

Original article

예당호 어류 종조성과 채집도구에 따른 어류 특성

유태식¹ · 지창우¹ · 김용준² · 오건희² · 박영석³ · 곽인실^{1,2,*}

¹전남대학교 수산과학연구소, ²전남대학교 해양융합과학과, ³경희대학교 생물학과

Species Composition of Fish in Yedang Reservoir and Characteristics by Sampling Gears. Tae-Sik Yu¹ (0000-0002-1687-2503), Chang Woo Ji¹ (0000-0001-6133-9399), Yong Jun Kim² (0000-0001-6217-1559), Gun Hee Oh² (0000-0001-6089-7292), Young-Seuk Park³ (0000-0001-7025-8945), Ihn-Sil Kwak^{1,2,*} (0000-0002-1010-3965) (¹Fisheries Science Institute, Chonnam National University, Yeosu 59626, Republic of Korea; ²Department of Ocean Integrated Science, Chonnam National University, Yeosu 59626, Republic of Korea; ³Department of Biology, Kyung Hee University, Seoul 02447, Republic of Korea)

Abstract Sampling gears for collecting fish are diverse, and the community of fish varies according to the selection and characteristics of the sampling gears. The present study compared the characteristics of fish communities in Yedang reservoir using four sampling gears (kick net, cast net, gill net, and fyke net). The kick net and cast net were inefficient in collecting the number of individuals. However, they increased the species diversity of fish inhabiting the waterfront. Although not many individuals were collected, the gill net mainly collected large fish. The largest number of individuals was collected in the fyke net, and the dominance was high due to the high species selectivity. Through Self-Organizing Map (SOM) analysis, large fish were collected in the gill net, whereas small fish were collected in the fyke net. The characteristics and efficiency of the fish differed depending on the sampling gears. It is expected that researchers will need to use it appropriately according to the characteristics of the sampling gears when investigating the fish community.

Key words: sampling gear, fish assemblage, Yedang reservoir, SOM, self-organizing map

서 론

어류는 다양한 서식환경에 적응한 수생태계 최상위 소비자로 담수 생태계의 변화에 대한 이해 및 해석에 널리 활용되며, 특히 어류의 인위적인 스트레스 요인에 대한 광범위한 반응은 수생태계 내 생물 및 생태를 평가하는 데 유용한 지표로 사용되고 있다(Fausch *et al.*, 1984;

Schiemer, 2000; Jang *et al.*, 2006; Magurran *et al.*, 2018). 또한, 어류 군집에 대한 정보는 환경 평가를 비롯한 수생태계에서 생물 다양성의 보존과 수산 자원의 효율적인 관리를 위해 매우 중요하다(Pennington and Strømme, 1998; Kennard *et al.*, 2006; Fischer and Quist, 2014).

어류 군집 조사에 사용되는 채집도구는 채집되는 어류의 종 수, 개체수, 군집 구성에 직접적인 관련이 있어 적절한 어구를 선택하여 조사할 필요가 있다. 특히 정수생태계는 물리-화학적 특성이 표층과 저층에서 뚜렷하게 구별되기 때문에 다양한 채집 방법을 통한 어류 군집 조사가 요구된다(Fischer and Quist, 2014). 국외에서는 오래

Manuscript received 9 November 2022, revised 12 December 2022, revision accepted 13 December 2022

* Corresponding author: Tel: +82-61-659-7148, Fax: +82-61-653-6620
E-mail: iskwak@chonnam.ac.kr

© The Korean Society of Limnology. All rights reserved.

This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provide the original work is properly cited.

전부터 호소 내 서식하는 전체 어류 군집을 조사하기 위해 다양한 방법과 기술을 사용하여 연구를 진행하여 왔다(e.g., Jackson and Harvey, 1997; Whittier *et al.*, 1997; McInernyand and Cross, 2004; Clark *et al.*, 2007). Jackson and Harvey (1997)은 43개 호수에서 다양한 어구(minnow traps, plastic traps, fine- and coarse-mesh trap nets, and multimesh gill nets)를 사용하여 어류 군집을 조사하였을 때 어구간 상대적 종 풍부도에서 차이를 보였으며, Clark *et al.* (2007)은 호수의 수변부(littoral zone)에 서식하는 어류 조사를 위해 정치망(Fyke net)과 후릿그물(Shoreline seines) 간 어류 군집과 종 조성이 다르게 채집되는 결과를 도출하였다. 이러한 결과를 통해 어류 군집을 완전히 반영하기 위해 다양한 어구의 사용을 제시하였다. 호소 생태계에서 어구에 따른 어류 채집 효과에 대한 국내 연구는 소형 삼각망(5×5 mm, 20×20 mm)과 삼중자망(15×15 mm, 50×50 m) 간 어류의 종조성과 군집 특성의 차이(Jang *et al.*, 2006), 6가지 어구(외통발, 자망, 삼중자망, 투망, 족대, 통발)별 어류 군집 특성과 CPUE 효율성 연구(Han and An, 2010) 등이 있으며, 특히 Kim *et al.* (2020)은 투망과 자망을 이용한 어류 군집 조사를 통한 투망의 효율성과 서식지 특성에 맞는 적절한 채집 방법 선택의 필요성을 제시하였다(Kim *et al.*, 2020).

데이터 마이닝이나 인공신경망 기법이 발달하면서 대용량 데이터를 신속하게 처리하거나 여러 요인들에 의한 패턴 분석이 가능해지며 다양한 방법을 활용한 군집분석 방법이 진행되고 있다(Fayyad *et al.*, 1996; Jain *et al.*, 1999; Lu *et al.*, 2006; Arribas-Bel *et al.*, 2011). 그중 주성분 분석은 소량의 자료들을 활용하여 효율적으로 군집을 이루어 낼 수 있는 장점이 있으나, 비선형적 형태를 보이는 분석 대상에는 적합하지 않은 단점이 존재한다(Liu *et al.*, 2006; Reusch *et al.*, 2007). 이로 인해 기존의 주성분 분석의 대안으로 자가조직화지도(SOM, Self-Organizing Map) 분석이 대안으로 제시되고 있다. SOM 분석은 비교사학습(unsupervised learning)을 활용하는 인공신경망 기법 중 하나로, 고차원 자료를 저차원으로 나타낼 수 있으며, 대량의 군집 자료를 간단히 시각화하여 나타내기에 매우 용이하여 생태학에서 널리 이용되고 있는 분석이다(Kohonen, 2001).

따라서 본 연구는 예당호에서 채집도구별로 채집된 어류를 비교하고, 채집도구에 대한 정보를 제공하고자 하였다. 이를 위해 예당호 내 채집도구별 어류 종 조성을 비교하고, 유형화 분석을 이용하여 어구별 채집되는 패턴을 비교하여 채집도구에 대한 특성을 제공하고자 한다.

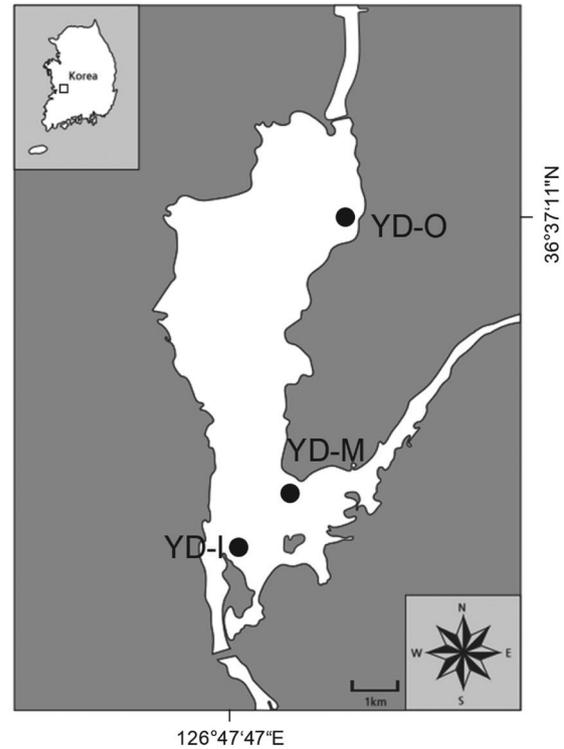


Fig. 1. Sampling sites in Yedang reservoir. YD-I: Yedang Inflow region; YD-M: Yedang middle-flow region; YD-O: Yedang Outflow region.

재료 및 방법

1. 조사 지점

본 연구 대상지인 예당호는 충청남도 예산군에 위치하며, 면적이 약 9.9 km²로 중형호에 속한다(NIER, 2017). 생물측정망 조사 및 평가지침(NIER, 2017)에 따라 유입부(YD-I), 중앙부(YD-M), 유출부(YD-O) 3개 정점으로 나누어 조사를 진행하였다(Fig. 1). 조사 시기는 2021년 4월, 7월, 10월에 각각 진행하였으며, 각 정점은 수문학적 특징에 따라 호소형으로 구분된다(ME, 2013).

2. 채집도구 및 조사방법

각 정점의 기초적인 환경 특성을 파악하기 위해 다항목 수질측정기(YSI, Professional Plus, USA)를 사용하여 수온(Water temperature, WT), 용존산소(Dissolved oxygen, DO), pH, 전기전도도(Electrical conductivity, EC)를 측정하였다. 어류 채집을 위해 각 정점의 수변부에서 족대와 투망을 사용하였으며, 수심 약 3 m 이내에서 표층 자망과 삼각망을 사용하였다. 표층자망의 경우, 4절(삼중망, 망목

45×45 mm, 높이 1.5 m, 길이 50 m)과 12절(삼중망, 망목 12×12 mm, 높이 0.9 m, 길이 50 m)을 이어서 설치하였으며, 삼각망(망목 4×4 mm, 유도망 높이 2.4 m, 길이 20 m, 3개의 포켓)을 사용하여 모든 정점에서 동일한 규격을 사용하여 어류 채집을 진행하였다. 정량적인 조사를 위해 족대는 30~60분, 투망은 20회 기준으로 조사를 진행하였고, 자망과 정치망은 생물측정망 조사 및 평가지침(NIER, 2017)에 따라 18시간(오후 설치 및 오전 회수) 동안 설치 후 채집된 어류를 수거하였다.

채집한 어류는 현장에서 동정 및 분류하여 종별로 체장(0.1 mm)과 무게(g)를 측정 후 즉시 방류하였으며, 생태교란종인 배스(*Micropterus salmoides*)와 블루길(*Lepomis macrochirus*)은 수거 후 처리하였다. 어류의 동정은 Kim *et al.* (2005)에 따랐으며, 분류체계 및 학명은 Nelson *et al.* (2016)과 Froese and Pauly (2022)에 따랐다.

3. 데이터 분석

예당호에서 우점종으로 출현한 블루길의 체장 분포는 신뢰도 90% 내에서 SigmaPlot 10.0 software (Systat Software Inc., San Jose, U.S.A.)을 이용하여 작성하였다.

예당호에서 어류의 채집 특성을 파악하기 위해 비지도 신경회로망 중 하나인 Self-Organizing Map (SOM)을 통해 패턴을 분석하였다(Kohonen, 1982). SOM 모형의 입력 변수는 조사 정점(YD-I, YD-M, YD-O), 조사 시기, 체장, 체중, 채집도구(족대, 투망, 자망 및 삼각망)를 활용하였다. SOM의 결과를 제시해 주는 출력층은 6각형 형태의 4×5로 구성된 출력인자를 사용하였다. 이때 SOM의 학습율은 초기 0.05에서 0.01까지 감소하며, 전체 학습횟수는 1,000회로 설정하였다. 최종적으로 SOM을 학습한 후 얻어진 가중치를 이용하여, 어류 채집 자료를 유형화하였다. 학습된 SOM은 Bray-Curtis 거리와 Ward 연결방법을 사용한 계층적 군집화(hierarchical clustering)를 통해 세부 그룹으로 구분하였다. SOM 모형 구축과 데이터 분석은 “kohonen”과 “vegan”을 사용하였다(Wehrens and Kruisselbrink, 2018; Oksanen *et al.*, 2019).

각 채집도구에 따른 어류 군집의 특성을 분석하기 위하여 SOM과 마찬가지로 Bray-Curtis 거리를 산출한 후, Ward 연결 방법을 이용하여 계층 군집 분석(Hierarchical cluster analysis, HCA)을 수행하였다. 개체수 변이를 줄이기 위해 로그로 변환하였으며, 로그 0의 불능을 피하고자 개체수에 1을 더하여 입력 자료로 활용하였다. 이후, 생물 군집의 공간간적 변이와 군집지수 및 채집도구와의 관계를 분석하기 위하여 “vegan”을 이용하여 다차원적도

Table 1. Values of water quality measured from each sampling sites in Yedang reservoir

Month	Sites	WT	DO	Ph	EC
Apr.	YD-I	18.5	12.2	8.8	295
	YD-M	17.5	11.3	8.2	289
	YD-O	17.7	11.6	7.6	289
Jul.	YD-I	33.1	8.6	8.8	268
	YD-M	31.3	7.5	9.0	300
	YD-O	30.1	8.1	8.9	303
Oct.	YD-I	17.6	8.6	6.8	245
	YD-M	17.2	7.7	8.7	229
	YD-O	16.0	7.9	8.9	249

WT: Water temperature; DO: Dissolved oxygen; pH: Potential of hydrogen; EC: Electrical conductivity

법(Non-metric multidimensional scaling, NMDS) 분석을 수행하였다(McCune *et al.*, 2002). 모든 분석은 R studio (version 2021.09.1)을 이용하여 진행하였다.

결 과

1. 기초수질 특성

조사지점의 수질은 같은 조사 시기 내에서 지점 간 차이는 크지 않았으며, 조사 시기에 따라 차이가 나타났다(Table 1). 계절적 특성에 따라 7월에 평균 수온이 31.5±1.5°C로 가장 높게 나타났으며, 4월에 11.7±0.6 mg L⁻¹였던 평균 DO는 7월과 10월에 각각 8.1±0.6 mg L⁻¹, 8.1±0.5 mg L⁻¹로 감소하였다.

2. 예당호 어류 종조성

본 연구에서 채집된 어류는 총 4목 8과 15종, 9,113개체, 82,013.8 g이 채집되었다(Table 1). 조사 기간 중 가장 많이 채집된 종은 블루길로 8,410개체(92.3%)가 채집되어 가장 우점하였으며, 다음으로 치리(*Hemiculter leucisculus*)가 464개체(5.1%), 배스가 109개체(1.2%) 순으로 출현하였고 그 외 어류들은 모두 1% 미만의 상대 풍부도(Relative abundance)를 보였다. 무게는 블루길이 32,484.6 g(39.6%)로 가장 높은 생체량이 측정되었으며, 떡붕어(*Carassius cuvieri*)와 붕어(*Carassius auratus*)는 각각 12개체와 35개체만이 채집되었으나, 13,764.0 g(16.8%)과 13,294.7 g(16.2%)으로 높은 생체량이 측정되었다.

Table 2. The number of individuals and biomass for fish caught in Yedang reservoir by each month

Species	Apr.		Jul.		Oct.		Total	
	N	W	N	W	N	W	N	W
<i>Cyprinus carpio</i>	2	2,193.0	1	270.0			3	2,463.0
<i>Carassius auratus</i>	16	5,388.4	8	3,030.1	11	4,876.2	35	13,294.7
<i>Carassius cuvieri</i>	8	9,423.0			4	4,341.0	12	13,764.0
<i>Acanthorhodeus chankaensis</i>					1	0.8	1	0.8
<i>Zacco platypus</i>			1	3.4			1	3.4
<i>Hemiculter leucisculus</i>	16	341.5	197	5,082.8	251	3,337.0	464	8,761.3
<i>Pseudorasbora parva</i>	16	91.3			32	170.7	48	262.0
<i>Hemibarbus longirostris</i>	4	232.0					4	232.0
<i>Pseudogobio esocinus</i>	7	309.2					7	309.2
<i>Cobitis nalbanti</i>			1	7.4			1	7.4
<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>	2	8.1					2	8.1
<i>Silurus asotus</i>	4	2,550.3					4	2,550.3
<i>Micropterus salmoides</i>	18	3,783.3	72	3,118.3	19	967.8	109	7,869.4
<i>Lepomis macrochirus</i>	328	9,460.7	5,685	16,127.3	2,397	6,896.6	8,410	32,484.6
<i>Rhinogobius brunneus</i>			12	3.6			12	3.6
Total	421	33,780.8	5,977	27,642.9	2,715	20,590.1	9,113	82,013.8
Number of species	11		8		7		15	

N: Number of individuals; W: Weight (g)

조사 시기별로는 4월에 6과 11종으로 가장 많은 종수가 출현하였으며, 7월에 5과 8종, 10월에 5과 7종 순으로 채집되었다 (Table 2). 반면에 개체수는 4월에 421개체만이 채집되었으나, 7월에 5,977개체로 급격히 증가하여 가장 많은 개체수가 채집되었으며, 10월에 2,715개체가 채집되었다. 하지만 생체량은 4월에 33,780.8 g으로 개체수 대비 가장 높은 값을 보였다.

채집 도구별로 채집된 어류를 살펴본 결과, 족대에서 채집된 어류는 3과 4종 228개체 (1,455.7 g)였고, 투망에서는 5과 8종 294개체 (8,312.4 g), 자망에서는 4과 9종 653개체 (51,342.6 g), 삼각망에서 7과 9종 7,938개체 (20,903.1 g)가 채집되었다 (Table 3).

예당호에서 채집된 어류 중 10개체 미만 채집된 종을 제외한 계절별 상대풍부도는 Fig. 2a에 나타내었다. 4월에 채집된 어류는 총 402개체였으며, 328개체가 블루길이 채집되어 상대풍부도 81.6%로 나타났다. 이후 7월에 블루길의 개체수가 급증하여 5,685개체가 채집되었으며, 상대풍부도도 95.2%로 극우점하는 결과를 나타내었다. 10월에도 블루길이 2,397개체가 채집되어 가장 우점한 종이었으며, 상대풍부도가 88.3%로 나타났다. 예당호에서 가장 많은 개체가 채집되어 최우점하였던 블루길 체장분포를 계절과 정점별로 나누어 비교하였다 (Fig. 2b). 계절별로는 4월에

평균 72.4 ± 24.9 mm로 가장 높았으며, 7월에 평균 57.7 ± 39.8 mm, 10월에 평균 42.6 ± 30.1 mm로 평균 체장분포가 작아지는 경향을 보였다.

3. 어구에 따른 예당호 채집 어류의 유형화

예당호에서 채집한 어류를 이용한 SOM 분석 결과 4×5 구조에서 최적화되었으며, SOM 모형을 적용시킨 결과를 통해 총 3개의 cluster로 분류하였다 (Fig. 3). 어류의 군집은 SOM 지도에서 어구의 특성을 반영하여 뚜렷하게 구분되었다.

SOM 모형의 입력변수에서 조사지점, 조사시기는 각 cluster에 유의한 영향을 끼치지 않았다 (Fig. 4). 하지만, 체장이 큰 어류는 SOM 지도의 위쪽에 위치하였으며, 체장이 작은 어류는 아래쪽에 분포하여 체장과 어구 간 유의한 관계가 있는 것을 확인하였다. 각 어구의 SOM 분석 결과, 자망에서 채집된 어류는 대부분 cluster 2와 cluster 3에 위치한 반면 족대와 삼각망에서 채집된 어류는 cluster 1에 주로 분포하여 서로 상반되는 결과를 나타내었다.

Hierarchical clustering 결과, 조사시기별 사용한 채집도구와 채집된 어류의 계층 군집 분석에서는 족대, 투망 및 자망이 뚜렷하게 구분되어졌으며, 삼각망은 모든 cluster

Table 3. List of fish species caught by each sampling gear in Yedang reservoir

Species	Kick net		Cast net		Gill net		Fyke net	
	N	W	N	W	N	W	N	W
<i>Cyprinus carpio</i>			1	270.0	2	2,193.0		
<i>Carassius auratus</i>					33	12,966.9	2	327.8
<i>Carassius cuvieri</i>					10	11,145.0	2	2,619.0
<i>Acanthorhodeus chankaensis</i>							1	0.8
<i>Zacco platypus</i>			1	3.4				
<i>Hemiculter leucisculus</i>			28	467.4	271	7,471.9	165	822
<i>Pseudorasbora parva</i>	4	27.4	11	64.7	6	26.9	27	143
<i>Hemibarbus longirostris</i>					4	232.0		
<i>Pseudogobio esocinus</i>					7	309.2		
<i>Cobitis nalbanti</i>			1	7.4				
<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>			1	4.7			1	3.4
<i>Silurus asotus</i>							4	2,550.3
<i>Micropterus salmoides</i>	2	2.5	82	5,604.5	10	641.6	15	1,620.8
<i>Lepomis macrochirus</i>	210	1,422.2	169	1,890.3	310	16,356.1	7,721	12,816.0
<i>Rhinogobius brunneus</i>	12	3.6						
Total	228	1,455.7	294	8,312.4	653	51,342.6	7,938	20,903.1
Number of species	4		8		9		9	

N: Number of individuals; W: Weight (g)

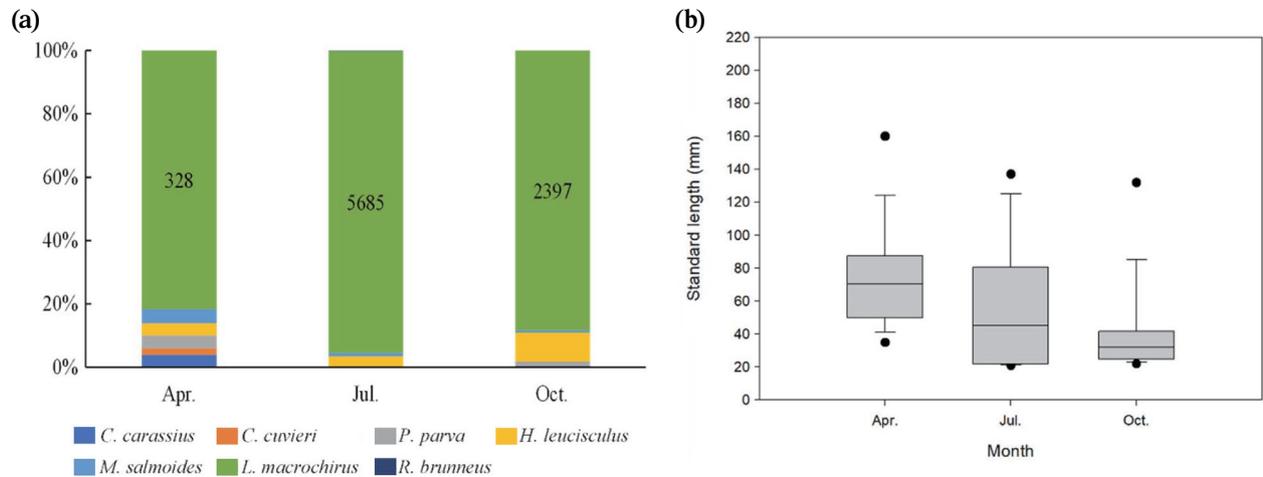


Fig. 2. Relative abundance of fish (a) and comparison of standard length distribution for *Lepomis macrochirus* (b) caught in Yedang reservoir. Standard length defined by a lower 90% confidence limit.

에 고르게 분포하였다(Fig. 5a). 블루길은 모든 채집도구에서 채집되는 결과를 보였으며, 배스와 치리는 투망과 자망에 주로 채집되는 경향을 보였다. NMDS 분석 결과 예당호에서 채집된 어류는 채집도구에 따라 구분되어 나타났다(Fig. 5b). 블루길, 배스 및 치리는 NMDS의 중앙에 위

치하여 모든 채집도구에서 채집되었던 결과를 나타내주었다. 특히, 자망에서만 채집되었던 참마자 (*Hemibarbus longirostris*)와 모래무지 (*Pseudogobio esocinus*), 족대에서만 채집되었던 밀어 등 채집도구에 따른 어류가 구분되었다.

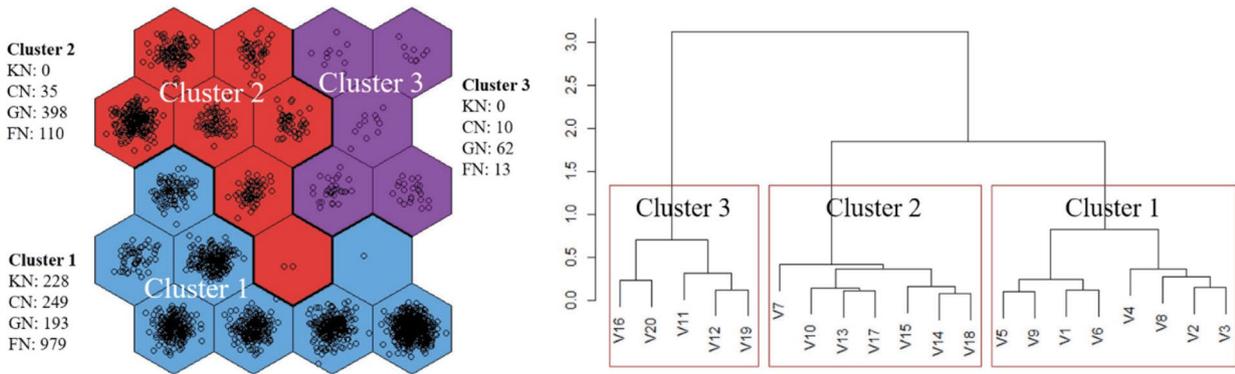


Fig. 3. Clustering through data learning by the self-organizing map. KN: Kick net; CN: Cast net; GN: Gill net; FN: Fyke net. V1~20 means each neuron. Each neuron is V1~4, V5~8, V9~12, V13~16, and V17~20 from the bottom row.

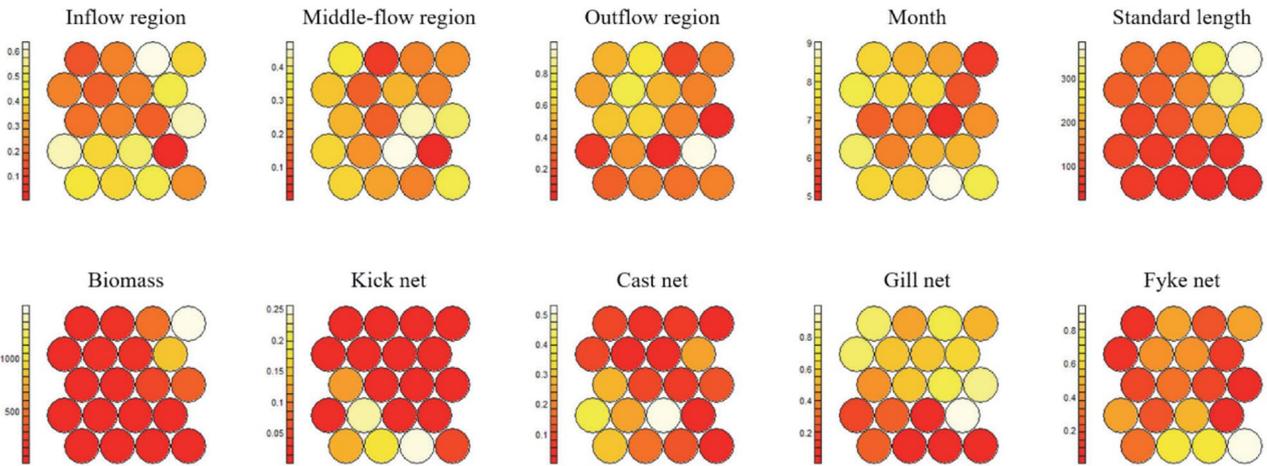


Fig. 4. Component planes display the contribution of each variable to the classification of sampling sites, gears, and information of fish data. White represents high values of each variable, whereas red is for low values. The values were calculated during the learning process of the network.

고찰

본 연구에서 다양한 채집도구를 통해 예당호에 서식하는 어류의 종조성을 파악하고, 채집도구별로 채집되는 어류 군집 특성을 파악하였다. 예당호 내 모든 채집도구에서 가장 많은 개체수가 채집된 종은 블루길이었다. 블루길은 수초가 많고 유속이 느린 하천이나 호수, 연못 등에 서식하여 댐이나 저수지에서 높은 우점도를 나타내는 것으로 알려져 있다(Schneider, 1999). 과거 예당호에서 진행된 어류 군집 연구(Kim *et al.*, 2019)에서 2013년과 2014년 조사에서는 블루길이 출현하지 않았으며, 2017년에 241개체(4.2%)만이 채집되었다. 하지만 본 연구에서 블루길은 8,410개체(92.3%)가 채집되어 개체수가 급증하는 결과를

보였다. 특히, 블루길의 개체수는 4월에 비해 7월에 급격히 증가하였는데, 이는 블루길의 주 산란기가 4~6월로 산란기가 길며, 한번에 약 20,000마리의 알을 낳는 특성으로 인해 개체수가 급증한 것으로 사료된다.

어류 군집 조사 시 채집도구에 따라 어획되는 어류의 종조성이나 군집 특성이 다르게 나타나는 경향이 있다(Jang *et al.*, 2006; Han and An, 2010). 본 연구에서 사용한 채집도구는 족대, 투망, 자망, 삼각망으로, 족대와 투망에서는 다른 채집도구에 비해 채집되는 어류의 개체수가 적었으며, 삼각망이 가장 많은 개체수가 채집되었고, 생체량은 자망에서 가장 높게 나타났다. 족대와 투망은 수심이 얇은 하천에 주로 사용하지만, 호소생태계에서는 다른 어구를 보완하기 위한 보조 도구로 많이 쓰이고 있다(Meador

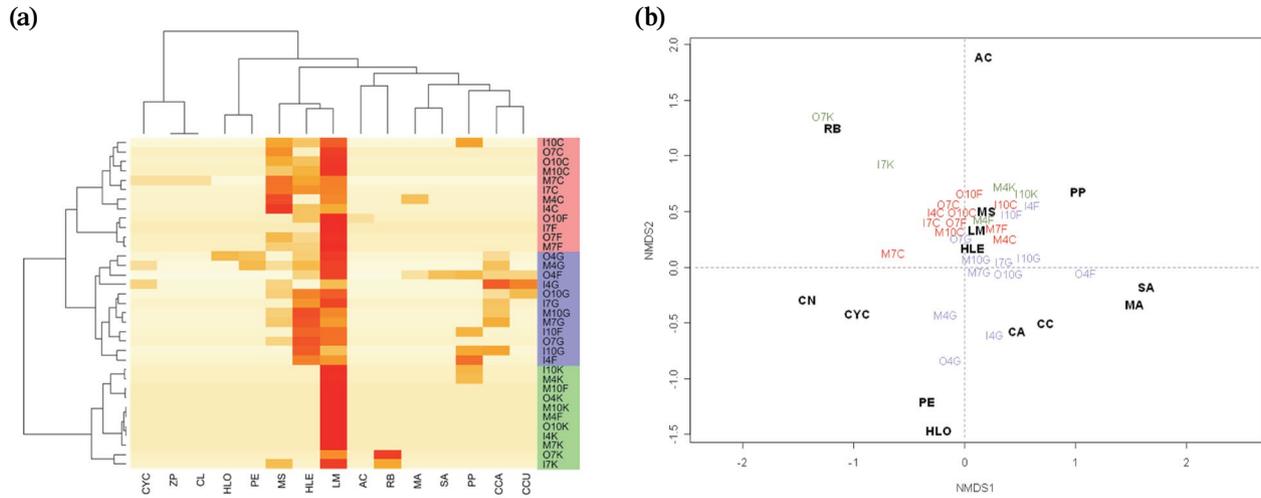


Fig. 5. Hierarchical clustering analysis (a) and Non-metric multidimensional scaling (NMDS) (b) of sampled fishes according to the sampling gears. The abbreviations of fish species are as follows: CYC, *Cypinus caprio*; ZP, *Zacco platypus*; CN, *Cobitis nalbanti*; HLO, *Hemibarbus longirostris*; PE, *Pseudogobio esocinus*; MS, *Micropterus salmoides*; HLE, *Hemiculter leucisculus*; LM, *Lepomis macrochirus*; AC, *Acanthorhodeus chankaensis*; RB, *Rhinogobius brunneus*; MA, *Misgurnus anguillicaudatus*; SA, *Silurus asotus*; PP, *Pseudorasbora parva*; CA, *Carassius auratus*; CC, *Carassius cuvieri*; I, inflow region; M: middle-flow region; O, outflow region; K, kick net; C, cast net; G, gill net; F, fyke net. The number indicates the month in which the fish was sampled.

and Kelso, 1990; Stevens *et al.*, 2006). 호소의 수변부 지형은 수심이 급격하게 깊어지는 특성이 있기 때문에 자망이나 삼각망에 비해 효율적이지 못하였으나, 자망이나 삼각망에서 채집되지 않은 밀어(*Rhinogobius brunneus*), 피라미(*Zacco platypus*), 점줄종개(*Cobitis nalbanti*)가 채집되어 종 다양성을 늘리는 보조도구로써 유용한 것으로 나타났다.

자망은 어구를 인식하지 못하고 그물에 꽂히거나 얽히게 하여 어류를 채집하는 어구로(Park *et al.*, 2016), 국내에서 어업과 어류 군집 조사에서 가장 선호되는 어구이며(Yoon *et al.*, 2015; Kim *et al.*, 2020), 망목과 설치 위치에 따라 채집되는 어류의 크기와 종에 차이가 있다. 일반적으로 자망에 채집되는 어류는 중간 크기 이상의 대형 어류로, 80 mm 이하의 소형 어류의 채집은 쉽지 않으며(Huse *et al.*, 2000; Jørgensen *et al.*, 2009), 어류의 체형, 등지느러미 가시의 유무, 체고(body depth) 및 둘레(girth)의 길이 영향이 큰 것으로 알려져 있다(Reis and Pawson, 1999; Carol and García-Berthou, 2007). 본 연구에서 사용된 채집 도구(족대, 투망, 삼각망)에 비해 자망으로 채집된 어류의 체장과 생체량이 큰 잉어, 붕어, 떡붕어가 상대적으로 많은 개체수가 채집되었으며, 등지느러미 극조가 존재하는 블루길의 경우 자망에서 채집된 경우에 체장이 상대적으로 컸다.

삼각망은 길그물에 차단된 이동성 어류를 자루그물 속

으로 유도하여 채집하는 방법으로, 많은 종의 채집에 효과적이며 종 선택성이 크다(Kim, 1999; Fischer *et al.*, 2010). 예당호에서 삼각망을 이용해 채집된 어류의 군집구조도 블루길(7,721개체, RA: 97.3%)과 치리(271개체, RA: 3.4%)의 높은 종 선택성으로 인해 우점도 지수가 0.993으로 산출되었다. 블루길의 경우, 소형 어류와 유어들이 수변부에서 무리를 지어 유명하다 유도망을 따라 채집된 것으로 보이며, 자루그물의 작은 그물코로 인해 빠져나가지 못하였던 것으로 보여진다. 따라서 삼각망을 이용한 조사에서 나타나는 높은 종 선택성은 어류 군집 조사 시 생태계 내에서 특정 어종이 우점하고 있다는 오류를 범할 수 있을 것으로 판단된다.

SOM에서 나타난 채집도구와 입력변수와의 관계는 체장이 가장 유의한 패턴을 보였다. 특히 cluster 1에서 삼각망에서 채집된 어류의 영향이 큰 동시에 체장이 작은 어류가 분포한 반면에, cluster 2와 cluster 3에서 체장이 큰 어류들이 주로 분포하였다. 두 개의 cluster에 자망에서 채집된 어류의 개체수가 많은 것으로 보아 자망에서는 다른 채집도구에 비해 적은 개체수와 체장이 큰 개체가 채집되는 반면 삼각망에서는 많은 개체수와 체장이 작은 개체가 채집되는 어류의 뚜렷한 특성 차이가 나타났다.

예당호에서 채집도구에 따른 어류 군집 특성은 HCA와 NMDS를 통해 확인하였다. 이는 족대, 투망, 자망이 뚜렷하게 구분되는 특성을 반영하였으며, 어류 군집 조사 시

어구의 특성을 반영하여 4가지 채집도구를 동시에 사용하는 것을 제시할 수 있다. 또한, 삼각망은 선택적 어구로써 이용할 수 있을 것으로 생각된다. 특히, SOM 분석을 통해 나타난 삼각망과 자망의 반대되는 특성은 채집되는 어류의 군집 차이보다는 체장 분포 차이가 뚜렷하게 나타나는 것을 나타내었다. 또한, 족대와 투망은 많은 개체를 채집하는 데 효율적인 도구는 아니지만, 서식처에 따른 종 다양성을 늘리는데 유용한 것으로 나타났다. 본 연구는 다양한 채집도구의 사용이 호 내에서 전체적인 어류군집을 나타낼 수 있음을 보여주고 있다. 또한, 자망과 삼각망의 어류의 체장 분포의 차이는 어류를 조사하는 연구자에게 다양한 정보를 제공할 수 있을 것이다.

적 요

어류 채집도구는 다양하며, 채집도구의 선택과 특성에 따라 채집되는 어류의 군집에 차이가 나타난다. 본 연구는 예당호에서 4개의 채집도구(족대, 투망, 자망 및 삼각망)를 이용하여 어류 군집을 조사하고 비교하였다. 족대와 투망은 개체수를 채집하는 데 효율적이지 않았으나, 수변부에 서식하는 어류의 종 다양성이 높았다. 자망의 경우, 체장이 길거나 등지느러미 극조가 존재하는 어류가 주로 채집되었다. 삼각망에서는 가장 많은 개체수가 채집되었으며, 높은 종 선택성으로 인해 우점도가 높아지는 것으로 나타났다. NMDS 분석에서 족대, 투망 및 자망 간 채집되는 어류의 뚜렷한 차이가 나타났다. 비지도학습법인 Self-organizing map (SOM) 분석으로 자망에서는 체장이 큰 어류가 채집되는 반면 삼각망에서는 체장이 작은 어류가 채집되는 패턴 특성을 밝혀내었다. 채집도구에 따라 어류의 생태적인 특성과 종 다양성 효율이 다르게 나타났으며, 어류 군집조사 시 서식환경과 목적에 부합되는 채집도구를 선택할 필요성이 있다. 또한, 서식처 유형에 적합한 채집도구의 표준화로 연구자 간의 차이를 줄이는 방법의 제시가 요구된다.

저자정보 광인실(전남대학교 교수), 유태식(전남대학교 박사 후 연구원), 지창우(전남대학교 학술연구교수), 김용준(전남대학교 해양융합과학과 석사과정), 오건희(전남대학교 해양융합과학과 학부과정), 박영석(경희대학교 교수)

저자기여도 연구설계: 유태식, 지창우, 광인실, 자료 수집 및 관리: 유태식, 지창우, 김용준, 오건희, 자료분석: 유태식, 지창우, 원고작성: 유태식, 지창우, 과제관리: 광인실, 박영석, 원고 수정 및 검토: 모든 저자

이해관계 본 연구는 이해관계의 충돌 여지가 없습니다.

연구비 본 결과물은 한국연구재단의 지원(NRF-2018R1A6A1A03024314)과 환경부의 재원으로 한국환경산업기술원 수생태계 건강성 확보 기술개발사업의 지원(2020003050003, 2021003050001)을 받아 연구되었습니다.

REFERENCES

- Arribas-Bel, D., P. Nijkamp and H. Scholten. 2011. Multidimensional urban sprawl in Europe: A self-organizing map approach. *Computers, Environment and Urban Systems* **35**(4): 263-275.
- Carol, J. and E. Garica-Berthou. 2007. Gillnet selectivity and its relationship with body shape for eight freshwater fish species. *Journal of Applied Ichthyology* **23**(6): 654-660.
- Clark, S.E., J.R. Jackson and S.E. Lochman. 2007. A comparison of shoreline seines with fyke nets for sampling littoral fish communities in floodplain lakes. *North American Journal of Fisheries Management* **27**(2): 676-680.
- Fausch, K.D., J.R. Karr and P.R. Yant. 1984. Regional application of an index of biotic integrity based on stream fish communities. *Transactions of the American Fisheries Society* **113**(1): 39-55.
- Fayyad, U., G. Piatesky-Shapiro and P. Smyth. 1996. From data mining to knowledge discovery in databases. *AI Magazine* **17**(3): 37.
- Fischer, J.R. and M.C. Quist. 2014. Characterizing lentic freshwater fish assemblages using multiple methods. *Environmental Monitoring and Assessment* **186**(7): 4461-4474.
- Fischer, J.R., N.P. Johnson, R.D. Schultz and M.C. Quist. 2010. A comparison of modified fyke nets for evaluating fish assemblages and population structure. *Journal of Freshwater Ecology* **25**(4): 555-563.
- Froese, R. and D. Pauly. 2022. Fishbase. World Wide Web electronic publication. www.fishbase.org, version (02/2022).
- Han, J.H. and K.G. An. 2010. Analysis of fish fauna by sampling gear as a preliminary survey for ecosystem health assessments in Jinyang reservoir. *Korean Journal of Limnology* **43**(1): 103-116.
- Huse, I., S. Løkkeborg and A.V. Soldal. 2000. Relative selectivity in trawl, longline and gillnet fisheries for cod and haddock. *ICES Journal of Marine Science* **57**(4): 1271-1282.
- Jackson, D.A. and H.H. Harvey. 1997. Qualitative and quantitative sampling of lake fish communities. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **54**(12): 2807-2813.
- Jain, A.K., M.N. Murty and P.J. Flynn. 1999. Data clustering: a review. *ACM Computing Surveys* **31**(3): 264-323.
- Jang, Y.S., K.Y. Lee, J.K. Choi, J. Seo and J.S. Choi. 2006. Sampling effects on fishing gears in the Hoengseong reservoir. *Korean Journal of Limnology* **39**(2): 245-256.

- Jørgensen, C., B. Ernande and Ø. Fiksen. 2009. Size-selective fishing gear and life history evolution in the Northeast Arctic cod. *Evolutionary Applications* **2**(3): 356-370.
- Kennard, M.J., B.J. Pusey, B.D. Harch, E. Dore and A.H. Arthington. 2006. Estimating local stream fish assemblage attributes: sampling effort and efficiency at two spatial scales. *Marine and Freshwater Research* **57**: 635-653.
- Kim, D.A. 1999. Introduction of fishing gear. Pyeonghwa Print Publishing Work, Suncheon.
- 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.
- Kim, J.H., S.H. Park, S.H. Baek, M.H. Jang, H.J. Lee and J.D. Yoon. 2020. Does different performance of sampling gears (cast net versus gill net) bring the inappropriate estimation of freshwater fish in a large river?. *Korean Journal of Ecology and Environment* **53**(2): 156-164.
- Kim, S.Y., M. Song, H.J. Jeon, K.H. Kim, W.O. Lee and H. Park. 2019. Fish species composition and community structure in lake Yedang, Korea. *Korean Journal of Ichthyology* **31**(2): 101-109.
- Kohonen, T. 1982. Self-organized formation of topologically correct feature maps. *Biological Cybernetics* **43**(1): 59-69.
- Kohonen, T. 2001. Self-organizing Maps. Springer, Berlin.
- Liu, Y., R.H. Weisberg and C.N. Mooers. 2006. Performance evaluation of the self-organizing map for feature extraction. *Journal of Geophysical Research: Oceans* **111**: C05018.
- Lu, H.C., C.L. Chang and J.C. Hsieh. 2006. Classification of PM₁₀ distributions in Taiwan. *Atmospheric Environment* **40**: 1452-1463.
- Magurran, A.E., A.E. Deacon, F. Moyes, H. Shimadzu, M. Dornelas, D.A. Phillip and I.W. Ramnarine. 2018. Divergent biodiversity change within ecosystems. *Proceedings of the National Academy of Sciences* **115**(8): 1843-1847.
- McCune, B., J. Grace and D.L. Urban. 2002. Analysis of ecological communities. MjM software design, Gleneden Beach.
- McInerney, M.C. and T.K. Cross. 2004. Comparison of day electrofishing, night electrofishing, and trap netting for sampling in shore fish in Minnesota Lakes. *Minnesota Department of Natural Resources* **161**: 1-49.
- ME (Ministry of Environment). 2013. Study on the application of environmental standards for rivers and lakes.
- Meador, M.R. and W.E. Kelso. 1990. Physiological responses of largemouth bass, *Micropterus salmoides*, exposed to salinity. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **47**(12): 2358-2363.
- Nelson, J.S., T.C. Grande and M.V.H. Wilson. 2016. Fishes of the world 5th edition. John Wiley & Sons, New York.
- NIER (National Institute of Environmental Research). 2017. Bio-monitoring survey and assessment manual.
- Oksanen, J., F.G. Blanchet, M. Friendly, R. Kindt, P. Legendre, D. McGlenn, P.R. Minchin, R.B. O'hara, G.L. Simpson, P. Solymos and M.H.H. Stevens. 2019. Vegan: community ecology package (version 2.5-6). The Comprehensive R Archive Network.
- Park, C.D., J.H. Bae, S.K. Cho, H.C. An and I.O. Kim. 2016. Size selectivity of the gill net for spinyhead sculpin, *Dasycottus setiger* in the eastern coastal waters of Korea. *Journal of the Korean Society of Fisheries Technology* **52**(4): 281-289.
- Pennington, M. and T. Strømme. 1998. Surveys as a research tool for managing dynamic stocks. *Fisheries Research* **37**(1-3): 97-106.
- Reis, E.G. and M.G. Pawson. 1999. Fish morphology and estimating selectivity by gillnets. *Fisheries Research* **39**(3): 263-273.
- Reusch, D.B., R.B. Alley and B.C. Hewitson. 2007. North Atlantic climate variability from a self-organizing map perspective. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* **112**: D02104.
- Schiemer, F. 2000. Fish as indicators for the assessment of the ecological integrity of large rivers. *Hydrobiologia* **422**(423): 279-289.
- Schneider, J.C. 1999. Dynamics of quality bluegill populations in two Michigan lakes with dense vegetation. *North American Journal of Fisheries Management* **19**(1): 97-109.
- Stevens, P.W., C.L. Montague and K.J. Sulak. 2006. Patterns of fish use and piscivore abundance within a reconnected salt-marsh impoundment in the northern Indian River Lagoon, Florida. *Wetlands Ecology and Management* **14**(2): 147-166.
- Wehrens, R. and J. Kruisselbrink. 2018. Flexible Self-Organizing Maps in kohonen 3.0. *Journal of Statistical Software* **87**(7): 1-18.
- Whittier, T.R., D.B. Halliwell and S.G. Paulsen. 1997. Cyprinid distributions in Northeast USA lakes: evidence of regional-scale minnow biodiversity losses. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **54**(7): 1593-1607.
- Yoon, J.D., J.H. Kim, H.J. Lee and M.H. Jang. 2015. Use of the cast net for monitoring fish status in reservoirs distributed in the Korean peninsula. *Journal of Ecology and Environment* **38**(3): 383-388.