

# 새만금 수역 식물플랑크톤 현존량의 경년(2001-2010) 변화

여환구<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>한서대학교 환경공학과

## Annual Variations(2001-2010) of Phytoplankton Standing Stocks in Saemangeum Water Region

Hwan-Goo Yeo<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Environmental Engineering, Hanseo University

**요 약** 새만금 방조제 건설기간에 해당하는 2001년부터 2010년까지 10년간 새만금 수역에서 식물플랑크톤 현존량을 조사하였다. 식물플랑크톤 현존량은 조사 시기 및 조사 정점에 따라 57 - 85,219 cells/ml의 큰 변화를 보였다. 새만금 호 내부 수역은 담수 및 해수의 유입량 변화와 계절변화에 기인하여 식물플랑크톤 현존량이 시공간적으로 변화하였다. 한편, 담수 정점들은 상시적으로 높은 현존량이 기록되어 녹조발생이 잦았으나 방조제 밖 해수역의 현존량은 보편적 범위에 있어왔다. 장기적 관점에서 방조제 물막이 공사 완공(2006년 4월)을 전후하여 비교할 때 식물플랑크톤 현존량의 큰 변화는 나타나지 않았다.

**Abstract** Phytoplankton standing stocks had been researched in Saemangeum water region from 2001 to 2010 below to the construction period of Saemangeum dike. The big change of phytoplankton standing stocks was shown, reaching 57 - 85,219 cells/ml according to the sampling seasons and stations. Inside of Saemangeum lake, a flux of fresh water and sea water made the phytoplankton standing stocks changed spatiotemporally. Meanwhile, the water bloom was frequent with continuously high standing stocks of fresh water stations and the standing stocks outside of the dike have been normal. In the long-term point of view, the standing stock did not show a big change comparing to the before and after of closing the dike(April, 2006).

**Key Words** : Phytoplankton standing Stock, Saemangeum, Water bloom

### 1. 서론

1991년 시작한 새만금 공사는 2006년 4월 방조제 물막이 공사가 완료되었다. 2009년 7월 정부는 새만금종합 실천계획을 내놓았고 2010년 4월 준공되었다. 그 후 2011년 3월 새만금종합개발계획이 확정되었는데 주요 내용은 동북아 경제중심지로서의 글로벌 미션을 담당하고, 새만금이 보유한 강점과 제약요인을 감안하여 8가지 용지(농업용지, 산업용지, 관광·레저용지, 국제업무용지, 과학·연구용지, 신·재생에너지용지, 도시용지, 생태·환경용지)를 설정하여 개발한다는 것이다[1].

본 연구는 새만금 수역 표영환경의 생태변화를 추적하

기 위한 일환으로 식물플랑크톤을 장기 관찰하였다. 정부 방침에 대한 새만금 세부실천계획 확정 즈음한 2001년 4월 부터 2010년 11월 까지 10여년간 새만금 수역에서 식물플랑크톤을 조사하였다.

연구기간의 중반에 해당하는 2006년 4월 새만금 방조제 물막이 공사가 완공됨에 따라 수환경 특성은 변화되어 왔고 수질 및 식물플랑크톤 연구는 그 이전부터 활발히 진행되어 왔다[2-5]. 한편 본 연구기간 중 단편적인 일부 자료에 의한 선행연구로는 2006년 당시의 식물수문학적 수역특성이 논의된 바 있으며 미소조류 다양성(2006-2007년 자료)으로 소개된 바 있다[6,7].

본 연구는 녹,적조를 문제의 핵심인 식물플랑크톤의

\*Corresponding Author : Hwan-Goo Yeo

Tel: +82-11-225-7450 email: yeohg@hanseo.ac.kr

접수일 12년 07월 10일

수정일 12년 08월 27일

게재확정일 12년 09월 06일

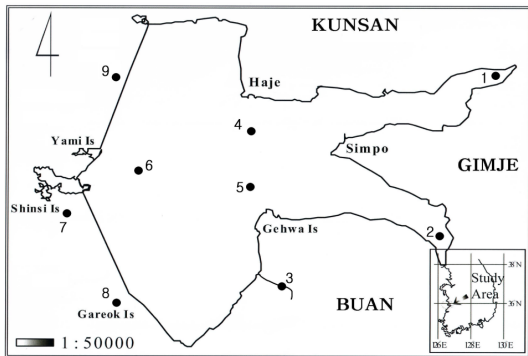
생물량을 현존량(cells/ml)의 관점으로 장기간 모니터링 하였다.

방조제 물막이 공사 완공 직후에 연구된 결과를 보면 새만금 수역의 수질이 만경강과 동진강 등 하천을 통한 담수와의 혼합 및 조석(tide), 강우등의 물리적 요인이 생물 성장에 중요한 요인으로 꼽히고 있다[3]. 따라서 본 연구 또한 식물플랑크톤이라는 생물요인의 변화를 시공간적으로 다변하는 본 연구 수역에서 하천, 인공호 및 해역의 관점으로 나누어 시기별로 고찰하였다.

## 2. 실험방법

### 2.1 조사 정점의 선정

2001년부터 2010년까지 10년간 식물플랑크톤 시료의 채집은 그림 1에 나타난 새만금 수역 조사지점 에서 년 4회씩(봄부터 가을까지) 10년간 총 40회에 걸쳐 수행되었다.



[그림 1] 새만금 연구수역의 조사정점  
[Fig. 1] Map showing sampling sites in Saemangeum water region

조사 전반부인 2001년부터 2005년 까지는 총 7개의 정점에서 채집을 수행하였는데 조사정점은 새만금 수역으로 유입되는 3개의 하천지점(정점1(만경계 수문), 정점2(죽산교), 정점3(연동대교))과 3개의 새만금호 내부 수역(정점4(만경수역), 정점5(동진수역), 정점6(합류부)) 및 방조제 밖의 외해역 신시갑문앞(정점7)에 위치한다. 방조제 연결 물막이공사가 완료된 2006년 4월부터는 2007년 말까지의 조사는 기존의 조사 정점 중 합류부 수역인 정점6을 제외했고 그 대신 가력배수갑문앞 외해역에 정점8을 추가하여 총 7개 정점(정점1,2,3,4,5,7,8)에서 채집하였다. 한편 2008년 이후에는 새만금 방조제 북단인 4호방조제 앞 외해역에 정점9를 추가하여 총 8개 정점(정점

1,2,3,4,5,7,8,9)을 조사하였다.

### 2.2 식물플랑크톤 현존량 분석

식물플랑크톤의 정량(현존량)분석을 위한 시료는 500ml 채수병에 현장수를 채수하여 루골액으로 고정하고 광을 차단하여 보관 후 실험실에서 현미경 검경하였다. 실험실에서는 시료를 48시간 이상 침전시켜 농축된 시료를 Sedgwick-Rafter Counting Chamber에 넣어 Nikon E-600 광학현미경하에서 종의 동정과 세포수를 계수한 후 원래 해수중 현존량으로 환산하였다[8].

## 3. 결과 및 고찰

2001년부터 2010년까지 10년간의 조사결과 새만금 수역 총 9개 정점에서 시공간별 현존량은 표 1에 나타난 바와 같이 변동폭이 매우 크다. 연구수역이 하천, 인공호수, 해양의 수역을 포괄적으로 포함하고 해수 및 하천수의 유동에 따라 생태환경이 급변하기에 식물플랑크톤 현존량은 57cells/ml (2005년 8월, 정점6) - 85,219cells/ml (2002년 10월, 정점3)의 변동폭을 보였다.

### 3.1 방조제 연결공사 완공 이전 (2001-2005)

조사 첫해인 2001년 연구수역 식물플랑크톤 현존량은 4회의 조사를 통틀어 137(10월, 정점6) - 17,117(10월, 정점3) cells/ml로 나타났고[그림 2], 4월에는 362(정점6) - 7,766(정점2)cells/ml의 분포를 보였다.

4월 정점별 최대 현존량은 최소 현존량 지점의 20배를 넘고 있어 그 차이가 현격하였지만 최소 현존량 지점인 정점6은 해수역으로서 일반적인 해역의 식물플랑크톤 현존량 수준이었다.

6월 현존량은 조사정점에 따라 139(정점4) - 16,345(정점2)cells/ml의 분포를 보여 공간적 변동폭이 4월보다 오히려 더 증가하였다. 최소 현존량 지점은 해수 성분의 만경호 예정 수역(정점4)이었으며 최대 현존량 지점은 4월과 동일한 죽산교 상류지역(정점2)이었다.

8월에는 339(정점6) - 8,201(정점3)cells/ml의 분포를 보였고 하천 정점과 해수 정점의 현존량 차이는 여전히 크게 나타났다. 해수 정점들만을 볼 때 6월보다는 현존량이 증가하여 4월과 유사한 수준에 이르렀다.

10월은 137(정점6) - 17,117(정점3)cells/ml의 분포를 보였다. 하천정점과 해수정점의 현존량 차이는 가을철에도 극명하게 나타났으며 하천 정점들의 현존량은 해수정점 현존량의 수십배에 이르렀다.

[표 1] 식물플랑크톤 현존량  
[Table 1] Phytoplankton standing stocks

(단위:cells/ml)

| Year | Month | St. 1  | 2      | 3      | 4      | 5      | 6     | 7     | 8     | 9      |
|------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|--------|
| 2001 | Apr.  | 6,241  | 7,766  | 1,677  | 510    | 633    | 362   | 427   |       |        |
|      | Jun.  | 4,861  | 16,435 | 11,478 | 139    | 392    | 285   | 246   |       |        |
|      | Aug.  | 5,331  | 622    | 8,201  | 501    | 417    | 339   | 560   |       |        |
|      | Oct.  | 7,628  | 9,176  | 17,117 | 159    | 226    | 137   | 261   |       |        |
| 2002 | Mar.  | 5,329  | 5,649  | 5,427  | 2,479  | 3,740  | 3,681 | 2,863 |       |        |
|      | May   | 6,086  | 7,384  | 3,522  | 3,413  | 3,150  | 2,906 | 3,678 |       |        |
|      | Aug.  | 5,605  | 8,042  | 6,090  | 209    | 255    | 232   | 338   |       |        |
|      | Oct.  | 7,440  | 20,149 | 85,219 | 188    | 317    | 239   | 296   |       |        |
| 2003 | Mar.  | 761    | 8,786  | 6,235  | 1,219  | 2,900  | 903   | 1,201 |       |        |
|      | May   | 2,395  | 2,772  | 8,699  | 538    | 485    | 3,757 | 439   |       |        |
|      | Aug.  | 4,728  | 26,435 | 29,261 | 409    | 397    | 463   | 530   |       |        |
|      | Oct.  | 2,539  | 15,686 | 16,208 | 227    | 325    | 170   | 172   |       |        |
| 2004 | Mar.  | 900    | 3,300  | 7,550  | 4,447  | 5,754  | 987   | 772   |       |        |
|      | May   | 875    | 2,763  | 5,175  | 6,113  | 2,899  | 2,581 | 5,704 |       |        |
|      | Aug.  | 1,651  | 3,370  | 16,238 | 389    | 735    | 443   | 804   |       |        |
|      | Oct.  | 3,679  | 14,641 | 16,164 | 307    | 298    | 371   | 288   |       |        |
| 2005 | Mar.  | 8,603  | 7,815  | 3,093  | 3,516  | 3,150  | 2,332 | 1,588 |       |        |
|      | May   | 12,121 | 7,812  | 9,694  | 2,358  | 220    | 475   | 699   |       |        |
|      | Aug.  | 4,095  | 9,602  | 19,948 | 971    | 183    | 57    | 60    |       |        |
|      | Oct.  | 4,905  | 5,620  | 4,798  | 387    | 251    | 209   | 107   |       |        |
| 2006 | May   | 11,582 | 8,482  | 3,303  | 1,147  | 1,799  |       | 541   | 435   |        |
|      | Jul.  | 2,632  | 12,531 | 16,602 | 222    | 73     |       | 412   | 409   |        |
|      | Sep.  | 5,123  | 9,212  | 11,935 | 232    | 1,497  |       | 222   | 316   |        |
|      | Nov.  | 10,006 | 15,497 | 26,601 | 165    | 196    |       | 109   | 172   |        |
| 2007 | May   | 1,126  | 44,062 | 25,650 | 2,370  | 1,280  |       | 2,105 | 1,245 |        |
|      | Jul.  | 868    | 5,119  | 1,810  | 123    | 566    |       | 500   | 761   |        |
|      | Sep.  | 8,588  | 1,133  | 3,702  | 596    | 14,223 |       | 328   | 310   |        |
|      | Nov.  | 501    | 9,498  | 8,125  | 48,783 | 2,424  |       | 212   | 925   |        |
| 2008 | Mar.  | 3,373  | 11,413 | 5,658  | 18,104 | 1,173  |       | 696   | 238   | 830    |
|      | Jul.  | 3,224  | 2,189  | 4,001  | 1,512  | 279    |       | 126   | 260   | 226    |
|      | Sep.  | 1,659  | 693    | 5,334  | 633    | 183    |       | 151   | 143   | 144    |
|      | Nov.  | 2,421  | 8,166  | 9,002  | 661    | 257    |       | 370   | 245   | 137    |
| 2009 | Mar.  | 5,617  | 2,402  | 1,877  | 242    | 77     |       | 526   | 506   | 311    |
|      | Jun.  | 4,340  | 4,493  | 1,877  | 1,574  | 429    |       | 107   | 113   | 129    |
|      | Sep.  | 1,991  | 779    | 4,018  | 628    | 262    |       | 291   | 259   | 321    |
|      | Nov.  | 3,080  | 12,690 | 3,088  | 646    | 129    |       | 1,550 | 179   | 182    |
| 2010 | Mar.  | 4,255  | 1,626  | 1,063  | 1,461  | 2,045  |       | 3,954 | 4,143 | 2,901  |
|      | Jun.  | 3,931  | 11,733 | 2,808  | 635    | 963    |       | 371   | 174   | 123    |
|      | Sep.  | 4,042  | 5,633  | 7,987  | 596    | 238    |       | 845   | 1,644 | 466    |
|      | Nov.  | 7,266  | 11,924 | 5,732  | 1,411  | 244    |       | 5,679 | 4,623 | 10,244 |

2002년 식물플랑크톤 현존량은 4회 자료를 통틀어 188(10월, 정점4) - 85,219(10월, 정점3) cells/ml로 나타났으며[그림 3] 전년도인 2001년과 동일하게 10월에 공간적 현존량 변동폭이 매우 컸다.

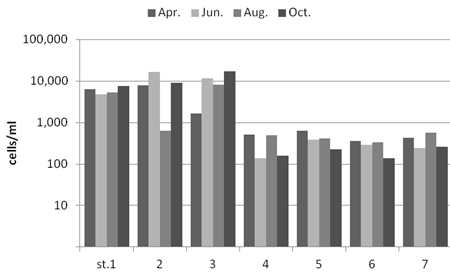
3월 현존량은 조사정점에 따라 2,479(정점4) - 5,649(정점2) cells/ml의 분포를 보였고 담수역 정점의 식물플랑크톤 현존량이 해수역보다 높은 것은 세포 크기가 작

은 미세조류 집단이 상당한 출현량을 보이기 때문에 나타나는 일반적 결과이다[9].

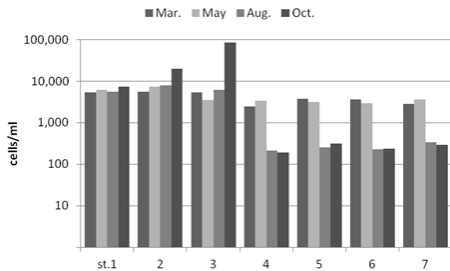
5월 현존량은 조사정점에 따라 2,906(정점6) - 7,384(정점2) cells/ml의 분포를 보였다. 해수역과 담수역 모두 3월보다 다소 증가한 현존량 분포를 보이고 있기에 3월 및 5월 결과 모두 담수역뿐 아니라 해수역에서도 봄철 대발생이 지속됨을 나타내었다.

8월에는 209(정점4) - 8,042(정점2) cells/ml의 분포를 보였고 여름철 해수역에서는 3월 및 5월에 비해 큰 감소를 보였다. 반면 담수역 정점들에서는 3월 및 5월과 유사한 수준 내지는 오히려 약간 증가하였다.

10월에는 188(정점4) - 85,219(정점3) cells/ml의 엄청난 공간적 변화폭을 기록하였다. 대체적인 공간분포의 특징은 여타 조사시기와 다름없이 담수역과 해수역의 현존량 차이가 크다는 점이다. 하지만 그 차이(변화량)가 8월보다 10배 이상으로 벌어지고 있었다는 점이다. 특히 정점3의 경우 극히 이례적인 수준의 식물플랑크톤 현존량(85,219 cells/ml)을 기록하고 있었다. 즉, 담수정점은 해수역 현존량의 수백 배의 농도를 보였고 이는 10년간의 조사기간 전체를 통틀어 최대의 농도이며 남조류, 녹조류, 규조류 종들의 혼합 녹조의 발생이었다.



[그림 2] 2001년 식물플랑크톤 현존량 분포  
[Fig. 2] Phytoplankton standing stocks, 2001



[그림 3] 2002년 식물플랑크톤 현존량 분포  
[Fig. 3] Phytoplankton standing stocks, 2002

2003년 현존량은 170(10월 정점6) - 29,261(8월, 정점3)의 분포를 보였다[그림 4].

3월 현존량은 조사정점에 따라 761(정점1) - 8,786(정점2)cells/ml의 분포를 보였다. 당시에는 다른 하천정점들과는 다르게 김제제 수문(정점1)에서 상대적으로 최저의 현존량을 보이고 있어서 해수역 식물플랑크톤 현존량에도 미치지 못하는 예외적인 결과를 보였다.

5월 현존량은 조사정점에 따라 439(정점7) - 8,699(정점3)cells/ml의 분포를 보였는데 신시도 앞(방조제 바깥 외해역 정점7) 외해역에서 최소의 현존량을 보였으며 담수역인 언독대교(정점3)에서 대발생이 나타났다. 또 다른 담수정점인 정점1과 2에서도 2,000cells/ml 이상의 대발생이 보였으나 현존량이 정점3에 미치지 못하는 못하였다. 해수역 정점들 중에서는 단지 정점6(만경-동진 합류부 수역)에서만 대발생 수준으로 나타나고 있었다.

8월에는 397(정점5) - 29,261(정점3)cells/ml의 변화를 보였고 정점2(죽산교 상류)와 정점3(언독대교)의 현존량은 20,000cells/ml을 초과하는 대규모의 녹조 발생 수준이었다.

10월의 현존량은 170(정점6) - 16,208(정점3)cells/ml의 분포를 보였고 따라서 전반적으로 8월에 비해 현존량이 줄어들기는 하였으나 담수역은 여전히 대발생 수준으로 나타났다.

2003년 4회의 현존량 조사 결과를 통틀어 볼 때 만경제 수문(정점1)에 비하여 죽산교와 언독대교(정점2와 3)는 훨씬 큰 식물플랑크톤 현존량이 기록되고 있어 녹조 현상이 장기적으로 지속되는 것으로 설명된다.

2004년의 식물플랑크톤 현존량은 288(10월, 정점7) - 16,238(8월, 정점3)cells/ml의 범위에 있었다[그림 5].

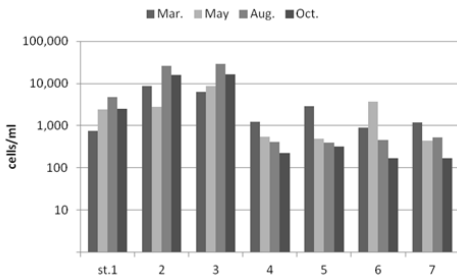
3월 현존량은 조사정점에 따라 772(정점7) - 7,550(정점3)cells/ml의 분포를 보였고 같은 담수역이라 할지라도 만경제 수문 정점1은 상대적으로 낮은 현존량이 나타나 죽산교 및 언독대교와는 아주 다른 양상이었다. 한편 해수역도 외해 쪽에서는 방조제 안쪽보다 상당히 낮은 현존량을 기록하였다.

5월 현존량은 조사정점에 따라 875(정점1) - 6,113(정점4)cells/ml의 분포를 보였다. 만경제 수문(정점1)을 제외하고는 식물플랑크톤 현존량이 대발생 수준이었다. 따라서 정점2와 3 즉, 죽산교와 언독대교는 녹조류 및 규조류(*Fragilaria crotonensis*) 일부종에 의한 대발생을 보였고 해수역(정점4,5,6,7)은 *Leptocylindrus danicus*의 극우점 대발생에 기인한 높은 수준의 현존량을 기록하였다.

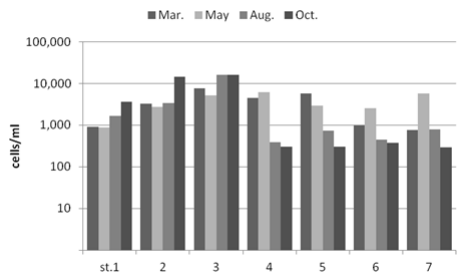
8월 현존량은 389(정점 4) - 16,238(정점 3)cells/ml의 분포를 보였다. 하천정점들은(정점1, 2, 3)은 대발생 수준(1,000cells/ml 이상)으로 나타났으며 해수역 정점들은 모두 1,000cells/ml 이하의 현존량을 보이고 있었고 외해역(정점 7)에서 상대적으로 다소 큰 현존량(804 cells/ml)의 분포를 보여 하절기에 담수의 영향이 적은 외해역에서는 연안성 식물플랑크톤 현존량이 다소 증대된 것으로 나타났다.

10월 현존량은 288(정점7) - 16,164(정점 3)cells/ml의 분포를 보였고 담수 정점들의 대발생은 8월 조사와 변함

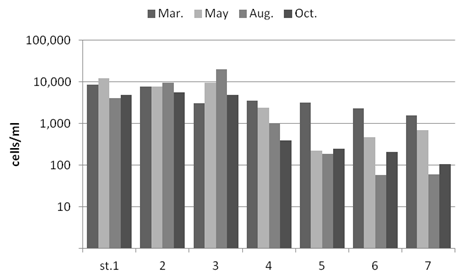
없이 이어지고 있었다. 한편, 해수역 정점들은 현존량이 상대적으로 낮은 분포(300cells/ml 내외)를 나타내었다. 따라서 2004년 4회의 조사기간 중 3월 및 5월의 경우에는 해수역 정점들의 식물플랑크톤 현존량이 상당히 높았으나 8월과 10월에는 해수역 식물플랑크톤 현존량이 현저히 낮아지는 시기별 변화를 보였다. 또한 담수정점 중 정점2와 3(죽산교, 언독대교)은 연중 상시적으로 대발생 수준이었다.



[그림 4] 2003년 식물플랑크톤 현존량분포  
[Fig. 4] Phytoplankton standing stocks, 2003



[그림 5] 2004년 식물플랑크톤 현존량분포  
[Fig. 5] Phytoplankton standing stocks, 2004



[그림 6] 2005년 식물플랑크톤 현존량분포  
[Fig. 6] Phytoplankton standing stocks, 2005

2005년 전체의 현존량은 57(8월, 정점6) - 19,948(8월, 정점3)의 변동을 보였다[그림 6].

3월에는 1,588(정점 7) - 8,663(정점 3)cells/ml의 분포를 보였는데 담수 및 해수역 정점 모두에서 1,000cells/ml 이상의 대발생 수준으로 기록되었으며 타 조사 시기에 비해 해수역 정점들의 현존량이 상대적으로 높다. 물론 공간적 비교에서 담수역 정점들 보다 현존량이 작기는 하지만 *Skeletonema costatum*과 *Paralia sulcata*가 이끄는 대발생으로 설명할 수 있다. 이상의 규조류 종들은 일반적인 서해 연안의 주요종으로 알려져 있다[10].

담수역 정점들 중에는 정점 1(만경제 수문)에서 최대 현존량을 보였는데 이는 전년도의 결과와는 상당한 차이가 있다. 즉, 2004년 3월 정점1은 담수 정점 중 최소의 현존량(900cells/ml)을 보였는데 2005년에는 정반대의 결과가 나타났다[표 1]. 따라서 매년 현존량의 결과치는 계속 변동하는 것으로 요약된다.

5월에는 220(정점5) - 12,121(정점1) cells/ml의 분포를 보였고 해수역 식물플랑크톤 현존량은 3월에 비해 현저히 낮아져 봄철 대발생이 마감되었음을 시사하였다. 2004년에는 5월에 해수역 대발생이 보였던 점을 감안한다면 2005년에는 해수역 대발생 시점이 전년도보다 앞당겨진 것으로 해석된다. 하지만 담수역(정점1,2,3)은 여전히 대발생 수준으로 해수역의 현존량 수준과는 완전히 구분되었다.

8월은 57(정점6) - 19,948(정점3)cells/ml의 막대한 편차를 보였다. 정점6과 7이 모두 60cells/ml이하의 극도로 빈약한 현존량을 보인 것은 해수중의 정상적 분포를 저해하는 환경요인이 있었기 때문으로 추정된다. 반면 20,000cell/ml에 육박하는 정점3의 경우는 영양염 농도가 높은 물의 대규모 남조류의 운반 및 대발생의 결과로 풀이된다.

한편, 10월에는 107(정점7) - 5,620(정점2)cells/ml의 범위에 있었고 정점간의 현존량 편차는 8월에 비하면 다소 완화되었으나 담수역 정점들의 대발생은 연중 지속적으로 나타났다. 물론 정점1,2,3의 대발생 촉발종들은 다소 상이하였으나 각기 다른 남조류 종들이 각각 지점별 대발생을 자극한 것은 분명해 보인다.

### 3.2 방조제 연결공사 완공 이후 (2006-2010)

2006년 4월 새만금방조제 물막이 공사가 완공되었고 [6] 그해 현장조사는 5월부터 실시되었다.

2006년 식물플랑크톤의 현존량은 4회의 조사를 통해 73(7월, 정점5) - 26,601(11월, 정점3) cells/ml의 범위에 있었다[그림 7].

5월에는 435(정점8) - 11,582(정점1)cells/ml의 분포를 보였고 전반적 구배는 담수역(정점1, 2, 3) > 방조제 내부 담수 혼합수역(정점4, 5) > 방조제 바깥 해수역(정점7, 8)

의 완연한 형상을 나타내었다.

7월에는 73(정점5) - 16,602(정점3)cells/ml의 현존량 분포를 보여서 최대치는 최소치의 200배가 넘는 큰 차이를 보였다. 5월과 동일하게 7월에도 담수역 정점들에서 규모가 큰 대발생이 지속되고 있었으며 특히 최대 현존량을 보인 정점3(언독대교)의 현존량은 그 규모가 전년도인 2005년 8월과 매우 흡사한 양상이었다. 한편, 새만금호 내부 정점들(정점4, 5)이 외해역(정점 7, 8)보다 현존량이 작은 것은 5월과는 상반된 결과로서 여름철 방조제 내부 수질이 식물플랑크톤 생장이 호조건이 되지못함을 시사하였다.

9월에는 222(정점7) - 11,935(정점3)cells/ml의 분포를 보이고 있었다. 해수역 정점들은 정점 5를 제외하고는 대체로 적정 수준의 현존량을 보이고 있었으며 정점5는 *Skeletonema costatum*이 다소 다량 출현하였으나 큰 무리는 없어 보였다. 담수역 정점들 중 정점3(언독대교)은 큰 대발생이 7월부터 지속되고 있었다.

11월에는 109(정점7) - 26,601(정점3)cells/ml의 분포였으며 최저, 최고 현존량의 정점들이 9월과 동일한 결과를 보였으며 그 변화폭은 더욱 커져 최대 현존량은 최소치의 240배를 초과하고 있었다. 정점3의 경우 녹조류와 남조류 그리고 일부 규조류 종들이 총체적인 극심한 대발생을 일으키고 있어 늦가을까지도 녹조현상이 문제가 될 수 있음이 우려되었다. 그에 미치지지는 않지만 정점1과 2의 경우도 10,000cells/ml이상의 현존량을 보였다. 그러나 해수역 정점들은 200cells/ml 미만의 소량 또는 보편적인 현존량을 보였다.

2007년 현존량은 123(7월, 정점4) - 48,783(11월, 정점4)의 변화를 보여 정점4는 연중 변화폭이 당시 조사정점들 중 최대였다(그림 8).

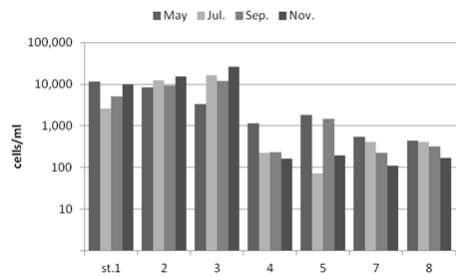
5월 현존량은 조사 정점에 따라 1,245(정점6) - 25,650(정점3)cells/ml의 분포를 보여 모든 정점에서 대발생이 나타났고 수평적 구배는 역시 담수역 정점들의 현존량이 상대적으로 더 컸다.

7월에는 123(정점4) - 5,119(정점2) cells/ml의 분포를 보였는데 이런 분포는 5월보다 낮은 수준이며 정점2(죽산교)의 경우만 몇몇의 남조류 종들이 집중적으로 높은 현존량을 보이고 있어서 타정점과 비교되었고 동진강 하구 담수 유입에 의한 수질조건과 상관이 있는 현상으로 생각되었다.

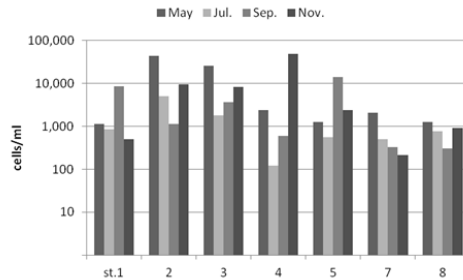
9월 현존량은 310(정점8) - 14,223(정점5) cells/ml의 분포를 보였고 정점5에서는 연안 보편종인 규조류 중 *Skeletonema costatum*이 상당량 나타났기 때문에 현존량이 증가하였다. 한편 방조제 밖(정점7,8)은 낮은 현존량을 보여 정점5와 대비되었다. 정점1,2,3 등 담수역 정점들은

남조류 생물량이 지속적으로 높았다.

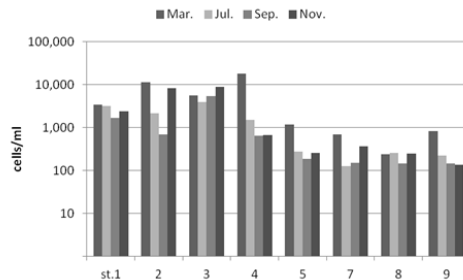
11월 현존량은 212(정점7) - 48,783(정점4)cells/ml의 분포를 보였는데 방조제 밖은 상대적으로 적은 현존량이 기록된 반면 방조제 내부는 정점1을 제외하고는 대발생 수준이었다. 특히 정점4의 막대한 현존량도 와편모조류인 *Prorocentrum minimum*(>40,000cells/ml)과 *Prorocentrum triestinum*(>5,000cells/ml)의 고농도 적조현상 때문이었다[7]. 당시 정점4의 대규모 적조현상의 원인은 영양염 및 기타 수질자료와 상관성이 있을 것으로 생각된다.



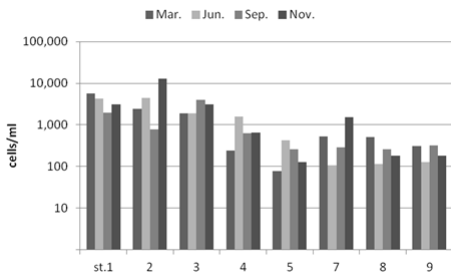
[그림 7] 2006년 식물플랑크톤 현존량분포  
[Fig. 7] Phytoplankton standing stocks, 2006



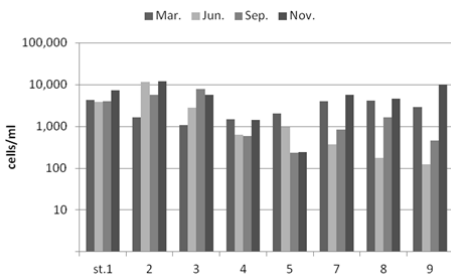
[그림 8] 2007년 식물플랑크톤 현존량분포  
[Fig. 8] Phytoplankton standing stocks, 2007



[그림 9] 2008년 식물플랑크톤 현존량분포  
[Fig. 9] Phytoplankton standing stocks, 2008



[그림 10] 2009년 식물플랑크톤 현존량분포  
[Fig. 10] Phytoplankton standing stocks, 2009



[그림 11] 2010년 식물플랑크톤 현존량분포  
[Fig. 11] Phytoplankton standing stocks, 2010

2008년 현존량은 126(7월 정점7) - 18,104(3월, 정점4) cells/ml의 범위였다[그림 9].

3월 현존량은 조사 정점에 따라 238(정점8) - 18,104(정점4) cells/ml의 분포를 보였고 정점1부터 5까지 즉, 담수정점들과 염분이 30psu 미만의 방조제 내부 정점들[11]은 모두 현존량이 1,000cells/ml 이상인 반면 외해역 정점 7, 8, 9는 1,000cells/ml 이내의 현존량을 보여 담수역과 대비되었다.

7월 식물플랑크톤 현존량은 126(정점7) - 4,001(정점3)cells/ml의 분포를 보였고 정점1,2,3,4의 경우 1,000cells/ml 이상의 현존량을 보여 대발생 수준으로 설명된다. 그러나 정점5의 경우는 정점 4와 인접해 있으나 현존량이 높지 않은데 이는 일시적인 차이일 것으로 추측된다.

9월 식물플랑크톤 현존량은 143(정점8) - 5,334(정점3)cells/ml의 분포를 보였으나 방조제 바깥 외해 정점들(정점7,8,9)은 모두 200cells/ml 이내에 머물렀다.

11월 현존량분포는 137(정점9) - 9,002(정점3)cells/ml의 분포를 보였다. 수온이 점차 떨어지는 11월 결과임에도 정점2,3은 8,000cells/ml 이상의 고농도 대발생이 유지되었다. 물론 세포크기가 매우 작은 담수종들의 개체수기에 염록소와 같은 생물량은 과도하지 않을 수 있으나

바람직스럽지는 못한 결과이다.

2009년 현존량은 77(3월, 정점5) - 12,690(11월 정점3) cells/ml의 분포를 보였다[그림 10].

3월에는 77(정점5) - 5,617(정점1)cells/ml이었고 만경제수문(정점1)은 *Cyclotella* sp.의 대량발생으로 인해 최고의 현존량이 기록되었다.

6월은 107(정점 7) - 4,493(정점 2)cells/ml의 분포를 보였다. 당시에는 거리상으로 인접하지만 정점4와 5의 현존량이 상당한 차이를 보이고 있었다. 정점4(심포)는 담수영향을 많이 받은 것으로 보이며 현존량도 비교적 컸다. 반면 정점5(계화)는 대체로 해수종으로 구성되었고 현존량도 낮은 차이를 보였다. 이상의 결과는 새만금호 내부의 생태환경이 시공간적으로 다변하는 것을 추정케 한다.

9월에는 259(정점8) - 4,018(정점3) cells/ml의 분포를 보였는데 담수역 정점들 중 인독대교에서는 특히 높은 현존량이 기록되었고 방조제 내부와 외해역 간의 큰 차이는 보이지 않았다.

11월에는 129(정점5) - 12,690(정점2) cells/ml의 분포를 보였고 방조제 내부인 정점4(심포)에서 *Prorocentrum* 속의 와편모조류가 상당량 (100cells/ml 이상) 출현하여 11월의 결과로는 새로운 현상이었다.

2010년 식물플랑크톤 현존량은 123(6월, 정점9) - 11,924(11월, 정점2) cells/ml의 범위에 있었다[그림 11].

3월은 1,063(정점3) - 4,255(정점1)cells/ml의 분포를 보였고 모든 조사정점에서 1,000cells/ml 이상의 대발생이 나타났는데 이는 봄철 대발생이 이미 3월에 해수역에서도 발생했음을 시사한다. 만경제 수문 정점1은 2009년 3월 조사에서와 동일하게 담수정점 중에서도 최대 현존량을 보임으로서 초봄 대발생의 촉진요인이 있는 것으로 보인다.

6월에는 123(정점9) - 11,733(정점2) cells/ml였고 해수역 정점들은 모두 1,000cells/ml 미만의 현존량이 나타났으며 특히 외해역은 방조제 내부에 비해 적은 양을 나타내었다.

9월에는 238(정점5) - 7,987(정점3) cells/ml의 분포를 보였는데 해수역은 공간 변화가 비교적 컸다. 정점8의 경우 1,000cells/ml 이상의 현존량을 보여서 방조제 밖 해수역은 서서히 가을철 생물량 증대가 나타나기 시작하였다.

11월의 결과는 공간적으로 244(정점5) - 11,924(정점2) cells/ml의 큰 현존량 변화를 보였다. 계화도 인근 정점5를 제외한 모든 조사정점에서 4,000cells/ml 이상의 대규모 대발생을 보였다. 9월 조사에서는 외해역의 경우 정점8의 경우만 소규모 대발생 조짐이 나타났으나 11월 조사에서는 외해역의 경우에도 대규모 대발생이 관측되었다.

따라서 새만금 외해역의 경우 2010년의 경우 초봄 대발생과 늦가을 대발생이 해수역 식물플랑크톤 계절변화 특징으로 요약된다.

#### 4. 결론

2001년부터 2010년 조사기간 동안 식물플랑크톤 현존량은 조사 시기 및 조사 정점에 따라 57 - 85,219 cells/ml의 큰 변화를 보였다. 새만금호로 유입되는 하천수 정점들에서는 상시적으로 큰 식물플랑크톤 현존량이 기록되었고 잦은 녹조의 발생이 있어왔는데 이러한 결과는 방조제 완공 이전부터 최근까지 일관된 모습이다.

새만금호 내부인 만경, 동진호 예정수역의 상황은 담수 및 해수의 유입량변화와 계절변화에 기인하여 식물플랑크톤의 현존량이 급변하였다.

방조제 밖의 외해역은 보편적 온대역 연안 식물플랑크톤 현존량의 계절변화 추이를 보이고 있었다. 그러나 최근으로 오면서 외해역의 경우 식물플랑크톤 대발생의 빈도가 다소 잦아진 것으로 추정된다.

방조제 물막이 공사전후의 식물플랑크톤 현존량 비교에서는 유의적인 변화를 찾을 수는 없었다 그러나 연구수역 식물플랑크톤 현존량은 단기적인 시공간 변화의 변동폭이 큰 지역이기에 지속적인 모니터링이 필요할 것으로 보인다.

#### References

[1] Saemangeum Development Committee, "Master Plan of Saemangeum", 2011.

[2] Y. D. Yoo, et al., "Outbreak of Red Tides in the Coastal Waters off the Southern Saemankeum areas, Jeonbuk, Korea", *The Sea: Journal of the Kor. Soc. of Oceanography*, Vol. 7, No. 3, pp. 129-139, 2002.

[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] J. H. Park, "Temporal Variation in the Phytoplankton Community in the Waters inside and Outside of the Saemangeum Dike, Korea", Master Thesis of Kunsan National Univ., 2009.

[5] Y. G. Kim, et al., "Cyclic Change of Phytoplankton Community in Mankyeong River Estuary prior to the Completion of the Saemankeum Seawall" *Ocean and Polar Res.*, Vol. 31, No. 1, pp. 63-70, 2009.

[6] 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.

[7] 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.

[8] J. Thronsen,., "Preservation and storage" in "Phytoplankton manual" ed., A. Sournia, UNESCO, pp. 69-74, 1978.

[9] J. H. Shim, et al., "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", *The Journal of the Oceanological Society of Korea*, Vol. 26, No. 2, pp. 155-168, 1991.

[10] J. K. Choi, et al., "The Plankton Ecology of Korean Coastal Waters" *Donghwa Tech. Publ. Co.*, pp. 30- 47, 2007.

[11] Korea Rural Community Corporation (KRC), "Environmental Impact Report on Saemangeum Project", 2008.

여 환 구(Hwan-Goo Yeo)

[정회원]



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

<관심분야>  
환경생태, 해양환경