

남한강 수계 양화천의 서식처 유형별 어류상 및 분포특성^{1a}

이승현² · 이황구² · 신현선² · 최준길^{2*}

The Characteristic of Fish Fauna and Distribution by Habitat Type in the Yanghwa Stream of the Namhan River Basins^{1a}

Seung-Hyun Lee², Hwang-Goo Lee², Hyun-Seon Shin², Jun-Kil Choi^{2*}

요약

2008년 8월부터 2009년 6월까지 양화천의 8개 미소서식처 유형에 따른 어류상 및 군집의 분포특성을 조사하였으며, 조사기간 동안 채집된 어류는 총 8과 30종 2,797개체가 확인되었다. 출현한 어종 중 한국고유종은 *Rhodeus uyekii* 등 총 10종(33.3%)으로 확인 되었으며, 우점종은 *Rhodeus notatus*, 아우점종은 *Pseudorasbora parva*였다. 서식처 유형별 우점종은 댐형 웅덩이, 개방형 하도습지에서 *Pseudorasbora parva*, 평여울에서 *Pseudogobio esocinus*, 급여울에서 *Zacco platypus*, 샛강, 낙차형 웅덩이에서 *Rhodeus notatus*, 사행형 웅덩이에서 *Squalidus gracilis majimae*, 폐쇄형 하도습지에서 *Carassius auratus*가 우점하였다. 군집분석 결과 우점도지수는 낮고, 다양도지수, 균등도지수, 풍부도지수는 높게 나타나 서식처 유형별 비교적 안정적인 군집구조를 유지하고 있는 것으로 분석되었다. 유사도 분석과 주성분 분석 결과 8개의 서식처 유형들이 유수역 특성이 나타나는 서식처와 정수역 특성이 나타나는 서식처로 구분되어 분석되었다.

주요어: 군집분석, 유수역, 정수역, 유사도분석, 주성분분석

ABSTRACT

The characteristic of fish fauna and distribution by habitat type in the Yanghwa stream were investigated from August, 2008 to June, 2009. During the surveyed period, 30 species belonging 8 families were collected. And there were 10 Korea endemic species(33.3%), including *Rhodeus uyekii* et and so on. Dominant species was *Rhodeus notatus*, and subdominant species was *Pseudorasbora parva*. Dominant species according to habitat type was *Pseudorasbora parva* in Dam type pool and Channel conected pool, *Pseudogobio esocinus*(Run), *Zacco platypus*(Riffle), *Rhodeus notatus*(Side channel and Substrate type pool), *Squalidus gracilis majimae*(Meander type pool), and *Carassius auratus*(Channel unconnected pool), respectively. As a results of community analysis in the Yanghwa Stream, diversity, richness, and abundance indices showed relatively high values, indicating that studied stream have relatively stable community structure. Moreover, cluster and principal component analysis were divided by two groups(lotic and lentic habitats), suggest that species and individuals were different among habitat types.

1 접수 2012년 10월 5일, 수정(1차: 2012년 11월 11일), 게재확정 2012년 11월 12일

Received 5 October 2012; Revised(1st: 11 November 2012); Accepted 12 November 2012

2 상지대학교 생명과학과 Dept. of Biological Science, Sangji Univ., 83 Sangidae-gil, Wonju-si, Gangwon-do(220-702), Korea
a 이 논문은 한국건설기술연구원 에코리버21 과제의 지원 및 2010년도 상지대학교 교내연구비에 의하여 연구되었음.

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

KEY WORDS: COMMUNITY ANALYSES, LOTIC, LENTIC, CLUSTER ANALYSIS, PRINCIPAL COMPONENT ANALYSIS

서 론

양화천은 남한강으로 유입되는 제 1지류로 경기도 이천시 설성면의 마옥산(445m)에서 발원하여 모가면과 능서면의 경계를 이루며 흐르다 여주군 흥천면을 거쳐 남한강으로 유입되는 이천시의 대표적인 하천이며, 유역면적은 334.0 km², 유로연장은 32.0km이다. 유역형상은 상류부는 유역폭이 넓고 하류부는 유역폭이 좁게 되어있는 형상이며, 평균 폭은 약 7.5km이다. 하천생태계에서 상위소비자인 어류는 먹이사슬에 있어 다른 생물종들과 밀접한 관계를 가지며, 그 지역의 생물다양성을 대표한다(Lee *et al.*, 2006). 하천생태계는 여러 가지 요인들에 의하여 어류상의 변화를 유발할 수 있으며, 자연적인 요인보다 인위적인 요인에 의해 그 환경변화가 심화될 수 있다(Rutherford *et al.*, 1987). 이로 인하여 먹이사슬 및 서식환경이 좋은 조건보다는 나쁜 조건으로 변화하여 어류의 종다양도가 감소하는 결과를 초래하고 있다(Hur *et al.*, 2010).

최근 들어 하천생태계에 관심이 높아지면서 생태적으로 교란된 하천을 복원하고 있는 실정이며, 하천이 복개된 지역을 중심으로 하천을 복원하거나 인공하천을 만들어 자연형 하천으로 바꾸어 가고 있다(Kim and Ahn, 2006). 자연형 하천을 통한 연구는 직강화와 콘크리트로 정비된 하천에서 생태적인 하천의 복원에 큰 역할을 한다고 할 수 있다. 뿐만 아니라 현재까지 인공적이고 획일적인 하천정비로 인한 문제점들이 노출되면서 인공화된 하천을 원래의 자연스러운 하천상태로 되돌리고자 하는 사회적 및 기술적 대안들이 다각적으로 모색되고 있으며, 시험 적용되기에 이르렀다(Choi *et al.*, 2011).

최근 서식처 유형별 어류에 대한 연구는 Lee *et al.*(2009)과 Choi *et al.*(2011)에 의해서 이루어졌다. Lee *et al.*(2009)은 갑천에서 Choi *et al.*(2011)은 탄천에서 서식처 유형에 따른 어류군집의 특성 및 특정 개체군에 대하여 언급하였으며, 서식처 유형의 구분은 동일하여도 어류가 서식하는 생태적 환경에 따라 차이가 나타나는 것으로 판단된다. 따라서 본 연구는 양화천의 비교적 서식처 구분이 뚜렷한 구간을 대상으로 서식처 유형별 물리적 환경요인과 어류군집의 분포특성을 분석하여 어류의 서식환경에 적합한 하천복원 기술을 개발하는 기초 자료로 활용하고자 하였다.

연구방법

1. 조사지점 및 시기

1) 조사지점

조사지점은 각 서식처 유형을 달리하는 총 8개의 조사지점을 선정하였으며, 각 조사지점의 GPS(WGS)는 다음과 같다(Table 1, Figure 1).

2) 조사시기

현장조사 기간은 2008년 8월부터 2009년 6월까지 총 4회에 걸쳐 실시하였으며, 각 조사시기는 다음과 같다.

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

2. 조사방법

1) 어류의 채집 및 분류

어류의 채집은 정량조사를 위하여 투망(5mm×5mm)과 족대(4mm×4mm)를 각각 15회, 40분간 실시하였다. 채집된 어류는 현장에서 동정 후 대부분 방류하였고, 현장에서 동정이 어려운 개체는 10% Formalin 용액으로 고정한 후 실험실로

Table 1. Habitat type and GPS at each site in the Yanghwa stream

Sites	Type	GPS
1	Dam type pool	37°19'32.86" N 127°34'30.06" E
2	Run	37°19'16.55" N 127°34'22.32" E
3	Riffle	37°19'31.98" N 127°34'30.44" E
4	Side channel	37°19'33.00" N 127°34'27.59" E
5	Meander pool	37°19'37.56" N 127°37'30.81" E
6	Channel unconnected pool	37°19'50.23" N 127°34'24.88" E
7	Channel connected pool	37°19'57.96" N 127°34'23.01" E
8	Substrate type pool	37°20'04.81" N 127°34'22.55" E

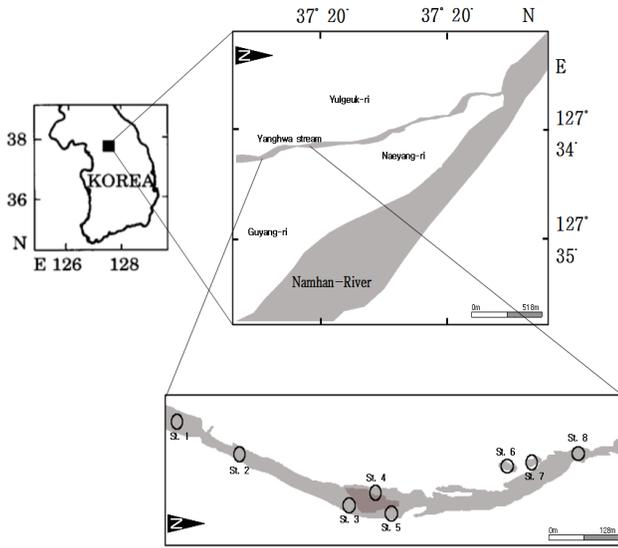


Figure 1. The map showing the study area in the Yanghwa stream

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

2) 미소서식처 구분

하천복원 기술개발연구원의 기준(Ecoriver21, 2009)을 따라 댐형 웅덩이(Dam type pool, St. 1), 평여울(Run, St. 2), 급여울(Riffle, St. 3), 샛강(Side channel, St. 4), 사행형 웅덩이(Meander type pool, St. 5), 폐쇄형 하도습지(Channel unconnected pool, St. 6), 개방형 하도습지(Channel connected pool, St. 7), 낙차형 웅덩이(Substrate type pool, St. 8) 로 구분하였다.

3) 서식처의 물리·화학적 특성분석

서식처내 물리·화학적 특성분석은 현장조사와 실험실로 구분하였다. 수심, 유속, 하상구조는 2008년 8월에 현장에서 조사하였고, 이 중 수심 및 유속은 조사 지점별로 1m의 간격을 두고 횡단 측량을 실시하였다. 수심은 Total Station(탐콘 DT-209P)을 이용하여 실시하였고, 유속은 Flowmeter Potable FLO-MATE(2000)을 이용하였으며, 하상구조는 Cummins(1962)에 의거하여 현장에서 육안으로 관찰하였으며 모래입자는 채(2mm)를 이용하여 분석하였다. 화학적 특성은 2008년 8월, 10월, 2009년 4월, 6월 등 총 4차례에 걸쳐 현장에서 수온, pH, EC, DO 등을 Hach-HQ40d를 이용하여 측정하였으며, 실험실에서는 SS, BOD, T-N, T-P 등을 수질공정시험법에 준하여 분석하였다.

4) 군집분석

군집분석은 각 조사지점에서 출현한 종과 개체수를 기준으로 우점도(McNaughton, 1967), 다양도(Shannon-Weaver, 1949), 균등도(Pielou, 1975), 풍부도(Margalef, 1958)를 산출하였다.

5) 통계분석

BioDiversity Pro(Version 2)를 이용하여 조사지점별 유사성을 분류하고자 유사도(Bray and Curtis, 1957) 분석을 실시하였으며, Group linkage method는 Ward(1963)와 Ward and Hook(1963)의 방법을 따랐다. 주성분 분석(Principal Components Analysis)은 PC-ORD(Version 5)를 이용하여 Kaiser(1958, 1961)의 방법을 따랐으며, 서식처 유형들 간의 관계를 분석하였다. 어종의 약명에서 속명은 첫 글자, 종명은 앞에서 3글자만 이용하여 표기 하였으며 명명자 기입이 필요한 종은 속명, 종명, 명명자 각각의 첫 글자만 표기하였다.

결과 및 고찰

1. 조사지 개황

양화천은 하천 특성상 중·하류역의 특성이 나타나는 수역으로 수환경 분석 결과 유속은 댐형웅덩이에서 80~100m로 가장 넓으며, 샛강과 개방형 하도습지에서 비교적 좁은 것으로 확인되었다. 수심은 평균 31.3~49.3cm로 서식처 유형별 차이가 크게 나타나지 않았다. 유속은 급여울(평균 0.48 cm/sec)이 가장 빠르게 나타났으며, 평여울, 사행형 웅덩이, 낙차형 웅덩이는 0.15~0.26 cm/sec로 비교적 느린 것으로 확인되었다. 하상구조는 모든 서식처 유형에서 대부분 모래(Sand)가 풍부하였으며, 댐형 웅덩이와 평여울에서만 일부 암반(Boulder)과 큰돌(Cobble)이 구성되었고, 작은 돌(Pebble)은 대부분 확인되지 않았다. 한편, 급여울 지점은 다른 서식처 유형과 비교하여 유속이 매우 빠르고 수심이 얕아, 모래가 퇴적되지 못하여 자갈이 다소 풍부한 것으로 조사되었다(Table 2). pH는 7.1~8.2로 중성~약알칼리성 상태를 유지하고 있었다. 전기전도도(EC)는 145.1~289.7ms/cm로 확인되었으며, 폐쇄형 하도습지를 제외하고 대부분 유사한 전기전도도를 유지하였다. 용존산소(DO)는 7.7~9.8mgL⁻¹로 전 서식처 유형에서 어류가 서식하기에 적합한 상태를 유지하고 있었다. BOD는 1.1~3.6mgL⁻¹로 서식처 유형별 및 조사 시기에 따라 다소 큰 차이를 나타내었다. 부유물질(SS)은 1.6~28.4mgL⁻¹로 비교적 높은 상태를 유지하였으며, 댐형 웅덩이에서 3.8~28.4mgL⁻¹로 가장

Table 2. Physical factors of the surveyed each site in the Yanghwa Stream

Sites	Stream width (m)	Water depth (cm)	Water current(cm/sec)			Water Temperature(°C)			Bottom Structure(%)				
			Min.	Max.	Mean.	Min.	Max.	Mean.	B	C	P	G	S
1	80~100	30~54	0	0.04	0.02	16.2	26.2	21.3	10	0	0	30	60
2	30~40	30~40	0.04	0.26	0.15	16.0	25.7	21.4	0	20	0	0	80
3	40~50	20~40	0.03	0.93	0.48	15.7	26.2	21.1	0	0	0	80	20
4	10~15	30~50	0.02	0.14	0.08	15.6	25.7	21.3	0	0	0	20	80
5	15~20	30~40	0.09	0.32	0.21	15.5	26.0	21.1	0	0	0	20	80
6	10~20	40~60	-	-	-	15.6	30.5	22.8	0	0	0	20	80
7	5~20	40~60	-	-	-	14.7	27.2	21.6	0	0	0	10	90
8	20~40	30~50	0.02	0.51	0.26	15.7	26.9	21.6	0	0	0	40	60

B: Boulder, >256 mm, C: Cobble, 64~256 mm, P: Pebble, 16~64 mm, G: Gravel, 2~16 mm, S: Sand, <2mm = by Cummins (1962)

Table 3. Environmental factors of the surveyed each site in the Yanghwa Stream

Sites	pH	EC (ms/cm)	DO (mgL ⁻¹)	BOD (mgL ⁻¹)	SS (mgL ⁻¹)	T-N (mgL ⁻¹)	T-P (mgL ⁻¹)
1	7.3~7.9	222.0~289.7	8.1~8.8	1.8~3.1	3.8~28.4	2.764~4.661	0.176~0.320
2	7.3~8.0	212.1~284.0	7.9~8.8	2.1~2.8	1.6~18.8	1.874~4.777	0.116~0.284
3	7.2~8.1	216.4~286.6	8.2~9.3	1.9~3.0	2.4~12.6	2.016~2.900	0.111~0.294
4	7.2~8.1	201.7~276.8	8.2~8.8	1.9~3.0	2.4~8.4	1.745~2.902	0.124~0.320
5	7.3~8.2	215.3~284.4	8.2~9.8	1.1~3.3	2.4~16.6	1.603~3.870	0.135~0.226
6	7.1~7.9	145.1~202.2	7.7~8.9	2.3~3.6	10.0~17.4	1.332~3.703	0.194~0.332
7	7.1~7.4	193.0~230.6	7.8~8.8	1.4~1.9	2.8~14.4	1.112~5.410	0.185~0.284
8	7.1~7.7	214.7~283.9	7.9~8.8	1.6~2.8	2.0~12.2	1.603~3.602	0.200~0.248

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

높게 나타났으며, 이는 유폭이 넓고 수심이 깊어 다른 서식처 유형보다 유기물 유입량이 높은 상태였기 때문인 것으로 판단된다. 총질소(T-N)와 총인(T-P)은 대체로 낮은 상태를 유지하고 있었으나 댐형웅덩이, 셋강, 폐쇄형 하도습지, 개방형 하도습지 등에서는 비교적 높게 확인되었는데, 수변부 농경지의 비료 성분과 생활하수 등의 유입에 기인한 것으로 판단된다(Table 3).

2. 어류상

양화천의 전 조사지점에서 채집된 어종은 총 8과 30종 2,797개체로 확인되었다(Table 4). 서식처 유형별로 살펴보면, 댐형 웅덩이(St. 1)에서 4과 19종 298개체, 평여울(St. 2)에서 4과 21종 319개체, 급여울(St. 3)에서 4과 16종 169개체, 셋강(St. 4)에서 4과 20종 209개체, 사형형 웅덩이(St. 5)에서 3과 21종 374개체, 폐쇄형 하도습지(St. 6)에서 4과 19종 461개체, 개방형 하도습지(St. 7)에서 4과 17종 367개체, 낙차형 웅덩이(St. 8)에서 7과 26종 600개체가 확인되었다. 이 중 낙차형 웅덩이에서 가장 많은 어종 및 개체수가

확인되었으며, 급여울에서 상대적으로 가장 적게 나타나 대조적인 모습을 보였다. 급여울은 유속이 빠르고 수심이 얕아 일부 종만 적응하여 서식하므로 다양한 어종의 미소서식처로 이용되지 못하는 것으로 알려져 있으며(Choi *et al.*, 2011), 본 연구에서도 이와 유사한 경향이 나타났다. 한편, 탄천(Choi *et al.*, 2011)의 폐쇄형 하도습지(Channel unconnected pool), 갑천(Lee *et al.*, 2009)의 징검여울(Rock-scattered riffles)이 가장 많은 어종과 개체수가 확인되어 서식처 유형별 하천 규모, 수질, 수심, 유폭, 수량, 하상 구조 등의 차이가 서식하는 어류의 차이로 추정되지만 이는 서식처 유형에 대한 더욱 광범위한 지역적 조사연구가 필요할 것으로 사료된다.

출현된 어종 중 한국고유종은 눈동자개(*Opsariichthys uncirostris amurensis*), 줄납자루(*Acheilognathus yamatsutae*), 각시붕어(*Rhodeus uyekii*), 뿔경모치(*Microphysogobio jeoni*), 충고기(*Sarcocheilichthys nigripinnis morii*), 참중고기(*Sarcocheilichthys variegatus wakiyae*), 긴물개(*Squalidus gracilis majimae*), 물개(*Squalidus japonicus coreanus*), 통가리(*Liobagrus andersoni*), 얼룩동사리(*Odontobutis interrupta*)

Table 4. Fish fauna of collected fish at each site in the Yanghwa Stream

Species	Sites								Total	R.A. (%)
	1	2	3	4	5	6	7	8		
Cyprinidae										
<i>Carassius auratus</i>	12	21	4	16	12	144	56	64	329	11.76
<i>Cyprinus carpio</i>	8	4	2	4	3	4	2	2	29	1.04
<i>Acheilognathus chankaensis</i>		20	8	10	16	11		116	181	6.47
<i>Acheilognathus rhombeus</i>	5	5	4	3	21	6	4	9	57	2.04
* <i>Acheilognathus yamatsutae</i>	2				5				7	0.25
<i>Rhodeus notatus</i>	1	24	2	42	61	47	42	166	385	13.76
* <i>Rhodeus uyekii</i>	6	5	4	24	17	45	34	64	199	7.11
<i>Abbottina rivularis</i>	1	14		2	8	25	17	4	71	2.54
<i>Gnathopogon strigatus</i>	22	2		6	5	1	1	9	46	1.64
<i>Hemibarbus labeo</i>	3	17			10	4	5	1	40	1.43
<i>Hemibarbus longirostris</i>				1	4			1	6	0.21
* <i>Microphysogobio tungtingensis</i>		1							1	0.04
<i>Microphysogobio yaluensis</i>	1	22	12	11	16	4	1	8	75	2.68
<i>Pseudogobio esocinus</i>	15	52	5	9	40	11	4	10	146	5.22
<i>Pseudorasbora parva</i>	85	46	1	18	37	69	101	23	380	13.59
<i>Pungtungia herzi</i>	29	10	2	6	1	32		5	85	3.04
* <i>Sarcocheilichthys nigripinnis morii</i>			1		2			1	4	0.14
* <i>Sarcocheilichthys variegatus wakiyae</i>								1	1	0.04
* <i>Squalidus gracilis majimae</i>	63	14		2	66	27	53	1	226	8.08
* <i>Squalidus japonicus coreanus</i>		1	8	5	12			24	50	1.79
<i>Opsariichthys uncirostris amurensis</i>	1	5		1		1	4		12	0.43
<i>Zacco platypus</i>	33	40	82	38	34	14	34	70	345	12.33
Baliforidae										
<i>Orthrias nudus</i>			12		1				13	0.46
Cobitidae										
<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>		5		5			2	1	13	0.46
Bagridae										
* <i>Pseudobagrus koreanus</i>	1		2					1	4	0.14
Amblycipitidae										
* <i>Liobagrus andersoni</i>								1	1	0.04
Odontobutidae										
* <i>Odontobutis interrupta</i>	2	10		3	3	5	6	5	34	1.22
Adrianichthyoidae										
<i>Oryzias sinensis</i>						8		3	11	0.39
Gobiidae										
<i>Rhinogobius brunneus</i>	8	1	20	3		3	1	9	45	1.61
<i>Tridentiger brevispinis</i>								1	1	0.04
No. of families	4	4	4	4	3	4	4	7	8	
No. of species	19	21	16	20	21	19	17	26	30	
No. of individuals	298	319	169	209	374	461	367	600	2,797	

*: Korea endemic species, R.A.: Relative abundance (%)

등 총 10종(33.3%)으로 확인되었다. 국내 하천 수계에서 나타나는 한국고유종의 출현 빈도는 평균 28.8%로 알려져 있으며(Kim *et al.*, 2005), 본 연구에서 평균 고유종 빈도보다 높은 고유성을 나타냈다. 과 별 종 구성비를 살펴보면,

잉어과(Cyprinidae) 어종이 23종(76.7%)으로 가장 우세하게 출현하였는데 이는 서남해로 흐르는 우리나라 하천의 일반적인 특징이라 할 수 있으며, 우리나라 하천의 담수어 류상과도 잘 일치하고 있다(Jeon, 1980). 다음으로 망둑어

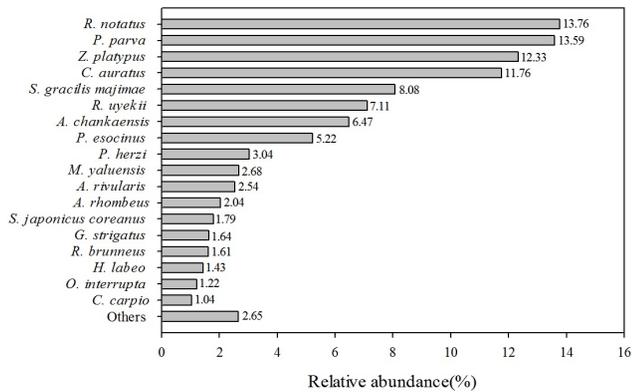


Figure 2. Relative abundance of collected fish at 8 sites in the yanghwa stream

과(Gobiidae) 2종(6.7%), 동사리과(Odontobutidae), 종개과(Balitoridae), 미꾸리과(Cobitidae), 메기과(Siluridae), 송사리과(Adrianichthyoidae), 동자개과(Bagridae), 통가리과(Amblycipitidae)에서 각각 1종(3.3%)씩 조사되었다. 개체수 구성비를 살펴보면, 떡납줄갱이(*Rhodeus notatus*)가 385 개체(13.8%)로 가장 높게 확인되었고, 다음으로 참붕어(*Pseudorasbora parva*) 380개체(13.6%), 피라미(*Zacco platypus*) 345개체(12.3%), 붕어(*Carassius auratus*) 329개체(11.8%) 등의 순으로 조사되었다. 반면 개체수 구성비가 1.0% 미만인 어종으로는 줄납자루, 참마자(*Hemibarbus longirostris*), 땡경모치 등을 포함하여 총 12종 74개체(2.65%)로 확인되었다(Figure 2).

3. 우점종

양화천의 전체 조사구간에서 떡납줄갱이가 우점하고, 참붕어가 아우점 하였으며, 서식처 유형별 우점종과 아우점종은 Table 5와 같다. 셋강(St. 4)과 낙차형 웅덩이(St. 8)에서 떡납줄갱이가 우점종으로 나타났으며, 댐형 웅덩이(St. 1)와 개방형 웅덩이(St. 7)에서 참붕어, 평여울(St. 2)에서 모

래무지(*Pseudogobio esocinus*), 급여울(St. 3)에서 피라미, 사행형 웅덩이(St. 5)에서 긴물개, 폐쇄형 하도습지(St. 6)에서 붕어가 우점종으로 조사되었다. 이중 급여울(St. 3)에서 우점종이 상대적으로 매우 높게 나타났는데 이는 급여울이 상대적으로 빠른 유속과 얇은 수심으로 인해 다양한 어류가 서식하기에는 부적합하였기 때문이다. 아우점종으로는 사행형 웅덩이(St. 5)에서 떡납줄갱이, 평여울(St. 2)과 폐쇄형 하도습지(St. 6)에서 참붕어, 댐형 웅덩이(St. 1)에서 긴물개, 급여울(St. 3)에서 밀어(*Rhinogobius brunneus*), 셋강(St. 4)에서 피라미, 개방형 웅덩이(St. 7)에서 붕어, 낙차형 웅덩이(St. 8)에서 가시납지리(*Acheilognathus chankaensis*)가 아우점하는 것으로 조사되었다. 양화천은 탄천(Choi et al., 2011), 갑천(Lee et al., 2009)과 우점 및 아우점종의 차이는 있으나 납자루아과(Acheilognathinae)의 개체수 풍부도가 공통적으로 높게 나타나 하천 복원 시 납자루아과를 고려한 서식처 조성이 필요할 것으로 판단된다.

4. 군집분석

양화천의 서식처 유형별 하상구조는 대부분 모래로 구성되어 비교적 단순하였으나 군집분석 결과 우점도지수 0.31(St. 2)~0.56(St. 3), 다양도지수 2.00(St. 3)~2.63(St. 2)으로 서식처 유형별 비교적 안정된 군집양상을 유지하고 있는 것으로 분석되었다(Table 5). 급여울(St. 3)에서 우점도지수가 0.56으로 가장 높게 분석되었으며, 다양도(2.00), 균등도(0.72), 종풍부도(3.08)가 비교적 낮게 나타나 가장 불안정한 군집구조를 유지하는 것으로 확인되었다. 이외는 대조적으로 평여울(St. 2)에서 우점도지수가 0.31로 가장 낮고 다양도(2.63), 균등도(0.85), 종풍부도(3.64)가 비교적 높게 나타나 가장 안정된 군집구조를 유지하고 있는 것으로 분석되었다. 본 연구에서 군집지수가 낮아, 불안정한 군집구조를 유지하고 있는 급여울은 수심과 유속 등 물리적 환경요인들에 의해 다양한 어종이 서식하지 못하고 일부 특정 종만 서식할 수 있는 서식처 특성이 나타나기 때문인 것으

Table 5. Dominant, sub-dominant species, and community indices at each site in the Yanghwa stream

Sites	Dominant species	Sub-Dominant species	DI	H'	E	RI
1	<i>Pseudorasbora parva</i>	<i>Squalidus gracilis majimae</i>	0.49	2.21	0.74	3.33
2	<i>Pseudogobio esocinus</i>	<i>Pseudorasbora parva</i>	0.31	2.63	0.85	3.64
3	<i>Zacco platypus</i>	<i>Rhinogobius brunneus</i>	0.56	2.00	0.72	3.08
4	<i>Rhodeus notatus</i>	<i>Zacco platypus</i>	0.38	2.51	0.84	3.56
5	<i>Squalidus gracilis majimae</i>	<i>Rhodeus notatus</i>	0.34	2.56	0.84	3.38
6	<i>Carassius auratus</i>	<i>Pseudorasbora parva</i>	0.46	2.26	0.77	2.93
7	<i>Pseudorasbora parva</i>	<i>Carassius auratus</i>	0.43	2.13	0.75	2.71
8	<i>Rhodeus notatus</i>	<i>Acheilognathus chankaensis</i>	0.47	2.23	0.68	4.06

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

로 생각되며, 이는 탄천(Choi *et al.*, 2011)의 급여울과도 일치한다. 따라서 자연형 하천 및 도심형 하천의 급여울은 군집지수가 낮은 불안정한 군집양상을 나타내고 있는 것으로 판단되나 이는 좀 더 다양한 하천을 대상으로 한 조사연구가 필요할 것으로 사료된다.

5. 통계적 분석 및 비교

1) 유사도 분석

출현종에 따른 유사도 분석 결과 개방형 하도습지(St. 7, CCP)와 폐쇄형 하도습지(St. 6, CUP)가 68.12%로 유사성이 가장 높은 것으로 확인되었으며, 다음으로 사행형 웅덩이(St. 5, MTP)와 평여울(St. 2, Run)이 66.67%, 개방형 하도습지와 댐형웅덩이(St. 1, DTP)가 63.16%, 사행형 웅덩이(MTP)와 샛강(St. 4, SC)이 61.06%로 분석되었다(Figure 3). 결과적으로 서식처 유형별로 크게 두개의 그룹으로 구분이 되었으며, A그룹은 댐형웅덩이, 폐쇄형 하도습지, 개방형 하도습지, B그룹은 평여울, 사행형 웅덩이, 샛강으로 구분되었다. A그룹은 서식처 유형별 수심이 깊고 유속이 완만하여 물의 흐름이 거의 없거나 느린 정수역의 특성이 나타나는 서식처들로 구분되었으며, B그룹은 비교적 수심이 얇고 유속이 빠른 여울부의 특성이 나타나는 유수역의 서식처들로 구분되었다. 반면 급여울(St. 3, Riffle)과 낙차형 웅덩이(St. 8, STP)는 다른 6개의 서식처 유형과는 50% 이하의 유사성이 나타나 A 또는 B그룹으로 구분이 되지 못하였는데 이는 다른 서식처 유형들과 비교하였을 때, 급여울은 수심이 매우 얇고 낙차형 웅덩이는 여울과 웅덩이가 교차되는 서식처로 다른 미소서식지와 물리적인 특성의 차이가 크기 때문인 것으로 생각된다.

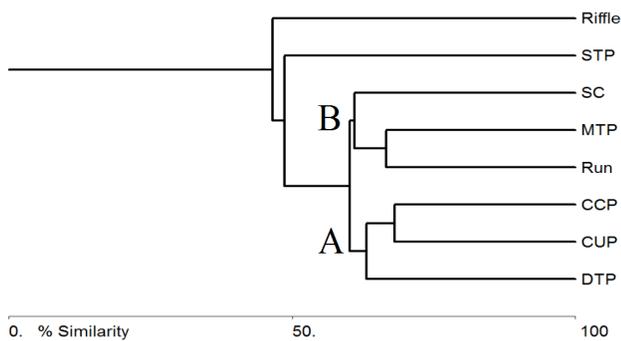


Figure 3. Cluster analysis diagram between the 8 sampling sites in the Yanghwa stream(DTP : Dam type pool, Run : Run, Riffle : Riffle, SC : Side channel, MTP : Meander type pool, CUP : Channel unconnected pool, CCP : Channel connected pool, STP : Substrate type pool)

2) 주성분 분석

주성분 분석결과 2개의 축(Axis)이 각각 53.95%, 17.41%의 고유값으로 나타나 총 고유값 71.37%로 분석되었다(Figure 4). Axis 1에서는 개방형 하도습지(CCP)와 상관성이 가장 높은 것으로 분석되었으며, Axis 2는 댐형 웅덩이(DTP)와 상관성이 높게 나타나 각 지점들과 어류들을 위치시켰다. 댐형웅덩이, 개방형 하도습지, 폐쇄형 하도습지(CUP)의 서식처 유형들은 참붕어(P. par), 긴물개(S.g.m), 붕어(C. aur), 모래무지(P. eso)들과 같이 물의 흐름이 비교적 느리고, 수심이 깊으며, 하상이 대부분 모래로 구성된 정수역의 특징이 나타나는 서식처들과의 상관성이 높은 것으로 분석되었다. 샛강(SC), 낙차형 웅덩이(STP), 급여울(Riffle)의 서식처 유형들은 피라미(Z. pla), 떡납줄갱이(R. not), 가시납지리(A. cha), 각시붕어(R. uye), 돌마자(M. yal) 등과 같이 비교적 물의 흐름이 빠르고 수심이 얇으며, 하상에 자갈의 비율이 비교적 높게 구성된 유수역의 특징이 나타나는 서식처들과의 상관성이 높게 나타났다. 반면 떡납줄갱이, 가시납지리, 각시붕어(R. uye)와 같은 종들은 일반적으로 유속이 느리고 수변부에 수초가 많은 정수성의 중하류역을 선호하는 어종으로 알려져 있으나 양화천은 전체적으로 유속이 비교적 느리고 수변부가 잘 발달되어 유수역의 특징을 나타내는 서식처에서도 상관성이 높게 나타난

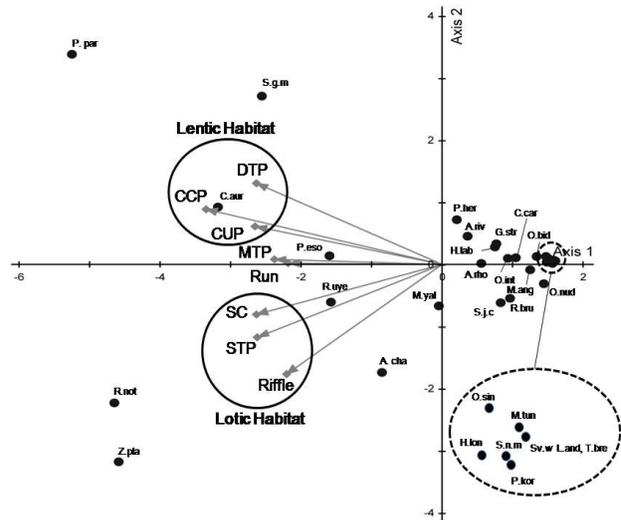


Figure 4. Two axes of principal components analysis between 8 sites and 30 species in the Yanghwa stream(DTP : Dam type pool, Run : Run, Riffle : Riffle, SC : Side channel, MTP : Meander type pool, CUP : Channel unconnected pool, CCP : Channel connected pool, STP : Substrate type pool)

것으로 판단된다.

인용문헌

- Bray, J.R. and J.T. Curtis(1957) An ordination of the upland forest communities of southern Wisconsin. *Eco. Monogr* 27: 325-349.
- Choi, J.K., C.R. Jang and H.K. Byeon(2011) The Characteristic of Fish Fauna by Habitat Type and Population of *Zacco platypus* in the Tan Stream. *Kor. J. Env. Eco.* 25(1): 71-80. (in Korean with English abstract)
- 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.
- Ecoriver21(2009) Characteristic of stream's environment assessment with habitat type. Korea institute of construction technology, pp. 9-220.
- Hur, J.D., J.W. Park and J.K. Kim(2010) The Fish Fauna and Community of Chogang Stream, Korea. *Korean J. Limnol.* 43(2): 271-278. (in Korean with English abstract)
- Jeon, S.R.(1980) Studies on the distribution of fresh-water fishes from Korea. Doctoral thesis of Chungang Univ., pp. 14-49. (in Korean)
- Kaiser, H.F.(1958) The Varimax Criterion for Analytic Rotation in Factor Analysis. *Psychometrika* 23: 187-200.
- Kaiser, H.F.(1961) A note on Guttman's lower bound for the number of common factors. *British Journal of Mathematical and Statistical Psychology* 14: 1-2.
- Kim, H.B. and K.S. Ahn(2006) An Assessment on Vegetation and Fish Diversity in Natural Urban Stream. *Journal of Korean Wetlands Society*, 8(2): 53-64. (in Korean with English abstract)
- Kim, I.S.(1997) Illustrated Encyclopedia of Fauna & Flora of Korea Vol. 37 Freshwater Fishes. Ministry of education, 518pp. (in Korean)
- Kim, I.S. and J.Y. 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, 512pp. (in Korean)
- Lee, D.J., H.K. Byeon and J.K. Choi(2009) Characteristics of Fish Community In Gap Stream by Habitat Type. *Korean J. Limnol.* 42(3): 340-349. (in Korean with English abstract)
- Lee, K.Y., Y.S. Jang and J.S. Choi(2006) Fish Fauna and Inhabitation of Legally Protected Species in the Pyeongchang River. *Kor. J. Env. Eco.* 20(3): 331-339. (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.
- Nelson, J.S.(2006) Fishes of the world (4th ed.). Wiley, New York.
- Pielou, E.C.(1975) The measurement of diversity in different types of biological collections. *J. Theor. Biol* 13: 131-144.
- Rutherford, D.A., A.A. Echelle and O.E. Maughan(1987) Changes in the fauna of the little river drainage, south-eastern Oklahoma, 1948~1955 to 1981~1982: Test of the Hypothesis of environmental degradation. *Community and evolutionary ecology of north American stream fishes.* Univ. of Oklahoma, 17pp.
- Shannon, C.E. and W. Weaver(1949) The Mathematical Theory of Communication. University of Illinois Press, Urbana, 233pp.
- Ward Jr., J.H.(1963) Hierarchical Grouping to Optimize an Objective Function. *Journal of the American Statistical Association* 58(301): 236-244.
- Ward Jr., J.H. and M.E. Hook(1963) Application of an Hierarchical Grouping Procedure to a Problem of Grouping Profiles. *Educational and Psychological Measurement* 23(1): 69-81.