

샛강의 생태공학적인 복원공법 적용에 따른 생태환경 개선 효과^{1a}

권태호^{2*} · 이정호³

Assesment of Ecological Condition Improvement by Eco-Technological Restoration in a Small Stream^{1a}

Tae-Ho Kwon^{2*}, Jung-Ho Lee³

요 약

본 연구는 샛강 기슭 훼손부의 물리적, 생태적 안정화를 도모하고자 돌망태틀놓기공법 및 버드나무울짱얽기공법을 시공한 구간에서 생태환경 개선 효과를 검증하기 위하여 수행되었다. 샛강의 생태적 건강도 평가를 위해 규조군집의 종풍부도, 종다양도지수, 수질오염도지수, 오염 민감종의 구성비, *Achnanthes minutissima*의 구성비, 우점도지수의 6개 메트릭을 활용하였다. 구간 상류의 유입부(ST. 1)와 구간 내 지점(ST. 2) 및 하류 유출부(ST. 3)를 대상으로 6개 메트릭의 변화값을 종합하면 평균 33.9%의 높은 생태환경 개선 효과를 확인할 수 있었다. 이 결과는 본 조사에서 적용된 샛강의 생태공학적인 안정화기술이 하천의 생태학적 건강도를 보존하는 데 있어 효과적임을 시사해주는 것으로 평가할 수 있었다.

주요어 : 돌망태틀놓기, 버드나무울짱얽기, 규조류, 생태적 건강도

ABSTRACT

This study was carried out to assess the improved aspects of ecological conditions in a small stream, where eco-technological restorations such as gabion-crib mattress arrangement and soil-arresting wicker fence work had already been made up to stabilize the physically and ecologically damaged streambank. Six metrics by diatoms including species richness, Shannon diversity, saprobic index by DAIPo, percent sensitive diatoms, percent of *Achnanthes minutissima*, dominant index were analysed to assess the ecological integrity of small stream. By generalizing the changed values of six metrics on the stream flow from upper point(ST.1) to lower point(ST.3), it was found that the effect value of ecological condition improvement went up to as much as 33.9% on the average. The results suggested that eco-technological restoration treatment applied to this study is considerably effective for preserving the ecological integrity of small stream.

KEY WORDS : GABION-CRIB MATTRESS ARRANGEMENT, SOIL-ARRESTING WICKER FENCE WORK, DIATOMS, ECOLOGICAL INTEGRITY

1 접수 8월 28일 Received on Aug. 28, 2007

2 대구대학교 산림자원학과 Dept. of Forest Resources, Daegu Univ., Gyeongsan(712-714), Korea

3 대구대학교 과학교육학부 Div. of Science Education, Daegu Univ., Gyeongsan(712-714), Korea

a 이 연구는 농림부 지원 농특 첨단기술과제(203093-03-3-SB010) 연구결과의 일부임

* 교신저자 Corresponding author(foren95@daegu.ac.kr)

서론

1960년대 이후 급속한 산업화, 도시화를 거치면서 우리나라 대부분의 중소 규모 이상의 하천은 치수기능 하나만을 위해 콘크리트 등으로 인공적, 획일적으로 개수되었으며, 이로 인해 하천의 환경적 기능은 점차 소멸되고 특히 도시하천은 단지 배수로 역할만 하는 경우도 많다. 산지 하류의 황폐한 아계를 대상으로 이루어지는 계안공사, 유로공, 바닥막이, 사방댐 등도 대부분 인공 콘크리트 공작물로서 원래의 자연하천이 지닌 다양한 생태적 기능을 발휘하기에는 적절하지 못한 측면이 많았다.

그러나 최근 들어 하천 복원은 그간의 치수기능을 중심으로 한 획일적이고 인공적인 개수 수준을 넘어서 하천의 생태적, 환경적 기능의 복원을 위한 생태공학적 하천공법이 다양하게 검토되고 또 현장에 적용되는 사례도 많아지고 있다(Agroecology Issue Team, 2001; 환경부, 2002). 이와 함께 생태공학적 하천복원 공법의 적용이 하천의 생태 환경을 어떻게 변화시키고 또 개선할 수 있는가에 대한 연구에도 관심이 모아지고 있다. 하천복원에 따른 변화나 개선 여부를 평가하는 모니터링의 내용은 하천복원의 목표에 따라 다른데, Kondolf and Micheli(1995)는 하천복원의 목표를 하도의 통수능력 및 물리적 안정화, 수생 서식처의 개선, 수변 서식처의 개선, 수질의 개선, 그밖에 경관 및 위락 자원의 변화 등으로 구분하면서 각 목표에 따른 모니터링 평가 항목을 제시한 바 있다.

하천의 수중 생태계의 건전성은 수질오염과 함께 수자원 및 생물서식 환경의 개선 필요성으로 인해 중요한 문제로 등장하고 있으며, 이를 위한 정확한 상황 진단 또는 평가가 시급한 과제가 되고 있는 실정이다. 하천 수질 환경을 조사하는 방법으로는 BOD나 COD 등의 화학적 분석법이 대표적으로 널리 사용되어 왔으나, 근래에는 생물을 지표로서 사용하여 그 수역의 고유의 수질 환경을 분석함과 아울러 생태학적 건강도까지 평가할 수 있는 생물평가법, 즉 bio-assessment가 매우 중요하게 활용되고 있다(Oberdoff and Hughes, 1992; Hocutte *et al.*, 1994; Harris, 1995; Huguency *et al.*, 1996; Ganasan and Hughes, 1998).

이러한 bio-assessment는 각 하천의 독자적 환경 특성에 적응하는 특정 생물군이 우점적으로 형성하는 군집의 구조를 유추하여 수질 환경 및 생태학적 건강도를 평가하는 것으로서, 최근에는 주로 규조류가 활발히 이용되는데 그 이유는 첫째, 대단히 빠른 생식율과 짧은 생활환을 가지기 때문에 환경변화의 모니터링에 적

합한 1차 생산자이며, 둘째, 이화학적 요인에 직접적으로 영향을 받기 때문에 지표성이 뛰어나고, 셋째, 분류 및 생태 등 다양한 분야의 조사 방법들이 이미 정립되어 있으며, 넷째, 다른 생물군에는 영향이 미치지 않거나 적게 미치는 농약 등의 오염원들에 대단히 민감하게 반응한다는 점이다(U.S. EPA, 1999).

본 연구에서는 특히 몇 가지 하천복원공법이 적용된 셋강의 생태환경 개선 효과를 검증하기 위하여 규조류 군집 분석을 통해 미국의 U.S. EPA(1999)의 하천 건강도 평가를 위한 Rapid Bio-assessment Protocol에서 제시하는 metrics들을 활용하여 결과의 신뢰도를 높이고자 하였다.

연구방법

1. 조사 지점 및 개요

셋강 기슭의 생태공학적 안정화공법의 개발을 위해 경북 군위군 효령면 소재 경북대학교 군위농장을 통과하여 남천으로 유입되는 셋강을 실험지로 선정하였다. 셋강에서 확인된 기슭 훼손은 하도의 곡선부에서 수류의 직접적이며 반복적인 충돌에 의한 측방 또는 하방침식의 발생과 사면 표토가 불안정하거나 식생 피복의 어려움으로 인한 붕락 발생이었다. 이들 훼손 구간의 물리적, 생태적 안정화를 도모하고자 돌망태틀농기공법(2004년 시공) 및 버드나무울짱얹기공법(2005년 시공)을 현장 적용한 바 있다(Figure 1, Figure 2).

돌망태틀농기공법의 경우, 가로 2m×세로1m×높이 0.3m의 돌망태틀 개소당 3개씩 연결, 조립하여 만든 돌망태틀 4개소를 셋강 양안에 6m 간격으로 교대로 설치한 것으로 설치길이는 26m이며, 버드나무울짱얹기공법은 4단으로 하여 사면길이 3m×높이 2m규모로 20m구간의 계안에 설치하였다.

돌망태틀농기공법 및 버드나무울짱얹기공법을 적용한 셋강 구간을 대상으로 하천 생태환경 개선 효과를 평가하기 위하여 Figure 3과 같이 시공 구간 전후의 유입, 유출 구간을 포함하여 3개의 관측점을 선정하고, 2006년 4월 현장조사와 함께 분석용 시료를 채취하였다.

2. 환경요인 측정 및 규조 시료 처리

셋강의 수환경요인으로 수온과 pH, 전기전도도는 현장 수질측정기인 D-24(HORIBA)로 측정하였으며, BOD와 NH₃, NO₃, PO₄는 수질오염 공정시험방법(환경부, 1996)에 준하여 측정하였다.

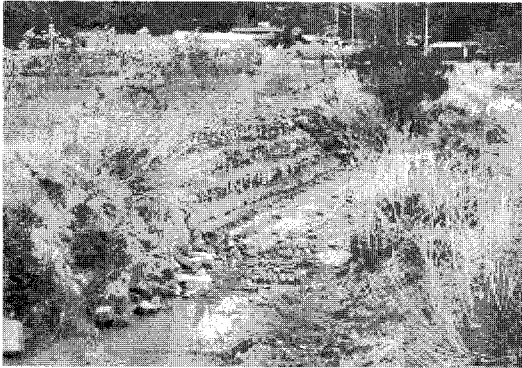


(a) just after construction(2004)

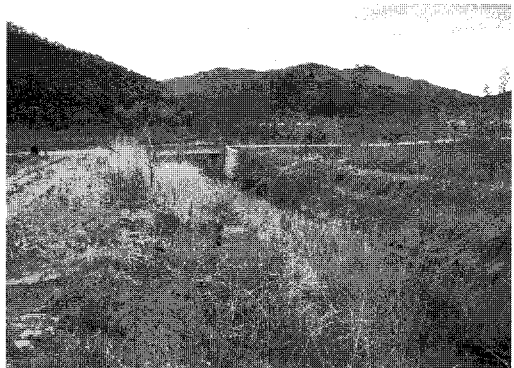


(b) 1-year after construction(2005)

Figure 1. General views of stream section treated by gabion-crib mattress arrangement



(a) just after construction(2005)



(b) 1-year after construction(2006)

Figure 2. General views of stream section treated by soil-arresting wicker fence work

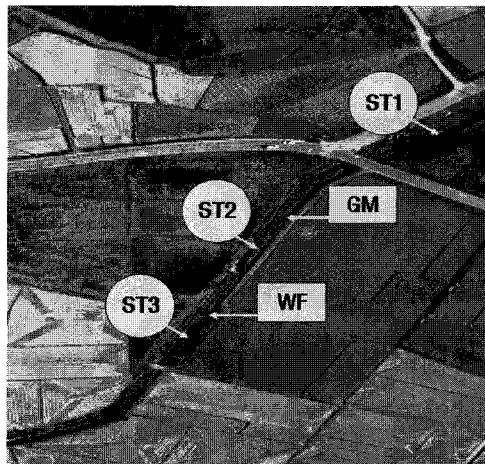


Figure 3. Location of eco-technological restoration treatments and survey points

(GM: gabion-crib mattress arrangement, WF: soil-arresting wicker fence work, ST 1: upper-stream inlet of treatment section, ST 2: midpoint of treatment section, ST 3: down-stream outlet of treatment section)

한편, 구조 시료는 하천 내 수면과 평행한 돌의 상면부를 솔로 긁어 채집하였다. 종의 동정과 계수를 위하여 영구표본을 작성하였는데, 이를 위한 시료의 세정은 KMnO₄법(Hendey, 1974)을 사용하였으며, pleurax로 봉입하여 제작하였다. 제작된 슬라이드는 Zeiss Apophot 광학현미경으로 1,000배로 관찰하였다. 구조 군집의 상대빈도를 위한 계수는 임의로 선정된 현미경 하의 시야에서 피각의 수가 500개 이상이 되도록 하였다.

3. 평가 매트릭스

평가의 신뢰도와 객관도를 높이고자 미국의 U.S. EPA(1999)와 OCC(1993)에서 제시한 매트릭스 중 본 연구의 목적과 부합하는 다음의 6개 항목을 선정하여 평가에 사용하였다.

가. Species richness(종풍부도)

종풍부도는 구조의 500개 피각수를 계수한 후, 2분 내 새로운 종이 관찰되지 않을 때까지 동정된 종 수로 구하였다.

나. Shannon Diversity(종다양도지수)

$$H' = -\sum_{i=1}^s [P_i (\ln P_i)]$$

P_i : i 번째 종의 상대빈도

s : 출현종의 총수

다. Saprobic Index by DAIPo (수질오염도 지수 ; Asai and Watanabe, 1995)

$$DAIPo = 50 + \frac{1}{2} (\sum_{i=1}^p X_i - \sum_{j=1}^q S_j)$$

$\sum_{i=1}^p X_i$: 그 조사지점에 출현한 1부터 p 까지의 호청수성종의 상대빈도(%)의 총합

$\sum_{j=1}^q S_j$: 그 조사지점에 출현한 1부터 q 까지의 호오염성종의 상대빈도(%)의 총합

라. Percent Sensitive Diatoms (오염 민감 구조류 구성비)

각 조사지점의 구조 군집 중 Watanabe와 Asai(1990)가 제시한 3가지 생태군 중 호청수성종(saproxenous taxa)의 상대빈도의 합

마. Percent Achnanthes minutissima(Achnanthes minutissima의 구성비)

각 조사지점의 구조 군집 중 *Achnanthes minutissima*의 구성비

바. Dominant Index(우점도지수)

$$H' = \sum_{i=1}^s (P_i)^2$$

P_i : i 번째 종의 상대빈도

결과 및 고찰

1. 셋강의 수환경 실태

대상 셋강의 수환경을 나타내는 수온, pH, 전기전도도(EC), DO, BOD, NH₃, NO₃, PO₄ 등을 측정할 바, 수환경요인의 개황은 Table 1과 같다.

셋강의 수질 등 수환경을 나타내는 인자들은 생태복원 공법 적용구간의 상류 유입부(ST. 1)에 비해 처리구간 내 지점(ST. 2) 및 하류 유출부(ST. 3)에 있어서 대부분 다소 높은 값을 나타냈으나, PO₄의 경우는 낮은 값을 보였다.

2. 셋강의 생태적 건강도 평가

가. 종풍부도(species richness)

종풍부도는 시료 내 구조 종수를 나타낸 값으로서, 높은 종풍부도는 그 하천의 높은 생태적 보존도를 반영하는 것으로 이해할 수 있는데, 만일 수질 오염이 심화되면 그 지역의 생물종들의 스트레스 증가에 따라 종풍부도가 감소하는 경향을 나타낸다(U.S. EPA, 1999). 본 조사에서 처리 구간 상류의 ST. 1에서는 24에 불과하였으나, 처리 구간의 말단인 ST. 3에서는 32로 증가하여 25%의 개선 효과를 나타냈다(Table 2, Table 3).

나. 종다양도지수(Shannon diversity)

종다양도는 시료 내 종의 수와 이들 종들 사이의 개

Table 1. Water quality of experimental small stream

Environmental factors	ST. 1	ST. 2	ST. 3
Temp. (°C)	12.3	14.1	16.6
pH	7.80	8.04	8.20
EC (μ s/cm)	246	257	253
DO (mg/L)	9.43	10.00	9.90
BOD (mg/L)	1.19	1.95	1.50
NO ₃ (mg/L)	1.90	2.33	2.43
NH ₃ (mg/L)	N.D.	0.033	0.023
PO ₄ (mg/L)	0.147	0.117	0.117

체들의 분포도를 평가하는 항목으로, 수질환경에 따라 민감하게 반응하는 것으로 보고되고 있다(U.S. EPA, 1999).

본 조사에서는 처리 구간 상류인 ST. 1에서 0.970이 었으나 처리 구간 통과 후에는 1.175로 크게 증가하여 17.4%의 처리 효과가 확인되었다(Table 3). 이와 같은 결과는 중풍부도와 함께 본 싯갯에서의 생태공학적 처리가 다양한 생물종들의 생육을 지원할 수 있도록 다양한 생육 공간을 원활히 확보해 주는 매우 긍정적 결과로 사료된다.

다. 구조 군집 수질 오염도지수(saprobic index by DAipo)

DAipo (Diatom Assemblage Index of organic water pollution)는 생태학적인 기준으로 유기오염도에 대한 내성 그룹을 나눈다는 점에서 특이하다. 먼저 구조류의 생태적 특성에 따라 수질이 청정한 수역에서 주로 출현하는 호청수성종(saproxenous taxa)과 유기오염도가 높은 수역에서 흔히 출현하는 호오염성종(saprophilous taxa), 양쪽 모두에서 비슷하게 출현하는 광적용성종(indifferent taxa) 등 3가지 생태군으로 분류한다. 이 결과를 근간으로 조사대상지에서 채집된 구조 군집 내 각 생태군의 구성비를 기준으로 DAipo 값을 계산한다. DAipo는 0에서 100까지의 범위로 나타내며, 값이 클수록 수계가 청정함을 나타낸다. 100은 오염이 전혀 진행되지 않은 가장 청정한 수역을, 0은 오염이 가장 심한 수역을 의미한다.

세 관측점 모두 비교적 양호한 수질 오염도를 보이는 값으로 조사되었으나, 처리 구간 전후를 비교할 때 약 14%의 변화가 있었다(Table 3). 본 조사에서는 하천의 오염도가 비교적 낮아 처리 효과가 뚜렷하지 않고 미세하게 발현된 것으로 추측된다.

라. 오염 민감종의 구성비(percent sensitive diatoms)

이는 어떤 조사지점의 구조 군집에서 오염도에 민감하게 반응하는 종들의 구성비를 나타내는 것으로서, 특히 하천 차수가 높은 작은 하천의 오염도 평가에 매우 중요하게 활용된다(U.S. EPA, 1999). 본 조사에서는 처리 전 구간인 ST. 1이 21.2%에 불과하였으나, 처리 후인 ST. 3에서는 41.3%에 달하여 무려 48.7%의 개선 효과가 확인되었다(Table 3).

마. *Achnanthes minutissima*의 구성비

이 매트릭은 하천의 물리적 교란 정도를 반영하는 매우 특징적인 항목이다. 예를 들어 심한 강우에 의한 유

Table 2. Relative frequency of appeared diatom species

Taxa	ST.1	ST.2	ST.3
<i>Achnanthes bioretii</i>		0.2	
<i>Achnanthes convergens</i>	6.6	1.7	25.9
<i>Achnanthes lanceolata</i>	2.0	0.7	
<i>Achnanthes minutissima</i>	38.2	20.9	16.4
<i>Amphora ovalis</i>			0.3
<i>Bacillaria paradoxa</i>	0.3		
<i>Cocconeis pediculus</i>	0.7		0.3
<i>Cocconeis placentula</i>	1.0	1.7	
<i>Cocconeis placentula</i> var. <i>euglypta</i>		2.1	0.7
<i>Cocconeis placentula</i> var. <i>lineata</i>		0.2	0.3
<i>Cyclotella menghiniana</i>			0.7
<i>Cymbella affinis</i>			1.7
<i>Cymbella minuta</i>	8.6	2.4	2.4
<i>Cymbella silesiaca</i>		0.2	0.7
<i>Cymbella leptoceros</i>	0.7		
<i>Diatoma vulgare</i>	1.0		
<i>Diploneis oblongella</i>	0.3		
<i>Fragilaria capucina</i>	1.3	0.2	0.3
<i>Fragilaria capucina</i> var. <i>mesolepta</i>	0.7		0.3
<i>Fragilaria capucina</i> var. <i>rumpens</i>			1.4
<i>Gomphonema acuminatum</i>		0.5	
<i>Gomphonema angustum</i>		0.5	3.1
<i>Gomphonema clevei</i>			3.1
<i>Hantzschia amphioxys</i>		0.2	0.3
<i>Melosira varians</i>			3.8
<i>Meridion circulare</i> var. <i>constrictum</i>	4.0	1.4	0.3
<i>Navicula cryptocephala</i>	1.7	5.0	3.4
<i>Navicula cryptotenella</i>	5.6	2.8	1.7
<i>Navicula goeppertiana</i>		0.2	
<i>Navicula mutica</i>		0.2	
<i>Navicula pelliculosa</i>	14.6	1.4	4.8
<i>Navicula perminuta</i>		0.2	
<i>Navicula rhynchocephala</i>	0.3		
<i>Navicula viridula</i> var. <i>rostellata</i>			0.3
<i>Nitzschia amphibia</i>	0.7		0.7
<i>Nitzschia dissipata</i>	4.0	47.2	6.8
<i>Nitzschia fonticola</i>	3.0	0.5	6.1
<i>Nitzschia frustulum</i>	2.3	0.5	3.4
<i>Nitzschia gracile</i>	2.0	4.5	3.1
<i>Nitzschia sinuata</i> var. <i>tabellaria</i>			2.0
<i>Surirella angusta</i>		1.7	1.4
<i>Surirella minuta</i>		1.7	1.0
<i>Surirella ovalis</i>		0.2	
<i>Synedra acus</i>	0.3	0.7	1.4
<i>Synedra ulna</i>		0.2	1.7

Table 3. Assessment metrics and reforming effects of ecological integrity

Metrics	ST. 1	ST. 2	ST. 3	Reforming effect(%)**
1. Species richness	24	29	32	+ 25.0
2. Diversity index	0.970	0.842	1.175	+ 17.4
3. Saprobic index by DAIPo*	59.6	74.7	69.1	+ 13.7
4. Percent sensitive taxa	21.2	54.3	41.3	+ 48.7
5. Percent of <i>Achnanthes minutissima</i>	38.2	20.9	16.4	- 57.1
6. Dominance index	0.181	0.268	0.106	- 41.4

Note: Ecological integrity becomes higher as the value increases for metric 1 to 4, and decreases for metric 5 and 6.

* DAIPo means Diatom Assemblage Index of water organic pollution

** Reforming effect means changing rate of metric values from ST. 1 to ST 3.

속 증가는 하천의 부착 기질을 교란시키게 되며, 그 결과 하천의 부착 조류의 생육은 크게 방해받게 된다. 이와 같은 하천의 1차 생산자인 부착생물의 생육 불량은 전체 수중생태계의 교란을 야기하게 되어 결국 하천의 생태학적 건강도를 저하시키게 된다. *Achnanthes minutissima*는 부착조류 중 교란된 부착 기질에 가장 조기에 부착 생육하는 생태학적 개척종의 역할을 한다. 즉 *Achnanthes minutissima*의 출현도가 높으면 높을수록 최근 하천의 물리학적 훼손도가 높았다는 것을 반영하는 것으로 유추할 수 있는 것이다(U.S. EPA, 1999). 본 조사에서는 처리 구간 상류의 ST. 1에서 매우 높은 38.2%의 구성비를 보였으나, 처리 구간 내에서는 평균 18.7%에 불과하게 나타났다(Table 3). 이는 처리 구간이 강우 등의 물리적 교란 요인에 대해 잘 보호되고 있음을 반영하는 것으로서, 셋강의 생태학적 건강도를 유지시키는 데 있어 생태공학적 안정화 기술이 매우 효과적임을 시사해 주는 결과로 사료된다.

바. 우점도지수(dominant index)

하천 훼손도를 평가함에 있어 우점도지수는 매우 중요한 항목이다. 즉 어떤 수역이 특정한 훼손 요인에 크게 영향을 받고 있다면, 그 요인에 잘 적응하는 소수의 종만이 잘 생육할 수 있게 되어 군집의 다양도를 크게 저하하는 효과를 나타내기 때문이다. 우점도지수는 낮을수록 생태학적으로 긍정적으로 이해되는데, 본 조사에서는 41.4%의 개선 효과가 있었다(Table 3).

결론 및 제언

돌망태틀공법 및 버드나무울짚쌓기공법이 시공된 셋강 기슭 복원 구간의 유입 상류부(ST. 1)와 처리 구간 내 지점(ST. 2) 및 유출 하류부(ST. 3)를 대상으로 6개

메트릭의 변화값을 종합하면 평균 33.9%의 높은 개선 효과를 확인할 수 있었다. 이와 같은 결과는 본 조사에서 적용된 셋강의 생태공학적 안정화기술이 하천의 생태학적 건강도를 보존하는 데 있어 효과적임을 시사해주는 것으로 평가할 수 있었다.

다만 이번 평가가 실험지 중간에 위치한 간이교량의 개수 및 남동쪽 통로의 확장공사의 영향이 가라앉는 시간이 필요했던 까닭에 1회 조사에 국한될 수밖에 없었다. 공사 후 시간이 경과함에 따라 더 많은 변화가 있을 것으로 예상되는 바, 보다 더 구체적이고 객관적인 결과의 도출을 위해서는 향후 다양한 환경 요인의 변화에 대한 장기적인 모니터링이 필요할 것으로 판단된다.

인용문헌

환경부(1996) 수질오염, 폐기물, 토양오염 공정시험방법, 환경부고시 제96-32호, 동화기술, 683쪽.
 환경부(2002) 하천복원 가이드라인, 환경부 G-7 국내여건에 맞는 자연형 하천공법 개발연구팀(한국건설기술연구원 제공 DB).
 Agroecology Issue Team of the Leopold Center for Sustainable Agriculture(2001) Agroecology Issue Team Report 2001, 93pp.
 Asai, K, and T. Watanabe(1995) Statistic classification of epilithic diatom species into three ecological groups relating to organic water pollution(2) Saprophilous and saproxenous taxa, *Diatom* 10: 35-47.
 Ganasan, V. and R.M. Hughes(1998) Application of index of biological integrity (IBI) to fish assemblages of the rivers Khan and Kshipra(Madhya Pradesh), India, *Freshwater Biology* 40(2): 55-59.
 Harris, J.H.(1995) The use of fish in ecological assessments, *Australian Journal of Ecology* 20: 65-80.

- Hendey N.I.(1974) The permanganate method for cleaning using diatoms. *Nova Hedwigia Bein* 64: 305-323.
- Hocutt, C.H., P.N. Johnson, C. Hay and B.J. VanZyl(1994) Biological basis of water quality assessment: the Kavango River, Namibia. *Reviews Hydrobiologie Tropical* 27: 361-384.
- Hugueny, B., S. Camara, B. Samoura and M. Magassouba (1996) Applying an index of biotic integrity based on fish assemblages in a West African river. *Hydrobiologia* 331: 71-78.
- Kondolf, G.M. and E.R. Micheli(1995) Evaluation stream restoration projects. *Environmental Management* 19(1): 1-15.
- Oberdorff, T. and R.M. Hughes(1992) Modification of an index of biotic integrity based on fish assemblages to characterize rivers of the Seine Basin, France, *Hydrobiologia* 228: 117-130.
- Oklahoma Conservation Commission(OCC)(1993) Development of rapid bioassessment protocols for Oklahoma utilizing characteristics of the diatom community. Oklahoma Conservation Commission, Oklahoma City, Oklahoma, 166pp.
- U.S. Environmental Protection Agency(1999) Rapid bio-assessment protocols for use in streams and wade-able rivers: Periphyton, Benthic Macroinvertebrates, and Fish, (2nd). EPA 842-B-99-002. U.S. Environmental Protection Agency, Washington D.C.
- Watanabe, T. and K. Asai(1990) Numerical simulation using diatom assemblage of organic pollution in stream and lakes. *The Review of Inquiry and Research* 52: 99-139. The Kansai University of Foreign Studies, Osaka, Japan (in Japanese).