

Research Paper

환경변화에 따른 조류 발생 변화

노성유* · 신유나* · 최희락* · 이재윤* · 이재안* · 류덕희**
국립환경과학원 유역생태연구팀*, 국립환경과학원 물환경연구부**

Characteristics of Algae Occurrence on Environmental Changes

Seongyu Noh* · Yuna Shin* · Heelak Choi* · Jaeyoon Lee* · Jaean Lee* · Doughee Rhew**

Watershed Ecology Research Team, National Institute of Environmental Research*
Water Environment Research Department, National Institute of Environmental Research**

요약 : 환경변화(체류 시간)에 따른 조류발생기작 및 이동특성 연구를 위해 현장규모 모의실험장치를 제작하여 낙동강 수계의 강정·고령보를 대상으로 체류 시간에 따른 조류발생 및 이동특성을 파악하고자 하였다. 현장규모 모의실험장치는 조류배양의 효율성 및 조류성장 관찰의 편리성 등을 고려하여 투명아크릴로 제작하였다(직경 1 m, 높이 4 m, 가변형 원통수조, 3 sets). 빛 차단장치, 수심별 유입장치, 재이용수 저류조 등의 부대시설을 설치하였다. 본 연구에서 체류 시간 조건은 2일(보설치 전, 실험조 1), 8일(보설치 후 2013년 체류 시간, 실험조 2), 30일(2014년 체류 시간, 실험조 3)로 선정하였다. 실험결과, 실험조별 수온은 실험조 1에서는 큰 차이를 보이지 않았으며 실험조 3에서는 표층(0 m)과 저층(4 m) 간 약 3°C 이상의 차이를 보였다. 용존산소(DO), pH 변화 분석 결과 모든 실험조에서 표층 0 m에서 저수심(2 m, 4 m) 보다 상대적으로 높은 값을 보였다. 영양염류(TN, PO₄-P)는 모든 실험조에서 부영양 상태를 나타냈다. Chlorophyll-a 분석 결과 실험조 1은 평균 19.8 µg/L, 실험조 2는 평균 35.0 µg/L, 실험조 3은 평균 36.6 µg/L로 실험조 1 보다 실험조 2, 3에서 약 2배 높은 농도를 나타냈다. 따라서 환경 요인 중 체류 시간은 식물플랑크톤 발생에 많은 영향을 미치는 것으로 판단된다.

주요어 : 현장규모 모의실험장치, 환경요인, 영양염류, Chlorophyll-a, 강정·고령보, 낙동강

Abstract : Pilot scale system was designed to identify the growth and movement of algae, depending on environmental changes(retention time, nutrient concentration, etc) in Gangjeong-Goryeong Weir of the Nakdong River.

Considering the stability of algal culture and easy observation of algal growth, pilot scale system was made of transparent acrylic material(3 sets of flexible cylindrical water tanks with 1 m diameter and 4 m height). Auxiliary equipments include light interceptor, water inflow device for different water depth and storage of reclaimed water. The retention time was 2 days(before construction of weir; treatment 1), 8 days(after construction of weir, 2013; treatment 2) and 30 days(2014; treatment

3). According to the water temperature of treatment 1 were similar by depth, treatment 3 showed a difference between the surface(0 m) and bottom(4 m) more than 3 °C. DO, pH showed relatively high in the surface than the bottom. Nutrients showed eutrophic condition in all experiments. The Chlorophyll-*a* concentration of the treatment 1 showed a relatively lower value than the Chlorophyll-*a* concentration of the treatment 2 and 3. Therefore, the retention time was considered to influence the growth of phytoplankton.

Keywords : Pilot scale system, Environment factor, Nutrient, Chlorophyll-*a*, Gangjeong-Goryeong Weir, Nakdong river

I. Introduction

2009년부터 상수원수의 원활한 공급 및 홍수 예방 등을 목적으로 4대강 보 건설이 추진되었으며 한강 3개(강천보, 여주보, 이포보), 금강 3개(세종보, 공주보, 백제보), 낙동강 8개(상주보, 낙단보, 구미보, 칠곡보, 강정·고령보, 달성보, 합천·창녕보, 창녕·함안보), 영산강 2개(승촌보, 죽산보)의 보가 건설되었다. 보 및 댐 등과 같은 인공구조물 설치는 물의 흐름을 느리게 하며 체류 시간이 증가하면서 영양염류 증가 등 수체의 수환경 변화에 큰 영향을 미치는 것으로 보고되고 있으며 이로 인한 수계 내 수생 생물 군집의 종 조성 및 분포 특성에도 영향을 미친다(Kwon, 1991; Lim and Choi, 2005).

특히 낙동강 수계에서는 1987년 하구둑 건설 이후 하류에서는 1994년 여름철부터 매년 *Microcystis* 등 남조류가 다량 증식하는 수화현상(Water Bloom)이 발생하고 있다. 특히 강수량이 적은 갈수기에는 남조류 발생 빈도가 높으며 장기간 지속된다. 이런 문제를 해결하고자 환경부·국립환경과학원에서는 남조류 관리를 위해 물환경정보시스템을 구축하여 각 수계의 수질정보를 공유하면서 물관리 정책에 힘쓰고 있으며 뿐만 아니라 조류경보제 등을 실시하여 남조류 관리에 이바지하고 있다.

우리나라 하천, 호수에서 식물플랑크톤 발생에 관한 연구는 환경요인과 식물플랑크톤 발생 간의 상관성 연구(Cho *et al.*, 2012; Seo *et al.*, 2013; Yu *et al.*, 2014a; 2014b), 식물플랑크톤 발생과 기후 변화와의 영향 연구(Joung *et al.*, 2013; Noh *et al.*, 2014), 강우와 식물플랑크톤 발생 영향 연구(Joung

et al., 2005), 낙동강 수계 비점오염원 오염도 평가 관련 연구(Lee *et al.*, 2014) 및 식물플랑크톤 발생과 다른 미세먹이망 군집 구조 간의 관계 연구 등 다양한 연구가 지속적으로 수행되고 있다(Cho and Shin, 1995; Lee *et al.*, 2005; Seo *et al.*, 2010). 하지만 현재 국내 연구 실정은 현장 분석 자료에 국한되어 있으며 조류 발생 메카니즘 규명 연구에 있어 현장을 모식화한 연속적 실험 연구는 아직 미흡하다. 따라서 본 연구에서는 현장 환경을 최대한 반영하여 조류 발생 메카니즘을 규명하기 위한 현장규모 모의실험장치를 설계 및 제작하였으며 체류 시간이 조류 발생에 미치는 영향에 대하여 연구하고자 환경 요인(수온(Water temperature), 용존산소(Dissolved oxygen), pH), 영양염류(총질소(TN), 인산염인(PO₄-P)), Chlorophyll-*a* 등을 분석하였다.

II. Materials and Methods

1. 현장규모 모의실험장치 구조

현장조건을 고려한 수질환경요인(체류 시간) 변화에 따른 조류발생 양상 및 이동 특성을 파악하기 위하여 현장규모 모의실험장치를 설계·제작하였다(Figure 1).

현장규모 모의실험장치는 조류배양의 효율성 및 조류성장 관찰의 편리성 등을 고려하여 투명 아크릴 재질로 제작하였다. 또한, 조류의 수직 이동성 및 실험장치의 유지관리 용이성을 고려하여 직경 1m, 높이 1m의 원형수조 4개를 조립하여 4m의 실험조가 되도록 구성하였으며 수환경 변화에 따른 다양한 실험조건모의를 위하여 실험조 3개를 제작하였다. 실

협장치는 실험조, 유입수 저류조, 분배조, 유출수 저류조 등으로 구성되어 있다.

2. 현장규모 모의실험장치 유량흐름도

현장규모 모의실험장치의 실험조 유입수는 수돗물 (또는 빗물)과 재이용수를 혼합하여 사용할 수 있도록 하였으며 유량흐름도는 Figure 1에 제시하였다.

현장규모 모의실험장치의 유량흐름도는 실험 원수의 안정적인 공급을 위하여 폭기된 수돗물 또는 빗물을 저장할 수 있는 우수 저류조, 재이용수와 우수 등을 혼합하여 최종 유입수를 저장할 수 있는 원수 저류조를 거쳐 각 실험조의 유입 저류조로 공급되도록 하였다. 유입 저류조에서는 각 실험조의 분배조로 이동 후 정량펌프를 이용하여 각 수심별 유입구로 일정량 공급되도록 설계하였다. 실험조에서 유출된 실험수는 재이용할 수 있도록 재이용수 저류조에 저장하였으며 Sand filter system을 거쳐 부유물질 및 조류 등을 여과 한 후 원수 저류조로 재 유입되는 구조로 제작하였다.

영양염류 등 조류성장에 필요한 영양성분은 분배조에서 정량펌프로 공급되도록 하였다(Figure 1).

3. 조사대상 선정 및 분석 방법

본 연구의 조사 대상 하천은 낙동강 수계 8개 보 중 환경부에서 조류경보제 시범지역으로 운영하고 있는 3개 구간(구미보~칠곡보, 칠곡보~강정·고령보, 합천창녕보~창녕함안보) 중에서 강정·고령보를 선정하였다.

체류 시간에 따른 조류 발생 특성을 파악하고자 10월 6일 10시부터 10월 7일 10시까지 24시간 동안 현장 측정항목(수온, DO, pH)은 4시간(7회/일), 영양염류(총질소(TN), 인산염인(PO₄-P)), Chlorophyll-a는 2시간 간격으로(12회/일) 채수·분석하였다. 체류 시간은 낙동강 강정·고령보 설치 전의 체류 시간(약 1.2일), 설치 후 2013년(약 7.8일)과 2014년 체류 시간(약 29.6일)을 고려하여 2일(실험조 1), 8일(실험조 2), 30일(실험조 3)로 체류 시간을 선정하였다. 유지 유입유량은 각 실험조의 체류 시간에 맞추어 실험조 1은 1,571 L/days, 실험조 2는 393 L/days, 실험조 3은 105 L/days를 유입시켰으며 각 실험조의 수심별 유입유량비는 현장에서의 수심별 유입비율을 고려하여 일 유입량 중 1, 2 m 각각 30%, 0 m 20%, 3 m 15%, 4m 5%의 비율에 따라 정량펌프로 유입시켰다. 유지 유입수는 인공합성배지(재이용수 + 탈염

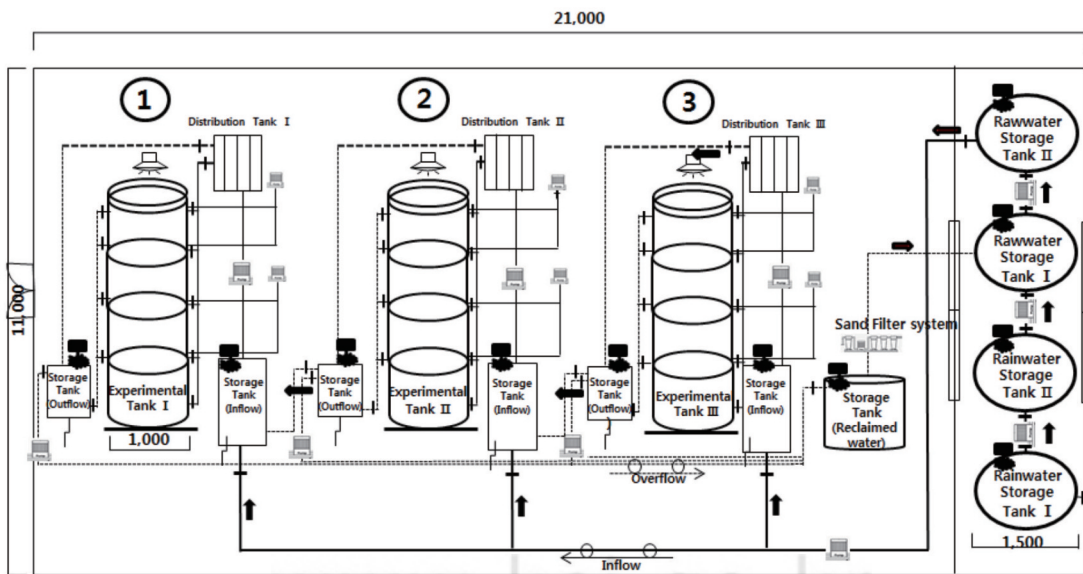


Figure 1. Water flow diagram of Pilot scale system

수돗물)를 첨가하여 공급해주었다. 광은 자연광을 이용하였으며, 영양염 공급은 남조류 대량배양 시 사용되는 MA배지(Ichimura, 1979)를 이용하였다. 모든 시료는 실험조 내에서 1일 안정화 후 2일부터 시료 채취 및 분석하였다.

현장 측정항목인 수온, DO, pH는 YSI-6600을 이용하여 수심별로(0, 2, 4 m) 측정하였다(7회/일, 4시간 간격).

영양염류(총질소(TN), 인산염인(PO₄-P)) 분석은 수질오염공정시험기준(Me, 2014)에 따라 영양염류 분석기(Quaatro, Germany)로 분석하였다.

Chlorophyll-a 분석은 아세톤 추출법에 따라 시료 추출 후 UV-Vis Spectrophotometer(Agilent, USA)로 분석하였다(Me, 2014). 모든 시료는 수심별(0, 2, 4 m)로 채수·분석하였다.

III. Results and Discussion

1. 환경요인

실험조 내의 환경요인 변화에 대한 분석결과 수온 변화는 10/6 14:00 0 m에서 실험조 1, 2, 3에서 각각 25.3 °C, 27.0 °C, 27.8 °C로 가장 높게 나타났으며 시간별 수온 변화는 실험조 1, 2, 3 모두 10/6 14:00에 최고 수온을 보인 후 점차 감소하였으며 10/7

6:00 이후 다시 증가하였다. 실험조 수심별 수온 변화는 실험조 1에서는 최고 수심(0 m)과 최저 수심(4 m) 간의 온도차가 3 °C 이하로 나타났으나 실험조 3에서는 약 3°C 이상의 차이를 보여(Figure 2) 체류 시간의 영향으로 수온차가 발생한 것으로 판단된다.

DO 변화를 살펴보면 실험조 1, 2, 3 모두 10/6 14:00에 각각 9.7 mg/L, 10.8 mg/L, 10.0 mg/L로 최고값을 보였다. 시간별 DO 변화는 10/6 22:00까지 점차 감소하다 이후 증가하는 패턴을 보였다. 실험조 수심별 DO 변화도 수온 변화와 동일하게 실험조 1 보다 실험조 2, 3에서 최고 수심(0 m)과 최저 수심(4 m) 간에 높은 차이를 나타내었다(2 mg/L 이상, Figure 2). 일반적으로 DO는 조류의 광합성 작용 등에 의해 증가한다고 보고되어 있으며 수심별 Chlorophyll-a 와 유사한 패턴을 보였다.

pH 변화 경향도 다른 환경요인(수온, 용존산소)과 유사하게 실험조 1 보다 실험조 2, 3에서 표층 0m에서 다른 저 수심(2 m, 4 m) 보다 높은 값을 보여주었다(Figure 2).

2. 영양염류 변화 분석

실험조 내의 총질소(TN) 농도의 변화폭을 살펴보면 실험조 1은 0.898(10/6 14:00, 4 m)~8.055 (10/6 10:00, 0 m) mg/L의 범위를 보였으며 평균

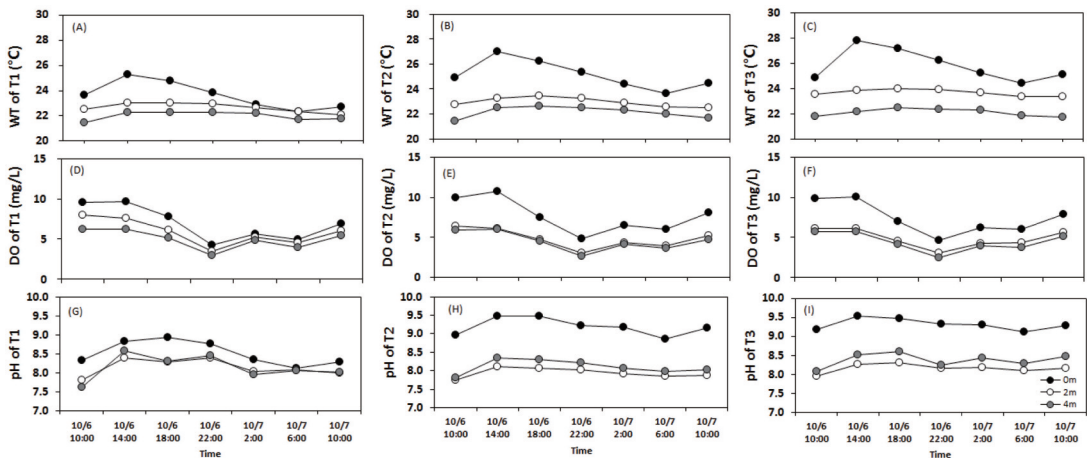


Figure 2. The physicochemical factors of the treatment 1, 2 and 3

(A: Water temperature of treatment 1, B: Water temperature of treatment 2, C: Water temperature of treatment 3, D: DO of treatment 1, E: DO of treatment 2, F: DO of treatment 3, G: pH of treatment 1, H: pH of treatment 2, I: pH of treatment 3)

3,851 mg/L로 Forsberg and Ryding(1980)가 제안한 부영양화 기준인 600~1500 mg/m³ 초과로 부영양화에 해당하였다. 실험조 2에서는 1,095(10/7 2:00, 0 m)~7,444(10/6 10:00, 4 m) mg/L의 범위로 평균 3,726 mg/L, 실험조 3에서는 1,457~10,680 mg/L의 범위로 평균 4,355 mg/L로 실험조 2, 3 모두 실험조 1과 동일하게 부영양화 상태의 농도를 보여주었다(Forsberg and Ryding, 1980). 수심별 농도 변화는 실험조 1에서는 각각 평균 0 m 4,296 mg/L, 2 m 3,556 mg/L, 4 m 3,701 mg/L, 실험조 2에서는 각각 평균 0 m 3,826 mg/L, 2 m 3,980 mg/L, 4 m 3,371 mg/L로 큰 차이를 보이지 않았으나 실험조 3에서는 평균 2,681(0 m)~6,239(4 m)로 수심별 차이를 나타내었다(Figure 3).

식물플랑크톤 성장에 직접적으로 관여하는 인산염 인(PO₄-P) 농도 변화를 살펴보면 각각 평균 실험조 1은 0.306 mg/L, 실험조 2는 0.368 mg/L, 실험조 3은 0.371 mg/L로 실험조별 인산염 인 농도 차이는 크지 않았다. 시간대별 변화 추이는 실험조 1, 2, 3 모두에서 10/6 18:00~10/6 22:00에 낮은 농도를 보인 후 점점 증가하는 패턴을 보였다. 수심별 농도 변화는 실험조 1(0.306~0.311 mg/L)과 2(0.361~0.381 mg/L)에서는 큰 차이를 보이지 않았으나 실험조 3에서는 평균 0 m에서 0.328 mg/L, 4 m에서 0.430 mg/L로 다른 저수심(2 m, 4 m) 보다 표층수에서 낮은 인산염 인 농도를 보였으며 이는 식물플랑크톤이 성장함에 따라 인산염 인을 소비하여 농도가

낮아지는 결과를 보인 것으로 판단된다(Jounget *et al.*, 2013)(Figure 3).

3. Chlorophyll-a 변화 분석

식물플랑크톤 내의 주된 광합성 색소 중 Chlorophyll-a는 모두 함유하고 있어(Linda *et al.*, 2009) Chlorophyll-a를 통하여 식물플랑크톤 생물량을 대변할 수 있기에 본 연구에서도 Chlorophyll-a를 측정하였다. 실험조 1에서의 Chlorophyll-a 농도 변화는 14.1 µg/L~28.1 µg/L의 범위를 보였으며 평균 19.8 µg/L을 나타내었다. 실험조 2에서는 24.0 µg/L~42.8 µg/L 범위로 평균 35.0 µg/L를 나타냈고, 실험조 3에서는 24.0 µg/L~46.9 µg/L 범위로 평균 36.6 µg/L를 보여 실험조 1보다 실험조 2, 3에서 약 2배의 높은 값을 나타내었다. 식물플랑크톤이 녹조 현상을 나타내기 위해서는 증식 속도보다 체류 시간이 길어야 하며 짧은 체류 시간은 하천수가 방류되면서 희석되어 조류 성장에 제한적 요인으로 작용한다(Welch, 1984). 또한 국내 호소 및 하천에서도 식물플랑크톤 성장은 체류 시간의 증가 등에 영향을 받는다고 연구되었다(Shin *et al.*, 2003; Kim *et al.*, 2012). 본 연구에서도 체류 시간에 의한 영향으로 실험조 3에서 가장 높은 Chlorophyll-a 농도를, 실험조 1은 짧은 체류 시간(2일)으로 하천 방류현상에 의하여 가장 낮은 값을 보인 것으로 사료된다. 수심별 변화 양상은 실험조 3에서 최저수심인 4 m 보다 0 m 와 2 m에서 높은 Chlorophyll-a 값을 보여 일조

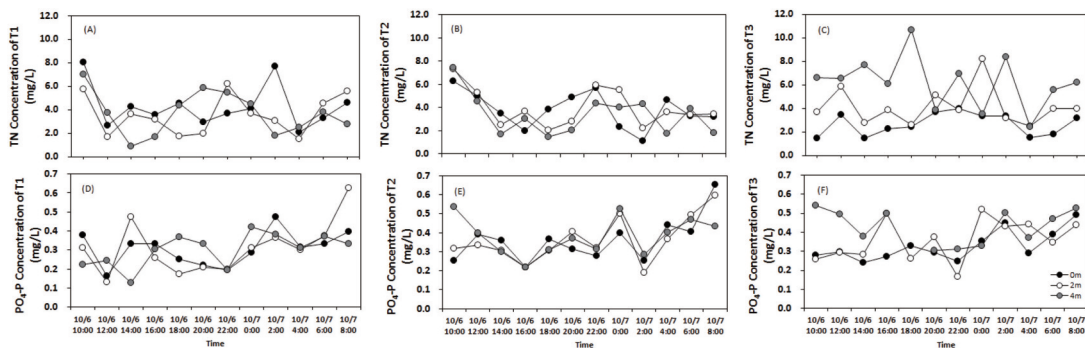


Figure 3. Hourly fluctuation of nutrient TN and PO₄-P at Experimental system

(A: TN Concentration of treatment 1, B: TN Concentration of treatment 2, C: TN Concentration of treatment 3, D: PO₄-P Concentration of treatment 1, E: PO₄-P Concentration of treatment 2, F: PO₄-P Concentration of treatment 3)

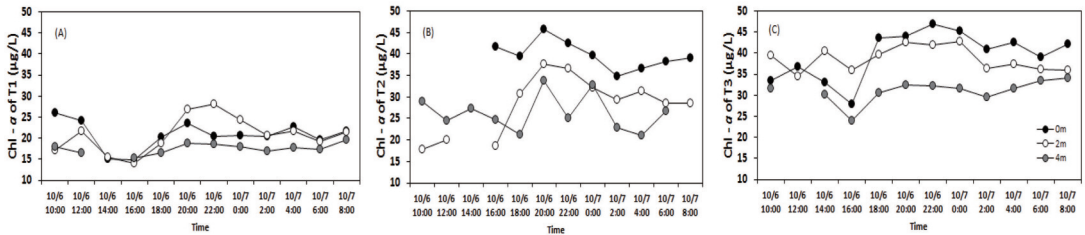


Figure 4. Hourly fluctuation of Chlorophyll-a at Experimental system

(A: Chlorophyll-a concentration of treatment 1, B: Chlorophyll-a concentration of treatment 2, C: Chlorophyll-a concentration of treatment 3)

량 증가에 의한 영향으로 판단된다(Kim *et al.*, 2003). 시간별 변화 추이는 모든 실험조에서 10/6 18:00~22:00까지 다소 증가하는 패턴을 보였으나 그 변화가 뚜렷하게 나타나지 않았다(Figure 4).

IV. Conclusion

환경변화(체류 시간)에 따른 조류발생기작 및 이동 특성 연구를 위해 현장규모 모의실험장치를 제작하였으며 낙동강 수계의 강정·고령보를 대상으로 체류 시간에 따른 조류 발생 및 이동특성을 파악하고자 체류 시간 2일(보설치 전, 실험조 1), 8일(보설치 후 2013년 체류 시간, 실험조 2), 30일(2014년 체류 시간, 실험조 3)로 선정하여 분석하였다. 본 연구를 통해 도출한 결론은 다음과 같다.

- 1) 체류 시간에 따른 조류발생 특성 파악을 위한 현장규모 모의실험 결과 실험조별 수온은 실험조 1에서는 큰 차이를 보이지 않았으며 실험조 3에서는 0 m와 4 m 간 약 3°C 이상의 차이를 보여 체류 시간의 영향으로 수온차가 발생한 것으로 판단된다. 용존산소(DO), pH는 모든 실험조에서 0 m에서 저수심(2 m, 4 m) 보다 상대적으로 높은 값을 보였다.
- 2) 영양염류(TN, PO₄-P) 변화는 모든 실험조에서 부영양 상태를 나타내었으며 10/6 22:00까지 점차 감소 후 증가하는 패턴을 보였다. 인산염 인 농도 변화는 다른 저수심(2 m, 4 m)보다 표층(0 m)에서 낮은 농도를 보였으며 이는 식물플랑크톤 성장에 의한 영향으로 판단된다.
- 3) 식물플랑크톤 생물량을 알아보기 위한 Chlorophyll-a 분석 결과 체류 시간 2일인 실험조 1은 평균

19.8 µg/L, 8일인 실험조 2는 평균 35.0 µg/L, 30일인 실험조 3은 평균 36.6 µg/L를 보여 실험조 1보다 실험조 2, 3에서 약 2배의 높은 값을 보였다. 이와 같은 결과, 체류 시간 증가는 식물플랑크톤 발생에 큰 영향을 미치는 것으로 판단된다.

Acknowledgements

본 연구는 2014년 국립환경과학원 조사연구사업 ‘환경변화에 따른 조류발생기작 및 거동특성연구(I)’에 의하여 수행되었습니다.

인용문헌

- 임현식, 최진우. 2005. 영암호 저서동물군집에 미친 하구둑 건설의 영향, 한국수산과학회, 38(3), 172-183.
- 김경현, 이재훈, 안광국. 2012. 대청호의 시공간적 수질 변화 특성 및 호수내 유입지천의 영향, 한국하천호수학회, 45(2), 158-173.
- 김종민, 허성남, 노혜란, 양희정, 한명수. 2003. 호소형 및 하천형 댐 호의 육수학적 특성과 조류발생과의 상관관계, 한국하천호수학회, 36(2), 124-138.
- 권오섭. 1991. 낙동강 하구언 건설에 의한 환경요인의 변화, 한국하천호수학회, 24(4), 231-238.
- 노성유, 박혜경, 최희락, 이재안. 2014. 기후변화에 따른 대청호 추동지점에서의 남조류 발생 패턴 분석, 한국물환경학회, 30(4), 377-385.

- 서동일, 남귀숙, 이상협, 이의행, 김미리내, 최종운, 김정희, 장광현. 2013. 낙동강 보 구간의 플랑크톤 군집조성과 환경요인에 의한 영향 분석, 한국환경생물학회, 31(4), 362-369.
- 서정관, 이혜진, 정익교. 2010. 낙동강 하류부에서 *Stephanodiscus* 속에 의한 수화 발생시 미생물먹이망 군집 동태, 한국환경생물학회, 28(3), 172-178.
- 신재기, 황순진, 조경제. 2003. 평택호와 유역 주요 하천의 수환경 및 오염도 평가, 한국하천호수학회, 36(1), 38-47.
- 정승현, 박혜경, 이혜진, 이수형. 2013. 낙동강 물금 지점의 겨울 및 봄철 식물플랑크톤 생물량에 대한 기후변화 영향, 한국물환경학회, 29(2), 155-164.
- 정승현, 안치용, 최애란, 장감용, 오희목. 2005. 대청호에서 강우와 식물플랑크톤 군집의 관계, 한국환경생물학회, 23(1), 57-63.
- 조경제, 신재기. 1995. 낙동강에서 규조류 *Stephanodiscus hantzschii* f. *tenuis*와 *S. parvus*의 만성적 대발생, 한국조류학회, 10(2), 91-96.
- 조완희, 염경택, 김진수, 반양진, 정세웅. 2012. 대청호의 조류발생 분석, 한국환경영향평가학회, 21(3), 367-380.
- 이지민, 이정준, 박종근, 이정호, 장천영, 윤성명. 2005. 대청호 남조류 대발생기의 동물플랑크톤 相 및 *Microcystis aeruginosa*와 물벼룩류 개체수 변동의 상관관계, 한국하천호수학회, 38(2), 146-159.
- 이재운, 권헌각, 최한영. 2014. 낙동강수계 권역별 비점오염원 오염도 평가, 한국환경영향평가학회, 23(5), 393-405.
- 유재정, 이혜진, 이경락, 류희성, 황정화, 신라영, 천세억. 2014a. 낙동강의 식물플랑크톤 우점종의 분포특성 및 수온과의 상관성, 한국하천호수학회, 47(4), 247-257.
- 유재정, 이혜진, 이경락, 이인정, 정강영, 천세억. 2014b. 낙동강의 환경요인이 조류군집 구성에 미치는 영향, 한국물환경학회, 30(5), 539-548.
- Forsberg C, Ryding SO. 1980. Eutrophication Parameters and Trophic State Indices in 30 Swedish Waste Receiving Lakes, Archives of Hydrobiology, 89, 189-207.
- Ichimura T. 1979. 2. Isolation and Culture methods of Algae. 2.5.B. Freshwater Algae. In Nishizawa, K. and Chihara, M. (eds), *Methods in Phycological Studies*. Kyoritsu Shuppan, Tokyo, pp. 294-305. (in Japanese without English title)
- Linda EG, James MG, Lee WW. 2009. Algae, Benjamin Cummings Pub.
- Ministry of Environment (MOE). 2014. Standard Methods for the Examination Water Quality, Ministry of Environment.
- Sirenko IA, Kokyrsta PN. 1981. Daily vertical migration of *Microcystis aeruginosa* and its effect on the content of nitrogenous components in the cells, Hydrobiol. J, 17, 34-42.
- Takamuta N, Yasuno M. 1984. Diurnal changes in the Vertical distribution of phytoplankton in hypertrophic lake Kasumigaura, Japan, Hydrobiol, 112, 53-60.
- Welch EB. 1984. Lake restoration results. In: Ecosystems of the world 23, Lakes and reservoirs.

References

- Cho KJ, Shin JG. 1995. Persistent Blooms of Diatoms *Stephanodiscus hantzschii* f. *tenuis* and *S. parvus* in the Naktong River, Algae, 10(2), 91-96.
- Cho WH, Yum KT, Lim JS, Ban YJ, Chung SW. 2012. Study on Algae Occurrence in Daecheong Reservoir, Journal of

- Environmental Impact Assessment, 21(3), 367-380.
- Forsberg C, Ryding SO. 1980. Eutrophication Parameters and Trophic State Indices in 30 Swedish Waste Receiving Lakes, Archives of Hydrobiology, 89, 189-207.
- Ichimura T. 1979. 2. Isolation and Culture methods of Algae. 2.5.B. Freshwater Algae. In Nishizawa, K. and Chihara, M. (eds), *Methods in Phycological Studies*. Kyoritsu Shuppan, Tokyo, p. 294-305. (in Japanese without English title)
- Joung SH, Ahn CY, Choi AR, Jang KY, Oh HM. 2005. Relation between Rainfall and Phytoplankton Community in Daechung Reservoir, Korean Journal Environment Biology, 23(1), 57-63.
- Joung SH, Park HK, Lee HJ, Lee SH. 2013. Effect of Climate Change for Diatom Bloom at Winter and Spring Season in Mulgeum Station of the Nakdong River, South Korea, Journal of Korean Society on Water Environment, 29(2), 155-164.
- Kim GH, Lee JH, An KG. 2012. Spatio-temporal Fluctuations with Influences of Inflowing Tributary Streams on Water Quality in Daechong Reservoir, Korean Journal of Limnology, 45(2), 158-173.
- Kim JM, Heo SN, Noh HR, Yang HJ, Han MS. 2003. Relationship between Limnological characteristics and Algal Bloom in Lake-type and River-type Reservoirs, Korea, Korean Journal of Limnology, 36(2), 124-138.
- Kwon OS. 1991. Effect of River Barrage on the Changes of Environmental Factors in Naktong Estuary, Korean Journal of Limnology, 24(4), 231-238.
- Lee JM, Lee JJ, Park JG, Lee JH, Chang CY, Yoon SM. 2005. Zooplankton Fauna and the Interrelationship Among Cladoceran Populations and *Microcystis aeruginosa* (Cyanophyceae) during the Cyanobacterial Blooming Season at Daechong Lake, South Korea. Korean Journal of Limnology, Journal of Korean Society on Water Environment, 38(2), 146-159.
- Lee JW, Kwon HG, Choi HY. 2014. Evaluation of Pollution Level Attributed to Nonpoint Sources in Nakdonggang Basin, Korea, Journal of Environmental Impact Assessment, 23(5), 393-405.
- Lim HS, Choi JW. 2005. Ecological Impact of the Dyke Construction on the Marine Benthos Community of the Oligohaline Youngam Lake, Journal of the Korean Fisheries and Aquatic Sciences, 38(3), 172-183.
- Linda EG, James MG, Lee WW. 2009. Algae, Benjamin Cummings Pub.
- Ministry of Environment (MOE). 2014. Standard Methods for the Examination Water Quality, Ministry of Environment.
- Noh SY, Park HK, Choi HL, Lee JA. 2014. Effect of Climate Change for Cyanobacteria Growth Pattern in Chudong Station of Lake Daechung, Journal of Korean Society on Water Environment, 30(4), 377-385.
- Seo DI, Nam GS, Lee SH, Lee EH, Kim M, Choi JY, Kim JH, Chang KH. 2013. Plankton Community in Weir Section of the Nakdong River and Its Relation with Selected Environmental Factors, Korean Journal Environment Biology, 31(4), 362-369.
- Seo JK, Lee HJ, Chung IK. 2010. The Community Dynamics of Microbial Food Web during Algal Bloom by *Stephanodiscus* spp. in

- Downstream of Nakdong River, Korean Journal Environment Biology, 28(3), 172-178.
- Shin JK, Hwang SJ, Cho KJ. 2003. Assessment of Water Quality in Pyeongtaek Reservoir and Its Main Tributaries, Korean Journal of Limnology, 36(1), 38-47.
- Sirenko IA, Kokyrsta PN. 1981. Daily vertical migration of *Microcystis aeruginosa* and its effect on the content of nitrogenous components in the cells, Hydrobiol. J, 17, 34-42.
- Takamuta N, Yasuno M. 1984. Diurnal changes in the Vertical distribution of phytoplankton in hypertrophic lake Kasumigaura, Japan, Hydrobiol, 112, 53-60.
- Welch EB. 1984. Lake restoration results. In: Ecosystems of the world 23, Lakes and reservoirs.
- Yu JJ, Lee HJ, Lee KL, Lyu HS, Whang JW, Shin LY, Chen SU. 2014a. Relationship between Distribution of the Dominant Phytoplankton Species and Water Temperature in the Nakdong River, Korea, The Korean Society of Limnology, 47(4), 247-257.
- Yu JJ, Lee HJ, Lee KL, Lee IJ, Jung GY, Chen SU. 2014b. Effects of Environmental Factors on Algal Communities in the Nakdong River, Journal of Korean Society on Water Environment, 30(5), 539-548.