

HGM을 이용한 용담댐습지의 기능평가 연구

김 덕 길* / 신 한 규** / 김 재 근*** / 김 형 수****+ /
유 병 국***** / 안 경 수***** / 장 석 원*****

Functional Assessment of Yongdam Dam-wetland by HGM

Kim, Duck Gil* / Shin, Han Kyu** / Kim, Jae Geun*** / Kim, Hung Soo****+ /
Yoo, Byong Kook***** / Ahn, Kyung Soo***** / Jang, Seok Won*****

요약 : 댐 상류지역 및 주변지역에 위치하고 있는 습지는 댐의 수질개선, 동식물의 서식처 확보 등과 같은 생태 보전 및 경관 제공 기능을 제공할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 댐이 지니고 있는 습지의 역할을 검토하기 위하여 수문지형학적 방법인 HGM을 이용하여 댐습지의 기능을 평가하였다. 본 연구에서는 우포늪과 보령댐을 기준습지로 선정하여 용담댐의 기능을 평가하였으며, 그 결과 전체적인 기능이 0.6점 이상으로 나타났다. 이는 댐 습지와 자연습지를 비교했을 때, 댐습지가 자연습지의 약 60%의 기능을 수행하는 것을 나타낸다. 따라서 댐에 위치하고 있는 습지의 관리와 보전이 잘 이루어진다면 보다 더 효과적으로 기능을 수행할 수 있을 것으로 판단된다.

핵심용어 : 댐습지, HGM, 기능지수, SWAT 모형

Abstract : Dam as a Wetland can provide functions of ecological conservation, water quality improvement, landscape, and so on as well as. Dam's own various functions. Here we tried to assess function and value of Yongdam dam as a wetland by Hydrogeomorphic(HGM) Method which was developed by U.S. Army Corps of Engineers. In this study, the Upo wetland and Boryeong dam were selected as reference wetlands to assess the functional index of the Yongdam dam. As the results, we obtained the functional index values over 0.6 for total index of the Yongdam dam. It describes that Yong dam dam-wetland is providing over 60% functions of the Upo wetland and Boryung dam-wetland. This result suggests that dam-wetland can provide good wetland functions efficiently if we conserve and manage well.

keywords : Dam-wetland, HGM, Functional index, SWAT model

1. 서 론

습지는 과거 진흙으로 구성된 쓸모없는 땅이라고 인식하여 농업용지, 주거용지, 공장용지 등 인

간의 윤택한 삶을 위한 명목으로 거침없이 개발되었다(김성봉, 2008). 이러한 개발로 인하여 많은 면적의 습지가 훼손되고 사라지게 되었다. 그러나 최근 들어 습지가 쓸모없는 땅이 아니라 홍

+ Corresponding author : sookim@inha.ac.kr
* 인하대학교 사회기반시스템공학부 박사과정 · E-mail: k1004dk@hanmail.net
** 서울대학교 생물교육과 석사과정 · E-mail: hankshin@paran.com
*** 서울대학교 생물교육과 부교수 · E-mail: jaegkim@snu.ac.kr
**** 인하대학교 사회기반시스템공학부 부교수 · E-mail: sookim@inha.ac.kr
***** 인천대학교 무역학부 교수 · E-mail: bkyoo@icc.ac.kr
***** 인천대학교 총장 · E-mail: ahn@incheon.ac.kr
***** 한국수자원공사 K-water연구원 책임연구원 · E-mail: jangsw@kwater.or.kr

수조절, 수질정화, 야생 동·식물의 서식처 등 탁월한 환경보전 기능을 지니고 있으며, 이러한 기능이 인류에게 다양한 이점을 제공한다는 사실이 알려지면서 습지 보호를 위한 다양한 활동 및 제도들이 마련되고 있다(Mitsch and Gosselink, 2007).

습지 보호를 위한 대표적인 활동으로는 Ramsar Convention이 있으며, 이는 습지와 관련된 국제협약으로써 국제적으로 중요한 습지를 보호, 보전하기 위해 맺은 협약이다. Ramsar Convention에 가입한 당사국들은 각 나라를 대표하는 중요습지를 Ramsar Site Inventory로 등록하여 국가적 차원에서 습지를 보존하고 향상시키는 전략을 수립하고 있다(람사르 홈페이지, <http://www.ramsar.org>). 국내의 경우 1990년대에 들어서야 습지의 중요성을 인식하게 되었으며, 이로 인해 1999년 2월에 법률 5866호로 ‘습지보전법’을 제정하였다. 습지보전법은 습지의 효율적 보전·관리에 필요한 사항을 규정하여 습지와 그 생물다양성의 보전을 도모하고, 습지에 관한 국제협약의 취지를 반영함으로써 국제협력의 증진에 이바지함을 목적으로 제정하였다(법률지식정보시스템 홈페이지, <http://likms.assembly.go.kr>).

이처럼 습지에 대한 중요성에 대한 인식이 증가하면서 습지 복원 및 보전, 그리고 인공습지 조성 등에 대한 계획 및 제도들이 수립되고 있다. 국내의 경우 과거에 습지 지역이었으나 산업화와 도시화로 인해 훼손되거나 소멸된 습지 지역을 다시 복원하려 하고 있으며, 또한 부득이한 상황으로 인해 습지를 개발하여 다른 용도로 사용할 경우 그에 합당한 면적의 대체습지를 조성하는 습지총량관리제도도 제시되고 있다(환경부, 2007). 이러한 영향으로 인해 최근 수행되거나 계획되고 있는 각종 하천사업 및 도시개발 사업 등에서도 인공습지 조성 또는 수변지역 및 저류지를 활용한 습지복원 계획을 포함하도록 하고 있다. 이러한 습지 조성 및 복원 등과 관련된 다양한 수자원 개발사업 중 하나가 댐 관련 사업이라고 할 수 있다. 댐은 과거 수자원의 확보, 전력생산, 홍수방어 등의 활용 목적으로 조성된 인공구조물로, 댐의

건설 및 운영은 하천변 습지의 훼손 및 소멸, 생태변화 등과 같은 하천 및 습지환경에 많은 변화를 초래한다는 주장이 제시되었으며, 이로 인해 댐이 하천환경에 악영향을 끼친다는 문제점이 주로 이슈화되고 있었다(여준호, 2007). 그러나 최근에는 기존 댐과 새롭게 건설되는 댐을 친환경적으로 활용하기 위해 주변지역에 인공습지 및 생태공원을 조성하여 운영하고 관리하는 계획 및 방안들이 수립되고 있으며 일부 댐에서는 이를 실행에 옮겨 실제로 인공습지를 조성하여 운영하고 있다. 대표적인 국내 사례로 운곡습지를 예로 들 수 있다. 운곡습지는 소규모 전력생산 및 용수확보를 위해 건설된 댐에 의해 형성된 저류지로 최근 이곳의 생태적 우수성이 인정되어 2011년 3월 환경부의 습지보호지역을 지정되었으며, 나아가 2011년 4월에는 람사르 습지로 지정되어 세계적인 습지로서의 우수성을 인정받아 습지로 활용되고 있다(환경부, 2011). 이렇게 조성된 습지는 수질개선, 동·식물의 서식처 제공 등 다양한 역할을 수행할 수 있다. 하지만 댐 지역에 조성된 인공습지를 효율적으로 활용하기 위해서는 무엇보다도 습지 생태계를 유지하면서 이를 운영하고 관리하는 것이 중요하다고 할 수 있다. 이를 위해서는 댐 저류지 또는 댐 주변지역에 인공적으로 조성되거나 자연적으로 형성된 습지지역에 대한 특성 파악이 우선적으로 진행되어야 한다.

HGM(Hydrogeomorphic) 방법을 이용한 습지 기능평가는 미국을 중심으로 1990년대부터 활발히 수행되었으며, 최근에 수행된 사례 살펴보면, 국외의 경우 Lin(2006)은 Des Plaines 강 상류유역에 위치하고 있는 Depressional 습지에 대한 기능평가를 수행하였다. 이 연구에서는 Des Plaines 강 상류유역에 대한 전반적인 습지 특성을 파악하고 수집된 자료를 이용하여 수문지형학적 방법(HGM)에 적용할 수 있도록 변수 및 변수산정 방법을 수정하여 제시함으로써, 이 지역에 적합한 수문지형학적 방법(HGM)을 제시하였다. Hoeltje와 Cole(2007)은 HGM 방법론을 이용하여 central Pennsylvania에 위치하고 있는 Mushroom,

Seven Seeps 그리고 Twin Oaks 지역의 자연습지를 기준습지로 선정하여 같은 지역 내에 홍수터로 조성된 인공습지에 대한 기능평가를 수행하였다. 또한 Wardrop 등(2007)은 미국의 펜실베이니아 Juniata 상류 유역을 대상으로 HGM 방법을 적용하여 대상습지가 지니고 있는 습지 기능에 대한 기능지수를 산정함으로써 습지가 지니고 있는 생태학적 특징을 파악하고 검토하였다. Williams 등(2010)은 텍사스 동부의 Alluvial Valley 내에 있는 습지들에 대하여 HGM 방법을 적용하기 위한 방법론을 제시하였다. 이 연구에서는 지역특성을 고려하여 습지의 유형을 3가지(Low-gradient Riverine, Mid-gradient Riverine, Connected Depression)로 구분하였으며, 각 습지 유형별 기능 평가 이론 및 방법론을 제시하고 있다. 이처럼 최근에는 HGM 방법을 각 지역에 위치하고 있는 습지들의 유형에 적합하도록 수정하여 연구를 수행하는 추세이다. 국내에서 기존에 수행된 습지의 기능평가 연구는 일부 습지에 대해서만 진행되었으며, HGM 방법을 이용하여 습지의 기능을 평가한 사례는 신한규 등(2009)이 보령댐습지를 대상으로 기능평가를 수행한 사례만 있을 뿐 전무한 실정이다. 이 밖에 국내에서 수행된 습지 기능평가는 일반기능평가 방법인 RAM(Rapid Assessment Method)를 이용한 연구로, 이 방법을 이용한 대표적인 연구사례로는 구분학(2004)이 낙동강의 지류인 반변천 주변에 대하여 습지의 기능평가를 수행한 바가 있으며, 양병호 등(2005)이 보령호를 포함한 주변 습지에 RAM 방법을 적용하여 단위생태계로서의 습지 기능을 평가하였다. 또한 구분학과 김귀곤(2001)은 제주도의 물영아리오름과 대전의 방동소택지에 RAM 방법을 적용하여 습지의 기능을 평가하였다. 이처럼 국내에서는 2000년 이후에서야 습지의 기능평가를 수행하기 시작하였으며, 대부분의 기능평가 연구는 단기간에 수집된 자료를 이용하는 습지의 기능을 평가할 수 있다는 장점을 고려하여 기존 국내의 습지 기능평가 연구는 일반기능평가방법(RAM)에 의해 수행되었다. 또한 대부분의 기능평가가 습지 유형 분류와 식생

등을 주요 요소로 수행되었다. 그러나 최근에는 습지의 기능을 보다 더 파악하기 위해 장기간의 자료를 활용하고 습지의 수문지형학적 특성을 고려하는 정밀기능평가방법(HGM)을 이용한 습지의 기능평가가 수행되고 있다. 또한 이러한 방법을 자연습지뿐만 아니라 댐에 의해 형성된 습지에 대해서도 적용을 하여 연구를 수행하기 시작하였다.

따라서 본 연구에서는 댐 저류지 및 주변지역에 조성된 습지의 특성을 파악하기 위하여 미공병단에서 제시한 HGM(Hydrogeomorphic Method) 습지 기능평가 방법론을 활용하여 우포늪과 보령댐을 기준습지로 선정하여 용담댐이 지니고 있는 습지의 기능을 평가하고자 하였다. 우포늪과 보령댐을 기준습지로 선정한 이유를 설명하며, 먼저 우포늪은 그 보전 상태가 우수하여 현재 람사르습지로 지정되어 있는 습지로서 댐습지가 습지의 기능을 어느 정도 수행할 수 있는지를 비교분석하기 위하여 자연습지인 우포늪을 기준습지로 선정하였다. 그리고 2009년 한국수자원공사에서 우포늪을 기준습지로 하여 보령댐을 대상으로 댐습지의 기능을 평가한 바 있으며, 또한 용담댐과 동일한 댐 구조물로 형성된 지역으로 댐습지 유형간의 습지의 기능을 비교분석하기 위하여 보령댐을 기준습지로 선정하였다.

2. 수문지형학적 방법론

본 연구에서 댐습지의 기능평가를 위해 미공병단에서 개발한 수문지형학적 방법인 HGM 습지 기능평가 방법을 이용하였다. 이 방법은 습지를 수문학적 측면과 지형학적 측면을 고려하여 습지를 Riverine, Depression, Slope, Mineral soil flats, Organic soil flats, Estuarine fringe, Lacustrine fringe 습지로 분류하고 있으며, 본 연구에서는 Riverine Wetland를 기반으로 하여 제시된 습지 기능평가 방법론을 이용하였다. HGM을 활용하여 습지의 기능을 평가하기 위해서는 평가 대상습지와 기준습지가 필요하며, 기준습지는 평가 대상습지와 그 특성이 유사하면서 습지

의 기능이 우수한 습지로 선정되고, 선정된 기준 습지와 평가 대상습지의 각 기능을 나타내는 변수들의 값을 서로 비교하여 습지의 기능을 평가하게 된다(Brinson et al. 1995).

HGM 방법에서의 습지 기능은 총 4가지 측면(수문학적, 생지화학적, 식물 서식처, 동물 서식처)으로 구분되며, 이들 4가지 측면은 다시 15가지의 기능으로 분류된다(표 1).

표 1. HGM 방법의 습지 기능 분류(Brinson et al. 1995)

구 분	습지의 기능
수문학적 측면	<ul style="list-style-type: none"> - 단기 지표수 저류 - 장기 지표수 저류 - 에너지 감쇄 - 지표하 저류량 - 적정 지하수
생지화학적 측면	<ul style="list-style-type: none"> - 양분 순환 - 이입된 원소와 화합물 제거 - 미립자의 보유 - 유기탄소 이출
식물 서식처 측면	<ul style="list-style-type: none"> - 특징적인 식물 군집의 유지 - 특징적인 잔재 생체량의 유지
동물 서식처 측면	<ul style="list-style-type: none"> - 서식처 공간적 유지 - 산재와 연결성 유지 - 무척추동물의 분포와 수도 유지 - 척추동물의 분포와 수도 유지

3. 적용 및 분석

3.1 대상지역

본 연구에서의 대상지역은 우포늪, 보령댐, 용담댐으로, 신한규 등(2009)이 HGM 방법을 이용하여 댐습지의 기능평가를 수행한 지역인 우포늪과 보령댐을 대상으로 용담댐에 대한 기능평가를 수행하고자 하였다. 이들 지역에 대해 살펴보면, 우포늪은 경남 창원군에 위치한 국내 최대의 내륙 습지 생태계로서, 창녕군 대합면, 이방면, 유어면, 대지면 일대에 자리 잡고 있고, 우포늪을 구성하고 있는 4개 습지의 면적은 우포가 1,278,285㎡,

목포 530,284㎡, 사지포 364,731㎡ 그리고 쪽지벌 139,626㎡로 전체 우포늪 지대의 면적은 2,132,926㎡이다(그림 1). 우포늪은 낙동강의 제1지류인 토평천에 위치하고 있으며, 우포늪의 수원은 창녕군 고암면 감리 열왕산에서 발원하여 서향하여 흐르다 창녕군 유어면 대대리에서 우포에 유입되었다가 남서향하여 창녕군 유어면 구미리 지점에서 낙동강 본류로 유입한다. 우포늪은 창녕에서 시작된 침식곡에서 토평천을 따라 집수된 물이 낙동강으로 흘러 들어가는 지역에 형성되었는데 홍수 시 낙동강이 역류하여 토평천을 따라 올라가면서 토사가 쌓여 자연 제방이 형성되어 낮은 지역에 물이 고여 형성되어진 낙동강의 배후저습성 호소로 알려져 있다(건설교통부, 2007).

보령댐은 충남 보령시 미산면 용수리에 위치하고 있는 보령다목적댐으로 1996년 10월에 완공되었다. 댐지점은 웅천천 하구부터 13.7km 상류에 위치하며 유역면적은 163km²로 웅천천 유역면적의 69.7%에 해당한다. 보령댐 주변에는 그림 2에서 보는 바와 같이 3가지(늪형, 소택형, 개방수면) 형태의 4개 습지가 위치하고 있고, 다양한 동·식물들이 서식하고 있으며, 여러 종의 멸종위기종(새할리기 등)과 법적 보호종(붉은배새매, 소쩍새, 원앙 등)이 서식하고 있어 생태적으로도 가치가 있는 지역이다(한국수자원공사, 2006).

용담댐은 전라북도 진안군 용담면 월계리의 금강 상류에 위치하고 있는 다목적 댐으로 2001년 10월에 완공되었다. 용담댐 유역은 금강유역의 최상류 지역에 위치하며 유역면적은 930km²으로 금강 유역면적 9,810km²의 약 9.5%에 해당한다. 용담댐 주변에는 그림 3에서 보는 바와 같이 소택형, 늪형 3가지(늪형, 소택형, 개방수면) 형태의 5개 습지가 위치하고 있으며, 다양한 동·식물들이 서식하고 있다. 회귀 및 멸종위기식물로는 사철란, 삿갓나리, 왕벚나무, 태백제비꽃의 4분류군이 서식하고 있으며, 멸종위기종 1급의 어류인 감돌고기와 천연기념물인 원앙, 붉은배새매, 새매, 황조롱이 등 법적보호종인 총 12종의 조류가 서식하고 있다(한국수자원공사, 2009).



그림 1. 우포늪의 위치도



그림 2. 보령댐의 위치도

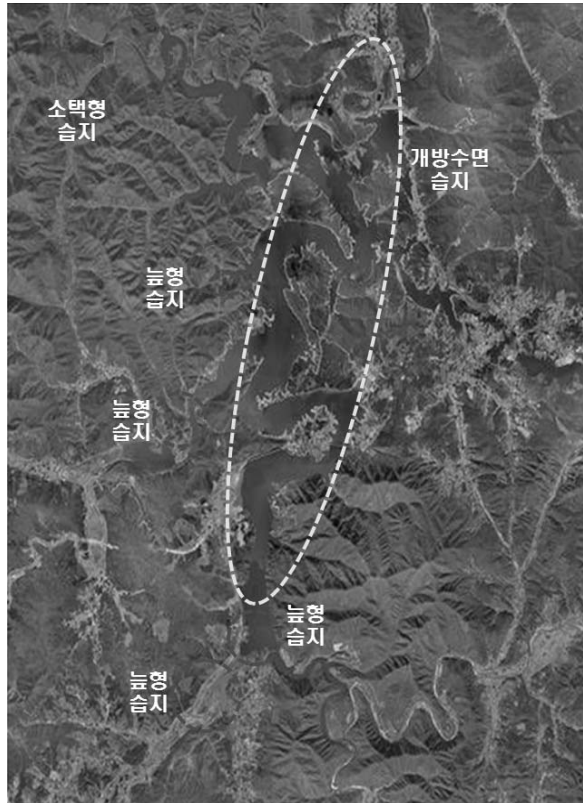


그림 3. 용담댐의 위치도

3.2 댐습지의 기능평가

3.2.1 기능평가를 위한 변수 산정

HGM 방법을 이용한 댐습지 기능평가를 수행하기 위해서는 댐습지의 특성을 나타내는 변수들이 이용된다. 변수의 산정은 기준습지의 특성을 나타내는 자료와 평가 대상습지의 특성을 나타내는 자료들 간의 비교를 통해서 이루어진다. 변수의 값은 기준습지의 변수값을 1.0이라 가정하고, 평가 대상습지의 특성이 기준습지의 특성과 비교하였을 때 75~125% 또는 75% 이상일 경우 1.0으로 산정하며, 25~75% 또는 125% 이상일 경우에는 0.5, 0~25% 또는 복원 가능성이 있는 경우 0.1, 그리고 전혀 일치하지 않거나 복원 가능성이 없는 경우 0.0으로 산정한다.

HGM 방법에서 제시하고 있는 변수들은 각 습지의 수리·수문, 지형, 생태, 생지화학적 특성을 나타내는 변수들로 이들 변수들 중에는 자료 부족 등과 같은 국내 실정에 맞지 않아 바로 적용하는

것이 어려움이 있어서 본 연구에서는 국내 실정에 의해 산정이 어려운 변수를 제외시키거나 모형을 이용하여 습지의 특성을 파악하여 기존변수를 새로운 변수로 대체하였다. 본 연구를 통해 변경된 변수는 총 3가지로, ‘저장공간으로 사용할 수 있는 토양공극’을 ‘토양수분함량’으로, ‘습지에서 대수층 또는 기저유출까지의 지표하 흐름’을 ‘지하수량’, 그리고 ‘수리학적 지표하 연결’을 ‘측방유출량’으로 변경하였다. 또한 자료 부족으로 인해 산정하기 어려운 변수들 중 일부 변수에 대하여 SWAT 모형을 이용하여 산정하였다.

댐습지 기능평가를 위한 변수들은 우포늪과 보령댐, 용담댐 지역에 대한 문헌자료, 현장조사, SWAT 모형의 모의를 통해서 산정하였으며, HGM 방법을 이용된 변수들의 산정방법은 신한규 등(2009)이 설명한 방법을 이용하였으며, 본 연구에서 산정방법을 변경한 일부 변수들에 대한 산정방법을 간단히 정리하면 표 2와 같이 정리할 수 있다.

표 2. 변경된 변수의 산정방법

변 수	산정방법
V_{PORE} (토양수분함량)	SWAT 모형을 이용한 토양수분함량 모의를 통한 결과를 이용
V_{SUBIN} (습지 내 지표하 흐름)	SWAT 모형을 이용하여 뿌리대(root zone)에서 얇은 대수층 사이에 이동하는 물의 양을 모의하여 이용
V_{GWOUT} (지하수량)	SWAT 모형을 통해 대상지역 내 지하수량을 모의하여 이용
V_{SURFIN} (지표유입량)	SWAT 모형을 이용하여 주변지역에서 발생하는 지표유출량을 모의한 결과를 이용
V_{SUBCON} (수리학적 지표하 연결)	SWAT 모형을 이용하여 모의된 측방유출량의 결과를 이용

위의 각 변수별 산정방법을 이용하여 산정된 변수값은 두 가지 경우로 구분하여 나타낼 수 있다. 첫 번째는 대상지역인 3곳 중에서 우포늪을 기준습지로 선정하고 용담댐을 평가 대상습지로 선정하여 변수를 산정하는 경우이고, 두 번째는

보령댐을 기준습지로 선정하고 용담댐에 대한 변수를 산정하는 경우로 구분할 수 있다. 우포늪을 기준습지로 하여 보령댐과 용담댐에 대해 산정된 변수값은 (표 3)과 같으며, 보령댐을 기준습지로 용담댐에 대한 변수값을 산정하면 (표 4)와 같다.

표 3. 기능평가를 위한 보령/용담댐의 변수 산정 결과(기준습지 : 우포늪)

변수	보령댐 변수값	용담댐 변수값	값	보령댐 변수값	용담댐 변수값	변수	보령댐 변수값	용담댐 변수값
V_{FREQ}	1.0	0.1	V_{SUBIN}	0.1	0.5	V_{PATCH}	1.0	1.0
V_{INUND}	0.5	1.0	V_{GWOUT}	0.1	0.5	V_{GAPS}	0.5	0.5
V_{MICRO}	0.5	0.5	V_{PROD}	0.5	1.0	V_{DURAT}	0.1	0.1
V_{SHRUB}	0.5	0.5	V_{SURFIN}	0.5	1.0	V_{SUBCON}	0.5	0.5
V_{DTREE}	0.5	1.0	V_{SORPT}	0.1	0.1	V_{SINVT}	1.0	1.0
V_{BTREE}	0.5	1.0	$V_{SUBFCON}$	0.5	0.5	V_{LINVT}	1.0	1.0
V_{CWD}	0.0	0.0	V_{HERB}	0.5	0.5	V_{AQINVT}	1.0	1.0
V_{SURWAT}	1.0	1.0	V_{ORGAN}	0.5	0.5	V_{FISH}	1.0	1.0
V_{MACRO}	1.0	1.0	V_{COMP}	0.5	0.5	V_{HERP}	1.0	1.0
V_{PORE}	0.5	1.0	V_{CANOPY}	1.0	1.0	V_{BIRD}	0.5	0.1
V_{WTF}	0.5	0.5	V_{STRATA}	1.0	1.0	V_{MAMM}	1.0	0.5

표 4. 기능평가를 위한 용담댐의 변수 산정 결과(기준습지 : 보령댐)

변수	용담댐 변수값	변수	용담댐 변수값	변수	용담댐 변수값	변수	용담댐 변수값	변수	용담댐 변수값
V_{FREQ}	0.1	V_{SURWAT}	1.0	V_{SURFIN}	0.5	V_{STRATA}	1.0	V_{AQINVT}	1.0
V_{INUND}	1.0	V_{MACRO}	1.0	V_{SORPT}	0.1	V_{PATCH}	0.5	V_{FISH}	1.0
V_{MICRO}	1.0	V_{PORE}	1.0	$V_{SUBFCON}$	1.0	V_{GAPS}	0.5	V_{HERP}	1.0
V_{SHRUB}	1.0	V_{WTF}	0.5	V_{HERB}	1.0	V_{DURAT}	0.5	V_{BIRD}	0.1
V_{DTREE}	1.0	V_{SUBIN}	0.5	V_{ORGAN}	1.0	V_{SUBCON}	0.5	V_{MAMM}	0.5
V_{BTREE}	1.0	V_{GWOUT}	0.5	V_{COMP}	1.0	V_{SINVT}	1.0		
V_{CWD}	0.0	V_{PROD}	1.0	V_{CANOPY}	1.0	V_{LINVT}	1.0		

3.2.2 기능지수 산정

댐습지의 기능평가는 각 기능에 대한 기능지수의 산정을 통해 이루어진다. 기능지수는 습지의 4 가지 측면에 대한 15가지 기능별로 산정되며, 댐습지의 특성을 나타내는 각 변수들의 값을 이용하

는 기능지수 산정식에 의해 산정된다. 기능지수 산정식은 각 대상지역에서 산정할 수 있는 변수들에 의해 변화가 가능하며, 본 연구에서 산정된 변수들을 토대하여 기능지수를 산정하기 위한 산정식은 (표 5)와 같다.

표 5. HGM방법의 각 기능별 기능지수 산정식

구 분	습지의 기능	기능지수 산정식
수문학적 측면	단기 지표수 저류	$FCI = \left[V_{FREQ} \times \frac{(V_{INUND} + V_{MICRO} + V_{SHRUB} + V_{DTREE} + V_{CWD})}{5} \right]^{1/2}$
	장기 지표수 저류	$FCI = \frac{(V_{SURWAT} + V_{MACRO})}{2}$
	에너지 감쇄	$FCI = \left(V_{FREQ} \times \frac{V_{MACRO} + V_{MICRO} + V_{DTREE} + V_{CWD}}{4} \right)^{1/2}$
	지표하 저류량	$FCI = \frac{V_{PORE} + V_{WTF}}{2}$
	적정 지하수	$FCI = \frac{V_{SUBIN} + V_{SUBOUT}}{2}$
생지화학적 측면	양분 순환	$FCI = V_{PROD}$
	이입된 원소와 화합물 제거	$FCI = \frac{\left(\frac{V_{FREQ} + V_{SURFIN} + V_{SUBIN}}{3} + \frac{V_{MICRO} + V_{SORPT}}{2} + V_{BTREE} \right)}{3}$
	미립자의 보유	$FCI = \left(\frac{V_{FREQ} + V_{SURFIN}}{2} \times \frac{V_{HERB} + V_{SHRUB} + V_{BTREE} + V_{DTREE} + V_{MICRO} + V_{CWD}}{6} \right)^{1/2}$
	유기탄소 이출	$FCI = \left(\frac{(V_{FREQ} + V_{SURFIN} + V_{SUBIN} + V_{SURFON})}{4} \times V_{ORGAN} \right)^{1/2}$
식물서식처 측면	특정적인 식물 군집의 유지	$FCI = \frac{(V_{COMP} + V_{CANOPY}) + \left(\frac{V_{DTREE} + V_{BTREE}}{2} \right)}{3}$
동물서식처 측면	서식처 공간적 유지	$FCI = \frac{V_{STRATA} + V_{GAPS}}{2}$
	산재와 연결성 유지	$FCI = \frac{V_{FREQ} + V_{DURAT} + V_{MICRO} + V_{SURFCON} + V_{SUBCON}}{5}$
	무척추동물의 분포와 수도 유지	$FCI = \frac{V_{SINVT} + V_{LIMVT} + V_{AQINVT}}{3}$
	척추동물의 분포와 수도 유지	$FCI = \frac{V_{FISH} + V_{HERP} + V_{BIRD} + V_{MAMM}}{4}$

각 기능별 기능지수 산정식에 각 댐습지에 대해 산정된 변수값을 적용하여 기능지수를 산정한다. 변수 산정과 마찬가지로 기능지수 산정 결과는 우포늪을 기준습지로 선정하여 산정된 변수를

이용하여 보령댐과 용담댐의 기능지수를 산정하였으며(표 6), 그리고 보령댐을 기준습지로 선정하여 용담댐의 기능지수를 산정하였다(표 7).

표 6. 보령댐과 용담댐의 각 기능별 기능지수(기준습지 : 우포늪)

구 분	습지의 기능	보령댐 기능지수(FCI)	용담댐 기능지수(FCI)
수문학적 측면	단기 지표수 저류	0.632	0.245
	장기 지표수 저류	1.000	1.000
	에너지 감쇄	0.707	0.250
	지표하 저류량	0.500	0.750
	적정 지하수	0.100	0.500
생지화학적 측면	양분 순환	0.500	1.000
	이입된 원소와 화합물 제거	0.694	0.611
	미립자의 보유	0.559	0.566
	유기탄소 이출	0.512	0.512
식물서식처 측면	특징적인 식물 군집의 유지	0.750	0.833
동물서식처 측면	서식처 공간적 유지	0.833	0.833
	산재와 연결성 유지	0.520	0.340
	무척추동물의 분포와 수도 유지	1.000	1.000
	척추동물의 분포와 수도 유지	0.875	0.650

표 7. 용담댐의 각 기능별 기능지수(기준습지 : 보령댐)

구 분	습지의 기능	기능지수(FCI)
수문학적 측면	단기 지표수 저류	0.283
	장기 지표수 저류	1.000
	에너지 감쇄	0.274
	지표하 저류량	0.750
	적정 지하수	0.500
생지화학적 측면	양분 순환	1.000
	이입된 원소와 화합물 제거	0.639
	미립자의 보유	0.791
	유기탄소 이출	0.866
식물서식처 측면	특징적인 식물 군집의 유지	1.000
동물서식처 측면	서식처 공간적 유지	0.667
	산재와 연결성 유지	0.620
	무척추동물의 분포와 수도 유지	1.000
	척추동물의 분포와 수도 유지	0.650

3.2.3 댐습지의 기능평가

본 연구에서는 기준습지를 우포늪과 보령댐으로 선정하였을 경우로 구분하여 용담댐에 대한 댐습지의 기능지수를 산정하였다. 먼저, 우포늪을 기준습지로 선정하여 산정된 용담댐의 기능지수를 살펴보면, 용담댐의 기능지수는 0.245~1.0까지 분포하는 것을 나타냈다. 이 곳의 기능지수는 자연습지인 우포늪과의 비교를 통해서 산정된 결과로 이는 용담댐이 자연습지의 기능을 어느 정도 수행하고 있다는 것을 나타내는 것이다. 그리고 보령댐을 기준습지로 선정하여 산정된 용담댐의 기능지수를 살펴보면, 우포늪과 비교했을 때보다는 높게 산정되었으나, 보령댐이 수행하고 있는 습지의 기능에는 못 미치는 것을 나타낸다고 볼 수 있다. 이 2가지 경우에 대해 산정된 기능지수를 보면, 습지의 기능 중에서 수문학적 측면의 기능들이 상대적으로 낮게 산정되었다. 이는 각 기능지수를 산정시 이용되는 수리·수문 관련 변수의 값이 낮게 산정되어 나타난 결과이며, 수문학적 측면 뿐만 아니라 다른 측면의 기능들의 기능지수 감소의 주된 요인은 수리·수문 관련 변수가 낮게 산정되었기 때문인 것으로 분석되었다.

4. 결 론

본 연구에서는 습지의 수리·수문, 지형, 생태학적 특성을 고려하는 습지 기능평가 방법인 HGM을 이용하여 용담댐에 대한 댐습지 기능평가를 수행하였다. 그 결과 국내에서 습지로서의 보존성이 우수한 우포늪과 비교하였을 때 용담댐은 약 65%의 습지 기능을 수행하는 것으로 평가되었다. 또한 보령댐과 용담댐을 비교하였을 때는 용담댐이 보령댐습지의 기능에 약 72%에 해당하는 평가되었다. 이는 기준에 환경적으로 악영향을 미친다고 판단되었던 댐이 습지의 기능을 수행함으로써 친환경적으로 활용할 수 있다는 것을 알 수 있으며, 이러한 결과를 토대로 댐 저류지 및 주변지역의 습지지역을 효율적으로 관리하고 보존

한다면 보다 우수한 습지의 기능을 수행하여 댐지역을 기존의 이·치수 목적뿐만 아니라 생태공원 등과 같은 환경친화적 측면으로도 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

그리고 본 연구와 같은 댐습지의 기능평가를 통해 댐습지의 특성을 파악하여 댐습지의 기능을 보다 향상시키기 위해서는 보다 정확한 댐습지의 기능평가가 요구된다. 그러나 현재 국내의 실정은 댐뿐만 아니라 습지에 대한 기초자료가 턱없이 부족한 실정이다. 이로 인해 본 연구에서도 일부 변수를 제외하거나 모형의 모의를 통해서 자료를 구축하여 습지의 기능평가를 수행하였다. 따라서 향후 보다 정확한 습지 및 댐습지의 기능평가를 수행하기 위해서는 기초 자료에 대한 중장기적인 모니터링 및 자료 구축이 반드시 필요하며, 이러한 자료 구축이 이루어져 수행된 기능평가 결과를 토대로 습지와 댐습지에 대한 보다 더 효율적인 관리 및 보존 방안을 수립할 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

이 논문은 2011년 한국수자원공사의 K-water 연구개발사업의 지원을 받아 연구되었음.

참 고 문 헌

- 건설교통부, 우포늪의 생태치수기능 개선 방안 연구, 2007.
- 구분학, 반변천 습지 유형분류 및 기능평가 연구, 상명대학교 산업과학연구소 논문집, 제16권, pp.1-10, 2004.
- 구분학, 김귀곤, RAM(일반평가기법)을 이용한 내륙 습지 기능 평가, 한국환경복원녹화기술학회지, 제4권, 제3호, pp.38-48, 2001
- 양병호, 조운식, 구분학, 댐 저수지 내 습지 유형 및 기능평가 연구: 보령호를 중심으로, 한국환경복원녹화기술학회지, 제8권, 제6호, pp.90-91, 2005

- 김성봉, 수자원 관리와 지속가능 발전 ‘습지와 환경 자원’, 도서출판 월인, 2008.
- 람사르 홈페이지, 람사르협약 매뉴얼 제4판,
<http://www.ramsar.org>
- 법률지식정보시스템, 습지보전법,
<http://likms.assembly.go.kr>
- 신한규, 김덕길, 김재근, 김형수, 안재현, 유병국, 안경수, 박두호, 댐습지의 기능 및 가치평가 연구(I) -HGM을 이용한 기능평가 : 보령댐을 대상으로-, 한국습지학회지, 제11권, 제3호, pp.115-132, 2009.
- 여준호, 댐건설과 관련된 환경·사회적 피해사례, 환경포럼, 제8권, 제9호, 2007.
- 한국수자원공사, 보령다목적댐 저수지 및 주변지역 생태환경조사, 2006.
- 한국수자원공사, 용담다목적댐 저수지 및 주변지역 생태환경조사, 2009.
- 환경부, 보도자료 ‘환경부, 람사르습지 2곳 신규 등록’, 자연보전국 자연정책과, 2011.
- Brinson, M.M., Rheinhardt, R.D., Hauer, F.R., Lee, L.C., Nutter, W.L., Smith, R.D., and Whigham, D., *A Guidebook for Application of Hydrogeomorphic Assessments to Riverine Wetlands*, Wetland Research Program Technical Report WRP-DE-11, US Army Corps of Engineers. 1995.
- Hoeltje, S.M. and Cole, C.A., *Losing Function Through Wetland Mitigation in Central Pennsylvania*, USA, Environ Manage, Vol. 39, pp.385-402, 2007.
- Lin, J.P., *A Regional Guidebook for Applying the Hydrogeomorphic Approach to Assessing Wetland Functions of Depressional Wetlands in the Upper Des Plaines River Basin*, Wetlands Research Program, US Army Corps of Engineers, 2006.
- Mitsch, W.J. and Gosselink, J.G., *Wetlands 4th Edition*. John Wiley & Sons, Inc. 2007.
- Wardrop, D.H., Kentula, M.E., Jensen, S.F., Stevens, D.L., Hychka, K.C., Brooks, R.P., *Assessment of Wetlands in the Upper Juniata Watershed in Pennsylvania, USA Using the Hydrogeomorphic Approach*, WETLANDS, Vol. 27, No. 3, pp. 432-445, 2007.
- Williams, H.M., Miller, A.J., McNamee, R.S., Klimas, C.V., *A Regional Guidebook for Applying the Hydrogeomorphic Approach to the Functional Assessment of Forested Wetlands in Alluvial Valleys of East Texas*, Wetlands Regulatory Assistance Program, US Army Corps of Engineers, 2010.

- 논문접수일 : 2011년 09월 13일
- 심사의뢰일 : 2011년 09월 14일
- 심사완료일 : 2011년 12월 16일