

한반도 남부지역의 저수지에서 계절 변화에 따른 규조류 변화 기록

박영숙^{1*}, 이상헌^{2,3}, 김동욱^{2,4}, 이은미^{2,5}, 김용미^{2,3}, 전창표², 김진철², 최한우², 신문상¹

¹전북대학교 지구환경과학과

²한국지질자원연구원 국토지질연구본부

³과학기술연합대학원대학교 석유자원공학과

⁴부산대학교 지질환경과학과

⁵강원대학교 지질학과

Modern diatom seasonal variation records from the bottom sediments of reservoirs, southern area in Korean Peninsula

Young-Suk Bak^{1*}, Sangheon Yi^{2,3}, Dong Wook Kim^{2,4}, Eunmi Lee^{2,5}, Yongmi Kim^{2,3}, Chang Pyo Jun², Jin Cheul Kim², Han Woo Choi², Moon Sang Shin¹

¹Dept. of Earth and Environmental Sciences, Chonbuk National University

²Geology Division, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources

³Dept. of Petroleum Resources Technology, Korea University of Science and Technology

⁵Dept. of Earth and Environmental Sciences, Pusan National University

⁴Dept. of Geology, Kangwon National University

요 약 : 한반도 남부에 분포하는 저수지로부터 규조의 계절별 변화를 파악하기 위하여 마지저수지, 죽토저수지, 월정소류지(남동부), 화영과 화동저수지, 월용저수지(남중부), 원선2제, 장동제와 만년1제(남서부) 등 총 8 곳으로부터 계절별로 수거한 저수지 퇴적물 시료를 분석하였다. 규조를 분석한 결과, 남동부 지역에서는 우점종으로서 *Aulacoseira* spp., *Fragilaria crotonensis*, *Fragilaria tenera*, *Gomphonema gracile*, *G. parvulum*, *Gyrosigma attenuatum* 등이 산출되었다. 남중부 지역에서는 *Aulacoseira* spp., *Cymbella tumida*, *Cymbella turgidula*, *Diploneis finnica*, *Fragilaria crotonensis* 등이 우점으로 산출되었다. 남서부 지역에서는 *Aulacoseira* spp., *Fragilaria crotonensis*, *Gomphonema parvulum*, *Stenopterobia curvular*가 역시 우점으로 산출되었다. 산출된 대부분의 우점종들이 청정수역에서 서식하는 종(Saproxenous taxa)들로서 이들 저수지의 수질 환경은 오염되지 않은 수역으로 생각된다. 계절별로 규조의 생산성을 비교한 결과, 겨울철보다 여름철에 더욱 풍부하게 나타나는 것이 일반적이거나, 남동부의 저수지들에서는 2월보다 5월에 채취한 시료들에서 규조의 개체수 농도가 낮아지는 특징을 보인다.

주요어 : 저수지, 규조, 수질 환경, 개체수 농도

한반도 남부지역의 저수지에서 계절 변화에 따른 규조류 변화 기록

Abstract : We investigated the seasonal variation of diatoms from the modern bottom floor sediments of the reservoirs distributed in the southern part of the Korean Peninsula. The studied reservoirs include each three reservoirs from Southeastern part, Central Southern part and Southwestern part, respectively, to compare the dominant diatom assemblages that are ecologically controlled by local environments. In the Southeastern region, *Aulacoseira* spp., *Fragilaria crotonensis*, *Fragilaria tenera*, *Gomphonema gracile*, *G. parvulum* and *Gyrosigma attenuatum* were dominant species. *Aulacoseira* spp., *Cymbella tumida*, *Cymbella turgidula*, *Diploneis finnica* and *Fragilaria crotonensis* were dominant taxa in the Central Southern regions. In the southwestern region, *Aulacoseira* spp., *Fragilaria crotonensis*, *Gomphonema parvulum* and *Stenopterobia curvular* were predominated. Of which *Aulacoseira* spp. were predominant species at all reservoirs. In addition most of dominants are saproxenous taxa living in the clean water area, and the water quality of these reservoirs is considered to be less polluted water. As a result of seasonal comparison of diatom productivity, the first productivity is higher in summer than in winter. However, diatom valve abundance in the southeastern reservoirs was fewer from the samples collected at May than February.

Key words : Reservoir, Diatom, Water quality, Valve abundance

1. 서론

한국지질자원연구원에서는 홀로세 시기동안 기후변화에 따른 한반도 지표생태환경반응 및 적응 과정을 폭넓게 이해하고 복원하고자 남부지역(제주도~북위 35°30')을 대상으로 제4기 육성퇴적물과 현생 퇴적물을 연구하고 있다. 이 연구는 조사 지역 내에 분포하며 인위적 간섭 영향을 비교적 적게 받은 저수지를 대상으로 매월 저수지 퇴적물을 수거하여 분석하며 모니터링 중에 있다. 각 저수지 유역의 기반암 풍화와 식생의 잔류물로부터 생산되어 유입된 유·무기 퇴적물은 저수지의 수괴(water-mass) 특성에 영향을 주는 것으로 알려져 있다. 이러한 수괴 특성(온도, 영양염류, pH농도 등)은 수서생물군집 특성을 조절하는 인자가 된다.

규조는 담수 및 해수환경에서 1차 생산자로서 매우 풍부하며 전 세계 수생환경에서 약 20%를 차지한다(Armbrust, 2009). 규조는 규산질의 세포벽을 가져서 퇴적물에 보존이 잘될 뿐만 아니라 강과 하천에서 온도(Squires et al., 1979; Descy and Mouvet, 1984), 영양염류(Pringle and

Bowers, 1984; Pan et al., 1996)와 같은 물리적, 화학적, 생물학적 환경요인에 민감하게 반응하기 때문에 고육수학(paleolimnology)과 고기후(paleoclimate)복원에 매우 중요하게 이용된다(Cohen, 2003; Kashima, 2003; Freund et al., 2004; Kato et al., 2004; Yabe et al., 2004; Ojala et al., 2005; Vos and Gerrets, 2005, Gale, 2015).

또한, 규조는 군체를 이루거나 다른 식물 위나 암석위에 부착하여 서식하기도 하며, 모래 표면에 붙어살거나 부유성으로 사는 등 여러 형태의 생활 양식을 가지고 있고 산성화와 부영양화를 포함한 다양한 환경 조건을 견딜 수 있는 조건을 가지고 있다(Smol, 2001; Zalat and Vildary, 2005; Kupe et al., 2008; Reid and Ogden, 2009).

따라서 규조분석을 통하여 각 지역별 육상수생태에 관한 기초정보를 확보하는 것이 그 목적이다. 이와 함께 각 지역별 저수지에서 계절적인 규조의 변화 양상과 환경적인 의미를 해석하고자 한다.

박영숙, 이상헌, 김동욱, 이은미, 김용미, 전창표, 김진철, 최한우, 신문상

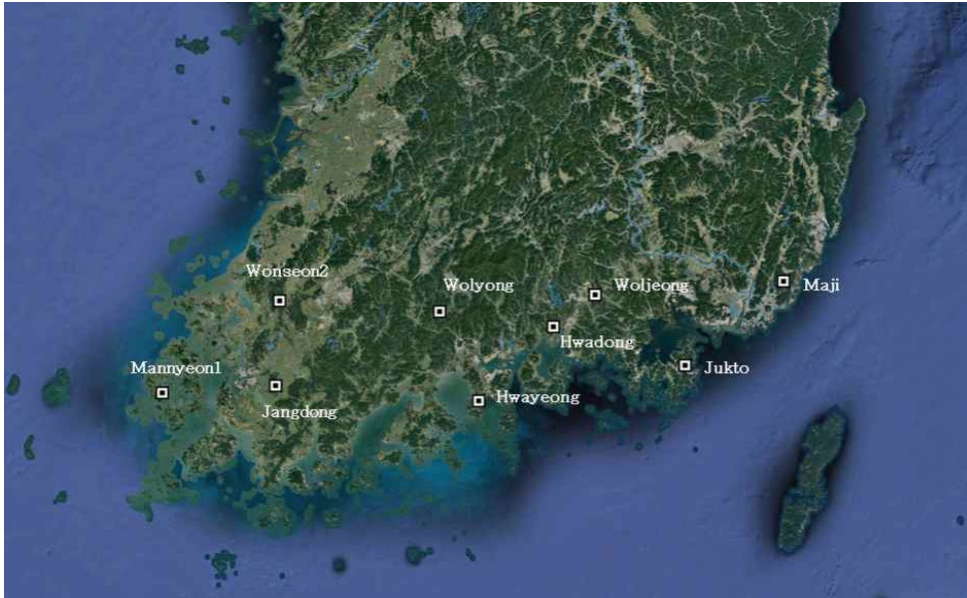


Fig. 1. Sample monitoring sites for seasonal variation of diatoms.

Table 1. Sampling location and sample number.

지역명	저수지명	위치	시료수
남동부 (Southeast)	마지(Maji)	129°10'18.63"E, 35°16'48.72"N	3
	죽토(Jukto)	128°40'18.70"E, 34°54'16.22"N	5
	월정(Woljeong)	128°11'51.90"E, 35°12'6.79"N	1
남중부 (Central South)	화영(Hwayeong)	127°36'57.80"E, 34°43'27.83"N	4
	화동(Hwadong)	127°59'13.63"E, 34°67'83.74"N	1
	월용(Wolyong)	127°23'53.13"E, 35°6'27.04"N	5
남서부 (Southwest)	원선2제(Wonseon2)	126°34'4.27"E, 35°7'36.31"N	5
	장동제(Jangdong)	126°34'2.57"E, 34°45'21.36"N	4
	만년1제(Mannyeon1)	125°58'52.00"E, 34°42'2.37"N	3

2.1. 시료 채취

한반도의 남부 지역에 위치한 저수지를 대상으로 2017.04.~2018.04. (12개월) 동안 동부, 중부 및 서부로 나누어서 총 31개의 시료를 채취하였다 (Table 1, and Fig. 1).

2.2. 규조 실험 방법

2.2.1. 화학처리

8지점의 저수지로부터 획득한 퇴적물에서 규조를 추출하기 위하여 다음과 같은 방법을 사용하였다. 시료 2 g에 묽은 염산 (10%) 20 mL와 과산화수소수 20 mL를 첨가한 후 hot plate위에서 3시간 이상 가열한다. 다시 묽은 염산과 과산화수소수 20 mL를 첨가하여 2시간 이상 끓여 준다. 이때 끓어 넘치는 것을 방지하기 위하여 끓는 도중에 증류수를 첨가한다. 반응이 모두 끝난 비이커는 24시간정도 놓아 둔 후 증류수를 부어 준다. 화학약품과 부유성 물질들을 제거하기 위해서 윗물을 따라내고 다시 증류수를 채운다. 이러한 세척과정을 여러번 반복하여 산이나 부유성 물질들을 모두 제거한다. 남은 잔유물을 60 mL 병에 담고, 그 중 부표본을 취하여 슬라이드글라스가 장치된 settling container에 넣고 저온의 건조기(약 50°C) 안에서 건조시킨 후 접착제를 이용하여 커버 글라스를 덮는다.

2.2.2. 현미경 관찰

규조를 관찰을 위해서 제작된 슬라이드를 Nikon E400 현미경을 이용하여 주로 400 ~ 1000 X의 광학 현미경하에서 관찰하였다. 규조각의 산정시 중심 규조목은 중심부를 포함한 규조각의 2/3 이상이 보존되어 있을 경우 1개체로, 우상 규조목은 규조각이 1/2이상 남아서 감정이 가능하

고 정축부가 나타나면 1개체로 산정하였다.

규조의 정량분석을 위한 박편(slide) 제작을 위해서 Scherer(1994)의 방법을 따랐으며, 절대 개체수 농도의 계산은 $Abundance = ((A \times B) / (C \times D)) / E$ (A= number of specimens counted; B= area of settling chamber; C= number of field of view in microscope; D= area of field of view; E= mass of sample)으로 하였다.

3. 결과 및 토의

3.1. 규조 군집 분석

3.1.1. 마지 저수지

행정구역상으로는 부산광역시 기장군 철마면 연구리 32에 위치하고 있는 저수지로서 2017년 12월과 2018년 2월, 5월에 시료를 채취하였다. 총 3개의 시료로부터 18속 32종의 규조가 감정되었다. 마지1712에서 가장 많이 산출된 종은 *Gomphonema* sp.과 *Gyrosigma attenuatum*으로 약 20%를 차지하나 산출이 매우 적은 시기로서 규조 개체수 농도는 매우 낮은 0.9×10^6 을 나타낸다(Fig. 2-1). 마지1802에서는 겨울을 지나 봄을 맞이하는 시기로 193.2×10^6 규조 개체수 농도로 폭발적인 증가를 보인다(Fig. 2-2). 마지1805에서는 오히려 규조 개체수가 17.8×10^6 농도로 적어지는 현상을 나타낸다. 마지1712, 1802와 1805는 계절이 겨울에서 초여름으로 변화하는 과정이며, 이에 따른 규조 종조성의 변화가 나타난다. 마지1712에서는 개체수가 매우 적기 때문에 산출 그래프에서 나타나는 종들의 특징을 논의하기 어려우나 마지1802에서는 *Fragilaria tenera* (92.4%)가 급증하는 것을 알 수 있다. 마지1805에서는 *Fragilaria tenera*(10.7%)의 산출이 감소하고 *Synedra ulna*(11.7%)의 산출이 상대적으로

풍부하며 *Gomphonema parvulum*(29.1%)의 산출이 증가하는 경향을 보여준다(Fig. 2-3). 도시폐수가 유출되는 강과 유기적으로 오염된 하천에서 풍부하게 나타나는(Kelly and Whitton, 1995)

*Gomphonema parvulum*가 증가하는 것으로 보아 오염물질의 유입이 있었음을 알 수 있다.

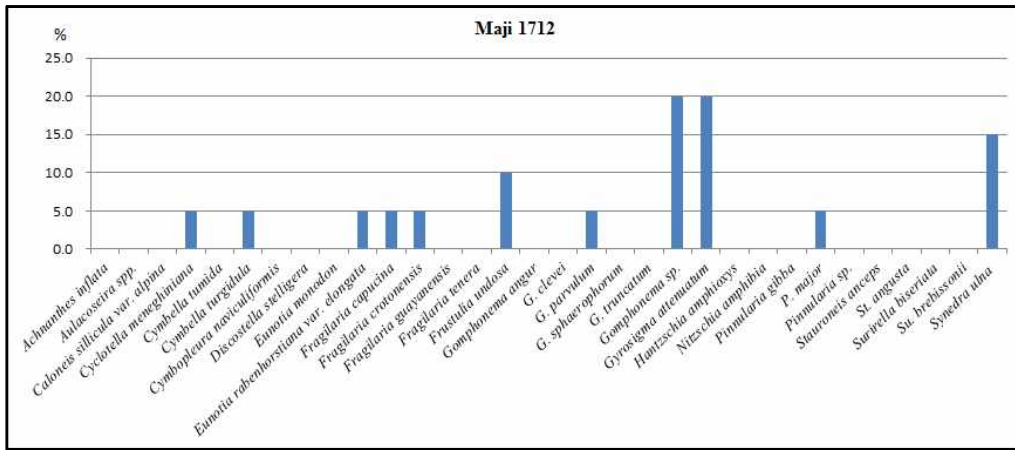


Fig. 2-1. Distribution of diatom species in the Maji1712.

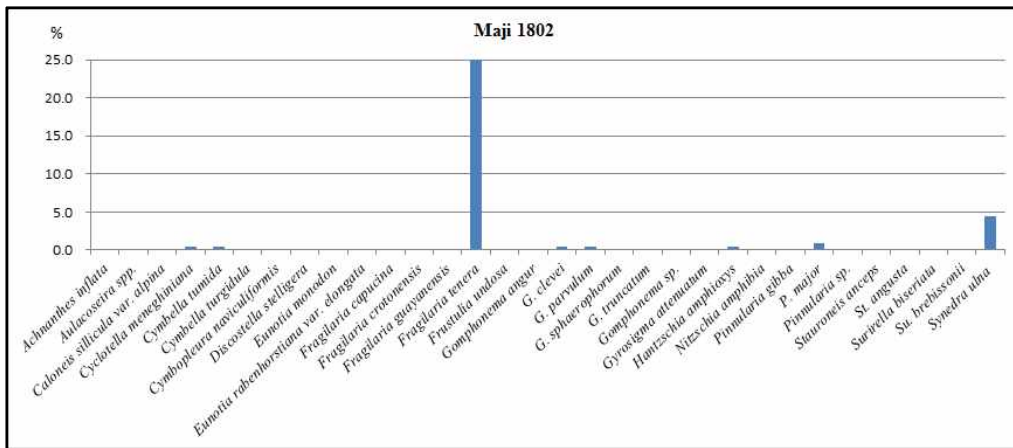


Fig. 2-2. Distribution of diatom species in the Maji1802.

한반도 남부지역의 저수지에서 계절 변화에 따른 규조류 변화 기록

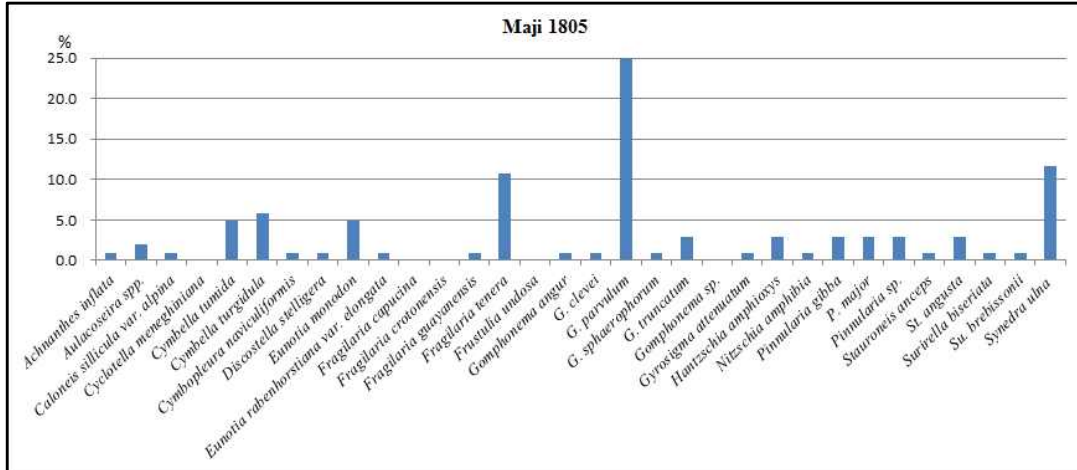


Fig. 2-3. Distribution of diatom species in the Maji1805.

3.1.2. 죽토 저수지

행정구역상으로는 경상남도 거제시 연초면 죽토리 119번지에 분포하는 저수지로서 2017년 7월, 10월, 12월과 2018년 2월, 5월에 시료를 채취하였다. 총 5개의 시료로부터 23속 38종의 규조가 감정되었으며, 규조 개체수 농도는 $5.9 \sim 24.2 \times 10^6$ 의 범위를 나타낸다. 겨울철에 채취한 시료인 죽토1712에서는 규조의 산출이 없었으며, 7월에 채취된 죽토1707의 시료에서 가장 많이 산출되었다. 죽토 1802시료에서 보다 초여름 시료인 죽토 1805에서 마지1805에서와 마찬가지로 규조 개체수 농도가 상대적으로 적게 나타난다. 죽토1707시기에 가장 다량 산출되는 것은 *Aulacoseira* spp. (35.6%)이며, *Synedra acus* (10.9%)를 제외한 나머지 종들의 산출은 10%를 넘지 못한다(Fig. 3-1). 죽토1710시기에는 *Aulacoseira* spp.

(41.6%)의 산출이 약간 증가하며 *Fragilaria crotonensis* (28.3%)의 산출이 급격히 증가한다(Fig. 3-2). 죽토1712의 시기에는 규조의 산출이 없으며(Fig. 3-3), 죽토1802의 시기에는 다시 *Aulacoseira* spp. (32.4%)의 산출이 풍부하게 나타나며 *Fragilaria crotonensis* (15.2%)와 더불어 *Discostella stelligera* (14.3%)의 산출이 풍부하다(Fig. 3-4). 초여름이 되면서 죽토1805에서는 *Fragilaria crotonensis* (61%)의 산출이 폭발적으로 증가하는 경향을 나타낸다(Fig. 3-5). *Aulacoseira* spp.과 *Fragilaria crotonensis*는 깨끗한(clean water)물에서 서식하는 것(Asai and Watanabe, 1995)으로서 죽토 저수지에서 계절에 상관없이 풍부하게 산출되는 것을 보아 오염되지 않은 환경임을 알 수 있다.

박영숙, 이상헌, 김동욱, 이은미, 김용미, 전창표, 김진철, 최한우, 신문상

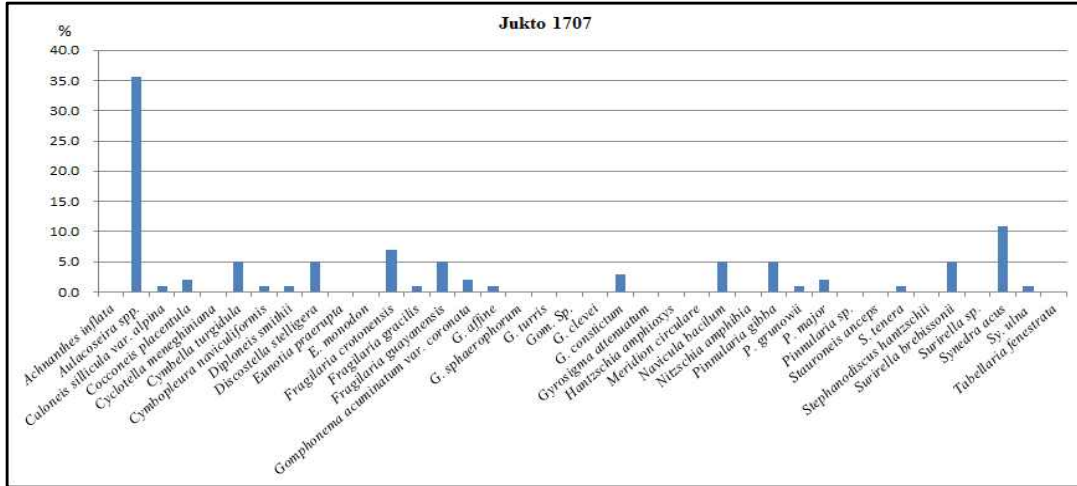


Fig. 3-1. Distribution of diatom species in the Jukto1707.

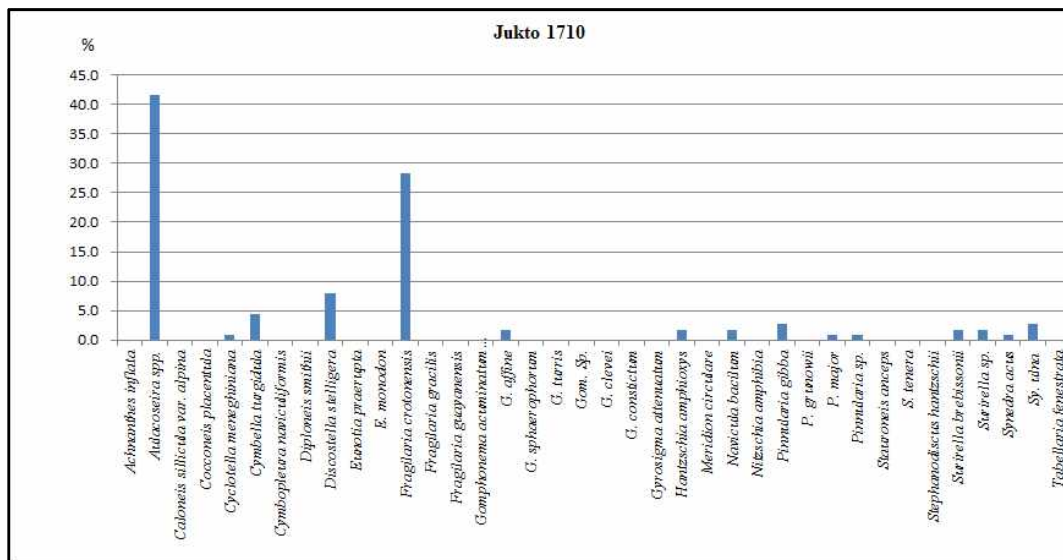


Fig. 3-2. Distribution of diatom species in the Jukto1710.

한반도 남부지역의 저수지에서 계절 변화에 따른 규조류 변화 기록

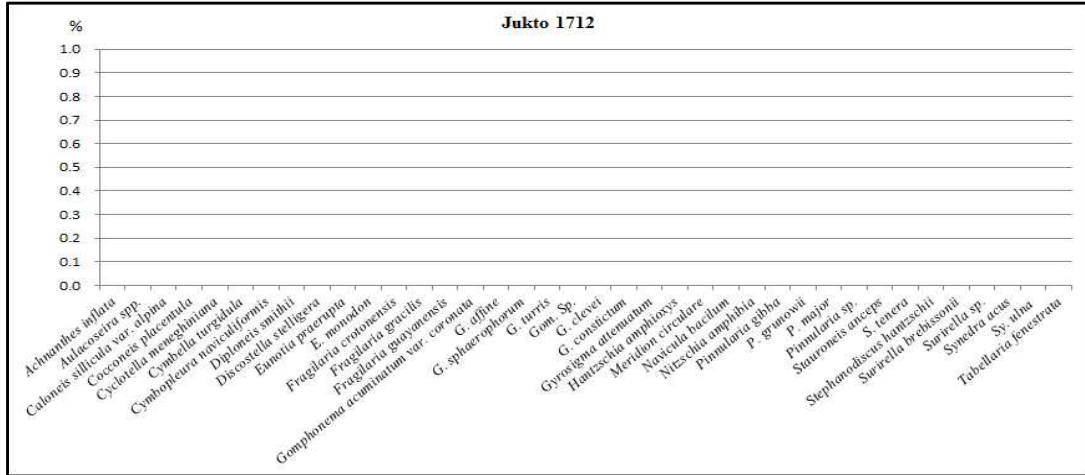


Fig. 3-3. Distribution of diatom species in the Jukto1712.

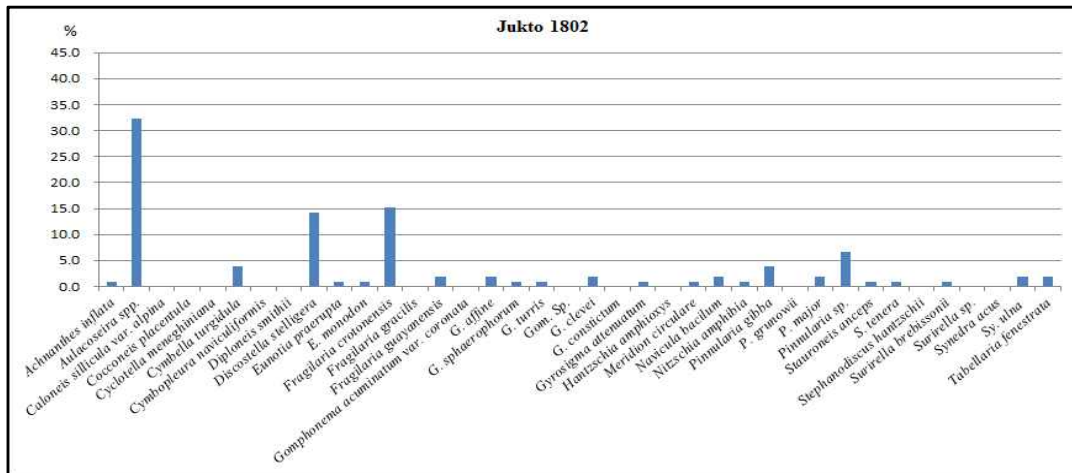


Fig. 3-4. Distribution of diatom species in the Jukto1802.

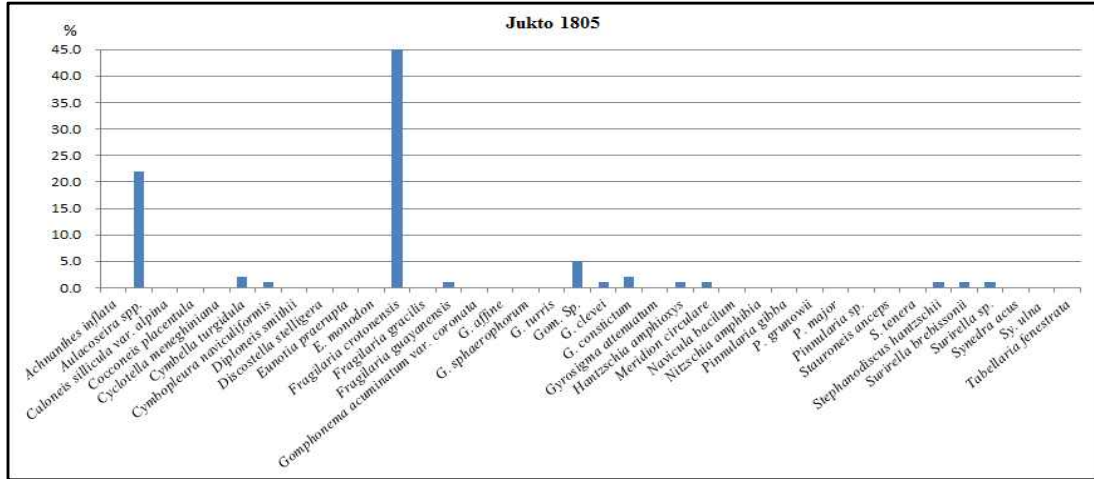


Fig. 3-5. Distribution of diatom species in the Jukto1805.

3.1.3. 월정 소류지

행정구역상으로는 경상남도 진주시 진성면 동산리 1190에 분포하는 저수지로서 2018년 2월에 시료를 채취하였다. 총 1개의 시료로부터 10속 15종의 규조가 감정되었으며, 규조 개체수 농도는 96.6×10^6 을 나타낸다. 월정1802시기의 시료만을 가지고 종조성의 변화를 알 수 없으나 *Gomphonema gracile* (36.6%)의 산출이 가장 우세하며, *Cymbella turgidula* (18.8%), *C.*

tumida (8.9%), *Fragilaria capucina* (8.9%), *G. parvulum* (8%)의 산출이 상대적으로 풍부하다 (Fig. 4-1). 많이 산출되는 이들 종 그룹은 saproxenous (= clean water) taxa에 속하며 (Asai and Watanabe, 1995), *Gomphonema gracile* (36.6%)는 acid substrate, soft water, pH가 중성인 환경에서 풍부하게 산출(Negro et al., 2003)된다. 또한, 중영양화와 유기 오탁도가 낮은 수역에서 주로 풍부하기 때문에(Van Dam et al., 1994) 월정 소류지는 이와 같은 환경을 지시한다.

한반도 남부지역의 저수지에서 계절 변화에 따른 규조류 변화 기록

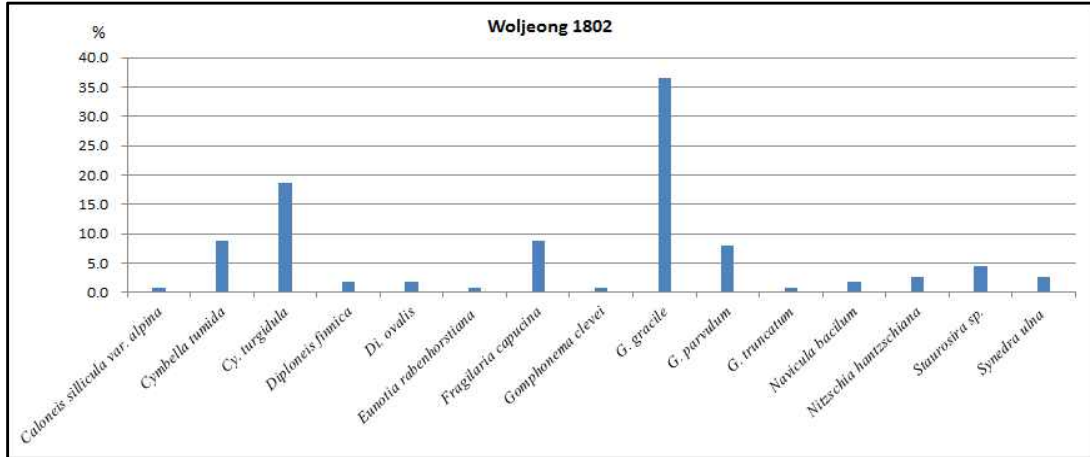


Fig. 4-1. Distribution of diatom species in the Woljeong1802.

3.1.4. 화영 저수지, 화동 저수지

행정구역상으로는 화영저수지는 전라남도 여수시 화양면 용주리 1604번지에 분포하는 저수지로서 2017년 10월, 12월, 2월에 시료를 채취하였다. 화영 저수지 근처 개발로 인하여 화동저수지(전라남도 여수시 화양면 화동리 1897번지)로 옮겨 2018년 5월에 시료를 채취하였다. 화영저수지 4개 시료와 화동 저수지 1개 시료로부터 21속 45종, 12속 17종의 규조가 감정되었으며, 화영저수지의 규조 개체수 농도는 $4.2 \sim 32.3 \times 10^6$ 의 범위를 나타내고 화동저수지의 규조 개체수 농도는 88.8×10^6 로 나타났다. 화영1707시기에는 *Stenopterobia curvula* (18.9%)가 가장 풍부하게 산출되며, *Discostella stelligea* (12.3%), *Cymbella tumida* (9.4%), *Diploneis ovalis* (9.4%)와 *Surirella brebissonii* (8.5%)가 풍부하게 산출된다(Fig. 5-1). 화영1710의 시기에는 *Aulacoseira* spp. (14.3%)의 산출이 가장 풍부하며 *Cymbella tumida* (9.5%), *Discostella stelligea* (9.5%), *Stenopterobia curvula*

(9.5%), *Diploneis ovalis* (8.6%)등이 상대적으로 풍부하게 나타난다(Fig. 5-2). 화영1712는 개체수 농도가 가장 적게 나타나는 시기이며 *Gomphonema parvulum* (22.9%)이 가장 풍부하게 산출된다. 뒤를 이어 *G. clevei* (14.3%), *Cymbella tumida* (11.4%)와 *Nitzschia capitellata* (11.4%)의 산출량이 많다(Fig. 5-3). 화영1802의 시기에는 이전에 나타나지 않았던 *Fragilaria crotonensis* (12.4%)의 산출이 급증하고 *Gomphonema parvulum* (22.9%)의 산출이 화영1712보다 줄어드는 경향을 보인다. *Discostella stelligea* (12.3%)와 *G. clevei* (7.6%)가 상대적으로 풍부하게 산출된다(Fig. 5-4). 화동 1805시기에는 *Aulacoseira* spp. (27.5%)의 산출이 다시 증가하며 *Fragilaria tenera* (22.5%)와 *F. crotonensis* (12.7%)가 풍부하게 나타난다(Fig. 5-5). 화영1707시기에 *Stenopterobia curvula* (18.9%)가 풍부하게 산출된 것은 일시적으로 acid environments (Sabater & Roca, 1992)으로 변한 것으로 생각되며, 1712시기에는 오염된 환경을 지시하는 *Gomphonema parvulum*가 다량 산출되는 것으로 보아 겨울철

에 유량이 줄어들면서 높은 영양염과 일시적으로 으로 생각된다.
 증가한 탁도로 인해 수질이 악화되었기 때문인 것

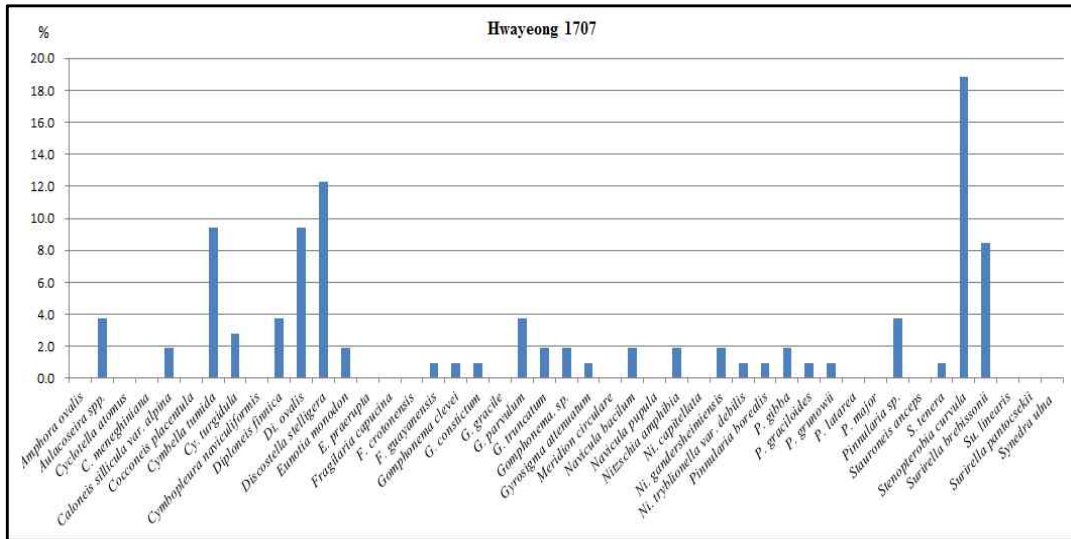


Fig. 5-1. Distribution of diatom species in the Hwayeong1707.

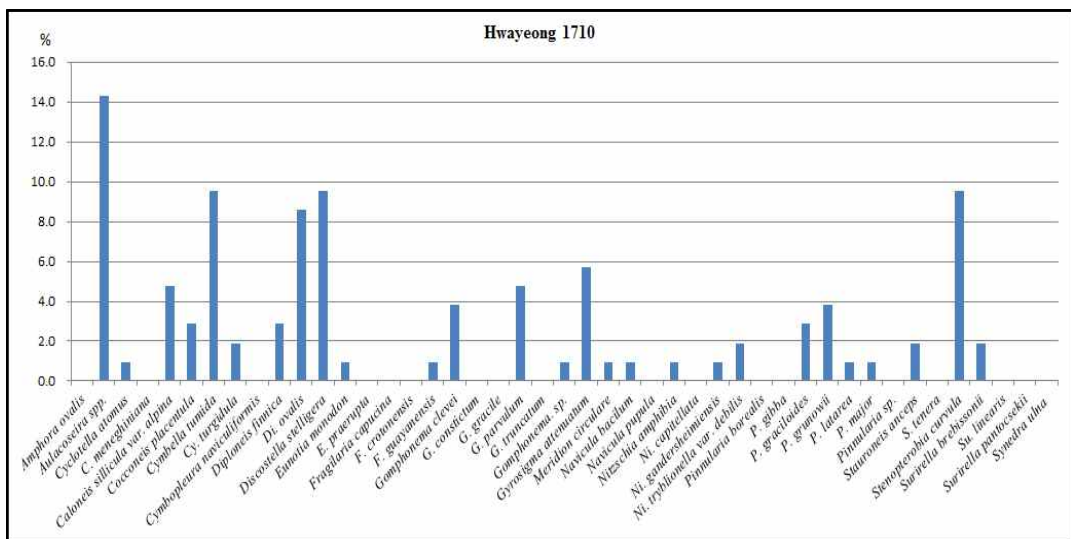


Fig. 5-2. Distribution of diatom species in the Hwayeong1710.

한반도 남부지역의 저수지에서 계절 변화에 따른 규조류 변화 기록

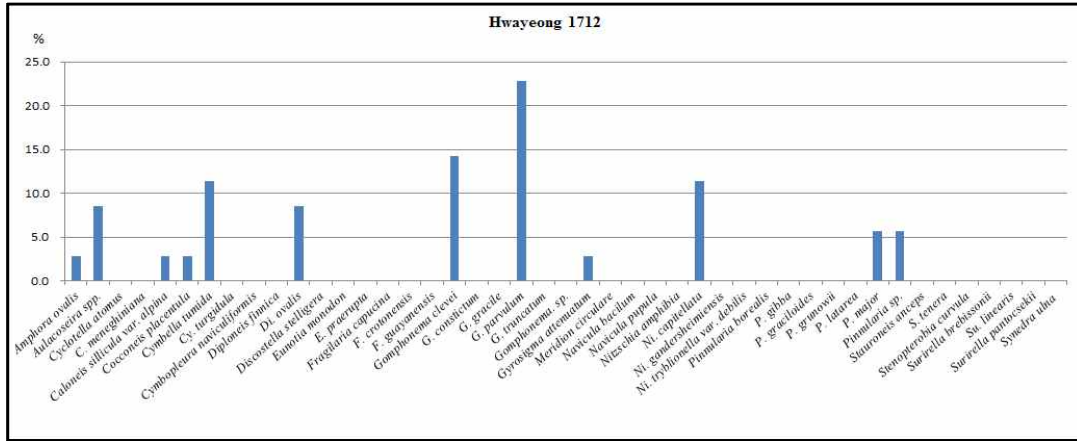


Fig. 5-3. Distribution of diatom species in the Hwayeong1712.

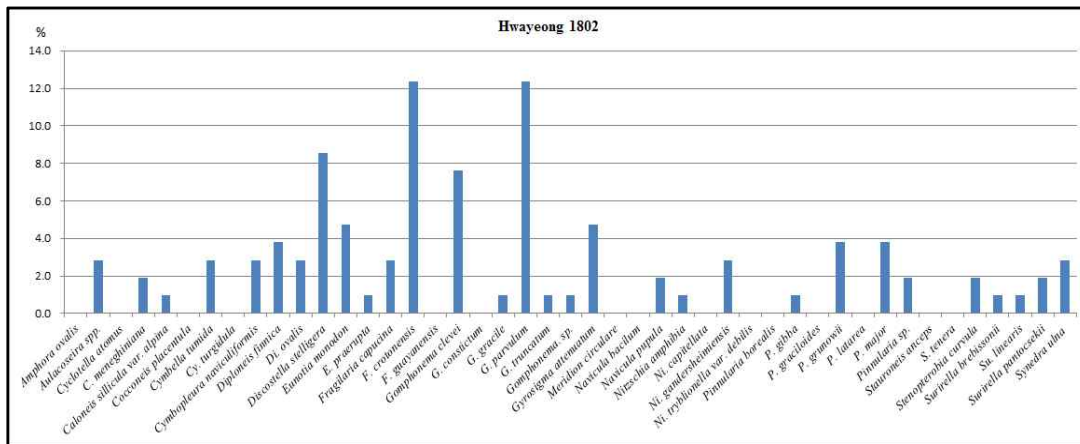


Fig. 5-4. Distribution of diatom species in the Hwayeong1802.

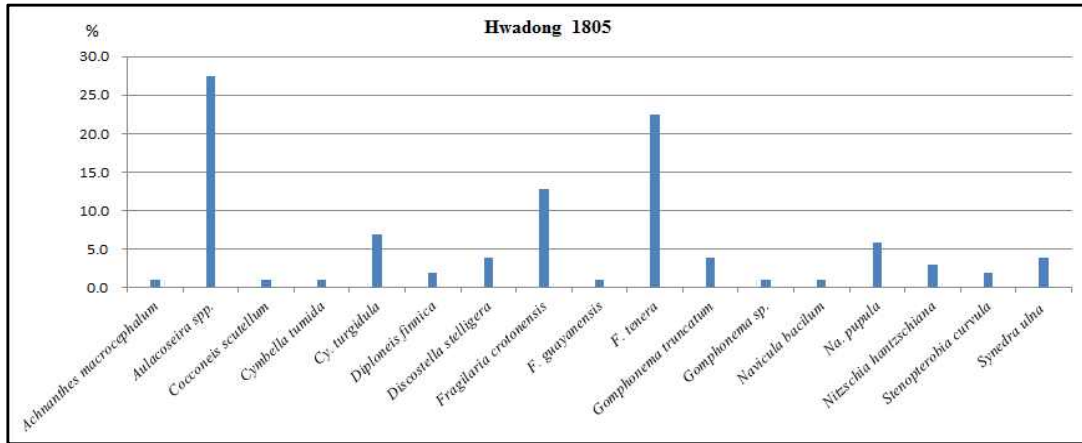


Fig. 5-5. Distribution of diatom species in the Hwadong1805.

3.1.5. 월용 저수지

행정구역상으로는 전라남도 순천시 월등면 월용리 89번지에 분포하고 있는 저수지로서 2017년 7월, 10월 12월과 2018년 2월, 5월에 시료를 채취하였다. 월용저수지 5개 시료로부터 23속 60종의 규조가 감정되었으며, 규조 개체수 농도는 $28.2 \sim 37.7 \times 10^6$ 의 범위로 나타난다. 월용1707시기에는 *Aulacoseira* spp. (35.7%)의 산출이 가장 풍부하며 다른 저수지들에 비해서 종의 다양성은 많으나 종의 개체수가 매우 빈약하다. 그 중 *Cocconeis placentula* (8%), *Discostella stelligera* (6.3%), *Na. pupula* var. *rectangularis* (5.4%), *Gomphonema acuminatum* var. *coronata* (4.5%)가 상대적으로 많이 산출되었다(Fig. 6-1). *Gomphonema acuminatum* var. *coronata*는 pH가 중성인 수역에서 빈염성의 빈영양호나 중영양호에 주로 서식하며 호알칼리성 종이다(Van Dam et al., 1994). 월용1710시기에도 1707과 마찬가지로 *Aulacoseira* spp. (35.2%)의 산출이 가장 풍부하

며 뒤를 이어 *Discostella stelligera* (9.5%)가 산출되었다(Fig. 6-2). 월용1712의 시기는 개체수 농도가 약간 감소하는 경향을 보이며 *Aulacoseira* spp. (38.7%)의 산출이 계속적으로 풍부하게 나타난다. *Caloneis sillicula* var. *alpina* (8.1%), *Synedra acus* (5.4%), *Tabellaria fenestrata* (5.4%)와 *Navicula bacillum* (4.5%)의 산출이 상대적으로 증가하는 시기이다(Fig. 6-3). 월용1802시기에는 *Aulacoseira* spp. (43%)가 더욱 풍부하게 산출되며 *Cocconeis placentula* (7%), *Tabellaria fenestrata* (5.3%)와 *Navicula arenariaeformis* (4.4%)가 상대적으로 풍부하다(Fig. 6-4). 월용1805에서는 *Aulacoseira* spp. (25%)의 산출이 약간 줄어들면서 *Cymboplectra naviculiformis* (8%), *Tabellaria fenestrata* (7.1%), *Synedra acus* (7.1%), *Fragilaria crotonensis* (6.3%), *Sy. ulna* (5.4%), *Gomphonema constictum* (4.5%)등의 산출이 증가하였다(Fig. 6-5). 월용저수지는 전체적으로 *Aulacoseira* spp.의 산출이 매우 풍부한 것으로 보아 eutrophic (high

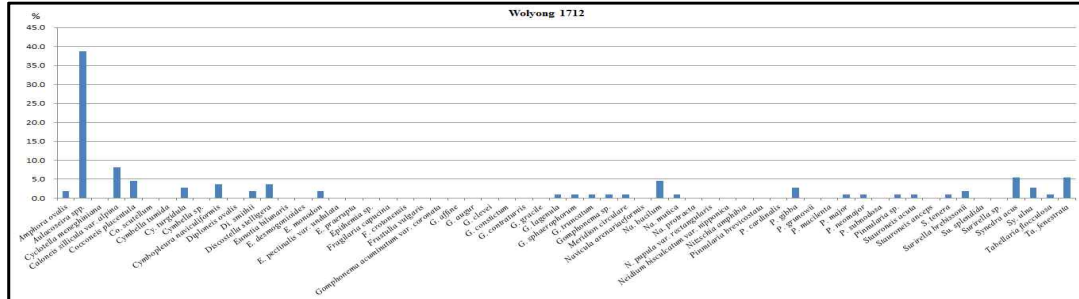


Fig. 6-3. Distribution of diatom species in the Wolyong1712.

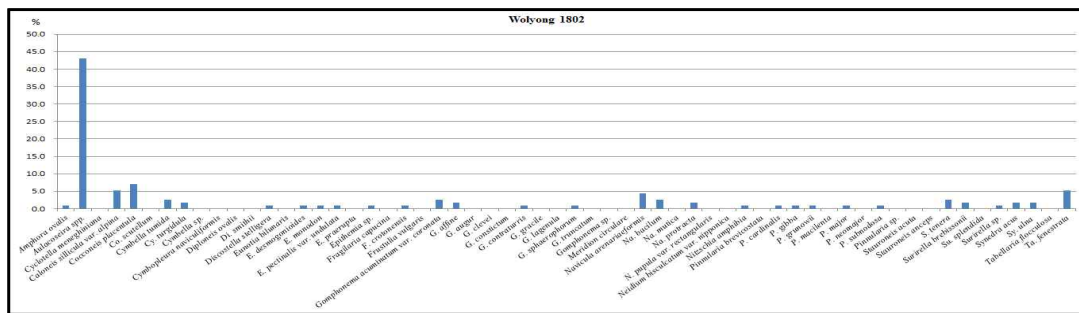


Fig. 6-4. Distribution of diatom species in the Wolyong1802.

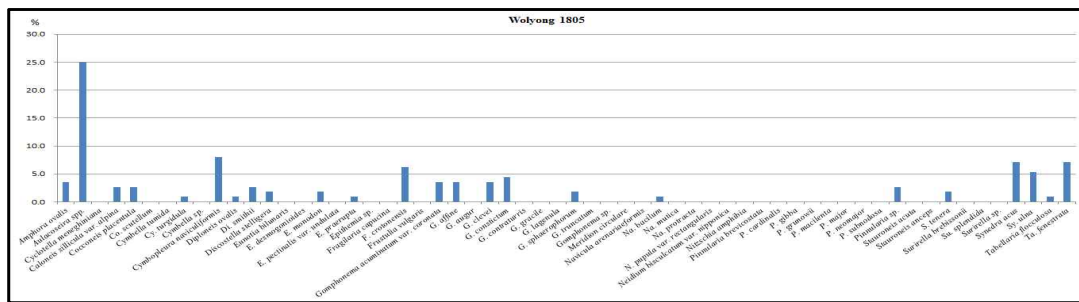


Fig. 6-5. Distribution of diatom species in the Wolyong1805.

3.1.6. 원선2제 저수지

행정구역상으로는 전라남도 함평군 나산면 원선리 650-1번지에 분포하고 있는 저수지로서 2017년 7월, 10월 12월과 2018년 2월, 5월에 시료를 채취하였다. 원선2제 저수지 5개 시료로부터 22속 46종의 규조가 감정되었으며, 규조 개체수 농도는 $10.2 \sim 130.5 \times 10^6$ 의 범위로 나타난다. 원선2제 1710의 시기에 가장 규조 개체수 농도가 높으며 1712시기에 가장 낮게 나타난다. 원선2제 1707시기에는 *Cymbella tumida*(17.7%)의 산출이 가장 풍부하며 *Diploneis finnica*(16.9%), *G. parvulum*(11.5%), *Aulacoseira* spp.(12.3%)와 *Cy. turgidula*(10.8%)의 순으로 풍부하다(Fig. 7-1). 원선2제 1710시기에는 *Diploneis finnica*(47.9%)가 상대적으로 급증하며 *Aulacoseira* spp.(19%)의 산출도 약간 증가한다(Fig. 7-2). 원선2제 1712의 시기는 개체수 농도가 급감하는 시기로서 *Aulacoseira* spp.(15.1%)가 가장 풍부하게 나타나며, *Cy. turgidula*(12.3%), *G. parvulum*(11.3%), *Diploneis ovalis*(9.4%)이

상대적으로 풍부하다. 특히, *Diploneis finnica*(6.6%)의 경우 원선2제 1710의 시기보다 큰 폭으로 감소하였다(Fig. 7-3). 원선2제 1802의 시기에는 *Aulacoseira* spp.(38.7%)의 산출이 다른 시기보다 급격하게 증가하였으며 다른 시기에는 개체수가 매우 적었던 *Navicula bacillum*(8.5%)도 증가하였다(Fig. 7-4). 원선2제 1805에서는 *Aulacoseira* spp.의 산출이 거의 없으며 *Cy. turgidula*(26.9%)와 *Diploneis ovalis*(18.5%)가 원선2제 1802에 비해서 매우 풍부하게 산출된다. 또한, *Meridion circulare*(4.6%)의 산출이 상대적으로 두드러진다(Fig. 7-5). 원선2제 저수지에서 산출된 종들의 그룹이 *Aulacoseira* spp., *Cy. turgidula*, *Diploneis finnica*가 풍부히 산출되며, 이들은 *Saproxenous taxa* 들로서 깨끗한 수질환경을 의미한다. 특히 *Meridion circulare*는 청정한 유수역을 선호하기(Patrick and Reimer, 1966) 때문에 다른 지역에서는 두드러지지 않았던 이 종의 산출이 원선2제 저수지는 청정 수역임을 의미해 준다.

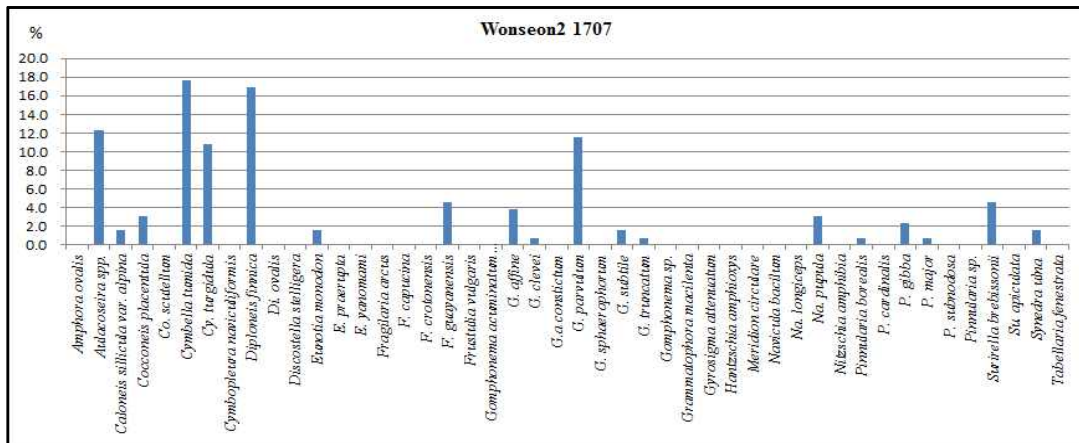


Fig. 7-1. Distribution of diatom species in the Wonseon1707.

박영숙, 이상헌, 김동욱, 이은미, 김용미, 전창표, 김진철, 최한우, 신문상

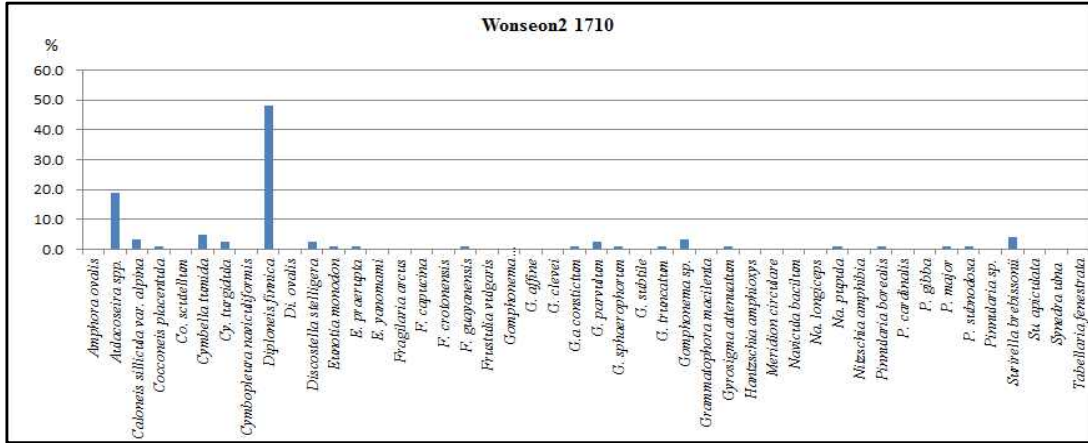


Fig. 7-2. Distribution of diatom species in the Wonseon1710.

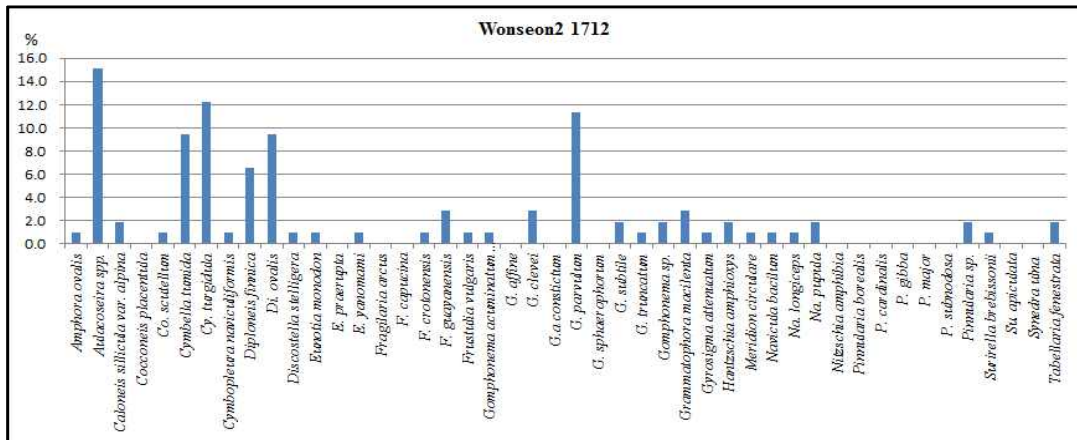


Fig. 7-3. Distribution of diatom species in the Wonseon1712.

한반도 남부지역의 저수지에서 계절 변화에 따른 규조류 변화 기록

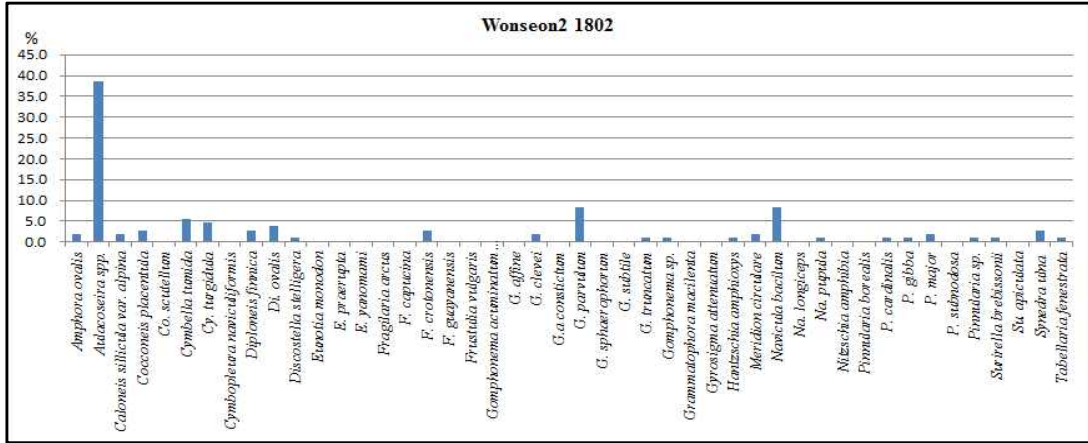


Fig. 7-4. Distribution of diatom species in the Wonseon1802.

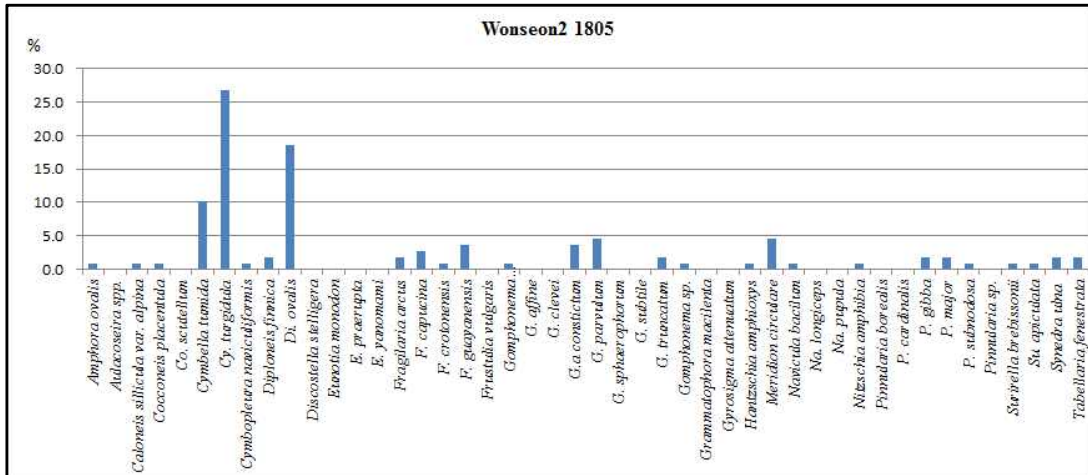


Fig. 7-5. Distribution of diatom species in the Wonseon1805.

3.1.7. 장동제 저수지

행정구역상으로는 전라남도 영암군 서호면 장천

리 740-1번지에 분포하고 있는 저수지로서 2017년 7월, 12월과 2018년 2월, 5월에 시료를 채취하였다. 장동제 저수지 4개 시료로부터 17속 31종

의 규조가 감정되었으며, 규조 개체수 농도는 106.4~ 467.9× 10⁶의 범위로 8곳의 저수지 중에서 가장 높은 산출율을 보인다. 장동제1707의 시기에는 *Aulacoseira* spp.의 산출이 가장 높으며 전체 산출율의 75%를 차지한다. 나머지 종들의 산출은 매우 미약하며 *Stauroneis anceps*(3.8%)와 *Surirella brebissonii*(3.8%)의 산출이 약간 높다(Fig. 8-1). 장동제1712의 시기도 마찬가지로 *Aulacoseira* spp.(84.1%)의 산출이 대부분이며 1707의 시기와 비슷하다(Fig. 8-2). 장동제1802의

시기에는 *Aulacoseira* spp.(65.5%)의 산출율이 역시 가장 높으며 *Diploneis ovalis*(5.45), *Cymbopleura naviculiformis*(4.7%), *Cyclotella meneghiniana*(3.4%)와 *Pinnularia gibba*(3.4%)의 순으로 나타난다(Fig. 8-3). 장동제1805에서는 *Aulacoseira* spp.가 92.2%로 압도적으로 풍부하게 산출 된다(Fig. 8-4). 따라서, 장동제에서는 계절에 관계없이 *Aulacoseira* spp.의 산출율이 매우 높아 깨끗한 수역임을 나타낸다.

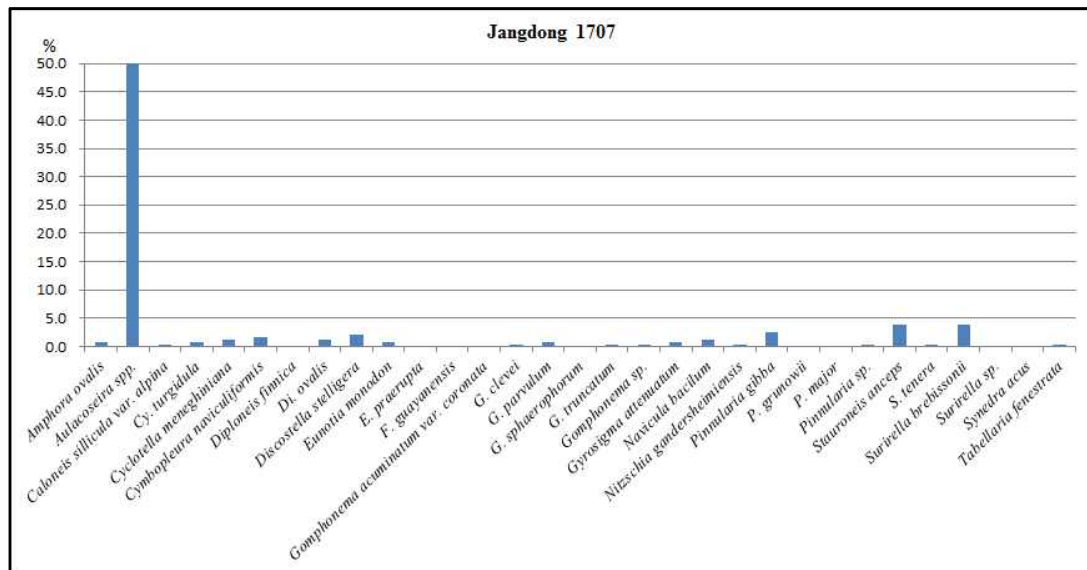


Fig. 8-1. Distribution of diatom species in the Jangdong1707.

한반도 남부지역의 저수지에서 계절 변화에 따른 규조류 변화 기록

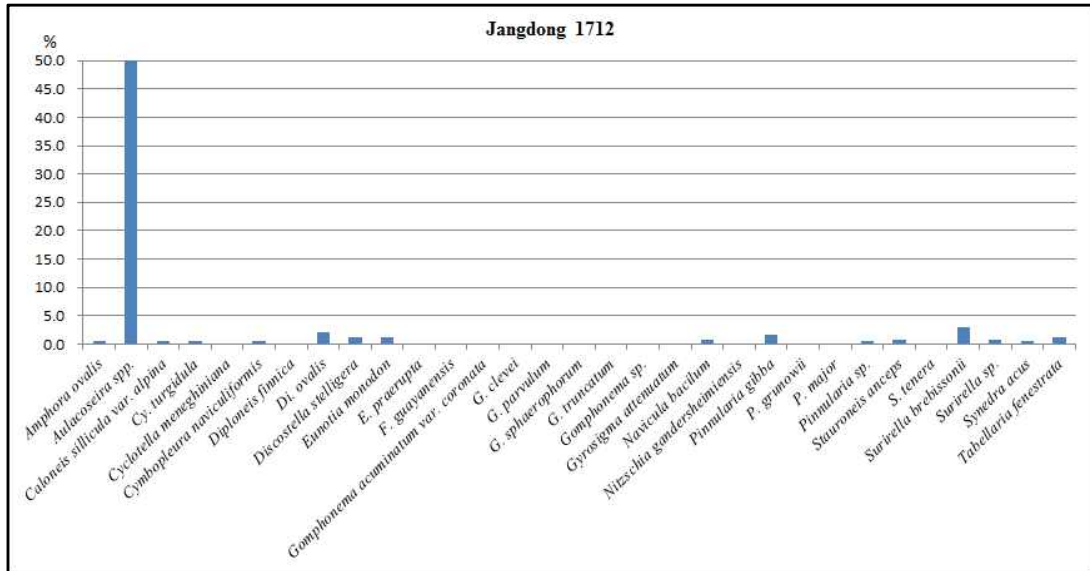


Fig. 8-2. Distribution of diatom species in the Jangdong1712.

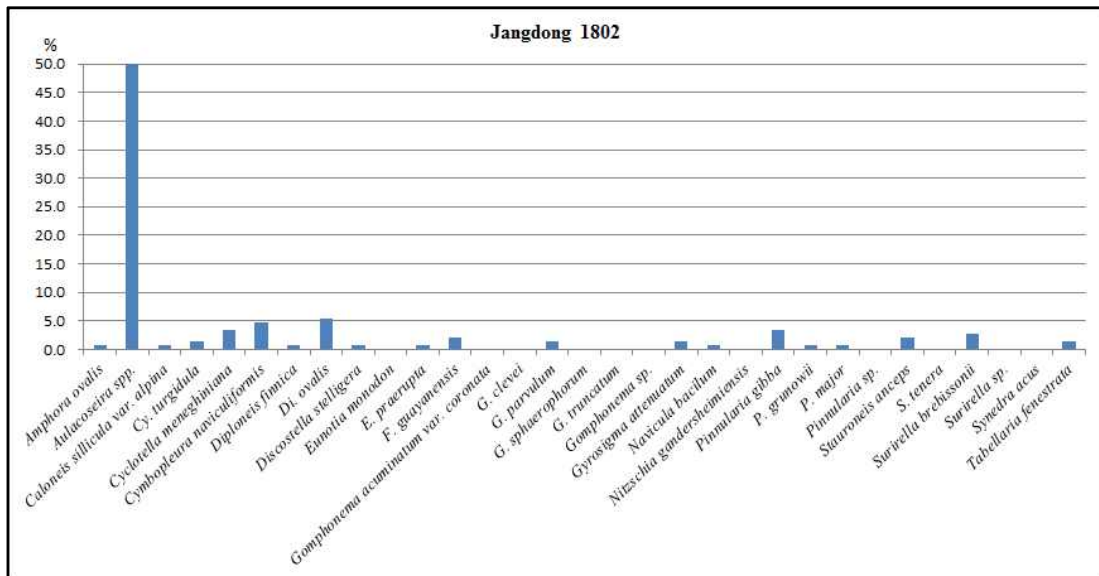


Fig. 8-3. Distribution of diatom species in the Jangdong1802.

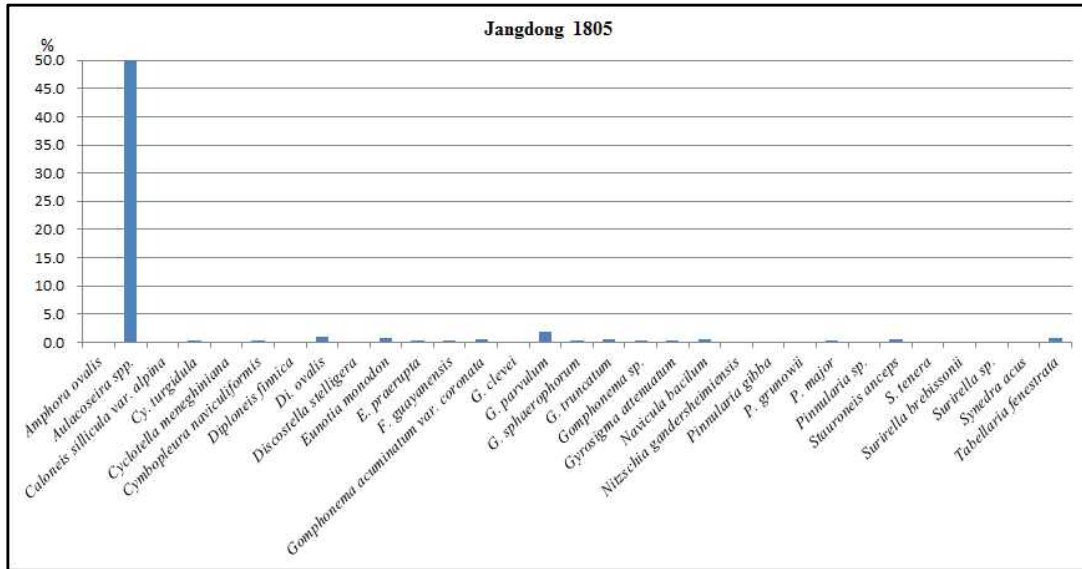


Fig. 8-4. Distribution of diatom species in the Jangdong1805.

3.1.8. 만년1제 저수지

행정구역상으로는 전라남도 신안군 도초면 만년리 696번지에 분포하고 있는 저수지로서 2017년 12월과 2018년 2월, 5월에 시료를 채취하였다. 만년1제 저수지 3개 시료로부터 16속 30종의 규조가 감정되었으며, 규조 개체수 농도는 $36.5 \sim 293.3 \times 10^6$ 의 범위로 나타난다. 만년1제1712에서는 *Aulacoseira* spp.(53.6%)의 산출이 가장 풍부하며 *Achnanthes eutrophilum*(9.1%), *Ac. macrocephalum*(8.2%), *Nitzschia hantzschiana*(6.4%)와 *G. parvulum*(5.5%)의 산출이 약간 높다(Fig. 9-1). 만년1제1802에서도 마찬가지로 *Aulacoseira* spp.(56.7%)의 산출율이 매우 높으며 *Na. pupula*(18.3%)와 *Nitzschia*

hantzschiana(10.8%)의 산출도 증가한다(Fig. 9-2). *Navicula pupula*는 넓은 생태범위를 갖는 보편종이며 높은 전기전도도 수역에서 생육한다(Taylor et al., 2007). 만년1제1805시기에는 *Aulacoseira* spp.(17%)의 산출이 급감하면서 *Fragilaria crotonensis*(63%)의 산출이 급증하는 경향을 보인다. *Na. pupula*(6.3%)와 *Nitzschia hantzschiana*(7.6%)의 산출은 1802시기보다 감소하였으나 상대적으로 높은 산출을 보인다(Fig. 9-3). 만년1제에서는 *Aulacoseira* spp.의 산출율이 매우 높으며, 1805 시기에는 *Fragilaria crotonensis*가 급증하는 현상을 보인다. *Fragilaria crotonensis*는 nitrogen이 풍부한 환경에서 bloom이 일어나므로(Werner, 1977) 이시기에 nitrogen의 유입이 많았음을 지지한다.

한반도 남부지역의 저수지에서 계절 변화에 따른 규조류 변화 기록

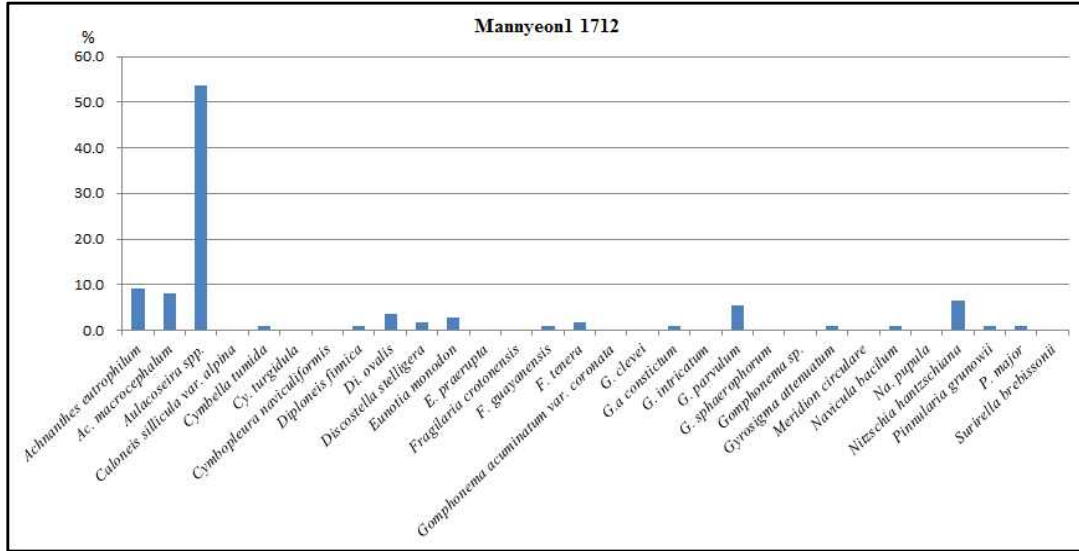


Fig. 9-1. Distribution of diatom species in the Mannyeon1712.

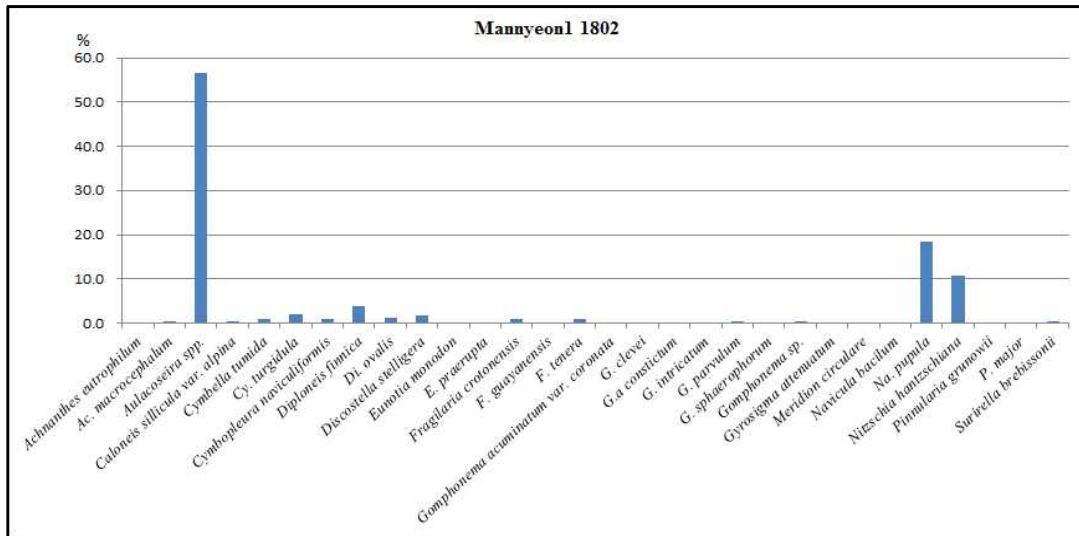


Fig. 9-2. Distribution of diatom species in the Mannyeon1802.

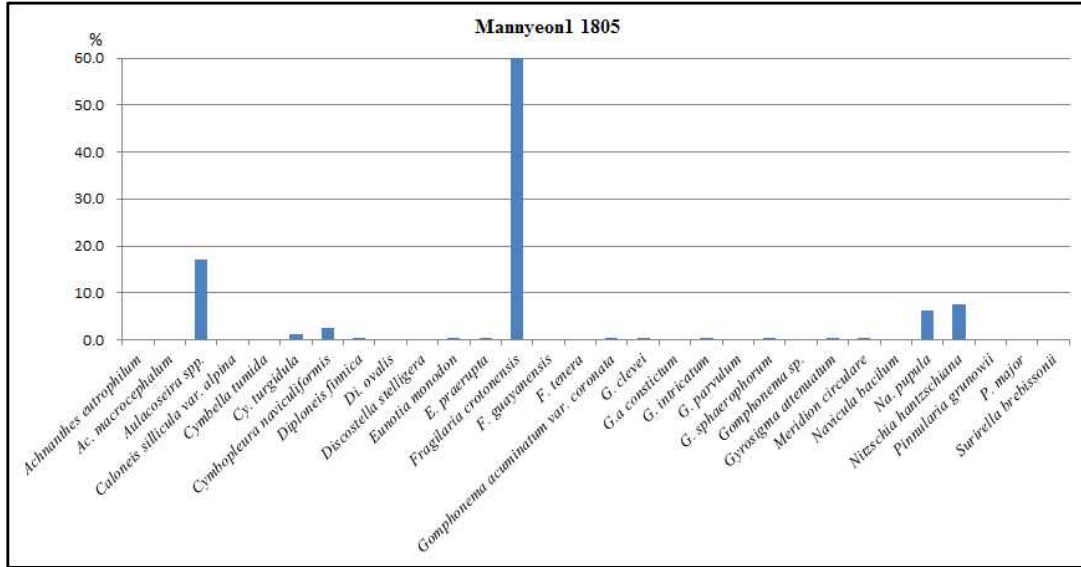


Fig. 9-3. Distribution of diatom species in the Mannyeon1805.

3.2. 규조 생산성

한반도의 남부지역에서 동부, 중부, 서부로 나누어 총 8곳의 저수지에서 2017년 7월부터 2018년 5월까지의 시료를 각각 채취하여 규조를 분석하였다. 한반도 남동부 지역의 저수지 3곳, 마지 저수지, 죽토 저수지와 월정 저수지로부터 각 시기별 규조 개체수 농도($\times 10^6$)를 비교한 결과는 다음과 같다 (Fig. 10). 마지 저수지에서는 2018년 2월과 5월에 시료를 채취하였으며 2월의 저수지에는 규조 개체수농도가 매우 풍부하게 나타나는 반면에 5월의 저수지에서는 규조 개체수가 오히려 급감하는 경향을 보인다. 죽토 저수지에는 2017년 7월과 10월, 2018년 2월과 5월의 시료를 조사하였으며 여름에 해당하는 7월의 규조 개체수 농도가 가장 높으며 가을에 해당하는 10월에는 감소하는 경향을 보이고, 늦겨울에 해당하는 2월에는 매우 더욱 개체수 농도가 적다. 마지 저수지에서와 마찬가지로

로 5월에 규조의 산출이 줄어들음을 볼 수 있다. 월정 소류지의 경우 2018년 2월의 시료만 있는데 2월의 시료에서도 규조 개체수 농도가 높은 것을 알 수 있다. 이와 같은 것으로 보아 이 세지역의 저수지에서는 2월보다는 5월에 개체수 농도가 더 낮은 것으로 판단된다. 한반도의 남중부에 위치하는 저수지로서 화영 저수지, 화동 저수지와 월용 저수지에서의 규조 개체수 농도를 비교하여 보았다 (Fig. 11). 화영 저수지에서 2017년 7월, 10월과 2018년 2월의 시료를 채취하였으며, 저수지의 사정상 위치를 이전하여 화동 저수지로부터 2018년 5월의 시료를 채취하였다. 화영 저수지에서는 한여름인 7월의 규조 개체수 농도가 저조하였으며 10월에 조금 증가하였다가 한겨울인 12월에는 매우 급감한 것을 알 수 있다. 화동 저수지에서 채취한 5월의 시료는 규조 개체수 농도가 매우 높게 나타난다. 월용 저수지로부터 2017년 7월, 10월, 12월, 2018년 2월과 5월의 시료를 채취하였으며,

한반도 남부지역의 저수지에서 계절 변화에 따른 규조류 변화 기록

이들의 규조 개체수 농도는 전체적으로 큰 변화를 보이지 않는다. 그러나 한겨울인 12월에 규조 개체수 농도가 약간 감소하는 것을 알 수 있다. 따라서, 한반도의 남중부 저수지에서는 남동부 저수지에서와는 다르게 5월에 규조의 산출이 많은 것으로 나타났다. 한반도 남서부에 위치한 저수지로서 원선2제, 장동제, 만년1제로부터 규조 개체수 농도를 비교하였다(Fig. 12). 원선2제 저수지에서는 2017년 7월, 10월, 12월과 2018년 2월, 5월의 시료를 분석하였다. 가을철인 10월에 규조 개체수

농도가 가장 높았으며, 한겨울인 12월에 급감하여 점차 날씨가 따뜻해질수록 증가하는 경향을 보인다. 장동제 저수지에서는 2017년 7월과 12월, 2018년 2월과 5월의 시료를 분석한 결과 12월 보다는 2월에 더 낮은 수치를 보이고 5월에 급증하는 경향을 보인다. 만년1제 저수지에서는 2017년 12월과 2018년 2월, 5월의 시료를 분석한 결과 원선2제에서와 마찬가지로 겨울을 지나면서 큰 폭으로 증가한다.

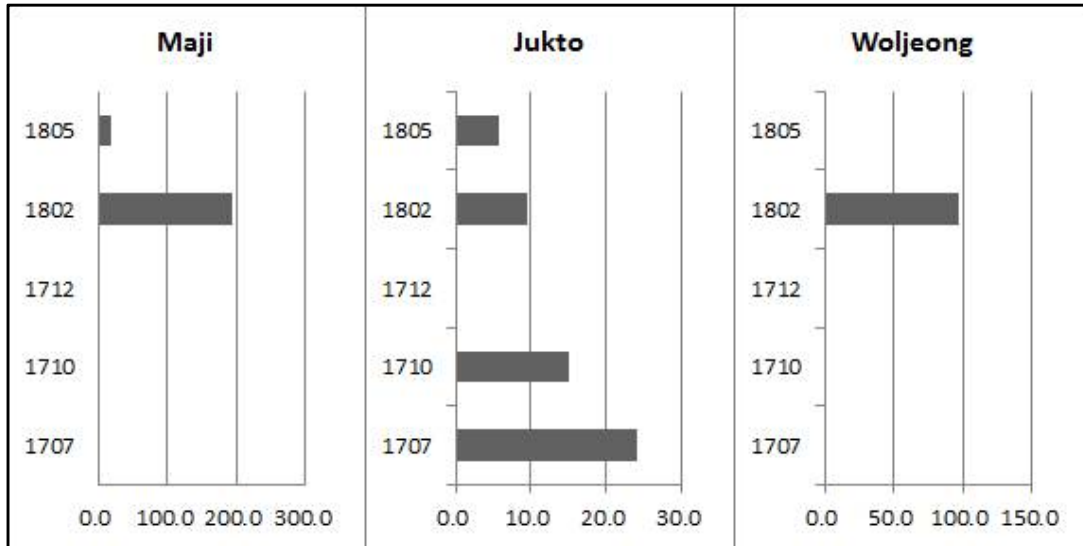


Fig. 10. Comparison of seasonal diatom valve abundance in the southeastern reservoirs.

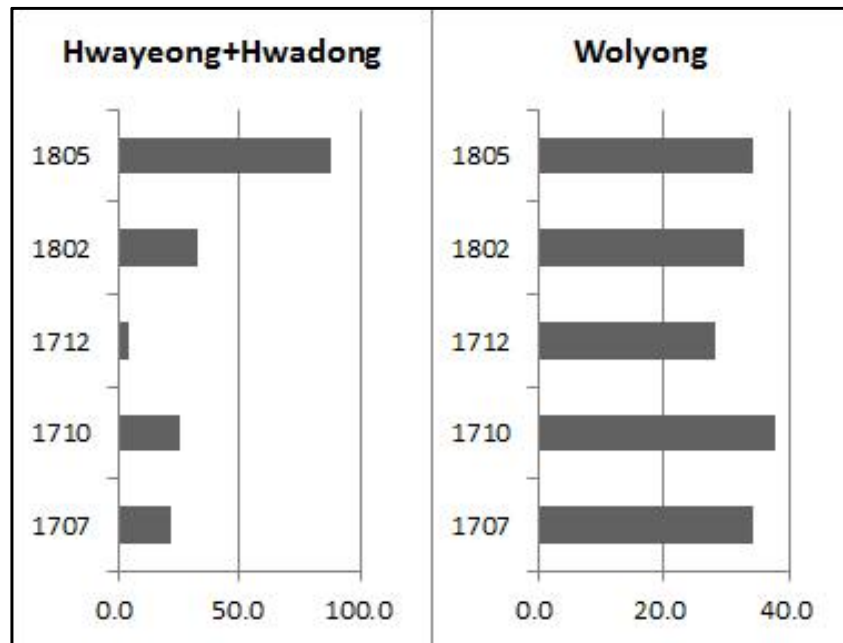


Fig. 11. Comparison of seasonal diatom valve abundance in the central southern reservoirs.

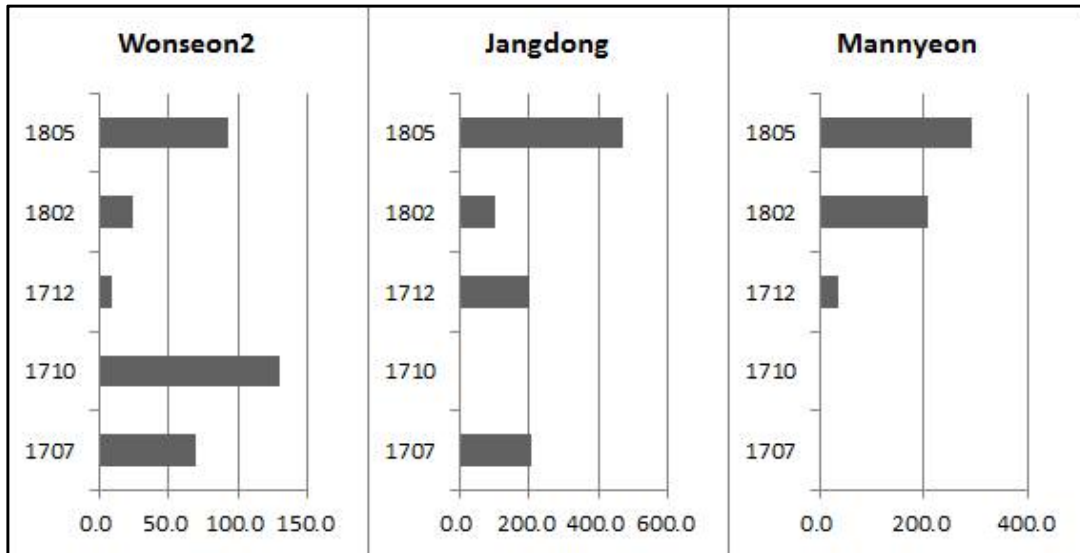


Fig. 12. Comparison of seasonal diatom valve abundance in the southwestern reservoirs.

4. 결론

한반도 남부지역(34°00'N - 35°30'N)에 분포한 저수지를 대상으로 남동부 3곳, 남중부 2곳, 남서부 3곳에서 규조를 분석하였다.

1. 남동부: 마지 저수지, 죽토 저수지, 월정 소류지

마지 저수지에서 18속 32종, 죽토 저수지에서 23속 38종, 월정 소류지에서 10속 15종이 감정되었다. 마지 저수지에서는 *Gyrosigma attenuatum*(1712), *Fragilaria tenera*(1802), *Gomphonema parvulum*(1805)가 우점종으로 나타났으며, 개체수 농도의 범위는 $0.9 \sim 193.2 \times 10^6/g$ 에 해당된다. 죽토 저수지에서는 주로 *Aulacoseira* spp.이 우세하게 산출되며 죽토 1805의 시기에는 *Fragilaria crotonensis*가 풍부하다. 개체수 농도의 범위는 $5.9 \sim 24.2 \times$

$10^6/g$ 에 해당된다. 월정 소류지의 경우 *Gomphonema gracile*의 산출이 우세하며 개체수 농도는 $96.6 \times 10^6/g$ 이다. 마지 저수지에서 1805시기에는 오염물질이 유입된 것으로 보이나, 전반적으로 남동부에 위치한 저수지들의 수질 상태는 양호하다.

2. 남중부: 화영+화동 저수지, 월용 저수지
 화영 저수지에서 21속 45종, 화동 저수지에서 12속 17종, 월용 저수지에서 23속 60종의 규조가 감정되었다. 화영 저수지에서 우세하게 나타난 종은 *Stenopteroberia curvula*(1707), *Aulacoseira* spp.(1710), *Gomphonema parvulum*(1712), *Fragilaria crotonensis*(1802)이며, 화동저수지에서는 *Aulacoseira* spp.(1805)가 우세하게 산출되었다. 이들의 개체수 농도 범위는 $4.2 \sim 88 \times 10^6/g$ 에 해당된다. 월용 저수지에서는 전체적으로 *Aulacoseira* spp.(1707, 1710, 1712,

1802, 1805)가 우점종으로 산출되었으며, 개체수 농도 범위는 $28.2\sim 37.7 \times 10^6/g$ 에 해당된다. 이들의 산출로 보아 화영 1707시기에는 산성 환경이었다가 1712시기에는 오염물질의 유입이 있었던 것으로 보인다. 나머지 시기에는 월용 저수지에서와 마찬가지로 양호한 수질환경을 나타낸다.

3. 남서부: 원선2제, 장동제, 만년1제
원선2제에서 22속 46종, 장동제에서 17속 31종, 만년1제에서 16속 30종의 규조가 감정되었다. 원선2제에서 나타나는 우점종으로서는 *Cymbella tumida*(1707), *Diploneis finnica*(1710), *Aulacoseira* spp.(1712, 1802), *Cymbella turgidula*(1805)등이며, 개체수 농도 범위는 $10.2\sim 130.5 \times 10^6/g$ 에 해당된다. 장동제에서는 전반적으로 *Aulacoseira* spp.(1707, 1712, 1802, 1805)가 우세하게 나타나며, 이들의 개체수 농도는 $106.4\sim 467.9 \times 10^6/g$ 범위에 해당된다. 만년1제의 경우 *Aulacoseira* spp.(1712, 1802)와 *Fragilaria crotonensis*(1805)가 우점종으로 나타났으며, 개체수 농도 범위는 $36.5\sim 293.3 \times 10^6/g$ 에 해당된다. 남서부의 저수지들에서는 전반적으로 깨끗한 수역에서 서식하는 규조종들이 주를 이룬다.

4. 규조의 생산성에 있어서, 남동부와 남중부의 저수지들에 있어서는 겨울철인 12월과 2월보다 5월의 생산성이 높게 나타난다. 이에 반해서 남서부의 저수지에서는 오히려 5월의 생산성이 저조한 양상을 보여준다.

감사의 글

이 연구는 한국지질자원연구원의 주요과제 “지질 기록체를 활용한 한반도 아열대화 규명 연구: 중기 홀로세 기후-특성 평가 (GP2017-013)”의 일환으로 수행되었다.

참고문헌

- Armbrust, V., 2009. The life of diatoms in the world's oceans. *Nature* 4, 185-192.
- Asai, K., Watanabe, T., 1995. Statistic classification of epilithic diatom species into three ecological groups relating to organic water pollution (2) Saprophilous and saproxenous taxa. *Diatom* 10, 35-47.
- Cohen A.S., 2003. Paleolimnology: The history and evolution of lake systems. Oxford University Press, 528 p.
- Denys, L., Muylaert, K., Krammer, K., Joosten, T., Reid, M., Rioual, P., 2003. *Aulacoseira subborealis* stat. nov. (Bacillariophyceae): a common but neglected plankton diatom. *Nova Hedwigia* 77, 407-427.
- Descy, J.P., Mouvet, C., 1984. Impact of the Tihange nuclear power plant on the periphyton and the phytoplankton of the Meuse River (Belgium). *Hydrobiologia* 119, 119-128.
- Freund, H., Gerdes, G., Strief, H., Dellwig, O., Watermann, F., 2004. The indicative meaning of diatoms, pollen and botanical macro fossils for the reconstruction of palaeoenvironments and sea-level fluctuations along the coast of Lower Saxony; Germany. *Quaternary International* 112, 71-87.
- Gale, D.S., 2015. Diatoms as indicators of ecological change in freshwater reservoirs of South East Queensland: Diatoms as indicators in South East Queensland. The University of

한반도 남부지역의 저수지에서 계절 변화에 따른 규조류 변화 기록

- Queensland PhD Thesis, 120 p.
- Kato, M., Tanimura, Y., Fukusawa, H., 2004. Survival strategy of diatom species living on now-depositing non-glacial varves. *Quaternary International* 123-125, 21-26.
- Kashima, K., 2003. The quantitative reconstruction of salinity changes using diatom assemblages in inland saline lakes in the central part of Turkey during the Late Quaternary. *Quaternary International* 105, 13-19.
- Kelly, M.G., Whitton, B.A., 1995. The trophic diatom index: a new index for monitoring eutrophication in rivers. *Journal of Applied Phycology* 7, 433-444.
- Kupe, L., Schanz, F., Bachofen, R., 2008. Biodiversity in the benthic diatom community in the upper river toss reflected in water quality indices. *CLEAN-Soil Air Water* 36, 84-91.
- Negro, A.I., De Hoyos, C., Aldasoro, J.J., 2003. Diatom and desmid relationships with the environment in mountain lakes and mires of NW Spain. *Hydrobiologia* 505, 1-13.
- Ojala, A.E.K., Heinsalu, A., Saarnisto, M., Tiljander, M., 2005. Annually laminated sediments date the drainage of the Ancylus Lake and early Holocene shoreline displacement in central Finland. *Quaternary International* 130, 63-73.
- Pan, Y., Stevenson, R.J., Hill, B.H., Herlihy, A.T., Collins, G.B., 1996. Using diatoms as indicators of ecological conditions in lotic systems: A regional assessment. *Journal of the North American Benthological Society* 15, 481-495.
- Patrick, R., Reimer, C.W., 1966. The diatoms of the United States (exclusive of Alaska and Hawaii). Volume 1: Systematic descriptions of diatoms of the taxonomic orders Fragilariales, Eunotiales, Achnanthales, and Navicuales (family Naviculaceae). The Academy of Natural Sciences, Philadelphia
- Pringle, C.M., Bowers, J.A., 1984. An in situ substratum fertilization technique: Diatom colonization on nutrient-enriched, sand substrata. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 41, 1247-1251.
- Reid, M.A., Ogden, R.W., 2009. Factors affecting diatom distribution in floodplain lakes of the southeast Murray Basin, Australia and implications for palaeolimnological studies. *Journal of Paleolimnology* 41, 453-470.
- Sabater, S., Roca, J.R., 1992. Ecological and biogeographical aspects of diatom distribution in Pyrenean springs. *British Phycological Journal* 27, 203-213.
- Scherer, R.P., 1994. A new method for the determination of absolute abundance of diatoms and other silt-sized sedimentary particles. *Journal of Paleolimnology* 12, 171-180.
- Smol, J.P., 2001. The diatoms: applications for the environmental and earth sciences. Cambridge University Press,

- Cambridge.
- Squires, L.E., Rushforth, S.R., Brotherson, J.D., 1979. Algal response to a thermal effluent: Study of a power station on the Provo River, Utah, USA. *Hydrobiologia* 63, 17-32.
- Taylor, J.C., Prygiel, J., Vosloo, A., de la Rey, P.A., Rensburg, L.V., 2007. Can diatom-based pollution indices be used for biomonitoring in South Africa? A case study of the Crocodile West and Marico water management area. *Hydrobiologia* 592, 455-464.
- Van Dam, H., Mertens, A., Sinkeldam, J., 1994. A code checklist and ecological indicator values of fresh water diatoms from the Netherlands. *Netherlands Journal of Aquatic Ecology* 28, 117-133.
- Vieira, A.A.H., Ortolano, P.I.C., Giroldo, D., Oliveira, M.J.D., 2008. Role of hydrophobic extracellular polysaccharide of *Aulacoseira granulata* (Bacillariophyceae) on aggregate formation in a turbulent and hypereutrophic reservoir. *Limnology and Oceanography* 53, 1887-1899.
- Vos, P.C., Gerrets, D.A., 2005. Archaeology: a major tool in the reconstruction of the coastal evolution of Westergo (northern Netherlands). *Quaternary International* 133-134, 61-75.
- Werner, D., 1977. *The Biology of Diatoms*. University of California Press, 498 p.
- Yabe, H., Yasui, S., Urabe, A., Takahama N., 2004. Holocene paleoenvironmental changes inferred from the diatom records of the Echigo Plain, central Japan. *Quaternary International* 115-116, 117-130.
- Zalat, A., Vildary, S.S., 2005. Distribution of diatom assemblages and their relationship to environmental variables in the surface sediments of three northern Egyptian lakes. *Journal of Paleolimnology* 34, 159-174.

2018년 11월 20일 접수

2018년 12월 27일 수정

2018년 12월 27일 승인