

새만금지역 내방수제 착공 이후 식물플랑크톤 군집의 분류군

여환구^{*}

¹한서대학교 환경공학과

Taxonomic Groups of Phytoplankton Communities after the Commencement of the Construction of a Waterproofing Dike in Saemangeum Region

Hwan-Goo Yeo^{*}

¹Department of Environmental Engineering, Hanseo University

요 약 새만금지역 내부의 방수제 착공시점(2011년)으로부터 2013년까지 새만금 수역을 담수역, 하구역, 만경호와 동진호 수역, 방조제 밖 외해역 등 4개의 수역으로 나누어 연 4회씩 식물플랑크톤 군집을 조사하였다. 2011년 조사(3월, 6월, 9월, 11월)에서는 각 시기별로 48-59종씩의 식물플랑크톤이 출현하였으며 만경호 및 동진호 수역에서 6월의 결과는 담수종이 우세하였으나 9월에는 담수종과 해수종의 공존이 관찰되었다. 2012년 조사(4월, 6월, 9월, 11월)에서는 각 시기별로 45-65종이 출현하였고 9월에 가장 다양하였는데 그 원인은 담수정점들을 중심으로 남조류의 출현종수가 증가한 것에 기인한 결과였다. 2013년 조사(3월, 6월, 9월, 11월)는 56-69종이 출현하여 연구수역은 최근으로 오면서 오히려 출현종수는 증가하고 있었다. 특히 6월의 결과에서 최대 출현종수를 보였는데 해수영향을 받는 곳에서는 와편모조류 출현종의 증가, 그리고 담수역에서는 남조류와 녹조류 출현종의 증가에 의한 결과였다.

Abstract The present study examined the phytoplankton communities of 4 regions, fresh water sites, estuary, Mankyeong and Dongjin lake and offshore regions, 4 times a year from 2011 to 2013. The number of species were 48-59 in 2011 (March, June, September, and November). From Mankyeong and Dongjin lake, fresh water species were dominated in June and coexisted with seawater species in September 2011. 45-65 species were observed in 2012 (April, June, September, and November) and diverse cyanophytes were present at the fresh water sites in September. The number of species reached up to 56-69 in 2013 (March, June, September, and November). In particular, owing to the diverse dinoflagellates from seawater and various cyanophytes and chlorophytes from fresh water, the maximum species number was recorded in June, 2013.

Key Words : Phytoplankton, Saemangeum

1. 서론

새만금 방조제(1991년 착공~2010년 4월 준공)는 공유수면 401 km²를 육지로 변모시켰다[1]. 새만금방조제(34 km) 완공 이후, 2011년에는 내방수제 68 km의 착공이 이루어졌고 연차적으로 건설이 진행되어 2020년까지 완공할 계획으로 알려져 있다.

새만금호는 인근에 곤당이 위치하고 있어서 만경강

및 동진강으로부터 부영양화된 담수가 유입되고 그에 따른 수질 악화가 진행 중이다[2]. 한편, 방조제 물막이 공사 완공 직후에 연구된 결과를 보면 새만금 수역의 수질이 담수와 해수의 혼합으로 지속적인 변화를 하고 있다. 또한 이 지역의 조석현상(tide) 및 강우 등의 물리적 환경은 생물성장에 중요한 요인으로 꼽히고 있다[3].

김 등[1]은 만경강 하구역에서 새만금방조제 공사 이전의 조사결과(1999~2000년)로 반일주조 조석연동에 의

^{*}Corresponding Author : Hwan-Goo Yeo (Hansed Univ.)

Tel: +82-10-5225-7450 email: yeohg@hanseo.ac.kr

Received August 20, 2014

Revised (1st September 12, 2014, 2nd October 14, 2014)

Accepted January 8, 2015

한 식물플랑크톤의 군집변화와 뚜렷한 계절주기의 변동을 보고한 바 있다. 장 등[4]은 새만금 방조제 물막이 공사 완공 직후(2006~2007년), 만경대교 인근 고정 정점에서 조사한 결과로 그 이전의 연구들에 비해 식물플랑크톤 군집의 출현종수는 감소하고 현존량은 증가하는 추세라고 보고하였다.

여[5-6]는 본 연구수역에서 녹·적조 문제의 핵심인 식물플랑크톤의 생물량을 현존량(cells/ml)의 관점으로 장기간(2001~2010) 모니터링하였다. 그 결과, 시공간적으로 다변하는 본 연구 수역을 하천과 인공호수 그리고 해역으로 구분하여 시기별로 고찰하였다. 새만금호로 유입되는 하천수 정점들에서는 잦은 녹조의 발생을 보고했으며 만경호와 동진호 예정 수역은 담수 및 해수의 유입량 변화와 계절 변화에 기인하여 식물플랑크톤 현존량이 급변함을 보고한 바 있다[7].

본 연구는 새만금 방조제가 준공되고 내방수체가 착공된 2011년 이후 식물플랑크톤의 군집구성을 조사하였다. 차후 현존량과 우점종 및 여러 생태지수를 통한 복합적 연구로 이어지기 위한 전단계로서 군집구성의 주요 분류군별 출현종의 수를 비교분석하였다.

2. 연구수역 및 연구방법

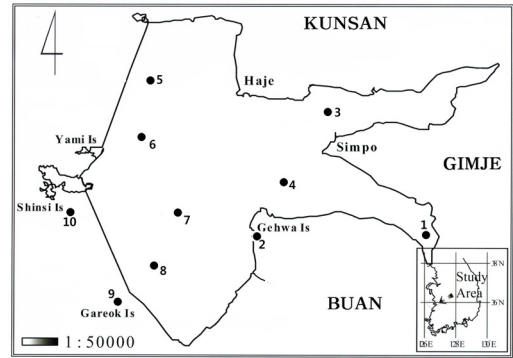
2011년부터 2013년까지 현장 시료의 채집은 총 10개의 정점에서 매년 3월(2012년의 경우는 4월), 6월, 9월 및 11월에 수행되었다.

조사정점은 담수역(2개 정점), 하구역(2개 정점), 새만금호 내부 혼합수역(4개 정점) 및 해수역(방조제 밖 2개 정점)으로 구성된다[Fig.1]. 담수역은 동진강의 죽산교(정점1)와 계화 조류지(정점2)이며 하구역은 동진강과 만경강의 하구역(정점3 및 정점4)이다. 한편 새만금호 내부의 혼합수역에 남북으로 총 4개의 정점(만경호 북측(정점5), 만경호 중앙(정점6), 동진호 중앙(정점7), 동진호 남측(정점8))이 있으며 새만금호 방조제 밖 외해역에 2개의 정점(가력도 해역(정점9), 신시도해역(정점10))을 선정하였다.

조사정점들은 주요하천의 유입과 방조제 밖의 해수유통 영향 등으로 본 연구수역에서 다변하는 식물플랑크톤 군집을 모니터링하기 좋은 위치에 있다.

식물플랑크톤 시료는 500 ml 채수병에 현장수를 채수

하여 루골액으로 고정하고 광을 차단하여 보관하였다. 시료는 분류군을 파악하기 위해 광학현미경(Nikon E600)으로 최대 1000배 확대하여 검정하였다.



[Fig. 1] Map showing sampling sites in Saemangeum water region

3. 결과 및 고찰

3.1 연도별 식물플랑크톤 분류군 구성

2011년 3월 조사수역에서 식물플랑크톤은 총 57개 분류군(미동정종 포함)이 출현하였다[Table 1].

각 그룹별 출현종수를 구분하면 규조류(Diatom)가 38종으로 압도적 종수를 보였고 녹조류(Chlorophyte) 8종, 와편모조류(Dinoflagellate) 4종, 황녹조류(Xanthophyte) 2종, 남조류(Cyanophyte) 2종, 유글레나조류(Euglenophyte) 1종 및 기타 편모조류 2종 등으로 나타났다. 전반적인 출현종수나 구성은 2010년의 연구보고[8]와 유사하였으나 황녹조류 종의 추가 출현이 있었고 담수역 정점들에서 *Navicula* sp.를 비롯한 우상규조류(pennate diatom)종들이 다수 출현하여 저층으로부터 부상하는 종류가 비교적 다양했던 것으로 생각된다.

6월은 총 48개 분류군이 출현하였으며 규조류 28종, 녹조류 8종, 와편모조류 6종과 유글레나조류 및 남조류 2종씩 그리고 기타 편모조류가 2종류였다. 따라서 3월보다 다소 줄어든 양상이었고 방조제 내부에서도 담수종들이 다양하였다.

한편 9월에는 총 59개 분류군이 출현하였는데 규조류가 31종 출현하였고 녹조류 및 와편모조류가 각 10종씩 출현하였다. 그 외 남조류 6종, 유글레나조류 1종, 기타 편모류 1종 등 출현하였다. 방조제 내부 수역에서는 담수종과 해수종의 공존이 관찰되었다.

[Table 1] Occurring species number of each phytoplankton taxonomic group

Year	Month	Diatom	Dino-flagellate	Chloro-phyte	Cyano-phyte	Silico-flagellate	Xantho-phyte	Eugleno-phyte	Crypto-phyte	unidentified Flagellate	Total
2011	Mar.	38	4	8	2		2	1		2	57
	Jun.	28	6	8	2			2		2	48
	Sep.	31	10	10	6			1		1	59
	Nov.	27	11	5	3		1	3		2	52
2012	Apr.	25	12	7	2			2		2	50
	Jun.	17	13	9	3			1		2	45
	Sep.	38	7	10	6			2		2	65
	Nov.	28	5	10	1			1		2	47
2013	Mar.	36	6	5	3			2	2	2	56
	Jun.	29	10	18	7	1		1	1	2	69
	Sep.	27	8	15	7			2	1	2	62
	Nov.	29	14	9	5	1		1	1	2	62

11월 식물플랑크톤은 총 52개 분류군이 출현하였고 구성종을 그룹별로 살펴보면 규조류 27종, 와편모조류 11종, 녹조류 5종, 남조류 3종, 유글레나조류 3종, 황녹조류 1종, 기타 편모조류 2종 등이었다. 따라서 연중 규조류 종의 수가 우세한 결과는 지속되었고 특이한 사항은 해수 수온이 내려가는 계절이 도래하였음에도 와편모조류 종수는 6월 및 9월 보다 늘었다는 점이었다.

2012년 4월은 조사수역 전체에서 총 50개 분류군의 식물플랑크톤이 출현하였는데 각 규조류가 25종으로 전체 출현종수의 절반을 차지하며 와편모조류 12종, 녹조류 7종, 유글레나조류 2종, 남조류 2종 및 기타 편모조류 2종 등이었다.

6월에는 총 45개 분류군이 파악되었으며 구성종은 규조류 17종, 와편모조류 13종, 녹조류 9종, 남조류 3종, 유글레나조류 1종 그 외 편모조류 2종류 등이었다. 4월 조사보다 출현종의 수는 감소하였고 종구성의 전체적인 특징은 규조류 종 수가 특히 빈약하다는 것이었다. 이러한 원인은 해수역에서 해양성 규조류의 출현종수가 감소하였기 때문이며 일시적인 현상인 것으로 추정된다.

9월에는 총 65개 종으로, 군집을 구성하는 그룹 중 규조류가 38종으로 조사되어 당시 출현종의 다양화를 주도하였다. 한편 녹조류는 10종, 와편모조류 7종, 남조류 6종 등이 출현하였고 그 외 유글레나조류 2종과 기타 편모조류 2종 등이 포함되었다. 출현 구성종 분포는 다양화되었으나 와편모조류의 구성종 수는 4월 및 6월보다 감소하였다. 한편 담수 정점들을 중심으로 남조류의 출현종수가 다소 증가한 양상을 보였다.

한편 11월 출현한 분류군은 총 47개로 나타나 9월보다 감소하였다. 각 그룹별 출현 종수를 살펴보면 규조류가 28종, 녹조류 10종, 와편모조류 5종, 유글레나조류와 남조류가 각 1종씩이었으며 기타 편모조류 2종류가 추가되었다. 기본적인 그룹별 종조성은 다른 계절과 큰 차이가 없는 보편적 구성을 보였다.

2012년 4회의 자료 전체에서 본 조사수역의 식물플랑크톤 군집조성은 3차 조사시기인 초가을(9월)에 가장 다양했던 것으로 정리된다.

2013년 3월 조사에서는 조사수역 전체에서 총 56개 분류군의 식물플랑크톤이 출현하였다. 각 그룹별 출현 종수를 구분하면 규조류가 36종으로 전체 출현 종수의 64%에 이른다. 와편모조류는 6종, 녹조류는 5종이 출현하였고 그 외 남조류 3종과 유글레나조류 및 은편모조류(Cryptophyte)가 각각 2종씩 출현하였으며 미동정 기타 편모류가 2종류 추가되었다. 낮은 염분의 수역에서 은편모조류가 우점할 수 있다는 연구보고가 있으나[9] 본 연구에서는 은편모조류가 2013년에만 나타났다.

2013년 6월에는 총 69종이 출현하였는데 종의 구성은 규조류 29종, 녹조류 18종, 와편모조류 10종, 남조류 7종 등이며 또한 규질편모류(Silicoflagellate)와 유글레나조류 및 은편모조류가 각 1종씩 추가되었고 그 외 미동정 편모조류 2종류도 출현하였다. 해수영향을 받는 곳에서 와편모조류의 출현종수가 3월보다 증가하였고 담수역에서 녹조류 및 남조류의 출현종수가 증가하여 전체적으로 종의 조성은 3월보다 다양해졌다.

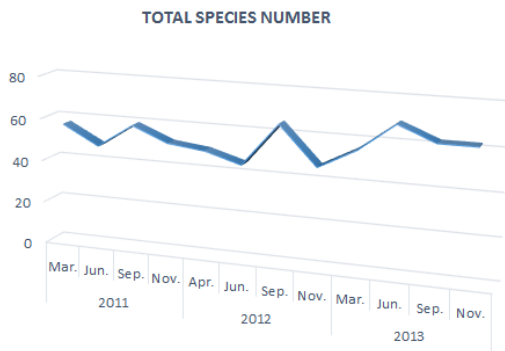
9월에는 총 62종이 출현하였는데, 규조류가 27종, 녹

조류 15종, 와편모조류 8종, 남조류 7종, 유글레나조류 2종 및 은편모조류 1종 그리고 기타 미동정편모조류 2종 등이다. 전반적인 출현종의 수는 3월 및 6월 조사 수준의 중간 정도이며 만경강하구역(심포)의 경우 완전히 담수종으로만 구성되고 동진강 하구역(계화도)의 경우는 대부분 담수종에 일부 해수종이 혼재하는 양상으로 나타나고 있었다. 한편, 만경호 및 동진호 내부수역은 해수종과 담수종의 동반 출현이 유지되는 것으로 나타났다.

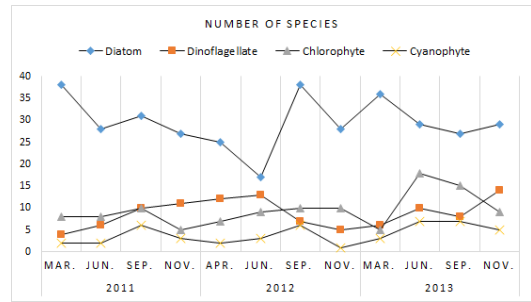
11월에도 총 62종이 출현하여 종수는 9월과 동일하였다. 그러나 구성종의 분포는 규조류 29종, 와편모조류 14종, 녹조류 9종이며 남조류 5종과 규질편모류, 유글레나조류 및 은편모조류가 각각 1종씩 추가되었으며 그 외 미동정 편모조류 2종이 출현하였다. 따라서 와편모조류의 종수가 다소 늘어나 2013년 4회의 조사 중 가장 다양한 와편모조류의 종수를 보였다라는 점이 특이하다. 물론 현존량이 많은 것은 아니었지만 겨울로 접어드는 시기임에도 불구하고 와편모조류들이 만경, 동진호 내부에서 여러 종 출현했다는 것이 주목할 만하다. 그 이외의 종조성 양상은 여타조사시기와 큰 변화를 보이지는 않았다.

3.2 분류군의 경년변화

2011년부터 2013년까지 각 조사시기별 총 출현종수의 변화를 [Fig. 2]에 나타내었다. 전체적으로 45종(2012년 6월) - 69종(2013년 6월)의 변화를 보였다. 단지 출현종의 수로 본다면 새만금방조제 축조 이후 다소 감소하였던 식물플랑크톤의 종 수가 최근으로 오면서 조금씩 늘어난 것으로 나타났다. 물론 다른 환경요인과 비교 검토하여야 유의성 있는 결과를 도출하겠지만 풍부유도(species richness)는 증가추세를 나타내어 바람직한 현상을 보였다.



[Fig. 2] Changes of total species numbers.



[Fig. 3] Changes of species number of major taxonomic groups.

주요 분류군별 출현종 수의 변화는 [Fig. 3]에 나타내었다. 모든 조사시기에서 규조류(Diatom)가 가장 많은 종수를 보유한 분류군으로 나타났다. 이는 새만금 방조제 건설 이전인 1989년부터 1990년까지의 조사로 연구된 심 등[10]의 연구결과와 동일하다. 당시 트인 해역(기수역)이었던 본 연구수역의 주요 식물플랑크톤 분류군들 또한 규조류, 와편모조류, 녹조류 등을 들고 있어서 현재와 크게 다르지 않았다.

2012년 6월의 경우 규조류는 종 수가 적은 반면 와편모조류(Dinoflagellate)의 종 수는 상대적으로 크게 나타나는 등 규조류와 와편모조류의 종수는 서로 간에 역상관성이 보였다. 한편, 녹조류와 남조류는 주로 담수의 영향을 받는 지점에서 소수의 종들이 출현하였으나 2013년 6월과 9월에는 상대적으로 다수의 녹조류 종들이 출현하는 모습을 보였다. 전체적으로 볼 때 본 연구수역은 담수역과 기수역 및 해수역을 포함하고 있어 조사 시기마다 식물플랑크톤 분류군의 군집특징은 상당히 가변적임을 시사하였다.

4. 결론

새만금호 내부 방수제 착공시점(2011년)으로부터 2013년까지 새만금 수역을 담수역, 하구역, 만경호와 동진호 수역, 그리고 방조제 밖 외해역 등 4개의 수역으로 나누어 식물플랑크톤 군집의 분류군을 연구하였다. 새만금방조제 축조 이후 다소 감소하였던 식물플랑크톤 군집의 출현종 수는 최근으로 오면서 회복세를 보이고 있다. 이러한 출현종 수의 증가는 계절에 따른 특정 녹.적조 원인 종들의 국소적인 대발생 가능성을 높일 수 있겠지만 전체적인 군집의 다양성 증대라는 측면에서는 바람직한

결과로 평가된다.

본 연구수역은 담수역과 기수역 및 해수역을 포함하고 있고 방조제 수문개폐 및 강수량 등의 요인에 의해 환경변동이 심한 수역이기에 식물플랑크톤 분류군의 군집 특징은 상당히 가변적일 수 있다. 따라서 앞으로도 장기 간에 걸친 지속적인 모니터링이 필요할 것이다.

References

- [1] Y. G. Kim, J. W. Park, K. G. Jang, W. Yih, "Cyclic Change of Phytoplankton Community in mankyeong River Estuary Prior to the Completion of the Saemankeum Seawall", *Ocean Polar Res.*, Vol. 31, No. 1, pp. 63-70, 2009.
DOI: <http://dx.doi.org/10.4217/OPR.2009.31.1.063>
- [2] C. H. Choi, S. W. Jung, S. M. Yun, S. H. Kim, J. G. Park, "Changes in Phytoplankton Communities and Environmental Factors in Saemangeum Artificial Lake, South Korea between 2006 and 2009", *Korean J. Environ. Biol.*, Vol. 31, No. 3, pp. 213-224, 2013.
DOI: <http://dx.doi.org/10.11626/KJEB.2013.31.3.213>
- [3] S. H. Kim, "The Water Chemistry of Saemangeum Area with Respect to Seawater-Freshwater Mixing Process", Master Thesis of Kunsan National Univ., 2007.
- [4] K. G. Jang, J. W. Park, J. H. Park, N. Ha, W. Yih, "Drastic change of Phytoplankton Community at the Station 'Mankyong Bridge' of the New Saemangeum Lake during 2006-2007", *Ocean Polar Res.*, Vol. 31, No. 1, pp. 71-76, 2009
DOI: <http://dx.doi.org/10.4217/OPR.2009.31.1.071>
- [5] H. G. Yeo, "Phytoplankton Community and Phytohydrographic Characteristics of the Inside and Outside of Saemangeum Reservoir" *Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society*, Vol. 10, No. 8, pp. 2021-2025, 2009.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2009.10.8.2021>
- [6] H. G. Yeo, "Diversity of Planktonic Micro Algae in Saemangeum Water Regions" *Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society*, Vol. 11, No. 9, pp. 3610-3614, 2010.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2010.11.9.3610>
- [7] H. G. Yeo, "Annual Variations(2001-2010) of Phytoplankton Standing Stocks in Saemangeum Water Rigion" *Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society*, Vol. 13, No. 9, pp. 4326-4333, 2012.

DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2012.13.9.4326>

- [8] Korea Rural Community Corporation (KRC), "Environmental Impact Report on Saemangeum Project", 2010.
- [9] H. G. Marshall, R. V. Lacouture, C. Buchanan, J. M. Johnson, "Phytoplankton Assemblages Associated with Water quality and Salinity Region in Chesapeake Bay, USA", *Estuar. Coast. Shelf. Sci.*, Vol. 69, pp. 10-18, 2006.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecss.2006.03.019>
- [10] J. H. Shim, Y. K. Shin, H. G. Yeo, "Abiotic Environment and Primary Producer of Estuarine Pelagic Ecosystem in the Lower Water of the Mankyung River and Dongjin River. I. Environmental Characteristics and Phytoplankton Community Structure", *J. Oceanol. Soc. Korea*, Vol. 26, No. 2, pp. 155-168, 1991.

여 환 구(Hwan-Goo Yeo)

[정회원]



- 1992년 8월 서울대학교 대학원 지구환경과학부(해양학) (이학박사)
- 1996년 3월 ~ 현재 : 한서대학교 환경공학과 교수

<관심분야>
환경생태, 해양환경