

평택시 산업지역 및 농업지역 하천의 저서성 대형무척추동물에 의한 수환경평가

박오집^{*,**} · 배양섭^{**,***,****}

^{*}(주)생태기술연구소

^{**}인천대학교 생명과학부

^{***}인천대학교 생물자원환경연구소

^{****}인천대학교 매개곤충융복합센터

Water Environment Evaluation by Benthic Macro-Invertebrates of Industrial and Agricultural Areas in Pyeongtaek City

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 : 24 February 2024, Revised : 31 March 2024, Accepted : 2 April 2024)

요약

하천 생태계는 농업 및 산업 활동 등 수많은 인간 활동에 영향을 받으며, 저서성 대형무척추동물은 중요한 생물학적 지표로 이용된다. 이에 본 연구에서는 평택시 산업지역의 2개 하천과 농업지역의 2개 하천에 대하여 하천 주변 토지 이용 현황에 따른 하천 생태계에 미치는 영향의 정도를 파악하고자 하였다. 이화학적 수질평가를 위해 수온, 용존산소(DO), 수소이온농도(pH)를 측정하였고, 저서성 대형무척추동물을 이용하여 군집분석, BMI 및 ESB를 산정하여 수환경평가를 실시하였다. 수환경평가를 통해 두 지역 하천의 환경 상태를 비교한 결과, 산업지역에 비해 농업지역 하천의 환경 상태가 보다 양호한 것으로 나타났다. 결과적으로 인위적인 활동의 차이에 따라 하천 생태계에 미치는 영향에 정도가 다른 것을 확인할 수 있었다.

핵심어 : 군집분석, 생물학적 지표, 인간 활동, 토지이용 현황, 하천 생태계

Abstract

The river ecosystems are influenced by numerous human activities such as agriculture and industrial operations, and benthic macroinvertebrates are utilized as important biological indicators. In this study, we aimed to assess the impact of land use surrounding rivers on river ecosystems in two industrial areas and two agricultural areas in Pyeongtaek city. We measured water temperature, dissolved oxygen (DO), and pH for physicochemical water quality assessment, and conducted water environment evaluation using benthic macroinvertebrates, cluster analysis, BMI, and ESB. Through water environment assessment, the environmental condition of rivers in agricultural areas was found to be more favorable compared to those in industrial areas. Consequently, it was observed that the impact on river ecosystems varied depending on the differences in anthropogenic activities.

Key words : Biological indicators, Cluster analysis, Human activities, Land use status, River ecosystem

[†]To whom correspondence should be addressed.

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

• Oh-Jip Park Eco Technology Institute co., Ltd, Incheon University, Korea / Researcher (dhwlqcf@inu.ac.kr)

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

1. 서론

하천 생태계는 농업 및 산업 활동 등 수많은 인간 활동에 영향을 받는다. 가축의 방목 및 경작과 같은 농업 활동은 토양 침식이나 미세 퇴적물, 영양소(질소, 인 등) 및 살충제가 대량으로 유출되어 수환경을 악화시키며(Nascimento et al., 2018), 산업 활동은 중금속, 유류, 각종 폐기물, 산업용수 및 불투수성 면적의 증가로 우수 유출에 의한 오염원 유입 등 수환경에 다양한 악영향을 미칠 수 있다.

이렇듯, 인위적인 교란에 의한 수환경의 변화는 최종적으로 하천 환경에 서식하는 생물상에 변화를 초래하기 때문에 생물군집에 대한 시·공간적 분석은 환경변화의 영향을 감지할 수 있는 주요 척도가 된다(Kim, 2003).

하천생태계의 주요 구성원이자 어류의 주요 먹이원인 저서성 대형무척추동물은 퇴적물의 유기물 함량이 높아지거나 독성물질에 의한 퇴적물 오염 등과 같은 서식처의 교란

에 매우 민감하게 반응하기 때문에 종수와 개체수의 분포 등 군집구조의 차이가 뚜렷하여 중요한 생물학적 지표로 이용된다(Hynes, 1963; Kehde and Wilhm, 1972). 다양한 오염에 대한 물환경의 변화 분석에 있어서 저서성 대형무척추동물은 여러 가지 측면에서 그 유용성이 매우 높다(Metcalf, 1996). 그 이유는 먼저, 각 분류군에 따라 반응하는 오염원의 민감성이 다르고, 다양한 오염에 대해 빠른 반응을 보인다. 둘째로는 대부분의 담수생태계, 특히 우수생태계에서는 종이 다양하고 풍부하게 분포하기 때문에 채집에도 용이하고 보편성이 높으며, 분류가 잘 정립되어 있고, 셋째로 이동성이 비교적 작은 편이므로 서식 지역의 하천 환경을 잘 대변할 수 있다. 넷째로 환경질을 반영하기에 충분히 긴 생활사를 가지며, 마지막으로 각 분류군이 군집에서 다른 기능을 수행하고, 다양한 영양단계를 구성하고 있어, 물환경의 변화에 따라 다양한 반응을 한다는 것이다(Yoon et al., 1992). 따라서, 본 연구에서는 경기도 평택시

Table 1. Detailed locations of each survey point

Survey point		Location	
Industrial areas	Seojeongri-cheon	W-1	425-1 Yeoyeom-ri, Godeok-myeon, Pyeongtaek-si, Gyeonggi-do
		W-2	888 Jwagyo-ri, Godeok-myeon, Pyeongtaek-si, Gyeonggi-do
		W-3	1018-34, Haechang-ri, Godeok-myeon, Pyeongtaek-si, Gyeonggi-do
	Doil-cheon	W-4	Ssangyong Bridge, 535-2 Chilgoe-dong, Pyeongtaek-si, Gyeonggi-do
		W-5	Doilcheon 2 Bridge, 403 Mogok-dong, Pyeongtaek-si, Gyeonggi-do
		W-6	984-8 Gudae Bridge, Jije-dong, Pyeongtaek-si, Gyeonggi-do
Agricultural areas	Sahu-cheon	W-7	727-11, Dongcheon-ri, Jinwi-myeon, Pyeongtaek-si, Gyeonggi-do
		W-8	Dongcheong Bridge, 359-4 Dongcheon-ri, Jinwi-myeon, Pyeongtaek-si, Gyeonggi-do
		W-9	1087, Dongcheon-ri, Jinwi-myeon, Pyeongtaek-si, Gyeonggi-do
	Sanha-cheon	W-10	57-2, Eunsan-ri, Jinwi-myeon, Pyeongtaek-si, Gyeonggi-do
		W-11	1475, Eunsan-ri, Jinwi-myeon, Pyeongtaek-si, Gyeonggi-do
		W-12	1179, Eunsan-ri, Jinwi-myeon, Pyeongtaek-si, Gyeonggi-do

Table 2. Survey period

Category		Survey period
1st	Seojeongri-cheon	2021.10.20. (07:45~09:00)
	Doil-cheon	2021.10.20. (09:20~10:35)
	Sahu-cheon	2021.10.19. (16:30~17:40)
	Sanha-cheon	2021.10.19. (15:00~16:15)
2nd	Seojeongri-cheon	2022.03.31. (11:45~13:05)
	Doil-cheon	2022.03.31. (15:25~16:40)
	Sahu-cheon	2022.04.01. (08:30~09:15)
	Sanha-cheon	2022.04.01. (09:30~10:50)
3rd	Seojeongri-cheon	2022.06.03. (14:15~15:20)
	Doil-cheon	2022.06.03. (13:05~14:00)
	Sahu-cheon	2022.06.03. (17:00~18:05)
	Sanha-cheon	2022.06.03. (15:40~16:40)
4th	Seojeongri-cheon	2022.08.01. (09:50~10:45)
	Doil-cheon	2022.08.01. (11:00~12:10)
	Sahu-cheon	2022.08.01. (12:25~13:30)
	Sanha-cheon	2022.08.01. (13:40~14:40)

의 산업지역 하천과 농업지역 하천에 대하여 이화학적 수질평가 및 저서성 대형무척추동물에 의한 생물평가 지수를 산정하여 수환경평가를 실시하였다. 이를 통해 하천 주변 토지이용 현황에 따른 하천 생태계에 미치는 영향의 정도를 파악하고자 하며, 추후 하천 및 생태 복원사업의 시행 시, 각 지역의 하천 현황에 맞는 효과적인 복원 및 관리 방안을 수립하는데 기초 자료를 제공하고, 하천 생태계 분석 및 생물 모니터링의 기초 자료로 활용되는 것에 목적이 있다.

2. 연구방법

2.1 조사시기 및 조사지점

현장 조사는 하천의 수온이 낮아 저서성 대형무척추동물의 활동성이 저하되는 겨울철을 제외한 봄, 여름(우기시전·후 2회) 및 가을 등 총 4회에 걸쳐 실시하였다.

조사지점은 경기도 평택시의 산업지역 및 농업지역에 위치하는 하천인 서정리천, 도일천, 사후천, 산하천 4개의 하천에 대하여 현장 조사를 실시하였으며, 각각 하천에 3개씩 총 12개의 조사지점을 선정하였다(Table 1, 2 Fig. 1).

2.2 현장조사 및 수환경평가 방법

다항목수질측정기(YSI-Proplus, YSI, US)를 이용하여 수온(°C), 용존산소(mg/L), 수소이온농도(pH) 등의 기초 수질항목을 측정하였다. 저서성 대형무척추동물의 채집은 Surber net (30×30cm, mesh size: 500µm) 및 드렛지(폭 40cm, 망목 0.5mm)를 이용하여 정량적 조사를 실시하였다.

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 : 제1 우점종 개체수, N_2 : 제2 우점종 개체수
 N : 출현 종의 총 개체수

2) 다양도 지수 (Diversity Index) : 군집의 개체수와 종수 사이의 상대적인 균형을 나타낸다(Shannon and Weaver, 1949).

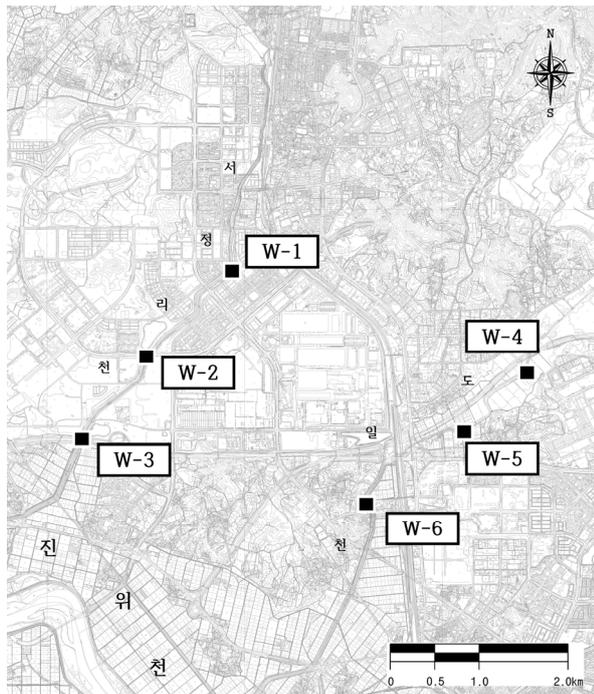
$$H' = - \sum_{i=1}^S p_i \log_2 p_i \cdot p_i = \frac{N_i}{N}$$

N_i : i 종의 개체수, N : 총 출현 개체수

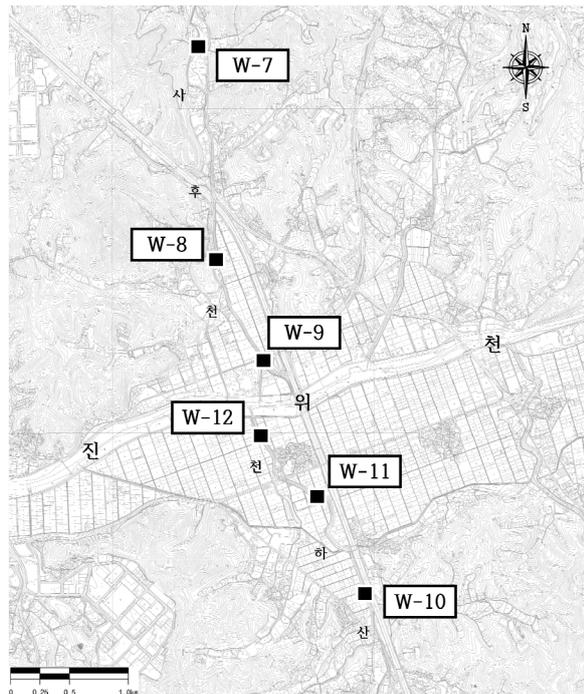
3) 풍부도 지수 (Richness Index) : 군집의 상태를 표현하는 지수이며, 총 종수 및 개체수를 이용하여 산출하고, 종이 풍부하거나 환경의 상태가 양호할수록 높은 값을 나타낸다(Margalef, 1958).

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

S : 총 출현 종수, N : 총 출현 개체수



(a) Industrial area(Anseong Stream Watershed)



(b) Agricultural area(Anseong Stream Watershed)

Fig. 1. Locations of study sites

Table 3. Classification scheme of ESB and the recommendation of area control according to the environmental status

ESB	Environment condition	Area control recommendation	Water quality
≥81	Very good	Top priority Protection	I
61~80	Good	Priority protection	
41~60	Moderately good	Protection	II
26~40	Moderately bad	Restoration	
13~25	Bad	Priority restoration	III
≤12	Very bad	Top priority restoration	IV-V

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 : 총 출현 종수, H' : 다양도 지수

2.2.2 저서성 대형무척추동물 평가지수(BMI)

저서성 대형무척추동물 평가지수 (Benthic Macroinvertebrate Index ; BMI) : 국립환경과학원에서 시행하는 “하천 수생태계 현황 조사 및 건강성 평가” 지침에서 시행하고 있는 BMI 지수를 적용하였다(Kong et al., 2018).

출현한 생물 지표종의 출현도, 오탁치 및 지표가중치를 적용하여 산정하며, 평가 지수에 따라 5단계인 매우 좋음 (Excellent) “A”, 좋음(Good) “B”, 보통(Fair) “C”, 나쁨 (Poor) “D”, 매우나쁨(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 : 저서성 대형무척추동물 평가 지수

i : 지표생물종의 지정된 일련번호

n : 지표생물종의 총 종수

s_i : 지표생물종의 오탁치

h_i : 지표생물종의 출현도

g_i : 지표생물종의 지표가중치

2.2.3 ESB 지수

ESB (Ecological score of benthic macro invertebrate community) 환경질 평가 : Kong (1997)이 제안한 환경질 평가기법인 ESB (Ecological score of benthic macro-invertebrate community)를 이용하였다(Table 3).

$$ESB = \sum_{i=1}^s Qi$$

Qi : Environmental quality score of i specie

(i종에 대한 환경질 점수)

S : Total number of species(총 종수)

3. 결과 및 고찰

3.1 산업지역의 하천(서정리천, 도일천)

3.1.1 하천 환경

서정리천(W-1~3)은 안성천 수계의 지방하천이며 안성천의 제 2지류이다. 주변지역은 대부분 주거지, 산업단지 등으로 구성되어 있으며, 고덕국제신도시 계획지구 개발공사로 인해 지속적인 교란인 발생하고 있는 것으로 파악되었다. 조사지점별 미소서식처 및 하상구조 현황은 W-1에서 주로 흐름(Run) 구간이 분포하는 것으로 확인되었고, 하상은 모래(Sand), 자갈(Gravel), 큰 돌(Large rocks)로 이루어져 있는 것으로 조사되었다. W-2는 주로 소(Pool) 구간이 분포하는 것으로 확인되었으며, 하상은 모래, 자갈로 이루어져 있었다. W-3은 일부 유속이 다소 빠른 흐름 구간을 형성하고 있었으며, 하상은 모래, 자갈, 큰 돌로 이루어져 있는 것으로 조사되었다.

도일천(W-4~6)은 안성천의 제 1지류인 지방하천으로, 주변지역은 대부분 물류단지 및 산업단지 등으로 구성되어 있고, 일부 구간에서는 농경지로 이용되고 있는 것으로 조사되었다. 조사지점별 미소서식처 및 하상구조 현황은 W-4에서 흐름 구간이 다수 분포하고, 하상은 대부분 모래로 이루어져 있었다. W-5는 모래, 자갈, 큰 돌 등으로 구성된 하상과 흐름 구간이 분포하는 것으로 조사되었다. W-6은 하상은 대부분 모래로 구성되어 있었으며, 소 구간이 다수 분포하였다.

3.1.2 수질 현황

서정리천의 수온 측정결과, 12.1~34.2℃의 범위로 측정되었으며, W-1 및 W-2에서 1차(10월), 2차(3~4월) 조사시 12.1~13.5℃, 3차(6월), 4차(8월) 조사시 25.8~29.4℃의 범위로, 계절 변화에 의한 일반적인 수온 차를 보였고, W-3의 경우, 1~4차 조사시 29.9~34.2℃의 범위로 상대적으로 높은 수치가 측정되었는데, 이는 인근 산업단지에서 방출되는 냉각수에 의한 영향으로 비교적 수온이 높게 측정된 것으로 판단된다. 용존산소(DO)는 5.23~9.71mg/L의 범위로 측정되었으며, W-2에서 2차 조사시 가장 높은 수치(9.71mg/L)로, W-3에서 3차 조사시 가장 낮은 수치(5.23mg/L)로 측정되었다. 수소이온농도(pH)의 경우, 7.32~9.06의 범위로 나타났으며, W-1에서 3차 조사시 가장 높은 수치(9.06), W-3에서 1차 조사시 가장 낮은 수치

(7.32)로 측정되었다(Fig. 2a). 도일천의 수온 측정결과, 10.4~29.6°C의 범위로 측정되었으며, 모든 조사지점(W-4~W-6)에서 1차(10월), 2차(3~4월) 조사시 10.4~15.8°C, 3차(6월), 4차(8월) 조사시 26.0~29.6°C의 범위로, 계절 변화에 의한 일반적인 수온 차를 보였다. 용존산소는 5.94~9.58mg/L의 범위로 측정되었으며, W-6에서 2차 조사시 가장 높은 수치(9.58mg/L)로, W-4에서 4차 조사시 가장 낮은 수치(5.94mg/L)로 측정되었다. 수소이온농도(pH)의 경우, 7.11~8.82의 범위로 나타났으며, W-6에서 3차 조사시 가장 높은 수치(8.82), W-5에서 4차 조사시 가장 낮은 수치(7.11)로 측정되었다(Fig. 2b).

3.1.3 출현 종 현황

산업지역 하천에서 저서성 대형무척추동물은 총 3문 6강 16목 34과 45종 1,418개체가 동정 및 분류되었다(Table 4). 서정리천(W-1~W-3)에서 저서성 대형무척추동물은 총 3문 5강 12목 19과 22종 634개체가 동정 및 분류되었으며, 도일천(W-4~W-6)에서 저서성 대형무척추동물은 총 3문 6강 14목 28과 39종 784개체가 동정 및 분류되었다.

3.1.4 수환경평가

1) 우점종 현황 및 군집분석

산업지역 하천에서 우점종은 깔다구류(Chironominae

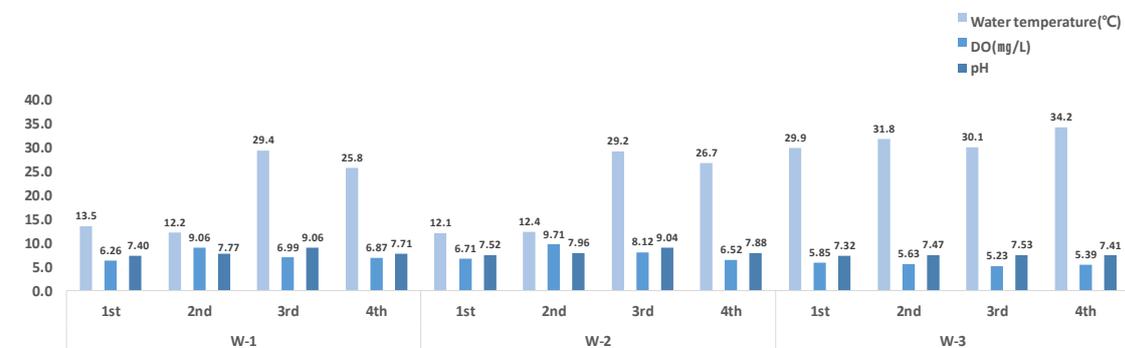
spp.), 개똥하루살이(*Baetis fuscatus*) 등으로 확인되었으며, 전반적으로 오염에 대한 내성 강한 종이 주로 확인되었다. 군집지수의 경우, 각 조사지점별로 우점도 지수는 0.49~1.00의 범위로, 특정 종이 차지하는 비율이 높아 전반적으로 다소 높은 수치가 산정되었다. 다양도 지수는 0.92~3.15, 풍부도 지수는 0.56~3.40, 균등도 지수는 0.49~0.92로 산정되었다(Table 5).

2) BMI 지수

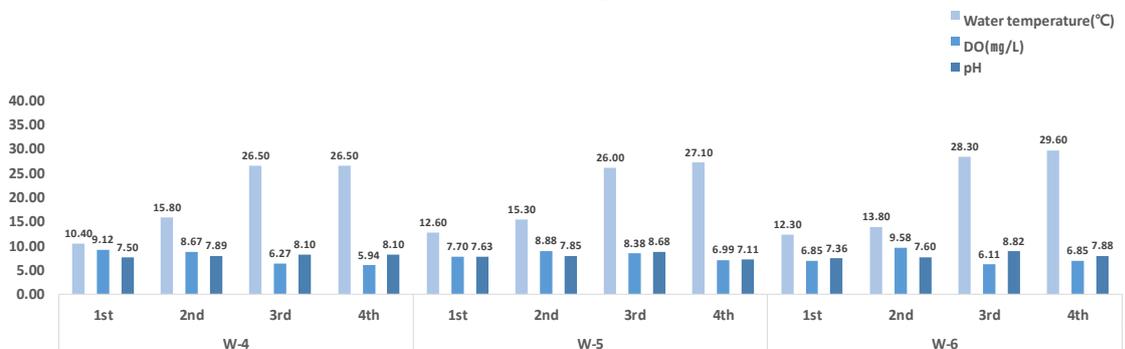
BMI 지수 산정결과, 각 조사지점별로 27.50~61.35의 범위로 나타났으며, 환경상태는 불량~양호, D~B등급으로 확인되었다. 조사지점 중 비교적 다양한 종 조성을 보인 서정리천의 W-1에서 4차 조사시 가장 높은 수치(61.35)로 산정되어, 환경상태는 양호, B등급으로 나타났으며, 반면, 서정리천의 W-3에서 2차 조사시 가장 낮은 수치(27.50)로 환경상태는 불량, D등급으로 나타났다. 산업지역 하천의 환경상태는 대부분 불량~보통, D~C등급으로 확인되었다(Table 6).

3) ESB 지수

ESB 지수 산정결과, 각 조사지점별로 ESB 지수는 2~33의 범위로 나타났으며, 환경상태는 매우불량(Very bad)~다소불량(Moderately bad), 지역구분은 최우개선수역(Top priority restoration)~개선수역(Restoration), 수질등급은



(a) Seojeongri-cheon



(b) Doil-cheon

Fig. 2. Water quality current state of rivers in industrial areas.

IV~V~II등급으로 확인되었다. 조사지점 중 상대적으로 다양한 종 조성을 보인 도일천의 W-5에서 4차 조사시 33의 수지로 가장 높게 산정되었으며, 환경상태는 다소불량으로 나타났고, 지역구분은 개선수역, 수질등급은 II등급으로 확인되었다. 가장 빈약한 종 조성을 보인 서정리천의 W-3에서 3차 조사시 2의 수지로, 환경상태는 매우불량으로 나타났으며, 지역구분은 최우선개선수역, 수질등급은 IV~V등급으로 확인되었다(Table 7).

3.2 농업지역의 하천(사후천, 산하천)

3.2.1 하천 환경

사후천(W-7~9)은 안성천 수계의 지방하천이며 진위천의 제1지류이다. 주변지역은 대부분 산림 및 농경지로 이용되고 있으며, 일부지

역에서 주거지, 도로 등으로 조사되었다. 조사지점별 미소서식처 및 하상구조 현황은 W-7에서 주로 흐름 구간이 하였으며, 하상은 대부분 모래로 구성되어 있으나 일부 자갈, 큰 돌로 구성된 것으로 나타났다. W-8은 하상이 진흙(Silt), 모래, 자갈 및 큰 돌 등으로 다양했으며, 흐름 구간이 주로 분포하는 것으로 조사되었다. W-9는 주로 흐름 구간이 분포하고, 하상은 모래, 자갈, 큰 돌 등으로 구성된 것으로 조사되었다.

산하천(W-10~12)은 안성천 수계의 제2지류이며 주변지역은 대부분 농경지로 이용되는 것으로 조사되었다. 조사지점별 미소서식처 및 하상구조 현황은 W-10에서 주로 모래, 자갈, 큰 돌 등으로 다양한 하상구조를 이루고 있으며, 흐름 구간이 다수 분포하는 것으로 조사되었다. W-11은 소 구간이 다수 분포하였으며, 하상은 주로 모래로 구성되어 있었다. W-12는 소 구간이 다수 분포하는 것으로 조사

였으며, 하상은 주로 진흙, 모래, 자갈로 구성되어 있었다.

3.2.2 수질 현황

사후천의 수온 측정결과, 10.0~25.9°C의 범위로 측정되었으며, W-8, W-9에서 1차(10월), 2차(3~4월) 조사시 10.8~16.0°C, 3차(6월), 4차(8월) 조사시 23.7~25.9°C의 범위로, 계절 변화에 의한 일반적인 수온 차를 보였으나, W-7에서는 1~4차 조사시 10.0~15.6°C의 범위로 측정되어 조사시기별로 큰 차이를 보이지 않았다. 용존산소는 6.60~11.74mg/L의 범위로 측정되었으며, W-8에서 2차 조사시 가장 높은 수치(11.74mg/L)로 측정되었고 아울러, 3차 조사시 가장 낮은 수치(6.60mg/L)로 측정되었다. pH의 경우, 7.01~8.60의 범위로 나타났으며, W-9에서 3차 조사시 가장 높은 수치(9.60), W-7에서 3차 조사시 가장 낮은 수치(7.01)로 측정되었다. 용존산소의 경우, W-7을 제외한 그 외 조사지점에서 전반적으로 수온이 높은 여름철 3~4차 조사시 용해도가 낮아, 비교적 낮은 수치로 측정되었으며, pH는 대체로 유사하게 확인되었다(Fig. 3a). 산하천의 수온 측정결과, 10.5~31.6°C의 범위로 측정되었으며, 모든 조사지점(W-10~W-12)에서 1차(10월), 2차(3~4월) 조사시 10.5~16.9°C, 3차(6월), 4차(8월) 조사시 21.1~31.6°C의 범위로, 계절 변화에 의한 일반적인 수온 차를 보였다. 용존산소는 5.86~12.53mg/L의 범위로 측정되었으며, W-11에서 2차 조사시 가장 높은 수치(12.53mg/L)로, W-10에서 4차 조사시 가장 낮은 수치(5.86mg/L)로 측정되었다. pH의 경우, 6.91~8.55의 범위로 나타났으며, W-11에서 2차 조사시 가장 높은 수치(8.55)로, 아울러 1차 조사시 가장 낮은 수치(6.91)로 측정되었다. 용존산소의 경우, 전반적으로 수온이 높은 여름철 3~4차 조사시 비교적 낮은 수치로 측정되었으며, pH는 대체로 유사하게 확인되었다(Fig. 3b).

Table 4. Current status of benthic macroinvertebrates at rivers in industrial areas

	Phylum	Class	Order	Family	Species	Individual	
Rivers in industrial areas (Total)	Mollusca	Gastropoda	Mesogastropoda	1	1	1	
			Basommatophora	3	4	25	
			Architaenioglossa	1	1	3	
		Pelecypoda	Unionoida	1	1	1	
	Annelida	Oligochaeta	Archioligochaeta	1	1	70	
			Hirudinea	Rhynchobdellida	1	1	1
				Arhynchobdellidae	2	2	68
	Arthropoda	Crustacea	Spinicaudata	1	1	8	
			Isopoda	1	1	43	
			Decapoda	1	1	23	
		Insecta	Ephemeroptera	3	6	285	
			Odonata	4	7	46	
			Hemiptera	5	6	20	
			Coleoptera	3	4	15	
			Diptera	5	5	556	
	Trichoptera	1	3	253			
Total				34	45	1,418	

Table 5. Current state of dominant cluster and community analysis state of rivers in industrial areas

Category		Dominant Species(Subdominant Species)	Dominance Index	Diversity Index	Richness Index	Evenness Index	
Seojeongri-cheon	W-1	1st	<i>Baetis fuscatus</i> (Chironominae spp.)	0.60	2.08	1.05	0.80
		2nd	<i>Cheumatopsyche brevilineata</i> (Asellus sp.)	0.64	2.22	1.24	0.86
		3rd	Chironominae spp. (<i>Cheumatopsyche brevilineata</i>)	0.52	2.73	1.71	0.91
		4th	Chironominae spp.(<i>Baetis fuscatus</i>)	0.60	2.65	2.25	0.77
	W-2	1st	Chironominae spp. (<i>Cheumatopsyche brevilineata</i>)	0.50	2.83	1.90	0.85
		2nd	Chironominae spp.(<i>Baetis fuscatus</i>)	0.74	1.74	1.28	0.75
		3rd	Chironominae spp. (<i>Cardinia denticulata denticulata</i>)	0.60	2.26	1.55	0.87
		4th	Chironominae spp. (<i>Cheumatopsyche brevilineata</i>)	0.50	2.74	2.07	0.82
	W-3	1st	Chironominae spp. (<i>Cheumatopsyche brevilineata</i>)	0.90	1.26	1.29	0.49
		2nd	Chironominae spp.(<i>Limnodrilus gotoi</i>)	0.94	1.01	0.72	0.64
		3rd	Chironominae spp.(Culicidae sp.)	1.00	0.92	0.56	0.92
		4th	Chironominae spp. (<i>Cheumatopsyche brevilineata</i>)	0.71	1.84	1.54	0.92
Doil-cheon	W-4	1st	Chironominae spp. (<i>Cheumatopsyche brevilineata</i>)	0.73	1.96	1.21	0.70
		2nd	Chironominae spp.(<i>Limnodrilus gotoi</i>)	0.80	1.62	0.88	0.81
		3rd	Chironominae spp. (<i>Cheumatopsyche brevilineata</i>)	0.60	2.40	1.60	0.85
		4th	<i>Limnodrilus gotoi</i> (<i>Baetis fuscatus</i>)	0.56	2.56	1.85	0.81
	W-5	1st	<i>Baetis fuscatus</i> (Chironominae spp.)	0.65	2.41	2.07	0.72
		2nd	Chironominae spp.(<i>Baetis fuscatus</i>)	0.83	1.57	1.19	0.68
		3rd	Chironominae spp. (<i>Cheumatopsyche brevilineata</i>)	0.60	2.76	2.23	0.80
		4th	Chironominae spp.(<i>Baetis fuscatus</i>)	0.49	3.15	3.40	0.79
	W-6	1st	<i>Baetis fuscatus</i> (Chironominae spp.)	0.59	2.40	1.50	0.86
		2nd	Chironominae spp.(<i>Baetis fuscatus</i>)	0.85	1.42	1.00	0.71
		3rd	Chironominae spp.(<i>Cloeon dipterum</i>)	0.76	1.85	1.84	0.62
		4th	<i>Baetis fuscatus</i> (Chironominae spp.)	0.64	2.50	1.95	0.75

Table 6. Result of Benthic Macroinvertebrate Index(BMI) analysis at rivers in industrial areas

Category		Benthic Macroinvertebrates Index (BMI)	Environment condition	Class	
Seojeongri-cheon	W-1	1st	51.39	Fair	C
		2nd	60.00	Good	B
		3rd	54.17	Fair	C
		4th	61.35	Good	B
	W-2	1st	46.00	Fair	C
		2nd	38.57	Poor	D
		3rd	40.31	Poor	D
		4th	47.50	Fair	C
	W-3	1st	42.50	Poor	D
		2nd	27.50	Poor	D
		3rd	28.33	Poor	D
		4th	42.14	Poor	D
Doil-cheon	W-4	1st	45.00	Fair	C
		2nd	35.36	Poor	D
		3rd	46.88	Fair	C
		4th	55.00	Fair	C
	W-5	1st	42.06	Poor	D
		2nd	47.27	Fair	C
		3rd	48.75	Fair	C
		4th	48.28	Fair	C
	W-6	1st	32.92	Poor	D
		2nd	43.75	Poor	D
		3rd	38.64	Poor	D
		4th	41.59	Poor	D

Table 7. Evaluation of ESB index at rivers in industrial areas

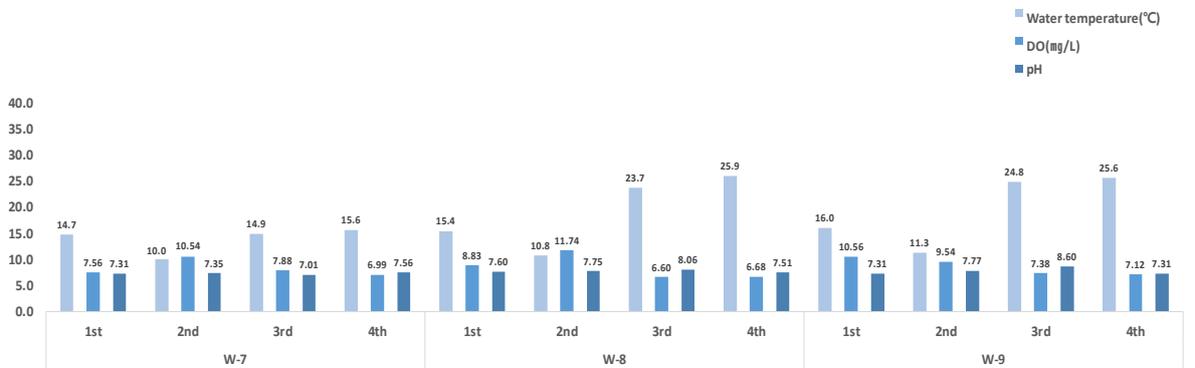
Category		ESB	Environment condition	Area control recommendation	Water quality	
Seojeongri-cheon	W-1	1st	11	Very bad	Top priority restoration	IV-V
		2nd	13	Bad	Priority restoration	III
		3rd	17	Bad	Priority restoration	III
		4th	26	Moderately bad	Restoration	II
	W-2	1st	19	Bad	Priority restoration	III
		2nd	8	Very bad	Top priority restoration	IV-V
		3rd	11	Very bad	Top priority restoration	IV-V
		4th	19	Bad	Priority restoration	III
	W-3	1st	10	Very bad	Top priority restoration	IV-V
		2nd	6	Very bad	Top priority restoration	IV-V
		3rd	2	Very bad	Top priority restoration	IV-V
		4th	6	Very bad	Top priority restoration	IV-V

3.2.3 출현 종 현황

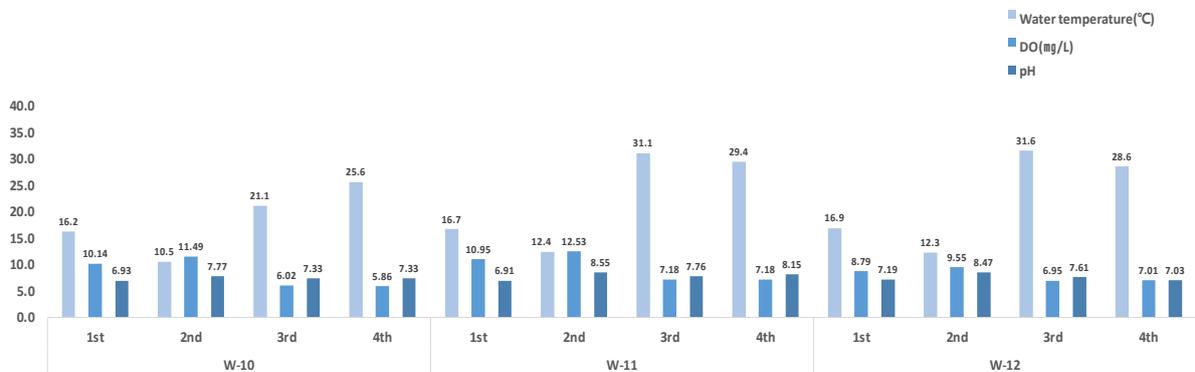
농업지역 하천에서 저서성 대형무척추동물은 총 4문 7강 16목 37과 59종 2,707개체가 동정 및 분류되었다(Table 8). 사후천(W-7~W-9)에서 저서성 대형무척추동물은 총 4문 7강 15목 31과 49종 1,340개체가 동정 및 분류되었으며, 산하천(W-10~W-12)에서 저서성 대형무척추동물은 총 4문 6강 14목 29과 42종 1,367개체가 동정 및 분류되었다.

3.2.4 수환경평가

1) 우점종 현황 및 군집분석
 농업지역 하천에서 우점종은 하루살이목의 개뿔하루살이(*Baetis fuscatus*), 꼬마줄날도래(*Cheumatopsyche brevilleata*), 깔따구류(Chironominae spp.) 등 각 조사지점별로 서식지 특성에 따라 비교적 다양하게 확인되었다. 군집지수의 경우, 우점도 지수는 0.37~0.79의 범위로 나타났으며, 일부 조사지점을 제외하고 전반적으로 낮은 수치가 산정된 바,



(a) Sahu-cheon



(b) Sanha-cheon

Fig. 3. Water quality current state of rivers in agricultural areas

Table 8. Current status of benthic macroinvertebrates at rivers in agricultural areas.

	Phylum	Class	Order	Family	Species	Individual
	Rivers in agricultural areas (Total)	Platyhelminthes	Turbellaria	Tricladida	1	1
Mollusca		Gastropoda	Mesogastropoda	3	5	80
			Basommatophora	3	6	82
			Architaenioglossa	1	1	33
		Pelecypoda	Unionoida	1	2	3
			Veneroida	1	1	3
Annelida		Oligochaeta	Archiloligochaeta	2	2	36
		Hirudinea	Rhynchobdellida	1	2	14
			Arhynchobdellidae	1	1	32
Arthropoda		Crustacea	Decapoda	1	1	3
		Insecta	Ephemeroptera	3	8	872
			Odonata	5	8	103
			Hemiptera	3	4	11
			Coleoptera	2	4	35
			Diptera	5	6	626
			Trichoptera	4	7	654
Total				37	59	2,707

Table 9. Current state of dominant cluster and community analysis state of rivers in agricultural areas.

Category		Dominant Species(Subdominant Species)	Dominance Index	Diversity Index	Richness Index	Evenness Index
Sahu-cheon	W-7	1st <i>Baetis fuscatus</i> (<i>Simulium</i> sp.)	0.44	2.93	2.58	0.77
		2nd <i>Cheumatopsyche brevilineata</i> (<i>Hydropsyche kozhantschikovi</i>)	0.43	2.91	2.44	0.88
		3rd <i>Baetis fuscatus</i> (<i>Cheumatopsyche brevilineata</i>)	0.55	2.55	1.84	0.77
		4th <i>Apatania</i> KUa(<i>Simulium</i> sp.)	0.47	3.20	3.14	0.80
	W-8	1st Chironominae spp.(<i>Ephemera orientalis</i>)	0.46	3.42	4.15	0.77
		2nd <i>Hydropsyche kozhantschikovi</i> (Chironominae spp.)	0.70	2.17	1.76	0.77
		3rd Chironominae spp. (<i>Cheumatopsyche brevilineata</i>)	0.46	3.23	3.68	0.75
		4th <i>Cloeon dipterum</i> (Chironominae spp.)	0.41	3.37	3.06	0.84
	W-9	1st <i>Cheumatopsyche brevilineata</i> (<i>Baetis fuscatus</i>)	0.52	2.87	2.85	0.73
		2nd <i>Hydropsyche kozhantschikovi</i> (<i>Semisulcospira libertina</i>)	0.47	2.80	1.97	0.88
		3rd Chironominae spp.(<i>Baetis fuscatus</i>)	0.44	3.27	3.08	0.86
		4th Chironominae spp. (<i>Cheumatopsyche brevilineata</i>)	0.50	2.80	2.85	0.72
Sanha-cheon	W-10	1st <i>Cheumatopsyche brevilineata</i> (Chironominae spp.)	0.42	2.87	2.14	0.80
		2nd Chironominae spp.(<i>Labiobaetis atrebatinus</i>)	0.52	2.69	1.85	0.90
		3rd Chironominae spp. (<i>Cheumatopsyche brevilineata</i>)	0.51	2.96	2.35	0.83
		4th <i>Cheumatopsyche brevilineata</i> (Chironominae spp.)	0.47	2.92	2.37	0.79
	W-11	1st Chironominae spp.(<i>Dugesia japonica</i>)	0.55	2.97	3.60	0.71
		2nd Chironominae spp.(<i>Cercion calamorum</i>)	0.37	3.14	2.47	0.94
		3rd Chironominae spp.(<i>Baetis fuscatus</i>)	0.79	2.11	2.16	0.61
		4th Chironominae spp.(<i>Baetis fuscatus</i>)	0.56	2.85	2.72	0.75
	W-12	1st <i>Baetis fuscatus</i> (Chironominae spp.)	0.37	3.47	3.56	0.82
		2nd <i>Baetis fuscatus</i> (<i>Labiobaetis atrebatinus</i>)	0.60	2.48	1.79	0.83
		3rd <i>Dugesia japonica</i> (<i>Baetis fuscatus</i>)	0.66	2.20	1.99	0.64
		4th <i>Baetis fuscatus</i> (Chironominae spp.)	0.41	3.39	3.16	0.83

비교적 특정종이 차지하는 비율이 다소 낮은 것으로 나타났다, 다양도 지수는 2.11~3.47, 풍부도 지수는 1.76~4.15의 범위로 나타났으며, 균등도 지수는 0.61~0.94의 수치로 산정되었다(Table 9).

2) BMI 지수

BMI 지수 산정결과, 각 조사지점별로 51.53~85.39의 범위로 나타났으며, 환경상태는 보통~최상, C~A등급으로 확인되었다. 조사지점 중 비교적 다양한 종 조성을 보인 사후천의 W-7에서 2차 조사시 가장 높은 수치(85.39)로 산정되어, 환경상태는 최상, A등급으로 나타났으며, 반면, 산하천의 W-11에서 4차 조사시 가장 낮은 수치(51.53)로 환경상태는 보통, C등급으로 나타났다. 농업지역 하천의 환경상태는 보통~최상, C~A등급으로 확인되었다(Table 10).

3) ESB 지수

ESB 지수 산정결과, 각 조사지점별로 ESB 지수는 15~52의 범위로 나타났으며, 환경상태는 불량(Bad)~다소양호(Moderately good), 지역구분은 우개선수역(Priority restoration)~보호수역(Protection), 수질등급은 III~II등급으로 확인되었다. 조사지점 중 상대적으로 다양한 종 조성을 보인 사후천의 W-8에서 1차 조사시 52로 가장 높은 수치가 산정되었으며, 환경상태는 다소양호로 나타났고, 지역구분은 보호수역, 수질등급은 II등급으로 확인되었다. 가장

빈약한 종 조성을 보인 산하천의 W-11에서 2차 조사시 15의 수치로, 환경상태는 불량, 지역구분은 우선개선수역, 수질등급은 III등급으로 확인되었다. 농업지역 하천의 환경상태는 전반적으로 불량~다소양호로 확인되었다(Table 11).

3.3 고찰

경기도 평택시에 위치하는 산업지역 하천(서정리천, 도일천) 및 농업지역 하천(사후천, 산하천)에서 총 4회의 걸친 조사를 통해 확인된 저서성 대형무척추동물을 이용하여 수환경평가를 실시하였으며, 이를 통해 하천 주변 토지이용 현황에 따른 하천 생태계에 미치는 영향의 정도를 파악하고자 하였다.

저서성 대형무척추동물은 하천 내 미소 서식처, 하상구조 등 하천 서식환경에 영향을 많이 받는 분류군임에 따라, 본 연구에서는 토지이용 현황에 따른 하천에 미치는 영향을 최대한 파악하기 위해 각 하천별로 미소 서식처는 흐름 및 소 구간, 하상 구조는 주로 모래, 자갈, 큰 돌로 구성된 유사한 하천 서식환경에 대하여 조사지점을 선정하였다.

산업지역 및 농업지역 하천의 수질측정 현황은 산업지역 하천에서 수온 10.4~34.2°C, 용존산소 5.23~9.71mg/L, pH 7.11~9.06이며, 농업지역 하천에서 수온 10.0~31.6°C, 용존산소 5.86~12.53mg/L, pH 6.91~8.60으로 나타났다. 수온의 경우 계절 변화에 따른 일반적인 수온 차를

Table 10. Result of Benthic Macroinvertebrate Index(BMI) analysis at rivers in agricultural areas.

Category		Benthic Macroinvertebrates Index (BMI)		Environment condition	Class
Sahu-cheon	W-7	1st	70.74	Good	B
		2nd	85.39	Excellent	A
		3rd	80.88	Excellent	A
		4th	86.83	Excellent	A
	W-8	1st	66.07	Good	B
		2nd	69.50	Good	B
		3rd	62.40	Good	B
		4th	72.42	Good	B
	W-9	1st	69.74	Good	B
		2nd	69.72	Good	B
		3rd	67.34	Good	B
		4th	58.47	Fair	C
Sanha-cheon	W-10	1st	66.07	Good	B
		2nd	56.67	Fair	C
		3rd	71.32	Good	B
		4th	66.67	Good	B
	W-11	1st	54.35	Fair	C
		2nd	53.04	Fair	C
		3rd	53.28	Fair	C
		4th	51.53	Fair	C
	W-12	1st	60.52	Good	B
		2nd	62.05	Good	B
		3rd	70.83	Good	B
		4th	59.38	Fair	C

보이나, 농업지역 하천에서 상대적으로 낮게 확인되었다. 수온에 따른 용해도 차이에 따라, 상대적으로 낮은 수온이 측정된 농업지역의 하천에서 용존산소 또한 비교적 높게 확인되었고, pH는 큰 차이 없이 유사하게 확인되었다.

저서성 대형무척추동물의 출현 현황을 살펴보면, 산업지역의 하천에서 총 3문 6강 16목 34과 45종 1,418개체, 농업지역의 하천에서 총 4문 7강 16목 37과 59종 2,707개체로 농업지역 하천에서 보다 많은 종수가 출현한 것을 확인할 수 있었다.

우점종 및 군집분석 결과, 산업지역의 하천에서 우점종은 대부분이 오염 내성종인 깔따구류(*Chironominae spp.*), 개똥하루살이(*Baetis fuscatus*)로 확인되었으며, 군집지수는 우점도 지수 0.49~1.00, 다양도 지수 0.92~3.15, 풍부도 지수 0.56~3.40, 균등도 지수 0.49~0.92의 범위로 산정되었다. 농업지역의 하천에서는 우점종은 개똥하루살이(*Baetis fuscatus*), 꼬마줄날도래(*Cheumatopsyche brevilineata*), 깔따구류(*Chironominae spp.*) 등 비교적 다양하게 확인되었으며, 군집지수는 우점도 지수 0.37~0.79, 다양도 지수 2.11~3.47, 풍부도 지수 1.76~4.15, 균등도 지수 0.61~0.94의 범위로 산정되었다. 산업지역의 하천에서 오염 내성종의 출현 비율이 상대적으로 높은 것으로 나타났으며, 다양도 지수 및 풍부도 지수를 비교해 볼 때, 농업지역 하천에서 비교적 높은 수치의 범위로 산정되었다.

BMI 지수는 산업지역 하천에서 27.50~61.35로, 환경상태는 불량~양호, D~B등급으로 나타났고, 농업지역 하천에서는 51.53~86.83으로, 환경상태는 보통~최상, C~A등급으로 나타났다.

ESB 지수 산정 결과, 산업지역 하천에서 ESB 지수 2~33으로, 환경상태는 매우불량~다소불량, 지역구분은 최우선개선수역~개선수역, 수질등급은 IV~V~II등급으로 나타났고, 농업지역 하천에서는 15~52로, 환경상태는 불량~다소양호, 지역구분은 우선개선수역~보호수역, 수질등급은 III~II등급으로 나타났다(Table 12). 산업지역 및 농업지역 하천의 BMI 및 ESB 지수 산정 결과를 비교해 볼 때, 상대적으로 농업지역의 하천에서 보다 양호한 환경상태를 보이는 것으로 확인되었다.

4. 결론

본 연구는 경기도 팽택시의 산업지역 하천인 서정리천, 도일천 및 농업지역 하천인 사후천, 산하천 등 4개의 하천에서 출현하는 저서성 대형무척추동물을 이용한 수환경평가 및 분석을 통해 두 지역 하천의 환경상태를 파악하고자 하였다. 종합해 보면, 하천 환경은 농업지역 하천이 산업지역 하천에 비해 상대적으로 양호한 것으로 나타났다. 한편, 유사 연구인 Nascimento et al., (2018) 연구 사례를 살펴

Table 11. Evaluation of ESB index at rivers in agricultural areas.

Category		ESB	Environment condition	Area control recommendation	Water quality	
Sahu-cheon	W-7	1st	40	Moderately bad	Restoration	II
		2nd	32	Moderately bad	Restoration	II
		3rd	28	Moderately bad	Restoration	II
		4th	49	Moderately good	Protection	II
	W-8	1st	52	Moderately good	Protection	II
		2nd	17	Bad	Priority restoration	III
		3rd	49	Moderately good	Protection	II
		4th	46	Moderately good	Protection	II
	W-9	1st	35	Moderately bad	Restoration	II
		2nd	23	Bad	Priority restoration	III
		3rd	33	Moderately bad	Restoration	II
		4th	33	Moderately bad	Restoration	II
Sanha-cheon	W-10	1st	32	Moderately bad	Restoration	II
		2nd	21	Bad	Priority restoration	III
		3rd	30	Moderately bad	Restoration	II
		4th	35	Moderately bad	Restoration	II
	W-11	1st	35	Moderately bad	Restoration	II
		2nd	15	Bad	Priority restoration	III
		3rd	18	Bad	Priority restoration	III
		4th	26	Moderately bad	Restoration	II
	W-12	1st	40	Moderately bad	Restoration	II
		2nd	20	Bad	Priority restoration	III
		3rd	24	Bad	Priority restoration	III
		4th	35	Moderately bad	Restoration	II

Table 12. Comparative analysis table of rivers in industrial and agricultural Areas.

Category		Industrial area (Seojeongri-cheon, Doil-cheon)	Agricultural area (Sahu-cheon, Sanha-cheon)	
Micro-habitat of each survey point		Run, Pool	Run, Pool	
Overall riverbed substrate		Sand, Gravel, Large rocks	Silt, Sand, Gravel, Large rocks	
Physiochemical water quality evaluation	Water temperature (°C)	10.4 ~ 34.2	10.0 ~ 31.6	
	DO(mg/L)	5.23 ~ 9.71	5.86 ~ 12.53	
	pH	7.11 ~ 9.06	6.91 ~ 8.60	
Number of species appearing		34 families, 45 species	37 families, 59 species	
Water environment evaluation	Dominant Species	Chironominae spp. <i>Baetis fuscatus</i>	<i>Baetis fuscatus</i> <i>Cheumatopsyche brevilineata</i> Chironominae spp.	
	Community analysis	DI	0.49~1.00	0.37~0.79
		H'	0.92~3.15	2.11~3.47
		RI	0.56~3.40	1.76~4.15
		J'	0.49~0.92	0.61~0.94
	BMI	Class : D~B Environment condition : Poor~Good	Class : C~A Environment condition : Fair~Excellent	
ESB	Water quality : IV~V~II Environment condition : Very bad~Moderately bad	Water quality : III~II Environment condition : Bad~Moderately Good		

보면, 토지 이용 현황에 따라 저서성 대형무척추동물의 군집 다양성 및 수질 현황이 큰 차이를 보이는 것으로 나타났다. 해당 유사 연구사례와 본 연구 결과를 비교하여 볼 때, 유사한 결과를 나타내는 것으로 확인되었다. 결과적으로 하천 주변 토지 이용 현황에 따른 인위적인 활동의 차이에 따라 하천 생태계에 미치는 영향 정도가 다른 것을 확인할 수 있었다. 현재 우리나라는 토지 개발 및 산업화 등으로 인해 하천 주변 지역으로 도심지와 산업지역이 점차 늘어나고 있으며, 그에 따라 하천 생태계에 미치는 악영향 또한 증가하고 있다. 따라서, 하천 생태계 보전을 위해 추후, 보다 큰 시·공간적 범위의 지속적인 연구와 관리가 필요할 것으로 판단되는 바이다.

References

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, *American Midland Naturalist*, 87(1), pp. 8-24. [DOI: <https://doi.org/10.2307/2423878>]

Kim, KH (2003). *Classification of benthic macroinvertebrate communities and biological water quality assessment in low-polluted rivers*, Master's Thesis, Busan University, pp. 1-4. [Korean Literature]

Kong, DS (1997). Benthic Macroinvertebrates in Hongseong and Yesan County, in Ministry of Environment (eds.), *Natural Environment in Yesan, Seosan and Hongseong*, pp. 155-204.

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 (2018). Development of benthic macroinvertebrates index (BMI) for biological assessment on stream environment, *J. of Korean Society on Water Environment*, 34(2), pp. 183-201. [Korean Literature]

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, pp. 168-169. [DOI: <https://doi.org/10.1038/216168b0>]

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.

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, *Bioscience Journal*, 34(1), pp. 194-209. [DOI: <https://doi.org/10.14393/bj-v34n1a2018-37842>]

Pielou, EC (1975). *Ecological Diversity*, John Wiley and Sons, New York

Shannon, CE and Weaver, W (1949). *The Mathematical Theory of Communication*, University of Illinois Press, Urbana.

Yoon, IB, Kong, DS and Ryu, JK (1992). Studise on the biological evaluation of water quality by benthic macro-invertebrates (I) - Saprobic valency and indicative value -, *Korean J. of Environment Biology*, 10(1), pp. 24-39. [Korean Literature]