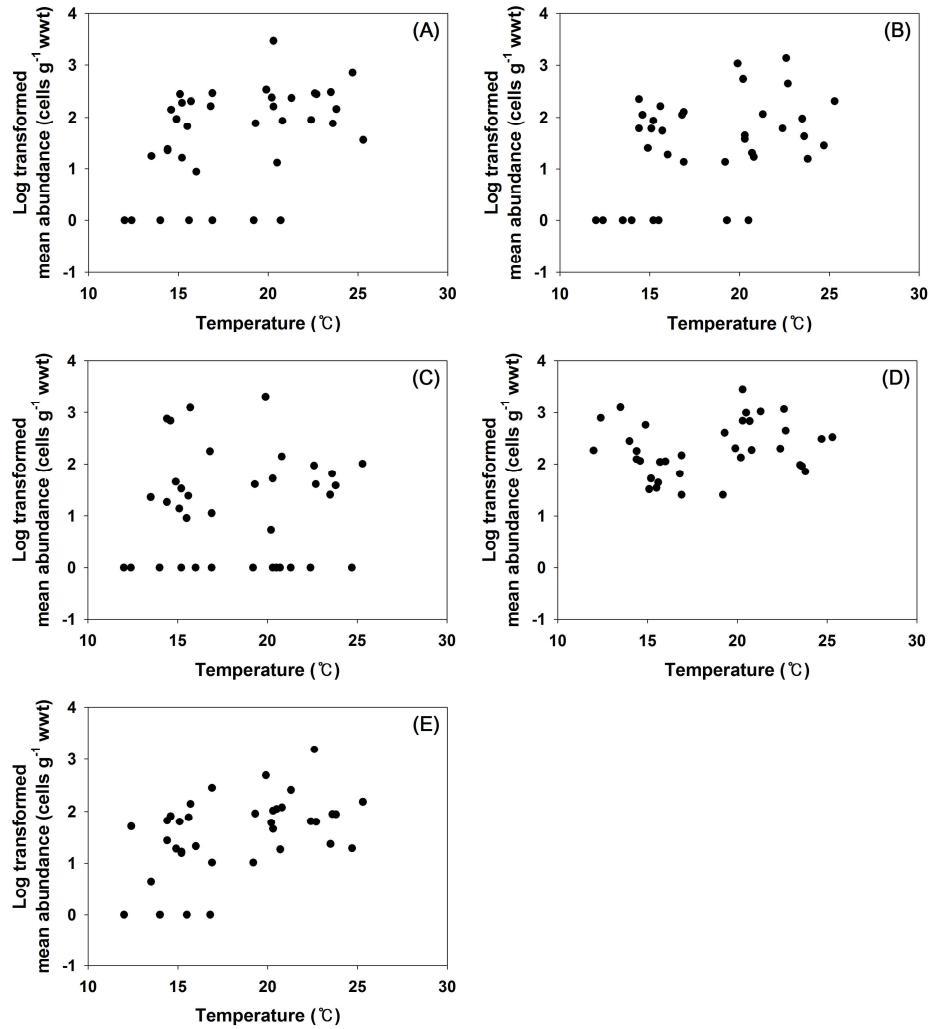


Fig. 15. The relationship between the water temperature and the log transformed mean abundance of 5 ephiphytic dinoflagellates. (A) *Amphidinium* spp., (B) *Coolia* spp., (C) *Gambierdiscus* spp., (D) *Ostreopsis* spp., (E) *Prorocentrum* spp..

4-2. 염분과의 관계

제주도 연안의 염분 범위는 28.0~34.1 psu로, *Gambierdiscus* spp.를 제외한 착생 와편모류 4개 속(*Amphidinium* spp., *Coolia* spp., *Ostreopsis* spp., *Prorocentrum* spp.)은 모든 염분 범위에서 출현하였고, *Gambierdiscus* spp.는 29.1~34.1 psu 범위이었다(Fig. 16). 착생 와편모류 100 cells g⁻¹ wwt 이상의 생물량 범위는 *Amphidinium* spp. 30.0~34.1 psu, *Coolia* spp. 31.3~34.1 psu, *Gambierdiscus* spp. 31.3~34.1 psu, *Ostreopsis* spp. 28.0~34.1 psu, *Prorocentrum* spp. 28.8~34.1 psu이었다.

최대 생물량은 *Amphidinium* spp.와 *Ostreopsis* spp.의 경우 32.0 psu에서, *Gambierdiscus* spp.는 33.9 psu에서, *Coolia* spp.와 *Prorocentrum* spp.는 34.1 psu에서 나타나, 모든 착생 와편모류는 32.0 psu 이상의 높은 염분에서 최대 생물량을 나타내는 특징을 보였다. 또한 *Amphidinium* spp., *Coolia* spp.와 *Gambierdiscus* spp.는 30 psu 이하의 낮은 염분에서 생물량이 100 cells g⁻¹ wwt 이하로 매우 낮은 값을 보여 이들 3개 속 착생 와편모류는 상대적으로 고염을 선호하고 있음을 시사하였다.

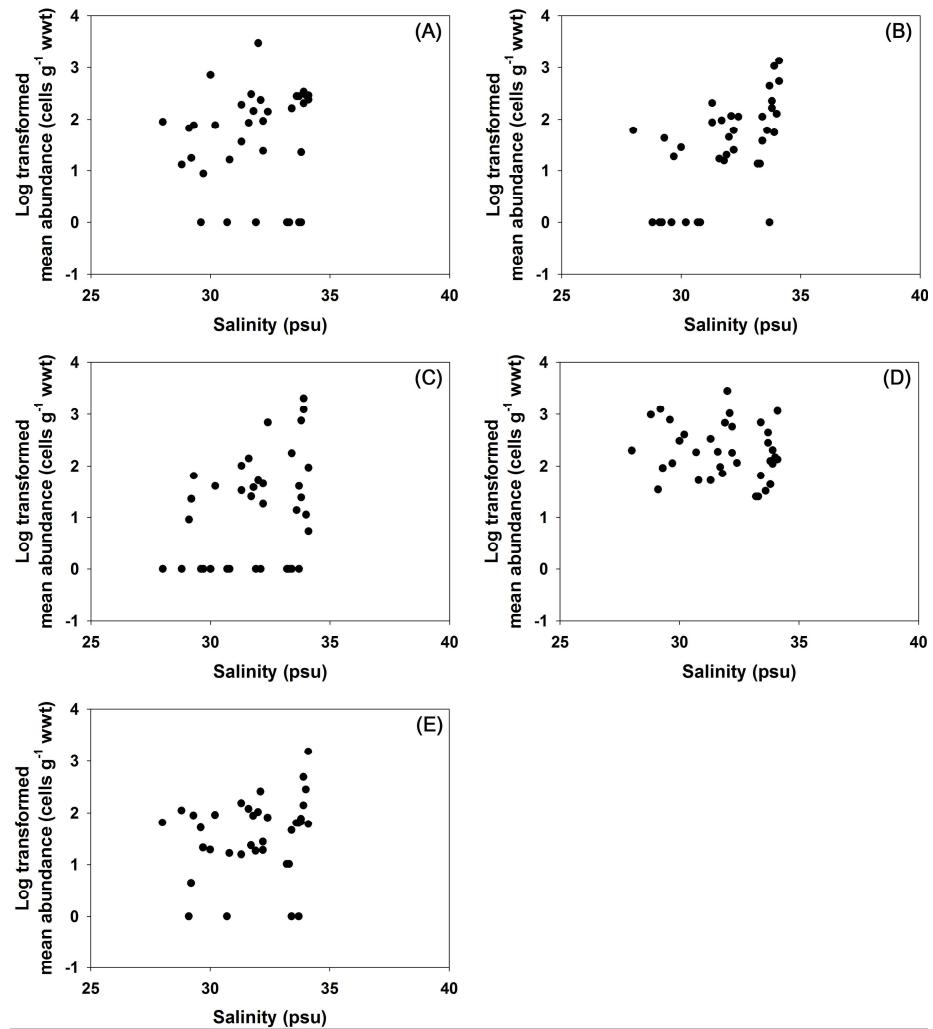


Fig. 16. The relationship between the salinity and the log transformed mean abundance of 5 ephiphytic dinoflagellates. (A) *Amphidinium* spp., (B) *Coolia* spp., (C) *Gambierdiscus* spp., (D) *Ostreopsis* spp., (E) *Prorocentrum* spp..

4-3. 강수량과의 관계

제주도 지역의 월 평균 강수량과 착생 와편모류의 6개 정점 평균 생물량을 비교·분석하였다(Fig. 17, 18). 착생 와편모류 5개 속은 월 평균 강수량 3~23 mm, 수온 15~24°C, 염분 30~33 psu 범위에서 출현하였다.

착생 와편모류의 최대 생물량은 강수량 23 mm, 수온 20°C, 염분 32 psu에서, *Amphidinium* spp.와 *Ostreopsis* spp.가 각각 $1,204 \text{ cells g}^{-1} \text{ wwt}$ 과 $898 \text{ cells g}^{-1} \text{ wwt}$ 을 나타냈고, 강수량 10 mm, 수온 21°C, 염분 33 psu에서, *Coolia* spp.와 *Prorocentrum* spp.가 각각 $555 \text{ cells g}^{-1} \text{ wwt}$ 과 $389 \text{ cells g}^{-1} \text{ wwt}$ 을 보였으며, 강수량 3 mm, 수온 15°C, 염분 33 psu에서, *Gambierdiscus* spp.가 $1,062 \text{ cells g}^{-1} \text{ wwt}$ 을 나타냈다.

Coolia spp., *Gambierdiscus* spp.와 *Prorocentrum* spp.는 강수량 3~10 mm, 수온 15~21°C, 염분 32~33 psu에서 높은 생물량을 보였던 반면, *Amphidinium* spp.와 *Ostreopsis* spp.는 강수량 23 mm, 수온 20°C, 염분 32 psu에서 생물량이 많았다. 따라서, *Coolia* spp., *Gambierdiscus* spp.와 *Prorocentrum* spp.는 강수량이 낮고, 염분이 높을수록 생물량이 높아지는 경향을 나타냈고, 특히, *Gambierdiscus* spp.에서 이러한 경향은 더욱 뚜렷하였다(Fig. 17, 18).

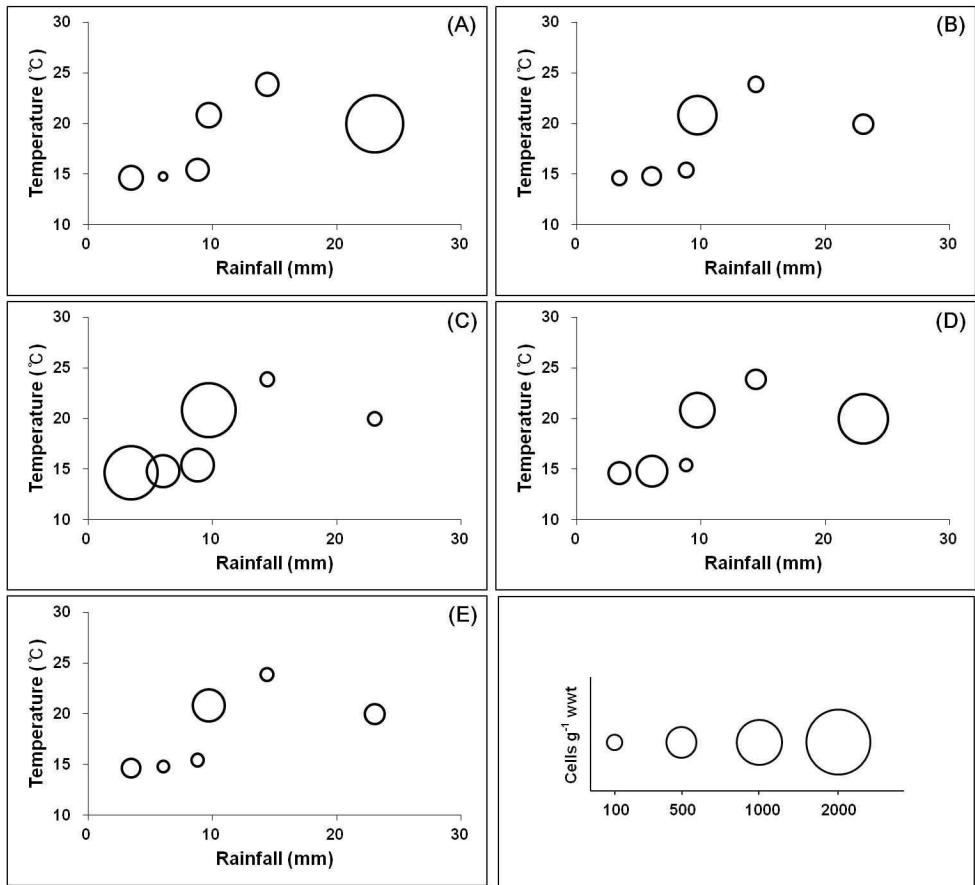


Fig. 17. The relationship between monthly mean rainfall of 4 stations(Jeju, Gosan, Seogwipo, Seongsan), temperature and mean abundance of 5 epiphytic dinoflagellates. (A) *Amphidinium* spp., (B) *Coolia* spp., (C) *Gambierdiscus* spp., (D) *Ostreopsis* spp., (E) *Prorocentrum* spp. (Korea Meteorological Administration, 2012).

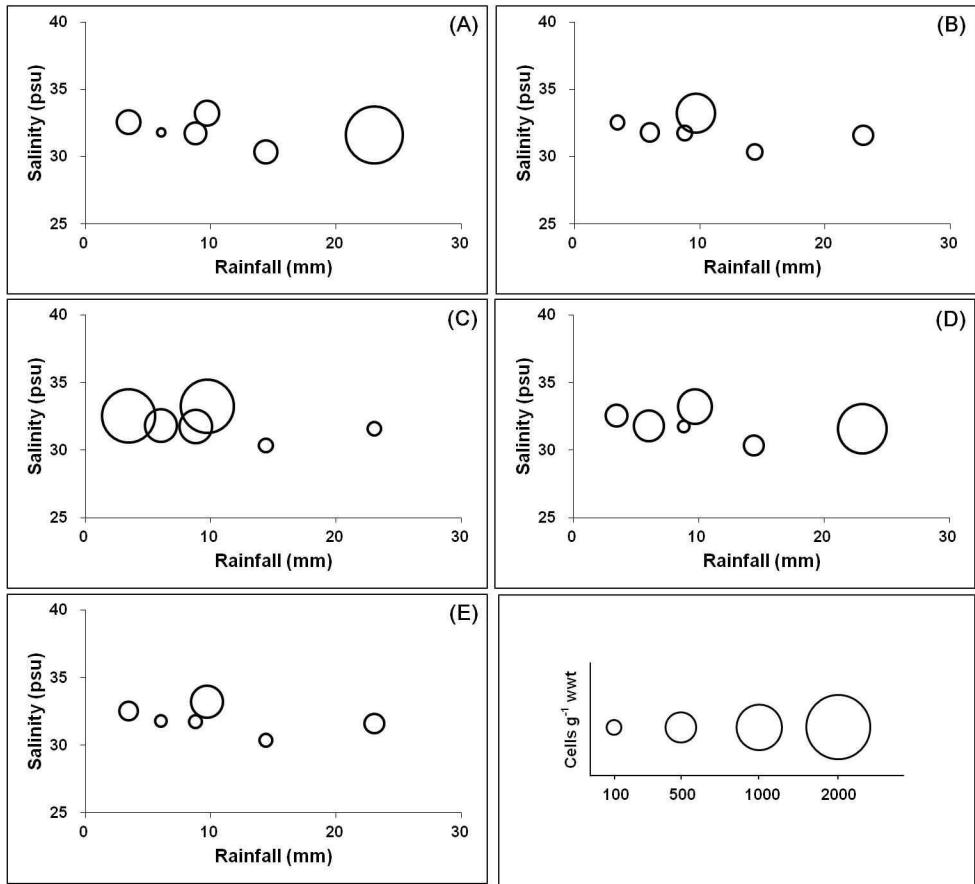


Fig. 18. The relationship between monthly mean rainfall of 4 stations(Jeju, Gosan, Seogwipo, Seongsan), salinity and mean abundance of 5 epiphytic dinoflagellates. (A) *Amphidinium* spp., (B) *Coolia* spp., (C) *Gambierdiscus* spp., (D) *Ostreopsis* spp., (E) *Prorocentrum* spp. (Korea Meteorological Administration, 2012).

4-4. 대형 해조류와의 관계

전체 연구기간 동안에 채집된 81종의 대형 해조류 중에서 착생 와편모류의 평균 생물량인 $428 \text{ cells g}^{-1} \text{ wwt}$ 이상이 출현한 대형 해조류는 22종이었다(Fig. 19). 이 중, 착생 와편모류 5개 속 모두 출현한 대형 해조류는 9종으로 가시우무류(*Hypnea* sp.), 그물바구니(*Hydroclathrus clathratus*), 낫대마디말(*Cladophora meridionalis*), 개우무(*Pterocladiella capillacea*), 부챗말(*Padina arborescens*), 여린가위손말(*Galaxaura falcata*), 넓은게발(*Amphiroa anceps*), 주름뼈대그물말(*Dictyopteris undulata*), 참곱슬이(*Plocamium telfairiae*) 순으로 높은 생물량을 나타냈다.

가시우무류에서는 *Ostreopsis* spp.가 58%로, $3,254 \text{ cells g}^{-1} \text{ wwt}$ 의 생물량을 나타냈고, 그물바구니, 부챗말, 여린가위손말, 주름뼈대그물말, 참곱슬이에서는 *Gambierdiscus* spp.가 각각 89, 47, 41, 51, 40%로, 4,734, 1,626, 1,162, 1,537, $1,216 \text{ cells g}^{-1} \text{ wwt}$ 의 생물량을 나타냈다. 개우무에서는 *Amphidinium* spp.가 67%로, $2,207 \text{ cells g}^{-1} \text{ wwt}$ 의 생물량을 나타냈다. 낫대마디말에서는 *Ostreopsis* spp.가 30%로, $1,202 \text{ cells g}^{-1} \text{ wwt}$ 의 생물량을 나타냈다. 넓은게발에서는 *Prorocentrum* spp.가 48%로, $1,180 \text{ cells g}^{-1} \text{ wwt}$ 의 생물량을 나타냈다(Fig. 20, 21).

착생 와편모류 5개 속이 모두 부착되어 있는 대형 해조류와는 반대로 1종도 출현하지 않은 대형 해조류는 모자반류(*Sargassum* sp.), 갈파래(*Ulva lactuca*), 구슬청각(*Codium minus*), 누운청각(*Codium coactum*), 왕깃털말(*Bryopsis maxima*), 가는개도박(*Gratelouzia lanceolata*), 도박류(*Pachymeniopsis* sp.), 쪘기꼴꼬시래기(*Gracilaria cuneifolia*), 참풀가사리(*Gloiopektis tenax*)로 나타났다(Fig. 19).

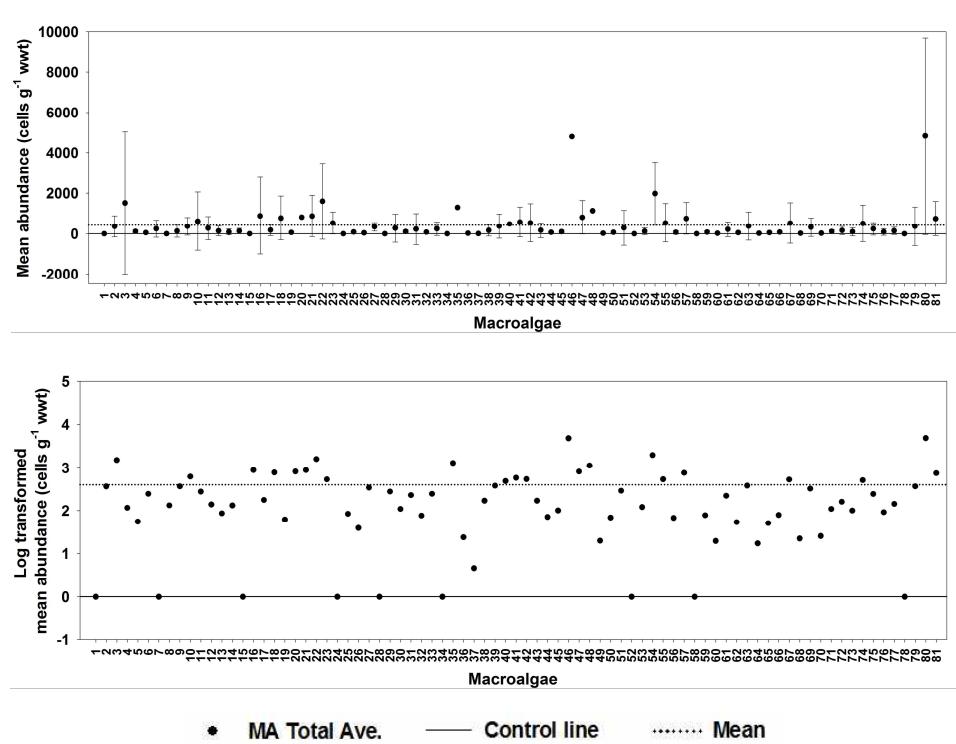


Fig. 19. Mean abundance of 5 ephiphytic dinoflagellates occurrence in each of the 81 macroalgal species (see Table 3. for the species name of the 81 substrate macroalgal in x-axis).

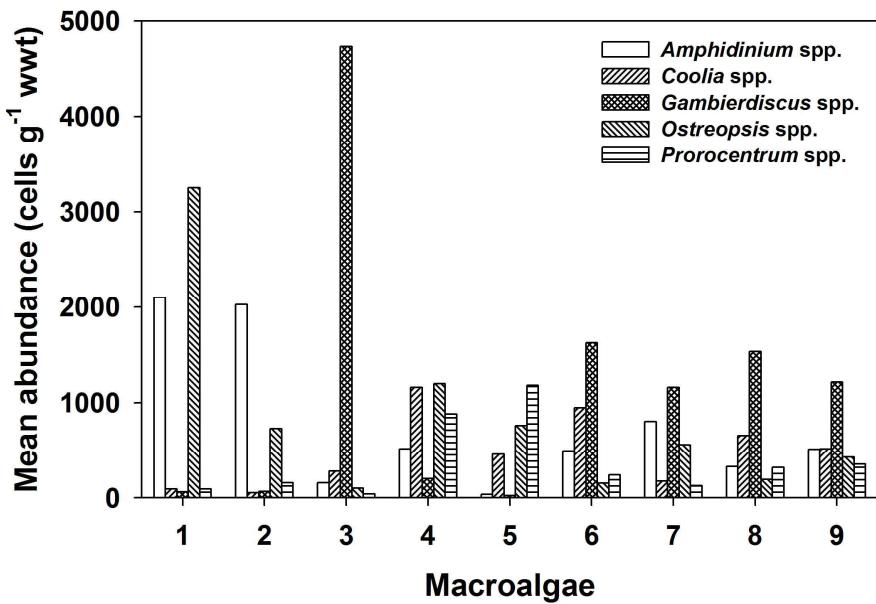


Fig. 20. Mean abundance of 5 epiphytic dinoflagellates occurrence on 9 macroalgae (1: *Hypnea* sp., 2: *Pterocladiella capillacea*, 3: *Hydroclathrus clathratus*, 4: *Cladophora meridionalis*, 5: *Amphiroa anceps*, 6: *Padina arborescens*, 7: *Galaxaura falcata*, 8: *Dictyopteris undulata*, 9: *Plocamium telfairiae*).

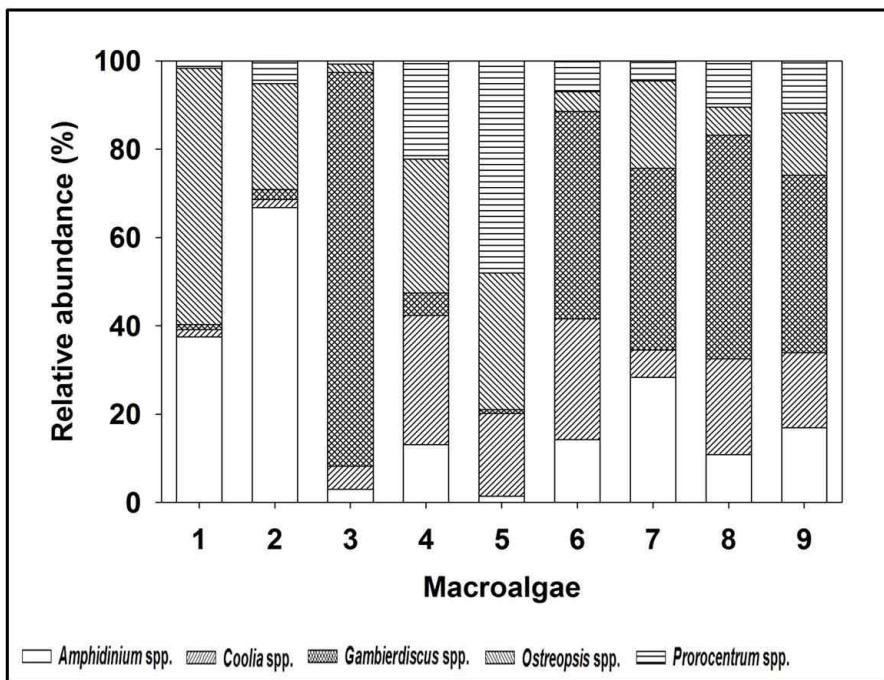


Fig. 21. The relative abundance of 5 ephiphytic dinoflagellates occurrence on 9 macroalgae (1: *Hypnea* sp., 2: *Pterocladiella capillacea*, 3: *Hydroclathrus clathratus*, 4: *Cladophora meridionalis*, 5: *Amphiroa anceps*, 6: *Padina arborescens*, 7: *Galaxaura falcata*, 8: *Dictyopteris undulata*, 9: *Plocamium telfairiae*).

전체 조사기간 동안에 채집한 81종의 대형 해조류 중에서 착생 와편모류 5개 속이 모두 부착되어 있는 대형 해조류는 23종이었다. 그 중, 착생 와편모류가 가장 많이 출현한 게발류(*Amphiroa* sp.), 우뭇가사리 (*Gelidium amansii*), 참곱슬이(*Plocamium telfairiae*), 산호말류(*Corallina* sp.), 감태(*Ecklonia cava*)를 선택하였다. 게발류에서는 *Coolia* spp.와 *Gambierdiscus* spp.가 14.4~25.3°C 범위에서 나타났고, 최대 생물량은 각각 22.6°C와 14.4°C에서, 1,807 cells g⁻¹ wwt와 3,685 cells g⁻¹ wwt을 나타냈다. 산호말류와 참곱슬이에서는 *Gambierdiscus* spp.가 각각 14.4~25.3°C와 14.4~22.6°C 범위에서 나타났고, 최대 생물량은 각각 15.7°C와 19.9°C에서, 5,254 cells g⁻¹ wwt와 5,019 cells g⁻¹ wwt을 나타냈다. 우뭇가사리에서는 *Amphidinium* spp.가 14.4~24.7°C 범위에서 높게 나타났고, 최대 생물량은 20.3°C에서, 2,411 cells g⁻¹ wwt을 나타냈다. 감태에서는 *Prorocentrum* spp.가 13.5~25.3°C 범위에서 나타났고, 최대 생물량은 22.6°C에서, 1,853 cells g⁻¹ wwt을 나타냈다(Fig. 22).

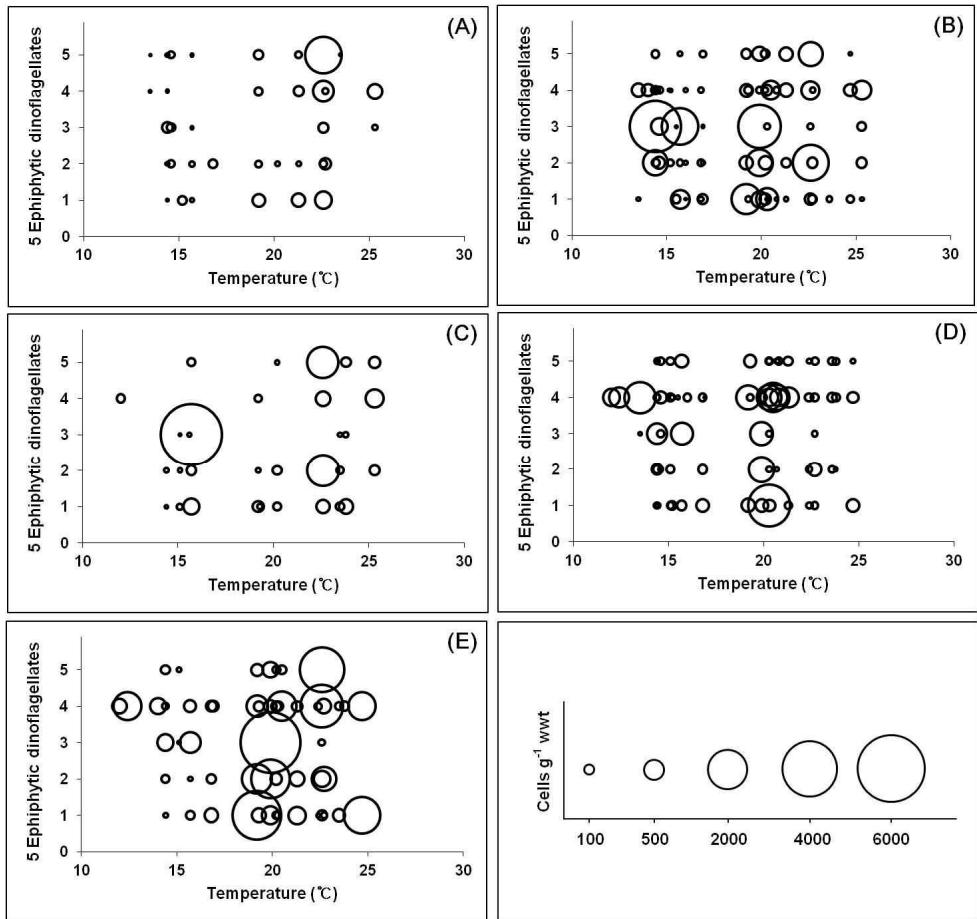


Fig. 22. The relative temperature, 5 ephiphytic dinoflagellates(1: *Amphidinium* spp., 2: *Coolia* spp., 3: *Gambierdiscus* spp., 4: *Ostreopsis* spp., 5: *Prorocentrum* spp.) and 5 macroalgae. (A) *Ecklonia cava*, (B) *Amphiroa* sp., (C) *Corallina* sp., (D) *Gelidium amansii*, (E) *Plocamium telfairiae*.

IV. 고 찰

채집된 81종의 대형 해조류 중 27%에서 평균 $428 \text{ cells g}^{-1} \text{ wwt}$ 이상의 생물량을 나타냈으며, 11%의 대형 해조류에서는 착생 와편모류가 출현하지 않았다(Fig. 19). 대형 해조류의 종류에 따라 착생 와편모류의 출현이 다르게 나타난다는 보고(Taylor et al., 1985)가 있었는데, 본 연구에서도 대형 해조류에 따라 착생 와편모류의 우점율과 현존량이 크게 달라짐을 확인하였다.

조사기간 동안 출현한 5개 속(*Amphidinium* spp., *Coolia* spp., *Gambierdiscus* spp., *Ostreopsis* spp., *Prorocentrum* spp.)의 최대 생물량은 각각 $3,011$, $1,365$, $2,046$, $2,852$, $1,547 \text{ cells g}^{-1} \text{ wwt}$ 로 나타났다(Fig. 23). 외국 사례를 보면, *Amphidinium* spp.는 미국의 Mahukona에서 $270 \text{ cells g}^{-1} \text{ wwt}$ (Parsons et al., 2007), *Coolia* spp.는 영국의 Virgin Islands에서 $1,200 \times 10^3 \text{ cells g}^{-1} \text{ wwt}$ (Carlson et al., 1985), *Gambierdiscus* spp.는 미국의 Gambier Island reef에서 $5.5 \times 10^5 \text{ cells g}^{-1} \text{ wwt}$ (Yasumoto et al., 1980; Bagnis et al., 1985; Bomber et al., 1989), *Ostreopsis* spp.는 스페인의 Catalonia에서 $7.2 \times 10^6 \text{ cells g}^{-1} \text{ wwt}$ (Mangialajo et al., 2011), *Prorocentrum* spp.는 $1,500 \times 10^3 \text{ cells g}^{-1} \text{ wwt}$ (Carlson et al., 1985)의 생물량을 나타냈다. 국외에서는 시구아테라 어독을 가진 일부 종들이 인간에게 큰 피해를 입히고 있다고 보고되었다(Lewis et al., 1993; Edwin et al., 2006; Erdner et al., 2008; Dickey et al., 2010). 아직 국내에 출현한 착생 와편모류의 생물량은 국외에 비하면 아주 미미하지만, 점차 수온이 상승함에 따라 착생 와편모류가 기하급수적으로 확산될 것으로 예상되며, 인간에게 큰 피

해가 발생되지 않도록 정기적인 모니터링이 필요하다고 판단된다.

착생 와편모류의 분포를 좌우할 만한 환경요인 가운데, 수온은 12.0°C 이하에서 착생 와편모류 5개 속이 전혀 출현하지 않았고, 염분에서는 28 psu에서 전혀 출현하지 않아(Fig. 15, 16) “비아열대 특성”인 저온-저염 환경에서 이들의 적응능력이 매우 취약한 것으로 판단된다(Fig. 24).

착생 와편모류 5개 속은 19.9~22.6°C와 32.0~34.1 psu 범위에서 최대 생물량이 나타났다. 그 중, *Ostreopsis* spp.는 4개 속에 비해 수온과 염분에 영향을 적게 받기 때문에 제주도 연안에서 가장 빠르게 확산될 것으로 생각되며, 4개 속도 점차 늘어날 것으로 예상된다. 현재 지구온난화 영향에 의하여 해수의 온도가 상승하고, 해양 생물의 변화가 일어나고 있다고 보고되었다(Kordas et al., 2011). 이에 따라 제주도 연안의 수온 상승으로 아열대화로 점차 진행되면 (아)열대성 동·식물의 출현이 증가할 것으로 사료된다.

제주도 지역의 월 평균 강수량과 착생 와편모류의 6개 정점 평균 생물량을 비교한 결과, *Amphidinium* spp.와 *Ostreopsis* spp.를 제외한 3개 속은 강수량이 낮고, 염분이 높을수록 생물량이 높아지는 경향을 나타냈다. 특히, *Gambierdiscus* spp.에서 이러한 경향은 더욱 뚜렷하였다 (Fig. 25). 이 착생 와편모류 5개 속 가운데 *Gambierdiscus* spp.가 아열대 특성에 가장 가까울 것으로 판단된다. 그리고 *Amphidinium* spp.와 *Ostreopsis* spp.는 강수량 보다는 다른 환경 요인에 영향을 받을 것으로 사료된다(Parsons et al., 2007).

착생 와편모류가 출현한 대형 해조류 중 엽체가 넓고, 잎이 얇은 대형 해조류보다는 우뭇가사리와 같이 가지가 많은 대형 해조류에서 착생 와편모류가 선호함을 확인하였다. 그러므로 해수 온도가 높은 지역의 대

형 해조류를 식용으로 이용함에 있어서는 주의가 필요할 것으로 판단되며, 제주도 해역에 (아)열대성 착생 와편모류의 출현은 지구온난화로 인한 우리나라의 생태계 변화가 일어나고 있음을 증명해주고 있기 때문에 착생 와편모류 중 일부종(*Gambierdiscus* spp.와 *Ostreopsis* spp.)은 한반도 지역의 온난화가 진행됨을 알 수 있는 지표생물로서의 가능성을 시사한다.

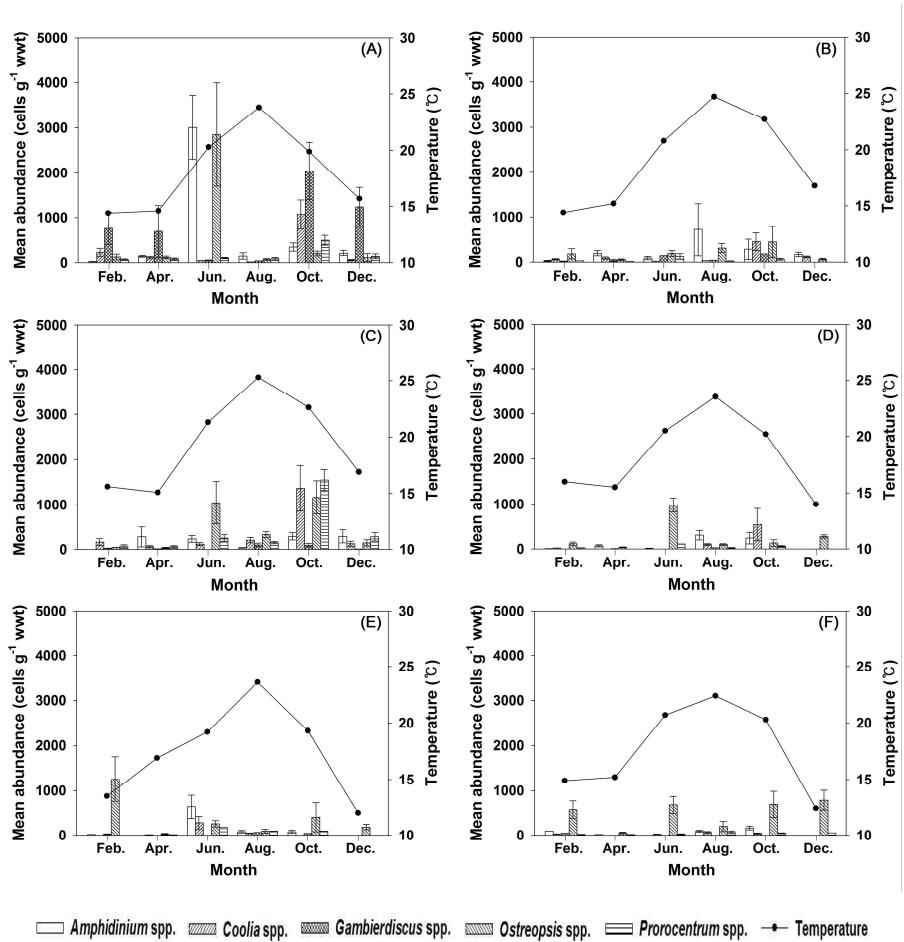


Fig. 23. Mean abundances (\pm SE) epiphytic dinoflagellates and water temperature. (A) Seongsan(St. 1), (B) Namwon(St. 2), (C) Gangjeong(St. 3), (D) Shindo(St. 4), (E) Aewol(St. 5), (F) Jocheon(St. 6).

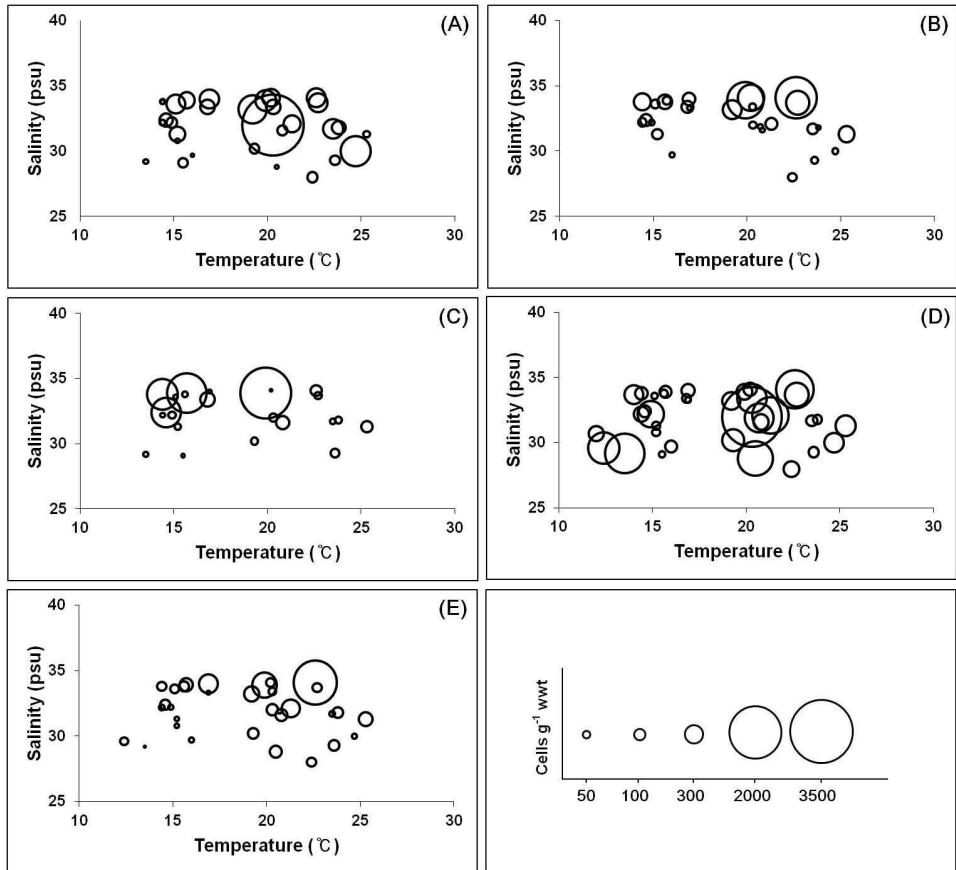


Fig. 24. The relationship between the temperature, salinity and mean abundance 5 ephiphytic dinoflagellates. (A) *Amphidinium* spp., (B) *Coolia* spp., (C) *Gambierdiscus* spp., (D) *Ostreopsis* spp., (E) *Prorocentrum* spp..

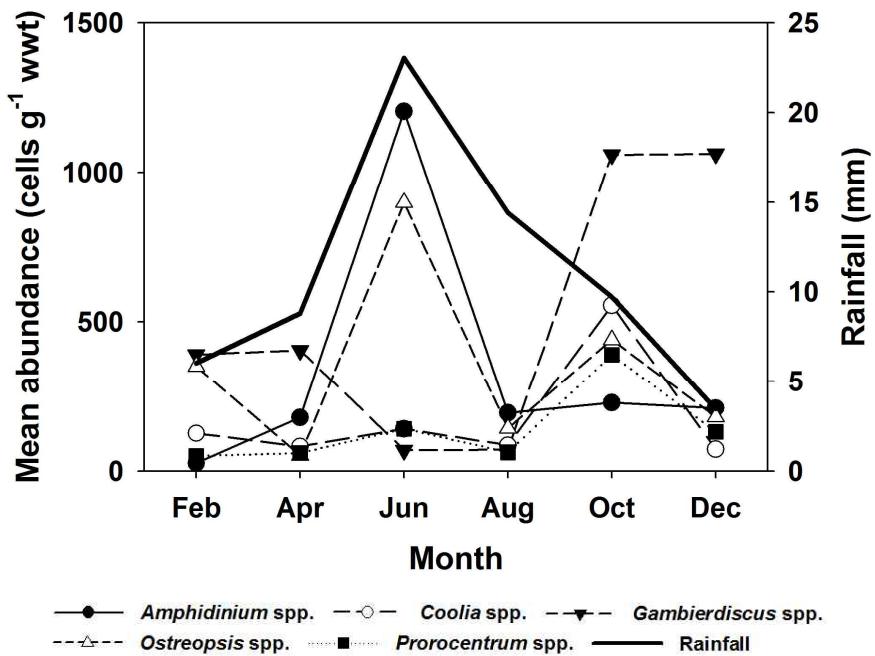


Fig. 25. The relationship between mean abundance of 5 epiphytic dinoflagellates and monthly mean rainfall of 4 stations, Jeju, Gosan, Seogwipo and Seongsan (Korea Meteorological Administration).

Table 3. Annual averaged occurrence of ephiphytic dinoflagellates in the 81 macroalgal species

| No. | Macroalgae (Korean common name) | Macroalgae (scientific name) | Abundance of ephiphytic dinoflagellates (cells g ⁻¹ wwt) |
|-----|---------------------------------------|----------------------------------|---|
| 1 | 가는개도박 | <i>Grateloupia lanceolata</i> | 0 |
| 2 | 가시뼈대그물말 | <i>Dictyopteris prolifera</i> | 18 |
| 3 | 가시우무류 | <i>Hypnea</i> sp. | 19 |
| 4 | 가시풀 | <i>Centroceras clavulatum</i> | 2 |
| 5 | 갈고리가시우무 | <i>Hypnea japonica</i> | 3 |
| 6 | 갈색대마디말 | <i>Cladophora wrightiana</i> | 26 |
| 7 | 갈파래 | <i>Ulva lactuca</i> | 0 |
| 8 | 감태 | <i>Ecklonia cava</i> | 35 |
| 9 | 개그물바탕말 | <i>Dictyota okamurae</i> | 15 |
| 10 | 개우무 | <i>Pterocladiella capillacea</i> | 32 |
| 11 | 게발류 | <i>Amphiroa</i> sp. | 81 |
| 12 | 게발혹류 | <i>Marginisporum</i> sp. | 17 |
| 13 | 팽생이모자반 | <i>Sargassum horneri</i> | 7 |
| 14 | 구멍갈파래 | <i>Ulva pertusa</i> | 18 |
| 15 | 구슬청각 | <i>Codium minus</i> | 0 |
| 16 | 그물바구니 | <i>Hydroclathrus clathratus</i> | 5 |
| 17 | 긴까막살 | <i>Grateloupia elata</i> | 25 |
| 18 | 깃꼴개서실 | <i>Laurencia pinnata</i> | 2 |
| 19 | 꽃지누아리 | <i>Grateloupia imbricata</i> | 2 |
| 20 | 꿩꼬리풀 | <i>Phacelocarpus japonicus</i> | 1 |

Table 3. Continued

| No. | Macroalgae (Korean common name) | Macroalgae (scientific name) | Abundance of epiphytic dinoflagellates (cells g ⁻¹ wwt) |
|-----|---------------------------------------|-----------------------------------|--|
| 21 | 낫대마디말 | <i>Cladophora meridionalis</i> | 18 |
| 22 | 낭과썩(무절) | <i>Synarthrophyton chejuensis</i> | 4 |
| 23 | 넓은게발 | <i>Amphiroa anceps</i> | 6 |
| 24 | 누운청각 | <i>Codium coactum</i> | 0 |
| 25 | 누은분홍잎 | <i>Acrosorium yendoi</i> | 1 |
| 26 | 대롱진두발 | <i>Chondrus canaliculatus</i> | 4 |
| 27 | 대마디붙이 | <i>Cladophoropsis herpestica</i> | 5 |
| 28 | 도박류 | <i>Pachymeniopsis</i> sp. | 0 |
| 29 | 돌가사리 | <i>Chondracanthus tenellus</i> | 9 |
| 30 | 떡청각 | <i>Codium arabicum</i> | 2 |
| 31 | 마디잘록이 | <i>Lomentaria catenata</i> | 22 |
| 32 | 말청각 | <i>Codium subtubulosum</i> | 3 |
| 33 | 명주비단망사 | <i>Martensia albida</i> | 5 |
| 34 | 모자반류 | <i>Sargassum</i> sp. | 0 |
| 35 | 물령뼈개서설 | <i>Chondrophy cuscartilaginea</i> | 1 |
| 36 | 미끌도박 | <i>Gratelouphia turuturu</i> | 1 |
| 37 | 미아베모자반 | <i>Sargassum miyabei</i> | 1 |
| 38 | 미역 | <i>Undaria pinnatifida</i> | 4 |
| 39 | 민가지말 | <i>Chordaria flagelliformis</i> | 4 |
| 40 | 바다고리풀 | <i>Asparagopsis taxiformis</i> | 1 |

Table 3. Continued

| No. | Macroalgae (Korean common name) | Macroalgae (scientific name) | Abundance of epiphytic dinoflagellates (cells g ⁻¹ wwt) |
|-----|---------------------------------------|-------------------------------------|--|
| 41 | 볏붉은잎 | <i>Callophyllis japonica</i> | 5 |
| 42 | 부챗말 | <i>Padina arborescens</i> | 22 |
| 43 | 부챗살 | <i>Ahnfeltiopsis flabelliformis</i> | 12 |
| 44 | 불레기말 | <i>Colpomenia sinuosa</i> | 16 |
| 45 | 붉은뼈깍살 | <i>Grateloupia angusta</i> | 14 |
| 46 | 붉은실류 | <i>Polysiphonia</i> sp. | 1 |
| 47 | 비단망사류 | <i>Martensia</i> sp. | 20 |
| 48 | 비바리비단망사 | <i>Martensia bibarrii</i> | 1 |
| 49 | 빗살도박 | <i>Grateloupia subpectinata</i> | 1 |
| 50 | 빗자루다홍풀 | <i>Dasya scoparia</i> | 1 |
| 51 | 산호말류 | <i>Corallina</i> sp. | 37 |
| 52 | 쐐기꼴꼬시래기 | <i>Gracilaria cuneifolia</i> | 0 |
| 53 | 애기산호말류 | <i>Jania</i> sp. | 3 |
| 54 | 엉킨실류 | <i>Derbesia</i> sp. | 2 |
| 55 | 여린가위손말 | <i>Galaxaura falcata</i> | 30 |
| 56 | 연마디잘록이 | <i>Lomentaria flaccida</i> | 3 |
| 57 | 염주말 | <i>Chaetomorpha moniligera</i> | 3 |
| 58 | 왕깃털말 | <i>Bryopsis maxima</i> | 0 |
| 59 | 왜잎송진내 | <i>Portieria japonica</i> | 8 |
| 60 | 외흐늘풀 | <i>Scinaia japonica</i> | 2 |

Table 3. Continued

| No. | Macroalgae (Korean common name) | Macroalgae (scientific name) | Abundance of epiphytic dinoflagellates (cells g ⁻¹ wwt) |
|-----|---------------------------------------|---------------------------------|--|
| 61 | 우뭇가사리 | <i>Gelidium amansii</i> | 78 |
| 62 | 잎꼬시래기 | <i>Gracilaria textorii</i> | 4 |
| 63 | 자루바다표고 | <i>Peyssonnelia capensis</i> | 9 |
| 64 | 자주비로드 | <i>Dudresnaya japonica</i> | 3 |
| 65 | 작은구슬산호말 | <i>Corallina pilulifera</i> | 4 |
| 66 | 잔가지애기산호말 | <i>Jania yenoshimensis</i> | 3 |
| 67 | 주름뼈대그물말 | <i>Dictyopteris undulata</i> | 21 |
| 68 | 지네지누아리 | <i>Grateloupia asiatica</i> | 1 |
| 69 | 지누아리류 | <i>Grateloupia</i> sp. | 1 |
| 70 | 지충이 | <i>Sargassum thunbergii</i> | 2 |
| 71 | 진두발 | <i>Chondrus ocellsatus</i> | 17 |
| 72 | 참가시우무 | <i>Hypnea charoides</i> | 2 |
| 73 | 참가죽그물바탕말 | <i>Dictyota coriacea</i> | 5 |
| 74 | 참곱슬이 | <i>Plocamium telfairiae</i> | 62 |
| 75 | 참까막살 | <i>Polyopas affinis</i> | 3 |
| 76 | 참도박 | <i>Grateloupia elliptica</i> | 4 |
| 77 | 참사슬풀 | <i>Champia parvula</i> | 4 |
| 78 | 참풀가사리 | <i>Gloiopeltis tenax</i> | 0 |
| 79 | 청각 | <i>Codium fragile</i> | 27 |
| 80 | 큰깃복슬털 | <i>Wrangelia tanegana</i> | 3 |
| 81 | 헛가지민털이풀 | <i>Anotrichium tenue</i> | 5 |

V. 참고문헌

- 장래선, 제종길, 손철현, 1993. 남해의 하계 해조군집. II. 조하대의 군집. *한국수산학회지*. 26(2): 182-197.
- 고철환, 성낙길, 1983. 저서식물의 군집 구조와 생산성(죽도, 동해안). 1. 해조류의 식생과 환경. *한국식물학회지*. 26(3): 119-130.
- 고철환, 1983. 저서식물의 군집 구조와 생산성(죽도, 동해안). 2. 해조류 식생의 계절변화와 대형갈조류 성장 양상의 관계. *한국식물학회지*. 26(3): 189-190.
- 기상청, 2012. 2011년도 성산, 서귀포, 제주, 고산 지역의 기후관측 자료.
- 기후변화정보센터, 2012. 기후변화. 기상청.
- 김태호, 박성훈, 1997. 제주도 해안의 지형경관. 환경부. 전국자연환경조사보고서.
- 김형신, 정민민, 이준백, 2008. 열대 해역 지표종 *Ornithocercus* 속 와편 모조의 출현 동향으로 본 한반도 온난화. *한국해양학회지*. 바다. 13(4): 303-307.
- 디지털제주시문화대전, 2012. 제주도 지형. *한국향토문화전자대전*.

손철현, 이인규, 강제원, 1983. 남해안 돌산도의 해조. II. 조하대 해조군
락의 구조. *한국수산학회지*. 4: 105-112.

유종수, 2003. 영일만 내·외해역에서 조하대 해조군집 구조의 특성. *한국조류학회지*. 18: 365-369.

이기완, 고신자, 1991. 제주도 주변 유인도의 해조류상. *제주 유인도학술조사*. pp. 239-269.

이병설, 1979. 제주도의 바람에 관한 연구. *지리학논총*. 6: 11- 18.

이용필, 2008. 제주의 바닷말. 아카데미서적. 서울. 477 pp.

옥정현, 금연심, 황미숙, 오윤식, 2004. 제주도 숲섬과 성산포의 조하대
해조군집. *수중과학기술*. 5(1):3-9.

정호성, 이호준, 이인규, 1991. 한국 동해안 갈남의 해조류 수직분포. *한국조류학회지*. 8: 67-75.

편집부, 1998. 대기 환경 자료. *환경백서*. 622 pp.

한국학중앙연구원, 1996. 제주도 지형. *한국민족문화대백과사전*.

Bagnis, R., J. Bennet, C. Prieur & A.M. Legrand, 1985. The
dynamics of three benthic dinoflagellates and the toxicity of

ciguateric surgeonfish in French Polynesia, In, Toxic Dinoflagellates, edited by D.M.Anderson, A.W. White & D.G. Baden, Elsevier, New York, pp. 177-182.

Bagnis, R.J., A. Julvez, B. Allaoui, H. Dubray, M.A. Conan, A. Halidi, L. Mieli & J. Galtier, 1988. Le risque ciguaterique dans l'île de Mayotte. Rev. Int. Océanog. Medi., 91-92: 43-54.

Bomber, J.W., D.R. Norris & L.E. Mitchell, 1985. Benthic dinoflagellates associated with ciguatera from the Florida Keys. II. Temporal, spatial and substrate heterogeneity of *Prorocentrum lima*. p. 45-50. In D.M. Anderson, A.W White & D.G. Baden (eds.). Toxic dinoflagellates. Else. Sci., Amsterdam, Holland.

Bomber, J.W., R.R.L. Guillard, W.G. Nelson, 1988. Roles of temperature, salinity, and light in seasonality, growth, and toxicity of ciguatera causing *Gambierdiscus toxicus* Adachi et Fukuyo (Dinophyceae). J. exp. mar. Biol. Ecol., 115: 53-65.

Bomber, J.W., M.G. Rubio & D.R. Norris, 1989. Epiphytism of dinoflagellates associated with the disease ciguatera: substrate specificity and nutrition. Int. Phycol. Soc., 28: 360-368.

Carlsom, R.D. & D.R. Tindall, 1985. Distribution and periodicity of toxic dinoflagellates in the Virgin Islands. In, Toxic dinoflagellates, edited by D.M. Anderson et al., Else., New York, pp. 171-176.

Chateau-Degat, M.L., M. Chinain, N. Cerf, S. Gingras, S., Hubert, B., Dewailly, E., 2005. Seawater temperature, *Gambierdiscus* spp. variability and incidence of ciguatera poisoning in French Polynesia. Harm. Alg., 4: 1053-1062

Dickey, R.M., Plakas, S.M., 2010. Ciguatera: a public health perspective. J. else. Toxi., 56: 123-136.

Edwin C.R, Tracy A.V, 2006. Macroalgal palatability and the flux of ciguatera toxins through marine food webs. Harm. Alg., 5: 497-525.

Erdner, D.L., Dyble, J., Parsons, M.L., Stevens, R.C., Hubbard, K.A., Wrabel, M.L., Moore, S.K., Lefebvre, K.A., Anderson, D.M., Bienfang, P., Bidigare, R.R., Parker, M.S., Moeller, P., Brand, L.E., Trainer, V.L., 2008. Centers for Oceans and Human Health: a unified approach to the challenge of harmful algal blooms. Env. Heal., 7 (S2).

Faust, M.A., 1991. Morphology of ciguatera-causing *Prorocentrum*

lima (pyrrophyta) from widely differing sites. J. Phycol., 27: 642-648.

Faust, M.A., 1996. Dinoflagellates in a mangrove ecosystem, Twin Cays, Belize. Nov. Hedwi., 112: 447-460.

Gárate-Lizárraga, I., J.J. Bustillos-Guzmán, K. Erler, M.S. Muñetón-Gómez, B. Luckas & A. Tripp-Quezada, 2004. Paralytic shellfish toxins in the chocolata clam, *Megapitaria squalida* (Bivalvia: Veneridae), in Bahía de La Paz, Gulf of California. Rev. Biol. Trop., 52(Suppl. 1): 133-140.

Hernández-Becerril, D.U. & A. Almazán Becerril, 2004. Especies de dinoflagelados del género *Gambierdiscus* (Dinophyceae) del Mar Caribe mexicano. Rev. Biol. Trop., 52(Suppl. 1): 77-87.

Kim, H.S., W.H. Yih, J.H. Kim, G.O. Myung, H.J. Jeong, 2011. Abundance of Epiphytic Dinoflagellates from Coastal Waters off Jeju Island, Korea During Autumn 2009. J. Oce. Sci., 46(3):205-209.

Kordas, R.L., C.D.G. Harley, M.I. O'Connor, 2011. Community ecology in a warming world: The influence of temperature on interspecific interactions in marine systems. J. Exp. Mar. Bio. Eco., 400: 218-226.

La Barbera-Sánchez, A., J.F. Soler, L. Rojas de Astudillo & I. Chang-Yen, 2004. Paralytic Shellfish Poisoning(PSP) in Margarita Island, Venezuela. Rev. Biol. Trop., 52(Suppl. 1): 89–98.

Lehane, L, Richard J. Lewis, 2000. Ciguatera: recent advances but the risk remains. Int. J. Food Microbiol., 61 (2–3): 91–125.

Lewis, R.J., Holmes, M.J., 1993. Origin and transfer of toxins involved in ciguatera. Com. Bio. Physi. C: Com. Pharmacol., 106(3): 615–628.

Litaker, R.W., Vandersea, M.W., Fasut, M.A., Kibler, S.R., Chinain, M., Holmes, M.J., Holland, W.C. & Tester, P.A., 2009. Taxonomy of *Gambierdiscus* including four new species, *Gambierdiscus caribaeus*, *Gambierdiscus carolinianus*, *Gambierdiscus carpenteri* and *Gambierdiscus ruetzleri* (Gonyaulacales, Dinophyceae). Int. Phycol. Soc., 48: 344–390.

Mangialajo, L., Ganzin, N., Accoroni, S., Asnagh, V., Blanfuné, A., Cabrini, M., Cattaneo-Vietti, R., Chavanon, F., Chiantore, M., Cohu, S., Costa, E., Fornasaro, D., Grossel, H., Marco-Miralles, F., Masó, M., Reñé, A., Rossi, A.M., Sala, M.M., Thibaut, t., Totti, C., Vila, M., Lemée, R., 2011. Trends in *Ostreopsis* proliferation along the Northern Mediterranean

coasts. Else. Toxi., 57: 408-420.

Parsons, M.L., Preskitt, L.B., 2007. A survey of epiphytic dinoflagellates from the coastal waters of the island of Hawaii. Harm. Alg., 6: 658-669.

Richlen, M.L., Morton, S.L., Barber, P.H. & Loble, P.S., 2008. Phylogeography, morphological variation and taxonomy of the toxic dinoflagellate *Gambierdiscus toxicus*. Harm. Alg., 7: 614-629.

Taylor, F.J.R. & M.S. Gustavson, 1985. An underwater survey of the organism chiefly responsible for "Ciguatera" fish poisoning in the Eastern Caribbean: the benthic dinoflagellate *Gambierdiscus toxicus*. In, Proc. 7th Int, Sci. Symp., Padova, Italy. 1983, edited by Stefanon, A. and Fleming, N.J., pp. 95-111.

Taylor, F.J.R., 1985. The distribution of the dinoflagellate *Gambierdiscus toxicus* in the Eastern Caribbean. In. proc. 5th Int. Coral Reef symp. Tahiti 1985, eedited by C.Gabriel & B. Salvat, Ant., Moorea, French Polynesia, 4: 423-428.

Tosteson, T.R., 2004. Caribbean ciguatera: a changing paradigm. Rev. Biol. Trop., 52(Suppl. 1): 109-113

Yasumoto. T., A. Inoue, T. Ochi, K. Fujimoto, Y. Oshima, Y. Fukuyo, R. Adachi & R. Bagnis, 1980. Environmental studies on a toxic dinoflagellates responsible for ciguatera. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 46: 1397-1404.

Yasumoto, T., Y. Oshima, Y. Murakami, I. Nakijama, R. Bagnis & Y. Fukuyo, 1980. Toxicity of benthic dinoflagellates found in coral reefs. *Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish.*, 46: 327-31.

Yasumoto, T., 1990. Marine microorganism toxins – an overview. In: Graneli, E., Sundstrom, B., Edler, L., Anderson, D.M. (Eds.), *Toxic Marine Phytoplankton*. Else. Sci. Publ., New York, pp. 3-8.

제주연안 착생 와편모류의 분포생태학적 연구

장 보 라

군산대학교 대학원 해양학과
생물·화학 해양학 전공

지도교수 이 원 호

제주도 연안에서 6개 정점을 선정하고, 2011년에 격월로 6회에 걸쳐 채집한 대형 해조류 시료 520개의 엽체 착생 와편모류 5개 속 (*Amphidinium* spp., *Coolia* spp., *Gambierdiscus* spp., *Ostreopsis* spp., *Prorocentrum* spp.)에 대한 분포 및 생태학적 특성을 연구하였다.

연구기간 동안 채집된 대형 해조류는 총 81종이었고, 이 때 수온 및 염분은 각각 12.0~25.3°C 및 28.0~34.1 psu이었다. 착생 와편모류의 평균 생물량은 시기에 따라 $108 \text{ cells g}^{-1} \text{ wwt}$ (4월)~ $756 \text{ cells g}^{-1} \text{ wwt}$ (6월)이었으며, 성산 정점(St.1)이 다른 5개 정점에 비해 생물량이 월등히 높게 나타났다.

착생 와편모류 5개 속은 12°C와 28 psu 이하에서 출현하지 않았고, 19.9~22.6°C와 32.0~34.1 psu 범위에서 최대 생물량이 나타났

다. 또한, 엽체가 넓은 대형 해조류보다는 우뭇가사리와 같이 가지가 많은 대형 해조류에서 생물밀도가 더 높았다.

제주도 해역에 (아)열대성 착생 와편모류의 출현은 지구온난화에 따른 해양생태계의 변화를 암시하는 것으로, 착생 와편모류 중 일부 종류(*Gambierdiscus* spp.와 *Ostreopsis* spp.)는 한반도 지역의 기후 변화에 대한 지표생물로서의 가능성을 시사한다.

ABSTRACT

Distributional ecology of epiphytic dinoflagellates
from the coastal waters off Jeju Island, Korea

Jang, Bora

Department of Oceanography
Graduate School
Kunsan National University

Gunsan, Korea

Supervised by Professor Yih, Wonho

Six station were selected in Jeju coastal waters, and distributional ecology of 5 genera of epiphytic dinoflagellates(*Amphidinium* spp., *Coolia* spp., *Gambierdiscus* spp., *Ostreopsis* spp. and *Prorocentrum* spp.) was explored. A total of 520 macroalgal samples collected through six bimonthly samplings during 2011 were examined.

*A thesis submitted to the Committee of the Graduate School, Kunsan National University in partial fulfillment of the requirements for degree of Master of Science in February 2013.

Eighty one species of macroalgae were identified during the sampling periods, when water temperature and salinity were in the ranges of 12.0~25.3°C and 28.0~34.1 psu, respectively.

Mean biomass of the epiphytic dinoflagellates ranged from 108 cells g⁻¹ wwt (April) to 756 cells g⁻¹ wwt (June). Station Sungsan(St.1) exhibited the highest abundance among the 6 stations. All the 5 epiphytic dinoflagellate genera were detected at sampling points with water temperature above 12°C and at salinity higher than 28 psu while maximum biomass of each genus was met at 19.9~22.6°C and 32.0~34.1 psu. Also, macroalage with many thin brances like *Gelidium amansii* were inhabited by dense populations epiphytic dinoflagellates when compared with unbranched- and wide-bladed macroalgae. Occurrence of the (sub)tropical epiphytic dinoflagellates in Jeju coastal water may suggest the large-scale changes in marine ecosystem in relation to global warming. Particularly, some epiphytic dinoflagellates genera (i.e., *Gambierdiscus* and *Ostreopsis*) might be reasonably indicative of the climate change around the Korean peninsula.