

새만금호 안팎의 식물플랑크톤 군집과 식물수문적 수역특성

여환구^{1*}

¹한서대학교 환경공학과

Phytoplankton Community and Phytohydrographic Characteristics of the Inside and Outside of Saemangeum Reservoir

Hwan-Goo Yeo^{1*}

¹Department of Environmental Engineering, Hanseo University

요약 새만금 방조제 물막이 공사 마무리 직후인 2006년 5월부터 11월까지 4회의 조사를 통해 방조제 안팎의 식물플랑크톤 군집구조에 의한 식물수문적 수역특성을 연구하였다. 집괴분석 결과 육수역과 해수역으로 크게 양분되는 모습을 보여주었고 조사시기별로 조사정점간의 유사도는 다소간의 변동이 지속되었다. 특히 여름철에는 같은 해수역 임에도 불구하고 방조제를 경계로 내부수역 및 외부수역으로 확연히 구분되는 식물수문적 수역 분리를 보여주었다. 물막이 공사 후 새만금호는 염분이 감소하고 수질환경이 변화되어 식물플랑크톤의 군집조성에 의한 식물수문특성이 시기별로 변화가 지속되는 것으로 보인다.

Abstract This study was to investigate the phytoplankton communities and phytohydrographic characteristics of the inside and outside of the Saemangeum Reservoir from May to November 2006 directly after dike construction. As the cluster analyses, phytohydrographic regions were divided into fresh river water and seawater regions, and the similarities between the sampling sites fluctuated temporarily. Distinctive phytohydrographic difference was shown between inside and outside of the dike in summer. After the dike construction, declining salinity and changing water quality have caused to change the phytoplankton communities and phytohydrographic regions.

Key Words : Saemangeum, Phytoplankton, Phytohydrographic region

1. 서론

새만금지구 간척종합개발사업은 전북 군산시, 김제시, 부안군에 인접한 하구역40,100ha를 개발하는 사업이다 [1]. 총 연장 33km에 달하는 새만금 방조제는 전북 부안군 변산면 대항리에서 시작하여 가력도, 신시도, 야미도를 연결하고 군산시 비응도까지 연결하는 4개의 방조제로 구성되어 있다. 1991년 공사가 시작되어 2006년 4월 물막이 공사가 마무리되었으며 그 이후에는 신시배수갑문과 가력배수갑문을 통해서만 새만금호 안쪽으로 해수가 유통되고 있다[2]. 물막이공사를 전후하여 새만금 수역의 환경변화에 대해 다양한 연구가 지속되고 있다 [2-5].

방조제의 축조는 수질 및 생태계의 변화를 초래하기에 수질의 이화학적 변화 및 지질현상, 조류(current)의 변화 등을 지속적으로 모니터링 할 필요가 있으며 여러 생물상들에 대한 연구 또한 필요하다. 길 등[6]은 새만금의 해산 연체동물상을 조사했고 이 등[2]은 새만금호 물막이 공사 완공 후 어류 종 조성 변화에 대해 심도있는 연구를 했다. 또한 최[7] 역시 새만금호 축조에 따른 환경변화와 저서성 어류의 서식현황 등을 연구하였다.

연안환경의 생태평가는 모든 동, 식물상을 통해 이루어져야 마땅하며 그 중 미소 생물상에 의한 환경생태계 평가 역시 중요한 한 과정이 될 것이다. 본 연구는 미소 생물상 중에서 독립영양 부유생물의 군집특성을 통해 새만금수역의 생태환경을 조명하고자 한다. 독립영양 부유

*교신저자 : 여환구(yeohg@hanseo.ac.kr)

접수일 09년 06월 19일

수정일 09년 07월 23일

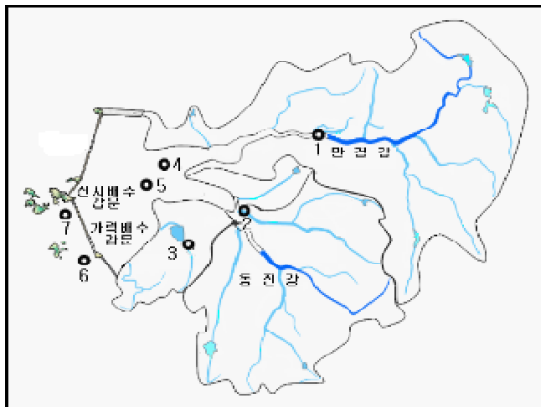
게재확정일 09년 08월 19일

생물이란 무기탄소를 유기물로 고정하는 능력을 가진 플랑크톤 모두를 포괄하는 용어이며 그들 대부분은 광합성 수행능력을 가진 식물플랑크톤으로 정의된다. 수생환경 생태계에서 식물플랑크톤 군집은 주된 일차생산자로서의 생태적 지위를 가지는 그룹이며 계절변화에 따르는 군집의 동태를 추적하는 것은 환경 모니터링에 있어서 의미 있는 작업이다. 따라서 본 연구는 최근 새만금호의 안팎에서 식물플랑크톤 군집의 동태를 계절변동과 연관하여 파악하고자 수행되었다.

식물플랑크톤 군집조성을 우점종, 현존량 측면에서 살펴보고 수역 특성의 차이를 식물수문적 수역(phytohydrographic region) 구분으로 정리하여 설명하고자 한다.

2. 실험방법

2006년 식물플랑크톤 현장 시료의 채집은 새만금호 안팎의 조사지점 7곳 그림 1에서 5월, 7월, 9월, 11월에 걸쳐 수행되었다.



[그림 1] 새만금호 주변 연구수역 조사지점

조사지점은 육상부 하천 3개 지점인 정점1(김제제수문), 정점2(죽산교), 정점3(언독대교)과 새만금호 내부 정점4(만경수역), 정점5(동진수역) 그리고 방조제 외부 해역의 정점6(가력갑문 인근 비안도앞)과 정점7(신시갑문 인근 신시도 앞)이다.

2.1 식물플랑크톤 분석

식물플랑크톤의 정성분석을 위해서 56µm의 망목 크기를 가진 Norpac형 플랑크톤 채집기를 이용하여 수직에 인, 채집한 후 최종농도 4%가 되게 중성 포르말린으로

고정하여 실험실로 운반하였다. 식물플랑크톤의 종조성을 파악하기 위해서는 채집시료를 광학현미경으로 최고 1000배까지 확대 검경 하였으며 종의 동정에는 Yamaji[8], 정[9], 심[10], 수자원연구소 조류 사진집[11] 등을 참고하였다. 정량분석을 위해서는 조사정점에서 Van-Dorn 채수기로 표층 및 저층의 해수를 채수하여 폴리에틸렌 병에 넣은 후 Lugol용액으로 고정하여 광을 차단시킨 후 실험실로 운반하였다. 실험실에서는 시료를 48시간 이상 침전시켜 농축된 시료를 Sedgwick-Rafter Counting Chamber에 넣고 현미경하에서 세포수를 계수한 후 원래 해수중 현존량(cells/ml)으로 환산하였다[12].

2.2 집괴분석

조사정점간의 식물수문적 차이를 고찰하기 위해 집괴분석(Cluster Analysis)을 시도하였는데 식물플랑크톤의 정량분석자료를 아래와 같이 로그변형 처리하였다.

$$Y_{ij} = \log(X_{ij} + 1)$$

X_{ij} 는 j번째에 해당하는 식물플랑크톤 분류군의 현존량이며 유사도(similarity)는 상관계수를 사용하였고 Davis[13]의 WPGA(weighted pair-group average)방법으로 집괴하여 수지도(dendrogram)를 작성하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 식물플랑크톤 우점종

조사시기별 우점종(조사시기별 식물플랑크톤 총 현존량의 5% 이상 점유종)을 표1에 나타내었다.

5월 식물플랑크톤 우점종은 6종으로 나타났다. 이 종들을 분류군별로 살펴보면 규조류 *Aulacoseira ambigua*(7.98%), *Skeletonema costatum*(8.74%), 녹조류 *Actinastrum hantzschii*(7.55%), *Chlorella* sp.(14.16%), 남조류 *Oscillatoria* sp.(18.44%), 크립토조류 미동정종(6.50%)이다. 이중 규조류인 *Skeletonema costatum*을 제외하고는 모두 담수종으로서 담수역 식물플랑크톤의 우점종은 비교적 다양하였다.

7월에는 총 7종의 우점종이 나타났는데 규조류 중 *Melosira granulata*(14.79%), 녹조류 *Actinastrum hantzschii*(12.04%), 남조류 *Anabaena* sp.(10.33%), *Microcystis* sp.(10.57%), *Oscillatoria* sp.(6.47%), *Spirula* sp.(6.24%)와 미동정 크립토조류(6.55%)였다. 워낙 담수역의 현존량이 해수역 식물플랑크톤의 현존량을 압도하고 있어서 전체적인 우점종은 모두 담수역 종들로 구성되어 있다. 우점종 구성에서 특기할 사항은 남조류 종이

4종이나 포함되어 있어 여름철 수온상승과 여타 수질환경이 담수역(정점2, 3)에서 남조류의 대발생을 유도한 것으로 추정된다.

9월 우점종은 총 6종으로 나타났다. 점유율 크기 순으로 나열한다면 남조류인 *Microcystis* sp.(26.23%)와 *Phomidium tenue*(18.02%)가 가장 큰 현존량을 보이고 있으며 그 뒤로 규조류인 *Aulacoseira ambigua*(7.51%), *Skeletonema costatum*(6.44%), 그 다음으로 녹조류인 *Scenedesmus* sp.(5.89%), *Actinastrum hantzschii*(5.83%)가 따르고 있다. 따라서 9월에도 남조류의 대발생이 특기사항이다. 물론 상기의 남조류 종들은 해수역 정점이 아닌 담수역 정점(정점 1, 2, 3)에서 대발생을 기록하였다. 이러한 남조류 대발생은 7월 조사 이후 지속되고 있는 것으로 추정된다.

11월에도 우점종은 6종 이었다. 남조류의 생물량이 컸던 9월과 달리 11월의 조사에서는 규조류들이 상당 부분을 차지하고 있는데 *Cyclotella* sp.(17.65%), *Melosira granulata*(13.08%), *Aulacoseira ambigua*(9.87%), *Synedra delicatissima* v. *angustissima*(5.17) 등이 우점하였다. 이상의 규조류 들의 점유율을 모두 합하면 45.77%에 달해 식물플랑크톤 군집 총현존량 전체의 거의 절반 가까이 이른다. 해수중 규조류의 우점은 보편적이지만 담수역까지도 규조류의 우점이 심하여 이러한 결과를 보였는데 규조류 우점이라는 현상은 크게 문제될 것이 없다. 규조류 이외에는 녹조류인 *Chlorella* sp.(12.08%)와 남조류인 *Microcystis* sp.(10.05%)의 우점현상이 나타났다.

전체적으로 본 조사수역 식물플랑크톤의 우점그룹 특성은 해수역의 규조류 우점현상 지속과 담수역의 규조류, 녹조류, 남조류의 시기적 변화 및 공존 현상으로 요약된다.

[표 1] 조사시기별 식물플랑크톤 우점종

조사시기	우점종(총 현존량중 점유율%)
5월	<i>Oscillatoria</i> sp.(18.44)
	<i>Chlorella</i> sp.(14.16)
	<i>Skeletonema costatum</i> (8.74)
	<i>Aulacoseira ambigua</i> (7.98)
	<i>Actinastrum hantzschii</i> (7.55)
	<i>Cryptomonas</i> sp.(6.50)
7월	<i>Melosira granulata</i> (14.79)
	<i>Actinastrum hantzschii</i> (12.04)
	<i>Microcystis</i> sp.(10.57)
	<i>Anabaena</i> sp.(10.33)

9월	<i>Cryptomonas</i> sp.(6.55)
	<i>Oscillatoria</i> sp.(6.47)
	<i>Spirula</i> sp.(6.24)
	<i>Microcystis</i> sp.(26.23)
	<i>Phomidium tenue</i> (18.02)
	<i>Aulacoreia ambigua</i> (7.51)
11월	<i>Skeletonema costatum</i> (6.44)
	<i>Scenedesmus</i> sp.(5.89)
	<i>Actinastrum hantzschii</i> (5.83)
	<i>Cyclotella</i> sp.(17.65)
	<i>Melosira granulata</i> (13.08)
	<i>Chlorella</i> sp.(12.08)
9월	<i>Microcystis</i> sp.(10.05)
	<i>Aulacoseira ambigua</i> (9.87)
	<i>Synedra delicatissima</i> v. <i>angustissima</i> (5.17)

3.2 식물플랑크톤 현존량 분포

2006년 4회의 현장조사결과 식물플랑크톤 현존량을 표 2에 나타내었다.

5월 식물플랑크톤 현존량은 조사 정점에 따라 435 - 11,582cells/ml의 분포를 보였다. 현존량의 전반적 구배는 담수역(정점1, 2, 3) > 새만금호 내부 담수 혼합수역(정점4, 5) > 새만금호 외부 해수역(정점6, 7)의 완연한 형상을 나타내었다. 담수역 정점들 중에는 특히 김제계 수문(정점1)에서 더욱 많은 양적 특징을 보였다.

7월에는 조사정점에 따라 73 - 16,602cells/ml의 분포를 보여서 최대 현존량은 최소치의 200배가 넘는 정점간의 큰 차이를 보였다. 7월에도 담수역 정점들에서 규모가 큰 대발생이 지속되고 있었으며 특히 최대 현존량을 보인 정점3(언독대교)의 현존량 규모는 2005년 8월과 매우 흡사한 양상이며[14] 남조류의 대발생에 기인한 것이다. 한편 새만금호 내부의 정점들(정점4, 5)이 외해역(정점6, 7)보다 현존량이 작은 것은 5월과는 상반된 결과로서 여름철 방조제 안쪽의 수질환경은 식물플랑크톤 생장이 호조건이 되지못함을 시사한다.

9월은 222 - 11,935 cells/ml의 분포를 보이고 있다. 해수역 정점들은 정점 5를 제외하고는 대체로 적정 수준의 현존량을 보이고 있으며 정점 5는 *Skeletonema costatum* 이 다소 다량 출현하였으나 큰 무리는 없어 보인다.

11월 현존량은 109 - 26,601cells/ml의 분포를 보이고 있다. 최저, 최고 현존량의 정점들이 9월 조사와 동일한 결과를 보였으며 그 변화폭은 더욱 커져 최대 현존량은 최소치의 240배를 초과하고 있다. 즉 정점3의 경우 녹조류와 남조류 그리고 일부 규조류 종들이 총체적인 극심한 대발생을 일으키고 있어 녹조현상이 문제가 될 수 있다. 그에 미치지 않지만 정점1과 2의 경우도

10,000cells/ml이상의 현존량을 보여 심한 대발생으로 표현될 수 있다. 그러나 해수역 정점들은 모두 200cells/ml 미만의 소량 또는 보편적인 현존량으로 평가될 수 있을 것이다.

결론적으로 식물플랑크톤 현존량 분포는 담수역 정점들의 연중 대발생을 보고할 수 있으며 대발생 수준이 수시로 10,000cells/ml 이상을 기록하여 지속적인 감시가 필요할 것으로 생각된다.

[표 2] 조사시기별 식물플랑크톤 현존량 분포 (단위: cells/ml)

정점 \ 월	5월	7월	9월	11월
1	11,582	2,632	5,123	10,006
2	8,432	12,531	9,212	15,497
3	3,303	16,602	11,935	26,601
4	1,147	222	232	165
5	1,799	73	1,497	196
6	435	409	316	172
7	541	412	222	109

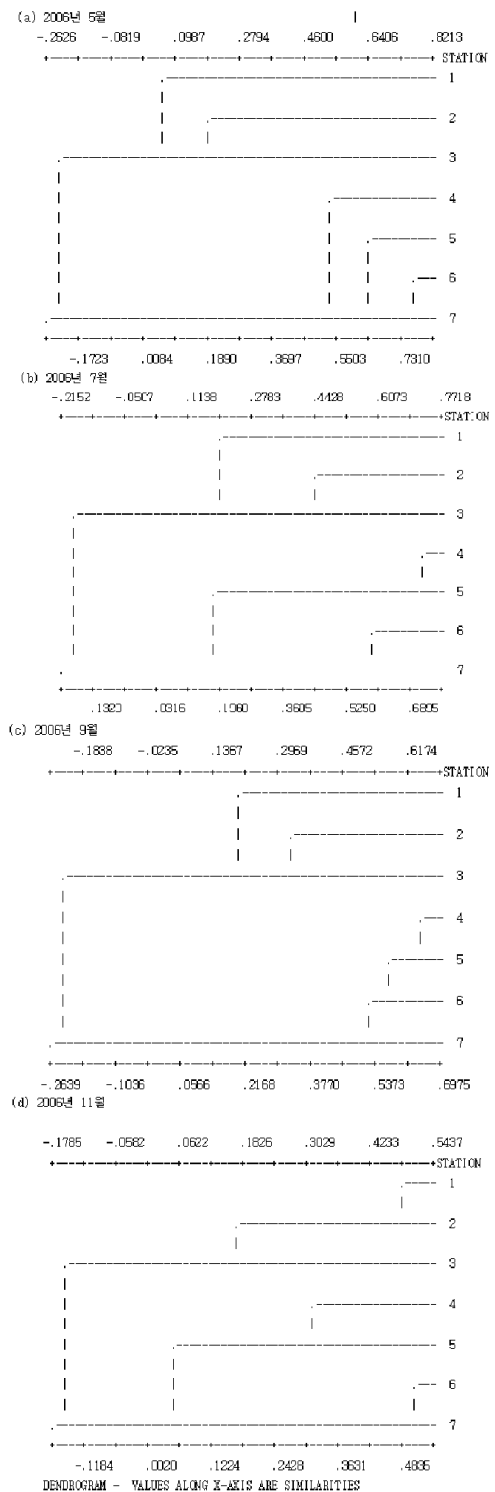
3.3 집괴분석

그림 2는 식물플랑크톤 정량분석자료에 의한 집괴분석 수치도 이다.

그림 2(a)는 5월의 결과이다. 담수 정점인 1,2,3의 수역과 해수역 정점인 4,5,6,7의 두 묶음으로 수역이 양분되는 것으로 나타났다. 그림 상에서 실질적으로 담수역 정점들은 상관성을 논하기 어려울 만큼 유사도가 낮다. 즉 정점 1,2,3은 해수의 식물플랑크톤 군집구조를 가지지 않았다는 공통점만 있을 뿐 김제제수문, 죽산교, 언독대교의 식물수문적 특성은 서로 간에 상이하(상관계수 0.2 이하).

그림 2 (b)는 7월의 결과로서 여름철 역시 담수역과 해수역이 확연히 구분되었다. 한편 7월의 결과에서는 특징적인 양상이 나타났다. 방조제 내부의 정점4와 5간의 상대적으로 높은 유사도(0.7) 및 방조제 바깥 정점들 끼리 높은 유사도(정점6과 7; 0.6이상)가 나타나 방조제를 경계로 새만금호 내부수역 및 외부수역으로 구분되는 식물수문적 수역 분리를 보여주었다. 이러한 방조제 안팎의 식물플랑크톤 군집구조에 따른 수역구분은 계절적 강우요인(장마)에 따른 염분 및 영양염류의 확연한 지리적 농도 차이에 의한 것으로 추정해 볼 수 있을 것이다.

그림 2(c)는 9월 결과로서 언제나 일치하는 담수역과 해수역을 구분짓고 있는데 담수역 정점들 간에는 사실 거의 상관성이 보이지 않는다. 단지 정점1,2,3이 해수역과 다른 수역임을 확인할 수 있을 뿐 담수역 정점들은 모두 다른 식물수문적 수역특성을 가진 수역으로 구분된다.



[그림 2] 조사정점간 식물플랑크톤 유사도지수에 근거한 집괴분석결과

한편 해수역 정점들은 그런대로 상관성이 있으며 특히 방조제 안쪽의 정점4와 5는 상대적으로 유사도가 높는데 이는 인접성과 아울러 새만금호 내부 해수의 원활한 혼합이 있었음을 시사하는 것이다.

그림 2(d)는 11월로 보편적인 클러스터링을 이루고 있지만 실질적으로 유사도지수는 낮다. 다만 집괴분석의 수지도에서 정점6과 7이 상대적으로 높은 유사도를 가지는 것으로 보여 방조제 바깥의 해수역의 경우는 그런대로 유사성을 가지는 것으로 추정할 수 있다. 그 이외의 모든 조사정점은 각기 다른 식물플랑크톤 군집 조성이라 요약될 것이다. 또한 연구수역은 방조제의 수문개폐가 식물수문적 수역구분의 변수가 될 수 있는 것으로 추정되지만 전 계절에 걸쳐 새만금호 안과 밖의 차이는 확연히 존재하였다.

4. 결론

새만금 방조제 물막이 공사 마무리 직후인 2006년 5월부터 11월까지 4회의 조사를 통해 방조제 안팎의 식물플랑크톤 군집구조와 식물수문적 수역특성을 연구하였다. 조사수역 식물플랑크톤의 우점종은 해수역의 규조류 우점현상 지속과 담수역의 규조류, 녹조류, 남조류의 시기적 변화 및 공존 현상으로 요약된다. 한편 담수역 정점들은 연중 식물플랑크톤 현존량의 대발생이 감지되었다.

집괴분석 결과 식물수문수역은 육수역과 해수역으로 크게 양분되는 모습을 보여주었고 조사시기별로 조사정점간의 유사도는 다소간의 변동이 지속되었다. 전반적으로 해수역 정점들은 방조제 내부인 새만금호 안쪽 정점들과 새만금호 외부의 정점들로 양분되는 경향이 있어 새만금 방조제는 식물플랑크톤에 의한 식물수문수역을 나누는 주요 결정요인인 것으로 보인다.

참고문헌

[1] 한국농촌공사, 새만금지구 간척종합개발사업사업단환경영향평가보고서, 2006.
 [2] 이태원, 황학빈, 황선완, “새만금 방조제 물막이 완공 후인 2006-2007년 새만금호 어류 종조성의 변화”, 한국해양학회지 바다, 제 12권, 3호, pp.191-199, 2007.
 [3] 김창수, 이상호, 손영태, 권효근, 이광희, 김영배, 정우진, “새만금 4호 방조제 완성 전후 HF 레이더로 관측된 표층 M2 조류의 변화”, 한국해양학회지 바다, 제 11권, 3호, pp.37-48.

[4] 김창수, 이상호, 손영태, 권효근, 이광희, 최병주, “새만금 연안역에서 HF radar에 의해 관측된 조하주기 표층해류의 변화”, 한국해양학회지 바다, 제 13권, 1호, pp.56-66.
 [5] 서승원, 조완희, 이화영, “새만금호 관리수위 유지를 위한 수문 운영방안모의”, 한국해양학회지 바다, 제 11권 4호, pp.133-144.
 [6] 길현중, 최미애, 최병래, “새만금의 해산 연체동물상”, 한국환경생물학회지 환경생물, 24권, 1호, pp.19-28.
 [7] 최윤, “새만금호 유어기 돌가자미(*Kareius bicoloratus*)의 성장과 서식환경” 한국환경생물학회지 환경생물, 27권 1호, pp.1-5.
 [8] I. Yamaji, Illustrations of the marine plankton of Japan. Hoikusha Publ. Co. Ltd., 1984.
 [9] 정준, 한국담수조류도감. 아카데미서적, 1993
 [10] 심재형, 한국동식물도감 제 34권 식물편(해양식물플랑크톤), 교육부, 1994.
 [11] 수자원연구소, 댐저수지의 조류 사진집, 2000.
 [12] J. Throndsen, Preservation and storage in "Phytoplankton manual" ed., A. Sournia, UNESCO, pp.69-74., 1978.
 [13] J. C. Davis, "Statistics and data analysis in geology", John Wiley & Sons, New York, 1973.
 [14] 한국농촌공사, 새만금지구 간척종합개발사업사업단환경영향평가보고서, 2005.

여 환 구(Hwan-Goo Yeo)

[정회원]



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

<관심분야>
 환경생태, 해양환경