

소하천 환경조성사업의 평가를 위한 소하천자연도 평가

The Evaluation of Small Scaled Stream Naturalness for Stream Channel Restoration

안 태 진*

Ahn, Taejin

Abstract

In this study the evaluation method for riverine naturalness proposed previously by other researcher has been modified to assess stream naturalness of small scaled streams. Two evaluation items have been added to the previously proposed method. That is, the modified method for evaluating naturalness of small scaled streams contains 16 evaluation items with two categories - river morphology and river environments. The three evaluation items have been improved based on the results of stream configuration and characteristics investigation. To prepare evaluation index for channel configuration of small scaled stream, 55 small scaled streams have been selected to analyze sinuosity, wavelength, etc. It has been shown that the values of sinuosity are around 1.2 and one wavelength appears approximately every 500 m in the sample streams. An equation implied diversity for width of normal flow has been proposed to add the evaluation index for diversity of channel width. The every 500 m ~ 1,000 m along small scaled stream is also recommended through the investigation as the interval of evaluation unit. The modified method has been applied to the DangWang stream to estimate the effect of stream rectification project. It has shown that the proposed method would appropriately reflect channel morphology and environments before and after the rectification project.

keywords : River Naturalness, Diversity, Wavelength, Channel Configuration

요 지

본 연구에서는 소하천 환경조성사업을 위한 소하천자연도를 평가하기 위하여 기존 하천자연도 평가의 하천형태와 하천환경의 2개 부문과 14개의 항목에서 2개 항목을 추가하여 16개항목으로 보완하고 3개 항목을 정량화한 지표로 구성된 소하천자연도 평가방법을 제안하였다. 소하천 평면형상의 다양성을 위한 평가지표를 마련하기 위하여 경기 남부 지역에서 55개의 소하천을 선정하여 만곡도, 사행파장 등을 분석하였다. 대상소하천의 굴곡도는 대부분 1.2 내·외이었으며 개략적으로 소하천연장 약 500m 마다 1개의 사행파장을 보여 주고 있어 평면형상에 관한 평가지표에 반영하였다. 또한 저수로폭의 다양성 평가항목을 정량화하는 지침을 제안하였다. 평가 구간의 소하천길이는 경기 남부지역의 소하천 평면형 조사를 통하여 500m ~ 1,000m 정도로 제시하였다. 제안된 소하천 자연도 평가 방법을 공사전·후 당왕소하천에 적용하여 소하천의 자연도를 평가함으로써 친환경조성사업의 효과를 평가하였으며, 수정·제안된 소하천 자연도 평가 방법은 소하천의 하천형태 및 하천환경을 적절히 반영하는 가능성을 확인하였다.

핵심용어 : 하천자연도, 다양성, 사행파장, 하도평면형상

* 환경대학교 · 이공대학 · 학장
Dean, College of Science and Engineering, Hankyong National Univ., Kyonggi, Korea, 456-749
(e-mail: ahntj@hknu.ac.kr)

1. 서 론

소하천의 치수기능상 안전성을 확보하고 소하천의 생태계를 고려하며 소하천의 본래의 경관을 보전 및 향상시키는 이른바 자연형 소하천 정비사업이 추진되고 있다. 정부는 자연형 소하천 정비 사업에서 도출된 문제점을 개선하기 위하여 안성시 당왕소하천 등 8개 소하천에 관한 자연형 소하천정비 시범사업 및 소하천 모니터링 사업을 2002년부터 시행하였다. 하천 모니터링 사업은 시범소하천의 공사전, 공사중, 공사후 모니터링을 실시하여 향후 자연형 소하천 정비 사업시행에 관한 개선 자료를 제시하고자 하였다.

하천의 치수기능은 치수안전도, 이수기능은 이수안전도 제고를 위한 하천관리사업은 주로 치수 경제성 분석을 통하여 시행되어 왔다. 1990년 초반까지는 주로 치수안전도 제고를 위한 하천개수사업이 시행되어 왔으나 2000년도에 들어서 친자연적하천 조성을 위한 자연형하천공법이 적용되기 시작하였다. 그러나 하천의 수질개선, 친수공간 확보, 생태하천 보전 등을 위한 자연형하천공법에 관한 적절한 평가 방법은 아직까지 정립되어 있지 않은 실정이다. 근래에 들어 하천의 자연도를 평가하여 자연형하천공사 또는 친환경조성사업의 당위성을 보여주하고자 하는 노력이 진행되어 왔다.

많은 예산을 투입하여 시행한 하천관리사업은 정책담당자 및 일반국민들에게 사업의 필요성과 그 결과를 일관되고 쉽게 설명할 수 있는 수단이 요구되며, 이를 위하여 도입될 수 있는 하천자연도는 하천의 물리적 및 생태적 특성을 나타내는 지표이다. 따라서 하천의 자연도 평가는 현재의 하천상황을 진단, 목표설정, 보전 또는 복원 및 사업시행결과를 평가하는 전체 과정에 있어서 하천공학 및 생태공학 측면에서 하천관리사업의 효과를 평가하는 척도로서도 필요하다.

하천수계의 생태학적인 복원의 열쇠는 하천서식지 형성하는 물리적과정의 복원에 있다. 여기서 물리적 과정은 바닥물질을 이송하고 하안의 침식을 가능하게 하는 고수와 저수의 주기, 하천과 홍수터의 상호작용, 수로의 자연적인 지형특성을 포함한다(윤태훈, 2004). 하천의 자연도 평가에 관한 국내의 기존 연구는 크게 대하천 및 소하천에 적용하는 결과가 제시되고 있다. 국립방재연구소(2004)가 제안한 소하천자연도 평가를 적용하는 평가항목은 하천의 생태환경을 주로 반영하고 있어 하천의 물리적인 특성은 고려하고 있지 않다. 그러므로 하천의 물리적인 특성과 하천환경 특성을 함께 고려한 소하천의 자연도 평가 방안은 아직 제시되어 있

지 않은 실정이라 할 수 있다.

Prichard 등(1998)은 수변서식처의 물리적 기능상태를 수문, 식생, 침식과 퇴적, 토양, 수질 등 17개 항목으로 적정기능상태, 기능위험상태 및 기능정지상태로 평가하는 기준을 제시하였다. 미국 농무성(USDA, 1998)은 하천의 물리적인 상태를 평가하기 위한 시각적 하천건강성 평가법을 제시하였으며, Barbour 등(1999)은 하천 생태계에 영향을 주는 물리적인 서식처의 구조와 수질, 수생식물의 생태를 평가하는 현장서식평가를 제시하였다. 영국의 하천서식처조사는 하천생태계에 관련된 다양한 자료를 이용하여 자연보전을 위한 구체적인 평가를 위함이다(Environment Agency, 1997). Collier 등(1993)은 뉴질랜드의 자연지역보전프로그램의 생태계 보전 가치를 평가하였으며, 일본 건설성 동북지방건설국(1994)은 하천의 물리적 및 생물적 요소를 고려한 하천자연도평가 방법을 제시하였다.

박봉진 등(2005)은 국내·외 하천자연도 평가 방법에 관하여 종합적으로 검토하고 주로 조용현(1997)의 중소하천 코리도의 자연성 평가기법을 개선하여, 대하천에 적용할 수 있는 생물서식처 복원을 위한 하천자연도 평가방법을 제안하였다. 조용현(1997)은 하도의 발달과정, 하도 종단면 특성, 횡단면의 특성, 하상구조, 저수로변 구조 및 하천 주변과 같은 하천의 물리적 특성을 반영하는 평가방법을 정립하였다. 박봉진 등(2005)이 제안한 대하천의 자연도 평가항목은 하천의 물리적인 특성과 하천환경 특성을 포함하였고, 국립방재연구소(2004)는 소하천 자연도 평가기법을 주로 생태환경을 고려하여 제시하여, 본 연구에서는 기존의 두 논문의 평가기법을 소하천 자연도 평가에 있어서 적용성을 모색하고, 평가 지표를 정량적으로 개선코자 하였다. 즉, 소하천의 물리적인 특성과 하천환경을 반영하여 소하천 환경정비사업에 적용할 수 있는 소하천 자연도 평가 지침을 제시하고자, 기존의 하천자연도 평가방법의 적용성을 검토하고, 기존 평가항목 및 평가지표 중 일부를 수정하여 소하천에 적용할 수 있는 평가방법으로 제안하였다. 또한 제안된 소하천 자연도 평가방법을 소하천 환경정비사업이 완료된 경기도 안성시에 소재한 당왕소하천의 공사전·후에 적용하여 환경정비사업의 효과를 평가하였다.

2. 기존 하천자연도 평가 방법의 고찰

박봉진 등(2005)이 제안한 하천자연도평가 방법은 하천 자연도평가의 평가인자 부문으로 하천의 형태와 하천의 환경 2개 부문으로 단순화하고, 각 부문의 평가항목은 평가부문간의 균형을 고려하여 평가항목이 선정되

어 있다. 하천의 형태는 중단, 횡단, 하상구조 등으로 평가부문을 구분할 수 있으나, 평가구간이 길어질 경우 중단과 횡단 개념보다는 하천의 평면 개념으로 파악하여야 하므로, 하천형태 부문은 수로의 굴곡, 사주, 흐름의 다양성 등 하도특성과 하상재료, 저수로폭 다양성, 저수로 호안공, 제방 호안공 등을 포함하여 1개의 부문으로 정하여 평가할 수 있도록 하였다.

하천환경 부문은 저수로 및 홍수로 식생, 제내지 및 제외지의 토지이용, 댐 및 보 등과 같은 하천 상·하류간의 연속성을 저해하는 횡단구조물, 수질, 경관과 수량 풍부도를 파악할 수 있는 수면폭/하천폭 비가 설정되어 있다. 즉, 하천의 형태, 하천의 환경으로 2개 부문으로 단순화 하고 각 부문의 평가항목은 평가부문간의 균형을 고려하여 7개의 평가항목씩 14개의 평가항목을 선정하였다. 하천자연도평가의 평가척도는 자연성 저감정도에 따라 1등급에서 5등급까지 각 등급간 0.8점을 고르게 배분하는 체계를 적용하였다.

일반적으로 하천자연도평가는 평가단위를 하천폭의 5~10배의 유로연장 정도(USDA, 1998)로 정하고 있어 하천자연도평가의 평가단위는 최적간격을 2,000m~3,000m 범위로 제안하였다. 하천설계기준(2005)에서 자연하천의 사행과장은 하폭의 8~12배의 유로연장 정도라 하였으며, Leopold와 Wolman(1960)은 만곡도가 1.5 이상인 하천에서 사행과장은 하폭의 약 11배의 유로연장 정도 되는 관계식을 제안하였다. 또한 자연하천이라면 하천폭의 4~6배의 유로연장 마다 하나의 사주가 생기는 것으로 알려져 있다. 그러므로 하천형태 부문에서의 평가항목 중 수로굴곡개수, 중·횡 사주의 개소와 평가단위길이의 선정에 매우 밀접한 관계가 있음을 알 수 있다. 흐름의 다양성 평가항목에서, 중·상류하천에서 형성되는 여울은 조립질 입자 이상의 하상재료로 형성된다. 하류하천에서 세립질 이하 하천에서 형성되는 여울과 소는 여울에서의 입자분포는 소와 유사하므로 조립질로 구성되어 있는 여울에서의 기능을 기대하기 어렵다(환경부, 2002). 하상재료의 다양성 평가지표는 하천의 상류, 중류 및 하류에서 볼 수 있는 다양한 하상 재료를 상징하여 소하천에 적용하는 것이 타당하다.

국립방재연구소(2004)는 하천의 환경기능 중에서 가장 기본적인 것은 생태 서식처 기능이며 진정한 의미의 하천복원은 생물서식처의 복원에 있음을 고려하고, 비용 및 시간 등의 시행 가능한 정도, 하천변화에 대한 적응 정도, 생태계의 포용 정도, 하천복원시 공학적인 연계성 정도를 고려하여 하천 생물서식처의 질을 평가하는 방향으로 평가기법을 개발하는 것이 타당할 것으로 판단하였다. 국립방재연구소(2004)는 주로 다음과 같은

7개의 생태환경 평가인자를 이용하여 소하천 자연도를 평가하는 기법을 제시하였다: (1) 식생 구조 (2) 수변 식생 피복 (3) 제외지 홍수터 토지이용 (4) 제내지 수변 구역 토지이용(생태 연결성) (5) 수질(BOD, 또는 물색) (6) 부착 미생물 (7) 수서곤충.

하천은 흐름과 유사의 상호작용에 의해 하천 미지형이 형성되고 생물의 다양한 서식처를 제공하게 되며, 이러한 서식처는 질적, 양적으로 생태계에 중요한 역할을 한다고 판단하였으며, 소하천 평가를 하천 생물 서식처의 질로 평가하는 것은 그 의미가 크다고 할 수 있다. 그러나 소하천의 평가는 하천생태계의 구조와 기능을 이해하고, 그 생태계를 만드는 물리적, 화학적, 생물적 과정을 모두 반영하여 평가하는 것이 중요하다. 국립방재연구소(2004)에서 제안한 평가항목은 하천의 생태환경에 주안점을 두었으며 하천의 물리적인 특성을 반영하는 항목은 제외하였다.

3. 소하천 자연도 평가 방법의 수정·제안

3.1 소하천의 형태에 의한 평가인자

(1) 수로의 굴곡

사행하천은 하도가 곡선을 이루는 하천으로 자연하천의 대표적인 평면적 특성이다. 일반적으로 사행하천의 만곡부 안쪽에는 점 사주(point bar)가 형성되고 바깥쪽은 깊은 소(pool)가 형성된다. 사행하천에서 하천만곡의 정도를 나타내는 지표로 만곡도(sinuosity, S)를 이용하고 있으며, 이는 하천의 만곡 하도의 길이와 직선길이의 비로 표시된다. 일반적으로 만곡도가 1.5 이상이면 사행하천으로 본다(우효섭, 2001).

본 연구에서 하천 평면형상을 보여주는 만곡도에 관한 평가지표를 마련하기 위하여 부록 1과 같이 경기 남부 지역에서 55개의 소하천을 선정하여 유역면적, 유로장, 유역형상계수, 하천밀도, 만곡도 및 사행과장을 분석하였다. 부록 1에서 유로장은 분류하천의 길이 L , 유역형상계수 f 는 유역면적 A 에 L^2 을 나눈 값, 하천밀도는 분류 및 지천 연장의 합에 유역면적을 나눈 값, 만곡도 s 는 만곡부 시점에서 종점까지의 길이 l_c 를 만곡부 시점에서 종점까지의 직선길이 l 에 나눈 값이다. 만곡부 시점부터 종점까지를 사행과장 λ 이라하였다. Fig. 1은 사행하천의 평면기하 형태를 보여 주고 있다.

소하천은 1:25,000 지형도에서 선정하였으며, 계곡하천 및 경지정리가 완료된 유역은 제외하였고 가능한 자연적인 하천 평면 형상을 유지하고 있는 소하천 유역으로 선정하였다. 부록 1에서 보는 바와 같이 선정된 소하천에서 하천의 만곡도는 대부분 1.2이내 이며 개략적

으로 하천연장 500~600 m 마다 1개의 사행과장을 보여 주고 있다. 부록 1의 자료를 이용한 사행과장의 수 λ_n 과 하천연장(km) 관계는 Eq. (1)과 같으며 상관계수는 0.49로 낮은 값을 보여 주고 있다.

$$\lambda_n = 1.63 L^{0.64} \quad (1)$$

우리나라 소하천은 대부분 계류하천을 포함하여 주로 지형의 영향을 받아 평면형이 형성되므로, 본 연구에서는 계류하천 구간은 제외하고 수로의 평면형상에 관한 평가지표는 제시하기 위한 소하천의 만곡도 및 사행과장을 분석한 결과를 Table 1의 사행과장 평가 부문에 반영하였다. 평가 구간의 소하천길이는 경기남부지역의 소하천 평면형 조사를 통하여 500 m ~ 1,000 m 정도로 제시하였다.

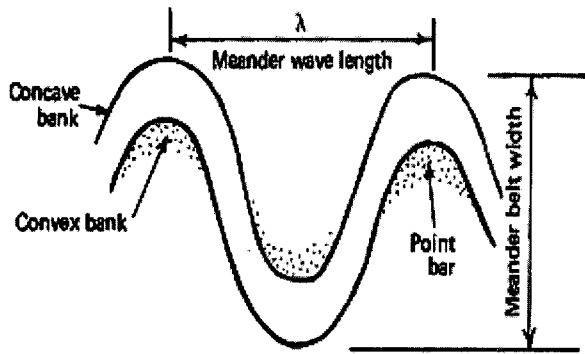


Fig 1. Definition Sketch for Meandering Channels (Peterson, 1986)

(2) 종 · 횡사주

자연하천이라면 하천폭의 4~6배마다 하나의 사주가 생기며, Table 1과 같이 하폭이 10m이고 평가구간이 500m인 경우를 기준으로 평가하는 것을 제안하였으며, 하폭 및 평가구간에 따라 평가지표는 변경될 수 있도록 하였다.

(3) 흐름의 다양성

박봉진 등(2005)의 평가 지침을 인용하였으며, 토사 공급이 적은 하천에서는 토사의 운반 및 퇴적량이 적어 양호한 여울과 소가 형성되기 어렵다.

(4) 하상재료

박봉진 등(2005)의 평가지침을 인용하였으나 1등급에 해당되는 하상재료는 상류하천 및 산지하천에서 볼 수 있는 재료이며, 평가지표 역시 하류하천인 대하천보다는 상류하천인 소하천에 적용하는 것이 타당한 것으로 판단된다.

(5) 저수로 폭 다양성

저수로 폭의 다양성을 평가하기 위하여 다양성을 나타내는 비율(%)은 Eq. (2)와 같이 제안하였다. 본 연구에서의 Fig. 2는 저수로 폭의 다양성을 보여 주고 있으며 Fig. 2(b) 및 Fig. 2(c)에서 점선은 최소 저수로폭을 연결한 것이다.

$$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{T_i - T_{\min}}{T_{\max} - T_{\min}} \times 100 \quad (2)$$

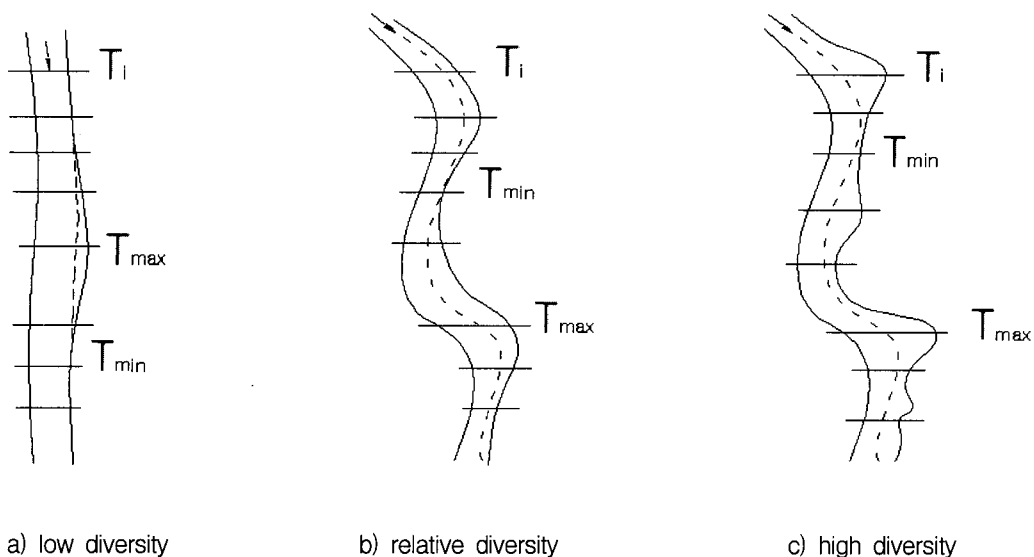


Fig. 2. Diversity of Channel Width for Normal Flow

Table 1. Evaluation Items and Index for Stream(This Study)

A. channel physical condition							
		evaluation index					remarks
		1st grade	2nd grade	3rd grade	4th grade	5th grade	
1	number of wave lengths	above one per below 500m (s : above 1.2)	above one per below 500m (s : below 1.2)	one per 500~1000m (s : below 1.2)	one per above 1000m (s : below 1.2)	none	interval of evaluation unit and sinuosity
2	number of sandbars	above 7	5~6	3~4	1~2	none	10 m channel width, 500 m channel length
3	diversity of flow	very high	high	moderate	low	none	*
4	diversity for stream bed material	most cobbles/pebbles	pebbles/gravel	gravel, sand, silt, clay	most silt/clay	most sand	*
5	diversity for width of normal flow	above 30%	30% ~ above 15%	15% ~ above 5%	5% ~ above 1%	below 1%	from Eq. 2
6	kind and material of revetment	no revetment/natural condition	natural material/vegetation cover	riprap/block stone/vegetation cover	pervious block revetment	impervious block revetment/concrete retaining wall	*
7	kind and material of embankment	no levee or embankment	earth embankment with vegetation	embankment with willow or wood works	embankment with pervious revetment such as gabions, etc.	embankment with impervious revetment such as concrete block	*
8	width of normal flow/width of channel	above 20%	20% ~ above 10%	10% ~ above 5%	5%~ above 1%	below 1%	*

여기서 T_{max} 는 저수로의 최대폭, T_{min} 는 저수로의 최소 폭, T_i 는 임의 횡단면의 저수로의 폭, 그리고 n 는 횡단면의 개수이다. 흐름에 직각 방향으로 설정되는 각 횡단면과 각 횡단면의 구간길이는 약 50.0m로 하는 것이 적절한 것으로 제안하며 평가구간이 600.0m라면 13개 하천횡단면에서 조성된 저수로의 폭을 측정하게 된다. Eq. (2)에 의하면 13개 단면중에서 저수로의 최소폭은 0.0%가 되고, 최대폭은 100.0%가 된다.

(6) 저수로 호안공, (7) 제방 호안재료, 및 (8) 수면폭 대 하천폭의 비(%)는 박봉진 등(2005)의 평가 지침을 인용하였다.

3.2 소하천의 환경에 의한 평가인자

소하천의 환경에 관한 평가인자는 대부분 국립방재

연구소(2004)의 소하천 생태환경 평가표를 인용하였다.

(9) 식생 구조, (10) 수변 식생 피복, (11) 제내지 수변구역 토지 이용, (12) 수질,

(13) 제외지 홍수터 토지 이용 : 방재연구소 소하천 평가 지침을 인용

(14) 횡단구조물 : 하류하천 합류부까지의 횡단구조물 여부를 고려

(15) 부착 미생물 : (16) 수서동물 : 방재연구소 소하천 평가 지침을 인용

3.3 보완된 소하천 자연도 평가 방법

기존 대하천 및 소하천에 적용하는 하천자연도 평가 방법에서, 하천의 물리적 및 환경적 특성을 반영한 소하천 자연도 부문 및 항목을 일부분 보완한 소하천 자

연도 평가방법을 Table 1과 같이 제안하였다. 또한 부록 2와 같이 소하천 자연도 평가 척도는 박봉진 등(2005)이 제안한 지침을 인용하였으며, 지수 I는 하천자연도지수(stream naturalness index)이며, Table 1의 각 항목별 평가지표를 누계하여 평가항목으로 나눈 값이

다. 또한 하천자연도지수의 범위에 따라 평가하고자 하는 하천에 관한 자연도의 수준 또는 등급을 나타낸다. Table 1에서 *는 박봉진 등(2005)의 평가지표를, **는 국립방재연구소(2004)의 평가지표를 인용하였다.

Table 1. Evaluation Items and Index for Stream(This study)(Continued)

B. channel environment							
		evaluation index					remarks
		1st grade	2nd grade	3rd grade	4th grade	5th grade	
9	vegetation structure	inherent diverse vegetation	dominantly growing hydrophyte	hydrophyte and xerophyte	xerophyte and naturalized plant	no vegetation	**
10	vegetation condition around stream front	naturally formed diverse vegetation	natural weeds and shrub	partly vegetated or no vegetation due to scouring	no vegetation due to scouring	no vegetation due to impervious revetment	*, **
11	land use of streamside inland	natural floodplain/grassland or shrubbery zone	cultivated land such as paddy, upland field	most cultivated land/partly municipal area	most municipal area/partly cultivated land	municipal area	*, **
12	land use of streamside foreland	no artificial structures	cultivated land/natural vegetation	promenade walk/road for bicycle	pervious facilities such as turf park	impervious facilities such as parking lot, road	*, **
13	water quality based on BOD(color of water)	1st grade (very clear)	2nd grade (relatively clear)	3rd grade (yellowish brown color)	4th grade (dark brown, invisible bed)	5th grade (black color, bad smell)	*, **
14	cross structures in channel	none	inclined weir or drop structure	weir or drop structure with fishery path	0.3~0.4 m height of weir or drop structures	above 0.4 m height of weir or drop structures	**
15	attached microbiology on bed material	clean surface of rock and pebble	little slippy surface of rock and pebble	microbiology colony on surface of rock and pebble	shape like mop microbiology partly existing on channel bed	shape like mop microbiology mainly existing on channel bed	**
16	aquatic lives	planaria, gammaridae, cambaridae, order plecoptera, family blepharoceridae	family ephemerae, family gomphidae, order megaloptera, order hemiptera, family heptageniidae, order trichoptera	family caenidae, family libellulidae, order coleoptera, family baetidae, family tabanidae	limnodrilus gotoi, hirudinidae	family syrphidae, family chironomidae	**

4. 소하천 자연도 평가방법의 적용 및 고찰

4.1 당왕소하천의 개황

당왕소하천 유역은 경기도 안성시 당왕동을 포함하고 있는 전형적인 전원하천으로서 유역면적은 1.15 km²이고 유로연장은 1.76 km이다. 당왕소하천은 비봉산(EL. 229.5m)에서 발원하여 지방2급하천인 금석천의 좌안측으로 유입되고 금석천은 안성천 본류로 유입된다. 당왕소하천은 2002년 10월 당왕소하천 친환경 조성공사 실시계획을 완료하였으며 2003년에 공사를 완료하였다. 공사구간은 안성시 당왕동 국가지원지방도 70호선 당왕1교를 출구로 하여 유역면적은 0.92 km²이고 유로연장은 0.6 km이다. 유역의 평균 고도는 EL. 108.0m, 평균경사는 13.56%, 유역평균폭은 0.65 km 그리고 유역형상계수는 0.37이다(안성시, 2002a).

당왕소하천의 친환경조성공사 이전에는 미개수 하천으로서 당왕소하천의 상류부의 하상경사는 1/20정도이고 중·하류부는 1/53정도이다. 상류측은 하천을 따라 도로와 농경지가 형성되어 있으며 하폭은 1.5~3.0m로 협소하고 하상경사가 급하여 석축호안이 설치되었다. 중류측은 좌안측에 주거지가 있고 우안측에는 농경지가 분포되어 있다. 하상경사는 여전히 급하고 하폭은 3.0~5.5m로 협소하였다. 지류합류부에서 정비구간 종점인 당왕1교까지는 하천주변으로 농경지가 형성되어 있었다. 하류측 하상경사는 비교적 급하고 하폭은 4.5~7.0m로 협소하여 제방사면은 세굴된 구간이 있다. 하천 좌안측은 콘크리트로 포장된 도로가 농촌도로의 기능을 담당하고 있었다. 정비구간의 종점인 당왕1교는 2.0×1.5×2련의 박스교이나 통수단면적이 부족하여 확장이 요구되어, 당왕천 친환경조성공사 일환으로 2003년에 2.0×1.5×3련으로 증설되었다(안성시, 2002b).

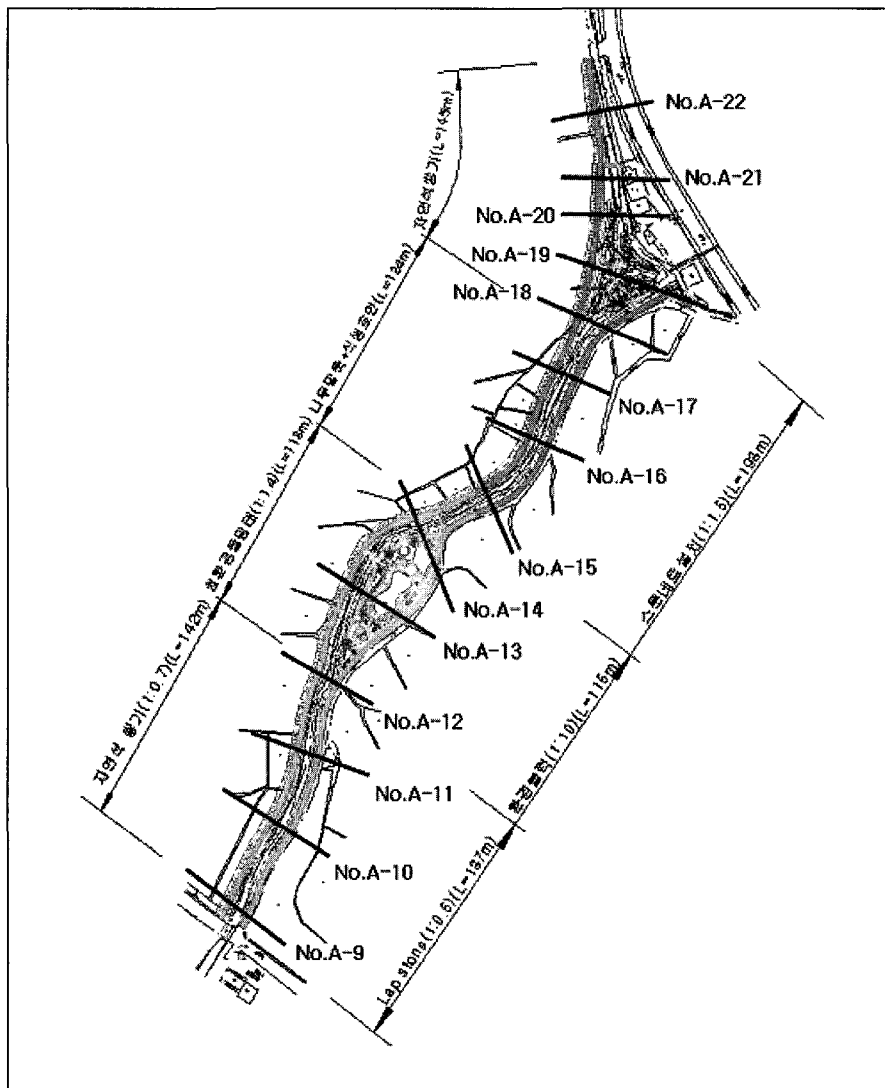


Fig. 3. Channel Configuration in the DangWang Stream Basin

공사전 공사 전·후 당왕소하천의 특성 변화를 살펴 보면 다음과 같다. 공사전의 평균하폭 및 하도 총저수용량은 각각 5.17m 및 2,686.0 m³이었고, 공사후 평균하폭 및 하도총저수용량은 각각 10.9m 및 7,138 m³이었다. 확폭을 통하여 치수안전도 및 수변환경을 개선코자 하였다. 상류측 합류부에는 하도습지 및 하중도를 조성하고 낙차공을 철거하고 3개소의 평여울을 설치함으로써 하천바닥의 다양성을 유도하여 유속분포의 역동성 제고와 하천생태계의 개선을 도모하였다. 공사전의 제방은 급경사 석축호안으로 되어 있었으나, 공사후에는 완경사 식생호안, 스톤넛호안, 환경블록호안, 친환경돌망태호안, 램스톤호안 및 자연석쌓기호안을 설치하여 홍수시 각 호안의 수리 대응도를 모니터링 하였다.

4.2 당왕천 친환경조성사업 전·후 자연도 평가

공사 전·후 당왕소하천 자연도 평가구간은 당왕1교(No. A-9)에서 횡단 측점 A22까지로 하였으며 하천연장은 600m이다(Fig. 3 참조). 제안된 소하천 자연도 평가지침에 따라 당왕소하천의 자연도를 공사전 및 공사후에 각각 평가하였으며, 당왕소하천의 하천형태 및 하천환경부문의 평가지표는 공사전·후 당왕천 모니터링 보고서(안성시, 2002~2005)를 주로 참조하였다. 하천형태 및 하천환경부문에 관한 당왕소하천의 자연도 평가

결과는 Table 2(a) ~ Table 2(b)에 나타내었다.

1) 소하천의 사행과장 : 공사후 하천의 하폭은 증대되었으나, 당왕소하천 공사 전·후의 평면형상은 변화가 거의 없으며, 친환경조성사업 구간의 사행과장은 2개소이고, 만족도는 각각 1.14, 1.19로서 평가지표는 각각 2등급으로 평가된다. 따라서 하도의 굴곡도는 1.2 미만이고 공사구간의 굴곡 개소는 2개소로서 평가지표는 2등급으로 평가된다.

2) 중·횡방향 사주 : 당왕소하천 공사 전·후의 사주의 개수는 500m를 기준으로 6개소 내외로 형성되어 있어 각각 2등급으로 평가되었다.

3) 흐름의 다양성 : 당왕소하천 공사 전·후의 흐름의 다양성은 각각 2등급으로 평가되었다.

4) 하상재료의 다양성 : 당왕소하천 공사전 하상재료는 자갈, 모래 및 실트가 복합적으로 구성되어 있었으나 공사후에도 변화가 거의 없어 각각 3등급으로 평가된다.

5) 저수로폭의 다양성 : 공사전의 횡단면은 거의 단단면으로 단순하였으나, 수변환경 개선을 위한 하천단면 조성을 위하여 하도습지, 하중도, 평여울 등을 조성하여 하상을 불규칙하게 조성하였다. 저수로폭의 다양성의 비는 평가구간내 50m 간격으로 13개 하천횡단면에서 조성된 저수로의 폭을 측정하고 Eq. (2)에 적용하

Table 2 (a). Evaluation of DangWang Stream Naturalness based on Channel Physical Condition

	number of wave lengths	number of sandbars	flow diversity	diversity for stream bed material	diversity for width of normal flow	kind and material of revetment	kind and material of embankment	width of normal flow/width of channel
Before Project (2002)	2	2	2	3	3	2	4	2
After Project (2005)	2	2	2	3	2	2	4	2

Table 2 (b). Evaluation of DangWang Stream Naturalness based on Channel Environment

	vegetation structure	vegetation condition around stream front	land use of streamside inland	land use of streamside foreland	water quality based on BOD(color of water)	cross structures in channel	attached microbiology on bed material	aquatic lives
Before Project (2002)	3	2	2	2	2	4	4	2
After Project (2005)	3	2	2	2	2	3	3	2

여 산정하였다. 공사전 저수로폭의 다양성 비율은 14%로서 3등급, 공사후는 29%로 산정되어 2등급으로 평가되었다.

6) 저수로 호안공 : 당왕소하천에서 저수로의 호안공은 거의 없는 상태로 각각 2등급으로 평가하였다.

7) 제방호안재료 : 공사전에는 주로 석축호안으로 되어 있어 4등급으로 평가하였고, 공사후에는 식생호안, 스톤넛호안 및 환경블록호안에 의하여 식생이 활착되는 호안을 도입한 구간도 있으나, 랩스톤, 자연석쌓기, 친환경돌망태호안이 혼용되어 4등급으로 평가하였다.

8) 저수로 수면폭대 하천폭 비 : 저수로 수면폭/하천폭의 비는 평가구간내 50m 간격으로 13개 하천횡단면에서 조성된 저수로의 폭과 하천폭을 측정하여 산정하였다. 공사후 저수로 수면폭대 하천폭의 비율은 14%로 공사전의 10.5%에 비하여 증가하였다. 이는 하도 습지의 조성을 포함한 확폭, 평여울의 설치 등으로 인하여 저수로 수면폭이 공사전보다 공사후에 넓어졌음을 의미한다.

하도 만제흐름으로 보고 하폭(W)대 수심(D)을 살펴보면 공사전은 4.4이고 공사후는 5.8이었으며, 수심(D)을 수리수심(DT)으로 산정하면 공사전은 7.2이고 공사후에는 10.5이었다. Brookes(1996)은 W/D의 비가 작아질수록 U자형 수로로 횡단이 형성되고, W/D의 비가 커질수록 교호사주(alternate bars) 또는 mid-channel bars에 퇴적이 지속되는 경향이 있음을 지적한 바 있다. 또한 Rosgen(1996)은 W/D의 비가 커질수록 하도는 넓어지고 수심은 얕아지므로 제방에 작용하는 마찰용력은 증가하여 제방세굴이 가속화된다고 하였다. 이와 같이 적절한 규모의 확폭은 하도내 저수로 수면폭대 하천폭의 비를 크게할 수 있는 것을 알 수 있다.

9) 식생구조 및 10) 수변식생피복 : 공사전 당왕소하천에는 뚜렷한 우점식생이 없는 가운데 다양한 소규모 식생군락이 발달하여 있다. 비교적 뚜렷한 식생군락은 제방상단의 갈대 군락, 물억새 군락, 혼생초지군락으로 크게 구분된다. 인근의 논 가장자리에는 물억새가 광범위하게 분포하고 있으며 본 구간 제방 상단에 물억새의 뚜렷한 선상군락이 형성되어 있어 이 지역이 농경지 사이를 흐르는 소하천으로서 인근 논 생태계의 영향을 다소 받고 있는 것으로 여겨진다. 하천구간에는 물의 영향이 직접적으로 미치고 있으나 수로폭이 좁고 제방사면이 경사져 있어 저수로 사면에 대한 물의 영향은 비교적 작아 특징적인 하천식생보다는 일반적인 초본식생들이 발달하여 있다. 전 구간에 걸쳐 수로와 수로 인접부에 갈풀이 아치형 작은 패치를 이루고 있는 가운데 고마리, 개여뀌, 미나리 등이 작은 규모로 연속적으로

반복, 혼생하고 있다. 제방 비탈면에는 주로 애기똥풀, 쇠별꽃, 머느리배꼽, 미국가막살이 등이 작은 군락을 이루고 있으며, 위쪽 건조한 제방쪽으로 올라오면 달맞이꽃, 개망초, 망초 군락이 비교적 뚜렷하게 발달한 가운데, 환삼덩굴이 많은 면적을 차지하고 있다. 따라서 공사전 식생구조는 3등급 및 수변식생피복은 2등급으로 평가하였다.

당왕소하천 공사후 기존의 식생이 완전히 제거되어 도입식물에 의한 식생과 새로이 형성된 식생으로 대체되어 있었다. 자연적으로 발생한 식생은 습지성 하천 고유식생보다는 건생초지성 식생이 우점하고 있었으며 도입식생 역시 건조화에 의한 불량한 상태를 나타내고 있었다. 전반적으로 도입식생이 유지되고 있는 생태학 습원과 자연학습장 이외의 구간에서는 수로변과 제방사면을 따라서 바랭이풀 군락, 강아지풀 군락, 환삼덩굴 군락, 들피군락, 명이주 군락 등과 이들의 혼생군락이 광범위하게 발생하고 있으며 부분적으로 고마리 군락, 여뀌 군락, 돌콩 군락, 골풀 군락 등이 함께 형성되어 있었다. 제방사면의 경우 기존의 달뿌리풀이나 물억새 군락은 대부분 제거되고 공사로 인해 새롭게 침입한 교란성 건조초지 식생인 바랭이풀 군락, 들피 군락, 환삼덩굴 군락이 우점식생을 형성하고 있었다. 이들의 광범위한 우점은 기존의 제방사면 식생이었던 쇠별꽃, 애기똥풀, 쇠뜨기, 광대수염 등의 소규모성 식생의 침입을 어렵게 하는 것으로 생각된다. 따라서 공사후 식생구조는 3등급, 수변식생피복은 2등급으로 평가하였다.

11) 제내지 수변구역 토지이용 12) 제외지 홍수터 토지이용 : 당왕소하천 공사전·후의 제내지 수변구역은 농경지로 활용되고 있고, 제외지 홍수터는 뚜렷하게 형성되지 않은 상태이어서 각각 2등급으로 평가하였다.

13) 수질 : 2002년 공사전 당왕천의 수질은 2급수(3 mg/L 이하)수준을 나타내고 있었다. 공사전·후 당왕천 내 오염원의 공급원은 큰 변화가 없는 상태이다. 전반적으로 BOD 기준으로 당왕천 수질은 공사후 개선되었으나, 공사전·후의 수질상태는 2등급으로 평가하였다.

14) 하천횡단구조물 : 공사전에는 낙차공이 있어 4등급으로 평가하였고, 공사후에는 낙차공을 철거하고 완경사 평여울을 조성하여 3등급으로 평가하였다.

15) 부착미생물 : 공사전 당왕소하천의 하상에는 걸레모양의 미생물 군락이 형성되어 2등급으로 평가하였고, 공사후에는 모두 제거되어 3등급으로 평가하였다.

16) 수서동물 : 당왕천의 저서동물류중에서는 자연환경보전법의 보호야생동물에 속하는 종들은 없었으나 옆새우, 가재 등을 포함한 맑은 수질 지표종들과 소하천

Table 3. Grade and Index of Naturalness for DangWang Stream

	Comprehensive Evaluation	Channel Physical Condition	Channel Environment
Before Project (2002)	2 (2.57)	2 (2.50)	3 (2.63)
After Project (2005)	2 (2.38)	2 (2.38)	2 (2.38)

을 대표할 수 있는 잠자리 목 및 노린재 목에 속하는 종들이 비교적 풍부하게 서식하고 있어 2등급으로 평가하였다. 공사후 확인된 저서동물은 총 59종이며, 수서곤충류는 48종으로 대부분을 차지하였고, 하루살이 목 4 종, 잠자리 목 6 종, 노린재 목 11 종, 딱정벌레 목 12 종, 파리 목 12 종, 날도래 목 3종이었다. 비수서곤충류는 갑각 강 2 종, 환형동물 문 5 종, 연체동물 문 4종으로 모두 11종이 출현하여 2등급으로 평가하였다.

4.3 당왕소하천 자연도 평가 결과의 고찰

당왕소하천의 종합적인 하천자연도를 평가하기 위하여 Table 2(a) 및 2(b)와 같이 하천의 형태 하천의 환경으로 2개 부문으로 하고 각 부문의 평가항목은 평가부문간의 균형을 고려하여 8개의 평가항목씩 16개의 평가항목에 관하여 평가를 하였다. 부록 2와 같이 하천자연도평가의 평가척도는 자연성 저감정도에 따라 1등급에서 5등급까지 각 등급간 0.8점을 고르게 배분하는 체계를 적용하였으며, 본 연구에서 하천자연도 평가등급은 부록 2의 기준을 따랐다.

Table 3과 같이 공사전 하천형태 지수 2.50은 하천환경지수 2.63보다 작게 평가되었으며, 공사전 당왕천의 종합평가결과는 2.57의 2등급으로 평가되어 당왕소하천은 비교적 자연스러웠지만 부문적으로 제한적인 요소가 있었던 것으로 평가되었다. Table 3에서 지수(index)는 하천자연도지수(stream naturalness index, I)를 의미하며 하천형태 및 하천환경에 관한 지수는 각각 Table 2(a) 및 Table 2(b)에서의 평가지표의 값을 누계하여 평가항목인 8로 나눈 값이다. 또한 종합평가의 지수는 하천형태와 하천환경의 지수값을 평균하였으며, 평가등급은 부록 2의 기준을 인용하였다.

공사후 당왕천의 하천형태 지수는 2.38으로 하천환경지수 2.38과 동일하게 평가되었다. 당왕소하천의 종합평가결과는 2.38의 2등급으로 평가되어 전체적으로 자연상태에 가깝다고 볼 수 있지만 부문적으로 제한적인 요소가 있는 것으로 평가된다. 공사후 당왕소하천의 자연도 2등급으로 공사전과 동일한 등급으로 평가되었지만, 친환경조성사업을 통한 확폭, 낙차공의 철거 등을 통하

여 평가부문별 평가지수는 다소 높게 평가되었다. 또한 저수로의 다양성, 저수로 수면폭대 하폭의 비, 수질 및 생태지수는 대체로 공사후 개선되었지만 Table 1의 평가지표 범위로 말미암아 등급 상향으로는 이루어지지 않았다.

5. 요약 및 결론

본 연구에서는 소하천 환경조성사업의 효과를 평가하기 위한 소하천 자연도 평가 기법을 기존의 하천자연도평가방법을 보완·개선하여 제시하였다. 소하천의 평면형상을 보여주는 만족도에 관한 평가지표를 마련하기 위하여 경기 남부 지역에서 55개의 소하천의 만족도, 사행과장 등을 분석하였으며, 수로의 평면형상에 관한 평가지표에 분석 결과를 반영하였다. 또한 저수로폭 다양성의 평가항목을 정량화할 수 있는 공식 및 지표를 제안하였으며, 중·횡방향 사주의 개소수에 관한 평가항목에서 하폭 및 하천연장을 지침으로 제시하였다. 소하천자연도를 평가하는 구간의 소하천길이는 경기남부 지역의 소하천 평면형 조사를 통하여 500m ~ 1,000m 정도로 제시하였다.

제안된 소하천 자연도 평가 방법을 당왕천에 적용한 결과, 제안된 소하천자연도 평가방법은 소하천의 하천형태 및 하천환경을 적절히 반영하는 가능성을 확인하였다. 당왕소하천은 자연도 2등급으로 공사전과 동일한 등급으로 평가되었으며 저수로의 다양성, 저수로 수면폭대 하폭의 비, 수질 및 생태지수는 대체로 사업 시행 후 개선되었지만 평가지표의 범위로 말미암아 하천자연도의 등급 상향으로는 이루어지지 않았다.

평가지표에는 정성적으로 판단하는 경우가 여전히 다수 남아있으므로 정량적인 판단 지표를 반영할 수 있는 지속적인 연구가 필요하다.

참 고 문 헌

박봉진, 신종이, 정관수(2005). "하천의 생물서식지 복원을 위한 하천 자연도 평가 : I. 평가 방법의 제안." 한국수자원학회논문집, 제38권, 제1호, 한국수자원

- 학회, pp. 37-48.
- 국립방재연구소(2004). 자연형 소하천 정비공법 개발 (III)
- 안성시(2002, 2003, 2005). 당왕소하천 친환경조성조사 모니터링 보고서
- 안성시(2002a). 소하천정비종합계획
- 안성시(2002b). 당왕소하천 친환경조성공사 실시설계보고서
- 우효섭(2001). 하천수리학, 청문각
- 윤태훈(2004). 생태환경수리학, 청문각
- 조용현(1997). “우리나라 중소하천 코리도의 자연성 평가법 연구.” **한국조경학회지**, 제25권, 제2호, 한국조경학회, pp. 73-81.
- 한국수자원학회(2005). 하천설계기준·해설
- 환경부(2002). 하천복원가이드라인, 한국건설기술연구원
- 建設省 東北地方建設局 (1994). “東北の自然風かな川づくり-近自然化 河道改修検討マニュアル.” 建設省 東北地方建設局
- Barbour, M. T., J. Gerristen, Snyder B. D., Stribling J. B. (1999). *Rapid Bioassessment Protocols for Use in Streams and Wadeable Rivers : Periphyton, Benthic Macroinvertebrates and Fish Second Edition*. EPA 841-B-99-002, U. S. Environmental Protection Agency, Office of Water, Washington, D. C.
- Brookes, A. (1996). *River Channel Restoration*, John Wiley & Sons Ltd.
- Leopold, L. B. and Wolman, M. G., River Meander(1960). *Bulletin of Geological Society of America*, Vol. 71.
- Collier, K. J., McColl, R. H. S. (1993). "Assessing the Natural Value of New Zealand Rivers." *River Conservation and Management*, Edited by P. J. Boon, P. Calow, G. E. Petts, New York, John Wiley & Sond, pp. 151-211.
- Environment Agency (1997). *River Habitat Survey : 1997 Field Survey Guidance Manual*.
- Petersen, M. S. (1986). *River Engineering*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs.
- Prichard, D., Barrett H, Cagney J., Clark R., Fogg J., Gebhart K., Hansen P. L., Mitchell B., Tippy D. (1998). *Riparian Area Management : Process for Assessing Proper Functioning Condition*. TR 1737-9 (Revised 1998). Bureau of Land Management, BLM/SC/ST-93/003+1737+REV95+REV98, Service Center, CO. 51.
- Rosgen, D. (1996). *Applied River Morphology*, Hilton Lee Silvey.
- USDA (1998). *Stream Visual Assessment Protocol*. National Water and Climate Center Technical Note 99-1.

(논문번호:06-93/접수:2006.09.07/심사완료:2007.04.24)

부록 1. 경기남부 소하천별 하천형태 지수

위치 (도읍 명칭)	유역 면적 A(km ²)	유로장 L(km)	유역 형상 계수 f	하천 밀도	λ_1		λ_2		λ_3		λ_4		λ_5		λ_6		유로장/ 사행파 장수 (m)		
					l_1	만곡도	l_2	만곡도	l_3	만곡도	l_4	만곡도	l_5	만곡도	l_6	만곡도			
					l_{c1}	S	l_{c2}	S	l_{c3}	S	l_{c4}	S	l_{c5}	S	l_{c6}	S			
안성	0	0.920	1.060	0.59	3.54	0.390 0.414	1.06	0.156 0.188	1.21	0.167 0.191	1.14							353	
	1	2.221	1.703	0.76	1.61	0.418	1.13	0.298	1.08	0.315	1.11	0.177	1.22	0.214				426	
						0.471		0.321		0.348		0.214							
	2	2.275	1.611	0.88	2.33	0.268	1.27	0.310	1.22	0.294	1.16	0.209	1.44	0.301					402
						0.339		0.377		0.341		0.301							
	3	1.456	1.556	0.60	2.42	0.422	1.08	0.306	1.11										778
0.455						0.340													
4	1.826	2.290	0.35	2.13	1.133	1.14	0.626	1.07										1145	
					1.290		0.668												
5	5.734	3.404	0.50	2.42	0.310	1.15	0.304	1.13	0.502	1.23	0.653	1.13	0.392	1.05				681	
					0.356		0.343		0.618		0.735		0.411						
오산	6	1.993	2.331	0.37	2.71	0.537	1.22	1.107	1.10									1165	
						0.655		1.217											
서운	7	5.355	2.928	0.63	0.67	1.292	1.15	0.640	1.11	0.624	1.15							976	
						1.482		0.709		0.720									
	8	5.073	3.902	0.33	1.36	0.740	1.15	0.307	1.05	0.332	1.12	0.536	1.06				976		
0.852	0.322	0.371	0.568																
동향	9	2.149	2.753	0.28	3.26	0.697	1.09	0.364	1.13	0.487	1.12	0.328	1.12					688	
						0.759		0.411		0.544		0.368							
발안	10	2.716	2.214	0.55	2.65	0.512	1.84	0.176	0.32	0.486	1.12							738	
						0.686		0.232		0.544									
	11	2.802	1.720	0.95	2.82	0.580	1.12	0.418	1.29								860		
0.650	0.538																		
서정	12	3.396	2.901	0.40	3.19	0.508	1.05	0.551	1.06	0.174	1.12	0.306	1.14	0.210	1.09	0.211	1.27	483	
						0.535		0.689		0.194		0.340		0.228		0.268			
속성	13	2.435	1.994	0.61	1.66	0.340	1.09	0.478	1.06	0.501	1.08							664	
						0.372		0.508		0.541									
	14	8.439	4.602	0.40	0.88	0.816	1.16	0.456	1.12	0.618	1.06	0.613	1.12	0.419	1.07			920	
0.950						0.512		0.652		0.687		0.447							
15	0.968	1.282	0.59	2.35	0.258	1.15											1282		
					0.297														
용인	16	1.540	2.300	0.29	1.49	0.573	1.10	0.419	1.31									1150	
						0.630		0.550											
	17	1.855	2.150	0.40	1.16	0.569	1.10	0.215	1.13	0.432	1.11	0.166	1.22					538	
0.623						0.243		0.401		0.202									
18	2.380	2.078	0.55	1.62	0.383	1.10	0.296	1.10									1039		
					0.423		0.325												
여주	19	2.621	3.038	0.28	2.61	0.709	1.11	0.429	1.26	0.278	1.47							1012	
						0.787		0.542		0.409									
	20	1.225	2.074	0.29	2.03	0.563	1.29	0.272	1.09	0.222	1.06							691	
0.725						0.296		0.235											
21	4.527	3.114	0.47	1.82	0.530	1.11	0.397	1.19									1557		
					0.588		0.472												
용문	22	0.990	1.705	0.34	2.54	0.209	1.23	0.319	1.25	0.557	1.13							568	
						0.257		0.399		0.627									
23	2.774	3.390	0.24	3.18	0.477	1.09	0.426	1.14	0.506	1.09	0.444	1.16					848		
					0.519		0.486		0.550		0.513								
성환	24	1.125	1.254	0.72	2.11	0.404	1.09	0.299	1.16	0.322	1.10							418	
						0.441		0.346		0.353									
	25	1.423	2.709	0.19	2.96	0.470	1.13	0.242	1.15	0.312	1.15	0.422	1.17					677	
						0.531		0.277		0.350		0.495							
	26	1.533	1.717	0.52	2.13	0.513	1.07	0.228	1.15									859	
0.549						0.262													
27	1.485	1.160	1.10	1.98	0.283	1.18											1160		
					0.335														
28	0.788	1.497	0.35	3.13	0.463	1.09	0.221	1.26									749		
					0.506		0.278												

부록 1. 경기남부 소하천별 하천형태 지수(계속)

위치 (도명 명칭)	유역 면적 A(km ²)	유로장 L(km)	유역 형상 계수 f	하천 밀도	λ_1		λ_2		λ_3		λ_4		λ_5		λ_6		유로장/ 사행과 장수 (m)	
					l_1	만곡도	l_2	만곡도	l_3	만곡도	l_4	만곡도	l_5	만곡도	l_6	만곡도		
					l_{c1}	S	l_{c2}	S	l_{c3}	S	l_{c4}	S	l_{c5}	S	l_{c6}	S		
점 동	29	5.367	2.799	0.69	2.07	0.212	1.10	0.209	1.17	0.258	1.13	0.282	1.10	0.382	1.19	0.388	1.08	466
						0.233		0.244		0.292		0.310		0.372		0.419		
	30	1.163	1.701	0.40	2.16	0.485	1.10	0.408	1.14	0.317	1.17							567
						0.531		0.487		0.370								
	31	1.403	1.214	0.95	2.13	0.360	1.07	0.299	1.12	0.283	1.18							
0.385						0.336		0.333										
32	1.282	1.776	0.41	2.37	0.871	1.23	0.234	1.28										888
					1.075		0.300											
33	2.363	1.911	0.65	2.21	0.583	1.13												1911
					0.661													
농서	34	1.431	1.737	0.47	1.29	0.328	1.15	0.162	1.15	0.303	1.16	0.310	1.12	0.247	1.14			347
						0.377		0.186		0.352		0.348		0.281				
노곡	35	2.337	2.258	0.46	1.89	0.446	1.11	0.410	1.09	0.257	1.13							753
						0.494		0.447		0.290								
농평	36	5.558	4.182	0.32	1.02	0.378	1.13	0.250	1.13	0.428	1.08	0.606	1.06					1046
						0.428		0.282		0.464		0.643						
노곡, 영평	37	4.195	3.369	0.37	1.32	0.114	1.24	0.196	1.29	0.213	1.12	0.451	1.09	0.434	1.04	0.343	1.12	561
						0.141		0.242		0.238		0.493		0.451		0.385		
광 주	38	4.361	2.879	0.53	2.04	0.370	1.11	0.685	1.06	0.381	1.15							960
						0.409		0.726		0.437								
	39	4.509	2.950	0.52	2.97	0.903	1.08	0.558	1.08	0.273	1.10							983
0.977						0.604		0.299										
40	1.910	1.488	0.86	3.51	0.455	1.36	0.346	1.12	0.237	1.15							496	
					0.618		0.386		0.272									
단월	41	3.314	1.928	0.89	2.14	0.614	1.19	0.396	1.05									964
						0.733		0.414										
42	2.479	1.677	0.88	3.19	0.668	1.11											1677	
					0.739													
좌향	43	8.066	3.427	0.69	1.17	0.776	1.19	0.355	1.18	0.366	1.05	0.223	1.05					856
						0.924		0.418		0.385		0.234						
44	2.623	2.294	0.50	2.00	0.588	1.20	0.473	1.16									1147	
					0.705		0.549											
지제	45	4.392	3.647	0.33	2.73	0.442	1.13	0.536	1.05	0.250	1.16	0.289	1.15	0.491	1.08	0.519	1.17	607
						0.500		0.560		0.290		0.331		0.531		0.609		
	46	3.046	2.715	0.41	3.67	0.404	1.06	0.259	1.10									1358
						0.427		0.284										
47	2.083	2.463	0.34	3.02	0.637	1.17	0.455	1.16									1232	
					0.743		0.527											
48	2.703	2.627	0.39	3.33	0.553	1.05	0.379	1.04									1314	
					0.583		0.393											
양 평	49	3.345	2.677	0.47	1.85	1.238	1.41	0.507	1.19									1338
						1.749		0.605										
	50	1.583	1.590	0.72	1.54	0.560	1.21	0.405	1.10	0.270	1.14							530
						0.679		0.444		0.308								
51	2.801	2.081	0.65	2.30	0.318	1.05	0.344	1.04									1041	
					0.335		0.358											
52	6.222	4.328	0.33	2.10	0.694	1.05	0.522	1.05	0.914	1.098							1443	
					0.728		0.550		1.004									
가 남	53	1.062	1.877	0.30	3.16	0.383	1.08	0.355	1.23	0.275	1.18							625
						0.414		0.436		0.323								
	54	1.875	2.150	0.41	1.71	0.415	1.16	0.260	1.10	0.725	1.09							717
0.482						0.286		0.793										
55	1.635	1.639	0.62	1.43	0.731	1.14											1639	
					0.831													

부록 2. 하천자연도 평가 척도

자연도 평가 등급	지수 I의 범위	하천의 상태	하천상태의 의미
1등급	$1.0 \leq I \leq 1.8$	자연스러운	자연상태에 아주 가까움
2등급	$1.8 < I \leq 2.6$	비교적 자연스러운	비교적 자연상태에 가깝도록 유지되었지만 부분적으로 제한적인 요인이 많음
3등급	$2.6 < I \leq 3.4$	제한적으로 자연스러운	전체적으로 자연상태에 가깝다고 볼 수는 있지만 제한적인 요인이 많음
4등급	$3.4 < I \leq 4.2$	자연스러움이 없는	훼손으로 인하여 자연상태가 희박함
5등급	$4.2 < I \leq 5.0$	자연스러움이 거의 없는	극심하게 훼손되어 자연상태가 거의 없음