

하천의 물리 환경성 평가체계의 적용*

- 도시하천을 중심으로 -

정혜련¹⁾ · 김기흥²⁾

경남과학기술대학교 토목공학과

An Application of Physico-Environmental Evaluation System of Stream*

- Focusing on urban streams -

Jung, Hea-Reyn¹⁾ and Kim, Ki-Heung²⁾

¹⁾ Dept. of Civil Eng., Graduate school, Gyeongnam National University of Science and Technology,

²⁾ Dept. of Civil Eng., Gyeongnam National University of Science and Technology.

ABSTRACT

The purpose of this study is to present the basic data for restoration of physical stream environment by analyzing habitat variables because habitat environment is changed due to the construction of waterfront space in urban streams.

Assessment results of 10 habitat variables(three divisions) were almost same as optimal condition, in the reach of reference stream where there are no stream crossing structures and channel alteration. Assessment results of reaches in urban rivers, where streams were improved on water-friendly recreation activities, appeared to be marginal condition. Because habitat environment got worse due to stream improvement works such as construction of weir for water landscape, stepping stones for walking, low water revetment and high water revetment, and high water channel. In addition, in the case of mid gradient stream, the frequency of riffles was small or not existed because the intervals

* 본 연구는 국토교통부 물관리연구사업의 연구비지원 (12기술혁신C02)에 의해 수행되었습니다.

First author : Jung, Hea-Reyn, Dept. of Civil Engineering, Graduate school, Gyeongnam National University of Science and Technology,

Tel : 82-55-751-3294, E-mail : mymi69@nate.com

Corresponding author : Kim, Ki-Heung, Dept. of Civil Engineering, Gyeongnam National University of Science and Technology,

Tel : 82-55-751-3294, E-mail : khkim@gntech.ac.kr

Received : 7 December, 2016. **Revised** : 20 February, 2017. **Accepted** : 16 February, 2017.

of the river crossing structures was short. In the case of mild stream types, the diversity of the pool was damaged due to the deposition of sludge in the upstream pool of weir and the installation of low water revetment.

Key Words : Habitat variable, Stream crossing structure, Reference stream, Channel alteration

I. 서 론

하천의 수리 및 하도 특성으로 대표되는 물리 환경(하도 및 수리 특성)은 생태계 기반으로 수질특성과 더불어 생물에 미치는 영향이 아주 크다. 따라서 하천의 물리 환경을 진단하고 평가하고자 할 경우, 하천 상·중·하류의 위치에 따른 하도의 지형학적 특성과 유역의 규모에 따른 하천의 규모 및 유량의 크기 등에 따라 하천의 유형을 분류하고 그 유형별 특성에 따라 하천환경의 평가시스템을 구축할 필요가 있다. 이를 위해 하천환경의 평가시스템에서는 하천유형을 구분하는 것이 1차적인 과제이므로 하천 분류체계에 대한 선행연구를 바탕으로 국내 하천의 특성을 반영할 수 있는 하천유형을 구분하는 기준을 마련할 필요가 있다.

하천분류체계에 대한 선행연구는 지형학적 관점에서 유역의 지형과 하천의 진화단계를 기준으로 분류하였으며(Davis, 1899 ; Horton, 1945 ; Strahler, 1952), 하천형성과정에서 나타나는 하천의 평면형상을 기준으로 분류하기도 하였다(Leopold and Wolman, 1957 ; Leopold et al., 1964). 또한 공학적으로는 하천의 형성과정을 지배하는 유수력(stream power)의 관점에서 하천을 분류하기도 하였다(Lane, 1957 ; Ferguson, 1987 ; Thorne, 1997). 1980년 후반 이후에는 세계 각국에서 환경보전, 하천복원 및 하천관리 등 하천공학적인 관점에서 적용할 수 있는 하천분류체계가 제시되어 왔다(Yamamoto, 1988 ; Montgomery and Buffington, 1993 ; Rosgen, 1996). 하천분류체계에 따라 분류되는 하천유형은 유역과 하천의 위치 및 규모

에 따라 단수 또는 복수로 나타날 수 있다. 하나의 하천유형 내에서도 상류 산지하천의 경우에는 폭포(cascade), 계단상 하상(step-pool bed) 및 평탄하상(plane bed)이 나타나고, 중·하류의 충적하천에서는 여울소(riffle-pool)와 사주 등이 형성되기 때문에 반복적으로 나타나는 하도지형의 특성을 고려하여 평가할 수 있는 기준도 필요하다. 또한, 하천의 물리환경 평가시스템에서는 동식물 서식의 기반이 되는 하천의 하도지형 및 수리 특성을 반영할 수 있어야 한다. 1990년대 이후 선진국들은 정성적 또는 정량적인 하천의 서식환경 평가시스템을 구축하여 적용하고 있다. 대표적으로 정량적 평가시스템을 운영하는 국가는 독일(LAWA, 2004)과 미국(EPA, 2004)이고, 정성적 평가시스템을 운영하는 국가는 영국(SEPA, 2003)이며, 호주의 Aus RivAS (Parsons et al., 2002)는 영국과 미국의 평가시스템을 통합하여 자국에 맞는 시스템을 운영하고 있다. 독일(LAWA, 2004)의 평가체계는 하천의 물리적 구조 수준이 생태적 수준을 나타내는 척도라는 개념에서 하천구조와 그에 관련되는 역동적인 수리 및 하도지형의 특성을 나타내는 영역으로서 종적 특성, 종단면, 횡단면, 하상구조, 하안구조 및 하천변(토지이용) 등 6개 영역에서 24개 항목을 평가하여 7개 등급으로 하천의 물리구조 상태를 나타낸다. 미국(EPA, 2004)의 평가체계는 하천의 서식처 수준은 하도에서 수생태의 구조와 기능에 영향을 미치는 하도 및 하천변에서 서식처의 질이 결정된다는 것을 전제로 수리 및 하도특성을 나타내는 하상재료 및 유효서식처, 유속-수심 조합, 유사퇴적, 하도흐름 상태, 하도개수, 여울출현 빈도 및 사행도, 하안안정도, 하안식생

및 수변 식생대 등 10개 항목을 4개 등급으로 평가하여 하천의 서식처 상태를 나타낸다.

한편, 국내에서는 하천환경의 개선 및 보전에 대한 수요의 증가에 따라 중앙정부 및 각 지방자치단체는 하천복원사업을 경쟁적으로 추진하고 있으나, 하천환경의 현황 특히, 생태계 기반인 하천의 물리적 특성(구조)에 대한 평가 및 진단 절차를 거치지 않은 사례가 대부분이다. 또한 지금까지는 하천의 자연도 평가 연구 등에서 선진국들의 하천환경평가시스템을 여과 없이 적용함으로써 국내의 하천특성을 제대로 반영하지 못하는 한계를 가지고 있다(Kim et al., 1999 ; KICT, 2007 ; Park et al., 2005 ; Kim, 2008 ; Kim, 2009).

하천의 물리적 특성 즉, 수리 및 하도 특성 평가의 목적은 하천기본계획 수립과 하천복원사업의 실행과정에 있어 기본방향의 설정 및 통합적 평가기준으로서 사업의 성공여부를 평가하고, 또한 하천이용과 보전, 나아가 복원계획에 대한 잠재적인 적합성의 근거를 파악하고 그 기준을 제시하는데 있다.

본 연구에서는 하천의 물리환경 평가시스템의 적용성을 검토하기 위하여 하천의 물리환경 평가시스템 구축을 위한 선행연구(Kim and Jung, 2015 ; Kim et al., 2016)를 바탕으로 하천 유형을 분류하고, 분류된 동일 하천유형 내에서도 저수로 폭을 기준으로 구분된 평가단위 구간에 대해서 평가항목 및 지표를 적용하는 방안을 제시하였다. 따라서 하도경사 및 하상재료 등의 특성이 유사한 자연하천 구간과 도시하천 구간에서 하천의 물리환경 평가시스템을 적용하여 그 결과를 검토 및 분석하여 하천의 물리환경 평가시스템의 적용 가능성을 평가하였다.

II. 연구 범위와 방법

1. 연구범위

본 연구의 조사범위는 교란하천(disturbed

stream)으로서 대전시를 관류하는 도시하천인 갑천과 유등천을 선정하였으며, 대조하천(reference stream)은 자연하천에 가까운 남강댐 상류 구간을 선정하여 현장조사 및 평가를 수행하고 그 결과를 기초로 분석하였다. Figure 1 및 Table 1은 연구대상하천의 위치 및 조사구간을 나타낸 것이다.

갑천은 대전광역시 유성구 봉산동 금강 합류점에서 서구 용촌동 두계천 합류점까지의 국가하천 33.53km 구간이며, 유등천은 대전광역시 대덕구 대화동 갑천 합류점에서 중구 금산군 경계의 국가하천 15.53km, 중구 금산군 경계에서 금산군 진산면 부암리 부암교(신)까지 지방하천 22.07km의 구간이다. 남강은 남강댐 상류의 양천 합류부에서 함양위천 합류부까지 연장 39.5km구간이다.

2. 연구방법

1) 연구방법

본 연구에서는 한국 하천의 하도 및 수리 특성을 반영한 하천의 물리환경 평가시스템의 적용성을 검토하는 것이다. 선행 연구에서는 독일, 영국, 미국, 호주 및 일본 등에서 적용하고 있는 하천의 분류체계를 검토하였으며, 하상경사와 하상재료 입경을 기준으로 Rosgen(1996)과 Yamamoto (1988)의 분류체계를 비교한 결과를 Figure 2 및 Figure 3에 제시하였다(Kim and Jung, 2015). Figure 2 및 Figure 3에 나타난 바와 같이 하상경사 및 하상재료 입경을 기준으로 분류한 결과에 따르면 Yamamoto 하천분류체계가 Rosgen 하천분류체계 보다 하상경사 변화에 따른 하도의 중단적 연속성 및 토사분급을 명확하게 구분할 수 있는 장점이 있어 이 방법(Table 2 참조)을 적용하였다.

세구간(reach)으로 정의한 평가 단위구간의 선정은 문헌을 바탕으로 자연하천에서 나타나는 여울-소의 출현빈도인 저수로 폭 대비 여울

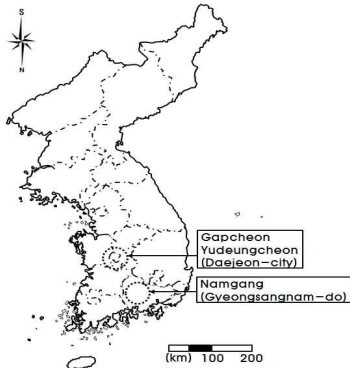


Figure 1. Location map of study area

Table 1. Surveyed rivers in study area.

Stream name	Location	Length of survey reach (km)
Namgang	Hamyang-gun and Sancheong-gun, Gyeongsangnam-do	National river : 39.5km
Gapcheon	Daedeok-gu, Yuseong-gu and Seo-gu, Daejeon city	National river : 33.53km
Yudeungcheon	Daedeok-gu and Jung-gu, Chungcheongnam-do Geumsan-gun, Daejeon city	National river : 15.53km Local stream : 22.07km

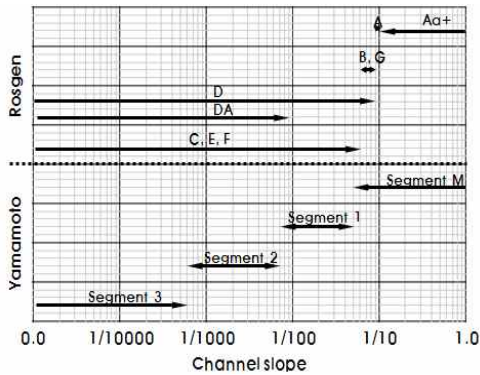


Figure 2. Comparison of Rosgen (1994) system and Yamamoto (1988) system of channel slope(Kim and Jung, 2015).

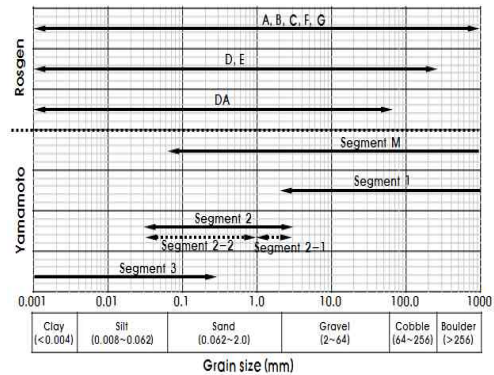


Figure 3. Comparison Rosgen (1994) system with Yamamoto (1988) system of grain size (Kim and Jung, 2015).

간 거리의 비가 1 : 5~7인 점을 고려하였으며, 직강화 등 교란하천의 정도를 반영한 1 : 25를 적용하였다. 평가 단위구간을 추출하기 위해서는 하천기본계획상의 횡단도를 이용하여 저수로 폭을 구한 후 중경사, 완경사 하천은 평균 저수로 폭의 25배를 세구간으로 하였으며, 급경사 하천은 평균 저수로 폭의 10배를 세구간으로 하였다. 세구간의 분할은 수치지형도와 항공사진을 중첩시켜 여울-소, 만곡도(사행도) 등을 추출하여 구할 수 있다.

평가체계는 1차적으로 평가의 공간적 규모를 구분하기 위하여 하천유형을 하상경사를 기준으로 3개의 하천유형(segment)으로 분류하고, 저수로 폭과 여울 간 거리의 비를 기준으로 세구간

(reach)를 나눈 후, 2차적으로 각 하천유형에 대하여 3개 영역 10개 평가지표를 5개 등급으로 구분하여 평가하는 것으로 구성하였다.(Appendix 참조). 특히, 하천유형 분류에 따른 하도특성은 하상경사 1/60 이상인 급경사 하천(high-gradient stream)에서는 계단상(step-pool)의 연속성, 1/60~1/400인 중경사 하천(mid-gradient stream)에서는 급여울-소(riffle-pool)의 연속성에 중점을 두었으며, 1/400~1/5,000인 완경사 하천(low-gradient stream)에서는 평여울-소(run-pool)의 연속성과 소의 다양성에 중점을 두고 평가하는 시스템으로 구축하여, 미국 EPA 및 독일 LAW의 문제점을 보완하였다.

하천환경의 수리 및 하도특성 평가에 대한 이

력을 파악하기 위하여 수집 가능한 과거의 모든 항공사진을 이용하여 하도의 물리적 구조를 나타내는 하천특성과 저수로, 고수부, 제방 등의 하천정비 현황 등을 조사하였으며, 국립지리정보원의 국토공간영상정보 DB와 국가수자원관리종합정보 DB의 하천기본계획 보고서를 통하여 간접 평가를 실시하였다. 하천 지형특성과 현황에 대한 현장조사 항목은 수리 및 하도영역의 6개 항목, 하안영역의 2개 항목, 하천교란 영역 2개 항목으로 3개 영역이며, 수리 및 하도 영역의 ①유효저식처, ②하상매몰도와 소의 하상재료, ③유속·수심 및 소의 다양성 등은 평가단위구간에서 표본조사를 실시하였고, ④유사

퇴적, ⑤하도 흐름상태, ⑥여울 출현빈도 및 사행도 등은 평가 단위 구간별로 전수조사를 실시하였다. 또한, 하안 영역의 ①하천횡단형상, ②하안 안정도 및 하천교란 영역의 ①하도개수, ②하천횡단구조물 등도 평가 단위 구간별로 전수조사를 실시하였다. 3개 영역 10개 평가항목 선정은 미국 EPA와 독일의 LAW의 평가항목 중에서 공통항목을 우선적으로 추출하고, 우리나라의 하천이용 상황을 반영하기 위하여 하천 횡단형상, 하도개수 및 하천횡단구조물 등을 추가하여 보완하였다.

또한 평가기법은 미국 EPA의 기법을 참고하여 4등급을 5등급으로 나누었으며, 자연하천인

Table 2. Classification of segments (Yamamoto, 2004).

Category	Segment M	Segment 1	Segment 2		Segment 3
			2-1	2-2	
Morphological type	Mountainous Region	Alluvial fan			
		Valley plain			
		Natural bank region			
		Delta			
Representative grain size	Variable	> 2 cm	1-3 cm	0.03-1 cm	< 0.3 mm
Structural materials in bank	In many cases, the bedrocks are exposed to the channel and banks.	Sand and silt are placed on the surface, but the thickness is thinner. Bank materials are same as the bed material.	Bottom layer is same as bed materials as fine sand, silt and clay mixture.		Silt, clay.
Channel slope	>1/60(variable)	1/60-1/400	1/400-1/5000		1/5000-Level
Sinuosity	Variable	Meandering sections are a few longitudinally.	Meanders are frequently, but channel width/depth ratio is greater where there is s-shaped meanders or islands		Sinuosity is various.
Erosion in bank	Very changeable.	Very changeable.	Moderate, if bed materials are coarse, channel width would be changeable frequently.		Infinitesimal, channel is not changeable substantially.
Mean depth in channel	Variable	0.5-3 m	2-8 m		3-8 m

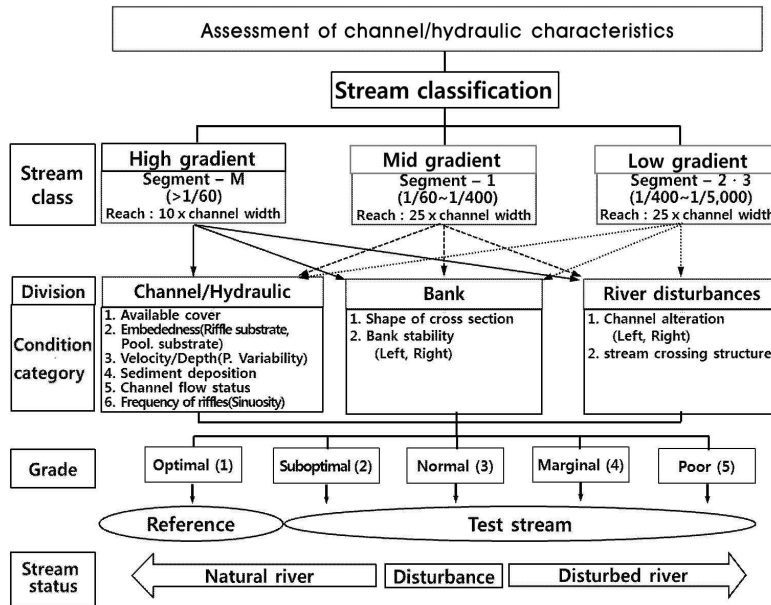


Figure 4. Flowchart of study process(Kim and Jung, 2015)

참조하천(reference stream)을 기준으로 하였다. 이러한 단계별 조사 및 분석과정으로 하천의 물리적 환경평가 절차는 Figure 4와 같다.

III. 결과 및 고찰

1. 하천유형 분류 및 평가단위구간의 선정

하천의 지형은 수계의 분수령을 경계로 상류 산지구간에서는 계단상의 폭포(cascade), 계단상의 소(step-pool)와 평탄하상(plane bed)의 순서로 형성되고, 충적지(alluvial zone)의 중·하류 평야구간에서는 여울-소(riffle-pool) 및 사구사런(dune-ripple)의 순서로 나타나는 것이 일반적인 특성이다(Montgomery et al., 1997). 하천 지형에 영향을 미치는 주요 인자는 하폭, 수심, 경사, 유속, 유량, 흐름 저항, 하상재료 입경 및 유사량 등으로 규정하고 있다(Leopold et al., 1964) 이러한 하천지형 특성은 유량과 경사를 매개변수로 하는 유수력(stream power)에 의하여 지배되며, 유수력에 의한 반응으로서 하상재료 입경이 결정된다.

본 연구에서는 현재 개발 중인 하천의 물리환경평가시스템의 적용성을 검토하기 위하여 대조하천 남강을 기준으로 비교하천인 갑천 및 유등천에 대한 조사 및 평가를 실시하였다. Yamamoto의 하천분류체계를 적용한 결과 남강과 유등천은 Segment 1과 2로 분류되었으며, 갑천은 Segment 2로 분류되었다. 조사 및 평가 단위구간은 저수로 폭의 25배를 1개 Reach로 산정한 결과, 남강은 11개 Reach, 갑천은 8개 Reach 및 유등천은 15개 Reach로 나누어졌다. Table 3은 남강, 갑천 및 유등천에 대한 하천유형, Reach 수 및 평균저수로 폭을 나타낸 것이다. 여기서, (No.)는 각 하천의 하천기본계획의 측점을 나타낸 것이다.

Figure 5는 3개 대상하천의 최심하상을 기준으로 하천유형 분류와 종단변화를 나타낸 것으로서 하천의 물리환경평가를 위하여 제1단계의 하천유형을 분류한 것이다. Figure 6~Figure 8은 하폭, 저수로 폭 및 수면 폭의 변화를 나타낸 것으로서 하천의 물리환경평가를 위한 제2단계로서 평가단위구간인 Reach를 산정하기 위한 기초자료로 활용된다.

Table 3. Stream type, channel width and reach length in each stream.

River name	Reach location (No.) (m)	Channel slope		Segment	Average width of channel (m)	Reach length (m)	Reach No.
		Reach slope	Average slope				
Namgang	0,000 ~ 3,400 (No.209 ~ 226)	1/2,000 ~ 254	1/389	1	135	3,400	1
	3,400 ~ 7,560 (No.226 ~ 247)	1/604 ~ 438		1	157	4,160	2
	7,560 ~ 10,520 (No.247 ~ 261)	1/488 ~ 407		1	99	2,960	3
	10,520 ~ 14,230 (No.261 ~ 279)	1/433 ~ 369		1	128	3,260	4
	14,230 ~ 16,840 (No.279 ~ 292)	1/420 ~ 392		1	116	3,010	5
	16,840 ~ 20,110 (No.292 ~ 308)	1/440 ~ 407	1/520	2	128	3,270	6
	20,110 ~ 23,400 (No.308 ~ 324)	1/483 ~ 418		2	125	3,290	7
	23,400 ~ 26,510 (No.324 ~ 340)	1/468 ~ 445		2	115	3,110	8
	26,510 ~ 31,160 (No.340 ~ 363)	1/438 ~ 456		2	167	4,650	9
	31,160 ~ 35,900 (No.363 ~ 386)	1/489 ~ 469		2	177	4,740	10
35,900 ~ 39,540 (No.386 ~ 404)	1/480 ~ 464	2	110	3,640	11		
Gapcheon	0,000 ~ 4,955 (No.0+000 ~ 4+955)	1/2,800 ~ 628	1/665	2	194	4,955	1
	4,955 ~ 10,925 (No.4+955 ~ 10+925)	1/1,500 ~ 866		2	184	5,970	2
	10,925 ~ 15,045 (No.10+925 ~ 15+045)	1/1,100 ~ 865		2	147	4,120	3
	15,045 ~ 18,530 (No.15+045 ~ 18+530)	1/900 ~ 831		2	93	3,485	4
	18,530 ~ 22,670 (No.18+530 ~ 22+670)	1/850 ~ 750		2	108	4,140	5
	22,670 ~ 25,850 (No.22+670 ~ 25+850)	1/785 ~ 712		2	101	3,180	6
	25,850 ~ 29,090 (No.25+850 ~ 29+090)	1/749 ~ 692		2	75	3,240	7
	29,090 ~ 33,510 (No.29+090 ~ 33+510)	1/714 ~ 654		2	65	4,420	8
Yudeungcheon	0,000 ~ 4,005 (No.0+000 ~ 4+005)	1/670 ~ 199	1/452	2	127	4,005	1
	4,005 ~ 8,390 (No.4+005 ~ 8+390)	1/460 ~ 420		2	78	4,385	2
	8,390 ~ 11,390 (No.8+390 ~ 11+390)	1/440 ~ 380		2	68	3,000	3
	11,390 ~ 14,800 (No.11+390 ~ 14+800)	1/400 ~ 380		2	71	3,410	4
	14,800 ~ 16,600 (No.14+800 ~ No.6)	1/400 ~ 370	1/247	1	45	1,800	5
	16,600 ~ 17,800 (No.6 ~ No.12)	1/400 ~ 370		1	45	1,200	6
	17,800 ~ 19,400 (No.12 ~ No.20)	1/377 ~ 360		1	37	1,600	7
	19,400 ~ 21,000 (No.20 ~ No.28)	1/370 ~ 347		1	38	1,600	8
	21,000 ~ 23,200 (No.28 ~ No.39)	1/350 ~ 344		1	40	2,200	9
	23,200 ~ 25,200 (No.39 ~ No.49)	1/346 ~ 335		1	40	2,000	10
	25,200 ~ 29,200 (No.49 ~ No.69)	1/334 ~ 324		1	42	4,000	11
	29,200 ~ 31,200 (No.69 ~ No.79)	1/325 ~ 313		1	37	2,000	12
	31,200 ~ 33,400 (No.79 ~ No.90)	1/318 ~ 307		1	31	2,200	13
	33,400 ~ 35,200 (No.90 ~ No.99)	1/308 ~ 299		1	21	1,800	14
	35,200 ~ 37,600 (No.99 ~ No.111)	1/297 ~ 274		1	16	2,400	15

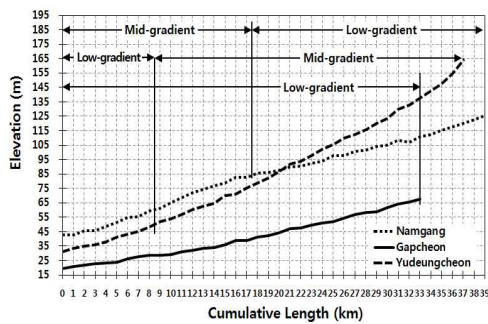


Figure 5. Longitudinal changes of minimum channel elevation in three streams.

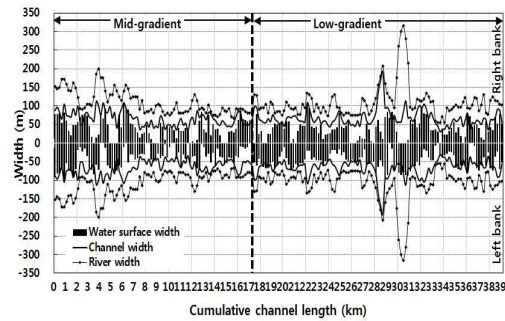


Figure 6. Longitudinal changes of river width, channel width and water surface width in Namgang.

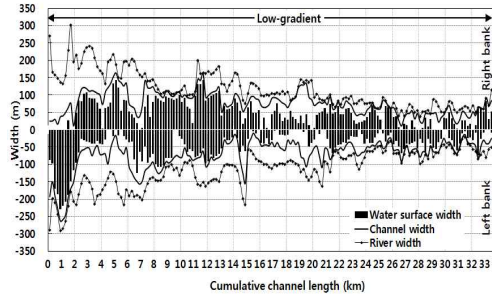


Figure 7. Longitudinal changes of river width, channel width and water surface width in Gapcheon.

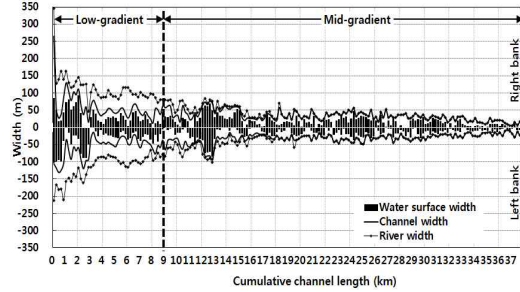


Figure 8. Longitudinal changes of river width, channel width and water surface width in Yudeungcheon.

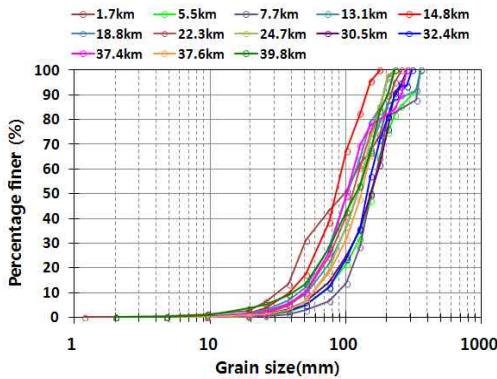


Figure 9. Grain size distributions of bed materials in Namgang.

Table 4. Grain size distributions of bed materials in Namgang.

Location (km)	D50 (mm)	D60 (mm)	Max. (mm)
1.7	100	129	229
5.5	166	178	339
7.7	162	177	336
13.1	130	146	336
14.8	85	94	176
18.8	105	128	207
22.3	120	135	203
24.7	130	143	203
30.5	163	195	267
32.4	150	165	288
37.4	103	120	274
37.6	138	152	220
39.8	128	147	224
Mean	123.2	140.2	236.8

Figure 9~Figure 11 및 Table 4~Table 6은 남강, 갑천 및 유등천에 대한 여울 지점의 하상재료 조사결과를 나타낸 것이며, 그림 중의 거리는 하천기본계획의 시점으로부터 상류방향으로 하상재료 조사지점을 나타낸 것이다. 하상재료 조사 및 분석은 1m×1m 면격자에 대한 하상표면을 디지털 카메라로 촬영하여 화상해석을 수행하였으며, 화상을 정사한 후 화상처리기법으로 하상재료의 경계를 설정하여 확인한 후 경계가 불확실한 부분에 대해서는 사진을 중첩시켜 인위적으로 분할하였다(Kim et al., 2016). 대조 하천인 남강의 하상재료 평균입경은 120mm 이상의 작은 호박돌이 분포되어 있고, 갑천은 30mm, 유등천은 22mm 이상의 굵은 자갈이 분포되어 있다.

2. 하천의 물리환경 평가

본 연구에서 제시하는 물리환경의 평가체계는 하천유형에 따라 평가구간 단위인 세구간(reach)의 규모와 평가항목이 다르게 구성되어 있는 것이 특징이다. 세구간의 크기는 급경사 하천의 경우 저수로 폭의 10배이며, 중경사 및 완경사 하천의 경우 저수로 폭의 25배를 기준으로 하고 있다.

하천 물리환경의 평가항목은 하도의 종단적 특성 변화를 반영하여 경사에 따라 다르게 구성되어 있다. 산지의 급경사 하천의 경우 전석 등

Table 5. Grain size distributions of bed materials in Gapcheon.

Location (km)	D50 (mm)	D60 (mm)	Max. (mm)
13	16	20	126
17	20	29	196
19	13	17	174
23	31	40	111
27	46	57	141
32	55	70	190
Mean	29.3	37.2	124.7

Table 6. Grain size distributions of bed materials in Yudeungcheon.

Location (km)	D50 (mm)	D60 (mm)	Max. (mm)
14.6	35	46	176
15.6	22	30	127
16.4	16	20	157
17.2	28	35	139
20.0	30	38	165
22.4	28	34	106
23.8	19	21	62
26.8	20	26	127
29.4	14	16	87
31.4	18	20	94
34.4	19	24	163
36.0	20	26	289
Mean	24.9	30.8	116.9

의 하상재료로 형성된 계단상의 step-pool의 구조, 충적지의 중경사 하천은 자갈과 모래 등의 하상재료로 형성된 여울-소의 구조를 중심으로 수리 및 하도의 수문지형(hydromorphology) 특성을 반영하고 있다. 또한 완경사 하천은 모래 또는 점토 등의 하상재료로 형성된 사주와 소의 다양성을 반영하고 있다.

3개 하천유형은 급경사, 중경사, 완경사의 하천유형이고 3개 영역은 하도 및 수리, 하안, 하천교란 영역이며, 10개 항목은 3개의 하천유형에 따라 유효서식처, 하상매몰도 및 소의 하상재료, 유속·수심 및 소의 다양성, 하상안정, 하도흐름상태, 여울출현빈도 및 사행도, 하천횡단형성, 하안안

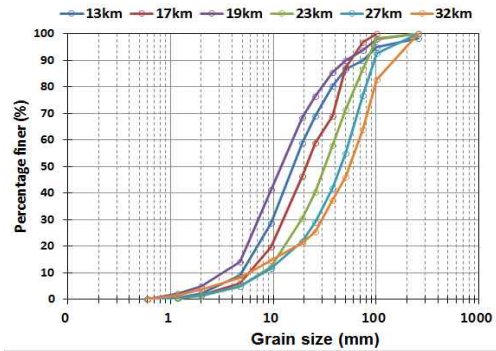


Figure 10. Grain size distributions of bed materials in Gapcheon.

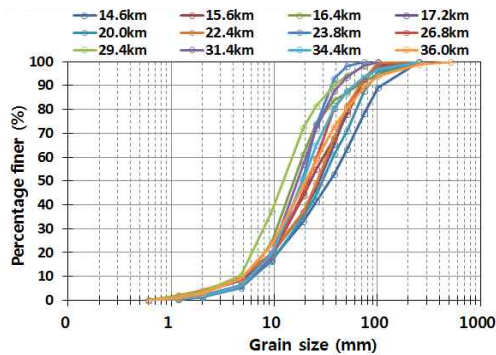


Figure 11. Grain size distributions of bed materials in Yudeungcheon.

정도, 하도개수, 하천횡단구조물 등의 정량적 평가지표이다. 생물서식처 기반에 따라 평가점수는 평가총점의 평가항목 수를 나눈 값에서 1등급은 최적(1등급)상태의 20~18≥점, 우수(2등급)상태의 18>~14≥점, 보통(3등급)상태의 14>~8≥점, 한계(4등급)상태의 8>~4≥점, 미흡(5등급)상태의 4>점으로 등급을 산정하였다. 하천의 하도 및 수리특성은 하천유형에 따라 다르기 때문에 본 연구에서는 대상하천의 하천유형을 중경사 하천(Mid gradient stream)과 완경사 하천(Low gradient stream)으로 구분하여 평가하였다.

1) 중경사(Mid gradient) 하천구간

Figure 12~Figure 13 및 Table 7~Table 8은 남강과 유등천의 하천에 물리환경을 중경사로 분

류하고 평가한 결과이다. 대조하천인 남강의 Reach No.1~Reach No.3 구간과 유등천의 Reach No.3~Reach No.15 구간을 평가하고 그 결과를 비교하였다. 남강의 Reach No.2 구간은 산지 협곡 구간으로서 하천교란이 거의 없기 때문에 전체적으로 대조하천(1등급)의 특성을 잘 나타내고 있는 반면에 Reach No.1 및 Reach No.3 구간은 하류의 농경지 및 전원주택 개발지가 산재하고 있어 하천교란과 관련된 영역에서 다소 감점요인이 있

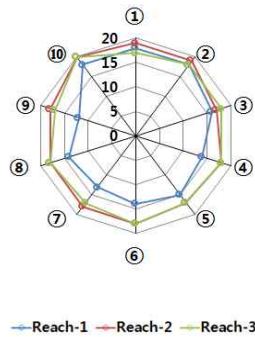


Figure 12. Assessment results of Namgang.

Table 7. Assessment results of Namgang.

Category	Habitat parameter	Mid-gradient			
		Reach No.			
		1	2	3	Mean
Channel and hydraulic characteristics	① Available cover	18	19	17	18
	② Riffle substrate	18	19	18	18
	③ Velocity/depth	16	17	18	17
Bank	④ Sediment deposition	14	18	18	17
	⑤ Channel flow status	15	17	17	16
Disturbance	⑥ Frequency of riffles	14	18	18	17
	⑦ Cross-section shape	13	18	17	16
	⑧ Bank stability	14	18	18	17
	⑨ Channel alteration	12	18	17	16
	⑩ Stream crossing structures	18	20	20	19
Score (Grade)		82 (2)	92 (1)	91 (2)	86 (2)

으나 우수(2등급)한 것으로 평가되었다. 유등천은 Reach No.3 구간인 도시구간에서 한계(4등급)으로 나타났고, Reach No.4~Reach No.15 구간은 보통(3등급)으로 평가되었다.

Figure 12 및 Table 7은 남강의 평가결과를 나타낸 것으로서 우수(2등급 이상)한 것으로 나타났다. 남강은 대상구간 최하류인 Reach No.1 구간에 보가 1개소 설치되어 있고, 제방이 좌·우안에 부분적으로 설치되어 있어 우수(2등급)로 평가되었다. Reach No.2 및 Reach No.3 구간은 하천횡단 구조물이 없고 굴입하도를 형성하고 있어 자연하천에 가까운 특성을 가지고 있기 때문이다. Figure 13 및 Table 8은 유등천의 평가결과를 나타낸 것으로서 전체적으로 보통(3등급) 상태이나 최하류 구간에서는 한계(4등급)상태로 나타났다. 한계(4등급)상태에 가까운 Reach No.3 구간은 도시구간으로서 징검다리 겸용 하상유지공 및 보가 3개소에 설치되어 있고 대대적인 하천정비로 하천교란이 심한 것으로 평가되었다. Reach No.4~Reach No.15 구간은 제방축제로 인하여 정형화된 단면 구간이 대부분일 뿐 아니라 농업용수 취수보가 설치되어 정체수역이 많아 보통(3등급)상태로 평가되었다.

2) 환경사(Low gradient) 하천구간

Figure 14~Figure 16 및 Table 9~Table 11은 남강, 갑천 및 유등천에 하천의 물리환경을

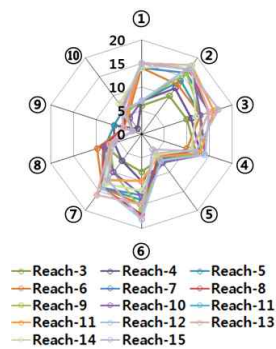


Figure 13. Assessment results of Yudeungcheon.

Table 8. Assessment results of Yudeungcheon.

Category	Habitat parameter	Mid-gradient													
		Reach No.													
		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Mean
Channel and hydraulic characteristics	① Available cover	6.0	7.0	7.0	14.0	14.0	15.0	7.0	7.0	15.0	7.0	15.0	14.0	15.0	9.0
	② Riffle substrate	10.0	12.0	14.0	13.0	16.0	17.0	16.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	17.0	11.0
	③ Velocity/depth	10.0	11.0	13.0	13.0	15.0	15.0	13.0	13.0	16.0	15.0	15.0	12.0	17.0	13.7
	④ Sediment deposition	12.0	13.0	14.0	10.0	11.0	11.0	13.0	14.0	13.0	14.0	11.0	11.0	12.0	12.2
	⑤ Channel flow status	4.5	6.0	4.5	6.5	6.6	5.0	5.0	7.5	6.0	7.0	5.0	5.4	4.0	5.6
	⑥ Frequency of riffle	8.0	10.0	14.0	15.0	13.0	17.0	16.0	13.0	10.0	18.0	15.0	12.0	18.0	13.8
Bank	⑦ Cross-section shape	7.0	7.0	14.0	14.0	14.0	14.0	10.0	10.0	12.0	14.0	16.0	13.0	12.0	12.1
	⑧ Bank stability	8.0	6.0	8.0	9.8	8.4	8.4	7.0	8.0	7.0	7.0	7.0	6.0	6.0	7.4
Disturbance	⑨ Channel alteration	2.0	6.0	6.0	4.0	4.0	4.0	2.0	2.0	2.0	2.0	4.0	2.0	2.0	3.2
	⑩ Stream crossing structures	1.4	1.4	6.4	4.8	7.0	5.6	5.6	4.2	5.4	6.4	7.2	8.0	6.4	5.4
Score (Grade)		70.5 (4)	82 (3)	99.5 (3)	105.3 (3)	109 (3)	114.4 (3)	98 (3)	102.5 (3)	110 (3)	114 (3)	119 (3)	107.4 (3)	118 (3)	88.0 (3)

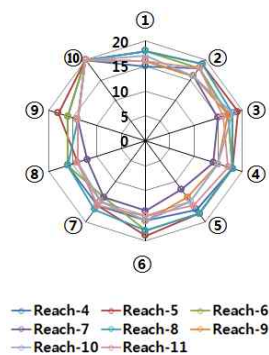


Figure 14. Assessment results of Namgang.

환경사로 분류하고 평가한 결과이다. 대조하천인 남강의 Reach No.4~Reach No.11 구간, 갑천의 Reach No.1~Reach No.8 구간 및 유등천의 Reach No.1~Reach No.2 구간을 평가하고 그 결과를 비교하였다.

Figure 14 및 Table 9는 남강의 평가결과를 나타낸 것이다. Reach No.4~Reach No.11 구간은 양안이 꼭져평야를 형성하고 있어 평가단위 구간 내에 부분적으로 제방이 축재되어 있어 평가지표 중 하천단면 형상, 하도개수 및 하안안

Table 9. Assessment results of Namgang.

Category	Habitat parameter	Low-gradient								
		Reach No.								
		4	5	6	7	8	9	10	11	Mean
Channel and hydraulic characteristics	① Available cover	15	18	18	16	18	16	17	16	17
	② Pool substrate	18	19	18	16	19	16	16	18	18
	③ Pool Variability	17	19	17	15	18	17	18	16	17
	④ Sediment deposition	18	18	18	14	18	15	15	17	17
	⑤ Channel flow status	17	18	18	12	18	14	15	16	16
	⑥ Channel sinuosity	16	19	18	14	18	16	16	15	17
Bank	⑦ Cross-section shape	16	16	14	14	17	15	15	16	15
	⑧ Bank stability	16	14	16	12	16	14	14	14	15
Disturbance	⑨ Channel alteration	16	18	16	14	14	14	14	14	15
	⑩ Stream crossing structures	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Score (Grade)		153 (2)	164 (2)	159 (2)	134 (2)	164 (2)	146 (2)	150 (2)	153 (2)	147 (2)

Table 11. Assessment results of Yudeungcheon.

Category	Habitat parameter	Low gradient		
		Reach No.		
		1	2	Mean
Channel and hydraulic characteristics	① Available cover	8.0	5.0	6.5
	② Pool substrate	6.0	5.0	5.5
	③ Pool Variability	5.0	6.0	5.5
	④ Sediment deposition	11.0	11.0	11.0
	⑤ Channel flow status	7.5	8.5	8.0
	⑥ Channel sinuosity	7.0	8.0	7.5
Bank	⑦ Cross-section shape	7.0	7.0	7.0
	⑧ Bank stability	9.0	9.0	9.0
Disturbance	⑨ Channel alteration	6.0	6.0	6.0
	⑩ Stream crossing structures	3.2	3.2	3.2
Score (Grade)		61.5 (4)	61.5 (4)	66 (4)

어지고 수생식물은 빈약하게 나타났으며, 하도 개수로 인한 교란이 심하여 한계(4등급)상태로 평가되었다.

3) 고찰

하천유형이 중경사인 경우, 대조하천인 남강은 하천구조물 설치와 하천개수 등의 교란이 거의 없는 구간에서는 3개 영역의 10개 서식처 변수에 대한 평가결과가 고르게 우수 상태로 나타났다.

비교하천인 유등천의 도시구간은 친수활동을 위하여 보 및 징검다리 등의 설치로 인하여 하도 및 수리 특성 분야에서는 유효 서식처 및 여울출현빈도의 2개 서식처 변수에 대한 평가결과가 보통상태로 나타났으며, 하안영역에서는 부분적으로 석재·콘크리트블록 호안이 설치되어 있어 하안 안정성은 보통으로 평가되었다. 특히, 교란영역에서는 고수부지 조성과 저수 및 고수호안에 콘크리트블록이 설치되어 있고 하

천횡단구조물이 과다하게 설치되어 있어 한계상태와 미흡상태로 평가되었다.

하천유형이 완경사인 경우, 대조하천인 남강은 하천구조물이 없고 부분적인 하천개수가 있는 구간에서는 하도 및 수리 특성 영역의 6개 서식처 변수에 대한 평가결과가 고르게 나타났다. 제방축조 등의 하천개수로 인하여 하안영역의 하도단면형상과 하안 안정성 및 교란영역의 하도개수의 3개의 서식처 변수에 대한 평가결과가 우수 상태로 평가되었으나 상대적으로 낮게 나타났다.

비교하천인 갑천 및 유등천의 도시구간은 친수활동을 위한 하천횡단구조물 설치, 고수부지 조성, 저수 및 고수 호안 설치 등의 하도개수 등으로 인하여 소의 하상재료(기질) 및 소의 다양성이 단순하여 한계상태로 평가되었다.

본 연구에서 자연하천에 가까운 참조하천과 교란하천인 비교하천을 조사하고 평가한 결과에 의하면 비교하천들은 농촌지역 및 도시지역 등 하천주변의 토지이용에 따라 친수와 이수 등 하천공간 이용에 대한 수요가 크게 다르기 때문에 하천교란의 특성 및 정도가 다르게 나타났다. 따라서 교란하천은 하천의 물리환경에 대한 조사 및 평가를 수행하고 현황을 진단하여 하천관리계획의 수립에 반영하여야 한다.

본 연구결과는 앞으로 하천관리 및 보전을 위한 목표의 수립, 하천공사에 대한 평가 및 시행된 하천복원사업 등의 효과를 검증하는 데 활용될 수 있을 것이다.

IV. 결 론

본 연구는 국내 하천의 자연적인 특성과 하천공간의 이용 특성을 반영하여 개발한 하천의 물리환경 평가시스템의 적용성을 검증하는 것이 목적이므로, 1차적으로 대조하천인 남강을 기준으로 도시화로 교란된 하천인 갑천과 유등천을 비교하천으로 적용하여 분석, 검토하였다. 연구

결과는 도시하천에서 일반적으로 시행되는 친수공간의 조성으로 인한 서식처 환경변화를 나타내는 변수들을 분석하여 하천의 물리환경 복원을 위한 기초자료를 제시하였다는 데 그 의의가 있으며, 요약하면 다음과 같다.

하천횡단구조물이 없고 하천개수가 거의 없는 대조하천 구간에서는 3개 영역의 10개 서식처 변수에 대한 평가결과가 고르게 최적상태로 나타났다.

수경창출을 위한 보 및 산책을 위한 징검다리, 고수부지 조성으로 저수호안 및 고수호안 설치 및 체육공원 조성 등 친수활동을 중심으로 하천정비가 시행된 도시하천인 비교하천 구간에서는 하천교란으로 인하여 한계상태로 평가되었다. 또한, 하천횡단구조물의 설치 간격이 짧기 때문에 중경사 하천유형에서는 여울의 출현빈도가 작거나 없는 경우도 있으며, 완경사 하천유형에서는 보 상류의 소에 오니가 퇴적되고 저수호안 설치로 인하여 소의 다양성이 훼손되는 등 서식환경이 나쁜 것으로 나타났다.

결과적으로 하천기본계획에서 친수지구로 지정된 도시하천에서는 하도 및 수리 특성 분야의 서식처 매개변수를 고려하여 치수, 이수 및 환경적 측면에서 자연과 인간이 공존하는 하천복원 및 관리가 필요할 것이다. 하천의 물리환경 평가시스템은 향후 다양한 하천유형과 하천 공간이용 측면 등을 반영하고 지속적인 적용을 통하여 보완할 필요가 있다.

References

- Davis, W.M. 1899. The geographical cycle. *The Geographical Journal*. 14: 481-504.
- Montgomery, D.R. and Buffington, J.M. 1997. Channel-reach morphology in mountain drainage basins. *Geological Society of America Bulletin*: 596-611
- EPA. 2004. Field operation manual. EPA 841-B-04-004.
- EPA. 2004. Field operation manual. EPA 841-B-04-004.
- Ferguson, R.I. 1987. Hydraulic and sedimentary controls of channel pattern. In, K.S. Richardson (ed.), *River Channels*. Blackwell, London, UK.: 129-158.
- Horton, R.E. 1945. Erosional development of streams and their drainage basins: Hydro-physical approach to quantitative morphology. *Bulletin of the Geological Society of America*. 56: 277-370.
- KICT. 2007. Development of multi-functional river restoration techniques. KICT 2007-122 : 32-69. (in Korean with English summary)
- Kim DC and Park IS. 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 KH. 2008. Assessment of physical river disturbance in Namgang-dam downstream. *Journal of Korean Society of Environmental Restoration Technology*. 12(3): 83-97. (in Korean with English summary)
- Kim KH. 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 with English summary)
- Kim KH and Jung HR. 2015. An Application of Stream Classification Systems in the Nam River, Korea. *Ecology and Resilient Infrastructure*. 2(2): 118-127. (in Korean with English summary)
- Kim KH · Lee HR and Jung HR. 2016. An anal-

- ysis on geomorphic and hydraulic characteristics of dominant discharge in Nam River. *Journal of Korean Water Resources Association*. 49(1): 83-94. (in Korean with English summary)
- Lane, E.W. 1957. A Study of the Shape of Channels Formed by Natural Streams Flowing in Erodible Materials. Missouri River Division Sediment Series No.9, U.S. Army Engineer Division, Missouri River, Corps of Engineers, Omaha, Nebraska, USA: 13-38.
- LAWA(Laenderarbeitsgemeinschaft Wasser). 2004. Gewaesserstrukturguetekartierung in der Bundesrepublik Deutschland - Uebersichtsverfahren, Berlin, Germany. (in German)
- Leopold, L.B. and Wolman, M.G. 1957. River channel patterns: braiding, meandering and straight. *U.S. Geological Survey Professional Papers* 282b: 39-85.
- L.B. Leopold, M.G. Wolman, J.P. Miller(1964), *Fluvial Processes in Geomorphology*, Freeman, San Francisco, CA (1964): 522.
- Montgomery, D.R. and Buffington, J.M. 1993. Channel Classification, Prediction of Channel Response, and 10.
- Park BJ · Shin JI and Jung KS. 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.
- Parsons, M., Thoms, M. and Norris, R. 2002. Australian River Assessment System: AusRivAS Physical Assessment Protocol. Monitoring River Health Initiative Technical Report no 22, Commonwealth of Australia and University of Canberra, Canberra, Australia.
- Rosgen, D.L. 1994. A classification of natural rivers. *Catena* 22: 169-199.
- Rosgen, D.L. 1996. *Applied River Morphology*. John Wiley & Sons, Chichester, UK.
- SEPA. 2003. *Field Survey Guidance Manual: 2003 Version*. Scottish Environment Protection Agency, Environmental Agency, Bristol, UK.
- Strahler, A.N. 1952. Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. *Bulletin of the Geological Society of America* 63: 1117-1142.
- Thorne, C.R. 1997. Channel types and morphological classification. In, C.R Thorne, R.D. Hey and M.D.
- Yamamoto, K. 1988. *Channel Specific Analysis*. Public Works Research Institute Report 1394. (in Japanese).

Appendix I

Table 1. Field survey data sheet for assessment of channel and hydraulic characteristics.

High gradient stream																			
Stream class								Location											
Stream name								Reach No.											
Station No.				~				Reason for survey											
Investigator								Date/Time											
Division	Habitat parameter	Condition category																	
		Optimal 20~18			Sub-optimal 17~14				Normal 13~8				Marginal 7~4		Poor 3~1				
Channel and Hydraulic Characteristics	Available cover	Greater than 70% of substrate favorable for epifaunal colonization and fish cover; mix of Boulder-cobble or other stable habitat and at a stage to allow full colonization potential.			70-40% mix of stable habitat; well-suited for full colonization potential; adequate habitat for maintenance of populations; presence of additional substrate in the form of newfall, but not yet prepared for colonization (may rate at high end of scale).				40-30% mix of stable habitat; habitat availability less than desirable; substrate frequently disturbed or removed				30-20% mix of stable habitat; habitat availability less than desirable; substrate frequently disturbed or removed		Less than 20% stable habitat; lack of habitat is obvious; substrate unstable or lacking				
	Score	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	7	6	5	4	3	2	1
	Embeddedness	Step-pool substrate consists of cobble and boulder particles that are 0-25% surrounded by fine gravel. Layering of cobble provides diversity of niche space.			Cobble and boulder particles in step-pool areas may be 25-45% surrounded by fine gravel.				Cobble and boulder particles in step-pool areas may be 45-65% surrounded by fine gravel.				Cobble and boulder particles in step-pool areas may be 65-85% surrounded by fine gravel.		Cobble and boulder particles in step-pool areas are more than 85% surrounded by fine gravel.				
	Score	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	7	6	5	4	3	2	1
	Velocity/Depth	All four 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 flow regimes are present (if fast-shallow is missing, score lower than if missing other regimes).				Only 2 of the 3 habitat regimes are present (if fast-shallow or slow-shallow are missing, score low).				Dominated by 2 velocity/depth regime (usually slow-deep, slow-shallow)		Dominated by 1 velocity/depth regime (usually slow-deep).				
	Score	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	7	6	5	4	3	2	1
	Sediment deposition	Little or no enlargement of islands or point bars and less than 5% of the bottom affected by fine gravel deposition.			Some new increase in bar formation, mostly from fine gravel ; 5-20% of the bottom affected ; slight deposition in pools.				Moderate deposition of new gravel on old and new bars; 20-35% of the bottom affected ; fine gravel deposits at obstructions, constrictions, and bends; moderate deposition of pools prevalent.				Moderate deposition of new gravel on old and new bars; 35-50% of the bottom affected; fine gravel deposits at obstructions, constrictions, and bends; moderate deposition of pools prevalent.		Heavy deposits of fine gravel, increased bar development; more than 50% of the bottom changing frequently; pools almost absent due to substantial fine gravel deposition.				
	Score	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	7	6	5	4	3	2	1
	Channel flow status	Water reaches base of both lower banks, and minimal amount of channel substrate is exposed.			Water fills >75% of the available channel; or <25% of channel substrate is exposed.				Water fills 25-50% of the available channel; and/or riffle substrates are mostly exposed.				Water fills 50-75% of the available channel; and/or riffle substrates are mostly exposed.		Very little water in channel and mostly present as standing pools.				
	weight	Natural channel : 1.0, stepping stone : 0.9, dredging : 0.8, Crossing structure height : (<0.5m) 0.7, (0.5~1.0m) 0.6, (1.0m<) 0.5																	
	Score	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	7	6	5	4	3	2	1
	Frequency of step-pools	Occurrence of step-pools relatively frequent; ratio of distance between step-pools divided by width of the stream <4:1 (generally 1 to 4); variety of habitat is key. In streams where step-pools are continuous, placement of boulders or other large, natural obstruction is important.			Occurrence of step-pools infrequent; distance between riffles divided by the width of the stream is between 4 to 6.				Occasional riffle; bottom contours provide some habitat: distance between step-pools divided by the width of the stream is between 6 to 8.				Occasional step-pool; bottom contours provide some habitat: distance between step-pools divided by the width of the stream is between 8 to 10.		Generally all flat water or shallow step-pools; poor habitat; distance between step-pools divided by the width of the stream is a ratio of >10.				
	Score	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	7	6	5	4	3	2	1

Table 1. Field survey data sheet for assessment of channel and hydraulic characteristics(continue).

Scope	Habitat parameter	Condition category																			
		Optimal			Sub-optimal				Normal				Marginal			Poor					
		20~18			17~14				13~8				7~4			3~1					
Bank	Cross-section shape of channel	Both levees are mostly mountains or natural levees that are not improved. >70% of reach has condition of natural levee. Stream improvement : steep slope levee(>1:1), retaining wall, low water revetment, high water channel, and dredging.			One of both levees is mostly mountains or natural levees that are not improved. 70~50% of reach has condition of natural levee.				One of both levees is mostly mountains or natural levees that are not improved. 50~30% of reach has condition of natural levee.				Both sides are confined by levees, but 30~10% of reach has relatively condition of close-to-natural levees with small impact on ecosystem according to improvement works for close-to-natural stream (mild slope levee(<1:2), soil cover revetment, and vegetated revetment).			Both sides are confined by levees, and <10% of reach has condition of close-to-natural levees because of artificial stream according to improvement works.					
	Score	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
	Bank Stability (score each bank)	Banks stable; evidence of erosion or bank failure absent or minimal; little potential for future problems. <5% of bank affected			Moderately stable ; infrequent, small areas of erosion, mostly healed over. 5-30% of bank in reach has areas of erosion.				Moderately unstable; 30-50% of bank in reach has areas of erosion; high erosion potential during floods.				Moderately unstable; 50-70% 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; 60-100% of bank has erosional scars.					
	weight	Natural bank : 1.0, artificial mild slope bank: 0.9, soil-cover revetment(gabion) : 0.8, stone pitching revetment(porous) : 0.6, stone/concrete-block masonry revetment 0.5																			
	Score	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
Disturbance	Channel alteration	Channelization or dredging absent or minimal; stream with normal pattern (Less than 5%)			Some channelization present, usually in areas of bridge abutments; evidence of past channelization, i.e., dredging, (greater than past 20yr) may be present, but recent channelization is not present. (5~30%)				Channelization may be extensive ; embankments or shoring structures present on both banks; and 30-50% of stream reach channelized and disrupted.				Channelization may be extensive; embankments or shoring structures present on both banks; and 50-70% of stream reach channelized and disrupted.			Banks shored with gabion or cement; over 70% of stream reach channelized and disrupted. In stream habitat greatly altered or removed entirely.					
	Score	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
	Stream crossing structures	Habitat is not affected by structures because river crossing structures such as weir and drop structure in reach are not at all.			Habitat is a little affected by structures because the height of river crossing structures such as weir and drop structure in reach are <0.5m.				Habitat is more or less affected by structures because the height of river crossing structures such as weir and drop structure in reach are 0.5~1.0m.				Habitat is more affected by structures because the height of river crossing structures such as weir and drop structure in reach are 1.0~1.5m.			Habitat is seriously affected by structures because the height of river crossing structures such as weir and drop structure in reach are >1.5m.					
	Weight	Number of step-pools between structures : >5 step-pools(1.0), 5~4 step-pools(0.9), 3-2 riffles(0.8), 1 step-pool(0.7), no step-pool(0.6)																			
	Score	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1

Appendix II

Table 2. Field survey data sheet for assessment of channel and hydraulic characteristics.

Mid gradient stream																					
Stream class																					
Stream name																					
Station No.			~																		
Investigator																					
			Location																		
			Reach No.																		
			Reason for survey																		
			Date/Time																		
Division	Habitat parameter	Condition category																			
		Optimal			Sub-optimal				Normal				Marginal			Poor					
		20~18			17~14				13~8				7~4			3~1					
Channel and Hydraulic Characteristics	Available cover	Greater than 50% of substrate favorable for epifaunal colonization and fish cover; mix of snags, submerged logs, undercut banks, cobble or other stable habitat and at a stage to allow full colonization potential (i.e. logs/snags that are NOT new fall and are NOT transient).			50-40% mix of stable habitat; well-suited for full colonization potential; adequate habitat for maintenance of populations; presence of additional substrate in the form of newfall, but not yet prepared for colonization (may rate at high end of scale).				40-30% mix of stable habitat; habitat availability less than desirable; substrate frequently disturbed or removed				30-20% mix of stable habitat; habitat availability less than desirable; substrate frequently disturbed or removed			Less than 20% stable habitat; lack of habitat is obvious; substrate unstable or lacking					
	Score	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
	Riffle Substrate	Riffle substrate consists of gravel, cobble, and boulder particles that are 0-25% surrounded by fine sediment. Pool substrates are a mixture of substrate materials with little to no deposition of fines and gravel or cobble prevalent.			Gravel, cobble, and boulder particles in riffle areas may be 25-45% surrounded by fine sediment. Pool substrates are a mixture of coarse to soft sand; some root mats and submerged vegetation may be present.				Gravel, cobble, and boulder particles in riffle areas may be 45-65% surrounded by fine sediment. Pool substrates are a mixture of coarse to soft sand; some root mats and submerged vegetation may be present.				Gravel, cobble, and boulder particles in riffle areas may be 65-85% surrounded by fine sediment. Pool substrates are a mixture of coarse to soft sand; some root mats and submerged vegetation may be present.			Gravel, cobble, and boulder particles in riffle areas are more than 85% surrounded by fine sediment. Pool substrate may be all mud with root mat and submerged vegetation abundant. Niche space severely limited.					
	Score	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
	Velocity/Depth	All four velocity/depth regimes present (slow-deep, slow-shallow, fast-deep, fast-shallow). Slow is <0.3m/s, deep is > 0.5 m.)			Only 3 of the 4 flow regimes are present (if fast-shallow is missing, score lower than if missing other regimes).				Only 2 of the 4 habitat regimes are present (if fastshallow or slow-shallow are missing, score low).				Dominated by 1 velocity/depth regime			Dominated by 1 velocity/depth regime (usually slow-deep).					
	Score	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
	Sediment deposition	Little or no enlargement of islands or point bars and less than 5% of the bottom affected by sediment deposition.			Some new increase in bar formation, mostly from gravel, sand, or fine sediment; 5-20% of the bottom affected; slight deposition in pools.				Moderate deposition of new gravel, sand, or fine sediment on old and new bars; 20-35% 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; 35-50% 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 50% of the bottom changing frequently; pools almost absent due to substantial sediment deposition.					
	Score	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
	Channel flow status	Water reaches base of both lower banks, and minimal amount of channel substrate is exposed.			Water fills >75% of the available channel; or <25% of channel substrate is exposed.				Water fills 25-50% of the available channel; and/or riffle substrates are mostly exposed.				Water fills 50-75% of the available channel; and/or riffle substrates are mostly exposed.			Very little water in channel and mostly present as standing pools.					
	weight	Natural channel : 1.0, stepping stone : 0.9, dredging : 0.8, Crossing structure height : (<0.5m) 0.7, (0.5~1.0m) 0.6, (1.0m<) 0.5																			
Score	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	
Frequency of riffles	Occurrence of 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 riffles infrequent; distance between riffles divided by the width of the stream is between 7 to 15.				Occasional riffle; bottom contours provide some habitat: distance between riffles divided by the width of the stream is between 15 to 20.				Occasional riffle; 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 riffles; poor habitat; distance between riffles divided by the width of the stream is a ratio of >25.						
Score	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	

Table 2. Field survey data sheet for assessment of channel and hydraulic characteristics(continue).

Scope	Habitat parameter	Condition category																			
		Optimal 20~18			Sub-optimal 17~14				Normal 13~8				Marginal 7~4			Poor 3~1					
Bank	Cross-section shape of channel	Both levees are mostly mountains or natural levees that are not improved. >70% of reach has condition of natural levee. Stream improvement : steep slope levee(>1:1), retaining wall, low water revetment, high water channel, and dredging.			One of both levees is mostly mountains or natural levees that are not improvement. 70~50% of reach has condition of natural levee.				One of both levees is mostly mountains or natural levees that are not improvement. 50~30% of reach has condition of natural levee.				Both sides are confined by levees, but 30~10% of reach has relatively condition of close-to-natural levees with small impact on ecosystem according to improvement works for close-to-natural stream (mild slope levee(<1:2), soil cover revetment, and vegetated revetment).			Both sides are confined by levees, and <10% of reach has condition of close-to-natural levees because of artificial stream according to improvement works.					
	Score	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
	Bank Stability (score each bank)	Banks stable; evidence of erosion or bank failure absent or minimal; little potential for future problems. <5% of bank affected			Moderately stable ; infrequent, small areas of erosion, mostly healed over. 5-30% of bank in reach has areas of erosion.				Moderately unstable; 30-50% of bank in reach has areas of erosion; high erosion potential during floods.				Moderately unstable; 50-70% 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; 60-100% of bank has erosional scars.					
	weight	Natural bank : 1.0, artificial mild slope bank : 0.9, soil-cover revetment(gabion) : 0.8, stone pitching revetment(porous) : 0.6, stone/ concrete-block masonry revetment 0.5																			
Score	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	
Disturbance	Channel alteration	Channelization or dredging absent or minimal; stream with normal pattern (Less than 5%)			Some channelization present, usually in areas of bridge abutments; evidence of past channelization, i.e., dredging, (greater than past 20yr) may be present, but recent channelization is not present. (5~30%)				Channelization may be extensive ; embankments or shoring structures present on both banks; and 30-50% of stream reach channelized and disrupted.				Channelization may be extensive; embankments or shoring structures present on both banks; and 50-70% of stream reach channelized and disrupted.			Banks shored with gabion or cement; over 70% of stream reach channelized and disrupted. Instream habitat greatly altered or removed entirely.					
	Score	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
	Stream crossing structures	Habitat is not affected by structures because river crossing structures such as weir and drop structure in reach are not at all.			Habitat is a little affected by structures because the height of river crossing structures such as weir and drop structure in reach are <0.5m.				Habitat is more or less affected by structures because the height of river crossing structures such as weir and drop structure in reach are 0.5~1.0m.				Habitat is more affected by structures because the height of river crossing structures such as weir and drop structure in reach are 1.0~1.5m.			Habitat is seriously affected by structures because the height of river crossing structures such as weir and drop structure in reach are >1.5m.					
	Weight	Number of step-pools between structures : >5 step-pools(1.0), 5~4 step-pools(0.9), 3-2 riffles(0.8), 1 step-pool(0.7), no step-pool(0.6)																			
Score	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	

Appendix III

Table 3. Field survey data sheet for assessment of channel and hydraulic characteristics.

		Low gradient stream																			
Stream class														Location							
Stream name														Reach No.							
Station No.		~												Reason for survey							
Investigator														Date/Time							
Scope	Habitat parameter	Condition category																			
		Optimal 20~18			Sub-optimal 17~14				Normal 13~8				Marginal 7~4			Poor 3~1					
Channel and Hydraulic Characteristics	Available cover	Greater than 50% of substrate favorable for epifaunal colonization and fish cover; mix of snags, submerged logs, undercut banks, cobble or other stable habitat and a stage to allow full colonization potential (I.e. logs/ snags that are NOT new fall and are NOT transient).			50-40% mix of stable habitat; well-suited for full colonization potential; adequate habitat for maintenance of populations; presence of additional substrate in the form of newfall, but not yet prepared for colonization (may rate at high end of scale).				40-30% mix of stable habitat; habitat availability less than desirable; substrate frequently disturbed or removed				30-20% mix of stable habitat; habitat availability less than desirable; substrate frequently disturbed or removed			Less than 20% stable habitat; lack of habitat is obvious; substrate unstable or lacking					
	Score	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
	Pool substrate characteristics	Mixture of substrate materials, with gravel and firm sand prevalent; root mats and submerged vegetation common.			Mixture of soft sand, mud, or clay; mud may be dominant; some root mats and submerged vegetation present.				All mud or clay or sand bottom; little root mat; little submerged vegetation.				Hard-pan clay or bedrock; little root mat or vegetation.			Hard-pan clay or bedrock; no root mat or vegetation.					
	Score	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
	Pool variability	Even mix of large-shallow, large-deep, small-shallow, small-deep pools present			Majority of pools large-deep; very few shallow.				Shallow pools much more prevalent than deep pools.				Majority of pools small shallow.			Majority of pools absent.					
	Score	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
	Sediment deposition	Little or no enlargement of islands or point bars and less than 20% of the bottom affected by sediment deposition.			Some new increase in bar formation, mostly from gravel, sand, or fine sediment; 20-40% of the bottom affected; slight deposition in pools.				Moderate deposition of new gravel, sand, or fine sediment on old and new bars; 40-60% 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% 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% of the bottom changing frequently; pools almost absent due to substantial sediment deposition.					
	Score	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
	Channel flow status	Water reaches base of both lower banks, and minimal amount of channel substrate is exposed.			Water fills >75% of the available channel; or <25% of channel substrate is exposed.				Water fills 25-50% of the available channel; and/or riffle substrates are mostly exposed.				Water fills 50-75% of the available channel; and/or riffle substrates are mostly exposed.			Very little water in channel and mostly present as standing pools.					
	weight	Natural channel : 1.0, stepping stone : 0.9, dredging : 0.8, Crossing structure height : (<0.5m) 0.7, (0.5~1.0m) 0.6, (1.0m<) 0.5																			
Score	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	
Channel sinuosity	The bends in the stream increase the stream length 3 to 4 times longer 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 1 to 2 times longer than if it was in a straight line.				The bends in the stream increase the stream length 1 to 2 times longer than if it was in a straight line.				Channel straight; waterway has been channelized for a long distance.			Channel straight; waterway has been channelized for a long distance.						
Score	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	

Table 3. Field survey data sheet for assessment of channel and hydraulic characteristics(continue).

Scope	Habitat parameter	Condition category																			
		Optimal 20~18			Sub-optimal 17~14				Normal 13~8					Marginal 7~4			Poor 3~1				
Bank	Cross-section shape of channel	Both levees are mostly mountains or natural levees that are not improved. >70% of reach has condition of natural levee. Stream improvement : steep slope levee(>1:1), retaining wall, low water revetment, high water channel, and dredging.			One of both levees is mostly mountains or natural levees that are not improved. 70~50% of reach has condition of natural levee.				One of both levees is mostly mountains or natural levees that are not improved. 50~30% of reach has condition of natural levee.					Both sides are confined by levees, but 30~10% of reach has relatively condition of close-to-natural levees with small impact on ecosystem according to improvement works for close-to-natural stream (mild slope levee(<1:2), soil cover revetment, and vegetated revetment).			Both sides are confined by levees, and <10% of reach has condition of close-to-natural levees because of artificial stream according to improvement works.				
	Score	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
	Bank stability (score each bank)	Banks stable; evidence of erosion or bank failure absent or minimal; little potential for future problems. <5% of bank affected			Moderately stable; infrequent, small areas of erosion, mostly healed over. 5-30% of bank in reach has areas of erosion.				Moderately unstable; 30-50% of bank in reach has areas of erosion; high erosion potential during floods.					Moderately unstable; 50-70% 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; 60-100% of bank has erosional scars.				
	weight	Natural bank : 1.0, artificial mild slope bank : 0.9, soil-cover revetment(gabion) : 0.8, stone pitching revetment(porous) : 0.6, stone/concrete-block masonry revetment 0.5																			
	Score	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
Disturbance	Channel alteration	Channelization or dredging absent or minimal; stream with normal pattern (Less than 5%)			Some channelization present, usually in areas of bridge abutments; evidence of past channelization, i.e., dredging, (greater than past 20yr) may be present, but recent channelization is not present. (5~30%)				Channelization may be extensive; embankments or shoring structures present on both banks; and 30-50% of stream reach channelized and disrupted.					Channelization may be extensive; embankments or shoring structures present on both banks; and 50-70% of stream reach channelized and disrupted.			Banks shored with gabion or cement; over 70% of stream reach channelized and disrupted. Instream habitat greatly altered or removed entirely.				
	Score	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
	River crossing structures	Habitat is not affected by structures because river crossing structures such as weir and drop structure in reach are not at all.			Habitat is a little affected by structures because the height of river crossing structures such as weir and drop structure in reach are <0.5m.				Habitat is more or less affected by structures because the height of river crossing structures such as weir and drop structure in reach are 0.5~1.0m.					Habitat is more affected by structures because the height of river crossing structures such as weir and drop structure in reach are 1.0~1.5m.			Habitat is seriously affected by structures because the height of river crossing structures such as weir and drop structure in reach are >1.5m				
	Weight	Number of step-pools between structures : >5 step-pools(1.0), 5~4 step-pools(0.9), 3-2 riffles(0.8), 1 step-pool(0.7), no step-pool(0.6)																			
Score	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	