Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society
Vol. 14, No. 11 pp. 6008-6014, 2013

http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2013.14.11.6008

동해 울산항에서 이화학적 환경요인 및 크기그룹별 식물플랑크톤 생체량의 계절적 변동

권오윤[1,2], 강정훈[2*]
[1]상명대학교 그린생명과학과, [2]한국해양과학기술원 남해특성연구부

Seasonal variation of physico-chemical factors and size-fractionated phytoplankton biomass at Ulsan seaport of East Sea in Korea

Oh Youn Kwon[1,2] and Jung-Hoon Kang[2*]
[1]**Department of Green Life Science, SangMyung University**
[2]**South Sea Environment research Division, Korea Institute of Ocean Science & Technology**

요 약 울산항의 물리 및 이화학적 요인과 크기그룹별 식물플랑크톤 생체량의 계절변이 이해를 위해, 2007년 2월부터 2009년 11월까지 계절 조사를 수행하였다. 조사기간 중 수온과 염분은 각각 8.94-24.26℃와 25.06-34.54 psu의 범위에서, 용존산소는 4.30-10.73 ㎎/L, 수소이온농도는 7.97-8.53, 화학적 산소요구량은 0.66-40.70 ㎎/L, 그리고 총 부유물질은 57.4-103.3 ㎎/L의 범위에서 변이를 나타냈다. 이 요인들은 무기영양염과 생체량을 지시하는 총 엽록소-*a* 농도 분포특성과 달리 뚜렷한 공간적 분포차이가 없었다. 무기영양염 중 인산염은 0.01-3.03 μM의 범위에서, 질산염은 0.05-21.62 μM, 그리고 규산염은 0.01-27.82 μM의 범위에서 변이를 나타냈는데, 특히 내측정점의 농도가 외측정점에 비해 약 2배 이상 높은 특징을 나타냈다. 총 엽록소-*a* 농도는 0.36-7.11 $\mu g\,L^{-1}$의 범위로, 내측정점 (평균 1.88 $\mu g\,L^{-1}$)에서 외측정점 (평균 0.90 $\mu g L^{-1}$)에 비해 높게 나타나 무기영양염의 분포특성과 유사하였다. 소형플랑크톤은 봄철 (34.0-81.2%), 여름철 (35.1-65.6%) 및 겨울철 (3.9-62.0%)에 전체 생체량의 높은 비율을 차지했고, 가을철에는 미소 및 초 미소플랑크톤이 각각 58.2-74.5%와 22.4-38.2%의 높은 비율을 나타냈다. 그러나 각 크기그룹별 생체량의 점유율의 내측 및 외측 정점 간의 공간분포는 뚜렷한 차이가 없었다. 따라서 동해 울산항의 식물플랑크톤은 계절적으로 가을철을 제외한 모든 시기에 소형플랑크톤 그룹 (평균 52.3%)에 의해 주도되었고, 이는 무기영양염의 농도와 밀접함을 지시하였다 (p<0.05).

Abstract This study aimed to understand seasonal variation of physico-chemical factors and biomass of size-fractionated phytoplankton at Ulsan seaport during the period from February 2007 to November 2009. Water temperature, salinity, dissolved oxygen (DO), pH, chemical oxygen demand (COD) and total suspended solid (TSS) varied in the range of 8.94-24.26℃, 25.06-34.54 psu, 4.30-10.73 ㎎/L, 7.97-8.53, 0.66-40.70 ㎎/L and 57.4-103.3 ㎎/L, respectively. These factors showed no clear spatial variation unlike spatial pattern of inorganic nutrients and total chlorophyll-*a* (chl-*a*) concentration as biomass. Concentration of phosphate, nitrate and silicate ranged from 0.01 to 3.03 μM, 0.05 to 21.62 μM, and 0.01 to 27.82 μM, respectively, with 2 times higher concentration at inner stations than that at outer stations during the study period. Within the range of total chl-*a* concentration (0.36-7.11 $\mu g\,L^{-1}$), higher concentration (avg. 1.88 $\mu g\,L^{-1}$) of total chl-*a* were observed at inner stations compared to that (avg. 0.90 $\mu g L^{-1}$) at outer stations. Micro-sized phytoplankton dominated total biomass of phytoplankton in spring (34.0-81.2%), summer (35.1-65.6%) and winter (3.9-62.0%). Nano- and pico-sized phytoplankton contributed 58.2-74.5% and 22.4-38.2% to total biomass of phytoplankton in autumn, respectively. However, contribution in biomass of size-fractionated phytoplankton to total phytoplankton biomass showed no clear difference between inner and outer stations. Consequently, these results indicated that spatio-temporal distribution of phytoplankton biomass at Ulsan seaport was dominated by micro-phytoplankton (avg. 52.3%) during the study period except autumn, which was closely dependent on the concentration of inorganic nutrients (p<0.05).

Key Words : Micro-phytoplankton, Physico-chemical factors, Phytoplankton biomass, Ulsan seaport

본 논문은 한국해양과학기술원의 연구과제 [동해 해양환경 및 생태계 변동감시 체제 구축 (PE98921)]로 수행되었음.
*Corresponding Author : Jung-Hoon Kang(Korea Institute of Ocean Science & Technology)
Tel: +82-55-639-8517 email: jhkang@kiost.ac
Received October 1, 2013 Revised November 6, 2013 Accepted November 7, 2013

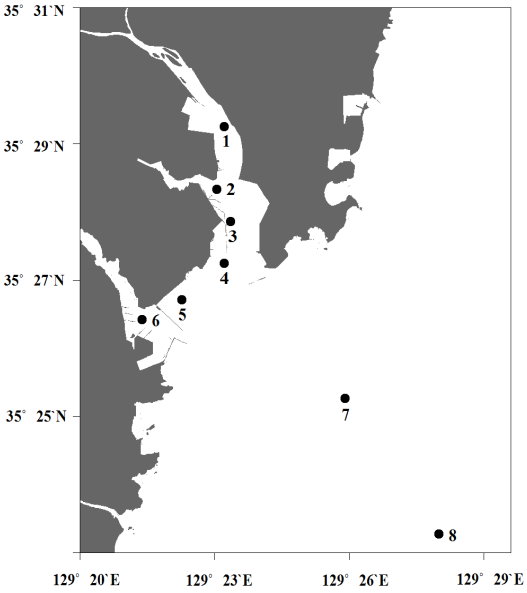
1. 서론

울산항은 대한민국 동해연안 동남단에 위치한 국내 최대규모의 산업항으로, 해안선 전체 길이가 58 ㎞, 항내 수면적이 116 ㎢, 수심이 4 - 27m에 이르는 국가 기간산업의 전략적 거점 항이다[1]. 울산 본항과 온산항, 및 미포항으로 이루어진 울산항은, 우리나라 전체 물동량의 65% (2002년 기준)를 처리하는 중추적 역할을 담당하는 국내 최대 에너지공급 지원항이다. 또한 항만 개발 사업을 통해 해안선 및 수심의 변화와 육상 부대시설 증강에 따른 오염물질 유입이 지속적으로 진행되는 곳이기도 하다.

항구는 수많은 선박이 드나들며 화물이 대량으로 선적 및 하역되는 곳으로 배에서 배출되는 선박 평형수(ballast water)에 직접적으로 노출되는 곳이다. 선박평형수를 통해 수송된 다양한 해양생물들은 새로운 환경에 적응하지 못하고 대부분 사멸하나, 이를 극복하고 살아남은 일부 생물은 강한 번식력으로 항만의 고유생태계를 교란시킬 수 있는 잠재적 능력을 가지고 있다[2-4]. 이러한 생물들의 생존에 영향을 끼치는 대표적 요인들은 항만 수역의 물리 및 이화학적 환경이다. 그러나 국내 무역항에서의 기초 환경 및 생물에 대한 조사가 미흡한 실정이어서 선박평형수의 영향을 판단하기 위한 기초정보가 매우 부족한 상황이다. 특히 선박평형수를 통한 유입 및 확산이 잘 알려져 있는 생물군 중 플랑크톤과 기초 환경에 대한 연구가 특히 미흡하다[5,6]. 1차 생산자인 식물플랑크톤은 해수 기초 환경요인에 빠른 속도로 반응하며, 1차 소비자의 먹이원 역할을 하여 해양 부유생태계 먹이사슬의 근간이 된다[7]. 식물플랑크톤은 다음과 같이 소형플랑크톤(>20㎛), 미소플랑크톤(3-20㎛) 및 초미소플랑크톤(0.7-3㎛)의 크기그룹으로 나눌 수 있다. 소형 플랑크톤은 주로 연안역에 출현하고 [8, 9], 미소 및 초미소식물플랑크톤은 외해에서 주로 출현하는 것으로 알려져 있다[10,11]. 항만경계 내 수역에서 일상적으로 출현하는 크기그룹별 식물플랑크톤의 분포특성과 해수환경 변이의 상호관계 이해는 외래 부유생물(foreign plankton)의 유입 후 적응 혹은 확산에 대한 예측의 기초자료로 활용될 수 있다. 따라서 본 연구에서는 울산항에서 물리, 이화학적 환경요인과 크기그룹 별 식물플랑크톤의 계절적 변이를 조사하였다. 본 모니터링 조사결과는 울산항 항만경계 수역범위에서 내, 외해역의 해양환경학적 특성 이해와 생태계 관리를 위한 기초 환경 자료로 활용될 수 있다.

2. 재료 및 방법

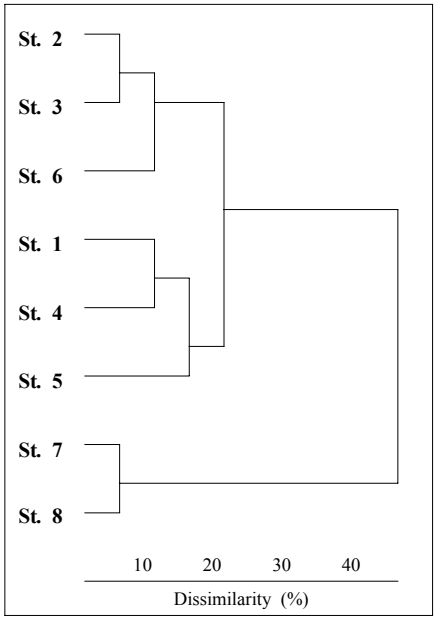
본 연구는 2007년 2월부터 2009년 11월까지 울산항 항만 경계수역 내 8개 정점 표층에서 계절별로 총 12회 수행하였다[Fig. 1]. 현장에서 해수의 수온 및 염분은 CTD (SBE 911plus, USA)로, 용존산소량(dissolved oxygen)은 용존산소 측정기(DO meter; YSI-58, USA)로, 수소이온농도(pH)는 휴대용 pH meter (Orion 3-Star, Thermo Scientific)로 측정하였다.



[Fig. 1] A map showing the sampling stations at Ulsan seaport.

총 부유 물질(total suspended solid)은 미리 무게를 잰 유리섬유여과지(GF/F filter, Whatman)에 선상에서 일정량의 시료를 거른 후 냉동 보관하여 실험실로 운반하였다. 냉동 보관된 여과지를 105℃에서 1시간 건조 시킨 후 방냉하여 측정한 무게로 부유물질 양을 계산하였다. 화학적 산소요구량(chemical oxygen demand)은 미리 준비된 플라스틱 병 (100 ㎖)에 현장해수시료를 담아 냉동 보관하여 실험실로 운반하였다. 분석은 해양환경시험방법에 의거하여 수행하였다[12].

무기영양염(inorganic nutrients) 분석을 위한 시료는 현장 해수 일정량을 유리섬유여과지로 거른 뒤 여과해수를 원심분리튜브 (50 ㎖)에 담아 급속 냉동한 후 실험실에서 질산염(nitrate), 규산염(silicate), 및 인산염(phosphate)을 영양염 자동 분석기(Quickchem 8000, LACHAT)로 분석하였다[13].



[Fig. 2] A dendrogram of clustered groups by the Bray-Curtis dissimilarity based on phytoplankton biomass at Ulsan seaport.

엽록소-*a*는 3개의 크기그룹으로 구분하여 분석하였다. 총 엽록소-*a*는 500 ㎖의 시료를 GF/F 여과지를 이용하여 걸렀다. 미소플랑크톤 크기의 (3-20 ㎛) 엽록소-*a* 농도측정을 위해 시료 500 ㎖을 20 ㎛ mesh (NY20, Millipore)에 1차 여과한 뒤 여과해수를 유리섬유여과지(GF/F)에 다시 걸렀다. 초미소플랑크톤 크기 (0.7-3 ㎛)의 엽록소-*a* 농도측정을 위해 3 ㎛ 막 여과지(TSTP04700, Millipore)로 500 ㎖의 해수를 여과한 뒤 여과해수를 유리섬유여과지(GF/F)에 걸렀다. 소형플랑크톤 (>20 ㎛) 크기의 엽록소-*a* 농도는 총 엽록소-*a* 농도에서 미소 및 초미소플랑크톤 크기의 엽록소-*a*농도를 제하여 구하였다. 해수를 거른 유리섬유여과지를 원심분리튜브 (15 ㎖)에 담아 냉동 보관하여 실험실로 운반한 다음 원심분리튜브에 90% 아세톤 10 ㎖을 넣은 후 4℃ 조건에 24시간 동안 엽록소-*a*를 용출하였다. 추출된 용액 중의 입자 제거를 위해 원심분리(3,000 rpm, 15분) 후 상등액을 취하여 형광측정기(Turner Designs 10-AU, Turner-Designs)로 분석하였다[13]. 정점 간 군집분석 및 환경요인들의 상관관계를 파악하기 위하여 SPSS (v. 12.0) 통계 프로그램을 사용하였다. 정점 간 군집분석 결과 내측정점 (정점 1 2, 3, 4, 5와 6)과 외측정점 (정점 7과 8)으로 구분되었으며 Fig. 2, 이것을 기준으로 내측 및 외측정점을 나누어 기술하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 정점 간 군집분석

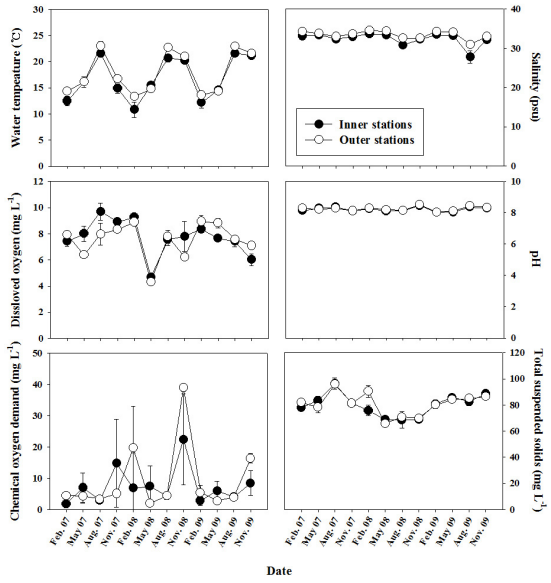
조사기간 중 식물플랑크톤 생체량을 표시하기 위한 엽록소-a 농도를 근거로 군집분석을 실시 한 결과 내측정점 (정점 1, 2, 3, 4, 5, 6)과 외측정점 (정점 7, 8)으로 구분되었다 [Fig. 2]. 정점 7과 8은 90% 이상의 유사도를 나타내 하나의 그룹으로 묶였고, 내측과 외측정점은 75% 비유사도에서 두 개의 그룹으로 나뉘었다.

3.2 환경요인의 변화

조사기간 중 울산항만 경계 내에서 나타난 수온은 8.94-23.29℃의 범위에서 최대값은 여름철 (평균 21.69℃)에, 최저값은 겨울철 (평균 12.30℃)에 나타나 전형적인 온대성 계절특성을 나타냈다[Fig. 3]. 분포 측면에서 외측정점 (평균 17.87℃) 수온이 내측정점 (평균 16.81℃)보다 높았다. 염분은 25.06-34.54 psu의 범위에서 변이를 나타냈고, 2009년 여름 내측정점에서 가장 낮았다 (평균 27.81 psu). 2007년 및 2008년 여름철 내측정점은 평균 30 psu이상을 나타냈으나, 다른 계절에 비해 약 평균 1-2 psu가 낮아 여름철 집중강우에 의한 담수 유입 영향권 하에 있는 것으로 판단된다. 용존산소(Dissolved Oxygen)는 4.30-10.73 ㎎/L의 범위에서 2008년 봄철에 가장 낮은 값 (평균 4.59 ㎎/L)을 기록하였다. 계절적으로는 봄철 (평균 6.70 ㎎/L)에 낮았고, 겨울철 (평균 8.41 ㎎/L)에 상대적으로 높았다. 용존산소는 식물플랑크톤 광합성과 같은 생물학적인 요인뿐만 아니라 수온 및 해황과 같은 물리학적 요인에 영향을 받는 것으로 알려져 있다[14]. 울산 항만에서의 용존산소 농도는 엽록소-*a*와 양의 상관관계를 가져 생물학적 영향을 더 받는 것으로 판단된다 (p<0.005). 수소이온농도(pH)는 7.97-8.53의 범위에서 2009년 봄철에 평균 8.01로 최저를, 2008년 가을철에 평균 8.47로 최고치를 나타냈다. 또한 내측정점에서 평균 8.20으로 외측정점 (평균 8.23)에 비해 낮았으나 차이는 크지 않았다. 화학적 산소요구량은 0.66-40.70 ㎎/L의 범위에서 2007년 겨울철에 최저 (평균 1.94 ㎎/L)를 나타냈고, 2008년 가을철에 가장 높게 (평균 22.40 ㎎/L) 나타났다. 특히, 정점 2와 6은 각각 평균 7.85와 10.81 ㎎/L로 다른 정점에 비하여 상대적으로 높았다. 이는 이전 연구와 비교 시 약 1.5배 이상 높은 농도이며, 장생포와 온산항 부근의 농도 범위와 유사하였다[15]. 연구기간동안 총 부유 물질 농도는 57.4-103.3 ㎎/L의 범위를 나타냈고, 정점 별 차이는 크지 않았으나, 여름철의 평균농도(82.8 ㎎/L)가 다른 계절에 비해 약 2.3 ㎎/L 이상 높았다. 이는 여름철 집중 강

우에 의한 육상 부유 물질 유입에 기인한 것으로 판단된다.

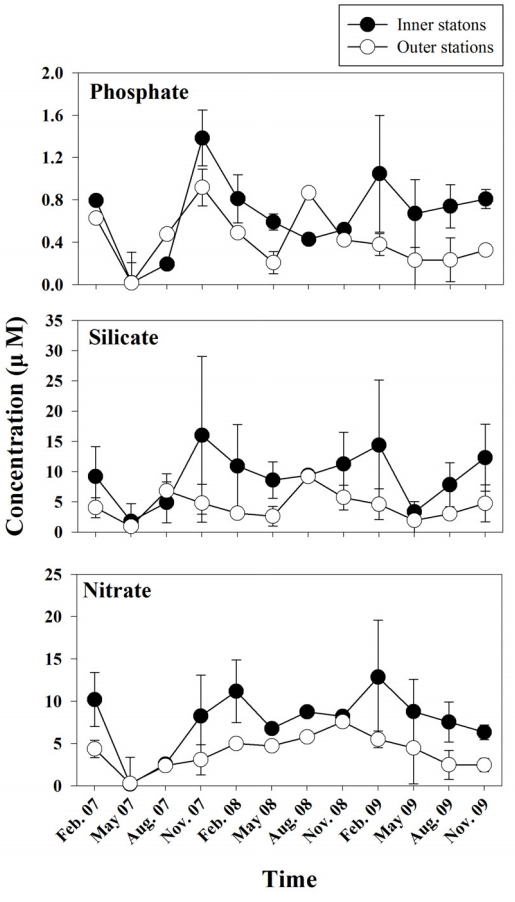
조사기간 중 인산염(phosphate)은 가을철 내측정점에서 평균 0.90 μM로 가장 높았고, 봄철에 0.42 μM로 가장 낮았다[Fig. 4]. 정점별로는 지속적으로 내측정점에서 높았고, 그 중 정점 1에서 평균 1.73 μM (0.86-3.03 μM)로 가장 높았다. 이는 태화강 하류의 높은 인산염 농도 (2.85-9.61 μM)와 관련있는 것으로 판단된다[16].



[Fig. 3] Seasonal variation of environmental factors at Ulsan seaport from February 2007 to November 2009.

질산염의 정점별 농도는 인산염 농도 변화와 같이 모든 계절에 내측정점이 외측정점에 비해 약 1.6배 이상 높게 나타났고, 겨울철에 특히 내측정점에서 높은 농도가 관측되었다 (평균 11.42 μM). 일반적으로 연안 해역에서 질산염 및 인산염 농도 변동은 하천이나 강과 같은 담수의 영향을 주로 받는 것으로 알려져 있다[17]. 그러나 본 조사에서는 집중강우에 의한 담수의 영향을 받을 것으로 예상되는 여름철 보다 가을과 겨울철에 높게 나타났고, 이 시기에 외측정점 보다 내측정점의 영양염 농의 증가폭이 더 컸다. 이는 수심이 비교적 낮은 내측정점에서 다양한 환경적 외력에 관련된 교란에 의한 저층 영양염이 표층으로 공급된 것으로 판단된다.

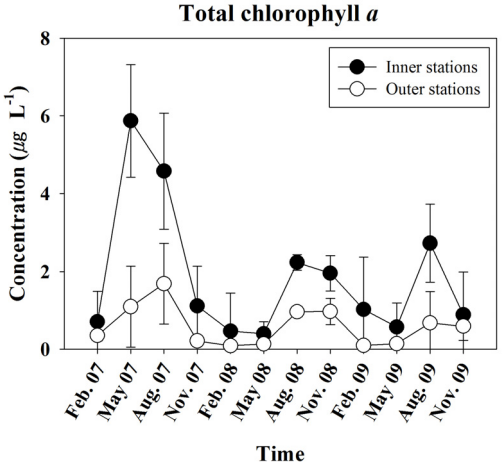
내측정점에서 평균 9.17 μM의 농도를 나타낸 규산염(silicate)은 외측정점 (평균 5.11 μM)에 비해 약 1.7배 이상 높았다. 내측 정점의 규산염은 가을철에 가장 높았고 (평균 13.58 μM), 봄철에 가장 낮았다 (평균 4.95 μM). 모든 영양염 농도는 외측 정점 보다 내측 정점에서 높게 나타나 육상 및 저층으로부터의 유입영향이 높은 것으로 판단된다. 이와 대조적으로 외측정점의 영양염은 규산염을 제외하고 계절적 차이 없이 일정한 범위의 농도를 유지하였다[Fig. 4]. 일반적으로 식물플랑크톤의 성장에 필요한 질산염의 최소농도는 2-10 μM로 알려져 있다[18]. 규산염은 식물플랑크톤 중 큰 비중을 차지하는 규조류의 증감을 조절하는 필수 요소로 성장에 필요한 최소농도는 2-5 μM이다[19]. 본 조사에서 내측 정점에서 기록된 질산염 및 규산염의 농도는 지속적으로 성장에 필요한 최소농도 이상의 값을 나타내, 성장에 필요한 농도가 충분히 공급되는 것으로 여겨진다.



[Fig. 4] Seasonal variation of nutrient concentration at Ulsan seaport from February 2007 to November 2009.

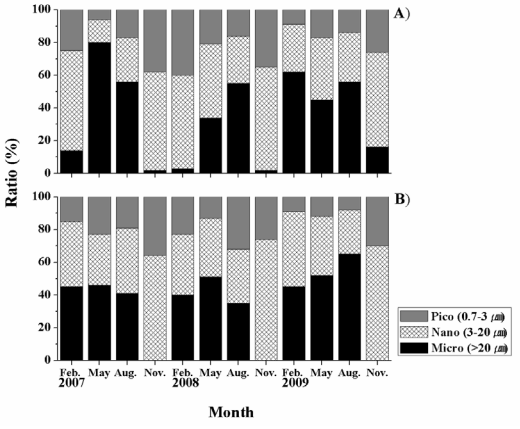
3.3 크기별 식물플랑크톤 생체량 변이

조사기간 중 총 엽록소-*a* 농도는 0.36-7.11 μgL^{-1}의 범위에서, 2007년 봄철에 가장 높았고 (평균 4.77 μgL^{-1}), 2008년 겨울철에 가장 낮았다 (평균 0.60 μgL^{-1}) [Fig. 5]. 조사기간 중, 총 엽록소-*a* 농도는 내측정점에서 평균 1.88 μgL^{-1}로, 외측정점 (평균 0.90 μgL^{-1})보다 약 2배 이상 높았다. 2007년 봄철 소형플랑크톤의 엽록소-*a*는 내측정점에서 평균 80.2%를, 외측정점에서는 평균 46.3%로 우점 하였다[Fig. 6]. 여름철에도 내측 (평균 56.1%) 및 외측정점 (평균 41.2%)에서 우점 하여, 2007년 봄철과 여름철 식물플랑크톤 전체 생체량에 높은 비율을 차지했다. 2008년 총 엽록소-*a* 농도는 여름철 (평균 1.73 μgL^{-1})과 가을철 (평균 1.58 μgL^{-1})에 높았다. 여름철에는 내측 및 외측정점에서 소형플랑크톤 의 엽록소-*a*의 점유율이 각각 평균 56%와 41%를 차지하였으나, 가을철에는 미소플랑크톤의 엽록소-*a*가 내측정점에서 평균 63%를, 외측정점에서 평균 64%를 차지하였다. 2009년 총 엽록소-*a*는 봄철에 가장 낮았고 (평균 0.59 μgL^{-1}), 여름철에 가장 높았다 (평균 2.30 μgL^{-1}). 여름철 소형플랑크톤의 엽록소-*a*는 내측 및 외측정점에서 총 엽록소-*a* 농도의 평균 56.1% 이상을 차지했다. 3년간 총 엽록소-*a* 농도의 계절별 평균값은 봄철과 여름철에 각각 1.91 μgL^{-1}와 2.61 μgL^{-1}로 나타나 가을철(평균 1.15 μgL^{-1})과 겨울철(평균 0.80 μgL^{-1})에 비해 높았다.



[Fig. 5] Seasonal variation of total chlorophyll-a concentration at Ulsan seaport from February 2007 to November 2009.

상대적으로 높은 총 엽록소-*a* 농도를 기록한 봄철과 여름철에 소형플랑크톤의 엽록소-*a*가(봄: 34.1-81.3%, 여름: 35.1-65.7%) 우세하였다. 공간적으로는 봄철에 내측정점에서 평균 43.7%의 점유율을 나타냈고, 외측정점에서는 평균 53.0%을 나타냈다. 여름철에는 내측 및 외측정점에서 각각 평균 47.5%와 51.3%을 나타냈다. 비교적 낮은 농도를 나타낸 가을철에는 미소플랑크톤의 엽록소-*a*의 비율이 높았고 (58.2-74.5%), 내측에서 평균 69.3%를, 외측정점에서 평균 60.3%를 나타냈다. 초미소플랑크톤의 엽록소-*a*는 가을철에 평균 31.8%로 가장 높았고, 내측 (평균 20.5%) 및 외측정점 (평균 22.3%) 간에 큰 차이가 없었다. 각 크기그룹별 엽록소-*a* 농도는 계절별 차이를 나타낸 반면, 내측 및 외측정점 간에 차이가 없는 공간적 특성을 나타냈다. 온대해역에서 식물플랑크톤의 현존량과 생체량이 일반적으로 봄철과 가을철에 높은 것으로 보고되어 있다[20,21]. 반면 본 조사기간 동안 울산항에서는 가을철보다 여름철에 총 엽록소-*a* 농도가 높았는데, 이는 식물플랑크톤 성장에 필요한 최소 필요농도 이상의 영양염과 성장에 적절한 수온(<25℃)과 연관된 것으로 생각된다.



[Fig. 6] Seasonal variation in chlorophyll-a concentration of size-fractionated phytoplankton at inner stations (A) and outer stations (B) of Ulsan seaport from February 2007 to November 2009.

4. 결론

조사기간 동안 울산항의 총 엽록소-*a* 농도는 봄철 및 여름철에 상대적으로 높았고, 가을과 겨울철에 낮았다. 총 엽록소-*a* 농도 중에, 소형플랑크톤의 엽록소-*a* 농도가 봄, 여름 및 겨울철에 우점 하였고, 가을철에는 미소 및 초미소플랑크톤의 엽록소-*a* 농도가 높은 비율을 차지했다. 각 크기별 엽록소-*a* 농도가 계절 변이를 나타낸 반면, 내측 및 외측 정점 간의 공간분포는 뚜렷한 차이가 없었다. 연구기간동안 내측정점에서 관측된 인산염, 질산염

및 규산염 농도가 외측정점에 비해 지속적으로 높았던 반면, 수온 및 염분은 외측정점에서 지속적으로 높았다. 그 외 환경요인들의 내측과 외측간의 공간적 차이가 조사기간 동안 뚜렷하지 않아, 내측정점에서 지속적으로 높았던 총 엽록소-*a* 농도와 크게 관련성이 없었다. 이러한 결과를 바탕으로 향후 생태계 관리 및 연안환경 오염과 같은 연구가 필요할 것으로 생각된다.

References

[1] Korea Institute of Ocean Science & Technology, "Development of Port Environmental Risk Assessment Technology", BSPP 00700-2044-7, p. 290. 2009.

[2] G. M. Hallegraeff, C. J. Bolch, "Transport of toxic dinoflagellate cysts via ship's ballast water. Mar. Pollut. Bull. 22, 27-30, 1991.

[3] G. M. Hallegraeff, "Transport of toxic dinoflagellates via ship's ballast water: bioeconomic risk assessment and efficacy of possible ballast water management strategies". Mar. Ecol. Prog. Ser., 168, 297-309, 1998.

[4] T. J. Smayda, "Reflection on the ballast water dispersal harmful algae bloom paradigm. Harmful algae, 6, 601-622, 2007.

[5] J.-H. Kang, "Distributional characteristics and carrying capacity of the potentially risky species *Noctiluca scintillans* at Korean Seaports". Ocean and Polar Res. 32, 449-462.

[6] O. Y. Kwon, J.-H. Kang, "Distribution of potential risky species on phytoplankton at ports in Korea". J. Korea Academia-industrial. 14, 506-510, 2003.
DOI: http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2013.14.1.506

[7] T. J. Smayda, "Biogeographical meaning indicators", p. 225-229. In: Phytoplankton manual, ed. by A. Sournia. UNESCO, 1978.

[8] J. C. Kitchen, D. Menzies, H. Park, J. R. V. Zaneveld, "Particles size distributions in a region of coastal upwelling analyzed by characteristic vector". Limnol. Oceanogr. 20, 775-783, 1975.

[9] T. C. Marlone, "Algal size and phytoplankton ecology". In: The physiological ecology of phytoplankton. University of California Press, 1980.

[10] T. Berman. "Size fractionation of natural aquatic populations associated with autotrophic and heterotrophic carbon uptake". Mar. Biol. 33, 215-220, 1975.

[11] H. E. Glover, "The psysiology and ecology of the marine cyanobacterial genus *Synechococcus*". Adv. Aquat. Microbiol. 3, 49-107, 1985

[12] Ministry of oceans and fishers, "Manual of chemical methods for seawater analysis". p. 314, 2005.

[13] T. R. Parson, Y. Maita, C. M. Lalli, "A manual of chemical and biological methods for seawater analysis". Pergamon Press, Oxford, pp. 173, 1984.

[14] J. W. Nybakken, M. D. Bertness, "Marine Biology". An Ecological Approach Benjamin Cummings, San Francisco.

[15] S.-E. Park, S.-J. Hong, W.-C. Lee, R.-H. Jung, Y.-S. Cho, H.-C. Kim, D.-M. Kim, "Summer water quality management by ecological modelling in Ulsan bay". J. Korea Soc. Mar. Environ. & Safety. 16, 1-9, 2010.

[16] E. R, Sohn, J. I. Park, B. Lee, J. W. Lee, J. Kim, "Winter algal bloom and spatial characteristics of water quality in the lower Taewha River, Ulsan, Korea". Korean J. Microbiol., 49, 30-37, 2008.
DOI: http://dx.doi.org/10.7845/kjm.2013.262

[17] N. N. Rabalais, R. E. Tumer, R. J. Diaz, D. Justic, "Global change and eutrophication of coastal waters". J. Mar. Sci. 66, 1528-1537, 2009.
DOI: http://dx.doi.org/10.1093/icesjms/fsp047

[18] J. C. Goldman, P. M. Gilbert, "Kinetics of inorganic nitrogen uptake by phytoplankton". In, Nitrogen in the marine environment, Academic Press, New York.

[19] M. A. Brzezinski, D. R. Phillips, F. P. Chavez, G. E. Friederich, R. C. Dugdale, "Silica production in the Monterey, California, upwelling system. Limnol. Oceanogr. 42, 1694-1705.

[20] C.-D. Alejandra, G. M. X. Anelu, "Seasonal dynamics of picoplankton in shelf waters of the southern bay of Biscay". Aquat. Microb. Ecol., 42, 159-174, 2006.

[21] G. A. Tarran, M. A. Zubkov, M. A. Sleigh, P. H. Burkill, "Microbial community structure and standing stocks in the NE Atlantic in June and July of 1996". Deep-Sea Res. Ⅱ., 48, 963-985, 2001.

권 오 윤(Oh Youn Kwon) **[정회원]**

- 2006년 2월 : 상명대학교 생물학과 (이학석사)
- 2013년 2월 : 상명대학교 생물학과 (박사수료)
- 2013년 3월 ~ 현재 : 한국해양과학기술원 연구사업인력

<관심분야>
해양생물학, 식물플랑크톤 생태학

강 정 훈(Jung-Hoon Kang) **[정회원]**

- 1998년 2월 : 서울대학교 해양학과 (이학석사)
- 2004년 8월 : 서울대학교 지구환경과학부 (이학박사)
- 2007년 3월 ~ 현재 : 한국해양과학기술원 책임연구원

<관심분야>
해양생물학, 외래생물생태학