

어류군집 특성과 하안형태복잡도와의 관계*

김진아¹⁾ · 이상우²⁾ · 황길순³⁾ · 김철구⁴⁾

¹⁾ 건국대학교 환경과학과 대학원 · ²⁾ 건국대학교 환경과학전공 · ³⁾ 한라건설 · ⁴⁾ 수생태복원 사업단

Relationship between fish assemblages community and Streamline complexity*

Kim, Jin-Ah¹⁾ · Lee, Sang-Woo²⁾ · Hwang, Gil-Son³⁾ and Kim, Chulgoo⁴⁾

¹⁾ Dept. of Environmental Science, Graduate School, Konkuk University,

²⁾ Dept of Environmental Science, Konkuk University,

³⁾ Halla Engineering&Construction,

⁴⁾ Center for Aquatic Ecosystem Restoration, Kangwon National University, Chuncheon 200-701.

ABSTRACT

Numerous studies suggested that fish assemblage structure reflects the status of stream ecosystems. The status of streams integrity, including various trophic levels, water quality and habitat degradation, can be assessed by fish assemblages. In this study, we investigated the relationships between fish assemblages and streamline geometry of streams. Previous studies suggested that geomorphologic parameter can be a critical factor of permeability between adjacent two systems. From a landscape ecological perspective, edges may partially control the flow rate of energy between two adjacent systems. Thus, the Streamline geometry can be a geomorphologic parameter that exhibits the integrity of stream. We selected the Nakdong river for study areas, which is one of major rivers and the longest (525 km) River in South Korea. We used the revised IBI representing overall ecological characteristics of Korean fish assemblages and eight sub-assessment criteria of IBI, collected from 82 sampling sites in the Nakdong River. For calculating the Streamline geometry, we measured fractal dimension index that generally used in biology, ecology and landscape ecology. We used the digital land-use/land-cover

* 본 연구는 환경부 수생태복원사업단의 “자연하안 유도공법 개발(과제번호 : EW13-07-10)”의 연구비 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사를 드립니다.

Corresponding author : Lee, Sang-Woo, Dept of Environmental Science, Konkuk University,

Tel : +82-2-450-4120, E-mail : sw17311@konkuk.ac.kr

Received : 2 January, 2012. **Revised** : 6 February, 2012. **Accepted** : 12 March, 2012.

map and generated a 1-km buffer for each sampling site and refined the shape of the Streamlines. Pearson correlation analyses were performed between Streamline geometry and IBI and sub- assessment criteria of IBI. The results show that IBI and eight sub-assessments of fish are significantly correlated with geometry of Streamline. The fractal dimension of Streamline geometry were related with IBI ($r = 0.48$) and six sub-assessments of IBI, including total number of native fish and native species, the number of riffle benthic species, sensitive species, tolerant species and native insectivore. Especially, the number of tolerant species($r = -0.52$) and native insectivore($r = 0.52$) show strong correlation with geometry of Streamline. These results indicate that lower Streamline geometry can result in poor fish assemblages, while higher geometry of Streamline can enhance fish assemblages by potentially supplying insects and better habitat conditions. We expect the results of our study to be useful for stream restoration and management. However, we see the necessity of study investigating the mechanisms how Streamline geometry affect fish assemblages.

Key Words : Index of Biotic Integrity, *Fractal dimension*, *GIS*, *Streamline geometry*, *Stream restoration*.

I. 서 론

하천은 수질 등 환경적 자정작용 기능과 더불어 생물의 서식처 이동에 이용되는 생태통로 역할을 하고 있으며(국립환경과학원, 2009), 특히 이러한 기능은 하천과 육상생태계를 잇는 하안에서 그 중요성이 두드러진다. 하천 생태계에 있어서 중요한 공간으로 인식되고 있는 하안이 포함되는 수변지역은 고유의 특성을 가지고 있는데, 특히 생물종 다양성과 종밀도가 높고, 그에 따른 생물학적 생산력이 매우 높다(최지용·정유진, 2000). 하안은 하천과 육상생태계가 접하는 전이지대(transitional zone) 또는 생태추이대(ecotone)로 하천 수량의 확보, 침식방지, 야생 동식물 서식지 제공을 통한 생물 다양성의 증대, 오염원의 흡수 및 여과를 통한 수질개선, 경관 및 심미적 기능 등 중요한 역할들을 수행하고 있다. 하안은 수생태계와 육지생태계, 두 개의 다른 생태계의 가장자리의 조합으로 이해되어 진다. 가장자리(edge)는 접하는 두 계(systems)의 에너지 및 물질의 흐름을 조절에 있어서 중요한 인자로 알려져 있으며(Forman, 1995), 이러한 조절효과는 가

장자리의 투과성 및 흐름의 특성에 의해 결정된다(Wiens, 1992; Forman, 1995; Cadenasso and Pickett, 2000). 조각규모(patch scale)에서는 조각 형태의 복잡성이 조각이 가지는 물질 혹은 에너지의 투과성에 큰 영향을 주는 것으로 알려져 있다(McGarigal and Marks, 1995). 또한, 하안의 형태적, 물리적 구조와 특성은 하천의 6대 기능인 통로기능, 여과기능, 장벽기능, 서식처기능, 공급원 및 소멸지기능(Forman, 1995)을 결정한다. 6대 기능에 영향을 주는 하천 생태계의 건강성은 하안의 형태적, 물리적 구조를 나타내는 하안형태복잡도(Streamline complexity)에 영향을 받는다고 볼 수 있다.

한편, 하천 생태계의 건강성 평가에 있어서는 다양한 지표들이 이용되는데, 어류 또한 그 중의 하나이다. 어류는 단기적 환경변화뿐만 아니라 장기적 환경변화, 두 가지 모두에 의해 환경스트레스를 받는다. 또한 어류군집은 하천의 다양한 영양단계를 나타내며, 수질 또는 서식지 환경의 저하에 대한 내성의 범위를 대표한다. 이러한 이유로, 어류군집의 구조는 수생태계의 전반적인 건강성을 반영하는 지표로써 이용이 가능하여 하

천 생태계의 전반적인 상태를 나타내는 데에 이용되어 왔다(USEPA, 2002). 최근 연구에서는 이러한 하천의 건강성을 평가하는 접근 방법으로 어류군집을 이용한 방법이 국내에 보고되고 있다(Lee et al., 2011). 어류생태지수(ABI, Index of Biotic Integrity)는 Karr(1981)에 의해서 12 항목으로 어류군집을 측정된 결과로 개발된 지표로, 이 지표는 한국의 어류군집의 생태적 특성에 맞게 12 항목에서 8 항목으로 변경되어 새로운 어류생태지수(ABI, Index of Biotic Integrity)로 개발되었으며, 이는 한국의 전반적인 전국단위 수생태계 건강성 조사 및 평가에 이용되어왔다(환경부, 2009).

이러한 관점에서 본 연구는 하천 생태계의 전반적인 건강성의 수준을 나타내는 지표가 될 수 있는 어류생태지수(ABI)와 하안의 형태적, 물리적 구조를 나타내는 하안형태복잡도를 비교함으로써, 하천 생태계에 있어서 하안의 형태적 복잡성과 하천 생태계의 건강성의 관계를 규명하는 데에 그 목적을 두고 있다. 보다 생태적으로 건강한 하천으로 복원하기 위한 방안으로, 하안의 형태적, 물리적 구조와 어류군집의 특성에 대한 영향을 규명함으로써 조정 및 녹지계획, 하천기본계획에 하안형태복잡도를 고려할 수 있는 근거를 제시하고자 한다.

II. 재료 및 방법

1. 연구 대상 하천

본 연구의 대상지인 낙동강은 본류의 길이 525.15km로 남한에서 제일 긴 강이며, 강원도 태백시에서 발원하여 영남지방의 중앙저지대를 통해 남해로 흘러든다. 총 유역면적은 23,384km²이며 평균하폭은 143.19m, 평균수심은 47.41cm 그리고 평균유속 39.19cm/s이며, 유역 연평균 강수량은 1,028mm로 60% 이상의 강우가 여름에 발생하며, 특히 7월부터 9월 사이에 집중된다. 한국의 4대강 중 하나로 농업 및 공업 발전에 크게 공

헌하고 있으며, 약 1,300만 명의 인구에 식수를 공급하고 있다(Park and Lee, 2002; Park et al., 2006.).

2. 어류생태지수(ABI, Index of Biotic Integrity)

어류군집의 생태 건강성에 대한 분석과 관련하여 2009년도 환경부 산하의 국립환경과학원에 의해 수행된 전국단위 수생태계 건강성 조사 및 평가 자료를 기초로 하여 분석하였다. 본 자료는 총 721개의 조사지점에 대한 점(point) 자료로 조사·평가 지점의 정확한 위치 또한 포함하고 있으며, 우리나라 하천의 전반적인 생태를 전국단위에서 조사한 매우 중요한 자료이다. 본 연구에서는 총 조사지점 721개 지점 중 낙동강의 안동댐 구간부터 낙동강 하구언 구간에 해당하는 82개 지점에 대한 조사 결과를 이용하였다. 이 자료에는 하천의 생태 건강성의 척도가 될 수 있는 다양한 지수들을 이용하여, 하천의 건강성을 평가하였다. 그 평가항목들은 부착조류, 저서성 대형무척추동물, 어류, 서식 및 수변환경 그리고 생물서식처로 이루어져 있으며, 각각의 항목들은 조사 지수 및 지표를 적용하여 생태 건강성 수준을 계량화하고 수생태계의 건강성을 종합적으로 평가하였다. 다섯 가지의 평가항목 중 어류 평가항목을 이용하였으며, 어류 평가항목을 위한 조사는 홍수기 전(3, 4월), 후(9, 10월)에 수행되었으며, 환경부의 물환경종합평가개발 조사연구(2006) 및 수생태계 건강성 조사계획 수립 및 지침(2007)의 어류조사방법에 의거(Wading method에 기초)하여 수행되었다. 어류에 관한 평가는 국내종의 총 종수, 여울성 저서종수, 민감종수, 내성종의 개체수 비율, 잡식종의 개체수 비율, 국내종의 총식종 개체수 비율, 채집된 국내종의 총개체수, 비정상종의 개체수 비율 등 총 8개의 항목(metrics)을 이용하여 산정한 모델값인 어류생태지수(ABI)를 이용하였다. 어류생태지수(ABI)는 Karr(1981)이 제시한 개념으로 환경 스트레스가 어류의 분포양상, 내성 및 수직적 영양구조에 어떠한

영향을 미치는 지를 정량화하여 하천 생태계를 복원하는 데에 목표를 두고 있다(Karr, 1981; Yoder and Smith, 1999.). 본 자료에서는 Karr이 제시한 12개의 항목(metrics) 중에서 위에서 제시하였듯이 우리나라 하천에 적용이 가능한 8개의 항목을 수정하여 평가하였으며, 수정된 어류생태지수(ABI)는 1부터 40의 범위의 값에서 표현되었다. 표현된 지수 값은 10 단위로 A등급(최적, 31~40), B등급(양호, 21~30), C등급(보통, 11~20), D등급(불량, 1~10) 네 가지의 등급으로 나누었다. 본 연구에서는 이 중에서, 보다 상세한 분석 결과를 얻기 위하여 어류생태지수(ABI)를 이용하였다. 하안 복잡도와 어류군집의 생태 건강성과의 관계를 밝히기 위하여 각각의 8개 항목들과 이를 이용하여 도출해 낸 어류생태지수(ABI)를 이용하였다.

3. 하안형태복잡도 평가

본 연구에서는 2007년 환경부에서 제작한 토지피복분류도를 이용하여 연구대상지인 낙동강의 하안형태복잡도를 분석하였다. 환경부에서 배

포한 토지피복분류도는 위성사진을 주된 자료로 이용하여 지표면의 물리적 상태를 분류하여 지표면의 자연상태를 분석 및 표시한 지도로 환경관리를 위한 용도로써 널리 활용되고 있다. 토지피복분류도는 국토공간의 피복상태를 표현하기 때문에 피복변화의 시계열 분석이 가능하며, 환경분야에서 지역, 구역, 권역별 오염 부하량과 환경용량 산출 등에 흔히 활용된다.

83개의 조사지점의 하안 복잡도를 분석하기 위해서 경관생태 분석기법의 하나인 프랙탈(Fractal) 기법을 이용하였다. 프랙탈 차원의 분석은 그 객체의 복잡성을 하위단위로 나누어 본질적인 규칙성을 기술할 수 있도록 하며, 경관 조각 모양과 유형을 결정하는 과정의 규모를 결정하고, 경관 조각 또는 생태계의 관찰에 본질적으로 내재되어 있는 어려움을 이해하는 데도 유용하다(이도원 등, 2000). 또한 프랙탈 분석은 생태학 및 경관생태학 전반에 널리 이용되고 있다(Garcia et al., 2005). 이를 위하여 경관요소들의 공간적 특성 분석을 위하여 설계된 경관생태 전문분석 프로그램 FRAGSTATS 3.3을 사용하였

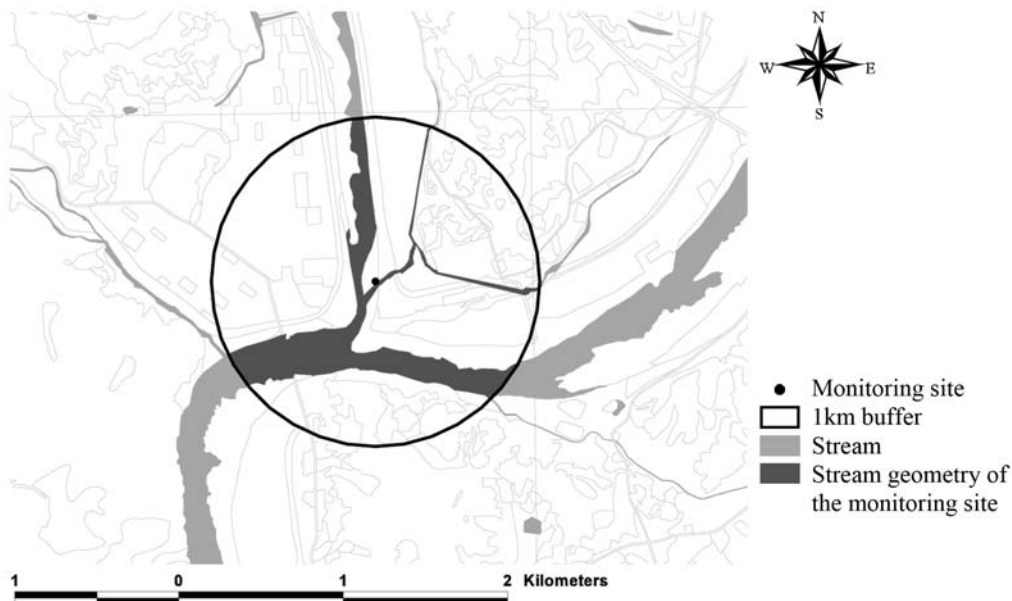


그림 1. 하안 선형 추출 작업.

다(McGarigal and Marks, 1995).

하안 복잡도를 도출하기 위해서 환경부의 토지피복분류도 및 수생태계 건강성 조사 지점 GIS 벡터파일을 중첩한 후, 82개의 조사점을 중심으로 반경 1km의 buffer를 생성하였다. 생성한 1km-buffer 생성 파일과 토지피복분류도 GIS 벡터파일을 CADD(Computer Aided Drawing and Drafting) 형식의 파일로 변환한 후, 중첩하였다. 1km 반경의 buffer안에 속하는 하안 선형들 중 일부가 교각과 같은 장애물들로 인하여 끊어져 있는 곳이 있어 실제 위성사진을 이용하여 CADD프로그램에서 하안선형 조절작업을 수행하였다. 이러한 작업을 통하여 도출된 조절된 하안선형 파일을 5m의 해상도를 가진 그리드(GRID) 형식파일로 변환 한 후, 하안 선형의 형태복잡도를 프랙탈지수를 이용하여 측정하였다. 지수의 범위 값은 1에서 2로, 원 또는 정사각형의 경우에 지수값은 1을 나타내며, 조각의 모양이 불규칙하고 복잡할수록 지수의 값은 점점 2에 가까워진다. 프랙탈 지수 중 본 연구에서는 FRAC_MN을 사용하였는데, FRAC_MN은 형태 복잡도의 평균값으로 반경 1km의 buffer 안에서 두 가지 이상의 조각이 존재할 때, 각각의 조각에 해당하는 프랙탈 지수를 합산한 후, 조각의 개수

로 나눈 값, 즉 평균값이다. 이렇게 도출한 82개 지점의 하안 선형의 복잡도 지수와 어류생태지수(IBM) 및 어류생태지수를 구성하는 8가지의 항목과 상관관계 분석을 실시하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 어류생태지수, 어류생태지수 평가항목 및 하안 복잡도 기술통계량

표 1은 어류생태지수(IBM) 및 8가지의 어류생태지수 평가항목들의 기술통계량을 요약한 표이다. 낙동강의 어류생태지수(IBM) 평균은 17.88로 C등급(보통, 11~20)으로 나타났으며, 최소값은 11(C등급, 보통), 최대값은 31(A등급, 최적)로 최적은 아니더라도 대체적으로 양호한 상태를 보였다. 어류생태지수(IBM)를 이루는 평가항목들의 기초통계량에서는 각각 국내종의 총 종수는 6.45종, 여울성 저서종수는 0.95종, 민감종수는 1.70종이 평균이었으며, 내성종의 개체수 비율은 61.47%, 잡식종의 개체수 비율은 34.66%, 국내종의 총식종 개체수 비율은 31.89%로 나타났다. 채집된 국내종의 총 개체수는 105.70종이었으며, 비정상종의 개체수 비율은 0.05%로 나타났다. 표 1의 8개 평가항목들의 최소값, 최대값 그

표 1. 어류생태지수(IBM), 8가지 평가항목, 하안형태복잡도(Streamline complexity)의 기술통계량.

측정항목	최소	최대	평균	표준편차
어류생태지수 (IBM)	11	31	17.88	5.26
국내종의 총 종수	1	13	6.45	2.85
여울성 저서종수	0	4	0.95	1.01
민감종수	0	7	1.70	1.72
내성종의 개체수 비율 (%)	0	100	61.47	35.46
잡식종의 개체수 비율 (%)	0	91	34.66	25.20
국내종의 총식종 개체수 비율 (%)	0	100	31.89	32.02
채집된 국내종의 총 개체수	2	570	105.70	75.09
비정상종의 개체수 비율 (%)	0	2	0.05	0.25
하안 복잡도(FRAC_MN)	1.08	1.40	1.25	0.08

n = 82

리고 평균값을 통하여 낙동강의 어류 생태 건강성의 정도가 매우 다양하다는 것을 알 수 있다. 특히, 채집된 국내종의 총 개체수는 최소값과 최대값이 각각, 2종과 570종으로 조사지점에 따라 어류 생태 건강성이 매우 불량한 곳이 존재함을 알 수 있으며, 또한 조사지점간의 차이가 크다는 것을 알 수 있다.

하안 복잡도의 기술 통계량은 다음의 표 2와 같으며, 최소값은 1.08, 최대값은 1.40 그리고 평균값은 1.25로 나타났다. FRAC_MN의 값은 1에서 2까지의 범위를 가지며, 1에 가까울수록 낮은 형태복잡도를, 2에 가까울수록 높은 형태복잡도를 나타내므로 최소값에 가까울수록 단순한 하안 선형의 형태를 가지고 있음을 나타낸다.

2. 어류생태지수, 어류생태지수 평가항목 및 하안 복잡도 상관분석 결과

어류생태지수(IBI), 8가지의 평가항목(국내종의 총 종수, 여울성 저서종수, 민감종수, 내성종의 개체수 비율, 잡식종의 개체수 비율, 국내종의 총식종 개체수 비율, 채집된 국내종의 총 개체수, 비정상종의 개체수 비율) 그리고 하안 복잡도(FRAC_MN)를 Pearson 상관계수를 이용하여 상

관분석하였다. 먼저, 어류생태지수(IBI)와 어류생태지수 평가항목의 상관분석에서 내성종의 개체수 비율($r = -0.90$)과 잡식종의 개체수 비율($r = -0.45$)은 뚜렷한 음의 상관관계를 보였으며, 특히 내성종의 개체수 비율은 강한 음적 선형관계를 나타내었다. 반면, 여울성 저서종수($r = 0.33$), 민감종수($r = 0.68$), 국내종의 총식종 개체수 비율($r = 0.91$), 채집된 국내종의 총 개체수($r = 0.22$), 비정상종의 개체수 비율($r = 0.23$)에서는 양의 상관관계를 보였으며, 특히 민감종수, 국내종의 총식종 개체수 비율은 강한 양적 선형관계를 보였다. 반면 국내종의 총 종수 및 비정상종의 개체수 비율에서는 유의한 상관관계가 나타나지 않았다. 어류생태지수(IBI)와 음의 상관관계를 보이는 내성종의 개체수 비율과 잡식종의 개체수 비율 평가항목의 경우, 비율이 낮을수록 어류군집의 건강성이 양호할 확률이 높다는 것으로 분석되며, 유의한 상관관계를 보이는 4가지의 평가항목은 그 반대로 비율이 낮을수록 어류군집의 건강성이 낮을 확률이 높다는 것으로 분석된다.

하안 복잡도(FRAC_MN)과 어류생태지수(IBI) 그리고 어류생태지수 평가항목의 상관분석에서는 어류생태지수(IBI)($r = 0.48$), 국내종의 총 종수

표 2. 어류생태지수(IBI), 8가지 평가항목, 하안형태복잡도의 상관관계 분석 결과.

측정항목	IBI	M ₁	M ₂	M ₃	M ₄	M ₅	M ₆	M ₇	M ₈
FRAC_MN	0.48**	0.34**	0.26*	0.43**	-0.52**	0.15	0.52**	0.37**	0.20
IBI		0.18	0.33**	0.68**	-0.90**	-0.45**	0.91**	0.22*	0.23*
M ₁			0.55**	0.51**	-0.23*	0.54**	0.12	0.44**	-0.04
M ₂				0.58**	-0.28*	0.14	0.24*	0.28*	0.5
M ₃					-0.69**	-0.69	0.68**	0.26*	0.06
M ₄						0.30**	-0.96**	-0.22*	-0.21
M ₅							-0.41**	0.31**	-0.07
M ₆								0.18	0.23*
M ₇									0.05

n = 82, * : $p < 0.05$, ** : $p < 0.01$, M₁ : 국내종의 총 종수, M₂ : 여울성 저서종수, M₃ : 민감종수, M₄ : 내성종의 개체수 비율, M₅ : 잡식종의 개체수 비율, M₆ : 국내종의 총식종 개체수 비율, M₇ : 채집된 국내종의 총 개체수.

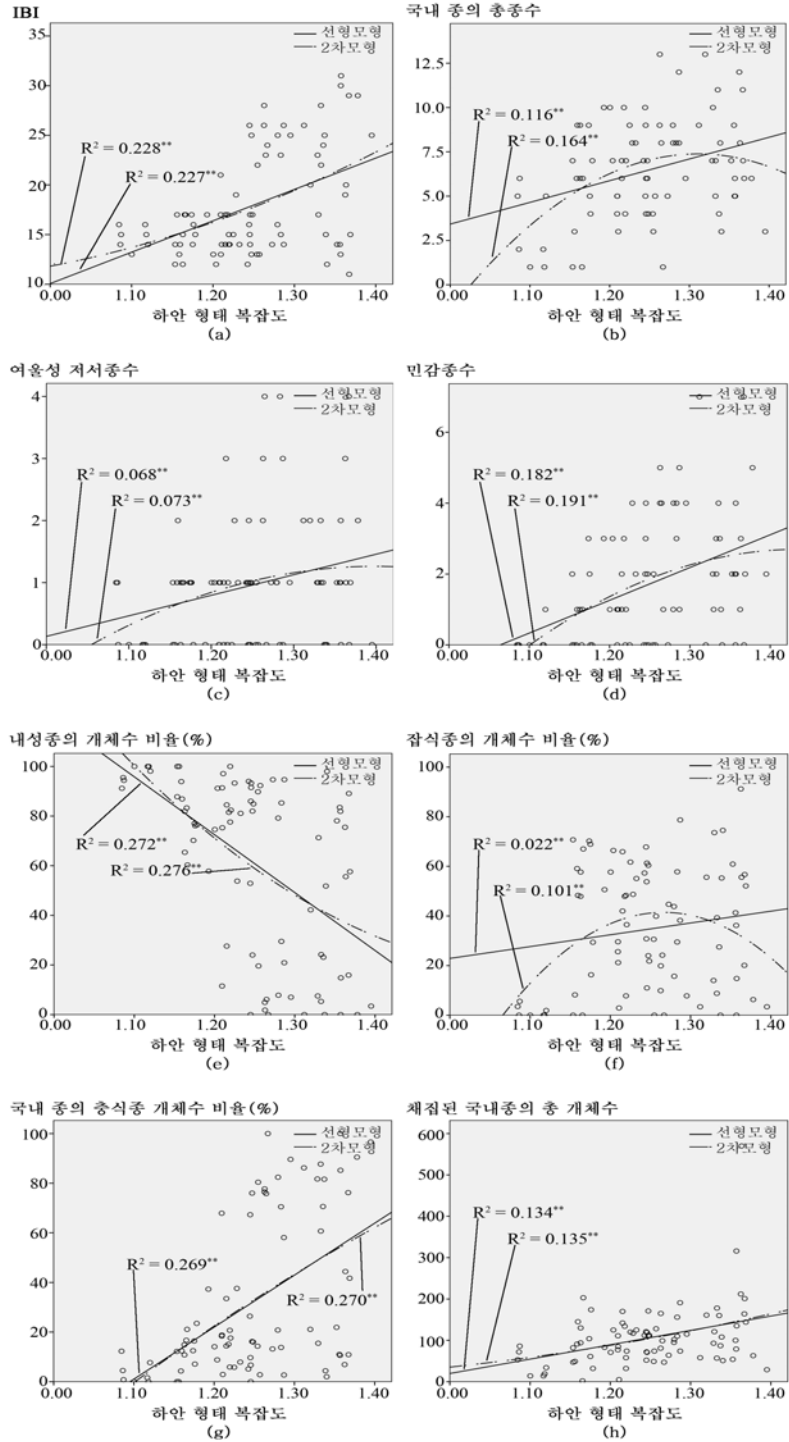


그림 2. 어류생태지수(IBI), 7가지 평가항목과 하안형태복잡도 (Streamline complexity)의 곡선 추정 결과.

($r = 0.34$), 민감중수($r = 0.43$), 내성종의 개체수 비율($r = -0.52$), 국내종의 총식중 개체수 비율($r = 0.52$), 채집된 국내종의 총 개체수($r = 0.37$)에서 뚜렷한 유의관계를 갖는 것으로 나타났으며, 여울성 저서중수($r = 0.26$)에서는 약한 유의관계를 보였다. 앞서 실시한 어류생태지수(ABI)와 어류생태지수 평가항목과의 상관관계 분석과 같이 내성종의 개체수 비율에서 음의 상관관계를 보이며, 여울성 저서중수, 민감중수, 국내종의 총식중 개체수 비율, 국내종의 총 개체수에서 양의 상관관계를 보였다. 하안 복잡도(FRAC_MN)와 어류생태지수(ABI) 또한 양의 상관관계를 보이며, 이러한 분석결과는 복잡도가 증가함에 따라 어류군집의 건강성이 양호할 확률이 높다는 것으로 분석된다.

3. 하안형태복잡도(Streamline complexity)와 어류생태지수(ABI), 8가지 평가항목의 비선형성

하안형태복잡도(Streamline complexity)와 어류생태지수(ABI) 그리고 8가지 평가항목이 어떠한 관계를 가지는지 알아보기 위하여 그래프로 나타내었으며, 회귀분석의 곡선 추정을 수행하였다. 곡선 추정은 선형모형, 2차 모형, 3차 모형, 대수 모형 네 가지를 비교·분석하였으며, 그 결과 2차 모형이 높은 설명력을 보였다. 하안형태복잡도와 유의한 상관관계를 보인 어류생태지수(ABI)($R^2 = 0.228$) 및 8가지 평가항목들 중 국내종의 총중수($R^2 = 0.164$), 여울성 저서중수($R^2 = 0.073$), 민감중수($R^2 = 0.191$), 내성종의 개체수 비율($R^2 = 0.276$), 잡식종의 개체수 비율($R^2 = 0.101$), 국내종의 총식중 개체수 비율($R^2 = 0.269$), 채집된 국내종의 총 개체수($R^2 = 0.135$)항목들 또한, 2차 모형에서 설명력이 가장 높고, 통계적으로 유의하였다. 분석 결과, 어류생태지수(ABI) 및 7가지의 평가항목들이 하안형태복잡도와 비선형적 관계를 가진다는 것을 확인할 수 있다. 이러한 비선형성은 그림 2를 통하여 관찰할 수 있다. 비선형성이 나타나는 것은 하안형태복잡도가 적정

한 범위의 값을 가지기 때문이다.

IV. 결 론

수변 지역, 즉 하안 공간의 상태는 인접한 하천 생태계에 필연적으로 큰 영향을 미친다. 본 연구의 목적은 하천 생태계의 건강성을 나타내는 지표인 어류생태지수와 하안 공간의 형태복잡도(Streamline complexity)를 비교함으로써, 하천 생태계를 평가할 수 있는 하안공간의 상태를 형태복잡도를 이용하여 평가하는 방안을 제시하고자 하는 데에 있다. 환경부 산하 국립환경과학원에서 수행하고 있는 전국단위 수생태계 건강성 조사 및 평가 자료 중 낙동강의 82개 지점을 선택한 후, 토지피복분류도에서 낙동강의 82개 지점을 중심으로 반경 1km의 buffer를 생성하였다. 환경부의 토지피복분류도를 기초로 하여 하안 선형을 추출한 후, 하안형태복잡도를 분석하고, 도출한 하안형태복잡도와 낙동강의 수생태계 건강성 조사 및 평가 결과 중 어류생태지수(ABI), 어류생태지수(ABI)의 구성요소 8가지 항목과 상관관계를 분석하였다.

분석 결과, 어류생태지수(ABI)와 어류생태지수(ABI)를 구성하는 8가지 평가항목들 중 7가지 평가항목들은 서로 유의한 관계를 가지는 것으로 나타났으며, 하안형태복잡도는 어류생태지수(ABI)와 어류생태지수(ABI)를 구성하는 8가지의 평가항목들 중 7가지 평가항목들과 유의한 관계를 가지는 것으로 관찰되었다.

먼저, 낙동강 82개 지점의 어류생태지수(ABI)와 8가지 평가항목(국내종의 총 중수, 여울성 저서중수, 민감중수, 내성종의 개체수 비율, 잡식종의 개체수 비율, 국내종의 총식중 개체수 비율, 채집된 국내종의 총 개체수, 비정상종의 개체수 비율) 관계에 있어서 국내종의 총 중수를 제외한 다른 7가지 평가항목들은 유의한 상관관계를 보였다. 그 중, 두 가지를 제외한 다섯 가지 평가항목들과 어류생태지수(ABI)는 양의 상관관계를 보

이며, 여울성 저서중수와 민감중수가 많고, 국내종의 충식종 개체수 비율, 채집된 국내종의 총 개체수 비율, 비정상 종의 개체수 비율이 많으면 어류군집의 건강성이 양호할 확률이 높다는 것으로 판단된다. 이들 중 특히, 여울성 저서중수, 민감중수, 국내종의 충식종 개체수 비율은 다른 두 평가항목들보다 어류군집의 생태에 기여하는 바가 크다고 사료된다. 건강한 수변 지역은 어류들의 서식처와 먹이 공간을 제공함으로써(Weaver et al., 1997) 중요한 생태학적 기능을 수행하는데, 이러한 서식처와 먹이 공간은 하안에 형성된다. 하안형태복잡도(Streamline complexitiy)와 여울성 저서중수, 민감중수, 국내종의 충식종 개체수 비율과의 유의한 양적 관계는 형태가 복잡한 하안을 가지는 수변 지역은 서식처 및 먹이 공간이 풍부하다는 것을 의미한다. 또한, 하천은 육상에서 수생태계로 유입되는 흐름을 여과하는 중요한 생태학적 기능을 필요로 하는데, 이전의 연구에서 하안선의 형태가 복잡할 경우 하안공간은 보다 넓은 면적을 형성하며 하천으로 유입되는 오염물질들을 효과적으로 여과하는 것이 가능하다(Barling and Moore, 1994)는 것이 밝혀진 바 있다. 즉, 하안형태복잡도가 높으면, 어류군집의 서식처 및 먹이 공간을 제공하고, 하천으로 유입되는 오염물질을 여과하는 하안공간의 생태적 기능 또한 높을 것이라 판단된다.

반면, 나머지 두 가지의 평가항목, 내성종의 개체수 비율과 잡식종의 개체수 비율은 어류생태지수(ABI)와 음의 상관관계를 보이는데, 이는 앞서 언급한 다섯 가지 항목과 반대로 어류군집의 건강성 평가에 부정적인 영향을 주는 것으로 분석된다. 수생태계 내에서 오염으로 인해 서식처의 질이 저하된 경우, 어류의 민감종 감소, 내성종 및 잡식종의 증가 등의 어류군집의 변화가 보고된 바 있다(농림부, 2000). 다른 종에 비하여 환경이나 먹이에 있어서 내성이 강한 내성종 및 잡식종의 어류군집이 생존할 가능성이 높아지기 때문으로 판단된다. 이는 낮은 하안형태복잡도를

나타내는 하안공간의 경우, 높은 하안형태복잡도를 가지는 수변 지역에 비해 불량한 서식처 환경 및 먹이를 가지고 있다는 것을 의미한다. 어류생태지수(ABI)와 하안형태복잡도의 관계에 대한 분석 결과 중 의미있는 점은 상관관계의 계수의 양의 상관관계를 보이는 항목과 음의 상관관계를 보이는 항목이 일치하였다는 것이다. 유의한 관계를 보이는 평가항목 중, 민감중수, 내성종의 개체수 비율 그리고 국내종의 충식종 개체수 비율에서 강한 선형관계를 보이는 경향 또한 유사하다. 즉, 낮은 하안형태복잡도를 가지는 하천의 경우, 높은 형태복잡도를 가지는 하천에 비해서 서식처 변화에 약한 민감중수가 적고, 내성이 강한 내성종의 개체수 비율이 높다. 이러한 분석결과를 통해 질이 저하된 서식처의 경우 낮은 하안형태복잡도를 가진다고 판단된다.

어류생태지수(ABI), 8가지 평가항목과 하안형태복잡도의 관계에서 비선형 관계가 관찰되었다. 생태적으로 건강한 하천의 경우, 적절한 범위의 하안형태복잡도를 가지기 때문이라 사료된다. 하안선을 추출하는 과정에서 가장 낮은 형태복잡도는 인공 하안에서, 가장 높은 형태복잡도 또한 생활용수의 공급에 이용되는 인공적 수로에서 관찰되었다. 이를 통하여, 자연적인 하천과는 달리 인공적으로 복원되거나 계획된 하천은 극단적인 하안형태복잡도를 가진다고 볼 수 있다.

본 연구 결과에 의하면 하안형태복잡도는 하천으로 흘러 들어오는 오염물질의 여과, 어류군집의 서식처 및 먹이 공간에 영향을 준다고 판단된다. 일반적인 하천복원의 경우, 하천의 형태 및 하안의 물리적 구조를 단순화하는 경향이 있다. 이러한 방향으로 복원된 하천은 낮은 하안형태복잡도를 가질 것이며, 이는 앞서 언급한 하안의 기능들의 저하를 초래할 것으로 예상된다. 하천복원을 통하여 하천의 이·치수 기능 뿐만 아니라 생태적인 기능의 향상까지 기대하기 위해서는 하안공간의 형태적, 물리적 특성에 대한 고려가 요구된다. 연구 대상 하천은 인위적으로 하안 공간

의 지형 변화가 이미 초래되었고, 추후에도 많은 변화가 예상됨에 따라 물리적인 변화에 대한 고려 또한 필요할 것으로 예상된다.

본 연구에서는 어류생태지수(ABI) 및 8가지 평가항목들에 대하여 하안형태복잡도가 어떠한 관계를 가지는가에 대하여 규명하였으나, 어떠한 메커니즘으로 영향을 주는지에 대해서는 밝히지 못하였다. 좀 더 나아가 하안형태복잡도를 결정하는 변수들이 어류군집에 있어서 어떠한 영향을 끼쳐 어류 생태 지수(ABI) 향상에 일조하는지에 대한 분석이 필요할 것으로 보인다. 또한, 어류군집의 특성과 비선형적인 관계를 보이는 하안형태복잡도에 대한 추후 연구를 통하여, 어떠한 범위의 형태복잡도가 어류군집의 건강성에 적절한지 검증할 필요가 있을 것이다. 향후 연구에서 이러한 사항들을 추가하고 보완한다면, 하천 복원 계획에 있어서 이용 가능한 하안형태복잡도의 범위를 도출할 수 있을 것으로 기대된다.

인 용 문 헌

- 국립환경과학원 · 한강물환경연구소. 2009. 수변 환경의 경관 및 사회, 경제가치 평가 : 2008년(1년차) 보고서 1.
- 농림부. 2000. 농업용수 수질개선 시험사업 보고서(IV). 농업기반공사.
- 이도원 · 장현정 · 강신규. 2000. 생태학적 · 육수학적 현상들에 대한 프랙탈의 적용. 한국육수학회지 33(2) : 69-79.
- 최지용 · 정유진. 2000. 수질개선을 위한 수변녹지의 조성 및 관리방안 연구. 한국환경정책 · 평가연구원 연구보고서.
- 환경부. 2006. 물환경종합평가방법 개발 조사연구 보고서.
- 환경부. 2007. 수생태 건강성 회복을 위한 하천복원 모델과 기준. 조사계획 수립 연구 최종보고서 3 : 수생태 건강성 조사계획 수립 및 지침.
- 환경부 · 국립환경과학원. 2009. 수생태계 건강성 조사 및 평가 최종보고서. 1-19.
- Barling, R. D., and Moore, I. D. 1994. Role of buffer strips in management of waterway pollution : A review, *Environ Manage* 18(4) : 543-558.
- Cadenasso, M. L., and S. T. A. Pickett. 2000. Linking forest edge structure to edge function : mediation of herbivore damage. *Journal of Ecology* 88 : 31-44.
- Forman, R. T. T. 1995. *Land Mosaics : the Ecology of Landscape and Regions*, New York : Cambridge University Press.
- Garcia, F., Carrère, P., Soussana, J. F., and Baumont, R. 2005. Characterisation by fractal analysis of foraging paths of ewes grazing heterogeneous swards, *Appl Anim Behav Sci.* 93(1-2) : 19-37.
- Karr, JR. 1981. Assessment of biotic integrity using fish communities. *Fisheries Science* 6 : 21-27.
- Lee, S. W., Hwang, S. J., Lee, J. K., Jung, D. I., Park, Y. J., and Kim, J. T., 2011. Overview and application of the National Aquatic Ecological Monitoring Program(NAEMP) in Korea, *International Journal of Limnology* 47 : S3-S14.
- McGarigal, K., and Marks, B. J. 1995. FRAGSTATS : spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. General Technical Report - US Department of Agriculture, Forest Service(PNW-GTR-351).
- Park, S.S., and Lee, Y.S. 2002. A water quality modeling study of the Nakdong River, Korea. *Ecological Modelling* 152(1) : 65-75.
- Park, S.Y., Choi, J.H., Wang, S.K., and Park, S.S., 2006. Design of a water quality

- monitoring network in a large river system using the genetic algorithm. *Ecological Modelling* 199(3) : 289-297.
- USEPA, 2002. Biological assessments and criteria : crucial components of water quality programs. EPA 822-F-02-006., Washington D.C. USA.
- Weaver, M. J., Magnuson, J. J., and Clayton, M. K., 1997. Distribution of littoral fishes in structurally complex macrophytes, *Can J Fish Aquat Sci.* 54(10) : 2277-2289.
- Wiens, J. A. 1992. Ecological flows across landscape boundaries : a conceptual overview. In A. J. Hansen and F. di Castri, eds. *Landscape Boundaries : Consequences for Biotic Diversity and Ecological Flows*, New York : Springer-Verlag. 217-235.
- Yoder CO., and MA Smith. 1999. Using fish assemblages in a state biological assessment and criteria program : Essential concepts and considerations. In *Assessing the sustainability and biological integrity of water resources using fish communities*(TP Simon ed). CRC Press LLC. 17-56.