

LAWA 기법을 사용한 도시 자연형하천의 물리적 구조평가

Hydromorphological Structure Assessment of Urban Streams after Close-to-Nature Stream Restoration Using LAWA

최계운* / 김혜주** / 박종식*** / 한만신****

Choi, Gye Woon / Kim, Hyea Ju / Park, Jong Sik / Han, Man Shin

Abstract

The hydromorphological structure assessment of the urban streams of Anyang stream, Yangjae stream, Osan stream, Jangsu stream, and Hakui stream 5 years the after close to nature stream restoration work was performed using LAWA (Laenderarbeitsgemeinschaft Wasser) for the investigation of the ecology of streams in urban areas. Based on the results, the effectiveness of stream restoration in urban areas was least in spite that existing various types of stream improvements were applied. Significantly, the grade of the longitudinal, the waterfront, and the use of land nearby waterfront was poorly evaluated. It would be estimated that this trend was due to the discontinuity of the longitudinal, the lack of diversity in waterfront, the installation of facilities nearby waterfront, and was due to the use of hard materials as like stones, blocks, frames, and mats in waterfront. The further studies on the implementation of structural diversity in waterfront should be performed for the improvement of the ecology of urban streams.

Keywords : stream restoration, hydromorphological structure, ecology, stream close to nature

요 지

자연형 하천조성 후 5년 이상 경과한 도시지역의 하천(안양천, 양재천, 오산천, 장수천, 학의천)을 대상으로 LAWA (Laenderarbeitsgemeinschaft Wasser, 독일 연방 물관리 연구공동체) 기법을 활용하여 하천의 물리적 구조평가를 수행하였다. 그 결과 소위 자연형 하천 공법이 적용된 대상하천임에도 불구하고 하천의 물리적 구조적 생태성이 개선되지 않은 것으로 나타났다. 특히 대상하천의 종단면의 구조, 하안구조 및 하천변 토지이용도의 항목에서 낮은 등급을 나타냈다. 그 이유로는 하천종단면의 연속성 단절, 하안구조의 다양성 부족 및 하천주변의 인위적 시설물배치 등이다. 아울러 대상하천의 공통적 특징으로 하안에는 거석, 잡석, 블록 등의 견고한 호안재료가 적용되었으며 식재가 이루어졌다. 따라서 앞으로 도심하천의 보다 양호한 생태성 향상을 위해서는 하천의 다양한 물리적 특성을 고려한 자연형 하천 조성이 필요하다고 사료된다.

핵심용어 : 하천복원, 물리적 구조, 생태성, 자연형 하천

* 교신저자, 인천대학교 공과대학 토목환경공학과 교수

Professor, Dept. of Civil & Environmental System Engineering, Univ. of Incheon, Incheon, Korea (e-mail: gyewoon@incheon.ac.kr)

** 김혜주자연환경계획연구소 소장

Director, Institute of Landscape Planning Hyea-Ju Kim, Kyonggi-do, Korea (e-mail: hjkim@lapla.co.kr)

*** (주)한화건설 기술연구소 선임연구원

Senior Researcher, Hanwha Research Institute of Technology, Daejeon, Korea (e-mail: pjs91@hanwha.co.kr)

**** (재)국제도시물정보과학연구원 선임연구원

Senior Researcher, International Center for Urban Water Hydroinformatics Research & Innovation, Incheon, Korea (e-mail: 8190hansman@hanmail.net)

1. 서론

최근까지 국내 도시지역 하천환경을 살펴보면 1960년 이후 급속한 산업화를 거치며 개발위주의 하천관리에 치중했고 하천의 이수, 치수기능을 극대화하기 위한 하천정비 사업이 수행되었다. 이에 반해 하천의 생태적, 경관적 기능은 거의 고려되지 못하였다. 이후 하천수질 악화, 주민의 삶의 질 향상 요구 등이 크게 부각되면서 정부, 지방자치단체 주도의 도심하천의 생태환경 복원 및 생태하천 조성을 위한 복원사업이 수행되었다(건설교통부, 1995, 1997; 서초구, 2003; 인천시, 2004). 또한 현재 정부주도의 4대강 살리기 사업이 진행 중에 있다.

일찍이 독일, 스위스, 일본, 미국 등 선진국에서는 치수위주의 인공적이며 획일적인 하천조성에 따른 생태환경적인 문제점을 인식하고 이를 개선하기 위한 사회적, 기술적 방안을 찾고자 하였다. 독일, 스위스 등에서는 1970년대부터 근자연형 하천공법이라 하여 콘크리트나 금속 토목재료를 대신해 갯벌, 거석, 통나무 등 자연재료를 활용한 하천조성 방법을 적용하였다. 독일에는 엔츠강(Enz river), 구텐바흐강(Guten bach river), 네카강(Neckar river) 등에 다양한 생태복원기법이 적용된 하천 복원사례가 있다(하천복원연구회, 2006). 일본의 경우에는 1980년대부터 독일의 근자연형 하천공법의 개념을 자국의 여건에 맞게 수정 보완한 다자연형 하천공법을 하천에 적용하였다. 일본에서는 쇼진천(Syojin river) 구요시노천(Kyu Yoshino river), 아라천(Ara river), 수가타천(Sugata river) 등의 하천복원사례가 있으며(하천복원연구회, 2006) 나고야 자연공생연구센터 등에서는 실험하천 및 호소를 만들어 다양한 하천조성 공법을 적용하고 장기간의 하천 모니터링 연구를 수행하고 있다. 미국의 경우에도 1980년대 말부터 연방정부와 주정부 하천 관련 기관들을 중심으로 자연형하천 조성계획을 수립하고 관련공법에 대한 지침서를 작성하여 하천복원에 이용하고 있다. 미국의 자연형하천 조성사례로는 호토피아천(Hoto phia creek), 리틀토파쇼천(Little Topashaw creek), 레드강(Red river) 등이 있다(하천복원연구회, 2006).

국내에서는 수원천, 오산천, 양재천, 장수천 등에 자연형 하천을 표방한 하천정비 사업이 수행되었으며 이와 더불어 학계에서도 생태하천 조성에 관한 다양한 연구가 수행되었다(김혜주, 1997; 김혜주, 1999; 신정미, 1999; 최규창과 김남춘, 1999; 김혜주, 2000; 문석기 등, 2000; 안근영과 이은희, 2000; 김혜주 등, 2003; 김선근 등, 2004; 김재

철 등, 2006; 김기홍과 이형래, 2007).

한편 외국의 경우 복원된 하천의 효과성을 검증하여 복원상의 문제점을 확인하고 개선해 나가는 작업을 실시하고 있다. 그러나 국내의 경우 복원사업은 전국적으로 이루어지고 있으나 복원사업결과에 대한 평가는 거의 이루어지고 있지 않고, 또한 이를 위한 종합적이고 체계적인 평가방법도 없는 상태이다. 하천의 종합적 평가는 현재 환경부에서 하천의 건강성 평가에 대한 연구를 진행 중이지만, 각 분야의 전문가를 총동원하지 않고도 비교적 조사가 간편한 방법으로 하천의 물리적 프로세스를 근거로 한 하천 생태성 평가가 있다. 이 방법은 이미 국내에서 독일 라인란드팔츠 주의 지침을 이용한 조용현(1997), 이를 다소 변형한 김동찬 등(2000), 이상호(2000), 박병철 등(2002), 박진원과 마호섭(2003)에서도 찾아볼 수 있다.

본 연구에서는 자연형 하천조성 사업의 효과성과 문제점을 평가해 보기 위하여 사업 후 5년 이상 경과된 자연형 하천인 안양천, 양재천, 오산천, 장수천, 학의천을 대상으로 LAWA (Laenderarbeitsgemeinschaft Wasser, 국가연방물관리공동체)의 물리적 구조 조사기법을 활용하여 대상하천의 물리적 구조를 통한 하천복원의 생태성을 평가해 보고자 하였다.

2. LAWA (2000)를 이용한 하천의 물리적 구조평가 기법

하천의 물리적 구조평가는 하천구조에 나타난 역동적인 프로세스의 생태적 수준을 정량적으로 산정, 평가하는 것을 말한다. 하천의 다양한 지형, 수변, 하상 및 인접한 지역의 생태학적 특성 등을 조사함으로써 하천의 물리적 구조를 평가할 수 있다. 특히 하천의 수질이나 생물상의 조사나 평가없이도 하천의 물리적 프로세스만을 이용한 비교적 실용적이며 경제적인 평가방법이라 할 수 있다.








본 연구에서는 LAWA (2000)에 의거 하천의 물리적 구조평가를 실시하였다. 본 평가결과의 활용범위는 하천의 발전 및 향상을 위한 자료가 필요한 경우, 계획된 하천공사, 하천관리, 보상공사에 대한 평가를 하기 위한 경우, 실시된 하천공사와 복원의 효과성을 검증하는데, 또는 하천구조의 목표를 설정하는 것 등에 이용한다(LAWA, 2000).

본 조사는 아래의 Table 1에서와 같이 6개의 주항목과 25개의 세항으로 구성되었고, 부록의 조사표에서와 같이 하천유형과 물리적 프로세스에 따라서 인덱스의 값이 결

Table 1. The Contents of Hydromorphological Structure Assessment

	Zone	Main assessment content	Functionality	Subsection
Synthesize assessment	River bed	1. Vertical characteristic	Meandering	Vertical meandering
				Vertical barrier
				Unique vertical structure
			Degree of movement	Meandering erosion
				Depth of section
				Method of river side (Protection of river side)
		2. Longitudinal section	Shape of natural longitudinal section	Crossing barrier
				Diversity of wave
				Diversity of depth
			Artificial crossing structure	Crossing structure
				Covering
				Box
	3. Structure of river bed	Type and dispersion of material of river bed	Stagnant of water	
			Type of material of river bed	
			Variety of material of river bed	
		Protection structure for river bed	Structure of unique river bed	
			Protection structure of river bed	
			Protection structure of river bed	
	River side	4. Cross section	Crossing depth	Crossing depth
			Change of crossing width	Crossing erosion
				Variety of crossing width
		5. Structure of river side	Type of crossing section	Type of crossing section
			Naturality of space unique	Structure of unique river side
			Vegetation belt of natural unique	Vegetation belt of river side
River front	6. River front	Protection of river side	Protection of river side (Method of river side)	
		Vegetation belt of river side	Vegetation belt of river side	
			Flood plain	Land use, environmental characteristic, etc

Table 2. Table of Synthesize Assessment

Structure grade		Meaning	Index	Ecological characteristic EU-WFG=WRRL*
1		Wild	1.0~1.7	Very good
2		Little change	1.8~2.6	
3		Normal change	2.7~3.5	Good
4		Remarkable change	3.6~4.4	Normal
5		Large change	4.5~5.3	Lack
6		Very large change	5.4~6.2	Bad
7		All change	6.3~7.0	

* WFG or WFD (Water Frame Work Guidance or Direction), WRRL (German: Wasserrahmenrichtlinie)

정되어진다. 6개 주항목의 평균 인덱스는 다시 조사구마다 1개의 인덱스 값으로 평균하여 해당되는 등급을 부여한다.

3. 대상하천의 물리적구조 평가

3.1 대상하천 선정 및 조사

본 연구에서는 대상하천 선정 및 조사수행을 위하여 다음 사항이 전제되었다. 먼저 기존연구 (Krause, 2000)에 의하면 자연형 하천의 생태적 효과성을 평가하기 위해서는 하천복원 후 10년 이상동안 대상하천의 현장모니터링이 수행되어 수집된 하천정보에 관한 분석이 요구된다고 보고되었다. 국내의 경우에는 본격적으로 자연형 하천조성이 시작된 시기가 1990년 말 부터로 볼 때, 조사하천대상의 다양성이 부족한 실정이다.

그러므로 본 연구에서는 자연형 하천이 조성된 이후의 결과를 보기 위하여 최소한 자연형 하천조성 후 5년 이상 경과된 수도권 도심하천인 안양천, 양재천, 오산천, 장수천, 학의천을 대상하천으로 선정하였으며 본 연구의 제약을 위와 같이 언급하고자 한다.

한편 대상하천의 물리적구조 평가를 위하여 LAWA 기법 (LAWA, 2000)과 관련 소프트웨어 (한국건설기술연구원 · 김혜주자연환경계획연구소, 2007)가 활용되었다. 하천조사는 한국건설기술연구원 (2007)의 조사방법에 따라서 대상하천을 1km 단위로 구역을 나누고 저수로 폭에 따라 200~500m 구간을 조사하여 구역별 조사내용에 대표성을 부여하였다. 본 연구에서는 Table 1에서의 하상, 하안, 하천변에 대한 6개항, 25개 세부항목을 조사하여 하천구조 조사표 (김혜주, 2005)에 조사내용을 기록하였으며 Table 2 (LAWA, 2000)의 인덱스 계산을 위하여 세부항목에 대한 값들을 산술평균 처리하였다.

3.2 안양천의 물리적구조 평가

안양천의 조사연장은 총 30.0km였다. 하천의 종적특성은 대부분의 조사구간에서 약간 사행을 이루고 있었으며 사행침식은 미약하고 사주발달은 2개 혹은 여러 개로 관찰되었다. 하천의 종적특성 구조등급은 3등급으로 나타났다. 하천의 종단면특성은 전체 조사구간의 33.0%에서 낙차공으로 인하여 약간의 물 정체가 있었다. 횡단사주는 구간별로 1개가 전체 47.0%로 가장 많았다. 파랑 및 깊이의 다양성은 크게 나타났다. 하천의 종단면 구조등급은 3등급으로 평가되었다. 하천의 횡단면특성은 전체 조사구간의 97%에서 사다리꼴, 복단면으로 파악되었으며 횡단의 깊이는 매우 적었다. 횡단침식은 평시에 거의 나타나지 않았으며, 횡단폭의 변화는 '보통-크다' 정도로 조사되

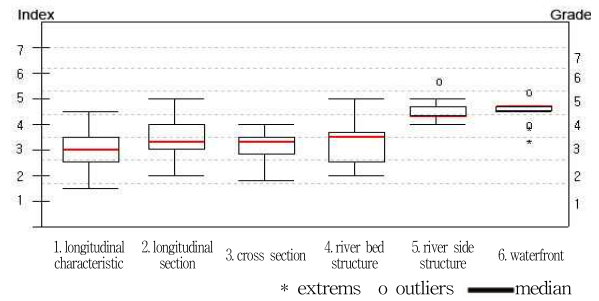


Fig. 1. The Median about Hydromorphological Structure Items of 25th at Anyang Stream

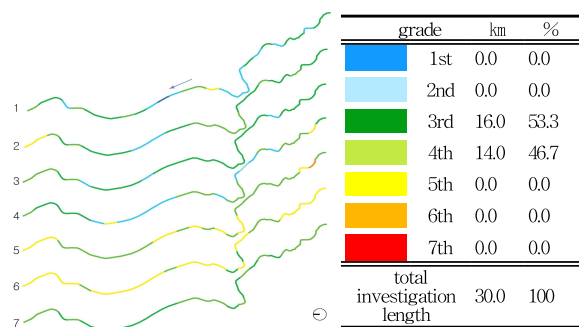


Fig. 2. Hydromorphological Structure Grade of Anyang Stream

었다. 하천의 횡단면 구조등급도 종단면과 같이 3등급으로 평가되었다. 하천 하상구조에서 하상재료는 모래와 자갈이 주를 이루었으며 하상보호구조물은 발견되지 않았다. 하상재료의 다양성은 '크다-매우 크다' 정도로 나타났으며 하상구조의 특이사항은 유속이 빠른 곳, 정체구간, 파랑이 있는 소 등 여러 개로 조사되었다. 하천 하상의 구조등급은 3등급으로 평가되었다. 하천 하안구조에서 하안식생은 관목류 및 약간의 수목으로 이루어져 있으며 하안정비는 생물학적 공법 및 돌쌓기로 정비되었다. 하안의 특이구조는 1개로 조사되어 하안의 구조등급은 4등급으로 평가되었다. 하천변의 토지이용은 초지 및 공원, 녹지였으며 불량한 주변환경은 도로 및 제방으로 조사되었다. 하천변의 구조등급은 5등급으로 평가되었다.

안양천의 종적특성, 종단면, 횡단면, 하상구조, 하안구조 및 하천변의 등급은 Fig. 1과 같으며, 이를 모두 종합하면 물리적 구조의 지수값은 3.6이고, 구조등급 4등급인 '변경한 것이 두드러짐'으로 평가되었다 (Fig. 2).

3.3 양재천의 물리적구조 평가

양재천의 조사연장은 총 12.0km였다. 하천의 종적특성에서 하도사행은 30% 미만의 사행을 나타냈으며 사행침

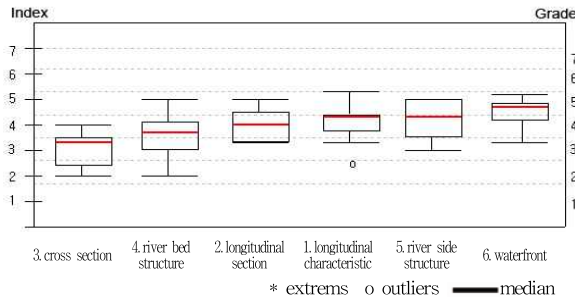


Fig. 3. The Median about Hydromorphological Structure Items of 25th at Yangjae Stream

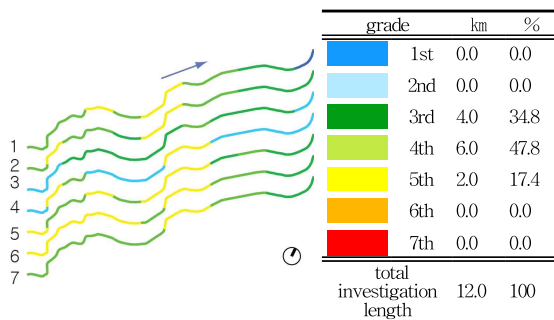


Fig. 4. Hydromorphological Structure Grade of Yangjae Stream

식은 거의 일어나지 않으나 일어나는 경우에도 약하게, 종적사주는 반사주 등으로 적은 편이었다. 하천 종적특성의 구조등급은 4등급으로 평가되었다. 하천 종단면특성을 보면 조사구간의 36.0%에서 낙차공 및 수로로 인한 물의 정체가 관찰되었으며 횡단사주 발달정도, 파랑 및 깊이의 다양성은 보통으로 조사되었다. 하천 종단면 구조등급은 4등급으로 평가되었다. 횡단면특성은 조사구간의 75.0%에서 사다리꼴, 복단면타입이 관찰되었으며 횡단깊이는 매우 적었다. 횡단침식은 거의 없었으며 횡단 폭의 변화는 '보통'으로 나타났다. 하천의 횡단면 구조등급은 3등급으로 평가되었다. 하천의 하상구조를 살펴보면 하상재료는 자갈이 주를 이루었다. 하상재료의 다양성은 '보통-크다' 정도였으며 하상구조의 특이사항인 유속이 빠른 곳, 정체구간, 파랑이 있는 소 등은 '2개-매우 많다'로 관찰되었다. 하상구조의 물리적 구조등급은 3등급으로 평가되었다. 하천의 하안구조에서 하안식생대는 대부분 초지였으며 하안정비는 생물학적 공법 및 돌붓기로 수행되었다. 하안의 특이구조인 수목 뒤로 수로, 튀어나온 수목, 나무뿌리 밑의 침식 등은 1개소로 관찰되었다. 하안구조의 물리적 구조등급은 4등급으로 평가되었다. 하천변 토지이용을 살펴보면 대부분 초지였으며 하천의 불량한 주변환경을 살펴보면 조사구간의 96.0%에서 제방과 도로가 위치하였다. 하천변의 물리적 구조등급은 5등급으로 평가

되었다.

양재천의 종적특성, 종단면, 횡단면, 하상구조, 하안구조 및 하천변 토지이용에 대한 물리적 등급은 Fig. 3과 같으며, 이를 종합하면 물리적 구조의 지수값은 3.8이며 구조등급은 4등급인 '변경한 것이 두드러짐'으로 평가되었다 (Fig. 4).

3.4 오산천의 물리적구조 평가

오산천의 조사연장은 총 27.8km였다. 하천의 종적특성을 보면 하도사행은 10% 미만의 사행으로 조사되었으며 사행침식은 없는 것으로 나타났다. 하안사주, 사행사주, 하중도, 하구사주와 같은 종적사주와 고목결침, 생나무 쓰러짐 등 특이한 종적구조는 많은 것으로 관찰되었다. 하천 종적특성의 구조등급은 3등급으로 평가되었다. 하천의 종단면특성에서 횡단구조물은 조사구간의 32.4%에서 거친경사식 램프, 낙차공 및 부분램프, 낮은 낙차공이 관찰되었으며 그 외 구간에선 발견되지 않았다. 횡단구조물에 의한 정체는 조사구간의 14.4%에서 나타났으며 전 구간에서 복개구조물은 관찰되지 않았다. 횡단사주는 67.6% 구간에서 '없음'으로 나타났으며 18.0% 구간에서 2개가 발견되었다. 파랑의 다양성은 60.4% 구간에서 '없음'으로, 32.4% 구간에서 '작다'로 조사되었다. 깊이의 다양성은 '작다-보통' 수준으로 파악되었다. 하천의 종단면 구조등급은 6등급으로 평가되었다. 오산천의 횡단면특성을 보면 조사구간 중 54.0%에서 무관리 횡단을 나타냈으며 35.3%에서 사다리꼴, 복단면으로 조사되었다. 횡단깊이는 대부분의 구간에서 매우 적은 것으로 나타났으며 횡단침식은 거의 없는 것으로 관찰되었다. 횡단 폭의 변화는 50.4% 구간에서 '작다'로, 31.7% 구간에서 '보통'으로 조사되었다. BOX의 경우에는 거의 전 구간에서 발견되지 않았다. 하천의 횡단면 구조등급은 3등급으로 평가되었다. 하천의 하상구조특성을 보면 하상재료는 85.6% 구간에서 모래, 14.4% 구간에서 진흙이 발견되었으며 하상재료의 다양성은 '작다-보통'으로 조사되었다. 하상보호구조물은 전 구간에서 발견되지 않았으며 하상구조의 특이사항은 '여러 개-많다' 구간이 78.5%를 차지했다. 하천 하상구조의 구조등급은 4등급으로 평가되었다. 하천의 하안구조 특성을 살펴보면 하안식생대 조성의 경우, 나무그룹, 갈대류가 26.6%, 관목류 및 약간의 수목, 다년생 초본류가 23.4%, 초지, 관목 및 약간의 수목이 32.4%로 조사되었다. 하안정비의 경우에는 돌붓기, 생물공학적 공법 적용이 25.5%, 잔디하안, 블록호안 적용이 28.8%를 차지했다. 하안의 특이구조인 수목뒤의 수로, 튀어나온 수목 등이 '2개-여러 개'가 대다수를 이루었다. 하천 하안구조의 구조등급은 4등급으로 평가되었

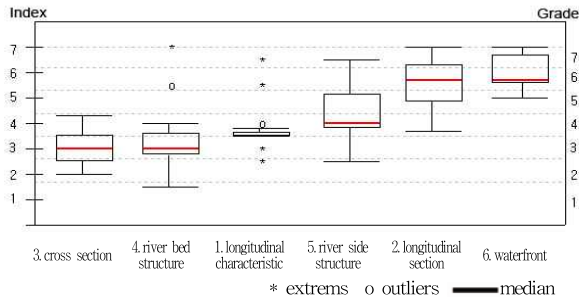


Fig. 5. The Median about Hydromorphological Structure Items of 25th at Osan Stream

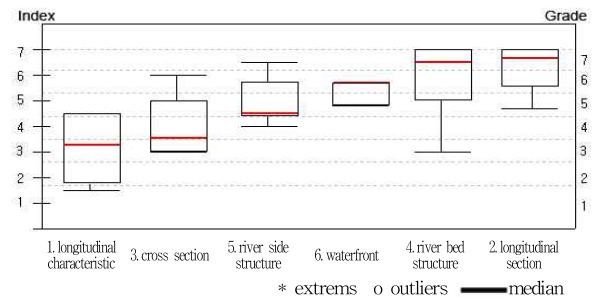


Fig. 7. The Median about Hydromorphological Structure Items of 25th at Jangsu stream

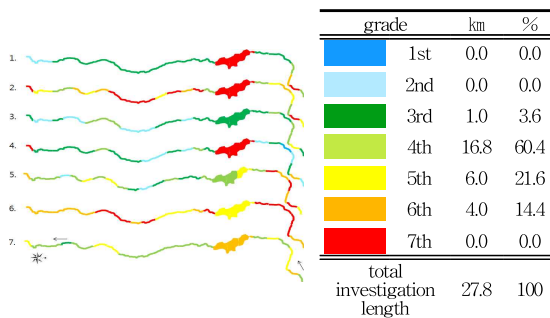


Fig. 6. Hydromorphological Structure Grade of Osan Stream

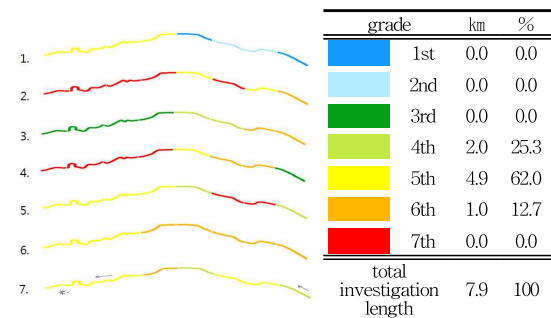


Fig. 8. Hydromorphological Structure Grade of Jangsu Stream

다. 하천변 토지이용을 보면 전 구간에 걸쳐 도로, 제방 등 하천에 불리한 시설이 설치되어 있었으며 구조등급은 6등급으로 평가되었다.

오산천의 종적특성, 종단면, 횡단면, 하상구조, 하안구조 및 하천변 토지이용에 대한 물리적 등급은 Fig. 5와 같으며, 이를 종합하면 물리적 구조의 지수값은 4.4로써 구조등급은 4등급인 ‘변경한 것이 두드러짐’으로 평가되었다 (Fig. 6).

3.5 장수천의 물리적구조 평가

장수천의 조사구간은 총 7.9 km였다. 하천의 종적특성을 살펴보면 하도사행의 경우, 전체구간에서 50% ‘약간사행’을 보였으며, 사행침식은 전체구간에서 자주 약하게, 드물게 약하게, 없음으로 파악되었다. 하안사주, 사행사주, 하중도 등 종적사주는 49.4% 구간에서 ‘많음’으로 조사되었으나 50.6% 구간에서 발견되지 않았다. 특이한 종적구조는 ‘없음’ 구간이 49.0%로 가장 많았으며 ‘2개-많음’ 구간은 51.0%로 조사되었다. 하천 종적특성의 구조등급은 3등급으로 평가되었다. 하천의 종단면은 37.9% 구간에서 거친 경사식 램프, 낮은 낙차공이 조사되었으며 그 외 구간에서는 발견되지 않았다. 횡단구조물로 인한 정체는 전 구간에서 발견되지 않았으며 횡단사주의 발달은 74.7% 구간에서 ‘없음’으로, 나머지 구간에서 ‘1개-여러

개’로 파악되었다. 파랑의 다양성은 87.3% 구간에서 ‘없음’으로, 12.7% 구간에서 ‘작다’로 조사되었다. 깊이의 다양성은 ‘없음’ 구간이 50.5%, ‘작다’ 구간이 49.5%로 나타났다. 하천 종단면의 구조등급은 7등급으로 평가되었다. 하천의 횡단면을 살펴보면 87.4% 구간에서 무관리 횡단으로 조사되었으며 12.6% 구간에서 사다리꼴, 복단면으로 파악되었다. 횡단깊이는 ‘매우납작’ 36.8%, ‘납작’ 25.3%, 그 외 ‘보통-매우 깊음’ 구간이 12.6%로 조사되었다. 횡단침식은 ‘없음-약’ 구간이 74.7%를 차지하였다. 횡단 폭의 변화는 전 구간에서 작았으며, BOX는 87.4% 구간에서 ‘없음’으로, 나머지 구간에서 ‘퇴적 무’로 파악되었다. 하천 횡단면의 구조등급은 4등급으로 평가되었다. 하천의 하상구조를 살펴보면 하상재료는 전 구간이 모래였으며 하상재료의 다양성은 63.2% 구간에서 ‘없음’, 나머지 구간에서 ‘작다-보통’으로 조사되었다. 하상구조의 특이사항은 74.7% 구간에서 ‘없음’으로, 25.3% 구간에서 여러 개로 조사되었다. 하천 하상구조의 구조등급은 6등급으로 평가되었다. 하천의 하안구조를 보면 55.7% 구간에서 나무그룹, 갈대류가 조사되었으며 25.3% 구간에서 초지, 관목류 및 약간의 수목이 파악되었다. 하안정비는 통나무공법, 잔디하안, 블록하안 적용이 43.3%, 정비공법 무가 43.0%로 조사되었다. 하안의 특이구조는 ‘없음’ 74.7%, ‘1개-여러 개’ 12.6%로 파악되었다. 하천 하안구조의 구조

등급은 5등급으로 평가되었다. 하천의 하천변에서 토지이용은 초지, 공원, 녹지 구간이 81.6%, 갯벌지대(기타 하천변 토지이용)가 18.4%로 조사되었다. 불량한 주변 환경은 63.2% 구간에서 도로, 제방이 조사되었다. 하천변 토지이용에 관한 구조등급은 6등급으로 평가되었다.

장수천의 종적특성, 종단면, 횡단면, 하상구조, 하안구조 및 하천변 토지이용에 대한 물리적 등급은 Fig. 7과 같으며, 이를 종합하면 물리적 구조의 지수값은 4.9로써 구조등급은 5등급인 '변경한 것이 두드러짐'으로 평가되었다 (Fig. 8).

3.6 학의천의 물리적구조 평가

학의천의 조사구간은 총 7.0 km였다. 하천의 종적특성에서 하도사행을 보면 57.0% 구간에서 약간사행, 43.0% 구간에서 미미한 사행을 나타냈다. 사행침식은 전 구간에서 걸쳐 '드물게 약하게'로 조사되었으며 하안사주, 사행사주, 하중도 등 종적사주의 발달은 57.0% 구간에서 '여러 개'로 관찰되었다. 특이한 종적구조는 57.0% 구간에서 1개, 43.0% 구간에서 2개로 조사되었다. 하천 종적특성의 구조등급은 3등급으로 평가되었다. 하천의 종단면을 살펴보면 횡단구조물은 낮은 낙차공, 낙차공 및 부분램프가 관찰되었으며, 횡단사주는 86.0% 구간에서 1~2개가 조사되었다. 파랑의 다양성은 71.0% 구간에서 '보통'을 나타냈으며 29.0% 구간에서 '작다'로 조사되었다. 깊이의 다양성은 71.0% 구간에서 '보통'으로, 29.0% 구간에서 '작다'로 파악되었다. 하천 종단면의 구조등급은 4등급으로 평가되었다. 하천의 횡단면을 보면 71.0% 구간에서 사다리꼴, 복단면이 조사되었으며 29.0% 구간에서 자연형 횡단이 관찰되었다. 횡단깊이는 57.0% 구간에서 '매우 납작', 29.0% 구간에서 '납작', 14.0% 구간에서 '보통'으로 파악되었다. 횡단침식은 전 구간에서 '약없음'으로 조사되었다. 횡단 폭의 변화는 43.0% 구간에서 '크다-매우 크다'로, 14.0% 구간에서 '보통'을 나타냈다. 하천 횡단면의 구조등급은 3등급으로 평가되었다. 하천의 하상구조에서 하상재료는 71.0% 구간에서 자갈이 29.0% 구간에서 모래가 조사되었다. 하상보호구조물은 전 구간에서 발견되지 않았으며 하상재료의 다양성은 전 구간에서 '크다-매우 크다'로 관찰되었다. 유속이 빠른 곳, 정체구간, 파랑이 있는 소 등 하상구조의 특이사항은 43.0% 구간에서 '여러 개', 28.0% 구간에서 '2개-매우 많다', 29.0% 구간에서 '1/2개'로 파악되었다. 하천 하상구조의 구조등급은 3등급으로 평가되었다. 하천의 하안구조를 살펴보면 하안 식생대 분포는 64.0% 구간에서 관목류 및 약간의 수목, 다년생 초본류가 관찰되었으며 29.0% 구간에서 갈대류가 조사되었다. 하안정비 현황

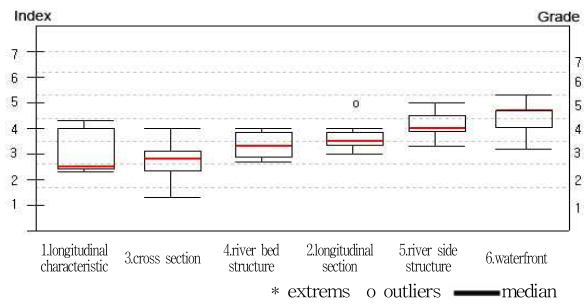


Fig. 9. The Median about Hydromorphological Structure Items of 25th at Hakui Stream

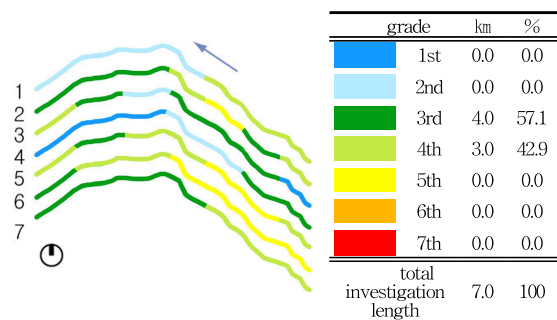


Fig. 10. Hydromorphological Structure Grade of Hakui Stream

은 64.0% 구간에서 생물학적 공법, 돌붓기가 적용되었으며 그 외 구간에서는 정비공법 무로 파악되었다. 수목 뒤의 수로, 튀어나온 수목, 나무뿌리 밑의 침식, 쓰러진 수목 등 하안의 특이구조는 57.0% 구간에서 1개, 29.0% 구간에서 1/2개, 14.0% 구간에서 2개로 조사되었다. 하천 하안구조의 구조등급은 4등급으로 평가되었다. 하천의 하천변 토지이용을 보면 86.0% 구간에서 초지로 14.0% 구간에서 조림으로 조사되었다. 하안수림대는 57.0% 구간에서 하안녹지대로 14.0% 구간에서 숲 천이로 관찰되었다. 불량한 주변 환경은 93.0% 구간에서 도로, 제방이 파악되었다. 하천변 토지이용의 구조등급은 4등급으로 평가되었다.

학의천의 종적특성, 종단면, 횡단면, 하상구조, 하안구조 및 하천변 토지이용에 대한 물리적 등급은 Fig. 9와 같으며, 이를 종합하면 물리적 구조의 지수값은 3.4이고, 구조등급은 3등급인 '보통 변경시킴'으로 평가되었다 (Fig. 10).

3.7 물리적 구조 평가 분석

본 연구의 대상하천으로 자연형 하천조성 후 5년 이상 경과한 도시지역의 하천(안양천, 양재천, 오산천, 장수천, 학의천)에 대하여 LAWA (2000) 기법을 통한 물리적 구조로 하천의 등급을 평가하였을 때, 전체적으로

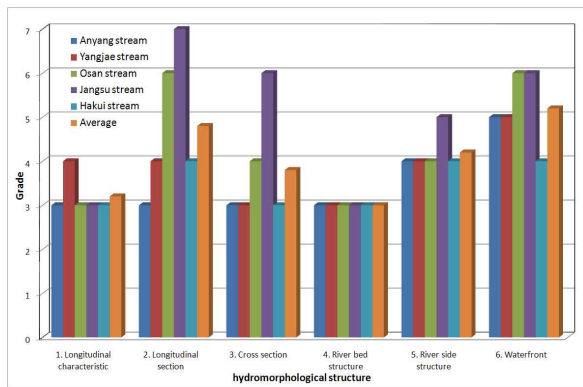


Fig. 11. Hydromorphological Structure Grade of Total Stream

Fig. 11에서 보는 바와 같이 하천별로는 장수천이 전체적으로 등급이 높게 나타나 물리적 구조가 나쁜 것으로 평가되었으며, 오산천, 양재천, 양재천, 학의천 순으로 나타났다.

LAWA (2000)기법에 적용된 종적특성, 종단면, 하상구조, 횡단면, 하안구조, 하천주변에 대한 6가지 평가항목을 대상하천 전체에 대하여 적용하였을 때, 본 대상하천이 도시지역에 위치하여 수변공간이 협소하고 주변 생태계가 단절된 형태를 보이고 있어 하천주변에 대한 항목의 평가등급이 가장 높게 나타났으며, 교량 등의 인위적인 횡단구조물의 설치와 유량 정체 등으로 인하여 종단면 평가 등급이 높게 나타나는 경향을 보이고 있다.

하안구조의 경우 획일화된 하안의 공법과 인공적인 설치로 인하여 등급이 높게 나타났고, 그 뒤로 하상구조, 종적 특성, 횡단면 순으로 나타났다. 따라서 도시하천의 자연형 하천 조성사업시 주요한 인자로서 하천뿐만 아니라 하천 주변에 대한 수변공간 활용 및 생태통로 연결을 통한 자연스러운 생태공간으로의 조성기법이 필요하며, 자연하안 창출을 통한 생태적 하천으로 조성하여야 하고, 인위적인 횡단구조물을 최소화하여 하천 흐름의 다양성을 하천에 적용할 필요가 있다.

4. 결론 및 제언

본 연구에서는 도시지역의 자연형 하천 조성결과에 대한 하천의 생태적 특성을 파악하기 위한 일환으로 자연형 하천조성 후 5년 이상 경과한 도시지역 하천을 대상으로 LAWA (Laenderarbeitsgemeinschaft Wasser) 기법을 활용하여 하천의 물리적 구조평가를 실시 결과 아래와 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 본 연구결과에 의하면 도심지역 대상하천인 양재천, 오산천의 물리적 구조등급은 4등급으로 생태성 ‘보

통’으로 평가되었으며, 장수천의 경우에는 5등급 생태성 ‘결여’로, 안양천, 학의천의 경우에는 3등급 ‘양호’로 평가되었다. 대상하천 중 평가등급이 4~5등급 하천의 구조적 특징은 종단면에서 기능이 불분명한 낙차공에 의한 유수의 정체와 하천의 종적 연속성 단절을 보였으며 단조로운 하안구조를 나타냈고 하천변 토지이용의 경우에는 도로, 제방 등 인위적인 구조물이 하천주변에 위치하였다. 이로 인하여 해당하천의 생태적 기능이 낮게 평가된 것으로 판단된다.

2. 본 대상하천의 생태적 특성을 향상시키기 위해서는 하천의 종단면, 하안구조 및 하천변 토지이용에 대한 개선이 요구된다. LAWA 항목으로 판단할 때 하천 종단면의 경우에는 횡단구조물로 인한 하천 흐름의 정체가 유발되지 않도록 하며 하천에 횡단 사주의 생성이 유도되는 방안이 적용되도록 한다. 또한 파랑 및 깊이의 다양성을 확보할 수 있는 공법의 적용이 요구된다. 하안구조에서는 숲, 나무그늘, 갈대류가 하안식생대를 구성하도록 유도하며 환경사 하안을 조성하여 저수층이대가 형성되도록 유도한다. 하천변 토지이용에서는 도로, 주거 등 하천환경에 불량한 구조물이 하천에 가까이 위치하지 않도록 유도한다.
3. 본 대상하천의 조사결과로 볼 때 자연형 하천조성을 위한 공법 적용에 있어 하천 내에 콘크리트 등 인공재료나 대형 거석 등 견고한 재료의 사용을 줄임으로써 궁극적으로 하천구조의 역동성과 자생적 변화를 유도하도록 한다.
4. 종합적으로 대상하천의 물리적 구조로 본 하천의 생태적 질은 학의천을 제외하고 만족하지 못한 수준이었으며, 그 원인은 도시하천이라는 한계성(토지이용성의 문제)도 매우 중요한 요소이었지만, 무엇보다도 국내의 자연형 하천조성에서 저수하안과 하천의 연속성에 대한 생태적 향상을 위한 방안이 적극적으로 시도되지 않았던 것으로 해석된다. 따라서 앞으로의 자연형 하천 조성은 하천의 물리적 구조를 향상시킬 수 있도록 저수하안은 유동성이 많게, 불필요한 하천의 횡단구조물은 파기하여, 또는 완만한 램프시설로 변경하여 하천의 연속성을 회복시키는 방안을 도입한다면 보다 향상된 하천의 생태성을 나타낼 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 환경부 Eco-STAR Project (수생태복원사업단)의 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- 건설교통부 (1995). **수원천 하천정비 기본계획**
- 건설교통부 (1997). **오산천 하천환경 관리계획 및 실시 설계보고서**
- 김기홍, 이형래 (2007). “소하천의 자연형하천 정비사업에 따른 교란 및 적응 평가”, **한국환경복원녹화기술학회지**, Vol. 10, No. 3, pp. 71-87.
- 김동찬, 이정, 박익수 (2000). “자연형 하천복원을 위한 하천자연도 평가”, **한국조경학회지**, Vol. 27, No. 5, pp. 138-149.
- 김선근, 김고은, 이지은, 신동훈, 이규석 (2004). “도시 자연형하천 공사 후의 경관개선방안”, **한국환경복원녹화기술학회지**, Vol. 7, No. 5, pp. 66-74.
- 김재철, 이상화, 신동훈, 이규석 (2006). “집중호우 후 도시 자연형하천의 사주변화 파악”, **한국환경복원녹화기술학회지**, Vol. 9, No. 6, pp. 162-167.
- 김혜주 (1997). “자연형 호안공법의 원리와 적용상의 문제 -양재천 학여울 구간을 예를 들어-”, **한국수자원학회지**, Vol. 30, No. 4, pp. 56-67.
- 김혜주 (1999). “자연형 하천 조성을 통한 하천의 자정능력 향상 -식물의 수질정화작용을 중심으로-”, **한국수자원학회지**, Vol. 32, No. 5, pp. 148-152.
- 김혜주 (2000). “자연형 하천에서의 호안재료와 환경변화 -식물생태계를 중심으로-”, **한국수자원학회지**, Vol. 33, No. 6, pp. 56-67.
- 김혜주, 김창완, 우효섭 (2003). “하천횡단구조물이 하천의 생태적 발전에 미치는 영향과 대안”, **대한토목학회지**, Vol. 51, No. 3, pp. 42-58.
- 김혜주 (2005). 자연형 하천 계획 설계, 태림문화사.
- 문석기, 이은엽, 한성식, 이기준 (2000). “침수방틀을 이용한 자연형 하천의 수충부 녹화공법 개발”, **한국환경복원녹화기술학회지**, Vol. 4, No. 1, pp. 98-109.
- 박병철, 신영철, 서애숙 (2002). “GIS를 이용한 하천의 자연성 평가 -청주시 무심천 지역을 중심으로-”, **한국지리정보학회지**, Vol. 5, No. 1, pp. 48-57.
- 박진원, 마호섭 (2003). “양재천의 식생현황과 하천자연도 평가”, **농업생명과학연구**, Vol. 37, No. 2, pp. 57-70.
- 서초구 (2003). **양재천 자연형하천 조성사례**.
- 신정미 (1999). “자연형 하천 공법 적용후의 식생변화분석”, **한국환경복원녹화기술학회지**, Vol. 2, No. 3, pp. 10-17.
- 안근영, 이은희 (2000). “자연형 하천 생태계를 위한 식생 개선 방안 연구 -중랑천을 사례로-”, **한국환경복원녹화기술학회지**, Vol. 3, No. 2, pp. 35-46.
- 인천시 (2004). **장수천 하천정비 기본계획**.
- 이상호 (2000). “안양천의 자연형 하천 설치구간 선정에 관한 하천평가 기법적용에 관한 연구”, **산업과학연구**, Vol. 9, pp. 90-103.
- 조용현 (1997). 생태적 복원을 위한 중소하천 자연도평가 방법 개발, 박사학위논문, 서울대학교.
- 최규창, 김남춘 (1999). “자연형 하천 식생복원을 위한 달뿌리풀, 물억새, 솔새, 수크령의 녹화방법에 관한 연구”, **한국환경복원녹화기술학회지**, Vol. 2, No. 2, pp. 70-77.
- 하천복원연구회 (2006). **하천복원사례집**.
- 한국건설기술연구원 · 김혜주자연환경계획연구소 (2007). **중·소규모 하천의 물리구조 평가시스템 사용자 설명서 (Ver. 1.0)**.
- 한국건설기술연구원 (2007). 다기능하천실험사업.
- Krause, A. (2000). Ueber Motive fuer die oekologis che Verbesserung von Wasserlaefen. In: Bunde samt f. Naturschutz (Hrsg.): *Angewandte Lands chaftsoekologie*. H. 37, pp. 9-11.
- Laenderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) (2000). Gewaesserstrukturguetekartierung in der BRD. 1. Auf. Schwerin.

논문번호: 09-062	접수: 2009.06.08
수정일자: 2009.09.23/2010.03.19	심사완료: 2010.03.19

중 및 소규모 하천 구조 평가서

하천번호

하천구역

조서구

하천명

평가서/저도 NO.

일시

이 수

해운

수력

홍수방어

주거지

위와 무관

유로 연장(위치)

도시 내

도시 밖

하천 규모

하폭 구간길이

<1m 50m

1-5m 100m

5-10m 200m

>10m 500m

하천 유형

V자형 저수로 K

U자형 저수로 S

납작한 저수로(사행) M

웅덩이형 저수로(일반형) A

웅덩이 및 자갈 하상 AK

평지형 하천 F

특이형

복개

1. 종적특성

1.1 하도사행

	AF	S	K
100% 심한사행	1	1	
~80% 보통사행	2	1	X
~50% 약간사행	3	2	
~30%미미한사행	4	3	
~10%미미한사행	5	4	X
>10% 직선형	6	5	
0% 직강화	7	7	

사행부

1.2 사행침식

	SAF	K
자주 크게	2	2
드물게 크게	2	3
자주 약하게	1	4
드물게 약하게	1	5
없음	1	7

1.3 종적사주

많음	1
>80% 여러개	2
~50% 2개	3
~30% 1개	4
~10% 반사주	5
없음	7

1.4 특이한 종적구조

많음	1
여러개	2
2개	3
1개	4
1/2개	5
없음	7

기능적 평가

굽은정도

움직임 정도

s

평가치

등급분류

2. 횡단면

2.1 횡단구조물

GS	X
낙차공 및 수로	3
거친경사식 램프	3
낙차공 및 부분램프	3
낮은 낙차공	3
낙차공 및 어도	4
매끄럽고 완만한 램프	6
높은 낙차공	6
매우 높은 낙차공	7
횡단구조물 없음	X

2.2 정체

약간 정체	X
보통 정체	5
강한 정체	7
정체 없음	X

2.3 복개

퇴적	퇴적부
5% 이하	X
5~20%	7
>20%	7
없음	X

2.4 횡단사주

많음	1
여러개	2
2개	3
1개	4
1/2개	5
없음	7

2.5 파랑의 다양성

SAK	F
매우 크다	1 1
크다	2 1
보통	4 3
작다	5 5
없음	7 7

2.6 깊이의 다양성

SAK	F
매우 크다	1 1
크다	2 1
보통	4 3
작다	5 5
없음	7 7

자연적 종단면 구조

인위적 횡단 방해 구조물

s

평가치

등급분류

3. 횡단면

3.1 횡단 타입

<1:10	자연 횡단	1
1:10까지	자연형 횡단	2
1:6까지	침식횡단, 다양함	3
1:5까지	무관리 횡단	4
1:3, 4까지	침식횡단, 깊음	6
1:2까지	사다리꼴, 복단면	7
	V자형, 직각형 횡단면	7

3.2 횡단 깊이

매우 납작	1
납작	2
보통 깊이	4
깊음	6
매우 깊음	7
정체되어짐(이수용 조성)	X

3.3 횡단 침식

	SAF	K
횡단깊이	3	3
강	5	1
약	5	1
없음	7	1

3.4 횡단 폭의 변화

	SAT	F
매우 크다	1	1
크다	2	1
보통	4	2
작다	6	4
없다	7	7

3.5 BOX

BOX 영향부	X
하도 축소	6
하안 불연속	6
퇴적부	7
없음	X

기능적 평가

횡단 깊이

횡단 특성

횡단형

s

평가치

등급분류

등급	1	2	3	4	5	6	7
지수값	1 ~ 1.7	1.8 ~ 2.6	2.7 ~ 3.5	3.6 ~ 4.4	4.5 ~ 5.3	5.4 ~ 6.2	6.3 ~ 7

4. 하상구조

4.1 하상재료

자연적	인위적
뺨	X 7
진흙	X 7
모래	X 7
2~10cm 자갈	X
5~10cm 돌	X
5~30cm 돌	X
5~30cm 이상 바위와 돌	X
30cm 이상 바위	X
암	X
흙	X
하상보호물	X
불분명	X

4.2 하상보호구조물

돌받기	5
단단한 하상 및 퇴적	6
단단한 하상, 퇴적 무	7
하상보호구조물 무	X

4.3 하상재료의 다양성

매우 크다	1	1
크다	2	1
보통	4	2
작다	5	4
없다	7	7

4.4 하상구조의 특이사항

유속이 빠르거나 수로가 좁은 곳	SAR 1, F 1
파랑이 적은 곳	2, 1
역류 소, 유속이 느린 곳	3, 2
낮은 물위, 수심이 얕은 곳	4, 3
긴 수생식물	5, 5
없음	7, 7

기능적 평가

하상재료의 다양성

하상보호물

S

평가치

등급분류

5. 하안구조

5.1 하안 식생대

L	R
숲	1 1
나무 그룹	2 2
갈대류	2 2
부분적 숲	3 3
관목류 및 약간의 수목	4 4
다년생 초본류	4 4
초지	6 6
조립	5 5
나무 그룹	5 5
관목 및 약간의 수목	6 6
정비	7 7
침식	5 5
자연적	1 1

5.2 하안정비

L	R
생물공학적인 공법	5 5
돌받기	5 5
통나무 공법	6 6
잔디하안	6 6
블럭하안	6 6
거친 공법	7 7
시멘트 블럭, 축대	7 7
정비공법 무	X X

5.3 하안의 특이구조

매우 많다	1
여러 개	2
2개	3
1개	4
1/2	5
없음	7

기능적 평가

자연적 경관 L R

자연적 하안식생대 L R

하안정비 L R

S

평가치

등급분류

6. 하천변(토지이용)

6.1 토지이용

L	R
SAF	K
>50%	10~50%
숲, 고작	1 1
자연적 비오류	1 1
휴경지	2 2
초지	3 3
숲, 비교작	5 4
정작, 정원, 침엽수조림지	6 5
공원, 녹지	3 3
건축물 및 공간있음	6 5
건축물 및 공간없음	7 6
기타 하천변 토지구조	X

6.2 하안수림대

L	R
>50%	10~50%
숲/천이	1 1
하안수림대	1 2
하안녹지대	5 3
이용성	7 6

6.3 불량한 주변환경

L	R
거리	거리
작다	보통
크다	작다
보통	보통
크다	크다
땅 파헤침	7 6 5
양어장	7 6 5
하천구조에 불리한 시설	7 6 5
도로	7 6 5
쓰레기장	7 6 5
제방	7 5 3
없음	X

기능적 평가

하안수림대 L R

홍수터 L R

S

평가치

등급분류

기능적 종합 평가

1. 종단특성	평가치	분류
2. 종단면	<input type="text"/>	<input type="text"/>
3. 횡단면	평가치	분류
4. 하상구조	<input type="text"/>	<input type="text"/>
5. 하안구조	평가치	분류
6. 하천변	평가치	분류
주변	평가치	분류
총계	<input type="text"/>	<input type="text"/>

이름 서명

등급	1	2	3	4	5	6	7
지수값	1 ~ 1.7	1.8 ~ 2.6	2.7 ~ 3.5	3.6 ~ 4.4	4.5 ~ 5.3	5.4 ~ 6.2	6.3 ~ 7

하폭 5m 이내: 길이 200m, 하폭 10m 이상: 길이 500m 조사