

Research Paper

하천환경의 자연성 평가를 위한 식생지표의 개발

전승훈* · 채수권**

가천대학교 조경학과*, 을지대학교 보건환경안전학과**

Development of Vegetation Indicator for Assessment of Naturalness in Stream Environment

Seung-Hoon Chun* · Soo-Kwon Chae**

Dept. Landscape Architecture, Gachon University*
Dept. Environmental Health & Safety, Eulji University**

요약 : 본 연구는 하천환경평가체계 구축의 일환으로서 식생 평가 지표 및 평가 기준의 검증을 목적으로 수행하였다. 본 연구를 위해 5개 시험하천을 대상으로 68개의 평가단위에서 총 204개의 식생 표본조사구를 설정하였으며, 표본조사구별 상관-종조성 수준에서 식생군집의 분류 및 현존식생도를 작성하였다. 현존식생도를 기준으로 식생자료의 분석을 통해 표본조사의 적정 규모, 식생 지수의 점수 기준, 식생 군집 분류의 표준화, 그리고 식생평가지표의 등급화를 위한 종합 점수기준을 검토하였다. 하천 식생 평가를 위해 개발된 식생 다양도 지수와 식생 복잡도, 그리고 식생자연도 지수로 이루어진 식생평가지표의 종합점수 산정 및 등급화는 타당한 것으로 판단되었다. 식생평가지표의 등급화에 대한 식생지수의 기여도를 분석한 결과 식생자연도 지수가 다른 지수에 비해 보다 큰 역할을 하는 것으로 판단되었으나 세부 식생지수 사이의 상호보완적인 관계가 성립되어 있음을 확인할 수 있었다. 또한, 선행 연구에서의 기준의 재검토 및 식생군집 분류의 표준화 작업 등을 통해 개정된 기준을 적용한 결과 식생평가등급 간 변별력이 크게 확보되었음을 확인할 수 있었으나, 하천구간의 유형에 따른 식생 지수 및 식생평가지표의 등급화는 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.

주요어 : 식생군집 분류, 평가단위, 식생다양도 지수, 식생복잡도 지수, 식생자연도 지수, 식생평가지표, 등급화

Abstract : The vegetation assessment indicator has been developed recently as a biological part of the integrated assessment system for river environment to improve the efficiency of river restoration projects. This study carried out to test the vegetation assessment indicator and to reset its grade criteria on experimental streams. We classified and mapped vegetation communities at the level of

First Author: Seung-Hoon Chun, Dept. Landscape Architecture, Gachon University, Seongnam 13120, Korea, Tel: +82-31-750-5263, chunsh@gachon.ac.kr

Corresponding Author: Soo-Kwon Chae, Dept. Environmental Health & Safety, Eulji University, Seongnam 13135, Korea, Tel: +82-31-740-7146, cskwen@eulji.ac.kr

Received: 26 October, 2016. Revised: 12 November, 2016. Accepted: 23 November, 2016.

physiognomic-floristic composition by each assessment unit. A total of 204 sampling quadrats were set up on the 68 assessment units at 5 experimental streams. By analyzing the vegetation data collected, we examined the appropriate numbers of sampling quadrats, the criteria of vegetation index score, classification of vegetation community, and grade criteria for vegetation assessment. The developed vegetation assessment indicator composed with the vegetation complexity index (VCI), the vegetation diversity index (VDI), and the vegetation naturalness index (VNI) was proved to reflect the current conditions of the streams sufficiently. The contribution of vegetation naturalness index to grading by vegetation assessment indicator was larger, but three indexes were closely correlated to each other. Also there was more clearer discrimination of grading with the application of adjusted criteria of vegetation assessment indicator and the standardized classification of vegetation community, but the stream segment type did not influence the vegetation assessment grade significantly.

Keywords : Classification of vegetation community, Assessment unit, Vegetation diversity index, Vegetation complexity index, Vegetation naturalness index, Vegetation assessment indicator, Grading

I. 서론

하천수계는 유역경관의 규모에서 분산된 선형의 통로이자 종적 및 횡적인 지형지질과 수리수문학적 연속성을 지닌 고도의 역동적인 체계로서 시공간적으로 생물적 요인과 무생물적 요인에 의해 상호영향을 받는 시스템으로 작동하고 있다. 이들 하천환경은 자연적인 홍수조절, 생산성, 생태학적 피난처 및 생물 종 보존의 핵심적인 역할 뿐만 아니라 운송, 여가 및 관광 등 문화적 경관의 실체로서 중요한 기능을 수행한다고 알려져 있다(Chun et al. 2014; Kamp et al. 2007; Verdonshot 2000).

1990년대 후반 이후 선진국을 중심으로 하천수계는 깨끗한 물이 흐르는 수로가 아닌 하상구조, 유로 형태, 범람원, 제방, 식생 등으로 구성된 다양한 생물들의 값진 서식처로 재규정되면서(Kamp et al. 2007), 하천수계의 관리가 수자원의 사회경제적 기능과 생물서식처로서의 생태 환경적 기능을 통합하고자 하는 방식으로 급속히 전환되고 있는 추세이다.

따라서 전 세계적으로 대다수 국가들이 초기에는 생물학적, 화학적 하천환경 평가체계를 통해 하천환경관리를 시행해왔으나, 최근에는 유역차원의 광범위한 통합적 하천관리를 위해 하천환경의 지형학적 질을 평가하는 하천서식처 조사 및 평가기법의 필요

성이 강조되고 있다(Chun et al. 2014; EC 2000). 하천서식처는 하상구조, 유수형상, 제방, 범람원 그리고 식생구조와 같은 요인들을 내포하는 하천의 지형학적 구조라 할 수 있으며, 그 중 하반식생은 횡적으로 산림과 같은 육상생태계와 하천수계의 수역생태계를 연결하는 전이대적 기능을 수행할 뿐만 아니라 종적으로 하천수계의 상류와 하류를 연결하는 연속성의 실체라 할 수 있다(Forman 1995; Mitsch & Gosselink 2000).

Maria et al.(2010)은 고해상도 항공사진을 활용한 교목, 관목, 초본 수준의 식생분류에 의한 식생패치 평가기법을 제시하면서 식생패치의 크기와 형태, 개수가 하천환경의 다양성과 균질성과 상관성이 있음을 밝힘으로써 하천환경의 진단 및 평가에 있어 하천식생의 구조와 기능을 적용할 수 있는 가능성을 제시한 바 있다. 따라서 우리나라의 하천환경평가체계의 구축과정에서도 고해상도의 항공사진을 기반으로 하는 IT & GIS-DB 기술이 적용됨으로서 보다 과학적이고 정확한 자료와 정보의 수집을 통해 하천관리의 신뢰성과 효율성을 증진시켜야 할 것으로 판단된다.

본 연구는 우리나라 하천환경 평가체계의 구축과정에서 설정하고 있는 평가분야 가운데 생물분야의 평가항목으로서 하천식생의 평가지표 및 기준을 정

립하기 위하여 수행하였다(Chun 2016). Chun et al. (2015)의 선행연구에서 제시한 식생평가지표는 식생지연도와 식생다양도, 그리고 식생복잡도 등 3개의 세부지수로 이루어져 있으며, 이들 식생지표는 시험하천으로 선정된 낙동강 수계의 내성천, 남강, 그리고 한강수계인 벽계천 등에 적용되어 그 적합성을 검토한 바 있다.

하지만, 다양한 하천특성을 고려한 식생군집의 특성을 반영해야 할 뿐 만 아니라 보다 많은 시험하천의 적용을 통해 식생평가지표를 구성하고 있는 세부 식생지수의 등급기준과 가중치 설정 등의 검증 및 보완이 이루어져야 할 것으로 판단하였다.

따라서 본 연구에서는 일차적으로 선행연구에서 얻어진 시험하천 조사 자료의 표준화 및 재평가, 그리고 추가적인 시험하천의 적용에 따른 조사 자료의 구축을 토대로 검증에 의해 식생평가지표 및 지수의 적합성에 대해 종합적으로 검토하였다.

II. 연구내용 및 방법

1. 연구의 적용범위와 대상지의 선정

본 연구에서 개발하고자 하는 하천식생의 평가체

계는 하천법에서 규정하고 있는 하천환경의 개선, 하천환경의 보전과 복원, 자연친화적 관리 등 하천환경의 범주에 속하는 것으로서 유역종합치수계획 및 하천기본계획의 수립과정에서 적용할 수 있는 관련 지침이나 기준을 설정하는 것을 목적으로 하였다(Chun 2016). 따라서 적용대상 하천의 유형도 유역분류기준으로 대하천 권역이 아닌 중권역과 표준유역의 본류에 해당하는 하천수계로 한정하였으며, 이로 인하여 소하천에 속하는 최상류 하천이나 대하천의 하구와 같은 하류수계는 제외하였다.

하천식생평가체계의 적용에 따른 검증을 위한 연구대상지는 선행연구의 대상하천(내성천, 남강, 벽계천)과 본 연구에서 추가한 금강수계의 갑천과 유등천 등 5개의 수계를 대상으로 하였다(Figure 1).

각 연구대상지는 하천기본계획 수립 시 수자원 계획과 하천환경계획의 공간적 정합성을 확보하기 위하여 하천구간(stream segment) 및 하천 세구간(stream reach)으로 평가단위(assessment unit)의 체계화를 통해 기준도면화 하였다. 하천구간의 분류 기준은 1의 경우는 하상경사 1/60~1/400이며, 2의 경우는 1/400~1/5,000를 적용하였으며, 하천 세구간의 구분은 하천구간 M, 1의 경우는 여울-소의 형

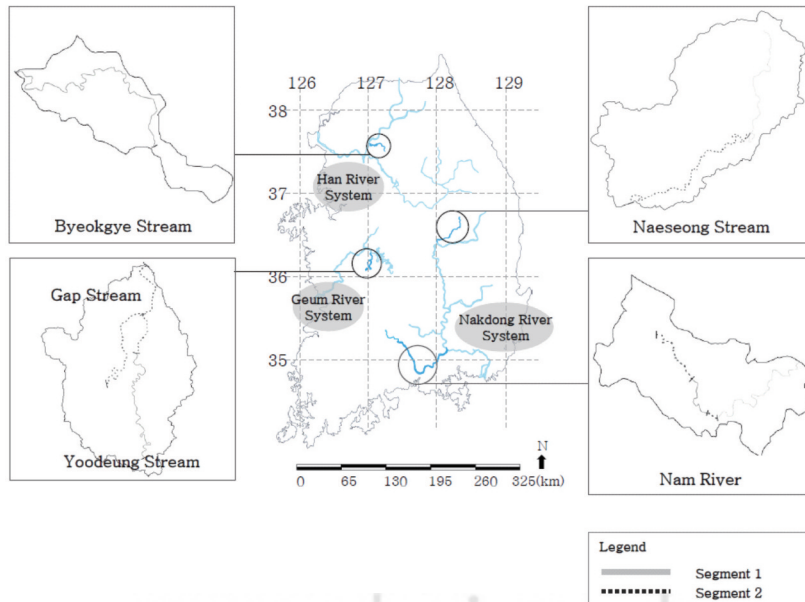


Figure 1. Local map showing division of segment type at sites studied.

Table 1. Characteristics of stream sites and its number of assessment unit studied

Watershed	Stream	Basin area (km ²)	River extension(km)	Segment studied(km)	Segment types of streams	Number of reach	Assessment unit		
							Number of assessment unit	Number of sampling site	
Han River System	Byeokgye Stream (BS)	78.0	26.9	26.9	Type 1	21	6	18	
Geum River System	Gap Stream (GS)	648.8	33.5	33.5	Type 2	8	16	48	
	Yoodeung Stream (YS)	431.1	37.5	15.5	Type 1	13	26	78	
					Type 2	2	4	12	
Nakdong River System	Naeseong Stream (NS)	1,816.0	113.0	58.0	Type 2	11	8	24	
	Nam River (NR)	3,467.5	189.8	65.9	Type 1	3	2	6	
					Type 2	8	6	18	
Total						2 types	66	68	204

성 출현빈도에 따라 일반적으로 저수로 폭의 25배, 하천구간 2, 3의 경우는 저수로 폭의 25배를 기준으로 하되 최대 만곡비 1:4를 적용하였다(Chun et al. 2015).

식생조사 및 평가의 기준 도면은 국가수자원관리 종합정보시스템 (WAMIS 2002)에서 제공하는 유역 단위의 GIS-map(Vector type, non scale)을 바탕으로 국토지리정보원의 수치지형도(1/5,000)를 사용하여 작성하였으며, 또한 위치정보의 정확성 확보를 위하여 표준좌표체계를 적용하였다(Chun et al. 2015; Chun 2016).

본 연구의 대상 하천수계는 Table 1에 나타낸 바와 같이 유역면적과 하천연장 등에서 차이가 있으나 하천권역의 중권역 및 표준유역의 분류 수계의 일부 구간으로서 주로 하천구간 유형 (segment 1 type & 2 type)을 대상으로 하였다. 전체 수계의 하천세구간의 수는 모두 66개이나 본 연구에서 조사된 곳은 34개이며, 좌안과 우안을 구분하면 68개의 평가단위를 조사하였으며, 각 평가단위당 3개의 표본조사 지점 등 모두 204개의 표본조사구를 설정하였다.

2. 식생조사 및 자료의 구축

1) 표본조사방법

하천식생조사는 평가단위별 표본조사를 원칙으로 하였으며, 우선 하천 구간 및 하천 세구간의 평가단위

가 체계화된 연구대상지의 기준도면상 층화추출법 (stratified sampling)을 적용하여 3개의 표본조사 지점을 설정하였다. 하천구간 층화추출법에 의한 표본조사 지점의 선정은 기준도면에 중첩된 항공사진 (국토지리정보원, Raster 형식, 축척 1/10,000, 해상력 25cm)을 토대로 하천식생의 분포상황을 분석하여 평가단위별 대표성을 고려하였다. 하천수계의 좌안 및 우안으로 각각 설정된 평가단위내 표본조사구의 크기는 하천기본계획의 측점 기준을 기준으로 측점 폭을 횡단의 폭, 측점 폭의 1/2을 종단의 길이로 각각 설정하였으며, 식생조사 및 분석의 영역은 수면과 사주를 제외하는 것으로 원칙으로 하였다.

2) 식생의 조사분석 및 군집의 분류

하천식생조사 및 분석은 2단계에 걸쳐 이뤄졌는데, 1단계는 실내작업으로서 기준도면상의 최신 항공사진을 기준으로 스테레오 영상분석 소프트웨어 (Geo3DiPro, (주)GEO STORY)를 사용한 3차원 입체 영상분석기법으로 표본조사구내 식생의 성상별(교목, 관목, 초본림) 식생패치를 구분하였다. 이를 통하여 식생패치의 성상별 규모와 위치, 그리고 정확한 경계선을 확보함으로써 현장조사 및 식생자료 분석 과정에서의 효율성과 정확도를 제고하였다.

2단계는 식생의 현장조사에서 영상분석된 식생패치의 구분도를 기준으로 식생군집의 종류와 분포면적, 높이, 경계의 설정, 그리고 자연도의 구분 등을

수행하였으며, 최종적으로 현존식생도를 작성하여 식생자료의 분석에 사용하였다. 식생군집의 분류는 보다 정확하게 현장에서 구분된 식생패치를 기준으로 최상층의 상관수준과 하층의 종 조성을 기준으로 우점종 및 아우점종에 따라 이루어졌으며, 선행연구에서 구분하였던 일, 이년생 식생군집의 경우 수위변동의 영향을 고려하여 본 연구에서는 제외하였다. 또한 식생군집 분류의 최소 면적은 선행연구에서 식생의 성상별 구분 없이 100m²를 기준으로 하였으나 본 연구에서는 저수로 호안을 중심으로 대상 분포하는 관목과 초본림의 경우 50m²로 변경하여 적용하였다.

3. 식생자료의 분석 및 식생평가지표의 적용

1) 식생자료의 분석

실내 및 현장에서 표본조사지점별 조사, 측정된 식생자료는 MS office Excel을 사용하여 체계적으로 정리 및 분석하여 평가에 사용하였다. 일차적으로 실내에서 분석된 식생패치는 현장조사를 통해 확정되면서 식생군집의 분류체계에 따라 구분하였으며, 식생군집별 전체 면적과 성상별 식생패치의 높이와 둘레길이, 면적을 각각 산정하였다. 이들 식생 분석자료를 토대로 표본조사구별 평가단위별 식생지수를 산

정하였다.

2) 식생지수의 산정

식생평가지표(VAI, vegetation assessment indicator)를 구성하는 식생지수들 가운데 식생다양도 지수(VDI, vegetation diversity index)는 식생 분포의 수평적 다양성을 파악하기 위한 것으로서 식생의 성상별 구분 없이 출현하는 모든 식생군집의 개수와 면적을 기준으로 Shannon-Wiener's diversity index(Martin & Paddy, 1992)를 적용하였다. 식생다양도 지수는 선행 연구에서 식생군집의 수에 따른 최대 다양도와 최소 다양도의 범위를 고려하였으나 등급산정에 있어 이를 충분히 반영하지 못하였기 때문에 본 연구에서는 보다 구체적인 5구간의 척도를 적용한 상대평가를 실시하였다(Table 2).

식생복잡도 지수(VCI, vegetation complexity index)는 식생의 수직적 구조의 복잡성을 파악하기 위한 것으로서 지표면적 대비 식생패치별 높이와 둘레길이, 그리고 면적을 곱한 값으로 산정하였으며, 모든 식생군집에 대해 층위별 식생 층위가 형성되어 있는 경우 각각의 성상별 식생 층위의 값을 모두 계산하여 반영하였다. 식생복잡도 지수 역시 하천구간별 특성을 고려하였으나 큰 차이가 없는 것으로 판단

Table 2. Scoring system considering relatively range of vegetation diversity index by number of vegetation community

Score	Range of index value						
	No. of vegetation community						
	2	3	4	5	6	7	8
5	0.55 ~ 0.69	0.88 ~ 1.1	1.11 ~ 1.39	1.29 ~ 1.61	1.43 ~ 1.79	1.56 ~ 1.95	1.66 ~ 2.08
4	0.42 ~ 0.54	0.66 ~ 0.87	0.83 ~ 1.10	0.97 ~ 1.28	1.08 ~ 1.42	1.17 ~ 1.55	1.25 ~ 1.65
3	0.28 ~ 0.41	0.44 ~ 0.65	0.55 ~ 0.82	0.64 ~ 0.96	0.72 ~ 1.07	0.78 ~ 1.16	0.83 ~ 1.24
2	0.14 ~ 0.27	0.22 ~ 0.43	0.28 ~ 0.54	0.32 ~ 0.63	0.36 ~ 0.71	0.39 ~ 0.77	0.42 ~ 0.82
1	0 ~ 0.13	0 ~ 0.21	0 ~ 0.27	0 ~ 0.31	0 ~ 0.35	0 ~ 0.38	0 ~ 0.41

Score	Range of index value						
	No. of vegetation community						
	9	10	11	12	13	14	15
5	1.76 ~ 2.20	1.84 ~ 2.30	1.92 ~ 2.40	1.99 ~ 2.48	2.05 ~ 2.56	2.11 ~ 2.64	2.17 ~ 2.71
4	1.32 ~ 1.75	1.38 ~ 1.83	1.44 ~ 1.91	1.49 ~ 1.98	1.54 ~ 2.04	1.58 ~ 2.10	1.62 ~ 2.16
3	0.88 ~ 1.31	0.92 ~ 1.37	0.96 ~ 1.43	0.99 ~ 1.48	1.03 ~ 1.53	1.06 ~ 1.57	1.08 ~ 1.61
2	0.44 ~ 0.87	0.46 ~ 0.91	0.48 ~ 0.95	0.5 ~ 0.98	0.51 ~ 1.02	0.53 ~ 1.05	0.54 ~ 1.07
1	0 ~ 0.43	0 ~ 0.45	0 ~ 0.47	0 ~ 0.4	0 ~ 0.50	0 ~ 0.52	0 ~ 0.53

Table 3. Scoring system considering relatively range of vegetation complexity index by vegetation patch type

Score	Range of index value
5	5.0 ~
4	3.0 ~ 4.9
3	2.0 ~ 2.9
2	1.0 ~ 1.9
1	0.0 ~ 0.9

Table 4. Scoring system considering relatively range of vegetation naturalness index by vegetation community

Score	Range of index value
5	80 ~ 100
4	60 ~ 79
3	40 ~ 59
2	20 ~ 39
1	0 ~ 19

되어 교목 및 관목으로 이루어진 하반림이 비교적 잘 발달된 상태의 척도라 할 수 있는 지수 값 5.0을 기준으로 5구간의 척도를 적용하였다(Table 3).

식생자연도 지수(VNI, vegetation naturalness index)는 식생의 자연성을 반영한 것으로서 식생군집별 자연, 반자연, 인공식생으로 구분하여 각각 면적을 산정한 후 1, 0.5, 0점을 곱하여 계산된 전체면적을 기준으로 하였다(Table 4).

한편 평가단위별 식생지수의 산정은 표본지점의 수가 3개이므로 각 표본조사지점별로 3개의 식생지

수를 산정한 후 각각 평균값을 기준으로 하여 등급기준을 적용하였다.

3) 식생평가지표의 구성 및 적용

Chun et al. (2015)의 선행연구에서 제시한 하천식생평가체계는 상관 및 종조성 수준(physiognomic & floristic composition level)에서 식생군집의 수평적, 수직적 구조 및 이들의 분포양상, 그리고 자연성을 시공간적으로 파악하기 위한 목적으로 정립되었다. Figure 2에 나타난 바와 같이 식생평가지표는 식생 다양도 지수, 식생복잡도 지수, 식생 자연도 지수 등 3개의 세부 지수로 구성되었으며, 지수별 가중치를 적용하여 산정된 종합 점수를 기준으로 5등급의 평가를 하도록 고안되었다(Chun et al. 2015).

하지만 선행연구에서 적용되었던 식생평가지표의 종합점수에 따른 등급평가는 확실적이지 못한 것으로 판단하였다. 따라서 본 연구에서는 최고 점수와 최저 점수의 범위를 고려한 상대평가체계로 변경하였고

Table 5. Grading system considering relatively total score of vegetation assessment indicator

Grade	Previous criteria of total score	Revised criteria of total score
1	85 ≤	86 ≤
2	75 ≤ ~ < 85	76 ≤ ~ < 86
3	55 ≤ ~ < 75	66 ≤ ~ < 76
4	25 ≤ ~ < 55	56 ≤ ~ < 66
5	~ < 25	~ < 55

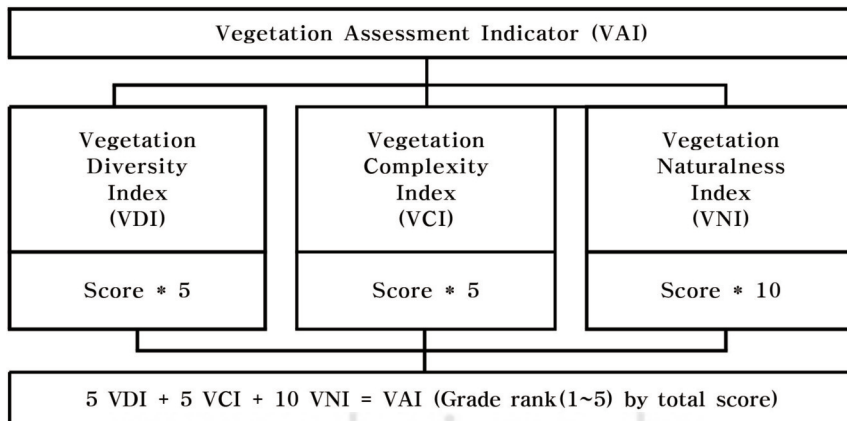


Figure 2. Configuration of vegetation assessment system proposed at research previously.

(Table 5), 이를 통해 평가단위사이의 평가등급의 변별력을 확보할 수 있을 것으로 판단하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 식생패치 및 군집의 분포특성

본 연구에서 연구대상지로 선정된 5개 하천수계의 하천구간 및 하천 세구간의 68개 평가단위에서 설정한 204개 표본조사지점의 식생조사 자료를 구축하였다. Table 6에 나타난 바와 같이 하나의 평가단위는 3개의 표본 조사지점으로 구성되어 있으며, 현존식생도와 식생패치 구분도를 기준으로 표본 조사구별 식생군집의 분류와 식생패치의 구분, 그리고 각 식생패치의 경우 면적, 분포비율, 둘레길이, 높이를 분석, 정리하였다(Figure 3). 해당 평가단위의 식생지수는 표본조사구 별로 산정된 식생지수의 평균값을 기준으로 하였고, 식생평가지표의 등급산정은 이들 식생지수 값에 해당 지수의 점수와 가중치를 적용하여 산정한 종합점수를 기준으로 평가하였다(Table 6).

한편 식생자료의 구축결과를 바탕으로 연구대상지의 수계 별로 분포된 식생군집의 개수는 모두 47개인 것으로 분석되었으며, 이 가운데 교목 우점 군집은 버드나무류(*Salix koreensis* Community) 외 13개, 관목 우점 군집은 갯버들(*Salix gracilistyla* Community) 외 2개, 초본류 우점 군집은 물억새(*Miscanthus sacchariflorus* Community) 외 32개로 가장 많은 군집 개수를 보여주었다. 이는 연구대상지 수계의 하상 특성이 비교적 다양할 뿐 만 아니라 넓은 범람원 및 저수로의 식생 호안이 잘 형성된데 기인하는 것으로 판단된다(Table 7).

식생군집의 분포특성을 하천수계와 하천구간 유형 별로 살펴보면 갑천 및 유등천 수계의 다양한 식생군집에 비해 내성천과 남강, 벽계천의 경우는 매우 빈약한 식생군집의 분포양상을 나타내었는데, 특히 내성천의 경우 모래사주가 넓게 발달하여 식생정착이 저해되는 비교적 단순한 하상특성에 기인하는 것으로 판단된다. 또한 남강과 벽계천의 경우도 하천구간 유형 1의 특성인 암반 및 자갈 하상의 특성으로 인해

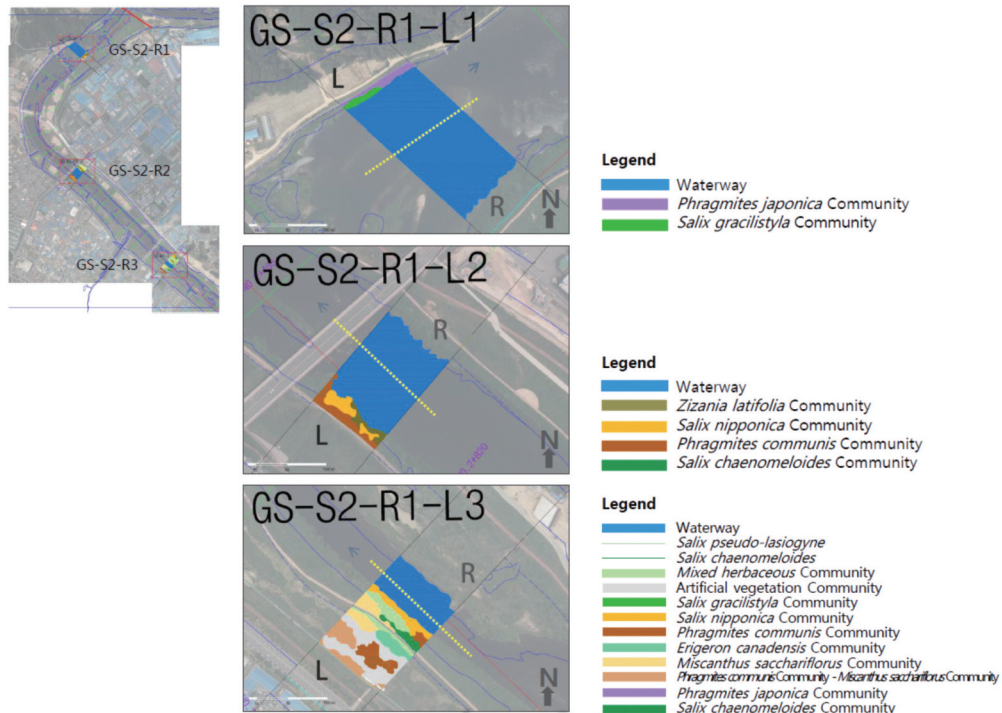


Figure 3. Map showing actual vegetation community at one assessment unit (3 sampling sites) of Gap stream (linked Table 6).

Table 6. Calculation process of total score and average vegetation indices based on vegetation data at one assessment unit (GS-S2-R1-L) of Gap stream.

Assessment unit		GS-S2-R1-L														
Sampling Site & Vegetation patch		Vegetation patch											Vegetation Community		Total index	
No.	Size (m ²)	Vegetation Community	Type	Area(m ²)	*P (%)	**L(m)	***H(m)	****N	VDI	VCI	VNI	VDI	VCI	VNI		
			1	1,096	<i>Salix gracilistyla</i> Community	<i>Salix gracilistyla</i>	419.8	0.38	119.2	2	1	0.37	0.57	38.3	0.67	0.91
<i>Phragmites japonica</i> Community	<i>Phragmites japonica</i>	676.6			0.62	228.3	1	1	0.30	0.34	61.7					
2	2,482	<i>Phragmites communis</i> Community	<i>Salix chaenomeloides</i>	56.4	0.02	28.8	5	1	0.36	2.56	2.3	1.05	4.38	100		
			<i>Phragmites communis</i>	1,082.3	0.44	304.7	1.5	1	0.42	43.6						
		<i>Salix nipponica</i> Community	<i>Salix nipponica</i>	841.9	0.34	209.5	4	1	0.37	1.00	33.9					
		<i>Zizania latifolia</i> Community	<i>Zizania latifolia</i>	502.1	0.20	203.2	1	1	0.32	0.40	20.2					
3	9,682	<i>Phragmites communis</i> Community	<i>Phragmites communis</i>	218.5	0.02	67.1	1.25	1	0.09	0.38	2.3	2.02	8.87	65		
			<i>Salix chaenomeloides</i>	70.2	0.01	31.3	5	1	0.23	2.24	0.7					
		<i>Phragmites communis</i> Community	<i>Salix pseudo-lasiogyne</i>	52.6	0.01	26.0	5	1	2.47	0.5						
			<i>Phragmites communis</i>	827.4	0.09	123.6	1.5	1	0.22	8.6						
		<i>Erigeron canadensis</i> Community	<i>Erigeron canadensis</i>	671.3	0.07	133.6	0.5	0	0.19	0.10	0.00					
		<i>Miscanthus sacchariflorus</i> Community	<i>Miscanthus sacchariflorus</i>	1,131.8	0.12	278.1	1	1	0.25	0.25	11.7					
		<i>Salix chaenomeloides</i> Community	<i>Salix chaenomeloides</i>	454.3	0.05	157.6	5	1	0.14	1.73	4.7					
		<i>Phragmites communis</i> Community - <i>Miscanthus sacchariflorus</i> Community	<i>Phragmites communis</i> - <i>Miscanthus sacchariflorus</i>	1,421.3	0.15	392.5	1.25	1	0.28	0.35	14.7					
		<i>Artificial vegetation</i> Community	<i>Artificial vegetation</i>	2,694.3	0.28	210.9	0.1	0	0.36	0.01	0.00					
<i>Mixed Herbaceous</i> Community	<i>Meadow</i>	1,206.1	0.12	385.2	0.2	1	0.26	0.06	12.5							
<i>Salix nipponica</i> Community	<i>Salix nipponica</i>	934.0	0.10	244.9	4	1	0.23	1.05	9.7							
Section	Calculation by previous criteria						Calculation by criteria revised									
No. of vegetation community	14						12									
Average value of indices	VDI	VCI	VNI	VDI	VCI	VNI	VDI	VCI	VNI	VDI	VCI	VNI				
	1.48	6.35	59.83	1.24	4.72	88.41										
Score	3	5	3	3	4	5										
Weight	5	5	10	5	5	10										
Total score	15	25	30	15	20	50										
	70						85									
Grade	3						1									

*P: Probability, **L: Length of patch, ***H: Height of patch, ****N: Naturalness (GS-S2-R1-L: GS: Gap Stream, S2: Segment2, R1: Reach No., L: Left)

Table 7. Distributional patterns of vegetation community by assessment unit at site studied.

Community Type	Categorization		Assessment unit Acro-nym	Segment 1			Segment 2			
	Scientific Name			YS	BS	NR	GS	YS	NS	NR
				13 reach	3 reach	1 reach	8 reach	2 reach	4 reach	3 reach
Tree Community	<i>Ailanthus altissima</i> Community	A.A.	-	-	-	-	-	-	+	
	<i>Castanea crenata</i> Community	C.C.	-	-	+	-	-	-	+	
	<i>Diospyros kaki</i> Community	D.K.	-	-	+	-	-	-	-	
	<i>Morus alba</i> Community	M.A.	+++	-	-	+	-	-	+	
	<i>Pinus densiflora</i> Community	P.D.	-	-	-	-	-	-	+	
	<i>Populus deltoides</i> Community	Po.D.	-	-	+	-	-	-	+	
	<i>Robinia pseudoacacia</i> Community	Ro.P.	-	-	+	++	-	-	+	
	<i>Salix chaenomeloides</i> Community	S.C.	+++	++	-	+++	-	++	-	
	<i>Salix koreensis</i> Community	S.K.	-	+	++	-	-	-	-	
	<i>Salix nipponica</i> Community	S.N.	+++	-	-	+++	+++	+	-	
	<i>Salix pseudo-lasiogyne</i> Community	S.PL	+	-	-	+	-	-	-	
	<i>Ulmus davidiana</i> var. <i>japonica</i> Community	U.D.	+	-	-	-	-	-	-	
<i>Zelkova serrata</i> Community	Z.S.	-	+	-	-	-	-	-		
Sub total tree communities	13		5	2	5	5	1	2	6	
Shrub Community	<i>Amorpha fruticosa</i> Community	A.F.	-	-	-	+	+	-	-	
	<i>Salix gracilistyla</i> Community	S.G.	++	+++	++	+++	+	-	+++	
Sub total shrub communities	2		1	1	1	2	2	-	1	
Herbaceous Community	<i>Ambrosia trifida</i> Community	A.T.	++	-	-	+	-	-	-	
	Artificial vegetation Community	A.V.	+	-	-	++	+++	-	-	
	<i>Artemisia princeps</i> Community	A.P.	+	-	-	-	-	-	-	
	<i>Bidens frondosa</i> Community	B.F.	+	-	-	-	-	-	-	
	<i>Digitaria sanguinalis</i> Community	D.S.	-	-	-	+	-	-	-	
	<i>Echinochloa crus-galli</i> var. <i>echinatum</i> (Willd.) Honda Community	E.Cr	+	-	-	-	-	-	-	
	<i>Erigeron canadensis</i> Community	E.C.	++	-	-	++	+	-	-	
	<i>Humulus japonicus</i> Community	H.J.	++	-	+++	+++	+	-	+++	
	<i>Lespedeza cuneata</i> Community	L.C.	-	-	-	+	-	-	-	
	Mixed Herbaceous Community	M.H.	++	-	-	+++	++	-	-	
	<i>Miscanthus sacchariflorus</i> Community	M.S.	+++	++	-	+++	+	+++	+	
	<i>Panicum bisulcatum</i> Community	P.B.	++	-	-	-	-	-	-	
	<i>Pennisetum alopecuroides</i> Community	P.A.	++	-	-	+	-	-	-	
	<i>Persicaria hydropiper</i> Community	P.H.	+	-	-	+	-	-	++	
	<i>Persicaria hydropiper</i> Community - <i>Panicum bisulcatum</i> Community	P.H.-P.B.	+	-	-	-	-	-	-	
	<i>Persicaria thunbergii</i> Community	Pe.T.	-	-	-	+	-	-	-	
	<i>Persicaria senticosa</i> Community	P.S.	-	-	-	-	+	-	+	
	<i>Phragmites japonica</i> Community	P.J.	+++	+++	+++	+++	++	+++	+++	
	<i>Phragmites japonica</i> Community - <i>Sicyos angulatus</i> Community	P.J.-S.A.	+	-	-	-	-	-	-	
<i>Phragmites japonica</i> Community - <i>Humulus japonicus</i> Community	P.J.-H.J.	+	-	-	-	-	-	-		

Table 7. Continued

Community Type	Categorization		Assessment unit Acro-nym	Segment 1			Segment 2			
	Scientific Name			YS	BS	NR	GS	YS	NS	NR
				13 reach	3 reach	1 reach	8 reach	2 reach	4 reach	3 reach
Herbaceous Community	<i>Phragmites japonica</i> Community - <i>Miscanthus sacchariflorus</i> Community		P.J.-M.S.	-	++	-	-	-	-	-
	<i>Phyllostachys bambusoides</i> Community		Ph.B.	-	-	-	-	-	-	+
	<i>Phragmites communis</i> Community		P.C.	++	-	-	+++	++	-	-
	<i>Phragmites communis</i> Community - <i>Miscanthus sacchariflorus</i> Community		P.C.-M.S.	++	-	-	+++	+	-	-
	<i>Phragmites communis</i> Community - <i>Humulus japonicus</i> Community		P.C.-H.J.	-	-	-	-	+	-	-
	<i>Phragmites communis</i> Community - <i>Phragmites japonica</i> Community		P.C.-P.J.	+++	-	-	-	++	-	-
	<i>Pueraria thunbergiana</i> Community		Pu.T.	+	+	-	-	-	-	+
	<i>Rubus parvifolius</i> Community		Ru.P.	-	-	-	-	-	-	++
	<i>Sicyos angulatus</i> Community		S.A.	+	-	-	++	-	-	++
	<i>Typha angustata</i> Community		T.A.	-	-	-	+	-	-	-
	<i>Zizania latifolia</i> Community		Z.L.	+	-	-	+	-	-	+
	<i>Zizania latifolia</i> Community - <i>Phragmites japonica</i> Community		Z.L.-P.J.	-	-	-	-	+	-	-
Sub total herbaceous communities	32			22	4	2	16	12	2	10
Unvegetated Area	Sports ground		UnVeg.	-	-	-	+	++	-	-
Total vegetation communities	47			28	7	8	23	15	4	17

* Relative richness of vegetation community within segment type : very rich (+++), rich(++), poor(+), absent (-)

초본류 식생의 발달이 빈약하였기 때문에 판단된다.

주요 식생군집의 분포특성을 살펴보면, 하천환경의 생태적 지표종이라 할 수 있는 왕버들 군집(*Salix chaenomeloides* Community), 선버들 군집(*Salix nipponica* Community), 갯버들 군집(*Salix gracilistyla* Community), 갈대 군집(*Phragmites communis* Community), 달뿌리풀 군집(*Phragmites japonica* Community) 및 물억새 군집(*Miscanthus sacchariflorus* Community)의 경우는 전체 수계에 고르게 분포할 뿐 만 아니라 넓은 분포면적을 보여주는 반면, 인간의 간섭과 교란의 지표종이라 할 수 있는 가죽나무(*Ailanthus altissima*), 밤나무(*Castanea crenata*), 감나무(*Diospyros kaki*), 아까시나무(*Robinia pseudoacacia*), 양버들(*Salix chaenomeloides*), 뽕나무(*Morus alba*) 및 족제비싸리(*Amorpha fruticosa*)

등과 같은 다양한 초본성 귀화식물 등은 하천별로 국소적으로 분포하는 특징을 보여주었다.

2. 식생평가지표의 산정 및 평가등급화

1) 식생지수의 산정과 식생평가지표와의 관계

본 연구에서 조사, 분석된 68개 평가단위의 식생지수 산정 및 식생평가지표의 등급평가결과는 Appendix 1에 나타난 바와 같다. 평가단위별 식생군집의 특성을 보면 먼저 군집의 수가 최소 1개, 최대 13개인 평가단위가 있는 것으로 나타났으나 평균적으로 7개 군집이 분포하였고, 대개 초본류의 군집 수가 전체 군집 수에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 군집의 수는 식생다양도 지수 외 식생평가지표의 종합점수와 어느 정도 상관성을 보여주었다. 즉 상위등

Table 8. Range of three vegetation indices by grade of assessment unit

Grade	Total score by grade	No. of assessment unit	VDI		VCI		VNI	
			Range	Aver.	Range	Aver.	Range	Aver.
1	86 ≤	3	0.97 ~ 1.49	1.21	2.52 ~ 7.15	5.20	84.62 ~ 100.0	90.69
2	85 ~ 76	22	0.43 ~ 1.61	0.98	2.19 ~ 7.47	3.84	65.92 ~ 99.06	87.01
3	75 ~ 66	21	0.17 ~ 1.35	0.73	0.13 ~ 7.63	2.40	41.18 ~ 100.0	84.49
4	65 ~ 56	14	0.00 ~ 0.85	0.33	0.12 ~ 5.59	1.93	28.19 ~ 100.0	77.00
5	≤ 55	8	0.42 ~ 1.12	0.70	0.80 ~ 7.98	3.40	16.89 ~ 79.67	43.49

급일 경우 하위등급에 비해 전체 군집의 수가 상대적으로 많은 것으로 나타났다. 또한 식생복잡도 산정에 큰 영향을 주는 교목 및 관목의 식생군집의 수 역시 3등급 이하인 경우 적은 것으로 나타나 상관성이 있었다. 식생자연도 역시 상위등급의 경우 대부분 5등급으로서 높은 점수기준을 나타낸 반면 하위등급의 경우 1-2등급의 낮은 점수기준을 보였다(Appendix 1).

따라서 식생다양도, 식생복잡도, 식생자연도 등 세부 식생지수는 식생평가지표의 종합점수에 따른 등급평가와 밀접한 상관성을 나타내는 것으로 판단되었다. 다만, 3개의 식생평가지수 중 식생다양도 보다는 식생복잡도와 식생자연도의 등급이 더욱 관련성이 높은 것으로 나타났다. 이는 식생자연도의 경우 배가된 가중치를 적용하였기 때문으로 판단되었으며, 식생복잡도의 경우 교목 및 관목 등 식생의 수직적 다양도가 반영됨으로서 보다 큰 변별력을 보여주는 것으로 해석되었다. 한편 어느 하나의 지수 값이 클지라도 나머지 2개의 지수 값이 작은 경우는 전체적인 등급평가가 떨어지는 것으로 나타남으로서 식생평가지표를 구성하는 3개 지수간의 상호보완성이 확보되고 있음을 알 수 있었다.

한편 Table 8에 나타난 바와 같이, 식생평가지표의 등급평가에 따른 식생평가지수의 범위를 분석한 결과는 식생다양도의 경우 1등급 평가 시 평균 다양도가 1.21로 가장 높았으나 4등급 평가 시 가장 낮은 것으로 나타났으며, 앞서 언급하였듯이 대체적인 경향은 있으나 편차가 다소 있는 것으로 보였다. 식생복잡도의 경우도 1-2등급의 상위등급과의 상관성은 높았으나 4등급보다 5등급의 지수 값이 큰 결과를 나타냈다. 반면 식생자연도 지수는 등급 간 평가와 상당한 일관성을 나타냄으로서 매우 우수한 식생평가

지수임을 확인할 수 있었다.

2) 하천구간별 식생평가지표의 비교

Appendix 2, Appendix 3은 하천구간 유형(segment type 1, 2) 별로 식생평가지수 산정에 따른 식생평가지표의 등급화를 나타낸 것이다. 하상경사가 상대적으로 크며 상류에 위치한 하천구간 1유형의 경우는 1등급이 2개, 2등급이 12개, 3등급이 12, 4등급이 5개, 5등급이 3개, 반면 하천구간 2유형의 경우는 1등급이 1개, 2등급이 10개, 3등급과 4등급이 각 9개, 5등급이 5개였다. 따라서 하천구간 1유형은 2유형에 비해 다소 상위등급의 평가가 다소 많은 것으로 나타나 보다 양호한 식생의 자연성을 보여주었는데, 이는 전형적인 하천환경의 특성과 부합하였다.

하천구간 1유형과 2유형 사이의 세부 식생평가지수의 차이를 살펴본 결과에서 명확하게 차이가 있는 점이 드러나지 않았으며, 앞서 분석한 전체적인 경향과 유사함을 알 수 있었다. 즉 식생다양도와 식생복잡도 보다는 식생자연도가 등급평가결과와 보다 부합됨을 알 수 있었다. 따라서 하천의 상류에 비해 하류로 갈수록 하반림의 발달과 식생다양도의 증가 등 하천식생의 변화가 있을 것으로 예상되었으나 하천구간 1유형과 2유형사이의 큰 차이는 발견되지 않았기 때문에 식생평가지표의 구분은 큰 의미가 없는 것으로 판단되었다. 다만 최상류인 하천구간 M유형이나 최하류인 3유형의 차이가 있는지는 추후 연구에서 확인되어야 할 것으로 판단되었다.

3. 식생평가지표의 평가등급화 적용기준 검토

본 연구에서 조사, 분석된 68개 평가단위의 식생지수 산정 및 식생평가지표의 등급평가결과는 Table

Table 9. Change of grade according to application of the revised criteria of vegetation assessment indicator unit at sites studied

Ver.		previous criteria					revised										
Stream	No. of assessment unit	Grade	1	2	3	4	5	Grade *					Grade **				
								1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
GS	16		6	4	6	-	-	7	4	5	-	-	1	10	2	1	2
YS	30		12	13	5	-	-	6	11	12	1	-	2	11	8	5	4
NR	8		-	3	5	-	-	-	3	5	-	-	-	-	5	1	2
NS	8		-	1	4	3	-	-	-	8	-	-	-	-	2	6	-
BS	6		-	1	5	-	-	1	2	3	-	-	-	1	4	1	-
Total	68		18	22	25	3	-	14	20	33	1	-	3	22	21	14	8

Revised : Application of new criteria of vegetation community and total score revised

* : Application of previous criteria of vegetation community and total score

** : Application of new criteria of vegetation community and previous total score

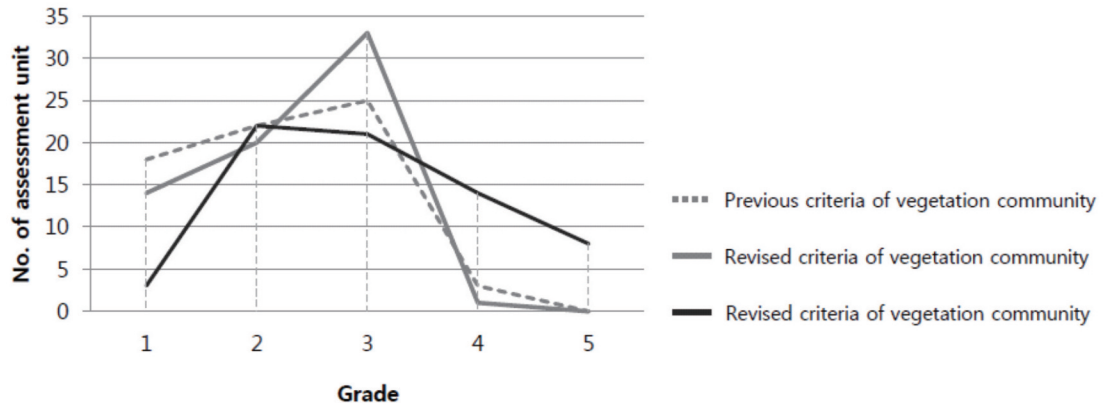


Figure 4. Change of grade according to application of the revised criteria of vegetation assessment indicator unit at sites studied

9과 같다. 식생평가지표의 등급평가 결과는 68개 평가단위 중 1등급은 3개, 2등급은 22개, 3등급은 21개, 4등급은 14개, 5등급은 8개 인 것으로 나타났다. 식생환경이 가장 양호한 1등급과 가장 불량한 5등급은 다소 적은 편인데 반해, 2~4등급이 다수를 차지하고 있는 것으로 나타나 연구대상지 하천환경의 상태를 비교적 충실하게 반영하는 결과로 판단되었다.

반면, 식생군집 분류의 표준화와 식생지수의 산정 기준의 재정립, 식생평가지표의 등급화를 위한 종합점수 기준의 조정 등이 이루어지기전 선행연구 (Chun et al, 2015)의 결과에서는 1등급이 18개, 2등급이 22개, 3등급이 25개, 4등급이 3개로 나타났으며, 또한 식생평가지표의 등급화를 위한 종합점수 기

준의 조정만이 이루어진 결과에서도 1등급이 14개, 2등급이 20개, 3등급이 33개, 4등급이 1개로 나타나 두 기준의 사이에는 약간의 등급하향과 같은 조정이 이루어졌으나 큰 차이는 없었다. 따라서 본 연구에서 제시한 종합점수의 기준의 재설정이 타당하였음을 확인할 수 있었다. 즉 종합점수에 따른 등급평가의 기준을 개정함으로써 1등급의 수가 감소하면서 2, 3등급의 하향등급화 및 이에 따른 4, 5등급의 수가 증가됨으로서 전체적으로 등급 간 변별력이 크게 개선되었음을 확인할 수 있었다(Table 9, Figure 4).

IV. 결론 및 제언

본 연구는 하천환경 평가체계 구축의 일환으로서

하천식생의 평가체계를 정립하기 위하여 수행하였다. 하천환경 및 하천식생의 평가체계는 궁극적으로 하천법에 규정되어 있는 하천환경관리에 필요한 정책수단으로서 그 역할과 의미가 있기 때문에 향후 하천기본계획 수립과정에서 적용될 수 있는 지침이 될 수 있을 것이다. 하천환경의 관리는 물리, 생물, 화학, 친수 등 다양한 분야에서의 기본 자료나 정보의 축적을 필요로 하고 있다. 조사, 축적된 자료나 정보는 해당 시점에서의 하천환경 상태를 진단, 평가하는데 사용되어야 하고, 평가결과는 새롭게 수립되는 하천환경 관련 기본계획의 기준뿐만 아니라 하천환경 복원사업의 성과를 측정하는 수단이 되어야 한다.

하천환경 평가체계의 선진국이라 할 수 있는 독일과 호주 등 선진국의 경우 하천관리의 패러다임이 2000년대 이후 수자원에서 하천환경의 통합적 관리로 전환되었을 뿐 아니라 이에 필요한 국가차원의 하천환경 평가체계가 오랜 기간에 걸쳐 방대한 현장조사자료의 축적을 통해 과학적으로 검증해서 정립된 것으로 알려져 있다(Chun et al, 2016). 이들 평가체계의 항목 가운데 하천식생은 현재 물리적 특성을 평가하는 지표의 부분으로 고려는 되고 있으나 다소 구체적이지 못할 뿐 아니라 우리나라 하천특성과도 크게 부합되지 못한 것으로 판단된다. 따라서 우리나라 하천환경특성에 적합한 하천식생평가체계의 개발이 요구되며, 특히 다양한 하천특성에 신속하게 적용할 수 있는 일반화된 평가지표와 기준의 정립 및 실무적 적용성이 시급하게 요구된다.

본 연구는 선행연구에서 이루어진 식생평가체계의 보완 및 검증을 목적으로 수행하였으며, 선행연구에서 제시된 연구의 성과와 한계를 바탕으로 연구대상지의 확대에 따른 표본조사의 신뢰도 제고와 함께 식생지수 산정기준의 재설정, 식생군집 분류의 표준화, 아울러 식생평가지표의 평가등급화를 위한 종합점수 기준의 재설정 등을 통해 선행 및 제시된 기준의 적합성을 검토하였다.

본 연구에서 수행된 5개 연구대상지의 68개 평가단위 및 204개 표본조사구의 식생자료를 종합적으로 분석하여 검토한 결과 얻어진 결론은 다음과 같다. 첫째, 식생다양도 지수와 식생복잡도 지수, 그리고

식생자연도 지수로 이루어진 식생평가지표의 등급화는 일차적으로 적합하다고 판단되나 앞으로 보다 다양한 하천에 대한 적용 및 검증을 통해 지수별 가중치나 종합점수의 기준 조정 등이 필요한 것으로 판단되었다.

둘째, 식생평가지표의 등급화에 대한 식생지수의 기여도를 분석한 결과 식생자연도 지수가 다른 지수에 비해 보다 큰 역할을 하는 것으로 판단되었으나 3가지 식생지수의 상호보완적인 관계가 성립되어 있음을 확인할 수 있었다.

셋째, 선행 연구에서의 기준의 재검토 및 식생군집 분류의 표준화 작업 등을 통해 개정된 기준을 적용한 결과 등급간 변별력이 크게 확보되었음을 확인할 수 있었으나, 향후 등급별 대표 식생자료의 확대조사 및 적용을 통해 신뢰도를 더욱 확보해야 할 것으로 판단되었다.

넷째, 하천구간의 유형 1과 유형 2로 구분해서 적용 및 비교분석한 결과 식생지수나 식생평가지표의 등급화 결과측면에서 하천구간 유형 사이에는 명확한 차이는 없는 것으로 판단되었다. 하지만 하천구간의 유형 1과 유형 2의 하상경사에 따른 차이와 하상저질 및 하도 폭의 규모 등 다양한 물리적 특성의 차이가 있기 때문에 향후 확장연구를 통해 지속적으로 이를 검증해야 할 것으로 판단되었다.

다섯째, 과학적이고 신속한 하천식생평가체계의 정립을 위하여 고해상도 항공영상을 활용하여 현장조사의 정확성과 효율성을 증진시키기 위한 본 연구의 방법론은 가능성을 확인할 수 있었으나 표본조사 규모의 적정성이나 비용효과적인 측면에서 지속적으로 검토가 필요할 것으로 판단되었다.

사 사

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

References

Chun SH. 2016. Some problems and

- improvement of domestic system for river environment assessment. *Journal of Korean Society of Hazard Mitigation*. 16: 305-317. [Korean Literature]
- Chun SH, Kim WR, Kim C, Chae SK. 2015. A study on vegetational indicator and criteria for assessment of stream condition. *Journal of Korean Society of Hazard Mitigation*. 15: 301-312. [Korean Literature]
- Chun SH, Park SG, Chae SK. 2014. Review of Some Advanced Stream Environmental Assessment Systems. *Journal of Korean Society of Hazard Mitigation*. 14: 355-362. [Korean Literature]
- EC. 2000 Directive 2000/60/EC establishing a framework for community action in the field of water policy. *Official Journal of the European Communities*. L327. 1-71.
- Forman RTT. 1995. *Land Mosaics. The Ecology of Landscape and Regions*. Newyork, Cambridge University Press.
- Kamp U, Binder W, Holz K. 2007. River habitat monitoring and assessment in Germany. *Environ Monit Assess*. 127: 209-226.
- Maria RF, Francisca CA, Maria TF. 2010. Assessing Riparian Vegetation Structure and The influence of Land Use Using Landscape Metrics and Geostatistical Tools. *Landscape and Urban Planning*. 99: 166-177.
- Martin K, Paddy C. 1992. *Vegetation Description and Analysis*. John Wiley&Sons.
- Mitsch WJ, Gosselink JG. 2000. The value of Wetlands: Importance of Scale and Landscape Setting. *Ecological Economics*. 35: 25-33.
- Verdonschot PFM. 2000. Integrated Ecological Assessment Methods as A basis for Sustainable Catchment Management. *Hydrobiologia*. 422/423: 389-412.
- Water Resources Management Information System (WAMIS). 2002 <http://wamis.go.kr/>

Appendix 1. Total score and its grade of vegetation assessment indicator calculated by 34 assessment units at stream site studied

Assessment unit	No. of vegetation community				VDI		VCI		VNI		VAI			
	Tree com.	Shrub com.	Herbaceous com..	Total	Index Value	Score	Index Value	Score	Index Value	Score	criteria revised		previous criteria	
											Total score	Grade	Grade*	Grade**
YS-S1-R3-L	3	1	8	12	1.49	4	7.15	5	87.45	5	95	1	1	1
GS-S2-R8-L	2	2	6	10	1.17	3	5.94	5	84.62	5	90	1	1	1
YS-S1-R3-R	0	0	4	4	0.97	5	2.52	3	100.00	5	90	1	1	1
GS-S2-R1-L	2	1	8	11	1.24	3	4.72	4	88.41	5	85	2	3	1
GS-S2-R6-L	2	1	8	11	1.05	3	3.75	4	80.63	5	85	2	3	1
GS-S2-R1-R	2	1	10	13	1.61	4	3.61	4	82.49	5	85	2	1	1
GS-S2-R2-R	1	1	5	7	0.92	3	3.73	4	91.08	5	85	2	3	1
GS-S2-R4-R	1	1	8	10	1.32	4	2.19	3	86.61	5	85	2	2	1
GS-S2-R8-R	1	1	6	8	1.36	4	4.77	4	81.32	5	85	2	1	1
YS-S1-R6-L	2	1	5	8	1.03	3	3.25	4	83.34	5	85	2	2	1
YS-S1-R12-L	0	0	5	5	0.90	3	3.31	4	96.58	5	85	2	1	1
YS-S1-R6-R	2	1	4	7	1.03	3	3.03	4	91.94	5	85	2	1	1
YS-S1-R7-R	3	1	1	5	0.83	3	3.56	4	90.72	5	85	2	1	1
BS-S1-R3-L	0	0	3	3	0.44	3	3.26	4	96.90	5	85	2	1	2
GS-S2-R2-L	2	1	7	10	1.38	4	2.85	3	91.69	5	80	2	1	2
GS-S2-R4-L	1	1	8	10	1.35	3	6.79	5	65.92	4	80	2	2	2
GS-S2-R5-L	2	1	8	11	1.18	3	7.47	5	71.11	4	80	2	1	2
GS-S2-R7-R	2	1	6	9	0.86	2	4.95	4	81.48	5	80	2	2	2
YS-S1-R8-L	1	2	3	6	0.92	3	2.82	3	87.34	5	80	2	1	2
YS-S1-R10-L	1	1	4	6	0.56	2	3.12	4	90.58	5	80	2	2	2
YS-S1-R11-L	1	1	2	4	0.43	2	3.22	4	96.85	5	80	2	1	2
YS-S1-R15-L	0	0	4	4	0.58	3	3.60	4	99.06	5	80	2	1	2
YS-S1-R5-R	1	0	6	7	1.10	3	2.84	3	85.16	5	80	2	1	2
YS-S1-R9-R	1	1	5	7	0.79	3	2.98	3	89.31	5	80	2	1	2
YS-S1-R12-R	1	0	4	5	0.59	2	4.64	4	85.75	5	80	2	3	2
YS-S1-R4-L	2	1	5	8	0.67	2	2.62	3	92.16	5	75	3	2	2
YS-S1-R5-L	0	1	5	6	0.85	3	1.72	2	90.81	5	75	3	2	2
YS-S1-R7-L	1	0	5	6	1.11	4	2.26	3	66.52	4	75	3	2	2
YS-S1-R10-R	3	0	3	6	0.97	3	4.83	4	66.60	4	75	3	2	2
NR-S2-R1-L	2	0	4	6	0.51	2	2.93	3	91.17	5	75	3	2	2
NR-S1-R4-L	4	1	2	7	0.70	2	2.64	3	90.20	5	75	3	2	2
NR-S2-R12-L	1	1	5	7	0.86	3	1.17	2	91.15	5	75	3	2	2
BS-S1-R18-L	1	1	2	4	0.65	3	1.92	2	100.00	5	75	3	2	2
BS-S1-R18-R	1	1	4	6	0.76	3	1.67	2	100.00	5	75	3	3	2
GS-S2-R7-L	1	0	4	5	0.59	2	3.18	4	46.24	3	70	3	2	3
GS-S2-R6-R	3	1	6	10	1.35	3	2.64	3	74.95	4	70	3	2	3
YS-S2-R1-L	1	0	9	10	1.25	3	7.63	5	41.18	3	70	3	2	3
YS-S1-R9-L	1	0	3	4	0.77	3	2.87	3	75.23	4	70	3	2	3
YS-S1-R14-L	0	2	3	5	0.58	2	1.11	2	83.33	5	70	3	1	3
YS-S1-R8-R	1	2	4	7	0.95	3	2.08	3	72.25	4	70	3	1	3

Appendix 1. Continued

Assessment unit	No. of vegetation community				VDI		VCI		VNI		VAI			
	Tree com.	Shrub com.	Herbaceous com..	Total	Index Value	Score	Index Value	Score	Index Value	Score	criteria revised		previous criteria	
											Total score	Grade	Grade*	Grade**
NR-S2-R1-R	1	1	4	6	0.58	2	1.74	2	100.00	5	70	3	3	3
NR-S2-R10-R	0	1	6	7	1.00	3	0.98	1	92.50	5	70	3	3	3
NS-S2-R12-L	0	0	2	2	0.34	3	1.67	2	100.00	5	70	3	2	3
NS-S2-R10-R	0	0	2	2	0.34	3	0.13	1	100.00	5	70	3	3	3
BS-S1-R8-L	2	0	2	4	0.17	1	2.99	3	100.00	5	70	3	3	3
BS-S1-R3-R	0	0	3	3	0.22	2	1.62	2	100.00	5	70	3	3	3
YS-S1-R4-R	0	0	3	3	0.34	2	2.83	3	71.71	4	65	4	2	3
YS-S1-R11-R	2	1	5	8	0.77	2	5.14	5	63.45	3	65	4	2	3
YS-S1-R15-R	0	0	3	3	0.22	2	0.77	1	93.11	5	65	4	3	3
NS-S2-R11-L	0	0	2	2	0.23	2	0.26	1	100.00	5	65	4	3	3
NS-S2-R11-R	1	0	2	3	0.21	2	0.45	1	100.00	5	65	4	3	3
NS-S2-R12-R	1	0	0	1	0.00	1	1.57	2	100.00	5	65	4	4	3
GS-S2-R3-L	1	0	5	6	0.68	2	4.43	4	33.93	2	60	4	3	3
YS-S2-R1-R	1	0	4	5	0.85	3	5.59	5	28.19	2	60	4	2	3
YS-S1-R13-R	0	0	4	4	0.33	2	3.40	4	55.04	3	60	4	3	3
NR-S2-R12-R	1	0	6	7	0.81	3	0.99	1	65.86	4	60	4	3	3
NS-S2-R10-L	0	0	2	2	0.00	1	0.16	1	100.00	5	60	4	4	3
NS-S2-R13-L	0	0	1	1	0.00	1	0.12	1	100.00	5	60	4	4	3
NS-S2-R13-R	0	0	2	2	0.00	1	0.12	1	100.00	5	60	4	3	3
BS-S1-R8-R	2	0	1	3	0.22	2	1.20	2	66.67	4	60	4	3	3
GS-S2-R3-R	2	1	4	7	0.72	4	2.69	3	25.47	2	55	5	3	3
YS-S2-R2-L	1	2	9	12	0.98	2	7.92	5	30.24	2	55	5	2	3
YS-S1-R13-L	0	1	7	8	1.12	3	3.32	4	35.05	2	55	5	3	3
YS-S1-R14-R	0	0	3	3	0.42	2	2.35	3	56.51	3	55	5	3	3
NR-S1-R4-R	1	1	2	4	0.45	2	0.80	1	79.67	4	55	5	3	3
GS-S2-R5-R	1	0	3	4	0.58	3	0.97	1	47.05	3	50	5	3	3
NR-S2-R10-L	2	1	3	6	0.71	2	1.19	2	57.07	3	50	5	3	3
YS-S2-R2-R	1	2	5	8	0.61	2	7.98	5	16.89	1	45	5	3	4

Grade * : Application of previous criteria of vegetation community and total score

Grade ** : Application of new criteria of vegetation community and previous total score

Revised : Application of new criteria of vegetation community and total score revised

Appendix 2. Total score and its grade of vegetation assessment indicator by segment type (1) at stream site studied

Assessment unit	No. of vegetation community				VDI		VCI		VNI		VAI			
	Tree com.	Shrub com.	Herbaceous com..	Total	Index Value	Score	Index Value	Score	Index Value	Score	criteria revised		previous criteria	
											Total score	Grade	Grade*	Grade**
YS-S1-R3-L	3	1	8	12	1.49	4	7.15	5	87.45	5	95	1	1	1
YS-S1-R3-R	0	0	4	4	0.97	5	2.52	3	100.00	5	90	1	1	1
YS-S1-R6-L	2	1	5	8	1.03	3	3.25	4	83.34	5	85	2	2	1
YS-S1-R12-L	0	0	5	5	0.90	3	3.31	4	96.58	5	85	2	1	1
YS-S1-R6-R	2	1	4	7	1.03	3	3.03	4	91.94	5	85	2	1	1
YS-S1-R7-R	3	1	1	5	0.83	3	3.56	4	90.72	5	85	2	1	1
BS-S1-R3-L	0	0	3	3	0.44	3	3.26	4	96.90	5	80	2	2	2
YS-S1-R8-L	1	2	3	6	0.92	3	2.82	3	87.34	5	80	2	1	2
YS-S1-R10-L	1	1	4	6	0.56	2	3.12	4	90.58	5	80	2	2	2
YS-S1-R11-L	1	1	2	4	0.43	2	3.22	4	96.85	5	80	2	1	2
YS-S1-R15-L	0	0	4	4	0.58	3	3.60	4	99.06	5	80	2	1	2
YS-S1-R5-R	1	0	6	7	1.10	3	2.84	3	85.16	5	80	2	1	2
YS-S1-R9-R	1	1	5	7	0.79	3	2.98	3	89.31	5	80	2	1	2
YS-S1-R12-R	1	0	4	5	0.59	2	4.64	4	85.75	5	80	2	3	2
YS-S1-R4-L	2	1	5	8	0.67	2	2.62	3	92.16	5	75	3	2	2
YS-S1-R5-L	0	1	5	6	0.85	3	1.72	2	90.81	5	75	3	2	2
YS-S1-R7-L	1	0	5	6	1.11	4	2.26	3	66.52	4	75	3	2	2
YS-S1-R10-R	3	0	3	6	0.97	3	4.83	4	66.60	4	75	3	2	2
NR-S1-R4-L	4	1	2	7	0.70	2	2.64	3	90.20	5	75	3	2	2
BS-S1-R18-L	1	1	2	4	0.65	3	1.92	2	100.00	5	75	3	2	2
BS-S1-R18-R	1	1	4	6	0.76	3	1.67	2	100.00	5	75	3	3	2
YS-S1-R9-L	1	0	3	4	0.77	3	2.87	3	75.23	4	70	3	2	3
YS-S1-R14-L	0	2	3	5	0.58	2	1.11	2	83.33	5	70	3	1	3
YS-S1-R8-R	1	2	4	7	0.95	3	2.08	3	72.25	4	70	3	1	3
BS-S1-R8-L	2	0	2	4	0.17	1	2.99	3	100.00	5	70	3	3	3
BS-S1-R3-R	0	0	3	3	0.22	2	1.62	2	100.00	5	70	3	3	3
YS-S1-R4-R	0	0	3	3	0.34	2	2.83	3	71.71	4	65	4	2	3
YS-S1-R11-R	2	1	5	8	0.77	2	5.14	5	63.45	3	65	4	2	3
YS-S1-R15-R	0	0	3	3	0.22	2	0.77	1	93.11	5	65	4	3	3
YS-S1-R13-R	0	0	4	4	0.33	2	3.40	4	55.04	3	60	4	3	3
BS-S1-R8-R	2	0	1	3	0.22	2	1.20	2	66.67	4	60	4	3	3
YS-S1-R13-L	0	1	7	8	1.12	3	3.32	4	35.05	2	55	5	3	3
YS-S1-R14-R	0	0	3	3	0.42	2	2.35	3	56.51	3	55	5	3	3
NR-S1-R4-R	1	1	2	4	0.45	2	0.80	1	79.67	4	55	5	3	3

Grade * : Application of previous criteria of vegetation community and total score

Grade ** : Application of new criteria of vegetation community and previous total score

Revised : Application of new criteria of vegetation community and total score revised

Appendix 3. Total score and its grade of vegetation assessment indicator by segment type (2) at stream site studied

Assessment unit	No. of vegetation community				VDI		VCI		VNI		VAI			
	Tree com.	Shrub com.	Herbaceous com..	Total	Index Value	Score	Index Value	Score	Index Value	Score	criteria revised		previous criteria	
											Total score	Grade	Grade*	Grade**
GS-S2-R8-L	2	2	6	10	1.17	3	5.94	5	84.62	5	90	1	1	1
GS-S2-R1-L	2	1	8	11	1.24	3	4.72	4	88.41	5	85	2	3	1
GS-S2-R6-L	2	1	8	11	1.05	3	3.75	4	80.63	5	85	2	3	1
GS-S2-R1-R	2	1	10	13	1.61	4	3.61	4	82.49	5	85	2	1	1
GS-S2-R2-R	1	1	5	7	0.92	3	3.73	4	91.08	5	85	2	3	1
GS-S2-R4-R	1	1	8	10	1.32	4	2.19	3	86.61	5	85	2	2	1
GS-S2-R8-R	1	1	6	8	1.36	4	4.77	4	81.32	5	85	2	1	1
GS-S2-R2-L	2	1	7	10	1.38	4	2.85	3	91.69	5	80	2	1	2
GS-S2-R4-L	1	1	8	10	1.35	3	6.79	5	65.92	4	80	2	1	2
GS-S2-R5-L	2	1	8	11	1.18	3	7.47	5	71.11	4	80	2	2	2
GS-S2-R7-R	2	1	6	9	0.86	2	4.95	4	81.48	5	80	2	1	2
NR-S2-R1-L	2	0	4	6	0.51	2	2.93	3	91.17	5	75	3	2	2
NR-S2-R12-L	1	1	5	7	0.86	3	1.17	2	91.15	5	75	3	2	2
GS-S2-R7-L	1	0	4	5	0.59	2	3.18	4	46.24	3	70	3	2	3
GS-S2-R6-R	3	1	6	10	1.35	3	2.64	3	74.95	4	70	3	2	3
YS-S2-R1-L	1	0	9	10	1.25	3	7.63	5	41.18	3	70	3	2	3
NR-S2-R1-R	1	1	4	6	0.58	2	1.74	2	100.00	5	70	3	3	3
NR-S2-R10-R	0	1	6	7	1.00	3	0.98	1	92.50	5	70	3	3	3
NS-S2-R12-L	0	0	2	2	0.34	3	1.67	2	100.00	5	70	3	2	3
NS-S2-R10-R	0	0	2	2	0.34	3	0.13	1	100.00	5	70	3	3	3
NS-S2-R11-L	0	0	2	2	0.23	2	0.26	1	100.00	5	65	4	3	3
NS-S2-R11-R	1	0	2	3	0.21	2	0.45	1	100.00	5	65	4	3	3
NS-S2-R12-R	1	0	0	1	0.00	1	1.57	2	100.00	5	65	4	4	3
GS-S2-R3-L	1	0	5	6	0.68	2	4.43	4	33.93	2	60	4	3	3
YS-S2-R1-R	1	0	4	5	0.85	3	5.59	5	28.19	2	60	4	2	3
NR-S2-R12-R	1	0	6	7	0.81	3	0.99	1	65.86	4	60	4	3	3
NS-S2-R10-L	0	0	2	2	0.00	1	0.16	1	100.00	5	60	4	4	3
NS-S2-R13-L	0	0	1	1	0.00	1	0.12	1	100.00	5	60	4	4	3
NS-S2-R13-R	0	0	2	2	0.00	1	0.12	1	100.00	5	60	4	3	3
GS-S2-R3-R	2	1	4	7	0.72	4	2.69	3	25.47	2	55	5	3	3
YS-S2-R2-L	1	2	9	12	0.98	2	7.92	5	30.24	2	55	5	2	3
GS-S2-R5-R	1	0	3	4	0.58	3	0.97	1	47.05	3	50	5	3	3
NR-S2-R10-L	2	1	3	6	0.71	2	1.19	2	57.07	3	50	5	3	3
YS-S2-R2-R	1	2	5	8	0.61	2	7.98	5	16.89	1	45	5	3	4

Grade * : Application of previous criteria of vegetation community and total score

Grade ** : Application of new criteria of vegetation community and previous total score

Revised : Application of new criteria of vegetation community and total score revised