

청미천에서 GIS 기반 횡적 연결성 평가

GIS-based Assessment of the Lateral Connectivity in the Cheongmi-cheon Stream, South Korea

진승남¹ · 조현석² · 추연수³ · 조강현^{4*}¹수생태공간정보연구소 조사연구팀 연구원, ²한국생명공학연구원 연구원, ³국립생태원 습지연구팀 연구원, ⁴인하대학교 생명과학과 교수Seung-Nam Jin¹, Hyunsuk Cho², Yunsoo Chu³ and Kang-Hyun Cho^{4*}¹Researcher, Survey and Research Team, EConGEO, Incheon 22170, Korea²Researcher, Korea Research Institute of Bioscience and Biotechnology, Cheongju 28116, Korea³Researcher, Wetland Research Team, National Institute of Ecology, Changyuoung 50303, Korea⁴Professor, Department of Biological Sciences, Inha University, Incheon 22212, Korea

Received 17 September 2019, revised 17 September 2019, accepted 23 September 2019, published online 30 September 2019

ABSTRACT: Lateral connectivity between the channel and the floodplains has been damaged by the levee construction and channelization in most streams of South Korea. The purpose of this study was to develop a technique for easily and remotely assessing lateral connectivity using GIS in the streams and to evaluate the effectiveness of the assessment method by applying it to Cheongmi-cheon Stream, a representative stream in the central Korean Peninsula. The metrics of the lateral connectivity assessment are composed of (1) existence of remaining wetlands and (2) land use property as a habitat quality of the former floodplain outside the levee and (3) existence of levee barrier, (4) connectivity to the stream and (5) connectivity to the upland natural habitats as a connectivity from the channel through floodplain to the upland forest. According to the result of applying the assessment method to Cheongmi-cheon Stream, the lateral connectivity was severely damaged due to the levee construction and land use change in the former floodplain. The GIS-based assessment of the lateral connectivity developed in this study is expected to be used as a useful tool for identifying limitations of current connectivity in various attempts to restore lateral connectivity in riparian ecosystems.

KEYWORDS: Geographical information system, Isolated floodplain, Land use, Lateral connectivity, Stream

요 약: 대부분의 우리나라의 하천은 제방 축조에 의하여 수로와 홍수터 사이의 횡적연결성이 훼손되어 있다. 본 연구의 목적은 GIS를 이용하여 하천 횡적연결성을 간편하게 원격으로 평가하는 기법을 개발하고 중부지방의 대표적인 하천인 청미천에 적용하여 평가법의 효용성을 평가하는데 있다. 원격평가법의 평가항목은 제내지 서식지 환경 항목으로서 (1) 습지 유지 여부와 (2) 토지이용 특성을 연결성 항목으로서 (3) 제방 차단 여부, (4) 하천과의 연결성 및 (5) 육상 자연서식지와와의 연결성으로 구성하였다. 개발된 평가법을 청미천에 시범 적용한 결과에 따르면 청미천의 제내지 옛홍수터는 제방 축조와 토지이용 변화로 횡적연결성이 크게 저하되어 있었다. 또한 GIS 원격 평가법에 의하여 청미천 옛홍수터의 횡적 연결성이 다양한 수준인 것으로 평가되었다. 연구에서 개발된 횡적연결성 원격 평가법은 앞으로 하천의 횡적연결성을 복원하는 다양한 시도에서 현재 연결성의 제한 요인을 파악하는데 유용한 도구로서 이용될 것으로 생각된다.

핵심어: 격리된 홍수터, 지리정보시스템, 토지이용, 하천, 횡적 연결성

*Corresponding author: khcho@inha.ac.kr, ORCID 0000-0003-4546-3546

© Korean Society of Ecology and Infrastructure Engineering. All rights reserved.

This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서론

경관에서 연결성은 경관 구성요소 사이에서 에너지, 물질 및 생물이 이동하는 것으로 정의할 수 있다 (Ward et al. 2002). 하천 경관에서 4차원 모델은 하천의 연결성을 설명하는데 유용하다 (Ward 1989, Jansson et al. 2007). 이 4차원 모델은 (1) 하천 수로를 따른 흐름 (종적), (2) 수로와 홍수터 그리고 육역 사이의 흐름 (횡적) 및 (3) 수로와 지하수 사이의 흐름 (수직적)의 3가지 공간 차원과 (4) 이들의 시간적 변화인 시간 차원을 포함한다. 이 중에서 횡적 연결성은 하천 생태계에서 홍수터와 직접적으로 관련되기 때문에 생태적으로 더욱 중요하다. 홍수터는 홍수 유수가 범람하는 곳으로 육상과 물 환경의 전이대이다 (Thoms 2003). 하천에서 홍수 파동에 의해 하천 수로와 홍수터가 횡적으로 연결되고, 홍수터와 수로 사이에 물을 포함하는 물질, 에너지 및 생물의 교환이 이루어진다 (Junk et al. 1989). 따라서 홍수 파동에 의해 홍수터에 유기물과 영양물질이 공급이 원활히 이루어질 뿐 아니라 다양한 생물에게 서식지와 먹이를 제공하는 홍수터는 생물 다양성이 높고 많은 생태계서비스를 제공한다 (Ward et al. 1999, Opperman et al. 2010).

우리나라에서는 하천변의 평탄한 홍수터를 경작지, 주거지, 산업지 등으로 이용하여 왔고, 개발된 지역을 홍수 재해로부터 보호하기 위하여 1960년대부터 수로 직강화, 제방 축조 등으로 하천을 개수하였다 (Lee and Yu 2001, Woo 2010, Hong et al. 2012). 이렇게 정비된 하천에서는 제방에 의하여 하천 수로와 홍수터가 단절되었다. 제방에 의하여 격리된 제내지 홍수터는 수로와의 횡적 연결성이 완전히 차단되거나 제방에 설치된 통문이나 통관을 통하여 제한된 방식으로 연결성이 허용된다. 제방에 의하여 횡적 연결성이 끊어지면 하천 공간 범위의 축소, 침수 범람의 제한, 물질과 생물의 제한적인 이동으로 인하여 옛홍수터의 생물다양성과 생태계서비스가 감소된다 (Brooker 1985, Gergel 2002, Follner et al. 2010).

현재 수로와 홍수터 사이의 횡적 연결성을 회복하는 다양한 생태복원 프로젝트를 시도하고 있다. 예를 들어, 유럽에서는 1990년대 중반에 Upper Rhine의 Rheinvorland-Süd와 Garonne의 Bourret (Moss and Monstadt 2008) 그리고 Lenzen 근처의 Elbe 강 (Moss

2007)에서 홍수터 복원 사업이 이루어졌다. 미국에서는 메릴랜드 Chesapeake 만 유역과 일리노이 강의 Emiquon 보호지에서 홍수터가 복원되었다 (Hassett et al. 2007, Hine et al. 2017). 물론 기후의 우리나라에서는 격리된 홍수터에서 수로 사이의 횡적 연결성을 복원하는 노력은 아직 초기 단계에 있다. 단지 제방 후퇴에 의하여 구하도와 홍수터를 복원하려는 시도가 함평천, 황구지천 및 청미천에서 이루어 졌다 (Kim and Choi 2019). 하천의 횡적 연결성을 보전, 복원하기 위하여 먼저 격리된 홍수터의 생태성과 수로와의 연결성을 평가하는 기술이 필요하다. 따라서 본 연구의 목적은 GIS를 이용하여 하천 횡적연결성을 간편하게 평가하는 기법을 개발하고 유역의 토지이용이 다양한 청미천에 적용하여 향후 하천 홍수터와 구하도 복원 사업 계획에 기여하는데 있다.

2. 조사지 개황

본 연구의 연구대상 하천인 청미천은 용인시 원삼면 사암리 어두니 고개에서 발원하여 안성시 일죽면, 이천시 장호원읍을 지나 경기, 강원, 충북의 3도가 접하는 여주군 점동면 삼합리에서 남한강으로 합류한다 (MLTMA 2011). 이 하천의 하천연장은 60.7 km이고 유역면적은 595.1 km²이다. 청미천 유역의 토지이용은 임야가 299.5 km²와 농경지가 187.2 km²로서 이들이 전체 유역의 82%를 차지하여 주로 농촌지역을 지나서 흐르고 있다. 청미천은 중부지방에서 대표적인 모래하천이다.

청미천에서는 1954년부터 지속적으로 하천개수 사업을 시행하였는데, 특히 90년대 후반에 수 차례의 홍수를 겪으며 유역 전반에서 수해복구사업으로서 하천개수가 최근까지 진행되고 있다 (MLTMA 2011). 청미천에서 제방필요 연장은 39.5 km이며, 이 중에서 완성 제방 9.0 km 및 미완성제방 30.5 km로 하천의 모든 구간에 제방이 설치되어 있다 (MLTMA 2011). 따라서 현재 청미천은 대부분의 수로가 직강화되었고 제방이 축조되어 제내지에서 과거의 하천 공간이 대부분 농경지와 주거시설로 이용되고 있다.

본 연구에서 횡적연결성 평가를 위한 조사구간은 청미천의 국가하천 구간으로서 충청북도 음성군 갑곡면 원당리로부터 남한강의 합류지점인 경기도 여주시 점

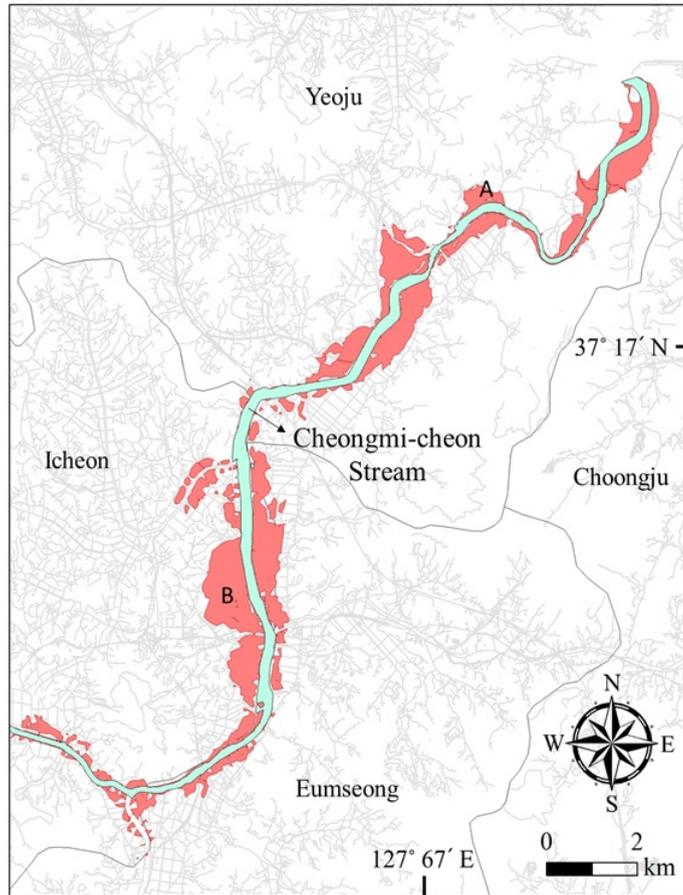


Fig. 1. The former floodplains delineated for the GIS-based assessment of the lateral connectivity in the Cheongmi-cheon Stream, South Korea (Capital letters of A and B indicate the selected sites in Fig. 2 (f) and Fig. 3).

동면 도리까지 총 25 km이다 (Fig. 1). 이 구간의 하천폭은 125 - 250 m이었고 제외지는 복단면으로 정비되어 있으나 직강화된 제방 안의 저수로는 비교적 자유롭게 흐르고 있다. 수로와 연결된 제외지 고수부지와 대부분의 저수로 사주에는 식생이 침입하여 번무하고 있다 (Jin and Cho 2016). 제방에 의하여 수로로부터 전적으로 또는 부분적으로 차단된 제내지 홍수터는 대부분 개발이 되어 농경지, 주거지 등으로 이용되고 있다.

3. 연구방법

3.1 옛홍수터 경계 설정 및 토지이용 분석

본 연구에서는 하천 횡적 연결성을 하천 수로와 옛홍수터 (former floodplain) 사이의 물, 물질, 에너지 및 생물의 이동 연결성으로 정의하였다. 따라서 옛홍수터는

하천기본계획 수립 시 이용되는 홍수 범람영역 생성 방법 (Choi 2012)에 따라서 계획홍수위 보다 낮은 제내지 지형으로 정의하고 이 지역의 경계를 GIS를 이용하여 획정하였다 (Jin et al. 2015, Jin et al. 2017). 먼저 옛홍수터의 경계를 설정하기 위하여 하천 중심선에서 양안의 횡방향으로 각각 1.5 km의 범위에서 하천 지류를 제외한 제내지를 대상지로 지정하였다. 이 범위의 수치표고 모델 (digital elevation model, DEM)에서 30년 빈도 홍수위로 침수되는 제내지 공간을 구획하여 이 곳을 옛홍수터로 간주하였다 (Table 1). 과거 제방이 없었던 시기에는 현재보다 홍수위가 낮게 형성되었을 가능성이 높으므로, 청미천과 낙동강에서 옛홍수터의 경계를 설정한 선행연구의 결과에 따라서 하천기본계획에서 빈도별 홍수위 중 가장 낮은 30년 빈도의 홍수위를 이용하였다 (Jin et al. 2015, Jin et al. 2017). 특히 탐색된 옛홍수터 중에서 그 면적이 분석에 이용된 수치표고 모

Table 1. Input data for GIS-based assessment of the lateral connectivity in the Cheongmi-cheon Stream, South Korea

Input data	Source	Details
Stream geomorphology	1:5,000 digital map (http://www.ngii.go.kr)	Layer code: N3L_C0050000, Layer code: N3A_G0022313
Flood level	Basic plan for the Cheongmi-cheon Stream (MLTMA 2011)	30-year frequency flood level
Land use	Land cover map (http://www.wamis.go.kr)	Land cover map in 2005

Table 2. Metrics for the GIS-based assessment of the lateral connectivity (Cho 2019)

Category	Metrics	Criterion	Score
Habitat quality of the former floodplain outside the levee	Existence of remaining wetlands	Presence	1
		Absence	0
	Land use ratio weighted with the area (range 0 - 1)	Waterbody, wetlands, forest	1
		Grassland	0.7
		Bare land	0.5
		Paddy field	0.4
		Dry field	0.3
		Urbanized area	0
Connectivity	Existence of artificial levee barrier	Absence	1
		Presence	0
	Connectivity to the stream	Mean relative Euclidean distance to the nearest urbanized area	0 - 1
	Connectivity to the upland natural habitats	1 - Mean Euclidean distance to the nearest natural habitat	0 - 1

텔의 격자(raster) 크기 (30 m x 30 m = 900 m²)보다 작은 곳은 분석에서 제외하였다.

이렇게 탐색, 구획된 제내지의 격리된 옛홍수터에서 토지이용 현황은 국가수자원 관리종합정보 시스템 (<http://www.wamis.go.kr>)에서 제공하는 공간해상도 30 m x 30 m 의 격자 형태의 대분류 토지피복도(2005년)를 이용하여 파악하였다(Table 1). 토지피복도에서 토지이용 현황은 수역, 시가지지역, 나지, 습지, 초지, 산림, 논 밭밭으로 분류하였다(Jin et al. 2017). 모든 공간자료 분석은 GIS 소프트웨어 (ESRI, ArcGIS 9.3)를 이용하였다.

3.2 횡적 연결성 평가

청미천에서 제내지 옛홍수터의 경계를 구한 후에 차단된 제내지 홍수터와 하천 본류간의 횡적 연결성을 GIS를 기반으로 평가하였다. 횡적 연결성 평가 항목은 크게 제내지 서식지 환경과 연결성으로 구분하였다(Table 2). 제내지 옛홍수터의 서식지 환경은 (1) 습지

유지 여부와 (2) 토지이용 특성으로 구분하였고, 연결성 항목은 (3) 제방 차단 여부, (4) 하천과의 연결성 및 (5) 육상 자연서식지와와의 연결성으로 다시 구분하였다.

제내지의 서식지 환경 평가에서 (1) “습지 유지 여부” 평가항목은 차단된 제내지 홍수터의 잠재적 수리 연결성을 반영하는 것으로 대표적인 제내지 홍수터 환경인 습지 잔존 여부로서 평가하였다. 습지의 잔존 여부는 수치지형도 혹은 토지피복도에서 습지로 분류된 지역으로 판단하거나 항공사진 (2016년 촬영)을 이용하여 면적이 900 m² 이상이고 육안으로 확인이 가능한 습지의 잔존 여부를 확인하였다. 또한(2) “토지이용 특성” 평가항목으로서 옛홍수터 서식지의 질을 평가하였다. 즉 제내지 옛홍수터에서 토지이용은 해당 공간의 생태적 기능과 훼손, 교란 정도를 반영하는 것으로 간주하였다. GIS를 이용하여 대상지의 토지이용을 생태적 서식지 가치에 따라서 0 - 1 범위로 점수를 부여하고 해당 토지이용 유형별 면적을 가중치로 하여 평균값을 산출하였다 (Table 2).

Table 3. Grade for the GIS-based assessment of the lateral connectivity

Grade	Total score
Very good	2.50 - 5.00
Good	2.00 - 2.49
Fair	1.50 - 1.99
Poor	1.00 - 1.49
Very poor	0 - 0.99

연결성 평가항목 중에서 연결 장애물인 (3) “제방 차단 여부” 평가항목은 횡적연결성의 결정적인 장애요인인 인공제방이 축조된 유무로서 평가하였다. 즉 인공제방의 축조된 경우에 횡적 연결성의 불량한 것으로 간주하였다. 한편 (4) “하천과의 연결성” 평가항목은 옛홍수터가 시가지지역에 의하여 하천과의 연결성이 차단 될 것으로 가정하여 해당 옛홍수터의 각 격자로부터 가장 인접한 시가지지역까지의 거리를 유클리드 거리계산법으로 산출하였다. 계산된 거리 중에서 최대거리를 찾고 각 격자의 거리를 최대거리로 나누어서 0 - 1 범위의 상대값으로 구하였다. 결국 옛홍수터가 횡적연결성의 차단 공간인 시가지지역과의 상대거리가 가까울수록 하천과의 연결성이 낮은 것으로 생각할 수 있다. 또한 (5) “육상 자연서식지와의 연결성” 평가항목은 제내지 옛홍수터로부터 생물 서식지로 이용될 수 있는 인근의 자연지역까지의 거리가 가까울수록 육상 서식지와 하천을 오가는 생물의 이동과 물질 교환이 용이할 것으로 생각하였다. 따라서 옛홍수터의 각 조사 격자로부터 인근 산지, 습지, 수역의 자연서식지까지의 거리를 유클리드 거리 공식으로 계산하였다. 이 거리의 최대값을 찾아서 이 최대값에 대한 각 격자의 상대적 거리 (범위

0 - 1)를 구하고 이 거리를 1에서 빼서 육상 자연서식지와의 연결성을 산출하였다.

이상의 모든 결과는 격자의 래스터 파일로 작성되었으며, ArcGIS의 래스터 계산기 (raster calculator)를 이용하여 각 격자의 값을 더하여 중첩하였으며, ArcGIS의 toolbox 기능 중 “zonal statistics”를 이용하여 각 옛홍수터 다각형 (polygon)에 해당하는 격자들의 평균값을 계산하여 연결성 평가 결과를 산출하였다. 결과적으로 5개 평가항목의 총점은 0 - 5의 범위이고 그 값이 클수록 횡적 연결성이 좋은 것을 나타낸다. 이 총점의 범위를 등간격으로 나누어 횡적 연결성을 “매우 좋음”, “좋음”, “보통”, “나쁨” 및 “매우나쁨”의 5등급으로 구분하였다 (Table 3). 이상의 횡적연결성 원격방법에 대한 상세한 평가과정은 Cho (2019)에서 찾을 수 있다.

4. 결과 및 논의

청미천 국가하천 구간의 양안으로부터 1.5 km 범위에서 총 107개의 제내지 옛홍수터를 탐색하였다 (Fig. 1). 이 옛홍수터의 서식지 질 평가에서 “습지 유지” 평가항목은 총 107개 옛홍수터 중에서 10개의 홍수터에서 습지가 잔존하여 조사구간 전체에서 각 홍수터의 면적을 가중치로 구한 가중평균이 0.03점 (만점 1점)에 지나지 않았다 (Fig. 2 (a) 및 Table 4). 잔존 습지가 존재하는 옛홍수터는 대체로 그 면적이 넓고 배수 펌프가 설치된 유수지에 습지가 남아 있는 곳이 많았다. 한편 청미천 평가구간 옛홍수터의 토지이용은 주로 시가지와 논이었으며, “토지이용도” 평가항목으로 평가한 서식지 질은 가중평균 0.07 (만점 1)이었다 (Fig. 2 (b) 및 Table 4). 이상 2개 평가항목으로 평가하는 옛홍수터의 서식지

Table 4. Area-weighted mean values of the metrics of lateral connectivity in the Cheongmi-cheon Stream, South Korea (n=107)

Category	Metrics	Mean±SD
Habitat quality of the former floodplain outside the levee	Existence of remaining wetlands	0.03 ± 0.16
	Land use ratio	0.07 ± 0.17
	Subtotal	0.10 ± 0.15
Connectivity	Existence of artificial levee barrier	0
	Connectivity to the stream	0.08 ± 0.19
	Connectivity to the upland natural habitats	0.04 ± 0.13
	Subtotal	0.12 ± 0.14
Total		0.22 ± 0.14

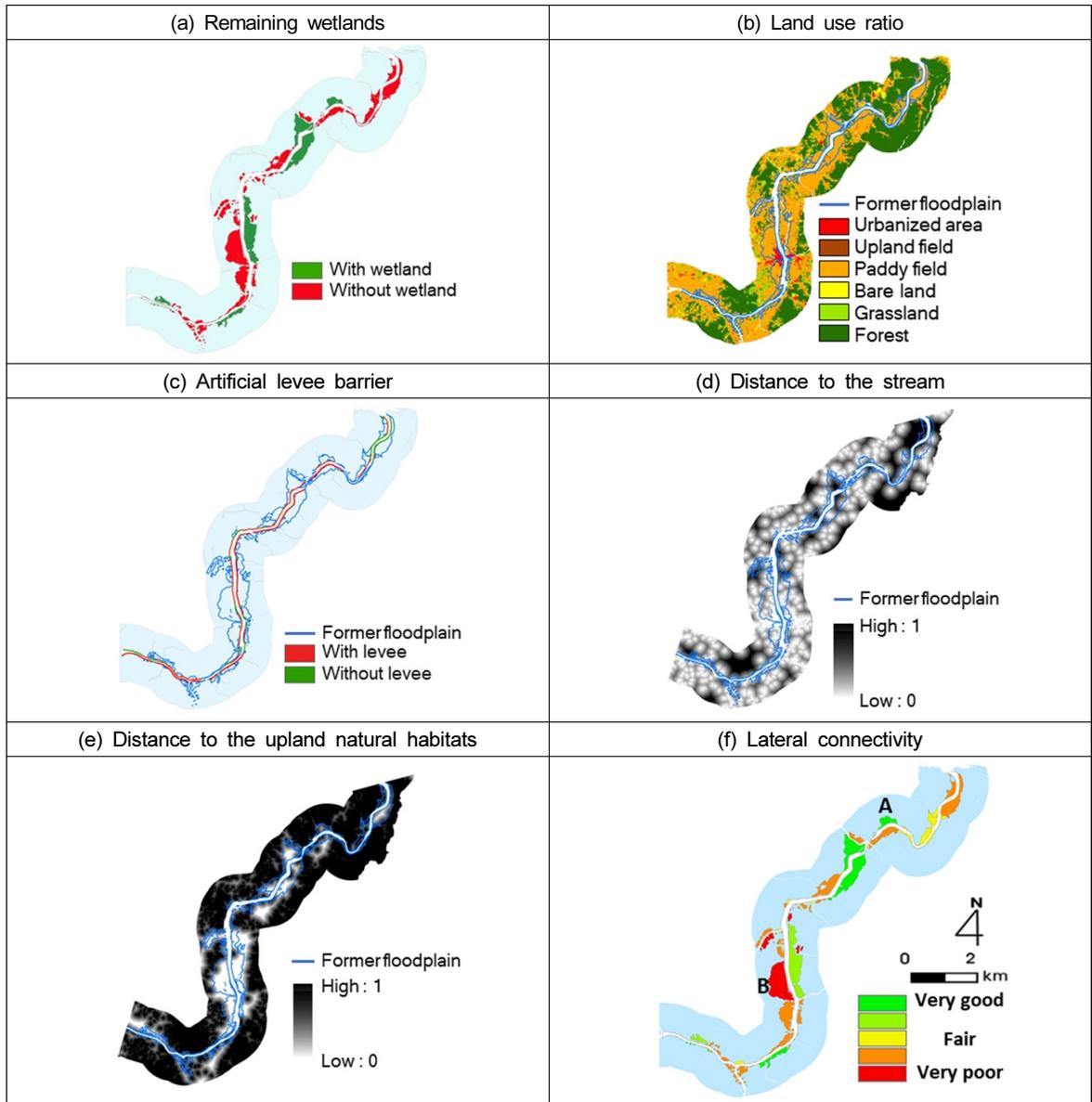


Fig. 2. Results of the GIS-based assessment of the lateral connectivity in in the Cheongmi-cheon Stream, South Kore (Capital letters of A and B in f indicate the selected sites in Fig. 3).

질은 2점 만점에 0.10으로 산정되었다 (Table 4). 넓은 면적의 옛홍수터는 현재 논으로 이용되고 있는데, 논은 인공 습지로서 간주할 수 있기 때문에 자연 홍수터의 서식지의 기능을 일부 담당할 수 있을 것으로 생각된다 (Yoon 2009, Natuhara 2013).

하천의 횡적 연결성의 연결성 평가는 제방 차단성, 하천과의 연결성 및 육상 자연서식지와와의 연속성으로 평가하였는데, 이 중에서 청미천에서 “제방 차단성”은 모든 구간에서 연결성이 0 (만점 1) 점이었다 (Fig. 2 (c)

및 Table 4). 이는 청미천의 국가하천 구간은 인공 제방이 완전하게 구축되어 있었는데, 제방 축조는 하천의 횡적 연결성을 훼손하는 가장 중요한 요인이라고 알려져 있다 (Thoms 2003, Wohl 2017). 그러므로 현재 청미천은 원천적으로 인공 제방에 의하여 횡적 연결성이 크게 훼손되고 있다고 할 수 있다. 옛홍수터가 시가화 지역으로 차단되는 “하천과의 연속성”은 면적 가중평균 0.08 (만점 1) 점이었다 (Fig. 2 (d) 및 Table 4). 또한 옛홍수터가 육역의 자연환경과 연결되는 “육상 자연서

Table 5. Results of the lateral connectivity in the Cheongmi-cheon Stream, South Korea

Grade	Numbers of the former floodplains	Area of the former floodplains (km ²)
Very good	6	1.45
Good	10	1.63
Fair	26	3.34
Poor	54	2.85
Very poor	11	2.60

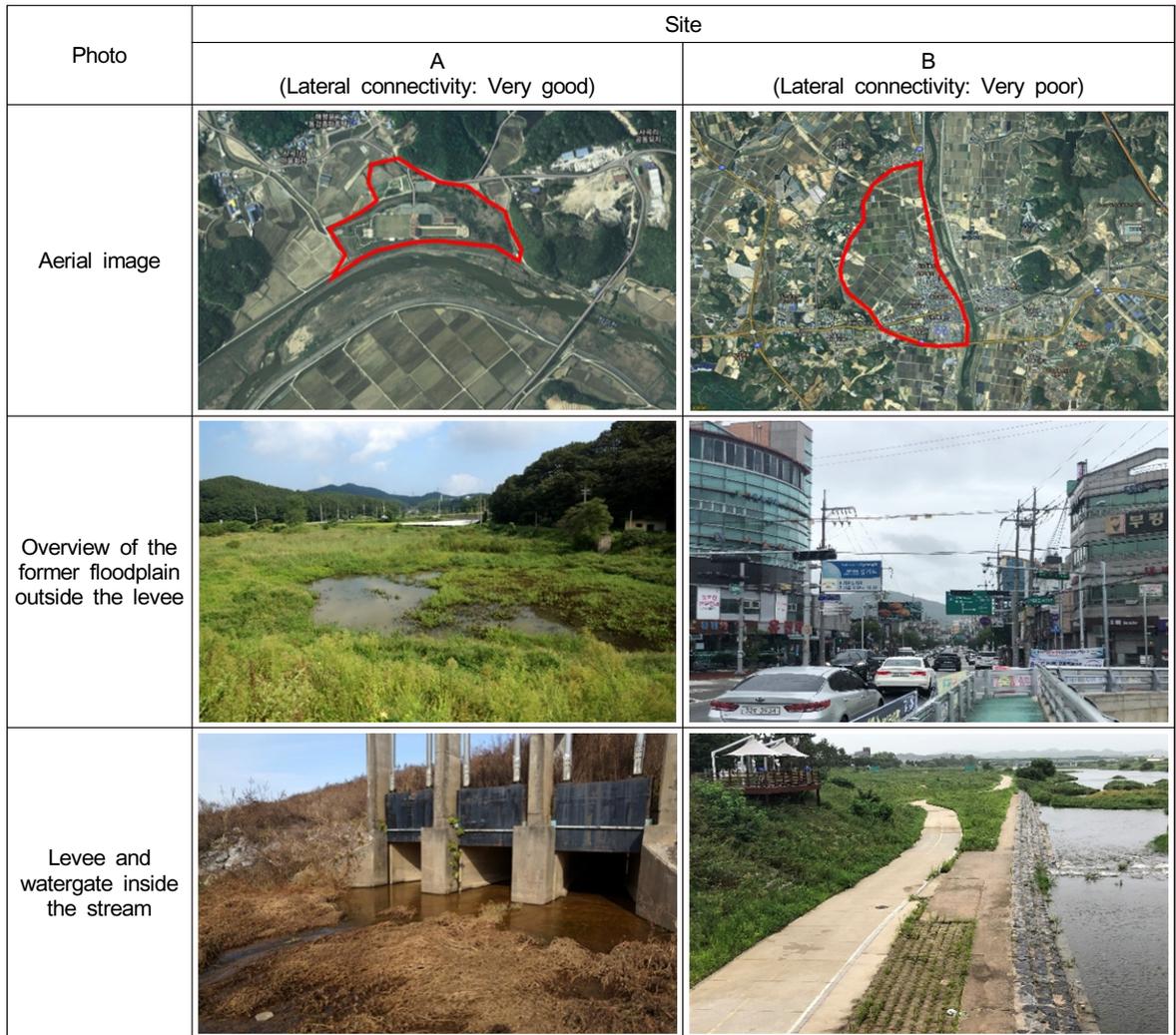


Fig. 3. Photographs of the selected study sites (A and B in Fig. 1 and Fig. 2 (f)) for the GIS-based assessment of the lateral connectivity in the Cheongmi-cheon Stream, South Korea.

식지와와의 연속성”은 0.04 (만점 1)점이었다 (Fig. 2 (e) 및 Table 4). 3개의 평가항목으로 평가한 연결성은 만점 3점에 0.12에 지나지 않았다 (Table 4).

이상에서 살펴본 5개 평가항목의 총점으로 추정하는 청미천의 횡적 연결성은 면적 가중평균 0.22 (만점

5)으로 매우나쁨 등급이었다 (Fig. 2 (f) 및 Table 4). 평가총점으로 5단계로 구분한 청미천의 횡적 연결성은 “나쁨” 등급이 107개 옛홍수터 중에서 54개 (50%)이었고 총면적 11.87 km² 중에서 2.85 km² (24%)이었다 (Table 5). 한편 “매우좋은” 등급은 6개 (6%) 옛홍수터

의 총 1.45 km² (12%)이었다. 따라서 “매우 좋음” 등급의 옛홍수터는 비교적 그 면적이 넓은 곳이었다. 예를 들면, 횡적 연결성이 가장 우수한 옛홍수터는 경기도 여주시 점동면 사곡리에 위치한 곳으로서 대규모의 유수지 습지가 확보되어 있고 토지는 주로 논과 산림으로 이용되고 있었으며 통문을 통하여 제내지와 제외지의 수로가 단차 없이 연결되어 있었다 (Fig. 3의 Site A). 반면에 “매우 나쁨” 등급의 옛홍수터는 경기도 이천시 장호원을 장호원리에 위치한 곳으로 대규모의 시가지화 지역이 분포하고, 잔존하는 습지가 없고 자연 서식지와 거리가 멀리 떨어진 지역이었다 (Fig. 3의 Site B). 또한 이곳에서는 제외지의 고수부지가 도로와 친수공간으로 이용되고 있었고 저수로에는 호안 공사가 이루어져 있었다.

5. 결론

본 연구에서는 제방에 의하여 격리, 차단된 옛홍수터 공간을 대상으로 GIS를 이용하여 하천의 횡적 연결성을 평가하는 방법을 개발하여 청미천의 국가하천 구간에 적용하였다. 횡적연결성은 하천의 수로와 홍수터 사이의 물질과 생물의 이동을 나타내므로 본 연구에서 개발한 평가법은 수로, 홍수터, 육상생태계 사이의 연결성과 홍수터의 자연보전성으로 나누어 평가하였다. 우리나라의 대부분의 하천에서 제방이 축조되어 횡적연결성의 심각한 장애요소가 되고 있고 과거 홍수터는 제내지로 토지이용이 되고 있어서 홍수터의 기능이 저하되어 있다. 따라서 이를 반영할 수 있는 횡적연결성 평가항목을 옛홍수터 습지 유지 여부, 옛홍수터 토지이용도, 제방 차단성, 하천과의 연결성 및 육상 자연서식지와 연결성의 5개 평가로 선정하였다.

개발된 횡적연결성 원격 평가법을 중부지방의 대표적인 하천인 청미천에 적용한 결과 청미천의 제내지 옛홍수터는 제방 축조와 토지이용 변화로 전반적으로 횡적연결성이 크게 훼손되어 있었다. 한편 일부 제내지 옛홍수터는 홍수터 습지가 잔존하고 하천과 육상서식지로의 연결성이 확보되어 횡적연결성이 양호한 곳도 존재하였다. GIS 원격 평가법에 의하여 청미천의 옛홍수터의 횡적 연결성이 다양한 수준으로 평가되었고, 이러한 평가 결과는 현장에서 직관적으로 검토한 결과와 비교적 잘 부합되었다. 본 연구에서 개발된 횡적연결성 원격 평가법은 앞으로 다양한 하천 환경에 적용하고,

현장에서 직접 횡적연결성을 평가하는 방법과 생물에 대한 모니터링을 병행하여 이들 결과를 상호 비교하여 원격평가법을 보완, 개선하여야 할 것으로 생각된다.

현재 청미천은 불완전개수를 포함한 개수율이 100%에 달하여 (MLTMA 2011), 제방에 의하여 근본적으로 횡적연결성이 매우 낮은 상태에 있다. 그러나 일부 제내지 옛홍수터는 습지를 포함하고 있고 산지에 둘러싸여 있으며 도심지를 포함하지 않아서 제내지 횡적연결성 복원의 우선순위가 높을 것으로 평가되었다. 개수된 하천을 자연성이 높은 하천생태계로 복원하기 위하여, 제방을 철거하거나 높이를 낮추거나 후퇴하는 방법이나 제방의 통문과 배수통관의 개량하는 방법 등과 같은 횡적연결성 회복 기법을 도입할 수 있을 것으로 생각된다 (Reckendorfer et al. 2013, Chu et al. 2019). 이러한 횡적연결성 복원 방안을 적용하기 위하여 먼저 현재의 횡적연결성을 평가하는 것이 선행되어야 하며, 이러한 평가에서 본 연구에서 개발한 GIS 기반 횡적연결성 평가법이 좋은 도구가 될 것이라고 생각한다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 건설기술혁신사업의 연구비 지원 (12기술혁신C02)에 의해 수행되었습니다.

References

- Brooker, M.P. 1985. The ecological effects of channelization. *The Geographical Journal* 151: 63-69.
- Cho, K.H. 2019. Guideline for the Assessment and Diagnosis System of the Connectivity in the Isolated/blocked Landside floodplain (1) - Assessment Method of the Isolated/blocked Riverine Environments. Technical Report of the Research Center of ‘Technology Development for Ecological Rivers: Where Humans and Nature Coexist’, No 11, Inha University and Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Incheon, Korea. (in Korean)
- Choi, E.H. 2012. A study on the Automatic Generation for River Flooding Area Using GIS. Master Thesis, Pukyong National University, Busan, Korea. (in Korean)
- Chu, Y., Jin, S.N., Alday, J.G., Marrs, R.H., and Cho, K.H. 2019. Hydrologically connected and isolated floodplains in channelized streams: impacts on plant communities under a temperate monsoonal climate. *Hydrobiologia* 834: 183-197.
- Follner, K., Hofacker, A., Glaeser, J., Dziocck, F., Gerisch,

- M., Foeckler, F., Ilg, C., Schanowski, A., Scholz, M., and Henle, K. 2010. Accurate environmental bioindication in floodplains in spite of an extreme flood event. *River Research and Applications* 26: 877-886.
- Gergel, S.E. 2002. Assessing cumulative impacts of levees and dams on floodplain ponds: A neutral-terrain model approach. *Ecological Applications* 12: 1740-1754.
- Hassett, B.A., Palmer, M.A., and Bernhardt, E.S. 2007. Evaluating stream restoration in the Chesapeake Bay Watershed through practitioner interviews. *Restoration Ecology* 15: 563-572.
- Hine, C.S., Hagy, H.M., Horath, M.M., Yetter, A.P., Smith, R.V., and Stafford, J.D. 2017. Response of aquatic vegetation communities and other wetland cover types to floodplain restoration at Emiquon Preserve. *Hydrobiologia* 804: 59-71.
- Hong, I., Kang, J.G., Kang, S.J., and Yeo, H.K. 2012. Functional assessment for preservation and restoration of wetland-type old river channel: Mangyoung River. *Journal of Korean Society of Civil Engineers* 32: 213-220. (in Korean)
- Jansson, R., Nilsson, C., and Malmqvist, B. 2007. Restoring freshwater ecosystems in riverine landscapes: the roles of connectivity and recovery processes. *Freshwater Biology* 52: 589-596.
- Jin, S.-N. and Cho, K.-H. 2016. Expansion of riparian vegetation due to change of flood regime in the Cheongmi-cheon Stream, Korea. *Ecology and Resilient Infrastructure* 3: 322-326. (in Korean)
- Jin, S.-N., Cho, K.-H., and Cho, H.-J. 2015. Delineation and land use analysis of the isolated former floodplain in the Nakdong River, Korea. *Ecology and Resilient Infrastructure* 2: 324-329. (in Korean)
- Jin, S.-N., Cho, K.-H., and Cho, H.-J. 2017. Delineation and land use analysis of the former floodplains isolated by levees in the Cheongmi-cheon Stream, Korea. *Ecology and Resilient Infrastructure* 4: 97-104. (in Korean)
- Junk, W., Bayley, P.B., and Sparks, R.E. 1989. The flood pulse concept in river-floodplain systems. Dodge, D.P. (ed.), *Proceedings of the International Large River Symposium (LARS)*, Canadian Special Publication of Fisheries and Aquatic Sciences 106: 110-127.
- Kim, S.K. and Choi, S.-U. 2019. Evaluation of the impact of abandoned channel restoration on *Zaco platypus* habitat using the physical habitat simulation: A case study of the Cheongmi-cheon Stream in Korea. *Ecology and Resilient Infrastructure* 6: 101-108. (in Korean)
- Lee, C.S. and Yu, Y.H. 2001. Development and outlook of restoration ecology as an ecology for the future. *Korean Journal of Ecology* 24: 191-202. (in Korean)
- MLTMA. 2011. Basic Plan for the Cheongmi-cheon Stream. Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, Gwacheon, Korea. (in Korean)
- Moss, T. 2007. Institutional drivers and constraints of floodplain restoration in Europe. *International Journal of River Basin Management* 5: 121-130.
- Moss, T. and Monstadt, J. 2008. *Restoring Floodplains in Europe: Policy Contexts and Project Experiences*. IWA Publishing, London, UK.
- Natuhara, Y. 2013. Ecosystem services by paddy fields as substitutes of natural wetlands in Japan. *Ecological Engineering* 56: 97-106.
- Opperman, J.J., Luster, R., McKenny, B.A., Roberts, M., and Meadows, A.W. 2010. Ecologically functional floodplains: connectivity, flow regime, and scale. *Journal of the American Water Resources Association* 46: 211-226.
- Reckendorfer, W., Funk, A., Gschöpf, C., Hein, T., and Schiemer, F. 2013. Aquatic ecosystem functions of an isolated floodplain and their implications for flood retention and management. *Journal of Applied Ecology* 50: 119-128.
- Thoms, M.C. 2003. Floodplain-river ecosystems: Lateral connections and the implications of human interference. *Geomorphology* 56: 335-349.
- Ward, J.V. 1989. The four-dimensional nature of lotic ecosystems. *Journal of the North American Benthological Society* 8: 2-8.
- Ward, J.V., Tockner, K., and Schiemer, F. 1999. Biodiversity of floodplain river ecosystems: ecotones and connectivity. *Regulated Rivers: Research and Management* 15: 125-139.
- Ward, J.V., Tockner, K., Arscott, D.B., and Claret, C. 2002. Riverine landscape diversity. *Freshwater Biology* 47: 517-539.
- Wohl, E. 2017. Connectivity in rivers. *Progress in Physical Geography* 41(3): 345-362.
- Woo, H. 2010. Trends in ecological river engineering in Korea. *Journal of Hydro-environment Research* 4: 269-278.
- Yoon, C.G. 2009. Wise use of paddy rice fields to partially compensate for the loss of natural wetlands. *Paddy and Water Environment* 7(4): 357-366.