

하상구조에 따른 4개 하천의 어류 분포 특성 비교^{1a}

윤석진² · 최준길² · 이황구^{2*}

Comparison of Fish Distribution Characteristics by Substrate Structure in the 4 Streams^{1a}

Seok-Jin Yoon², Jun-Kil Choi², Hwang-Goo Lee^{2*}

요약

모래형 하천과 자갈형 하천의 어류군집 특성을 비교하기 위해 4개의 하천을 선정하여 계절별 조사를 실시하였으며, 출현한 어종 중 한국고유종은 *Acheilognathus gracilis* 외 24종으로 확인되었다. 홍천강과 무주남대천의 우점종은 *Zacco koreanus*로 각각 39.9%, 28.4%를 차지하였으며, 양화천은 *Rhodeus notatus*가 13.6%, 갑천은 *Z. platypus*가 26.0%로 우점하였다. 군집분석 결과 우점도지수는 0.27~0.63, 다양도지수는 1.92~2.67, 균등도지수는 0.6~0.79, 풍부도지수는 3.09~3.53의 범위로 나타났으며, 우점도지수는 홍천강에서 가장 높고, 다양도, 균등도, 풍부도지수는 양화천에서 가장 높게 나타났다. 내성도 길드 분석 결과 하상구조물이 다양한 홍천강과 무주남대천은 민감종이 각각 50.1%와 46.4%로 비교적 높은 비율을 차지하였고, 모래 하상이 높은 양화천과 갑천은 민감종이 각각 0.5%와 5.3%의 희소한 비율을 차지하였다. 하천별 출현한 어류의 종별 개체수와 하상구조를 이용하여 유사도를 분석한 결과 자갈형 하천인 홍천강과 무주남대천이 종과 개체수는 50.4%, 하상구조는 95.2%로 가장 유사하였다. IBI 분석결과 홍천강과 무주남대천이 'A등급', 양화천과 갑천이 'B등급'으로 나타났고, 주성분 분석결과 자갈형 하천과 모래형 하천의 2개의 그룹으로 구분되었다.

주요어 : 홍천강, 무주남대천, 양화천, 갑천, IBI, 주성분분석

ABSTRACT

This study was conducted to compare the characteristics of fish distribution according to sand type stream and cobble type stream the 4 stream selected every season. The collected Korea endemic species during the survey period were 24, including *Acheilognathus gracilis*. Dominant species of Hongcheon stream and Muju Namdae stream was *Zacco koreanus*, each accounting for 39.9% and 28.4% in order, and dominant species in Yanghwa stream was *Rhodeus notatus*, 13.6%, and those in Gap stream was *Z. platypus*, by 26.0%. As a result of community analysis, dominant index was 0.27~0.63, diversity index was 1.92~2.67, evenness index was 0.6~0.79, richness index was 3.09~3.53, and dominant index was the highest in Hongcheon stream, and the indices of diversity, evenness and richness were the highest in Yanghwa stream. As a result of tolerance guild analysis, Hongcheon stream and Muju Namdae stream with a variety of substrates accounted for relatively higher rate by 50.1% and 46.4% in sensitive species respectively, and Yanghwa stream and Gap stream with greater sand substrates had 0.5% and 5.3% scarce rate of sensitive species. As a result of similarity analysis using

1 접수 2014년 1월 20일, 수정(1차: 2014년 5월 20일, 2차: 2014년 6월 3일), 게재확정 2014년 6월 4일

Received 20 January 2014; Revised(1st: 20 May 2014, 2nd: 3 June 2014); Accepted 4 June 2014

2 상지대학교 생명과학과 Dept. of Biological Science, Sangji Univ., 83 Sangidae-gil, Wonju-si, Gangwon-do(220-702), Korea

a 이 논문은 한국건설기술연구원 Ecoriver21의 지원 및 2013년도 상지대학교 교내연구비에 의하여 연구되었음.

* 교신저자 Corresponding author(morningdew@sangji.ac.kr)

the species, population and substrate structures of the fisheries appeared in each stream, cobble type streams such as Hongcheon stream and Muju Namdae stream were the most similar by 50.4% in species and population, 95.2% in bed structure. As a result of IBI analysis, Hongcheon stream and Muju Namdae stream appeared as 'Class A,' Yanhwa stream and Gap stream as 'Class B' and the two groups of cobble type stream and sand type stream were divided as a result of principal components analysis.

KEY WORDS : HONGCHEON STREAM, MUJU NAMDAE STREAM, YANGHWA STREAM, GAB STREAM, IBI, PRINCIPAL COMPONENT ANALYSIS

서 론

수생태계를 구성하는 환경요인은 수환경의 이화학적 특성과 함께 하상 및 하천 연안대를 이루고 있는 무기물과 유기물이 종합적으로 어우러져 생물의 서식공간을 형성하게 된다(Choi *et al.*, 2005). 하천수질과 밀접한 연관성을 갖는 하상구조는 하천생태계의 물리적 환경요인으로 작용할 뿐만 아니라 모자이크처럼 존재하는 수중 서식처를 제공하는 기능을 한다(Ward, 1992). 수중 서식처는 하상구조가 다양할수록 복잡해지고, 복합적인 하상구조에 의해 조성된 미소서식처는 생물의 다양성을 결정하는 중요한 요인으로 작용한다. 또한 어류의 먹이가 되며, 하상구조에 부착하여 서식하는 저서생물의 경우 Bedrock과 Boulder만 존재 하는 곳에서는 낮은 풍부도를 보이는 반면, Cobble의 비율이 높은 곳에서는 풍부도가 증가하는 경향을 나타낸다(Minshall, 1984). 하천생태계의 최상류 소비자인 어류 역시 Bedrock과 Boulder의 비율이 높은 곳에서는 종다양도가 감소하고, 특정종이 크게 우세하는 양상을 보이며, 하천생물상과 물리적인 서식 환경요인은 밀접한 연관성을 나타내는 것으로 알려져 있다(Hur *et al.*, 2011b). 또한 Judy *et al.*(1984)의 연구에 따르면, 인공제방 축조와 하상구조 변경은 생물의 서식지 공간을 제한하게 되어 하천생물의 급격한 감소를 야기하는 것으로 보고되었으며, IUCN보고서(Pavlov, 1993)에 따르면, 서식처의 파괴는 어류의 종다양도를 감소시키는 요인임을 밝히고 있다. 하지만 우리나라는 산업발달과 함께 인류의 편의를 위해 고수부지를 다양한 목적으로 개발하고 있으며, 생태계 보존이 고려되지 않은 채, 이·치수의 목적으로 하천을 변형시켜 하천 직강화 및 하상 평탄화를 가속시키고 있다(Choi *et al.*, 2008b). 이로 인해 발생하는 하상구조의 단순화는 환경변화에 잘 적응하는 특정종의 우점도 증가와 함께 종다양성의 감소를 초래하고 있다. 이러한 문제점을 인식하고 개선하기 위해 최근에는 하천생태계를 인위적이고 획일화된 공법에서 원래의 모습으로 복원하려는 방법들이 모색되고 있으나 하천생물에 대한 생태파악이 미흡하여 아직까지 자연형 하천 복원에 대한 기술개발은 부족한 실정이다. 과거 물리적인 서식지와 어류분포 특성에 관

한 연구는 금강수계에서 하상재료에 따른 어류의 종다양성 및 서식지 평가(Hur *et al.*, 2011b), 한강수계 달천의 어류상과 물리적 서식지 조건에 관한 연구(Hur *et al.*, 2011a), 한강의 대표적 하천에 서식하는 참갈겨니의 물리적 서식지 조건에 관한 연구(Hur and Seo, 2011) 등이 진행되었다. 어류상에 관한 하천별 선행연구는 홍천강 상류수역의 추계 어류상(Yang *et al.*, 1991), 홍천강의 어류상 및 어류군집(Choi and Kim, 2004), 홍천강의 서식처 유형별 어류상과 피라미 개체군의 특징(Lee *et al.*, 2013), 무주남대천의 어류상(Choi and Kim, 1972), 논산천과 양화천 수계 내 하천 생물서식처의 특성 분석(Ahn *et al.*, 2010), 남한강 수계 양화천의 서식처 유형별 어류상 및 분포특성(Lee *et al.*, 2012), 갑천수계의 어류상과 어류군집(Lee, 2001), 서식처 유형에 따른 갑천의 어류군집 특성(Lee *et al.*, 2009) 등이 연구되었다.

본 연구는 Cobble과 Pebble의 비율이 상대적으로 높고 복합적인 하상구조를 구성하는 자갈형 하천과(홍천강, 무주남대천) Gravel과 Sand의 비율이 높은 모래형 하천을(양화천, 갑천) 대상으로 선정하여 물리적 환경요인에 따라 변화하는 어류분포의 특성을 파악하고자 하였으며, 우리나라의 하천복원 및 생물서식처 조성시 필요한 기초자료를 제공하고자 수행되었다.

재료 및 방법

1. 대상하천 및 조사시기

1) 대상하천

하천생태계의 물리적 환경요인으로 작용하는 하상구조와 어류의 분포 특성을 분석하기 위해 자갈(Cobble, Pebble)의 비율이 상대적으로 높은 홍천강과 무주남대천을 하나의 그룹으로 선정하였으며, 모래(Sand)가 주를 이루고, 일부 자갈(Gravel)이 포함된 양화천과 갑천을 하나의 그룹으로 선정하였다. 자갈형 하천인 홍천강은 4.5km, 무주남대천은 2.3km 구간을 조사하였으며, 모래형 하천인 양화천은

2.5km, 갑천은 3.0km 구간을 조사하였다.

홍천강은 북한강의 제 1지류로서 춘천시 남면 관천리에서 좌안측으로 유입되는 유역면적 1,566.2km², 유로연장 140.2km의 하천으로 한강 전체 유역면적(34,423.2km²)의 약 4.5%를 차지하고 있다. 무주남대천은 동쪽으로 경북 금릉군과 이웃하고 남쪽으로는 전북 진안군 안성면 및 경남 거창군 고제면과 덕유산 국립공원의 일부와 접하고 있으며, 유역면적은 456.21km², 유로연장은 43km로서 유역면적으로 볼 때에는 금강(유역면적 9810.40km², 유로연장 395.9km)의 약 4.73%를 차지하고 있다. 양화천은 동쪽으로 여주군 능서면과 이천군 장호원의 2개군에 접해있고, 남쪽으로는 안성시 죽면과 이천시 설성면 2개시에 접해있다. 주변토지이용은 주로 농경지이며, 이중 논이 45.85km², 밭이 32.71km²로 유역면적 중 농경지가 42.73%를 차지한다. 갑천은 금산군 진산면 대둔산에서 발원하여 북서쪽으로 유하하여 삼천동 부근에서 유등천과 합류하며, 신탄진 부근에서 금강 본류로 흘러들어 동쪽은 대전광역시 동구, 남쪽은 금산군, 서쪽은 논산시, 북쪽은 대전광역시를 포함하고 있다. 유역면적 648.28km², 유로연장 73.7km의 하천이며, 주변 지역이 대

부분 도시화되어 있다. 대상하천인 홍천강, 무주남대천, 양화천, 갑천은 모두 4차하천에 해당하며, 조사지점은 중류구간의 서식처 유형별로 7~10개 지점의 다양한 미소서식처를 선정하여 조사를 실시하였다(Figure 1).

2) 조사시기

가. 홍천강

현장조사 기간은 2009년 8월 ~ 2010년 4월까지 총 3회에 걸쳐 실시하였다.

- 1차 조사 : 2009년 8월 6 ~ 7일
- 2차 조사 : 2009년 10월 21 ~ 22일
- 3차 조사 : 2010년 4월 8 ~ 9일

나. 무주남대천

현장조사 기간은 2010년 6월 ~ 2011년 5월까지 총 4회에 걸쳐 실시하였다.

- 1차 조사 : 2010년 6월 24 ~ 25일
- 2차 조사 : 2010년 9월 29 ~ 30일
- 3차 조사 : 2010년 11월 17 ~ 18일
- 4차 조사 : 2011년 5월 18 ~ 19일

다. 양화천

현장조사 기간은 2008년 8월 ~ 2009년 6월까지 총 4회에 걸쳐 실시하였다.

- 1차 조사 : 2008년 8월 30 ~ 31일
- 2차 조사 : 2008년 10월 23 ~ 24일
- 3차 조사 : 2009년 4월 11 ~ 12일
- 4차 조사 : 2009년 6월 11 ~ 12일

라. 갑천

현장조사 기간은 2007년 4월 ~ 11월까지 총 4회에 걸쳐 실시하였다.

- 1차 조사 : 2007년 4월 13 ~ 14일
- 2차 조사 : 2007년 6월 28 ~ 29일
- 3차 조사 : 2007년 9월 12 ~ 13일
- 4차 조사 : 2007년 11월 1 ~ 2일

2. 조사방법

1) 어류의 채집 및 분류

어류의 채집은 정량조사를 위하여 투망(망목 7x7 mm)과 족대(망목 4x4 mm)를 각각 14회, 40분간 실시하였다. 채집된 어류는 현장에서 동정 후 대부분 방류하였고, 일부 개체는 10% Formalin 용액으로 고정한 후 일부 개체는 실험실

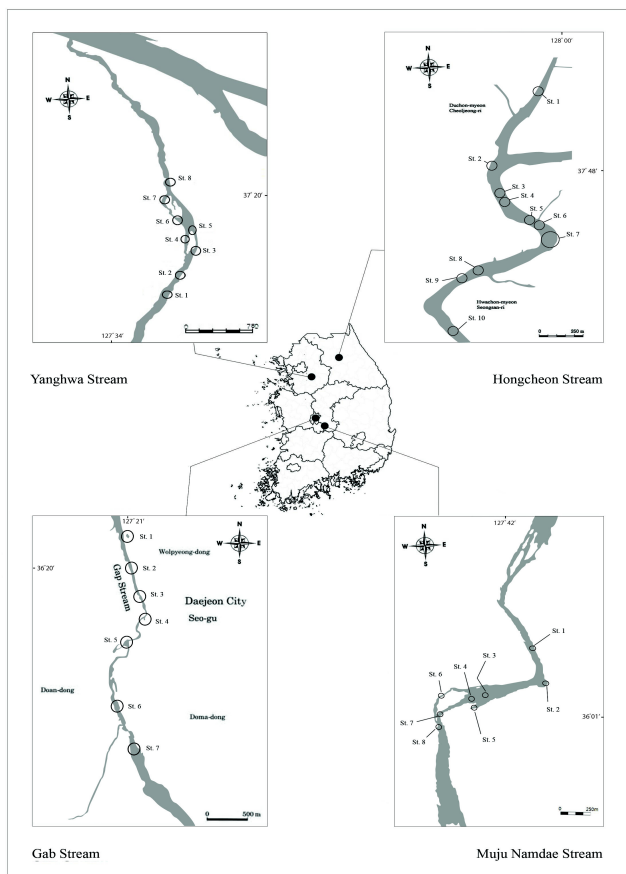


Figure 1. Map showing the study area

로 운반하여 동정하였다. 어류의 동정은 국내에서 발표된 검색표(Kim and Park, 2002; Kim *et al.*, 2005; Kim, 1997)를 이용하였고, 분류체계는 Nelson(2006)을 따랐다.

2) 군집분석

군집분석은 각 조사지점에서 출현한 종수와 개체수를 기준으로 우점도(McNaughton, 1967), 다양도(Margalef, 1958), 균등도(Pielou, 1966) 및 종풍부도(Margalef, 1958)를 산출하였다.

3) 어류의 내성도 길드 분석

내성도 길드 분석은 US EPA(1993) 및 Barbour *et al.* (1999)의 방법에 따라 민감종(Sensitive species, SS), 중간종(Intermediate species, IS), 내성종(Tolerant species, TS)으로 구분하였다. 민감종은 수질오염과 생태계 변화로 인한 스트레스에 대한 내성 범위가 좁아 쉽게 사라질 수 있는 어종으로 환경의 질적 변화에 민감하게 반응하는 어종이다. 그에 반해 내성종은 수질오염에도 불구하고 종수 및 분포범위가 증가하는 종이며, 스트레스에 대한 내성 범위가 넓고 유기물의 함량이 높은 수환경을 선호한다. 중간종은 민감종과 내성종 범주에 포함되지 않는 종으로 구분하였다.

4) 생물보전지수(Index of Biological Integrity, IBI)

어류를 이용한 하천의 건강성 평가는 생물통합지수인 IBI 모델에 기반을 두고 있으며, 이를 우리나라 하천의 특성에 맞게 수정·보완한 환경부의 수생태계 건강성 조사 및 평가(Ministry of Environment, 2010) 방법에 따라 총 8개 메트릭 시스템으로 구성하였다. 메트릭 항목은 M1(국내종의 총 종수), M2(여울성 저서종수), M3(민감종 수), M4(내성종의 개체수 비율), M5(잡식종의 개체수 비율), M6(국내종의 총식종 개체수 비율), M7(국내종의 총 개체수), M8(비정상종의 개체수 비율)로 구성되어 있다. 평가방법은 환경부에서 제시한 기준에 따라 각 메트릭 별로 ‘5’, ‘3’, ‘1’의 점수를 부여하고, 8개 메트릭 항목의 총합으로 모델 값을

구하여 최상상태(A; Excellent, 40~36), 양호상태(B; Good, 35~26), 보통상태(C; Fair, 25~16), 불량상태(D; Poor, ≤ 15)로 최종등급을 산출하였다.

5) 유사도 및 PCA분석

4개 하천의 어류군집 유사도를 분석하기 위해 BioDiversity Pro(V2)를 이용하여 Bray and Curtis(1957)의 유사도를 분석하였다. 군집구조와 환경요인 관계의 분석은 PC-ORD(V5)를 이용하여 홍천강, 무주남대천, 양화천, 갑천의 4개 하천에서 출현한 어류 50종을 대상으로 주성분분석(Principal Component Analysis, PCA)을 실시하였다.

결과 및 고찰

1. 대상하천별 물리·화학적 특성

자갈형 하천인 홍천강과 무주남대천은 크게 사행하며, 곡류하천의 특성을 나타내고 있는 반면, 모래형 하천인 양화천과 갑천은 비교적 직선화되어 흐르는 특성이 나타났다. 곡류하천인 홍천강과 무주남대천은 급여울과 평여울 구간에서 유폭이 넓어지고, 하천이 사행하는 구간에서는 유폭이 좁아지는 것으로 나타났다. 최대유폭은 85~120m로 무주남대천이 가장 넓은 것으로 나타났으며, 최대수심은 144~183cm의 범위로 하천별 차이를 나타내었다. 유속은 홍천강이 최대 1.98m/sec로 가장 빠르고, 다음으로 무주남대천이 1.22m/sec, 갑천이 0.85m/sec, 양화천이 0.79m/sec의 순으로 나타났다. 하상구조는 Cummins(1962)에 의거하여 현장에서 육안으로 관찰하였으며, 암반과 바위에 해당하는 호박돌(Boulder, >256mm)이 모든 하천에서 각각 10%였고, 큰 돌(Cobble, 64~256mm)은 홍천강과 무주남대천이 각각 20%, 갑천이 10%를 차지하였다. 자갈(Pebble, 16~64mm)은 홍천강 30%, 무주남대천 20%, 갑천 10%였으며, 잔자갈(Gravel, 2~16mm)은 모든 하천에서 각각 20%를 구성하였다. 모래(Sand, <2mm)는 홍천강 20%, 무주남대천 30%,

Table 1. Physical factors of the surveyed each sites in stream

Stream	River width (m)	Water depth (cm)	Water current (m/sec)	Bottom structure				
				*B	C	P	G	S
Hongcheon	60~100	1~144	0.01~1.98	1	2	3	2	2
Muju Namdae	3~120	1~150	0.01~1.22	1	2	2	2	3
Yanghwa	10~100	1~180	0.01~0.79	1	0	0	2	7
Gab	3~85	1~183	0.01~0.85	1	1	1	2	5

*B: Boulder >256mm, C: Cobble 64~256mm, P: Pebble 16~64mm, G: Gravel 2~16mm, S: Sand 0~2mm

Table 2. Environmental factors of the surveyed each sites in stream

Stream	pH	EC ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	Do (mgL^{-1})	SS (mgL^{-1})	BOD (mgL^{-1})	COD (mgL^{-1})	T-N (mgL^{-1})	T-P (mgL^{-1})
Hongcheon	7.7~8.1	98.1~119.5	10.1~10.9	1.1~5.6	0.6~1.6	1.8~10.3	0.70~1.60	0.007~0.024
Muju Namdae	7.7~7.9	129.8~232.7	7.7~7.9	2.5~6.5	1.2~3.3	2.8~6.1	1.28~2.83	0.038~0.157
Yanghwa	7.2~7.8	180.8~251.0	8.2~8.8	1.6~28.4	1.1~3.6	3.6~11.6	1.11~5.41	0.111~0.332
Gap	-	-	-	4.8~36.8	1.5~6.5	2.4~8.2	1.22~3.18	0.038~0.297

pH: Potential of hydrogen, EC: Electric conductivity, DO: Dissolved oxygen, BOD: Biochemical oxygen demand, COD: Chemical oxygen demand, SS: Suspended solid, T-N: Total Nitrogen, T-P: Total Phosphorus

양화천 70%, 갑천 50%로 양화천이 가장 높게 차지하고 있었다(Table 1). 수질 분석결과 부유물질(SS)은 1.1~36.8mg/L로 자갈형 하천보다 모래형 하천이 약 5배 이상 높은 것으로 나타났다. 생물학적 산소요구량(BOD)은 0.6~6.5mg/L의 범위로 모래형 하천이 자갈형 하천보다 비교적 높은 것으로 나타났고, 도심구간을 흐르는 갑천에서 가장 높게 나타났다. 화학적 산소요구량(COD)은 1.8~11.6mg/L의 범위로 자갈형 하천과 모래형 하천간의 차이는 뚜렷하게 나타나지 않았으며, 영양염인 T-N, T-P는 각각 0.70~5.41mg/L, 0.007~3.332mg/L의 범위로 자갈형 하천보다 오염물질의 확산이 느린 모래형 하천에서 비교적 높은 것으로 나타났다(Table 2).

2. 종조성

대상하천인 홍천강, 무주남대천, 양화천, 갑천에서 채집된 어류의 종조성은 Table 3과 같다.

1) 홍천강

홍천강에서 출현한 어류는 총 6과 24종 1,130개체로 조사되었다. 과별 출현종 중 잉어과(Cyprinidae) 어류가 16종으로 전체 어종의 66.6%를 차지하였으며, 꺾지과(Centropomidae) 2종(8.3%), 미꾸리과(Cobitidae), 종개과(Balitoridae), 메기과(Siluridae), 통가리과(Amblycipitidae), 동사리과(Odontobutidae) 어종이 각각 1종(4.1%) 씩 출현하였다. 이와 같이 잉어과 어류가 우세하게 나타나는 현상은 서해와 남해로 유입되는 우리나라 하천의 공통된 어류상의 특징이다(Jeon, 1980). 법적 보호종은 멸종위기야생생물 II 급인 묵납자루(*Acheilognathus signifer*), 돌상어(*Gobiobotia brevibarba*), 꾸구리(*Gobiobotia macrocephala*), 가는돌고기(*Pseudopungtungia tenuicarpa*) 등 4종(16.6%)이 출현하였고, 한국고유종은 묵납자루, 쉬리(*Coreoleuciscus splendidus*), 돌상어, 꾸구리, 배가사리(*Microphysogobio longidorsalis*), 돌마자(*Microphysogobio yaluensis*), 가는돌고기, 긴물개(*Squalidus gracilis majimae*), 참갈겨니(*Zacco koreanus*), 참종개(*Iksookimia koreensis*),

미유기(*Silurus microdorsalis*), 통가리(*Liobagrus andersoni*), 꺾지(*Coreoperca herzi*), 얼룩동사리(*Odontobutis interrupta*), 동사리(*Odontobutis platycephala*) 등 15종(62.5%)으로 한반도 전체의 한국 고유종 빈도인 28.8%(Kim et al., 2005)보다 매우 높은 비율을 나타내었다. 여울성 저서종은 13종(54.1%), 유영종은 11종(45.9%)이었으며, 하상구조 교란에 의해 직접적인 영향을 받을 것으로 예상되는 어종의 비율이 높은 것으로 나타났다.

2) 무주남대천

무주남대천에서 출현한 어류는 총 5과 21종 654개체로 조사되었다. 과별 출현종 중 잉어과 어류는 15종으로 전체 어종의 71.4%를 차지하였으며, 동사리과, 미꾸리과, 꺾지과, 동자개과(Bagridae) 어종이 각각 1종(4.7%)씩 출현하였다. 법적보호종은 멸종위기야생생물 I 급인 감돌고기(*Pseudopungtungia nigra*) 1종(4.8%)과 멸종위기야생생물 II 급인 돌상어 1종(4.8%)이 출현하였고, 한국고유종은 쉬리, 돌상어, 돌마자, 감돌고기, 물개(*Squalidus japonicus coreanus*), 참갈겨니, 참종개, 눈동자개(*Pseudobagrus koreanus*), 꺾지, 동사리 등 10종(47.6%)으로 높은 고유성을 나타내었다. 여울성 저서종은 10종(47.6%), 유영종은 11종(52.4%)이었으며, 하상구조 교란에 의해 직접적인 영향을 받을 것으로 예상되는 어종의 비율은 비교적 높은 것으로 나타났다.

3) 양화천

양화천에서 출현한 어류는 총 8과 30종 2,814개체로 조사되었다. 과별 출현종 중 잉어과 어류는 22종으로 전체 어종의 70.9%를 차지하였으며, 망둑어과(Gobiidae) 2종(6.4%), 동사리과, 미꾸리과, 종개과, 송사리과(Adrianichthyidae), 통가리과 어종이 각각 1종(3.2%)씩 출현하였다. 법적보호종은 출현하지 않았으며, 한국고유종은 가시납지리(*Acheilognathus gracilis*), 줄납자루(*Acheilognathus yamatsutae*), 각시붕어(*Rhodeus uyekii*), 땡경모치(*Microphysogobio jeoni*), 돌마자, 중고기(*Sarcocheilichthys nigripinnis morii*), 참중고기

Table 3. A list and individual number of fish species collected in each stream

Species	Complex stream		Sand stream		*Tolerance guild
	Hongcheon stream	Muju Namdae stream	Yanghwa stream	Gab stream	
Cyprinidae					
<i>Carassius auratus</i>	1	2	329	42	TS
<i>Cyprinus carpio</i>			29	1	TS
<i>Acheilognathus gracilis</i>			181		IS
<i>Acheilognathus lanceilatus</i>				227	IS
<i>Acheilognathus rhombeus</i>			57	5	IS
<i>Acheilognathus signifer</i>	2				SS
<i>Acheilognathus yamatsutae</i>		33	7		IS
<i>Rhodeus notatus</i>		1	385	27	IS
<i>Rhodeus uyekii</i>			199	3	IS
<i>Abbottina rivularis</i>			71		TS
<i>Coreoleuciscus splendidus</i>	33	31		76	SS
<i>Gnathopogon strigatus</i>			46	7	IS
<i>Gobiobotia brevibarba</i>	1	12			SS
<i>Gobiobotia macrocephala</i>	1				SS
<i>Hemibarbus labeo</i>			40	46	TS
<i>Hemibarbus longirostris</i>	28	8	6	25	IS
<i>Microphysogobio jeoni</i>			1		IS
<i>Microphysogobio longidorsalis</i>	40				SS
<i>Microphysogobio yaluensis</i>	127	34	75	50	IS
<i>Pseudogobio esocinus</i>	39	126	146	65	IS
<i>Pseudopungtungia nigra</i>		18			SS
<i>Pseudopungtungia tenuicorpa</i>	2				SS
<i>Pseudorasbora parva</i>		1	380	8	TS
<i>Pungtungia herzi</i>	63	32	85	107	IS
<i>Sarcocheilichthys nigripinnis morii</i>			4		IS
<i>Sarcocheilichthys variegatus wakiyae</i>			1		IS
<i>Squalidus gracilis majimae</i>	4		243		IS
<i>Squalidus japonicus coreanus</i>		4	50		TS
<i>Rhynchocypris oxycephalus</i>	13				SS
<i>Opsarochthys uncirostris amurensis</i>	8	2	12	159	TS
<i>Zacco platypus</i>	261	89	345	388	IS
<i>Zacco koreanus</i>	451	186			SS
Balitoridae					
<i>Orthrias nudus</i>	1		13		SS
Cobitidae					
<i>Cobitis lutheri</i>				1	IS
<i>Cobitis choii</i>				4	SS
<i>Iksookimia koreensis</i>	26	15		4	IS
<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>			13	7	TS
Siluridae					
<i>Silurus microdorsalis</i>	2				SS
Bagridae					
<i>Pseudobagrus fulvidraco</i>		1			TS
<i>Pseudobagrus koreanus</i>		1	4	43	IS
Amblycipitidae					
<i>Liobagrus andersoni</i>	4		1		SS
Adrianichthyoidae					
<i>Oryzias sinensis</i>			11		TS
Centropomidae					
<i>Coreoperca herzi</i>	13	7			SS
<i>Siniperca scherzeri</i>	3	1			IS
Centrarchidae					
<i>Micropterus salmoides</i>				66	TS
Odontobutidae					
<i>Odontobutis interrupta</i>	3		34	30	IS
<i>Odontobutis platycephala</i>	4	50			SS
Gobiidae					
<i>Rhinogobius brunneus</i>				98	IS
<i>Tridentiger brevispinis</i>			45	98	IS
Belontiidae					
<i>Macropodus ocellatus</i>				1	TS
No. of families	6	5	8	7	
No. of species	24	21	30	25	
No. of individual	1,130	654	2,814	1,490	

*SS: Sensitive species IS: Intermediate species TS: Tolerant species

(*Sarcocheilichthys variegatus wakiyae*), 긴물개, 물개, 눈동자개, 통가리, 얼룩동사리 등 12종(40.0%)으로 높은 고유성을 나타내었다. 여울성 저서종은 7종(23.3%), 유영종은 23종(76.7%)이었으며, 하상구조 교란에 의해 직접적인 영향을 받을 것으로 예상되는 어종의 비율은 비교적 낮은 것으로 나타났다.

4) 갑천

갑천에서 출현한 어류는 총 7과 25종 1,490개체로 조사되었다. 과별 출현종 중 잉어과 어류는 16종으로 전체 어종의 64.0%를 차지하였으며, 미꾸리과 4종(16.0%), 망둑어과, 검정우럭과(Centrachidae), 동자개과, 동사리과, 버들붕어과(Belontiidae) 어종이 각각 1종(4.0%)씩 출현하였다. 법적보호종은 출현하지 않았으며, 한국고유종은 각시붕어, 쉬리, 돌마자, 참종개, 눈동자개, 얼룩동사리 등 6종(13.8%)으로 낮은 고유성을 나타내었다. 여울성 저서종은 9종(36.0%), 유영종은 16종(64.0%)이었으며, 하상구조 교란에 의해 직접적인 영향을 받을 것으로 예상되는 어종의 비율은 비교적 낮은 것으로 나타났다.

3. 우점종

자갈형 하천인 홍천강과 무주남대천 어류의 상대풍부도 분석결과 두 하천 모두 참갈겨니가 우점하였으며, 각각 39.9%와 28.4%의 상대풍부도를 보였다. 수계별 지역적인 특성을 배제할 수는 없으나 대표적인 자갈형 하천인 가평천과 동강의 어류 조사에서도 참갈겨니가 높은 상대풍부도로 우점하고 있는 것으로 조사되었다(Choi *et al.*, 2008a; Choi *et al.*, 2011). 이는 참갈겨니가 하천 중·상류역에서 물의 흐름이 빠르고, 호박돌과 큰돌이 고루 분포하며, 여울이 많고 용존산소량이 풍부한 맑은 수역에서 서식하는 특징이 있기 때문이다(Nam, 1997; Hur and Seo, 2011). Sand의 비율이 70% 이상을 차지한 모래형 하천인 양화천은 떡납줄갱이가(*Rhodeus notatus*) 13.6%로 우점하였다. 떡납줄갱이는 수초대가 발달하고, 얇은 하천 및 농수로와 연못, 저수지 등을 선호하는 것으로 알려져 있다(Kang *et al.*, 2006). 또한 대부분의 납자루아과의 어류가 Mud와 Sand의 비율이 높으

며, 유속이 느린 하천 중·하류의 수초지대에서 서식하는 것으로 알려져 있다(Beak and song, 2005). 수심이 깊고 유속이 완만한 양화천은 수초대가 발달하였으며, 떡납줄갱이 이외에도 납자루아과 어류인 각시붕어(7.1%), 가시납지리(6.4%), 납지리(*Acheilognathus rhombeus*; 2.0%) 등이 다수 출현하였다. Sand의 비율이 50% 이상을 차지한 갑천은 피라미(*Zacco platypus*)가 26.0%로 우점하였다. 피라미는 하천 중·하류에서 일반적으로 우점하는 어종으로(Kim, 1997; Yoon, 2000) 보설치, 골재채취, 댐건설 등의 인위적인 생태계 교란을 받아도 개체수가 상대적으로 증가하는 것으로 알려져 있다(Kim and Kim, 1975; Jeon, 1980; Choi and Kim, 2004). 갑천유역은 1970년부터 인구가 밀집되기 시작하였으며, 이후 하천이 직강화 되고(Ryu, 2007), 인공적인 하천으로 정비됨에 따라 인위적인 교란에 내성이 강한 피라미의 개체수가 증가한 것으로 판단된다.

하천별 우점종을 분석한 결과 자갈형 하천은 호박돌과 자갈이 분포하는 하상구조, 용존산소량이 풍부하고 맑은 수역의 서식처를 선호하는 민감종인 참갈겨니가 우점하였다. 한편, 모래형 하천에서는 펄과 모래의 비율이 높고 정수역성 수역을 선호하는 납자루아과와 인위적인 간섭과 교란에 내성이 높은 피라미가 우점하는 것으로 조사되었다(Table 4).

4. 군집분석

홍천강, 무주남대천, 양화천, 갑천의 4개 하천을 대상으로 군집분석을 실시한 결과(Table 4), 우점도지수는 0.27(양화천) ~ 0.63(홍천강), 다양도지수는 1.92(홍천강) ~ 2.67(양화천)의 범위로 모래형 하천인 양화천과 갑천이 자갈형 하천인 홍천강과 무주남대천보다 상대적으로 안정적인 군집구조를 유지하고 있는 것으로 분석되었다. 홍천강의 우점도지수가 가장 높은 것으로 나타났고, 다양도지수 역시 우점종인 참갈겨니의 높은 상대풍부도의 영향으로 비교적 낮게 분석되었다. Hur and Seo(2011)의 연구에 따르면, 호박돌과 큰돌이 주로 분포하는 하천에서는 참갈겨니와 피라미가 우점 및 아우점하며, 큰돌을 중심으로 피라미보다 참갈겨니가 많이 출현하는 것으로 나타났고, 하상재료가 작아질수록 균등도지수와 종풍부도지수는 높아지는 반면, 하상재

Table 4. Community indices and dominant, sub-dominant species in each stream

Stream	DI	H'	E	RI	Dominant species	Sub-dominant species
Hongcheon	0.63	1.92	0.60	3.27	<i>Zacco koreanus</i> (39.9%)	<i>Zacco platypus</i> (23.1%)
Muju Namdae	0.48	2.22	0.73	3.09	<i>Zacco koreanus</i> (28.4%)	<i>Pseudogobio esocinus</i> (19.2%)
Yanghwa	0.27	2.67	0.79	3.53	<i>Rhodeus notatus</i> (13.6%)	<i>Pseudorasbora parva</i> (13.5)
Gab	0.39	2.55	0.78	3.39	<i>Zacco platypus</i> (26.0%)	<i>Acheilognathus lanceilatus</i> (15.2%)

DI: Dominance index, H': Diversity index, E: Evenness index, RI: Richness index

료가 커질수록 균등도지수와 종풍부도지수는 낮아지는 것으로 알려져 있다. 양화천과 갑천보다 하상재료가 상대적으로 큰 홍천강과 무주남대천은 균등도와 종풍부도가 비교적 낮게 나타났고, 참갈겨니와 피라미가 우점 및 아우점하는 것으로 나타났다. 균등도지수는 0.60(홍천강) ~ 0.79(양화천)의 범위로 하상재료가 작은 양화천에서 출현종이 가장 균등하게 분포하는 것으로 나타났으며, 종풍부도지수는 3.09(무주남대천) ~ 3.53(양화천)의 범위로 양화천의 종풍부성이 가장 높은 것으로 분석되었다. Choi and Kim(2004)은 상류로부터 하류로 내려갈수록 어류의 종수가 증가하고, Hur *et al.*(2011b)은 하류보다 큰돌의 비율이 높은 상류에서 참갈겨니와 같은 특정종의 우점율이 높게 나타나는 것으로 보고하였다. 본 조사지점에서도 큰돌과 자갈이 고루 분포하는 홍천강과 무주남대천에서 참갈겨니의 상대풍부도가 높게 나타났으며, 그 결과 종다양도지수가 상대적으로 낮게 분석되었다. 한편, 모래의 비율이 높은 양화천과 갑천은 우점도지수가 낮고, 다양도지수, 균등도지수, 종풍부도지수가 높게 나타나 자갈형 하천보다 모래형 하천이 하류의 특성으로 인하여 군집지수가 높게 나타난 것으로 보이나 이는 수계 및 지역성을 고려한 더욱 다양한 하천의 조사결과와의 비교가 필요하다.

5. 내성도 길드 분석

하천별 어류의 생태지표 특성을 이용하여 내성도 길드를 분석하였다(Figure 2). 자갈형 하천인 홍천강은 민감종이 567개체(50.1%), 중간종이 554개체(46.4%), 내성종이 9개체(0.8%)로 물리적 서식지 교란과 이화학적 수질오염이 가

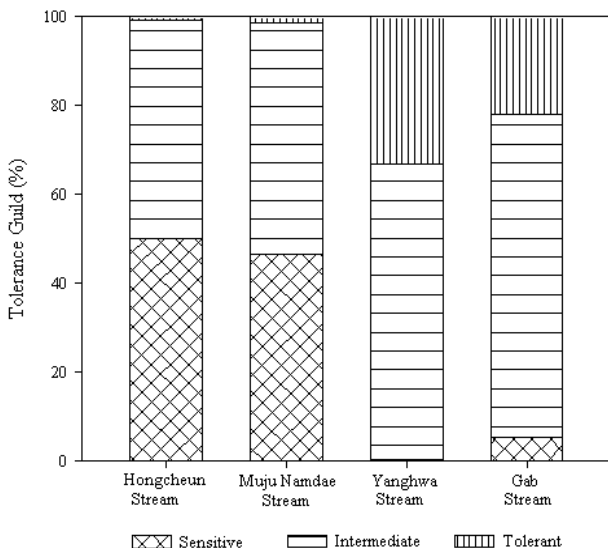


Figure 2. Tolerance guilds analysis in each stream

장 낮은 것으로 분석되었으며, 무주남대천은 민감종이 304개체(46.4%), 중간종이 340개체(51.9%), 내성종이 10개체(1.5%)로 나타나 자갈형 하천에서는 민감종이 약 50% 가까이 차지하는 것으로 분석되었다. 모래형 하천인 양화천은 민감종이 14개체(0.5%), 중간종이 1,865개체(66.2%), 내성종이 935개체(33.2%)로 나타나 물리적 서식지 교란과 이화학적 수질오염이 4개의 하천 중 가장 높은 것으로 분석되었으며, 갑천은 민감종이 80개체(5.3%), 중간종이 1,080개체(72.4%), 내성종이 330개체(22.1%)로 나타나 모래형 하천의 내성도 길드는 중간종이 약 70%, 내성종이 약 20~30%를 차지하는 것으로 분석되었다. 하천의 물리적인 서식지 교란과 이화학적 수질 오염은 내성종의 상대풍부도를 증가시키고, 서식지의 질적 저하는 민감종의 상대풍부도를 감소시킨다(Karr, 1981; US EPA, 1991). 홍천강과 무주남대천은 하도의 사행으로 하상구조가 복잡하고 급여울과 미소서식처가 발달한 반면, 양화천과 갑천은 인위적인 교란에 의해 하도가 직강화 되고 하상구조가 단편화되어 물리적인 서식지 교란과 서식지의 질적 저하가 나타났으며, 그 결과 자갈형 하천과 모래형 하천에 서식하는 어류의 내성도에 차이가 나타난 것으로 판단된다.

6. 생물보존지수(IBM)

수생태계 건강성 조사 및 평가 방법(Ministry of Environment, 2010)에 의거한 생물보존지수를 분석하였다(Figure 3, Table 5). 자갈형 하천인 홍천강과 무주남대천은 각각 38점, 40점으로 A등급(Excellent) 상태였으며, 모래형 하천인 양화천과 갑천은 각각 28점, 30점으로 B등급(Good) 상태로

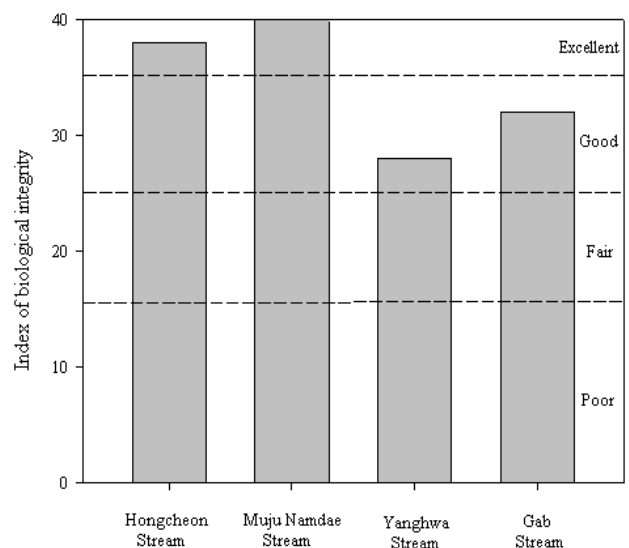


Figure 3. Index of Biological Integrity(IBM) in each stream

Table 5. Assessment using index of biological integrity in each stream

Metric	Hongcheon stream	Muju Namdae stream	Yangwha stream	Gap stream
M1 : Korea endemic species of number	5 (24)	5 (21)	5 (30)	5 (23)
M2 : Sensitive species of number	5 (13)	5 (6)	1 (2)	1 (2)
M3 : Riffle-Benthic species of number	5 (10)	5 (5)	5 (6)	3 (4)
M4 : Tolerance species individual rate	5 (0.8%)	5 (1.5%)	3 (33.2%)	5 (22.2%)
M5 : Omnivore species individual rate	3 (34.6%)	5 (25.1%)	1 (75.8%)	3 (51.0%)
M6 : Korea endemic Insectivore species individual rate	5 (58.9)	5 (65.7)	3 (22.6%)	3 (31.8)
M7 : Korea endemic species individual of number	5 (1,130)	5 (654)	5 (2,814)	5 (1,490)
M8 : Unusual individual of number	5 (0)	5 (0)	5 (0)	5 (0)
Total amount	38	40	28	30

분석되었다. 각 메트릭별 특성을 분석한 결과 물리적 서식지 교란과 이·화학적 수질 오염을 반영하는 민감종 메트릭(M2)은 양화천과 갑천에서 최하점(1점)을 기록하여 민감종의 서식이 어려운 수질 상태임을 나타내었고, 여울성 저서종수(M3)는 4종(갑천)~10종(홍천강)으로 하상구조가 다양하고, 여울이 발달한 홍천강에서 가장 높게 서식하였다. 내성종의 개체수 비율(M4)은 33.2%로 양화천이 가장 높게 나타났고, 홍천강이 0.8%로 가장 낮게 나타났다. 유기물 오염이 증가할수록 상대풍부도가 증가하는 잡식종의 비율(M5)은 양화천이 75.8%, 갑천이 51.0%, 홍천강이 34.6%, 무주남대천이 25.1% 등의 순으로 자갈형 하천 보다 모래형 하천에서 잡식종의 비율이 높게 나타났다. 국내종의 총 종수 메트릭 M1과 국내종의 총 개체수 메트릭 M7, 비정상종의 개체수 비율 메트릭 M8은 모든 하천에서 최고점을 기록하여 외래종에 의한 교란 요인은 적은 것으로 나타났으며, 개체 건강도는 양호한 것으로 분석되었다. U.S. EPA(1993) 보고서에 따르면, 생물보존지수는 하류로 내려갈수록 오염

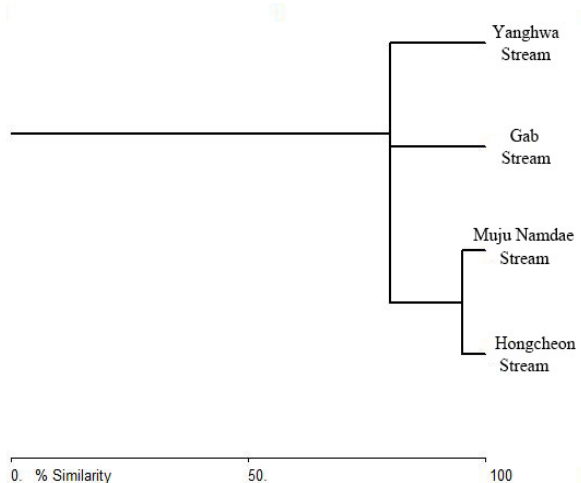
원의 증가로 인해 내성종과 잡식종이 우점하고, 민감종과 충식종이 감소하여 지수값이 낮아진다고 보고하였으나 본 연구에서는 동일한 4차하천의 중류구간임에도 불구하고 하상구조의 차이에 따라 지수값의 차이가 나타나는 것으로 확인되었다. 이는 유속이 빠른 자갈형 하천은 오염물질의 이류 및 확산이 빠르게 진행되지만 유속이 느리고 정수역의 특징을 갖는 모래형 하천은 오염물질이 축적되어 수질을 악화시키는 요인으로 작용하기 때문이다(Ecoriver21, 2009). 결과적으로 동일한 4차 하천에서 자갈형 하천은 높은 IBI 지수를 나타낸 반면 모래형 하천은 낮은 IBI 지수가 산출되었다.

7. 통계분석

1) 유사도 분석

하천의 물리적인 환경요인이자 하천생물의 수중서식처 기능을 담당하는(Ward, 1992) 하상기질을 이용하여 Bray-

(A)



(B)

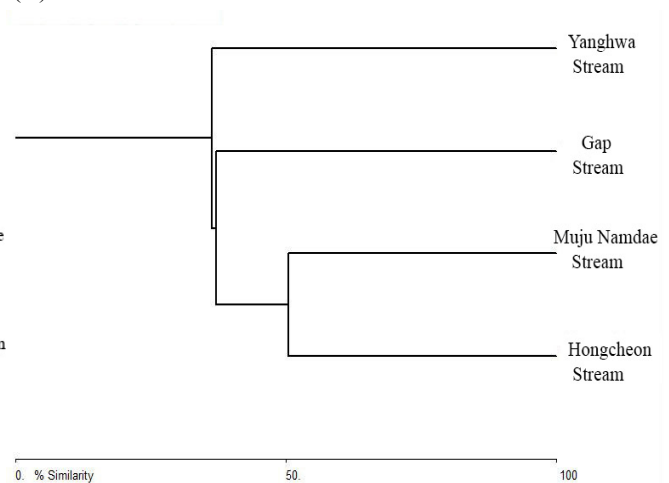


Figure 4. Cluster analysis diagram of fish fauna (A) and substrates (B) between 4 streams

Curtis similarity 분석을 실시한 결과(Figure 4), 기질구성이 다양한 홍천강과 무주남대천은 95.2%로 유사성이 가장 높았으며, 4개의 하천 중 모래의 비율이 가장 높은 양화천은 홍천강과 57.1%로 유사성이 가장 낮은 것으로 분석되었다. 또한 각 하천에서 출현한 어류의 종과 개체수를 이용하여 유사도를 분석한 결과 자갈형 하천인 홍천강과 무주남대천이 50.4%로 유사성이 가장 높았으며, 홍천강과 양화천이 23.4%로 유사성이 가장 낮은 것으로 분석되었다. 결과적으로 하상기질이 다양한 자갈형 하천인 홍천강과 무주남대천이 하나의 그룹으로 구분되었고, 기질구성이 단순한 양화천과 갑천은 그룹을 이루지 못하였다. 서로 다른 수계인 홍천강과 무주남대천은 지리적인 차이에 의해 어류의 분포 특성이 다르게 나타날 수 있으나 두 하천 모두 큰돌과 자갈이 고르게 분포하고, 여울과 소가 반복되며, 중·상류역의 맑은 수환경을 선호하는(Song and Kwon, 1993; Kim, 1997; Ko *et al.*, 2011) 참갈겨니, 돌상어, 쉬리, 동사리, 참종개 등이 공통적으로 출현한 결과 자갈형 하천이 하나의 그룹으로 구분된 것으로 판단된다. 한편, 도심구간을 흐르는 갑천의 일부 구간에서는 납자루(*Acheilognathus lanceilatus*)가 다수 출현하였고, 양화천의 경우 유기물의 농도가 높고 정수역을 선호하는 참붕어(*Pseudorasbora parva*)가 아우점하는 등 하천의 지역적인 특성이 반영되어 모래형 하천은 그룹을 이루지 못하였다. 결과적으로 자갈이 고르게 분포하는 하천은 맑은 수환경을 선호하는 어류가 공통적으로 분포하여 높은 유사성을 나타낸 반면, 인위적인 교란에 의해 단편적인 하상을 이룬 모래형 하천은 지역에 따라 하천의 어류분포 특성이 다르게 나타났다.

2) PCA 분석

종과 개체수를 이용한 주성분 분석결과 크게 2개의 그룹으로 구분되었으며, 2개의 축(Axis)은 각각 52.65%, 27.33%의 고유값으로 나타나 총 고유값 79.98%로 분석되었다(Figure 5). Axis 1에서는 자갈형 하천과 상관성이 높은 것으로 분석되었으며, Axis 2는 모래형 하천과 상관성이 높은 것으로 분석되어 하천유형에 따라 어류를 위치시켰다. Axis 1과 상관성이 높은 홍천강과 무주남대천은 자갈과 모래가 고루 분포하고, 수질이 맑은 중·상류 구간을 선호하는 참갈겨니, 동사리, 쉬리, 돌마자, 모래무지 등을 위치시켰으며, Axis 2와 상관성이 높은 양화천은 수심이 깊고 느린 유속에 의해 모래와 펄이 분포하고 유기물이 많은 곳을 선호하는 떡납줄갱이, 붕어, 참붕어, 긴물개, 각시붕어, 가시납지리 등을 위치시켰다. 한편, 갑천은 홍천강, 무주남대천, 양화천에서 출현하지 않은 납자루가 분포하여 양화천과는 다소 차이를 보였다. 환경에 대한 적응 및 내성이 강하여 우리나라 대부분의 하천에서 우세종으로 분포하는 피라미(Beak *et*

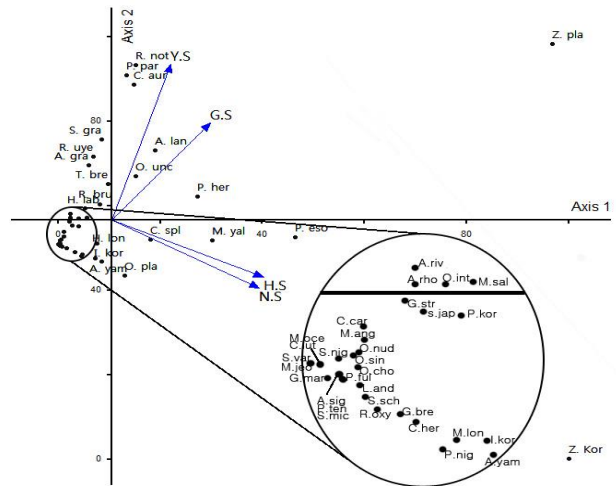


Figure 5. Two axes of principal components analysis between 4 streams and 50 species(Y.S: Yanghwa stream, G.S: Gap stream, H.S: Hongcheon stream, N.S: Muju Namdae stream)

al., 2006)와 수질이 양호하고 잘 보존된 서식지에서 우세종으로 분포하는 참갈겨니(Hong, 1991)가 Axis 1을 기준으로 정반대의 방향성을 나타내고 있어 하상 평탄화 및 하천 직강화, 골재 채취 등 인위적인 교란을 받은 모래형 하천과 자연적인 모습을 유지하고 있는 자갈형 하천간의 우점종의 차이를 보이고 있었다. 결과적으로 자연적인 모습을 유지하면서 자갈의 분포가 고르게 나타난 홍천강과 무주남대천이 하나의 그룹으로 구분되었고, 인위적인 교란의 영향과 모래의 비율이 높은 양화천과 갑천이 하나의 그룹을 이루었다. 또한 홍천강과 무주남대천에서 우점종으로 나타난 참갈겨니는 자갈형 하천의 방향성과 일치하였고, 갑천의 우점종과 양화천의 아우점종인 피라미는 모래형 하천의 방향성과 일치하였다.

REFERENCES

Ahn, T.W., H.K. Ahn, S.H. Chun, J.K. Choi, S.R. Ha and J.M. Oh(2010) An analysis ecological habitat characteristics in the Nonsan Stream and Yanghwa Stream. *Env. Imp. Ass.* 19(2): 127-140. (in Korean with English abstract)

Barbour, M.T., J. Gerritsen, B.D. Snyder and J.B. Stribling(1999) Rapid bilassessment protocols for use in streams and Wadeable Rivers: periphyton, benthic macroinvertebrates and fish, Second Edition. EPA 841-B-99-002. U.S. Environmental Protection Agency; office of Water; washington, D.C.

Beak, H.M and H.B. Song(2005) Habitat selection and environ-

- mental characters of *Acheilognathus signifer*. Kor. J. Limnol. 38(3): 352-360. (in Korean with English abstract)
- Beak, H.M., H.B. Song and D. H. Cho(2006) Reproductive ecology of the Pale Chub, *Zacco platypus* in a tributary to the Han River. Kor. J. Limnol. 38(3): 352-360. (in Korean with English abstract)
- Bray, J.R. and J.T. Curtis(1957) An ordination of the upland forest communities of southern wisconsin. Eco. Monogr. 27: 325-349.
- Cummins, K.W(1962) An evaluation of some techniques for the collection and analysis of benthic samples with special emphasis on lotic waters. Amer. midl. Nat. 67: 477-504.
- Choi, J.K., H.S. Shin and J.S. Choi(2005) Fish community analysis in the Wonju-Stream. Kor. J. Env. Ecol. 19(1): 46~54. (in Korean with English abstract)
- Choi, J.K., Osamu Mitamura, D.J. Lee and H.S. Shin(2008a) Ichthyofauna and ecological community analysis in the Dong River. Kor. J. Env. Eco. 22(6): 616-624. (in Korean with English abstract)
- Choi, J.K., H.K. Byeon, Y.S. Kwon and Y.S. Park(2008b) Spatial and temporal changes of fish community in the Chonggye stream after the Rehabilitation Project. Kor. J. Limnol. 41(3): 374-381. (in Korean with English abstract)
- Choi, J.K., C.R. Jang and H.K. Byeon(2011) The fish fauna and population of *Zacco koreanus* in the upper region of the Gapeong Stream. Kor. J. env. 25(1): 65~70. (in Korean with English abstract)
- Choi, J.S. and J.K. Kim(2004) Ichthyofauna and fish community in Hongcheon River, Korea. Kor. J. Env. Biol. 18(3): 446-455. (in Korean with English abstract)
- Choi, K.C and I.S. Kim(1972) On the fish fauna in the Namdae River, Muju. Kor. J. Limnol. 5(1): 1-12. (in Korean with English abstract)
- Ecoriver21(2009) Characteristic of Stream's Environment Assessment with Habitat Type. Korea institute of construction technology, 220pp.
- Hong, Y.P.(1991) Studies on the distribution and community dynamics of *Zacco platypus* and *Z. temmincki*(Cyprinidae) in the Han River, Korea. Chungnam national university a doctoral dissertation, pp. 26-153. (in Korean)
- Hur, J.W. and , J.O. Seo(2011) Investigation on physical habitat condition of Korean Chub(*Zacco koreanus*) in typical streams of the Han River. J. Env. Imp. Ass. 20(2): 206-214. (in Korean with English abstract)
- Hur, J.W., H.S. Kang and M.H. Jang(2011a) Investigation on physical habitat condition and fish fauna in Dal Stream of Han River basin. Kor. Env. Eng. 33(8): 564-571. (in Korean with English abstract)
- Hur, J.W., D.S. In, M.H. Jang, H.S. Kang and K.H. Kang(2011b) Assessment of inhabitation and species diversity of fish to substrate size in the Geum river basin. Env. Imp. Ass. 22(6): 845~856. (in Korean with English abstract)
- Jeon, S.L.(1980) Distribution about Korean fresh water fish, Univ. of Chung-ang, pp. 30-72. (In Korean)
- Judy, R.D., Jr. P.N. Seely, T.M. Murray, S.C. Svirsky, M.R. Whitworth and S.L. Ischinger(1984) National Fisheries Survey. vol. 1. Technical Report : initial findings. United States Fish and wildlife service.
- Kang, E.J., C.H. Kim, I.S. Park, H.Yang, Y.C. Cho(2006) Early developmental characteristics of induced hybrids between *Rhodeus uyekii* and *R. notatus*(pisces: Cyprinidae). Kor. J. Ichthyol. 24(3): 151-159. (in Korean with English abstract)
- Karr, J.R.(1981) Assessment of biotic integrity using fish communities. Fisheries, 6, pp. 21-27.
- Kim, I.S.(1997) Illustrated Encyclopedia of Fauna & Flora of Korean Vol. 37 Freshwater Fishes. Ministry of Education, pp. 133-520. (In Korean)
- Kim, I.S. and H.G. Kim(1975) A study on the water pollution and its influence on the fish community in Jeonju-cheon Creek, Jeonrabug-do Province, Korea. Kor. J. Limnol. 8: 7-14. (in Korean with English abstract)
- Kim, I.S. and Y.J. Park(2002) Freshwater Fishes of Korea. Kyohak Press Co., Seoul, 465pp. (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 Press Co., Seoul, 515pp. (In Korean)
- Ko, M.H., S.J. Moon and I.C. Bang(2011) Study of the fish community structure and inhabiting status of the endangered species *Gobiobotia macrocephala* and *G. brevibarba* in the Seom River, Korea. Kor. J. Limnol. 44(2): 144~154. (in Korean with English abstract)
- Lee, C.L.(2001) Ichthyofauna and fish community from the Gap Stream water system, Korea. Kor. J. Env. Biol. 19(4): 292-301. (in Korean with English abstract)
- Lee, D.J., H.K. Byeon and J.K. Choi(2009) Characteristics of fish community in Gap Stream by habitat type. Kor. J. Limnol. 42(3): 340-349. (in Korean with English abstract)
- Lee, H.G., C.R. Jang and J.K. Choi(2013) The characteristics of fish fauna by habitat type and population of *Zacco platypus* in the Hongcheon River. Kor. J. Env. Ecol. 27(2): 230-240. (in Korean with English abstract)
- Lee, S.H., H.G. Lee., H.S. Shin and J.K. Choi(2012) The characteristic of fish fauna and distribution by habitat type in the Yanghwa Stream of the Namhan River basins. Kor. J. Env. Ecol. 26(6): 884-891. (in Korean with English abstract)
- Margalef, R.(1958) Information theory in ecology. Gen. Syst. 3: 36~71.

- McNaughton, S.J.(1967) Relationship among functional properties of California Grassland. *Nature* 216: 114~168.
- Ministry of Environment(2010) Water ecosystem health investigation and assessment final report. National Institute of Environmental Research. (In Korean)
- Minshall, G.W.(1984) Aquatic insect-substratum relationships. *In* : Resh, V.H. ; rosenberg, D.M. *ed.* The ecology of aquatic insects. Praeger, New York, 358-400pp.
- Nam, M.M.(1997) The fish fauna and community structure in the Kapyong Stream. *Kor. J. Limnol.* 30(4): 357~366. (in Korean with English abstract)
- Nelson, J.S.(2006) *Fishes of the World*(3rd ed). John Wiely & Sons, New York, 467pp.
- Pavlov, D.S.(1993) *Strategies of the World*(3rd ed). John Wiely & Sons, New York, 600pp.
- Pielou, E.C.(1966) The measurement of diversity in different types of biological collections. *J. Theor. Biol.* 13: 131-144.
- Ryu, B.R.(2007) Present status of three major streams for stream restoration in Daejeon Metropolitan City. *Kor. Riv. Ass.* 3(4): 37-41. (in Korean)
- Song, H.B and O.K. Kwon(1993) Ecology of *Coreoleuciscus splendidus* Mori(Cyprinidae) in Hongchon River. *Kor. J. Limnol.* 26(3): 235~244. (in Korean with English abstract)
- U.S. EPA(1991) Technical support document for water quality-based toxic control. EPA 505-2-90-001.U.S.EPA, Office of water, Washington D.C., USA.
- U.S. EPA(1993) Fish field and laboratory methods for evaluating the biological integrity of surface waters. EPA 600-R-92-111. Environmental Monitoring systems Laboratory-Cincinnati office of Modeling, Monitoring systems, and quality assurance Office of Research Development, U.S. EPA, Cincinnati, Ohio 45268, USA.
- Ward, J.V.(1992) *Aquatic Insect Ecology* 1.Biology and Habitat. Substrate, pp. 233.
- Yang, H.J., B.S. Chae and M.M. Nam(1991) The ichthyofauna in autumn at upper reach of Hongchon River. *Kor. J. Limnol.* 24(1): 37-44. (in Korean with English abstract)
- Yoon, H.N.(2000) Studies on the Inhabitation Limiting Factors of the Genus *Zacco* in Korea. Master's Thesis, Univ. of Sangmyung, Seoul, Korea, 80pp.