

〈Original article〉

## 한국 연안해역의 미기록 Peridinales 목 와편모조류 시스트

박 종 식 · 윤 양 호<sup>1,\*</sup>

(주)해양수산연구개발, <sup>1</sup>전남대학교 해양기술학부

### New Records of Dinoflagellate Cysts of Peridinales from the Korean Coastal Waters

Jong Sick Park and Yang Ho Yoon<sup>1,\*</sup>

Ocean Fisheries Research and Development Co., Yeosu 59677, Republic of Korea

<sup>1</sup>Faculty of Marine Technology, Chonnam National University, Yeosu 56828, Republic of Korea

**Abstract** - To investigate the occurrences of resting cysts of *Diplopsalis* and *Proto-peridinium* species, sediment trap samples were collected from Gamak Bay, Korea. Based on the germination experiments, nine species of order Peridinales were identified; cyst of *Diplopsalis lebourae*, cyst of *Proto-peridinium excentricum*, cyst of *Proto-peridinium* sp. cf. *nudum*, cyst of *Proto-peridinium obtusum*, cyst of *Proto-peridinium ventricum*, cyst of *Proto-peridinium* sp.1, cyst of *Proto-peridinium* sp.2, *Proto-peridinium sinuosum* (*Brigantedinium majusculum*) and unidentified Peridinales.

**Keywords** : dinoflagellate cyst, germination experiment, *Diplopsalis*, *Proto-peridinium*, Peridinales

## 서 론

해양기초생산자인 식물플랑크톤 군집에서 구조류 다음으로 중요한 위치를 차지하는 와편모조류 유영세포는 약 2,500종이 보고되고 있지만(Taylor *et al.* 1987; Goméz 2005, 2012; Hoppenrath *et al.* 2009), 이 중 생활사에서 유성생식에 의해 시스트인 휴면성 접합자(휴면포자, cyst)를 형성하는 종은 10~20%에 한정되는 것으로 추정하고 있다(Head 1996; Price and Pospelova 2011; Bonnet *et al.* 2012). 그러나 Matsuoka and Fukuyo (1995)는 휴면성 접합자 존재가 확실한 것은 70여 종 정도로 추정하였고, Dale (1983)은 현생 유영세포와의 대응관계는 불명확하지만, 와편모조류 시스트는 해양 표층퇴적물에 약 150종 있는 것으로 추정하는 등, 연구자에 따라 유영세포와 시스트 형성 중에 대해서는 많은 차이를 보인다(Yoon and Shin 2014). 또한 와편모조류 *Proto-*

*peridinium* 속의 시스트는 갈색의 구형(round brown cyst)을 하는 것이 많고, 발아 이후에 유기세포벽이 쉽게 손상되어 퇴적물에서 관찰되는 시스트 동정이 어렵다.

국내에서 와편모조류 시스트에 대한 연구는 1980년대 초 내만해역에서 적조발생과 관련하여 시도된 연구보고(Kim *et al.* 1990; Lee and Yoo 1991)를 시작으로 최근 다양하게 접근되고 있지만, 해역적인 편향성이 보고된다(Yoon and Shin 2013). 즉 그들은 당시까지 국내 연안/내만해역 및 황해를 포함하는 동중국해 북부해역을 대상으로 수행된 25편의 국내학술지 및 16편의 국제학술지의 논문을 분석한 결과 출현하는 와편모조류 시스트는 고생물학적인 시스트 명칭을 기준으로 90종, 유영세포의 명칭을 기준으로 61종이었고, 대부분 시스트 연구는 남해에 집중되어, 동해의 연구결과는 전무한 것으로 보고하였다. 그러나 2013년 이후 국내에서도 제주도 및 동해 연안 해역을 대상으로 한 연구결과가 최근 보고되고 있다(Park *et al.* 2016; Yoon 2017).

이 연구는 한국 연안해역에서 아직 보고되지 않은 와편모

\* Corresponding author: Yang Ho Yoon, Tel. 061-659-7142, Fax. 061-659-7149, E-mail. yoonyh@jnu.ac.kr

조류 Peridinales 목의 일부 종에 대한 시스트 및 발아 이후의 유영세포에 대한 형태적 특징을 기술한다.

## 재료 및 방법

남해 중앙부의 가막만 입구인 화태도 인근해역에 2005년 6월에서 2006년 6월 일 년 동안 sediment trap을 설치하여 주간(고수온기) 또는 격주(저수온기)로 채집된 시료를 이용하여, 시스트 관찰 및 발아된 유영세포를 관찰하였다 (Park and Yoon 2017). 채집된 시료는 실험실로 운반하여, 빛에 의한 영향을 방지하기 위하여 알루미늄 호일로 빛을 차단하여 4°C 냉암소에 보관하였다가 발아실험을 실시하였다 (Matsuoka and Fukuyo 2000). 시스트 및 유영세포는 위상차 독립현미경 (Nikon, TE 300)을 이용하여 pasteur pipette로 단일종을 분리하여 관찰하였다. 발아실험은 현장해역의 자연 해수를 여과 멸균한 배양액을 주입한 96-well plate에 한 세포씩 접종하여, 식물배양기 (Vision, VS-3DM)의 온도 22°C, 빛 1,300 Lux 및 12L:12D의 명암조건에서 실시하였다. 발아 표본의 현미경 관찰은 매일 오전과 오후 2회 실시하였다. 사진촬영은 생시스트는 plate 접종하기 바로 전 단계에서 실시하였으며, 발아가 이루어진 후에는 공시스트와 영양세포를 분리하여 실시하였다. 그리고 이 연구에 사용된 생물명은 WoRMS (World Register of Marine Species, <http://www.marinespecies.org>)에서 승인된 내용을 기준으로 하였다.

## 결과 및 고찰

시스트 및 발아된 와편모조류 유영세포의 관찰에서 9종의 국내 미기록 종을 확인하였다. 미기록 와편모조류 시스트는 모두 종속영양종으로 와편모조문 (Dinophyta), 와편모조강 (Dinophyceae), 페리디니움목 (Peridinales)에 속하였다. 미기록 와편모조류 시스트는 *Brigantedinium majusculum* (*Protoperidinium sinuosum*), cyst of *Diplopsalis lebourae*, cyst of *Protoperidinium excentricum*, cyst of *Pt. sp. cf. nudum*, cyst of *Pt. obtusum*, cyst of *Pt. ventricum*, cyst of *Protoperidinium sp.1*, cyst of *Protoperidinium sp.2* 및 미동정된 cyst of Peridinales 등이었다. 다음에는 이들 시스트 및 유영세포에 대하여 간략하게 설명한다.

### 1. *Brigantedinium majusculum* Reid 1977 (Plate I. 1a-f)

Reid 1977; Plate I, No. 5

시스트는 갈색을 띠는 원형으로 크기는 80~100 µm로 매우 크다. Reid (1977)에 의해 기록된 시스트 크기도 73~92 µm로 평균 81 µm를 나타내었다. 이 종은 발아실험결과 6개의 면을 가진 hexagonal 형태의 발아공을 나타내었다. 발아된 유영세포는 폭이 약 140~160 µm, 길이가 120~140 µm의 대형으로서 전체적인 형태는 5각형을 한다. 유영세포의 2a는 발아공과 마찬가지로 hexa의 형태를 보이는 것이 특징이다.

이 종의 유영세포는 정확하게 알려지지 않았으나, 최근 *Protoperidinium sinuosum* Lemmermann 1905의 휴면성 접합자로 보고하였고, *Pt. sinuosum*은 시스트 *Trinovantedinium capitatum* Reid 1977로 보고되는 유영세포인 *Pt. pentagonum*이나 *Pt. latissimum*과 자매 그룹에 속하며, 이들 3종이 동일종일 가능성을 지적하고 있다 (Li et al. 2015). Li et al. (2015)은 진해만 표본을 기준으로 기재하고 있지만, 국내에서는 유영세포의 출현도 보고되지 않고 있다 (Lee and Kim 2015). 또한 이 종은 해양에서 적은 양으로 출현하는 것이 보고되었다 (Reid 1977).

### 2. Cyst of *Diplopsalis lebourae* (Nie) Balech 1967 (Plate I. 2a-c)

Wall and Dale 1968; Plate 4, No. 19; Matsuoka 1988; Plate III, E-K, Fig. 4B, C

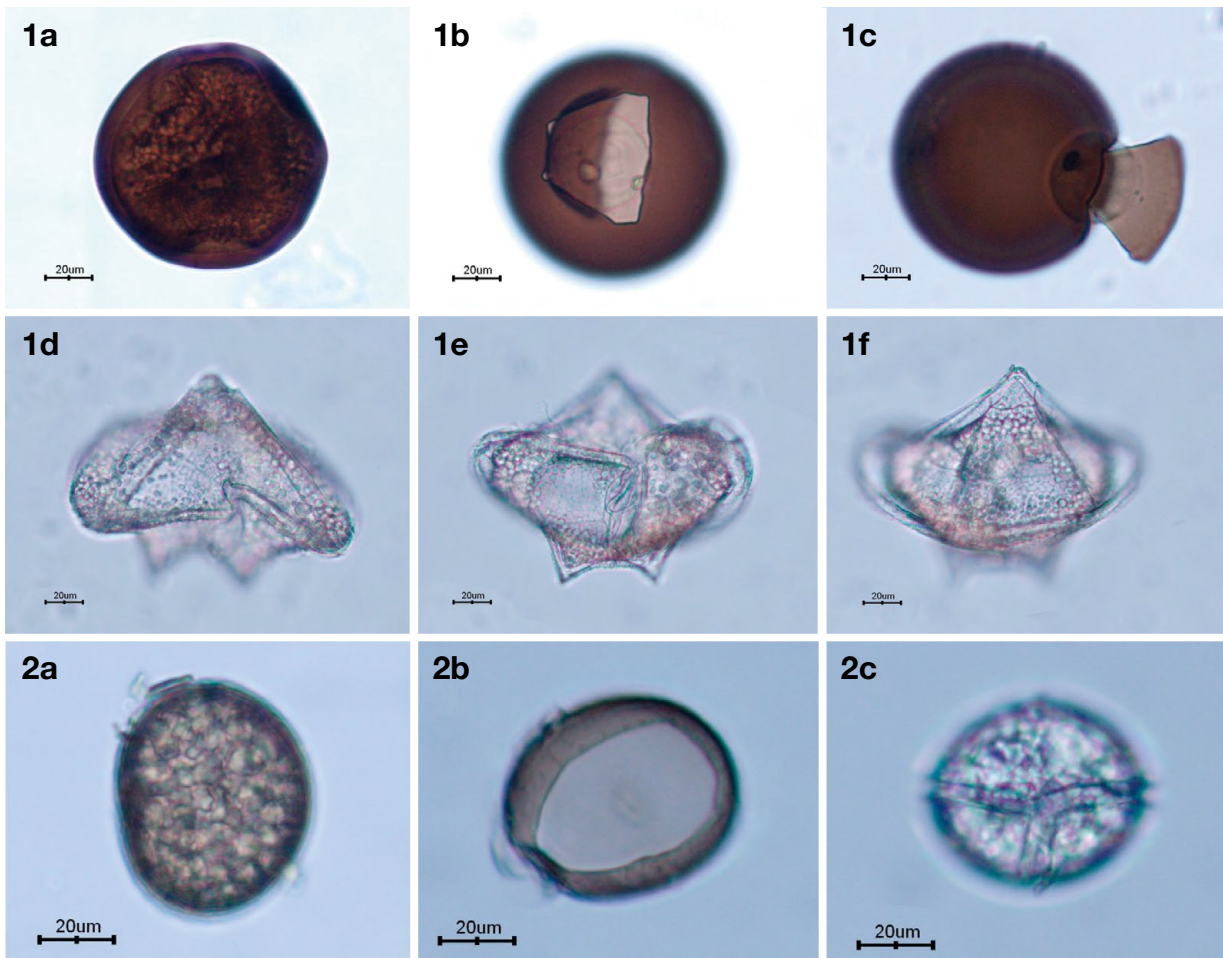
시스트는 갈색을 띠는 타원형으로 50~60 µm 정도의 크기를 나타낸다. 발아실험결과 발아공은 거의 직사각형에 가까운 매우 큰 발아공을 나타낸다. 본 종은 앞에서 살펴본 *Protoperidinium (Brigantedinium)*의 시스트와는 생시스트로는 구분이 쉽지 않으며, 발아 후 발아공의 형태로부터 동정을 할 수 있으나, 찌그러지거나 변형된 경우에는 동정이 불가능하다. 영양세포는 구형에 가까우나 상하로 약간 납작하다. 작은 apical plate가 있으며, 횡구와 종구가 잘 발달되어 있다.

원기재에서 이 종의 시스트 크기는 직경 49~57 µm로 (Wall and Dale 1968), 일본 Omura만에서 채집된 시스트의 크기는 직경이 49~52 µm (Matsuoka 1988)로 보고하고 있으며, 국내에서는 시스트는 물론 유영세포로 출현도 보고되지 않았다 (Lee and Kim 2015).

현재 이 종에 대해서는 분류학적으로 다양한 의견이 제시되고 있어, WoRMS에 미승인된 종으로 유보되어 있는 상태이기에 기존의 명칭을 그대로 사용하였다.

### 3. Cyst of *Protoperidinium excentricum* (Paulsen) Balech 1976 (Plate II. 3a-f)

Wall and Dale 1968; Fig. 4, No. 8; Lewis et al. 1984; Fig. 2h



**Plate I.** The light microscope photographs (LMPs) of the living and empty dinoflagellate cysts and its vegetative cells by cyst germination. *Proto-peridinium sinuosum* (*Brigantedinium majusculum* Photo 1) and *Diplopsalis lebourae* (Photo 2), (1a) living cyst, ventral view, (1b-c) empty cyst, antero-ventral view, (1d-f) motile cell germinated from cysts of these types, (1d) ventral view, (1e) ventral view, (1f) antero-dorsal view, (2a) living cyst, (2b) empty cyst, (2c) motile cell germinated from cysts of these types, ventral view.

시스트 크기는 폭이 55~65 µm, 길이가 40~45 µm 정도로 폭이 길이보다 크다. 진한 갈색을 띠며 상하로 납작한 형태를 나타낸다. 상각은 배쪽으로 하각은 등쪽으로 치우쳐 있고, 하각은 왼쪽이 오른쪽보다 큰 형태를 보인다. 발아된 유영세포는 시스트와 유사한 형태를 나타내었다. 발아공은 *Proto-peridinium* 속보다는 *Diplopsalid* 그룹에서 주로 나타나는 theropylic의 발아공을 한다(Lewis *et al.* 1984). 발아실험에 의해 유영세포가 확인될 당시에 발아공의 형태는 확인되지 않았었고(Wall and Dale 1968), Lewis *et al.*(1984)에서도 분명하지 않은 지그재그모양을 하는 것으로 보고되었지만, 이 연구 및 최근의 연구에서 theropylic 발아공이 확인되었다(Liu *et al.* 2015). 그리고 그들은 6개 시스트 표본에서 폭은 50.0~70.0 µm(평균 56.7 µm), 길이 30~52 µm(평균 40.7 µm), 깊이가 38.5~47.0 µm(평균 43.4 µm)로 가막만 표

본보다 변동이 큰 것으로 보고하였다.

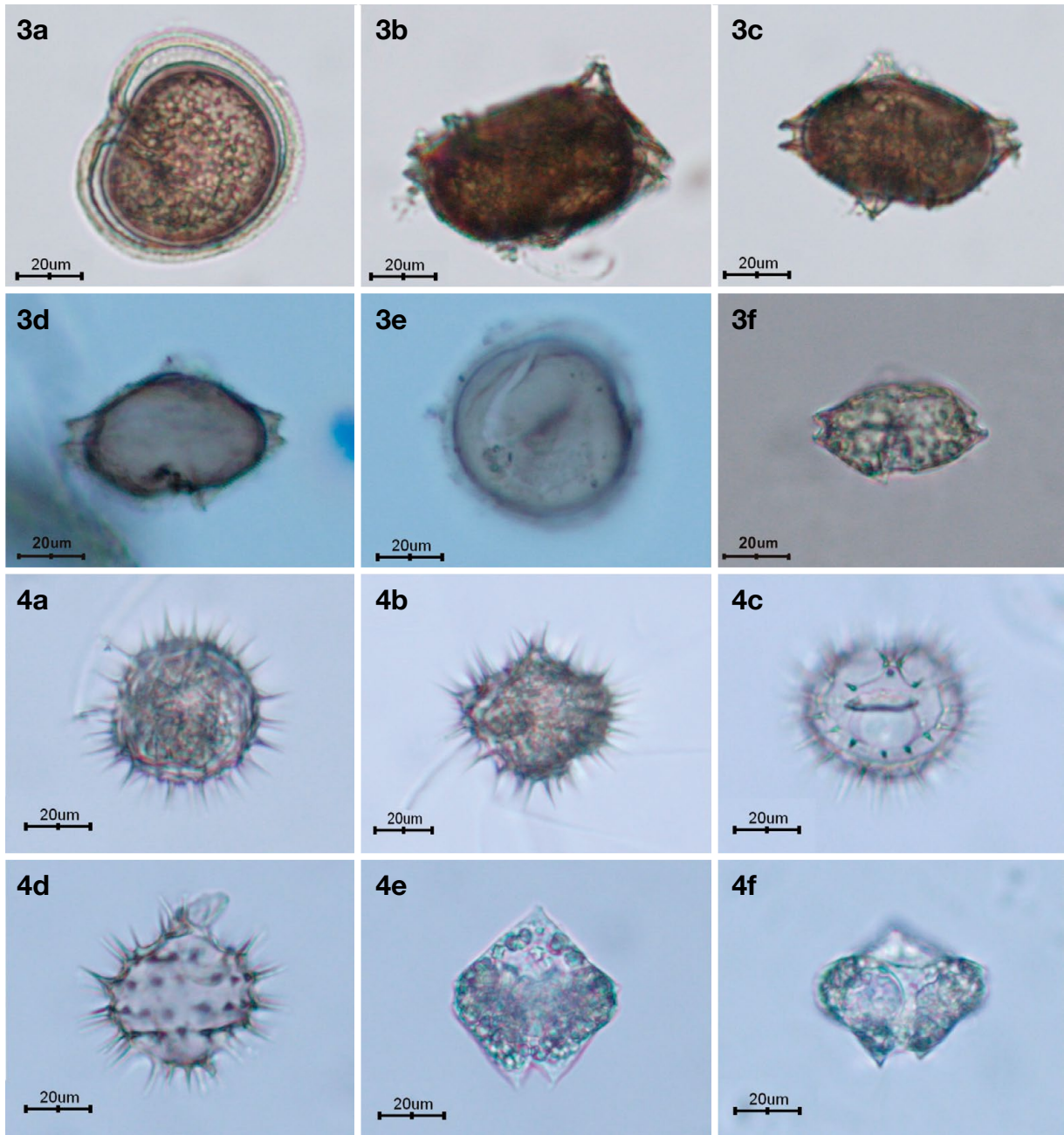
특히 일반적으로 와편모조 시스트와 유영세포가 주로 고수온기에 집중되는 것이 알려지지만, 가막만 *Pt. excentricum*은 1월에서 3월초 사이의 sediment trap 표본에서 채집되었다(Wall and Dale 1968). 국내에서는 이 종의 유영세포가 극히 제한된 해역에서 출현하였다(Lee and Kim 2015).

#### 4. Cyst of *Proto-peridinium* sp. cf. *nudum* (Meunier)

Balech 1974 (Plate II. 4a-f)

Wall and Dale 1968; Plate 4, No. 5

Wall and Dale (1968)이 발아실험에서 *Proto-peridinium conicum*과 유사한 시스트로 기록하였다. 정중간각판 2a에

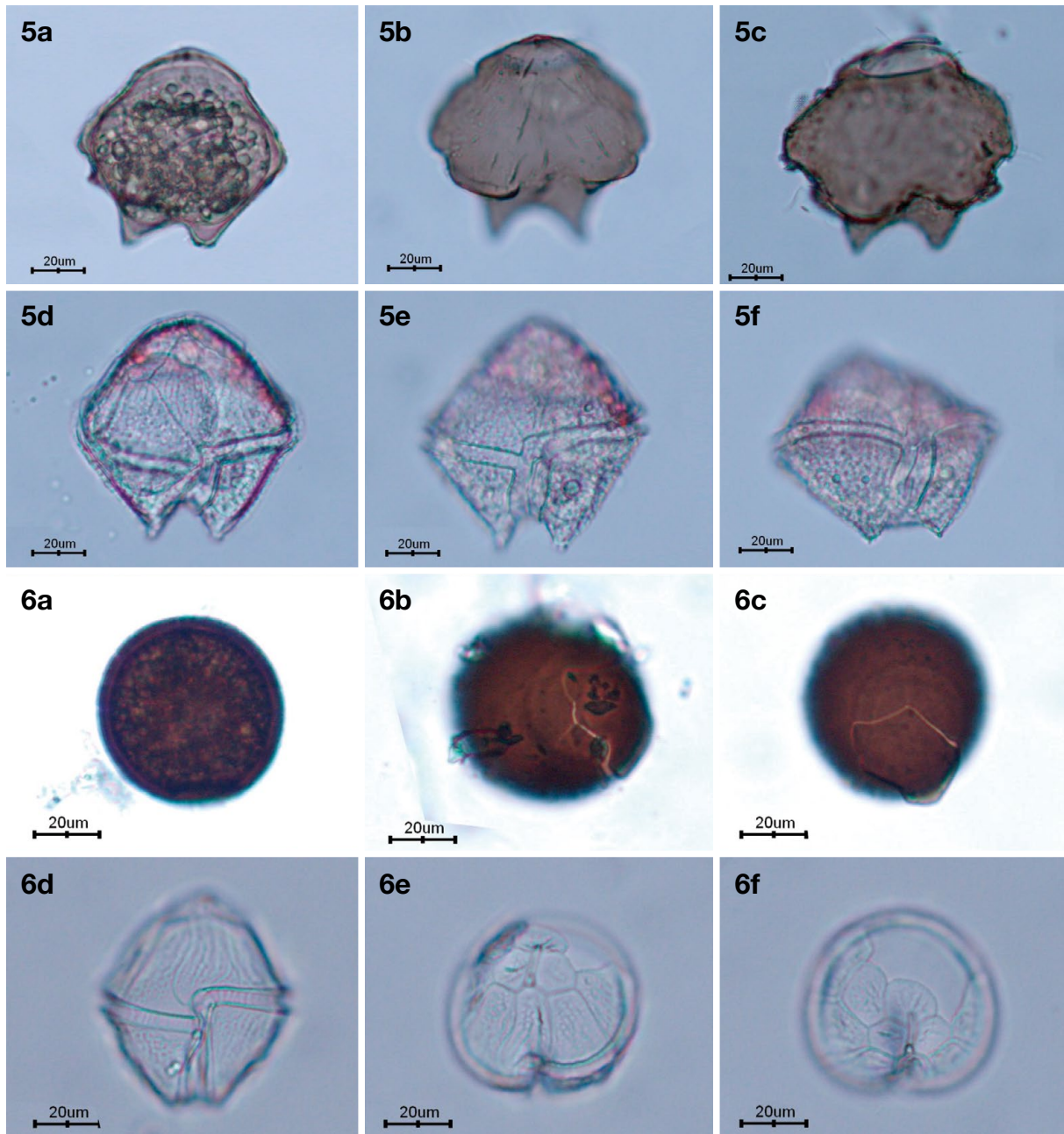


**Plate II.** The light microscope photographs (LMPs) of the living and empty dinoflagellate cysts and its vegetative cells by cyst germination. *Protoperidinium excentricum* (Photo 3) and *Protoperidinium* sp. cf. *nudum* (Photo 4), (3a-c) living cyst, (3a) antapical view, (3b) right ventro-lateral view, (3c) dorsal view, (3d-e) empty cyst, (3d) ventral view, (3e) apical view of empty cyst showing a thecophyllic archeopyle, (3f) motile cell germinated from cysts of these types, dorsal view, (4a) living cyst, apical view, (4b) living cyst, left lateral view, (4c-d) empty cyst, (4c) apical view, (4d) dorsal view, (4e-f) motile cell germinated from cysts of these types, (4e) ventral view, (4f) postero-ventral view.

대응하는 발아공을 가지며, 시스트 크기는 돌기물을 제외하면 직경 31 µm 정도이다(Wall and Dale 1968). 가막만에서 관찰된 시스트 크기는 폭과 길이가 거의 비슷한 50~60 µm로 Wall and Dale(1968)과 차이를 보였다. 그러나 지중해의

Izmir만에서 50개의 많은 표본에서 시스트 크기는 길이가 28~59 µm, 폭이 20~56 µm로 개체에 따른 크기 변화가 매우 큰 것을 지적하고 있다(Uzar *et al.* 2010).

이 종의 유영세포는 *Pt. conicum* (*Selenopemphix quanta*

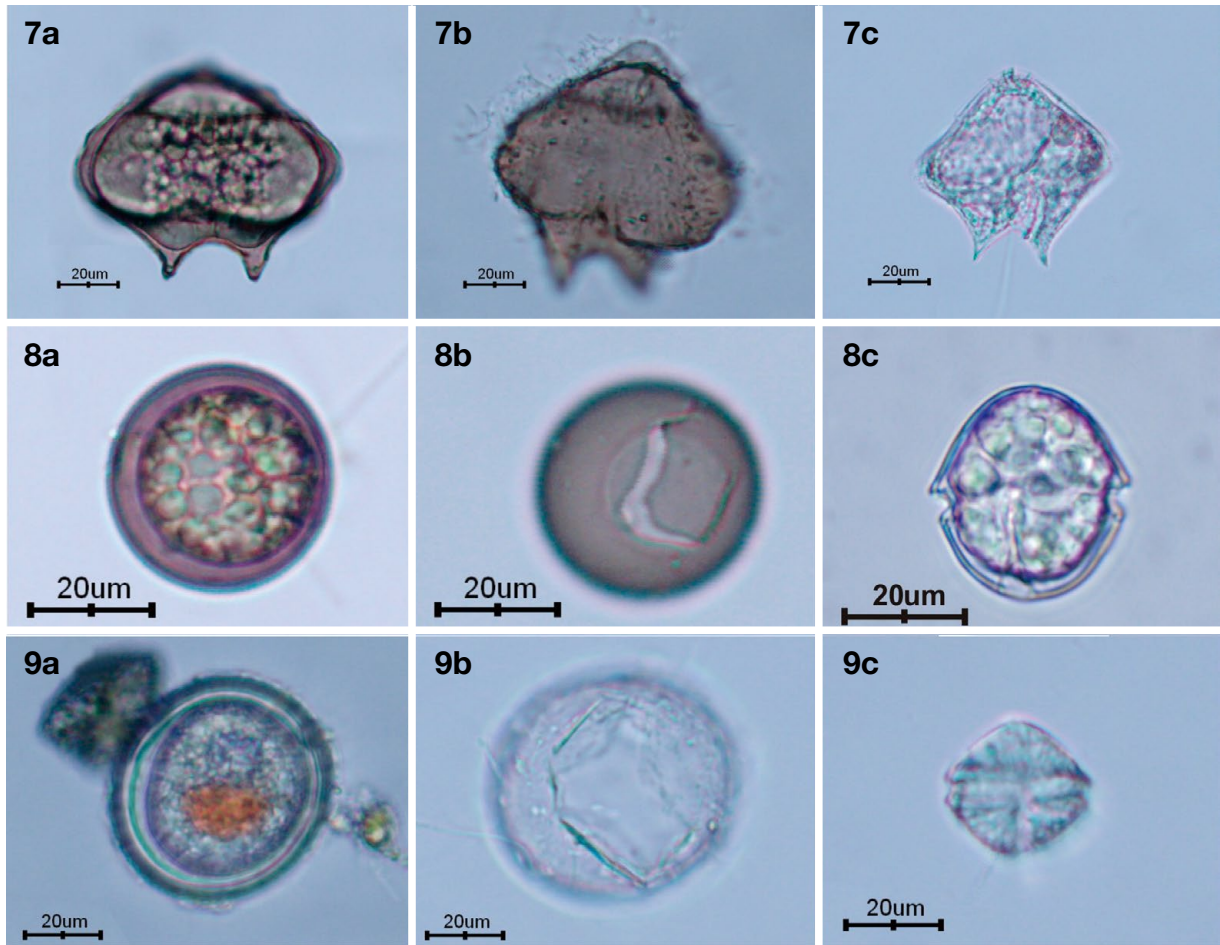


**Plate III.** The light microscope photographs (LMPs) of the living and empty dinoflagellate cysts and its vegetative cells by cyst germination. *Protoperidinium obtusum* (Photo 5) and *Protoperidinium ventricum* (Photo 6), (5a) living cyst, ventral view, (5b-c) empty cyst, antero-ventral view, (5d-f) motile cell germinated from cysts of these types, (5d) ventral view, (5e) ventral view, (5f) postero-ventral view, (6a) living cyst, (6b-c) empty cyst, the archeopyle is zigzag type, (6d-f) theca of germinated from cysts of these types, (6d) ventral view, (6e) antero-ventral view, (6f) apical view.

(Bradford) Matsuoka 1985)과 크기만 다를 뿐 매우 유사한 형태를 하고 있어 (Matsuoka 1985), 종종 *Pt. conicum*으로 잘못 동정되기도 하지만, *Pt. conicum*보다 다소 소형이면서 타원의 형태로 약한 갈색을 나타낸다.

이 종의 분포는 비교적 따뜻하고 고염이면서 낮은 영양

염 농도의 해역을 선호하며, 북대서양, 인도양 등 세계적으로 널리 분포하지만, 지금까지 시스트 *S. quanta* (Zonneveld *et al.* 2013) 및 *Multispinula quanta* Bradford 1975 (Bradford 1975, Fig. 2, No. 7)로 정리되어 있었으나 이 종에 대한 구체적인 출현 등의 정보는 잘 알려져 있지 않다 (Mudie *et al.*



**Plate IV.** The light microscope photographs (LMPs) of the living and empty dinoflagellate cysts and its vegetative cells by cyst germination. *Protoperidinium* sp.1 (Photo 7), *Protoperidinium* sp.2 (Photo 8) and unidentified species (Photo 9). (7a) living cyst, ventral view, (7b) empty cyst, ventral view, (7c) motile cell germinated from cysts of these types, ventral view, (8a) living cyst, (8b) empty cyst, (8c) motile cell germinated from cysts of these types, ventral view, (9a) living cyst, (9b) empty cyst, (9c) motile cell germinated from cysts of these types.

2017). 국내는 아직 유영세포로도 출현 기록이 없다(Lee and Kim 2015).

#### 5. Cyst of *Protoperidinium obtusum* (Karsten) Parke et Dodge 1976 (Plate III. 5a-f)

Sonneman and Hill 1997; Figs. 27-32

시스트 크기는 폭과 길이가 거의 비슷하며 약 80~90 µm를 나타내었다. 표면은 상어가죽과 같은 느낌으로 오돌토돌하고, 위횡구가 발달되어 비교적 동정이 쉽다. 상각은 원뿔모양 또는 어깨모양의 형태를 나타내며, 하각은 두 개의 짧은 후각이 발달되어 있다. 발아에 의한 유영세포는 중형사이즈로 등배가 납작하고 5각형 또는 장방형 형태로 두 개의 짧은 후

각을 가지며, *Pt. leonis* (*Quinquecupsis concretum* (Reid) Harland 1977)와 비슷하나 상각이 등근 형태를 한다. 1'가 ortho로 윗부분이 아랫부분보다 더 짧으며, 윗부분 오른쪽면이 왼쪽면보다 조금 더 길다. 시스트는 5각형의 형태로 갈색이다.

이 종의 시스트에 대한 보고는 매우 제한적이며 (Sonneman and Hill 1997; Aydin *et al.* 2015), 국내에서는 여수 및 제주 주변해역에서 유영세포로 출현한 것이 보고되었다(Lee and Kim 2015).

#### 6. Cyst of *Protoperidinium ventricum* (Abe) Balech 1974 (Plate III. 6a-f)

시스트 크기는 55~60 µm로, 갈색을 띤 원형으로 생시스트로 동정이 불가능하며, 발아공은 지금까지 알려져 있지

않다. 발아실험결과 발아공은 한쪽 면이 툭니모양의 형태를 나타내어, *Brigantedinium* 속의 시스트와 차이가 있다. Cyst of *Pt. sp. cf. ventricum*은 아직 기록된 적이 없는 종으로 이 논문에서 처음으로 기록한다. 시스트의 형태로 분류가 되지 않았기에 시스트를 발아시킨 유영세포의 관찰에서 세포 길이가 폭보다 크며, 상각은 삼각형에 가까운 모양을 하는 것에 반해, 하각은 거의 둥그런 모습을 하고 있어, 위에서 보면 거의 원형이다. 횡구는 거의 세포 중앙에 위치하고 있으며, 1'는 S자 모양을 나타내며 전삽간판은 2a를 가진다는 형태적 특징에서 *Pt. ventricum*으로 동정하였다(Abe 1927). 특히 *Pt. ventricum*은 발아 이후의 공시스트의 발아공은 툭니 모양의 독특한 형태를 나타내었다.

국내에서는 아직 유영세포인 *Pt. ventricum* 세포도 출현 보고가 없다(Lee and Kim 2015).

#### 7. Cyst of *Protoperidinium* sp.1 (Plate IV. 7a-c)

시스트 크기는 폭이 약 80~90  $\mu\text{m}$ , 길이가 약 70~80  $\mu\text{m}$ 를 나타내 폭이 길이보다 약간 큰 형태를 나타낸다. 이 종은 *Pt. obtusum* 시스트와 전체적인 형태가 유사하여 동일한 종으로 많이 동정되고 있는 종이다. 발아된 유영세포는 *Pt. obtusum*과 전혀 다른 형태를 나타내었다. Plate 배열구조 및 유전자 해석을 통한 정확한 종 분류가 필요한 것으로 판단되었다.

그리고 일반적으로 *Protoperidinium leonis*로 알려진 시스트인 *Quinquecusphix concretum* (Wall and Dale 1968; Sonneman and Hill 1997)을 발아시키면, 이 시스트에서 *Pt. leonis* 유영세포는 물론 cyst of *Protoperidinium* sp.1으로 동정되는 유영세포가 관찰되었다.

#### 8. Cyst of *Protoperidinium* sp.2 (Plate IV. 8a-c)

시스트는 갈색을 띠는 원형으로 크기는 30~40  $\mu\text{m}$  정도로 비교적 소형에 속한다. 발아공은 6개의 면을 가진 hexagonal 형태의 발아공을 가진다. 발아된 유영세포는 계란형의 타원형을 나타내며 크기는 폭이 약 30~35  $\mu\text{m}$ , 길이가 약 35~40  $\mu\text{m}$ 로 폭보다 길이가 약간 길다. 횡구는 깊게 파여져 있으며, 단차가 약 0.5~1X 정도 차이가 난다. 종구는 횡구보다 폭이 좁으며, 하단으로 갈수록 폭이 감소한다.

#### 9. Unidentified Peridinales cyst (Plate IV. 9a-c)

밝은 색을 띠는 원형으로서 시스트 크기는 50~60  $\mu\text{m}$ 이다. 발아공은 두 개의 직사각형 모양이 비스듬하게 연결되어

있는 것처럼 보인다. 발아결과 유영세포는 거의 마름모 모양으로 크기는 20  $\mu\text{m}$  전후로 시스트보다 작았고 횡구와 종구가 발달되어 있다. 그러나 정확한 종 동정은 이루어지지 않았다.

## 적 요

남해 중앙부의 가막만 입구해역에 설치된 sediment trap의 와편모조 시스트 및 시스트에서 발아된 유영세포에서 국내 미기록 와편모조 시스트 9종을 관찰하였기에 형태적 특징을 고찰하였다. 미기록 와편모조 시스트는 모두 종속영양종으로 와편모조문(Dinophyta), 와편모조강(Dinophyceae), 페리디니움목(Peridinales)에 속하였다. 미기록 종은 *Brigantedinium majusculum* (*Protoperidinium sinuosum*), cyst of *Diplopsalis lebourae*, cyst of *Protoperidinium excentricum*, cyst of *Pt. sp. cf. nudum*, cyst of *Pt. obtusum*, cyst of *Pt. ventricum*, cyst of *Protoperidinium* sp.1, cyst of *Protoperidinium* sp.2 및 미동정된 cyst of Peridinales 등이었다.

## REFERENCES

- Abe TH. 1927. Report of the biological survey of Mutsu Bay. 3. Notes on the protozoan fauna of Mutsu Bay. I. Peridinales. Sci. Rep. Tohoku Imp. Univ. Ser. 4. 2:383-438.
- Aydin H, EE Yürür, S Uzar and F Küçüksezgin. 2015. Modern dinoflagellate cyst assemblages of Aliğa and Nemrut bay: Influence of industrial pollution. Turkish J. Fish. Aqua. Sci. 15:543-554.
- Bonnet S, A de Vernal, R Gersonde and L Lembke-Jene. 2012. Modern distribution of dinocysts from the North Pacific Ocean (37-64°N, 144°E-148°W) in relation to hydrographic conditions, sea-ice and productivity. Mar. Micropaleontol. 84:87-113.
- Bradford MR. 1975. New dinoflagellate cyst genera from the recent sediments of the Persian Gulf. Can. J. Bot. 53:3067-3074.
- Dale B. 1983. Dinoflagellate resting cysts: benthic plankton. pp. 69-136. In Survival strategies of the Algae (Fryxell GA ed.). Cambridge Univ. Press, Oxford.
- Gómez F. 2005. A list of free-living dinoflagellate species in the world's oceans. Acta Bot. Croat. 64:129-212.
- Gómez F. 2012. A checklist and classification of living dinoflagellates (Dinoflagellata, Alveolata). Cicimar Océanides 27: 65-140.
- Head MJ. 1996. Modern dinoflagellate cysts and their biologi-

- cal affinities. pp. 1197–1248. In *Palynology Principles and Applications*, Vol. 3, chapter 30 (Janosnius J, DC McGregor eds.). AASP, Texas.
- Hoppenrath M, M Elbrachter and G Drebes. 2009. Marine phytoplankton. selected microphytoplankton species from the North Sea around Helgoland and Sylt. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele u. Obermiller). Stuttgart, p. 114.
- Kim HG, JS Park and SG Lee. 1990. Coastal algal blooms caused by the cyst-forming dinoflagellates. *J. Korean Fish. Soc.* 23:468–474.
- Lee JB and HS Kim. 2015. National List of Species of Korea 「Flagellates」. *Nat'l Inst. Biol. Res.* p. 194.
- Lee JB and KI Yoo. 1991. Distribution of dinoflagellate cysts in Masan Bay, Korea. *J. Oceanogr. Soc. Korea* 26:304–312.
- Lewis J, JD Dodge and P Tett. 1984. Cyst-theca relationships in some *Protoperidinium* species (Peridinales) from Scottish sea lochs. *J. Micropalaeontol.* 3:25–34.
- Li Z, K Matsuoka, HH Shin, S Kobayashi, K Shin, TH Lee and MS Han. 2015. *Brigantedinium majusculum* is the cyst of *Protoperidinium sinuosum* (Protoperidiniaceae, Dinophyceae). *Phycologia* 54:517–529.
- Liu T, KN Mertens, S Ribeiro, M Ellegaard, K Matsuoka and H Gu. 2015. Cyst-theca relationships and phylogenetic positions of Peridinales (Dinophyceae) with two anterior intercalary plates, with description of *Archaeperidinium bailongense* sp. nov. and *Protoperidinium fuzhouense* sp. nov. *Phycol. Res.* 63:134–151.
- Matsuoka K. 1985. Organic-walled dinoflagellate cysts from surface sediments of Nagasaki Bay and Senzaki Bay, West Japan. *Bull. Fac. Liberal. Arts, Nagasaki Univ., Nat. Sci.* 25:21–115.
- Matsuoka K. 1988. Cyst-theca relationships in the diplopsalid group (Peridinales, Dinophyceae). *Rev. Palaeobot. Palynol.* 56:95–122.
- Matsuoka K and Y Fukuyo. 1995. Taxonomy of cysts. pp. 381–401. In *Manual on Harmful Marine Microalgae* (Hallegraeff GM, DM Anderson and AD Cembella eds.). IOC Manual and Guides No. 33, IOC of UNESCO, Paris.
- Matsuoka K and Y Fukuyo. 2000. Technical Guide for Modern Dinoflagellate Cyst Study. WESTPAC-HAB/WESTPAC/IOC. p. 43.
- Mudie PJ, F Marret, KN Mertens, L Shumilovskikh and SAG Leroy. 2017. Atlas of modern dinoflagellate cyst distributions in the Black Sea Corridor: from Aegean to Aral Seas, including Marmara, Black, Azov and Caspian Seas. *Mar. Micropaleontol.* 134:1–152.
- Park B, Y Kim and YH Yoon. 2016. Distribution of dinoflagellate cysts in surface sediments of the coastal areas around Jeju Island, Korea. *J. Korean Soc. Mar. Environ. Energy* 19:310–321.
- Park JS and YH Yoon. 2017. The relationship between germination of dinoflagellate cysts and vegetative cells in Gamak bay. *Korean J. Environ. Biol.* 35:501–514.
- Price AM and V Pospelova. 2011. High-resolution sediment trap study of organic-walled dinoflagellate cyst production and biogenic silica flux in Saanich Inlet (BC, Canada). *Mar. Micropaleontol.* 80:18–43.
- Reid PC. 1977. Peridiniacean and glenodiniacean dinoflagellate cysts from the British Isles. *Nova Hedwigia* 29:429–463.
- Sonneman JA and DRA Hill. 1997. A taxonomic survey of cyst-producing dinoflagellates from recent sediments of Victorian coastal waters, Australia. *Bot. Mar.* 40:149–177.
- Taylor FJR. 1987. *The Biology of Dinoflagellates*. Blackwell Scientific Publications. London. p. 785.
- Uzar S, H Aydin and E Minareci. 2010. Dinoflagellate cyst assemblages in the surface sediments from Izmir bay, Aegean sea, eastern Mediterranean. *Sci. Res. Essays* 5:285–295.
- Wall D and B Dale. 1968. Modern dinoflagellate cysts and evolution of Peridinales. *Micropaleontol.* 14:265–304.
- Yoon YH. 2017. Marine bio-environmental characteristics with the distributions of dinoflagellate cyst assemblages in the Ulsan Coastal Waters (UCW). *Korean J. Environ. Biol.* 35:361–372.
- Yoon YH and HH Shin. 2013. Summary on the dinoflagellate cyst assemblages of modern sediments from Korean coastal waters and adjoining sea. *Korean J. Environ. Biol.* 31:243–274.
- Yoon YH and HH Shin. 2014. *Dinoflagellate Cysts*. Chonnam Nat'l Univ. Press, Gwangju. p. 306.
- Zonneveld KAF, M Marret, GJM Versteegh, K Bogus, S Bonnet, L Bouimetarhan, E Crouch, A de Vernal, R Elshanawany, L Edwards, O Esper, S Forke, K Grøsfjeld, M Henry, U Holzwarth, JF Kieft, SY Kim, S Ladouceur, D Ledu, L Chen, A Limoges, L Londeix, SH Lu, MS Mahmoud, G Marino, K Matsuoka, J Matthiessen, DC Mildenthal, P Mudie, HL Neil, V Pospelova, Y Qi, T Radi, T Richerol, A Rochon, F Sangiorgi, S Solignac, JL Turon, T Verleye, Y Wang, Z Wang and M Young. 2013. Atlas of modern dinoflagellate cyst distribution based on 2405 datapoints. *Rev. Palaeobot. Palynol.* 191:1–197.

Received: 5 March 2018

Revised: 12 March 2018

Revision accepted: 12 March 2018