

## 주암호 홍수조절용지내 침수 식물체의 영양염류 용출 특성

강세원<sup>†</sup> · 서동철<sup>†</sup> · 한명자 · 한종학 · 임병진<sup>1</sup> · 박종환<sup>1</sup> · 김갑순<sup>1</sup> · 이영재<sup>1</sup>  
최익원<sup>2</sup> · 이영한<sup>3</sup> · 허종수<sup>4</sup> · 김현욱<sup>2</sup> · 조주식\*

순천대학교 생물환경학과, <sup>1</sup>영산강 물환경 연구소, <sup>2</sup>서울시립대학교 환경공학부,  
<sup>3</sup>경상남도농업기술원, <sup>4</sup>경상대학교 응용생명과학부

## Characteristics of Nutrients Release by Submerged Plants in Flood Control Reservoirs within Juam Lake

Se-Won Kang<sup>†</sup>, Dong-Cheol Seo<sup>†</sup>, Myung-Ja Han, Jong-Hak Han, Byung-Jin Lim<sup>1</sup>, Jong-Hwan Park<sup>1</sup>,  
Kap-Soon Kim<sup>1</sup>, Yeong-Jae Lee<sup>1</sup>, Ik-Won Choi<sup>2</sup>, Young-Han Lee<sup>3</sup>, Jong-Soo Heo<sup>4</sup>,  
Hyunook Kim<sup>2</sup>, and Ju-Sik Cho\*

Department of Bio-Environmental Sciences, Suncheon National University, Suncheon, South Korea, <sup>1</sup>Yeongsan River Environmental Research Center, National Institute of Environmental Research Ministry of Environment, Gwangju, South Korea, <sup>2</sup>Division of Environmental Engineering, University of Seoul, Seoul, South Korea, <sup>3</sup>Gyeongsangnam-do Agricultural Research and Extension Services, Jinju 660-370, Korea, <sup>4</sup>Division of Applied Life Science, Gyeongsang National University, Jinju, South Korea

To improve the quality of water from water supply source and to establish the management plan of dead plants in flood control reservoir around Juam Lake, the effect of water quality by dead plant in column with passing time was investigated. In column test, the amounts of release by *Carex dimorpholepis* were 7,893-7,917 mg m<sup>-2</sup> month<sup>-1</sup> COD, 2,711-2,816 mg m<sup>-2</sup> month<sup>-1</sup> T-N and 342-547 mg m<sup>-2</sup> month<sup>-1</sup> T-P. The amounts of release by *Miscanthus sacchariflorus* were 6,487-6,507 mg m<sup>-2</sup> COD, 1,813-1,868 mg m<sup>-2</sup> T-N and 226-405 mg m<sup>-2</sup> month<sup>-1</sup> T-P in column. Therefore, the release of COD, T-N and T-P by *Carex dimorpholepis* were more than those by *Miscanthus sacchariflorus* Benth in column.

**Key words:** Flood control reservoir, Juam lake, Pollutants, Dead plants

## 서 언

우리나라는 갈수기와 홍수기때의 강우량 차이가 크므로 주요 수원지의 저수율과 수위 변동에 큰 영향을 주고 있으며, 갈수기나 가뭄시에 노출된 호소 연안부에는 다양한 식물들이 자생하여 독특한 수면 생태계를 이루고 있다. 국내의 대부분의 댐과 저수지는 영양염류의 유입으로 여름과 초가을 고수온기에 부영양화 현상이 빈번하게 일어나고 있으며, 이러한 현상은 질소와 인 등의 영양염류와 환경요인 등의 다양한 인자와 밀접한 상관이 있다 (Cho et al., 1996; Lee and Kang, 2000). 호수내의 영양염류 증가에 영향을 주는 대표적인 오염원으로는 상류로부터 유입되는 점오염원

및 비점오염원과 호수내부에서 생산되는 유기물로 인한 부하로 알려져 있으며, 이 중 호수내부에서 생성되는 대표적 인 오염원으로는 식물플랑크톤의 증가와 저수구역내 식물체의 침수로 인한 영양염류의 용출을 들 수 있다. 저수구역내에서 성장하는 식물들은 생장기 동안에는 수질과 토양(퇴적층)으로 부터 영양성분을 흡수하여 성장하므로 수질정화 뿐만 아니라 토양 생태계 활성화에 다양한 이점이 있으나, 홍수기에는 저수율 상승으로 인해 식물들이 상당기간 침수되어 분해되면서 수중의 영양염류를 증가시켜 조류의 번식과 이취미 유발 요인 등으로 작용할 수 있고, 부영양화를 촉진시켜 안정적인 수자원 공급에 차질을 빚을 수 있다 (Cho, 2010; Lee and Bae, 2002; Lee and Kim, 2005; Lee and Park, 2005;).

우리나라의 다목적댐은 건설 목적에 따라 저수량 관리를 효과적으로 하기 위하여 여름 홍수기 전에 수위를 최대한 낮추며, 여름 홍수기 이후에 높은 수위를 유지시켜

접수 : 2011. 3. 16 수리 : 2011. 4. 5

\*연락처 : Phone: +82617503297

E-mail: chojs@sunchon.ac.kr

<sup>†</sup>공동 제 1 저자

그 이듬해 홍수기 전까지의 수자원 이용에 효율성을 기하고 있다. 하지만 이로 인해 여름철 홍수기 전 3~4개월 동안 댐 주위 수변지역에 다양한 잡초가 번성하게 되고 홍수기 이후 이들이 침수되어 수질오염 문제를 야기시킬 수 있다 (Chung and Chung, 2003; Lee et al., 2003).

주암댐은 전라남도 순천시, 보성군 및 화순군과 경계에 위치한 댐으로 주암호의 유역면적은 약 1,010 km<sup>2</sup>이고, 계획홍수위는 EL. 110.5 m, 상시만수위는 EL. 108.5 m, 저수위는 EL. 85.0 m이며, 총 저수용량은 약 457백만 m<sup>3</sup>이다. 주암호 홍수조절용지는 총면적 5,716천 m<sup>2</sup> 중 절대보존구역이 6천 m<sup>2</sup> (0.1%)이고, 관리/완충구역이 201천 m<sup>2</sup> (3.5%)이며, 보전적 이용구역이 5,509천 m<sup>2</sup> (96.4%)으로 구성되어 있다 (Cho, 2010; Lee et al., 2007). 이와 같이 주암호내에는 갈수기에 노출되는 넓은 면적의 저수구역에서 다양한 초목류들이 토양과 수질로부터 영양염류를 흡수하면서 대량으로 생육하고, 홍수기인 7~8월에 저수량 증가시에 침수되어 서서히 분해되면서 유기물, 질소 및 인 등의 영양염류들을 용출시키고 있으며, 주암호의 홍수조절용지 중 보전적 이용구역은 인공습지, 친환경 경작·화훼 단지 등 인위적 개발·이용지역으로 활용되고 있으며, 또한 연도별 수위조절에 따른 차이는 있지만 주암호 일부 지역에서는 봄철에 질소와 인 고정능력이 매우 높은 녹비작물인 자운영이 대단위 군락을 이루고 있는 것이 관찰되므로 홍수조절용지의 고유기능인 이·치수 기능과 수질보전을 위한 완충지 (Buffer zone) 기능을 고려한 최적 활용방안 마련이 절실히 필요한 실정이다 (Cho, 2010; Choi, 2002; Ministry of Environment, 2009).

따라서 본 연구에서는 상수원수의 수질개선과 효율적인 수질관리를 위한 저수구역내 초목류 관리방안을 제시하고자 주암호 홍수조절용지내에 서식하는 식물체들의 침수시 일어나는 분해 특성 및 영양염류의 용출 특성을 조사하고자 인위적인 환경조건 변화없이 자연상태의 수질, 토양 및 식물체를 그대로 column으로 옮겨와 조사함으로써 침수식물체가 주암호 수질에 미치는 영향을 평가하기 위한 기초 자료를 확보하고자 하였다.

## 재료 및 방법

**조사지역** 주암호 홍수조절지내 침수 식물체의 영양염류 용출 특성 조사를 위한 column시료의 채취지역은 주암호 저수구역을 대표할 수 있고, 접근이 용이한 2개 지점 (Site 1 및 2)으로 선정하였다 (Fig. 1). Site 1은 전남 보성군 북내면 북내리 일원의 저수구역 (34°53'53" N, 127°08'30" E)으로 주암호 저수구역 중 단일지역으로서는 가장 넓은 지역으로 유정천-북내천-일봉천이 본류인 보성강과 합류하는 때

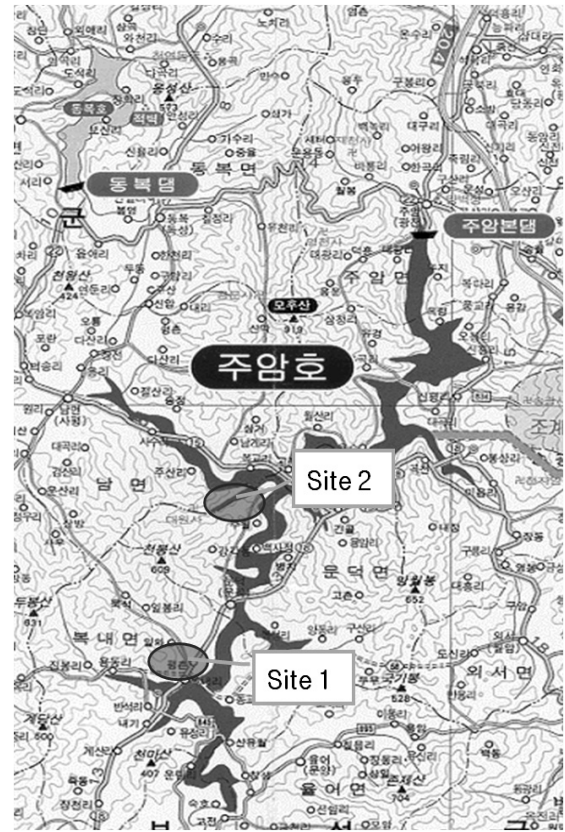


Fig. 1. Sampling sites of submerged plants for investigation of nutrients release characteristic.

Table 1. Chemical characteristics of raw water used.

Site	COD <sub>Cr</sub>	T-N		T-P
		mg L <sup>-1</sup>		
Site 1	5.0	0.95	0.018	
Site 2	5.1	0.93	0.020	

우 넓은 환경사 나대지로 전체 저수구역 면적은 약 1,848,568 m<sup>2</sup>정도이었다. 주요 식생은 물억새, 이삭사초, 매자기, 개망초, 털립새귀리 등 약 30여종 이상이 분포하고 있었으며, 주요 우점종은 물억새와 이삭사초였다.

Site 2는 전남 보성군 문덕면 죽산리 일원의 저수구역 (34°58'05" N, 127°10'07" E)으로 나대지의 환경사 지역으로 전체 저수구역 면적은 약 245,238 m<sup>2</sup>정도 이었고, 식생은 대부분 물억새 및 이삭사초가 우점 분포하였다 (Cho, 2010).

**시험 수질** Column 실험에 사용된 수질은 core를 이용하여 식물체 및 토양 시료채취 시 동일지역에서 직접 채취한 주암호 원수를 그대로 사용하였으며, 채취 즉시 column실험 이전까지 저온상태 (5°C)로 유지되게 하였다. 공시 수질의 특성은 Table 1에서 보는 바와 같이 COD는 평균 5.0 mg L<sup>-1</sup>, T-N 함량은 평균 0.94 mg L<sup>-1</sup> 및 T-P 함량은 평균 0.019 mg L<sup>-1</sup>이었다.

**Column 제작 및 실험방법** 침수식물체의 영양염류 용출특성 조사를 위한 column은 토양과 식물체 채취가 용이하고, 침수 식물체의 영양염류 용출특성을 정확히 파악할 수 있게 정밀 제작하였으며, 그 크기는 지름 15 cm × 높이 100 cm로 총체적은 17,663 cm<sup>3</sup>되게 제작하였다. 침수 식물체의 영양염류 용출실험을 위한 column 시료는 제작된 원통형 column에 두 지역의 홍수조절지에서 대표적인 우점종인 이삭사초 (*Carex dimorpholepis Steud*)와 물억새 (*Miscanthus sacchariflorus Benth*)를 각각 토양표면으로부터 깊이 25 cm까지 자연상태 그대로 채취하여 column의 수질 및 토양 환경을 실제 현장 홍수조절지와 동일하게 유지되도록 준비하였다 (Herrman and White., 2008). 준비된 column에 홍수시 침수환경과 동일한 조건을 부여하기 위해 채취한 주암호 원수를 이용하여 각 column에 11 L씩 주입한 후 column내의 영양염류 변화를 모니터링하기 위해 침수기간에 따라 column내 수질을 100 mL씩 채취하여 COD, T-N 및 T-P 함량을 각각 분석하였다. 또한, 홍수조절용지의 단위면적 (m<sup>2</sup>)당 영양염류의 용출량을 알아보기 위하여 column의 면적을 고려하여 침수 30일 후의 영양염류의 총 용출량을 조사하였다. 모든 실험은 3반복으로 수행하였고, 실험결과는 모두 통계처리 하였다. 그리고 침수시기별 column내 식물체의 외형적 분해 특성을 조사하기 위해 이삭사초 및 물억새가 주암호 원수에 의해 침수된 후 0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 19, 29 및 33 days에 column내의 수질변화와 식물체의 잎 및 줄기의 고사과정을 자세하게 관찰하였다 (Fig. 2).

**분석방법** 수질 분석은 수질오염공정시험법 (Choi et al., 2004) 및 APHA의 standard method (APHA, 1995)에 준하여 다음과 같이 하였다. 수질 중 COD는 중크롬산칼륨법, T-N은 자외선 흡광도법 (UV2550PC, Perkinelmer) 및 T-P는 아스코르빈산 환원법 (UV2550PC, Perkinelmer)으로 각각 분석하였다.

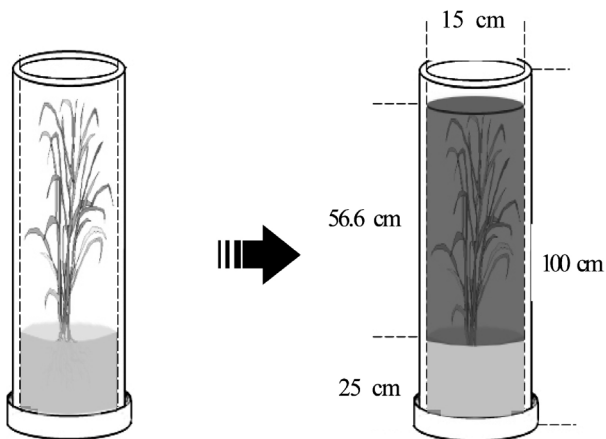


Fig. 2. Schematic diagram of column experiment used.

## 결과 및 고찰

### 침수기간에 따른 식물체별 수질내 영양염류 용출 패턴

침수기간에 따른 식물체별 수질내 COD, T-N, T-P 등 영양염류 용출 패턴을 조사한 결과는 Fig. 3, 4 및 5에서 보는 바와 같이 이삭사초, 물억새 모두 전체적으로 식물체가 살아있는 침수 초기인 4-6일째까지는 감소하다가 침수 식물체가 고사되는 시기인 6-8일 이후부터 급격하게 증가하는 경향을 보였다.

주암호 복내리 저수구역 (Site 1)의 이삭사초의 수질내 COD 농도변화 (Fig. 3)는 침수 4일째까지는 점차적으로 감소되어 침수 4일째에 2.4 mg L<sup>-1</sup>으로 초기 COD 농도 5.0 mg L<sup>-1</sup>보다 크게 감소되는 것으로 나타났는데 이는 침수 초기에는 식물체가 살아있는 상태로 수질과 토양 (퇴적층)으로 부터 영양성분을 흡수하여 생육하였기 때문인 것으로 생각된다. Cho et al. (1996) 및 Lee et al. (2003, 2007)는 주암호와 동북호의 침수식물체에 의한 COD 용출 패턴을

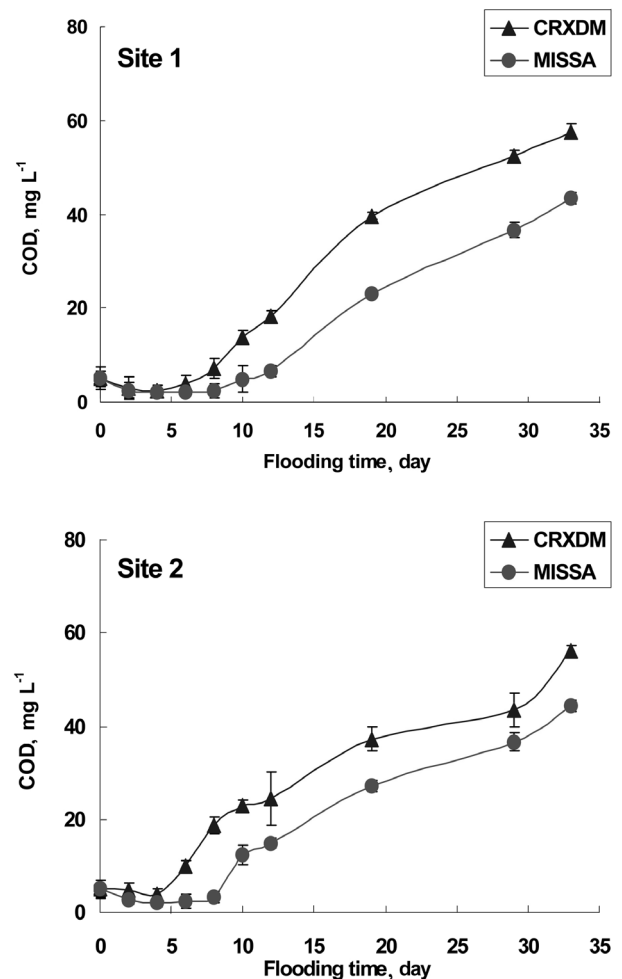


Fig. 3. Changes of COD with flooding time after addition of raw water in the water in column under different water plants. (CRXDM : *Carex dimorpholepis Steud*; MISSA: *Miscanthus sacchariflorus Benth*).

조사한 연구에서 식물체 침수 직후부터 COD 농도가 증가하였다고 보고하였는데, 이는 실제 홍수조절지 환경과는 달리 채취된 침수식물체만 수중에 넣어 용출 패턴을 조사하였기 때문에 실제 현장에서의 영양염류 용출량과는 다소 차이가 있을 것으로 판단된다. 본 연구에서는 침수 초기의 COD 용출 패턴이 이들의 결과와는 상반된 경향을 보였는데, 이는 본 연구에서는 실제 홍수조절지내의 식물체, 토양 및 미생물 등의 환경을 최대한 그대로 유지할 수 있도록 특수 제작한 정밀 core column을 이용하여 현장에서 채취하여 용출실험을 진행하였기 때문에 침수 초기 일정 기간 동안은 식물체와 미생물의 정상적인 생육과 활동이 가능하였기 때문인 것으로 생각된다.

홍수조절지에 서식하고 있는 이삭사초를 토양과 함께 그대로 옮긴 column에서 침수 4일 이후 수질내 COD 용출 농도는 급격히 증가되었으며 침수 19일 후에 약  $39.7 \text{ mg L}^{-1}$ , 침수 33일 후에는 약  $57.6 \text{ mg L}^{-1}$ 이었다. 물억새의 COD 용출 패턴도 이삭사초와 거의 유사한 경향을 보였으며, 침수 후 식물체 분해과정에서 영양염류인 COD의 용출은 전반적으로 이삭사초가 물억새에 비해 약간 빠른 것으로 나타났다. 침수 33일 후의 물억새와 이삭사초에 의한 COD 용출농도는 각각 약  $43.5$  및  $57.6 \text{ mg L}^{-1}$ 으로 이삭사초가 높았으며, 이는 물억새에 비하여 이삭사초가 식물조직이 연하고 대부분 잎으로 구성되어 분해가 용이하기 때문인 것으로 생각된다.

죽산리 저수구역 (Site 2)의 이삭사초와 물억새에 의한 COD의 용출 패턴도 복내리 저수구역 (Site 1)과 거의 유사한 경향을 보였으며, 이삭사초에 의한 COD 용출농도는 침수 4일 후에 약  $3.8 \text{ mg L}^{-1}$ 로 약간 감소되었다가 침수 6일 후에 약  $10.0 \text{ mg L}^{-1}$ , 침수 33일 후에 약  $56.3 \text{ mg L}^{-1}$ 로 크게 증가하였다. 물억새에 의한 COD 용출 패턴도 이삭사초와 유사한 경향이었으며 침수 33일 후의 COD 용출농도는 약  $44.4 \text{ mg L}^{-1}$ 로 이삭사초에 비해 약간 낮았다.

침수기간에 따른 식물체별 수질내 T-N 용출 패턴을 조사한 결과는 Fig. 4에서 보는 바와 같이 복내리 저수구역 (Site 1)의 이삭사초 column내 T-N 함량도 COD와 마찬가지로 침수 초기인 침수 6일까지는 감소되었으며 침수 8일 이후부터 증가되기 시작하였다. 침수 6일째 T-N 함량은 약  $0.76 \text{ mg L}^{-1}$ 로 초기 T-N 함량  $0.95 \text{ mg L}^{-1}$ 에 비하여 감소되었다가 침수 8일 후부터 증가되기 시작하여 침수 19일 후에 약  $3.77 \text{ mg L}^{-1}$ , 침수 29일 후에 약  $15.84 \text{ mg L}^{-1}$ , 침수 33일 후에 약  $32.76 \text{ mg L}^{-1}$ 으로 크게 증가되었다. 물억새에 의한 T-N 용출 패턴도 이삭사초와 큰 차이 없이 비슷한 경향을 보였으며, 침수 33일 후의 T-N 용출농도는 약  $25.0 \text{ mg L}^{-1}$ 으로 COD와 마찬가지로 이삭사초에 약간 낮았다. Lee et al. (2007)은 주암호 저수구역내 침수식물체의 용출실험 결과에서 침수 30일 후 물억새에 의한 T-N

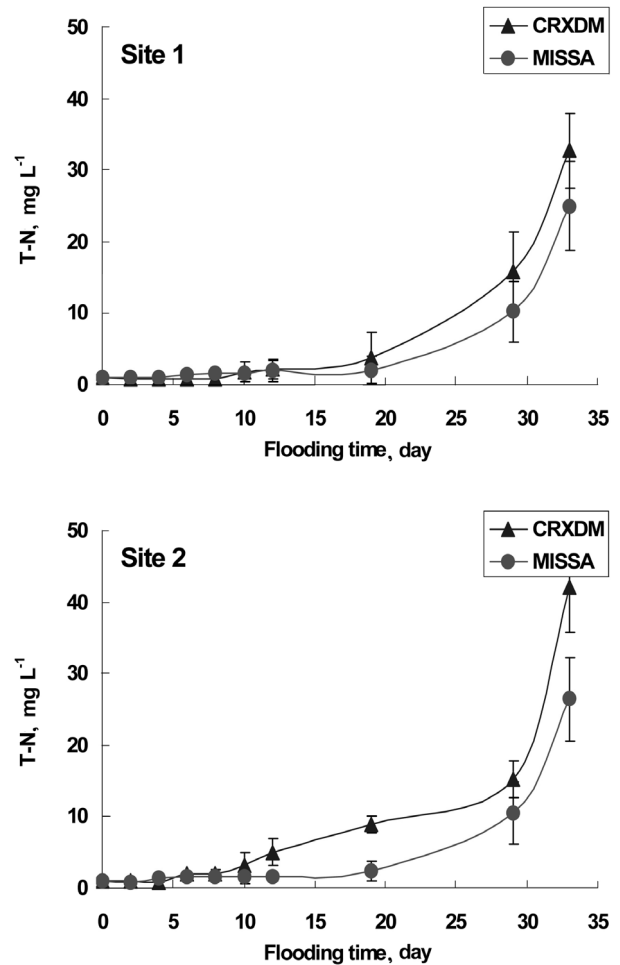


Fig. 4. Changes of T-N with flooding time after addition of raw water in the water in column under different water plants. (CRXDM : *Carex dimorpholepis* Steud; MISSA: *Miscanthus sacchariflorus* Benth).

용출량이  $2.28 \text{ mg g}^{-1}$ 이라고 보고한 바 있으며 본 연구결과와는 실험방법이 달라 직접적인 비교는 어려우나 전체적인 T-N 용출농도 증가폭은 본 연구결과에 비하여 비교적 완만한 것으로 생각된다.

죽산리 저수구역 (Site 2)의 이삭사초와 물억새에 의한 T-N 용출 패턴도 복내리 저수구역 (Site 1)과 거의 유사한 경향을 보였다 (Fig. 4). 이삭사초에 의한 수질 중 T-N 용출농도는 침수 4일째에 약  $0.87 \text{ mg L}^{-1}$ 로 초기 T-N 함량인  $0.93 \text{ mg L}^{-1}$ 보다 약간 감소하였으며, 침수 6일 후 T-N 함량은 약  $1.90 \text{ mg L}^{-1}$ 으로 서서히 증가되기 시작하다가 침수 33일 후에 약  $42.02 \text{ mg L}^{-1}$ 이었다. 물억새의 T-N 용출농도 증가폭은 이삭사초에 비해 적었으며, 침수 33일 후의 물억새의 T-N 용출농도는 약  $26.40 \text{ mg L}^{-1}$ 이었다.

저수구역별 T-N 용출농도는 이삭사초의 경우에는 Site 1의 T-N 용출농도가 Site 2에 비해 침수 33일 후 약  $10 \text{ mg L}^{-1}$ 정도 높았으나, 물억새의 T-N 용출농도는 비슷하였다. 따라서 침수 식물체의 영양염류 용출농도는 식물, 토양 및

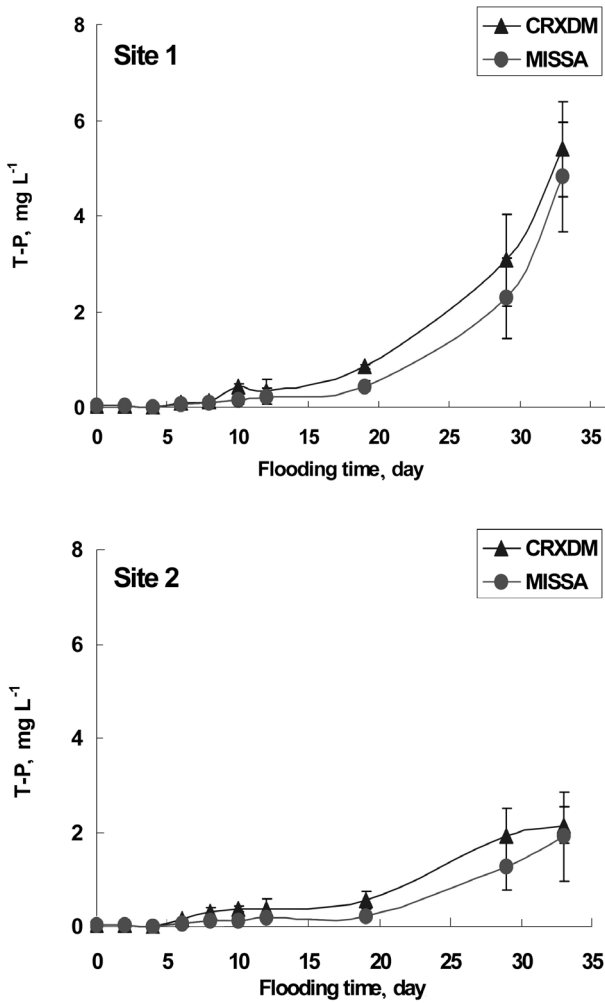


Fig. 5. Changes of T-P with flooding time after addition of raw water in the water in column under different water plants. (CRXDM : *Carex dimorpholepis* Steud; MISSA: *Miscanthus sacchariflorus* Benth).

미생물 등의 환경인자에 따라 차이가 날수 있는 것으로 생각되므로 저수구역에서 침수 후 침수식물체에 의한 정확한 영양염류 용출량을 조사하기 위해서는 현장 실험과 실제 환경과 동일한 조건하에서 column실험이 병행되어야 할 것으로 판단된다.

침수기간에 따른 식물체별 수질내 T-P 용출 패턴을 조사한 결과는 Fig. 5에서 보는 바와 같다. 복내리 저수구역 (Site 1)의 이삭사초에 의한 T-P 용출 패턴도 COD 및 T-N 과 마찬가지로 침수 초기인 침수 4일째까지는 감소되는 경향이였다. 이삭사초 column내 수질의 T-P 농도는 침수 6일째부터 증가되기 시작하였으며, 침수 23일부터 급격하게 증가되었으며 침수 33일 후에는 약 5.39 mg L<sup>-1</sup>으로 크게 증가되었다. 물억새의 T-P 용출경향도 이삭사초와 유사하였으나 용출속도는 이삭사초에 비해 약간 느린 편이였다.

죽산리 저수구역 (Site 2)의 이삭사초의 T-P 용출 패턴

도 전반적으로 Site 1과 큰 차이 없이 유사한 경향이였으며, 침수 6일후에 약 0.168 mg L<sup>-1</sup>, 침수 19일 후에 약 0.571 mg L<sup>-1</sup>로 증가되었으며, 특히 침수 29일 이후부터 급격히 증가되어 침수 33일 후에 약 2.148 mg L<sup>-1</sup>까지 크게 증가하였다. 물억새에 의한 T-P 용출농도 변화도 이삭사초와 비슷한 증가 경향을 보였으나, 침수 33일 후에 물억새에 의한 T-P 용출농도는 1.914 mg L<sup>-1</sup>로 이삭사초에 비해 증가 폭이 다소 적었다.

이와 같은 결과로 미루어 볼 때 침수 초기에는 식물조직이 연하고 대부분 잎으로 구성되어 분해가 용이한 이삭사초가 줄기가 딱딱하고 분해가 용이하지 않은 물억새에 비해 수질오염에 미치는 영향이 클 것으로 판단된다. 하지만 식물체의 침수가 장기간 진행되었을 경우 두 식물체간 용출량은 큰 차이가 나지 않을 것으로 판단되며, 식물체에 의한 용출량의 차이는 바이오매스량이나 식물체 구성성분 함량에 의존적일 것으로 판단된다. 따라서 향후 홍수조절지내에서 침수식물체에 의한 영양염류의 용출 정도를 평가하기 위한 연구는 장기간 동안 식물체별로 침수시기와 영양염류의 용출속도가 고려되어야 할 것이며, 이들 결과를 토대로 하여 정확한 영양염류의 용출량을 예측할 수 있을 것으로 판단된다. 침수 4-6일 이후부터 식물체에 의한 T-P의 용출량 증가패턴은 Lee et al. (2003, 2007)에 의해 수행된 용출실험과 유사한 경향이였으나, 실험방법 및 환경조건이 서로 상이하어 직접적인 농도비교는 어려우며, Cho et al. (1996)이 동북수원지에서 자생식물이 침수시 수질에 미치는 영향을 보고한 바 있으나, 이들 결과 역시 동북수원지 원수에 침수식물체를 그물망에 넣은 후 인위적으로 침수시켜 용출량을 조사하여 본 연구결과와 용출속도면에서 다소 차이가 있었다. 특히 본 column 실험은 홍수조절지 환경을 그대로 옮겨서 실험을 수행하여 초기 분해속도는 약간 느린 반면에 식물체가 침수 후 어느정도 기간이 지난이후에는 토양이나 수질내 미생물에 의해 분해속도가 급격히 증가하는 경향을 보였다.

**침수지역 단위면적당 영양염류 용출량** 침수지역 단위면적당 식물체별 영양염류 용출량을 조사한 결과는 Fig. 6에서 보는 바와 같다. Site 1에서 침수식물체에 의한 COD, T-N 및 T-P의 용출량은 이삭사초의 경우 각각 약 7,893, 2,816 및 547 mg m<sup>-2</sup> month<sup>-1</sup>이었고, 물억새의 경우 각각 6,507, 1,813 및 405 mg m<sup>-2</sup> month<sup>-1</sup>로 이삭사초의 영양염류 용출량이 물억새에 비해 전반적으로 많은 경향이였다. 그리고 Site 2의 COD, T-N 및 T-P의 용출량은 이삭사초의 경우 각각 약 7,917, 2,711 및 342 mg m<sup>-2</sup> month<sup>-1</sup>이었고, 물억새의 경우 각각 6,487, 1,868 및 226 mg m<sup>-2</sup> month<sup>-1</sup>로 site 1과 마찬가지로 물억새보다 이삭사초의 영양염류 용출량이 전반적으로 많은 경향이였다.

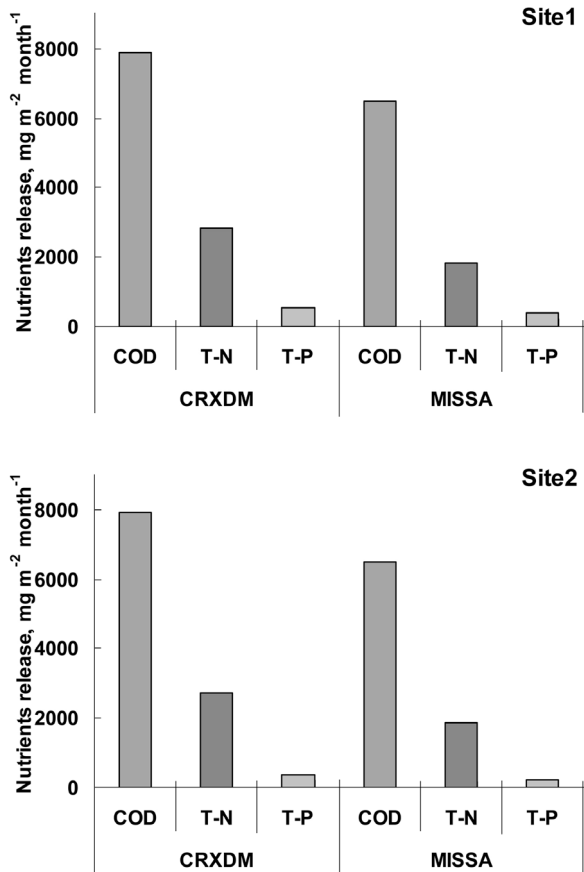


Fig. 6. The amount of pollutants release by water plants in column for 1 month under different sampling sites. (CRXDM : *Carex dimorpholepis Steud*; MISSA: *Miscanthus sacchariflorus Benth*).

이상의 결과에서 이삭사초의 저수구역별 영양염류의 용출량은 저수구역에 따라 큰 차이 없이 COD 용출량이 7,893-7,917 mg m<sup>-2</sup> month<sup>-1</sup> 범위이었고, T-N 용출량이 2711-2816 mg m<sup>-2</sup> month<sup>-1</sup> 범위이었으며, T-P 용출량은 342-547 mg m<sup>-2</sup> month<sup>-1</sup> 범위이었다. 물억새의 저수구역별 영양염류의 용출량은 저수구역에 따라 큰 차이 없이 COD 용출량이 6,487-6,507 mg m<sup>-2</sup> month<sup>-1</sup> 범위이었고, T-N 용출량이 1,813-1,868 mg m<sup>-2</sup> month<sup>-1</sup> 범위이었으며, T-P 용출량은 226-405 mg m<sup>-2</sup> month<sup>-1</sup> 범위이었다. 국내에서 저수구역내의 침수식물체 중 이삭사초에 의한 영양염류 용출특성은 보고된 바 없으나 물억새의 경우 Lee et al. (2007)이 용출실험에서 T-N이 7.80 mg g<sup>-1</sup>, T-P가 1.55 mg g<sup>-1</sup>으로 보고한 바 있다. 하지만 본 연구결과는 물억새에 의한 단위면적당 영양염류 용출량을 산정한 반면에 Lee et al. (2007)는 용출실험에서 넣어준 고사체 단위그램당 용출량을 산정하여 직접적인 비교는 어려웠다.

Lee et al. (2007)는 주암호 전체 저수구역내의 수변식물이 호우시 30일 정도 침수되었을 경우를 가정하여 수질 오염 부하량을 산정한 결과에서 수변식물에 의해 발생하는 영양염의 자연적 용출량은 COD성분 47,703 kg, T-N

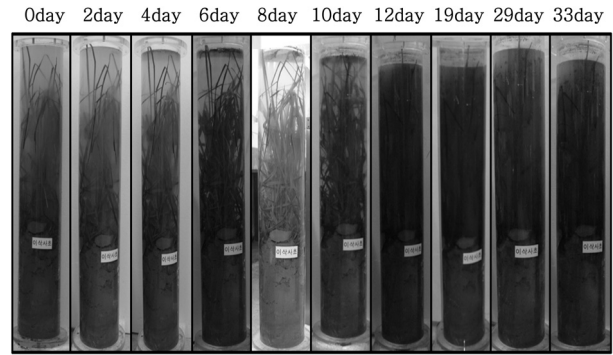


Fig. 7. Decomposition characteristic changes of *Carex dimorpholepis Steud* with flooding time in column.

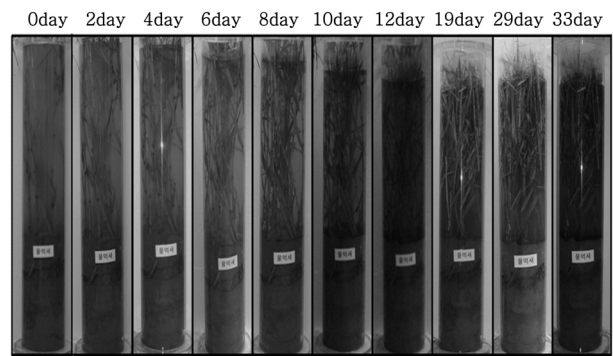


Fig. 8. Decomposition characteristic changes of *Miscanthus sacchariflorus Benth* with flooding time in column.

성분 6,524 kg 및 T-P 성분 1,016 kg으로 보고한 바 있다. 하지만 이들 실험결과가 실제 홍수조절지 환경과는 달리 채취된 침수식물체만 수중에 넣어 용출실험을 하였기 때문에 용출량 산정 시 실제 용출량과 달리 과소 또는 과대 평가될 가능성이 있을 것으로 판단된다. 또한 Lee et al. (2007)는 T-N 용출량은 주암호 연간 배출부하량의 0.80% 정도이며, T-P의 경우는 연간 배출부하량의 1.34%로서 주암호에 미치는 영향은 미비한 것으로 보고하였으나, 홍수조절용지의 넓이, 침수시기, 침수기간 및 침수 우점 식물체 등이 매년 달라 정확한 영양염류 용출량을 예측하기 위해서는 이들 인자들을 모두 고려하여 산정해야 할 필요성이 있을 것으로 판단된다. 또한 대부분의 홍수조절지의 경우 수질의 흐름이 거의 없고 정체되어 있는 경우도 많아 침수식물체의 영양염류 용출로 인해 부분적으로 T-N 및 T-P의 함량이 높아져 부영양화를 일으킬 수 있을 것으로 판단된다.

**침수기간별 침수식물체의 외형적 분해특성** 침수기간별 column내 식물체의 외형적인 분해양상은 Fig. 7 및 8에서 보는 바와 같다. Column내 식물체의 외형적인 분해양상은 이삭사초와 물억새 모두 침수 8일 까지는 잎과 줄기의 형태를 그대로 유지하고 있는 것으로 관찰되었으나,

침수 10일 이후부터는 잎과 줄기의 표면이 미생물에 의해 분해되면서 아래로 수그러들고 수질이 점점 혼탁해지는 경향이였다.

침수 초기 기간 동안의 분해특성은 전체적으로 물억새에 비하여 이삭사초가 분해되는 속도가 약간 빠른 것으로 관찰되었으며, 이는 이삭사초의 경우 식물조직이 연하고 대부분 잎으로 구성되어 분해가 용이하고, 물억새는 잎에 비해 줄기가 많고 딱딱하여 미생물에 의한 초기 분해가 느린 것으로 보였다.

영양염류 용출 특성적인 면에서는 침수 초기에는 물억새에 비하여 이삭사초의 영양염류 용출속도가 전반적으로 빨랐으나 침수 30일 후에는 두 식물체 모두 큰 차이 없이 유사한 경향을 보였다. 따라서 주암호 홍수조절지가 강우나 홍수로 인해 침수될 경우 우선적으로 분해가 용이하고 식물조직이 부드러운 식물부터 우선적으로 분해되어 초기 수질오염을 유발 시킬 수 있으므로 홍수조절지의 수질오염 관리를 위해서는 식물체별 관리방안이 확립되어야 할 것으로 판단된다.

## 요 약

상수원수의 수질개선과 효율적인 수질관리를 위한 저수 구역내 초목류 관리방안을 제시하고자 주암호 홍수조절용지내에 서식하는 식물체들의 침수 시 일어나는 분해 특성 및 영양염류의 용출 특성을 조사하였다. 침수시기에 따른 식물체별 수질내 COD, T-N 및 T-P 용출 패턴은 식생에 관계없이 전반적으로 침수 4-6일까지는 약간씩 감소하다가 침수 6-8일 이후부터 영양염류의 용출량이 서서히 증가하고 침수 20일 이후부터 급격히 증가하는 경향을 보였다. 침수지역간의 식물체별 영양염류 용출 특성은 큰 차이가 없었으며, 이삭사초의 COD 용출량은 7,893-7,917 mg m<sup>-2</sup> month<sup>-1</sup> 범위, T-N 용출량은 2,711-2,816 mg m<sup>-2</sup> month<sup>-1</sup> 범위, T-P 용출량은 342-547 mg m<sup>-2</sup> month<sup>-1</sup> 범위이었다. 물억새의 COD 용출량은 6,487-6,507 mg m<sup>-2</sup> month<sup>-1</sup> 범위, T-N 용출량은 1,813-1,868 mg m<sup>-2</sup> month<sup>-1</sup> 범위이었다. T-P 용출량은 226-405 mg m<sup>-2</sup> month<sup>-1</sup> 범위이었다.

## 감사의 글

이 논문은 영산강·섬진강 수계관리기금의 지원을 받아 수행한 연구결과와 일부임. 또한 이 논문은 2010년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 [NRF-2010-0025548, NRF-2010-359-F00003].

## 인 용 문 헌

- APHA, AWWA, WCF. 1995. Standard methods for the examination of water and wastewater. 19th ed. American Public Health Association, Washington, DC, 4-112.
- Cho, J.S. 2010. The effect of water quality by dead plant in Juam and Dongbok lakes and establishment plan for reducing environmental pollution. Yeongsan River Environmental Research Center, National Institute of Environmental Research Ministry of Environment, Gwangju, South Korea.
- Cho, Y.G., S.J. Bae, S.K. Baik, and J.J. Lee. 1996. Effects of submerged wild growing plants on water quality in the Dongbok reservoir. KSWQ. 12:277-284.
- Choi, C.D. 2002. Research report on agricultural land use and water quality in the flood detention area of Imha multi-purpose dam. Korean Soc. Agric. Eng. 44:20-23.
- Choi, K.C., O.U. Kwun, Y.D. Kim, Y.H. Kim, W.S. Lee, J.Y. Lee, S.J. Jun, and S.K. Jung. 2004. Annotation for standard methods of water quality. printed in Dong Hwa Technology Publishing Co.
- Chung, J.E. and S.O. Chung. 2003. Survey and analyses of farming condition and nonpoint source pollution in the flood control area of the multi-purpose dams, KCID. 10:64-72.
- Herrman, K.S. and J.R. White. 2008. Denitrification in intact sediment cores from a constructed wetland: Examining the isotope pairing technique. Appl. Geochem. 23:2105-2112.
- Lee, Y.S. and B.S. Kang. 2000. Characteristics of pollutant load from a dam reservoir watershed - Case study on Seomjinkang dam reservoir. Korea Water Resource Association 33:757-764.
- Lee, H.D. and C.H. Bae. 2002. Runoff characteristics and strategies for nonpoint source reduction. Korean Soc. Water Quality 18:569-576.
- Lee, Y.C., J.G. Park, and K.S. Lee. 2003. Release characteristics of submerged macrophytes. Korean Society on Water Quality and Korean Society of Water Wastewater Meeting Conference Proceedings, BEXCO, Pusan, p. 213-216.
- Lee, Y.S. and J.G. Park. 2005. Assessment of water quality impact of submerged lakeside macrophyte. EIAA. 14:255-262.
- Lee, Y.S. and H.J. Kim. 2005. Estimation of pollutant load on submerged macrophyte. Korean Society on Water Quality and Korean Society of Water Wastewater Meeting Conference Proceedings, Kumho National University Institute of Technology, p. 625-628.
- Lee, Y.C., S.K. Lee, E.J. Oh, C.J. Ko, and I.Y. Song. 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, Gyeonggi-do, p. 397-403.
- Ministry of Environment. 2009. Environment a white book. 376-377.