

Research Article

Open Access

주암호 복내 저수구역내 침수 자생식물의 질소 및 인 모니터링

강세원,^{1†} 서동철,^{1†} 이상규,¹ 서영진,¹ 박주왕,¹ 최익원,¹ 박종환,² 임병진,² 허종수,³ 조주식^{1*}

¹순천대학교 생물환경학과, ²국립환경과학원 영산강물환경연구소, ³경상대학교 응용생명과학부(BK21 농업생명산업 글로벌 인재 육성 사업단) & 농업생명과학원

Monitoring of Nitrogen and Phosphorus from Submerged Plants in Boknae Reservoir around Juam Lake

Se-Won Kang,^{1†} Dong-Cheol Seo,^{1†} Sang-Gyu Lee,¹ Young-Jin Seo,¹ Ju-Wang Park,¹ Ik-Won Choi,¹ Jong-Hwan Park,² Byung-Jin Lim,² Jong-Soo Heo³ and Ju-Sik Cho^{1*} (¹Department of Bio-environmental Sciences, Suncheon National University, ²Yeongsan River Environmental Research Center, National Institute of Environmental Research Ministry of Environment, ³Division of Applied Life Science(BK21 program) & Institute of Agriculture and Life Science, Gyeongsang National University)

Received: 26 February 2013 / Revised: 19 March 2013 / Accepted: 25 March 2013

© 2013 The Korean Society of Environmental Agriculture

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Abstract

BACKGROUND: Eutrophication occurs occasionally in reservoirs around lake in summer and early autumn. Lakeside macrophyte which is one of internal pollutants effects on water quality when it is submerged during rainy season. To improve water quality of water supply source in Boknae reservoir around Juam lake, characteristics of nutrient(N, P) uptake and release by submerged plants were investigated.

METHODS AND RESULTS: In order to establish the management plan of submerged plants in Boknae reservoir around Juam lake, water level, rainfall, flooding and non-flooding areas, biomass of dominant plants, contents of nitrogen and phosphorus were investigated during 7 months(August, 2010 through February, 2011). Dominant plants were *Miscanthus sacchariflorus*(MISSA) and *Carex dimorpholepis*(CRXDM) in Boknae reservoir. Total plant

area of Boknae reservoir in August, 2010 was 987,872 m². In Boknae reservoir, flooding occurred from August until February caused by rainfall during rainy season. The total amounts of nitrogen and phosphorus uptakes by MISSA were 247 and 22 kg/total reservoir area, respectively. By CRXDM, the total amounts of nitrogen and phosphorus uptakes were 11,340 and 1,231 kg/total reservoir area, respectively. The total amounts of nitrogen and phosphorus residues by MISSA were 34 and 11 kg/total reservoir area, respectively. By CRXDM, the total amounts of nitrogen and phosphorus residues were 491 and 68 kg/total reservoir area, respectively.

CONCLUSION(S): Total amounts of nitrogen and phosphorus releases in Boknae reservoir were 12,212 and 1,324 kg/total reservoir area, respectively. The results demonstrate that total nitrogen and total phosphorus in water were strongly influenced by submerged plants. Therefore, management plan for submerged plants during rainy season will be needed to improve water quality of water supply source in Boknae reservoir around Juam lake.

Key Words: Boknae reservoir, Juam lake, Release, Submerged plants, Uptake

† 공동 제1저자

*교신저자(Corresponding author),

Phone: +82-61-750-3297; Fax: +82-61-752-8011;

E-mail: chojs@sunchon.ac.kr

서론

우리나라의 다목적댐은 산업화와 도시화에 따른 물부족 현상을 해결하기 위하여 주암호, 동북호 및 대청호 등과 같은 인공호수를 만들었다(Jeong *et al.*, 2011). 우리나라의 온대 몬순 기후 영향으로 여름철에 집중되는 강우를 효율적으로 관리하기 위하여 인공호수내 수위를 여름 홍수기 전에 최대한 낮추고, 여름 홍수기 이후에 높은 수위를 유지시켜 수자원 이용에 효율성을 가하고 있다(Han *et al.*, 2011; Kwak *et al.*, 2012).

하지만 국내의 대부분의 댐과 저수지에서는 영양염류의 유입으로 인해 여름과 초가을 고수온기에 부영양화 현상이 빈번하게 발생하고 있다(Cho *et al.*, 1996; Lee and Kang, 2000). 이러한 부영양화 현상은 다양한 점오염원 및 비점오염원 등의 유입과 저수지내에서 발생하는 영양염류의 증가가 한 요인으로 작용하고 있다(Graneli and Solander, 1988; Lee and Park, 2005).

갈수기와 홍수기 때의 강우량 차이가 뚜렷한 우리나라는 주요 수원지의 저수율과 수위 변동에 영향을 주고 있으며, 이로 인해 갈수기에 노출된 저수구역에서는 다양한 식물들이 자생하여 독특한 수면 생태계를 이루고 있다. 저수구역 내에서 성장하는 식물들은 성장기 동안에 수질과 토양으로부터 영양성분을 흡수하여 수질정화 및 토양 생태계 활성화 등에 다양한 이점을 주고 있지만, 홍수기에는 저수율 상승으로 인해 식물들이 상당기간 침수되어 분해되면서 수중의 영양염류를 증가시키고 조류의 번식과 이취미 유발 요인 등으로 작용할 수 있으며, 부영양화를 촉진시켜 안정적인 수자원 공급에 부정적인 영향을 주고 있다(Lee and Bae, 2002; Lee and Park, 2005; Kang *et al.*, 2011).

본 연구 조사대상지인 주암호는 수력발전 및 홍수조절 등

다목적댐의 역할을 하고 있으며, 250만 광주, 전남의 상수원으로서 생활용수와 광양만권의 산업단지에 공업용수를 공급하고 있다(Choi *et al.*, 2012). 주암호내에는 수몰 이전에 경작지로 사용되었던 완만한 저수구역이 상당히 넓은 면적으로 분포되어 있어, 홍수기 전까지 토양과 수질로부터 영양성분을 흡수하여 성장한 식물체들이 홍수기에는 침수되어 서서히 분해되면서 다량의 영양염류를 용출시키고 있다(Han *et al.*, 2011).

Seo 등(2011)은 복내 저수구역에서 주요 식물체의 생육특성과 영양염류 흡수량을 산정한 바 있지만 침수식물체로부터 얼마정도의 영양염류가 수질내로 용출되는지에 대해서는 아직 보고된 바 없다. 특히 호소에서 나타나는 부영양화 현상은 질소 및 인의 농도에 크게 영향을 받기 때문에 침수된 식물체의 질소 및 인 용출량을 파악하는 것은 호소 수질개선을 위해 반드시 필요할 것이다.

따라서 본 연구는 주암호내 복내 저수구역에서 서식하는 자생식물체들이 침수되었을 때 주암호 수질로 용출되는 질소 및 인 함량을 파악하기 위하여 저수구역이 침수되기 전인 2010년 8월과 침수 후 다시 침수이전 수위로 회복된 2011년 2월에 저수구역내 수위, 강우량, 면적, 우점 식물체별 바이오매스, 질소 및 인 함량을 각각 조사하였다. 이들 연구결과를 이용하여 2010년 8월에 저수구역에서 서식하는 자생식물내 질소 및 인의 최대 흡수량을 산출하였고, 2011년 2월에 침수 기간 동안 용출되고 남은 식생내 질소 및 인 잔존량을 산출하여 최종적으로 주암호 복내 저수구역내 침수 자생식물의 질소 및 인 용출량을 산출하여 주암호 수질에 미치는 영향을 조사하였다.

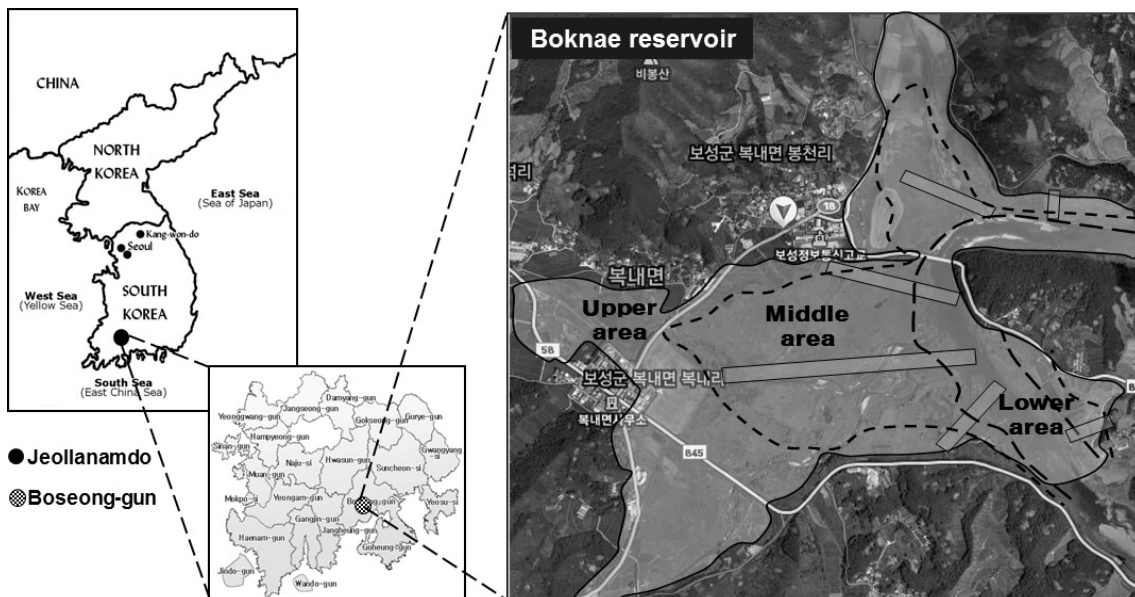


Fig. 1. Geographical description of Boknae reservoir located within Juam lake.

재료 및 방법

조사지역

주암호내 저수구역에서 침수 식물체의 영양염류 용출 특성을 조사하기 위하여 Fig. 1에서 보는 바와 같이 전라남도 보성군 복내면에 위치한 복내 저수구를 선정하였다. 복내 저수구역의 총 면적은 1,848,568 m² 정도이고, 식생대가 넓게 분포하는 환경사지대로 Fig. 2와 같이 가뭄특성과 장마기 홍수로 인한 침수특성이 잘 나타나는 지역이었으며, 복내 저수구역의 주요 우점 식생은 물억새(*Miscanthus sacchariflorus*; MISSA) 및 이삭사초(*Carex dimorpholepis*; CRXDM)이었다.

실험방법 및 조사시기

복내 저수구역의 수위에 따른 침수 및 비침수지역의 면적은 2010년 8월부터 2011년 2월까지 시기별로 조사하였다. 침수 및 비침수지역의 면적 산출은 실제 지형도에서 판독 가능한 등고선의 근사값, 실제 침수구역 및 침수기간을 고려하였고, 위성사진을 통하여 면적을 산출하였으며, 식생이 자라지

않는 급경사 지역과 이용지역은 면적에서 제외시켰다.

복내 저수구역내 식생의 질소 및 인 흡수량을 조사하기 위한 주요 우점종의 생육 및 분포특성 조사는 2010년 8월과 2011년 2월에 조사대상 전 구간에 걸쳐 이동하면서 관찰된 개체 종을 육안으로 확인하고 분류하여 단위면적(m²)당 biomass, 영양염류(질소 및 인)의 함량 및 흡수량을 조사하였다.

주암호 복내 저수구역내 식생의 영양염류 용출량 조사는 복내 저수구역이 침수되기 전인 2010년 8월의 영양염류(질소 및 인) 최대 흡수량과 침수 후 다시 침수이전 수위로 회복된 2011년 2월에 남은 식생의 영양염류 잔존량 차이를 이용하여 산술적인 영양염류 용출량을 산정하였다.

분석방법

식물체 분석은 농촌진흥청 농업과학기술원 토양 및 식물체 분석법(NIAST, 2000)에 준하여 식물체 시료를 70 °C dry oven에서 3일간 건조하여 마이크로 분쇄기를 사용하여 0.1 mm 입자 크기로 분쇄하였다. T-N 및 T-P의 분석을 위한 전처리는 습식분해법(H₂SO₄ + H₂O₂)으로 분해된 여액을 사용하였으며, T-N의 분석은 Kjeldahl 증류법으로 질소자동분석

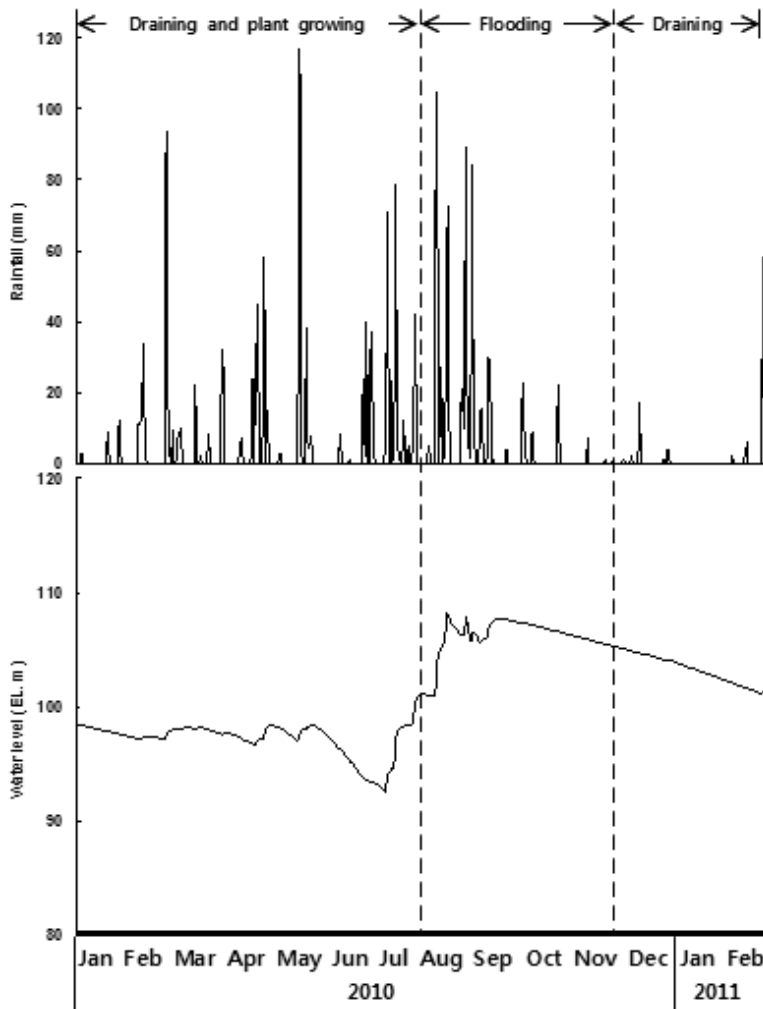


Fig. 2. Hydrological characteristics in Boknae reservoir.

기(Gerhardt autosampler Vapodest 50 carouse, Germany)를 이용하여 분석하였고, T-P의 분석은 Vanade molybdate 법(UV2550PC, Perkinelmer)으로 분석하였다.

결과 및 고찰

침수 및 비침수지역 면적

북내 저수구역의 침수 전(2010년 8월), 침수 후(2010년 9월~2011년 1월) 및 침수 후 수위를 회복(2011년 2월)한 시기별 전경은 Fig. 3에서 보는 바와 같다. 북내 저수구역의 식생 면적은 Fig. 4와 같이 2010년 8월에 987,872 m²이었으며, 이후 여름철 집중 강우로 인하여 북내 저수구역의 식생 면적인

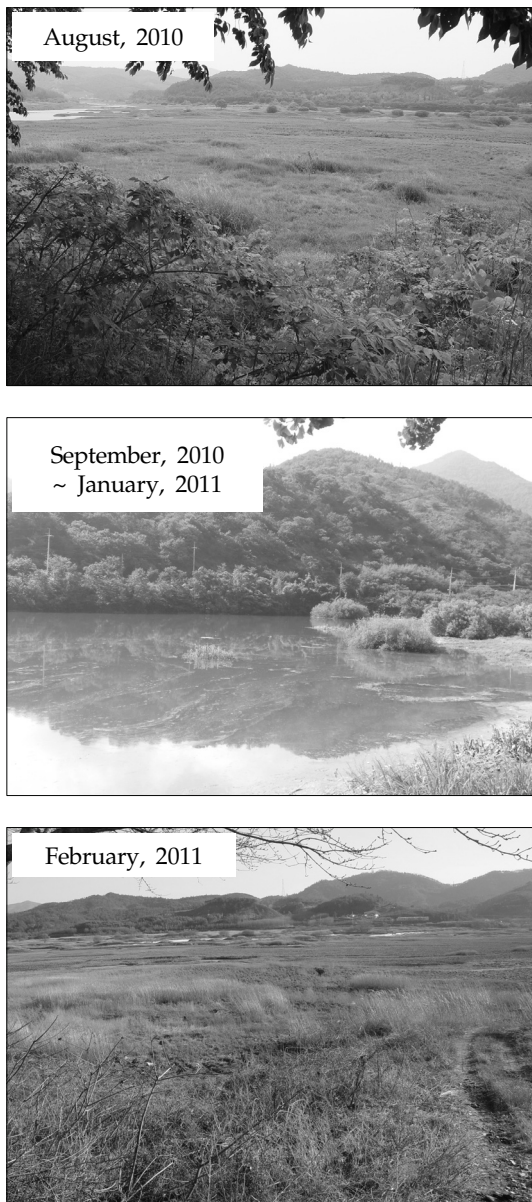


Fig. 3. Foregrounds of Boknae reservoir before and after flooding during 7 months(August, 2010~February, 2011).

987,872 m²이 완전히 침수되어 2010년 10월까지 침수가 계속 유지되었다. 2010년 11월부터 주암호 수위가 서서히 낮아지면서 북내 저수구역내 침수지역의 면적이 감소하여 2011년 1월에 저수구역의 침수 및 비침수지역의 면적은 각각 535,056 및 452,816 m²이었으며, 2011년 2월에는 침수되기 전 식생면적인 987,872 m²의 면적이 회복되었다.

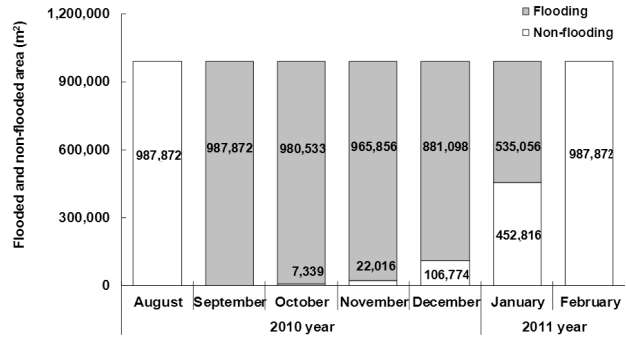


Fig. 4. Flooded and non-flooded areas under different time in Boknae reservoir.

식생의 영양염류 흡수량 및 잔존량

주암호 북내 저수구역내 식생의 영양염류 흡수량 및 잔존량을 조사하기 위해서 2010년 8월과 2011년 2월에 조사된 식생의 biomass와 영양염류(T-N 및 T-P)의 함량을 조사한 결과는 Fig. 5와 같다.

북내 저수구역내 물억새의 biomass는 2010년 8월에 1.295 kg/m² 이었으며, 2011년 2월에 1.386 kg/m²으로 침수 이후에 물억새의 biomass가 증가되었다. 2010년 8월에 조사 당시 물억새의 생육은 이삭사초와 달리 한창 성장 중이었고, 침수된 이후 지속적인 생육을 했던 것으로 판단된다. 또한 물억새는 이삭사초에 비해 줄기가 단단하여 쉽게 분해되지 않고, 침수된 이후에도 줄기는 그대로 남아 있어서 2011년 2월에 조사된 biomass가 2010년 8월에 조사된 물억새의 biomass보다 높은 것으로 사료된다. 2010년 8월에 조사된 이삭사초의 biomass는 0.850 kg/m²으로 조사되었으며, 저수구역의 침수 이후 이삭사초의 biomass는 물억새와 대조적인 경향으로 0.384 kg/m²으로 급격히 감소하였다(Kang *et al.*, 2011).

2010년 8월에 북내 저수구역내 주요 분포종인 물억새 및 이삭사초의 T-N 함량은 식생의 종류에 상관없이 16.45~23.40 g/kg 범위이었고, T-P의 함량은 1.79~2.08 g/kg 범위로 큰 차이 없이 비슷하였다. 2011년 2월에 물억새 및 이삭사초의 T-N 함량은 각각 2.98 및 9.22 g/kg으로 침수 이전(2010년 8월)에 비해 감소하였다. 이와 같은 결과는 2010년에 8월부터 시작된 강우로 인해 저수구역내 식물체가 침수되어 물속에서 고사하면서 영양염류를 용출시켜 T-N의 함량이 감소한 것으로 판단된다. Han 등(2011) 및 Kang 등(2011)에 의하며, 침수 식물체의 용출 실험에서 식물체의 영양염류 용출로 인해 칼럼내 수질의 T-N 및 T-P의 농도는 시기가 지남에 따

라 증가한다고 보고한 바 있다. 2011년 2월에 조사된 물억새의 T-P 함량은 0.97 g/kg이었고, 이삭사초의 T-P 함량은 1.28 g/kg으로 T-N의 함량과 비슷한 경향으로 2010년 8월에 조사한 물억새 및 이삭사초의 T-P 함량에 비해 감소하였다.

주요 분포종의 biomass, T-N 및 T-P의 함량과 분포면적을 고려하여 조사된 식물체별 T-N 및 T-P의 흡수량은 Fig. 6 및 7에서 보는 바와 같다.

2010년 8월에 조사된 물억새의 단위면적당 T-N 흡수량은 30.30 g/m²이었고, 이삭사초의 단위면적당 T-N 흡수량은 13.97 g/m² 범위이었다. 물억새 및 이삭사초의 분포면적별 T-N 흡수량은 각각 247 및 11,340 kg으로 분포면적이 넓은 이삭사초의 T-N 흡수량이 물억새에 비해 많았다. Han 등 (2011)은 침수 식물체의 종류별 함량보다 면적에 의한 영향이 크다고 보고한 바 있는데, 이는 본 실험 결과와 유사한 경

향으로 분포면적이 넓은 이삭사초의 T-N 흡수량이 다른 식물에 비해 많았다. 특히, 물억새의 단위면적(m²)당 T-N 흡수량은 이삭사초에 비해 많았는데, 이삭사초의 분포면적이 물억새의 분포면적에 비해 약 100배 이상 넓었기 때문에 이삭사초의 T-N 흡수량이 많았다. 주요 분포종의 T-P 흡수량도 T-N의 흡수량 결과와 유사한 경향으로 단위면적당 T-P의 함량은 물억새가 2.69 g/m²으로 가장 많았지만, 분포면적별 T-P의 흡수량은 분포면적이 가장 넓은 이삭사초가 가장 많았다.

북내 저수구역의 침수 이후 2011년 2월에 물억새 및 이삭사초의 단위면적당 T-N의 잔존량은 각각 4.13 및 3.54 g/m²으로 2010년 8월에 조사된 물억새 및 이삭사초의 단위면적(m²)당 T-N의 흡수량에 비해 감소하였다. 2011년 2월에 조사된 물억새 및 이삭사초의 T-P의 잔존량도 T-N의 결과와 유사한 경향으로 침수 전인 2010년 8월에 조사된 물억새 및 이삭사초에 비해 감소하였다.

따라서 2011년 2월에 조사된 북내 저수구역내 물억새 및 이삭사초의 조사 지역내 T-N의 잔존량은 각각 34 및 491 kg으로 2010년 8월에 조사된 T-N의 흡수량에 비해 낮았으며, 식물체별 T-P의 잔존량도 T-N의 잔존량과 유사한 경향이었다. 북내 저수구역내 식물체는 침수 이후 T-N 및 T-P 흡수량이 감소하는 경향을 보였는데, 이는 저수구역의 장기간 침수로 인해 식물체내 영양성분이 용출되었기 때문으로 판단된다 (Catignana and Kalff, 1982; Twilley *et al.*, 1985).

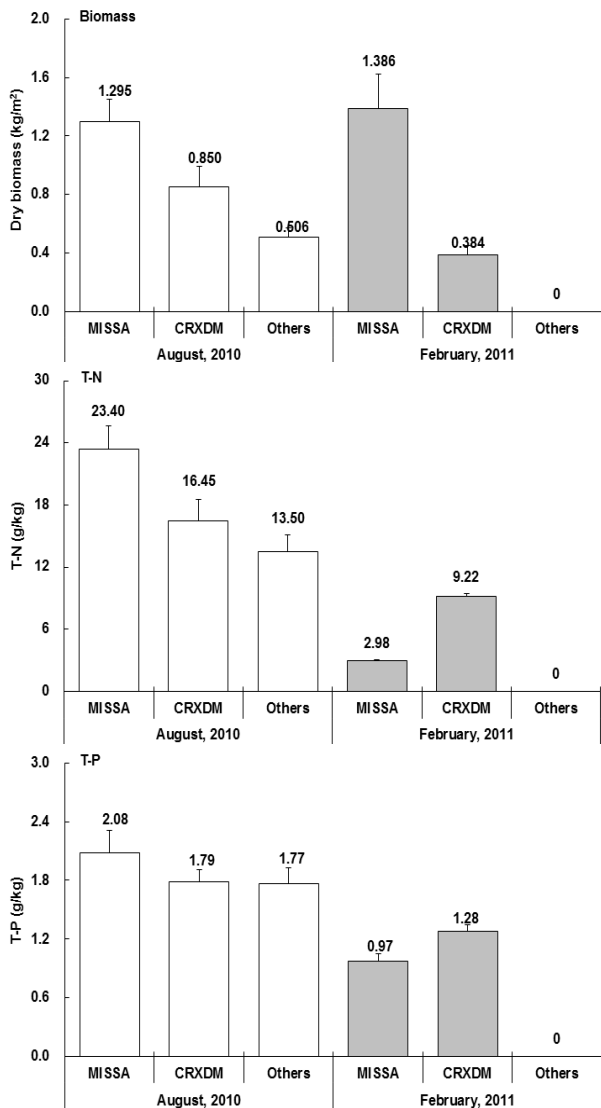


Fig. 5. Biomass, T-N and T-P contents in plants under different time in Boknae reservoir(MISSA: *Miscanthus sacchariflorus*, CRXDM: *Carex dimorpholepis*).

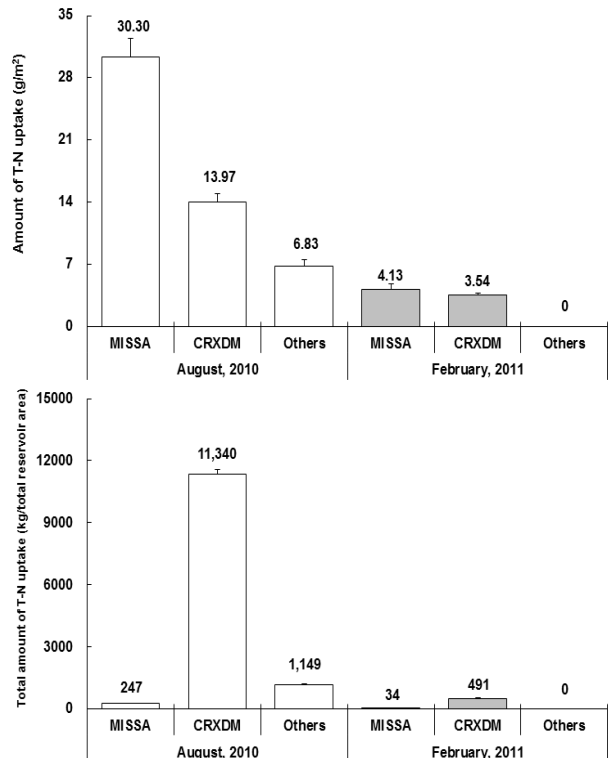


Fig. 6. Total amount of nitrogen uptake with the different submerged plants in Boknae reservoir(MISSA: *Miscanthus sacchariflorus*, CRXDM: *Carex dimorpholepis*).

식생의 영양염류 용출량 산정

복내 저수구역내 침수에 따른 식생의 영양염류 용출량은 침수 전인 2010년 8월에 조사한 식물체들의 영양염류 최대 흡수량 결과와 침수 이후 2011년 2월에 남은 잔존량을 이용하여 용출량을 산정하였다. 복내 저수구역내 식생들의 T-N 및 T-P의 용출량을 산정한 결과는 Fig. 8에서 보는 바와 같다. 저수구역내 주요 식생의 T-N 용출량은 이삭사초(10,849 kg)가 물억새(213 kg)에 비해 T-N 용출량이 월등히 많았다. 이와 같이 이삭사초의 용출량이 다른 식물에 비해 월등히 많은 것은 이삭사초의 침수면적이 가장 넓고, 식물조직이 연하여 침수시 빠르게 분해되기 때문으로 판단된다. Kang 등(2011)은 칼럼 실험에서 물억새 및 이삭사초의 T-N 용출량은 침수 1개월 동안 각각 1,813 및 2,816 mg/m²으로 이삭사초의 T-N 용출량이 약 1.6배 많다고 보고하였는데, 이는 이삭사초가 물억새에 비하여 식물조직이 연하고 대부분 잎으로 구성되어 있기 때문이라고 하였다. Lee 등(2007)은 식물체에 의한 용출실험 결과 물억새의 T-N 용출량은 1개월 동안 7.80 mg/g으로 보고된 바 있으나 본 연구와는 실험방법이나 산정기준이 달라 T-N 용출량을 직접적으로 비교하기 어려웠다.

복내 저수구역내 T-P의 용출량은 물억새가 11 kg 및 이삭사초가 1,163 kg으로 T-N의 용출량과 마찬가지로 이삭사초의 T-P 용출량이 월등히 많았다. 이삭사초는 식물조직이 연하고 대부분 잎으로 구성되어 있어 짧은 기간의 침수기간 동안에도 대부분 분해되어 인이 용출되었으며, Kang 등

(2011)도 유사한 결과를 보고한 바 있다.

이상의 결과를 고려하여 복내 저수구역내 전체 면적과 식생에 대한 T-N 및 T-P의 용출량을 산정한 결과는 Fig. 7과 같다. 복내 저수구역내 식물체들의 T-N 총 흡수량은 복내 저수구역 총 식생면적(987,872 m²)당 12,736 kg이었고, T-N 잔존량은 524 kg이었으며, 총 흡수량에 남은 잔존량을 제외한 T-N의 용출량은 12,212 kg이었다. 식물체들의 T-P 총 흡수량은 복내 저수구역 총 식생면적(987,872 m²)당 1,403 kg이었고, T-P의 잔존량은 79 kg이었으며, 식물체들의 T-P 용출량은 1,324 kg이었다. Lee 등(2007)은 주암호 수변식물이 호우시 30일 정도 잠겼을 경우에 발생하는 영양염류의 자연적 용출량은 T-N이 6,524 kg 및 T-P가 1,016 kg으로 보고한 바 있는데, 본 연구의 질소 및 인 용출량과는 조사지역, 면적 및 식생 등 산출과정이 달라 직접적인 비교는 힘들 것으로 판단된다. 특히 실제 저수구역에서 영양염류 용출량을 산정한 본 연구결과와 달리 Lee 등(2007)의 경우 단기간의 용출실험을 통해 영양염류 부하량을 산정한 결과로써 실제 잠재량을 예측하기에는 한계가 있을 것으로 판단된다. 하지만 두 연구 모두에서 침수 식물체가 수중에서 분해되면서 식물체내 질소 및 인이 용출되어 주암호의 수질오염을 가중시킬 수 있는 한 요인이 될 수 있음을 보였다. Lee 와 Park (2005), Pompgyi 등(1984) 및 Seo 등(2011)에 의하면, 저수구역내 식물체의 정확한 용출량 산정은 강우사상에 따라 침수되는 양상과 분포면적이나 종조성이 매년 바뀌어 힘든 것으로 보고된 바 있다. 저수구역의 침수시 식물체에 의한 영양염류의 용출은 호소내 질소 및 인 함량을 증가시켜 부영양화를 촉진시킬 수 있기 때문에 호소내 수질개선을 위해서는 저수구역내 자생식물체의 관리방안이 필요할 것으로 판단되며, 본 연구결과는 저수구역내 자생식물의 관리방안을 제시하기 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것이다.

요약

주암호내 복내 저수구역에서 서식하는 자생식물체들이 침수시 주암호 수질에 미치는 영향을 파악하기 위하여 복내 저수구역이 침수되기 전인 2010년 8월의 영양염류(질소 및 인) 최대 흡수량과 침수 후 다시 침수이전 수위로 회복된 2011년 2월에 남은 식생의 영양염류 잔존량 차이를 이용하여 산술적인 영양염류 용출량을 산정하였다. 2010년 8월에 침수되기 전 복내 저수구역내 식생의 면적은 987,872 m²이었다. 침수 전인 2010년 8월에 복내 저수구역내 식생의 분포면적별 T-N의 흡수량은 물억새가 247 kg/total reservoir area, 이삭사초가 11,340 kg/total reservoir area로 분포면적이 넓은 이삭사초의 T-N 흡수량이 물억새에 비해 많았으며, T-P의 흡수량도 1,231 kg/total reservoir area로 이삭사초가 가장 많았다. 침수 후 2011년 2월에 조사된 상부지역 물억새의 T-N 및 T-P의 잔존량은 각각 34 및 11 kg/total reservoir area로 침수 전에 비해 감소하였고, 이삭사초의 T-N 및 T-P의 잔존량은 각각 491 및 68 kg/total reservoir area로 물억새와 비슷한 경향으로 침수 전에 비해 감소하였다. 이상의

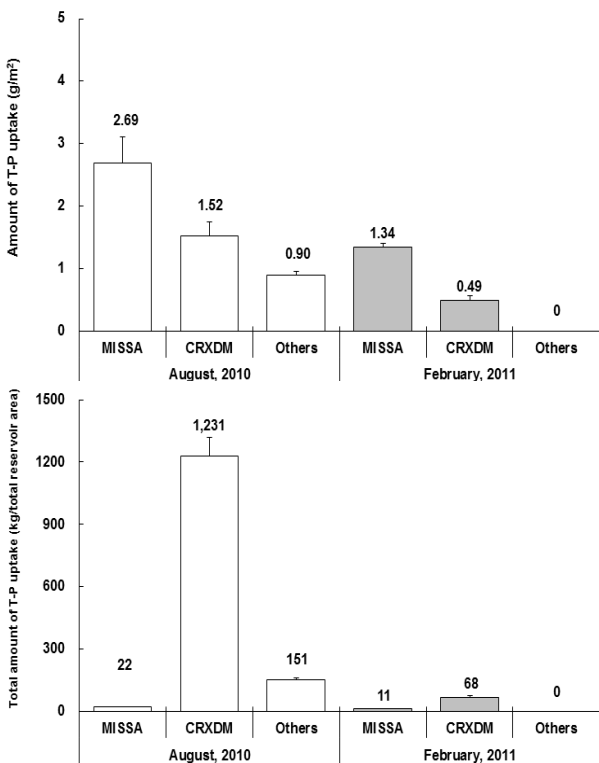


Fig. 7. Total amount of phosphorus uptake with the different submerged plants in Boknae reservoir(MISSA: *Miscanthus sacchariflorus*, CRXDM: *Carex dimorpholepis*).

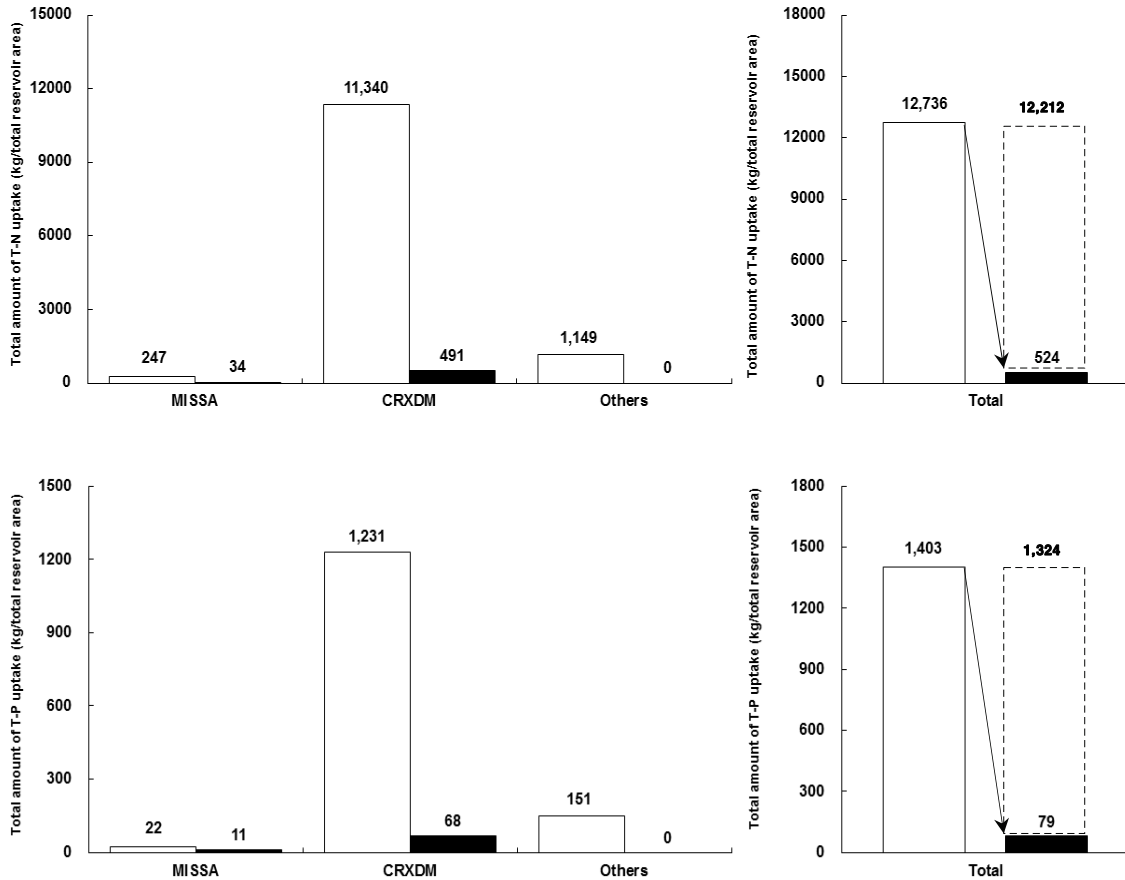


Fig. 8. Estimation of nutrients release under the different submerged plants in Boknae reservoir(MISSA: *Miscanthus sacchariflorus*, CRXDM: *Carex dimorpholepis*, □: Total amount of nutrients uptake, ■: Total amount of nutrients residue, □: Total amount of nutrients release).

결과를 종합하여 복내 저수구역내 식생의 T-N 및 T-P의 총 용출량을 산정한 결과 T-N 용출량은 복내 저수구역 총 식생 면적(987,872 m²)당 12,212 kg, T-P 용출량은 총 식생면적당 1,324 kg이었다. 따라서 복내 저수구역내 자생식물은 침수시 수중에서 분해되면서 식물체내 질소 및 인이 용출되어 주암호의 수질오염을 가중시킬 수 있는 한 요인이 될 수 있으므로 호소내 수질개선을 위해서는 저수구역내 식물체의 관리 방안이 필요할 것으로 판단된다.

감사의 글

This research was supported by a fellowship from the Yeongsan & Sumjin River Watershed Management Fund of South Korea. This work was also supported by the National Research Foundation of Korea grant funded by the Korea Government(Ministry of Education, Science and Technology), [NRF-2010-0025548, 2012R1A2A2A01015706, NRF-2010-359-F00003].

참고문헌

Carignan, R., Kalff, J., 1982. Phosphorus sources by submerged macrophytes: Significance to epiphyton and phytoplankton, *Limnol. Oceanogr.* 27, 419-427.

Cho, Y.G., Bae, S.J., Baik, S.K., Lee, J.J., 1996. Effects of submerged wild growing plants on water quality in the Dongbok reservoir, *KSWQ.* 12, 277-284.

Choi, D.H., Jung, J.W., Lee, K.S., Choi, Y.J., Yoon, K.S., Cho, S.H., Park, H.N., Lim, B.J., Chang, N.I., 2012. Estimation of pollutant load delivery ratio for flow duration using L-Q equation from the Oenam-choen watershed in Juam lake, *KENSS.* 21, 31-39.

Graneli, W., Solander, D., 1988. Influence of aquatic macrophyte on phosphorus cycling in lakes, *Hydrobiologia.* 170, 245-266.

Han, J.H., Seo, D.C., Kim, S.D., Kang, S.W., Lim, B.J., Park, J.H., Kim, K.S., Lee, J.B., Kim, H., Heo, J.S., Cho, J.S., 2011. Removal and release velocities of nutrients by submerged plants in flood control reservoirs

- around Juam lake, *Korean J. Environ. Agri.* 30, 144-152.
- Jeong, D.H., Lee, J.J., Kim, K.Y., Lee, D.H., Hong, S.H., Yoon, J.H., Hong, S.Y., Kim, T.S., 2011. A study on the management and improvement of alert system according to algal bloom in the Daecheong reservoir, *EIAA*. 20, 915-925.
- Kang, S.W., Seo, D.C., Han, M.J., Han, J.H., Lim, B.J., Park, J.W., Kim, K.S., Lee, Y.J., Choi, I.W., Lee, Y.H., Heo, J.S., Kim, H., Cho, J.S., 2011. Characteristics of nutrients release by submerged plants in flood control reservoirs within Juam lake, *Korean J. Soil Sci. Fert.* 44, 271-277.
- Kwak, S.J., Bal Dev Bhattra, Kim, E.J., Lee, C.K., Lee, H.J., Heo, W.M., 2012. Characteristics of non-point pollution discharge on stormwater runoff from lake Doam watershed, *Korean J. Limnol.* 45, 62-71.
- Lee, H.D., Bae, C.H., 2002. Runoff characteristics and strategies for nonpoint source reduction, *Korean Soc. Water Quality*. 18, 569-576.
- Lee, Y.C., Lee, S.K., Oh, E.J., Ko, C.J., Song, I.Y., 2007. The investigation for reducing nutrient that was created inside of lakes and marshes with gardening control inside the submergence sections in lake Juam. *Korean Society on Water Quality and Korean Society of Water Wastewater Meeting Conference Proceedings, KINTEX, Gyeonggido.* p, 397-403.
- Lee, Y.S., Kang, B.S., 2000. Characteristics of pollutant load from a dam reservoir watershed - Case study on Seomjinkang dam reservoir, *KWRA*. 33, 757-764.
- Lee, Y.S., Park, J.G., 2005. Assessment of water quality impact of submerged lakeside macrophyte, *EIAA*. 14, 255-262.
- NIAS. 2000. Methods of soil and plant analysis, National Institute of Agricultural Science and Technology, RDA, Suwon, Korea.
- Pomogyi, P., Best, E.P.H., Dassen, J.H.A., Boon, J.J., 1984. On the relation between age, plant composition and nutrient release from living and Killed *Ceratophyllum* plants, *Aquat. Bot.* 19, 243-250.
- Seo, Y.J., Seo, D.C., Choi, I.W., Lim, B.J., Park, J.W., Kim, K.S., Lee, J.B., Kang, S.J., Heo, J.S., Cho, J.S., 2011. Growth characteristics and nutrient loads of submerged plants in flood control reservoir around Juam lake, *Korean J. Soil Sci. Fert.* 44, 922-928.
- Twilley, R.R., Blanton, L.R., Brinson, M.M., Davis, G.J., 1985. Biomass production and nutrient cyclings in aquatic macrophyte communities of the Chowan River, North Carolina, *Aquat. Bot.* 22, 231-252.