

## 하천개수 전·후 하천공간의 생태기능 평가방법에 관한 연구 A Study on Evaluation of Ecological Function before and after River Improvement

홍 일\* / 김 지 성\*\* / 신 형 섭\*\*\* / 김 규 호\*\*\*\*

Hong, Il / Kim, Ji-Sung / Shin, Hyoung Sub / Kim, Kyu Ho

### Abstract

In this study, the assessment scheme has been developed to evaluate the ecological function of rivers which were changed by the river improvement project. The evaluating factors are composed of physical structure in river channels and ecological connectivity in river areas, and each value of the factors is quantified based on 4 and 2 variables, respectively. This scheme was applied to past (1918, before artificial river improvement) and present Mankyung River area. A GIS model was adopted for calculating, analysing, and presenting river ecological conditions using the 204 grids and 7 reaches in study area. Comparison results show that the evaluation grade was decreased in both factors after river improvement. The main causes of lower grade (from II to IV) for physical structure are the river straightening and crossing structures. The reduction (from II to III) in ecological connectivity grade effected by linear fragmentation due to roads and rails is found to be greater than areal fragmentation due to land-use. In particular, it is also found that a high degree of ecological connectivity in 1918 was distributed along the river, but that one in 2007 showed a tendency to scatter because of the construction of levee and increase of urbanized area.

**Keywords** : river area, river assessment, physical structure, ecological connectivity, land-use

### 요 지

본 연구에서는 과거 자연하천에서 개수 후 현재 정비하천으로 변화된 하천공간의 생태기능을 비교·평가할 수 있는 방법을 제안하고 그 적용성을 검토하였다. 생태기능 평가는 하도 중심의 물리구조와 하천공간의 생태연결성으로 구성하였고, 각각 4개와 2개 평가항목을 토대로 평가기준에 따라 정량화 하였다. 평가방법의 적용은 하천개수 전인 1918년과 대규모 하천개수사업이 종료된 현재의 만경강 하천공간에 204개 격자와 7개 하도구간을 설정하고 GIS 분석기능을 활용하여 수행하였다. 그 결과, 물리구조와 생태연결성은 각각 평균 2등급에서 4등급, 2등급에서 3등급으로 감소한 것으로 나타났다. 물리구조의 주된 악화 원인은 직강화와 그에 따른 하천 횡단구조물의 건설에 의한 것으로 파악되었고, 생태연결성 악화는 도로와 철도 등에 의한 선적 단절요인이 토지이용에 의한 면적 단절요인보다 비교적 더 크게 작용한 것으로 확인되었다. 특히, 생태기능이 높은 격자들을 기준으로 하천공간을 살펴볼 때, 1918년의 생태

\* 한국건설기술연구원 하천해안연구실 수석연구원 (e-mail: hongil93@kict.re.kr)

Senior Researcher, River and Coastal Research Division, Korea Institute of Construction Technology

\*\* 교신저자, 한국건설기술연구원 하천해안연구실 수석연구원(e-mail: jisungk@kict.re.kr)

Corresponding Author, Senior Researcher, River and Coastal Research Division, Korea Institute of Construction Technology

\*\*\* 한국건설기술연구원 하천해안연구실 석사후연구원 (e-mail: hydsubi@kict.re.kr)

Post-master Researcher, River and Coastal Research Division, Korea Institute of Construction Technology

\*\*\*\* 한국건설기술연구원 하천해안연구실 연구위원 (e-mail: khkim1@kict.re.kr)

Research Fellow, River and Coastal Research Division, Korea Institute of Construction Technology

연결성은 하천을 축으로 분포되어 있었음을 알 수 있으나, 2007년은 제방 축조와 도시화된 지역의 증가로 산포하는 경향을 나타냈다.

**핵심용어** : 하천공간, 하천평가, 물리구조, 생태연결성, 토지이용

## 1. 서 론

자연하천에서 하천공간은 중·횡적으로 수리·수문학적 영향을 받는다. 하천공간은 하천 물리구조의 범위 설정이 모호한 상태에 머물고 있으나 Song and Yoon (2008)은 하천, 호소의 수면을 포함하여 그 주변의 하천부지, 섬, 댐, 제방 등을 포괄한 하천을 주체로 하는 수체 중심의 공간으로 정의하였다. 그러나 하천은 지형학적 구조에 따라 수체와 더불어 홍수터 등 중·횡적으로 다양한 형상과 범위를 갖는다. 최근 유럽과 미국 등에서 하천복원은 인위적인 요인으로 인해 축소 또는 소실된 하천공간을 지형학적으로 되돌리기 위한 방향에 주안점을 두고 있다. 또한 국내 하천공간 개념과 관련된 하천구역, 홍수관리구역, 수변구역, 친수구역 등은 법과 제도로 규정되어 하천관리 측면에서도 매우 중요하게 다뤄지고 있다. 홍수터, 수변벨트, 구하도, 습지와 같은 하천공간은 수문학적 완충역할을 통하여 홍수와 가뭄을 조절하고 생물의 서식공간을 제공한다. 특히 하천공간은 하천의 물리구조 및 수역과 육지의 중·횡적 생태 연결성을 강화시켜주는 공간으로 그 중요성이 매우 크다고 할 수 있다.

우리나라는 그동안 산업화 시대를 거치면서 상당 부분의 중·하류 하천공간은 경작지 확대, 도시나 산업단지 조성 또는 빠른 홍수 배제를 위해 직강화 되면서 잠식되어 왔다(Hong et al., 2012a). 이러한 하천개수사업과 경지정리사업은 하천의 물리구조를 변화시켰으며, 다양한 토지이용은 중·횡적 하천공간의 생태 연결성을 악화시키는 결과를 초래하였다. 이와 같은 문제의 근본적인 해결방안은 과거 자연하천 상태의 하천공간을 모두 확보하고 이를 원자연상태로 복원하는 것이라 할 수 있다. 현실적으로 제내지를 포함한 하천공간은 과밀한 토지점용과 개발로 인해 많은 토지를 매입하고 충분히 확보하기는 쉽지 않다. 하지만 물리구조의 교란 및 생태 단절 조사를 통하여 적정 대상구간의 물리구조 교란을 해소하고 생태 연결성을 확보할 수 있는 방안을 고려할 필요가 있다. 그리고 이와 같이 적정 복원대상구간을 선정하기 위해서는 이를 정량화시킬 수 있는 평가방법이 필요하다.

현재 국내외에서 하천 평가와 관련된 다양한 지표가 개발

되어 사용되고 있다. 평가의 궁극적 목적은 하천환경의 개선이지만 평가의 주된 요소로는 물리적 요소(Otto, 1995), 생물학적 요소(Angermeier and Karr, 1994), 경관적 요소(NRA, 1993) 또는 복합적 요소(Fry et al., 1994; Leopold, 1972; Collier and McColl, 1992)로 그 특징이 구분될 수 있다(Cho, 1997). 국내의 경우 Cho (1997), Kim et al. (2000), Lee (2000), Park et al. (2003), Park and Ma (2003), KICT (2005)와 같이 서식처에 기반을 둔 하도의 물리구조 특성을 진단함으로써 하천 자연성을 평가한 연구가 대부분을 차지하고 있다. 특히, Kang and Park (2012)은 제외지의 서식처 기능평가와 수변공간의 선적, 면적 단절요인을 통하여 하천의 단절구간을 효과적으로 평가하였다. 최근에는 Park et al. (2002), Hong et al. (2012b)과 같이 하천평가에 GIS 공간분석 기능을 활용함으로써 현장조사에 대한 의존성을 줄이고 시·공간적 범위를 넓힐 수 있는 기회를 제공하고 있다. 이상의 하천평가는 하도와 수변지역을 포함한 공간 범위를 대상으로 하고 있으며, 본 연구에서와 같이 제외지, 제내지를 포함한 과거 하천 범람구역을 평가대상으로 고려하지는 않았다. 따라서 하천개수 전·후의 광범위한 하천공간을 어떻게 효과적으로 진단하고 평가할 것인가에 대한 내용이 본 연구의 주된 초점이 될 수 있을 것이다.

하천공간은 하천의 영향을 받는 모든 생물의 서식 공간으로서, 생물주기(Life-Cycle) 전반에서 생태에 큰 영향을 미치게 된다. 즉 하천공간의 생태기능은 연속적이면서 풍부한 생물서식처 제공으로부터 발현된다. 본 연구에서는 약 90년 이전의 과거 자연하천에서 현재 정비하천으로 변화된 하천공간의 생태기능을 평가하고자 한다. 이를 위하여 하천공간의 생태기능을 하도 중심의 서식처 물리구조와 제내지를 포함한 공간의 생태연결 기능으로 구분하였고, 각각 4개와 2개 인자의 정량적 기준으로 평가하였다. 1920년대 일제 강점기 대규모 개수사업이 시행되었던 만경강을 대상으로 하천정비사업 이전인 1918년과 2007년 현황을 비교하였으며, 제방이 없을 경우, 홍수범람이 발생할 수 있는 공간을 대상으로 격자를 구성하여 개발된 생태기능 평가방법을 적용하였다.

## 2. 생태기능 평가기법 개발

본 연구에서는 향후 축소 또는 소실된 하천공간의 복원이 가능하다는 전제하에, 하도 중심의 물리구조와 제네지를 포함한 생태연결성을 진단할 수 있는 생태기능 평가 방법을 개발하고자 한다. 이와 같은 평가의 목적은 하천 개수사업 이전과 이후 시점에 대해 하천공간의 생태기능을 비교함으로써 향후 하천관리 방향을 설정하고, 하천복원 수단을 판단하고 결정하는 데 있다. 기존 하천환경 평가사례를 살펴보면, 자료수집 단계에서 지형도, 항공사진, 위성영상, 토지피복도 등 영상자료의 활용과 함께 생물(식생 등), 지형(중횡단면 등), 현장사진, 하상구조(하상재료 등) 등 현장조사를 필요로 한다. 하지만 본 연구의 비교평가 대상인 개수사업 이전 자료는 1918년 근세 한국오만분지일 지형도, 조선하천조사서 등으로 매우 제한적이다. 따라서 하천공간의 생태기능 평가를 위한 항목과 기준은 기존 연구의 평가항목을 토대로, 하천 개수사업 이전의 가용 자료에서 추출 가능한 물리구조로 제한하고자 한다.

### 2.1 하도 중심의 물리구조

하도의 물리구조 평가항목 선정은 기존 하천자연성 평가 관련 연구들을 참고하였고, 과거자료인 지형도로부터 추출 가능성을 검토하여 하도의 사행도, 제방, 횡단구조물, 하도주변 토지이용 등 4가지를 평가항목으로 결정하였다. Table 1에 제시된 바와 같이 각각의 항목은 하천평면, 하천횡단, 하천종단, 하도주변 등 4가지 부문으로 구분된다. 사행도는 Cho (1997), Lee (2000), Kim et al. (2000), Park et al. (2002), Park and Ma (2003), Park et al. (2003), KICT (2005) 등 대부분의 연구에서 사용하였고, 사행이 클수록 자연성이 높은 구조로 평가된다. 본 연구에서는 사행도의 구분기준을 정량화하기 위하여 KICT (2005)를 활용하였고, 사행이 클수록 높은 점수를 배정하여 자연하천에 가까운 상태로 평가하였다. 제방과 횡단구조물은 Cho (1997), Kim et al. (2000), Park and Ma (2003), Park et al. (2003)의 연구사례에서 활용되었으며, 생물의 횡적, 종적 이동에 관한 물리적 방해물을 의미한다. 본 연구에서는 횡단구조물의 자연성 평가를 위하여 평상시 물이 월류할 수 있는 정도(월류부 상대폭)를 평가기준으로 제시하였

Table 1. Evaluating Factor of Physical Structure in River Channel

Category	Factors	Score				
River Geometry	Sinuosity	Degree of river meandering (=stream length/straight length)				
		5	4	3	2	1
		High (> 1.50)	Medium (1.25~1.50)	Low (1.05~1.25)	Very low (1.00~1.05)	Straight (=1.00)
Lateral Continuity	Levee	Artificialness of levee material				
		5	4	3	2	1
		No Levee	Soil	Wood, Stone, Vegetation	Gabion	Concrete
Longitudinal Continuity	Crossing Structure	Degree of the flow continuity through a structure (a: Notch width, b: Structure width)				
		5	4	3	2	1
		No Structure	a/b (> 80%)	a/b (60~80%)	a/b (20~60%)	a/b (< 20%)
Adjacent Land	Adjacent Land-use	Artificialness of Governing Land-Use				
		5	4	3	2	1
	Natural Land-use	≤ 10%	≤ 30%	≤ 50%	≤ 70%	> 70%
	Natural Land-use	≥ 90%	< 90%	< 70%	< 50%	< 30%

다. 이는 과거 횡단구조물의 경우, 제원을 확인할 수 없으므로 횡단구조물 단차에 의한 단절 정도는 유사한 것으로 가정한다. 하도주변 인접토지이용 또한 사행도와 같이 대부분의 연구사례에서 제시하고 있으며, 하천주변은 홍수터, 즉 하천 흐름과 연계된 서식공간을 의미한다. 본 연구에서는 개수 전 제방이 없어서 하도주변 공간범위를 결정하기 어려운 경우, 대상구간의 하도주변 토지이용 상황으로부터 저수로 폭의 약 5배 공간을 홍수터로 설정하였고, 개수 후 제방으로 가두어진 경우에는 저수로 외 제외 공간을 홍수터로 정의하였으며, 각각의 홍수터를 대상으로 인위적 또는 자연 상태로 활용되는 토지이용 비율을 평가기준으로 제시하였다. 여기서, 인접토지이용을 인위적인 부분과 자연적인 부분으로 양분한다면 Table 1의 두 조건은 동일한 것이다. 물리구조 평가점수는 구간 내 각 항목별 점수의 합으로 산정할 수 있으며, 사행도, 중·횡단 구조물, 인접토지이용 등을 포함한 물리구조 평가로부터 개수사업 전·후 인위적인 요인에 의한 생태 서식여건의 변화를 간접적으로 진단할 수 있다.

## 2.2 하천공간의 생태연결성

하천공간에서 생태연결성은 크게 면적 단절과 선적 단절로 구분하여 분석하고 그 기능을 종합하여 평가하였다. 면적 단절을 일으키는 가장 큰 요인은 하천 주변의 인위적 토지이용을 들 수 있으며, 이는 주변 산림과의 횡적인 연결을 차단함과 동시에 비점오염물질의 오염원이기도 하다(Kang et al., 2011). 면적 단절 여부에 따른 각 토지이용 상의 기준은 Kang et al. (2011)을 참조하였으며, 본 연구에서 이용하는 토지이용 유형에 맞추어 Table 2와 같

이 산림, 수역, 습지 < 초지 < 기타 나지 < 경작지 < 하우스 및 과수원 < 취락 및 시설 순으로 가중치를 설정하였다. 임의 격자의 면적 단절 평가점수는 격자 내 각 토지피복율과 토지이용 유형별 가중치를 곱한 후 격자 내 합으로 계산할 수 있으며, 격자별 평가점수의 최대값은 10점이 되도록 설정하였다(Table 2).

선적 단절을 제한하는 요인으로는 도로, 철도, 제방 등을 들 수 있다. 임의 격자 내 포함될 수 있는 선적 단절은 도로, 철도, 제방의 유무, 규모, 분포 정도 등의 영향을 받는다. 따라서 선적 단절 평가는 Table 3과 같이 우선 도로, 철도, 제방 등 단절요인의 유무에 따라 점수를 부여하였으며, 격자 내 단절요인의 길이를 고려하여 가중치를 설정하였다. 임의 격자의 선적 단절 평가점수는 단절요인의 유무에 따른 점수에 가중치를 곱하여 산정할 수 있으며, 격자별 평가점수의 최대값은 10점으로 설정하였다. 이는 임의 하천구간의 선적 단절을 평가하기 위한 Kang et al. (2011)의 평가 점수를 격자 기준으로 산정하기 위하여 일부 수정한 것이다.

## 2.3 기능평가 및 관리방향 선정

생태기능 평가는 하도 중심의 물리구조와 하천공간의 생태연결성으로 구성하였다. 하도 물리구조 지수(I<sub>p</sub>)는 하천평면, 하천횡단, 하천종단, 하도주변 등 4가지 평가부분의 합(총 20점)을 4로 나누어 산정하였고, Table 4로부터 등급이 결정된다. 총 5단계로 분류한 각 등급에 대하여 아주 건강한 상태(Excellent)에서 아주 악화된 상태(Very poor)까지 각 단계별로 의미를 부여하였고, 1~5인 지수(I<sub>p</sub>)가 등간격이 되도록 등급을 설정하였다. 생태연결성

Table 2. Evaluating Factor of Areal Fragmentation due to Land-use

Land-use Category	Weighted Value
Forest	0
Water Area	0
Wetland	0
Grassland	3
Bare Ground	5
Farmland	6
Vinyl house/Orchard	7
Urban	10
Evaluation Score (in a Grid)	= $\sum$ (Land-use Cover Rate $\times$ Weighted Value)

지수는 면적 단절, 선적 단절 등 2가지 평가부문의 합(총 20점)을 4로 나누어 산정하였고, 0~5인 지수( $I_c$ ) 범위를 고려하여 Table 5와 같이 등간격의 등급으로 표시하였다. 물리구조 평가와 동일하게 생태연결성 등급 또한 총 5단계로 분류하였고, 원자연 상태(생태계 연결성 큼)에서 인위적인 지나친 훼손으로 자연요소가 거의 없음(생태계 단절성 큼)까지 각 단계별로 의미를 부여하였다. 물리구조 지수( $I_p$ )는 점수가 높을수록 상위 등급에 해당하나 생태연결성 지수( $I_c$ )는 단절 정도를 나타내기 때문에 점수가 높을수록 하위 등급에 해당한다.

이와 같이 물리구조와 생태연결성 특성별로 하천공간

의 생태적 기능 상태를 평가할 수 있다. 그리고 부문별 또는 항목별로 취약하거나 양호한 부분을 진단하여 이에 맞는 하천공간의 관리방향을 제시할 수 있다. 예를 들어, 하천 개수전후 각 평가 등급의 비교, 변화 정도 분석, 현재 하천 현황 등으로부터 유사한 특성을 가지는 지역을 묶어서, 각 등급별로 우선 보호지역, 보호지역, 중·장기적으로 보호 또는 개선이 필요한 지역, 가까운 시일 내에 개선이 필요한 지역, 개선이 시급한 지역 등으로 설정할 수 있을 것이다. Fig. 1은 본 연구에서 제안한 생태기능 평가의 모식도를 나타낸 것으로 하도 중심의 구간 설정, 하천공간의 격자 구성을 통하여 광범위한 하천공간을 효과적으로

**Table 3. Evaluating Factor of Linear Fragmentation**

Evaluation Score (in a Grid)	Road (Yes) Railroad (Yes)	Road (No) Railroad (Yes)	Road (Yes) Railroad (No)	Road (No) Railroad (No)
Levee (Yes)	10	7	5	3
Levee (No)	9	6	4	0
Adjustment of the score (= Score × Weighted Value)				
Degree of Fragmentation (%)	$80 \leq \text{D.F.}^*$	$50 \leq \text{D.F.} < 80$	$20 \leq \text{D.F.} < 50$	$\text{D.F.} < 20$
Weighted Value	1.0	0.8	0.5	0.2

\*D.F. (Degree of Fragmentation) = Evaluating Factor in a Grid / Grid Perimeter × 100

**Table 4. Grade of Physical Structure in Channel**

Grade	Physical Structure Index ( $I_p$ )*	Description
I	$4.2 < I_p \leq 5.0$	Excellent Condition
II	$3.4 < I_p \leq 4.2$	Good Condition
III	$2.6 < I_p \leq 3.4$	Moderate Condition
IV	$1.8 < I_p \leq 2.6$	Poor Condition
V	$1.0 \leq I_p \leq 1.8$	Very poor Condition

\* $I_p$  = (River Geometry + Lateral Continuity + Longitudinal Continuity + Adjacent Land) / 4

**Table 5. Grade of Ecological Connectivity in River Area**

Grade	Ecological Connectivity Index( $I_c$ )*	Description
I	$0 \leq I_c \leq 1$	Natural with excellent connectivity
II	$1 < I_c \leq 2$	Largely natural with a small fragmentation factor
III	$2 < I_c \leq 3$	Moderately natural with a large fragmentation factor
IV	$3 < I_c \leq 4$	Serious condition with a little connectivity
V	$4 < I_c \leq 5$	Fragmentation have reached a critical level

\* $I_c$  = (Areal Fragmentation + Linear Fragmentation) / (2×2)

진단할 수 있다. 뿐만 아니라 하도 직강화 이후 시점인 현재 하천을 과거 자연하천(Reference Channel)과 비교·평가함으로써 하천복원의 잠재적 기능을 높이는 현실적 대안이 될 수 있다. 다만, 본 연구에서 제안된 각 기능의 평가는 동일한 기준에 의한 하천개수 전·후의 상대적 비교이며, 다양한 하천공간에 지속적으로 적용함으로써 평가모형의 객관성을 검증할 필요가 있음을 유의하여야 한다.

### 3. 적용 대상하천과 분석

#### 3.1 만경강

만경강은 고산천, 소양천, 전주천 등의 지류와 합류하여 서해로 유입되는 하천으로써 유역면적은 1,527.1 km<sup>2</sup>, 유로연장은 77.4km이다. 만경강은 감조하천으로써 과거 만조시 전주천, 소양천이 합류하는 지점(하구에서 약 48km 지점)까지 영향을 미쳤으며, 이로 인해 지류하천 중심의 물이용이 활발하였다(MLIT, 2010). 그리고 홍수 및 범람 방지를 위한 원활한 배수기능과 배후습지를 농업용지로 확보하기 위해 1924년에서 1940년까지 만경강 본류와 지류를 대상으로 하천개수 즉, 직강화 공사를 진행하였다(Table 6). 그 결과 만경강 유역 하천공간은 대규모 농지 정리, 구하도 형성, 도시 인프라 확장, 행정구역 변화 등

많은 변화가 발생하였다.

본 연구에서는 이러한 만경강 유역의 변화를 고려하여 1918년 지형도를 이용하였다. 국내 지형자료 중 1914~1918년에 제작된 근세한국오만분지일지형도는 국내 최초로 근대적인 지도제작방법에 의해 한반도의 모든 지역을 대상으로 동일한 축척으로 제작되었고, 근대적인 의미의 토목공사가 시작되기 이전에 제작되어 조선 후기의 한반도 모습이 반영되었다는 점에서 매우 중요하다고 할 수 있다(Bae, 2007). 특히 만경강의 개수공사가 1920~1940년대에 진행된 점을 고려할 때 1918년 지형도의 만경강은 인위적 하천정비 측면에서 보아 자연하천에 가까운 하도 형태를 나타내고 있을 것으로 판단된다.

본 연구는 만경강 본류 중 소양천 합류점에서 전주천 합류후 20km 구간을 대상으로 수행하였으며, 2010년에 제작된 DEM(5m급)을 이용하여 체내지 구릉지의 최저등고선(20 EL.m)을 기준으로 하천공간 평가의 경계를 설정하였다(Fig. 2).

지형은 곡저(Valley-bottom)의 평탄지에서 등고선 간격이 매우 넓은 부분과 곡저 끝의 사면(Hillslope)에서는 경사가 매우 급하므로 등고선 간격이 조밀해지는 부분이 있는데 사면에서 평탄지로 바뀌는 부분의 지형학적 연결선을 최저등고선으로 정의하였다. 최저등고선의 연결선

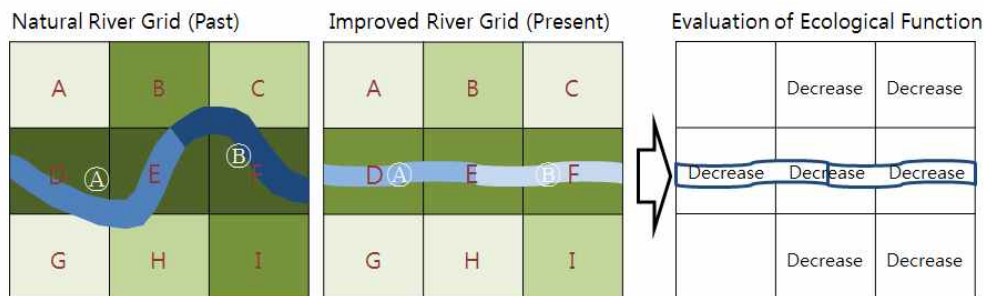


Fig. 1. Concept map for Evaluation of Ecological Function

Table 6. Information of Levee Construction in Mangyoung River (1924~1940)

Year	Levee length (m)	Year	Levee length (m)	Year	Levee length (m)
1924	7,574	1930	4,120	1936	-
1925	4,544	1931	6,969	1937	1,155
1926	5,360	1932	-	1938	10,207
1927	361	1933	15,449	1939	-
1928	2,259	1934	7,275	1940	4,500
1929	13,885	1935	760		

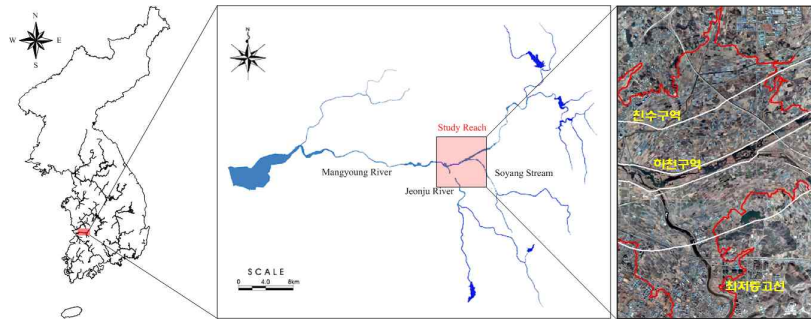


Fig. 2. Study Area in Mangyoung River

은 지형학적 퇴적작용이 가능한 최대 하천공간이라고 볼 수 있으며, 이는 잠재적 홍수범람이 가능한 최대공간을 포함할 수 있다. 등고선은 지형도상에서 객관적으로 사용할 수 있는 지표이며, 본 연구에서는 등고선을 활용하여 하천공간의 범위를 설정하였다. 이렇게 설정된 하천공간은 Fig. 2와 같으며, 대상 공간은 법정 하천구역을 포함하고 하천구역 경계로부터 양안 2km 범위 기준으로 설정되는 친수구역 역시 대부분 포함하는 것으로 나타났다.

### 3.2 영상 활용 및 GIS 분석

과거와 현재 하천공간의 물리적 데이터 및 토지이용현황을 취득하기 위해서 본 연구에서는 1918년 지형도, 2010년 항공사진, 2010년 DEM 그리고 2007년 환경부 토지피복도를 이용하였다. 영상자료에 나타나는 정보를 이용하기 위해서는 이미지 형태의 영상에 좌표 값을 입력하고, 왜곡된 영상의 보정을 통한 수치화 과정이 필요하다. 항공사진은 지상기준점(GCP: Ground Control Point)을 이용하여 원격탐사 영상자료에 포함된 비계통적 기하학적 왜곡을 보정하는 기하학적 보정(Geometric correction) 방식을 적용하였다. 그리고 1918년 지형도는 경위도 좌표로 되어 있는 도곽좌표를 좌표변환프로그램을 이용하여 Bessel 타원체의 중부원점 평면직각 좌표체계로 변환한 후 GIS 환경에서 지형도의 스캔이미지에 좌표변환 값을 입력함으로써 수치화하였다. Fig. 3은 대상지역의 1918년 지형도와 2010년 항공사진의 좌표보정 및 수치화된 영상자료이다.

수치화된 영상은 제방과 하도를 경계로 디지털이징을 수행하였으며, 추출된 자료를 통하여 하폭, 만곡도, 구조물 현황 등 정량적인 수치 데이터를 산정하였다. 토지피복도의 경우 1918년 지형도와 2007년 환경부 토지피복도의 토지이용범례 검토를 통하여 산림, 수역, 습지, 경작지, 초지, 나지, 하우스 및 과수원, 취락 및 시설 등 8개 항목으로 재구성하였다. 특히 1918년 지형도는 GIS 환경에서 8개 항

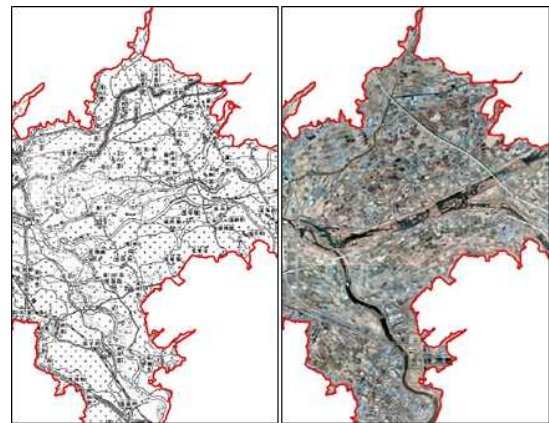


Fig. 3. Images Following Coordinate Correction

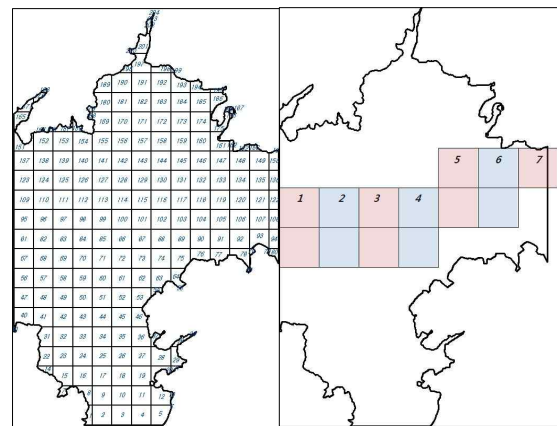


Fig. 4. Grid and Channel Reach in the Study Area

목으로 디지털이징을 거쳐 토지피복도를 완성하였다. 그리고 도로망의 경우 정밀한 데이터를 분석을 위해 국토교통부에서 제공하는 국가교통DB 도로망을 활용하였다.

대규모 하천공간의 생태연결성을 효과적으로 진단하기 위해 대상지역을 500×500m, 총 204개의 격자로 나누어 격자망을 구성하였고, 물리구조 평가를 위해 하도 구간은 1km 씩 등간격으로 총 7개의 구간으로 구분하여 분석하

였다. 이와 같은 격자/구간 크기는 본 연구에서 임의적으로 설정한 것으로 향후 이에 대한 영향분석이 필요할 것으로 보인다. 한편 하도 선형의 길이를 따라 구간 구분을 하지 않은 이유는 과거와 현재 하천을 동일한 구간에서 비교·평가하기 위해서이다.

#### 4. 하천공간 생태기능 평가 적용결과

##### 4.1 토지이용 변화의 평가

대상지역의 1918년, 2007년 토지이용현황 도식 결과를 Fig. 5와 같이 나타내었다. 1918년과 2007년의 토지이용 분류는 나지, 수역, 습지, 하우스 및 과수원, 초지, 산림, 경작지, 취락 및 시설 등 8개 항목으로 일치시켰다. Table 7

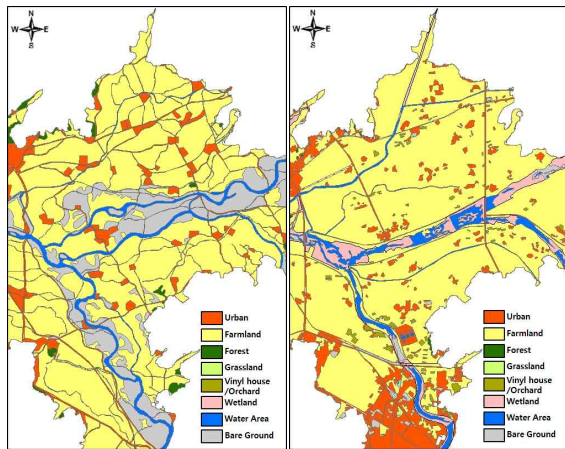


Fig. 5. Comparison of Land-use Change between 1918 (Left) and 2007 (Right)

은 대상지역의 토지이용 면적, 비율 그리고 변화량에 대한 분석결과이다. 과거(1918년)에 비해 현재(2007년)는 기본적으로 취락 및 시설, 경작지, 습지에 대한 토지이용이 각각 4.32%, 5.18%, 4.83%로 크게 증가하였다. 경작지의 경우 전주시가 확장되면서 경작지가 감소된 측면이 있지만 과거 나지 부분과 직강화 되면서 형성된 제내지, 제외지 공간의 토지이용 부분이 이를 상쇄하고도 상당한 것으로 나타났다. Fig. 6(a)는 직강화 후 과거 하천공간이 경작지로 토지이용이 변경된 모습이다. 습지 증가의 경우 환경부 토지피복분류 상 Fig. 6(b)와 같이 보 하류 식생이 도입된 일부 퇴적된 구간과 보 상류(정체수역) 식생도입 구간을 습지로 분류하였기 때문이다. 과거(1918년 기준)에 비해 현재(2007년 기준) 감소된 토지이용 항목은 산림(0.92%), 수역(0.43%), 나지(14.34%) 등이 해당한다. 산림의 경우 도시

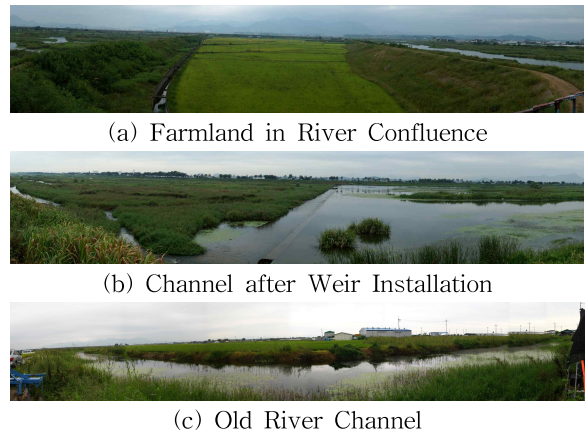


Fig. 6. River Area's Photo after River Improvement

Table 7. Results of 1918 and 2007 Land-use in River Area

Classification	1918		2007		Remark	
	Area (km <sup>2</sup> )	Rate (%)	Area (km <sup>2</sup> )	Rate (%)	Area (km <sup>2</sup> )	Rate (%)
Forest	0.42	1.06	0.05	0.13	0.37 ▼	0.92 ▼
Water Area	2.07	5.18	1.90	4.75	0.17 ▼	0.43 ▼
Wetland	-	-	1.93	4.83	1.93 △	4.83 △
Farmland	27.31	68.25	29.39	73.43	2.07 △	5.18 △
Grassland	-	-	0.06	0.16	0.06 △	0.16 △
Vinyl house/Orchard	-	-	0.48	1.20	0.48 △	1.20 △
Bare Ground	6.28	15.69	0.54	1.34	5.74 ▼	14.34 ▼
Urban	3.93	9.83	5.66	14.15	1.73 △	4.32 △
Total	40.02	100.0	40.02	100.0	-	-



화로 인한 감소가 원인이며, 수역의 경우 직강화로 인한 단절(Cutoff)이 주된 요인으로 판단된다. 1918년 상단 분기하도는 Fig. 6(c)와 같이 현재 농업용 수로로 일부 흔적만 남아있다. 이 분석결과, 1918년 하도 중심으로 형성된 나지는 15.5%로 많은 부분을 차지하고 있으며, 이는 대부분 농경지로 활용할 수 없는 주기적 홍수범람이 허용되던 공간으로 추정할 수 있다. 현재는 대부분 고수호안 및 제방의 보호로 경작지 또는 도시화되었음을 보여준다.

#### 4.2 물리구조 평가

대상지역의 1918년과 2007년 하도의 물리구조를 평가하기 위해 하도가 포함된 총 7개의 구간을 구분하고, 구간별 하도 물리구조를 정량적으로 분석하였다. 1918년의 경우 분기된 하도들은 각각 계산하고 해당 구간별로 평균하였다.

Fig. 7은 대상지역의 1918년과 2007년 만경강 분류 물리

구조 평가결과이다. 1918년 물리구조 등급은 소양천 합류 전 2개구간이 1등급, 그 외 구간이 2등급에 해당하였으며, 2007년은 전주천 합류 전 1개구간이 2등급으로 높았으나 그 외는 3~5등급까지 산발적으로 분포하였다. 구간별 등급은 Table 8에서와 같이 2번 구간이 동일하였고, 그 외 구간은 등급이 낮아진 것으로 나타났다. 구간별 물리구조 점수를 평균하여 전체 하도를 등급화 한 결과 1918년은 2등급, 2007년은 4등급으로 2등급 낮아진 것으로 나타났다.

Fig. 8은 1918년과 2007년의 물리구조 항목별 점수를 통해 증감변화를 나타낸 결과이다. 과거(1918년)에 비해 현재(2007년)는 2, 4, 5번 구간에서 인접토지이용 항목만 향상된 부분이 있을 뿐 그 외 모든 구간, 모든 항목에서 감소된 것으로 나타났다. 전체구간에 대하여 각 항목별로 점수를 평균한 결과, 하천평면 부문에서 하도의 사행도는 크게 감소하였고 인접토지이용은 소폭 증가한 것

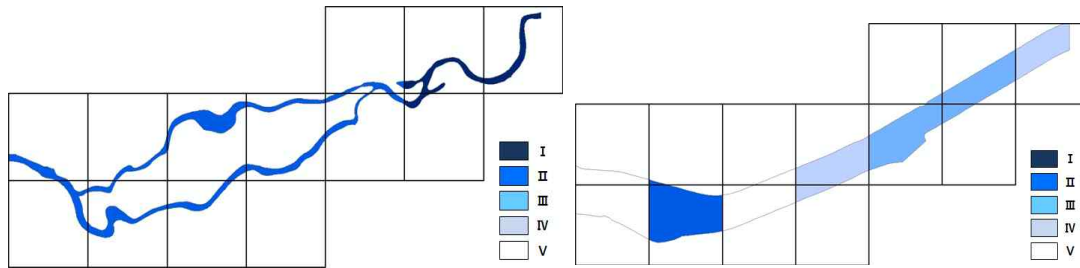


Fig. 7. Comparison of Physical Structure Change between 1918 (Left) and 2007 (Right)

Table 8. Results of 1918 and 2007 Physical Structure in Channel

Reach	1	2	3	4	5	6	7	Mean	
Grade	1918	II	II	II	II	II	I	I	II
	2007	V	II	V	IV	III	III	IV	IV
Change in Score	3 ▼	-	3 ▼	2 ▼	1 ▼	2 ▼	3 ▼	2 ▼	

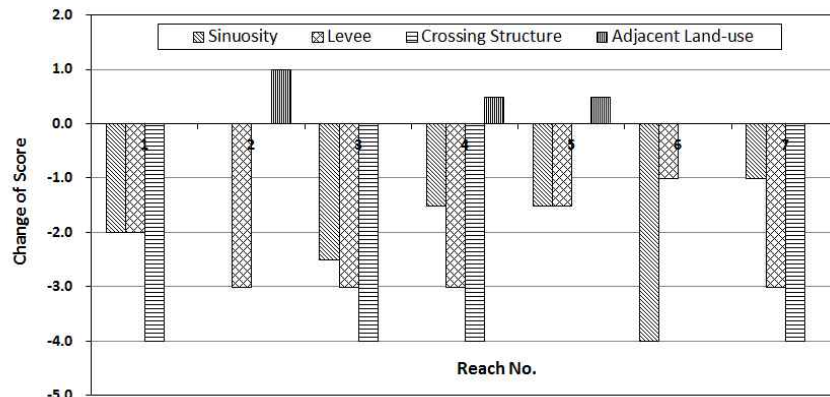


Fig. 8. Change of Each Variable Score for Evaluating Physical Structure

으로 나타났다. 사행도는 하도 직강화의 결과를 보여주며, 인접토지이용은 2007년 횡단구조물 상·하류를 중심으로 습지가 증가한 부분에 기인한다고 볼 수 있다. 하천 중·횡단 부분의 경우 제방과 횡단구조물은 모두 감소한 것으로 나타났다. 구조물의 평가기준은 시설의 유무를 우선하게 되는데, 2007년의 경우 제방은 전 구간, 횡단구조물은 3개 구간에 7개의 보가 확인되었고, 1918년의 경우 제방은 3개 구간, 횡단구조물은 없는 것으로 확인되었다.

### 4.3 생태연결성 평가

생태연결성은 면적 단절과 선적 단절로 구분하여 그 기능을 평가하였다. Fig. 9는 대상지역을 총 204개의 격자로 나누어 1918년과 2007년의 생태연결성을 등급화한 결과이다.

1918년의 경우 생태연결성은 하천을 중심축으로 연결되어 있으나 2007년은 도시지역(전주천 좌안 전주시, Fig. 9(b) 좌하단)의 생태연결성이 크게 약화되어 있으며, 연결축 또한 일정하지 않은 것으로 나타났다. 생태연결성에 대한 등급별 격자 수의 변화는 Table 9와 같다. 1918년의 등급별 격자 수는 2등급 > 3등급 > 4등급 > 1등급 > 5등급 순이며, 2007년은 3등급 > 2등급 > 4등급 > 1, 5등급 순으로 나타났다. 격자수의 대부분을 차지하는 2, 3등급의 경우, 1918년은 96.1%, 2007년은 86.8%로 유사한 비율이지만 등

급별 변화는 매우 큰 것으로 나타났다. 2등급은 61.8%에서 19.6%로 42.2% 크게 감소한 반면 3등급, 4등급은 각각 32.8%, 6.4% 증가한 것으로 나타났다. 1등급과 5등급 역시 증가하였으나 증가비율이 1~2%로 그 정도가 미미하였다.

Fig. 10은 1918년과 2007년의 면적 단절과 선적 단절의 점수 차를 통해 증감 변화를 나타낸 결과이다. 면적 단절의 경우 84개 격자에서 증가, 112개 격자에서 감소, 8개 격자에서 변화가 없는 것으로 나타났다. 선적 단절은 7개 격

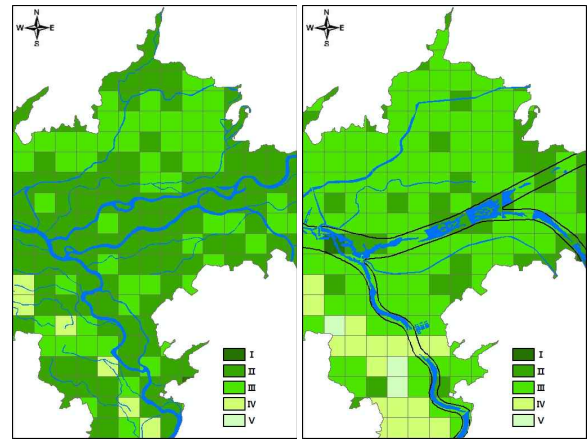


Fig. 9. Comparison of Ecological Connectivity Change between 1918 (Left) and 2007 (Right)

Table 9. Results of 1918 and 2007 Ecological Connectivity in River Area

Grade	I	II	III	IV	V	Total
1918	2 (1.0%)	126 (61.8%)	70 (34.3%)	6 (2.9%)	0 (0.0%)	204 (100%)
2007	4 (2.0%)	40 (19.6%)	137 (67.2%)	19 (9.3%)	4 (2.0%)	
Remark	1.0% △	42.2% ▼	32.8% △	6.4% △	2.0% △	-

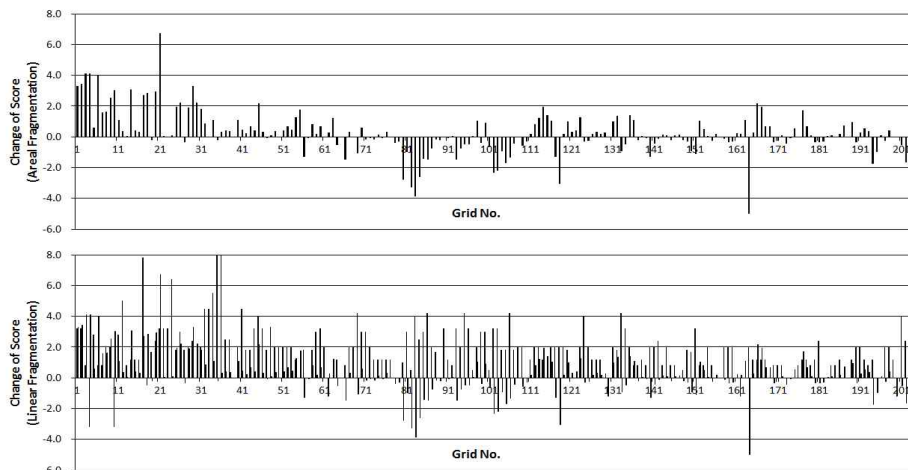


Fig. 10. Change of Each Score in Ecological Connectivity Factor

자에서 증가, 166개 격자에서 감소, 31개 격자에서 변화가 없는 것으로 나타났다. 즉, 과거(1918년)에 비해 현재(2007년) 하천공간에서, 면적 단절의 크기가 증가된 격자는 28개소인 반면, 선적 단절의 크기가 증가된 격자는 159개소이므로 선적 단절요인이 면적 단절요인 보다 약 5.7배 정도 큰 것으로 나타났다. 이는 대상지역의 생태연결성이 악화된 원인으로 면적 단절요소보다는 선적 단절요소가 상대적으로 크게 작용하였음을 보여준다.

## 5. 고 찰

국내에서는 지속가능한 개발 측면에서 하천에 공간을 돌려주는 방안을 실질적이고 구체적으로 연구한 사례를 찾아보기 쉽지 않다. 이는 우리나라의 중·대규모 하천이 대부분 개수되어 홍수로부터 보호되어 있기 때문에, 과거의 홍수터를 하천구역에 편입하기에는 사회적 비용이나 복원 편익이 적절하지 않다는 인식이 있기 때문일 것이다. 하지만 최근 홍수터 기능의 중요성이 강조되고 생태 자원, 어메니티 등 환경가치가 높아짐에 따라, 하천공간 확보를 위한 근거 및 당위성 제안과 더불어 체계적이고 합리적인 방법론 정립이 필요하다.

이를 위해 본 연구에서는 제내지 구역을 포함한 하천공간을 진단하고자 하였고, 현재의 하천이 치수적 문제점이 없다는 전제하에 생태적 기능성에 초점을 맞추었다. 목표의 지향점은 과거 자연하천(Reference channel)을 모델로 함으로써 향후 복원의 잠재적 기능을 높일 수 있도록 하였다. 하지만 현재하천에 비해 개수전 과거하천의 자료는 상대적으로 취약할 수밖에 없으며, 일부하천을 제외하면 가용한 자료는 근대 지형도, 조선하천조사서, 하천공사연보 등으로 제한된다는 한계가 있다.

이에 세분화된 토지이용 자료의 구축은 하천공간 평가를 위한 근간이 되며, 현재하천의 고해상도 영상과 현장 자료를 추가함으로써 분석을 보완할 수 있다. 특히 하도 중심의 물리구조와 하천공간 중심의 생태연결성 부문은 지형적 공간범위 안에서 구조적, 기능적으로 상호 보완적이며 또한 시·공간적 변화량을 계량한다는 측면에서 의미가 있을 것이다.

국내의 경우 하천공간 확보가 가능한 대상은 구하도, 배후습지, 자연제방, 폐천부지가 있으며, 또한 과거 홍수터 구역 중 현재 경작지로 이용되는 부분이 상대적으로 부지확보가 수월할 수 있다. 문제는 각각의 흩어져 있는 부지 중 우선적으로 확보해야 할 순위 결정과 각 부지들의 공간적 배치이다.

본 연구에서 제안한 하천공간 평가결과는 생태 기능적 측면에서 우선순위 결정과 공간적 효율을 증대할 수 있는 목표설정이 가능할 것이다. 즉, 복원 방향을 설정하고 수단을 결정하는데 중요 참고사항이 될 수 있다. 또한 축소 또는 소실된 하천공간 복원을 위한 새로운 접근 방법론의 하나로써 기초 자료를 제공할 수 있을 것이다.

## 6. 결 론

본 연구는 과거 자연하천에서 개수 후 현재의 정비하천으로 변화된 하천공간의 생태기능을 평가할 수 있는 방법을 제안하고 그 적용성을 검토하였다.

생태기능 평가는 하도 중심의 물리구조와 하천공간의 생태연결성으로 구성하였고, 각각 4개와 2개 평가항목을 토대로 평가기준에 따라 정량화하였다. 만경강 대상지역에 적용한 결과를 살펴보면, 1918년에 비해 2007년의 토지이용은 도시화, 구조물 설치 등으로 인해 취락 및 시설, 습지가 증가하였고, 과거 주기적 홍수범람이 가능했던 하천변 나지는 현재 하도가 직강화되면서 대부분 경작지로 변경된 것으로 나타났다.

하도의 물리구조 등급변화는 평균 2등급(건강한 상태, Good)에서 4등급(악화된 상태, Poor)으로 감소하였으며, 이는 사행도와 중형단 구조물의 영향이 큰 것으로 파악되었다. 하천공간의 생태연결성 등급변화는 평균 2등급(자연상태를 유지하만 부분적으로 제한요인이 있음)에서 3등급(전체적으로 자연상태는 보이고 있으나 제한요인이 많음/생태계 연결성 보통)으로 감소하였다. 면적단절 요인은 상대적으로 크기 않은 반면 선적단절 요인은 매우 큰 것으로 나타났다. 이는 대상공간의 도시화가 차지하는 면적 변화보다 과거 나지, 경작지 등이 정리되면서 도로, 철도, 제방 등 선적 변화가 더 큼을 보여준다. 만경강 하천공간은 제외지와 제내지 모두 생태 기능적 측면에서 개선이 필요하며, 특히 하도를 포함한 제외지를 중심으로 생태기능 축이 형성될 수 있도록 복원방향을 설정할 필요가 있다.

본 연구에서 제안한 방법은 비교적 제한적이고 평면적인 정보만을 다루는 한계를 가지고 있지만, 충분한 자료가 축적되어 있지 않은 국내 실정에서 대규모 하천공간의 생태기능을 진단하는데 효과적인 방법으로 판단된다. 본 연구결과는 향후 하천공간 확보, 복원 계획 또는 사업에 있어 우선 공간 순위 선정, 복원 방향 설정에 기여할 수 있을 것으로 보인다. 향후 본 평가방법은 보다 명확한 평가결과를 도출할 수 있도록 현장검증 자료의 보완이 요구

되며, 각 평가항목과 기준에 대해서도 추가적인 연구가 필요할 것이다.

## 감사의 글

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

## References

- Angermeier, P.L., and Karr, J.R. (1994). "Biological Integrity Versus Biological Diversity as Policy Directives." *Bioscience*, Vol. 44, pp. 690-697.
- Bae, S.H. (2007). "Urban Change Analysis using 1:50,000 Topographical Map which is Produced to 1910's." *J. of Korea Association of Geographic Information Studies*, KAGIS, Vol. 10, No. 3, pp. 93-103.
- Cho, S.W. (2007). "Changes in the Role and Meaning of Man-Kyeong River." *J. of The Korean Association of Regional Geographers*, KRG, Vol. 13, No. 2, pp. 187-200.
- Cho, Y.H. (1997). "A Study on Evaluation Method of Stream Naturalness for Ecological Restoration of Stream Corridors." *J. of the Korean Institute of Landscape Architecture*, KILA, Vol. 25, No. 2, pp. 73-82.
- Collier, K.J., and McColl, R.H.S. (1992). *Assessing the Natural Value of New Zealand Rivers*. River Conservation Management, New York, John Wiley & Sons, pp. 195-211.
- Fry, J., Steinern, F.R., and Green, D.M. (1994). "Riparian evaluation and site assessment in Arizona." *Landscape and Urban Planning*, Vol. 28, pp. 179-199.
- Hong, I., Kang, J.G., and Yeo, H.K. (2012b). "A Study on the Channel Planform Change Using Aerial Photographs and Topographic Map in the Mangyoung River." *J. of Korea Water Resources Association*, KWRA, Vol. 45, No. 2, pp. 127-136.
- Hong, I., Kang, J.G., Kang, S.J., and Yeo, H.K. (2012a). "Functional Assessment for Preservation and Restoration of Wetland-type Old River Channel: Mangyoung River." *J. of Korea Society Civil Engineers*, KSCE, Vol. 32, No. 4B, pp. 213-220.
- Kang, H.S., and Park, M.Y. (2012). "Analysis of Ecological Fragmentation Improvement Effect from the Riverine Restoration." *J. of Korea Society Civil Engineers*, KSCE, Vol. 32, No. 6B, pp. 387-397.
- Kang, H.S., Lee, Y.S., and Jeon, S.H. (2011). "A Study on the Evaluation Method of Ecologically Fragmented Section for Restoration of the Riverine Ecobelt." *J. of Korea Society Civil Engineers*, KSCE, Vol. 31, No. 4, pp. 383-391.
- KICT. (2005). *Development of Multi-functional River Restoration Techniques*. Korea Institute of construction Technology, 2005-069.
- Kim, D.C., Lee, J., and Park, I.S. (2000). "An evaluation of stream naturalness for Close-to-nature stream restoration -In case of Suwon stream." *J of the Korean Institute of Landscape Architecture*, KILA, Vol. 27, No. 5, pp. 138-149.
- Lee, S.H. (2000). "Application of River Assessment for the Anyang-chun to Nature-close Urban Stream." *Sangmyung University Industrial Science Research Institute*, Vol. 9, pp. 90-103.
- Leopold, L.B. (1972). "Landscape Aesthetics." In G. Bell and J. Tyrwhitt(ed), *Human Identity in the Urban Environment*, Harmondsworth, England, Penguin Books, pp. 89-105.
- MLIT. (1976). *Mangyeong River Restoration Master Plan*, Ministry of Land Infrastructure and Transport, Republic of Korea.
- MLIT. (2010). *History of River Investigation in Modern Korea 1929*, Ministry of Land Infrastructure and Transport, Republic of Korea.
- NRA. (1993). *Landscape Assessment, Conservation Technical Handbook 2*, National River Authority.
- Otto, A. (1995). *Rheinland-Pfalz Aktion Blau, Gewaerentwicklung in Rheinland-Pfalz*. Ministerium fur Umwelt und Forsten.
- Park, B.C., Shin, Y.C., and Suh, A.S. (2002). "An Application and Case Study on the Evaluation Method of River Naturalness using GIS -The special reference to Musim-cheon river in Cheongju City-" *J. of Korea Association of Geographic Information Studies*, KAGIS, Vol. 5, No. 1, pp. 48-57.
- Park, B.J., Sung, Y.D., and Kang, T.H. (2003). "A Study

on the Evaluation of Stream Naturalness for Stream Corridor.” *J. of Korea Water Resources Association*, KWRA, Vol. 36, No. 6, pp. 92-103.

Park, J.W., and Ma, H.S. (2003). “Evaluation of Stream Naturalness and Vegetation of Yangje Stream” *J. Agriculture & Life Sciences*, Vol. 37, No. 2, pp. 57-70.

Song, J.I., and Yoon, S.I. (2008). “A Study on the Clas-

sification Technique of River Zones for River Space Management.” *The Korea Spatial Planning Review*, KRIHS, Vol. 59, pp. 61-78.

논문번호: 14-023	접수: 2014.02.27
수정일자: 2014.03.21/03.26	심사완료: 2014.03.26