

HGM 적용을 통한 하도습지의 기능평가 제고 방안 연구

염정현·김태성[†]

국립환경과학원, 국립습지센터

Improvement of Functional Assessment for Riverine Wetlands using HGM Approach

Junghun Yeum·Taesung Kim[†]

National Wetlands Center, National Institute of Environmental Research

(Received : 06 October 2016, Revised: 24 October 2016, Accepted: 24 October 2016)

요약

본 연구는 유수역에 적용 시 효율성을 높일 수 있는 HGM(Hydrogeomorphic) 기능 평가 틀을 제안 하였고, 이와 더불어 유수역에 적합한 기준습지를 습지보호지역 중 유수역에 해당되는 곳에 적용함으로써 기준습지의 활용성 제고를 목적으로 하였다. 기능평가는 기존의 HGM 평가 틀을 기반으로 하였으나, 유수역의 특성을 반영하여 수문학적, 생지화학적, 식물서식처, 동물서식처 기능에 따른 총 10개 항목의 기능지수(Functional Capacity Index, FCI)를 산정하였다. 유수역에 적합한 기능평가 틀의 각 항목별 지수를 하도 습지보호지역인 2개소의 습지에 적용해 본 결과 인공호안 하도습지인 담양하천습지는 제외지내 식생 분포 면적비율, 단위면적당 식물종수, 버드나무 분포 면적비율 등의 값이 높게 분석되었고, 이들 변수 값이 반영된 양분 순환(947,668.00), 식물종풍부도 및 특징적인 식생 군집 유지(6.39), 서식처의 공간구조적 유지(11.00) 등의 기능지수 값이 상대적으로 높게 분석되었다. 자연호안 하도습지인 한반도습지는 담양하천습지에 비해 하천 규모가 크고, 생물종다양성과 관련된 변수값이 높았으며, 이와 관련된 에너지 감쇄(17,805.16), 지표하 저류(0.54), 이입된 원소와 화합물 제거(103,052.73), 잔재생체량 유지(2.31), 산포 및 연결성 유지(6.50), 저서성무척추동물의 종다양성(1.60), 척추동물의 종다양성 및 종수(2.52/ 151.50) 등에서 기능지수 값이 상대적으로 높게 분석되었다.

핵심용어 : 보호지역, 하도습지, 기준습지, HGM, 기능지수

Abstract

This study aims to suggest the framework of functional assessment on lotic area based on HGM(Hydrogeomorphic) approach targeting Wetland Protected Areas which are in the type of river channel, and to set up the fundamental data as a reference wetland. A total of 10 factors in terms of hydrology, biogeochemistry, plant habitat and animal habitat was analyzed based on the original approach of HGM and each Functional Capacity Index(FCI) of those factors was calculated. As the result of the modified FCI analysis, Damyang riverine wetland which is with artificial river bank had high values in the variables of area ratio of actual vegetation in the foreland, the number of plant per area and the area ratio of Salix spp., and those values were highly reflected on the factors of Nutrient Cycling(947,668.00), Species Richness and Maintain Characteristic Plant Communitites(6.39) and Maintain Spatial Structure of Habitat(11.00). The Hanbando wetland which is keeping the natural bank had higher values in the variables of structural scale and species diversity, and the those values were highly reflected on the factors of Energy Dissipation(17,805.16), Subsurface Storage of Water(0.54), Removal of Imported Elements and Compounds(103,052.73), Maintain Characteristic Detrital Biomass(2.31), Maintenance of Interspersion and Connectivity (6.50), Species Diversity of Benthic macro-invertebrates(1.60) and Species Diversity of Vertebrate & Species Number of Other Animals(2.52/ 151.50), compared to the Damyang Riverine Wetland.

Key words : Protected area, River channel wetland, Reference wetland, HGM, Functional capacity index

1. 서론

습지는 생물다양성이 높은 생태계로서 생물서식처 기능,

홍수조절 기능, 수질정화 기능, 여가 및 심미적 기능 등 환경적으로나 사회문화경제적으로 그 가치가 매우 높은 곳이다(Tilton *et al.*, 2001). 하지만 급격한 도시화 및 무분별한 개발은 과도한 토지이용에 따른 지형 및 수환경 변화를 야기 시키며, 습지를 심각하게 훼손시키고 있다(Davis and Froend, 1999; Chun, 2008). 이에 따른 습지의 복원

[†] To whom correspondence should be addressed.
National Wetlands Center, National Institute of Environmental Research
E-mail: kimts3@korea.kr

및 습지의 기능 회복 관련 연구가 다수 진행되었으며(Koo and Kim, 1999; Han *et al.*, 2003; Lim and Kim, 2009), 습지의 구조 및 기능 평가를 기반으로 복원 및 기능 강화 방안을 제시한 바 있다. 합리적 습지관리를 위해 습지의 현 상태를 명확히 파악하고 평가하는 것은 필수적이며(Mitsch and Gosselink, 2000), 습지의 기능 평가를 통해 습지의 건강성 또는 훼손지 복원 방향을 설정할 수 있는 기초자료 확보 차원에서도 중요하다. 미국에서 시작된 습지 기능 평가 연구는 3단계의 조사·분석 강도로 구분되고 있으며(Reiss and Brown, 2007), 가장 정밀한 평가를 요구하는 단계에서는 수리·수문, 생지화학적, 동식물서식지를 종합적으로 고려할 수 있도록 고안된 HGM(Hydrogeomorphic) (Brinson, 1993)의 평가 방식이 국내·외적으로 활발하게 이용되고 있다. HGM 평가는 물리·화학적, 생물학적 특성 평가를 중심으로 시작된 WET(Wetland Elevation Technology) (Adamus, 1983)방식과, 기준습지(Reference Wetland)와의 비교를 통해 대상 습지의 기능을 평가하는 방식 EMAP-wetlands (Novitzki, 1994) 두 가지의 평가 기법을 접목하여 보완하는 방식이다. 기준습지는 수리·수문, 지형특성을 반영하여 대상 습지의 유형을 구분한 후, 동일 유형의 습지 중 보전 상태가 양호한 자연습지를 선정하며, 기준습지에서 평가된 기능지수값을 기준으로 하여 비교 평가한다(Brinson *et al.*, 1995).

국내 HGM 연구는 Koo(2001)의 연구를 시작으로 하여 하천변 배후습지(Yin *et al.*, 2010, Jin *et al.*, 2013)에 대한 연구와 용담댐과 보령댐 등 댐습지(Shin *et al.*, 2009; Kim *et al.*, 2011, 2014)에 대한 연구가 진행되었으며, Jin *et al.*(2013)은 국내 지역 특성을 고려하여 제시된(Koo, 2009) 수정 HGM 기능 평가 틀을 적용한 바 있다.

기존의 연구는 대부분 HGM 기능 평가 틀을 적용하여 정수역인 하천변(Riverine) 배후습지 및 인공댐의 기능을 평가하고 있으며, 가치 비교를 위해 설정한 기준습지는 람사르습지이자 습지보호지역으로서 관리되고 있는 우포늪이 대부분이었다(Yin *et al.*, 2010; Jin *et al.*, 2013). 현재 우

리나라는 중요한 경관적, 지형학적 또는 생태적 가치를 지닌 하천형, 호수형, 산지형의 습지보호지역이 지정되어 있으며, 습지보전법에 의해 주기적이고 정밀한 조사가 이뤄지고 있다. 이러한 점에서 습지보호지역은 기준습지로서의 활용성이 매우 높으며, HGM 기능평가는 산림의 비율이 높아 하천이 발달한 우리나라의 지형 특성 상 유수역 습지에 대해 확장 적용될 필요성이 있다.

따라서, 본 연구는 유수역에 적용 가능한 HGM 기능 평가 틀을 제안 하였고, 하도습지 유형의 습지보호지역에 적용함으로써 향후 기준습지로서의 활용을 위한 기초자료 구축을 목적으로 하였다.

2. 연구방법

2.1 연구대상지

연구대상지는 습지보호지역 중 하도습지유형인 담양하천습지와 한반도습지 등 2개소이었다(Fig. 1). 담양하천습지는 전남 담양군과 광주광역시 북구 일원에 위치하고 있으며, 영산강 중류 하도에 입지하였다. 2004년 7월 9번째 습지보호지역으로 지정되었으며, 면적은 0.98km²이었다. 한반도습지는 강원도 영월군에 위치하며, 평창강의 중류 하도에 위치하였다. 2012년 1월 습지보호지역으로 지정되었으며, 2015년 5월 21번째 람사르습지로 지정되었다. 지정 면적은 2.77km²이었다.

2.2 조사분석방법

하도습지유형의 기능 평가 틀은 항목별 변수 선정 및 산정식 도출의 단계를 통해 설정하였다. 기존 하천변 습지에 대한 HGM 기능평가는 수문학적(Hydrologic) 분야 5개 평가항목, 생지화학적(Biogeochemical) 분야 4개 평가항목, 식물서식지(Plant Habitat) 분야 2개 평가항목, 동물서식지(Animal Habitat) 분야 4개 평가항목 등 총 4개 분야 15개 평가항목으로 평가 되며(Brinson *et al.*, 1995), 본 연구에

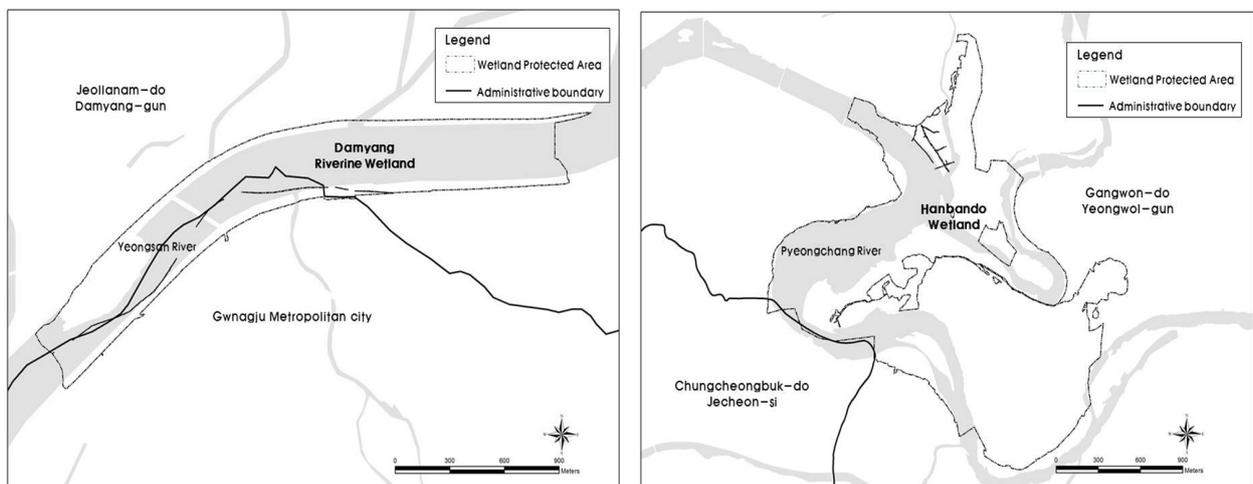


Fig. 1. The location map of the survey sites

Table 1. Application Functions to River Channel Wetlands

Division	Functional Assessment Factor of HGM	Application to river channel wetlands
Hydrologic	Dynamic Surface Water Storage	disuse
	Long-Term Surface Water Storage	disuse
	Energy Dissipation	Use
	Subsurface Storage of Water	Integration
	Moderation of Groundwater Flow or Discharge	
Bio-geochemical	Nutrient Cycling	Use
	Removal of Imported Elements and Compounds	Use
	Retention of Particulates	disuse
	Organic Carbon Export	disuse
Plant Habitat	Maintain Characteristic Plant Communities	Use
	Maintain Characteristic Detrital Biomass	Use
Animal Habitat	Maintain Spatial Structure of Habitat	Use
	Maintain Interspersion and Connectivity	Use
	Maintain Distribution and Abundance of Invertebrates	Use
	Maintain Distribution and Abundance of Vertebrates	Use

서는 유수역인 하도 습지의 특성 상 장기 및 단기 지표수 저류 2개의 항목, 미립자의 보유, 유기탄소 이출 항목은 평가에서 제외하였고, 지표하 저류 및 적정 지하수 항목은 통합하여 기능 분석하였다. 최종 분석된 기능평가 항목은 Table 1과 같으며, 총 4개 분야 총 10개의 평가항목에 대한 기능지수(Functional Capacity Index, FCI)를 산정하였다(Table 1).

기능 평가를 위해 활용한 자료는 신뢰성 및 지속적인 자료 확보의 용이성 등을 고려하였으며, 정량적 평가를 원칙으로 하여 습지보호지역 정밀조사(2009년, 2014년), 국가수자원관리종합정보시스템(Water Resources Management Information System, WAMIS), 국가지하수정보센터(National Groundwater Information Management and Service Center, GIMS) 등의 자료를 활용하였다. WAMIS와 GIMS 자료는 대상지 인접 측정소의 측정값을 이용하였다.

산정식의 설정은 기존의 HGM에서 제시하고 있는 산정식(Brinson *et al.*, 1995)을 기반으로 하였으나, 중구성 및 풍부성에 대한 자료를 기반으로 산정하는 동물의 분포 및 풍부성 유지에 적용한 종다양도 및 종수를 제외한 항목에서는 조도계수 등 유수의 특성에 적합한 변수 및 계수, 정량적 자료 확보가 가능한 변수를 우선하여 적용하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 HGM을 적용한 하도습지 기능 평가 틀 설정

3.1.1 기능평가 항목별 변수 선정

유수역의 특성 반영 및 정량적 자료 확보 용이성을 고려한 항목별 변수를 Table 2와 같이 선정하였고, 이와 더불어 2개의 하도습지유형에 적용한 결과를 도출하였다. 수문학적 평가항목(A)인 에너지 감쇄는 생태적 관점에서 홍수기

수위가 급증하는 시기에 지류의 유속을 저감시켜, 하류에서 본류로 지류의 유량이 집중되는 것을 방지 할 수 있어 유수역의 기능으로 평가하였고, 일부 홍수소통 능력을 저하시켜 홍수위 상승이나 수압 증가를 가져 올 수 있으나(Ann *et al.*, 2014), Darby와 Thorne(1996) 등은 실험을 통해 식생의 흐름저항이 홍수위 상승에 미치는 영향은 상당히 적다는 것을 강조한 바 있다. 적용한 변수는 10년간(2000~ 2009년) 홍수기(6~9월)의 데이터를 분석하여 집중강우로 인해 수위가 급격히 증가한 횟수(V_{FREQ}), 홍수기의 5년간(2011~2015년) 월평균 유량(V_{DISC}), 교·야고목(V_{TREE}), 관목(V_{SHRUB}), 초본(V_{HERB})의 면적, 제외지(V_{FOAREA}) 중 평상시의 개방수면($V_{OPENWATAREA}$)을 제외한 침수지 면적 등을 분석하였다. 담양하천습지의 변수값은 V_{FREQ} (연간 6.7회), V_{DISC} (407 m^3/s), V_{FOAREA} (1,111,544 m^2), $V_{OPENWATAREA}$ (163,876 m^2), V_{VEG} (교목층 40,007 m^2 , 관목층 72,563 m^2 , 초본층 835,098 m^2) 등이었고, 한반도습지의 변수값은 V_{FREQ} (연간 6.1회), V_{DISC} (2,271 m^3/s), V_{FOAREA} (1,134,297 m^2), $V_{OPENWATAREA}$ (495,125 m^2), V_{VEG} (교목층 177,504 m^2 , 관목층 24,099 m^2 , 초본층 283,016 m^2) 등이었다. 지표하의 저류량 항목 관련 변수는 토양 내 저류할 수 있는 능력을 고려한 토양입도(V_{PORE}), 충적토의 특성 상 지하수로 유입되는 것을 고려한 최고 및 최저 지하수위의 차이($V_{UNDERWATDIF}$)등을 설정하였다. 담양하천습지의 변수값은 V_{PORE} (0.60mm), $V_{UNDERWATDIF}$ (Max.:6.38(DTW,m), Min.:5.97(DTW,m)) 등이었고, 한반도습지의 변수값은 V_{PORE} (0.48mm), $V_{UNDERWATDIF}$ (Max.:6.80(DTW,m), Min.:6.21(DTW,m)) 등이었다.

생지화학적 평가항목(B)인 양분순환 기능은 지상부 순 1차 생산량과 연간 유기 분해물의 전이 등을 고려하게 되어 있으나, 균근류의 조사 및 균락별 토양조사는 한계가 있어 지상부 생산자의 분포면적(V_{VEG})을 변수값으로 선정하였다. 담양하천습지의 변수값은 V_{VEG} (교목층 40,007 m^2 , 관목층 72,563 m^2 ,

Table 2. Data Framework and Results according to the Modified Functional Assessment Factor

Division	Functional Assessment Factor of HGM	Data	Data Contents	Damyang Riverine Wetland	Hanbando Wetland
Hydrologic (A)	■ Energy Dissipation	**	■ V _{FREQ} : Water level(year 2000~2009) of Flood Season(Jun.~Sept.)	6.7times/year	6.1times/year
		**	■ V _{DISC} : Monthly average discharge(year 2011~2015) of Flood Season(Jun.~Sept.)	407(m ³ /s)	2,271(m ³ /s)
	*	■ V _{VEG} : Area ratio of actual vegetation(tree, shrub and herb layers)	tree: 40,007m ² (3.60%), shrub: 72,563m ² (6.53%), herb: 835,098m ² (75.13%)	177,504m ² (8.52%), 24,099m ² (1.15%), 283,016m ² (13.58%)	
	*	■ V _{FOAREA} : Area ratio of foreland	1,111,544m ² (100%)	1,134,297m ² (54.43%)	
	*	■ V _{OPENWATAREA} : Area ratio of openwater in foreland	163,876m ² (14.74%)	495,125m ² (23.76%)	
	*	■ V _{PORE} : Average particle size of soil	0.60mm	0.48mm	
Bio-geochemical (B)	■ Subsurface Storage of Water	***	■ V _{UNDERWATDIF} : Groundwater observation(2015.1.~12.)	Max.:6.38(DTW.m) Min.:5.97(DTW.m)	Max.:6.80(DTW.m) Min.:6.21(DTW.m)
		*	■ V _{VEG} : Area ratio of actual vegetation(tree, shrub and herb layers)	tree: 40,007m ² (3.60%), shrub: 72,563m ² (6.53%), herb: 835,098m ² (75.13%)	177,504m ² (8.52%), 24,099m ² (1.15%), 283,016m ² (13.58%)
	**	■ V _{FREQ} : Water level(year 2000~2009) of Flood Season(Jun.~Sept.)	6.7times/year	6.1times/year	
	**	■ V _{DISC} : Monthly average discharge(year 2011~2015) of Flood Season(Jun.~Sept.)	407(m ³ /s)	2,271(m ³ /s)	
	*	■ V _{WOOD} : Area ratio of woody plant	112,570m ² (10.13%)	201,603(9.67%)	
	*	■ V _{PORE} : Average particle size of soil	0.60mm	0.48mm	
Plant Habitat (C)	■ Removal of Imported Elements and Compound	*	■ V _{FOAREA} : Area ratio of foreland	1,111,544m ² (100%)	1,134,297m ² (54.43%)
		*	■ V _{OPENWATAREA} : Area ratio of openwater	163,876m ² (14.74%)	495,125m ² (23.76%)
	*	■ V _{RICH} : Species richness(total number of species / Unit area(m ²))	378species(0.000385)	469species(0.000169)	
	*	■ V _{AREA} : Area ratio of study area	99,240m ² (8.93%)	173,301m ² (8.32%)	
	*	■ V _{SALIX} : Distributed areas of Salix spp. community	1.53%(year 2009)	2.31%(year 2014)	
	*	■ V _{ORGAMAT} : Proportion(%) of Organic Matter	20types	15types	
Animal Habitat (D)	■ Maintenance of Spatial Structure of Habitat	*	■ V _{TYPE} : Number of actual vegetation types	2layers	3layers
		*	■ V _{STRATA} : Formation number of vegetation layers	6.7times/year	6.1times/year
	**	■ V _{FREQ} : Water level(year 2000~2009) of Flood Season(Jun.~Sept.)	5order(stream)	7order(stream)	
	**	■ V _{SURFOON} : Stream order of mid-watershed	1.555	1.600	
	*	■ V _{AQINVT} : Diversity index of benthic macroinvertebrates	1.069	1.805	
	*	■ V _{HERP} : Diversity index of herptile	2.124	2.496	
Animal Habitat (D)	■ Species Diversity of Vertebrate(Benthic macro-invertebrates)	*	■ V _{FISH} : Diversity index of fish	3.010	3.260
		*	■ V _{BIRD} : Diversity index of bird	268species	288species
	■ Species Diversity of Vertebrate(Herptile, Fish and Bird) & Species Number of Other Animals(Insect and Mammal)	*	■ V _{INSECT} : Species number of insect	11species	15species
		*	■ V _{MAMM} : Species number of mammal		

*: Detailed Survey of Wetland Protected Areas, **: WAMIS Data, ***: GIMS Data

초본층 835,098m²) 등이었고, 한반도습지의 변수값은 V_{VEG} (교목층 177,504m², 관목층 24,099m², 초본층 283,016m²) 등이었다. 이입된 원소와 화합물 제거와 관련한 변수는 홍수기 수위 급증 횟수(V_{FREQ}) 및 월평균 유량(V_{DISC}), 유기물 및 영양염류를 흡착하는 능력을 고려한 토양입도(V_{PORE}), 지속적인 수질정화 기능을 갖는 목본의 면적(V_{WOOD}), 제외지(V_{FOAREA}) 중 수위 급증 시 개방수면($V_{OPENWATAREA}$)을 제외하고 침수되는 지역에 대한 면적 등이었다. 토양입도의 경우, 입도가 작을수록 유기물 및 영양염류의 흡착능력이 뛰어난 것(Brinson *et al.*, 1995)을 고려하였다. 담양하천습지의 변수값은 변수값은 V_{FREQ} (연간 6.7회), V_{DISC} (407 m³/s), V_{WOOD} (112,570m²), V_{PORE} (0.60mm), V_{FOAREA} (1,111,544m²), $V_{OPENWATAREA}$ (163,876m²) 등이었고, 한반도습지의 변수값은 V_{FREQ} (연간 6.1회), V_{DISC} (2,271 m³/s), V_{WOOD} (201,603m²), V_{PORE} (0.48mm), V_{FOAREA} (1,134,297m²), $V_{OPENWATAREA}$ (495,125m²) 등이었다.

식물서식처 관련 기능평가 항목(C)은 식물종풍부도 및 특징적인 식생의 유지와 특징적인 잔재 생체량의 유지 등이었다. 식물종풍부도 및 특징적인 식생의 유지 평가에 이용한 변수는 식물종수를 기반으로 한 단위면적 당 종풍부도(V_{RICH})와 대표적인 하도습지 목본식생인 버드나무류의 분포 면적비율(V_{SALIX})을 설정하였다. 담양하천습지의 변수값은 V_{RICH} (378종, 0.000385/m²), V_{SALIX} (8.93%) 등이었고, 한반도습지의 변수값은 V_{RICH} (469종, 0.000169/m²), V_{SALIX} (8.32%) 등이었다. 식물의 영양분 제공 및 서식처 다양성을 제공하는 잔재 생체량의 기능평가를 위한 변수는 실측된 자료의 확보가 불가능하여 사체가 분해되어 형성된 토양의 유기물함량($V_{ORGANIC}$)을 분석하였다. 담양하천습지의 변수값 $V_{ORGAMAT}$ 은 1.53%이었고, 한반도습지의 변수값 $V_{ORGAMAT}$ 은 2.31%이었다.

동물서식처 관련 기능평가 항목(D)는 서식처의 공간구조적 유지, 산포 및 연결성 유지, 저서성무척추동물의 종다양성, 분류군에 따른 척추동물의 종다양성 및 종수 등이었다. 서식처의 공간구조적 유지 항목의 변수는 현존식생 유형의 개수(V_{TYPE}) 및 식생 층위 개수(V_{STRATA}) 등이었고, 담양하천습지의 변수값은 V_{TYPE} (20개), V_{STRATA} (2개) 등이었고, 한반도습지의 변수값은 V_{TYPE} (15개), V_{STRATA} (3개) 등이었다. 연결성 유지 관련 변수는 홍수기 집중강우로 인해 유수의 양이 급증하는 횟수(V_{FREQ}) 및 하천의 연계 규모를 예측할 수 있는 WAMIS 중유역권내 차수($V_{SURFCON}$) 등이었다. 담양하천습지의 변수값은 V_{FREQ} (연간 6.7회), $V_{SURFCON}$ (5차 수계) 등이었고, 한반도습지의 변수값은 V_{FREQ} (연간 6.1회), $V_{SURFCON}$ (7차 수계) 등이었다. 저서성무척추동물의 종다양도(V_{AQINVT}) 및 양서파충류(V_{HERP}), 어류(V_{FISH}), 조류(V_{BIRD}) 등 척추동물의 종다양도를 파악하였고, 조사특성 상 개체수 조사가 되지 않는 곤충 및 포유류의 경우 종수를 이용하였다. 담양하천습지의 변수값은 저서성무척추동물의 종다양도지수(V_{AQINVT}) 1.555, 양서파충류 종다양도지수(V_{HERP}) 1.069, 어류 종다양도지수(V_{FISH}) 2.124, 야생조류 종다양도지수(V_{BIRD}) 3.010, 곤충 출현종수(V_{INSECT}) 268종, 포유류 출현종수(V_{MAMM}) 11종 등이었고, 한반도습지의 변수값은

저서성무척추동물의 종다양도지수(V_{AQINVT}) 1.600, 양서파충류 종다양도지수(V_{HERP}) 1.805, 어류 종다양도지수(V_{FISH}) 2.496, 야생조류 종다양도지수(V_{BIRD}) 3.260, 곤충 출현종수(V_{INSECT}) 288종, 포유류 출현종수(V_{MAMM}) 15종 등이었다.

Koo *et al.*(2011)은 대체습지의 생태 성능 기준 개발을 위한 연구에서 기존의 국가습지목록(Koo, 2008)중 RAM(Rapid Assessment Method)평가를 통해 자연성이 우수하다고 인정된 10개소의 자연습지에 대한 생태환경 기초조사를 시행한 바 있으며, 그 중 하도습지에 관한 3개소의 경우 식물종수(67~109종) 및 동물종수(70~85종)가 조사된 바 있다. 기존의 연구결과와의 정량적 비교는 제한적이었으나, 상대적으로 하도유형 습지보호지역의 동·식물생태계가 양호한 것으로 판단되며, 정수역의 기준습지로서 가장 많이 비교되고 있는 우포늪의 2011년 습지보호지역 정밀조사 결과와 비교하면, 분류군별 생물종다양성이 상대적으로 유사하거나 다소 높은 것으로 분석되었다.

3.1.2 기능평가 항목별 산정식 설정

수문학적(A) 분야 2개 항목, 생지화학적(B) 분야 3개 항목, 식물서식처(C) 분야 1개 항목, 동물서식처(D) 분야 5개 항목 등 총 10개의 평가항목에 대한 기능지수는 Table 3의 산출식을 적용하여 도출하였다. 기존의 HGM 기능지수 평가 산정식을 기반으로 하였으나 대상지가 유수역의 하도라는 특징을 반영하여 수정보완 하였다.

에너지 감쇄 평가에서는 습지의 수위가 급증 하는 횟수와 유량과 유수의 흐름에 대한 조도계수를 고려하였으며, 조도계수는 Lee *et al.*(2012)이 분석한 하상 및 식생 유형별 Manning 조도계수 통계값을 적용하였다. 적용 조도계수는 교·아교목층 0.047, 관목층 0.058, 초본층 0.046 등이었고, 수위 상승시 침수되는 면적을 고려하여 제외지 내 개방수면을 제외한 면적에 모래에 대한 조도계수 0.036을 곱하여 산출하였다. 지표하 저류값은 토양입도와 최고 및 최저 지하수위 차의 평균값으로 산정하였다. 양분순환 기능은 지상부 생산자(교·아교목층, 관목층, 초본층)의 면적비율을 합산하였고, 이입된 원소와 화합물 제거는 수위가 급증 하는 횟수와 유량 및 지속적인 수질정화 기능을 갖는 목본의 면적비율, 제외지 내 개방수면을 제외한 면적비율 등을 고려하여 산정하였으며, 토양입자가 작을수록 유기물 및 영양염류의 흡착이 양호한 것을 고려하였다. 식물종풍부도 및 특징적인 식생의 유지와 관련 하여 단위면적당 종풍부도를 산정하였으며, 버드나무류의 분포비율에 대한 수치보정(Ardron *et al.*, 2010)을 실시하였다. 잔재 생체량은 사체가 분해되어 형성된 토양의 유기물함량(%)을 활용하였다. 동물서식처의 기능평가 항목 중 서식처의 공간구조적 유지는 현존식생 유형의 개수 및 식생 층위 개수의 평균값을 산출하였고, 산포 및 연결성 유지 항목에 대해서는 홍수기 유수의 급증 횟수 및 중유역권내 차수의 평균값을 도출하였다. 동물 분류군별 종다양도 및 종수와 관련한 산정식은 모두 평균값을 활용하였다.

Table 3. Formula of Functional Capacity Index according to the Functional Assessment Factor

Division	Functional Assessment Factor	Formula
Hydrologic (A)	■ Energy Dissipation	$FCI = \frac{[(V_{FREQ} \times V_{DISC}) \times \{(V_{TREE} \times 0.047 + V_{SHRUB} \times 0.058 + V_{HERB} \times 0.046) + (V_{AREA} - V_{OPENWATAREA}) \times 0.036\} / 2]^{1/2}}$
	■ Subsurface Storage of Water	$FCI = (V_{PORE} + V_{UNDERWATDIF}) / 2$
Bio-geochemical (B)	■ Nutrient Cycling	$FCI = V_{TREE} + V_{SHRUB} + V_{HERB}$
	■ Removal of Imported Elements and Compound	$FCI = \frac{[(V_{FREQ} \times V_{DISC}) \times \{V_{WOOD} + (V_{AREA} - V_{OPENWATAREA}) / V_{PORE}\} / 2]^{1/2}}$
Plant Habitat (C)	■ Species Richness & Maintain Characteristic Plant Communities	$FCI = \frac{[(V_{RICH} / V_{AREA}) \times 10,000] + V_{SALIX}}{2}$
	■ Maintain Characteristic Detrital Biomass	$FCI = V_{ORGAMAT}(\text{Proportion}(\%) \text{ of Organic Matter})$
Animal Habitat (D)	■ Maintenance of Spatial Structure of Habitat	$FCI = (V_{TYPE} + V_{STRATA}) / 2$
	■ Maintenance of Interspersion and Connectivity	$FCI = (V_{FREQ} + V_{SURFCON}) / 2$
	■ Species Diversity of Invertebrate(Benthic macro-invertebrates)	$FCI = \text{Diversity index of } V_{AQINVT}$
	■ Species Diversity of Vertebrate(Herptile, Fish and Bird) & Species Number of Other Animals (Insect and Mammal)	$FCI = (V_{HERP} + V_{FISH} + V_{BIRD}) / 3$ $FCI = (Num. \text{ of } V_{INSECT} + V_{MAMM}) / 2$

Table 4. Results of Functional Capacity Index according to the Assessment Factor

Division	Functional Assessment Factor of HGM	Damyang riverine wetland	Hanbando wetland
Hydrologic (A)	■ Energy Dissipation	10,353.44	17,805.16
	■ Subsurface Storage of Water	0.51	0.54
Bio-geochemical (B)	■ Nutrient Cycling	947,668.00	484,619.00
	■ Removal of Imported Elements and Compound	48,031.03	103,052.73
PlantHabitat (C)	■ Species Richness & Maintain Characteristic Plant Communities	6.39	5.01
	■ Maintain Characteristic Detrital Biomass	1.53	2.31
Animal Habitat (D)	■ Maintenance of Spatial Structure of Habitat	11.00	9.00
	■ Maintenance of Interspersion and Connectivity	5.85	6.50
	■ Species Diversity of Invertebrate(Benthic macro-invertebrates)	1.56	1.60
	■ Species Diversity of Vertebrate(Herptile, Fish, Bird)/ Species Number of Other Animals(Insect and Mammal)	2.07/ 139.50	2.52/ 151.50

3.2 HGM을 적용한 하도습지 기능 평가 틀 적용

재설정된 HGM 하도습지 기능 평가 틀을 적용한 각 항목별 기능지수는 Table 4와 같이 산출되었다. 담양하천습지의 수문학적(A) 기능을 평가하는 에너지 감쇄 항목의 기능지수는 10,353.44이었고, 지표하 저류 항목에 대한 기능지수는 0.51이었다. 생지화학적(B) 기능과 관련한 양분 순환 항목의 기능지수는 947,668.00이었고, 이입된 원소와 화합물 제거에 대한 기능지수는 48,031.03이었다. 식물서식처(C) 기능과 관련한 식물종풍부도 및 특징적인 식생의 유지 항목의 기능지수는 6.39이었고, 잔재 생체량의 기능지수는 1.53이었다. 동물서식처(D) 기능과 관련한 서식처의 공간구조적 유지 항목의 기능지수는 11.00이었고, 산포 및 연결성 유지 항목의 기능지수는 5.85이었다. 생물종다양성과 관련한 저서성무척추동물의 종다양성지수는 1.56이었고, 분류군에 따른 척추동물의 종다양성지수 및 종수는 각각 2.07과 139.50이었다.

한반도습지의 수문학적(A) 기능을 평가하는 에너지 감쇄 항목의 기능지수는 17,805.16이었고, 지표하 저류 항목의

기능지수는 0.54이었다. 생지화학적(B) 기능과 관련한 양분 순환 항목의 기능지수는 484,619.00이었고, 이입된 원소와 화합물 제거에 대한 기능지수는 103,052.73이었다. 식물서식처(C) 기능과 관련한 식물종풍부도 및 특징적인 식생의 유지 항목의 기능지수가 5.01이었고, 잔재 생체량의 기능지수는 2.31이었다. 동물서식처(D) 기능과 관련한 서식처의 공간구조적 유지 항목의 기능지수는 9.00이었고, 산포 및 연결성 유지 항목의 기능지수는 6.50이었다. 생물종다양성과 관련한 저서성무척추동물의 종다양성지수는 1.60이었고, 분류군에 따른 척추동물의 종다양성지수 및 종수는 각각 2.52과 151.50이었다.

각 항목별 지수산정 결과, 인공호안 하도습지인 담양하천습지의 기능지수는 인공호안 하도습지인 담양하천습지는 제외지내 식생 분포 면적비율, 단위면적당 식물종수, 버드나무 분포 면적비율 등의 값이 높게 분석되었고, 이들 변수 값이 반영된 양분 순환, 식물종풍부도 및 특징적인 식생 군집 유지, 서식처의 공간구조적 유지 등의 기능지수 값이 상대적으로 높게 분석되었다. 자연호안 하도습지인 한반도습

지는 담양하천습지에 비해 하천 규모가 크고, 생물종다양성과 관련된 변수값이 높았으며, 이와 관련된 에너지 감쇄, 지표하 저류, 이입된 원소와 화합물 제거, 잔재생체량 유지, 산포 및 연결성 유지, 저서성무척추동물의 종다양성, 척추동물의 종다양성 및 중수 등에서 기능지수 값이 상대적으로 높게 분석되었다.

4. 결 론

본 연구는 습지보호지역 중 유수역의 하도습지 유형인 담양하천습지 및 한반도습지를 대상으로 하여 적용 가능한 HGM 기능 평가 틀을 제안하였으며, 하도습지 유형에 대한 습지기능 비교 시 기준습지로서의 활용성을 제고하고자 하였다. 연구 결과, 제안된 자료구축 및 평가 틀을 적용하여 수문학적, 생지화학적, 식물서식처, 동물서식처 등 4개 분야 10개 항목에 대한 기능지수가 각각 도출되었다. 각 도출된 기능지수는 본 연구의 목적과 부합하여 하도습지 유형 기능평가 시 비교 가능한 기준습지의 기초자료로서 의미가 있을 것으로 판단된다. 본 연구의 한계로서 기존의 HGM 평가가 정수역 배후습지의 기능평가를 목적으로 하였기에 생물다양성 측면에서 도출된 항목 외 항목들에 대한 직접적 비교에는 한계가 있었고, 변수선정 시 주기적 조사 및 신뢰도가 높은 정략적 자료의 확보를 우선적으로 하였기 때문에 변수선택에 제한이 있었다. 향후 하도에 입지한 습지의 보전 및 복원 등 관리를 위한 기능평가 연구가 필요 할 것으로 판단되며, 본 연구가 하도습지 유형의 기능평가 틀을 제시한 것에 의의는 있으나 지속적인 하도 습지 연구결과를 바탕으로 변수 및 산정식의 개선 연구도 후속되어야 할 것으로 판단된다.

References

- Adamus, PR (1983). FHWA Assessment method, v.2 of Method for wetland functional assessment, *U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration*, Washington D.C., Report no. FHWA-IP-82-24, pp. 134.
- Ann, BY, Kim, TM, Hong, SJ, Kim, GH, Kim, SJ, Kim, JG and Kim, HS (2014). Study on River Management Plan Considering Ecological Preservation and Flood Control of Riverine Wetland, *J. of Wetlands Research*, 16(4), pp. 463-476. [Korean Literature]
- Ardron, JA, Possingham, HP and Klein, CJ (2010). Marxan Good Practices Handbook, Version 2, *Pacific Marine Analysis and Research Association*, Victoria, BC, Canada, pp. 165.
- Brinson, MM (1993). Hydrogeomorphic classification for wetlands, *U.S. Army Corps of Engineers*, Washington D.C., Wetlands Research Program Technical Report WRP-DE-4, pp. 79.
- Brison, MM, Rheinhardt RD, Hauer, FR, Lee, LC, Nutter, WL, Smith, RD and Whigham, D (1995). A guidebook for application of hydrogeomorphic assessments to riverine wetlands, *EAST CAROLINA UNIV GREENVILLE NC*, No. WRP-DE-11.
- Chun, SH (2008). Distributional Patterns and the Evaluation of Hydrophytic Plants of Urban Wetlands in Seongnam City, Gyunggi-do Province, Korea, *Kor. J. Env. Eco.*, 22(2), pp. 159-172. [Korean Literature]
- Darby, SE, Thorne, CR (1996). Development and testing of riverbank-stability analysis, *J. of hydraulic engineering*, 122(8), pp. 443-454.
- Davis, JA and Froend, R (1999). Loss and degradation of wetlands in southwestern Australia: underlying causes, consequences and solutions, *Wetlands Ecology and Management*, 7, pp. 13-23.
- Han, BH, Kim, JH and Hong, SH (2003). The Monitoring and Ecological Restoration Concept of Ecosystem Conservation Area in Dunchon, *Kor. J. Env. Eco.*, 17(3), pp. 242-257. [Korean Literature]
- Jin, YH, Li, L, Moon, SK and Koo, BH (2013). Functional assessment of Jilnalnup wetland by HGM, *J. of the Korean Society of Environmental Restoration and Technology*, 16(2), pp. 13-22. [Korean Literature]
- Kim, DG, Kim, HS, Kim, JG and Yoo, BK (2014). Study on Assessment of Function and Value of Yongdam Dam-wetland, *J. of Water Policy & Economy*, 23, pp. 69-85. [Korean Literature]
- Kim, DG, Shin, HK, Kim, JG, Kim, HS, Yoo, BK, Ahn, KS and Jang, SW (2011). Functional Assessment of Yongdam Dam-watershed by HGM, *J. of wetlands research*, 13(3), pp. 665-675. [Korean Literature]
- Koo, BH (2001). A Study on the Functional Evaluation for the Upo Wetland Habitats, Hyecheon College, 27, pp. 495-512. [Korean Literature]
- Koo, BH (2008). Korean Wetland Type Classification System, *UNDP/GEF, Ministry of Environment, Wetland Promotion Agency*, Korea. [Korean Literature]
- Koo, BH (2009). Wetland Ecology. Ela, Korea. [Korean Literature]
- Koo, BH and Kim, KG (1999). Constructing the functional models of wetland biotopes, *J. of Korean Environment Restoration and Revegetation Technology*, 2(2), pp. 1-8. [Korean Literature]
- Koo, BH, Jeong, JY and Park, MO (2011). Developing the Ecological Performance Standard for Replaced Wetlands by Analyzing Reference Wetlands, *J. Korean Env. Res. Tech*, 14(1), pp. 11-22. [Korean Literature]
- Lee, JS, Oh, GE, Park, YJ and Jung, JH (2012). Determination of Relationships for Manning Roughness Coefficient Using Hydraulic Engineering Field, *Korean society of hazard*

- mitigation*, 12(1), pp. 167–177. [Korean Literature]
- Lim, YR and Kim, KG (2009). Wetland restoration site selection for promoting biodiversity in abandoned rice paddy fields – Focusing on Gounpo Ban-wol stream watershed, *J. of the Kroean Society of Environmental Restoration Technology*, 12(1), pp. 52–66. [Korean Literature]
- Mitsch, WJ and Gosselink, JG (2000). Wetlands, third edition, *John Wiley and Sons*, New York, USA.
- Novitzki, R (1994). EMAP–Wetlands–A program for assessing wetland condition, in Mitsch WJ, ed., *Global wetland–old world and new*, New York, *Elsevier Science Publishers*, pp. 694–709.
- Reiss, KC and Brown, MT (2005). Pilot study–the Florida palustrine wetlands: application of USEPA level 1, 2, and 3 assessment methods, *Ecohealth*, 4(2), pp. 206–218.
- Shin, HK, Kim, DG, Kim JG, Kim HS, Ahn JH, Yoo, BK, Ahn, KS and Park, D (2009). Study on assessment of value and functions of Dam–wetland (1) –Assessment of functions by HGM: Focusing on Boryung dam–, *J. of wetlands research*, 11(3), pp. 115–132. [Korean Literature]
- Tilton, DL, Shaw, K, Ballard, B and Thomas, W (2001). A wetland protection plan for the lower one subwatershed of the Rouge river, *Aquatic Botany*, 28, pp. 227–242.
- Yin, SH, Kim, DG, Kim, HS and Kwak, JW (2010). Assessment of Hwapo riverine wetland function using hydrogeomorphic approach, *J. of the Korean Society of Civil Engineers B*, 30(1B), pp. 53–60. [Korean Literature]