

LEHA 모델을 이용한 어류군집 특성 분석 및 건강성 평가

한석중* · 김봉래* · 차준성** · 강경호** · 정민민*†

(*국립수산과학원 · **전남대학교)

Health Evaluation and Fish Population Analysis by Using LEHA (Lentic Ecosystem Health Assessment) Model

Seock-Jung HAN* · Bong-Rae KIM* · Jun-Seong CHA** · Kyoung-Ho KANG** · Min-Min JUNG*†

(*National Fisheries Research & Development Institute · **Chonnam National University)

Abstract

Health assessment of aquatic ecosystem was investigated by using LEHA (Lentic Ecosystem Health Assessment) model method with habitat fish population structure analysis in this study. The investigation was two comparison spots (St 1; floating island, St 2; 500 m away site from st 1) in the Habcheon lake of Korea. As results, health evaluation of Habcheon lake ecosystem was fair grade of LEHA scores base on metric values in both place (30 score in st. 1 and 32 score in st. 2).

Key words : Ecosystem health, Floating island, Habcheon lake, LEHA Model

I. 서론

수서생태계에서 그 생태계의 건강성을 반영하는 생물지표(Biological indicator)로써 어류상은 매우 중요한 분석 항목이며, 어류는 비교적 수명이 길고 광범위한 서식지를 활발하게 이동할 수 있기 때문에 미국, 캐나다 등지에서는 서식 어류상을 분석하는 생물통합지수(IBM, Index of Biological Index)라는 방법을 채택하여 생태계의 건강성을 평가하고 있다(Ahn et al., 2001a).

우리나라 하천 생태계 건강성 평가에 대한 모델은 Ahn et al., (2001a, b)에 의해 개발되어 유수 생태계에 적용된 후 하천 생태계를 총체적으로 진단한 사례가 있으며(Ahn and Han, 2007), 여기에서 사용되는 분석 모델은 생물학적 평가 기법

중 다변수를 적용한 생물평가 방법으로서, 수서 생태계내에서는 최상위 소비자로 분류되는 어류를 이용한 생물통합지수(IBM) 모델이다(Karr and Dudley, 1981).

한편, 일반적으로 수초재배섬은 부착기질에 기생하는 유용 미생물이 활성화되면서 각종 유기물과 영양염류는 흡착되고 분해되면서 수질개선을 도모하게 되며 이를 통하여 건강한 수서생태계를 유지하거나 이 과정을 통하여 건강한 수서생태계로 복원시킬 수 있는 것으로 알려져 있다. 이 연구에서는 우리나라 생태계 건강성 평가의 일환으로 생물통합지수(IBM)의 메트릭 분석 값에 기반을 두어, 합천호 수초 재배섬과 그 주변의 어류군집 특성을 살펴보고, Ahn et al., (2001a)에 의해 개발된 LEHA 모델 분석 방법을 적용하여, 생태계의

† Corresponding author : 064-750-4320, jminmin@korea.kr

* 이 논문은 국립수산과학원((RP-2014-AQ-106)의 연구지원으로 수행되었음.

건강성을 조사하였다.

II. 재료 및 방법

조사 분석을 위하여 연구팀은 2012년 6월부터 11월까지 총 11회에 걸쳐서 우리나라의 경상남도에 위치한 합천호(E 127 58, N 35 37)에서 어류 채집을 실시하였다. 조사는 합천호의 2개소에서 실시되었는데, 정점 1(St.1)은 수초 재배섬이 시설되어 있는 곳으로 수심은 평균 15~20 m 내외였고, 이 수초 재배섬은 2008년도에 시설된 대병 1호로서, 40×20 m=800 m²의 크기로 모양은 직사각형이며, 노랑꽃 창포를 1 m²당 16본을 식재하여 총 640본이 식재된 산란장이다. 조사정점 2(St.2)는 조사 정점 1의 수초 재배섬으로부터 약 500 m 정도 떨어진 수심이 10 m 이하인 곳이었다.

어류채집은 정치망(망목 크기 10×10 mm, 폭 7m)과 자망(망목 크기 15×15 mm, 길이 50 m, 높이 0.5 m)을 각각 2개씩 설치하여 2~3일 후에 그물을 수거하여 어획된 생물을 채집하는 방법을 사용하였다. 채집된 어류는 신선도를 유지하면서 실험실로 옮긴 후, 다음날 전장, 체장, 중량 등을 측정하였고, 쏘가리 등 일부 어종은 현장에서 바로 동정하고 크기를 측정한 후 산채로 방류하였다. 어류의 동정과 분류 체계는 Nelson(1994)을

참고하였다.

생태계의 건강성 평가는 LEHA 모델에 근거하여 평가하였으며(Barbour et al., 1999), M1~M8은 기존 하천 건강성 평가 모델인 생물통합지수 IBI (Index of Biological Integrity)에 기반을 둔 메트릭이며, M9~M10은 Ahn and Han(2007)에 의해 새롭게 개발된 메트릭을 적용하였다. 등급별로 적용한 LEHA 어류 모델의 메트릭은 총 11개였으나, 이 연구에서는 합천호의 조사규모와 식생 분포율을 감안하여 최초 LEHA 모델의 수변 피식물 메트릭을 제외한 10개의 메트릭 모델을 적용하였고(<Table 1>), 모델 등급은 총 5개 범주로 구분하였다(<Table 2>).

등급 산정은 각 메트릭별로 1(낮은 모델값), 3(중간 모델값), 5(높은 모델값)의 모델값을 부여하여 총 10개의 메트릭 점수를 합산하여 산정하였다. 그리고 이화학적 수질 상태를 반영한 메트릭 (M9, M10) 값을 계산하기 위하여 일반적으로 담수 생태계에서 이루어지는 수질 조사 항목에 대하여 측정하였다. 특히, LEHA 모델의 메트릭 M9와 M10에서 요구하는 수질 분석 항목인 전기전도도 및 Chlorophyll-a 값은 2010년부터 2013년까지 조사된 한국수자원공사의 수질자료를 이용하였다(Kim et. al., 2013; www. kwater.or.kr).

<Table 1> Physical, chemical, and biological metrics of LEHA (Lentic Ecosystem Health Assessment) model in this study

Categories	Metric components	Scoring criteria		
		5	3	1
Species compositions	M1. Total numbers of native species	>67%	33~67%	<33%
	M2. Number of sensitive species	>67%	33~67%	<33%
	M3. Ind. % of tolerant species	<5%	5~20%	>20%
Trophic compositions	M4. Ind. % of omnivorous species	<20%	20~45%	>45%
	M5. Ind. % of insectivorous species	<20%	20~45%	>45%
Fish abundances & individual healths	M6. Total individual numbers	>67%	33~67%	<33%
	M7. Ind. % of exotic species	0%	0~1%	>1%
	M8. Ind. % with anomaly species	0%	0~1%	>1%
Chemical water conditions	M9. Conductivity($\mu\text{mhos/cm}$)	<81	81~385	>385
	M10. Trophic state index(Chlorophyll-a)	<40	40~50	>50

<Table 2> The criteria of LEHA (Lentic Ecosystem Health Assessment) index

Ranks	Model values	Criteria of LEHA	Characteristics
I	46~50	Excellent	Comparable to pristine conditions, Exceptional assemblages of species
II	36~40	Good	Decreased species and richness, Intolerant species in particular, Sensitive species in present
III	26~30	Fair	Intolerant and sensitive species absent, Skewed trophic structure
IV	16~20	Poor	Top carnivorous and many expected species are absent or rare, Omnivorous and tolerant species are general
V	≤ 10	Very Poor	Few species and individuals present, Tolerant species dominated, Diseased fish frequently

Ⅲ. 결 과

1. 종 출현 특징 및 트로픽 길드 분석

수서생태계에서 생물 지표종으로서 이용되는 어류를 대상으로 합천호 수초재배섬 주변의 조사 정점 2개소에서 총 11회에 걸쳐 조사한 결과, 관찰된 어류는 8과, 18종 8,576개체였다(Fig. 1).

출현된 어류를 대상으로 내성 및 트로픽 길드 특징을 분석한 결과, <Table 3>과 <Table 4>와 같은 결과가 도출되었다. 내성길드 특징을 내성종(TS), 중간종(IS), 민감종(SS)으로 구분하여 분석하였는데, 내성종(TS)이 전체의 69.8%로 대부분을 차지하였으며, 민감종(SS)은 21.1%, 중간종(IS)은 9.1%가 관찰되었다(<Table 3>).

내성종(TS)은 외래종인 블루길(*Lepomis macrochirus*)이 69.1%로 가장 높게 나타나 불안정한 생태계가 유지되고 있음을 간접적으로 알 수 있었다. 그 다음이 강준치(*Erythroculter erythropterus*), 동자개(*Pseudobagrus fulvidraco*)의 순으로 나타났으며, 고유종인 치리(*Hemiculter eigenmanni*)는 2.4%로 낮게 나타났다. 중간종(IS)은 전체의 9.1%로 나타났으며, 빙어(*Hypomesus nipponensis*)가 97.6%로 대부분을 차지하여 풍부한 것으로 나타난 반면, 민물검정망둑(*Tridentiger brevispinis*)은 2.0%의 낮은

출현율을 보였다. 민감종(SS) 중 고유종인 긴물개(*Squalidus gracilis majimae*)는 98.6%로 합천호 수초 재배섬 주변에서 풍부하게 나타나, 상위 그룹에 속하는 출현율을 보였으며, 그 다음이 쏘가리(*Siniperca scherzeri*)순으로 나타났다. 내성도의 시기별 특징을 살펴보면, 내성종(TS)의 경우, 시기에 관계없이 출현율이 높게 나타났으며, 7월(48.4%)과 9월(46.1%)을 제외한 시기에는 90.0% 이상을 차지하였다. 7월에는 다른 조사 시기와 달리 민감종(SS)이 51.6%로 높게 차지하였고, 9월에는 중간종(IS)이 52.4%를 차지하는 계절적 특징을 보였다(Fig. 2).

섭식도 길드 특징은 충식종(I)이 81.3%를 나타내어 가장 많은 비중을 차지하고 있었고, 그 다음이 잡식종(O) 15.2%, 육식종(C) 3.5%의 순으로 나타났으며, 초식성은 출현하지 않았다. 충식종(I)의 경우 출현어종으로는 블루길(*Lepomis macrochirus*)이 59.3%로 가장 높은 출현율을 보였고, 그 다음이 긴물개(*Squalidus gracilis majimae*) 25.5%, 빙어(*Hypomesus nipponensis*) 11.0%의 순이었다. 잡식종(O)의 출현율은 15.1%로 피라미(*Zacco platypus*), 치리(*Hemiculter eigenmanni*)의 순이었으며, 육식종(C)은 강준치(*Erythroculter erythropterus*), 쏘가리(*Siniperca scherzeri*), 메기(*Silurus asotus*) 등으로 전체의 3.5%로 나타났다. 조사 정점별 특징을 보

면 내성종(TS)의 경우 St. 1에서는 61.3%, St. 2에
서는 94.6%로 두 정점 모두 높게 나타났다

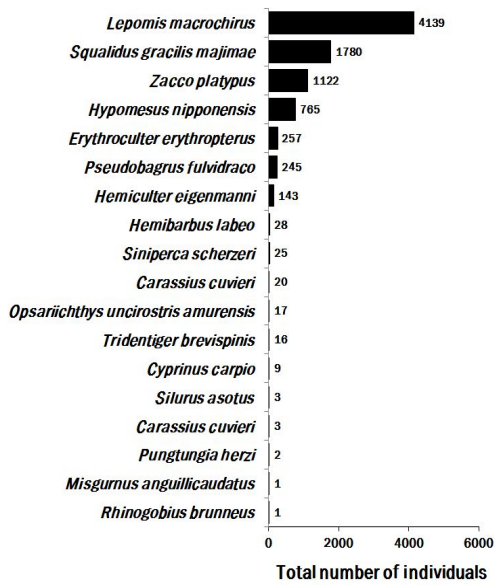
<Table 3> Analysis of tolerance and trophic guilds in Habcheon lake

Categories	Guilds	Individuals	RA(%)
Tolerance guilds	Tolerant species	5,987	69.8
	Intermedium species	784	9.1
	Sensitive species	1,805	21.1
Trophic guilds	Insectivorous species	6,976	81.3
	Carnivorous species	302	3.5
	Omnivorous species	1,298	15.2

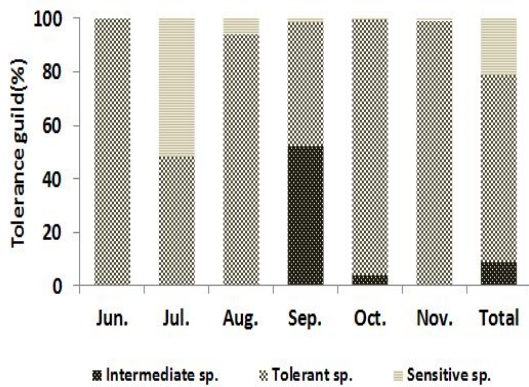
<Table 4> Tolerance and trophic guild levels of observed fish fauna

Species	Tolerance guilds	Trophic guilds	Stations		
			St. 1	St. 2	Total
<i>Opsariichthys uncirostris amurensis</i>	TS	C	14	3	17
<i>Hemibarbus labeo</i>	TS	I	19	9	28
<i>Hemiculter eigenmanni</i>	TS	O	106	37	143
<i>Cyprinus carpio</i>	TS	O	3	6	9
<i>Carassius auratus</i>	TS	O	2	18	20
<i>Carassius cuvieri</i>	TS	O	1	2	3
<i>Zacco platypus</i>	TS	O	1,065	57	1,122
<i>Erythroculter erythropterus</i>	TS	C	195	62	257
<i>Squalidus gracilis majimae</i>	SS	I	1,747	33	1,780
<i>Pungtungia herzi</i>	IS	I	-	2	2
<i>Hypomesus nipponensis</i>	IS	I	711	54	765
<i>Lepomis macrochirus</i>	TS	I	2,396	1,743	4,139
<i>Siniperca scherzeri</i>	SS	C	10	15	25
<i>Pseudobagrus fulvidraco</i>	TS	I	104	141	245
<i>Silurus asotus</i>	TS	C	2	1	3
<i>Tridentiger brevispinis</i>	IS	I	3	13	16
<i>Rhinogobius brunneus</i>	IS	I	1	-	1
<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>	TS	O	1	-	1
No. of individuals	-	-	6,380	2,196	8,576
Family	-	-	8	6	8
Species	-	-	17	16	18

TS : Tolerant species, IS : Intermedium species, SS : Sensitive species, O : Omnivorous species, C : Carnivorous species, I : Insectivorous species.

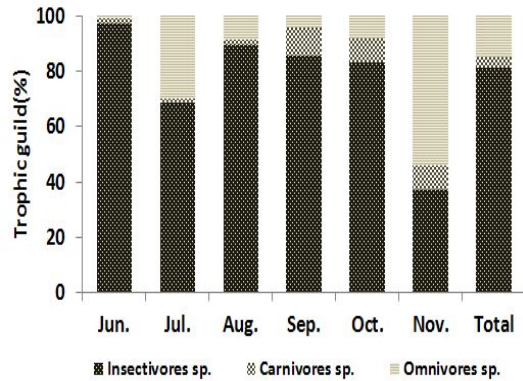


[Fig. 1] Total number of individuals of collected fish species from the two investigation spots in Habcheon lake.



[Fig. 2] Monthly distributions of tolerance, intermedium and sensitive fish species.

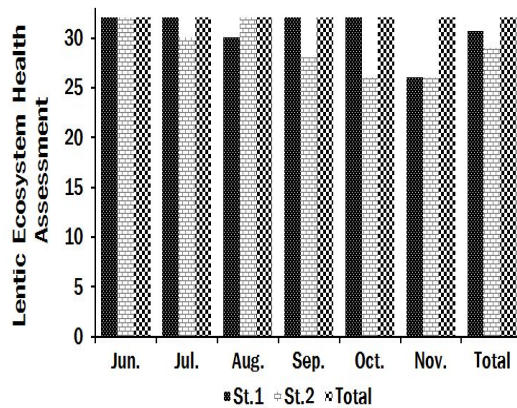
시기별 섭식도의 특징은 계절에 관계없이 높은 출현율을 보인 종은 충식종(I)으로서 11월(37.2%)을 제외하고는 68.7~97.0%의 출현율을 보이는 특징을 나타냈다. 잡식종(O)의 경우 7월과 11월 조사시기에 각각 29.9%와 54.3%의 다소 높은 출현율을 보였다([Fig. 3]).



[Fig. 3] Monthly distributions of insectivorous, carnivorous and omnivorous fish species in Habcheon lake.

2. LEHA 평가모델 적용 및 생태건강도 평가

LEHA 모델값 중 이화학적 수질상태인 전기전도도, Chlorophyll-a 항목(M_9, M_{10} 의 메트릭 값) 등 어류 평가모델 메트릭 값을 포함한 생태지표 특징(M_1, M_2, M_3 의 메트릭 값), 영양 단계구조(M_4, M_5 의 메트릭 값), 어류풍부도 및 건강도 지표(M_6, M_7, M_8 의 메트릭 값)를 중심으로 분석한 합천호의 생태계 건강성은 보통(Fair)으로 분석되었는데, 최대값은 32.0점, 최소값은 26.0점, 평균값은 30.0점 이었다([Fig. 4]).



[Fig. 4] Monthly LEHA results in Habcheon lake.

<Table 5> The ecosystem health assessments base on the 10 metrics LEHA model

Sites	M ₁	M ₂	M ₃	M ₄	M ₅	M ₆	M ₇	M ₈	M ₉	M ₁₀	LEHA scores (Criteria)
St. 1	5 (88.3)	1 (27.5)	1 (23.6)	5 (18.4)	1 (76.1)	3 (3,983)	1 (37.5)	5 (0)	3 (120.3)	5 (2.9)	30(F)
St. 2	5 (87.5)	1 (21.8)	3 (15.3)	5 (5.5)	1 (84.0)	3 (451)	1 (79.4)	5 (0)	3 (120.3)	5 (2.9)	32(F)

* Biological parameters : M₁~M₈.

* M₁~M₃ : Species compositions, M₄~M₅ : Trophic compositions, M₆~M₈: Fish abundances & individual healths.

* Chemical parameters : M₉~M₁₀.

건강성 등급별 높은 모델값(5)에 해당되는 단계는 LEHA 모델 매트릭 값 10개 중 본토종 수(M₁), 잡식성의 출현빈도(M₄), 개체의 비정상빈도(M₈), 이화학적 수질인자 Chlorophyll-a(M₁₀) 등 4개가 해당되었으며, 그 외에 중간 모델값(3)으로 나타난 것은 2개 항목으로 총 개체 수(M₆), 이화학적 수질인자인 전기전도도(M₉)로 나타났다. 한편, 민감성 어종의 개체 수(M₂), 내성지표종의 개체 수 빈도(M₃), 층식종의 상대빈도(M₅), 외래종 빈도(M₇)는 낮은 모델 값(1)을 나타내었다(<Table 5>).

그리고 조사 정점 St. 1 (30 LEHA score)과 St. 2 (32 LEHA score)에서도 평균 지수와 계절별 지수에 따른 변이는 크지 않은 것으로 나타났다(<Table 5>). 다만, 합천호 인공산란장의 경우 오랜 기간 동안 축적된 자료 부족으로 과거와 비교할 수는 없었다.

IV. 고 찰

국제적인 연구 동향에 따르면, 1990년대 초반까지 수환경 평가에서는 이화학적인 평가가 주류를 이루었으나, 빈번한 수질오염 및 서식지 파괴에 의해 생태계가 급속도로 교란되면서 하천 생태계의 건강성 평가에 대한 연구는 이화학적인 항목을 포함하여 어류의 군집 특성까지 검토하는 방향으로 진행되게 되었다(Ahn and Kim, 2005; Ahn and Han, 2007; U.S. EPA., 1991).

미국 (환경부, U.S. EPA., 1998)에서는 다양한 생물군을 이용한 다변수 생물지표를 도입해 수서 생태계를 평가하고 진단하는 기법(Index of Biological Integrity, IBI)이 수계관리과정에서 효과를 거두고 있으며, 이런 기법에 기반을 두어 우리나라에서는 현재까지 한강 수계(Ahn et. al., 2001b), 금강 수계(Ahn and Kim, 2005) 및 낙동강 수계(Choi et. al., 2007; Lee et. al., 2007), 북한강 수계(Choi et. al., 2009), 신구저수지(Lee et. al., 2008)에 적용되어 생태계 건강성을 평가하는 방법으로 활용되고 있다.

한편, 우리나라에서는 물환경 종합평가 개발조사 연구를 통하여 어류와 부착조류에 의한 평가 기법이 개발되어 적용되면서 생태계 건강성 평가에 대한 정부의 역할이 크게 강화되고 있으나, 댐과 호(湖)를 대상으로 분석한 결과는 아직 부족한 실정이다. 그러나 지속적인 수체내의 다양한 생물군을 이용한 생물학적인 수환경 평가기법은 수환경을 진단하는데 필요한 핵심기법으로서 지속적인 모니터링을 통하여 하천 생태계를 진단하고 복원하는데 중요한 자료로 활용될 수 있다(Ahn et. al., 2001a).

이 연구를 수행하는 기간 중 해당수역의 이화학적 수질 환경인 COD, SS, DO, pH, T-P 등은 환경부 한국수자원공사의 호소 수질환경 기준 II 등급에 속하는 수치를 나타내어 생물이 서식하는 좋은 환경을 나타내고 있었다.

특히 LEHA 모델에서 화학적 수질 상태를 반

영한 메트릭 모델 값(M_9 , M_{10})중 전기전도는 70.0 ~ 216.0 $\mu\text{mhos/cm}$ (평균 120.4 $\mu\text{mhos/cm}$), Chlorophyll-a 는 0.2 ~ 10.2 mg/m^3 (평균 2.9 mg/m^3) 범위로 나타나 각각 보통 모델값(3)과 높은 모델값(5)으로 분석되었다.

팔당호 유입 하천 하류부에서 건강성 평가 결과, 낮은 값(1)을 나타내는 메트릭 모델은 본토종 수(M_1), 중간 모델 값(3)을 나타내는 모델은 민감성 어종의 개체수(M_2)였고, 내성종의 메트릭 모델 (M_3)은 높은 모델 값(5)에 해당되었으며, 총식종의 상대빈도(M_5)는 중간 모델 값(3)을 나타내고 있다고 보고하고 있어 본 조사와는 거의 일치하지 않거나, 내성 지표종의 개체 수 빈도(M_3)는 상반되는 결과를 보였다(Choi et. al., 2009).

그리고 낙동강 상류 수계의 생태 건강성을 평가한 결과를 보면(Lee et. al., 2007), 민감종(SS)의 비율은 모든 조사 장소에서 70% 이상(높은 모델 값, 5)으로 높게 나타났고, 이에 비해 내성종(TS)은 10% 이하(높은 모델 값 5)로 낮게 나타났다고 보고하고 있다. 이러한 결과는 Choi et. al., (2009)이 조사한 민감종(SS)의 중간 모델 값(3)과는 차이를 보였지만, 영양구조 단계를 나타내는 잡식성(O) 비율이 높은 모델 값(5)과는 일치하는 결과를 보이고 있다.

그러나 본 조사에서 내성종(TS)은 18종 8,576 개체 중 12종 5,987개체(69.8%)로서 내성지표종의 개체 수 빈도(M_3), 총식성 어종의 상대빈도(M_5), 외래성 어종 빈도(M_7)와 함께 낮은 값(1)을 나타낸 결과와는 상반된 결과를 보이고 있으며, 이러한 결과는 결국 내성종인 블루길(*Lepomis macrochirus*)의 출현율이 높게 나타나고 있다는 것을 반증하는 것이며, 출현 어종의 다양성도 낮아졌다는 것을 의미한다.

섭식에 따른 트로픽 길드 분석에서 Lee et. al., (2007)은 총식종(I)의 경우 약 80% 정도가 하천차수에 관계없이 나타났으며, 잡식종(O)의 비율은 전체적으로 비교적 낮게 나타나고 있다고 보고하고 있다. 본 조사에서도 총식종(I)은 8종 6,976개

체로서 전 개체 수 8,576마리의 81.3%를 나타내어 가장 많은 비중을 차지하여, Lee et. al., (2007)의 결과와 잘 일치하고 있고, 잡식종(O)은 6종 1,298개체로 15.2%로 나타났다. Barbour et al., (1999)의 연구에 따르면, 하천차수가 증가되면서 수생태계의 유기물 오염 및 독성물질의 유입량은 증가하는 것이 일반적이며, 이런 이유로 어류의 섭식 특이성을 단순화시켜 하천차수의 증가에 따라 잡식종 우점현상을 보여 수계 건강도를 악화시킨다고 보고한 바 있다.

그러나 본 연구에서 얻어진 결과 중 내성 및 섭식도 특성을 보면 외래종 지표(M_7) 비율이 낮은 모델값(1)으로 나타났고, 총식종(I)과 내성종(TS)으로 분류되는 블루길(*Lepomis macrochirus*)의 출현 비율이 전체의 48.3%, 내성종(TS)중에서는 69.1%를 차지하고 있다는 점, 이외에도 민감종(SS)의 상대빈도(M_2) 비율이 비교적 낮은 24.6%로서 낮은 모델값(1)을 나타내고, 총식종(I)의 상대빈도(M_5) 비율이 80.0%로 높게 나타나 낮은 모델값(1)을 나타낸 결과는 앞으로 관리가 이루어지지 않을 경우 서식지 교란이 차츰 일어날 수 있음을 잘 반영해주고 있다고 판단된다.

결론적으로 LEHA (Lentic Ecosystem Health Assessment) 모델을 적용한 합천호 수초재배섬 주변의 생태 건강도는 보통(Fair)으로 평가되었으며, 이러한 결과는 Lee et. al., (2007)이 낙동강 상류 수계의 어류군집 구조 분석 및 생태 건강성 평가 결과인 보통~양호(Fair~Good)와 비교하면 유사하거나 다소 낮은 평가 결과이다.

References

- Ahn, K. G. Yeom, D. H. and Lee, S. K.(2001a). Rapid bioassessments of Kap stream using the index of biological integrity, Koran Society of Environment Biology., 19, 261~269.
- Ahn, K. G. Jung, S. H. and Choi, S. S.(2001b). An evaluation on health conditions of Pyong-Chang river using the index of biological integrity (IBI)

- and qualitative habitat evaluation index(QHEI), Korean J. Limonol., 34, 153~165.
- Ahn, K. G. and Kim, J. H.(2005). A diagnosis of ecological health using a physical habitat assessment and multimetric fish model in Daejeon stream, Korean J. Limonol., 38(3), 361~371.
- Ahn, K. G. and Han, J. H.(2007). A development of multi-metric approach for ecological health assessments in lentic ecosystems, Korean J. Limonol., 40(1), 72~81.
- Barbour, M. T · Gerritsen, J. · Snyder, B. D. and Strihling, J. B.(1999). Rapid bioassessment protocols for use in streams and wadeable rivers: periphyton, benthic microinvertebrates and fish, 2nd ED, 841-B-99-002, U. S. EPA Office of Water, Washington, D. C., USA.
- Choi, J. W. · Lee, E. H. · Lee, J. H. and Ahn, K. G.(2007). Biological water quality assessments using fish assemblage in Nakdong river watershed, Korean J. Limonol., 40(2), 254~263.
- Choi, M. J. · Park, H. K. · Lee, J. H. and Yun, S. H.(2009). Stream health assessments on tributaries of lake Paldang using index of biological integrity for fish community and physical habitat parameters, Korean J. Limonol., 42(3), 280~289.
- Kim, Y. M. · Lee, M. S. and Chung, Y. H.(2013). Water quality monitoring for Hazard analysis in aquaculture farm of rainbow trout, J. Fisheries and Marine Sciences Education, 25(4), 819~827.
- Karr, J. R. and Dudley, D. R.(1981). Ecological perspective on water quality goals, Environmental Management, 5, 55~68.
- Lee, J. H. · Hong, Y. P. and Ahn, K. G.(2007). Fish community structure analysis and ecological health assessments in the headwater watershed of Nakdong river, Korean J. Limonol., 40(3), 403~411.
- Lee, J. Y · Lee, S. J · Han, J. H · Eui, J. H · Choi, J. W · Hwang, S. J and Ahn, K. G(2008). Water quality characteristics and ecosystem health assessments using a LEHA fish model in Shingu Reservoir, Korean J. Limonol., 41, 42~49.
- Nelson, J. S.(1994). Fishes of the World. John Wiley & Sons, NewYork. pp. 600.
- 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(1998). Lake and Reseraior Biomassessment and Biocriteria. EPA 841-B-98-007, U. S. EPA, Office of Water, Washington, D. C., USA.
- www.kwater.or.kr
-
- 논문접수일 : 2014년 02월 27일
 - 심사완료일 : 1차 - 2014년 03월 24일
2차 - 2014년 09월 29일
 - 게재확정일 : 2014년 09월 29일