Ecology and Resilient Infrastructure (2023) 10(4): 143-160
https://doi.org/10.17820/eri.2023.10.4.143

http://www.kseie.or.kr/
Online ISSN: 2288-8527

ORIGINAL ARTICLE

내성천 유역 하천의 물리 서식지 특성 평가

Assessment of Physical Habitats Characteristics in Naeseongcheon Basin Streams, Korea

김기흥[1]* · 정혜련[2] · 홍일[3] · 여홍구[4]

[1]경상국립대학교 건설시스템공학과 교수, [2]경상국립대학교 건설시스템공학과 연구원,
[3]한국건설기술연구원 수자원하천연구본부 수석연구원, [4]한국건설기술연구원 수자원하천연구본부 선임연구위원

Ki Heung Kim[1]*, Heareyn Jung[2], Il Hong[3] and Hong Koo Yeo[4]

[1]Professor, Department of Civil and Infrastructure Engineering, Gyeongsang National University, Jinju 52725, Korea
[2]Researcher, Department of Civil and Infrastructure Engineering, Gyeongsang National University, Jinju 52725, Korea
[3]Senior researcher, Department of Hydro Science and Engineering Research, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Goyang 10223, Korea
[4]Senior research fellow, Department of Hydro Science and Engineering Research, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Goyang 10223, Korea

Received 4 December 2023, revised 12 December 2023, accepted 12 December 2023, published online 31 December 2023

ABSTRACT: This study applied the stream physical habitat assessment system to obtain basic information for river restoration and watershed management in high-gradient and mid-gradient streams in the Naeseongcheon basin. The total length of high-gradient and mid-gradient streams in the Naeseongcheon basin is about 273 km, and as a result of the assessment, it was analyzed that suboptimal reach was about 8.2 km, normal reach was 180.3 km, and marginal reach was 84.7 km. In addition, the physical habitat quality of high-gradient streams was analyzed to be normal condition with an average of 106 points (53%), and in particular, the score of channel/hydraulic category, which is the most important for the habitat of aquatic animals, was analyzed to be normal, close to the limit, with an average of 54 points (45%). The physical habitat quality of mid-gradient streams was found to be in normal condition with an average of 90 points (45%), and the score of channel/hydraulic category was in marginal condition with an average of 39 points (32%). Overall, among 165 reaches of high-gradient and mid-gradient streams in the Naeseongcheon basin, 4 reaches (3%) were evaluated as suboptimal, 119 reaches (72%) were normal, and 42 reaches (25%) were considered marginal. These results showed that the physical habitat of Naeseongcheon was significantly disturbed. Disturbance of stream physical habitat in the Naeseongcheon basin occured due to farmland around stream, urbanization, reservoir construction, and river maintenance.

KEYWORDS: Channel/hydraulic category, Disturbance, High-gradient, Mid-gradient, Stream restoration

요 약: 본 연구는 내성천 유역의 급경사 및 중경사 하천에 하천복원 및 유역관리를 위한 기본 정보를 얻기 위해 하천의 물리 서식지 평가체계를 적용했다. 평가결과 내성천 유역의 급경사 및 중경사 하천 총연장은 약 273 km이며, 이 중에서 우수 약 8.2 km, 보통 180.3 km, 한계 84.7 km인 것으로 분석되었다. 또한 급경사 하천 전체의 물리 서식지 질은 평균 106점 (53%)으로 보통 등급이며, 특히 수서 동물의 서식처에 가장 중요한 하도/수리 영역은 평균 54점 (45%)으로 한계상태에 가까운 보통 등급인 것으로 분석되었다. 중경사 하천 물리 서식지 질은 평균 90점 (45%) 보통 등급이며, 하도/수리 영역 평균 39점 (32%) 한계상태로 나타났다. 전반적으로 내성천 유역의 급경사 및 중경사 하천 165개 구간 중 우수 4개 (3%), 보통 119개 (72%) 및 한계 42개 (25%) 구간으로 평가되었다. 이러한 결과는 내성천의 물리 서식지가 상당히 교란되었음을 보여준다. 내성천 유역의 하천 물리 서식지 교란은 하천주변의 경작지, 도시화, 저수지 건설 및 하천정비 등으로 발생하였다.

핵심어: 하도/수리 영역, 교란, 급경사, 중경사, 하천복원

***Corresponding author:** khkim1@gnu.ac.kr, ORCID 0009-0001-4255-4373

ⓒ 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. 서 론

하천 서식지는 하천내 생물군에 환경을 제공하는 지역의 물리적, 화학적 및 생물학적 특징으로 정의되며 (Jowett 1997), 하천의 건강성을 평가할 때 물리적 하천 서식지를 평가하는 것이 중요하다 (Maddock 1999). 또한, 생태계를 위한 하천 서식지를 회복하고 복원하는 것은 하천 복원의 핵심 단계이다 (Lee et al. 2010). 최근에는 하천 건강성의 중요성에 대한 인식이 높아지면서 다양한 서식지 평가방법에 대한 많은 연구가 수행되었다.

하천 서식지 평가방법은 일반적으로 두 그룹으로 분류할 수 있다. 첫 번째 그룹은 부분적 내지 거시적 규모의 평가 및 지도제작을 포함하며, 원격탐사 기술을 사용하기도 한다 (Gillenwater et al. 2006, Dong et al. 2013). 이러한 접근방식은 지리정보시스템 (GIS)의 공간분석 및 원격탐사 이미지 데이터를 기반으로 한다. 생물에 영향을 미치는 주요 서식지 환경요소를 선정, 추출하고, 지역규모의 공간분석을 통해 서식지의 질을 결정한다. 두 번째 그룹의 접근방식은 현장 조사에 의존하며 현장 데이터 수집을 기반으로 한다. 조사된 지표에는 하도 특성, 수변 특성, 현장에서 쉽게 관찰하고 측정할 수 있는 하천 인접 토지이용 등이 포함되는 경우가 많다. 두 가지 접근방식을 비교하면 두 번째 방법이 하천 상태의 모든 측면을 고려하지는 않지만 특정 속성에 초점을 맞추기 때문에 더 간단하고 구간 규모에서 하천 서식지 질 (River Habitat Quality : RHQ)에 대한 더 자세한 정보를 제공한다고 할 수 있다.

대부분 평가체계는 다양한 구성 요소를 포함하며 하천 서식지 질 평가에 통합된다. 예를 들어 EU에서 사용되는 영국의 정성적 평가 (SEPA 2003)와 독일의 정량적 평가 (LAWA 2002)가 있으며, 미국에서는 Rapid Bioassessment Protocol (EPA 2004)가 사용되고 있다. 또한 호주에서 사용되는 AusRivAS는 영국과 미국의 평가시스템을 통합한 시스템을 운영하고 있다 (Parsons et al. 2002).

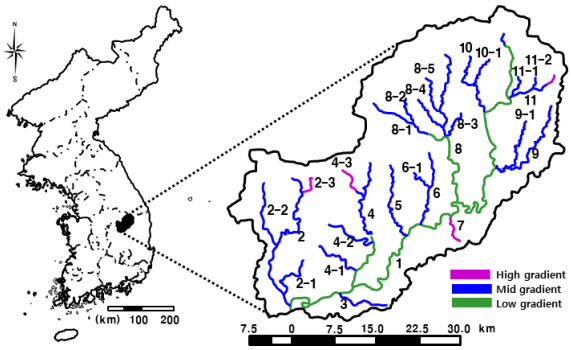
국내에서는 지금까지 선진국들의 하천 서식지 평가 시스템을 도입하여 적용 가능성을 검토하였다 (Kim and Park 1999, KICT 2007, Park et al. 2005, Kim 2008, Kim 2009). Jung and Kim (2018)은 거시적으로 계층적인 하천공간조사에 항공사진과 수치지형도 등의 원격탐사 기술을 사용하고, 하도 및 수리 특성, 하안 특성 및 하천교란 범주에 대한 각 지표는 현장에서 직접 관찰하고 측정하는 평가방식을 도입하였다. 조사 및 평가에서 하천 서식지 평가는 평가지표별 가중치를 고려하는 5등급 평가체계를 도입하였다. 서식지 질은 주로 하도지형 및 흐름상태 등의 물리적 특성이 인위적으로 교란되지 않은 하천에서 발생하는 서식지 특징을 기준으로 하여 결정된다.

본 연구는 현재 내성천 유역의 급경사 하천 및 중경사 하천의 물리 서식지 상태를 파악하고자 하였다. 하천에서 물리 서식지의 질은 야생동물에 대해 알려진 가치가 있는 서식지 특징의 발생과 다양성에 의해 결정되는 데, 내성천 유역 하천 (비교하천)에서 조사된 특징을 유역 및 하천의 규모 및 특성이 유사한 자연도가 높은 하천 (참조하천)에서 기록된 특징과 비교하여 상대적인 등급으로 평가하였다. 하천의 물리 서식지의 평가결과는 보전 대상지를 유지 또는 복원하고 더 나아가 개발지역에서 서식지 파편화의 영향을 회복시키는 맥락에서 지속 가능성의 척도로 사용될 수 있다. 또한, 물리적 하천 서식지 평가시스템의 10개 지표의 평가지표가 하천의 물리 서식지 질에 어떻게 영향을 미치는지를 분석하였다. 본 연구 결과는 향후 내성천 유역의 하천 서식지 평가 및 하천복원사업에 필요할 것이다.

2. 연구 방법

2.1 조사지 개황

본 연구의 대상인 내성천 유역은 한반도 중동부의 낙동강 유역 북측에 위치하고 있다. 유역면적 1,815 km^2, 유역 평균고도 EL. 318,36 m, 유역 평균경사 15.54%로서 경상북도 영주시, 문경시, 안동시, 예천군 및 봉화군 등 3개 시와 2개 군의 전부 또는 일부를 포함한다. 유역면적 1,814.71 km^2 중 삼림지역은 1,134.58 km^2로서 62.51%이며, 우리나라 전체 평균 (약 65.5%)보다 약 3.2%가 작은 반면에 농업지역은 553.52 km^2로서 30.50%로서 우리나라 전체 평균 (약 21.7%)보다 약 9.1%가 큰 것으로 나타났다. 전반적으로 하천 주변에 넓은 농경지가 분포하고 있어 내성천 본류와 지류는 치수 및 이수 위주로 하천정비가 시행되면서 하천 서식지가 많이 교란되었다. 내성천의 하천 연장은 102.33 km로서 국가하천 구간 27.0 km와 지방하천 구간 73.45 km이다. 내성천 수계는 내성천 외에 27개 지방하천은 총연장 317.59 km이다. 유역의 지질은 화강암 (56.33%)과 편마암 (32.42%)



No.	Stream `name	No.	Stream name
1	Naeseongcheon	8	Seocheon
2	Geumcheon	8-1	Nakhwaamcheon
2-1	Bokgyecheon	8-2	Geumgyecheon
2-2	Daeharicheon	8-3	Jowacheon
2-3	Sujincheon	8-4	Honggyocheon
3	Songpyeongcheon	8-5	Jukgyecheon
4	Hancheon	9	Toilcheon
4-1	Jungpyeongcheon	9-1	Gucheon
4-2	Geumgokcheon	10	Nakhwaamcheon
4-3	Yongducheon	10-1	Haenggyecheon
5	Seokgwancheon	11	Changpyeongcheon
6	Okgyecheon	11-1	Dongmakcheon
6-1	Ugokcheon	11-2	Gagyecheon
7	Seoktapcheon		

Fig. 1. Study area of physical habitat assessment in Naeseongcheon watershed.

이 분포되어 있어서 하상에는 모래가 지배적이나 상류에는 원마도가 높은 자갈과 호박돌이 분포하고 있다.

Fig. 1은 내성천 유역의 위치와 하천의 물리 서식처 평가를 수행한 주요 지류를 나타낸 것이다. 내성천 유역에는 급경사, 중경사 및 완경사 구간이 존재하지만 본 연구에서는 급경사와 중경사 구간만을 대상으로 선정하였다. 평가대상 구간은 내성천권역의 국가하천 1개소와 지방하천 28개소의 165개 구간 그리고 참조하천으로 범왕천, 의탄천, 남강 및 왕피천 등 4개 하천 12개 구간이며, 대상하천 구간의 지형학적 특성은 Table 1과 같다. 여기서 참조하천 (reference stream)은 자연하천에 가까운 상태로서 최적에 가까운 서식환경을 유지하는 하천 구간을 의미하며, 각 하천유형별로 규모와 특성이 유사하고 교란이 없거나 최소인 하천을 선정하였다.

2.2 평가 체계 및 조사

2.2.1 평가체계

평가체계는 Fig. 2와 같은 계층적 구조이며, 하천의 물리 서식지 평가에 대한 단계별 절차를 나타낸 것이다. 1단계는 하천유형 분류 및 세구간 결정, 2단계는 3개 영역의 10개 평가지표에 대한 평가, 3단계는 평가결과에 의한 평가등급 및 대상 하천의 물리 서식지 상태를 제시하는 순서로 구성된다.

1단계는 하천유형 (stream type)과 유형에 따른 세구간 길이를 결정하는 단계로서 선행연구 (Kim et al. 2015, Jung and Kim 2018)에서 Yamamoto (1988)의 Segment 분류법, Rosgen (1994) 및 Montgomery and Buffington (1993, 1997)의 하천분류법을 검토하여 하상경사, 하상재료입경과 하도지형-수리 특성의 연속성을 바탕으로 3개로 분류하였다. 급경사 (high-gradient) 하천은 하상경사가 1/60 이상의 구간으로 호박돌과 전석으로 형성된 계단상 (step-pool)의 연속성이 우세하며 주로 상류 산지하천에 분포한다. 중경사 (mid-gradient) 하천은 하상경사가 1/60-1/400인 구간으로서 자갈과 호박돌로 구성된 여울-소 (riffle-pool)의 연속성이 지배적이며 주로 중・상류에 분포한다, 완경사 (low-grdient) 하천은 하상경사가 1/400 보다 완만한 구간으로 자갈이 섞인 모래 또는 모래로 이루어진 사련-사퇴 (ripple- dune)의 연속성과 소의 다양성이 특징이며 주로 하류에 분포한다. 또한 평가 단위구간인 세구간 (reach)의 연장은 자연하천에 나타나는 하도지형 특성 (연속체의 형성)에 대한 연구결과 (Montgomery and Buffington 1993)와 하천정비와 하천횡단구조물 등의 영향을 고려하여 결정한다. 즉, 자연하천에서 나타나는 대표적인 하도특성인 소의 출현 간격은 하도 폭과의 비로써 나타내는데 급경사 하천 1:1-4, 중경사 하천 1:5-7, 완경사 하천 1:5-7을 기준 (참조하천)으로 하되 현재 우리나라 하천이용 및 교란 상황을 반영하여 각각 1:10, 1:25 및 1:25로 결정한 것이다.

2단계는 하천유형에 따른 평가영역 및 평가지표를 결정하는 단계로서 미국 (EPA 2004)과 독일 (LAWA 2002)의 정량적 평가, 영국 (SEPA 2003)의 정성적 평가 체계를 검토하고 우리나라 하천의 이용현황 및 교란상태 등을 고려하여 3개 하천 유형에 대하여 3개 영역 10개 평가지표를 결정하였다 (Jung and Kim 2015, Jung and Kim 2018).

Table 1. General characteristics of streams

Stream						Reach		
Type	Site	Name	Length (m)	Gradient	Mean channel width (m)	Numbers	Minimum length (m)	Maximum length (m)
High grdient	Naeseong cheon	Changpyeongcheon	1,000	1/60~55	21	5	200	200
		Seoktapcheon	6,144	1/85~32	16	11	200	900
		Yongducheon	3,164	1/53~36	20	7	195	700
		Sujincheon	4,757	1/68~35	20	9	200	900
	Reference stream	Beomwangcheon	900	1/19	21	3	300	300
		Uitancheon	950	1/23	31	2	300	350
Mid gradient	Naeseong cheon	Toilcheon	22,706	1/424~147	39	7	1,500	4,200
		Gucheon	10,490	1/370~124	27	6	700	2,400
		Nakhwaamcheon	14,102	1/549~172	65	4	2,300	4,502
		Haenggyecheon	6,324	1/183~70	59	5	700	1,900
		Gagyecheon	6,512	1/202~76	39	4	800	2,200
		Dongmakcheon	3,890	1/112~68	15	6	200	1,100
		Changpyeongcheon	2,800	1/222~73	34	3	800	1,000
		Seocheon	3,428	1/403~326	97	2	1,189	2,239
		Namwoncheon	8,248	1/417~59	65	3	2,449	3,296
		Geumgyecheon	5,270	1/417~83	41	3	1,100	2,470
		Jukgyecheon	12,784	1/436~132	64	4	1,894	4,218
		Sacheon	11,189	1/171~106	57	4	1,800	3,400
		Honggyocheon	7,490	1/160~56	39	4	1,083	2,526
		Jowacheon	5,800	1/283~127	23	5	800	1,600
		Okgyecheon	14,503	1/500~114	43	14	597	1,603
		Ugokcheon	4,922	1/264~94	35	4	606	1,816
		Seokgwancheon	15,306	1/343~106	50	5	1,521	4,626
		Hancheon	15,687	1/434~123	48	13	569	2,573
		Yongducheon	2,038	1/154~60	30	2	700	1,338
		Geumgokcheon	10,929	1/227~85	46	5	1,010	3,387
		Jungpyeongcheon	9,504	1/380~152	38	5	465	3,123
		Songpyeongcheon	9,627	1/422~109	24	6	800	2,011
		Geumcheon	28,226	1/595~122	86	5	3,324	8,040
		Daeharicheon	13,371	1/146~66	38	6	900	3,200
		Bokgyecheon	10,948	1/464~213	42	5	1,217	3,288
		Naeseongcheon (P)	2,081	1/397~353	27	3	597	785
	Reference stream	Wangpicheon	4,000	1/152	51	3	1,200	1,400
		Namgang	10,520	1/389	130	3	2,960	4,160

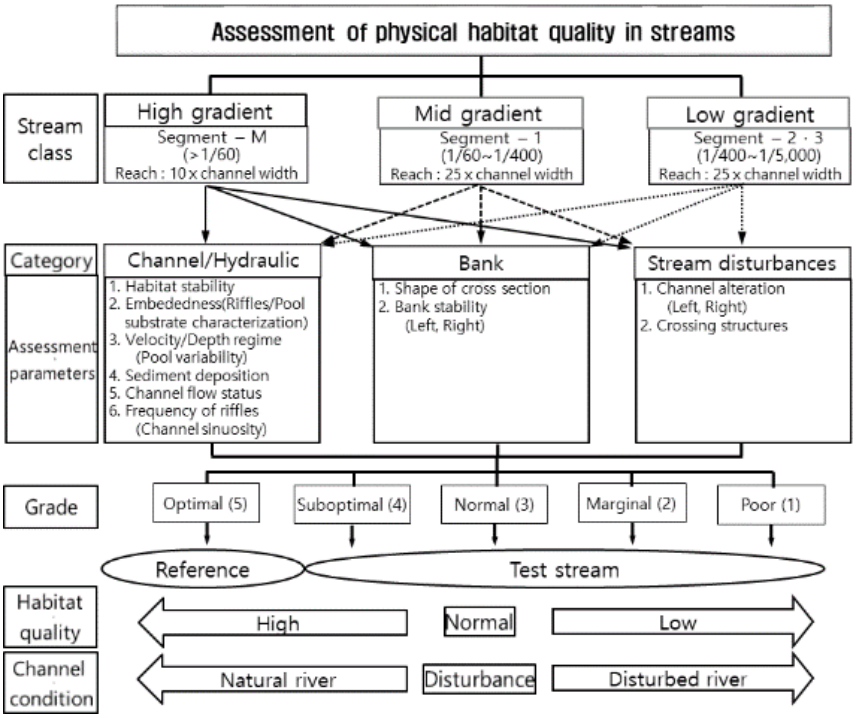


Fig. 2. Flowchart of study process.

하천의 물리 서식지에 대한 평가지표는 하도 및 수리 영역의 6개, 하안 영역의 2개, 하천교란 영역의 2개이다. 평가지표에 대한 조사는 하천기본계획보고서 항공사진 및 수치지형도를 활용한 문헌조사와 현장조사로 구성되며, 평가지표의 속성에 따라 단위구간별 전수조사와 표본조사를 수행한다. 하도/수리 영역의 ① 유효서식처, ② 하상매몰도와 소의 하상재료, ③ 유속・수심 및 소의 다양성 등은 평가 단위구간에서 현장 표본조사를 실시하고, ④ 하상안정, ⑤ 하도 흐름상태, ⑥ 여울 출현빈도 및 사행도 등은 평가 단위 구간별로 전수조사를 실시한다. 또한, 하안 영역의 ① 하천횡단형상, ② 하안 안정도 및 하천교란 영역의 ① 하천정비, ② 하천횡단구조물 등도 평가 단위 구간별로 전수조사를 실시한다. 조사하여 분석한 평가결과는 5 개 등급으로 구분하여 현재 대상 하천의 물리 서식지 상태를 제시하게 된다.

3단계는 교란이 없는 자연하천 (참조하천)을 기준으로 평가결과에 따라 영역 및 지표별 평가 등급과 평가대상 하천 전체의 물리 서식지 질을 5개 등급으로 상태를 제시한다.

2.2.2 평가지표 및 기준

하천의 물리 서식지 평가의 목적은 장래의 서식지 관리, 생태적 가치 평가, 하천 교란 결과 자료의 검정에 필요한 유역과 하천의 물리적 특성에 대한 현장 조사결과를 기록하는 것이다. 왜냐하면, 하천에서 생태계의 잠재력은 물리 서식지의 질에 의존하기 때문에 서식지 구조를 평가하기 위해서는 하천의 대표적인 물리적 구조를 구성하는 하상재료, 하도 지형, 흐름 특성, 하안 구조 및 수변 식생의 다양성과 질을 포함해야 한다. 서식지 질의 평가와 관련되는 서식지 평가지표는 하천의 미시적 규모의 서식처 (예 ; 하상 매몰도)와 거시적 규모의 지형 (예 ; 하도 지형), 그리고 다른 평가지표에 가장 큰 영향을 미치는 수변과 하안 구조 등이다.

하나의 세구간에 대한 평가영역은 수서동물의 서식환경인 하도/수리, 식생과 동물서식 환경인 하안, 서식환경의 교란을 나타내는 하천교란의 3개 영역으로 구분된다. 평가지표의 내용은 3개 하천유형의 특성을 반영한 지표와 하천유형에 관계없이 동일한 공통지표가 있으며, 구체적인 내용은 Table 2와 같다.

평가기준은 각 평가지표별로 최적 (1등급) (20~18≥), 우수 (2등급) (18>~14≥), 보통 (3등급) (14>~8≥), 한계 (4등급) (8>~4≥) 및 미흡 (5등급) (4>)의 5개 등급으로 구분된다.

Table 2. Criterion of habitat parameters used in assessment of streams

Category	Habitat parameter		Habitat type	Condition Category				
				Optimal	Suboptimal	Normal	Marginal	Poor
Channel/ Hydraulic	1. Available cover		H M L	Greater than 80% (50% for low gradient streams) of substrate favor able for epifaunal colonization and fish cover ; mix of snags, submerged logs, undercut banks, cobble or other stable habitat and at stage to allow full colonization potential (i.e., logs/snags that are not new fall and not transient)	80-60% (30-50% for low gradient streams) mix of stable habitat; well-suited for full colonization potential ; adequate habitat for maintenance of populations; presence of additional substrate in the form of new fall, but not yet prepared for colonization (may rate at high end of scale)	40-60% (10-30% for low gradient streams) mix of stable habitat; habitat availability less than desirable; substrate frequently disturbed or removed.	20-40% (10% for low gradient streams) stable habitat; lack of habitat is obvious ; substrate unstable or lacking.	Less than 20% (10% for low gradient streams) stable habitat; lack of habitat is obvious ; substrate unstable or lacking.
	2	a. Embeddedness	H M	Gravel, cobble, and boulder particles are 0-20% surrounded by fine sediment. Layering of cobble provides diversity of niche space.	Gravel, cobble, and boulder particles are 20-40% surrounded by fine sediment.	Gravel, cobble, and boulder particles are 40-60% surrounded by fine sediment.	Gravel, cobble, and boulder particles are 60-80% surrounded by fine sediment.	Gravel, cobble, and boulder particles are more than 80% surrounded by fine sediment.
		b. Pool substrate characterization	L	Mixture of substrate materials, with gravel and firm sand prevalent is more than 50% ; root mats and submerged vegetation common.	mixture of soft sand, mud, or clay is 35~50% ; mud may be dominant; some root mats and submerged vegetation present.	All mud or clay or sand bottom are is 20~35% ; little or no root mat ; no submerged vegetation.	Hard-pan clay or bedrock are 5~20% ; little or no root mat ; submerged vegetation.	Hard-pan clay or bedrock are less than 5% ; little or no root mat ; submerged vegetation.
	3	a. Velocity/ Depth regimes	H M	All 4 velocity/depth regimes present (slow-deep, slow-shallow, fast-deep, fast-shallow). (slow is <0.3 m/s, deep is >0.5 m)	Only 3 of the 4 regimes present (if fast-shallow is missing, score lower than if missing other regimes).	Only 2 of the 4 habitat regimes present (if fast-shallow or slow-shallow are missing, score low).	Dominated by 1 velocity/depth regime (usually slow-deep).	Dominated by 1 velocity/depth regime (usually fast-shallow).
		b. Pool variability	L	Even mix of large-shallow, large-deep, small-shallow, small-deep pools present. (large is greater than 1/2 of river cross section, deep is greater than 1m)	Majority of pools large-deep and small-deep ; very few shallow.	Large-deep pools are common and few largr-deep pools are present.	Small-shallow pools are prevalent than small-deep pools.	Majority of pools small-shallow or pools absent.
	4. Sediment deposition		H M L	Little or no enlargement of islands or point bars and less than 5% (<20% for low-gradient streams) of the bottom affected by sediment deposition.	Some new increase in bar formation, mostly from gravel, sand or fine sediment ; 20-40% (20-50% for low gradient) of the bottom affected ; slight deposition in pools.	Moderate deposition of new gravel, sand or fine sediment on old and new bars; 40-60% (50-80% for low-gradient) of the bottom affected; sediment deposits at obstructions, constrictions, and bends; moderate deposition of pools prevalent	Moderate deposition of new gravel, sand or fine sediment on old and new bars; 60-80% (50-80% for low-gradient) of the bottom affected; sediment deposits at obstructions, constrictions, and bends; moderate deposition of pools prevalent	Heavy deposits of fine material, increased bar development; more than 80% (80% for low gradient) of the bottom changing frequently; pools almost absent due to substantial sediment deposition.
	5. Channel flow status		H M L	Water fills >85% of the available channel ; or <15% of channel substrate is exposed	Water fills 75~85% of the available channel ; or 15-25% of channel substrate is exposed	Water fills 50-75% of the available channel, and/or 25-50% of riffle substrates are mostly exposed.	Water fills 30-50% of the available channel, and/or 60-80% of riffle substrates are mostly exposed.	Water fills less than 30% of the available channel, and/or more than 80% of riffle substrates are mostly exposed.

Table 2. Continued

Category	Habitat parameter		Habitat type	Condition Category				
				Optimal	Suboptimal	Normal	Marginal	Poor
Channel/ Hydraulic	6	a. Frequency of steps (riffles)	H M	Occurrence of step or riffles relatively frequent; ratio of distance between riffles divided by width of the stream <7:1 (generally 5 to 7); variety of habitat is key. In streams where riffles are continuous, placement of boulders or other large, natural obstruction is important	Occurrence of steps or riffles infrequent; distance between riffles divided by the width of the stream is between 7 to 15.	Occasional steps or riffles ; bottom contours provide some habitat; distance between riffles divided by the width of the stream is between 15 to 25.	Occasional steps or riffles ; bottom contours provide some habitat; distance between riffles divided by the width of the stream is between 20 to 25.	Generally all flat water or shallow steps or riffles ; poor habitat; distance between steps or riffles divided by the width of the stream is a ratio of >25.
		b. Channel sinuosity	L	The bends in the stream increase the stream length 1 to 7 times longer than if it was in a straight line. (Note - channel braiding is considered normal in coastal plains and other low-lying areas. This parameter is not easily rated in these areas.)	The bends in the stream increase the stream length 8 to 15 times longer than if it was in a straight line.	The bends in the stream increase the stream length 16 to 22 times longer than if it was in a straight line.	The bends in the stream increase the stream length 22 to 24 times longer than if it was in a straight line.	Channel straight ; waterway has been channelized for a long distance.
Bank	7. Cross-section shape		H M L	As a natural levee, more than 70% of the stream is in a natural state without river improvement works.	One of both sides is a mountainous area or a relatively natural levee, and 70-50% of the stream is in a natural state without river improvement works.	One of both sides is a mountainous area or a relatively natural levee, and 50-30% of the stream is in a natural state without river improvement works.	Both sides are confined by levees, and 30 to 10% of the stream has relatively little impact on the ecosystem due to river improvement works.	Both sides are confine by levees, and most of stream are in the state of artificial rivers due to river improvement works, and less than 10% of the rivers are in the natural state.
	8. Bank stability (condition of banks) (score each bank)		H M L	Banks stable ; evidence of erosion or bank failure absent or minimal ; little potential for future problems. <20% of bank affected.	Moderately stable ; infrequent, small areas of erosion mostly healed over. 20-40% of bank in reach has areas of erosion.	Moderately unstable; 40-60% of bank in reach has areas of erosion; high erosion potential during floods.	Unstable; many eroded areas ; "raw" areas frequent along straight sections and bends ; obvious bank sloughing ; 60-80% of bank has erosional scars.	Unstable; many eroded areas ; "raw" areas frequent along straight sections and bends ; obvious bank sloughing ; more than 80% of bank has erosional scars.
Disturbance	9. Channel alteration		H M L	Streams follow a normal and natural meandering pattern, Channelization or dredging absent or minimal ; stream with normal pattern. river improvement works is non-existent or less than 10%.	Some channelization present, usually in areas of bridge abutments ; evidence of past channelization, i.e. dredging, (greater than past 20 yr) may be present 10-30%, but recent channelization is not present.	Channelization may be extensive ; embankments or shoring structures present on both banks; and 30 to 50% of stream reach channelized and disrupted.	Banks shored with gabion or cement; 50-70% of the stream reach channelized and disrupted. Instream habitat greatly altered or removed entirely.	Straightening, dredging of other types of river improvement works present, most of river banks is box-cut, and channel disturbance is more than 70%. Instream habitat greatly altered or removed entirely.
	10. Crossing structures (except assessment of fishway function)		H M L	Weirs or drop works for agricultural, living, industrial and waterfront landscape absent ; crossing structures affecting river habitat absent.	Weirs or drop works for agricultural, living, industrial and waterfront landscape present, but height of crossing structures affecting river habitat is less than 0.5m.	Weirs or drop works for agricultural, living, industrial and waterfront landscape present, but height of crossing structures affecting river habitat is 0.5-1.0m.	Weirs or drop works for agricultural, living, industrial and waterfront landscape present, but height of crossing structures affecting river habitat is 1.0-1.5m.	Weirs or drop works for agricultural, living, industrial and waterfront landscape present, but height of crossing structures affecting river habitat is higher than 1.5m.
Score				20 19 18 17	16 15 14 13	12 11 10 9	8 7 5 5	4 3 2 1
Remarks				H=High gradient, M=Mid gradient, L=Low gradient				

2.3 조사 및 평가

서식지 조사는 문헌조사 (하천기본계획보고서, 항공사진, 수치지형도)와 현장조사 (전수조사 및 현장조사) 로 구성되며, 전수조사는 세구간 전체에 대한 조사로 step (riffle) 출현빈도, 유사퇴적, 하안안정도, 하천횡단형상, 하천정비, 하천횡단구조물 조사이며, 표본조사는 지점조사로서 유효서식처, 하상메몰도, 유속/수심 영역조사이다.

본 연구에서는 내성천 유역의 국가하천과 지방하천에 대한 하천기본계획보고서 (Ministry of Environment 2022)를 활용하여 각 하천을 유형별 기준에 따라 급경사, 중경사 및 완경사 하천으로 분류하였다. 다음으로 대상하천인 급경사 및 중경사 구간을 추출하고, Table 1과 같이 각 하천유형에서의 기준에 따라 세구간 (reach)을 구분한 후 각 세구간에 대하여 평가 영역 및 지표별로 조사하였다. 항공사진과 하천 평면도를 토대로 표시된 각 세구간에 대한 정량적 지표를 측정하기 위해 레이저 거리계, 줄자, 표척, 유속계, 하상재료 측정 면격자 및 디지털 카메라 등을 사용했다.

본 연구에서는 2022년 5월, 6월, 10월 및 11월의 4개월 동안 비교하천 30개 하천 165개 구간에서 현장조사를 실시하였으며, 참조하천 4개 하천 11개 구간의 평가 결과는 하천유형별로 내성천 유역 하천과 비교하기 위하여 선행연구 결과 (Jung and Kim 2018)를 참고하였다. 해당 하천은 하상경사 및 하상재료 등을 기준으로 급경사 및 중경사 하천으로 유형을 구분하고 하폭 또는 저수로 폭을 기준으로 세구간 (단위평가구간)을 나누어 3개 영역 (10 개 평가지표) 즉, 하도/수리영역 (6개 평가지표 : 스텝 (여울)출현빈도, 유사퇴적, 유효서식지, 하상매몰도, 유속/수심 영역, 하도흐름상태), 하안영역 (2개 평가지표 : 횡단형상, 하안안정) 및 하천교란영역 (2개 평가지표 : 하도개수 및 횡단구조물)에 대한 조사 및 평가를 수행했다. Fig. 3은 창평천 중경사구간 중 세구간 3번 구간에 대한 현장조사 사례를 제시한 것으로서 조사 내용, 구간 및 지점의 표시 및 사진을 보고서에 부록으로 해야 한다.

3. 결 과

내성천 유역에서 하천의 물리 서식지의 상태는 급경사 하천은 보통과 한계 상태로, 중경사 하천은 우수에서 한계 상태까지로 평가되었다. 평가점수 분포는 급경사 하천에서 70-135, 중경사 하천에서 48-149의 범위이다. 서식지 질은 급경사 하천의 경우 32개 세구간 중 3 개 세구간만 한계 (marginal)상태이고 나머지는 보통

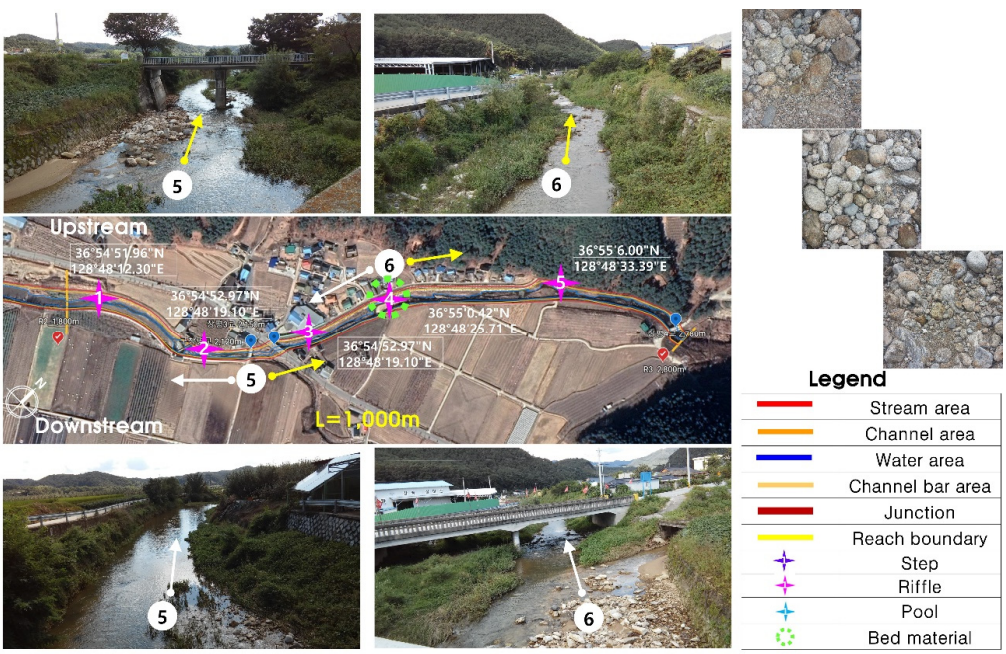


Fig. 3. Example photographs of field survey contents in Changpyeongcheon (Mid gradient Reach No.3).

(normal)상태로 평가되었으며, 중경사 하천의 경우 133개 세구간 중 4개 세구간은 우수(suboptimal)상태, 88개 세구간은 보통(normal)상태, 41개 세구간은 한계(marginal)상태로 평가되었다. 내성천 유역은 급경사 및 중경사 하천의 물리 서식지 상태는 "우수"에서 "한계"이며, 한계상태 이하는 급경사 하천 약 9%, 중경사 하천 약 31%로 분석되었다.

3.1 급경사 하천

급경사 하천은 전형적인 산지하천으로서 하상경사가 급하여 유수력이 크기 때문에 하상재료의 입경이 굵고, 하도 폭의 1-4배 간격으로 나타나는 계단상(step-pool) 구조가 대표적인 특징이라 할 수 있다. 계단상 구조의 특징은 step 위의 사류 흐름과 소(pool)의 상류 흐름이 교대로 나타나며, 흐름과 하상의 변화는 수직적이다. 급경사 하천의 비교하천 4개 32개 세구간과 참조하천(음영부분) 2개 5개 세구간의 평가결과는 Table 3에 나타낸 바와 같다.

내성천유역은 10개 평가지표 중 특히, 스텝 출현빈도, 하상 매몰도, 유속/수심영역, 횡단형상은 점수 변동폭이 16-20배인 반면 유사퇴적, 유효서식지, 하도 흐름상태, 하안안정, 하도개수 및 횡단구조물 등은 3.50-6배로 나타났다. 내성천유역 내에서 지형・지질과 토지이용이 유사하므로 하상경사와 하상재료에 따라 급경사 하천으로서 물리적 특성을 나타내는 각 평가지표의 평가결과가 유사할 것이라 예상했다. 그러나 보통(29개 하천) 및 한계(3개 하천) 상태를 유지하는 것으로 평가되었다. 특히, 3개 구간이 한계상태로 평가된 내성천 제1지류인 석탑천 구간은 하폭 9-23 m 범위의 산지 소하천으로서 서식지의 핵심인 하도/수리영역의 평가결과가 미흡상태였으며, 반면에 2개 참조하천의 5개 세구간은 최적(1개 하천)과 양호(4개 하천) 상태로서 비교적 자연하천의 물리적 특성을 잘 나타내고 있다.

Table 3. Assessment results of high gradient streams

No.	Stream		Channel/Hydraulic						Bank		Disturbance		Total	Assessment results	
	Name	Reach	Available cover	Embed-dedness	Velocity/ Depth regimes	Fre-quency of steps	Sediment deposition	Channel flow status	Cross-section shape	Bank stability	Channel alteration	Crossing structures		Degree	Condition
1	Chang pyeong-cheon	CP-4	12	19	5	17	3	6	3	12	12	10	99	9.9	Normal
2		CP-5	13	19	6	17	4	16	6	12	12	20	125	12.5	Normal
3		CP-6	11	19	16	18	3	11	13	12	12	20	135	13.5	Normal
4		CP-7	14	20	6	17	3	11	10	12	12	20	125	12.5	Normal
5		CP-8	16	20	7	16	3	11	3	12	12	20	120	12	Normal
6	Seoktap-cheon	ST-1	9	1	2	3	3	8	11	16	16	20	89	8.9	Normal
7		ST-2	11	1	7	14	3	12	12	16	16	20	112	11.2	Normal
8		ST-3	14	18	4	3	3	4	9	12	12	11	90	9.0	Normal
9		ST-4	9	1	6	3	2	3	11	12	12	11	70	7.0	Marginal
10		ST-5	11	1	6	6	3	6	8	12	12	10	75	7.5	Marginal
11		ST-6	11	1	7	3	3	5	8	12	11	16	77	7.7	Marginal
12		ST-7	15	17	16	3	4	7	10	12	11	12	107	10.7	Normal
13		ST-8	16	18	7	3	3	4	12	12	11	9	95	9.5	Normal
14		ST-9	11	18	7	3	2	5	20	20	19	20	125	12.5	Normal
15		ST-10	14	18	7	2	2	6	12	20	19	20	120	12.0	Normal
16		ST-11	9	18	2	1	3	6	8	20	19	16	102	10.2	Normal
17	Yongdu-cheon	YD-3	7	19	1	9	3	11	7	14	14	20	105	10.5	Normal
18		YD-4	11	18	2	4	3	5	10	14	14	14	95	9.5	Normal
19		YD-5	12	19	7	10	3	4	10	14	13	11	103	10.3	Normal
20		YD-6	11	19	6	7	3	5	7	16	15	10	99	9.9	Normal
21		YD-7	8	20	7	7	3	7	8	16	15	19	110	11.0	Normal
22		YD-8	14	19	6	5	4	7	16	20	18	13	122	12.2	Normal
23		YD-9	14	20	6	12	3	9	13	18	17	20	132	13.2	Normal

Table 3. Continued

No.	Stream		Channel/Hydraulic						Bank		Disturbance		Total	Assessment results	
	Name	Reach	Available cover	Embed-dedness	Velocity/ Depth regimes	Fre-quency of steps	Sediment deposition	Channel flow status	Cross-section shape	Bank stability	Channel alteration	Crossing structures		Degree	Condition
24	Sujin-cheon	SJ-1	12	19	5	5	3	8	8	16	16	19	111	11.1	Normal
25		SJ-2	9	18	7	7	7	8	8	12	11	10	97	9.7	Normal
26		SJ-3	15	18	16	16	4	12	11	12	11	20	135	13.5	Normal
27		SJ-4	16	18	7	7	3	10	10	12	11	19	113	11.3	Normal
28		SJ-5	15	16	7	7	2	5	15	12	11	20	110	11.0	Normal
29		SJ-6	17	17	6	6	3	6	1	12	11	10	89	8.9	Normal
30		SJ-7	15	16	7	7	3	7	10	12	10	6	93	9.3	Normal
31		SJ-8	15	18	7	7	3	12	10	12	11	19	114	11.4	Normal
32		SJ-9	16	19	5	5	3	9	9	12	12	13	103	10.3	Normal
33	Beomwang-cheon	BW-3	17	18	19	19	19	15	17	18	13	16	171	17.1	Suboptimal
34		BW-4	17	18	19	19	19	15	17	18	15	20	177	17.7	Suboptimal
35		BW-5	16	18	19	18	18	16	16	16	17	19	173	17.3	Suboptimal
36	Uitan-cheon	UT-3	16	14	18	19	14	10	10	10	12	18	141	14.1	Normal
37		UT-5	19	19	19	20	20	18	18	18	19	20	190	19.0	Optimal
38		UT-7	18	18	19	20	20	18	13	16	16	20	178	17.8	Suboptimal

3.2 중경사 하천

중경사 하천은 산지하천에서 충적하천으로 천이하는 구간으로서 하상경사가 다양하고 사행구간이 나타나므로 하도 폭의 5-7배 간격으로 나타나는 여울-소(riffle-pool) 구조가 대표적인 특징이며, 지배적인 하상재료는 자갈과 호박돌이다. 여울-소 구조의 특징은 하도가 사행하면서 여울의 사류 흐름과 소(pool)의 상류흐름이 교대로 나타나며, 고정사주와 교호사주가 발달하면서 평면적인 흐름과 하상의 변화가 나타난다. 중경사 하천의 비교하천 26개 133개 세구간과 참조하천(음영부분) 2개 6개 세구간의 평가결과는 Table 4에 나타낸 바와 같다.

중경사 하천 구간에서는 미흡(poor)을 제외한 최적(3개 하천), 우수(6개 하천), 보통(95개 하천) 및 한계(34개 하천)의 4개 상태를 유지하는 것으로 평가되었다. 또한 2개 참조하천의 6개 세구간 중 최적(3개 하천), 우수(2개 하천) 및 보통(1개 하천) 상태로서 5개 하천 세구간이 자연하천의 물리적 특성을 잘 나타내고 있다.

4. 고 찰

자연하천은 유수력에 의한 반응으로서 하상경사, 하상재료입경 및 하천 특성의 지형학적 배치가 비교적 동일한 하도 형식으로 구성되며, 상류에서 하류까지 종단적으로 연속된다는 것이 하천유형 분류의 근거이다. 또한 하천 생태계도 하천유형의 특징에 따라 종속적으로 형성된다. 본 연구에서는 하천 서식지 평가 기준을 내성천 유역의 급경사 및 중경사 하천에 적용하여 평가한 물리 서시지의 질을 Table 5에 제시하였다.

내성천 유역의 지형특성은 하구 기준으로 표고 200 m 이하의 면적 약 34% 및 평균경사 15.54%이다. 지질 및 토양 특성은 약 88%가 화강암류로서 풍화작용으로 완만한 경사와 지형을 형성하여 중간입경 이상의 모래가 넓게 분포하므로써 농경지가 발달하였다. 따라서 내성천 본류와 지류는 치수 및 이수 위주로 하천정비가 시행되면서 서식지가 많이 교란되어 급경사와 중경사 하천 97%가 3등급인 보통이하임을 나타내고 있다.

4.1 급경사 하천

Table 6은 급경사 하천에서 서식지의 질을 결정하는 하도/수리(하도 서식지), 하안 및 교란 영역에 대한 평가지표별로 분석한 최소값, 최대값, 평균값 및 서식지 등급별 세구간 수를 나타낸 것이다. 내성천 유역의 급경사 하천의 물리 서식지 질에 대한 총점(200점) 평균은 106점(53%), 하도영역(총점 120점) 평균은 54점(45%), 하안영역(총점 40점) 평균은 24점(59%), 교란

Table 4. Assessment results of mid gradient streams

No.	Stream		Channel/Hydraulic						Bank		Disturbance		Total	Assessment results	
	Name	Reach	Available cover	Embed-dedness	Velocity/ Depth regimes	Fre-quency of riffles	Sediment deposition	Channel flow status	Cross-section shape	Bank stability	Channel alteration	Crossing structures		De-gree	Condi-tion
1	Toil-cheon	TI-1	10	8	1	1	7	14	14	14	14	20	103	10.3	Normal
2		TI-2	15	13	20	19	2	2	13	14	15	9	122	12.2	Normal
3		TI-3	15	13	17	9	2	3	13	14	15	12	113	11.3	Normal
4		TI-4	15	13	7	2	3	3	13	14	15	12	97	9.7	Normal
5		TI-5	16	14	16	2	3	6	13	14	14	12	110	11.0	Normal
6		TI-6	14	11	6	1	3	3	10	14	13	11	86	8.6	Normal
7		TI-7	15	13	20	1	3	4	10	14	14	14	108	10.8	Normal
8	Gu-cheon	GC-1	15	12	2	7	3	4	11	12	11	9	86	8.6	Normal
9		GC-2	14	9	7	7	2	6	11	12	11	20	99	9.9	Normal
10		GC-3	15	12	7	3	2	3	11	12	11	10	86	8.6	Normal
11		GC-4	10	7	17	4	3	5	10	12	10	12	90	9.0	Normal
12		GC-5	11	8	14	1	3	7	8	12	10	13	87	8.7	Normal
13		GC-6	11	8	5	1	3	8	8	12	10	9	75	7.5	Normal
14	Nak hwaam-cheon	NH-1	3	5	5	1	1	2	11	16	15	9	68	6.8	Marginal
15		NH-2	3	4	7	1	2	3	11	16	14	9	70	7.0	Marginal
16		NH-3	9	7	4	1	18	8	11	16	14	9	97	9.7	Normal
17		NH-4	14	9	5	1	2	4	11	16	14	5	81	8.1	Normal
18	Haenggye-cheon	HG-1	5	5	14	12	2	4	9	16	15	11	93	9.3	Normal
19		HG-2	2	2	5	4	3	8	9	16	13	10	72	7.2	Marginal
20		HG-3	6	6	16	12	2	4	8	16	13	11	94	9.4	Normal
21		HG-4	7	6	6	1	3	6	6	12	10	10	67	6.7	Marginal
22		HG-5	2	2	2	1	4	10	6	12	12	15	66	6.6	Marginal
23	Gagye-cheon	GG-1	4	5	5	5	3	12	13	16	15	20	98	9.8	Normal
24		GG-2	14	10	7	2	2	4	8	16	14	13	90	9.0	Normal
25		GG-3	7	6	7	6	3	4	8	16	13	8	78	7.8	Marginal
26		GG-4	5	11	7	5	2	3	6	12	11	5	67	6.7	Marginal
27	Dongmak-cheon	DM-1	18	18	7	12	3	4	3	12	12	15	104	10.4	Normal
28		DM-2	16	15	7	6	2	4	5	12	12	15	94	9.4	Normal
29		DM-3	15	14	2	1	2	5	6	12	11	14	82	8.2	Normal
30		DM-4	15	13	3	2	3	8	3	12	10	14	83	8.3	Normal
31		DM-5	14	11	16	4	3	8	3	12	10	11	92	9.2	Normal
32		DM-6	15	13	5	2	3	6	3	12	10	12	81	8.1	Normal
33	Chang pyeong-cheon	CP-1	15	2	6	16	2	3	11	16	14	7	92	9.2	Normal
34		CP-2	15	14	2	2	3	7	11	16	13	10	93	9.3	Normal
35		CP-3	19	19	9	10	3	7	5	12	10	9	103	10.3	Normal
36	Seo-cheon	SE-6	2	2	16	20	2	4	11	13	16	11	97	9.7	Normal
37		SE-7	3	4	8	15	2	3	11	16	12	11	85	8.5	Normal
38	Namwon-cheon	NW-1	18	17	17	17	19	11	17	14	10	11	151	15.1	Subopt-mal
39		NW-2	17	15	20	17	19	5	16	15	15	11	150	15.0	Subopt-mal
40		NW-3	18	19	13	4	20	6	10	16	16	10	132	13.2	Normal
41	Geumgye cheon	GK-1	18	17	2	1	2	4	11	16	9	11	91	9.1	Normal
42		GK-2	20	19	6	2	2	2	11	16	14	11	103	10.3	Normal
43		GK-3	19	18	7	1	2	3	14	16	15	8	103	10.3	Normal

Table 4. Continued

No.	Stream		Channel/Hydraulic						Bank		Disturbance		Total	Assessment results	
	Name	Reach	Available cover	Embed-dedness	Velocity/ Depth regimes	Fre-quency of riffles	Sediment deposition	Channel flow status	Cross-section shape	Bank stability	Channel alteration	Crossing structures		De-gree	Condi-tion
44	Jukgye-cheon	JG-1	1	1	7	18	3	1	14	16	16	13	90	9.0	Normal
45		JG-2	1	1	17	16	2	1	12	16	16	9	91	9.1	Normal
46		JG-3	2	2	7	2	3	2	14	16	13	8	69	6.9	Marginal
47		JG-4	18	16	6	2	3	4	9	16	14	13	101	10.1	Normal
48	Sa-cheon	SC-1	2	2	17	15	3	7	11	16	16	16	105	10.5	Normal
49		SC-2	1	1	7	8	3	5	9	16	16	13	79	7.9	Normal
50		SC-3	1	1	13	3	5	7	11	16	13	11	81	8.1	Normal
51		SC-4	18	16	19	3	3	7	11	12	10	12	111	11.1	Normal
52	Honggy-cheon	HGY-1	1	2	2	4	3	7	5	16	14	9	63	6.3	Marginal
53		HGY-2	5	5	5	6	3	6	5	16	14	12	77	7.7	Marginal
54		HGY-3	1	1	1	3	4	10	8	16	13	9	66	6.6	Marginal
55		HGY-4	1	2	2	7	3	9	12	16	14	13	79	7.9	Marginal
56	Jowa-cheon	JW-1	3	4	1	1	3	5	11	16	13	7	64	6.4	Marginal
57		JW-2	4	5	7	13	2	10	11	16	11	12	91	9.1	Normal
58		JW-3	1	1	16	7	3	11	11	16	10	20	96	9.6	Normal
59		JW-4	1	1	7	4	3	10	11	16	10	19	82	8.2	Normal
60		JW-5	1	1	1	1	2	4	3	16	13	20	62	6.2	Normal
61	Okgye-cheon	OG-1	2	3	3	2	3	12	11	16	15	20	87	8.7	Normal
62		OG-2	1	1	17	16	2	11	11	16	16	20	111	11.1	Normal
63		OG-3	1	1	16	14	1	6	11	16	16	20	102	10.2	Normal
64		OG-4	1	2	7	13	2	7	11	16	15	20	94	9.4	Normal
65		OG-5	2	1	7	12	2	5	11	16	16	20	92	9.2	Normal
66		OG-6	1	1	6	6	2	6	11	16	16	20	85	8.5	Normal
67		OG-7	1	1	6	7	3	12	11	16	16	20	93	9.3	Normal
68		OG-8	2	3	13	7	2	14	11	16	16	20	104	10.4	Normal
69		OG-9	2	3	2	3	2	6	11	16	16	20	81	8.1	Normal
70		OG-10	1	2	16	14	2	7	11	16	16	14	99	9.9	Normal
71		OG-11	1	1	16	13	2	8	11	16	16	20	104	10.4	Normal
72		OG-12	1	1	2	2	2	4	11	16	16	10	65	6.5	Marginal
73		OG-13	1	1	2	3	2	3	11	16	16	10	65	6.5	Marginal
74		OG-14	1	1	2	7	2	6	11	16	16	20	82	8.2	Normal
75	Ugok-cheon	UG-1	1	2	6	2	3	6	11	16	14	11	72	7.2	Marginal
76		UG-2	2	2	6	1	2	4	11	16	15	12	71	7.1	Marginal
77		UG-3	1	2	6	2	2	4	11	16	14	10	68	6.8	Marginal
78		UG-4	1	1	2	3	2	8	11	16	15	20	79	7.9	Marginal
79	Seokgwan-cheon	SG-1	19	18	16	20	2	6	12	16	16	20	145	14.5	Subop-timal
80		SG-2	18	18	7	5	3	6	11	16	15	14	113	11.3	Normal
81		SG-3	18	18	6	2	2	2	12	16	15	9	100	10.0	Normal
82		SG-4	18	18	6	2	2	2	10	16	15	13	102	10.2	Normal
83		SG-5	19	18	17	2	2	4	11	16	14	9	112	11.2	Normal
84	Han-cheon	HC-3	17	16	15	15	3	4	10	16	16	11	123	12.3	Normal
85		HC-4	6	17	5	13	3	5	8	16	16	14	103	10.3	Normal
86		HC-5	18	18	5	10	3	6	8	16	16	10	110	11.0	Normal

Table 4. Continued

No.	Stream		Channel/Hydraulic						Bank		Disturbance		Total	Assessment results	
	Name	Reach	Available cover	Embed-dedness	Velocity/ Depth regimes	Fre-quency of riffles	Sediment deposition	Channel flow status	Cross-section shape	Bank stability	Channel alteration	Crossing structures		De-gree	Condi-tion
87	Han-cheon	HC-6	16	17	3	16	3	8	8	16	16	16	119	11.9	Normal
88		HC-7	18	18	16	16	8	7	10	16	16	16	141	14.1	Subop-timal
89		HC-8	19	18	15	10	3	9	10	16	16	16	132	13.2	Normal
90		HC-9	19	19	2	6	3	9	8	16	16	16	114	11.4	Normal
91		HC-10	19	18	6	9	3	6	8	16	16	10	111	11.1	Normal
92		HC-11	5	18	5	12	3	6	10	16	16	9	100	10.0	Normal
93		HC-12	6	18	2	17	3	5	8	16	16	10	101	10.1	Normal
94		HC-13	9	18	2	8	3	4	8	16	16	10	94	9.4	Normal
95		HC-14	19	18	5	10	3	6	9	16	16	10	112	11.2	Normal
96		HC-15	19	19	5	9	3	6	11	16	16	10	114	11.4	Normal
97	Yongdu-cheon	YD-1	14	11	1	1	9	8	8	16	13	9	90	9.0	Normal
98		YD-2	19	19	2	1	8	8	8	16	12	11	104	10.4	Normal
99	Geumgok-cheon	GGO-1	1	1	6	12	2	3	15	18	17	10	85	8.5	Normal
100		GGO-2	2	1	5	1	3	9	14	18	15	16	84	8.4	Normal
101		GGO-3	3	4	1	1	3	7	14	18	14	10	75	7.5	Marginal
102		GGO-4	2	2	5	1	2	4	8	18	16	9	67	6.7	Marginal
103		GGO-5	7	6	15	4	2	4	8	16	16	13	91	9.1	Normal
104	Jung-pyeong-cheon	JP-1	8	7	17	19	3	6	8	16	14	13	111	11.1	Normal
105		JP-2	3	4	5	5	2	4	8	16	15	19	81	8.1	Normal
106		JP-3	8	7	17	7	3	7	8	16	14	9	96	9.6	Normal
107		JP-4	2	2	2	1	3	7	8	16	14	9	64	6.4	Marginal
108		JP-5	1	1	2	4	3	6	7	16	16	13	69	6.9	Marginal
109	Song-pyeong-cheon	SP-1	2	2	2	4	6	8	8	16	14	12	74	7.4	Marginal
110		SP-2	2	3	5	6	4	8	8	12	10	14	72	7.2	Marginal
111		SP-3	1	1	6	7	3	6	8	12	11	12	67	6.7	Marginal
112		SP-4	1	1	2	1	3	8	8	12	11	12	59	6.7	Marginal
113		SP-5	1	1	2	1	3	4	8	12	11	10	53	5.3	Marginal
114		SP-6	1	1	2	1	5	7	8	12	11	10	58	5.8	Marginal
115	Geum-cheon	GC-1	5	5	14	12	2	3	9	16	15	11	92	9.2	Normal
116		GC-2	2	2	5	4	3	9	9	16	13	10	73	7.3	Marginal
117		GC-3	6	6	16	12	2	7	8	16	13	11	97	9.7	Normal
118		GC-4	7	6	6	1	3	4	6	12	10	10	65	6.5	Marginal
119		GC-5	2	4	2	1	4	4	6	12	12	15	62	6.2	Marginal
120	Daehari-cheon	DH-1	14	9	1	1	3	8	6	16	15	12	85	8.5	Normal
121		DH-2	3	3	5	7	3	7	7	16	14	12	77	7.7	Marginal
122		DH-3	2	2	3	5	3	7	6	16	13	10	67	6.7	Marginal
123		DH-4	7	6	3	4	3	7	7	16	13	9	75	7.5	Marginal
124		DH-5	15	13	15	9	3	7	5	16	14	9	106	10.6	Normal
125		DH-6	14	9	7	2	3	4	5	16	14	9	83	8.3	Normal
126	Bokgye-cheon	BG-1	2	2	16	17	3	11	8	16	15	20	110	11.0	Normal
127		BG-2	1	1	7	17	2	6	8	16	15	20	93	9.3	Normal
128		BG-3	3	4	6	4	5	8	8	16	13	11	78	7.8	Marginal
129		BG-4	1	2	6	2	3	8	8	16	13	12	71	7.1	Marginal
130		BG-5	1	1	2	2	2	3	8	12	12	5	48	4.8	Marginal

Table 4. Continued

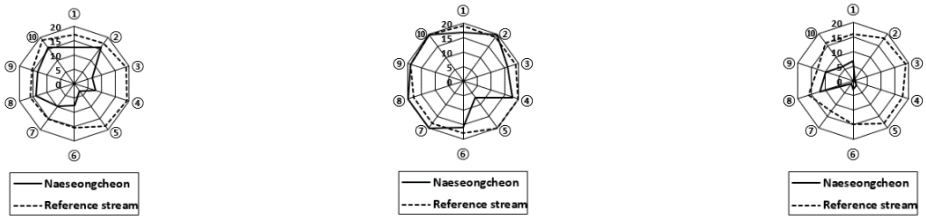
No.	Stream		Channel/Hydraulic						Bank		Disturbance		Total	Assessment results	
	Name	Reach	Available cover	Embed-dedness	Velocity/ Depth regimes	Fre-quency of riffles	Sediment deposition	Channel flow status	Cross-section shape	Bank stability	Channel alteration	Crossing structures		De-gree	Condi-tion
131	Naeseong-cheon	NS-23	1	1	2	4	3	9	8	14	14	13	69	6.9	Marginal
132		NS-24	1	1	5	6	6	9	12	14	14	10	78	7.8	Marginal
133		NS-25	4	5	2	5	2	4	3	12	12	15	64	6.4	Marginal
134	Wangpi-cheon	WA-15	18	17	17	17	16	15	17	16	18	20	20	17.1	Subop timal
135		WA-17	18	19	19	17	17	17	18	18	19	18	20	18.0	Optimal
135		WA-19	18	18	18	18	19	16	18	17	19	20	17	18.1	Optimal
136	Namgang	NG-1	18	18	16	14	14	15	13	14	12	18	35	15.2	Normal
137		NG-2	19	19	17	18	18	17	18	18	18	20	36	18.2	Optimal
138		NG-3	17	18	18	18	18	17	17	18	17	20	32	17.8	Subop timal

Table 5. Proportion of sites of different river habitat quality in the river systems

River system		Optimal	Suboptimal	Normal	Marginal	Poor
Naeseongcheon	Toilcheon	-	-	7(100%)	-	-
	Gucheon	-	-	6(100%)	-	-
	Nakhwaamcheon	-	-	2(50%)	2(50%)	-
	Haenggyecheon	-	-	2(40%)	3(60%)	-
	Gagyecheon	-	-	2(50%)	2(50%)	-
	Dongmakcheon	-	-	6(100%)	-	-
	Changpyeongcheon	-	-	8(100%)	-	-
	Seocheon	-	-	2(100%)	-	-
	Namwoncheon	-	2(67%)	1(33)	-	-
	Geumgyecheon	-	-	3(100%)	-	-
	Jukgyecheon	-	-	3(75%)	1(25%)	-
	Sacheon	-	-	4(100%)	-	-
	Honggyocheon	-	-	-	4(100%)	-
	Jowacheon	-	-	4(80%)	1(20%)	-
	Okgyecheon	-	-	12(86%)	2(14%)	-
	Ugokcheon	-	-	-	4(100%)	-
	Seotapcheon	-	-	8	3	-
	Seokgwancheon	-	1(20%)	4(80%)	-	-
	Hancheon	-	1(8%)	12(92%)	-	-
	Yongducheon	-	-	9(100%)	-	-
	Geumgokcheon	-	-	3(60%)	2(40%)	-
	Jungpyeongcheon	-	-	3(60%)	2(40%)	-
	Songpyeongcheon	-	-	-	6(100%)	-
	Geumcheon	-	-	2(40%)	3(60%)	-
	Sujincheon	-	-	9(100)	-	-
	Daeharicheon	-	-	3(50%)	3(50%)	-
	Bokgyecheon	-	-	2(40%)	3(60%)	-
	Naeseongcheon	-	-	-	3(100%)	-
	Total basin	-	4(3%)	119(72%)	42(25%)	-

Table 6. Habitat quality characteristics in high gradient stream

Static \ Category Parameter		Channel						Bank		Disturbance		Total
		① Available cover	② Embed-dedness	③ Velocity/ Depth regime	④ Frequency of steps	⑤ Sediment deposition	⑥ Channel flow status	⑦ Cross-section shape	⑧ Bank stability	⑨ Channel alteration	⑩ Crossing structures	
Min.	Naeseongcheon	7.00	1.00	1.00	1.00	2.00	3.00	1.00	12.00	10.00	6.00	70
	Reference stream	16.00	18.00	19.00	18.00	18.00	15.00	13.00	16.00	13.00	16.00	171
Max.	Naeseongcheon	17.00	20.00	16.00	18.00	7.00	16.00	20.00	20.00	19.00	20.00	135
	Reference stream	19.00	19.00	19.00	20.00	20.00	18.00	18.00	18.00	19.00	20.00	190
Average	Naeseongcheon	12.59	15.69	6.66	7.81	3.13	7.69	9.66	14.00	13.38	15.56	106
	Reference stream	17.17	17.50	18.83	19.17	18.33	15.33	15.17	16.00	15.33	18.83	178
	Total	13.32	15.97	8.58	9.60	5.53	8.89	10.53	14.32	13.68	16.08	117



(a) Average (b) Maximum (c) Minimum

Site numbers by grade	Optimal (20-18)(%)	0(0%)	23(72%)	0(0%)	1(3%)	0(0%)	0(0%)	1(3%)	5(16%)	4(13%)	16(50%)	50(16%)
	Suboptimal (18>-14)(%)	15(47%)	4(13%)	3(9%)	6(19%)	0(0%)	1(3%)	2(6%)	8(25%)	8(25%)	3(9%)	50(16%)
	Normal (14>-8)(%)	16(50%)	0(0%)	0(0%)	3(9%)	0(0%)	13(41%)	23(72%)	19(59%)	20(63%)	12(38%)	106(33%)
	Marginal (8>-4)(%)	1(3%)	0(0%)	25(78%)	13(41%)	5(16%)	17(53%)	3(9%)	0(0%)	0(0%)	1(3%)	65(20%)
	Poor(4>)(%)	0(0%)	5(16%)	4(13%)	9(28%)	27(84%)	1(3%)	3(9%)	0(0%)	0(0%)	0(0%)	49(15%)

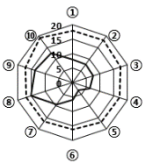
영역 (총점 40점) 평균은 29점 (72%)으로 분석되었다. 이러한 평가결과는 전체적인 서식지 질은 보통상태를 유지하는 것으로 나타났으나 서식지 질에 가장 큰 영향을 미치는 하도/수리영역은 한계상태에 가까운 보통수준으로 나타났다. 어류 및 수서동물의 서식지 상태를 파악하기 위하여 하도영역의 각 지표별 분석한 결과 소에서 먹이활동, 휴식 및 은신처의 상태를 나타내는 유효서식처는 97%가 보통 이상을 유지하고 있으며, 스텝에서 서식처를 나타내는 전석, 호박돌 및 자갈 사이의 공극의 상태를 나타내는 하상매몰도는 85%가 우수 이상인 것으로 나타났다. 그러나, 흐름의 다양성을 나타내는 유속/수심영역은 91%, 스텝의 출현빈도는 69%가 한계 상태로 평가되었으며, 소의 서식처 안정성을 나타내는 유사퇴적은 100%가 한계상태 이하로서 특히 84%가 미흡상태로 나타나 소에 퇴적이 자주 발생하는 것으로 나타났다. 수면적 유지의 안정성을 나타내는 하도흐름상태는 97% 이하가 보통으로서 특히 한계상태가 53%, 미흡상태가 3%인 것으로 나타나 하도의 수면적은 유량에 따라 수위변동이 심한 것으로 평가되었다. 반면에 참조하천은 모든 지표가 최적 및 우수 상태로 나타났다. 이러한 결과는 내성천 유역의 하천은 치수 및 이수를 위한 하천정비가 시행되어 하도지형의 물리적 자연성이 심각하게 훼손되었음을 의미한다.

4.2 중경사 하천

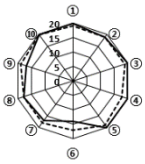
Table 7은 중경사 하천에서 서식지의 질을 결정하는 하도/수리 (하도 서식지), 하안 및 교란 영역에 대한 평가지표별로 분석한 최소값, 최대값, 평균값 및 서식지 등급별 세구간 수를 나타낸 것이다. 내성천 유역의 중경사 하천의 물리 서식지 질에 대한 총점 (200점) 평균은 90점 (45%), 하도/수리영역 (총점 120점) 평균은 39

Table 7. Habitat quality characteristics in mid gradient stream

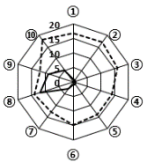
Static \ Category Parameter		Channel						Bank		Disturbance		Total
		① Available cover	② Embed-dedness	③ Velocity/ Depth regime	④ Frequency of riffles	⑤ Sediment deposition	⑥ Channel flow status	⑦ Cross-section shape	⑧ Bank stability	⑨ Channel alteration	⑩ Crossing structures	
Min.	Naeseongcheon	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	3.00	12.00	9.00	5.00	48
	Reference stream	17.00	17.00	16.00	14.00	14.00	15.00	13.00	14.00	12.00	18.00	171
Max.	Naeseongcheon	20.00	19.00	20.00	20.00	20.00	14.00	17.00	18.00	17.00	20.00	149
	Reference stream	19.00	19.00	19.00	18.00	19.00	17.00	18.00	18.00	19.00	20.00	182
Average	Naeseongcheon	7.89	7.65	7.54	6.44	3.36	6.02	9.40	15.10	13.77	12.56	90
	Reference stream	18.00	18.17	17.50	17.00	17.00	16.17	16.83	16.83	17.17	19.33	174
	Total	8.33	8.11	7.97	6.89	3.95	6.45	9.72	15.17	13.92	12.85	93



(a) Average



(b) Maximum



(c) Minimum

Site numbers by grade	Optimal (20-18)(%)	22(17%)	21(16%)	4(3%)	5(4%)	4(3%)	0(0%)	0(0%)	4(3%)	0(0%)	22(17%)	82(6%)
	Suboptimal (18>-14)(%)	25(19%)	12(9%)	28(21%)	15(11%)	0(0%)	2(2%)	9(7%)	102(77%)	83(62%)	18(14%)	294(22%)
	Normal (14>-8)(%)	8(6%)	21(16%)	5(4%)	22(17%)	3(2%)	34(26%)	101(76%)	27(20%)	50(38%)	88(66%)	359(27%)
	Marginal (8>-4)(%)	17(13%)	25(19%)	58(44%)	36(27%)	10(8%)	76(57%)	17(13%)	0(0%)	0(0%)	5(4%)	244(18%)
	Poor(4>)(%)	61(46%)	54(41%)	38(29%)	55(41%)	116(87%)	21(16%)	6(5%)	0(0%)	0(0%)	0(0%)	351(26%)

점 (32%), 하안영역 (총점 40점) 평균은 24점 (61%), 교란영역 (총점 40점) 평균은 26점 (66%)으로 분석되었다. 이러한 평가결과는 전체적인 서식지 질은 한계에 가까운 보통상태를 유지하는 것으로 나타났으나 서식지 질에 가장 큰 영향을 미치는 하도영역은 한계상태로 나타났다.

어류 및 수서동물의 서식지 상태를 파악하기 위하여 하도/수리영역의 각 지표별 분석한 결과 소에서 먹이활동, 휴식 및 은신처의 상태를 나타내는 유효서식처는 59%가 한계 이하를 유지하고 있으며, 여울에서 서식처를 나타내는 호박돌 및 자갈 사이의 공극의 상태를 나타내는 하상매몰도는 60%가 한계 이하 것으로 나타났다. 또한 흐름의 다양성을 나타내는 유속/수심영역은 73%, 여울의 출현빈도는 63%가 한계 이하의 상태로 평가되었으며, 소의 서식처 안정성을 나타내는 유사퇴적은 95%가 한계상태 이하로서 특히 87%가 미흡상태로 나타나 소에 퇴적이 자주 발생하는 것으로 나타났다. 수면적 유지의 안정성을 나타내는 하도흐름상태는 73%가 보통 이하로서 특히 한계상태가 57%, 미흡상태가 16%로 나타나 하도의 수면적이 유량에 따라 수위변동이 심한 것으로 평가되었다. 이러한 결과는 급경사 하천의 평가결과와 유사하며, 내성천 유역 중 넓은 농경지가 발달한 특히 영주 및 예천 주변의 인구밀도가 높은 지역은 하천정비 시행으로 횡단면 형상, 하천정비 및 횡단구조물 평가에서도 하천이 교란되었음을 나타내고 있다.

4.3 내청선 유역 급경사 및 중경사 하천의 물리 서식지 교란 특성

본 연구는 하천 생태계와 관련된 물리 서식지 질 평

가시 유역 및 하천 교란을 전제조건으로 기준인 참조하천 (자연하천)과 비교하천 (교란하천)을 상대평가하여 서식지의 현재 상태를 진단하고 그 차이점이 발생하는 원인을 제시하는 것이다.

예를 들면 평가시스템에서 유사퇴적 (sediment deposition) 평가지표는 급경사, 중경사 하천에서 사행으로 형성된 소에 퇴적이 발생하는 규모 및 정도가 서식지에 미치는 영향을 평가하는 기준이며, 하상매몰도 (embeddedness) 평가지표는 급경사 하천에서는 스텝 (step) 중앙부의 전석, 호박돌 및 자갈이 입경이 작은 세립사로 묻힌 정도, 중경사 하천에서는 여울 (riffle) 중앙부의 호박돌 및 자갈이 입경이 작은 세립사로 묻힌 정도가 서식지에 미치는 영향을 평가하는 것이다. 또한 유속・수심 영역 평가지표는 급경사 및 중경사 하천에서 유속 0.3 m/s 및 수심 0.5 m를 기준으로 빠름 및 느림과 깊음과 얕음을 구분하고 느림-깊음, 느림-얕음, 빠름-깊음 및 빠름-얕음의 4가지 양식 다양하게 발생하여 안정된 수생환경을 제공하고 유지하는 능력을 평가하는 것이다.

평가결과 내성천 유역의 급경사 및 중경사 하천 총연장 약 273 km 중 우수 약 8.2 km, 보통 180.3 km, 한계 84.7 km인 것으로 분석되었다. Table 2의 평가시스템을 급경사 하천에 적용한 결과는 유사퇴적은 7점 1개 구간과 4점 이하 31개 구간, 하상매몰도는 1점 5개 구간 16점 이상 27개 구간, 유속/수심은 16점 3개 구간과 7점 이하 29개 구간으로 평가되었다. 중경사 하천에서도 급경사 하천과 유사한 평가결과를 보이고 있다. 이러한 평가결과는 자연하천의 기준 (평가기준)에서 보면 제방 축제, 호안 설치, 준설, 직강화 및 하천횡단구조물 설치 등 하천정비와 상류에 크고 작은 저수지 건설에 따른 유수력 (stream power) 변동과 유사공급의 감소가 하천의 역동성 약화를 초래함에 따라 하천의 물리 서식지 교란을 유발했음도 고려해야 한다.

결국 하천의 물리 서식지 질은 하천의 지형적 특징 (Jensen et al. 2001), 유역 내 하천의 위치 (Montgomery and Buffington 1997), 하천 관리의 영향 (Wood-Smith and Buffington 1996) 및 교란 등 복합적인 요소에 지배되므로 평가시에 고려해야 할 것이다.

5. 결 론

본 연구에서는 내성천 유역의 급경사 및 중경사 하천의 물리 서식지 질 평가를 유역 규모에서 수행하였으며 결론은 다음과 같다.

1. 내성천유역의 물리 서식지 질에 대한 평가결과는 평균적으로 급경사 및 중경사 하천 구간은 모두 보통 (3등급)을 유지하고 있으나 하천교란으로 인하여 급경사 하천의 3개 구간과 중경사 하천의 34개 구간이 한계 (4등급) 상태로 나타났으며, 특히, 중경사 하천구간에서 한계상태를 유지하는 하천은 26 %를 차지하여 교란이 심각하다.
2. 급경사 하천에서는 하도의 물리 서식지 질에 가장 중요한 하도/수리영역의 6개 평가지표 중 4개 지표인 유속/수심, 스텝 출현빈도, 유사퇴적 및 하도 흐름 상태가 한계 또는 미흡상태이며, 직접적인 원인은 저수지 건설, 직강화, 준설 및 보・낙차공 설치 등으로 인한 하천 교란인 것으로 판단된다.
3. 중경사 하천에서는 하도/수리영역에서 6개 평가지표 모두가 한계 또는 미흡상태로서 물리 서식지의 다양성이 심각하게 훼손된 것으로 나타났다. 내성천 중류의 농경지가 집중된 하천으로서 상대적으로 광범위한 하천정비와 도시화에 따른 교란에 기인하는 것으로 판단된다.
4. 내성천 유역의 급경사 및 중경사 하천은 물리 서식지 교란이 심각하므로 조속히 하천환경 평가를 실시하고 그 결과에 따라 하천 복원 또는 회복을 위한 지구지정 등의 대책이 수립되어야 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 물관리연구사업의 지원을 받아 연구되었습니다 (1615012820).

References

Dong, Z., Wang, Z., Liu, D., Li, L., Ren, C., Tang, X., Jia, M., and Liu, C. 2013. Assessment of habitat suitability for waterbirds in the West Songnen Plain, China, using remote sensing and GIS. Ecological Engineering 55: 94-100.

EPA, 2004. Field operation manual. EPA 841-B-04-004.

Gillenwater, D., Granata, T., and Zika, U. 2006. GIS-based modeling of spawning habitat suitability for walleye in the Sandusky River, Ohio, and implications for dam

removal and river restoration. Ecological Engineering 28: 311-323.

Jensen, M.E., Goodman, I.A., Bourgeron, P.S., Poff, N. L., and Brewer, C.K. 2001. Effectiveness of biophysical criteria in the hierarchical classification of drainage basins. Journal of the American Water Resources Association 37(5): 1155-1167.

Jowett, I.G. 1997. Instream flow methods : A comparison of approaches. Regulated Rivers : Resesrch and Management 13(2): 115-127.

Jung, H.R. and Kim, K.H. 2015. An application of stream classifi₹cation systems in the Nam river, Korea. Ecology and Resilient Infrastructure 2(2): 118-127 (in Korean).

Jung, H.R. and Kim, K.H. 2018. A development of an assessment system for stream physical environments in Korea. Journal of Korean Water Resources Association 51(8): 713-727. (in Korean)

KICT, 2007. Developement of multi-functional river restoration techniques. KICT 2007(122): 32-69 (in Korean).

Kim, D.C. and Park, I.S. 1999. A study on the evaluation criteria of stream naturalness for ecological environment restoration of stream corridors. Journal of Korean Institute of Landscape Architecture 17(3): 123-134. (in Korean with English summary).

Kim, K.H. 2008. Assessment of physical river disturbance in Namgang-dam downstream. Journal of Korean Society of Environmental Restoration Technology 12(3): 83-97. (in Korean).

Kim, K.H. 2009. Assessment of physical river disturbances by river improvement. Case study of Nam river and Youngcheon river. Journal of Korean Society of Environmental Restoration Technology 11(3): 74-86 (in Korean).

Kim, K.H., Lee, H.R., and Jung, H.R. 2015. Characteristics of step-pool structure in the mountain streams around Mt. Jiri. Journal of Korean Water Resources Association 51(4): 313-322. (in Korean)

LAWA (Länderarbeitsgemeinschaft Wasser), 2002. Gewässerstrukturgütekartierung in der Bundesrepublik Deutschland: Übersichtsverfahren, Berlin, Germany : 9-24. (in German)

Lee, J.H., Kil, J.K., and Jeong, S.M. 2010. Evaluation of physical fish habitat quality enhancement designs in urban streams using a 2D hydrodynamic model. Ecological Engineering 36: 1251-1259.

Maddock, I. 1999. The importance of physical habitat assessment for evaluating river health. Freshwater Biology 41(2): 373-391.

Ministry of Environment, 2022. RIMGIS. http://river.go.kr/basicPlan/basicPlan.do. Accessed 26 Feburary 2022.

Montgomery, D.R. and Buffington, J.M. 1993. Channel classification, prediction of channel response, and assessment of channel condition. Washington State Department of Natural Resources - Timber, Fish and Wildlife. Olympia, WA, USA: 3-63.

Montgomery, D.R. and Buffington, J.M. 1997. Channel-reach morphology in mountain drainage basins. Geological Society of America Bulletin 109: 596-611.

Park, B.J., Shin, J.I., and Jung, K.S. 2005. The evaluation of river naturalness for biological habitat restoration: II. Application of evaluation method. Journal of Korean Water Resources Association 38(1): 37-48. (in Korean).

Parsons, M., Thoms, M., and Norris, R. 2002. Australian River Assessment System: AusRivAS Physical Assessment Protocol. Monitoring River Heath Initiative Technical Report 22, Commonwealth of Australia and University of Canberra, Canberra, Australia.

Rosgen, D.L. 1994. A classification of natural rivers. Catena 22(3): 169-199.

SEPA, 2003. Field survey guidance manual: 2003 version. Scottish Environment Protection Agency, Environmental Agency, Bristol, UK

Wood-Smith, R.D. and Buffington, J.M. 1996. Multivariate geomorphic analysis of forest streams : Implications for assessment of land use impacts on channel conditions. Earth Surface Processes and Landforms 21: 377-393.

Yamamoto, K. 1988. Channel specific analysis. Public Works Research Institute Report 1394. (in Japanese)