

HGM을 이용한 화포천 습지의 기능평가

Assessment of Hwapo riverine wetland function using Hydrogeomorphic Approach

윤선화* · 김덕길** · 김형수*** · 곽재원****
Yin, Shanhua · Kim, Duck Gil · Kim, Hung Soo · Kwak, Jae Won

Abstract

A wetland is an ecosystem which has high species diversity, rich nutritional substances and high productivity. In this study we used the HGM(Hydrogeomorphic) approach among various evaluation models for the assessment of the Hwapo riverine wetland function. HGM is a method which estimates the functional index of a study wetland by comparing it with a reference wetland. In this study the Woopo wetland which is registered in the Ramsar Convention was selected as a reference wetland to assess the functional index of the Hwapo wetland. As the results, we obtained the functional index values over 0.6 for most indices of the Hwapo riverine wetland. Therefore we found that the Hwapo riverine wetland shows relatively high functional index values comparing with the Woopo wetland and it has valuable hydrological, biochemical, plant habitat, and animal habitat functions.

Keywords : hydrogeomorphic approach, hwapo wetland, woopo wetland, assessment of wetland function

요 지

습지는 종 다양성이 높고 영양물질이 풍부하며 생산성이 높은 생태계로서 수문학적으로나 생태학적으로 여러 가지 기능을 수행하고 있다. 본 연구는 습지 기능을 평가하는데 이용되는 다양한 평가 방법중 하나인 HGM (Hydrogeomorphic)을 적용하여 화포습지에 대한 기능평가를 실시하였다. HGM방법은 하나의 기준습지를 선정한 후 대상습지와 비교를 통해 습지의 기능을 지수화하여 평가하는 방법이다. 본 연구에서는 람사르 협약에 등록된 우포늪을 기준습지로 선정하여 화포천 습지의 기능을 평가한 결과 대부분의 기능이 0.6점 이상으로 우포늪과 비교하여 비교적 긍정적인 기능지수의 값을 보여주었다. 이는 화포천 습지가 수문학적, 생지화학적, 식물서식처, 동물서식처 기능을 수행하고 있고 보전 및 관리를 한다면 보다 더 효과적으로 기능을 수행할 수 있을 것으로 판단된다.

핵심용어 : HGM, 화포천 습지, 우포늪, 습지 기능평가

1. 서 론

지구면적의 약 6%를 차지하고 있는 습지는 지구생명 지원 시스템의 주요한 조성단위 중의 하나로서 우리에게 어류, 목재, 연료, 물 등을 제공해주고 또한 수질 개선 및 홍수와 폭풍우에 의한 피해를 감소시킨다. 뿐만 아니라 어류와 야생동물의 중요한 서식처를 제공해주고 전체 지구생명 지원시스템의 안정 등의 기능을 수행하며 인류사회발전을 위한 기본적인 감성의 근원이다(趙士洞, 2001). 하지만 인류가 발전하고 활동이 활발해 짐에 따라 산업 및 경제의 급속한 발전에 의해 세계적으로 분포되어 있는 습지들이 개발대상으로 이용되어 파괴되었다. 특히 1900년 이후 산업발전으로 인해

지구상 습지의 50%가 사라졌으며 1950년 이후에 급속도로 습지가 파괴되었다. 습지 면적의 상실과 기능적 퇴화는 홍수와 가뭄피해의 증가, 조류의 종 다양성의 감소 등 심각한 환경적 파괴를 초래했다(崔麗娟 등, 2006). 따라서 습지의 여러 가지 기능의 유지, 조절 및 강화는 인류에게 놓여진 중대한 임무이자 도전이며 습지복원과 보호 조치를 위해 습지가 수행하고 있는 기능의 평가는 반드시 필요한 절차이다. 습지 기능평가에 관련하여 국외에서는 많은 연구가 진행되고 있으며 특히 미국에서 많은 연구가 이루어졌는데 사우스 플로리다에서 개발한 Wetland Rapid Assessment Procedure (WRAP)(Miller and Gunsalus, 1999)는 단위 생태와 인위적인 변량을 수량 등급으로 하여 습지의 현재 상태의 등급

*인하대학교 사회기반시스템 공학부 석사과정 (E-mail : yinshanhua18@nate.com)

**인하대학교 사회기반시스템 공학부 박사과정 (E-mail : k1004dk@hanmail.net)

***정희원 · 교신저자 · 인하대학교 사회기반시스템공학부 부교수 · 공학박사 (E-mail : sookim@inha.ac.kr)

****정희원 · 인하대학교 사회기반시스템공학부 박사과정 (E-mail : firstword@naver.com)

Table 1. Hydrogeomorphic Classification of Wetlands

HGM에서의 습지 분류	지형학적 조건	주요 수원	동수역학적 조건
하천변 습지	하천주변	하천으로 부터의 월류	1차방향, 수평방향
지면저류 습지	저지대	지하수와 지류로 인한 역류	수직방향
경사 습지	경사진 지역	지하수에 의한 역류	1차방향, 수평방향
무기토양 평지	평지	강수	수직방향
유기토양 평지	평지	강수	수직방향
하구역 습지	하구 주변	하구로 부터의 월류	2차방향, 수평방향
호수역 습지	호수의 주변	호수로 부터의 월류	2차방향, 수평방향

을 지수화하여 나타내는 방법으로서 그 변량에는 야생동물의 이용, 관목의 피도, 수질개선의 시스템, 수문학적인 지표, 인접 고지대 등이 포함된다. 캘리포니아주에서 개발한 California Rapid Assessment Method(CRAM)(Sutula *et al.*, 2006)는 캘리포니아주의 습지를 대상으로 습지의 생태적인 측면과 수문학적인 측면 그리고 물리적 구조 및 생물적 구조 등 측면에서 습지를 평가하는 방법이다. 특히 hydrogeomorphic(HGM)(Brinson *et al.*, 1995)방법이 개발된 이후에는 많은 방법들은 HGM방법을 기반으로 조금씩 수정되거나 보충되어 개발되었다(袁軍 등, 2004). 국내에서도 습지에 대한 기능평가 연구가 수행되고 있으며 그 수행 연구로는 수정 RAM(일반기능평가기법)을 이용하여 물영아리 오름과 방동소택지의 기능을 평가한 연구(구본학 등, 2001)와 댐저수지 내의 습지 유형 및 기능 평가에 대한 연구(양병호 등, 2005)에서도 수정 RAM을 이용하여 습지의 기능을 평가한 바 있다. 또한 수정 HGM기법으로 우포늪의 서식처 기능을 평가(구본학, 2001)한 바도 있지만 이는 HGM방법에서의 중요한 기능인 수문학적 방법에서는 평가가 이루어지지 않았다. 그러나 최근 한국수자원공사(2009)에서는 HGM을 이용하여 수문학적 특성을 고려한 댐습지의 기능평가를 수행한 바가 있다. 국외에서 여러 가지 습지기능평가에 대해 연구가 활발히 진행되고 있는데 비해 국내의 습지 기능평가는 생태학적인 방법에서의 평가에 그치고 습지의 중요한 기능중의 하나인 수문학적인 기능을 고려하지 않고 있어 수문학적 측면을 고려하여 더욱 많은 연구가 진행되어야 할 것으로 생각된다. 따라서 본 연구에서는 HGM방법을 이용하여 수문학적인 측면과 생태학적인 측면에서 습지의 다양한 기능을 고려해 국내 습지의 기능을 평가하고자 한다.

2. 연구방법 및 내용

2.1 HGM 방법

HGM방법은 미공병단에서 개발한 방법으로서 대부분의 습지기능 평가방법들은 생태학적인 측면을 중심으로 습지기능을 평가하였지만 HGM방법은 습지의 기능을 생태학적 및 생지화학적 측면 그리고 수문학적인 측면을 고려하여 평가한다. HGM방법의 적용은 4단계의 절차로 이루어진다고 할 수 있다. 1단계에서 HGM방법에서 정의하고 있는 습지의 유형에 따라 대상지역의 유형을 분류하고 분류된 유형과 동일한 형상의 습지들 중에서 비교적 보전이 잘 되어있거나 인위적인 파괴가 적은 습지를 기준습지로 선정한다. 2단계에

서는 기능을 평가하기 위한 변수를 설정한 다음 3단계로 넘어가 HGM방법을 적용하여 마지막으로 결과를 얻는다.

2.2 HGM방법에 의한 습지 분류

HGM방법은 습지를 지형학적 특성과 수문학적 특성에 따라 분류하고 동시에 식생의 피복특성을 결합하여 상세분류를 한다. 수문학적 특성은 습지생태계에 있어서 가장 중요한 인자로 볼 수 있으며 수문학적 특성의 변화에 따라 습지기능은 많은 영향을 받을 수 있다. 지형학적 특성은 습지생태계의 물질적 및 공간형태의 기초이며 식생 피복특성은 습지 생태계기능의 직접적인 지표가 된다. Table 1은 HGM방법에서 분류하고 있는 습지유형을 나타내고 있으며, 또한 습지의 유형을 분류하는데 기준이 되는 지형조건(Geomorphic setting), 수원(Water source), 동수역학적 조건(Hydrodynamics)을 나타내고 있다.

여기서 본 연구의 대상유형인 하천변 습지는 하천주변에 있고 하천수와 연관된 범람원이나 강기슭 회랑에 생성되는 습지로서 주요 수원은 하천으로 부터의 월류량 혹은 하천수와 습지사이의 지표하 수리학적 연결에 의한 수원이 고 추가적으로 합류 혹은 인접한 고지에서 지표면 유출, 지류의 합류, 강수 등이 있다. 월류가 발생하면 지표면 유출이 범람원에 흘러 들어간다.

Table 2. Functions of wetland in HGM Classification

수문학적 측면
단기 지표수 저류(Dynamic Surface Water Storage) 장기 지표수 저류(Long-Term Surface Water Storage) 에너지 감쇄(Energy Dissipation) 지표하 저류(Subsurface Storage of Water) 적정 지하수(Moderation of Groundwater Flow or Discharge)
생지화학적 측면
양분 순환(Nutrient Cycling) 이입된 원소와 화합물의 제거(Removal of Imported Elements and Compounds) 미립자의 보유(Retention of Particulates) 유기탄소 이출(Organic Carbon Export)
식물서식처 측면
특징적인식물군집의유지(MaintainCharacteristicPlantCommunities) 특징적인잔재생체량의유지(MaintainCharacteristicDetritalBiomass)
동물서식처 측면
서식처의 공간적 구조 유지(Maintain Spatial Structure of Habitat) 산재와 연결성의 유지(Maintain Interspersion and Connectivity) 무척추동물의 분포와 수도 유지(Maintain Distribution and Abundance of Invertebrates) 척추동물의 분포와 수도 유지(Maintain Distribution and Abundance of Vertebrates)

2.3 HGM방법의 습지기능 구분 및 기능지수 산정공식

하천변 습지에 대한 수문지형학적(HGM) 방법에서는 습지의 기능을 크게 수문학적 측면(Hydrologic), 생지화학적 측면(Biogeochemical), 식물 서식처 측면(Plant Habitat) 그리고 동물 서식처 측면(Animal Habitat)으로 분류할 수 있으며 각 분류마다 구체적인 기능과 그 변수들이 포함되어 있다(Brinson *et al.*, 1995). Table 2는 HGM방법에서 구분하고 있는 습지의 기능을 나타낸 것이다.

2.3.1 수문학적 측면

단기 지표수 저류기능은 홍수와 같이 단기간에 제방을 범람하는 홍수량이나 주변지역에서 유입되는 지표수 유입량을 저류시킴으로서 홍수피해를 저감시키는 능력을 나타낸다. 이런 능력으로 인해 하류에서의 침투유량의 감소와 도달시간의 지연과 같은 효과를 가져온다. 단기 지표수 저류 기능은 제방의 월류빈도(V_{FREQ}), 습지의 평균수심(V_{INUND}), 식물 조도에서 관목과 유목의 밀도 및 생체량 또는 피도(V_{SHRUB}), 큰 직경의 수관을 가진 나무 밀도(V_{DTREE}) 혹은 목본의 기저면적(V_{BTREE}) 등 변수로 아래의 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$FCI = \left[V_{FREQ} \times \frac{V_{INUND} + V_{SHRUB} + V_{BTREE}}{3} \right]^{1/2} \quad (1)$$

장기 지표수 저류기능은 장기간 지표수를 저장할 수 있는 습지의 능력을 나타낸다. 습지는 홍수나 지표수로 인해 유입된 물을 장기간 저류할 수 있어 흡착된 영양물질이나 오염원을 가라앉히게 된다. 장기 지표수 저류기능은 지표수 흔적 지표(V_{SURWAT})와 지면의 거시지형학적 기복(V_{MACRO})으로 식 (2)로 나타낼 수 있다. 여기서 거시지형학적 기복의 특징에는 U자형 만곡부, 곡류주, 사행천, 배후습지와 같은 것이 있다.

$$FCI = \frac{(V_{SURWAT} + V_{MACRO})}{2} \quad (2)$$

에너지 감쇄 기능은 습지내외에서의 물의 흐름에 따른 여러 가지 에너지를 습지에 존재하는 조도에 의해 분산시키는 능력을 나타내며 이런 능력으로 인해 제방과 하상의 압력이 낮아져 에너지 시스템이 안정화 된다. 에너지 감쇄 기능은 에너지 분산을 위해 물이 습지로 이동하는 것으로 즉 월류빈도(V_{FREQ})와 지역별 조도(V_{MACRO} , V_{DTREE})로 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다. 여기서 목본의 밀도는 물의 흐름에 조도를 주어 그 에너지를 감소시키는 변수이며 이 변수는 목본의 분포면적을 습지면적으로 나누어준 값으로 대체하여 구한다.

$$FCI = \left(V_{FREQ} \times \frac{V_{MACRO} + V_{DTREE}}{2} \right)^{1/2} \quad (3)$$

지표하 저류기능은 습지 지표하에 물을 저장하는 능력으로서 습지의 침수심을 낮추고 하천으로 물이 유입되는 것을 늦추며 기저유출에 기여하고 생물학적 과정과 수문학적 과정을 유지시키는 능력을 나타낸다. 지표하 저류기능은 물의 저장 공간으로 사용할 수 있는 토양의 공극(V_{PORE})과 습지의 수위 변동(V_{WTF})으로 식 (4)와 같이 나타낼 수 있다. 여기서 토양공극은 토양의 토성을 비교하여 판단할 수 있다.

$$FCI = \frac{V_{PORE} + V_{WTF}}{2} \quad (4)$$

적정 지하수 기능은 습지의 외부로부터 유입되거나 습지를 통과하는 물의 흐름을 완화시킴으로써 육지로부터 유입되는 영양물질과 오염물질을 침전시켜 하류의 수질을 향상시키는 능력을 말한다. 적정 지하수 기능은 습지내 지표하 흐름(V_{SUBIN})과 습지에서 대수층의 기저류까지의 지표하 흐름(V_{SUBOUT})으로 나타낼 수 있다. 하지만 본 연구에서 불충분한 자료로 인하여 변수의 지수를 구할 수 없다.

2.3.2 생지화학적 측면

양분순환 기능은 습지에 의해 유입되는 영양분과 다른 요소들의 영구적인 이동이 생지 화학적 작용을 더욱 잘 유지하도록 하는 능력 즉 비 생물학적 그리고 생물학적 과정을 나타낸다. 양분순환 기능은 지상부 순 1차 생산량(V_{PROD})과 연간 유기물 분해물의 전이(V_{TURN})로 식 (5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$FCI = V_{PROD} > V_{TURN} \quad (5)$$

만약 이 식이 성립된다면, 지수를 V_{TRUNOV} 로 하며, 그 밖의 경우에는 지수를 V_{PROD} 로 한다. 여기서 지상부 순 1차 생산량은 습지에 생존하는 생물량으로 구할 수 있는데 본 연구에서는 모든 지층의 생물분포면적을 습지의 전체 면적으로 나누어 줌으로써 그 값으로 대체했다. 연간 유기물의 전이는 토양내 유기물 함량으로 대체하여 구하였다.

이입된 원소와 화합물의 제거 기능은 습지로 유입되는 양분, 오염물질 그리고 기타 요소와 화합물질을 제거하는 능력을 나타낸다. 습지에서는 수탁, 퇴적, 탈질, 매장, 분해, 흡수 그리고 오래된 수목과 다년생 초본의 생물량 등에 의해 오염물질, 원소 및 화합물질이 제거된다. 이입된 원소와 화합물의 제거 기능은 월류빈도(V_{FREQ}), 지표유입량(V_{SURFIN}), 토양의 흡착 특성(V_{SORPT}), 나무 기저면적(V_{BTREE}) 즉, 원소를 보유하고 있다가 천천히 분해시키는 능력으로 나타낼 수 있으며 식 (6)으로 구할 수 있다.

$$FCI = \frac{\left\{ \frac{V_{FREQ} + V_{SURFIN}}{2} + V_{SORPT} + V_{BTREE} \right\}}{3} \quad (6)$$

여기서 지표유입량은 원소나 화합물질들의 유입경로의 한 변수로서 이 변수는 주변지역의 연결된 지류의 개수로 구할 수 있고 토양 흡착특성은 토양의 유기물질과 토성을 대조기준과 비교하여 구할 수 있다.

미립자 보유 기능은 물리적 과정을 통해 수체로부터 발생하는 무기 및 유기 미립자(>0.45 μm)의 침전과 저류능력을 나타낸다. 미립자 보유 기능은 월류빈도(V_{FREQ}), 지표유입량(V_{SURFIN}), 초본에 의한 조도(V_{HERB}), 관목에 의한 조도(V_{SHRUB}), 나무 기저면적(V_{BTREE}), 나무 밀집도에 의한 조도(V_{DTREE}) 등 조도요소로 나타낼 수 있으며 식 (7)과 같이 구할 수 있다.

$$FCI = \left(\frac{V_{FREQ} + V_{SURFIN}}{2} \times \frac{V_{HERB} + V_{SHRUB} + V_{BTREE} + V_{DTREE}}{4} \right)^{1/2} \quad (7)$$

여기서 초본 밀도, 생체량 또는 피도는 초본의 분포면적/습지의 전체 면적으로 대체하여 구할 수 있다.

유기탄소 이출 기능은 습지에서 용해되거나 입자 상태로 있는 유기탄소를 추출, 세척(flushing), 여과, 침식 등 방법으로 이출하는 능력을 나타낸다. 유기탄소 이출 기능은 월류빈도(V_{FREQ}), 지표유입량(V_{SRFIN}), 하도를 통한 지표면의 수리학적 연결($V_{SURFCON}$), 습지내 유기물질(V_{ORGAN}) 등 변수로 나타낼 수 있다. 만약 $V_{ORGAN}=0$ 이면 기능은 부재하며 식 (8)과 같이 구할 수 있다.

$$FCI = \left(\frac{V_{FREQ} + V_{SRFIN} + V_{SURFCON} \times V_{ORGAN}}{3} \right)^{1/2} \quad (8)$$

여기서 지표면의 수리학적 접합은 주요하도에 연결된 내부 배수로를 나타내는 시각적 측정치로서 구할 수 있다.

2.3.3 식물서식처 측면

특징적인 식물 군락의 유지 기능은 살아있는 생물량의 종구성과 물리적 특성을 말하고 이는 하천변 생태계에 대한 식물상의 중요성으로서 거대 무척추동물의 군집 구조적 변화, 수서 생태계의 종 다양성의 감소, 하류 수질의 악화 및 수문학적 변화가 관련되기 때문이다. 특징적인 식물군집의 유지 기능은 목본, 유목, 관목, 지표 식물의 종구성(V_{COMP}), 목본 밀도(V_{DTREE}), 나무의 기저면적(V_{BTREE}) 등으로 나타낼 수 있으며 식 (9)로 구할 수 있다.

$$FCI = \frac{V_{COMP} + \left(\frac{V_{DTREE} + V_{BTREE}}{2} \right)}{2} \quad (9)$$

특징적인 잔재물 생체량을 유지하는 기능은 생산, 축적, 그리고 모든 크기의 죽은 식물들의 생체량을 말한다. 습지에 있는 죽은 나뭇가지는 부식을 감소시키고 흙의 생성을 도와 줌으로서 생태계 기능의 유지를 도와준다. 특징적인 잔재물 생체량의 유지 기능은 서있는 죽은 나무의 밀도(V_{SMAGS}), 큰 나뭇가지(V_{CWD}), 부패중인 통나무(V_{FWD}), 작은 나뭇가지(V_{FWD})로 나타낼 수 있지만 현재 자료가 부족함으로 본 연구에서는 구하지 못했다.

2.3.4 동물서식처 측면

서식처의 공간 구조 유지 기능은 이종의 서식처로 동물의 개체수와 집단을 유지하는 능력을 나타낸다. 서식처의 공간 구조 유지 기능은 죽은 나무의 밀도(V_{SMAGS}), 성숙한 나무의 풍부도(V_{MATUR}), 초목의 수직 층과 속성(V_{STRATA}), 초목의 조각(V_{PATCH}), 수관 틈(V_{GAPS})으로 나타낼 수 있지만 마찬가지로 자료가 부족하여 본 연구에서 구할 수 없었다.

산재와 연결성의 유지 기능은 습지가 영구적이거나 일시적인 표면의 하도나 월류, 혹은 대수층에 의하여 유기체의 진출을 허용하는 능력을 말한다. 산재와 연결성의 유지 기능은 월류빈도(V_{FREQ})와 지표면의 수리학적 연결($V_{SURFCON}$)로 나타낼 수 있으며 식 (10)으로 구할 수 있다.

$$FCI = \frac{V_{FREQ} + V_{SURFCON}}{2} \quad (10)$$

무척추동물의 분포와 수도의 유지 기능은 무척추동물의 특징적 밀도와 공간적 분포를 유지하는 습지의 능력을 나타낸다. 무척추동물의 분포와 수도의 유지 기능은 저서무척추동물의 분포와 수도(V_{SINVT}), 육상곤충의 분포와 수도(V_{TERR})로 나타낼 수 있으며 식 (11)로 구할 수 있다.

$$FCI = \frac{V_{SINVT} + V_{TERR}}{2} \quad (11)$$

여기서 육상곤충의 분포와 수도를 나타내는 변수는 전국내륙 습지 자연환경조사(환경부, 2002)와 전국내륙습지 정밀조사(환경부, 2006)에서 화포천 습지에 대해 조사를 하였고 습지 보호지역 정밀조사(국립과환경과학원, 2006)에서 우포늪에 대해 조사한 것으로서 무척추동물의 분포와 수도의 유지기능에 있어서 육상곤충의 종수가 다양하고 차지하는 비율이 높아서 그 기여도가 높다고 생각되어 본 연구에서 변수로 추가한 것이다.

척추동물의 분포와 수도의 유지 기능은 척추동물의 특징적 밀도와 공간적 분포를 유지하는 습지의 능력을 나타낸다. 척추동물의 분포와 수도 유지 기능은 거주하거나 이주하는 물고기의 분포와 수도(V_{FISH}), 거주하거나 이주하는 파충류의 분포와 수도(V_{HERP}), 거주하거나 이주하는 조류의 분포와 수도(V_{BIRD}), 거주하거나 이주하는 포유류의 분포와 수도(V_{MAMM}) 등의 변수로 나타낼 수 있으며 식 (12)와 같이 구할 수 있다.

$$FCI = \frac{V_{FISH} + V_{HERP} + V_{BIRD} + V_{MAMM}}{4} \quad (12)$$

3. HGM의 적용 및 결과

3.1 대상지역

본 연구의 대상 습지인 화포천 습지는 지형적으로 화포천의 주변에 형성되었고 우기시 화포천이 월류하여 주변의 습지에 흘러들어간다. 화포천 습지는 경남 김해시 한림면의 북부와 진영읍의 동북부에 위치한다. 화포천 유역은 동경 128° 54'~128° 43', 북위 35° 12'~35° 21'의 수리학적 범위를 차지한다. 화포천 습지는 화포천 주변에 형성된 습지로서 최장 동서 2,050 m, 남북 2,550 m, 전체 길이는 6,550 m이고 면적은 1,184,000 m²이다(환경부, 2002). 화포천 습지는 저지대로서 하천 제방 내측의 흐름이 정체되어 형성된 것으로서 지질학적으로는 최우빙기/후빙기의 기후변화와 밀접하게 연관되어 있다. 화포천 습지는 후빙기 이후 해수면이 상승함에 따라 낙동강 본류가 매직되면서 형성된 습지이며 낙동강 본류를 중심으로 본다면 낙동강의 배후습지로 볼 수 있다(한성백, 2006).

기준지역은 화포천 습지와 수문지형학적 조건이 유사한 습지들 중에서 사람들에게 많이 알려진 우포늪으로 선정하였



Fig. 1 Topographical map of the Hwapo Wetland

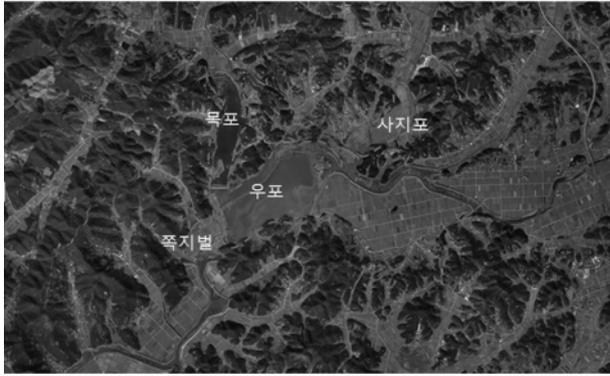


Fig. 2 Topographical map of the Woopo Wetland

다. 우포늪은 그 보전가치가 높다고 판단되어 1997년 7월 26일 생태보전지역으로, 1998년 3월 2일 람사르 협약습지로, 1999년 8월 9일 습지보호지역으로 지정되어 관리되고 있다 (환경부, 2001).

기준습지로 선정한 우포늪은 경남 창원군 이방면, 대합면 및 유어면 일대에 걸쳐있고 지리적 좌표로는 북위 35° 32' 29"~35° 34' 40", 동경 128° 24' 40"~128° 27' 10"에 위치한다. 수면지역이 2,312,926 m²이며 4개의 자연늪지로 이루어지며, 가장 큰 우포늪(1,278,285 m²)의 북동쪽에는 사지포늪 (364,731 m²), 북서쪽에는 목포늪(530,284 m²), 동남쪽에는 쪽지벌(139,626 m²)이 위치해 있다(강민정, 2006 m²). 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.

3.2 변수의 지수 계산 및 기능지수 계산 결과

3.2.1 변수의 지수 계산

HGM에서 각 기능은 그에 영향을 주는 인자 즉 변수의 지수로 구성된 수식으로 나타내게 되며 그 계산 결과는 바로 해당 기능의 정도를 나타내는 척도가 된다. 여기서 지수의 값은 0부터 1사이의 값을 가지게 되며 변수의 지수는 기준습지에 해당되는 사항을 기준으로 기준습지의 0~25%이거나 그 상태가 기준습지에 비해 많이 차이가 날 때 0.1점, 또 25%~75%이거나 그 상태가 기준습지에 비해 조금 차이가 날 때 0.5점, 그리고 75%~125%이거나 75%이상일 때 그 상태가 기준습지와 비슷할 경우 1.0점, 그 밖의 경우는 0점을 줌으로써 수식에 대입하여 기능지수를 구할 수 있다.

본 연구에서는 HGM에서 고려한 4가지 측면에서의 총 15가지 기능 중, 12가지 기능을 평가하였다. 또한 12가지 기능지수를 구함에 있어서 총 23개 변수를 사용하였다. 각각의 변수들은 수문학적, 생지화학적, 동식물에 관한 기존자료를 충분히 이용하여 우포늪을 기준으로 화포천 습지의 변수들을 산정하였다.

월류빈도(V_{FREQ})는 하천이 제방을 월류하여 습지에 흘러들어오는 빈도를 말하는데 월류가 됨으로 인해 단기적인 지표수를 저류시킬 수 있는 변수로서 우포늪은 토평천이 경과하는 한 수로로서 매년 물이 유입 및 유출되기 때문에 월류가 매년 된다고 볼 수 있으며 화포천 습지 역시 화포천의 바로

주변에 위치하고 있어 매년 우기 시 화포천의 물이 흘러들어 갈수 있음을 확인할 수 있다. 따라서 기준습지와 유사한 경우로서 지수 값 1.0을 받을 수 있다.

습지의 평균 침수심(V_{INUND})은 습지의 수위에 대한 정확한 측정 자료가 있어 그 평균 침수심을 알아야 되는데 화포천 습지는 수심이 1m(환경부, 2002)라고 조사 자료를 찾아볼 수 있었고 우포늪은 아직 정확한 조사결과를 구하지 못하였지만 얇은 곳은 1m도 있고 깊은 곳은 대략 2m라는 것을 알 수 있으며 평균수심을 1.5 m라고 적용하였다. 따라서 우포늪의 66.7%로서 지수의 값을 0.5로 줄 수 있다.

관목과 유목밀도, 생체량 또는 피도(V_{SHRUB})는 위성사진이나 문헌자료로부터 알 수 있는데 화포천 습지는 조사면적 10 m×10 m에서 관목층의 피도가 10%(환경부, 2002)이고 우포늪은 조사면적 5 m×5 m에서 관목층의 피도가 70%(국립환경과학원, 2006)임을 알 수 있다. 이는 대조기준의 14.3%로서 지수의 값은 0.1로 줄 수 있다.

목본의 기저면적(V_{BTREE})은 목본 줄기의 기부(지면으로부터 10 cm 위)의 직경을 측정하여 그 높이에서의 목재절단면적을 나타내는 것인데 이런 식생 자료를 구할 수 없었기에 목본의 분포면적으로 대체하였는데 화포천 습지는 9.9 ha(환경부, 2002), 우포늪은 20.22 ha(강문정, 2006)임을 알 수 있다. 이는 대조기준의 49%로서 지수 값을 0.5로 줄 수 있다.

지표수 흔적(V_{BTREE})은 습지가 장기간 동안 물이 고여 있거나 지표수를 저장하는 능력을 말한다. 화포천 습지는 갈수기에도 수면이 거의 드러나지 않는 상태이고(한성백, 2006), 우포늪도 일년 내내 습지 내 물이 고여 있는 상태임을 알 수 있다. 이는 대조기준과 비슷한 상황임으로 지수의 값을 1.0으로 준다.

거시지형학적 기복의 특징(V_{MACRO})에는 U자형 만곡부, 곡류주, 사행천, 배후습지와 같은 것이 있는데 화포천습지와 우포늪은 모두 낙동강의 배후습지이며 이는 거시지형학적 기복특징중의 하나이다. 이는 대조기준과 비슷한 상황임으로 지수의 값을 1.0으로 준다.

목본의 밀도(V_{DTREE})는 물의 흐름에 조도를 주어 그 에너지를 감소시키는 변수이며 이 변수는 목본의 분포면적을 습지면적으로 나누어준 값으로 대체하여 구한다. 화포천 습지는 9.9 ha/118.4 ha(환경부, 2002), 우포늪은 20.2 ha/207.98 ha(강문정, 2006)임을 알 수 있으며 이는 대조기준의 80.4%로서 지수의 값을 1.0로 줄 수 있다.

토양공극(V_{PORE})은 토양의 토성을 비교하여 판단할 수 있다. 화포천 습지는 점토 내지 미사 이고(환경부, 2002) 우포늪은 점토 내지 세사(국립환경과학원, 2006)이며 모두 배수가 불량함을 알 수 있으며, 이는 대조기준과 비슷하게 볼 수 있어 토양공극 지수의 값을 1.0로 줄 수 있다.

수위변화(V_{WTF})에서 화포천 습지의 수위변화는 현장조사를 통해 우기시를 대비해 1m를 적용하였으며 우포늪의 수위변화를 볼 때 여름철 우기에는 수위가 2~3 m 상승함으로(김재철, 2008) 기준습지의 50%로서 0.5로 줄 수 있다.

지상부 순 1차 생산량(V_{PROD})은 습지에 생존하는 생물량으로 구할 수 있는데 본 연구에서는 모든 지층의 생물분포면적을 습지의 전체 면적으로 나누어 줌으로써 그 값으로 대체했다. 화포천 습지는 91.8 ha/118.4 ha(환경부, 2002), 우포

높은 174.82 ha/207.98 ha(강문정, 2006)임을 알 수 있다. 이는 대조기준의 92.2%로서 지수의 값을 1.0으로 줄 수 있다.

연간 유기물의 전이(V_{TURNOV})는 토양내 유기물 함량으로 대체하여 구하였으며 화포천 습지는 3.88%(환경부, 2002), 우포늪은 4.075%(국립환경과학원, 2006)임을 알 수 있다. 이는 대조기준의 95.2%로서 지수의 값을 1.0으로 줄 수 있다.

지표유입량(V_{SURFIN})은 원소나 화합물질들의 유입경로의 한 변수로서 이 변수는 주변지역의 연결된 지류의 개수로 구할 수 있으며 화포천 습지는 8개, 우포늪은 3~4개로서 이는 대조기준의 125%이상이므로 지수의 값을 1.0을 줄 수 있다.

토양 흡착특성(V_{SORPT})은 토양의 유기물질과 토성을 대조기준과 비교하여 구할 수 있으며 화포천 습지는 토양 내 유기물질은 3.88%, 토성은 점토 내지 미사이고 우포늪의 토양 내 유기물질은 4.075%, 토성은 점토내지 세사로서 화포천 습지의 유기물 함량과 토성이 대조기준과 비슷하므로 지수의 값을 1.0으로 줄 수 있다.

초본 밀도, 생체량 또는 피도(V_{HERB})는 초본의 분포면적/습지의 전체 면적으로 대체할 수 있다. 화포천 습지는 82.5 ha/118.4 ha(환경부, 2002), 우포늪은 172.6 ha/207.98 ha(강문정, 2006)이다. 이는 대조기준의 84%로서 지수의 값 1.0을 줄 수 있다.

습지내 유기물질(V_{ORGAN})은 화포천 습지는 3.88%, 우포늪은 4.075% 이며 이는 대조기준의 92.2%로서 지수의 값을 1.0으로 줄 수 있다.

지표면의 수리적 접합($V_{SURFCON}$)은 주요하도에 연결된 내부 배수로를 나타내는 시각적 측정치로서 화포천 습지는 연결된 지류가 8개, 우포늪은 3~4개이다. 이는 대조기준의 125%이상으로서 지수의 값을 1.0으로 줄 수 있다

목본, 유목, 관목 지표식물의 종 구성(V_{COMP})을 보면 화포천 습지일 경우 갈대, 물억새, 버드나무, 줄-창포, 마름-검정말, 피 군락이 우점이고, 우포늪은 내버들, 마름, 줄 등이 우점으로서 식생층의 우점종이 어떤 층도 일치하지는 않지만 그 풍부도가 높기 때문에 지수의 값을 1.0으로 준다.

저서무척추 동물(V_{SINV7})은 화포천 습지는 5강 12목 52종(환경부, 2006), 우포늪은 3문 4강 9목 22과 25종(국립환경과학원, 2006)으로 이는 대조기준의 75%를 초과함으로 지수의 값을 1.0으로 줄 수 있다.

육상곤충(V_{TERR})은 화포천 습지는 10목 46과 101종, 우포늪은 9목 48과 107속 121종으로서 이는 대조기준의 75%이상으로서 지수의 값 1.0을 줄 수 있다.

어류(V_{FISH})는 화포천 습지는 6과 14종으로(환경부, 2006), 우포늪은 3목 6과 13속 13종으로서(국립환경과학원, 2006) 이는 종수는 대조기준의 75%이상이고 지수의 값 1.0을 줄 수 있다.

과충류(V_{HERP})는 화포천 습지는 3목 6과(환경부, 2006), 우포늪은 2목 5과 1종으로서(국립환경과학원, 2006) 이는 대조기준과 비슷하여 지수의 값 1.0점을 줄 수 있다.

조류(V_{BIRD})는 화포천 습지는 68종 (환경부, 2006), 우포늪은 76종으로서 이는 대조기준의 75%이상으로서(국립환경과학원, 2006) 지수의 값을 1.0으로 줄 수 있다.

포유류(V_{MAMM})는 화포천 습지는 5목 8과 12종(환경부, 2006), 우포늪은 6목 11과 14종으로(국립환경과학원, 2006) 종수가 대조기준의 75%이상으로서 지수의 값 1.0을 줄 수 있다.

3.2.2 기능지수 계산 결과

위에서 구한 각각의 변수들의 지수 값을 12가지 기능지수 공식에 대입함으로써 기능지수의 값을 구할 수 있다. 산정한 결과, 기능 별 지수의 값은 아래의 Table 3과 같이 나타났다.

평가한 결과 화포천 습지는 4가지 측면의 기능 중에서 수문학적 측면에서 단기 지표수 저류 기능을 포함하여 0.61점 이상의 점수를 얻었고 생지화학적 측면에서도 0.81이상으로 높은 점수를 얻었다. 식물서식처 측면에서도 0.875점을 얻었으며 동물서식처 측면에서 모두 기능지수 1.0으로 계산되었다. 이로부터 화포천 습지는 습지로서 동식물의 서식처와 생지 화학적 측면에서 높은 수준의 기능을 수행하고 있

Table 3. The estimated function indices

분류	습지 기능 평가 항목	지수의 값
수문학적 (Hydrologic)	단기 지표수 저류(Dynamic Surface Water Storage)	0.61
	장기 지표수 저류(Long-Term Surface Water Storage)	1.0
	에너지 감쇄(Energy Dissipation)	1.0
	지표하 저류(Subsurface Storage of Water)	0.75
	적정 지하수(Moderation of Groundwater Flow or Discharge)	구할 수 없음
생지화학적 (Biogeochemical)	양분 순환(Nutrient Cycling)	1.0
	이입된 원소와 화합물의 제거(Removal of Imported Elements and Compounds)	1.0
	미립자의 보유(Retention of Particulates)	0.81
	유기탄소 수출(Organic Carbon Export)	1.0
식물 서식처 (Plant Habitat)	특징적인 식물 군집의 유지(Maintain Characteristic Plant Communities)	0.875
	특징적인 잔재 생체량의 유지(Maintain Characteristic Detrital Biomass)	구할 수 없음
동물서식처 (Animal Habitat)	서식처의 공간적 구조 유지(Maintain Spatial Structure of Habitat)	구할 수 없음
	산재와 연결성의 유지(Maintain Interspersion and Connectivity)	1.0
	무척추동물의 분포와 수도 유지(Maintain Distribution and Abundance of Invertebrates)	1.0
	척추동물의 분포와 수도 유지(Maintain Distribution and Abundance of Vertebrates)	1.0

음을 알 수 있었다. 또한 수문학적인 측면에서도 비교적 높은 수준에서 기능을 수행하지만 단기 지표수저류기능을 볼 때, 관목이나 나무의 기저면적과 같은 변수가 지수의 값이 낮아 기능지수가 낮게 계산되었다.

결과로부터 화포천 습지는 기능지수가 우포늪과 비교했을 때 대부분이 0.6이상으로서, 우포늪이 100%기능을 수행하고 있다고 할 때 화포천 습지는 각각의 기능이 대부분 60%이상 수행하고 있음을 알 수 있었다. 즉, 람사르 협약에 등록된 습지로서 자연생태보호구역으로 선정되어 다양한 생물들이 서식하고 보존되고 있는 우포늪과 비교했을 때 61% 이상의 기능을 수행하고 있는 것으로 화포천 습지에 대해 보전하고 관리를 한다면 습지로서의 기능을 보다 더 효과적으로 수행할 수 있을 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서는 미공병단에서 습지의 기능평가를 위해 개발한 HGM 방법을 이용하여 수문학적, 생지화학적, 식물 서식처, 그리고 동물 서식처 측면에 대한 화포천 습지의 기능을 평가하였다. 평가결과는 Table 3에서 보여주고 있으며, 특히 수문학적 측면에서 단기지표저류 기능의 지수값은 0.61로서 최저값으로 나타났는데 이는 화포천 습지 내에 물의 흐름을 방해하는 관목이나, 식생의 밀집도가 그다지 높지 않기 때문에 짧은 기간 동안에 습지로 유입된 유량을 저류시킬 수 있는 능력이 영향을 받은 것으로 판단된다. 반면에 장기지표저류 기능은 지수값 1.0으로서 높은 값을 얻었는데 이는 배후 습지라는 거시지형학적 기복의 특징과, 갈수기에도 물이 고여 있는 상태의 지표수 흔적 지표로 장기적으로 물을 저류시킬 수 있음을 확인 할 수 있다. 또한 화포천 습지에 존재하는 식생의 종류가 다양하며 척추동물이나 무척추동물들도 많이 서식하고 있어 식물서식처와 동물서식처 측면에서도 높은 기능을 수행하고 있음을 알 수 있다. 이러한 기능지수 값으로 부터 화포천 습지의 기능은 기준습지인 우포늪과 비교하여 볼 때 긍정적으로 나타났음을 알 수 있다. 기능평가 결과를 향후 화포천 습지를 위한 보전 및 관리에 이용한다면, 보다 효과적인 습지의 관리를 위해 도움이 될 것으로 판단된다.

2006년에 환경부 국가습지보전사업관리단에서 전국내륙습지에 대해 정밀조사를 진행하고 습지기능평가를 수행한 결과 화포천 습지는 2.4점의 평점을 얻었고 이는 구본학 등(2001)이 제시한 습지보전 판단기준과 비교하면 습지 보전 가치가 높은 것으로 판단이 되었다(환경부, 2006). 또한 강수진(2004)에 의해 내륙습지 간이 평가 기법으로 평가된 화포천 습지는 총점 4.93을 얻어 3등급인 보호습지로 평가 되었다. 본 연구에서 이용한 HGM의 4가지 기능적인 측면에서 화포천 습지는 모두 0.6이상의 기능 지수값을 얻었으며 이는 화포천 습지의 기능이 기준습지 기능의 60%이상의 기능을 수행한다는 것으로, 화포천 습지의 보전가치에 대해 긍정적으로 보여주고 있는바 기존의 연구결과들과 비교할 때 본 연구에서 나타난 결과는 합리적인 것으로 판단할 수 있다.

습지의 기능평가에 있어서 HGM 방법을 이용하기 위해서는 습지에 대한 식생자료, 수문자료 그리고 물리 화학적 자

료들이 많이 필요하다. 그러나 국내의 경우 습지에 대한 연구가 최근에 활발히 이루어지면서 습지에 대한 기존자료의 축적 특히 수문학적인 측면에서 고려할 때 습지의 평균침수심과 같은 수위자료들이나 생지화학적인 측면에서의 나뭇가지들에 대한 자료들에 대한 조사자료 등이 충분하지 못하였다. 따라서 본 연구에서는 일부 변수를 조정하여 대상습지의 자료조건에 적당한 변수를 이용하였으며 기능지수를 산정하는 수식을 재결성하여 대상습지에 대해 평가 가능한 기능지수를 계산하였다. 적당한 변수를 이용하고 일부 변수에 대해서 대체 값을 사용한 것은 현재 구할 수 없는 자료들에 대하여 기존에 축적된 자료들로 대체를 한 것이고 또한 기준 변수와 대상변수에 대해서 모두 똑같이 대체를 하였기 때문에 결과치의 신뢰수준은 긍정적인 것으로 볼 수 있다.

본 연구에서 이용한 방법은 식생측면을 중요시하여 습지 기능을 평가하는 타 방법에 비해 습지의 주요한 기능인 수문학적인 측면을 고려하여 평가한다. 이 방법은 대상습지와 수문지형학적으로 유사한 습지를 기준으로 선정하여 화포천 습지뿐만 아니라 다른 습지에도 이용가능할 것으로 판단된다. 그러나 아직 우리나라에는 기준습지로 이용할 수 있을 만큼 충분한 자료 축적이 이루어진 습지가 없기 때문에 본 연구를 토대로 향후 HGM 방법의 기능평가에 적합한 자료들을 지속적으로 축적하고 기준습지를 선정할 수 있는 계기가 되어야 할 것으로 생각된다. 국외에서는 이 방법을 기반으로 하여 많은 지역에서 지역적 특성을 고려하여 새로운 습지기능평가방법을 개발하고 있다. 미국의 경우 습지에 대한 연구가 일찍 시작되었고 그만큼 자료들이 많이 구축되어 있기 때문에 식생자료와 물리화학적 자료 및 수문자료들이 풍부하여 각각의 기능지수를 구함에 있어서 아주 세밀한 변수들을 이용하여 구할 수 있었다. 따라서 우리나라에서도 추후 꾸준한 자료구축과 연구를 통해 지역적인 특성을 고려하여 HGM 방법을 기반으로 한 보다 세밀한 변수와 수식의 개발에 대한 연구가 필요하다. 물론 연구개발을 위해서는 습지의 수문학적, 생지화학적, 생태학적 자료들에 대해 장기적이고 지속적인 조사와 자료의 축적이 필요할 것이다.

참고문헌

- 강민정(2006) 우포늪에서 수생 및 습생 관속식물의 식생 구조, 현존식생도 및 1차 생산, 석사학위논문, 경상대학교.
- 강수진(2004) 습지기능을 고려한 한국 내륙습지의 간이 평가 기법 개발 및 적용, 석사학위논문, 이화여자대학교.
- 구본학(2001) 우포늪의 서식처 기능 평가 연구: 수정 HGM (Hydrogeomorphic)기법의 적용, 논문집 - 자연과학편, 제27집, 해천대학, pp. 487-503.
- 구본학, 김귀곤(2001) RAM(일반기능평가기법)을 이용한 내륙습지 기능평가, 한국환경복원녹화기술학회지. 한국환경복원녹화기술학회, 제4권, 제3호, pp. 38-48.
- 국립환경과학원(2006) 습지보호지역 정밀조사 : 낙동강하구, 우포늪, 무제치늪.
- 김재철(2008) 토평천 유역 하천변 습지 조성에 따른 습지지속가능성 평가 및 우포늪에 미치는 수문학적 영향평가, 석사학위논문, 부경대학교.
- 양병호, 조은식, 구본학(2005) 댐 저수지 내 습지 유형 및 기능평가 연구 : 보령호를 중심으로, 한국환경복원녹화기술학회지, 한국환경복원녹화기술학회, 제8권, 제6호, pp. 80-91.
- 한국수자원공사(2009) 댐습지의 기능과 가치평가 방법의 개발 :

보령댐을 중심으로.

한성백(2006) 화포천 화포습지의 수질정화능 평가, 석사학위논문, 인제대학교.
환경부(2001) 한국의 생태계 보호지역 : 생태계보전지역, 습지보호지역.
환경부(2002) 전국내륙습지 자연환경조사 : 화포습지, 하벌습지, 2001.
환경부(2006) 2006전국내륙습지 정밀조사 : 산들늪·화포늪·장척지·금강호.
袁軍, 呂憲國 (2004) 濕地功能評價研究進展. 濕地科學(중국), Vol. 2, No. 2, pp. 153-160.
趙士洞 (2001) 新千年生態系統評估一背景, 任務和建議. 第四紀研究(중국), Vol. 21, No. 4, pp. 330-336.
崔麗娟, 張曼胤, 王義飛(2006) 濕地功能研究進展. 世界林業研究(중국), Vol. 19, No. 3, pp. 18-21.

Brinson, M.M., Rheinhardt, R.D., Hauer, F.R., Lee, L.C., Nutter, W.L., Smith, R.D., and Whigham, D. (1995) A Guidebook for Application of Hydrogeomorphic Assessments to Riverine Wetlands, US Army Corps of Engineers.
Miller, R.E. and Gunsalus, B.E. (1999) Wetland Rapid Assessment Procedure. Technical Publication REG-001, Natural Resource Management Division, Regulation Department, South Florida Water management District, West Palm Beach, Florida.
Sutula, M.A., Stein, E.D., Collins, J.N., Elizabeth Fetscher, A., and Ross Clark (2006) A practical guide for the development of a wetland assessment method: the california experience, journal of the american water resources association, American Water Resources Association, Vol. 42, Issue 1, pp. 157-175.

(접수일: 2009.8.19/심사일: 2009.10.19/심사완료일: 2009.11.10)