

농림지역 및 자연환경보전지역의 저서성 대형무척추동물 군집을 이용한 하천생태계 건강성 평가

박오집^{*,**} · 배양섭^{**,***,****†}

^{*}(주)생태기술연구소

^{**}인천대학교 생명과학과

^{***}인천대학교 생물자원환경연구소

^{****}인천대학교 매개체감염병연구소

Assessment of River Ecosystem Health Using Benthic Macroinvertebrate Communities in Agricultural and Natural Conservation Areas

Oh-Jip Park^{*,**} · Yang-Seop Bae^{**,***,****†}

^{*}Eco Technology Institute co., Ltd.

^{**}Division of Life Sciences, College of Life Sciences and Bioengineering, Incheon National University, Academiero, Incheon 22012, Republic of Korea

^{***}BioResource and Environmental Center, Incheon National University, Academiero, Incheon 22012, Republic of Korea

^{****}Convergence Research Center for Insect Vectors, Division of Life Sciences, College of Life Sciences and Bioengineering, Incheon National University, Songdodong, Incheon, 22012, Republic of Korea

(Received : 27 January 2025, Revised : 1 May 2025, Accepted : 1 May 2025)

요약

본 연구는 안성천 유역의 농림지역과 자연환경보전지역을 대상으로 하천생태계 건강성을 평가하였다. 두 지역 모두 농업활동이 활발히 이루어지는 공통점을 가지면서도, 자연환경보전지역은 보호구역으로 지정되어 인간활동이 제한된다는 점에서 차별성을 보인다. 이에 보호구역으로의 지정이 하천생태계에 미치는 영향을 규명하고 토지이용 유형에 따른 생태적 차이를 분석하고자 하였다. 이화학적 수질평가 및 저서성 대형무척추동물을 활용한 군집분석, 기능군 및 지표종 분석, 그리고 생물학적 지수(TESB, AESB, BMI)를 통해 각 지역의 생태적 특성을 비교·분석하였으며, 결과적으로 두 지역간 이화학적 수질평가와 생물학적 지수에서 유의한 차이를 확인할 수 있었다. 이러한 결과는 보호구역 지정이 생태계 건강성 유지에 긍정적인 영향을 미친다는 점을 시사한다. 따라서, 농림지역에서는 비점오염원 관리를 위한 완충지대 조성과 같은 대책이 필요하며, 자연환경보전 지역에서는 정기적인 모니터링과 보호 체계 강화를 통해 지속 가능한 하천생태계 관리가 요구된다.

핵심용어 : 인간활동 영향, 환경지표, 토지이용 유형, 용도지역, 상수원보호구역

Abstract

This study assessed the ecological health of stream ecosystems in agricultural and natural conservation areas within the Anseongcheon watershed. Both areas share the common feature of active agricultural activities; however, natural conservation areas are designated as protection zones where human activities are restricted, creating a key distinction. The study aimed to investigate the impact of protection zone designation on stream ecosystems and analyze ecological differences based on land use types. Comprehensive evaluations were conducted using physicochemical water quality assessments, community analysis of benthic macroinvertebrates, functional group and indicator species analysis,

[†]To whom correspondence should be addressed.

Department of Division of Life Sciences, Incheon National University
E-mail : baeys@inu.ac.kr

• Oh-Jip Park Eco Technology Institute co., Ltd, Incheon University, Korea/Researcher(dhwlqcft@gmail.com)

• Yang-Seop Bae Incheon University, Korea/Professor(baeys@inu.ac.kr)



This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

and biological indices (TESB, AESB, BMI) to compare and analyze the ecological characteristics of each area. The results revealed significant differences in physicochemical water quality and biological indices between the two areas. These findings indicate that the designation of protection zones positively contributes to maintaining ecosystem health. Consequently, agricultural areas require measures such as buffer zone establishment and non-point source pollution management, while natural conservation areas necessitate regular monitoring and strengthened protection systems to ensure the sustainable management of stream ecosystems.

Key words : Anthropogenic impact, Environmental indicators, Land use type, Land use zoning, Water source protection zone

1. 서론

하천생태계는 수질 정화, 서식지 제공, 생물다양성 유지와 같은 생태적 서비스를 통해 인간과 자연환경에 필수적인 기능을 수행한다(Allan, 2004; Wallace and Webster, 1996). 오늘날 도시화와 농업활동은 하천생태계에 심각한 영향을 미치며, 비점오염원 증가, 유기물 축적, 서식지 변화와 같은 환경적 교란을 초래한다. 이러한 변화는 생물다양성 감소와 생태계 기능 저하로 이어져 하천 건강성을 크게 위협하고 있다(Allan, 2004; Deborde et al., 2016). 특히, 가축의 방목 및 경작과 같은 농업활동은 토양 침식이나 미세퇴적물, 영양소(질소, 인 등) 및 살충제가 대량으로 유출되어 수환경을 악화시키며(Nascimento et al., 2018), 유기물 부하와 비점오염원을 증가시켜 하천 환경에 큰 영향을 미친다.

하천생태계의 주요 구성원이자 어류의 주요 먹이원인 저서성 대형무척추동물은 퇴적물의 유기물 함량이 높아지거나 독성물질에 의한 퇴적물 오염 등과 같은 서식처 교란에 매우 민감하게 반응하기 때문에 종수와 개체수의 분포 등 군집구조의 차이가 뚜렷하여 중요한 생물학적 지표로 이용된다(Hynes, 1963; Kehde and Wilhm, 1972). 다양한 오염에 대한 수환경의 변화 분석에 있어서 저서성 대형무척추동물은 여러 가지 측면에서 그 유용성이 매우 높다(Metcalfe, 1996). 그 이유는 첫째, 각 분류군에 따라 반응하는 오염원의 민감성이 다르고, 다양한 오염에 대해 빠른 반응을 보인다. 둘째, 대부분의 담수생태계, 특히 유수생태계에서는 종이 다양하고 풍부하게 분포하기 때문에 채집에도 용이하고 보편성이 높으며, 분류가 잘 정립되어 있다. 셋째, 이동성이 비교적 작은 편이므로 서식 지역의 하천 환경을 잘 대변할 수 있다. 넷째, 환경질을 반영하기에 충분히 긴 생활사를 가지며, 마지막으로 각 분류군이 군집에서 다른 기능을 수행하고, 다양한 영양 단계를 구성하고 있어, 수환경의 변화에 따라 다양한 반응을 한다는 것이다(Yoon et al., 1992).

안성천 유역은 북위 36° 50' ~ 37° 20', 동경 126° 50' ~ 127° 00'에 걸쳐 한반도 중서부에 위치하고 있으며, 유역 면적은 1,654.61 km², 유로 연장은 71.05 km로서 북동측으로 한강 유역, 남동측으로는 금강 유역, 남서측으로는 삼포천 유역과 접하고 있고, 국가 하천 4개와 지방하천 99개로 총 103개의 법정 하천으로 구성되어 있다(Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2014). 또한, 안성천 유역은 공업지역, 주거지역, 녹지지역, 농림지역, 자연환경보전지역 등 다양한 토지 유형이 분포하며, 유역 내에 도시화, 산업화

및 농업활동 등이 복합적으로 전개되고 있어 하천생태계 연구의 대표적 대상지로 적합하다. 그중 농림지역과 자연환경보전지역은 모두 농업활동이 활발히 이루어지는 공통점을 가지면서도, 자연환경보전지역은 상수원보호구역으로 지정되어 하천구역에서의 폐수 및 분뇨 배출시설 설치, 야영, 취사 등 수질오염을 유발할 수 있는 인간활동이 제한된다는 점에서 뚜렷한 관리적·제도적 차이를 보인다. 그러나 두 지역은 경작지와 축사와 같은 유사한 외부 환경 요인을 공유하고 있으나 보호구역으로 지정함으로써 안성천 유역의 생태계 건강성에 실질적으로 어떤 영향을 미치고 있는지에 대한 명확한 이해는 부족한 실정이다.

이에 본 연구에서는 안성천 유역의 농림지역 및 자연환경보전지역의 하천생태계 건강성을 종합적으로 평가하여 두 지역 모두 농업활동이 활발히 이루어지는 상황에서 보호구역(상수원보호구역) 지정이 하천생태계에 미치는 영향을 규명하고, 토지이용 유형에 따른 생태적 차이를 분석하고자 한다. 한편, 보호구역 지정은 하천생태계 건강성을 높이는 데 효과적이라는 연구 사례도 보고된 바 있다(Peralta et al., 2019). 이를 바탕으로 이화학적 수질평가, 저서성 대형무척추동물의 출현 종조성, 군집구조, 기능군 및 지표종 분석을 실시하고, 생물학적 지수(TESB, AESB, BMI)를 활용한 수환경평가를 통해 각 지역의 생태적 특성을 비교·분석하였다. 결과적으로 농림지역과 상수원보호구역으로 지정된 자연환경보전지역간 생태적 차이를 이해하고, 하천관리 및 복원 전략 수립에 기초자료를 제공하는 데 의의가 있다. 한편, 동일한 안성천 유역을 대상으로 저서성 대형무척추동물을 이용해 산업지역과 농업지역의 생태계 건강성을 비교한 연구(Park and Bae, 2024)와 도시지역(공업, 주거, 녹지지역)의 생태계 건강성을 평가한 연구(Park and Bae, 2025)도 이미 진행된 바 있다. 본 연구는 이들 선행연구와 연구 대상지역은 동일하지만, 보호구역으로 지정된 자연환경보전지역과 농림지역 간의 생태적 차이 및 보호구역 지정의 효과에 초점을 맞추었다는 점에서 차별성을 지닌다.

2. 연구 방법

2.1 조사 범위 및 방법

2.1.1 시·공간적 범위

2023년 10월(추계), 2024년 4월(춘계), 2024년 6월(하계, 우기시 전), 2024년 8월(하계, 우기시 후) 등 총 4회의 현장

조사를 실시하였다.

연구대상 지역으로는 안성천 유역의 지류하천인 교포천, 두릉천(이상 농림지역), 통삼천, 산하천, 사후천, 입장천(이상 자연환경보전지역) 등 6개 하천이며, 총 12개의 조사지점을 선정하였다(Table 1, Fig. 1). 조사지점 선정 시 저서성 대형무척추동물의 군집은 해발고도 및 하폭과 같은 물리적 환경 요인에 영향을 받는 것으로 보고된 기존 연구(Vannote et al., 1980; Braccia and Voshell, 2006; Kwon et al., 2012)를 참고하였으며, 이에 따라 해발고도는 약 20 m 이하, 하폭 약 70 m 이하의 범위 내에서 조사지점을 선정하였다(Table 2). 하천의 전반적인 하상 구조는 Wentworth (1922)의 기준에 따라 실트(Silt), 모래(Sand), 자갈(Gravel), 큰돌(Boulder)로 구분되었으며, 실트, 모래 및 자갈의 비율이 높았다.

2.1.2 이화학적 수질평가 및 생물시료 채집

수온(°C), 용존산소(DO, mg/L), pH, 전기전도도($\mu\text{S}/\text{cm}$) 등의 기초 수질항목을 다항목수질측정기(YSI-Propus, YSI, US)를 이용하여 측정하였으며, 저서성 대형무척추동물의 채집은 Surber net (30×30 cm, mesh size: 500 μm) 및 Dredge sampler (30 cm, mesh size: 0.5 mm)를 이용하여 정량적 조사를 실시하였다.

2.2 분석 방법

2.2.1 군집분석

1) 우점도 지수(Dominance index)

제 1 우점종과 제 2 우점종의 개체수 비율을 나타낸다 (McNaughton, 1967).

$$DI = \frac{N_1 + N_2}{N}$$

N_1 : Number of individuals of the first dominant species

N_2 : Number of individuals of the second dominant species

N : Total individual count of occurring species

2) 다양도 지수(Diversity index)

군집의 개체수와 종수 사이의 상대적인 균형을 나타낸다 (Shannon and Weaver, 1949).

$$H' = - \sum_{i=1}^S p_i \log_2 p_i \cdot p_i = \frac{N_i}{N}$$

N_i : Number of individuals of species i

N : Total individual count of occurring species

3) 풍부도 지수(Richness index)

군집의 상태를 표현하는 지수이며, 총 종수 및 개체수를 이용하여 산출하고, 종이 풍부하거나 환경의 상태가 양호할수록 높은 값을 나타낸다(Margalef, 1958).

$$RI = \frac{S-1}{\ln N}$$

S : Total number of species

N : Total number of individuals

Table 1. Detailed locations of each survey point

Classification	Stream name	Address	GPS coordinates
Agricultural areas	AA-1	Gyopo stream Gyeonggi Pyeongtaek-si, Oseong-myeon Yanggyo-ri 786-5	37° 00'50"N, 126° 58'16"E
	AA-2	Gyopo stream Gyeonggi Pyeongtaek-si, Oseong-myeon Sukseong-ri 8-4	37° 00'44"N, 126° 59'25"E
	AA-3	Gyopo stream Gyeonggi Pyeongtaek-si, Oseong-myeon Gyopo-ri 170	37° 00'04"N, 126° 59'36"E
	AA-4	Dureung stream Gyeonggi Pyeongtaek-si, Godeok-myeon Dureung-ri 687-7	37° 03'36"N, 127° 01'07"E
	AA-5	Dureung stream Gyeonggi Pyeongtaek-si, Godeok-myeon Dureung-ri 516-3	37° 03'22"N, 127° 00'42"E
	AA-6	Dureung stream Gyeonggi Pyeongtaek-si, Godeok-myeon Dongcheong-ri 554-6	37° 02'25"N, 127° 00'01"E
Natural conservation areas	NCA-1	Tongsam stream Gyeonggi Yongin-si, Cheoin-gu Namsa-eup Bongmyeong-ri 549	37° 06'20"N, 127° 07'27"E
	NCA-2	Tongsam stream Gyeonggi Yongin-si, Cheoin-gu Namsa-eup Bongmyeong-ri 549	37° 06'31"N, 127° 07'34"E
	NCA-3	Sanha stream Gyeonggi Pyeongtaek-si, Jinwi-myeon Unsan-ri 1179	37° 05'39"N, 127° 06'50"E
	NCA-4	Sahu stream Gyeonggi Pyeongtaek-si, Jinwi-myeon Dongcheon-ri 360-2	37° 06'18"N, 127° 06'51"E
	NCA-5	Ipjang stream Chungnam Cheonan-si, Seobuk-gu Seonghwan-eup Doha-ri 447	36° 57'22"N, 127° 09'34"E
	NCA-6	Ipjang stream Chungnam Cheonan-si, Seobuk-gu Seonghwan-eup Angung-ri 18-4	36° 57'44"N, 127° 08'37"E

4) 균등도 지수(Evenness index)

군집 내 종 조성의 균등한 정도를 나타내며, 1에 가까울수록 안정적인 군집을 의미한다(Pielou, 1975).

$$J' = \frac{H'}{\log_2 S}$$

S : Total number of species

H' : Diversity index

2.2.2 기능군 분석

1) 섭식기능군(Functional feeding groups, FFGs)

먹이에 대한 선호도와 이에 따른 섭식행동방법을 기반으로 섭식기능군을 구분할 수 있다(Merritt and Cummins, 1996; Smith, 2001; Ro and Chun, 2004). 섭식방법에 따라, 찢어먹는 무리(Shredder : SH), 긁어먹는 무리(Scraper : SC), 걸러먹는 무리(Collector-filterer : CF), 주워먹는 무리(Collector-gatherer : CG), 찢어먹는 무리(Predator-piercer : PI), 잡아먹는 무리(Predator-engulfer : PE), 기타(Unknown : UN)로 구분하였다.

2) 서식기능군(Habitat orientation groups, HOGs)

살아가는 서식처에서의 행동에 따라 서식기능군을 구분할 수 있다(Merritt and Cummins, 1996; Ro, 2002). 행동에 따라, 굴파는무리(Burrower : BU), 붙어다니는무리(Clinger

: CL), 기어오르는 무리(Climber : CB), 미끄럼타는 무리(Skater : SK), 기는 무리(Sprawler : SP), 헤엄치는 무리(Swimmer : SW), 기타(Unknown : UN)로 구분하였다.

2.2.3 지표종 분석

지표종은 특정 서식지나 환경에서 개체수의 상대적 풍부도가 높은 종을 지표종으로 정의하며, Dufrêne and Legendre (1997)의 지표종 분석 방법을 적용하여, 각 지역별 상위 5개 지표종을 선정하였다.

2.2.4 수환경평가

1) ESB (TESB, AESB)

Kong et al.(2018a)이 제안한 환경질 평가 기법인 TESB (Total ecological score of benthic macro invertebrate community) 및 AESB (Average ecological score of benthic macro invertebrate community)를 이용하였다.

$$\textcircled{1} \quad TESB = \sum_{i=1}^s Q_i \quad \textcircled{2} \quad AESB = \frac{\sum_{i=1}^s Q_i}{S}$$

$TESB$: Total ecological score of benthic macroinvertebrate community

$AESB$: Average ecological score of benthic macroinvertebrate community

Q_i : Environmental quality score of species i

S : Total number of species

Table 2. Stream characteristics and stream order in agricultural and natural conservation areas of the Anseongcheon watershed

Classification	Stream name	Stream Type	Elevation (m)	Stream width (m)	Stream order
Agricultural areas	AA-1	Gyopo stream (Local stream, Anseongcheon, Level I Tributary)	12	15	1st-order stream
	AA-2	Gyopo stream (Local stream, Anseongcheon, Level I Tributary)	5	36	1st-order stream
	AA-3	Gyopo stream (Local stream, Anseongcheon, Level I Tributary)	5	60	1st-order stream
	AA-4	Dureung stream (Local stream, Anseongcheon, Level II Tributary)	10	13	1st-order stream
	AA-5	Dureung stream (Local stream, Anseongcheon, Level II Tributary)	8	40	1st-order stream
	AA-6	Dureung stream (Local stream, Anseongcheon, Level II Tributary)	5	32	1st-order stream
Natural conservation areas	NCA-1	Tongsam stream (Local stream, Anseongcheon, Level II Tributary)	18	24	1st-order stream
	NCA-2	Tongsam stream (Local stream, Anseongcheon, Level II Tributary)	20	32	1st-order stream
	NCA-3	Sanha stream (Local stream, Anseongcheon, Level II Tributary)	17	23	1st-order stream
	NCA-4	Sahu stream (Local stream, Anseongcheon, Level II Tributary)	19	20	1st-order stream
	NCA-5	Ipjang stream (Local stream, Anseongcheon, Level I Tributary)	10	70	2nd-order stream
	NCA-6	Ipjang stream (Local stream, Anseongcheon, Level I Tributary)	8	70	2nd-order stream

2) 저서성 대형무척추동물 평가지수(BMI)

저서성 대형무척추동물 평가지수(Benthic macroinvertebrate index ; BMI)는 국립환경과학원에서 시행하는 “수생태계 현황 조사 및 건강성 평가 방법 등에 관한 지침(하천편)” 중 BMI 지수를 적용하였다(Kong et al., 2018b).

출현한 생물 지표종의 출현도, 오타치 및 지표가중치를 적용하여 산정하며, 평가 지수에 따라 5단계인 Excellent “A”, Good “B”, Fair “C”, Poor “D”, Very bad “E” 등급으로 평가한다.

$$BMI = \left(4 - \frac{\sum_{i=1}^n s_i h_i g_i}{\sum_{i=1}^n h_i g_i} \right) \times 25$$

BMI : Benthic macroinvertebrate index

i : The serial number assigned to indicator species

n : Total number of indicator species

s_i : Pollution value of indicator species

h_i : Occurrence rate of indicator species

g_i : Indicator weight of indicator species

2.2.5 통계 분석

이화학적 수질지표, 군집지수 등의 차이를 비교·분석하기

위해 독립표본 T-검정(independent T-test)를 실시하였으며, 통계적 유의수준(p -value)은 0.05로 설정하였다. 또한, 군집지수 간의 선형적 관계를 분석하기 위해 simple linear regression analysis를 실시하였으며, 회귀계수(기울기 및 절편), 설명력(R^2), 유의확률(p -value)을 산출하였다. 유의수준은 $p < 0.05$ 로 설정하였으며, 분석은 Python 언어를 이용하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 이화학적 수질평가

농림지역에서 수온은 여름철(3, 4차 조사) 조사시 비교적 높을 값을 기록하는 등 일반적인 계절적 차이를 보였다. 평균 수온은 19.5~21.2℃로 나타났으며, 조사지점별로 변화폭의 차이는 크지 않았다. 용존산소의 경우 수온과 유사한 경향을 나타냈는데, 수온이 높게 측정된 여름철 조사 시 상대적으로 낮은 수치를 기록했다. 평균 용존산소는 5.7~7.2 mg/L로 나타났으며, AA-6에서 5.7 mg/L로 조사지점 중 가장 낮은 평균 값을 기록했다. 평균 pH는 7.6~8.3으로 비교적 안정적인 수치를 나타냈으며, 평균 전기전도도는 624.2~640.6 $\mu S/cm$ 의 범위로 나타났다. 자연환경보전지역에서 조사지점별 평균 수온은 19.1~20.8℃로 나타났으며, 평균 용존산소는 7.6~9.3 mg/L, 평균 pH는 7.7~8.3, 평균 전기전도도는 478.6~583.5 $\mu S/cm$ 로 측정되었다(Table 3).

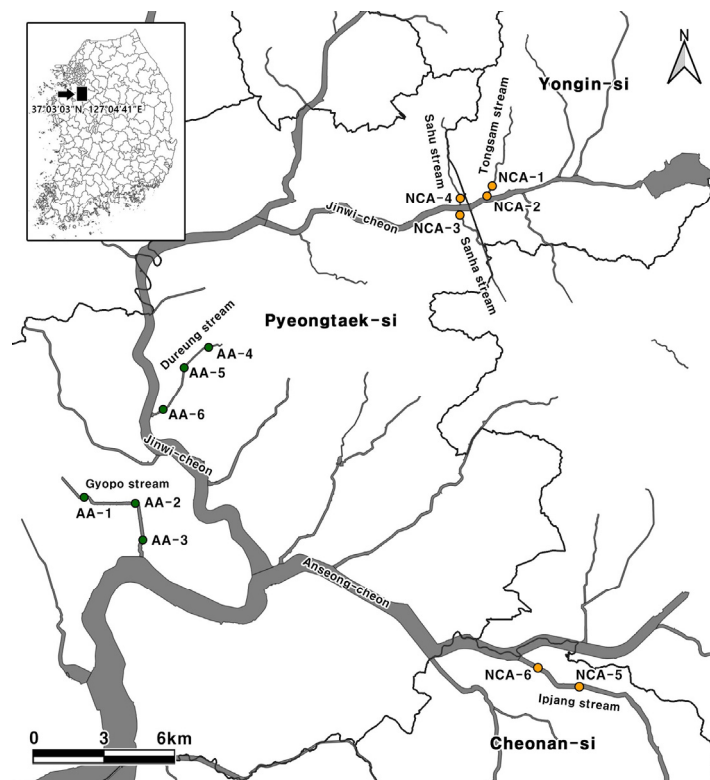


Fig. 1. Locations of study sites (Anseongcheon watershed). AA-1~6, Agricultural areas survey sites 1~6; NCA-1~6, Natural conservation areas survey sites 1~6.

3.2 출현 종 현황

농림지역에서 출현한 저서성 대형무척추동물은 총 37과 55종 2,100개체(ind/m²)였으며, 자연환경보전지역에서는 총 48과 69종 2,264개체(ind/m²)가 출현하였다(Fig. 2). 자연환경보전지역에서 농림지역에 비해 상대적으로 많은 종수 및 개체수가 확인되었다.

3.3 분석 결과

3.3.1 군집분석

농림지역에서 조사지점별 4회 조사 시 우점도 지수는

0.38~0.71, 다양도 지수는 2.02~3.46, 풍부도 지수는 1.23~3.86, 균등도 지수는 0.68~0.84의 값을 보였다(Table 4).

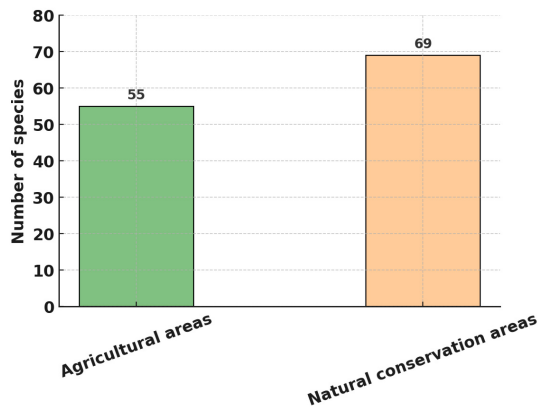
자연환경보전지역에서 조사지점별 4회 조사 시 우점도 지수는 0.38~0.68, 다양도 지수는 2.22~3.63, 풍부도 지수는 1.67~4.45, 균등도 지수는 0.72~0.88의 값을 보였다(Table 5).

군집지수에 대한 선형적 관계 분석 결과, 두 지역 모두에서 우점도 지수가 증가할수록 균등도 지수는 유의하게 감소하는 경향을 보였으며, 다양도 지수와 풍부도 지수 간에는 강한 양의 관계가 확인되었다(Fig. 3).

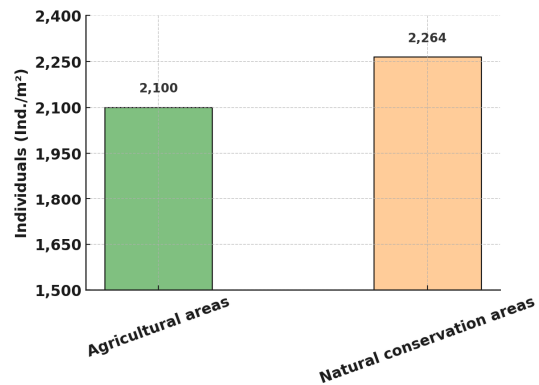
Table 3. Comparison of water quality parameters in agricultural and natural conservation areas

Classification	Water temperature (°C)	DO (mg/L)	pH	Electrical conductivity (μS/cm)	
Agricultural areas	AA-1	13.7~27.5 (20.1)	6.3~8.4 (7.2)	8.0~8.8 (8.3)	589.4~687.0 (640.2)
	AA-2	11.8~28.0 (19.5)	6.2~8.3 (7.2)	7.5~8.2 (7.9)	590.8~679.0 (638.9)
	AA-3	12.6~27.2 (19.6)	5.4~7.7 (6.1)	7.9~8.1 (8.0)	608.2~640.8 (624.7)
	AA-4	12.3~28.0 (20.7)	5.6~8.1 (6.9)	7.6~8.2 (7.9)	580.8~685.2 (633.2)
	AA-5	14.5~27.6 (21.2)	5.4~7.5 (6.3)	7.2~8.1 (7.8)	589.9~687.9 (640.6)
	AA-6	13.3~26.6 (19.9)	5.0~6.9 (5.7)	7.1~8.0 (7.6)	579.0~669.0 (624.2)
Natural conservation areas	NCA-1	14.1~27.5 (20.5)	7.0~9.2 (8.0)	7.6~8.2 (8.0)	512.8~640.5 (561.6)
	NCA-2	12.8~26.5 (19.5)	7.1~7.9 (7.6)	7.6~8.3 (8.0)	405.7~601.7 (478.6)
	NCA-3	12.3~26.5 (19.1)	7.6~9.1 (8.3)	7.2~8.4 (8.0)	407.0~589.6 (516.3)
	NCA-4	13.3~27.0 (19.9)	8.0~9.9 (8.9)	7.3~8.0 (7.7)	436.8~613.5 (531.2)
	NCA-5	14.7~26.2 (19.9)	7.6~9.8 (8.5)	7.8~8.4 (8.1)	505.3~673.6 (575.3)
	NCA-6	14.3~27.5 (20.8)	8.5~10.2 (9.3)	8.1~8.5 (8.3)	514.4~682.1 (583.5)

Note : The values in parentheses represent the average values from four investigations at each survey point.



(a)



(b)

Fig. 2. Comparison of number of species and individual density across agricultural and natural conservation areas. (a) Number of species, (b) Individuals.

3.3.2 기능군 및 지표종 분석

농림지역에서는 섭식기능군 분석 결과, UN을 제외하고, CG가 87개체(29.4%)로 가장 높은 비율을 차지하였다. PE는 49개체(16.6%)로 두 번째로 높은 비율을 보였으며, CF는 16개체(5.4%) 등의 순으로 확인되었다. 서식기능군 분석 결과, CL이 87개체(29.4%)로 가장 높은 비율을 보였다. BU는 77개체(26.0%)로 두 번째로 높은 비율을 보였으며, SW는 64개체(21.6%)로 나타났다. 자연환경보전지역에서는 섭식기능군 분석 결과, CG가 105개체(33.8%)로 가장 높은 비율을 차지하는 것으로 나타났다. PE는 47개체(15.1%)로 두 번째로 높은 비율을 보였으며, CF는 40개체(12.9%) 등의 순으로 나타났다. 서식기능군 분석 결과, CL은 113개체(36.3%)로 가장 높은 비율을 보였다. BU는 71개체(22.8%)로 두 번째로 높은 비율을 보였으며, SW는 78개체(25.1%) 등의 순으로 나타났다(Fig. 4).

지표종 분석을 통해 각 지역의 생태적 특성과 환경상태를 나타내는 주요 종들을 확인하였으며 분석 결과, 농림지역에서는 깔따구류(Chironomidae spp. (non-red type)), 깔따

구류 붉은색(Chironomidae spp. (red type)), 개뿔하루살이(*Baetis fuscatus*), 실지렁이(*Limnodrilus gotoi*), 새뱅이(*Cardinia denticulata denticulata*)가 주요 지표종으로 확인되었다. 자연환경보전지역에서는 깔따구류, 개뿔하루살이, 실지렁이, 꼬마줄날도래(*Cheumatopsyche brevilineata*), 모기류(Culicidae spp.)가 주요 지표종으로 확인되었다.

3.3.3 수환경평가(TESB, AESB, BMI)

농림지역에서 조사지점별 TESB 지수는 11~52의 값을 보였으며, 환경상태(Environmental status)는 “Very bad”~“Moderate”, “E”~“C” 등급(Class)으로 나타났다. 지역관리(Area control) “Priority restoration”~“Monitoring”, 수질등급(Water quality) “IV-VI”~“II”, 종풍부도(Species richness) “Very low”~“Moderate”였다. 평균 TESB 값(28)에 따른 환경상태는 “Bad”, “D” 등급으로 나타났다. AESB 지수는 1.8~2.8의 값을 보였으며, 환경상태는 “Very bad”~“Moderate”, “E”~“C” 등급으로 분류되었다. 지역관리 “Priority restoration”~“Monitoring”, 수질등급 “IV-VI”~“II”, 종풍부도 “Very low”~“Moderate”였다. 평균

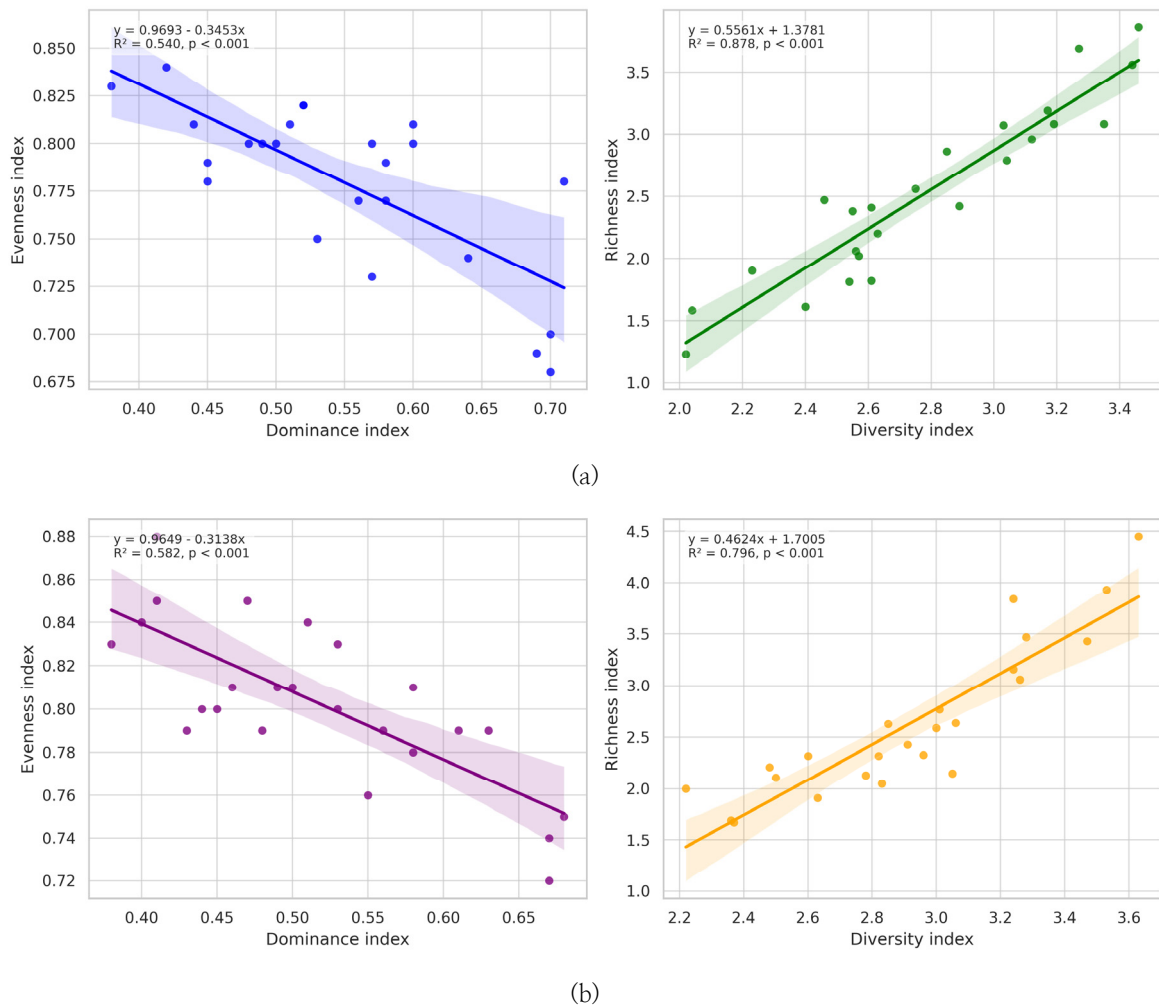


Fig. 3. Comparison of community analysis in agricultural areas (a), natural conservation areas (b). The dominance index and evenness index indices showed a negative correlation, while the diversity index and richness index indices exhibited a positive correlation.

AESB 값(2.2)에 따른 환경상태는 “Bad”, “D” 등급으로 나타났다. BMI 지수는 25~54의 수치로 평가되었으며, 환경상태는 “Very bad”~“Fair”, “E”~“C” 등급으로 나타났다.

평균 BMI 값(40)에 따른 환경상태는 “Poor”, “D” 등급의 수준으로 분석되었다. 자연환경보전지역에서 조사지점별 TESB 지수는 20~66의 값을 보였으며, 환경상태는 “Bad”

Table 4. Community indices of agricultural areas

Classification		Dominance index (<i>DI</i>)	Diversity index (<i>H'</i>)	Richness index (<i>RI</i>)	Evenness index (<i>J'</i>)	
Survey point	Survey period					
Agricultural areas	AA-1	1st	0.38	3.44	3.56	0.83
		2nd	0.70	2.04	1.58	0.68
		3rd	0.45	3.03	3.07	0.78
		4th	0.45	3.17	3.19	0.79
	AA-2	1st	0.52	3.19	3.08	0.82
		2nd	0.71	2.02	1.23	0.78
		3rd	0.56	2.75	2.56	0.77
		4th	0.64	2.55	2.38	0.74
	AA-3	1st	0.48	3.12	2.96	0.80
		2nd	0.60	2.57	2.02	0.81
		3rd	0.53	2.85	2.86	0.75
		4th	0.49	3.27	3.69	0.80
	AA-4	1st	0.44	3.46	3.86	0.81
		2nd	0.70	2.23	1.90	0.70
		3rd	0.50	3.04	2.79	0.80
		4th	0.69	2.46	2.47	0.69
	AA-5	1st	0.51	2.89	2.42	0.81
		2nd	0.52	2.61	1.82	0.82
		3rd	0.57	2.61	2.41	0.73
		4th	0.58	2.56	2.06	0.77
	AA-6	1st	0.42	3.35	3.08	0.84
		2nd	0.57	2.54	1.81	0.80
		3rd	0.60	2.40	1.61	0.80
		4th	0.58	2.63	2.20	0.79

Table 5. Community indices of natural conservation areas

Classification		Dominance index (<i>DI</i>)	Diversity index (<i>H'</i>)	Richness index (<i>RI</i>)	Evenness index (<i>J'</i>)	
Survey point	Survey period					
Natural conservation areas	NCA-1	1st	0.53	2.96	2.33	0.83
		2nd	0.56	2.63	1.91	0.79
		3rd	0.41	3.05	2.15	0.88
		4th	0.46	2.91	2.43	0.81
	NCA-2	1st	0.38	3.47	3.43	0.83
		2nd	0.43	3.24	3.16	0.79
		3rd	0.45	3.06	2.64	0.80
		4th	0.50	3.01	2.77	0.81
	NCA-3	1st	0.40	3.26	3.06	0.84
		2nd	0.47	2.83	2.05	0.85
		3rd	0.67	2.22	2.00	0.74
		4th	0.53	2.85	2.63	0.80
	NCA-4	1st	0.41	3.53	3.93	0.85
		2nd	0.58	2.82	2.32	0.81
		3rd	0.51	2.78	2.13	0.84
		4th	0.61	2.37	1.67	0.79
	NCA-5	1st	0.49	3.00	2.59	0.81
		2nd	0.58	2.60	2.32	0.78
		3rd	0.63	2.36	1.69	0.79
		4th	0.68	2.48	2.21	0.75
	NCA-6	1st	0.48	3.28	3.47	0.79
		2nd	0.67	2.50	2.11	0.72
		3rd	0.44	3.63	4.45	0.80
		4th	0.55	3.24	3.84	0.76

~“Moderate”, “D”~“C” 등급으로 나타났다. 지역관리 “Restoration”~“Monitoring”, 수질등급 “III”~“II”, 종풍부도 “Low”~“Moderate”로 분석되었다. 평균 TESB 값(35)에 따른 환경상태는 “Moderate”, “C” 등급으로 나타났다. AESB 지수는 2.3~3.5의 값을 보였으며, 환경상태는 “Bad”~“Good”, “D”~“B” 등급으로 분석되었다. 지역관리 “Restoration”~“Protection”, 수질등급 “III”~“Ib”, 종풍부도 “Low”~“High”였다. 평균 AESB 값(2.7)에 따른 환경상태는 “Moderate”, “C” 등급으로 나타났다. BMI 지수는 33~72의 수치로 평가되었으며, 환경상태는 “Very Bad”~“Good”, “E”~“B” 등급으로 나타났다. 평균 BMI 값(51)에 따른 환경상태는 “Fair”, “C” 등급의 수준으로 분석되었다 (Table 6).

3.4 고찰

본 연구에서는 안성천 유역의 농림지역(교포천, 두릉천) 및 자연환경보전지역(통삼천, 산하천, 사후천, 입장천)의 하

천생태계 건강성을 종합적으로 평가하여 보호구역(상수원 보호구역) 지정이 하천생태계에 미치는 영향을 규명하고 토지이용 유형에 따른 생태적 차이를 분석하고자 하였다. 이에 이화학적 수질평가와 저서성 대형무척추동물을 이용한 군집분석, 기능군·지표종 분석 및 수환경평가(TESB, AESB, BMI)를 실시하였다.

이화학적 수질지표에 대한 통계적 분석 결과, 수온과 pH는 두 지역간 유의한 차이($p > 0.05$)를 보이지 않았다. 반면 전기전도도 및 용존산소는 유의한 차이($p < 0.05$)를 나타냈다. 전기전도도는 농림지역에서 624.2~640.6 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 로 나타나, 자연환경보전지역(478.6~583.5 $\mu\text{S}/\text{cm}$)보다 상대적으로 높은 값을 기록하였다. 이는 농업활동으로 인한 비점오염원과 유기물 부하 증가가 주요 요인으로 작용했음을 시사한다 (Paul and Meyer, 2001). 용존산소 농도는 농림지역이 5.7~7.8 mg/L로 자연환경보전지역(7.6~9.3 mg/L)보다 낮게 나타났으며, 이는 유기물 부하로 인한 산소 소모와 관련이 있다(Allan, 2004). 따라서, 자연환경보전지역은 농림지역에

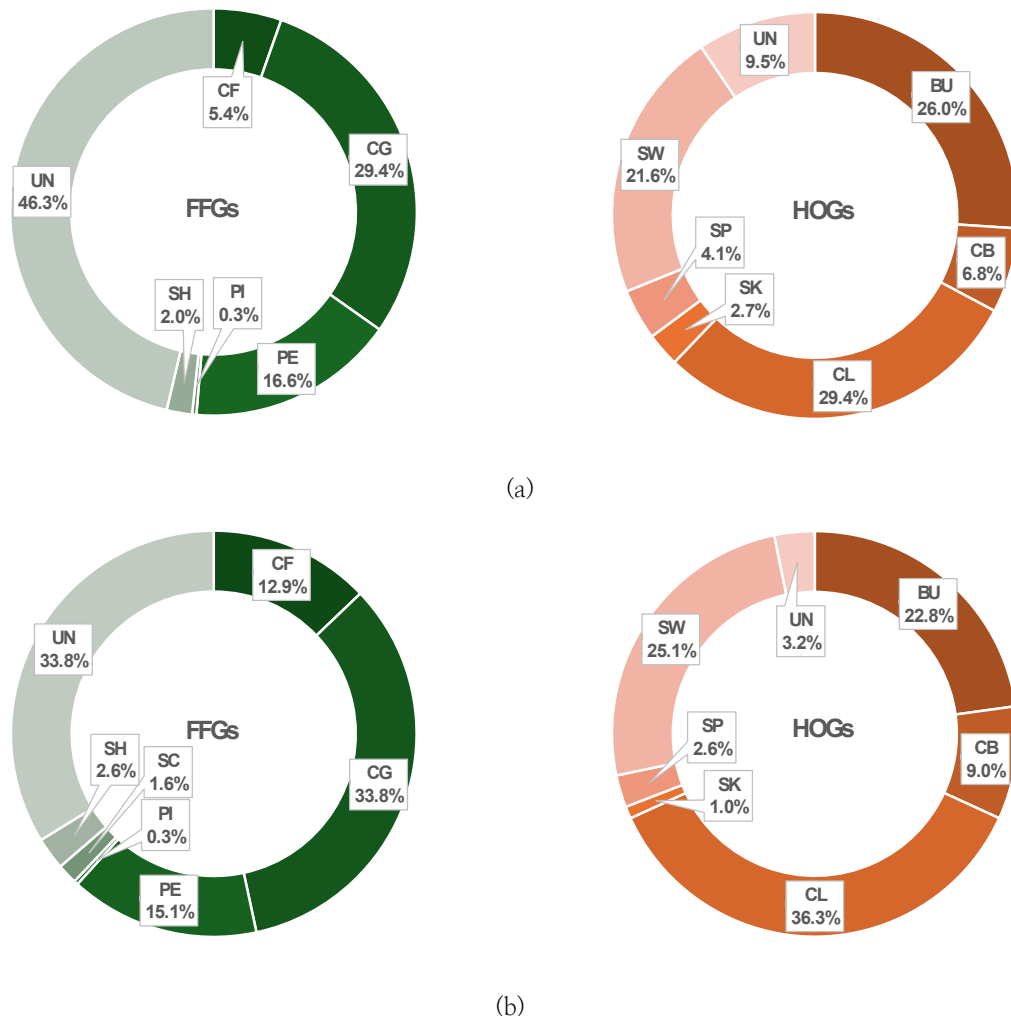


Fig. 4. Analysis of habitat and feeding functional groups. (a) Agricultural areas, (b) Natural conservation areas. FFGs, Functional feeding groups; CG, Collector-gatherer; PE, Predator-engulfer; CF, Collector-filterer; SH, Shredder; PI, Predator-piercer; SC, Scraper; HOGs, Habitat orientation groups; BU, Burrower; CL, Clinger; SW, Swimmer; CB, Climber; SK, Skater; SP, Sprawler; UN, Unknown.

비해 상대적으로 안정적인 하천 환경을 유지하고 있으며, 이는 보호구역 지정으로 인한 제한적인 인간활동의 결과로 해석된다.

저서성 대형무척추동물의 출현 종조성 현황을 살펴보면, 농림지역에서 55종 2,100개체(ind/m²), 자연환경보전지역에서 69종 2,264개체(ind/m²)로 나타났다. 자연환경보전지역에서 비교적 많은 종수가 확인되었으며, 출현 개체수의 경우는 두 지역간 큰 차이를 보이지 않았다. 저서성 대형무척추동물을 이용한 군집분석 결과, 두 지역간 우점도, 다양도, 풍부도, 균등도 지수에서 통계적으로 유의한 차이는 확인되지 않았다($p > 0.05$). 다만, 균등도 지수에서 약간의 차이를 보여 자연환경보전지역에서 종이 비교적 고르게 분포하고 있는 경향을 보이거나 통계적으로 유의한 결과는 나타나지 않았다. 결론적으로 농림지역 및 자연환경보전지역의 군집구조가 유사함을 의미할 수 있다. 군집지수에 대한 선행관계 분석 결과, 두 지역 모두 우점도 지수가 증가하면 균등도 지수가 감소하는 유의한 음의 상관관계를 나타냈다. 이는 특정 종이 지배적인 환경에서는 군집구조의 균형이 고르지 못해 생물다양성이 저하될 가능성을 시사한다. 다양도 지수 및 풍부도 지수 간에는 강한 양의 상관관계를 나타냈으며, 이는 군집의 풍부도가 증가할수록 다양성도 함께 증가한다는 것을 의미한다.

농림지역 및 자연환경보전지역 하천에 서식하는 저서성 대형무척추동물의 기능군 분석 결과, 섭식기능군의 경우, 두 지역 모두 CG가 가장 높은 비율을 차지하는 것으로 나타났는데, 이는 유기물 부하 증가와 밀접한 연관이 있다(Wallace and Webster, 1996). 농림지역은 농업활동으로 인한 비료와 퇴비 유출이 유기물 축적의 주요 원인으로 작용할 수 있으며, 자연환경보전지역의 경우, 낙엽과 같은 자연적인 유기물 축적이 주요 요인으로 작용했을 가능성이 있다(Allan, 2004). 섭식기능군에서도 유사한 경향을 보였으며, 두 지역 모두 CL의 비율을 높은 것으로 확인되었다. 이는 두 지역이 유사한 하상구조 즉, 서식환경의 유사함을 보여준다. CL은 자갈, 나뭇가지와 같은 단단한 기질에 부착하여 생활하는 생물군으로, 두 지역 모두 하천 일부 구간에서 유기물 부하 다소 높은 상태를 보이거나 자갈 등의 하상구조가 CL의 비율 유지에 기여했을 것으로 판단된다.

지표종 분석 결과, 농림지역 및 자연환경보전지역의 공통 지표종으로 깔따구류, 개뿔하루살이, 실지렁이로 확인되었으며, 상기 종들은 하천 내 유기물 부하와 관련된 환경 조건이 공통적으로 작용하고 있음을 시사한다. 또한, 이들은 다양한 환경에서 발견되며 유기물이 축적된 환경에서 특히 우점할 수 있다(Hilsenhoff, 1987). 종합해보면 전반적으로 두 지역에서 모두 유기물이 축적된 환경에서 우점하는 종들이

Table 6. Environmental status based on aquatic environment evaluation (TESB, AESB, BMI) in agricultural and natural conservation areas

Category	ESB		BMI
	TESB	AESB	
Agricultural areas	Range	11~52 (28)	25~54 (40)
	Environmental status	Very bad~Moderate (Bad)	Very bad~Fair (Poor)
	Class	E~C (D)	E~C (D)
	Area control	Priority restoration ~Monitoring (Restoration)	N/A
	Water quality	IV~VI~II (III)	N/A
	Species richness	Very low~Moderate (Low)	N/A
Natural conservation areas	Range	20~66 (35)	33~72 (51)
	Class	Bad~Moderate (Moderate)	Very bad~Good (Fair)
	Environmental status	D~C (C)	E~B (C)
	Species richness	Restoration~Monitoring (Monitoring)	N/A
	Water quality	III~II (II)	N/A
	Area control	Low~Moderate (Moderate)	N/A

Note : The values in parentheses indicate the mean value and its corresponding environmental status, class, area control, water quality grade, and species richness.

지표종으로 분석되었으며, 지표종에 의한 두 지역간 하천 환경의 큰 차이는 보이지 않았다.

TESB, AESB, BMI 등의 생물학적 지수를 이용한 수환경 평가 결과, TEBS 지수는 농림지역에서 평균 28의 수치로, 환경상태는 “Bad”, “D” 등급으로 나타났으며, 자연환경보전지역에서는 평균 35의 수치로 그에 따른 환경상태는 “Moderate”, “C” 등급으로 나타났다. AESB는 농림지역에서 평균 2.2의 수치로, 환경상태는 “Bad”, “D” 등급으로 나타났으며, 자연환경보전지역에서는 평균 2.7의 수치로 그에 따른 환경상태는 “Moderate”, “C” 등급으로 나타났다. BMI 지수는 농림지역에서 평균 수치 40으로, 환경상태는 “Poor”, “D” 등급의 수준으로 나타났으며, 자연환경보전지역에서는 평균 51의 수치로, 환경상태는 “Fair”, “C” 등급의 수준으로 분석되었다. 결과적으로 자연환경보전지역에서 상대적으로 안정적인 환경 수준을 나타냈으며, 이러한 결과는 보호구역으로서의 역할이 하천 환경의 건강성을 유지하는데 기여했음을 시사한다. 실제로 상수원보호구역은 수질 보전을 목적으로 각종 개발 및 수질오염 유발 행위가 법적으로 제한되며, 이로 인해 비점오염원 유입이 억제되고 서식처의 물리적 교란도 최소화되어 하천 환경이 보다 안정적으로 유지되었을 가능성이 크다.

본 연구에서 TESB, AESB, BMI 등 각기 다른 생물학적 지수를 활용하여 수환경평가를 실시하였다. TESB는 하천생태계의 전반적인 건강성을 평가하는 데 사용되는 지표로, 종 풍부성 및 다양성에 중점을 두어 하천 환경의 종합적인 생태적 상태를 평가하며, AESB는 저서성 대형무척추동물 군집 내 오염 내성 종과 민감 종의 비율에 중점을 두어 하천 환경의 오염 정도를 평가하는 데 사용된다. 즉, TESB는 수질보다는 물리적 서식처의 복잡성을 바탕으로 하는 생물 군집의 종 풍부성 및 다양성에 보다 밀접한 관계를 가지며, AESB의 경우, 물리적 요인보다는 수질에 보다 밀접한 관계를 가진다(Kong et al., 2018a). BMI의 경우, 하천 환경에서 특정 지표종의 출현 빈도와 오염 내성도를 기반으로 생태계 건강성을 평가하는 지표이다. 따라서, 각 생물학적 지수들은 분석의 초점이 다르기 때문에 특정 지역의 하천 생태적 상태를 종합적으로 이해하기 위해 다양한 지표를 결합한 분석이 필요하다(Bonada et al., 2006). 종합해보면 여러 생물학적 분석을 병행하여 활용함으로써 하천생태계 건강성을 보다 신뢰성 있게 평가할 수 있음을 시사한다.

4. 결 론

본 연구는 안정천 유역의 농림지역과 자연환경보전지역의 하천생태계 건강성 평가를 종합적으로 수행하여 보호구역으로의 지정이 생태계에 미치는 영향의 정도를 규명하고 토지이용 유형에 따른 생태적 차이를 분석하고자 하였다. 주요 결과는 다음과 같다. 이화학적 수질평가 결과는 자연환경보전지역에서 전기전도도가 상대적으로 낮고 용존산소 농도가 높아, 보다 안정적인 수질 상태를 유지하는 것으로

확인되었다. 두 지역간 저서성 대형무척추동물의 출현 종조성, 군집구조, 기능군 및 지표종 분석에서는 큰 차이를 보이지 않았으나 생물학적 지수를 활용한 수환경평가 결과는 자연환경보전지역이 농림지역에 비해 보다 안정적인 하천 환경상태를 나타냈다. 결과적으로 농림지역 및 자연환경보전지역은 공통적으로 농업활동이 활발하게 진행되고 있음에도 불구하고, 보호구역 지정으로 인해 인간의 활동을 일부 제한함으로써 하천생태계 건강성 유지에 긍정적인 영향을 미쳤음을 시사한다. 따라서, 농림지역에서는 하천으로 유입되는 비점오염원(비료 및 퇴비 유출) 관리와 완충지대 조성을 통해 하천 내 유기물 부하를 줄이는 노력이 요구되며, 자연환경보전지역은 정기적인 모니터링과 보호 체계 강화를 통해 지속 가능한 하천생태계 관리가 요구되는 바이다.

본 연구는 저서성 대형무척추동물을 활용하여 하천생태계를 종합적으로 평가함으로써, 토지 이용 유형에 따른 하천생태계 건강성의 차이를 구체적으로 규명하였다. 이러한 접근은 지역별 하천 복원 및 관리 전략 수립에 중요한 기초 자료로 활용될 수 있으며, 향후 동일한 방법으로 다양한 지역에서의 적용을 통해 연구 결과의 신뢰성과 적용 가능성을 높이는 노력이 필요할 것으로 사료된다.

References

- Allan, JD (2004). Landscapes and riverscapes: The influence of land use on stream ecosystems. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.*, 35, pp. 257–284.
- Bonada, N, Prat, N, Resh, VH and Statzner, B (2006). Developments in aquatic insect biomonitoring: A comparative analysis of recent approaches. *Annu. Rev. Entomol.*, 51, pp. 495–523.
- Braccia, A and Voshell, JR (2006). Environmental factors accounting for benthic macroinvertebrate assemblage structure at the sample scale in streams subjected to a gradient of cattle grazing. *Hydrobiologia*, 573, pp. 55–73.
- Deborde, DDD, Hernandez, MBM and Magbanua, FS (2016). Benthic macroinvertebrate community as an indicator of stream health: The effects of land use on stream benthic macroinvertebrates. *Sci. Diliman*, 28(2), pp. 5–26.
- Dufrêne, M and Legendre, P (1997). Species assemblages and indicator species: The need for a flexible asymmetrical approach. *Ecol. Monogr.*, 67(3), pp. 345–366.
- Hilsenhoff, WL (1987). An improved biotic index of organic stream pollution, *Great Lakes Entomol.*, 20(1), pp. 31–39.
- Hynes, HBN (1963). Imported organic matter and secondary productivity in streams, *Proceedings of*

- 16th International Congress of Zoology, 4, pp. 324–329.
- Kehde, PM and Wilhm, JL (1972). The effects of grazing by snails on community structure of periphyton in laboratory streams. *Am. Midl. Nat.*, 87(1), pp. 8–24.
- Kong, DS, Park, YJ, and Jeon, YR (2018a). Revision of ecological score of benthic macroinvertebrates community in Korea. *J. of Korean Soc. Water Environ.*, 34(3), pp. 251–269.
- Kong, DS, Son, SH, Hwang, SJ, Won, DH, Kim, MC, Park, JH, Jeon, TS, Lee, JE, Kim, JH, Kim, JS, Park, J, Kwak, IS, Jun, YC, Park, YS, Ham, SA, Lee, JK, Lee, SW, Park, CH, Moon, JS, Kim, JY, Park, HK, Park, SJ, Kwon, Y, Kim, P, and Kim, AR (2018b). Development of benthic macroinvertebrates index (BMI) for biological assessment on stream environment. *J. of Korean Soc. Water Environ.*, 34(2), pp. 183–201.
- Kwon, SJ, Jun, YC, Jeong, JC, Han, SC and Lee, JE (2012). Distribution of benthic macroinvertebrates according to altitude at Jirisan National Park. *J. of Natl. Park Res.*, 3, pp. 33–43.
- Margalef, RH (1958). Information theory in ecology. *Gen. Syst.*, 3, pp. 36–71.
- McNaughton, SJ (1967). Relationship among functional properties of California grassland. *Nature*, 216, 168–169.
- Merritt, RW, and Cummins, KW (1996). *An introduction to the aquatic insects of North America* (3rd ed.). Kendall/Hunt Publishing Company.
- Metcalf, JL (1996). Biological water quality assessment of rivers: Use of macroinvertebrate communities. in Petts, G. and P. Calow. *River Restoration*. Blackwell Science, Oxford, UK.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport, (2014). Basic River Plan for the Midstream and Downstream of the Anseongcheon Watershed [Anseongcheon (National River)], Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Seoul and Sejong, Korea.
- Nascimento, AL, Alves-Martins, F and Jacobucci, GB (2018). Assessment of ecological water quality along a rural to urban land use gradient using benthic macroinvertebrate-based indexes. *Biosci. J.*, 34(1), pp. 194–209.
- Park, OJ and Bae, YS (2024). Assessment of aquatic environment using benthic macroinvertebrates in industrial and agricultural streams of Pyeongtaek City. *J. of Wetl. Res.*, 26(2), pp. 127–138.
- Park, OJ and Bae, YS (2025). Assessment of stream ecosystem health by land use types in urban areas using benthic macroinvertebrates. *J. of Environ. Sci. Int.*, 34(2), pp. 63–77.
- Paul, MJ and Meyer, JL (2001). Streams in the urban landscape. *Annu. Rev. Ecol. Syst.*, 32, pp. 333–365.
- Peralta, EM, De Jesus, IBB, Briones, JCA, Papa, RDS, Belen, AE, Buenaventura, GR, Cantre, FGG, Espiritu, KGR, De Vera, JNA, Perez, CP, Tan, AKV, Palomares, P, Magbanua, FS, Ikeya, T and Okuda, N (2019). Stream benthic macroinvertebrate assemblages reveal the importance of a recently established freshwater protected area in a tropical watershed. *Pac. Sci.*, 73(3), pp. 305–320.
- Pielou, E. C. (1975). *Ecological diversity*. Wiley-Interscience, New-York, NY, pp. 165.
- Ro, TH, and Chun, DJ (2004). Functional feeding group categorization of Korean immature aquatic insects and community stability analysis. *The Korean J. of Ecol.*, 37(2), pp. 137–148.
- Ro, TH (2002). Categorization and ecological importance of functional feeding group as essential units in lotic ecosystems. *Bull. Korean Assoc. Conserv. Nat.*, 21, pp. 67–93.
- Shannon, CE, and Weaver, W (1949). *The mathematical theory of communication*. University of Illinois Press, Urbana
- Smith, DG (2001). *Pennak's freshwater invertebrates of the United States: Porifera to Crustacea* (4th ed.). John Wiley and Sons, Inc., New York, NY.
- Vannote, RL, Minshall, GW, Cummins, KW, Sedell, JR and Cushing, CE (1980). The river continuum concept. *Can. J. of Fish. Aquat. Sci.*, 37, pp. 130–137.
- Wallace, JB, and Webster, JR (1996). The role of macroinvertebrates in stream ecosystem function. *Annu. Rev. Entomol.*, 41, pp. 115–139.
- Wentworth, CK. (1922). A scale of grade and class terms for clastic sediments. *The J. of Geol.*, 30(5), pp. 377–392.
- Yoon, IB, Kong, DS and Ryu, JK (1992). Studise on the biological evluation of water quality by benthic macro-invertebrates (I) – Saprobic valency and indicative value –, *Korean J. of Environ. Biol.*, 10(1), pp. 24–39.