

수리조건을 이용한 생물서식처 적합도 지수 산정 -홍천강을 대상으로-

이재일* / 이규성** / 안홍규*** / 하성룡****⁺

Estimation of Habitats Suitability Index based on Hydraulic Conditions

Jae-Yil Lee* / Gyu-Sung Lee** / Hong-Kyu Ahn*** / Sung-Ryong Ha****⁺

요약 : 본 연구에서는 생물서식처에 적합한 조건을 가진 하천 구간을 선정 및 분석하기 위해 홍천강을 대상으로 생물 서식처 적합도 지수를 산정하였다. 서식처 적합도 지수의 산정을 위해 수리특성으로 유속과 수심, 수질특성으로 수온, BOD, DO, TN, TP 총 7가지 항목에 대해 산정하였고, 고려된 대상 생물상은 어류이다. 이를 위해 1차원 수리 모형(HEC-RAS), 2차원 하천 수리모형(RMA-2), 수질모형(QUAL2E), GIS를 이용하였다. 수리모형 입력 자료의 정확성을 높이기 위해 BASIN의 Delineation 기능을 적용해 대상유역을 분할한 후 비유량법으로 유량을 산정하였으며, 산정된 유량을 입력하여 모형을 구축하고 검·보정 하였다. 산정결과 Reach 27에서 통합 서식처 적합도 지수의 평균이 0.782로 가장 높게 산정되었고, 각 변수들의 평균은 유속 0.122 m/s, 수심 0.782 m, 수온 14.3℃, BOD 0.68 mg/l, DO 10.3 mg/l, TN 2.4 mg/l, TP 0.0121 mg/l로 분석되었다.

핵심용어 : 서식처 적합도 지수, 2차원 수리모형, 수리조건, 하도, 단면

Abstract : This study developed a HSI for the creatures in Hongcheon River in order to analyze the conditions proper for habitats. For the index, the investigator identified a total of seven items encompassing hydraulic characteristics such as flow velocity and water depth, and water quality characteristics such as water temperature, BOD, DO, TN, and TP. The subject river was simulated, inspected, and revised with a two-dimensional river model (RMA-2) and water quality model (QUAL2E). Using GIS, the developed index was divided by section by reflecting river characteristics and compared and analyzed with the statistics. The river was divided into a total of 29 reaches by reflecting the basic characteristics and the features of the hydraulic coefficient on the cross-sections of the river. According to the analysis results, the fish scored the highest mean of the overall habitat suitability index of 0.769 at reach 27. Each of the variables had the following mean values: 0.122 m/s for flow velocity, 0.782m for water depth, 14.3℃ for water temperature, 0.68 mg/l for BOD, 10.3 mg/l for DO, 2.4 mg/l for TN, and 0.0121mg/l for TP.

Keywords : HSI(Habitat Suitability Index), two-dimensional river model, hydraulic conditions, river channel, cross-sections

1. 연구의 배경 및 목적

최근 들어 국민들의 환경에 대한 인식이 높아지면서 자연스러운 하천에 대한 요구가 증대되고

있다. 자연스런 하천을 유지하기 위한 수자원 프로젝트(이두한과 우효섭, 1997)들이 많이 시행되어져 왔으며, 자연친화적인 공법에 의한 하천개발로 기존의 직강하식 하천에서 자연스런 흐름을

+ Corresponding author : simplet@cbnu.ac.kr
* 학생회원 · 충북대학교 도시공학과 박사과정수료
** 비회원 · 충북대학교 도시공학과 석사졸업
*** 비회원 · 한국건설기술연구원 선임연구원
**** 정회원 · 충북대학교 도시공학과 교수

갖는 하천으로 바뀌어 가고 있는 추세이다. 그러나 이는 하천의 외형적인 모습을 바꾸는 것 일뿐이지 하천의 생태계를 복원하는 것은 또 다른 문제이다.

외국의 경우, 생물서식처를 면밀히 분석하여 개체 생물에 적합한 서식처를 조성하기 위한 다양한 연구가 있으며(우효섭, 1998), 이러한 연구의 결과는 각종 기술개발로 이어져 하천복원관련 산업도 활발히 일어나고 있다. 어류 서식처를 고려한 하천유지유량의 연구는 크게 세 가지 방향에서 이루어져 왔다(한국수자원공사, 1995; 김규호, 1999, 우효섭 등, 1998). 먼저 일반 유량 비율법으로 유향곡선을 이용하여 특정 추천 유량을 설정할 수 있는 과거 유량 자료에 의한 경험적인 방법이다. 두 번째는 수리학적 방법(hydraulic method)으로서 유량에 따른 하도 수리 기하량과의 관계를 기준으로 산정한다. 이 과정은 특정 지점보다는 유역 전체, 하도 분할 구간(segment), 조사구간(transect), 또는 특정 여울과 같은 한계구간(Critical reach)을 대상으로 한다. 김규호 등(1999)과 우효섭 등(1998)은 이 연구를 바탕으로 물고기 서식처 환경 중, 특히 수심과 유속 등 수리조건을 유지하기 위한 최소유량 산정방법을 제시하였다. 이 방법은 하천에서 특정 한계구간, 주로 여울에서 어류 이동에 필요한 수심과 유속을 확보할 수 있는 통과 유량(passage flow, Bovee, 1982)을 제시한 것이다. 비록 여도와 어류 서식처 모의 방법이 고려하는 수리 조건이 같을 수 있으나, 여도는 하천에 설치된 흐름 차단 구조물을 어류가 자연스럽게 이동하는데 필요한 부대 시설로서 하천 어류 서식 공간을 제공하기 위한 목적을 가지고 있다. 그러나, 국내의 하도서식처 조성 기술은 인위적으로 정비된 하천을 대상으로 훼손된 자연성을 되살리기 위하여 물리적 환경의 개선을 중심으로 진행되어 왔기 때문에 대상 생물이 필요로 하는 서식처 조성기술은 거의 개발되어 있지 않은 상태로서, 기존의 하천복원은 저수호안의 안전성과 더불어 식생 피복율만을 높이기 위한 형태적 복원이 주된 하천복원의 형태라고 볼 수 있

으며, 특히 하도내 생물을 중심으로 한 서식처 복원은 매우 미비하다고 볼 수 있다.

하천복원 및 서식환경 조성 사업에 있어 서식처 적합도 기준은 가장 중요하게 고려되어야 할 사항이다. 특히 서식처 적합도 기준을 제시하기 위해서는 수년에서 수십 년 혹은 그 이상 기간 동안의 현장 모니터링 데이터가 있어야 하며, 서식처 적합도 지수를 산정하기 위한 신뢰할 수 있는 기법이 필요하다. 외국의 경우, 특히 미국을 예를 들면, 지난 30년간 약 150여 어종에 대한 서식처 적합도 지수가 구축되어 있고(Hur, J.W, 2009.), 지속적인 현장 모니터링을 통해 서식처 적합도 지수에 대한 산정 기법 개발이 계속되고 있다. 그러나 국내의 경우, 생태유량을 산정하기 위한 가장 기본적인 인자인 서식처 적합도 지수를 위한 지속적이고 체계적인 조사와 평가가 이루어지지 않고 있는 실정이다. 따라서 신뢰성 있는 서식처 적합도 지수를 산정하기 위해서는 지속적인 하천 생태환경 모니터링과 다양한 서식처 적합도 산정기법의 개발과 물리적 서식처 모델링이 필요한 실정이다.

본 연구에서는 생물 서식처에 적합한 수리·수질 조건을 가진 하천 구간을 선정 및 분석하기 위해 홍천강을 대상으로 생물 서식처 적합도 지수를 산정하였다. 이를 위해 2차원 하천모형과 수질모형을 모의하여 모의결과와 생물 개체수의 상관관계 함수를 분석하였고, GIS를 이용해 각각의 수리·수질 등 7가지 변량을 고려하여 통합 서식처 적합도 지수를 산정하였다. 기존 연구에서 사용된 단변량 분석 방법의 한계를 극복하고 7가지 변량을 고려하여 정량적인 서식처의 수리·수질 특성과 서식처 적합도 지수를 산정하여 생물서식에 적합한 하천구간을 선정하는 것이 본 연구의 목적이다.

II. 연구내용 및 방법

본 연구에서는 생물 서식처에 적합한 조건을 가진 하천 구간을 선정 및 분석하기 위해 홍천강을 대상으로 생물 서식처 적합도 지수를 산정하였다.

서식처 적합도 지수의 산정을 위해 수리특성으로 유속과 수심, 수질특성으로 수온·BOD·DO·TN·TP 등 총 7가지 항목에 대해 산정하였고, 적합도 지수 산정 시기는 계절특성과 유형을 고려하여 6월 12일, 10월22일로 설정하였다. 고려된 대상 생물상은 어류이다. 이를 위해 1차원 수리모형(HEC-RAS), 2차원 하천 수리모형(RMA-2), 수질모형(QUAL2E) 및 GIS를 이용하였다.



그림 1. 연구대상지

연구의 대상지는 홍천강 유역으로 서식처의 수리학적 특성을 비교하기 위하여 인위적인 변화가 없는 자연하천구간과 도심부에 위치한 도심 하천구간으로 설정하였다. 또한 하천수리모형의 입력 자료의 확보와 모형의 적용을 위하여 수문관측소가 포함되도록 구간을 설정하였다(그림1).

그림 2 는 생물의 서식처 적합도 지수의 산정 시기 및 유량규모를 나타낸 것이다. 홍천강의 상류지점에서는 화촌 수위관측의 관측자료를 이용하여 6월 12일과 10월22일에 10.83 m³/s , 5.79 m³/s의 유량을 산정하였고, 하류지점에서는 홍천 수위관측의 관측자료를 이용하여 6월 12일과 10월22일에 13.33 m³/s , 9.75 m³/s의 유량을 산정하였다.

이를 위해 첫째 수리모형에 필요한 입력 자료의 정확성을 높이기 위해 BASIN의 Delineation 기능을 적용해 대상유역을 분할 후 면적비로 유량 배분을 하여 대상하천의 전 구간에 걸쳐

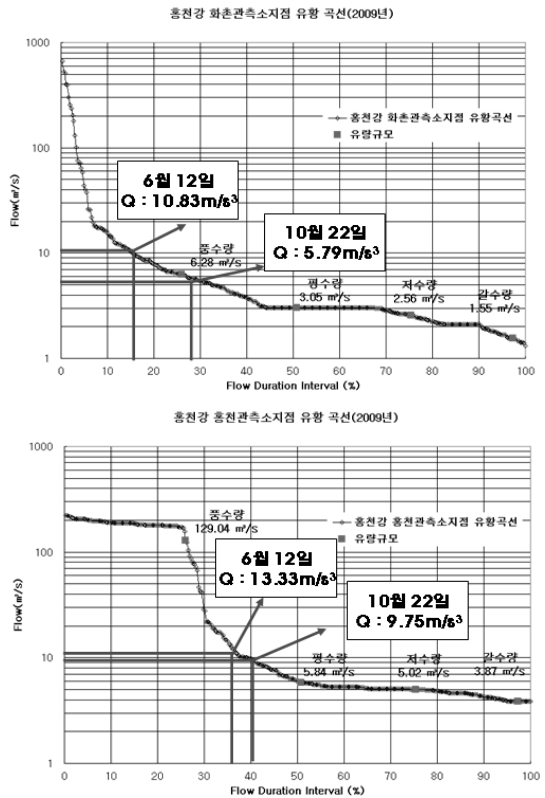


그림 2. 서식처 적합도 지수 산정 시기 및 유량규모

1차원 모형(HEC-RAS)과 2차원 모형(RMA-2), 수질모형(QUAL2E)을 구축하고 검·보정 하였다.

둘째 적합도 지수 산정에서는 기존 문헌을 고찰하여 단변량, 다변량, 데이터 분석 방법 중 확보된 데이터의 가용성과 최근 연구에서 가장 이용되는 단변량 분석방법을 변형하여 사용하였다. 적합도 지수 기준은 미국 워싱턴주 어류 및 야생동물국(WDFW)에서 제시한 “Instream flow study guidelines”(Bovee, 1982)를 기초로 하여 지수를 산정하였다. 이 방법은 각 조사지점에서 출현한 생물의 개체수를 기준으로, 하천 유속·수심 분포와 조사기간 동안 출현한 개체수를 종합하여 최대값을 1.0으로 하여 환산하고, 나머지는 최대값에 대한 상대비율로 하여 지수를 산정하는 방법이다(그림3).

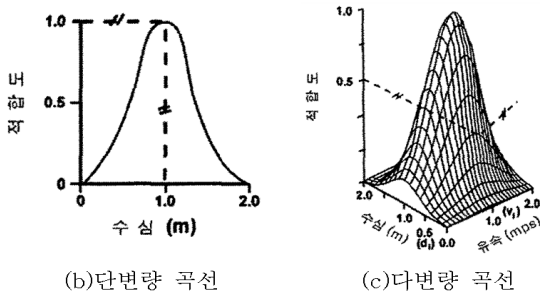


그림 3. 서식처 적합도 지수산정(단변량 분석방법)

셋째 RMA-2모형의 유속 · 수심 모의결과와 QUAL2E 모형의 수온 · BOD · DO · TN · TP 모의 결과를 이용해 각각의 생물상과 수리·수질에 따른 상관관계 함수를 분석하고 GIS를 이용해 하천 구간에 대하여 각각의 항목에 해당하는 생물상들의 서식처 적합도 지수를 산정하였다. 통합 서식처 적합도 지수를 계산하기 위해 GIS의 Cell Calculator 기능을 사용하여 수리, 수질 및 통합(수리, 수질) 지수를 산출하였다.

넷째 수리·수질에 대한 각 생물상들의 서식처 적합도 지수를 통합하였다. 수리특성은 유속, 수심 2가지 변수를 반영하였고, 수질특성은 수온 · BOD · DO · TN · TP 등 5가지 변수를 반영하였다. 총 7가지 변수를 반영하여 어류에 대한 통합 서식처 적합도 지수를 산정하였다.

다섯째 산정된 생물상의 서식처 적합도 지수의 통계량과 생물 서식에 적합한 하천구간을 선정하기 위해 유역 특성과 하천 횡단면의 수리계수 균질성을 고려하여 하천을 29개의 reach로 구분하였다.

연구에서 제한사항으로 첫째, 자료 부족으로 인하여 생물서식의 영향을 미치는 환경 변수의 조건으로 수리에 경우 유속, 수심 수질에 경우 수온 · BOD · DO · TN · TP 총 7가지의 환경 변수를 고려하였다. 홍수빈도와 규모 등 하천에서 물리적, 생물학적 타 조건은 제외하였다. 둘째, 현장 조사한 생물자료 중 개체수만을 고려하여 적합도 지수를 산정하였다. 셋째, 수리모형의 적용 시 유량조건은 대상하천 유황조건으로 모의하지 않고 생물조사 시기와 동일한 시기로 모의를 실시하였다(그림 4).



그림 4. 연구의 흐름 및 절차

III. 연구결과

1. 모형의 적용

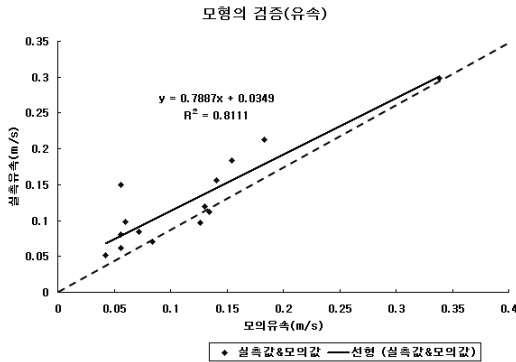
1) RMA-2 모형의 검정

모형의 검정은 국토해양부 한국건설교통기술평가원(2010)의 “생물 서식환경 조성기술 개발 연구보고서(4차년도)”의 유속, 수심 관측 자료를 이용하여 검정을 실시하였다. 검정결과 유속의 경우 결정계수 값이 0.8111로 나타났고, 수심의 경우는 0.6464로 유속에 비해 다소 낮은 경향을 보였다. 이러한 이유는 수심의 경우 수심이 1m 이상인 지역에서는 실측이 어려움으로 이로 인해 유속에 비해 결정계수 값이 낮게 산정된 것으로 판단된다. 검정결과 모형의 결과가 현실과 유사한 것으로 판단된다.

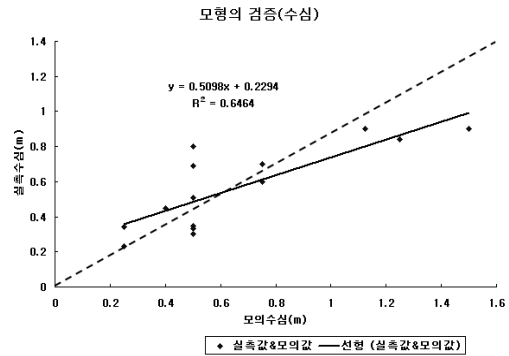
2) QUAL2E 모형의 검보정

QUAL2E 모형의 검정은 국토해양부 한국건설교통기술평가원(2010)의 “생물 서식환경 조성기술 개발 연구보고서(4차년도)”의 수질 관측자료를 이용하여 검정을 실시하였다(그림 5). 검정결과 수온의 결정계수 값이 0.7101, BOD 0.704, DO

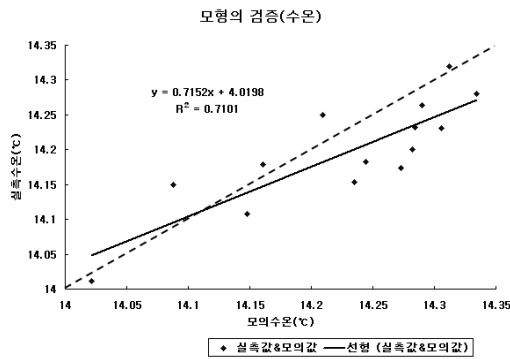
0.6549, TN 0.6395, TP 0.373 으로 나타났다. 수온과 BOD의 경우 0.7이상의 높은 일치도를 보였으며, DO와 TN의 경우 0.6이상의 일치성을 보였다. 그러나 TP에 경우 0.373으로 다소 낮은 일치성을 보였다. 검정결과 모형의 결과가 현실과 유사한 것으로 판단된다.



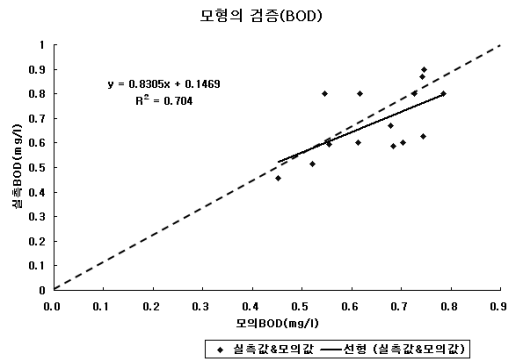
RMA-2 유속 검증



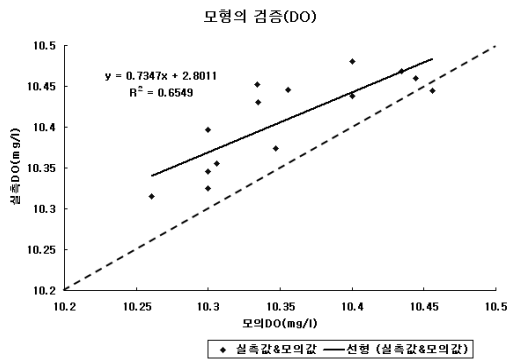
RMA-2 수심 검증



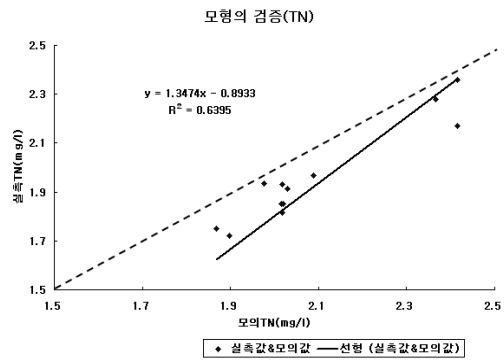
QUAL2E 수온 검증



QUAL2E BOD 검증



QUAL2E DO 검증



QUAL2E TN 검증

그림 5. 모형의 검증 (계속)

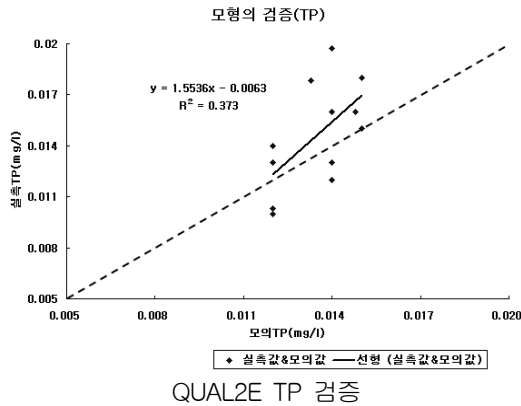


그림 5. 모형의 검증

2. 생물 조사 결과

홍천강의 어류 조사 시기는 2009년 08월 06일 ~ 08월 07일 1차 조사, 2009년 10월 21일 ~ 10월 22일 2차, 2010년 04월 08일 ~ 04월 09일 3차 조사를 실시하였다. 어류의 채집은 정량 조사를 위하여 투망(5×5mm)과 족대(4×4mm)를 각각 15회, 40분간 사용하였다.

홍천강(자연형 구간)에 대한 조사 결과 총 6과 24종 1,130개체가 확인되었다. 조사지점별로 출현 종수를 살펴보면 셋강에서 3과 10종 125개체, 개방형 하도습지에서 3과 10종 310개체, 댐형 웅덩이에서 3과 9종 109개체, 낙차형 웅덩이에서 2과 9종 51개체, 평여울에서 4과 9종 67개체, 급

여울에서 5과 11종 62개체, 사행형 웅덩이에서 3과 11종 188개체, 징검여울에서 4과 13종 97개체, 거석형 웅덩이에서 2과 9종 77개체, 폐쇄형 하도습지에서 3과 9종 44개체가 확인되었다(그림 6).

홍천강(도시형 구간)에 대한 조사한 결과 총 5과 23종 634개체가 확인되었다. 조사지점별 출현 종수를 살펴본 결과 평여울에서 4과 14종 146개체, 급여울에서 3과 12종 187개체, 댐형 웅덩이에서 4과 18종 151개체, 낙차형 웅덩이에서 4과 18종 150개체가 확인되었다. 조사 지점 중 댐형 웅덩이, 낙차형 웅덩이에서 가장 많은 종수인 18종씩 확인되었고, 급여울에서 12종으로 가장 적은 종수로 조사되었다(그림 6).

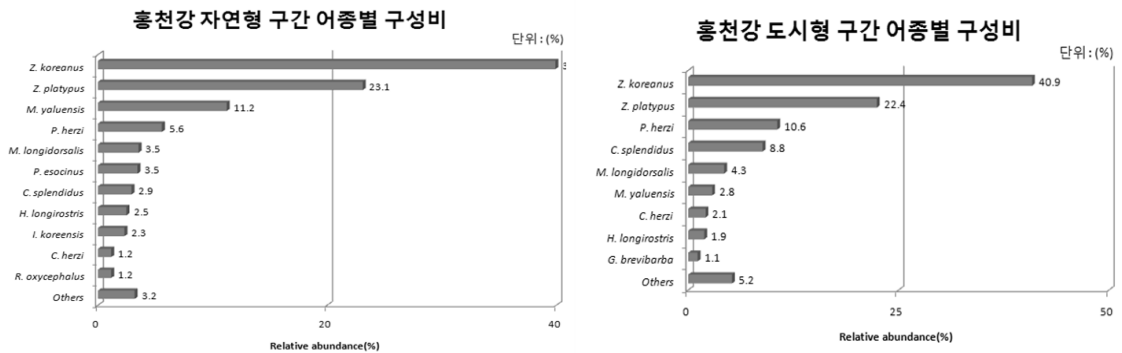


그림 6. 홍천강 자연형 및 도시형 구간 어종별 구성비(국도해양부, 2010)

3. 생물 서식처 적합도 지수 산정

1) 어류 서식처 적합도 지수 산정

가. 어류 서식처 적합도 지수 검증

각각의 생물에 대한 수리·수질 특성에 따른 상관관계 함수를 GIS를 이용하여 하천 전 구간에서 서식처 적합도 지수를 산정하였다. 산정된 지수를 검증하기 위하여 실제 계산된 지수값과 상관관계 함수를 이용하여 적용된 지수값의 비교를 통해 서식처 적합도 지수를 검증하였다. 유속의 경우 결정계수 값이 0.9153으로 높은 일치성을 보였고 수심도 0.8421의 결정계수로 높은 일치성을 보였다. 수질특성에 따른 적합도 지수 또한 0.7 이상의 높은 일치성을 보였다.

나. 수리특성에 따른 어류 서식처 적합도 지수

어류 개체수와 수리특성에 따른 상관관계 함수를 이용하여 미계측 구간을 포함한 하천 전 구간에 어류 서식처 적합도 지수를 산정하였다. 수리특성과 어류 개체수에 따른 상관관계 함수를 GIS를 이용하여 하천 전 구간에서 서식처 적합도 지수를 산정하였다. 산정된 결과를 이후 유속, 수심에 대한 지수를 중첩 계산을 위해 CELL 형식의 GRID 파일로 작성하였다. 유속, 수심 지수값의 범위는 0 ~ 1 까지로 어류 서식처 적합도 지수가 1에 가까운 값을 나타내는 곳이 어류 서식에 적합한 구간으로 설명 될 수 있다. 마지막으로 각각 산정된 유속, 수심에 대한 어류 서식처 적합도 지수값을 GIS를 이용하여 중첩시켜 유속과 수심 2가지 변수에 대한 지수를 모두 반영한 수리 통합 어류 서식처 적합도 지수를 산정하였다. 계산된 적합도 지수를 실측값과 비교하여 타당성을 검증하였다(그림 7).

29개로 구분된 하천구간(reach)별로 서식처 적합도 지수를 비교해 보면 표 1 과 같다. 수리특성에 대한 구간별 어류 서식처 적합도 지수의 평균값을 비교한 것으로 reach7번에 0.6683으로 어

류 서식처 적합도 지수가 가장 높게 산정되었다. 이는 유속과 수심 즉, 수리특성만을 반영하여 어류 서식처 적합도 지수를 산정할 경우 reach7이 가장 서식에 적합한 구간으로 설명 될 수 있다. reach7의 유속과 수심값은 0.185 m/s, 0.77 m로 나타났다. 이와 같은 결과로 비추어 볼 때 어류의 경우 유속이 0.185 m/s, 수심이 0.77 m 일 때 어류 서식처의 수리 조건이 가장 적합한 것으로 판단된다.

유속에 대한 어류 서식처 적합도의 경우 기존 문헌과 비교해 볼 때 건교부(1999)의 금강 하천 유지유량 산정결과인 0.1 ~ 0.5m/s 와 Hur, J.W. and J.K. Kim(2009)에서 제시한 0.1 ~ 0.4m/s 보다 다소 낮은 유속분포에서 적합도 지수가 높게 산정되었다. 이는 본 연구에서는 2차원 모형의 모의값을 기반으로 적합도를 산정하였고, 건교부(1999)의 경우 금강수계를 전체 평균으로 보았기 때문에 값의 범위가 다소 넓게 분포하고 있는 것으로 판단된다.

또한 수심에 대한 어류 서식처 적합도 지수의 경우 건교부(1999)의 금강 하천유지유량 산정결과인 0.2 ~ 1.0 m 와 Hur, J.W. and J.K. Kim(2009)에서 제시한 0.2 ~ 0.5m 보다 다소 낮은 유속분포에서 적합도 지수가 높게 산정되었다. 이러한 결과의 차이는 본 연구에서는 2차원 모형의 모의값을 기반으로 적합도를 산정하여 미계측 구간에 대한 값이 산정된 반면, 건교부(1999)와 Hur, J.W. and J.K. Kim(2009)의 경우 현장조사시 수심이 1m이상인 곳은 실측을 하지 않았기 때문에 이와 같은 차이를 보이는 것으로 판단된다.

다. 수질특성에 따른 어류서식처 적합도 지수

어류 개체수와 수질특성에 따른 상관관계 함수를 이용하여 미계측 구간을 포함한 하천 전 구간에 어류 서식처 적합도 지수를 산정하였다. 수질특성과 어류 개체수에 따른 상관관계 함수를 GIS를 이용하여 하천 전 구간에서 서식처 적합도 지수를 산정하였다. 산정된 결과를 이후 수온, BOD,

DO, TN, TP에 대한 지수를 중첩 계산을 위해 CELL 형식의 GRID 파일로 작성하였다. 수온, BOD, DO, TN, TP 지수값의 범위는 0 ~ 1 까지로 어류 서식처 적합도 지수가 1에 가까운 값을 나타내는 곳이 어류 서식에 적합한 구간으로 설명될 수 있다. 마지막으로 각각 산정된 수온, BOD, DO, TN, TP에 대한 어류 서식처 적합도 지수값을 GIS를 이용하여 중첩시켜 총 5가지 수질 변수에 대한 지수를 모두 반영한 수질 통합 어류 서식처 적합도 지수를 산정하였다. 계산된 적합도 지수를 실측값과 비교하여 타당성을 검증하였다(그림 7).

하천구간(reach)별로 서식처 적합도 지수를 비교해 보면 표 1 과 같다. 수질특성에 대한 구간별 어류 서식처 적합도 지수의 평균값을 비교한 것으로 reach27번에 0.8276으로 어류 서식처 적합도 지수가 가장 높게 산정되었다. 이는 수온, BOD, DO, TN, TP 즉, 수질특성만을 반영하여 어류 서식처 적합도 지수를 산정할 경우 reach27이 가장 서식에 적합한 구간으로 설명 될 수 있다. reach27의 수온, BOD, DO, TN, TP값은 14.30 °C, 0.68 mg/l, 10.29 mg/l, 2.41 mg/l, 0.0121 mg/l 로 나타났다. 이와 같은 결과로 비추어 볼 때 어류의 경우 수온, BOD, DO, TN, TP값이 14.30 °C, 0.68 mg/l, 10.29 mg/l, 2.41 mg/l, 0.0121 mg/l일 때 어류 서식처의 수질 조건이 가장 적합한 것으로 판단된다.

라. 수리·수질특성에 따른 통합 어류 서식처 적합도 지수

수리·수질특성에 따른 어류 서식처 적합도 지수를 통합하여 분석하였다. 수리특성에 따른 2가지 변수와 수질특성에 따른 5가지 변수를 모두 통합하여 총 7가지 변수에 대한 통합 어류 서식처 적합도 지수를 산정하였다. 지수값은 앞에서 언급한 바와 같이 범위는 0 ~ 1 까지로 어류 서식처 적합도 지수가 1에 가까운 값을 나타내는 곳이 어류 서식에 적합한 구간이다. 어류 통합 서식처 적합도 지수를 산정한 결과를 하천구간(reach)별로 정리하면 표 1 과 같다. 어류 통합 서식처 적합도 지수를 하천구간별 평균으로 비교해보면 reach27번에 0.7688 로 통합 어류 서식처 적합도 지수가 가장 높게 산정되었다. 수리특성만을 고려한 경우는 reach7이 수질특성만을 고려한 경우에는 reach27의 서식처 적합도 지수가 가장 높게 산정 되었다. reach27의 유속, 수심, 수온, BOD, DO, TN, TP값은 0.185 m/s, 0.77 m, 14.30 °C, 0.68 mg/l, 10.29 mg/l, 2.41 mg/l, 0.0121 mg/l 로 나타났다. 이와 같은 결과로 비추어 볼 때 어류의 경우 유속, 수심, 수온, BOD, DO, TN, TP값이 0.185 m/s, 0.77 m, 14.30 °C, 0.68 mg/l, 10.29 mg/l, 2.41 mg/l, 0.0121 mg/l일 때 어류 서식처의 수리·수질 조건이 가장 적합한 것으로 판단된다.

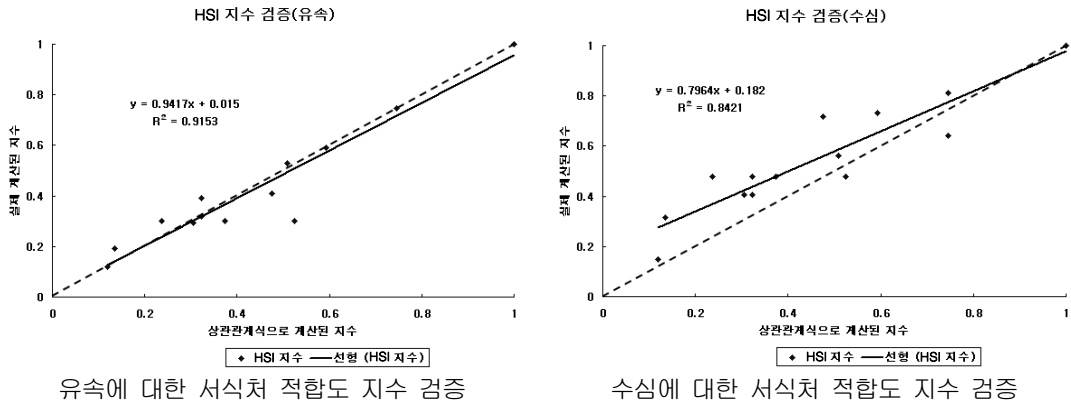
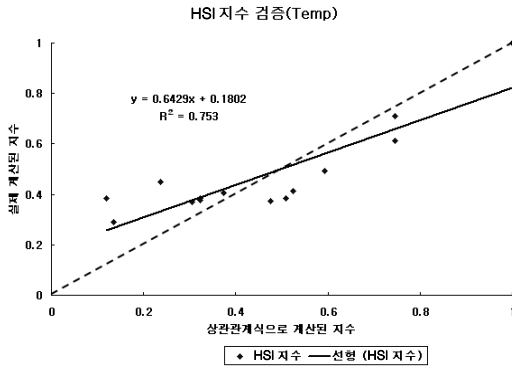
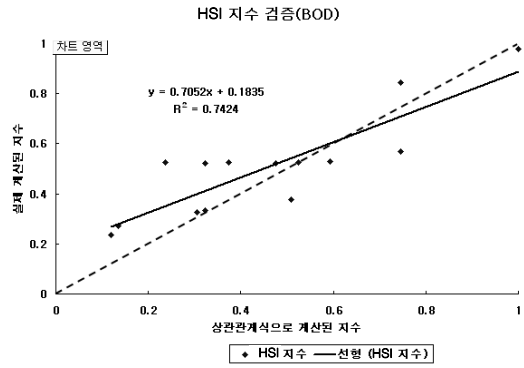


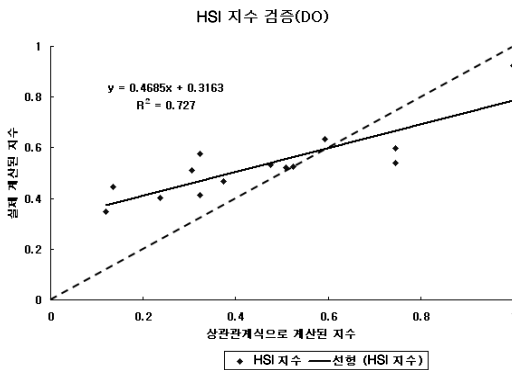
그림 7. 서식처 적합도 지수 검증 (계속)



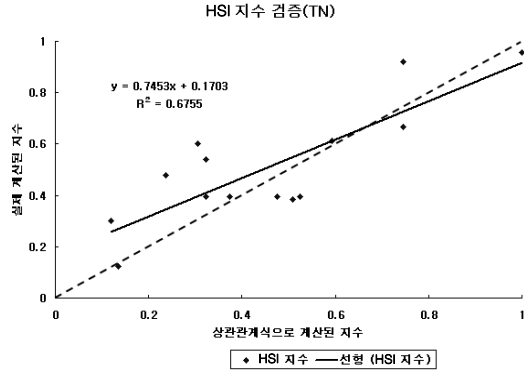
수온에 대한 서식처 적합도 지수 검증



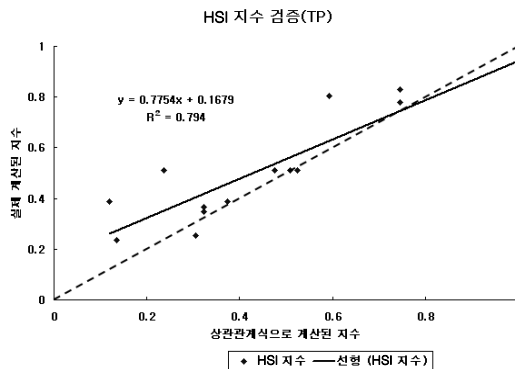
BOD에 대한 서식처 적합도 지수 검증



DO에 대한 서식처 적합도 지수 검증



TN에 대한 서식처 적합도 지수 검증



TP에 대한 서식처 적합도 지수 검증

그림 7. 서식처 적합도 지수 검증

표 1. 구간별 통합 어류 서식처 적합도 지수

구분	HIS					Average				
	Total	Hydraulic	Water Quality	Velocity	Depth	Temp	Bod	Do	Tn	Tp
reach1	0.5390	0.5794	0.4987	0.130	0.76	13.82	0.71	10.63	1.96	0.0121
reach2	0.5563	0.5176	0.5950	0.083	0.56	14.04	0.75	10.47	2.03	0.0136
reach3	0.4441	0.3888	0.4994	0.070	0.66	14.18	0.74	10.43	2.02	0.0142
reach4	0.4520	0.4162	0.4877	0.202	1.00	14.23	0.74	10.45	2.02	0.0143
reach5	0.3969	0.3419	0.4520	0.079	0.50	14.27	0.73	10.44	1.98	0.0140
reach6	0.5325	0.4346	0.6304	0.131	0.41	14.34	0.76	10.40	2.05	0.0146
reach7	0.6683	0.5859	0.7508	0.185	0.77	14.38	0.78	10.38	2.09	0.0155
reach8	0.5525	0.4099	0.6951	0.316	1.06	14.34	0.81	10.45	2.14	0.0152
reach9	0.6297	0.5057	0.7537	0.265	0.71	14.35	0.81	10.39	2.15	0.0159
reach10	0.5346	0.3720	0.6971	0.228	0.55	14.06	0.87	10.46	2.17	0.0169
reach11	0.5760	0.3988	0.7533	0.144	0.32	14.00	1.01	10.47	2.31	0.0180
reach12	0.5559	0.3850	0.7268	0.107	0.26	13.90	1.01	10.50	2.39	0.0172
reach13	0.4448	0.2511	0.6386	0.033	0.25	13.87	1.02	10.51	2.47	0.0170
reach14	0.5236	0.3860	0.6613	0.115	0.27	13.81	1.02	10.53	2.48	0.0168
reach15	0.5432	0.4360	0.6504	0.156	0.53	13.82	1.00	10.51	2.48	0.0168
reach16	0.6085	0.4913	0.7256	0.121	0.41	13.87	0.99	10.49	2.45	0.0169
reach17	0.6441	0.5304	0.7579	0.224	0.72	13.89	0.94	10.48	2.46	0.0170
reach18	0.5381	0.4284	0.6477	0.186	1.12	13.97	0.87	10.46	2.47	0.0169
reach19	0.5022	0.3885	0.6160	0.168	1.20	14.06	0.85	10.43	2.46	0.0160
reach20	0.5905	0.5570	0.6239	0.168	0.97	14.14	0.84	10.40	2.46	0.0160
reach21	0.5969	0.5355	0.6583	0.160	0.76	14.18	0.82	10.39	2.46	0.0156
reach22	0.5224	0.4070	0.6379	0.148	0.44	14.20	0.76	10.31	2.44	0.0140
reach23	0.5953	0.6035	0.5871	0.131	0.48	14.25	0.71	10.24	2.42	0.0130
reach24	0.4956	0.4177	0.5735	0.120	0.44	14.28	0.69	10.25	2.42	0.0121
reach25	0.5347	0.4374	0.6320	0.054	0.51	14.29	0.68	10.29	2.41	0.0120
reach26	0.6826	0.6306	0.7347	0.139	0.88	14.30	0.68	10.30	2.41	0.0120
reach27	0.7688	0.6599	0.8276	0.122	0.78	14.30	0.68	10.29	2.41	0.0121
reach28	0.4650	0.3274	0.6026	0.047	0.33	14.29	0.69	10.28	2.42	0.0122
reach29	0.4164	0.2644	0.5683	0.015	0.38	14.29	0.69	10.27	2.42	0.0121

마. 유량 규모의 특성에 따른 통합 어류 서식처 적합도 지수

어류의 경우 서식처 적합도 지수를 두 계절에 걸쳐 조사한 자료를 이용하여 어류 서식처 적합도 지수를 산정하고 두 계절의 서식처 적합도 지수값

을 통합하였다. 시기는 6월 12일, 10월22일에 두 계절에 걸쳐 조사를 하였으며 10월 22일 조사 시기에 대한 어류서식처 적합도 지수도 앞에서 언급한 방법을 동일하게 적용하여 산정하였다. 10월 22일 조사된 수리·수질 어류 서식처 적합도 지수의 산정하였다.

VI. 결 론

본 연구에서는 생물 서식처에 적합한 조건을 가진 하천 구간을 선정 및 분석하기 위해 홍천강을 대상으로 생물 서식처 적합도 지수를 산정하였다. 서식처 적합도 지수의 산정을 위해 수리특성으로 유속과 수심, 수질특성으로 수온·BOD·DO·TN·TP 총 7가지 항목에 대해 산정하였고, 고려된 대상 생물상은 어류이다. 이를 위해 1차원 수리모형(HEC-RAS), 2차원 하천 수리모형(RMA-2), 수질모형(QUAL2E), GIS를 이용하였다.

산정된 유량을 입력하여 대상하천의 전 구간에 걸쳐 1차원 모형(HEC-RAS)과 2차원 모형(RMA-2), 수질모형(QUAL2E)을 구축하고 검·보정 하였다. RMA-2모형의 유속·수심 모의결과와 QUAL2E 모형의 수온·BOD·DO·TN·TP 모의 결과를 이용해 생물상에 수리·수질 따른 상관관계 함수를 분석하고 이를 GIS를 이용해 하천 전 구간에 각각의 항목에 해당하는 생물상들의 서식처 적합도 지수를 산정하였다.

산정 결과 어류의 경우 reach27에서 통합 서식처 적합도 지수의 평균이 0.769로 가장 높게 산정되었고, 각 변수들의 평균은 유속 0.122 m/s, 수심 0.782m, 수온 14.3℃, BOD 0.68 mg/l, DO 10.3 mg/l, TN 2.4 mg/l, TP 0.0121 mg/l 분석되었다.

본 연구에서 기존 서식처 적합도 지수 산정 시 대부분의 연구에서 데이터의 한정으로 인해 단변량 분석을 사용해 제시된 지수를 RMA-2, QUAL2E 모형의 결과를 GIS와 데이터 베이스와 연계해 통합하는 과정을 통해 총 7가지 변량을 고려한 통합 서식처 적합도 지수를 산정하는 방법을 제시하였다. 이는 기존 단변량을 고려한 분석 방법보다 더 정확한 서식처의 환경을 평가하는 방법으로 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

마지막으로 본 연구의 한계점은 상관관계 함수를 기준으로 서식처 적합도 지수를 산정하였기 때문에 미세측 지점에 대한 검증이 이루어지지 않아 다른 하천에 대한 적용가능성의 평가가 이루어지

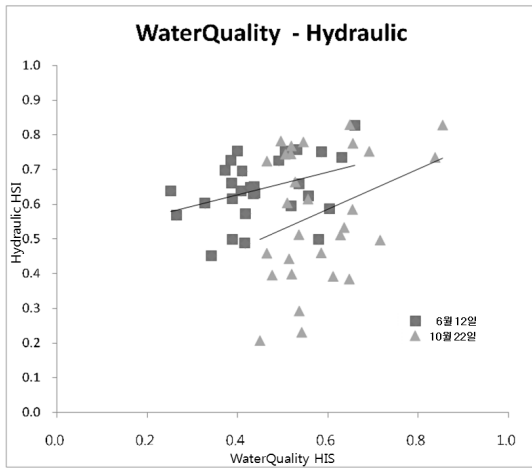


그림 8. 수질과 수리 적합도 지수의 상관성 분석

어류 통합 서식처 적합도 지수를 하천구간별 평균으로 비교해보면 6월 12일 유량규모의 경우 reach27번에 0.7688 로 통합 어류 서식처 적합도 지수가 가장 높게 산정되었다. 10월 22일 유량규모의 경우에서도 reach27번에 0.8417로 통합 어류 서식처 적합도 지수가 가장 높게 산정되었다. 6월 12일에 reach27의 유속, 수심, 수온, BOD, DO, TN, TP값은 0.185 m/s, 0.77 m, 14.30 ℃, 0.68 mg/l, 10.29 mg/l, 2.41 mg/l, 0.0121 mg/l 로 나타났고, 10월 22일에 reach27의 유속, 수심, 수온, BOD, DO, TN, TP값은 0.095 m/s, 0.6258 m, 14.31 ℃, 1.191 mg/l, 10.32 mg/l, 2.83 mg/l, 0.012 mg/l 로 나타났다. 시기가 다른 두 계절의 어류 서식처 적합도 지수가 비슷한 경향으로 산정 된 이유는 두 시기의 유량 규모가 13.33m³/s, 9.75m³/s로 비슷하기 때문으로 판단된다. 그러나 수질모의 결과의 경우 BOD 와 TN에 농도의 경우 다소 차이를 보이는 이유는 오염원 자료의 오염발생 정도는 비슷하나 유량이 작아짐으로 인해 농도의 값이 높게 산출된 것으로 판단된다. 수리에 대한 적합도 지수가 0.42에서 0.82 사이로 분포하며, 수질에 대한 적합도 지수는 0.23에서 0.68로 나타나고 있다. 그림 8은 수질과 수리 적합도 지수의 유량규모별 상관관계를 보여주고 있다.

지 않았다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 좀 더 많은 대상의 하천조사 자료가 필요할 것으로 판단된다.

사 사

이 논문은 2010년도 충북대학교 학술연구지원 사업의 연구부지원에 의하여 연구되었음.

참 고 문 헌

건설교통부 대전지방국토관리청(1999), 금강 수계 하천수 사용실태 조사 및 하천유지유량 산정 - 하천유지유량 산정, pp 185, 210~275

국토해양부 한국건설교통기술평가원(2010), 생물 서식환경 조성기술 개발 연구보고서(4차년도), pp. 3~32, pp. 456~513

김규호, 박성식, 전상린 (1999), “한강 달천에서 어류 조사 및 어류 서식처에 대한 수리학적 해석,” 99년 한국수자원학회 학술발표회논문집, 한국 건설기술연구원, pp. 517~522

우효섭(2001), 하천수리학, 청문각

이두한, 우효섭(1997), “자연형 하천 공법의 개발 및 적용(양재천 시험시공을 중심으로)” 한국수자원학회 학술발표대회논문집 pp. 63~68

한국수자원공사 (1995), 하천유지유량 결정 방법의 개발 및 적용, 한국수자원공사 조사계획처 IPD-'95-2 연구보고서, 대전.

Bovee, K. D. (1982), A Guide to Stream Habitat Analysis using the Instream flow Incremental Methodology, Instream Flow Information Paper No. 12. U.S. Fish and Wildlife Service, Office of Biological Services, Fws/OBS082/26, Fort Collins, Colorado.

Hur, J.W. and J.K. Kim(2009) Assessment of riverine health condition and estimation of optimal ecological flowrate considering fish habitat in downstream of Yongdam dam. J. Korea Water Res. Assoc. 42(6): 481-491

○논문접수일 : 11년 03월 20일
○심사의뢰일 : 11년 03월 25일
○심사완료일 : 11년 04월 23일