

연구논문

논산천과 양화천 수계 내 하천 생물서식처의 특성 분석

안태웅* · 안홍규** · 전승훈*** · 최준길**** · 하성룡***** · 오종민*****

경희대학교 대학원 환경공학과 박사과정*, 한국건설기술연구원 선임연구원**, 경원대학교 조경학과 교수***,
상지대학교 생명과학과 교수****, 충북대학교 도시공학과 교수*****,
경희대학교 건설환경공학부 환경공학과 교수 · 환경연구센터*****

(2009년 11월 25일 접수, 2010년 4월 6일 승인)

An Analysis of Ecological Habitat Characteristics in the Nonsan Stream and Yanghwa Stream

Tae-Woong Ahn* · Hong-Kyu Ahn** · Seung-Hoon Chun*** ·
Jun-Kil Choi**** · Sung-Ryong Ha***** · Jong-Min Oh*****

Department of Environmental Engineering, Kyunghee University*
Water Resources Research Department, Korea Institute of Construction Technology**
Department of Landscape Architecture, Kyungwon University***
Department of Biological Science, Sangji University****
Department of Urban Engineering, Chungbuk National University*****
Department of Environmental Engineering, Kyunghee University*****

(Manuscript received 25 November 2009; accepted 6 April 2010)

Abstract

This study investigates the relation between the location of a habitat and the ecological connections according to the habitat type in the riparian zone at the Nonsan Stream and Yanghwa Stream. Stream habitat is classified into nine types for the aquatic insects and fish. For vegetation and birds, habitat is classified into two types of medium-scale streams, including both physical and chemical streams are analyzed accordingly. Nowadays, The fundamental goal of the river environment restoration enterprise is the rehabilitation or the restoration of the characteristic the river scenic or environment. For instance, The Channel habitats which has physical nature environment such as flat, speedy rapids, or closed-channel wetland, pool are constructed by artificial, Consequently, make them autogenesis smoothly eco-environment. However, the river environment are controlled not only physical environment, but it also need reasonable the quality of the water to compose smoothly. Finally, understanding what influence are effecting on physical habitat environment which are made by natural factors to water quality are very important factor for the river environment restoration enterprise.

Therefore, In this research, we are targeting to a basin to investigate the environment of the physical channel habitat and evaluate the changing of the water quality. This results will be a important characteristic that can judge the physical habitat and reciprocity connected to the water quality or adequacy of restoration technology. Therefore in this study, as a step to quantify functions and values of habitats and definite factors to perform habitat, we selected a representative stream of sand-stream, gravel-stream to classify habitat characteristics and quantified the physical, chemical, biological characteristics.

Keywords : Channel habitat, Eco-environment, Restoration technology

1. 서론

자연형 하천복원이라는 개념은 지난 1990년대 이후 독일과 일본으로부터 도입되었고, 그 후로부터 도시의 중소하천을 대상으로 하천의 환경기능을 개선하려는 노력이 시작되었으며, 국내의 하도서식처 조성 기술은 인위적으로 정비된 하천을 대상으로 훼손된 자연성을 되살리기 위하여 물리적 환경의 개선을 중심으로 진행되어 왔다. 또한, 대상 생물이 필요로 하는 서식처 조성 기술은 거의 개발되어 있지 않은 상태에서, 기존의 하천복원은 저수호안의 안전성과 더불어 식생 피복율만을 높이기 위한 형태적 복원이 주된 하천복원의 형태라고 볼 수 있으며, 하도내 생물을 중심으로 한 서식처 복원은 매우 미비하다고 볼 수 있다. 이와 더불어 이러한 서식기반환경조성을 위하여 각각의 생물서식처의 구조분석 및 서식처의 질 평가, 그리고 이러한 서식처를 조성하기 위한 설치기술 및 설계기술의 도입이 절실히 필요한 실정이다. 국외의 경우, 생물서식처를 면밀히 분석하여 개체 생물에 적합한 서식처를 조성하기 위한 다양한 연구가 진행되고 있으며, 이러한 연구의 결과는 각종 기술개발로 이어져 하천복원관련 산업도 활발히 일어나고 있다. 특히, 국내의 경우 하천복원에 활용된 기존 기술들은 형태적인 복원이 주가 되어왔기 때문에 기술을 적용한 후 생물들이 와서 살아주기를 바라는 형태의 복원이었다면, 본 연구에서는 하천유역의 환경 훼손으로 인하여 개체수가 급감하고 있는 종을 복원 목표종을 선정하고 그 목표종이 서식할 수 있을 뿐 아니라 다른 종도 함께 서식할 수 있는 형태의 '하도생

물서식처 기반환경조성'을 목표로 하고 있다. 따라서 하천생태계의 총체적인 복원차원에서 접근 하에서 멸종 또는 사라질 위험에 처한 생물종의 복원이나 증진차원에서 요구되는 하도 서식처의 조성이 필요한 실정이다.

하천에 있어서 생물서식처에 관한 연구는 어류, 저서동물, 식생, 조류에 이르기까지 각기 생물종별로 연구가 진행되어 왔는데 어류의 경우, 미국의 어류 야생국에서 개발된 IFIM(Instrean Flow Incremental Methodology)에서는 하천 생물 서식공간의 규모와 특성별로 대규모 서식처(macro habitat), 중규모 서식처(meso habitat), 소규모 서식처(micro habitat)로 구분하고 개별적 서식처가 물고기들에게 피난처 겸 서식처로 기능하는 서식처의 수면적을 산정하였다. 하천 생물서식처의 유형분류에 관한 연구로는 수역의 어류의 서식처를 중점적으로 구분한 Roux and Copp(1996)의 연구와 어류의 서식환경에 따른 서식처의 개념과 유형을 구분한 연구가 있으며, 국내 연구로는 습지의 유형을 분류한 주위 홍과 김귀곤(2002)의 연구와 경관생태학의 공간 구조적 관점에서 분류한 나정화와 이정민(2003)의 연구가 있다. 생물서식처의 계층구분에 관한 연구로는 수역의 형태를 구분하고 흐름의 형태를 계층화한 Hawkins et al.(1993)의 연구가 있으며, 저서동물을 대상으로 생물 서식처를 초미세 서식처(super-micro-habitat)에서 초대형 서식처(biotope system)에 이르기 까지 6개의 계층으로 구분하고 그 크기를 제시하였다. 또한, 배연재 등(2003)은 유속과 하상물질 구성 등 환경 여건에 따라 하천생태계의 공간적 단위를 7개의 형태로

구분하고 그 규모를 제시하였으며, 배양섭 등 (2002)은 하천생태계 생물서식처로서 여울과 웅덩이를 생성원인에 따라 5가지로 분류하였다. 생물과 서식처와의 관계에 관한 연구로는 수생동물에 대해서는 수생동물과 저질과의 관계에 관한 연구, 반딧불이의 서식환경에 대한 연구가 있으며, 어류에 대해서는 웅덩이에서의 은어와 생활양식에 관한 연구가 있고, 조류에 대해서는 조류와 곤충·양서·파충류의 생태환경 구조파악에 대한 연구가 있다. 최근 하천 하천복원에 관한 가이드라인(환경부, 2002)이 제시되면서 생물서식처의 복원에 대한 연구가 활발히 진행되고 있는 상황이다. 그러나 이처럼 생물 분야별로 일정한 정해진 종을 대상으로 서식환경을 분석했던 기존의 연구와는 달리 본 연구에서는 하천의 서식처 유형구분을 통한 각 생물의 생태환경(물리·화학·생물적 특성) 분석과 생물 상호간 관련성에 대하여 분석하였다.

본 연구에서는 논산천과 양화천을 대상으로 하천의 물리적 특성과 생물서식처, 이에 반응하는 생물들의 상호관련성을 분석하여, 생물들에게 적합한 서식환경의 하천복원기술을 연구하는 기초적 자료로 활용하고자 하였다. 하도의 생물서식처는 생물에 의한 생활사의 단계에서 이용하고 있는 서식처가 다르기 때문에 하천환경의 복원 및 보전방법을 검토할 때에는 각각의 생활상에 따른 구체적인 서

식처 정보가 필요하며, 생물서식처 복원에 초점을 맞추어 조성되는 사례 및 적용 기술이 대부분으로 복원 목표종을 대상으로 하는 기술개발은 거의 없는 실정이다. 그러므로 올바른 생물서식처 조성을 위해서는 자연성이 높은 하천이 가지고 있는 생물서식처의 기능과 가치, 서식처 형성의 지배적인 요인 분석을 통하여 개별 서식처기술이 개발되어야 하며, 이를 바탕으로 개발된 기술의 현장적용을 통하여 그 기술을 검증받은 후, 비로소 실제 하천에 상용시킴으로써, 다양한 생물들이 모두 서식할 수 있는 생물서식 기반환경을 조성하기 위한 것이다. 따라서 본 연구에서는 생물서식처의 기능과 가치, 서식처 형성의 지배적인 요인을 정량화하기 위한 단계로 모래하천과 자갈하천의 대표적인 하천을 선정하여 생물서식처의 유형을 구분하고 물리·화학·생태적 특성을 정량화하고자 하였다.

II. 연구내용 및 방법

1. 연구대상지 개요

1) 논산천

논산천은 전북 완주군 운주면 고당리 와사봉줄기에서 발원하여 유하하면서 장선리에서 우안에서 유입하는 귀목동천과 합류한 후 안심천, 양촌천, 장성

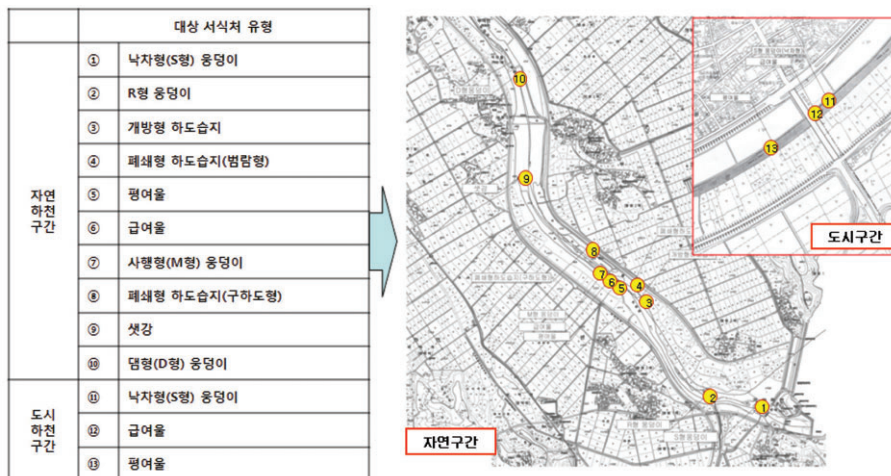


Fig. 1. 논산천의 하도생물서식처 조사 지점

천, 오산천, 입촌천, 웅천의 유입을 받은 후 담정저수지로 유입한다. 담정저수지부터는 그 후에 주변의 노성천과 강경천이 합류하여 논산천을 이루어 금강으로 흘러든다. 논산천의 총 유역면적은 665.0 km², 유로연장은 57.10 km이며, 그중에 국가하천 구간은 21.45 km로 담정호 하류부 모두 국가하천 구간에 속한다. 본 연구 지역인 논산천의 자연하천 구간과 도심하천구간의 하도서식처의 유형에 따른 조사 지점을 Figure 1에 나타내었다.

2) 양화천

양화천 유역은 동쪽으로 여주군 능서면과 이천군 장호원의 2개 군에 접해있고 남쪽으로는 안성시 죽산면과 이천시 설성면 2개시에 접해있고 서쪽으로는 이천시 부발, 대월, 감가면, 북쪽으로는 남한강을 사이에 두고 여주시 대신면이 접해있는 유역이다. 양화천의 총 유역면적은 334.0 km², 유로연장은 32.0 km이며, 유역형상은 상류부는 유역폭이 넓고 하류부는 유역폭이 좁게 되어있는 형상으로 평균폭은 약 7.5 km이다. 본 연구 지역인 양화천의 자연하천구간과 도심하천구간의 하도서식처의 유형에 따른 조사 지점을 Figure 2에 나타내었다.

2. 연구방법

1) 물리적 분석방법

본 연구에서의 물리 특성 조사는 하천의 횡단면, 하천의 지형, 유속, 수심, 하상재료 등 형태조사와 유량 조사가 이루어졌고, 서식처별로 하상재료 조사, 수심 및 유속분포 조사 등이 수행되었다.

2) 화학적 분석방법

수질조사는 현장조사와 실내실험으로 구분된다. 현장조사에서는 수온, pH, EC, DO 등을 측정하였으며, 실험실 내에서는 SS, BOD, T-N, T-P 등을 분석하였다. 현장조사에서 실시한 수온, pH, EC는 HACH-HQ40d를 이용하였으며, DO는 수질공정시험법에 준하여 현장에서 산소를 고정시킨 후 실험실에서 적정하여 분석하였다. 실험실 내에서 분석이 이루어진 SS, BOD, T-N, T-P 등은 수질공정시험법에 준하여 실시하였다.

3) 생태적 분석방법

본 연구에서 생태적 특성 분석 중 어류의 채집 및 분류는 어류의 채집은 정량 조사를 위하여 투망(7×7mm)과 족대(4×4mm)를 각각 14회, 40분간 사용하였다. 채집된 어류는 현장에서 10% 포르말린 용액으로 고정한 다음 실험실로 운반하여 동정, 분류하였다. 어류의 동정에는 국내에서 발표된 검색표



Fig. 2. 양화천의 하도생물서식처 조사 지점

(김, 1997; 최 등, 1990; 김과 박, 2002; 김 등, 2002)를 이용하였고 분류체계는 Nelson(1994)을 따랐다. 군집분석은 각 조사지점에 대하여 우점도(McNaughton, 1958), 종다양도(Shannon Weaver, 1963), 균등도(Pielou, 1966)를 산출하여 분석하였다. 논산천 하천구간과 주요 하도 생물서식처 유형의 지점을 기준으로 작성된 기준 도면을 이용하여 현장조사를 수행하였다. 현장조사는 가능한 사계절 조사를 수행하였으나 하천 생태계의 수리·수문학적 특성에 따른 홍수범람시기 전·후를 최대한 고려하였다. 따라서 2008년 8월과 10월, 2009년 4월과 6월에 걸쳐 현장조사를 실시하였으며, 현존식생도는 선행 자료를 기준으로 추가적인 조사 시기에 따라 지속적으로 보완하는 방식을 적용하여 최종의 도면을 작성하였다. 그리고 생태적 특성 분석 중 식생의 경우, 대표적인 하도 생물서식처 유형의 대표단면에 따른 식생조사는 선상 횡단법(line transect method)을 적용하여 현장 식생 조사를 수행하였고, 그 결과를 바탕으로 식생단면도를 작성하였다.

본 연구에서 저서성 대형무척추동물의 현장조사는 각 서식처 유형별 수량과 물리적인 환경을 고려하여 계류형 정량채집망인 Surber net (25×25cm, 망목지름 0.5mm)을 이용하여 채집을 하였으며, 모든 조사 채집물을 500ml 플라스틱 Vial에 넣는 방식으로 진행되었다. 또한 폐쇄형 하도습지(범람형) 등 각 지점의 특성에 따라 0.5mm 망목의 뜰채, D형 수서 채집망(25×25cm, 망목 1×1mm), 족대(망목 3×3mm)에 의한 정성채집을 병행하였다. 채집된 저서성 대형무척추동물 시료는 현장에서 95% 알코올에 고정하였고, 실험실로 운반·sorting한 후 80% ethanol에 보존하였다. 저서성 대형무척추동물의 각 분류군 중 수서곤충의 경우는 윤(1988, 1995), McCafferty (1981), Kawai (1985), Merritt & Cummins (1984, 1996) 및 Peckarsky *et al.* (1990), 원 등(2005) 등을 참고로 하여 동정하였다. 특히 갈따구류는 Wiederholm (1983)을 이용하여 외부형태, 특히 체장, 체색, mouth part 형

태, abdominal tube의 유무, 강모의 형태 등의 특징을 고려하여 임의로 과 수준(family level)에서 동정하였다(윤 등, 1994). 연체동물의 경우는 권(1990), 권 등(1993, 2001)을 참고로 하였고, 거머리류는 송(1995)을 참고 하였다. 기타 갑각류 및 환형동물류 등은 岡田要(1965a, b, c), Brinkhust (1974), Pennak (1989) 및 Peckarsky *et al.* (1990)을 이용하여 동정하였다. 동정된 학명의 체계 및 국명은 한국곤충명집(한국곤충학회, 1994)과 한국동물명집(한국동물분류학회, 1997)에 의거하여 작성하였다. 그리고 군집구조분석은 조사지점별로 정량적으로 채집된 자료로부터 출현한 분류군의 수를 비교하여 출현개체수, 우점종, 군집지수(우점도 지수, 다양도지수, 풍부도지수 및 균등도지수)를 산출하였다. 한편 출현종수의 경우에는 정성적으로 얻어진 자료를 포함하여 산출하였다. 총출현개체수를 N , i 종의 개체수를 N_i , 총 출현종수를 S , 제1우점종의 개체수를 N_1 , 제2우점종의 개체수를 N_2 라 할 때, 아래의 식으로 표현할 수 있다. 군집의 분석에는 정량채집을 통하여 얻어진 자료만을 이용하였다.

$$\text{우점도지수(DI)} = \frac{N_1 + N_2}{N} \quad \text{McNaughton(1967)}$$

$$\text{다양도지수(H')} = -\sum_{i=1}^S p_i \log_2 p_i, p_i = \frac{N_i}{N}, \quad \text{Shannon-Weaver(1949)}$$

$$\text{풍부도지수(R1)} = \frac{S-1}{\ln N} \quad \text{Margalef(1958)}$$

$$\text{균등도지수(J')} = \frac{H'}{\log_2 S} \quad \text{Pielou(1975)}$$

III. 생물서식처의 수리/지형학적 특성

하천에는 얇고 흐름이 빠른 여울과 깊고 흐름이 완만한 웅덩이가 존재한다. 여울은 상류에서부터 중류부근까지 구배가 심한 장소에 형성되며, 웅덩이는 흐름이 굽이치는 외향부나 커다란 바위 주변에 형성된다. 또한 물의 흐름이 상대적으로 완만한 만곡부에는 하천유황의 특성에 따라 식물이 전혀 자라지 않는 자갈만으로 형성된 사주가 발달하기도

하고, 토사퇴적이 왕성한 특성을 가진 하천에서는 상대적으로 식물성장에 유리한 유기물을 다량으로 함유한 토사가 퇴적됨으로 인하여 가늘고 긴 식생 사주와 하중주를 형성하기도 한다(Kamada M., Ogura YI(2006)). Table 1에는 각 생물서식처가 가지고 있는 수리적 특성과 지형학적 특성으로 서식처의 특성을 제시하였다.

하천의 형상이 복잡하게 사행하는 하천에서는 다양한 형태의 웅덩이와 범람원이 존재함으로 인하여 하천에 서식기반을 가지고 있는 다양한 생물들에게

서식처로 기능하고 있다. 예를 들면, 급여울과 연결된 웅덩이는 여울에서 생산된 조류와 수생곤충류가 웅덩이 쪽으로 유하하므로 이것을 먹이로 하는 동물의 서식공간이 되며, 유속이 느리고 깊은 웅덩이는 어류의 휴식장소로 많이 이용되는데 특히 겨울에는 어류의 월동장소로 이용되기도 한다(川端善一郎(1995)). 이러한 하천의 다양한 서식공간은 어류 및 수생생물의 생활과 밀접하게 관여하고 있으며 하천생태계의 도구로서도 인식되고 있다(富野 章(2001)). 이러한 생물서식처는 물의 흐름에 의하여

Table 1. 생물서식처의 수리/지형학적 특성

서식처 유형	수리/지형학적 특성
평여울	- 여울은 하도가 하상경사의 완급에 의하여 발생하며, 유속의 빠름과 느림에 따라 크게 평여울과 급여울로 구분한다. - 평여울은 지형변화에 의해 갑자기 하폭이 넓어지는 곳, 사행하천의 직선구간 등 유속이 완만하게 형성되는 곳이다.
급여울	- 계곡의 협착부(狹窄部)와 같이 하폭이 급격히 좁아져 유속이 빨라지는 곳이나 하상경사가 급격하게 변화하는 곳, 하상재질의 입자가 다른 장소에 비해 상대적으로 커지는 곳에서 나타난다. - 육안으로 물의 흐름을 느낄 정도의 파랑이 있어 하안 물너울을 볼 수 있다.
폐쇄형 하도습지 (범람형)	- 범람형 폐쇄형하도습지는 대규모 홍수가 발생할 때 제방이나 주변산지부 하단부 세굴에 의하여 형성되는 일시적인 습지를 말한다. - 따라서 1년에 1-2회 정도의 범람에 의하여 수원이 공급되기 때문에, 이러한 접촉반도에 따라 어류의 현존량과 생산성이 달라진다.
폐쇄형 하도습지 (구하도형)	- 구하도형 폐쇄형하도습지는 하도의 사행구간에 형성되는 깊은 웅덩이가 대규모 홍수가 발생하여 shut-cut 되어 잘리면서 독립적으로 형성되었다. - 평상시 본류와 연결되어있지 않으나, 구하도형 폐쇄형 하도습지의 수원은 복류수에 의하여 공급받는 경우가 많아 범람형 폐쇄하도습지와는 근본적으로 차이가 있다.
개방형 하도습지	- 개방형 하도습지는 만곡부 내측, 흐름의 사수역이나 사주부 말단에 주로 형성되는 수심이 얇고 유속이 거의 없으며, 물으로 깊게 들어간 장소나 그러한 형태의 하도습지를 말한다. - 평상시 본류와 연결되어있어 개방형 하도습지와 본류의 생물들이 자유롭게 이동할 수 있으나, 수심이 얇아 대형 육식성어종에게는 서식환경으로서는 열악하다.
징검다리형 여울	- 하도내에 존재하는 자연석이 징검다리와 같이 배치됨으로써 통수단면이 축소되고 그 결과 유속이 빨라지게 되어 발생하는 여울을 말한다. - 징검다리형 여울을 이루는 자연석 주변으로는 물의 흐름에 의하여 형성된 미세한 작은 웅덩이가 형성되어 어류의 일시적인 피난처로서 기능하며, 또한 유속이 상대적으로 빠르기 때문에 부착성저서동물들이 서식하는 경향이 많다.
셋강	- 하도의 주흐름(main flow)에서 벗어나 별도로 조성되는 부차적인 하도(side channel)를 말한다. - 홍수 소통능력을 높여주거나 생물서식처 조성을 위하여 외국의 경우 인공적으로 셋강을 조성하는 경우도 있다.
사행형 웅덩이	- 일반적으로 하천이 사행(meander)하면서 유수의 수층부가 깊게 파여 형성된 웅덩이를 말하며, 하도가 직선상에 있더라도 사주의 형성에 의해 유로가 사행하고 웅덩이가 형성되는 경우도 있다. - 상류 부분에는 너울을 동반한 급여울의 유입이 눈에 띄어 쉽게 구분할 수 있다.
댐형 웅덩이	- 보나 낙차공과 같이 횡단 구조물에 의하여 물이 가두어져서 형성되는 웅덩이를 말한다. - 상류에는 통상 평여울로 되어있고 웅덩이와의 경계설정은 어려우며, 수심, 유속, 하상재료의 변화에 따라 구역을 설정하여야 한다.
낙차형 웅덩이	- 폭포, 암반, 뚝, 보와 같은 구조물 하류에 위치하고 있으며, 횡단구조물에 의하여 유수가 떨어지거나 집중되면서 하상재료(Substrate)가 변화되면서 형성되는 웅덩이를 말한다. - 상류역에서는 하류쪽으로 약간의 평여울을 동반한 연속된 S형웅덩이가 연속되는 경향이 있다. - 하류에는 홍수시 세굴된 하상재료가 퇴적되기 때문에 쉽게 구분할 수 있다.
거석형 웅덩이	- 거석형 웅덩이는 하도내에 위치한 거석 주변으로 물의 흐름에 의하여 형성된 웅덩이를 말한다. - 이러한 거석형 웅덩이는 어류의 일시적인 피난처로서 기능한다. - 주로 하도내에 위치한 큰 바위나 교량주변 세굴에 의하여 형성되며, 치어들이 주로 서식하는 경향이 많다.

형성되는 하천지형을 기반으로 하고 있기 때문에 해당 하천의 강우와 같은 수리적 특성과 하폭, 유속 및 수심, 하상재료와 같은 물리적 여건에 따라 그 규모는 달라지며, 물과 접하고 있는 하천변과 고수부의 식생의 유무에 따라 크게 달라진다고 할 수 있으며, 이와 더불어 해당하천이 가지고 있는 고유의 생물다양성에 따라 개별 서식처의 이용행태는 달라질 수 있다. 따라서 다양한 형태의 생물서식처는 유수의 흐름에 따라 지형이 변화하고 이에 적응하며 살아가게 된다.

IV. 연구 결과

1 논산천 생물서식처의 물리/화학/생태적 특성분석

1) 물리적 특성

(1) 횡단특성

급여울의 상류부에는 평여울이, 하류부에는 낙차형 웅덩이가 존재하는 것이 일반적인 형태로 알려져 있다. 논산천의 경우도 급여울 직상류에는 평여

울이 존재하고 있는 것으로 나타났으며, 하류부에는 낙차형 웅덩이가 존재하고 있는 것으로 조사되었다. 급여울의 하상재료는 자갈로 형성되어 있는 것으로 조사되었고 하얀 포말을 일으키며 물이 하류로 유하하고 있는 것으로 나타났다. Figure 3에는 연구지역 내 급여울의 횡단면도를 나타내었다.

(2) 하상재료

본 연구에서 하상재료를 분석한 결과, D50은 약 26.5 mm로 유형이 구분된 생물서식처 중 가장 크게 나타났다. 이는 빠른 유속에 의하여 작은 입자들이 하류로 유송되어 굵은 입자만이 남아있었기 때문으로 추정되며, 장기적으로 여울이 형성되어있었기 때문에 굵은 자갈사이에 모래가 끼어있어 매우 견고한 형태를 이루고 있는 것으로 판단된다. 연구지역 내 급여울의 하상재료 모습과 채분석 결과를 Figure 4에 나타내었다.

(3) 수심 및 유속분석

급여울 구간은 하폭도 좁고 종단하상구배가 급격히 발생하는 장소에 형성되어 있는 것으로 조사되

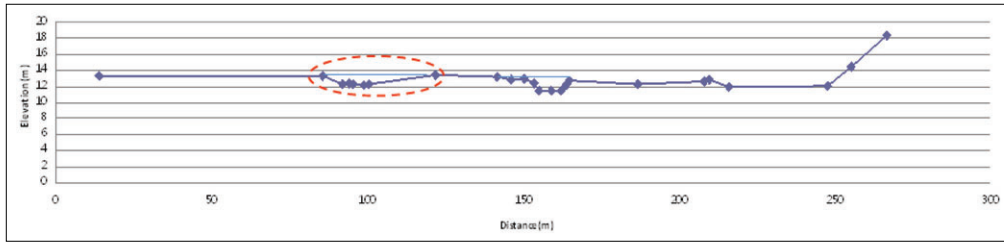


Fig. 3. 연구지역의 급여울 횡단면도

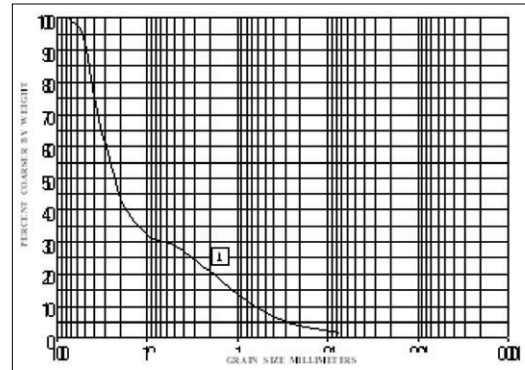
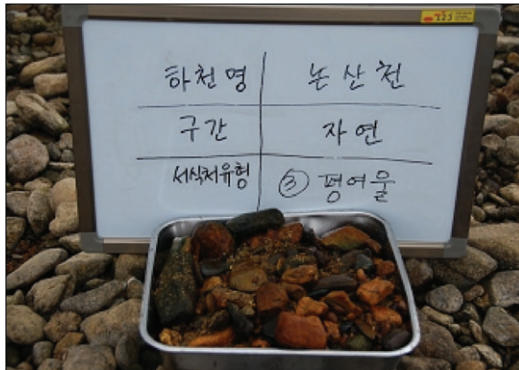


Fig. 4. 급여울의 하상재료 모습과 채분석 결과

Table 2. 급여울에서의 유속/수심 관계

하폭(m)	수심(cm)	유속(m/s)
1	0	0.00
2	9	0.73
3	9	0.63
4	17	0.77
5	13	0.66
6	11	0.75
7	4	0.22

었다. 이곳에서의 최대수심은 17 cm, 최대유속은 0.77 m/s로 측정되었으며(Table 2), 빠른 유속을 갖은 것으로 판단된다.

2) 화학적 특성

급여울의 화학적 분석 결과(Table 3), pH는 평균 7.5(범위 7.2~7.9)로 나타났다. 그리고 BOD 평균 농도가 2.2 mg/L로 조사되었으며, 농도 범위는 1.8~2.6 mg/L로 조사되어 다른 지점에 비해 매우 낮은 것으로 조사되었다. BOD의 경우 하천 수질기준으로 볼 때, 수질등급 II(약간 좋음)로 나타났다. COD의 평균 농도가 3.8 mg/L로 조사되었으며, 농도 범위는 3.2~4.4 mg/L로 조사되어 다른 지점에 비해 매우 낮은 것으로 조사되었다. T-N 평균 농도가 1.737 mg/L로 조사되었으며, 농도 범위는 1.332~2.044 mg/L로 조사되어 다른 지점에 비해 매우 낮은 것으로 조사되었다. T-P 평균 농도가

Table 3. 급여울의 수질오염도 분석결과

구분	1차 조사	2차 조사	3차 조사	4차 조사	평균값
수온(°C)	25.5	21.1	21.0	24.2	23.0
pH	7.3	7.7	7.9	7.2	7.5
EC(ms/cm)	150.2	178.2	160.3	191.8	170.1
DO(mg/L)	8.2	8.5	8.4	9.2	8.6
SS(mg/L)	6.4	9.2	7.4	6.6	7.4
BOD(mg/L)	1.8	2.1	2.6	2.2	2.2
COD(mg/L)	3.2	3.6	4.4	3.8	3.8
T-N(mg/L)	1.994	2.044	1.576	1.332	1.737
NO ₂ -N(mg/L)	0.204	0.242	0.228	0.238	0.228
NO ₃ -N(mg/L)	0.014	0.022	0.026	0.022	0.021
NH ₄ -N(mg/L)	0.095	0.158	0.186	0.174	0.153
T-P(mg/L)	0.130	0.238	0.332	0.284	0.246
PO ₄ -P(mg/L)	0.011	0.018	0.022	0.024	0.019

0.246 mg/L로 조사되었으며, 농도 범위는 0.130~0.332 mg/L로 조사되어 다른 지점에 비해 매우 낮은 것으로 조사되었다. SS의 평균 농도가 7.4 mg/L로 조사되었으며, 농도 범위는 6.4~9.2 mg/L로 조사되어 다른 지점에 비해 매우 낮은 것으로 조사되었다.

여울은 하도가 사행함으로써 발생하며, 유속의 빠름과 느림에 따라 크게 평여울과 급여울로 구분한다. 급여울은 지형변화에 의해 갑자기 하폭이 좁아지는 곳에 주로 볼 수 있으며, 사행 하천의 직선 구간 등 유속이 빠르게 형성되는 곳에서 주로 나타난다. 평여울에 비해 급여울은 하천에 있어 수심이 낮고, 유속이 느린 여울보다 매우 빠른 여울이다. 계곡의 협착부와 같이 하폭이 급격히 좁아져 유속이 빨라지는 곳이나 하상경사가 급격하게 변화하는 곳, 하상재질의 입자가 다른 장소에 비해 상대적으로 커지는 곳에서 나타나 오염농도가 낮은 것으로 판단된다. 급여울에서는 재포기 현상이 일어나고 있기 때문에 오염물질에 대한 농도가 낮은 것으로 판단된다.

3) 생태적 특성

(1) 식생

급여울 지역은 S자형의 저수로에 의해 형성된 여울로서 좌·우안 고수부지가 넓게 발달하였으며, 주로 모래사주의 하상저질 상에 갈대 군락이 우점하였고, 버드나무류 유목과 물억새가 주로 패치상 분포를 하였으며, 저수로 변은 줄풀과 나도겨풀 군락이 소규모로 출현하였다.

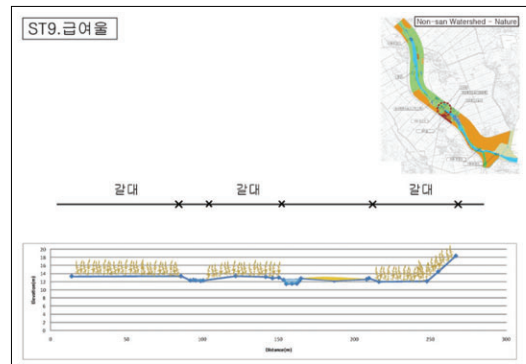


Fig. 5. 급여울의 현존 식생 단면도

(2) 어류

급여울 지역에서의 어류 출현종은 2과 8종 93개체(어류상 빈약)로 나타났으며, 우점종은 피라미로 나타났고, 대표종(표징종)도 피라미로 조사되었다(Table 4). 이에 따른 서식지 특성은 유속이 빠르며 유폭이 좁으며 하상에 작은 돌과 모래가 풍부한 곳이라고 할 수 있다.

Table 4. 급여울의 어류 목록 조사 결과

학 명	어 종	급여울
<i>Hemibarbus labeo</i>	누치	4
<i>Hemibarbus longirostris</i>	참마자	4
<i>Pseudogobio esocinus</i>	모래무지	3
* <i>Sarcocheilichthys nigripinnis morii</i>	중고기	2
<i>Opsarichthys uncirostris amurensis</i>	끄리	3
<i>Zacco platypus</i>	피라미	40
<i>Rhinogobius brunneus</i>	밀어	12
<i>Tridentiger brevispinis</i>	만물검정망둑	25
Family	과	2
Species	종	8
Individuals	총합계	93

(3) 저서성 대형무척추동물

급여울은 총 32종이 출현하여 전체적인 수계평균 종수와 비슷하게 확인되었다. 분류군별로는 하루살이류 6종, 파리류가 8종, 딱정벌레류 6종, 잠자리류 2종, 날도래류 6종, 갑각류 1종, 연체동물류, 환형동물, 및 편형동물이 각각 1종, 2종, 그리고 1종으로 파악되었다(Table 5). 이 지점의 평균 우점도지수(DI)는 0.66로 나타났고, 종다양도지수(H')는 2.58, 균등도지수(J')는 0.52, 풍부도지수(RI)는 4.07로 나타났다. 줄날도래가 중요 우점종으로 나타났으며, 흰줄날도래류가 아우점종으로 나타난 것

Table 5. 급여울의 저서성 무척추동물의 특성 조사 결과

서식처 유형	급 여 울		
하상 기질	유로-모래+자갈+호박돌(자갈)호박돌)모래)		
기타 수환경	유수(유속: 빠름), 유량 보통, 투명도 보통		
대표종	우점종	1차 조사	줄날도래(점유율 63.5%)
		2차 조사	줄날도래(점유율 60.4%)
		3차 조사	Tanypodinae sp.(점유율 50.3%)
		평균	줄날도래(점유율 53.2%)
	아우점종	1차 조사	흰줄날도래(점유율 15.1%)
		2차 조사	흰줄날도래(점유율 11.7%)
3차 조사		개똥하루살이(점유율 22.98%)	
	평균	흰줄날도래(점유율 12.6%)	
중요 그룹	하루살이류(개똥하루살이, 깨알하루살이)		
	날도래류(줄날도래, 통날도래)		

은 유기물의 유입이 많고 유속이 빠른 지역이 이들의 서식에 적합한 형태이기 때문이다. 따라서 본 서식처 유형 측면에서 급여울의 대표적인 저서성 대형무척추동물 그룹은 줄날도래류라고 할 수 있으며, 그 외 중요 분류군은 깨알하루살이, 및 통날도래로 파악되었다.

2. 양화천의 물리/화학/생태적 특성

1) 물리적 특성

(1) 횡단특성

주하도의 흐름에서 벗어나 있으며 제방측 혹은 저수로에 붙어 형성된 2차 흐름으로 상시 본류의 영향을 크게 받는다. 양화천의 경우 셋강 주변에 급여울이 존재하고 주변의 하상재료가 대부분 자갈로 형성되어있는데 반하여, 이곳에서는 모래질이 대부분이다.

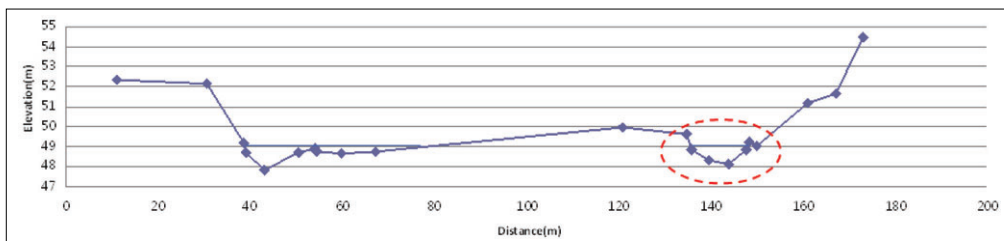


Fig. 6. 셋강의 횡단면도

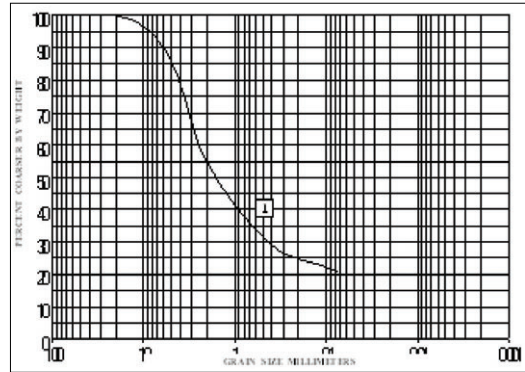


Fig. 7. 셋강의 하상재료 모습과 채분석 결과

(2) 하상재료

하상재료 분석결과 D50은 약 1.5 mm로 분석되었으며, 2 mm채 통과율이 54.8%로 모래와 자갈이 섞여 있는 형태로 나타났다.

(3) 수심 및 유속분석

셋강의 수심은 주변의 급여울에 비하여 상대적으로 깊게 나타나고 있다(Table 6). 특히, 셋강은 지속적인 유량공급과 더불어 본천의 영향을 강하게 받기 때문에 수위가 조금만 올라가도 영향을 받아 지속적으로 침식을 받고 있기 때문으로 판단된다. 셋강에서의 최대수심은 67 cm, 최대유속은 0.14 m/s로 나타났다.

Table 6. 셋강에서의 유속/수심관계

하폭(m)	수심(cm)	유속(m/s)
1	33	0.05
2	44	0.05
3	44	0.1
4	52	0.14
5	64	0.12
6	67	0.11
7	67	0.11
8	57	0.11
9	63	0.04
10	65	0.02
11	63	0.01
12	39	0.01
13	0	0

2) 화학적 특성

셋강은 하도의 주흐름(main flow)에서 벗어나 별도로 조성되는 부차적인 하도(side channel)를 말한다. 홍수 소통능력을 높여주거나 생물서식처 조성을 위하여 외국의 경우 인공적으로 셋강을 조성하는 경우도 있다. 셋강은 하천에서의 유입이 일어나 희석작용으로 인해 오염물질의 농도가 낮은 것으로 조사되었다.

셋강의 화학적 분석 결과(Table 7), pH는 평균 7.7로 나타났고 범위는 7.2~8.1로 나타났다. 그리고 BOD 평균 농도가 2.3 mg/L로 조사되었으며, 농도 범위는 1.9~3.0 mg/L로 조사되어 다른 지점에 비해 비교적 높은 것으로 조사되었다. BOD의 경

Table 7. 셋강 수질오염도 분석 결과

구분	1차 조사	2차 조사	3차 조사	4차 조사	평균값
수온(°C)	24.2	15.6	19.5	25.7	21.3
pH	8.1	7.7	7.2	7.9	7.7
EC(ms/cm)	201.7	212.2	270.5	276.8	240.3
DO(mg/L)	8.2	8.5	8.7	8.8	8.5
SS(mg/L)	2.4	6.8	8.4	6.6	6.1
BOD(mg/L)	1.9	2.0	3.0	2.2	2.3
COD(mg/L)	4.4	4.4	5.6	9.2	5.9
T-N(mg/L)	2,894	2,902	2,693	1,745	2,559
NO ₂ -N(mg/L)	0.422	0.426	0.542	0.225	0.404
NO ₃ -N(mg/L)	0.024	0.026	0.032	0.034	0.029
NH ₄ -N(mg/L)	0.082	0.084	0.088	0.080	0.084
T-P(mg/L)	0.194	0.212	0.320	0.124	0.213
PO ₄ -P(mg/L)	0.012	0.022	0.028	0.024	0.022

우 하천 수질기준으로 볼 때, 수질등급 II(약간 좋음)로 나타났다. COD의 평균 농도가 5.9 mg/L로 조사되었으며, 농도 범위는 4.4~9.2 mg/L로 조사되어 다른 지점에 비해 비교적 높은 것으로 조사되었다. T-N 평균 농도가 2.559 mg/L로 조사되었으며, 농도 범위는 1.745~2.902 mg/L로 조사되어 다른 지점에 비해 비교적 낮은 것으로 조사되었다. T-P 평균 농도가 0.213 mg/L로 조사되었으며, 농도 범위는 0.124~0.320 mg/L로 조사되어 다른 지점에 비해 비교적 낮은 것으로 조사되었다. SS의 평균 농도가 6.1 mg/L로 조사되었으며, 농도 범위는 2.4~8.4 mg/L로 조사되어 다른 지점에 비해 비교적 낮은 범위를 나타내는 것으로 조사되었다. 하지만 3차 조사 시 갈수에 의한 오염물질의 농축으로 인해 오염농도가 높게 나타나는 경향을 보였다.

3) 생태적 특성

(1) 식생

양화천 중류부의 셋강 및 사행형(M형) 웅덩이는 하나의 하상단면상에 복합적으로 나타나는 하천미지형적 서식처로서 복잡한 수리·수문학적 작용의 결과를 보여주는 곳이다. 따라서, 저수로 하상의 중심부에 형성된 하중도형 모래 사주에 의해 좌안의 셋강과 우안의 사행형 웅덩이가 구분되어진다. 사행형 웅덩이의 경우 우안 저수로 호안부의 경사가 매우 급하며 갯버들 패치와 물억새가 혼합하여 분포하였고, 소산식생대는 건조한 초본류가 우점하였다. 셋강의 경우 직선수로를 따라 좌안의 고수부지

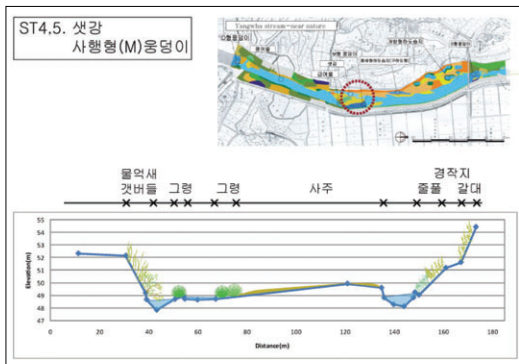


Fig. 8. 셋강의 현존 식생 단면도

Table 8. 셋강의 식생 목록 조사 결과

과 명	국 명	학 명
Salicaceae (버드나무과)	갯버들	<i>Salix gracilistyla</i> Miq.
	버드나무	<i>Salix koreensis</i> Andersson
Gramineae (벼과)	갈대	<i>Phragmites communis</i> Trin.
	물억새	<i>Miscanthus sacchariflorus</i> (Maxim.) Benth.
	그령	<i>Eragrostis ferruginea</i> (Thunb.) P. Beauv.
	줄풀	<i>Zizania latifolia</i> (Griseb.) Turcz. ex Stapf

상에 식생이 발달하였는데, 주로 줄풀과 갈대 군락이 우점하고 있으며, 줄풀은 패치형태로 저수로 호안부에 산생하였고, 갈대 군락은 물억새와 함께 고수부지를 면적으로 덮고 있었다.

(2) 어류

셋강 지역에서의 어류 출현종은 24과 20종 209개체로 나타났으며, 우점종은 떡납줄갱이로 나타났고, 대표종(표징종)은 떡납줄갱이, 피라미, 각시붕

Table 9. 셋강의 어류 목록 조사 결과

학 명	국 명	셋강
<i>Carassius auratus</i>	붕어	16
<i>Cyprinus carpio</i>	잉어	4
* <i>Acanthorhodeus gracilis</i>	가시납지리	10
<i>Acheilognathus rhombeus</i>	납지리	3
<i>Rhodeus notatus</i>	떡납줄갱이	42
* <i>Rhodeusuyekii</i>	각시붕어	24
<i>Abbottina rivularis</i>	버들매치	2
<i>Gnathopogon strigatus</i>	줄물개	6
<i>Hemibarbus longirostris</i>	참마자	1
* <i>Microphysogobio yaluensis</i>	돌마자	11
<i>Pseudogobio esocinus</i>	모래무지	9
<i>Pseudorasbora parva</i>	참붕어	18
<i>Pungtungia herzi</i>	돌고기	6
* <i>Squalidus gracilis majimae</i>	긴물개	2
* <i>squalidus japonicus</i>	물개	5
<i>Opsarichthys uncirostris amurensis</i>	꼬리	1
<i>Zacco platypus</i>	피라미	38
<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>	미꾸리	5
* <i>Odontobutis interrupta</i>	얼룩동사리	3
<i>Rhinogobius brunneus</i>	밀어	3
과	-	4
종	-	20
총합계	-	209

어로 조사되었다. 이에 따른 서식지 특성은 유속이 빠르고 수심이 깊으며 하상에 모래와 자갈이 풍부 급여울과 연결된 곳이라고 할 수 있다.

(3) 저서성 대형무척추동물

셋강은 총 48종이 출현하여 전체적인 수계평균 종수보다 높게 출현하였다. 그리고 날도래류와 파리류가 각각 10종, 하루살이류가 7종, 연체동물류, 및 환형동물이 각각 7종, 그리고 3종으로 파악되었다. 다른 지점들에 비해 재첩 등 연체동물류의 서식 구성률이 높게 나타났으며 이 지점의 평균 우점도 지수(DI)는 0.43로 나타났고, 종다양도지수(H')는 3.89, 균등도지수(J')는 0.71, 풍부도지수(RI)는 6.76으로 나타났다. 그리고 깔따구류가 중요 우점종으로 나타났으며, 줄날도래류가 아우점종으로 나타난 것은 유기물의 유입이 많고 유속이 빠른 지역이 이들의 서식에 적합한 형태이기 때문이다. 따라서 본 서식처 유형 측면에서 셋강의 대표적인 저서성 대형무척추동물 그룹은 줄날도래를 포함하는 날도래류라고 할 수 있으며, 그 외 중요 분류군은 연체동물류의 재첩 및 말조개 등으로 파악되었다.

Table 10. 셋강의 저서성무척추동물 특성 조사결과

서식처 유형	셋 강		
하상 기질	유로-모래+점토(모래)점토		
기타 수환경	유수(유속: 비교적 느림), 유량 보통, 투명도 보통		
대표종	우점종	1차 조사	개똥하루살이(점유율 14.3%)
		2차 조사	줄날도래(점유율 23.2%)
		3차 조사	Polipedium sp.(점유율 51.5%)
		평균	Polipedium sp.(점유율 32.8%)
	아우점종	1차 조사	자실잠자리(점유율 14.3%)
		2차 조사	명주각다귀 KUa(점유율 14.1%)
		3차 조사	Tanypodinae sp.(점유율 16.1%)
		평균	줄날도래(점유율 7.7%)
중요 그룹	날도래류(가시날도래, 날개날도래)		
	비곤충류(재첩, 말조개)		

V. 결론

생물 서식처는 생물의 서식장소를 나타내는 기본 단위이다. 하천은 유수와 유사의 상호작용에 의해서 하천미지형이 형성되고 생물의 서식처 즉 다양

한 서식처가 형성된다. 서식처는 하상형태나 물의 흐름, 하안형상과 관계가 깊다. 웅덩이와 여울 그리고 자갈사이의 작은 틈 등은 수역의 대표적인 서식처라고 할 수 있다. 생물은 그 생활사의 각 단계에서 특정의 서식처를 이용하고 또한 필요에 따라 서식처사이를 이동하기도 한다. 따라서 서식처는 질적·양적으로도 그 분포와 생태연계에 매우 중요한 것이다. 또한 하천에서 서식처를 결정짓는 가장 중요하고 본질적인 것은 하천이 항상 변화를 반복한다는 것이다. 즉 하천에서의 서식처는 홍수와 증수, 그리고 토사이동에 의하여 항상 변화하므로 서식처를 복원하고자 할 경우 서식처 자체의 복원뿐만 아니라 서식처가 재생할 수 있는 system 복원이 중요하다고 할 수 있다.

하도서식처 특성 분석을 통하여 생물서식처의 재생 system 복원을 위한 다음과 같은 결론을 도출하였으며, 이러한 결론에 기초하여 하천 생물서식처 조성을 위한 연구로 이어져야 할 것으로 판단된다.

- 1) 생물서식처 특성분석에서 저서동물 및 어류의 개체수가 양호한 서식조건으로 급여울과 같이 서식처별로 일정 정도의 수심과 유속을 유지하여야 하며, 개방형 하도습지와 같이 특정종의 서식 및 산란을 하기 위해서는 완만한 유속(10~40 cm/s)이 유지되고 먹이섭취, 산란, 은폐를 위해서는 수변식물과 수초와 같은 커버를 조성해 주어야만 한다.
- 2) 저서동물들의 서식을 위해서는 다양한 유속의 변화를 제공하고 이들 저서동물의 짝짓기 및 우화를 위해서는 수변 가까이에 식생이 필수적이며, 아울러 식생종도 다양하여야 하며 추후 생물서식처 복원을 위해서는 장기적 식생 천이를 고려한 개발을 주도하여야 한다.
- 3) 각시붕어나 납자루와 같은 유영력이 약한 어류의 산란 및 피난처로서 기능하기 위해서는 개방형 하도습지와 같이 일정 수심 및 유속의 확보와 동시에 자신의 몸을 은폐시킬 수 있는 식물커버나 다공질성 공극의 제공이 반드시 필요하다.

- 4) 생물 서식처로서 올바르게 기여하기 위해서는 수질의 개선은 절대적인 요소이며, 개방형 습지와 같이 생물의 먹이·우화·이동을 위한 생물 서식처로 기여하기 위해서는 약 2-3급수 정도면 양호하다.
- 5) 어류뿐 아니라 저서동물과 양서파충류의 수명 주기를 고려하여 폐쇄형 하도습지의 기능은 매우 중요하며, 하도 - 하도습지 - 주변 산지로 이어지는 생태네트워크에 관한 연결성이 매우 중요하다.
- 6) 이러한 생태계 연결성과 관련하여서는 하도습지 조성과 같은 단위기술로는 해결할 수 없으며, 복수의 하도습지 조성, 주변 하천식물의 식재 등을 통하여 점진적인 하천복원의 연결이 이루어져야만 한다.

따라서 본 연구에서는 각 생물의 서식처특성 분석에서 도출한 결론에서 생태하천복원을 위한 기술을 개발하고자 할 때는 그 하천의 여건에 맞는 서식처 특성을 선택하여야 한다. 지금까지 생태하천 복원 연구들이 복원 공법을 적용한 후에 생물들이 와서 살아주기를 바라는 기술이었다면, 앞으로는 복원하고자 하는 목표종을 선정하고 그 생물의 서식 특성에 알맞은 기술을 연구하여 적용함으로써 생물 중심의 하천복원이 이루어져야 할 것으로 판단된다. 이러한 측면에서, 본 연구는 해당하천의 물리적 하도특성을 면밀히 분석하고, 수질변화와 그 생물의 서식공간에 따른 생물상의 특성을 분석한 초유의 연구라 할 수 있으며, 본 연구는 생태학과 공학의 공동연구를 통한 시험적 연구의 시도라 할 수 있다. 향후, 경년변화에 따른 수문자료의 축적과 서식처의 변화와 이에 따른 생물상의 추적조사가 지속적으로 이루어져야 보다 정성적이며 정량적인 결과를 도출할 수 있을 것으로 판단되며, 지속적인 연구를 기대하는 바이다.

사 사

본 연구는 건설교통부 및 한국건설교통기술평가

원 건설핵심기술연구개발사업(06건설핵심B01)의 연구비 지원으로 수행되었으며, 지원에 감사드립니다.

참고문헌

- 권오길, 민덕기, 이종락, 이준상, 제종길, 최병래, 2001, 신원색한국패류도감, 민패류박물관, 332.
- 배연재, 원두희, 이용재, 송현우, 2003, 하천생태계에 대한 환경평가 기법과 생물다양성 관리 시스템의 개발 및 적용, 환경생물, 21(3), 223-233.
- 송광래, 1995, 한국산 거머리강(환형동물문)의 분류, 고려대학교 석사학위논문, 57.
- 송미영, 2006, 하천 생물상 모니터링 기법 적용 방안, 경기개발연구원, 152.
- 원두희, 권순직, 전영철, 2005, 한국의 수서곤충, (주)생태조사단, 415.
- 윤일병, 1988, 한국동식물도감, 동물편(수서곤충류), 문교부, 840.
- 윤일병, 1995, 수서곤충검색도설, 정행사, 262.
- 이창석, 오종민, 이남주, 2003, 하천환경과 수변식물, 동화기술, 296.
- 이충렬, 2001, 갑천수계의 어류상과 어류군집, Korean J. Environ. Biol.
- 최기철, 전상린, 김익수, 손영목, 2002, 원색한국담수어도감, 향문사, 1-277.
- 한국건설기술연구원, 1995, 도시하천의 하천환경 정비기법의 개발, 한국건설기술연구원 보고서.
- 한국건설기술연구원, 2001, 국내 여건에 맞는 자연형 하천공법의 개발, 한국건설기술연구원 보고서.
- 한국건설기술연구원, 2002, 일본의 하천 생태기능 복원을 위한 공법 및 기술 관련 연구, 한국건설기술연구원 보고서.
- 한국건설기술연구원, 2005, 하천 생태기능 복원을 위한 핵심기술개발 연구, 한국건설기술연구원 보고서.

- 茅場祐一, 島谷幸宏, 1999, 河川におけるハビタットの概念とその分類, 土木技術資料, 41(7), 32-37.
- 茅場祐一, 天野邦彦, 2004, 河川におけるハビタットの空間スケールと計画への利用, 土木技術資料, 46(6), 40-45.
- 川邦部浩哉, 宮地伝三郎, 森圭一, 原田英司, 水原洋城, 大串龍一, 1956, 遡上アユの生態とくに淵におけるアユの生活様式について, 京大生理生態業績, 79.
- 沼田 眞, 水野信彦, 1993, 河川の生態学, 築地書館.
- 日本道路, 2000, 侵食コントロールブランケット技術資料, 日本道路.
- 高橋 裕, 1997, 河川・法面工法にみる工學的生物学實踐, 彰國社.
- 竹門康弘, 谷田一三, 玉置昭夫, 向井宏, 川端善一郎, 1995, 棲み場所の生態学, 平凡社.
- 富野 章, 2001, 多自然型水 辺空間の創造-生きとし生けるものにやさしい川づくり-, 信山社サイテック.
- 櫻井善雄, 2003, 川づくりとすみ場の保全, 信三社.
- 財団法人リバーフロント整備センター, 1998, 多自然型川づくり施工と現場の工夫, 財団法人リバーフロント整備センター.
- 養父志乃夫, 2007, ビオトプ再生技術入門, 農産漁村文化協會.
- Allan, J. D., 1995, Stream Ecology. Structure and function of running waters, Chapman & Hall, London. 388.
- Boon, P. J., 1988, The impact of river regulation on invertebrate communities in the U.K. Regulated Rivers: Research and Management, 389-409.
- Brinkhurst, R. O. and D. G. Cook, 1974, Aquatic Earthworms (Annelida: Oligochaeta). 143-156.
- Dudgeon, D., 1994. Functional assessment of the effects of increased sediments loads resulting from riparian-zone modification of a Hong Kong stream, Verh. Internat. Verein. Limnol, 1790-1792.