한국습지학회지 제11권 제3호, 2009년 12월 (115 - 132)

댐습지의 기능 및 가치평가 연구(1)
- HGM을 이용한 기능평가 : 보령댐을 대상으로 -

신 한 규* / 김 덕 길** / 김 재 근***+ / 김 형 수**** /
안 재 현***** / 유 병 국* / 안 경 수** / 박 두 호***

Study on Assessment of Value and Functions of Dam-wetland(1)
- Assessment of Functions by HGM : Focussing on Boryung Dam -

Shin, HanKyu* / Kim, Duck Gil** / Kim, Jae Geun***+ / Kim, Hung Soo**** /
Ahn, Jae Hyun***** / Yoo, Byong-Kook* / Ahn, Kyung Soo** / Park, Dooho***

요약 : 댐의 습지로서의 기능을 평가하기 위해 댐도 하나의 습지로 정의하고, HGM 습지 평가 방법에 따라 보령댐을 우포늪의 습지 기능을 비교 평가하였다. 보령댐의 습지로서 수문학적 기능은 단기적이고 작은 흐름들에 대해서는 취약성을 가지지만, 반면 장기적이고 큰 흐름들에 대해서는 강점을 가진다. 생지화학적 기능은 우포의 약 50%정도를 수행하는 것으로 나타났다. 식물 서식처로서의 기능도 식물 군집의 유지 측면에서 매우 우수한 기능을 하는 것으로 나타났다. 동물 서식처로서의 기능은 우포늪에 준하는 기능을 수행하였다. 다만 조류의 서식처로서의 기능이 다소 부족하였다. 이 연구를 통해 보령댐의 장점과 단점을 명확히 하여 장점을 살리고 단점을 보강할 근거를 마련하고자 한다.

핵심용어 : HGM, 보령댐, 습지의 기능평가, 우포늪

Abstract : We defined a dam as a wetland for assessing wetland functions of man made dam. We compared Boryung dam with Upo wetland by HGM assessment. Hydrologic functions of Boryung dam are not good at short term water storage, but good at long term water storage. Biogeochemical functions of Boryung dam are about 50% of Upo wetland's functions. Boryung dam is a good wetland as a plant habitats and animal habitats. But functions as a habitat for birds were not good. With this study we look forward to making clear merits and demerits of Boryung dam's functions as a wetland.

Keywords : Boryeong Dam, Functional evaluation of Wetland, HGM, Upo wetland

1. 서 론

일반적으로 습지는 식물의 뿌리까지 물이 존재하는 것으로 다른 지역과 구분되며, 독특한 토성, 습한 조건으로 특징지어 지지만, 정의하는 사람에 따라 다르게 정의할 수 있다(Mitsch and Gosselink, 2007). 또한 습지는 구조와 기능이 매우 다양하게 나타나는 육상생태계와 수생태계

+ Corresponding author : jaegkim@snu.ac.kr
* 서울대학교 생물교육과 석사과정
** 인하대학교 토목공학과 박사과정
*** 서울대학교 생물교육과 교수
**** 인하대학교 토목공학과 교수
***** 서경대학교 토목공학과 교수
* 인천시립대학교 E-비즈니스과 교수
** 인천대학교 토목환경시스템공학 교수
*** 한국수자원공사 정책경제연구소 선임연구원

의 전이지대를 의미한다. 습지의 구조를 결정짓는 요인에는 기후, 지형, 수문학적인 특성, 그리고 서식하는 생물이 있다(김재근, 2003). 미공병단(Smith et al., 1995)에서는 다양한 습지의 형성 조건을 인정하여 수문학적으로 지표수, 지표하 저류, 지하수 등으로 나누고, 영양순환과 화학적 분해기능으로 나누어 생지화학적 조건을 설명하며 식물상 및 동물상에 대해서도 다양한 환경으로 나누어 설명한다.

댐은 물을 가두었다가 필요할 때 내보내는 것을 기본 기능으로 한다. 이 과정에서 댐은 만수위에서 저수위까지 수위가 변하게 되며, 생물의 서식 공간에서도 변화가 나타난다. 최근 환경부(2008)에서는 육지와 물의 전이지대로 생물의 생장기를 포함한 연중 또는 상당기간 동안 물이 지표면을 덮고 있거나 지표 가까이 또는 근처에 지하수가 분포하는 토지로서 식생과 동물이 그 일생의 중요한 시기 동안 생활 근거를 이루기에 충분한 기간 동안 목을 이루거나 물이 흐르는 장소로 정의하고 있다. 또한 람사르 협약의 습지정의에 따르면 저수위 기준으로 6m를 초과하지 않는 곳이 습지이다(Ramsar Convention, 2005). 그러나 예외 조항에서 이보다 깊은 수역이 습지 의존적인 동물의 중요한 서식처의 역할을 할 때 이곳까지도 습지로 인정하고 있다(Article 2.1). 이와 같은 정의에 의하면 댐도 습지의 범주에 속한다고 할 수 있다. 환경부의 습지 분류에 적용하면 댐은 인공습지 중 저수지, 인공호에 해당한다.

댐은 수자원 확보와 홍수피해 감소 등을 위해 꼭 필요하다(여준호 등, 2003). 댐의 건설 및 운영은 하천 유역 습지의 질과 양적인 측면에 많은 변화를 초래하게 된다. 댐의 친환경적 활용은 하천 유역 습지(또는 습지)를 어떻게 주변지역의 사회, 문화, 경제 상황과 연계하여 활용하느냐가 중요한 관건이라 할 수 있다. 특히, 댐 상류지역의 습지는 댐의 수질개선, 희귀 동·식물의 서식처 확보 등과 같은 생태보존, 위락 경관 생태공원 등과 함께 테마 경관 제공 등의 기능을 제공할 수 있다. 따라서 댐 유역에 위치하고 있는 자연습지의 보전뿐만 아니라 훼손에 따른 대체습지(인공습지)의 필요성이 점증되고 있는 실정이다(한국수자원공사, 2009).

그러나 댐의 습지적 기능에 대해서는 객관적으로 평가한 사례는 드물다. 댐을 습지로 보는 것은 댐의 습지로서의 긍정적 기능을 감안할 뿐 아니라, 댐이 습지임에도 불구하고 기능하지 못하는 부분들에 대해 명확하게 함으로써 부족한 기능을 강화할 수 있는 근거가 된다. 본 연구에서는 댐습지를 일반적인 습지에 있는 수문학적 특성을 이루고, 이 수문학적 특성을 가진 댐의 각 지역이 식물, 조류, 어류를 포함한 생물상에 필요한 서식조건을 제공하는 댐 저류지역 전체로 정의한다. 그러나 댐의 규모와 크기, 지역적인 특성들에 따라 균일한 조건을 나타내지 않고 댐에 따라 차이가 있거나 같은 댐 안에서도 지역에 따라 차이가 있는 것은 댐습지가 가지는 특징으로 구분한다.

본 연구에서는 미공병단(Smith et al., 1995)이 제시한 HGM 습지 평가 방법을 활용하여, 댐습지의 예로서 보령댐과 우리나라의 대표적인 습지인 우포늪을 기능적으로 비교하여 현재 보령댐이 가지는 습지로서의 기능을 평가하였다. 이를 통하여 댐의 습지로서의 장점과 단점을 명확히 함으로써, 댐의 장점을 강화하고 단점을 보완할 수 있는 근거를 마련하고자 한다.

2. 조사지점 및 조사방법

2.1 연구지역

2.1.1 우포늪

우포늪은 경남 창녕군에 위치한 국내 최대의 내륙습지 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 제 1지류인 토평천에 위치하고 있으며, 우

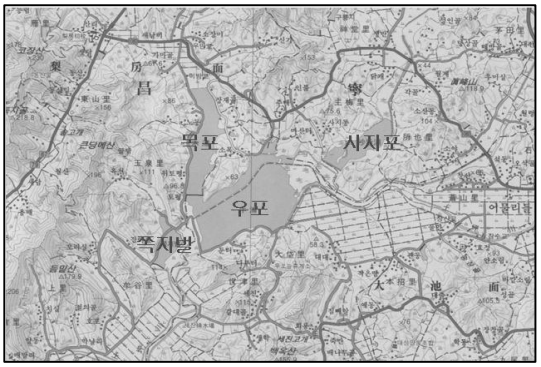

그림 1. 우포늪의 위치도

포늪의 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).

2.1.2 보령댐

차령산맥 남서부에 위치하는 보령댐 주변지역은 서해안 지방의 비교적 완만한 지형적 특성에 비하여 상대적으로 험준한 산세로 이루어져 있다(그림 2). 산맥의 방향은 북동-남서 내지 북북동-남남서 방향의 산맥이 지배적이며 이 산맥 사이를 같은 방향으로 흐르는 하천이 발달되어 있다. 이 지역의 동쪽편은 만수산(432.2m) ~ 월명산(540m) ~ 옥녀봉(367.9m)을 잇는 비교적 험준한 주능선으로 이루어져 있으며, 서쪽편에는 옥마산(601m) ~ 봉마산 ~ 잔미산 ~ 화락산 ~ 통달산(182m)등으로 이어져 주능선이 남쪽으로 갈수록 낮아지는 산세를 나타내고 있다. 기후는 우리나라의 산악 지형에서 볼 수 있는 전형적인 계절풍 기후의 특징을 나타내면서도 보령시가 서해안에 인접해 있어 겨울과 여름의 기온차가 작은 해양성 기후의 특성도 함께 나타내고 있다(한국수자원공사, 2006).

2.2 연구방법

본 연구에서 우포늪을 기준 습지(reference wetland)로 하여 보령댐 습지의 기능을 HGM기법으로 평가하였다. HGM 평가 기법은 기준 습지의 평가 지수를 1.0으로 하여 정해진 기준에 따라, 상대적인 기능 정도를 점수화하여 0점에서 1.0점 사이 값을 주거나, 경우에 따라서 1.0 이상으로 나타나기도 한다. 각 기능별 지수 및 계산 방법은 다음과 같다.

2.2.1 단기 지표수 저류 기능

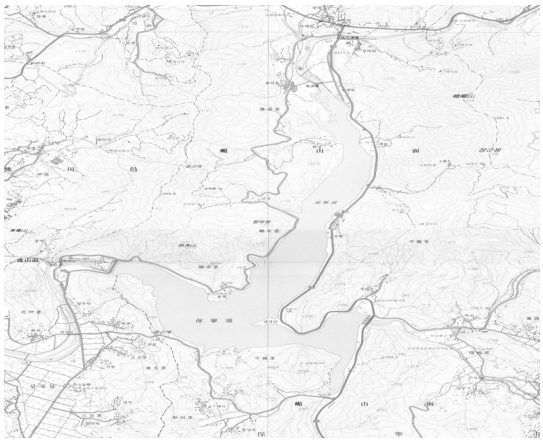

그림 2. 보령댐 지형도

단기 지표수 저류기능은 짧은 기간 동안에 하천이 제방을 범람하여 유입된 유량을 저장하는 능력을 말한다. 이 기능은 하천의 범람으로 인해 유입된 물이 이동하거나 지류의 범람에 의해 유입되는 주변 지표 저류량과 관련이 있다. 단기 지표수 저류기능을 평가하기 위한 변수는 총 7가지가 있는데 이 변수들 중에서 본 연구에 사용할 수 있는 변수와 해당변수의 측정방법은 아래의 표 1과 같다.

표 1. 단기 지표수 저류기능 평가 변수의 측정방법

변 수	측 정 방 법
V_{FREQ} : 월류빈도	댐습지는 하천변 습지와 달리 하천수의 월류로 인해 물이 공급되는 것이 아니기 때문에 해당 댐에서 정하고 있는 상시만수위를 기준으로 하여 수심이 이보다 높을 경우를 월류하였다고 가정하여 월류빈도를 산정하였음.
V_{INUND} : 평균 침수심	보령댐의 경우 1999년부터 현재까지의 수위자료를 이용하여 산정하였음.
V_{MICRO} : 미시지형학적 복잡성	Manning's의 n값을 가지고 간접적으로 산정할 수 있는 변수로 주변지역의 토양이나 식생 조건을 대상으로 하여 n값을 산정할 수 있음.
V_{SHRUB} : 관목과 유목의 밀도, 생물량 또는 피복도	항공사진 분석과 현장 조사를 통해 추산 가능하다. 그렇지만 정확한 조사를 위해서는 정기적인 식생 모니터링이 필요하다.
V_{BTREE} : 기저면적	건기 중에 현장 조사를 통하여 식물 중에 지표종들에 대한 피도 조사를 통해 산출할 수 있다.
V_{DTREE} : 나무밀도	식물 중에 통나무 급의 나무들에 대한 밀도 조사를 실시하면 산출. 필요에 따라 항공사진이나 대체할 다른 자료들을 통하여 산정 가능하다. 그러나 지역에 따라 통나무 수준의 나무들이 존재하지 않을 수도 있다.
V_{CWD} : 큰 나뭇가지	건기 중에 하천의 바닥에 잔존한 굵은 나무들의 밀도를 조사하여 산출. 그러나 전체를 조사하여 정확한 값을 산정하기를 어렵고, 대상 지역에서 일정한 sample 지역을 조사하고 넓이로 비교 환산.

변수에 대한 지수값 산정은 아래의 공식을 이용하여 산정하게 된다.

$$\text{기능 지수} = \left[V_{FREQ} \times \frac{(V_{INUND} + V_{MICRO} + V_{SHRUB} + V_{BTREE} \text{or } V_{DTREE} + V_{CWD})}{5} \right]^{\frac{1}{2}}$$

2.2.2 장기 지표수 저류 기능

장기 지표수 저류기능은 장기간 동안에 지표수를 습지가 저류할 수 있는 능력을 말한다. 물의 공급은 제방의 범람, 지표유출, 지류로부터의 유입, 주변지역의 지표하 유출, 또는 강우에 의해 이루어진다. 이를 평가하기 위한 변수는 총 2가지가 있는데 이 변수들 중에서 본 연구에 사용할 수 있는 변수와 해당변수의 측정방법은 아래의 표 2와 같다.

표 2. 장기 지표수 저류기능 평가 변수의 측정방법

변 수	측 정 방 법
V_{SURWAT} : 지표수 흔적의 지표	월류한 물이 7일 이상 유지되는 현상을 판별하는 변수로서 보령댐의 수위자료를 이용하여 변수 값을 산정함.
V_{MACRO} : 거시지형학적 기복	지형 특성에 의해 지표수가 장기간 동안 저류되는지를 판단하는 변수로 거시지형학적 기복 특성인 U자형 만곡부, 곡류주, 사행천, 배후습지 등의 형태를 가지고 있는지를 판단하여 변수를 산정함.

변수에 대한 지수값 산정은 아래의 공식을 이용하여 산정하게 된다.

$$\text{기능 지수} = \frac{(V_{SURWAT} + V_{MACRO})}{2}$$

2.2.3 에너지 감쇄

습지 내에서든, 밖에서든 물의 이동에 따른 여러 가지 에너지는 큰 나무 잔재물, 식생 구조물, 미시적 지형과 거시적 지형의 영향, 그 밖에 다른 장애물들로 발생되는 조도(roughness)로 인해 감쇄된다. 에너지 감쇄 기능을 평가하기 위한 변수는 총 6가지가 있는데 이 변수들 중에서 본 연구에 사용할 수 있는 변수와 해당변수의 측정방법은 아래의 표 3과 같다.

표 3. 에너지 감쇄 기능 평가 변수의 측정방법

변 수	측 정 방 법
V_{FREQ} : 월류빈도	댐습지는 하천변 습지와 달리 하천수의 월류로 인해 물이 공급되는 것이 아니기 때문에 해당 댐에서 정하고 있는 상시만수위를 기준으로 하여 수심이 이보다 높을 경우를 월류하였다고 가정하여 월류빈도를 산정하였음.
V_{REDVEL} : 유속저감	습지내 유속을 저감시키는 식생이나, 지형구조, 또는 각종 장애물을 분석하여 변수를 산정함.
V_{MACRO} : 거시지형학적 기복	지형 특성에 의해 지표수가 장기간 동안 저류되는지를 판단하는 변수로 거시지형학적 기복 특성인 U자형 만곡부, 곡류주, 사행천, 배후습지 등의 형태를 가지고 있는지를 판단하여 변수를 산정함.
V_{MICRO} : 미시지형학적 복잡성	Manning's의 n값을 가지고 간접적으로 산정할 수 있는 변수로 주변지역의 토양이나 식생조건을 대상으로 하여 n값을 산정할 수 있음.
V_{DTREE} : 나무밀도	식물 중에 통나무 급의 나무들에 대한 밀도 조사를 실시하면 산출. 필요에 따라 항공사진이나 대체할 다른 자료들을 통하여 산정 가능하다. 그러나 지역에 따라 통나무 수준의 나무들이 존재하지 않을 수도 있다.
V_{CWD} : 큰 나뭇가지	건기 중에 하천의 바닥에 잔존한 굵은 나무들의 밀도를 조사하여 산출. 그러나 전체를 조사하여 정확한 값을 산정하기를 어렵고, 대상 지역에서 일정한 sample 지역을 조사하고 넓이로 비교 환산.

변수에 대한 지수값 산정은 아래의 공식을 이용하여 산정하게 된다.

$$\text{기능 지수} = \left(V_{FREQ} \times \frac{V_{MACRO} + V_{MICRO} + V_{DTREE} + V_{CWD}}{4} \right)^{1/2}$$

2.2.4 지표하 저류

지표하 저류 기능은 습지 지면 바로 아래에 물을 저장하는 능력을 말한다. 이 저장 능력은 주기적인 수위의 저하 또는 토양의 포화도가 감소할 때 이용된다. 수위저하는 수직과 측방 배수 그리고 증발산에 의해 발생한다. 이 기능을 평가하기 위한 변수는 2 가지가 있는데 이 변수들 중에서 본 연구에 사용할 수 있는 변수와 해당변수의 측정방법은 아래의 표 4와 같다.

표 4. 지표하 저류 기능 평가 변수의 측정방법

변 수	측 정 방 법
V_{PORE} : 저장 공간으로 이용할 수 있는 토양 공극	습지 내에 저장되어 있는 물을 지표 하에 저장할 수 있는 기능을 나타내는 변수로 직접적인 측정방법은 대상지역의 토양 특성을 가지고 변수를 산정하는 것이며, 간접적인 방법은 지표수가 저류되어 있는 기간으로 변수를 산정할 수 있음.
V_{WTF} : 수위변화	보령댐과 우포늪의 수위자료를 이용하여 변수를 산정.

변수에 대한 지수값 산정은 아래의 공식을 이용하여 산정하게 된다.

$$\text{기능 지수} = \frac{V_{PORE} + V_{WTF}}{2}$$

2.2.5 적정 지하수

적정 지하수는 상류구배(upgradient)로부터 오는 지하수흐름과 지하수량을 적절히 조절할 수 있는 습지의 저장용량을 말한다. 이에 대하여 평가하기 위한 변수는 2 가지가 있는데 연구를 위해 활용할 수 있는 적정한 데이터 값을 구하지 못하여 산정하지 못했다.

표 5. 적정 지하수의 평가 변수의 측정방법

변 수	측 정 방 법
V_{SUBIN} : 습지 내 지표하 흐름	하천변습지로 흘러들어가는 지표하 유출은 습지 가장자리 경사면의 갈라진 틈을 따라 물이 흘러들어가 토양을 포화시킴으로써 발생한다. 이 변수는 객관화하여 값을 산정할 수 없음.
V_{SUBOUT} : 습지에서 대수층의 기저류까지의 지표하 흐름	이러한 지하수의 흐름은 기저유출이 일어나는 기간의 압력수두나 지하수와 하천유량을 관측 비교함으로써 알 수 있다. 그러나 이 두 가지 방법 모두 어렵고, 많은 비용과 시간이 소요된다. 이 변수는 객관화하여 값을 산정할 수 없음

변수에 대한 지수값 산정은 아래의 공식을 이용하여 산정하게 된다.

기능 지수 = $\frac{V_{SUB\,IN} + V_{SUB\,OUT}}{2}$

2.2.6 양분 순환

양분 순환 기능은 습지와 관련되어 있는 영양분들과 다른 요소들을 변화시키는 비 생물학적 그리고 생물학적 과정을 나타내는 기능을 말한다. 영양분의 순환은 생태계에 있어서 기본적인 요소이다. 영양분의 순환은 두 가지 변수로 설명할 수 있다. 이 기능을 평가하기 위한 변수는 2 가지가 있는데 이 변수들의 측정방법은 아래의 표 6과 같다.

표 6. 양분 순환 기능 평가 변수의 측정방법

변 수	측 정 방 법
V_{PROD} : 지상부 순 1차 생산량	항공사진과 현장 조사를 통하여 식생을 조사하고, 식생 군락을 분류하여 면적을 구한다. 그리고 각 식생별 생산량을 산정.
V_{TURNOV} : 연간 유기 분해물의 전이	현장에서 군락별로 토양을 조사하거나 균에 존재하는 균근류를 관찰 조사하여 산정. 이런 부분의 조사는 정밀한 현장 조사와 실험실의 분석 실험이 겸해져야 하고, 대상 습지에 지속적인 모니터링 작업이 필요.

변수에 대한 지수값 산정은 아래의 공식을 이용하여 산정하게 된다.

기능 지수 = $V_{PROD} > V_{TURNOV}$ 이면, 지수를 V_{TURNOV}로 하며, 그 밖의 경우에는 지수를 V_{PROD}로 함.

2.2.7 이입된 원소와 화합물의 제거

이입된 원소와 화합물의 제거 기능은 습지로 유입되는 영양물질, 오염물질 그리고 그 밖에 다른 요소와 화합물들의 제거능력을 나타내는 역할을 한다. 이 기능을 평가하기 위한 변수는 총 7

가지가 있는데 이 변수들 중에서 본 연구에 사용할 수 있는 변수와 해당변수의 측정방법은 아래의 표 7과 같다.

표 7. 이입된 원소와 화합물의 제거 기능 평가 변수의 측정방법

변 수	측 정 방 법
V_{FREQ} : 월류빈도	댐습지는 하천변 습지와 달리 하천수의 월류로 인해 물이 공급되는 것이 아니기 때문에 해당 댐에서 정하고 있는 상시만수위를 기준으로 하여 수심이 이보다 높을 경우를 월류하였다고 가정하여 월류빈도를 산정.
V_{SURFIN} : 지표유입량	습지로 유입되는 유입량을 나타내는 변수로 이는 주변지역의 경사나 주변의 홍수터나 하천과 연결되어 유입되는 유량을 토대로 변수를 산정.
V_{SUBIN} : 습지내 지표하 흐름	하천변습지로 흘러들어가는 지표하 유출은 습지 가장자리 경사면의 갈라진 틈을 따라 물이 흘러들어가 토양을 포화시킴으로써 발생한다. 이 변수는 객관화하여 값을 산정할 수 없음.
V_{MICRO} : 미시지형학적 복잡성	Manning's의 n값을 가지고 간접적으로 산정할 수 있는 변수로 주변지역의 토양이나 식생 조건을 대상으로 하여 n값을 산정.
V_{MICROB} : 미생물 활동을 위한 표면	복합적인 표층은 생장과 재생을 위한 장소를 제공한다. 이 표층은 낙엽층(litter layer), 토양의 유기물 함량, 초본 식생의 줄기와 잎, 토탄층(peat layer) 등에 의해 추정. 이 변수를 객관화하여 값을 산정할 수 없음.
V_{SORPT} : 토양의 흡착 특성	이 변수는 토양 특성을 고려하여 산정할 수 있음. 보령댐 지역은 모래와 자갈, 그리고 실트로 구성되어 있는 것으로 조사.
V_{BTREE} : 나무 기저면적	건기 중에 현장 조사를 통하여 식물 중에 지표종들에 대한 피도 조사를 통해 산출.

변수에 대한 지수값 산정은 아래의 공식을 이용하여 산정하게 된다.

$$\text{기능 지수} = \frac{\left\{\frac{V_{FREQ}+V_{SURFIN}+V_{SUBIN}}{3}+\frac{V_{MICRO}+V_{MICROB}+V_{SORPT}}{3}+V_{BTREE}\right\}}{3}$$

2.2.8 미립자의 보유

이 기능은 물리적 과정을 통해 수체로부터 발생하는 무기 및 유기 미립자 (>0.45㎛)의 침전과 저류능력을 나타내는 것이다. 미립자의 보유기능을 평가하기 위한 변수는 총 8가지가 있는데 이 변수들 중에서 본 연구에 사용할 수 있는 변수와 해당변수의 측정방법은 아래의 표 8과 같다.

표 8. 미립자의 보유 기능 평가 변수의 측정방법

변 수	측 정 방 법
V_{FREQ} : 월류빈도	댐습지는 하천변 습지와 달리 하천수의 월류로 인해 물이 공급되는 것이 아니기 때문에 해당 댐에서 정하고 있는 상시만수위를 기준으로 하여 수심이 이보다 높을 경우를 월류하였다고 가정하여 월류빈도를 산정..

표 8. 미립자의 보유 기능 평가 변수의 측정방법 (계 속)

V_{SURFIN} : 지표유입량	습지로 유입되는 유입량을 나타내는 변수로 이는 주변지역의 경사나 주변의 홍수터나 하천과 연결되어 유입되는 유량을 토대로 변수를 산정.
V_{HERB} : 초본의 밀도, 생체량 또는 피복	건기 중에 현장 조사를 통하여 습지 지역에서 초본들의 피도를 조사하여 산출. 전체를 조사하여 정확한 값을 산정하기를 어렵고, 대상 지역에서 일정한 sample 지역을 조사하고 넓이로 비교 환산.
V_{SHRUB} : 관목과 유목밀도, 생채량 또는 피도	항공 사진 분석과 현장 조사를 통해 추산 가능. 그렇지만 정확한 조사를 위해서는 정기적인 식생 모니터링 필요.
V_{BTREE} : 나무 기저면적	건기 중에 현장 조사를 통하여 식물 중에 지표종들에 대한 피도 조사를 통해 산출.
V_{DTREE} : 나무밀도	식물 중에 통나무 급의 나무들에 대한 밀도 조사를 실시하면 산출. 필요에 따라 항공사진이나 대체할 다른 자료들을 통하여 산정 가능하다. 그러나 지역에 따라 통나무 수준의 나무들이 존재하지 않을 수도 있다.
V_{MICRO} : 미시지형학적 복잡성	Manning's의 n값을 가지고 간접적으로 산정할 수 있는 변수로 주변지역의 토양이나 식생 조건을 대상으로 하여 n값을 산정할 수 있음
V_{CWD} : 큰 나뭇가지	건기 중에 하천의 바닥에 잔존한 굵은 나무들의 밀도를 조사하여 산출. 그러나 전체를 조사하여 정확한 값을 산정하기를 어렵고, 대상 지역에서 일정한 sample 지역을 조사하고 넓이로 비교 환산.

변수에 대한 지수값 산정은 아래의 공식을 이용하여 산정하게 된다.

$$\text{기능 지수} = \left(\frac{V_{FREQ} + V_{SURFIN}}{2} \times \frac{V_{HERB} + V_{SHRUB} + V_{BTREE} + V_{DTREE} + V_{MICRO} + V_{CWD}}{6} \right)^{1/2}$$

2.2.9 유기탄소 이출

유기탄소 이출 기능은 습지로부터 물에 녹지 않은 입자 상태의 탄소 배출, 침출, 분출(flushing), 여과, 침식을 포함한 과정을 말한다. 이 기능을 평가하기 위한 변수는 총 5가지가 있는데 이 변수들 중에서 본 연구에 사용할 수 있는 변수와 해당변수의 측정방법은 아래의 표 9와 같다.

표 9. 유기탄소 이출 기능 평가 변수의 측정방법

변 수	측 정 방 법
V_{FREQ} : 월류빈도	댐습지는 하천변 습지와 달리 하천수의 월류로 인해 물이 공급되는 것이 아니기 때문에 해당 댐에서 정하고 있는 상시만수위를 기준으로 하여 수심이 이보다 높을 경우를 월류하였다고 가정하여 월류빈도를 산정하였음.
V_{SURFIN} : 지표유입량	습지로 유입되는 유입량을 나타내는 변수로 이는 주변지역의 경사나 주변의 홍수터나 하천과 연결되어 유입되는 유량을 토대로 변수를 산정함.

표 9. 유기탄소 이출 기능 평가 변수의 측정방법 (계 속)

V_{SUBIN} : 습지 내 지표하 흐름	하천변습지로 흘러들어가는 지표하 유출은 습지 가장자리 경사면의 갈라진 틈을 따라 물이 흘러들어가 토양을 포화시킴으로써 발생한다. 이 변수는 객관화하여 값을 산정할 수 없음.
$V_{SURFCON}$: 하도를 통한 지표면의 수리학적 연결	이 변수는 습지와 연결되어 있는 물 이동 통로의 수 즉, 습지와 연결되어 있는 지류의 수를 이용하여 변수를 산정함.
V_{ORGAN} : 습지 내 유기물질	식생에 따른 습지 유형을 분류하여, 각 유형별 생산성과 넓이를 추정하여 계산함으로 추산. 정확한 측정을 위해서는 지속적인 토양 조사를 통해 유기물을 분석해야 한다.

변수에 대한 지수값 산정은 아래의 공식을 이용하여 산정하게 된다.

$$\text{기능 지수} = \left(\frac{(V_{FREQ} + V_{SURFIN} + V_{SUBIN} + V_{SURFON})}{4} \times V_{ORGAN} \right)^{1/2}$$

만약 V_{ORGAN} = 0이면 기능은 부재한다.

2.2.10 특징적인 식물 군집의 유지

종 구성과 살아있는 생물량의 물리적 특징으로, 중점은 나무, 관목, 유묘, 묘목, 지표 식물의 우점종과 식물의 물리적 특징에 의해 밝혀진 것과 같은 식생의 다양성과 구조에 있다. 특징적인 식물 군집의 유지 기능을 평가하기 위한 변수는 총 5가지가 있는데 이 변수들 중에서 본 연구에 사용할 수 있는 변수와 해당변수의 측정방법은 아래의 표 10과 같다.

표 10. 특징적인 식물 군집의 유지 기능 평가 변수의 측정방법

변 수	측 정 방 법
V_{COMP} : 목본, 유목, 관목, 그리고 지표식물의 종 구성	식생 조사 자료를 근거로 하여, 종간 비교를 통하여 계산. 댐의 경우, 조사 자료가 주변 삼림을 포함하고 있기 때문에 동일한 습지 식물은 아니지만 조사 자료상에 나타난 식물들을 비교하여 계산.
V_{REGEN} : 유묘/유목 그리고/또는 클론을 형성하는 줄기	현존 식생 중에서 유묘나 묘목의 비율 및 개체를 이룰 수 있는 기는 줄기나 지하경 등을 조사하여 계산. 조사할 때마다 다르게 나타날 수 있다.
V_{CANOPY} : 수관의 피도	항공사진을 통해 피도 비교를 하여 산정.
V_{BTREE} : 기저면적	조사를 통하여 현존 식물 중에 지표종들에 대한 피도 조사를 통해 산출.
V_{DTREE} : 나무밀도	식물 중에 통나무 급의 나무들에 대한 밀도 조사를 실시하면 산출. 필요에 따라 항공사진이나 대체할 다른 자료들을 통하여 산정 가능하다. 그러나 지역에 따라 통나무 수준의 나무들이 존재하지 않을 수도 있다.

변수에 대한 지수값 산정은 아래의 공식을 이용하여 산정하게 된다.

$$\text{기능 지수} = \frac{\left[(V_{COMP} + V_{REGEN} + V_{CANOPY}) + \left(\frac{V_{DTREE} + V_{BTREE}}{2} \right) \right]}{4}$$

2.2.11 특징적인 잔재물 생체량의 유지

생산, 축적, 그리고 모든 크기의 죽은 식물들의 생체량을 의미한다. 원천은 현지, 경사지, 오르막에 있을 수도 있다. 서있거나 쓰러진 나뭇조각의 양과 그 분배가 중요하다. 특징적인 잔재물 생체량의 유지 기능을 평가하기 위한 변수는 총 4가지가 있는데 이 변수들 중에서 본 연구에 사용할 수 있는 변수와 해당변수의 측정방법은 아래의 표 11과 같다.

표 11. 특징적인 잔재물 생체량의 유지 기능 평가 변수의 측정방법

변 수	측 정 방 법
V_{SNAG} : 서있는 죽은 나무의 밀도	조사를 통하여, 식생 지역별로 표본지역을 정하여 죽은 식물체의 밀도를 조사하고, 전체로 환산.
V_{CWD} : 큰 나뭇가지	건기 중에 하천의 바닥에 잔존한 굵은 나무들의 밀도를 조사하여 산출. 그러나 전체를 조사하여 정확한 값을 산정하기를 어렵고, 대상 지역에서 일정한 표본지역을 조사하고 넓이로 비교 환산.
V_{LOGS} : 분해중인 통나무들	조사를 통하여, 식생 지역별로 표본지역을 정하여 분해중인 나무의 밀도를 조사하고, 전체로 환산.
V_{FWD} : 작은 나뭇가지	현장조사를 통하여, 식생 지역별로 표본지역을 정하여 토양 분석을 통해 부스러진 나무의 비율을 조사하고, 전체로 환산.

변수에 대한 지수값 산정은 아래의 공식을 이용하여 산정하게 된다.

$$\text{기능 지수} = \frac{\left\{V_{SNAGS} + \left[\left(\frac{V_{CWD} + V_{LOGS}}{2}\right)\right] + V_{FWD}\right\}}{3}$$

2.2.12 서식처의 공간 구조 유지

이 기능은 다른 서식지를 제공함으로서 동물의 개체수와 집단들에 대한 습지의 수용 능력이라 정의할 수 있다. 서식처의 공간 구조 유지 기능을 평가하기 위한 변수는 총 4가지가 있는데 이 변수들 중에서 본 연구에 사용할 수 있는 변수와 해당변수의 측정방법은 아래의 표 12와 같다.

표 12. 서식처의 공간 구조 유지 기능 평가 변수의 측정방법

변 수	측 정 방 법
V_{SNAGS} : 서있는 죽은 나무의 밀도	조사를 통하여 식생 지역별로 표본지역을 정하여 죽은 식물체의 밀도를 조사하고, 전체로 환산.
V_{MATUR} : 매우 성숙한 나무의 밀도	자라나는 식생 중에서 완전히 자란 나무의 비율을 조사하여 계산하는 것은, 표본지역을 정하여 조사하고 추산.
V_{STRATA} : 초목의 수직적 층의 수와 속성	조사된 식생 자료를 토대로, 식생을 분류하여 나타날 수 있는 층을 추산.
V_{GAPS} : 숲틈	항공사진을 분석하여 현장의 피도 분석을 통해 계산.

변수에 대한 지수값 산정은 아래의 공식을 이용하여 산정하게 된다.

$$\text{기능 지수} = \frac{V_{SNAGS} + V_{MATUR} + V_{STRATA} + V_{GAPS}}{5}$$

2.2.13 산재와 연결성의 유지

영구적이나 일시적인 표면의 통로, 범람, 중력에 의한 지하수를 통해 수중의 유기물이 습지로 들어오거나 나가는 것을 용납할 수 있는 습지의 능력을 의미한다. 지표상이나 공기 중의 유기체들에 대한 접촉지역의 먹이와 은신처를 수용할 수 있는 습지의 능력을 말한다. 산재와 연결성의 유지 기능을 평가하기 위한 변수는 총 6가지가 있는데 이 변수들 중에서 본 연구에 사용할 수 있는 변수와 해당 변수의 측정방법은 아래의 표 13과 같다.

표 13. 산재와 연결성의 유지 기능 평가 변수의 측정방법

변 수	측 정 방 법
V_{FREQ} : 월류빈도	댐습지는 하천변 습지와 달리 하천수의 월류로 인해 물이 공급되는 않으므로 해당 댐에서 정하고 있는 상시만수위를 기준으로 하여 수심이 이보다 높을 경우를 월류하였다고 가정하여 월류빈도를 산정.
V_{DURAT} : 월류수 흐름의 지속성	보령댐의 경우는 월류된 후 그 유량의 지속 기간은 1~2일로 조사되었음.
V_{MICRO} : 미시지형학적 복잡성	Manning's의 n값을 가지고 간접적으로 산정할 수 있는 변수로 주변지역의 토양이나 식생 조건을 대상으로 하여 n값을 산정할 수 있음.
$V_{SURFCON}$: 하도를 통한 지표면의 수리학적 연결	이 변수는 습지와 연결되어 있는 물 이동 통로의 수 즉, 습지와 연결되어 있는 지류의 수를 이용하여 변수를 산정함.
V_{SUBCON} : 수리학적 지표하 연결	작은 수중 생물들이 그들의 수중 환경을 떠나지 않고, 그들의 서식처들 사이를 왕래할 수 있게 해 주는 작은 틈을 제공하는 수리학적 연결을 의미하는데, 수중 곤충은 특히 이 연결을 개척하는 것에 꽤 적합하다. 현재 연구 대상에 대해서는 객관화하여 변수를 산정하기 어려움.
V_{CONTIG} : 습지와 상부사이의 인접한 식생들이 덮고 밀집한 정도	댐과 습지에 연관된 강의 상 하류 간의 연속성에 대한 조사를 항공사진을 통해 시도하려고 하였으나 항공사진만으로 식물의 종을 정확히 구분하기는 어렵고, 현장을 조사하려면 대규모 조사가 필요.

변수에 대한 지수값 산정은 아래의 공식을 이용하여 산정하게 된다.

$$\text{기능 지수} = \frac{V_{FREQ} + V_{DURAT} + V_{MICRO} + V_{SURFCON} + V_{SUBCON} + V_{CONTIG}}{6}$$

2.2.14 무척추동물의 분포와 수도의 유지

무척추동물의 분포와 수도의 유지 기능은 무척추 동물의 특징적 밀도와 공간적 분포를 유지하는 습지의 수용력을 나타낸다. 이 기능을 평가하기 위한 변수는 총 3가지가 있는데 이 변수들 중에서 본 연구에 사용할 수 있는 변수와 해당변수의 측정방법은 아래의 표 14와 같다.

표 14. 무척추동물의 분포와 수도의 유지 기능 평가 변수의 측정방법

변 수	측 정 방 법
V_{SINVT} : 저서무척추동물의 분포와 수도	조사를 통하여 저서무척추동물의 종을 동정하여 목록화하고 그 목록을 통하여 동물의 분포와 수를 파악하여 산정. 그러나 넓이-종수의 관계(Tjorve, 2003)에 따라 우포늪과 보령댐의 넓이의 차이에 따른 종수와 개체수의 차이에 의한 편차를 고려하였다.

표 14. 무척추동물의 분포와 수도의 유지 기능 평가 변수의 측정방법 (계 속)

V_{LINVT} : 낙엽층 무척추동물의 분포와 수도	직접 분해자들에 대해 조사하거나, 분해자들에 의해 분해된 흔적을 찾아 분해능에 따라 간접적으로 추산. 그러나 넓이-종수의 관계(Tjorve, 2003)에 따라 우포늪과 보령댐의 넓이의 차이에 따른 종수와 개체수의 차이에 의한 편차를 고려하였다.
V_{AQINVT} : 수서무척추동물의 분포와 수도	조사를 통하여 수서무척추동물의 종을 동정하여 목록화 하고 그 목록을 통하여 동물의 분포와 수를 파악하여 산정. 그러나 넓이-종수의 관계(Tjorve, 2003)에 따라 우포늪과 보령댐의 넓이의 차이에 따른 종수와 개체수의 차이에 의한 편차를 고려하였다.

변수에 대한 지수값 산정은 아래의 공식을 이용하여 산정하게 된다.

$$\text{기능 지수} = \frac{V_{SINVT} + V_{LINVT} + V_{AQINVT}}{3}$$

2.2.15 척추동물의 분포와 수도의 유지

척추동물의 분포와 수도의 유지 기능은 먹이, 은신, 휴식, 생식을 위해 습지를 이용한 척추동물들(수중, 준수중, 육상)의 특징적 밀도와 공간적 분포를 유지하는 습지의 수용력을 말한다. 이 기능을 평가하기 위한 변수는 총 4가지가 있는데 이 변수들 중에서 본 연구에 사용할 수 있는 변수와 해당변수의 측정방법은 아래의 표 15와 같다.

표 15. 척추동물의 분포와 수도의 유지 기능 평가 변수의 측정방법

변 수	측 정 방 법
V_{FISH} : 어류의 분포와 수도	조사를 통하여 어류의 종을 동정하여 목록화하고 그 목록을 통하여 동물의 분포와 수를 파악하여 산정. 그러나 넓이-종수의 관계(Tjorve, 2003)에 따라 우포늪과 보령댐의 넓이의 차이에 따른 종수와 개체수의 차이에 의한 편차를 고려하였다.
V_{HERP} : 파충류의 분포와 수도	조사를 통하여 파충류의 종을 동정하여 목록화하고 그 목록을 통하여 동물의 분포와 수를 파악하여 산정. 그러나 넓이-종수의 관계(Tjorve, 2003)에 따라 우포늪과 보령댐의 넓이의 차이에 따른 종수와 개체수의 차이에 의한 편차를 고려하였다.
V_{BIRD} : 조류의 분포와 수도	조사를 통하여 조류의 종을 동정하여 목록화하고 그 목록을 통하여 동물의 분포와 수를 파악하여 산정. 그러나 넓이-종수의 관계(Tjorve, 2003)에 따라 우포늪과 보령댐의 넓이의 차이에 따른 종수와 개체수의 차이에 의한 편차를 고려하였다.
V_{MAMM} : 포유류의 분포와 수도	조사를 통하여 포유류의 종을 동정하여 목록화하고 그 목록을 통하여 동물의 분포와 수를 파악하여 산정. 그러나 넓이-종수의 관계(Tjorve, 2003)에 따라 우포늪과 보령댐의 넓이의 차이에 따른 종수와 개체수의 차이에 의한 편차를 고려하였다.

변수에 대한 지수값 산정은 아래의 공식을 이용하여 산정하게 된다.

$$\text{기능 지수} = \frac{V_{FISH} + V_{HERP} + V_{BIRD} + V_{MAMM}}{4}$$

3. 결과 및 논의

HGM 습지 기능 평가 방법에서는 기준 습지인 우포늪의 변수값과 기능지수값은 최고점인 1.0으로 하고, 평가 대상이 되는 습지의 변수값을 산정하여 기능지수를 계산한다. 따라서 보령댐의 변수값과 기능지수는 0.0에서 1.0 사이의 값을 가지며, 점수를 주는 기준은 HGM 습지 기능 평가 방법에서 제시한 평가 기준에 준하여 산정하였다. 그러나 보령댐이나 우포늪이 가지는 특성상 산정이 불가능하거나 존재하지 않는 변수들을 생략하거나 기능지수 식을 환산하여 최종 지수값을 산출하였다.

3.1 단기 지표수 저류(표 16)

월류 빈도의 경우 11년간의 보령댐 관측 자료 중 2회 월류가 발생하여 0.5에 해당한다. 평균 침수심의 경우 대조 기준인 우포늪에 비하여 댐인 보령댐의 수역이 더 깊기 때문에 125%를 초과했기 때문에 오히려 변수값이 낮은 0.5에 해당한다. 미시지형의 복잡성은 Manning의 n값(Hoggan, 1996)을 가지고 산정하였는데, 전형적인 습지인 우포늪에 비해서 보령댐이 82.5%의 유사성을 보여 1.0에 해당한다. 나무 밀도는 보령댐과 우포늪의 식생 천이 단계가 상당히 다르게 나타나므로 HGM에 제시된 기준에 따라 변수값은 0.5에 해당한다. 기저면적과 큰 나뭇가지의 경우 보령댐과 우포늪의 면적 대비 나타나는 특징의 차이가 커서 비교가 어렵다. HGM을 활용한 평가를 할 때, 큰 차이가 나타나지 않는 변수들에 대해서는 지수식을 활용하면 큰 차이가 나타나지 않는다. 따라서 큰 나뭇가지와 같은 변수들이 환경에 따라 존재하지 않을 경우 지수를 산정할 때, 습지의 상황에 맞게 변수를 조정하여 산출할 수 있다(Wardrop et. al., 2007). 이에 지수식을

$$FCI = \left[V_{FREQ} \times \frac{(V_{INUND} + V_{MICRO} + V_{SHRUB} + V_{DTREE})}{4} \right]^{\frac{1}{2}}$$

로 변환하여 기능지수를 계산한 결과 0.5를 나타내었다. 보령댐은 지표수 저류의 양에 있어서는 우포늪에 월등할 수 있지만, 기능적인 측면에서는 우포늪에 비하여 약 25%~75% 사이에 해당함을 알 수 있다.

3.2 장기 지표수 저류(표 16)

지표수 흔정의 지표는 물 고임 현상이 발견되면 1.0이므로 댐의 경우 당연하게 1.0으로 계산했다. 또한 거시 지형학적 기복의 경우 보령댐이 산지에 입지하여 고저의 차이가 크게 나타나므로 마

표 16. 보령댐의 수문학적인 기능

단기 지표수 저류		장기 지표수 저류		에너지 감쇄		지표하 저류		적정 지하수	
변 수	변수값	변 수	변수값	변 수	변수값	변 수	변수값	변 수	변수값
V_{FREQ}	0.5	V_{SURWA1}	1.0	V_{FREQ}	0.5	V_{PORE}	0.0	V_{SUBIN}	0
V_{INUND}	0.5	V_{MACRO}	1.0	V_{REDVEL}	1.0	V_{WTF}	0.5	V_{SUBOUT}	0
V_{MICRO}	1.0			V_{MACRO}	1.0				
V_{SHRUB}	0.0			V_{MICRO}	1.0				
V_{DTREE}	0.5			V_{DTREE}	0.5				
FCI	0.5	FCI	1.0	FCI	0.645	FCI	0.25	FCI	0

찬가지로 1.0의 변수값을 갖는다. 따라서 환산한 기능지수는 1.0으로 장기 지표수 저류 능력은 보령댐이 우포늪에 버금가는, 실제적으로는 월등하게 높은 능력을 가지고 있음을 의미한다.

3.3 에너지 감쇄(표 16)

유속 저감에 관한 변수의 경우 보령댐의 유속이 우포늪의 유속에 비해 82.5%에 해당하여 1.0의 변수 값을 갖는다. 나머지 변수들의 산정은 앞선 기능 지수들을 구할 때 활용한 방법과 같다. 계산한 기능지수는 0.645이고, 이 값은 보령댐이 우포늪의 50%이상의 효과를 갖는다고 볼 수 있다.

3.4 지표하 저류(표 16)

저장 공간으로 사용할 수 있는 토양 공극은 보령댐의 경우 항상 물에 잠겨 포화상태를 이루고 있기 때문에 변수 값은 0.0이다. 사위 변화의 경우 우포늪의 변화에 비하여 보령댐이 125%를 초과한 변화를 보이기 때문에 0.5로 계산하였다. 종합한 기능지수는 0.25로서 우포늪에 비해 보령댐의 지표하 저류 능력은 25% 미만의 기능만을 한다고 볼 수 있다.

3.5 적정 지하수(표 16)

습지내 지표하 흐름이나 대수층의 기저류까지의 지표하 흐름에 관한 변수값들은 댐에서는 측정이 거의 불가한 값이므로 0.0으로 처리하였다.

3.6 양분 순환(표 17)

양분 순환의 경우 기능지수 계산에서 지상부 순 1차 생산량이 연간 유기 분해물의 전이보다 많은 경우를 제외하고는 지상부 순 1차 생산량으로 기능지수를 계산한다. 댐의 경우 연간 유기 분해물의 전이를 파악하려면 기저면의 토양과 지질층을 분석하여야 하는데, 이를 정확히 조사하는데 어려움이 있으므로, 지상부 순 1차 생산량으로 대신하였다. 보령댐의 항공사진을 비교하면 피복도가 우포늪의 50~75% 정도를 나타내기 때문에, 0.5의 변수값을 갖고, 기능지수도 같은 값을 갖는다. 이는 보령댐이 우포늪에 비하여 양분 순환에 있어서는 약 50% 정도의 기능만을 하고 있음을 알 수 있다.

표 17. 보령댐의 생지화학적 기능

양분순환		이입된 원소와 화합물의 제거		미립자의 보유		유기탄소 이출	
변수	지수값	변수	지수값	변수	지수값	변수	지수값
V_{PROD}	0.5	V_{FREQ}	0.5	V_{FREQ}	0.5	V_{FREQ}	0.5
V_{TURNOV}	0.0	V_{SURFIN}	0.5	V_{SURFIN}	0.5	V_{SURFIN}	0.5
		V_{MICRO}	1.0	V_{HERB}	0.5	$V_{SURFCON}$	0.5
		V_{SORPT}	0.1	V_{SHRUB}	0.0	V_{ORGAN}	0.5
				V_{DTREE}	0.5		
				V_{MICRO}	1.0		
FCI	0.5	FCI	0.525	FCI	0.5	FCI	0.5

3.7 이입된 원소와 화합물의 제거(표 17)

보령댐의 지표 유입의 지표들이 보령댐과 유사하지 않고 그 양도 부족하기 때문에 지표유입량은 0.5에 해당한다. 토양의 흡착 특성은 보령댐의 경우 주요한 변형들이 일어나는 정도로 보아 0.1에 해당한다. 미생물 활동을 위한 표면은 보령댐의 경우 상류 일부 지역을 제외하고 대부분이 개방수역으로 이루어져 있어서 측정이 어렵다. 그러나 보령댐의 개방 수역의 아래 지역은 측정을 하지 않았을 뿐, 실제로 미생물이 활동하기 위한 유기물이나 여타의 환경들은 가질 수 있다. 오히려 우포보다 더 많은 물질의 축적과 수량으로 인해 더 많은 가능성을 가질 수도 있다(Arp and Cooper, 2004). 따라서 이 변수의 생략은 기능지수 계산에 있어서 큰 변화는 없다고 보고, 이에 맞게 $FCI = \frac{\left\{ \frac{V_{FREQ} + V_{SURFIN}}{2} + \frac{V_{MICRO} + V_{SORPT}}{2} \right\}}{2}$로 기능지수식을 변환하여 계산된 기능지수는 0.525로 보령댐의 이입된 원소와 화합물 제거 기능은 우포늪의 50~75%정도 수행한다고 할 수 있다.

3.8 미립자의 보유(표 17)

초본의 밀도, 생체량과 피복은 보령댐의 주변이 산지로서 우포늪의 초본들만큼 지표를 덮고 있지 않지만 25%~75%에 해당하므로 0.5이다. 이미 계산된 나무 수 변수값들을 포함하여 계산한 기능지수는 0.5로서 우포의 미립자 보유 기능에 비하여 50%정도의 능력을 보령댐이 가지고 있다고 볼 수 있다.

3.9 유기탄소 이출(표 17)

하도를 통한 지표면의 수리학적 연결은 보령댐이 우포늪에 비하여 월등하기 때문에 125%이상에 해당하여 오히려 0.5이다. 습지 내 유기물질은 보령댐이 우포늪처럼 풍부하지 못하지만, 존재량이 25%~75%에 해당하기 때문에 0.5이다. 그 외에 이미 계산한 변수값들로 계산한 기능지수는 0.5로 보령댐의 유기탄소 이출 기능은 우포늪의 50% 수준에 해당한다.

3.10 특징적인 식물 군집의 유지(표 18)

지표식물의 종 구성은 우포늪에 존재하는 식물들이 보령댐에도 상당수 존재하기 때문에 1.0이다. 수관의 피도는 주변이 삼림으로 이루어진 보령댐이 우포늪에 비하여 75%이상이기 때문에 1.0이다. 유묘, 유목, 클론을 형성하는 줄기는 우포와 보령댐의 차이가 커서 변수값의 산정이 불가능하다. 따라서 기능지수식을 다음과 같이 변환하여 $FCI = \frac{(V_{COMP} + V_{CANOPY} + V_{DTREE})}{3}$로 계산된 변수값들을 가지고 계산한 기능지수는 0.833으로 보령댐이 우포늪에 준하는 기능을 수행한다고 할 수 있다.

표 18. 보령댐의 식물서식처로서의 기능

특징적인 식물 군집의 유지		특징적인 잔재물 생체량의 유지	
변수	지수값	변수	지수값
V_{COMP}	1.0	V_{SNAG}	0.0
V_{CANOPY}	1.0	V_{CWD}	0.0
V_{DTREE}	0.5	V_{LOGS}	0.0
		V_{FWD}	0.0
FCI	0.833	FCI	0.0

3.11 특징적인 잔재물 생체량의 유지(표 18)

보령댐은 홍수기에 심한 수위 변동이 나타나는 우포늪과 달리, 일정 만수위를 유지한다. 따라서 우포늪에 비하여 죽은 나무의 밀도나 나뭇가지들의 비율 또는 부패중인 나무의 밀도는 거의 없는 정도이거나 물에 의해 제거되어 복원이 불가능한 정도의 양을 나타낸다. 따라서 모두 0.0이고, 계산한 기능지수도 역시 0.0에 해당하여 생체량 유지 능력은 거의 가지지 못한다고 할 수 있다.

표 19. 보령댐의 동물서식처로서의 기능

서식처의 공간 구조 유지		산재와 연결성의 유지		무척추동물의 분포와 수도의 유지		척추동물의 분포와 수도의 유지	
변수	지수값	변수	지수값	변수	지수값	변수	지수값
V_{STRATA}	1.0	V_{FREQ}	0.5	V_{SINVT}	1.0	V_{FISH}	1.0
V_{GAPS}	1.0	V_{DURAT}	0.1	V_{AQINVT}	1.0	V_{HERP}	1.0
		V_{MICRO}	1.0			V_{BIRD}	0.5
		$V_{SURFCON}$	0.5			V_{MAMM}	1.0
FCI	1.0	FCI	0.525	FCI	1.0	FCI	0.875

3.12 서식처의 공간 구조 유지(표 19)

매우 성숙한 나무의 밀도는 간접 측정이 없이 직접 조사를 통하여 구할 수 있는 변수값이므로 앞으로 정확한 지수산정을 위해서는 광대한 범위의 조사가 필요하다. 식생과 관련하여 주어진 기능지수식에서는 숲의 조각화, 계층화를 각각 계산하지만, HGM을 Western Tennessee의 수변 습지에 적용한 예(Wilder, 2002)를 보면 초본과 목본의 종별 구분만으로 이를 구분하고 있다. 앞서 구한 식물 서식처로서의 기능에서 보령댐이 우포늪에 준하는 기능을 하고 있으므로 이와 관련한 두 개의 변수를 생략해도 무방하다. 식생의 수직적 층이나 숲틈 변수는 보령댐이 우포늪에 준하는 층을 보이므로 1.0이다. 이에 맞게 기능지수식을 $FCI = \frac{V_{STRATA} + V_{GAPS}}{2}$로 변환하여, 이 변수들로 계산한 기능지수는 1.0으로 서식처 공간 유지 기능은 보령댐이 우포에 준한다.

3.13 산재와 연결성의 유지(표 19)

월류수 흐름의 지속성은 우포가 명확한 기준을 가지고 있지 못하고, 댐의 월류는 빈번하지 못하므로 0.1이다. 미세 지형의 유사성은 82.5%를 보여 1.0이다. 습지와 상부 사이의 인접한 식생들이 덮고 밀집한 정도는 우포늪의 경우 습지이므로 산정할 수 있지만, 보령댐의 경우 산지로서 연결이 좋기는 하지만, 습지에서 필요로 하는 기능과 다르다. 그 외 계산된 변수들을 포함하여 산출한 기능지수는 0.525로 보령댐이 우포늪에 비하여 50% 이상의 기능을 수행한다고 볼 수 있다.

3.14 무척추동물의 분포와 수도의 유지(표 19)

저서무척추동물과 수서무척추동물의 분포와 수는 보령댐이 우포늪에 준하거나 오히려 더 많은 분포를 보인다. 그러나 낙엽층 무척추동물의 분포와 수도의 경우 보령댐과 우포늪에서 질적 차이가 크게 나타나 비교가 어렵다. HGM을 Nothern Rocky Mountain의 수변 범람원에 적용한 예를 보면, 동물 각각의 특성을 고려하지 않고 종합적 특성만으로 구할 수 있다. 이를 무척추동물에 적용하면, 이미 알고 있는 동물들의 풍부도나 수도가 함께 존재하는 다른 생물군을 대표할 수 있다고 본다(Hauer et al., 2002). 이에 기능지수식을 $FCI = \frac{V_{SINVT} + V_{AQINVT}}{2}$로 변환하여, 두 변수로 계산한 기능지수는 1.0으로 보령댐이 이 기능을 잘 수행하고 있다고 할 수 있다.

3.15 척추동물의 분포와 수도의 유지(표 19)

보령댐 영역의 넓이가 우포늪에 비하여 훨씬 넓고 우거져 있으며, 개방 수면도 우포늪에 비하여 보령댐이 월등하게 넓고 깊다. 따라서 넓이를 고려해도 어류, 파충류, 포유류의 분포와 수는 충분하다. 그러나 조류의 경우 우포늪의 습지 환경이 서식에 적합하여 훨씬 많은 종과 수를 보유하고 있으므로 보령댐은 0.5이다. 변수값들로 산출한 기능 지수는 0.875로 보령댐이 이 기능을 우포늪에 준하게 수행한다고 할 수 있다.

4. 요약 및 결론

위에서 언급했듯이 각 변수들의 지수값을 토대로 하여 산정된 각 기능별 기능지수(FCI)를 종합하여 정리하면 표 20과 같다. 계산된 기능지수들을 바탕으로 보령댐습지의 수문학적 습지 기능은 단기적이고 작은 흐름들에 대해서는 취약성을 가지지만, 반면 장기적이고 큰 흐름들에 대해서는 강점을 가진다. 생지화학적 기능은 우포의 평균 50%정도 수행하는 것으로 나타났다. 식물 서식처로서의 기능도 식물의 잔재량의 축적이 개방 수면의 깊은 중심을 기점으로 나타나기 때문에 파악은 어렵지만, 식물 군집의 유지 측면에서 매우 우수한 기능을 한다. 뿐만 아니라 동물 서식처로서의 기능성은 우리나라에서 잘 알려진 습지인 우포늪에 준하는 기능을 수행하고 있다. 다만 조류의 서식처로서의 기능이 부족하기 때문에 이 부분은 보강할 필요가 있다.

지금까지 댐은 습지로서의 기능을 인정하지 않았지만, 본 연구를 통하여 댐습지의 습지로서의 기능적 가치를 명확히 하였다. 댐습지가 일반 습지에 비하여 가지는 수문학적 기능의 한계, 생지화학적 기능의 한계는 극복이 어렵다고 하더라도, 식물 또는 동물 서식처로서의 기능, 생지화학적 기능 등 개선 가능한 기능들을 개발하기 위한 지속적인 연구와 노력이 필요하다.

표 20. 각 기능별 기능지수(FCI)

분 류	기능 평가 항목	기능지수(FCI)
수문학적 기능	단기 지표수 저류	0.5
	장기 지표수 저류	1.0
	에너지 감쇄	0.645
	지표하 저류	0.25
	적정 지하수	0.0
생지화학적 기능	양분 순환	0.5
	이입된 원소와 화합물의 제거	0.525
	미립자의 보유	0.5
	유기탄소 이출	0.5
식물 서식처 기능	특징적인 식물 군집의 유지	0.833
	특징적인 잔재물 생체량의 유지	0.0
동물 서식처 기능	서식처의 공간 구조 유지	1.0
	산재와 연결성의 유지	0.525
	무척추동물의 분포와 수도의 유지	1.0
	척추동물의 분포와 수도의 유지	0.875

감사의 글

이 논문은 2008년 한국수자원공사의 K-water 연구개발사업의 지원을 받아 연구되었음.

참 고 문 헌

건설교통부, 우포늪의 생태치수기능 개선 방안 연구, 2007.

김재근, 습지생태계의 보전과 복원, 자연보전 123권, pp. 15-22, 2003.

여준호, 김광일, 문현주, 신지현, 이정인, 환경을 고려한 다목적댐의 가치추정에 관한 연구, 한국환경정책평가연구원, 2003.

한국수자원공사, 보령다목적댐 저수지 및 주변지역 생태환경조사, 2006.

한국수자원공사, 댐습지의 기능과 가치평가 방법의 개발, 2009.

환경부, 한국의 습지 유형 분류 체계, 2008.

Arp, C.D. and Cooper, D.J., Analusis of sediment retention in western riverine wetlands: The Yampa river watershed, Colorado, USA. Environmental Management. Vol. 33, pp. 318-330, 2004.

Hauer, F.R., Cook, B.J., Gilbert, M.C., Clairain, E.J.Jr., and Smith, R.D., A Regional Guidebook for Applying the Hydrogeomorphic Approach to Assessing Wetland Functions of Riverine Floodplains in Northern Rocky Mountains. U.S. Army Corps of Engineers, 2002.

Hoggan, D.H., Floodplain Hydrology and Hydraulics 2nd Edition. McGraw-Hill, 1996.

Mitsch, W.J. and Gosselink, J.G., Wetlands 4th Edition. John Wiley & Sons, Inc. 2007.

Ramsar Convention, Strategic Framework and Guidelines for the Future Development of the List of Wetlands of International Importance of the Convention on Wetlands. 2005.

Smith, R.D., Ammann, A., Bartoldus C., and Brinson M.M., A Guidebook for Application of Hydrogeomorphic Assessments to Riverine Wetlands. U.S. Army Corps of Engineers, 1995.

Tjorve, E., Shapes and functions of species-area curves: a review of possible models. Journal of Biogeography. Vol. 30, pp. 827-835, 2003.

Wardrop, D.H., Kentula, M.E., Jensen, S.F., Stevens, D.L.Jr., Hychka, K.C., and Brooks, R.P., Assessment of wetlands in upper Juniata watershed in Pennsylvania, USA using the hydrogeomorphic approach. Wetlands. Vol. 27, pp.432-445, 2007.

Wilder, T.C. and Roberts, T.H., A Regional Guidebook for Applying the Hydrogeomorphic Approach to Assessing Wetlands Functions of Low-gradient Riverine Wetlands in Western Tennessee. U.S. Army Corps of Engineers, 2002.

○ 논문접수일 : 09년 11월 19일
○ 심사의뢰일 : 09년 11월 20일
○ 심사완료일 : 09년 12월 21일