

새만금 수역 부유성 미소조류의 다양성

여환구^{1*}

¹한서대학교 환경공학과

Diversity of Planktonic Micro Algae in Saemangeum Water Regions

Hwan-Goo Yeo^{1*}

¹Department of Environmental Engineering, Hanseo University

요 약 새만금 수역에서 2006년 5월부터 2007년 11월까지 8회의 조사를 통해 표영환경의 미소조류군집의 분류군 조성과 다양성지수 등을 연구하였다. 조사수역 미소조류군집의 출현종은 총 191종으로 규조류(Diatom) 94종, 녹조류(Chlorophyte) 31종, 와편모조류(Dinoflagellate) 24종, 남조류(Cyanophyte) 24종, 유글레나조류(Euglenophyte) 11종, 규질편모류(Silicoflagellate) 3종, 크립토타조류(Cryptophyte) 1종, 기타 미동정 미소편모조류 3종 등으로 구성되었다. 연구기간 동안 연구수역 미소조류군집의 다양성 지수는 시공간적으로 변화가 지속되어 일정한 변화의 규칙성을 찾기 어렵다. 이는 공사의 진행과 방조제 수문개폐에 따른 수질환경의 급변 등 인위적 요인이 부유성 미소조류에 스트레스로 작용한 것으로 보인다.

Abstract Taxonomic compositions and species diversities of the planktonic micro algae communities were investigated 8 times during the period from May, 2006 to November, 2007 in Saemangeum water regions. Total of 191 taxa were observed; 94 diatoms, 31 chlorophytes, 24 dinoflagellates, 24 cyanophytes, 11 euglenophytes, 3 silicoflagellates, 1 cryptophyte and 3 unidentified microflagellates. During the period of this study, diversity indices of the community were changed spatio-temporally and fluctuated irregularly. It was surmised that artificial factors to the water condition such as open and lock of the dike stressed to the planktonic micro algal groups.

Key Words : Saemangeum, Micro Algae, Diversity

1. 서론

수생환경의 부유성 미소조류 군집은 계절적인 군집 천이가 잘 보여지는 미생물 그룹으로 알려져 있다. 미소조류 군집은 표영환경(pelagic environment)의 미소생물환(microbial loop)에서 유기탄소를 저장, 이동시키고 세균에 비해 상대적으로 개체의 크기가 큰(수 μm 이상) 광합성 조류(algae) 집단을 의미한다.

새만금지구 간척종합개발사업은 전북 군산시, 김제시, 부안군에 인접한 하구역 40,100ha를 개발하는 사업이다 [1]. 물막이 공사를 전후하여 현재에 이르기까지 새만금 수역의 환경변화에 대해 다양한 연구가 지속되고 있다

[2-7]. 1991년 시작한 방조제 공사는 2010년 4월 준공되었고 정부는 새만금종합실천계획을 내놓았다[8]. 이는 외형적으로 방조제공사에서 내부개발로 넘어가는 공사방식의 전환을 의미할 것이다. 이러한 시점에서 미소생물상에 의한 새만금호 내부 및 외부의 표영 환경생태계 평가 및 모니터링은 역시 중요한 한 과제가 될 것이다. 본 연구는 미소생물상 중에서 독립영양 부유성 미소조류의 군집특성을 통해 새만금수역의 생태환경을 조명하고자 한다. 이들은 무기탄소를 유기물로 고정하는 능력을 가진 플랑크톤에 속하는 그룹의 용어이며 광합성 수행능력을 가진 일차생산자 지위의 집단이다.

방조제 건설 시작 이후 새만금 수역의 미소조류에 대

*교신저자 : 여환구(yeohg@hanseo.ac.kr)

접수일 10년 06월 29일

수정일 10년 07월 17일

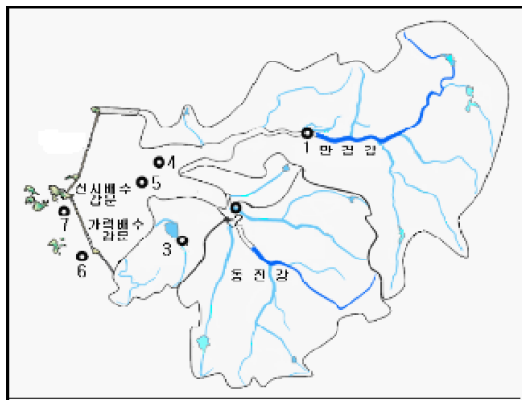
계재확정일 10년 09월 08일

한 연구는 여러 연구자들에 의해 최근까지 꾸준히 연구 되어왔다[9-11]. 본 연구는 최근 새만금호 안팎의 표영환 경 수역에서 미소조류 군집의 분류군별 특징과 다양성을 계절변동과 연관하여 파악하고자 수행되었다.

생물종 다양성(species diversity)은 생태계의 군집구조를 설명하는 지수중의 하나로서[12,13] 여러 생물그룹에 대한 다양성 연구가 진행되어 왔으나 국내의 경우 수생 식물 또는 하등 식물상은 다른 생물그룹에 비하여 상대적으로 연구가 미흡하다. 따라서 본 연구해역에서는 2006년부터 2007년까지의 새만금 수역 부유성 미소조류 군집의 종다양성 및 균등도, 우점도 등을 지수화시켜 어느 정도의 수준을 보이는 가를 가늠하고자 하였으며 향후의 연구에 장기적 변화모니터링의 기초자료로 제공될 수 있을 것이다.

2. 실험방법

2006년부터 2007년까지 2년간 부유성 미소조류 현장 시료의 채집은 그림 1에 나타난 새만금 수역 조사지점 7 곳에서 년 4회씩(5월, 7월, 9월, 11월) 2년간 총 8회에 걸쳐 수행되었다.



[그림 1] 새만금호 주변 연구수역 조사지점

조사지점은 육상부 담수역인 하천 3개 지점인 정점1(김제제 수문), 정점2(죽산교), 정점3(연동대교)과 새만금호 내부 정점4(만경수역), 정점5(동진수역) 그리고 방조제 외부 해역의 정점6(가력곶문 인근 비안도앞)과 정점7(신시곶문 인근 신시도 앞)이다.

2.1 미소조류 채집 및 분석

표영환경의 부유성 미소조류는 보편적으로 넛트 예인

을 통한 정성분석 시료와 해수시료를 고정하는 정량분석 시료로 대별된다[14]. 넛트는 입구 직경 30cm, 구경 56µm의 Norpac형이며 현장에서 수직 예인으로 미소조류의 정성시료를 채집하였다. 한편, 정량분석을 위한 시료는 500ml 채수병에 현장수를 채수하여 루골액으로 고정하고 광을 차단하여 보관 후 실험실에서 현미경 검경하였다. 현미경은 Nikon E600으로 최고 1,000배 확대하여 미소조류의 종 동정이 이루어졌다.

2.2 군집지수분석

미소조류군집의 구조를 파악하기 위해서 종다양성지수(H', species diversity index)는 Shannon-Wiener[15]의 공식(1)을 이용하였고 균등도지수(J', evenness index)(2)와 우점도지수(C, dominance index)(3)는 Pielou[13]의 공식을 이용하였으며, 그 식은 아래와 같다.

$$H' = -\sum P_i \times \log P_i \quad (1)$$

$$J' = H' / \log S \quad (2)$$

$$C = \sum n_i(n_i-1)/N(N-1) \quad (3)$$

위에서 S는 총 출현종수, P_i는 전체 개체수(N)에서 i번째 종이 차지하는 비율(n_i/N)이며 n_i는 i번째 종의 개체수를 의미한다.

3. 결과 및 고찰

3.1 부유성 미소조류 군집의 조성

2006년 5월부터 2007년 11월까지 2년간의 조사에서 미소조류군집의 출현종은 총 191종으로 그 구성이 표1과 그림2에 나타나 있다. 규조류(Diatom)가 94종으로 총 출현종수의 49.2%로 차지하여 압도적이다. 녹조류는(Chlorophyte)31종, 와편모조류(Dinoflagellates) 24종, 남조류(Cyanophyte) 24종, 유글레나조류(Euglenophyte)11종, 규질편모류(Silicoflagellate) 3종, 크립토조류(Cryptophyte) 1종, 기타 편모조류 3종 등으로 구성되었다.

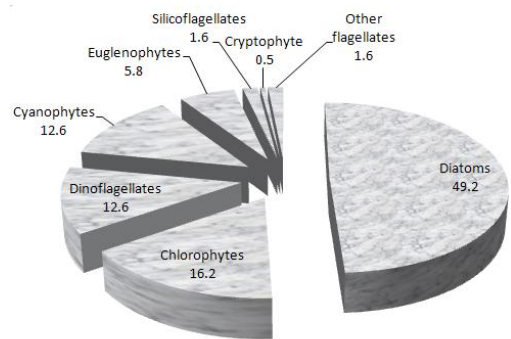
2006년 5월 특이한 사항은 와편모조류의 구성종수가 6종이나 되어 2005년의 결과보고[16]와는 비교되었다. 2005년 5월 조사에서 와편모조류의 출현이 없었던 것과 비교하면 매년 난수성 와편모조류 포자들이 해수역 정점에서 발아 시점이 가변적일 수 있음을 시사한다. 5월 와편모조류 6종 중에서 *Prorocentrum*속의 종이 4종에 달했다. 7월에는 구성종의 분류군별 정성적 특징이 5월과 조사와 큰 차이가 없었으며 일부 담수역(정점2, 3)에서 남조류 종들이 비교적 다양하게 출현했다. 9월에는 와편모

조류 종이 다수(10종) 출현한 것으로 요약되는데 이는 늦여름 해수역 정점들에서 비교적 고온의 수계 유지가 요인인 것으로 추정된다. 11월에는 가을철 들면서 해수역의 경우 와편모조류의 출현종수는 줄어들고 규조류의 출현종수가 늘어나는 일반적 양상을 보이고 있었다. 그 외의 분류군들은 큰 변화가 없었다. 2006년의 결과는 종합적으로 해수역의 규조류 우점현상 지속과 담수역의 규조류, 녹조류, 남조류의 시기적 변화 및 공존 현상으로 요약된다.

2007년 5월 중구성에서 발견된 점은 2005년 봄철 조사에서는 비출현하였던 와편모조류가 2006년 5월에는 6종 및 2007년 5월에는 9종으로 점점 출현종수가 늘어난다는 점이다[1, 16]. 7월에는 와편모조류가 11종으로 구성종수가 더 늘어났는데 이는 수온 상승과 관계있는 것으로 추정된다. 또한 남조류의 출현종이 증가하였다. 이는 정점2(죽산교)에서 상당히 큰 현존량으로 남조류 종들이 다수 출현하였는데 이러한 현상은 바람직하지 않은 것으로 보인다. 9월 구성종의 특징은 와편모조류의 빈약한 구성(2종)이 두드러지는데 이는 지속적인 강우에 따른 해양환경 서식여건의 변화 때문인 듯하였다. 한편 남조류는 9종이나 출현하여 2007년 조사기간 중 상대적으로 많은 출현 종수를 보였다. 특히 담수역 정점들과 정점 4, 5 등 방조제 내부에서는 출현량 또한 상당했던 것으로 조사되었다. 한편 11월에는 9월보다 와편모조류 종수가 상당수 늘었다. 이는 원활한 해수 유동의 결과 때문으로 보이며 방조제 내부인 정점4, 5 등에서 대발생을 일으킨 *Prorocentrum* 종들이 특이하였다. 녹조류 및 남조류 등의 담수종 조성은 9월과 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.

[표 1] 조사연도별 부유성 미소조류 출현종수

분류군	출현종수	년도	5월	7월	9월	11월
규조류 (Diatom)	94	2006	32	28	28	34
		2007	38	30	23	25
녹조류 (Chlorophyte)	31	2006	12	15	12	9
		2007	5	5	5	6
와편모조류 (Dinoflagellate)	24	2006	6	5	10	7
		2007	9	11	2	11
유글레나조류 (Euglenophyte)	11	2006	3	1	4	2
		2007	2	2	4	-
남조류 (Cyanophyte)	24	2006	2	6	5	3
		2007	2	6	9	5
규질편모조류 (Silicoflagellate)	3	2006	1	2	-	1
		2007	-	1	-	1
크립토조류 (Cryptophyte)	1	2006	1	1	1	1
		2007	1	1	1	1
기타 편모조류	3	2006	2	2	3	1
		2007	2	2	2	1



[그림 2] 각 분류군별 점유율(%)

3.2 군집지수의 분석

미소조류군집의 정량분석자료에 근거하여 다양성지수, 균등도 및 우점도지수를 산출하여 표 2에 나타내었다.

2006년 5월 다양성지수(Diversity)는 0.81(정점5) - 2.43(정점3)의 분포를 보였다. 당시 담수역 중 정점3(인독대교)의 다양성이 높은 것은 녹조류와 규조류 종들의 안정화된 안배에 기인한다. 따라서 늦봄까지 정점3의 미소조류 군집의 안정성을 긍정적으로 추정할 수 있다. 한편 정점5에서 다양성이 낮은 이유는 출현종수 자체가 10여종에 불과했고 *Skeletonema costatum* 단일종 극우점현상 때문이다.

7월 다양성지수는 0.35(정점4) - 2.40(정점3)의 큰 변화를 보였다. 정점4(새만금호 내부 만경수역)의 다양성이 극도로 낮은 이유는 매우 낮은 종부유도(출현종수 10종 미만)와 *Skeletonema costatum* 단일종의 우점에 기인한다. 한편 정점3의 다양성이 높은 이유는 규조류나 녹조류 및 남조류 우점종들이 비교적 큰 편차없는 현존량에 기인했다. 그러나 정점3의 높은 다양성지수와 균등도지수(0.85)만으로 정점3의 미소조류군집의 생태환경이 안정된 곳으로 판단하기에는 문제가 있을 것으로 보인다. 그 이유는 정점3에서 남조류의 대발생이 선행연구[17]에서 보고되었기 때문이다. 따라서 7월 정점3(인독대교)은 우점도가 낮고(0.10) 다양성 및 균등도가 높지만 수질과 생태환경 전반을 지속적으로 면밀히 검토할 필요가 있다.

9월 다양성지수는 0.75(정점5) - 2.08(정점3)의 수준으로 나타났다. 정점간 다양성지수의 공간적 분포로 특기할 만한 사항은 없으나 전반적으로 해수역 정점들이 다양성이 낮았다. 그러나 다양성지수만을 가지고 담수역이 해수역보다 안정된 생태환경이라고 말하기에는 무리가 있어 보인다. 그 이유는 담수역이 남조류 우점현상을 보였고 [17] 일반 수질의 남조류 우점현상은 바람직하지 않은 것으로 판단되기 때문이다.

[표 2] 조사수역 시기별 정점별 군집지수

조사시기	정점	다양성	균등도	우점도
2006년 5월	1	2.32	0.77	0.14
	2	1.52	0.55	0.38
	3	2.43	0.84	0.13
	4	1.91	0.67	0.21
	5	0.81	0.37	0.66
	6	1.37	0.6	0.39
	7	1.12	0.53	0.47
7월	1	2.33	0.79	0.14
	2	2.27	0.79	0.13
	3	2.4	0.85	0.1
	4	0.35	0.18	0.88
	5	1.13	0.51	0.54
	6	1.57	0.54	0.36
	7	1.73	0.61	0.29
9월	1	2.04	0.72	0.22
	2	1.93	0.69	0.22
	3	2.08	0.75	0.18
	4	1.79	0.7	0.31
	5	0.75	0.28	0.74
	6	0.81	0.31	0.72
	7	1.39	0.51	0.49
11월	1	1.53	0.6	0.32
	2	1.83	0.71	0.22
	3	1.91	0.69	0.19
	4	2.54	0.9	0.09
	5	2.7	0.92	0.08
	6	1.88	0.73	0.2
	7	1.58	0.68	0.3
2007년 5월	1	1.03	0.36	0.61
	2	1.85	0.68	0.22
	3	0.91	0.3	0.6
	4	1.95	0.76	0.17
	5	1.23	0.46	0.46
	6	0.6	0.23	0.79
	7	0.65	0.26	0.74
7월	1	1.99	0.73	0.24
	2	2.19	0.81	0.16
	3	2.2	0.81	0.16
	4	2.2	0.89	0.14
	5	2.17	0.75	0.23
	6	1.57	0.56	0.39
	7	2.3	0.83	0.16
9월	1	1.6	0.58	0.37
	2	1.88	0.79	0.2
	3	1.32	0.55	0.43
	4	1.63	0.68	0.29
	5	1.59	0.62	0.31
	6	1.11	0.48	0.54
	7	1.15	0.52	0.52
11월	1	2.44	0.88	0.12
	2	1.11	0.48	0.45
	3	2.02	0.71	0.21
	4	0.44	0.2	0.77
	5	1.21	0.46	0.48
	6	1.22	0.47	0.5
	7	1.18	0.54	0.52

11월 다양성지수는 1.53(정점1) - 2.70(정점5)의 수준으로 나타났다. 여타 조사시기에서 낮은 다양성지수를 기록했던 정점5의 다양성이 11월에는 상대적으로 가장 높았는데 이는 해수역 정점들에서 우점종이 따로 없이 종들의 균등도가 높은(0.92) 이유에 의한 것으로 평가된다. 물론 그러한 이유로 정점5(새만금호 내부 동진수역)는 우점도가 당시 공간적으로 최저치(0.08)를 기록하였다. 전반적으로 11월은 9월보다 다양성지수가 상승하였다.

2차년도인 2007년 5월 다양성지수는 0.60(정점6) - 1.95(정점4)의 분포를 보였다. 이러한 다양성지수의 범위는 상당히 낮은 수준으로 모든 정점에서 2.0에 미달했는데 이는 당시 전반적 미소조류군집의 불안정성을 보여주는 결과라 할 수 있다.

7월 다양성지수는 1.57(정점6) - 2.30(정점7)의 분포를 보여 5월보다 다소 상승하였다. 정점1과 6을 제외하고 여타의 모든 정점들이 2.0을 상회하고 있어서 장마기간인 여름철에 오히려 군집이 안정되어 있음을 시사한다. 장진강[10]은 방조제 내부 수역에서 2006년과 2007년 하계의 식물플랑크톤 우점종 변동을 비교한 결과, 방조제 완공 이전에 비해 완공 1년 후에 우점군의 밀도와 우점도지수가 감소하고 다양성지수가 증가하는 것으로 보고하였고 이로써 새만금호 내부 수역에서는 점차 군집의 안정화 경향이 나타날 것으로 예측하였다. 본 연구에서도 새만금호 내부인 정점 4와 5의 결과를 보면 7월의 경우 2007년에 2006년의 다양성지수보다 증가하였다.

9월 다양성지수는 1.11(정점6) - 1.88(정점2)의 분포를 보였다. 9월 다양성지수의 공간적 변화폭은 크지 않고 전 조사정점이 2.0에 미달하는 불안정한 군집구조를 나타낸 것으로 보인다. 또한 균등도지수도 0.48(정점6) - 0.79(정점2)에 불과하여 비교적 낮았다. 한편 우점도지수는 0.20(정점2) - 0.54(정점6)의 분포를 보여 다양성지수와는 역상관 관계를 보이기는 했지만 우점도지수 또한 낮았는데 이는 빈약한 종구성에 기인한 결과로 보인다.

한편 11월 다양성지수는 0.44(정점4) - 2.44(정점1)의 분포를 보여 정점 간 변화폭이 컸다. 정점4(새만금호 내부 만경수역)의 다양성이 상당히 낮은 것은 와편모조류인 *Prorocentrum minimum*의 극심한 적조(40,000cells/ml 이상) 때문이며 이는 우점도지수가 0.77이라는 높은 값을 만들게 한 요인이 된다. 박장호[11]는 방조제 축조 후 방조제 내측 수역은 조석영향의 감소로 인하여 난류의 감소로 와편모조류의 성장에 유리한 조건이 조성되는 것으로 추정했는데 본 연구에서도 동일하게 해석되는 결과가 나타났다. 당시 정점 4(새만금호 내부 만경수역)는 불안정성이 극심한 와편모조류 극우점의 군집 구조로 설명된다. 한편 정점1은 상대적으로 안정된 군집구조를 보였던

것으로 생각된다. 11월 조사에서 균등도지수는 0.20(정점 4) - 0.88(정점1)로 나타났고 우점도지수는 0.12(정점1) - 0.77(정점4)로 나타나 역시 정점1의 안정화와 정점4의 불안정성을 시사하였다.

4. 결론

새만금 수역에서 2006년 5월부터 2007년 11월까지 8회의 조사를 통해 표영환경의 미소조류군집의 분류군 구성과 다양성지수 등을 연구하였다. 조사수역 미소조류군집의 출현종은 총 191종으로 담수종과 해수종이 공존한다. 연구수역이 담수역 정점과 새만금호 내부의 정점 및 방조제 밖 외해역정점 등 크게는 세 개의 구역으로 나누어지기에 연구수역 전체의 공통적인 특징은 구조류 종들의 지속적인 출현 이외에는 거의 없다.

한편 미소조류군집의 다양성지수 또한 시공간적으로 변화가 지속되어 일정한 변화의 규칙성을 찾을 수 없다. 이는 연구수역이 공사의 진행과 방조제 수문개폐에 따른 수질환경의 급변 등 인위적 요인이 계절적요인 등의 자연적 요인과 함께 복합적으로 미소조류 군집에 영향을 끼치기 때문으로 생각된다. 따라서 인위적 스트레스가 지속되는 한 미소조류군집의 보편성을 기대하기는 어렵고 장기적인 미소조류군집의 생태적응 과정을 모니터링 하는 것이 필요할 것이다.

참고문헌

[1] 한국농촌공사, 새만금지구 간척종합개발사업사업단 환경영향평가보고서, 2006.

[2] 이태원, 황학빈, 황선완, “새만금 방조제 물막이 완공 후인 2006-2007년 새만금호 어류 종조성의 변화”, 한국해양학회지 바다, 제12권, 제3호, 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, 제11권, 제3호, pp.37-48, 2006.

[4] 김창수, 이상호, 손영태, 권효근, 이광희, 최병주, “새만금 연안역에서 HF radar에 의해 관측된 조하주기 표층해류의 변화”, 한국해양학회지 바다, 제13권, 제1호, pp.56-66, 2008.

[5] 서승원, 조완희, 이화영, “새만금호 관리수위 유지를 위한 수문 운영방안모의”, 한국해양학회지 바다, 제11권, 제4호, pp.133-144, 2006.

[6] 최정훈, “새만금 수역 및 간척지의 생태변화 조사”,

한국마린엔지니어링학회 공동학술대회 논문집, pp.325-327, 2009.

[7] 임형백, 최홍규, 이성우, “새만금, 군산자유경제구역의 생태관광 방향”, 환경교육, 제22권, 제4호, pp.53-65, 2009.

[8] 김성민, “2009 새만금 내부개발의 기본구상 및 종합 실천계획”, 산업연구원, 지역경제, 제5권, 제3호, pp.238-249, 2009.

[9] 박기홍, 김근용, 김창훈, 김학균, “새만금 해역에서 외편모조류의 시공간적 분포”, 한국수산학회지, 제37권, 제3호, pp.202-208, 2004.

[10] 장건강, “반폐쇄성 새만금 방조제 인근 수역 식물플랑크톤의 군집 변동”, 군산대학교 석사논문, 2008.

[11] 박장호, “새만금 방조제 내·외측 수역 식물플랑크톤 군집의 시간적 변동”, 군산대학교 석사논문, 2009.

[12] C. D. “McIntire, Diatom association in Yanguina estuary. Oregon”: A multivariate analysis. J. Phycol. 9, pp254-259, 1973.

[13] E. C. Pielou, “Ecological diversity”, Wiley-Interscience, New York, 165pp., 1975.

[14] 심재형, “플랑크톤 생태학”, 서울대학교 출판부, 2003.

[15] C. E. Shannon and W. Wiener, “The mathematical theory of communication”. Univ. Illionis Press, Urbana, 177pp., 1963.

[16] 한국농촌공사, 새만금지구 간척종합개발사업사업단 환경영향평가보고서, 2005.

[17] 여환구, “새만금호 안팎의 식물플랑크톤 군집과 식물수문적 수역특성” 한국산학기술학회논문지, 제10권, 제8호, pp.2021-2025, 2009.

여 환 구(Hwan-Goo Yeo)

[정회원]



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

<관심분야>
환경생태, 해양환경