

화포천 습지의 어류군집 특성^{1a}

고명훈^{2*} · 최광식³ · 임정철⁴

Fish Community Characteristics in Hwapocheon Wetland, Korea^{1a}

Myeong-Hun Ko^{2*}, Kwang-Seek Choi³, Jeong-Cheol Lim⁴

요약

화포천 습지의 어류 군집 특성을 밝히기 위해 2020년 5월부터 9월까지 3회 조사를 실시하였다. 조사기간 동안 8개 지점에서 채집된 어류는 7과 21종 735개체였다. 우점종은 치리(*Hemiculter eigenmanni*, 23.8%), 아우점종은 배스(*Micropterus salmoides*, 10.3%), 그 다음으로 피라미(*Zacco platypus*, 9.5%), 붕어(*Carassius auratus*, 9.4%), 참붕어(*Pseudorasbora parva*, 9.0%), 참몰개(*Squalidus chankaensis tsuchigae*, 6.7%), 큰납지리(*Acheilognathus macropterus*, 5.4%), 블루길(*Lepomis macrochirus*, 5.2%), 모래무지(*Pseudogobio esocinus*, 4.1%), 끄리(*Opsariichthys uncirostris amurensis*, 3.7%), 떡붕어(*Carassius cuvieri*, 3.3%) 등의 순으로 우세하였다. 법정보호종은 환경부지정 멸종위기 야생생물 II급의 백조어(*Culter brevicauda*) 1종이 확인되었고, 한국고유종은 참몰개 1종(4.8%)이 출현하였다. 외래종은 배스, 블루길, 떡붕어 3종이, 육붕형 어류는 밀어 1종이 채집되었다. 선행연구 결과와 비교하면, 유수역에 서식하는 어류의 비율은 감소하고 정수역에 서식하는 어류의 비율은 증가하는 경향을 보였는데, 특히 생태계교란 야생생물로 지정된 배스와 블루길은 점차 증가하는 경향을 보였다. 어류 군집분석 결과, 본류 지점들(St. 1, 3, 4, 5, 6, 8)은 우점도는 낮으나 다양도와 풍부도는 높았고, 지류(St. 2, 7) 등의 지점들은 우점도는 높으나 다양도와 풍부도는 낮았다. 어류를 이용한 하천 건강성은 나쁨(6개 지점), 보통(1개 지점), 매우 나쁨(1개 지점)으로 평가되었다. 수질 등급은 화학적산소요구량(COD)과 총유기물질(TOC), 부유물질(SS), 총대장균군수(TC) 등으로 인해 약간 나쁨으로 평가되었으며, 연도별 수질은 생물학적산소요구량(BOD), 화학적산소요구량, 부유물질, 클로로필-a(Chl-a) 등이 점차 증가하는 경향을 보였다. 화포천 습지의 안정적인 어류 서식 및 하천 건강성을 향상시키기 위해서는 수질개선 및 생태계교란종(배스, 블루길)의 체계적인 관리가 요구된다.

주요어: 어류상, 생태계교란종, 하천 건강성 평가, 수질

ABSTRACT

This study surveyed the characteristics of fish communities in Hwapocheon Wetland, Korea, from May to September 2020. The survey collected 735 objects in 21 species belonging to 7 families from 8 survey

1 접수 2022년 1월 24일, 수정 (1차: 2022년 2월 25), 게재확정 2022년 3월 7일

Received 24 January 2022; Revised (1st: 25 February 2022); Accepted 7 March 2022

2 고수생태연구소 소장 Kosoo Biology institute, 49 Mokdongjungangnamro14gagil, Yangcheon-gu, Seoul-si, 07955, Korea (hun7146@gmail.com)

3 고수생태연구소 연구원 Kosoo Biology institute, 49 Mokdongjungangnamro14gagil, Yangcheon-gu, Seoul-si, 07955, Korea (cgs05@naver.com)

4 국립생태원 습지센터 선임연구원 Wetland Center, National Institute of Ecology, 38 Isangil Ibang-myeon, Changnyeong-gun, Kyeongsangnam-do, 50303, Korea (limsu8002@nie.re.kr)

a 이 논문은 국립생태원 내륙습지 정밀조사('22)(NIE-법정연구-2022-19)의 지원을 받아 수행된 연구임

* 교신저자 Corresponding author: E-mail: hun7146@gmail.com

stations. The dominant and subdominant species were *Hemiculter eigenmanni*(23.8%) and *Micropterus salmoides*(10.3%), respectively. The next most abundant species were *Zacco platypus*(9.5%), *Carassius auratus*(9.4%), *Pseudorasbora parva*(9.0%), *Squalidus chankaensis tsuchigae*(6.7%), *Acheilognathus macropterus*(5.4%), *Lepomis macrochirus*(5.2%), *Pseudogobio esocinus*(4.1%), *Opsariichthys uncirostris amurensis*(3.7%), and *Carassius cuvieri*(3.3%). Among the fish species collected, one species, *Culter brevicauda*, was class II endangered wildlife designated by the Ministry of Environment, and one species, *S. c. tsuchigae*(4.8%), was endemic to Korea. Additionally, three exotic species (*M. salmoides*, *L. macrochirus*, and *C. cuvieri*) and one landlocked species (*Rhinogobius brunneus*) were collected. Compared to previous studies, the proportion of fish living in the running water area tended to decrease, the proportion of fish living in the water purification area tended to increase, and ecosystem-disturbing species (*M. salmoides* and *L. macrochirus*) tended to increase gradually. Results of fish community analysis showed that the mainstream stations (St. 1, 3, 4, 5, 6, and 8) had low dominance, but high diversity and richness, and other stations (St. 2 and 7) had high dominance but low diversity and richness. The river health (index of biological integrity) evaluated using fish was assessed as bad (6 stations), normal (1 station), and very bad (1 station). The water quality grade was assessed as slightly bad due to the chemical oxygen demand (COD), total organic content (TOC), suspended solid (SS), and total coliforms (TC). The annual water quality showed a gradually increasing trend of biological oxygen demand (BOD), COD, SS, and chlorophyll-a. The stable life of fish and the improvement of river health in Hwapocheon Wetland require water quality improvement and the systematic management of ecosystem-disturbing species (*M. salmoides* and *L. macrochirus*).

KEY WORDS: FISH FAUNA, ECOLOGICAL DISTURBANCE SPECIES, RIVER ECOSYSTEM HEALTH ASSESSMENT, WATER QUALITY

서론

담수어류는 하천생태계의 먹이사슬 최상위 소비자로서 하천생태계를 대표하고 과거로부터 현재까지 이어진 지질학적 역사로 인한 어류의 이동 및 종분화, 생태적 상호작용을 통해 현재의 독특한 분포양상을 보인다(Nishimura, 1974; Kim, 1997; Moyle and Cech, 2000; Yoo *et al.*, 2016). 담수어류의 어류상 및 군집구조는 저수지나 댐, 하구둑의 건설, 하천정비공사, 외래종의 도입, 상업종의 남획 등의 인위적인 요인으로 인해 종 구성 및 비율에 큰 영향을 받는 것으로 보고되고 있다(Jang *et al.*, 2006; Kwater, 2007; Ko *et al.*, 2017; NIBR, 2019).

습지는 육상생태계와 수생태계 사이의 전이 지역으로 담수·기수 또는 염수가 영구적 또는 일시적으로 그 표면을 덮고 있는 곳으로 물이 많고 영양염류가 풍부하여 생산성이 높으며 독특한 생태계를 구성하여 생물다양성의 보고로 알려져 있다(Cowardin *et al.* 1979; NWC, 2013). 습지는 크게 내륙습지와 연안습지로 구분되며 내륙습지에는 호수습지, 하천습지, 소택습지, 인공습지 등이 포함된다(NWC, 2013). 본 연구장소인 화포천 습지는 화포천(지방2급 하천, 길이

22.28km, 유역면적 137.84km²) 중·하류인 김해시 진례면, 진영읍, 한림면에 위치하고 있는 하천습지(배후습지)이며, 2012년에 화포천습지 생태공원(길이 3.5km, 면적 1,591,200m²)이 조성되었다. 화포천 습지는 많은 동·식물이 서식하는 것으로 보고되었는데(NIER, 2002; Kwan *et al.*, 2006; GDRI, 2007; Gimhaesi, 2016; NRBEQ, 2018), 특히 화포천 습지는 일본 효고현 토요오카에서 방사한 황새 *Ciconia boyciana*가 안착한 지역으로 생태적 우수성이 알려지면서 관심도가 증가하였다(Gimhaesi, 2016). 이후 2017년 11월에 김해시와 지역주민의 생태복원 노력으로 습지보호지역으로 지정되었다.

화포천 습지의 담수어류에 대한 선행연구는 제1차 내륙습지 자연환경조사(NIER, 2002)와 화포천 동물상 조사보고서(Kwan *et al.*, 2006), 전국내륙습지 보고서(GDRI, 2007) 등이 있는데, 특히 생태계교란 야생생물로 지정된 배스와 블루길이 2002년에 도입되어 서식이 확인되었고(NIER, 2002), 2006년에는 이들의 개체수가 급격히 증가한 것으로 보고되었다(GDRI, 2007). 또한 2000년대 이후 소규모 공장의 난립으로 인해 자연환경이 심각하게 훼손되고 수질이 악화되는 것으로 보고되었다(Ahn *et al.*, 2012;

Gimhaesi, 2016; Shim *et al.*, 2020). 이러한 생태계교란 어종의 도입 및 수질 악화는 어류군집에 큰 영향을 미칠 것으로 예상되나 최근 화포천 습지의 담수어류에 대한 조사는 이루어지지 않았다.

따라서 본 연구에서는 우선적으로 화포천 습지의 담수어류 정밀조사를 실시하여 어류상 및 군집구조, 변화양상 등을 밝히고, 채집 어류와 수질을 근거로 하천 건강성을 평가하며, 나아가 화포천 습지의 보존방안을 제시하고자 하였다.

연구방법

1. 조사지점 및 기간

본 연구는 2020년 봄(5월 17~19일), 여름(7월 13~15일), 가을(9월 17~19일)로 나누어 서식 어류와 수환경을 3회 조사하였다. 조사지점은 화포천 습지의 다양한 서식지가 포함되도록 본류와 유입부, 유출부, 지류 등을 포함하여 8개 지점을 선정하였다. 각 조사지점의 행정구역 및 GPS는 다음과 같다(Figure 1).

- St. 1. 경상남도 김해시 진영읍 설창리 징검다리 (35°18'8.54"N/128°46'52.54"E)
- St. 2. 경상남도 김해시 진영읍 설창리 잠수교 (35°18'19.67"N/128°46'27.31"E)
- St. 3. 경상남도 김해시 한림면 퇴래리 (35°18'43.32"N/128°47'12.77"E)
- St. 4. 경상남도 김해시 한림면 퇴래리 (35°18'47.83"N/128°47'48.62"E)

- St. 5. 경상남도 김해시 한림면 퇴래리 배수장 (35°18'45.38"N/128°48'12.13"E)
- St. 6. 경상남도 김해시 한림면 명동리 다리 (35°18'31.27"N/128°48'15.13"E)
- St. 7. 경상남도 김해시 한림면 장방리 (35°19'1.22"N/128°48'12.79"E)
- St. 8. 경상남도 김해시 한림면 장방리 화포교 (35°18'48.23"N/128°48'32.18"E)

2. 채집 및 조사방법

어류의 채집은 투망(망목 6×6mm, 10회)과 족대(망목 4×4mm, 30분)를 이용하여 지점별로 200m 구간 내에서 실시하였고, 채집된 개체는 현장에서 육안으로 동정·계수한 후 생태계 보전을 위하여 바로 방류하였다. 어류의 동정은 Kim(1997), Kim *et al.*(2005), Kim and Park(2007) 등에 따랐으며 분류체계는 Nelson(2006)에 따라 목록을 정리하였다. 서식지 환경은 거리 측정용 망원경(Yardage pro Tour XL, BUSHNELL, Japan)과 줄자를 이용하여 하폭과 유폭, 수심 등을 측정하였고, 하천형은 Kani(1944), 하상 구조는 Cummins(1962)의 방법에 따랐다. 또한 하천 차수(stream order)는 축척 1 : 120,000 기준으로 계산하였으며, 고도는 Google Earth(Google Earth Pro, USA)의 정보를 이용하였다.

3. 수질 현황

조사년도(2020년 1~12월) 및 연간(2000~2020년)의 수질(수온, 용존산소량(DO), 생물학적산소요구량(BOD), 화

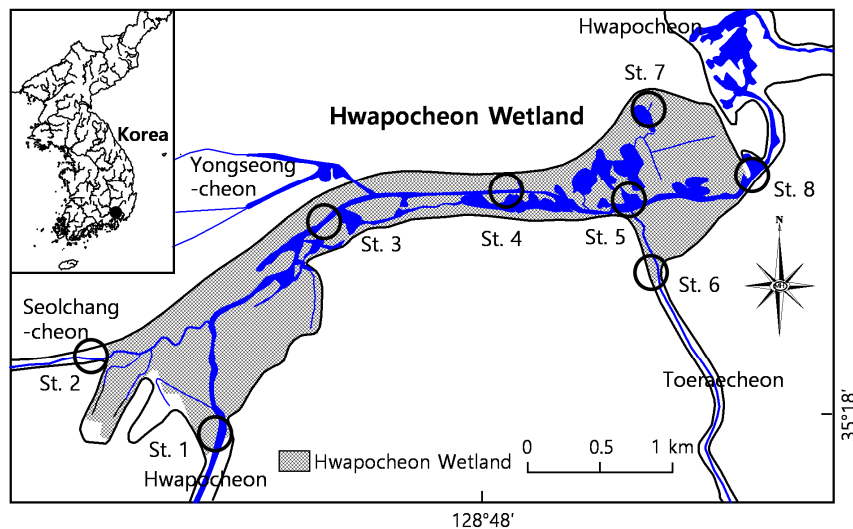


Figure 1. Study stations in Hwapocheon Wetland, Gyeongsangnam-do, Korea from May to September 2020.

학적산소요구량(COD), 부유물질(SS), 총질소(TN), 총인(TP), 총유기탄소(TOC), 수소이온농도(pH), 전기전도도(EC), 총대장균군수(TC), 클로필-a(Chl-a)) 변화는 물 환경정보시스템에서 수질 측정망 중 화포천관측소에서 측정된 자료를 이용하였다(WEIS, 2020). 수질 등급은 물환경정보시스템의 수질 및 수생태계 환경기준에 따라 2020년 1월부터 12월까지의 pH, BOD, COD, TOC, SS, DO, TP, TC의 측정값을 7단계인 매우 좋음(Ia), 좋음(Ib), 약간 좋음(II), 보통(III), 약간 나쁨(IV), 나쁨(V), 매우 나쁨(VI)으로 나누어 평가하였다(WEIS, 2020).

4. 군집 분석 및 하천 건강성 평가

어류의 군집 특성을 밝히기 위해 우점도(Dominance index)와 다양도(Diversity index), 균등도(Evenness index), 풍부도(Richness index) 지수를 산출하였다(Margalef, 1958; McNaughton, 1967; Pielou, 1966; 1975). 군집구조는 조사지점별 출현종과 개체수를 근거로 Primer 5.0 (PRIMER E Ltd, UK)을 이용하여 Bray-Curtis 유사도를 계산한 후 도식화하였다. 조사지점들의 건강성은 우리나라 하천 건강성 평가를 위해 개발된 모델(IBM)을 이용하여 하천 차수(stream order)에 따라 8개의 매트릭(M1: 국내 종의 총 종수, M2: 여울성 저서 종수, M3: 민감종수, M4: 내성종의 개체수 비율, M5: 잡식종의 개체수 비율, M6: 국내 종의 총식종 개체수 비율, M7: 채집된 국내 종의 총 개체수, M8: 비정상 종의 개체수 비율) 별로 값을 계산한 후 합산하여 어류생물지수(FAI)를 산출하였다. 산출된 어류생물지수는 매우 좋음(A, 80~100), 좋음(B, 60~80), 보통(C, 40~60), 나쁨(D, 20~40),

매우 나쁨(E, 0~20)으로 등급을 구분하였다(NIER, 2019).

결 과

1. 서식지 특성

화포천 습지는 화포천 중·하류부에 위치한 하천습지로 주변은 대부분 농경지와 여러 개의 산업단지로 이루어져 있었으며 일부 습지 근처의 농경지는 습지로 편입되어 휴경되고 있었다. 습지 내 화포천 본류(St. 1, 3, 4, 5, 8)는 하폭 40~500m, 유폭 30~350m로 범위가 넓었으나 지류(St. 2, 6)는 하폭 30~50m, 유폭 1~3m로 범위가 좁았고, 수심은 0.3~1.5m, 고도는 1~3m로 낮았다. 하천 차수는 1~3차 하천이었으며, 하천형은 대부분 평지형(Bb, Bb-Bc형)이었으며, 하상은 습지 내 지점(St. 2, 3, 4, 5, 7)은 펄(mud)의 비율이 매우 높았으나 유입부(St. 1)는 모래(sand)와 잔자갈(gravel), 유출부(St. 8)와 지류(St. 6)는 자갈(pebble)과 돌(cobble), 잔자갈의 비율이 높았다(Table 1). 물은 화포천 상류 및 지류 등에서 생활하수 및 공장폐수 등이 유입되면서 탁하였는데, 화포천관측소에서 2020년 1월부터 12월까지 측정된 수질(연평균)은 수온 18.0±0.75(5.8~31.4)℃, DO 9.6±1.91(5.4~13), BOD 3.4±1.60(1.3~7.4)mg/L, COD 7.5±2.33(5.2~15.4)mg/L, SS 34.5±14.31(18.4~80.0)mg/L, TN 3.2±0.75(1.6~5.1)mg/L, TP 0.08±0.02(0.05~0.14)mg/L, TOC 5.6±3.09(3.6~14.4)mg/L, pH 7.4~8.7, EC 432±111.9(188~718)μ S/cm, TC 432±111.9(188~718)MPN/100mL, Chl-a 30.5±22.53(2.7~79.9)mg/m³로 나타났다(Table 2)

Table 1. Physicochemical environments at the study stations in Hwapocheon Wetland, Korea from May to September 2020

| St. | River width (m) | Water width (m) | Water depth (m) | Altitude (m) | River type* | Stream order | Bottom structure(%)** | | | | | | Etc*** |
|-----|-----------------|-----------------|-----------------|--------------|-------------|--------------|-----------------------|----|----|----|----|----|--------|
| | | | | | | | M | S | G | P | C | B | |
| 1 | 40-150 | 30-40 | 0.3-1.5 | 3 | Bb | 3 | 10 | 30 | 20 | 10 | 10 | 20 | W |
| 2 | 30-40 | 1-3 | 0.2-0.5 | 3 | Bb | 1 | 100 | | | | | | TS |
| 3 | 300-400 | 15-20 | 0.3-1.2 | 2 | Bb-Bc | 3 | 80 | | | 10 | 10 | | |
| 4 | 230-270 | 15-20 | 0.5-1.2 | 2 | Bc | 3 | 90 | | | | 10 | | |
| 5 | 350-400 | 300-350 | 0.5-1.5 | 2 | Bc | 3 | 80 | | | | 10 | 10 | |
| 6 | 40-50 | 1-3 | 0.3-0.5 | 2 | Bb | 2 | 30 | 10 | 20 | 30 | 10 | | TS |
| 7 | 200-500 | 80-150 | 0.3-0.7 | 1 | Bb | 1 | 100 | | | | | | P |
| 8 | 50-60 | 10-15 | 0.3-1.2 | 1 | Bb-Bc | 3 | 20 | | 10 | 30 | 30 | 10 | |

*River type: by Kani (1944); **M: mud (<0.1 mm), S: sand (0.1-2 mm), G: gravel (2-16 mm), P: pebble (16-64 mm), C: cobble (64-256 mm), B: boulder (256< mm) -modified Cummins (1962); ***W: weir, P: puddle, TS: tributaries stream

Table 2. Quality status in Hwapocheon, Korea from January to December 2020

| Index | Jan. | Feb. | Mar. | Apr. | May | Jun. | Jul. | Aug. | Sep. | Oct. | Nov. | Dec. | Average |
|----------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|--------------------------------|
| Water temp. (°C) | 7.1±0.91 | 8.7±2.85 | 13.3±4.56 | 16.1±1.22 | 22.8±1.12 | 26.8±2.51 | 23.3±2.32 | 30.9±0.78 | 24.3±2.69 | 18.4±1.93 | 13.3±1.26 | 6.5±0.35 | 18.0±7.54 (5.8-31.4) |
| DO (mg/L) | 11.7±1.12 | 10.5±1.80 | 10.8±1.19 | 11.2±2.46 | 8.9±1.05 | 7.8±2.01 | 7.7±0.21 | 8.2±0.14 | 7.8±0.75 | 9.1±0.57 | 10.8±1.10 | 12.4±0.14 | 9.6±1.91 (5.4-13) |
| BOD (mg/L) | 2.6±1.14 | 3.0±1.59 | 3.9±1.06 | 5.4±1.53 | 5.7±1.37 | 5.2±0.55 | 2.4±1.36 | 3.1±0.92 | 2.5±0.88 | 2.2±0.21 | 2.5±0.34 | 1.9±0.07 | 3.4±1.60 (1.3-7.4) |
| COD (mg/L) | 6.2±1.01 | 5.8±1.10 | 6.6±1.30 | 8.1±0.72 | 9.9±0.61 | 12.7±2.09 | 6.7±1.50 | 7.6±1.63 | 6.8±1.08 | 6.4±0.48 | 6.1±0.53 | 5.7±0.21 | 7.5±2.33 (5.2-15.4) |
| SS (mg/L) | 51.9±24.38 | 40.5±19.06 | 37.5±2.41 | 27.6±4.06 | 28.9±3.07 | 24.8±1.46 | 43.0±21.31 | 30.2±3.68 | 43.8±7.84 | 36.1±21.80 | 22.3±5.58 | 30.0±15.27 | 34.5±14.31 (18.4-80.0) |
| TN (mg/L) | 4.1±0.25 | 4.1±0.28 | 3.5±0.43 | 2.7±0.27 | 2.7±0.25 | 2.8±0.76 | 3.2±0.45 | 2.1±0.73 | 2.7±0.68 | 3.2±0.30 | 3.6±1.01 | 4.2±0.30 | 3.2±0.75 (1.6-5.1) |
| TP (mg/L) | 0.1±0.02 | 0.1±0.03 | 0.1±0.03 | 0.1±0.02 | 0.1±0.01 | 0.1±0.02 | 0.1±0.05 | 0.1±0.00 | 0.1±0.02 | 0.1±0.01 | 0.1±0.01 | 0.1±0.02 | 0.08±0.02 (0.05-0.14) |
| TOC (mg/L) | 4.2 | 3.6 | 4.9 | 6.0 | 8.7 | 14.4 | 4.2 | 4.8 | 3.9 | 4.6 | 4.6 | 3.7 | 5.6±3.09 (3.6-14.4) |
| pH | 7.5-7.6 | 7.4-8.0 | 7.5-8.3 | 7.5-8.7 | 7.4-8.4 | 7.4-7.9 | 7.6-7.8 | 7.6-7.9 | 7.7-8.0 | 7.7-8.2 | 7.7-7.8 | 7.4-7.6 | 7.4-8.7 |
| EC (µS/cm) | 367±93 | 411±113 | 392±51 | 403±116 | 483±66 | 545±162 | 294±125 | 431±38 | 324±105 | 515±32 | 465±27 | 529±33 | 432±111.9 (188-718) |
| TC (MPN/100 mL) | 33,000 | 14,500 | 134,000 | 14,500 | 62,000 | 625,000 | 32,500 | 17,750 | 50,000 | 33,500 | 16,000 | 12,000 | 86,075±173,262 (2,650-625,000) |
| Chl-a (mg/m ³) | 10.0±1.82 | 10.4±6.40 | 31.2±25.37 | 57.2±31.24 | 58.6±10.02 | 40.9±21.18 | 21.4±17.91 | 46.8±26.87 | 20.1±25.79 | 25.0±4.08 | 24.1±11.33 | 14.9±2.90 | 30.5±22.53 (2.7-79.9) |
| Grade* | IV | IV | IV | IV | V | VI | IV | IV | IV | IV | III | IV | IV |

*River living environment standard grade (WEIS, 2020)

2. 어류상

조사기간 동안 8개 지점에서 채집된 어류는 모두 7과 21종 735개체였다. 출현종 중 우점종은 치리(*Hemiculter eigenmanni*, 23.8%), 아우점종은 배스(*Micropterus salmoides*, 10.3%), 그 다음으로 피라미(*Zacco platypus*, 9.5%), 붕어(*Carassius auratus*, 9.4%), 참붕어(*Pseudorasbora parva*, 9.0%), 참물개(*Squalidus chankaensis tsuchigae*, 6.7%), 큰납지리(*Acheilognathus macropterus*, 5.4%), 블루길(*Lepomis macrochirus*, 5.2%), 모래무지(*Pseudogobio esocinus*, 4.1%), 꼬리(*Opsariichthys uncirostris amurensis*, 3.7%), 떡붕어(*Carassius curvieri*, 3.3%) 등의 순으로 우세하였다. 법정보호종은 환경부지정 멸종위기 야생생물 II급의 백조어(*Culter brevicauda*) 1종이 확인되었고, 한국고유종은 참물개(*Squalidus chankaensis tsuchigae*) 1종(4.8%)이 출현하였다. 외래종은 배스, 블루길, 떡붕어 3종이 출현하였는데, 이중 배스와 블루길은 생태계교란 야생생물로 지정된 종이였다. 그 외 육붕형 어류로 밀어(*Rhinogobius brunneus*) 1종이 확인되었다(Table 3, Figure 2).

3. 군집구조 및 특징

지점별 우점종은 치리 4개 지점, 참붕어 2개 지점, 피라미와 붕어 1개 지점으로 치리가 가장 많은 지점에서 우점하였다. 지점별 우점도 지수(0.36~0.71)는 St. 3이 0.36으로 가장 낮았고 St. 2가 0.71로 가장 높았으며, 다양도 지수(1.34~2.16)는 St. 2가 1.34로 가장 낮고 St. 3이 2.16으로 가장 높았으며, 균등도 지수(0.75~0.89)는 St. 2가 0.75로 가장 낮고 St. 6이 0.89로 가장 높았으며, 풍부도 지수(1.01~2.20)는 St. 7이 1.01로 가장 낮고 St. 4가 2.19로 가장 높게 나타났다. 전체적으로 볼 때 대체로 본류 지점(St. 1, 3, 4, 5, 6, 8)들이 우점도는 낮으나 다양도와 풍부도는 높게 나타났고 지류 지점(St. 2) 및 웅덩이 지점(St. 7)은 우점도는 높으나 다양도와 풍부도는 낮은 특징을 보였다(Table 4). 군집구조는 Primer 5.0을 이용하여 계산한 후 그림으로 도식한 결과, 뚜렷하게 지점들이 구분되지 않았으나 대체로 본류 지점(St. 3, 4, 5, 6, 8)들이 가장 가깝게 묶이고 이후 물 웅덩이(St. 7), 유입부(St. 1), 지류(St. 2) 순으로 가깝게 그룹핑되었다(Figure 3).

Table 3. List of fish species and number of individual fish collected in Hwapocheon Wetland, Korea from May to September 2020

| Scientific name | Stations | | | | | | | | Total | RA(%)* | Remarks** |
|--|----------|----|-----|----|----|----|----|-----|-------|--------|-----------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | | | |
| Cyprinidae | | | | | | | | | | | |
| <i>Cyprinus carpio</i> | 1 | | 6 | 1 | 2 | 1 | 1 | 7 | 19 | 2.59 | |
| <i>Carassius auratus</i> | 3 | 5 | 3 | 11 | 14 | 4 | 21 | 8 | 69 | 9.39 | |
| <i>Carassius cuvieri</i> | | | 4 | 10 | 10 | | | | 24 | 3.27 | Ex |
| <i>Acheilognathus macropterus</i> | | | 5 | 8 | 5 | 5 | | 17 | 40 | 5.44 | |
| <i>Pseudorasbora parva</i> | | | 20 | 4 | 9 | 3 | 6 | 24 | 66 | 8.98 | |
| <i>Squalidus chankaensis tsuchigae</i> | 30 | | | | | | | 17 | 47 | 6.39 | E |
| <i>Pseudogobio esocinus</i> | 30 | | | | | | | | 30 | 4.08 | |
| <i>Hemibarbus labeo</i> | | | | | | | | 1 | 1 | 0.14 | |
| <i>Erythroculter erythropterus</i> | | | | 5 | 6 | | 10 | | 21 | 2.86 | |
| <i>Culter brevicauda</i> | | | | | 1 | 1 | | | 2 | 0.27 | EnII |
| <i>Opsariichthys uncirostris amurensis</i> | 4 | | 18 | 2 | 3 | | | | 27 | 3.67 | |
| <i>Zacco platypus</i> | 45 | 19 | 2 | 4 | | | | | 70 | 9.52 | |
| <i>Hemiculter eigenmanni</i> | 83 | | 7 | 27 | 29 | 10 | 14 | 5 | 175 | 23.81 | |
| Cobitidae | | | | | | | | | | | |
| <i>Misgurnus anguillicaudatus</i> | | 3 | | | | | 6 | | 9 | 1.22 | |
| <i>Misgurnus mizolepis</i> | | 2 | | | | | | | 2 | 0.27 | |
| Bagridae | | | | | | | | | | | |
| <i>Pseudobagrus fulvidraco</i> | | | 2 | | | | | 3 | 5 | 0.68 | |
| Siluridae | | | | | | | | | | | |
| <i>Silurus asotus</i> | | | | 1 | 1 | | | | 2 | 0.27 | |
| Adrianichthyidae | | | | | | | | | | | |
| <i>Oryzias latipes</i> | | | 2 | | | | | | 2 | 0.27 | |
| Centrarchidae | | | | | | | | | | | |
| <i>Micropterus salmoides</i> | 18 | 1 | 19 | 7 | 8 | 7 | | 16 | 76 | 10.34 | Ex |
| <i>Lepomis macrochirus</i> | 3 | | 19 | 3 | 10 | 1 | | 2 | 38 | 5.17 | Ex |
| Gobiidae | | | | | | | | | | | |
| <i>Rhinogobius brunneus</i> | 6 | 4 | | | | | | | 10 | 1.36 | L |
| Number of species | 10 | 6 | 12 | 12 | 12 | 9 | 5 | 10 | 21 | | |
| Number of individuals | 223 | 34 | 107 | 83 | 98 | 38 | 52 | 100 | 735 | | |

*Relative abundance (%); **E: Korean endemic species, EnII: endangered species II, L: land-locked species, Ex. exotic species

4. 하천 건강성 평가

하천 건강성은 하천 차수에 따라 어류생물지수(FAI)를 평가한 결과, 보통(C, 60~40) 1개 지점, 나쁨(D, 40~20) 6개 지점, 매우 나쁨(E, 20~0) 1개 지점으로 나타났다. 이중 지류에 해당되는 St. 2는 어류생물지수(FAI)가 43.8점 보통으

로 건강성이 가장 좋았고, 그 외 대부분의 본류 구간 및 지류 6개 지점은 20.9~37.5점으로 나쁨이었으며, 본류의 St. 5는 18.8점으로 매우 나쁨으로 나타났다. 민감종은 모든 지점에서 서식하지 않았고, 저서성 어류는 St. 1, 2, 식충성 어류는 St 1, 7에서만 출현하였다(Table 5).

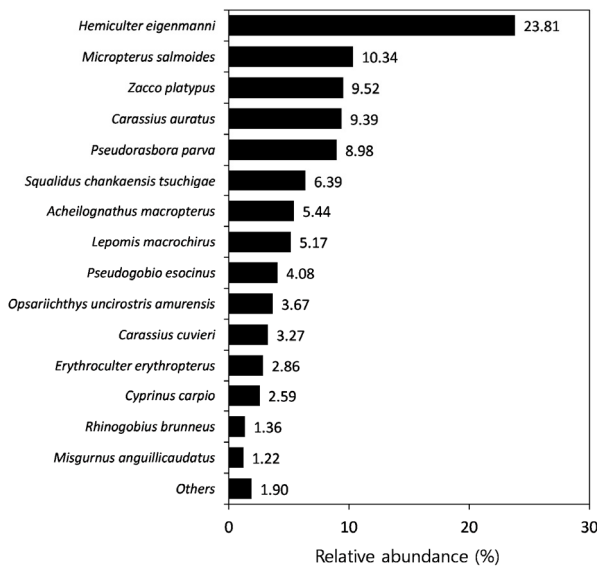


Figure 2. Relative abundance of the fish species found in Hwapocheon Wetland, Korea from May to September 2020.

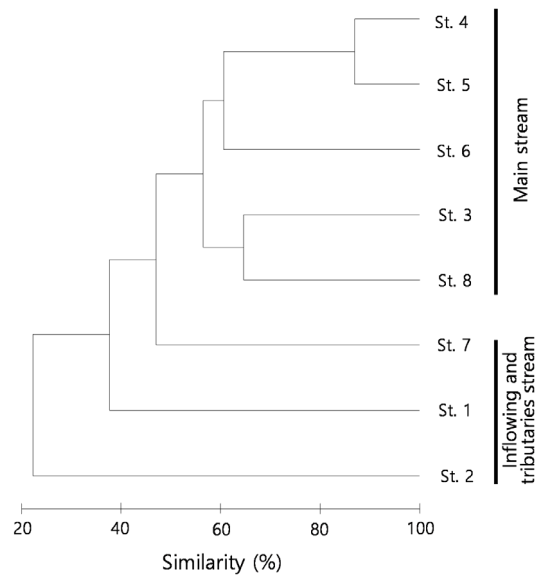


Figure 3. Dendrogram for the cluster analysis based on similarity index of the fish species found among the stations in Hwapocheon Wetland, Korea from May to September 2020.

Table 4. Community indices and index of biological integrity (IBI) in Hwapocheon Wetland, Korea from May to September 2020

| Index | Stations | | | | | | | | Total |
|-----------|----------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | |
| Dominance | 0.57 | 0.71 | 0.36 | 0.46 | 0.44 | 0.45 | 0.67 | 0.41 | 0.34 |
| Diversity | 1.74 | 1.34 | 2.16 | 2.10 | 2.13 | 1.95 | 1.36 | 2.01 | 2.51 |
| Evenness | 0.76 | 0.75 | 0.87 | 0.85 | 0.86 | 0.89 | 0.85 | 0.87 | 0.82 |
| Richness | 1.66 | 1.42 | 2.35 | 2.49 | 2.40 | 2.20 | 1.01 | 1.95 | 3.03 |

Table 5. Index of biological integrity (IBI) in Hwapocheon Wetland, Korea from May to September 2020

| Index* | Stations | | | | | | | |
|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| M1 | 6.3 | 6.3 | 4.2 | 4.2 | 4.2 | 6.3 | 10.4 | 6.3 |
| M2 | 4.2 | 4.2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| M3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| M4 | 6.3 | 12.5 | 0.0 | 2.1 | 0.0 | 2.1 | 0.0 | 6.3 |
| M5 | 2.1 | 2.1 | 8.3 | 2.1 | 2.1 | 2.1 | 2.1 | 2.1 |
| M6 | 0.0 | 6.3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| M7 | 6.3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 6.3 | 0.0 |
| M8 | 12.5 | 12.5 | 12.5 | 12.5 | 12.5 | 12.5 | 12.5 | 12.5 |
| FAI (grade) | 37.5 D | 43.8 C | 25.0 D | 20.9 D | 18.8 E | 22.9 D | 31.3 D | 27.1 D |

*M1: Total number of native fish species, M2: Number of riffle benthic species, M3: Number of sensitive species, M4: Proportion of Individuals as tolerant species, M5: Proportion of individuals as omnivores, M6: Proportion of individuals as native insectivores, M7: Total number of individuals, M8: Proportion of abnormal individuals

5. 수질 현황

화포천 관측소의 2020년 수질을 물환경정보시스템의 수질 및 수생태계 환경기준에 따라 등급을 평가한 결과, COD, TOC, SS, TC는 약간 나쁨(IV), BOD는 보통(III), TP는 약간 좋음(II)으로 나타나, 최종 약간 나쁨(IV)으로 평가되었다. 월별로 등급을 평하면, 11월 보통(III)으로 가장 좋았고, 5월은 나쁨(V)으로 가장 나빴으며, 그 외 10개월은 모두 약간 나쁨(IV)으로 평가되었다(Table 2).

고 찰

화포천 습지의 선행연구는 환경부 내륙습지 조사의 일환으로 2001년 4과 17종 307개체(NIER, 2002), 2006년 5과 13종 1,354개체가 보고되었다(GDRI, 2007)(Table 6). 본 조사 결과(7과 21종 735개체)와 비교하면, 종수는 본 조사에서 가장 많았으나 개체수는 2006년이 가장 많았다. 선행 조사에서 출현하였으나 본 조사에서 출현하지 않은 종은 각시붕어(*Rhodeus uyekii*), 떡납줄갱이(*R. notatus*), 줄물개(*Gnathopogon strigatus*), 돌마자(*Microphysogobio yaluensis*), 드렁허리(*Monopterus albus*) 5종이었다. 이중 각시붕어와 떡납줄갱이는 조개에 산란하며 유속이 느리고 정수역에 많이 서식하는 어류로(Kim, 1997; Kim and Park, 2007) 2001년에 각각 21개체, 37개체로 많은 개체가 서식하였으나 이후 2006년과 본 조사에서 서식이 확인되지 않았는데, 이는 육식성이 강하여 생태계를 교란하는 것으로 알려진 배스의 개체수가 급격히 증가하면서 소멸되었거나 개체수가 급격히 감소하여 채집되지 않은 것으로 추정된다. 줄물개와 돌마자는 유속이 있는 여울부에 주로 서식하는 어류이나 2012년 화포천 습지 공원이 조성된 후 유수역이 감소하고 정수역이 증가하면서 개체수가 급격히 줄었거나 소멸하였기 때문에 채집되지 않은 것으로 추정된다. 드렁허리는 정수역에 주로 서식하는 어류로 2006년에 1개체만이 출현기록이 있어 화포천 습지에는 소수의 개체가 서식하고 있기 때문에 본 조사에서 출현하지 않은 것으로 추정된다. 본 조사에서 처음으로 채집된 어류는 떡붕어, 강준치(*Erythroculter erythropterus*), 백조어, 미꾸라지(*Misgurnus mizolepis*), 메기(*Silurus asotus*), 송사리(*Oryzias latipes*) 6종이었다. 이중 떡붕어와 강준치, 백조어, 메기는 낙동강 본류에 많이 서식하는 어종(NRBEO, 2020)으로 우기시 낙동강에서 화포천 습지로 소상하여 서식하게 된 어류로 추정된다. 미꾸라지와 송사리는 낙동강 유역의 농경지에 많이 서식하는 어류로(Kim, 1997; Kim and Park, 2007) 화포천 습지 인근의 농수로 또는 웅덩이에 서식하다 유입되어 채집된 것으로

추정된다. 또한 전체적으로 어류상 변화를 볼 때, 과거 조사에서 우점종 또는 우세종으로 나타난 어류 중 떡납줄갱이, 각시붕어, 큰납지리, 돌마자, 줄물개 등의 유수역에 서식하던 어류는 상대풍부도가 감소하거나 소멸하고 정수역에 주로 서식하는 치리, 참물개, 참붕어, 배스, 블루길 등은 지속적으로 증가하는 경향을 보이고 있었다(Table 6).

화포천 습지에서 출현한 법정보호종은 환경부지정 멸종위기 야생생물 II급으로 지정된 백조어 1종이 확인되었다. 백조어는 우리나라 낙동강, 금강, 영산강에 서식하는 것으로 알려져 왔으나(Kim, 1997; Kim *et al.*, 2005; Kim and Park, 2007), 최근에는 금강과 낙동강에만 서식하는 것으로 보고되었고(NIBR, 2019), 정수역인 강 하류나 댐, 저수지 등에 주로 서식하며 갑각류나 수서곤충, 치어 등을 주로 섭식하는 것으로 알려져 있다(Kim, 1997; Kim *et al.*, 2005; Kim and Park, 2007). 화포천에서 백조어는 2006년에 출현 기록이 있으나(Kwan *et al.*, 2006) 그 외 조사에서 서식이 확인되지 않고 있다. 본 조사에서 2개체가 채집되었다. 화포천 인근 낙동강 본류는 4대강사업의 일환으로 8개의 보가 생성되면서 유수역에서 정수역으로 바뀌게 되었고, 이로 인해 백조어도 낙동강 본류에 넓게 서식하는 것이 확인되고 있어(NRBEO, 2020), 본 조사에서 채집된 개체는 낙동강 본류에 서식하다 우기에 화포천으로 소상한 개체가 채집된 것으로 추정된다. 화포천 습지에 백조어는 적은 비율로 서식하고 있지만, 멸종위기종으로 지정되어 있기 때문에 개체수 증가 및 보호 방안이 마련된다면 추후 화포천 습지의 대표종으로 활용 가능할 것으로 판단된다.

화포천 습지에서 출현한 외래어종은 배스와 블루길, 떡붕어 3종이었는데, 배스와 블루길은 2001년부터 지금까지 지속적으로 서식이 확인되고 있고, 떡붕어는 본 조사에서 처음으로 서식이 확인되었다. 이중 배스와 블루길은 생태계교란 야생생물로 지정된 종으로 각각 1973년, 1969년 우리나라에 도입된 후 댐과 저수지, 하천 등의 정수역에 빠르게 확산되었으며 강한 포식성을 가지고 있어 담수생태계를 교란시켜 종 다양성을 감소시키는 것으로 보고되고 있다(Jang *et al.*, 2006; Ko *et al.*, 2008; Lee *et al.*, 2009, MAFRA, 2010; NPRI, 2014; 2020; NIE, 2018). 화포천 습지에서 배스와 블루길은 조사 시기별 상대풍부도는 배스(4.6%(NIRER, 2002)→9.7%(GDRI, 2007)→10.3%(본조사, 2020))와 블루길(3.6%→1.5%→5.2%) 모두 지속적으로 증가하는 경향을 보이고 있어 주목되었으며, 이러한 배스와 블루길의 증가는 어류상 변화를 야기시키는 또 다른 중요한 원인으로 추정되며, 체계적인 관리방안 마련 및 지속적인 구제방안이 필요하다고 생각된다.

어류를 이용한 하천 건강성 평가에서는 St. 2(보통)를 제외하고 그 외 지점들은 나쁨, 매우나쁨으로 낮게 평가되었

Table 6. Historical record of ichthyofauna in Hwapocheon Wetland from May to September 2020

| Scientific name | NIER (2002) | | GDRI (2007) | | Present study (2020) | |
|--|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|-----------------------|
| | Number of individuals | Relative abundance(%) | Number of individuals | Relative abundance(%) | Number of individuals | Relative abundance(%) |
| Number of surveys | 2 | | 3 | | 3 | |
| Number of survey stations | 4 | | 5 | | 8 | |
| Cyprinidae | | | | | | |
| <i>Cyprinus carpio</i> | 7 | 2.3 | 38 | 2.8 | 19 | 2.6 |
| <i>Carassius auratus</i> | 102 | 33.2 | 133 | 9.8 | 69 | 9.4 |
| <i>Carassius cuvieri</i> | | | | | 24 | 3.3 |
| <i>Rhodeus uyekii</i> | 21 | 6.8 | | | | |
| <i>Rhodeus notatus</i> | 37 | 12.1 | | | | |
| <i>Acheilognathus macropterus</i> | 3 | 1.0 | 712 | 52.6 | 40 | 5.4 |
| <i>Pseudorasbora parva</i> | 18 | 5.9 | 117 | 8.6 | 66 | 9.0 |
| <i>Squalidus chankaensis tsuchigae</i> | 18 | 5.9 | 33 | 2.4 | 47 | 6.4 |
| <i>Gnathopogon strigatus</i> | 3 | 1.0 | | | | |
| <i>Microphysogobio yaluensis</i> | | | 4 | 0.3 | | |
| <i>Pseudogobio esocinus</i> | 5 | 1.6 | | | 30 | 4.1 |
| <i>Hemibarbus labeo</i> | 2 | 0.7 | | | 1 | 0.1 |
| <i>Erythroculter erythropterus</i> | | | | | 21 | 2.9 |
| <i>Culter brevicauda</i> | | | | | 2 | 0.3 |
| <i>Opsariichthys uncirostris amurensis</i> | 11 | 3.6 | 154 | 11.4 | 27 | 3.7 |
| <i>Zacco platypus</i> | 15 | 4.9 | | | 70 | 9.5 |
| <i>Hemiculter eigenmanni</i> | 21 | 6.8 | 5 | 0.4 | 175 | 23.8 |
| Cobitidae | | | | | | |
| <i>Misgurnus anguillicaudatus</i> | 13 | 4.2 | 4 | 0.3 | 9 | 1.2 |
| <i>Misgurnus mizolepis</i> | | | | | 2 | 0.3 |
| Bagridae | | | | | | |
| <i>Pseudobagrus fulvidraco</i> | | | 1 | 0.1 | 5 | 0.7 |
| Siluridae | | | | | | |
| <i>Silurus asotus</i> | | | | | 2 | 0.3 |
| Adrianichthyidae | | | | | | |
| <i>Oryzias latipes</i> | | | | | 2 | 0.3 |
| Synbranchidae | | | | | | |
| <i>Monopterus albus</i> | | | 1 | 0.1 | | |
| Centrarchidae | | | | | | |
| <i>Micropterus salmoides</i> | 14 | 4.6 | 132 | 9.7 | 76 | 10.3 |
| <i>Lepomis macrochirus</i> | 11 | 3.6 | 20 | 1.5 | 38 | 5.2 |
| Gobiidae | | | | | | |
| <i>Rhinogobius brunneus</i> | 6 | 2.0 | | | 10 | 1.4 |
| Total number of family | 4 | | 5 | | 7 | |
| Total number of species | 17 | | 13 | | 21 | |
| Total number of individuals | 307 | | 1,354 | | 735 | |

다. 이러한 원인은 화포천 습지는 평지하천으로 전체적으로 여울이 거의 없는 정체수역이어서 민감 및 저서성, 충식성 어류의 비율이 낮았고, 외래종인 배스와 블루길의 증가로 민감 및 저서성, 충식성 어류의 개체수를 감소시킨 영향으

로 추정된다.

화포천의 수질(2020년)이 약간나쁨(IV)으로 전체적으로 좋지 않은 것으로 나타났다. 또한 2000년부터 2020년까지 화포천의 연도별 수질 변화를 보면(Table 4), BOD, COD,

SS, Chl-a는 2000년 초반에 비교적 낮으나 이후 점점 증가하는 경향을 보이고 있었고, TP와 TN는 2000년 후반부터 약간씩 상승하다 2012년 이후부터 감소하는 경향을 보였다. 이러한 원인은 화포천 상류 및 화포천 습지 주변에 2000년대 이후 많은 산업단지가 지속적으로 들어서면서 하천에 오염물질이 많이 유입되었기 때문에(Ahn *et al.*, 2012; Gimhaesi, 2016; Shim *et al.*, 2020) 2000년 후반부터 BOD, COD, SS, Chl-a, TP, TN 모두 증가한 것으로 판단되며, TP와 TN가 2012년 이후부터 감소한 원인은 2012년 공공하수처리시설의 방류수 수질기준이 강화되면서(ME, 2012) 배출수에 TP와 TN가 감소하였기 때문으로 추정된다. 수질

이 악화되면 어류의 종과 개체수가 감소하게 되는데, 특히 민감어류의 비율이 급격히 감소하여 하천 건강성이 나빠지게 되며(An, 2007; Yeom *et al.*, 2007, Kim *et al.*, 2008; 2009; Ko *et al.*, 2017), 심할 경우 부영양화로 인해 녹조가 발생되거나 어류의 대량폐사를 유발하는 것으로 보고되고 있다(WPEO, 2020; Sin *et al.*, 2000). 따라서 안정적인 어류의 서식을 위해서는 수질을 향상시킬 수 있는 방안이 필요하다고 판단된다.

화포천 습지는 전체적으로 볼 때, 유수역에 서식하는 어류의 비율은 감소하고 정수역에 서식하는 어류들은 증가하는 경향을 보이고 있었는데, 특히 생태계교란종인 배스와

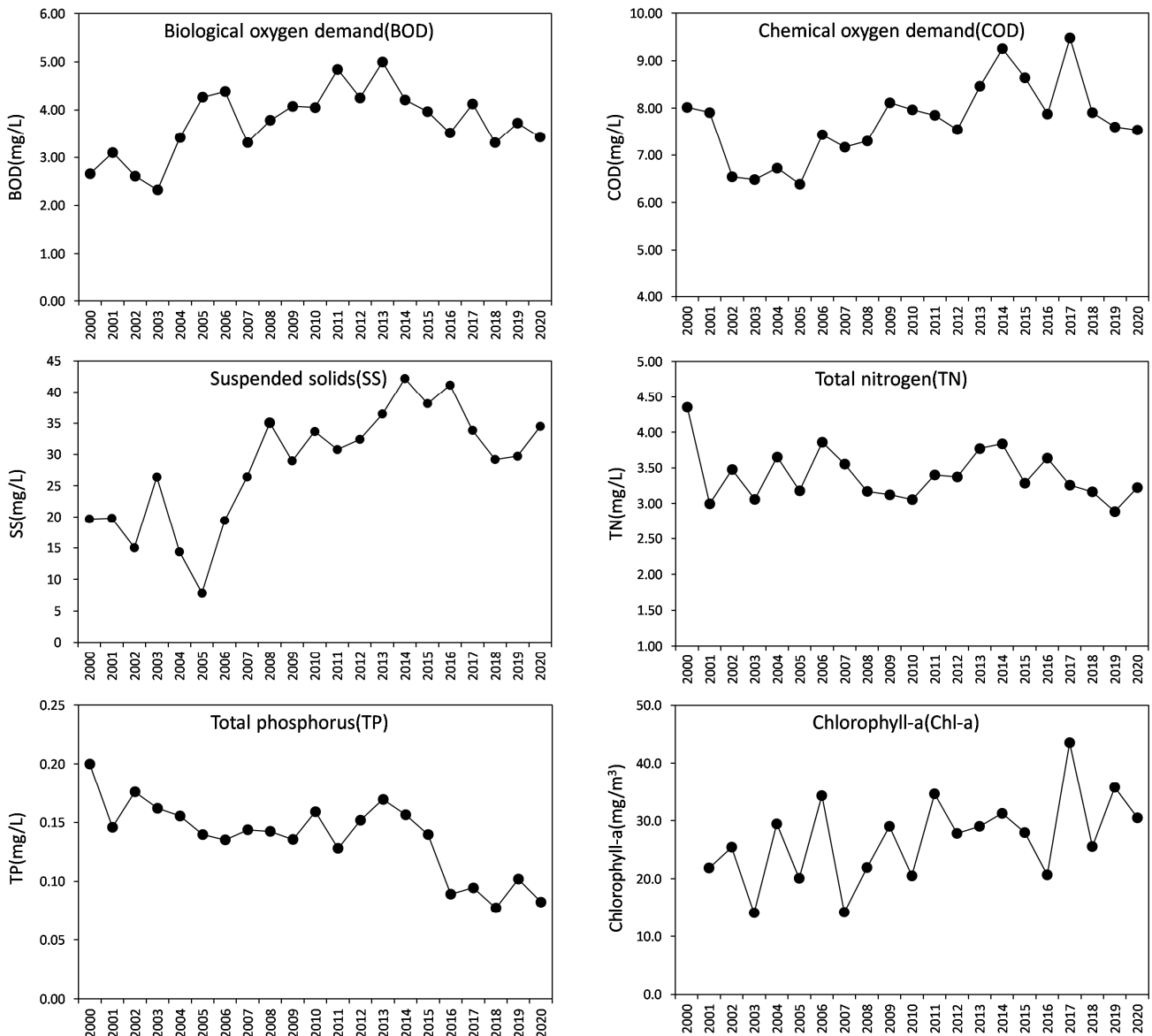


Figure 4. Change aspects of water quality in Hwapocheon, Korea from 2000 to 2020.

블루길의 비율이 지속적으로 증가하고 있었다. 또한 수질도 2020년 약간 나쁨(IV)이며 지속적으로 악화되고 있는 것으로 나타났다. 따라서 화포천 습지의 건강성 회복 및 안정적인 어류 서식을 위해서는 생태계교란종인 배스와 블루길의 효율적으로 구제할 수 있는 관리방안이 필요하며 수질을 개선할 수 있는 종합적 대책마련이 필요하다고 판단된다.

REFERENCES

- Ahn, C.H., J.H. Kwon, J.C. Joo, H.M. Song and G.G. Joh(2012) Water quality of a rural stream, the Hwapocheon Stream, and its analysis of influence factors. *Journal of Korean Society of Environmental Engineers* 34: 421-429. (in Korean with English abstract)
- An, K.W.(2007) Domestic and overseas trends of river ecosystem health assessment and application cases in Korea. *River and Culture* 2: 84-91. (in Korean with English abstract)
- Cowardin, L.M., V. Carter, F.C. Golet and E.T. LaRoe(1979). Classification of wetlands and deepwater habitats of the United States. Fish and Wildlife Service, Washington D.C., 103pp. (in Korean)
- Cummins, K.W.(1962) An evolution of some techniques for the collection and analysis of benthic samples with special emphasis on lotic water. *The American Midland Naturalist* 67: 477-504.
- GDRI(Gyeongnam Development Research Institute)(2007) National Inland Wetland (Precision Survey Wetland) Report of the Ministry of Environment. Gyeongnam Development Research Institute, Korea Ramsar Wetland Center, Changwon, 153pp. (in Korean)
- Gimhaesi(2016) Report on research services for establishing measures for conservation of Hwapocheon Wetland. Gimhae, 141pp. (in Korean)
- Jang, M.H., G.J. Joo and M.C. Lucas(2006) Diet of introduced largemouth bass in Korean rivers and potential interactions with native fishes. *Ecology of Freshwater Fish* 15: 315-320.
- Kani, T.(1944) Ecology of the aquatic insects inhabiting a mountain stream. In: H. Furukawa(ed.), *Insects I*. Kenkyu-sha, Tokyo, pp.171-317. (in Japanese)
- Kim, H.M., J.H. Lee and K.G. An(2008) Water quality and ecosystem health assessments in Urban Stream Ecosystems. *Korean Journal of Environment and Ecology* 26: 311-322. (in Korean with English abstract)
- Kim, I.S. and J.Y. Park(2007) *Freshwater fishes of Korea*. Kyohak Publishing, Seoul, 467pp. (in Korean)
- Kim, I.S.(1997) *Illustrated encyclopedia of fauna & flora of Korea, freshwater fishes*. Ministry of Education, Yeongi, 629pp. (in Korean)
- Kim, I.S., Y. Choi, C.L. Lee, Y.J. Lee, B.J. Kim and J.H. Kim(2005) *Illustrated book of Korean fishes*. Kyohak Publishing, Seoul, 615pp. (in Korean)
- Kim, Y.P., E.H. Lee and K.G. An(2009) Ecological health assessment of Dongjin River based on chemical measurement and fish assemblage analysis. *Korean Journal of Limnology* 42: 183-191. (in Korean with English abstract)
- Ko, M.H., J.Y. Park and Y.J. Lee(2008) Feeding habitats of an introduced large mouth bass, *Micropterus salmoides* (Perciformes; Centrarchidae), and its influence on ichthyofauna in the lake Okjeong, Korea. *Korean Journal of Ichthyology* 20: 36-44. (in Korean with English abstract)
- Ko, M.H., Y.S. Kwan, W.K. Lee and Y.J. Won(2017) Impact of human activities on changes of ichthyofauna in Dongjin river of Korea in the past 30 years. *Animal Cells and Systems* 21: 207-216. (in Korean with English abstract)
- Kwan, D.H., D.S. Jeon and Y.H. Baek(2006) A survey report on water animals of Hwapocheon. Inje University, Water Disaster Management Project Group(NURI), 29pp. (in Korean)
- Kwater(2007) *A guidebook of rivers in South Korea*. Kwater, Daejeon, 582pp. (in Korean)
- Lee, W.O., H. Yang, S.W. Yoon and J.Y. Park(2009) Study on the feeding of *Micropterus salmoides* in lake Okjeong and lake Yongdam, Korea. *Korean Journal of Ichthyology* 21: 200-207. (in Korean with English abstract)
- MAFRA(Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs)(2010) *The national survey of low head dams and development of database in Korea*. 275pp. (in Korean)
- Margalef, R.(1958) Information theory in ecology. *General Systems* 3: 36-71.
- McNaughton, S.J.(1967) Relationship among functional properties of California glassland. *Nature* 216: 144-168.
- ME(Ministry of Environment). 2012. *Enforcement rules of the water quality and aquatic ecosystem conservation act*. (in Korean)
- Moyle, P.B. and J.J. Cech(2000) *Fishes: An introduction to ichthyology* (4th ed.). Davis: Prentice Hall, 612pp.
- Nelson, J.S.(2006) *Fishes of the world* (4th ed.). John Wiley & Sons Inc., Hoboken, New Jersey, 601pp.
- NIBR(National Institute of Biological Resources)(2019) *Red data book of endangered fishes in Korea*. National Institute of Biological Resources, Incheon, 254pp. (in Korean)
- NIE(National Institute of Ecology)(2018) *Nationwide survey of non-native species in Korea (IV)*. National Institute of Ecology, Seocheon, 705pp. (in Korean)
- NIER(National Institute of Environmental Research)(2002) *National Inland Wetland of Natural Environment Survey*

- (Hwapo Wetland, Hobeol Wetland). National Institute of Environmental Research, Ministry of Environment, Incheon, 389pp. (in Korean)
- NIER(National Institute of Environmental Research)(2019) Survey and evaluation method for river and stream ecosystem health assessment. National Institute of Environmental Research, Incheon, 131pp. (in Korean)
- Nishimura, S.(1974) History of Japan Sea: Approach from biogeography. Tsukiji-Shokan, Tokyo, 274pp. (in Japanese with English abstract)
- NPRI(National Park Research Institute)(2014) A study on the management of specific foreign species. National Park Research Institute, Wonju, 140pp. (in Korean)
- NPRI(National Park Research Institute)(2020) A study on the management of ecosystem disturbance fish species. National Park Research Institute, Wonju, 159pp. (in Korean)
- NRBEO(Nakdonggang River Basin Environment Office)(2018) The first study on the establishment of a conservation plan for the Hwapocheon Wetland protected area. Nakdonggang River Basin Environment Office, Changwon, 126pp. (in Korean)
- NRBEO(Nakdonggang River Basin Environment Office)(2020) Aquatic ecosystem monitoring in weirs of the Nacdong River. Nakdonggang River Basin Environment Office, Changwon, 338pp. (in Korean)
- NWC(National Wetland Center)(2013) Understanding of Wetland. National Wetland Center of the Ministry of Environment, Changnyeong, 285pp. (in Korean)
- Pielou, E.C.(1966) Shannon's formula as a measure of diversity. The American Naturalist 100: 463-465.
- Pielou, E.C.(1975) Ecological diversity. John Wiley, New York, 165pp.
- Shim, K.H., G.H. Kim, S.M. Kim, Y.S. Kim and J.P. Kim(2020) Comparison of changes in upstream and downstream water quality of tributary river: Gyeseong-stream and Hwapo-stream in Nakdongmiryang Watershed. Journal of Korean Society on Water Environment 36: 445-452. (in Korean with English abstract)
- Sin, J.K., J.L. Cho, S.J. Hwang and K.J. Cho(2000) Eutrophication and water pollution characteristics of the Kyongan Stream to Paltang Reservoir. Water Resources Research Institute 33: 387-394. (in Korean with English abstract)
- WEIS(Water Environment Information System)(2020) River living environment standard. Retrieved from http://water.nier.go.kr/web/waterMeasure?pMENU_NO=2. (in Korean)
- WPEO(Wonju Provincial Environment Office)(2020) Water pollution accident action and control learned from examples. Wonju Provincial Environment Office, Wonju, 144pp. (in Korean)
- Yeom, D.H., S.A. Lee, G.S. Kang, J. Seo and S.K. Lee(2007) Stressor identification and health assessment of fish exposed to wastewater effluents in Miho stream, South Korea. Chemosphere 67: 2282-2292.
- Yoo, D.G., G.S. Lee, G.Y. Kim, N.K. Kang, B.Y. Yi, Y.J. Kim, J.H. Chun and G.S. Kong(2016) Seismic stratigraphy and depositional history of late Quaternary deposits in a tide-dominated setting: An example from the eastern Yellow sea. Marine and Petroleum Geology 73: 212-227.