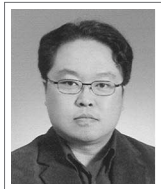




댐유역 인공습지의 효율적 운영관리 방안



김 세 원 |
K-water 연구원 선임연구원
kimseaa@kwater.or.kr



이 승 윤 |
K-water 연구원 선임연구원
leesy@kwater.or.kr

머리말

인공습지란 자연습지의 기능을 인위적으로 조성하여 수질정화 등의 목적으로 이용하는 습지를 말하며 인위적으로 습지의 규모를 조절하고 수생식물 등 습지내부의 생태적 구성요소들을 관리함으로써 동일면적의 자연습지에 비해 더욱 효과적인 정화기능을 갖게 할 수 있다는 장점이 있다(농림부, 농업기반공사, 2004). 그러나 현재 우리나라 기후와 유역특성에 따른 비점오염원 발생 및 유출특성을 고려한 인공습지의 조성과 운영관리에 대한 기초연구 및 기술 자료의 체계적인 DB구축이 매우 미흡한 실정이다(한국수자원공사, 2006). 무엇보다 댐 상류 유역에 조성된 습지의 경우 실제 운영현황에 있어서 댐 상류 지역의 기상, 지형, 인구, 인문, 토지이용, 생활 및 자연환경 등을 종합적으로 고려하지 않은 무분별한 설계인자 및 외국사례 등의 도입으로 낮은 처리효율 등 운영 및 유지관리에 많은 문제점이 발생하고 있다. 따라서

댐 상류 유역 특성에 적합한 설계, 운영, 유지관리, 모니터링 기법 확립 및 표준화를 통하여 현재 운영 중인 인공습지의 효율개선이 매우 필요한 상황이다(한국환경정책평가연구원, 2007). 본 연구에서는 K-water에서 댐 상류지역에 설치·운영 중인 장흥댐 상류지역 3개 인공습지를 대상으로 수질정화기능, 운영 및 유지관리, 시설적합성 등의 분석을 통해 인공습지의 저하된 수질정화기능을 최적화 시킬 수 있는 효율적 운영관리방안을 수립하고자 한다.

조사지점 및 현황

장흥댐 인공습지는 장흥댐 상류유역의 유지천, 탐진강, 옴천이 유입되는 지점에 조성된 신평습지, 용문습지, 옴천습지를 모두 포함하며, 장흥댐 상류지역의 하수처리장배출수와 연계한 점·비점오염원을 저감하여 장흥댐 수질을 개선하고자 조성된 습지이다. 신평, 용문 및 옴천 인공습지의 형태는 모두 지표흐름형(Free water surface flow system, FWS), 습식침강지(Wet setting basin) 및 생물학적 통합시스템(물, 토양, 동식물과 미생물)으로 습지의 폐쇄수역(Close water)은 대부분은 갈대와 부들이 식재되어 있다(표 1). 습지 유입부에는 습지 수위와 동일한 높이로 보를 설치하여 자연유하방식에 의해 하천수가 장흥댐 인공습지로 유입되도록 조성하였다.

수리·수문 현황

표 1. 장흥댐 인공습지 제원

구 분	신평습지	용문습지	옴천습지	
처리대상	하수 및 유역 비점오염원	하수 및 유역 비점오염원	하수 및 유역 비점오염원	
형 태	지표흐름형	지표흐름형	지표흐름형	
식재식물	갈대, 부들	갈대, 부들	갈대, 부들	
면적 (㎡)	계	47,200	55,400	36,940
	침강지	6,500	8,200	4,500
	Open water	28,600	34,600	22,000
	Close water	12,100	12,600	8,200
	인공섬	3,980	-	2,240
유입량(㎥/day)	12,383	19,837	13,227	
체류시간(day)	1.41	1.33	1.33	



(1) 수심분포 현황

습지내 수심분포는 식생성장 및 유지관리에 가장 큰 영향을 주고 이는 수질정화효율에 직접적인 영향을 미치는 요인이기 때문에 인공습지에서의 시기별 적정 수위관리를 통한 습지내 수심분포 관리는 매우 중요하다고 볼 수 있다. 장흥댐 3개 습지를 대상으로 조사한 수심측정 결과를 그림 1에 나타내었다. 수심측정결과 신평습지는 closed water 지역은 침강지에서 습지내부로 유입되는 양안쪽 일부구역과 유출부 우안 일부구역에서만 약 15~33cm 미만의 수심을 보이는 것으로 조사되었고, close water로 조성된 전체 구역 중 약 10.4%에 해당하는 구역에만 물이 있고 나머지 89.6% 구역에는 물이 없는 것으로 조사되었다. 옴천습지도 신평습지와 유사한 현상을 나타내고 있고, 용문습지는 신평습지와는 대조적으로 close water 구역에 모두 유입수가 유입되어 수심이 유지되

어 운영되고 있는 것으로 조사되었다. 하지만 유입·유출부의 수량조절부에 대한 관리가 체계적으로 이루어지지 않아 비교적 습지내부 수심이 깊게 유지되어 갈대 식재지역 및 개방수역으로 부들이 유입되는 천이현상이 나타나 open water의 모양이 변형되는 현상을 보였다.

(2) 물흐름 분포현황

장흥댐 인공습지에서의 물 흐름 분포조사 결과 신평습지는 경계둑 유입구를 통해 유입수가 유입된 후, 양안에 위치한 open water와 open water를 연결하는 수로를 통해서만 물 흐름이 이루어지고 다른 지역으로는 물 흐름 분포가 나타나지 않는 획일화된 흐름 분포를 보이는 것으로 나타났다(그림 2). 용문습지는 좌안쪽의 물 흐름이 조금 더 빠르게 진행되었으며 시간이 경과되면서 습지 전체로 물 흐름 분포가 확대되

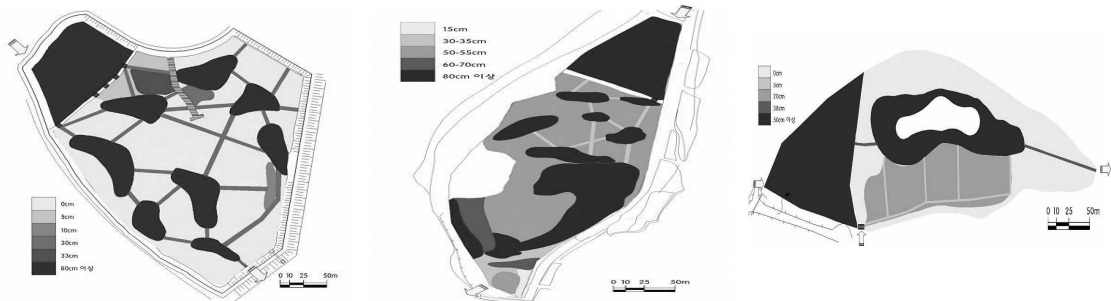


그림 1. 신평, 용문, 옴천습지 수심분포 현황

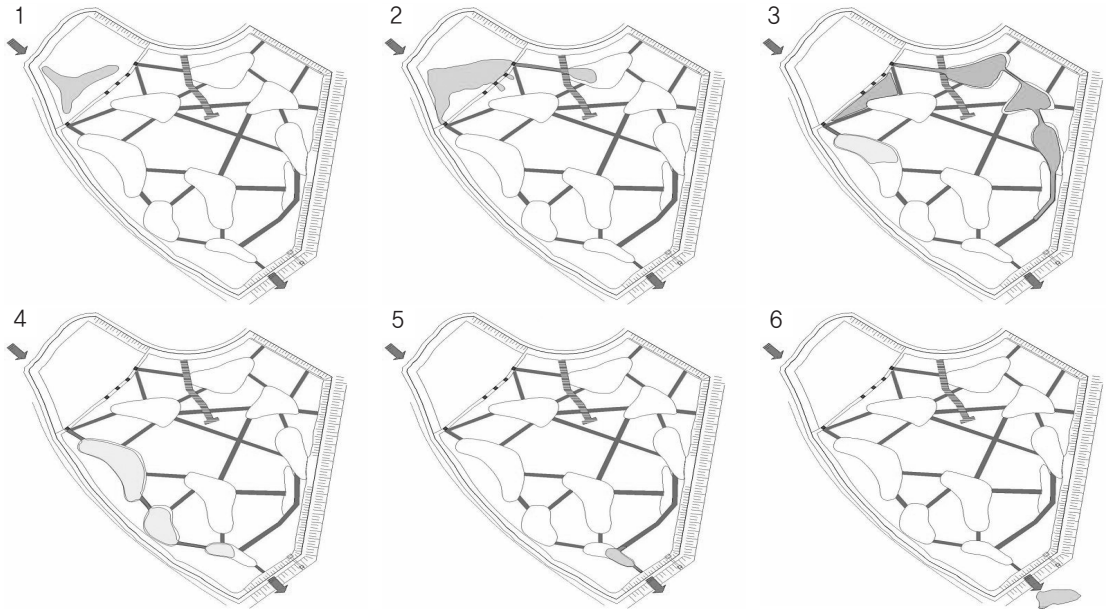


그림 2. 신풍습지 물 흐름 분포 특성

는 현상을 보였다. 용문습지의 경우 습지 형태 특성으로 인해 우안쪽에 일정구간에 물이 오랜 시간 정체되는 구역과 사수역(dead space zone) 구간이 발생하였다. 읍천습지는 습지구조에서 보는 것과 같이 습지로 유입된 유입수가 close water 구역으로 유입되어 흐르지 못하고 수로를 통해 open water 쪽으로만 유입되어 식재된 식물과의 별다른 접촉과정 없이 다시 유출부쪽 수로를 통해 유출되는 매우 단순한 물 흐름 특성을 보이는 것으로 조사되었다.

(3) 수질정화기능 평가(비강우시 및 강우시)

장흥댐 인공습지를 대상으로 2006년부터 2010년까지 정기적인 현장조사를 통한 수질분석 결과 SS, BOD항목에 대해서는 조사시기별로 제거효율의 변동이 크게 나타났으며 전반적으로 유출수 농도가 높은 현상이 발생하였다(그림 3). 반면 질소, 인 등의 영양염류에 대해서는 시기별 차이는 있으나 비교적 양호한 제거효율을 나타내었다. 전반적으로 유출수 농도는 큰 변동 없이 낮은 농도를 유지하며 유출되었고,

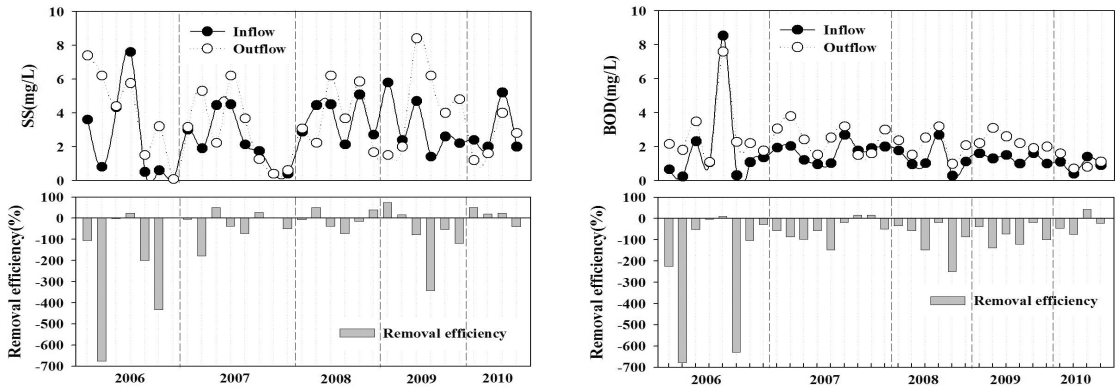


그림 3. 신풍습지 비강우시 수질정화효율 분석('06~'10)

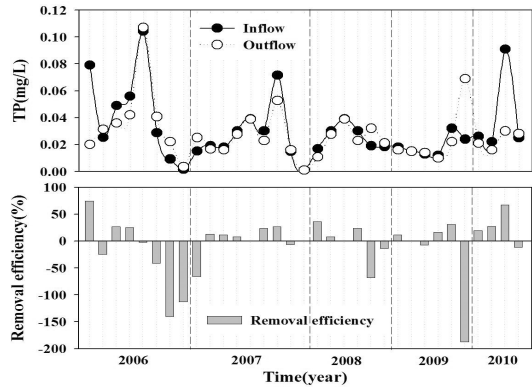
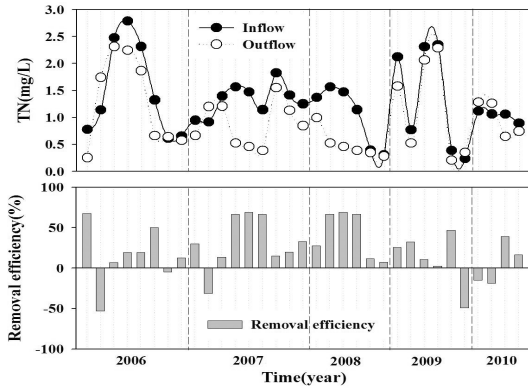


그림 3. 신평습지 비강우시 수질정화효율 분석('06~'10) (계속)

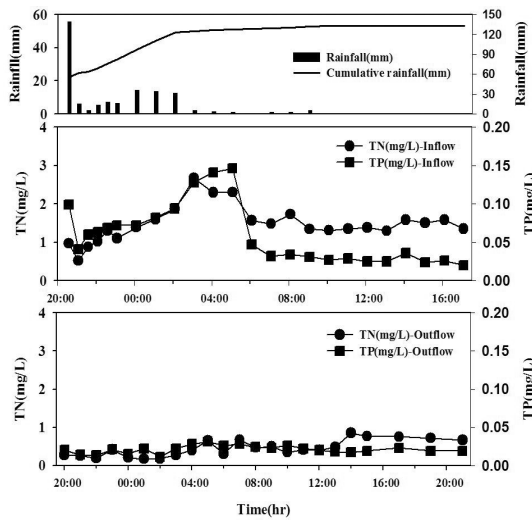
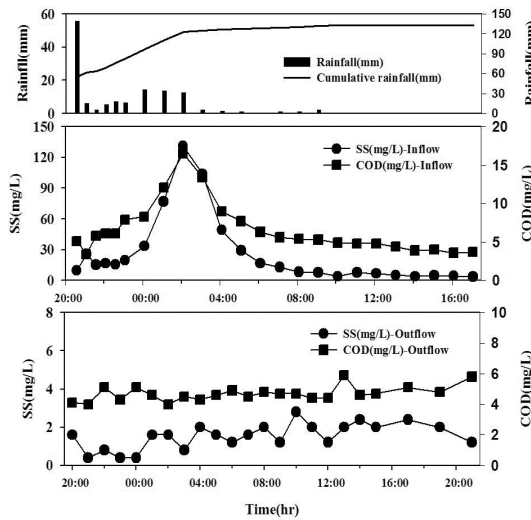


그림 4. 강우시 비점오염물질 정화효율 분석(신평습지)

유입수 농도가 매우 낮은 특성 등을 고려할 경우 인공습지의 수질정화효율 평가를 농도비 결과를 갖고 평가하는 것은 문제가 있다고 판단된다.

장항댐 인공습지중 신평습지를 대상으로 강우시 시간별 연속조사를 통해 강우사상별 특성에 따른 인공습지의 수질정화효율 평가결과 누적강우량 40mm 강우시(총 강우량 132mm) 고농도 비점오염물질 습지로 유입되는 현상을 보였다(그림 4). 분석결과 강우시 인공습지를 통해 댐 유역에서 발생하는 비점오염물질을 매우 안정적이고 효율적으로 처리 가능해 댐 저수지 수질개선에 큰 도움을 줄 수 있을 것으로 판단된다.

(4) 토양환경분석

용문습지 구조상 일부 구역에서 물 흐름 정체구역과 사수역이 나타나고 있고 본 지점에서 퇴적물의 ORP를 측정된 결과 두 지점모두 ORP가 최대 -97mV 및 -120mV로 환원상태를 나타냈고, 퇴적물 내 고사체가 함께 섞여 있었고 퇴적물로부터 썩은 냄새와 육안상으로도 퇴적물 색깔이 검은 빛깔을 보이는 것을 확인 할 수 있었다(그림 5). 움천습지의 경우 유출부 수로에서 ORP 측정결과 -45mV~-78mV의 값을 나타내어 퇴적층이 환원된 상태임을 확인 할 수 있었다(그림 6). 이와 같은 퇴적물 환경에서는 인이

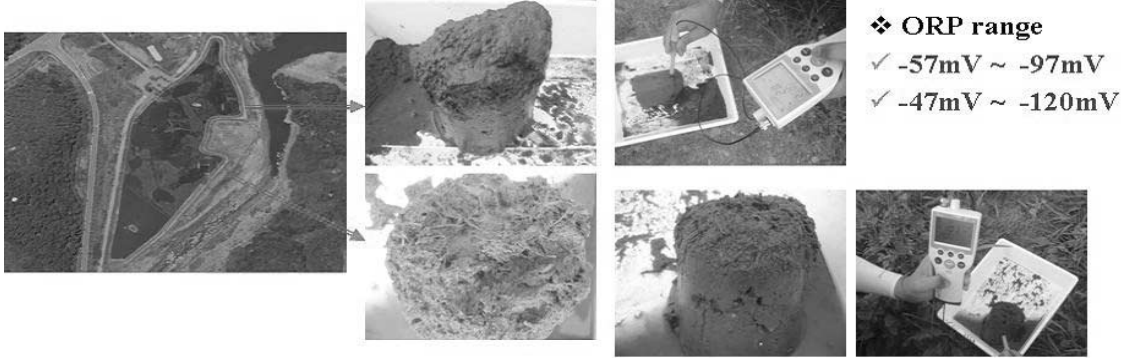


그림 5. 용문습지 토양환경 분석 현황

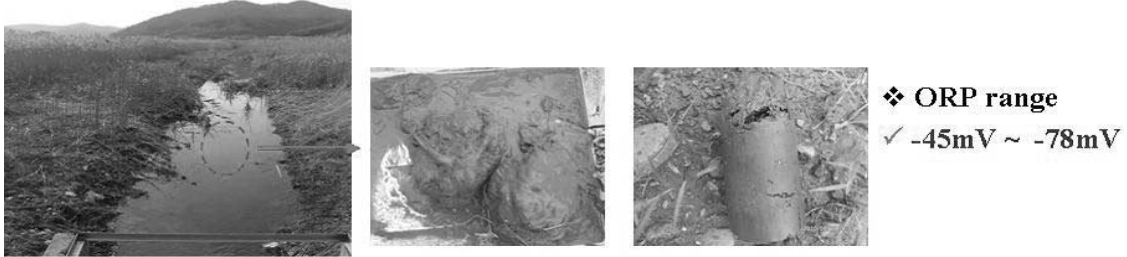


그림 6. 용천습지 토양환경 분석 현황

수중으로 재 용출되어 수질에 영향을 미칠 수 있는 환경으로 판단된다.

감하는 방안도 고려해야 하고, 특히 강우시 유역으로부터 일시적으로 유입되는 고농도의 비점오염물질을 전량 인공습지로 유입시켜 비점오염물질을 처리할 수 있는 운영방안도 필요하다.

최적운영관리방안 수립

(1) 취입부 관리방안 - 유입유량 및 수위관리

장흥댐 인공습지의 유입유량 관리를 위해서는 계절별 하천유량을 파악하고 유입부를 통해 어떻게 습지로 유량분배를 환경변화에 맞게 조절할 것인가가 가장 중요하다. 현재 시스템으로는 습지를 정상적으로 운영할 수 없기 때문에, 유입유량을 충분하게 확보 할 수 있는 시설개선과 수위조절부 설치가 필요하다. 침강지의 규모축소 및 구조변경, 경계둑 유입부 시설개선 등을 통해 습지내부로 유입수가 균등하고 원활하게 유입될 수 있도록 시설 개선을 해야 한다. 또한 댐 유역 특성상 유입오염물질농도가 낮기 때문에 유입량을 증가시켜 보다 많은 양의 오염물질을 저

(2) 물 흐름개선 방안

장흥댐 인공습지는 유입유량 부족, 습지 경계둑 및 유입부 구조적 문제 등으로 인해 습지내 물 흐름 현상이 균일하게 분배되지 못하고 한쪽으로 치우쳐서 물 흐름이 나타나는 현상을 보이고 있다. 물 흐름이 나타나고 있는 구역에서도 개방수역을 중심으로 물 흐름이 발생되고 있다. 이와 같은 물 흐름 개선방안으로는 우선적으로 습지 유입유량을 습지내 일정 수위가 확보될 수 있을 정도 즉 식생대로 물이 유입될 수 있는 수위가 확보되어야 한다. 정상적이 유량이 확보된 후에도 습지내 물 흐름이 균일하지 못한 구간에 대해서는 물 흐름을 개선하여 식생대로 물 흐름을 분배할 수 있는 차수벽 또는 흙 제방과 같은 시설의



설치가 구간별로 필요할 것으로 판단된다.

(3) 식물플랑크톤 대량증식 관리방안

장흥댐의 경우 습지내 open water 조성구간이 많고 물 흐름 정체수역이 자주 발생하고 있다. 이곳에서 식물플랑크톤 대량증식 현상이 나타나고 있다. 이는 습지내 유기물을 증가시키는 원인이 되고 수질정화효율을 저하시키는 원인을 제공하기도 한다. 또한 식물플랑크톤의 대량증식은 비린내와 같은 심한 악취 발생 및 불쾌감 등 심미적인 문제를 일으킬 수 있으므로 습지관리 측면에서 고려되어야 한다. 습지 특성상 유입유량 조절을 통해 습지내 수리학적체류시간(HRT)을 단축시켜 물 정체수역을 감소시키고, 수위를 낮춰 혐기성환경을 개선하여 인 용출을 저감하는 방안 등의 적용이 현실적일 것으로 판단된다.

(4) 토양환경 개선방안

혐기성화된 토양환경 개선방안으로는 습지내 수위를 낮춰서 토양을 대기중에 노출시켜 대기로부터 산소공급 촉진을 통한 토양의 자연산화를 유도하는 방법이 있다. 또한 습지내 물 흐름을 증가시켜 정체수역이 형성되지 못하게 하고, 계절별 수위조절을 통해 지속적으로 토양환경개선 노력을 해야 한다. 이러한

토양환경 개선방안 시행은 수질정화효율 향상에 큰 기여를 함과 더불어 습지 식물의 성장을 촉진하는 부가적인 기능도 가져 올 것으로 판단된다.

결론

인공습지에서의 수질정화기능은 기후, 습지형태, 식재식물, 유입수 농도, 수심분포 그리고 습지의 운영기간 등에 따라 차이가 나타날 수 있다. 또한 장기간 수질정화용으로 운영된 습지의 경우는 식생의 성장과 사멸이 반복됨에 따라 습지 내 많은 유기물이 농축되고 오염물질이 포화되면 습지의 수질정화효율이 현저하게 감소된다. 따라서 인공습지는 자연습지와 달리 안정적인 물질순환 과정을 통해 오염물질이 지속적으로 제거되는 기능을 유지하기 위해서는 체계적이고 효율적인 운영관리방안 수립을 통한 인위적인 관리가 이루어져야 한다.

장흥댐 인공습지의 경우도 조성 후, 습지운영 및 관리에 많은 문제점이 있었고 이로 인해 현재 습지의 기능은 평가하기 어려운 상황을 보이고 있다. 하지만 위에서 제시한 최적운영관리방안을 수립하여 지속적인 관리가 이루어진다면 인공습지 조성 목적에 부합하는 기능을 다시 회복할 수 있을 것으로 기대된다. ☞

참고문헌

1. 농림부, 농업기반공사, 2004, 농업용수 수질개선을 위한 인공습지 설계·관리 요령
2. 한국수자원공사, 2006, 시화호 인공습지 수질정화기능 향상연구
3. 한국환경정책평가연구원, 2007, 저수지 비점오염원 저감을 위한 인공습지의 설치효과 및 개선방안 정책보고서