

공간분석 및 현장조사 평가 기법을 활용한 4대강 강변저류지 조성 후보지 선정

정광석 · 신해수¹ · 정주철² · 김익재³ · 최종윤 · 정인철¹ · 주기재*

(부산대학교 자연과학대학 생명과학과, ¹부산대학교 사범대학 지리교육과,
²부산대학교 공과대학 도시공학과, ³한국환경정책·평가연구원 물순환연구실)

Determining the Locations of Washland Candidates in the Four Major River Basins Using Spatial Analysis and Site Evaluation. Jeong, Kwang-Seuk, Hae-Su Shin¹, Ju-Chul Jung², Ik-Jae Kim³, Jong-Yun Choi, In-Chul Jung¹ and Gea-Jae Joo* (Department of Biological Sciences, Pusan National University; ¹Department of Geography Education, Pusan National University; ²Department of Urban Engineering, Pusan National University; ³Division of Water and Environment, Korea Environment Institute)

In this study, a comprehensive exploration and evaluation of washland candidate locations by means of field monitoring as well as spatial analysis in six major river system (Han, Nakdong, Nam, Geum, Youngsan, and Seomjin Rivers). Washland (in other words, river detention basin) is an artificial wetland system which is connected to streams or rivers likely to riverine wetlands. Major purpose of washland creation is to control floodings, water supply and purification, providence of eco-cultural space to human and natural populations. Characteristics and functions of riverine wetlands can be expected as well, thus it is believed to be an efficient multi-purpose water body that is artificially created, in terms of hydrology and ecology. Geographical information and field monitoring results for the washland candidate locations were evaluated in 2009, with respect to optimal location exploration, ecosystem connectivity and educational-cultural circumstances. A total of 269 km² washland candidate locations were found from spatial analysis (main channel of Rivers South Han, 71.5; Nakdong 54.1; Nam, 2.3; Geum, 79.0; Youngsan 46.4; Seomjin 15.7), and they tended to be distributed in mid- to lower part of the rivers to which tributaries are confluent. Field monitoring at 106 sites revealed that some sites located in the Rivers Nam and Geum is appropriate for restoration or artificial creation as riverine wetlands. Several sites in the Nakdong and Seomjin Rivers were close to riverine wetlands (e.g., Upo), habitats of endangered species (e.g., otters), or adjacent to educational facility (e.g., museums) or cultural heritages (e.g., temples). Those sites can be utilized in hydrological, ecological, educational, and cultural ways when evidence of detailed hydrological evaluation is provided. In conclusion, determination of washland locations in the major river basins has to consider habitat expansion as well as hydrological function (i.e. flood control) basically, and further utility (e.g. educational function) will increase the values of washland establishment.

Key words : washland, riverine wetlands, spatial analysis, South Han River, Nakdong River, Geum River, Youngsan River, Seomjin River

* Corresponding author: Tel: 051) 510-2258, Fax: 051) 583-0172, E-mail: gjjoo@pusan.ac.kr

서론

습지는 육상생태계와 수변 및 수생태계의 중간에 위치한 전이지대로 매우 중요한 서식처로 인식되고 있다. 전 세계에서 습지가 차지하는 면적은 약 7~8백만 km² 정도로 추정되며 (Mitsch *et al.*, 1994), 습지의 특성상 정확한 경계선을 구분하기 힘들지만 전 세계적으로 육지 면적의 6% 정도가 습지라고 추산된다 (Maltby and Turner, 1983). 또한 습지는 지구상에서 가장 생산성이 높은 생태계 중의 하나로 손꼽히며 (연평균 1차생산자 생산량: 약 1,000 g C m⁻² yr⁻¹), 높은 생물종 다양성과 집수역 및 미소생태계 내의 여러 환경양상과 복잡한 상호관계 측면에서 중요성이 높다 (Joo and Ward, 1991; Joo and Francko, 1995). 특히 미소생태계는 새와 야생동물 뿐만 아니라 수체 안팎에 서식하는 다양한 생물 분류군에게 풍부한 먹이원과 자원, 서식공간 등을 제공한다 (Mitsch and Gosselink, 2000b). 전세계적으로 습지의 중요성, 분포 및 위치별 특징, 서식 생물의 다양성과 환경과의 관계 등에 대해서 밝혀졌으며, 다양한 관점에서 습지의 관리 전략 수립이 필요하다고 주장되었다.

이러한 습지의 중요성에도 불구하고 세계적으로 많은 습지생태계가 훼손 혹은 소멸되었다. Davies *et al.* (2000)은 지난 50여년 동안 전 세계적으로 많은 강과 습지생태계가 심각하게 훼손되었다고 보고하였다. Dugan (1994)은 인구성장에 따른 도시화 가속, 비체계적인 토지개발 계획이 습지 자원의 소실을 야기한다고 하였으며, Mitsch *et al.* (1994)에 따르면, 습지 소실은 서식처 감소, 단편화 (fragmentation) 및 소멸, 생물종다양성 감소로 직결되기 때문에 상당한 주의와 노력을 기울여야 한다. 따라서 전 세계적으로 소실된 습지의 복원과 잔존하고 있는 습지의 효율적인 보전 방안을 강구하기 위한 노력이 집중되고 있으며, 특히 산간 내륙습지에 비해 강 배후습지는 도시화 및 농경지 생성 등에 의해 영향을 받기 쉬우므로, 하천생태계의 복원 과정 등에서 배후 습지생태계에 대한 이해가 절실히 요구된다.

강 배후습지는 하천 본류 혹은 지류 주변에 위치한 습지를 의미하며, 수자원 관리뿐만 아니라 집수역 생태계의 구조와 기능을 유지하는 데에 매우 중요한 역할을 수행한다. 우리나라의 배후습지는 물이 풍부하고 평탄한 하천 연변에 발달하지만, 1960년대 미국중산정책 등에 의하여 농경지로 개간되거나 하천개수 (river channelization)로 사라져갔다 (김, 1969; 이, 1997). 즉, 낙동강을 포함한 내륙 수계의 담수습지에 대한 잘못된 인식 (서식지가 아니

라 수자원 통로)에 따라 지류에 발달하는 일부 자연습지를 제외하고는 거의 무시되었다 (손과 전, 2003). 배후습지가 집중적으로 발달하였던 낙동강 중하류부의 경우 (환경부, 2000), 많은 습지가 이미 농지, 택지, 공단, 도로 및 여러 가지 목적을 위해 소실되었다 (정, 1988). 이러한 현상은 현재에도 진행 중이며, 따라서 현재 전국 4대강에 잔존하는 습지의 파악과 자료체계 구축, 그리고 국민에 대한 심미적 경제적 가치의 인식 증진이 절실히 요구된다.

습지 소실이 갖는 중요성은 수자원 관리 측면에서도 매우 높다. 하천생태계는 매우 중요한 수자원으로, 효율적인 관리를 위하여 과거 수십년 동안 강생태계는 인위적인 개발의 대상이었다. 하지만, 근자에 들어 수자원의 관리가 이/치수 목적에서 지속가능한 관리 (sustainable management)라는 측면으로 방향을 선회함과 동시에 습지의 중요성이 널리 인식되기 시작하면서, 습지의 기능적인 측면 중 저류지로서의 능력이 부각되기 시작하였다. 특히 홍수 방지를 위해서 축조된 제방이 강화되면서 하류의 홍수로 인한 범람가능성을 높이고 있어, 유역차원에서 수문학적 균형을 꾀하여야 할 상태이다. 이러한 점은 최근 발표된 수자원장기종합계획 (2006~2020)에서도 잘 나타나 있다. 강한 홍수가 발생할 시 제방의 붕괴는 오히려 더 큰 재산상의 피해를 낼 수 있으며, 근자에 발생하는 집중강우와 제방붕괴에 의한 재산피해액 규모는 제방만을 통한 치수의 효율성에 대해 의문을 남게 한다. 따라서 치수의 목적에서도 제방에 의한 방식에 더해 기존의 습지 혹은 인공적으로 형성된 강변저류지를 활용할 수 있도록 하여야 한다.

강변저류지 (washland 또는 river detention basin)는 하천변 제내지에 설치되어 홍수가 발생하였을 때 첨두홍수를 제어하거나 홍수량을 조절할 수 있는 역할을 담당하는 배후습지와 같은 수체이며, 현재 잔존하고 있는 강 배후습지들은 자연적인 강변저류지의 역할을 담당하고 있다 (낙동강물환경연구소, 2008). 이에 더하여 제내지에 인공적으로 강변저류지를 설치할 경우 효과적인 홍수의 저감이 가능할 것으로 판단되고 있다. 하지만, 국내에서 강변저류지가 가능한 곳에 대한 연구 성과는 아직 미비하며, 낙동강과 같은 수계에서 일부 연구가 진행되었거나, 도심지 하천 인근에 대한 인공배후습지로서의 강변저류지 연구가 대부분이어서, 대형강 유역 수준에서의 강변저류지 탐색은 거의 전무한 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 전국 4대강 권역의 5대강 본류에 대해서 강변저류지로 전환이 가능한 곳을 GIS (Geographical Information System)를 이용하여 탐색하고, 이들 지점에 대한 현장조사를 실시하여 강 배후습지로서의 활용이 가능한 지점을 평가하였다. 이 연구의 결과는 차후

4대강 권역의 수자원 관리정책 수립시 생태학적 중요성이 높으면서 수문학적으로 홍수저감이 효율적일 수 있는 지점을 선정하는 데 기초자료로 활용될 수 있을 것이다.

조사 및 방법

본 연구에서는 4대강 권역 6개 주요 국가하천(남한강, 낙동강, 남강, 금강, 영산강 및 섬진강)의 본류를 대상으로 광역 도상조사와 현장조사를 실시하여 강변저류지 조성 후보지를 탐색 및 평가하였다. 광역 도상조사는 GIS를 이용한 공간분석을 통하여 실시되었고, 현장조사는 강변저류지로 전환시켰을 때 배후습지로서 기능을 할 수 있는지, 그리고 여러 가지 인문사회적 여건을 통하여 다양한 목적으로 활용될 수 있는지를 판단하기 위해 평가를 만든 뒤 조사지점에 적용하는 방식으로 진행되었다.

1. 제내지의 강변저류지 가능지점 탐색

GIS 기법을 이용한 하천 습지 혹은 습지전환이 가능한 지점의 평가는 하천 습지에 대한 정의를 기반으로 시작된다. 하천 습지는 '하천의 영향에 의해서 주기적으로 범람 또는 침수와 노출이 반복되는 하천 주변의 퇴적지형과 이러한 퇴적지형에 직접적으로 영향을 주는 수심 2m 이하의 수역을 포함하는 생태계'로 정의된다(박 등, 2005). 구 등(2005)은 자연형 하천습지를 '내륙습지가 분포할 수 있는 조건을 가진 지역으로 인간의 간섭을 받지 않는 토지피복을 나타내면서, 습지 토양인 제4기 충적층이 분포되어 있는 지역'이라고 정의하면서 토지피복도와 지질도를 중첩하여 자연형 하천습지를 추출할 수 있다고 하였다.

일반적으로 습지를 추출하기 위한 일반적인 방법은 분광 특성을 이용하여 인공위성 영상으로부터 습지에 해당되는 부분을 추출하는 것이다. 환경부에서 제작된 토지피복분류의 경우 대부분은 공간해상도가 30m인 Landsat TM 자료를 이용한 것으로 내륙습지를 표현할 정도로 상세하지 못하다(구 등, 2005). 한(2007)은 배후습지의 공간분포와 그 변화 양상을 분석하기 위해서 1:25,000 지형도에서 고도 10m 내외의 지역 중에서 구릉지와 산지

퇴적 지역을 제외한 범람원 지역을 구분하였는데, 범람원의 경계를 먼저 설정한 후 그 범위 내에서 자연적인 요소들(습지, 하천, 모래톱)과 인공적인 요소(논, 밭, 과수원, 수로, 인공제방) 등을 구분하여 지도를 작성하였다.

구 등(2005)은 자연형 하천 습지 추출을 위해서 각 지도에서 필요로 하는 조건을 세웠다. 즉 토지피복도에서 습지, 초지, 나지, 산림, 수역인 지역이면서 지질도에서 제4기 충적층을 가진 지역과, 농경지이면서 제4기 충적층인 지역을 추출하였다. 하와 이(2006)는 토평천 유역을 대상으로 강변저류지 입지 선정하는 데 있어 GIS를 활용하였는데, 강변저류지 입지설정을 위한 결정요소로 홍수범람지역, 사회 경제적 지표(상주인구, 지가), 제방축조 길이, 유효저류량을 선정하여, 이 자료를 가지고 중첩분석을 실시하여 강변저류지의 적지 분석을 하였다. 최와 김(2009)은 신도시 개발예정지역인 위례 신도시를 대상으로 습지조성 입지선정 모형을 개발하고 GIS를 이용하여 개발된 모형을 적용, 평가하였다. 습지 조성 입지 선정 평가 항목에서 토지이용/토지피복, 수문, 홍수범람지역, 지형, 토양배수능력, 서식처와의 연결성 등 총 6개의 평가 항목을 선정하고 계층분석방법에 의해 입지 선정 항목 및 항목별 기준의 가중치를 도출하여 각 주제도를 바탕으로 중첩분석을 수행하여 습지조성 가능지역을 도출하였다.

본 연구에서는 전국을 대상으로 하여 토지피복도, 지질도, 지형(경사도), 토양도를 이용하여 중첩분석을 실행하였다(Table 1). 토지피복도는 래스터 자료(raster data)로서 환경부에서 2007년 SPOT 위성영상을 이용하여 분석된 자료이다. 본 분석에서는 2007년 토지피복도를 이용하였으며, 공간해상도는 30m×30m이다. 사용된 토지피복도는 시가화건조지역, 농업지역, 산림지역, 초지, 습지, 나지, 수역 등 총 7개 지목으로 대부분류되어 있다. 토양도는 국가수자원관리 종합정보시스템(WAMIS, www.wamis.go.kr)에서 제공하는 자료로써 기호, 명칭, 종류, 배수 그리고 유효토심별로 구축되어 있다. 사용된 토양도중 주제는 배수를 사용하였다. DEM은 수치고도모형으로서 지형 분석에 주로 이용되는 자료이며, DEM을 기초로 하여 경사도를 제작하였다. 구 등(2005)의 습지구분방법을 이용하여 자연적인 습지 추출 가능 지역과 인공적으로 습지를

Table 1. Characteristics of geographical information used in this study.

Themes	Resolutions or scales	Data type	Source
Land coverage	30 m × 30 m	Raster	Ministry of Environment
Soil map	30 m × 30 m	Raster	WAMIS
Digitalized elevation map	30 m × 30 m	Raster	Ministry of Environment
Numerical geological map	1 : 250,000	Vector	Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources
Numerical topographical map	1 : 25,000	Vector	National Geographic Information Institute

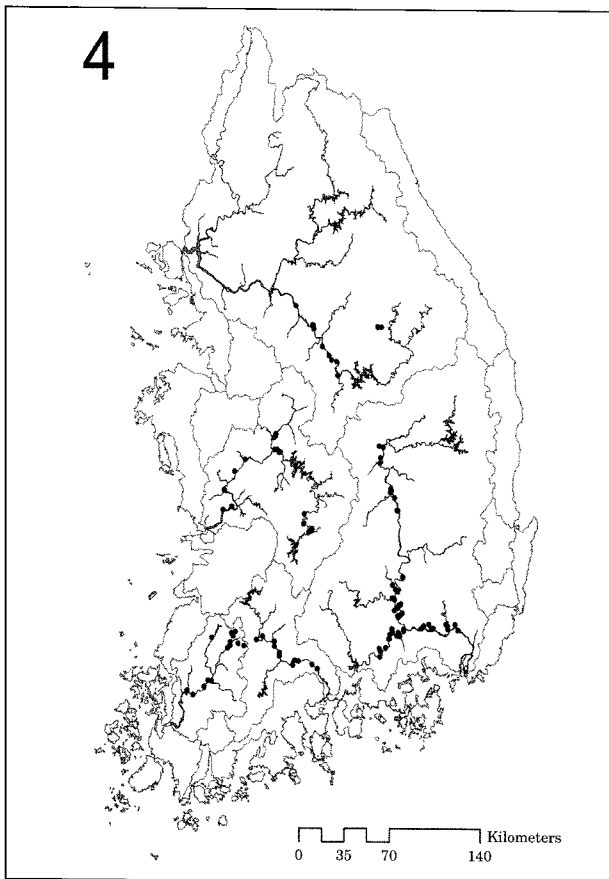


Fig. 1. Locations of field monitoring sites in the four major river basins. Description of the study sites is listed in the Appendix A.

조성할 수 있는 지역을 구분하였다. 즉 토지피복도에서 삼림지, 초지(자연초지), 나지, 습지를 선택한 지역과, 지질도에서 제4기 충적층인 지역(Qa)과 중첩하여 자연적인 습지 가능 지역을 추출하고, 농경지(논, 밭, 과수원, 기타재배)와 제4기 충적층 지역을 중첩하여 인공적인 습지 가능지역을 추출하였다. 그리고 경사가 0인 지역(평탄지)과 토양배수능력이 불량한 지역을 선택하여 자연적인 습지 가능 지역과 인공적인 습지 가능 지역 각각 중첩하여 강변저류지로서 가능한 지역을 추출하였다.

2. 현장조사

현장조사는 광역 도상조사를 통하여 탐색된 대상지점들 중 기존 문헌정보에서 제시되어 있는 주요 강변저류지 조성 후보지와 함께 위성사진과 지도를 통하여 선정된 지점들에 대해서 진행하였다(총 106개 조사지점 설정; Fig. 1). 현장조사를 위하여 본 과업에서 강변저류지 조성

후보지 평가기준을 제작하였으며(Table 2), 이 평가기준을 이용하여 총 7개 항목(민가 피해정도, 생태계 연결성, 저류면적, 제방안정성, 생물다양성, 토지보상, 환경교육)에 대한 현장조사를 실시하였다. 각 항목별로 1~3점으로 배점되어 있으며, 민가 피해정도와 생태계 연결성은 항목의 중요성에 따라 0~3점으로 배점되어 있다. 점수가 높을수록 양호한 상황으로 설정되어 있다.

최종적으로 7개 항목의 점수를 합산하여 총점으로 지점의 특성을 판단하도록 하였으며, 기타 주요사항에 인근에 위치한 문화재 혹은 연계 교육에 활용될 수 있는 요소, 4대강 살리기 시범 사업 지점 유무 및 기타 주요 특기사항을 정리할 수 있도록 하였다. 현장조사에서 도출된 결과는 GIS를 이용한 광역 분석 결과와 비교하여 정리하였으며, 이들 결과간의 비교를 통해 강 배후습지로서 바람직한 강변저류지 조성 후보지를 도출하였다. 본 연구의 현장조사 방식과 같은 접근에서는 조사자의 일관성 있는 관측 관점이 무엇보다 중요하므로, 4대강 권역의 모든 조사지점에 대해서 동일한 연구자가 모든 관측과 평가를 실시 및 정리하였다.

3. 비선형 클러스터링 모형 구축

현장조사에서 확보된 데이터를 이용하여 생태정보학(Ecological Informatics)에서 널리 활용되고 있는 비선형 생태모형 기법 중 하나인 Self-Organizing Map(SOM)(Kohonen, 1998) 알고리즘을 이용하여 패턴분석을 실시하였다. SOM 알고리즘은 일반적인 통계 분석에서 활용되는 군집분석과 유사한 결과를 생산하지만, 접근 방식이 비선형적이므로 생태학 분야에서 산출되는 복잡성이 높은 데이터에 효과적인 것으로 알려져 있다(Lek *et al.*, 2000). 생태학적 자료(생물분류군 자료 및 환경 자료)에 대한 적용 시 통계 분석에 의한 결과보다 데이터의 그룹화, 해석력 등이 월등한 것으로 보고되고 있으며, 국내에서도 몇 차례 적용성이 평가된 바가 있다(Chon *et al.*, 1996; Jeong *et al.*, 2005; Jeong *et al.*, 2008). Self-Organizing Map의 알고리즘에 대한 상세한 설명은 Kohonen(1998)에서 찾을 수 있으며, 현장에서 확보되는 생태학적 자료에 대한 적용 방식은 Jeong *et al.*(2008)에 나타나 있다.

본 연구에서는 SOM 모형의 입력 변수로 현장조사를 토대로 하여 확보된 7개의 항목 및 현장 조사지점 주변의 인구 및 평균 공시지가(조사지점 중심 반경 1km 범위 내) 데이터를 이용하였다. 이를 통하여 배후습지로서 강변저류지 조성 후보지 특성을 패턴화하였다. 즉, 조사지점의 평균 공시지가와 인구 수를 통해서 현장조사결과가

Table 2. Evaluation factors used in field monitoring for washland candidate locations.

Factors (abbreviations)	Characteristics	Criteria	Remarks	
Damages to civilized area (Damg)	Expected damages to civilized area when a washland is created	3	Almost no damages is expected	
		2	Scarce residential structures. Road, telegraph poles exist	
		1	Small size residential structures	
		0	Town or village exists	
Ecosystem connectivity (Conn)	Connectivity between washland (wetland) and adjacent ecosystems	3	Adjacent hill/mountain, or wetland is present	
		2	Almost agricultural field. Restricted mountainous area	
		1	Mostly agricultural/residential area	
		0	Severance	
Storage area (Stor)	Potential capacity of flood control by the washland	3	Large	
		2	Middle	
		1	Small	
Levee stability (Leve)	Necessity of levee strengthening or movement	3	Only water gate installation is required (mountain or wetlands can be connected)	
		2	Construction of new levee is slightly required	
		1	Strongly required for new levee, especially movement of levee to civilized area is needed	
Biodiversity/important habitat (Biod)	Presence or absence of habitats for important biological species	3	Diversity of habitat has to be preserved (e.g. IUCN important bird species is found)	
		2	Moderate level habitat conservation is required (e.g. endangered species designated by the Ministry of Environment are present)	
		1	Habitat characteristics are at normal level	
Compensation for land (Comp)	Potential land price for compensation	3	Low	
		2	Middle	
		1	High	
Environmental education (Educ)	Possibility of environmental education using a created washland	3	Opportunity for simultaneous education related with adjacent important ecosystems	If cultural heritage exist, score 3.
		2	Habitat expansion is possible	
		1	Low possibility	

인문요소와 갖는 관계를 같이 분석하였다. 인구 및 평균 공시지가 데이터는 (주)오픈메이트로부터 제공받아 활용하였다.

결 과

1. GIS를 이용한 광역 탐색

GIS 중첩분석 기법을 이용하여 6개 수계의 강변저류지 조성 후보지를 탐색한 결과, 배후습지로서 적절한 입지조

건을 갖춘 강변저류지 후보지는 각 수계의 중하류부에서 지천과 합류되는 곳에 주로 분포하는 것으로 나타났다. Fig. 2에는 전국 6개 수계 중 낙동강 본류 및 남강 수계에서 파악된 강변저류지 위치가 제시되어 있다. 각 수계별 본류의 강변저류지 조성 후보지 면적은 남한강 71.5 km², 낙동강 54.1 km², 남강 2.3 km², 금강 79.0 km², 영산강 46.4 km², 섬진강 15.7 km²로 나타났다. 남한강 수계의 경우 전체적으로 본류 및 지류를 따라서 발달하고 있으며, 낙동강 역시 이와 유사한 양상을 보였다. 특히 낙동강에서는 현존하는 배후습지 인근에서도 강변저류지 조성

후보지가 존재하고 있었다. 금강 수계에서도 주로 본류와 지류가 합류하는 지점에서 강변저류지 조성 후보지가 나타났다으며, 하천 양안을 따라 나타나는 특성을 보였다. 특히 금강 하류 지역에 넓게 분포하는 경향이 관측되었다.

영산강 수계는 전체적인 패턴은 유사하나, 전체적으로 영산강 본류 및 지류를 따라 하천 양안에 자연형 습지가

능지역이 나타나며, 그 배후에 강변저류지 가능지역이 넓게 분포하였다. 섬진강 수계에서는 약간 다른 양상을 보였으며, 전체적으로 하천을 따라 작은 면적을 가진 자연형 습지가 분포하고 섬진강과 각 지류와의 합류지점에 강변저류지 조성 후보지가 나타났다.

2. 현장조사를 통한 강변저류지 조성 가능후보지 평가

GIS 분석 결과를 바탕으로 하여 6개 국가하천 수계에 서 총 106개소의 강변저류지 대상 지점을 조사하였다. 수계별 조사지점의 수는 각각 남한강 13개소, 낙동강 52개소, 금강 16개소, 영산강 14개소, 섬진강 11개소였으며, 특히 낙동강 수계의 경우 남강 11개소와 낙동강 본류 41개소로 나뉜다(Fig. 1 참조).

현장조사시 평가된 7개 항목의 총점분포가 Table 3에 나타나 있다. 대체로 남강 수계가 타 수계에 비해 강변저류지 평가 대상지점이 가능성이 높은 것으로 평가되었으며, 다음으로 금강, 낙동강 본류 수계, 남한강, 섬진강, 영산강 순이었다. 낙동강 본류의 경우 조사지점의 수가 많음에도 불구하고 표준편차가 상대적으로 작아, 타 수계에 비하여 상대적으로 높은 평가지수가 유지되는 것으로 해석된다. 남한강, 남강, 낙동강, 금강, 섬진강은 대체로 13점 이상의 평균 지수를 보여 대체로 강변저류지로서의 전환 가능성이 존재하지만, 영산강 수계의 경우 평균 지수가 12.2점으로 상대적으로 열악한 상태를 유지하는 것으로 파악되었다.

각 항목별 평가점수 분포 역시 수계별로 상이성을 보였다(Table 2). 대체로 조사지점을 강변저류지로 전환할 경우 저류지로서의 효과뿐만 아니라 여러 가지의 부가적인 효용성이 존재하는 것으로 파악되었다. 항목별 특성을 살펴보면, 우선 민가피해도 항목에서는 대부분의 수계가 평균 이상을 보였으나, 영산강 및 섬진강 수계는 평균보

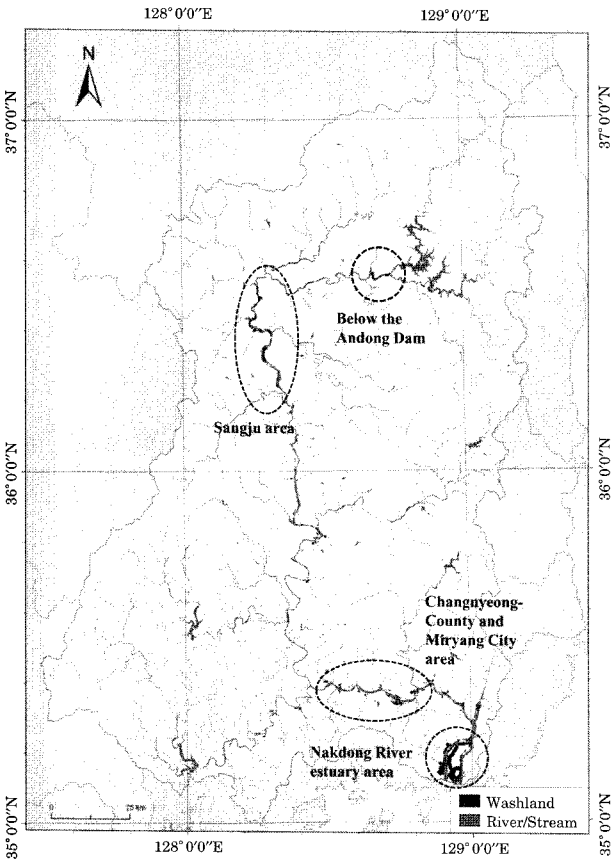


Fig. 2. Map of the Nakdong River showing the locations of washland discovered by spatial analysis (black area).

Table 3. Number of study sites and average ± standard deviation of field monitoring results in six rivers.

Rivers	Monitoring factors									Sociological information	
	Sites	Damages to civilized area	Ecosystem connectivity	Storage area	Levee stability	Biodiversity	Compensation for land	Environmental education	Summed index	Population (Pop; ind.)	Average land price (ALP; ×1,000 won m ⁻²)
South Han	13	1.7±1.3	1.5±0.5	1.8±0.6	1.2±0.4	2.2±0.5	2.3±0.5	2.5±0.5	13.1±2.4	248±197	32.7±31.7
Nakdong	41	1.8±1.2	1.6±1	2.2±0.6	1.4±0.7	2.0±0.5	2.1±0.5	2.2±0.6	13.4±3.5	103±101	18.6±26.7
Nam	11	1.8±1.2	2.0±1.0	2.5±0.5	1.8±0.9	2.2±0.4	2.1±0.3	2.4±0.5	14.7±2.8	234±152	12.5±5.3
Geum	16	1.9±0.7	2.3±0.7	2.1±0.5	1.5±0.7	2.4±0.7	2.0±0.8	2.1±0.6	14.4±3.2	19±28	35.2±31.1
Youngsan	14	1.6±1.0	1.9±1.1	1.9±0.7	1.4±0.7	1.7±0.6	1.8±0.7	1.9±0.6	12.2±3.7	75±141	15.9±9.5
Seomjin	11	1.6±0.6	1.5±1.0	1.5±0.5	1.7±0.6	2.0±0.4	2.4±0.5	2.5±0.8	13.4±2.4	101±133	7.7±3.5
Total	106	1.8±1.1	1.8±1.0	2.1±0.6	1.5±0.7	2.1±0.6	2.1±0.6	2.2±0.7	13.5±3.3	118±145	20.7±25.3

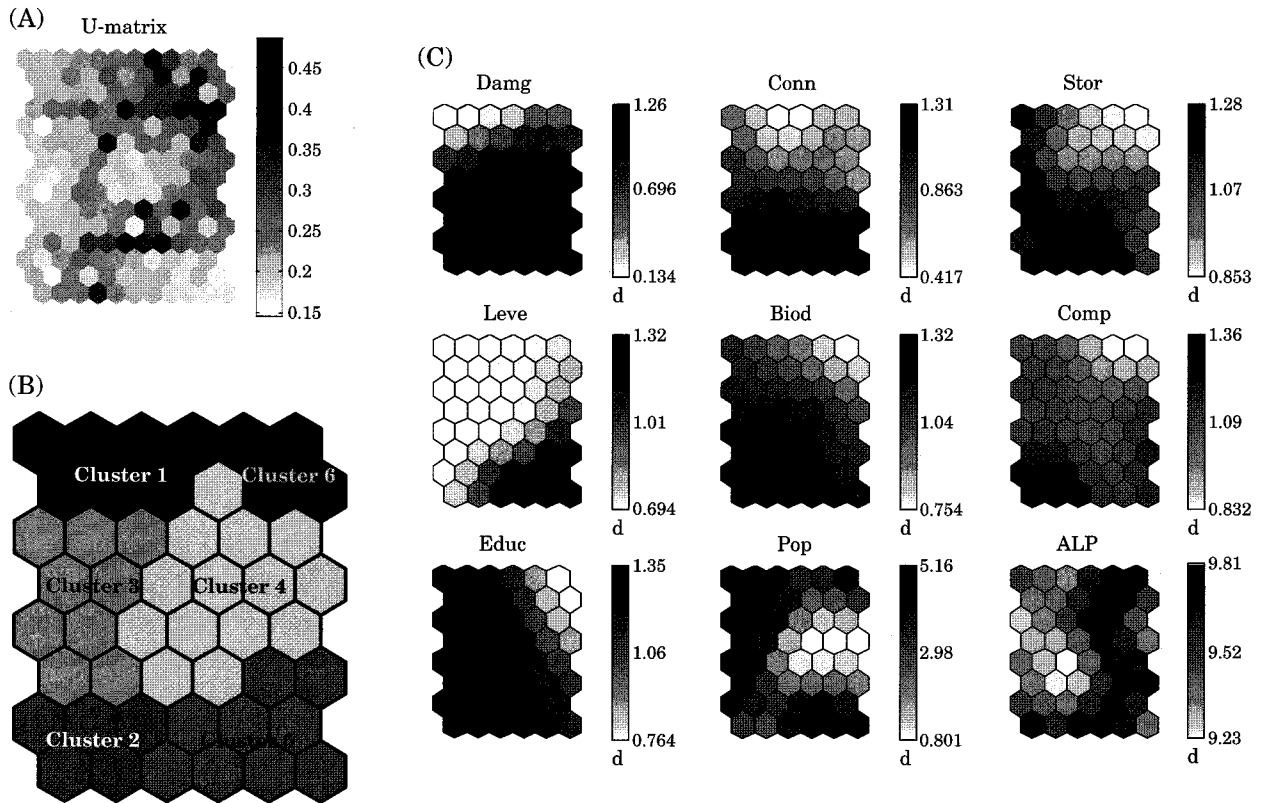


Fig. 3. Results of SOM modeling using seven field monitoring factors and two social information (population and average land price). A, U-matrix; B, clustering results; C, patterning nine input variables. Abbreviations for the seven field monitoring factors can be found in Table 2, and Pop. for population and ALP for average land price.

다 낮은 점수를 보였다. 생태계 연결성 항목은 특히 남강과 금강 수계가 높은 점수를 보였으며, 영산강 수계 역시 비교적 높은 평균 점수를 기록하였다. 이러한 패턴은 저류면적 항목에서도 다소 유사하게 나타났다. 제방안정성 항목은 남강 및 섬진강 수계를 제외하면 모두 평균 이하의 점수를 보여 제방의 보강이 필요한 지점이 다수 존재함을 알 수 있었다. 생물다양성 항목은 영산강 수계를 제외하고 대체로 높은 점수를 보였으며, 토지보상 항목은 수계별로 큰 차이가 존재하지 않았다. 환경교육 항목은 특히 섬진강 수계에서 가장 높게 조사되었으며, 영산강 수계를 제외하고 모두 2점 이상을 기록하여, 조사지점들이 강변저류지로 전환될 경우 배후습지로서의 가치가 충분히 존재할 수 있을 것으로 사료된다.

조사지점 인근의 인구 및 평균공시지가를 살펴보면, 대체로 조사지점 반경 1km 이내에 많은 인구가 거주하는 것은 아니었으나, 남한강 및 남강 수계에서 비교적 그 숫자가 높게 기록되었다. 평균공시지가는 대체로 2만원 정도로 추정되나 수계에 따라서 공시지가의 차이가 다소 존재하였다. 즉, 조사지점을 강변저류지로 전환할 수 있는

가능성이 가장 높은 곳은 남강 수계로 파악되었으며, 이들 지역에서 강변저류지 가능 지점을 전환하였을 때 효율성이 높을 것으로 판단된다.

3. 비선형 모형을 이용한 패턴 분석

4대강 대권역의 강변저류지 가능성 평가 지점 106개소에 대해 가장 적합한 형태의 SOM 모형은 8×6 형태였으며, Quantization error가 0.524, Topographic error는 0.000으로 나타나, 모형의 구조와 데이터에 대한 처리 성능이 적절한 것으로 나타났다. 구축된 SOM 모형은 총 6개의 클러스터를 산출하였으며, 횡으로 3종류, 종으로 2종류로 나눌 수 있었다(Fig. 3). U-matrix를 통하여 평가할 때(Fig. 3A), 클러스터 1과 6, 그리고 나머지 클러스터들 간에 가장 강한 차이가 나타났으며, 중하단부 4개 클러스터(2~5번) 중에서도 클러스터 2, 5와 클러스터 3, 4 사이에 상대적으로 큰 차이가 나타났다(Fig. 3B). 클러스터 2와 5, 그리고 클러스터 3과 4 사이 역시 차이가 나타났지만 횡적인 구분에 비해서는 차이의 정도가 약한 편이었다.

Table 4. Characteristics of each cluster assumed based on the distribution patterns of input variables and number of study sites in each of clusters. Abbreviations for each input variable can be found in Table 2 and 3.

Cluster No.	Variables		Characteristics	Number of study sites in each river						Total
	Good	Poor		South Han	Nakdong	Nam	Geum	Youngsan	Seomjin	
1		Damg, Conn	Strong effectiveness is not expected, but environmental education is slightly possible	4	9	2			1	16
2	Damg, Conn Stor, Biod Comp, Educ	-	Relatively high effectiveness of washland is expected	3	2		4		3	12
3	Stor, Biod Educ	Leve	Slight effectiveness is expected, but relatively high cost for levee stability is required	3	12	4	2			21
4	Educ ALP, Pop		Environmental education purpose is suited, but overall not appropriate	1	8		3	7	4	23
5	Damg, Conn Stor, Leve Biod, Comp Educ	-	Sites expected as optimal locations for washland creation	2	9	5	5	3	2	26
6	-	Damg, Biod	Overall no effectiveness is expected		1		2	4	1	8

각 클러스터별 특성을 입력변수의 SOM 평면상 분포 패턴을 통하여 추정된 결과가 Table 4에 나타나 있다 (Fig. 3C). 각 클러스터에 분포하고 있는 지점들의 항목별 평균점수를 기준으로 양호한 항목(평균점수 이상) 및 불량한 항목(평균점수 이하)으로 구분하여 평가하였을 때, 클러스터 5에 해당되는 조사지점들이 강변저류지로 전환 되었을 때 여러 가지 목적에 대해서 가장 효율적으로 활용이 가능한 지점들로 파악되었으며, 클러스터 2 역시 이와 유사한 상태에 있는 지점들로 구성되었다. 클러스터 2와 5에 분포하는 지점들은 총 38개소로 전체 106개 조사지점의 약 35%에 달하는 것으로 나타났으며, 대체로 클러스터 2는 남한강 및 금강, 클러스터 5는 낙동강과 남강이 중심을 이루고 있었다.

고 찰

1. 광역 탐색을 통한 강변저류지 조성 후보지 분포 특성

GIS 분석을 통한 6개 수계 강변저류지 가능지역 탐색 결과 대체로 중하류부 본류와 지류와의 합류점에 분포하

는 경향이 강하였으며, 유속의 저하와 평야의 발달이 이 지역에서 강하게 나타나기 때문으로 사료된다. 이는 강 배후습지의 분포 양상과 유사한 패턴을 보이며 (Mitsch and Gosselink, 2000a), 유속이 완만한 구릉지에서 물이 정체될 수 있기 때문으로 해석된다.

각 수계의 상·중류부에서는 이러한 지역이 거의 나타나지 않았으며, 고도가 높고 유로 굴곡이 심하며, 이러한 양상은 특히 남한강 상류부 섬진강 수계에서 두드러지게 나타났다. 남한강 상류와 같이 협곡이 강하게 발달할 경우 강변저류지로서의 입지 여건이 충족되지 않아 가능 지역이 나타나지 않은 것으로 사료된다. 또한 섬진강 수계는 상대적으로 흐름이 급하고 평야 발달이 미약하여 강변저류지로 가능한 지역이 비교적 적게 분포하고 있었다.

기존의 배후습지나 혹은 소실된 배후습지 위치가 강변저류지 조성 후보지로 파악되는 경우 역시 나타났으며, 이는 낙동강 수계에서 두드러졌다. 낙동강 본류 수계에서는 주로 강변저류지 조성 후보지가 배후습지 주변 혹은 하천 합류지점에 분포하였다. 낙동강 수계는 과거부터 많은 배후습지가 존재하였으나, 미곡증산정책 등 정책적인 방향성 때문에 배후습지가 크게 소실된 곳으로 알려져 있으며 (손과 전, 2003; 주 등, 2009), 따라서 본 연구의 결과

는 이러한 상황을 잘 반영하고 있다고 여겨진다.

금강 수계에서는, 전술한 바와 같이, 주로 하류부에 강변저류지 조성 후보지가 집중적으로 나타났으며, 중류부에서는 그 정도가 크지 않았다. 이는 하천 주변의 토지이용 상태와 함께 인공시설물(시가화 전조지역으로 구분된 지역)이 인접하여 있어 추출이 되지 않은 것으로 파악된다. 반면 영산강 수계에서는 본류 주변에 높은 빈도로 강변저류지 조성 후보지가 추출되었는데, 농경지 중심의 토지이용상태에 의한 것으로 여겨진다.

지리정보학적 관점에서 강변저류지 조성 후보지의 분포는 주로 영산강 수계에서 높은 빈도로 나타났으나, 현장조사 결과를 통하여 배후습지로의 복원 후 생태, 수문, 환경교육 등의 관점에서의 활용성을 고려하면 특히 낙동강 수계 및 남강 수계가 보다 양호한 상태였다. 이러한 양상은 비선형 모델링 결과에서 보다 두드러지게 나타났다. 낙동강에는 우포, 주남저수지와 같이 다양한 철새가 활용하는 주요 배후습지 생태계가 존재하고 있어(Lee, 2007), 강변저류지가 조성될 경우 습지서식처의 확장 가능성이 크게 작용한 것으로 사료된다. 또한, 낙동강 대권역 내의 조사지점 인근에는 사찰, 누각, 정자 등 경관 차원에서도 중요한 요소들이 존재하는 경우가 많았으며, 이러한 요소들은 강변저류지를 홍수저감 혹은 서식처 확장 개념으로만 활용하는 것이 아니라, 환경교육(습지탐방 등) 요소로도 활용할 수 있도록 하는 중요한 요소로 판단된다. 섬진강 수계에서는 이러한 상황을 충족하여 높은 현장조사 평가 결과가 기록된 지점이 존재하였으며, 특히 조사지점과 매우 가까운 위치에 수달서식처 보호구역이 존재하고 어류생태학습관이 위치하고 있어 동시적인 효과가 뛰어날 것으로 예상된다. 따라서, 강변저류지 조성 후보지를 선정할 때에는 이와 같이 수문·생태학적 가치뿐만 아니라 복원 후의 활용 요소를 고려하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

공간분석을 이용한 습지 지역의 탐색은 국외에서도 많이 이루어지고 있는 연구분야이다. Russell *et al.* (1997)은 수문 요소 및 주변 토지이용을 바탕으로 잠재적인 수변습지 복원을 위한 적지 분석을 하였다. 또한 O'Neill *et al.* (1997)은 강 상류지역의 분지 내에 수변습지 복원지역을 분석하기 위해서 개념적인 모델을 제시한 바 있다. 하지만 대형 유역을 대상으로 하여 강변저류지 조성 가능지역에 대한 평가가 실시된 경우는 많지 않으며, 국내에서는 도심지 인근 혹은 중소규모 하천을 대상으로 한 사례를 제외하면 거의 전무한 실정이다. 따라서 효율적인 강변저류지 적지탐색 방법으로써 공간분석 기법이 활발히 이용될 수 있다.

2. 강변저류지의 효용 가치

외국에서는 강변저류지를 이용한 강 배후습지 복원 사례가 빈번히 보고되고 있으며, 특히 성공적인 강변저류지 설치의 홍수 저감뿐만 아니라 서식처로서의 가치 역시 증대되는 것으로 보고되고 있다(Davidson, 1991; Morris *et al.*, 2004b; Morris and Hess, 2005). 특히 기존 습지의 확장을 통해서도 강변저류지 효율성이 증가될 수 있으며, 우포와 같은 주요 배후습지 일대의 농경지를 강변저류지로 전환시킴으로써, 비록 규모가 작더라도 홍수 저감 측면에서 좋은 위치에 있는 신설 강변저류지가 훨씬 효율적일 수 있다고 보고되었다(낙동강물환경연구소, 2008). 즉, 면적 확장뿐만 아니라 강변저류지의 생성 시 위치를 최대한 고려하여야 할 필요가 있으며, 이를 위해서는 4대강 권역 주요 대형강의 제내지에 대해서 적절한 강변저류지 조성 후보지 선정이 무엇보다도 중요하다는 점을 반증한다.

주변 서식처와의 연계성은 습지로서의 강변저류지의 기능을 극대화시키는 요소이며, 인근 습지와 연계성(예: 창녕군 우포 습지 인근에 설정된 대상지점 등)은 철새와 같은 주요 생물분류군의 서식처 선택성 증가라는 긍정적인 효과를 낼 수 있으며, 또한 산림과 인접한 대상지점은 제방의 증설에 대한 필요성을 감소시킴과 동시에 산림생태계와 습지생태계를 연결시킬 수 있는 방안으로도 활용될 수 있다. 따라서 대상지점을 강변저류지로 복원할 경우, 인근 생태계와의 인접성을 충분히 고려하여 복원하여야 하며, 차후의 관리방안에서도 서식처로서의 관리 방향 역시 포함되어야 한다.

특히 강변저류지 복원 시 면밀히 검토되어야 할 부분 중 교육, 문화적 요소 역시 그 중요성이 높다. 습지로서의 강변저류지 기능이 부각될 경우, 습지의 생태교육 장소로의 활용도 역시 증가할 수 있으며(예: 주남저수지 등), 이는 강변저류지 탐방객 수의 증가로도 연결된다. 이와 같은 목적으로 강변저류지를 활용할 경우, 대상지 인근에 주요 문화재 혹은 교육 목적으로 활용될 수 있는 다양한 요소가 같이 존재할 경우 그 효과가 극대화될 수 있다. 강변저류지를 조성함으로써 생태관광과 같은 부가적인 효용성 역시 증대시킬 수 있다고 알려져 있다(Morris *et al.*, 2004a). 이러한 현상이 전국 6개 수계에 대해서 현장조사가 진행된 곳에서도 뚜렷하게 나타났으며, 낙동강 하류부, 섬진강 하류부 등 결과에서 제시된 지점들은 충분히 다양한 효과를 도출할 수 있을 것으로 예상된다.

강변저류지의 조성은 홍수량의 조절 및 저감에 1차적인 목적을 두고 있지만, 대상지 주변의 여러 가지 여건으

로 동시에 고려하여 설정하는 것이 무엇보다도 중요하다. 또한 실질적으로 강변저류지의 효과를 파악하기 위해서는 수문학적 시뮬레이션과 같은 정밀한 접근 역시 필요하다. 현재 4대강 살리기와 같은 대형강 관리 정책이 본격적으로 추진되고 있으며, 이러한 사업에서는 하천의 수리수문학적 관점과 생태학적 관점을 동시에 고려하여 가장 효율성이 높은 방향으로 하천 관리를 실시하여야 한다. 현행 4대강 살리기 사업은 종적 하천공간 확보를 위주로 계획되어 추진되고 있으나 향후 기후변화 대응과 생태복원 확보 측면에서 횡적 하천공간 확보가 절대적이다(한국환경정책·평가연구원, 2009). 따라서 4대강 살리기 사업기간 중 또는 후에 본류의 강변 저류지의 확대·조성을 위한 종합 계획이 지류하천의 하천공간 확보방안 계획과 연계되어야 한다. 따라서 홍수 조절의 목적을 위해서 설치하게 되는 강변저류지는 4대강 살리기 사업과 같은 관리정책에서 충분히 수용 가능한 사안이며, 현재 일정부분 강변저류지에 대한 사안이 구체화되어 있다. 하지만 낙동강 본류 적포 인근의 강변저류지 조성 계획 등 일부 지점에 대한 계획은 전술한 바와 같은 요소를 충분히 고려하여 보다 발전적인 방향(수문-생태 복합 관점)으로 개선안이 도출될 필요가 있다. 본 연구의 결과는 앞으로 이와 같은 대하천 관리 정책에 대해서 기본정보를 제공할 수 있을 뿐만 아니라, 보다 효과적인 정책의 수립과 진행을 위한 가이드라인 역할을 수행할 수 있을 것으로 기대된다.

적 요

본 연구에서는 전국 4대강 권역 6개 주요 수계(남한강, 낙동강, 남강, 금강, 영산강 및 섬진강)의 본류를 대상으로 하여 공간분석과 현장조사 및 평가를 통한 강변저류지 조성 후보지를 결정하였다. 강변저류지는 하천변에 배후습지와 연결될 수 있는 대규모 인공습지의 형태로, 홍수조절, 용수공급, 수질정화, 생태문화공간 제공 등 다기능의 목적을 갖고 있다. 또한 조성된 강변저류지는 배후습지로서의 역할 역시 수행이 가능하며, 수문학적 및 생태학적 관점에서 상당히 높은 효율성을 갖는 요소이다. 따라서 강변저류지 조성 효과를 높이기 위한 선행적 절차는 조성 후보지를 선정하는 것이다. 본 연구에서는 지리정보와 현장특성(생태계 연결성, 교육-문화적 여건 등)을 종합적으로 파악하여 분석을 실시하였다. GIS 분석 결과, 각 수계별로 남한강 71.5 km², 낙동강 54.1 km², 남강 2.3 km², 금강 79.0 km², 영산강 46.4 km², 섬진강 15.7 km²

수준의 강변저류지 가능지역이 탐색되었으며, 위치상으로는 중하류부의 하천 합류부 등에서 넓게 분포하는 패턴을 보였다. 이 결과를 바탕으로 총 106개 지점에 대한 현장조사를 실시한 결과, 대체로 남강, 금강 등의 수계에서 배후습지로서 양호한 기능이 기대되는 강변저류지 가능지점이 주로 분포하였다. 특히 현장 조사 중 낙동강, 섬진강 수계의 일부 지점은 인근 습지 서식처(우포 등)와의 연계성, 주요 생물분류군 서식처와의 인접성(수달 서식처 등), 문화재 및 생태환경 교육여건(생태학습관, 사찰 등)이 잘 구축된 경우로 파악되어 매우 양호한 것으로 사료된다. 향후 이들 지점에 대해서 정밀한 수문학적 고찰이 진행될 경우 보다 수문-생태-문화-교육 차원에서 효율적인 강변저류지의 조성이 가능할 것으로 기대된다.

사 사

본 원고 작성과정 중 지속적으로 중요한 조언을 주신 경희대학교 오종민 교수님, 한양대학교 신경훈 교수님, 한국환경재해연구소 양해근 소장님께 진심으로 감사의 말씀을 드립니다. 또한 현장조사와 데이터 분석 등에서 많은 노력을 기울여주신 부산대학교 담수생태학 연구실 연구원 여러분들께 감사드립니다. 본 연구의 진행 중 인문사회 요소에 관한 자료(인구수, 평균공시지가)를 제공하고 여러 가지 공간분석에 대한 자문을 해 주신(주)오픈메이트의 김한국 팀장님께 지면을 빌어 감사말씀 드립니다. 본 연구는 한국환경정책·평가연구원(Korea Environment Institute, KEI)의 “2009년 녹색성장정책연구”의 후원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다(과제번호: PNU 2009-0255-000).

인 용 문 헌

- 구자용, 박의준, 김영택. 2005. GIS의 공간중첩기법을 이용한 내륙습지 경계 재설정. *지리학연구* **39**: 563-574.
- 김상호. 1969. 李朝前期의 水田農業研究-粗放的農業에서 集約的農業으로의 轉換-, 서울.
- 낙동강물환경연구소. 2008. 낙동강본류 및 주요지천의 홍수시 저류공간으로서의 습지평가. 낙동강물환경연구소 Goryong.
- 박의준, 김성환, 윤광성. 2005. 우리나라 대하천 상류 하천습지의 지형경관. *지리학연구* **39**: 469-478.
- 손명원, 전영권. 2003. 낙동강 하류 연안 자연습지의 자연지리적 특성. *한국지역지리학회지* **9**: 66-76.
- 이인식. 1997. 정책대안 2: 습지 파괴 현황과 습지보전운동의

- 과제. 환경과 생명 **13**: 118-131.
- 정문식. 1988. 습지보전. 대한위생학회지 **3**: 9-11.
- 주기재, 정인철, 정광석, 신해수, 최종윤, 라공환. 2009. 강변저류지 및 수변습지를 활용한 하천환경 복원 및 관리방안, 한국환경정책·평가연구원, 서울.
- 최희선, 김귀곤. 2009. 신도시 물순환체계구축을 위한 습지조성입지선정에 관한 연구. 한국조경학회지 **36**: 43-54.
- 하성룡, 이재일. 2006. GIS를 활용한 천변저류지 적지분석에 관한 연구. 한국습지학회지 **8**: 107-112.
- 한국환경정책·평가연구원. 2009. 녹색성장정책연구: 기후변화 대응을 위한 적정 하천공간 확보방안 연구, 한국환경정책·평가연구원, 서울.
- 한승희. 2007. 낙동강 하류부 배후습지의 경관변화: 영산~김해지역을 중심으로, 경북대학교, 대구.
- 환경부. 2000. 전국 내륙습지조사 지침, 서울.
- Chon, T.-S., Y.S. Park, K.H. Moon and E.Y. Cha. 1996. Patternizing communities by using an artificial neural network. *Ecol. Modelling* **90**: 69-78.
- Davidson, N. 1991. Breeding waders on British estuarine wet grasslands. *WSG Bull.* **61**: 36-41.
- Davies, B.R., P.J. Boon and G.E. Petts. 2000. River conservation: a global imperative, p. 11-16. *In: Global Perspectives on River Conservation* (Boon, P.J., B.R. Davies and G.E. Petts, eds.). John Wiley & Sons, Ltd., Chichester.
- Dugan, P.J. 1994. Wetlands in the 21st century: the challenge to conservation science, p. 75-87. *In: Global Wetlands: Old World and New* (Mitsch, W.J., ed.). Elsevier Science, Amsterdam.
- Jeong, K.-S., D.-K. Kim, T.-S. Chon and G.-J. Joo. 2005. Machine learning application to the Korean freshwater ecosystems. *Kor. J. Ecol.* **28**: 405-415.
- Jeong, K.-S., D.-K. Kim, A. Pattnaik, K. Bhatta, B. Bhandari and G.-J. Joo. 2008. Patterning limnological characteristics of the Chilika lagoon (India) using a self-organizing map. *Limnology* **9**: 231-242.
- Joo, G.J. and D.A. Francko. 1995. Limnological characterization of the tristate oxbow wetland (Ohio, Indiana). *Ohio J. Sci.* **95**: 316-320.
- Joo, G.J. and A.K. Ward. 1991. Patterns of phytoplankton productivity in two morphologically different oxbow lakes in the Black Warrior River drainage in Alabama, USA. *Rep. Suwa Hydrobiol.* **7**: 81-90.
- Kohonen, T. 1998. The self-organizing map. *Neurocomput.* **21**: 1-6.
- Lee, C.-W. 2007. Usage patterns and management of water-bird habitat in the lower Nakdong River, Pusan National University, Busan.
- Lek, S., J.L. Giraudel and J.-F. Gúegan. 2000. Neuronal networks: algorithms and architectures for ecologists and evolutionary ecologists, p. 3-27. *In: Artificial Neuronal Networks: Application to Ecology and Evolution* (Lek, S. and J.-F. Gúegan, eds.). Springer-Verlag, Berlin.
- Maltby, E. and R.E. Turner. 1983. Wetlands of the World. *Geogr. Mag.* **55**: 12-17.
- Mitsch, W.J. and Gosselink. 2000a. Wetlands, 3rd edn. Elsevier Science. New York.
- Mitsch, W.J. and J.G. Gosselink. 2000b. The value of wetlands: importance of scale and landscape setting. *Ecol. Econ.* **35**: 25-33.
- Mitsch, W.J., R.H. Mitsch and R.E. Turner. 1994. Wetlands of the old and new worlds: ecology and management, p. 3-56. *In: Global wetlands: old world and new* (Mitsch, W.J., eds.). Elsevier, Amsterdam.
- Morris, J., A. Bailey, P. Leeds Harrison, C. Lawson, D. Alsop and R. Vivash. 2004a. Economic dimensions of washland creation in England: a case from somerset. *J. Farm* **12**: 33-48.
- Morris, J. and T.M. Hess. 2005. A framework for integrating flood defence and biodiversity in washlands in England. *Int. J. River Basin Manage.* **3**: 1-11.
- Morris, J., T.M. Hess, D.J. Gowing, P.B. Leeds-Harrison, N. Bannister, M. Wade and R.M. Vivash. 2004b. Integrated washland management for flood defence and biodiversity, Cran, Peterborough.

(Manuscript received 21 January 2010,
Revision accepted 17 March 2010)