

어도 개보수에 따른 어류 자원량 및 경제적 가치 평가: 삼척오십천 사례

문운기, 배대열, 김도현, 신현범¹, 서정빈¹, 임경훈¹, 이의행¹, 유재상², 안광국³, 김재구*

청록환경생태연구소, ¹한국농어촌공사, ²한맥기술, ³충남대학교 생명시스템과학대학 생명과학과

Assessment of fish stocks and economic value in accordance with fishway renovation: Case study of Samcheokshipcheon0010 Weir

Woon-Ki Moon, Dae-Yeul Bae, Do-Hyun Kim, Hyun-Beom Shin¹, Jung Bin Suh¹, Kyeong Hun Lim¹, Eui-Haeng Lee¹, Jae-Sang Yoo², Kwang-Guk An³ and Jai-Ku Kim*

Chungrok Environmental Ecosystem Research Institute, Anyang 14059, Republic of Korea

¹Korea Rural Community Corporation, Naju 58327, Republic of Korea

²Hanmac Engineering Co., Ltd, Ogeum 05774, Republic of Korea

³Department of Biological Science, College of Bioscience and Biotechnology, Chungnam National University, Daejeon 34134, Republic of Korea

*Corresponding author

Jai-Ku Kim

Tel. 031-478-3353

E-mail. jaikim86@gmail.com

Received: 8 November 2019

First Revised: 2 January 2020

Second Revised: 15 January 2020

Revision accepted: 20 January 2020

Abstract: The changes in fish stock and biomass before and after fishway renovation located in a Korean estuary were studied and fluctuations in the economic value of the fish resources were estimated. The target fishway located in the east coast area in Korea was renovated in 2014 from the small fish ladder to the ice-harbor fishway. Monitoring was continued for five consecutive years after the renovation (2015 to 2019). Since the renovation of the fish passage, the economic values increased with increases in the fishery resources, except for in 2016 when the drought impact was severe. The yearly average incremental increase in the five years after the renovation was about 227%. The increase in economic value is believed to be due to the increased population of migratory fish as a result of habitat expansion. The exponential rise model showed an increase in economic value with increasing fishery resources ($R^2=0.896$). The model coefficient contributing to economic analysis was 0.582 and the maximum economic value after the renovation was estimated at about 30.4 million. The economic value would be a useful index for quantitative comparison in terms of ecosystem services before and after renovation.

Keywords: fishway, fish stocks, economic value, ecosystem services

서 론

생태계 서비스는 무형의 자산인 자연혜택에 대한 올바른 가치평가를 통해 이를 제공하는 주체에 보상하기 위

한 제도이다(MA 2005; de Groot *et al.* 2010; TEEB 2010). 국제사회는 2010년 생물다양성협약을 통해 생태계 서비스의 중요성이 부각되면서, 생태계 및 생물다양성에 관련된 모든 생태계 서비스를 통합관리할 것을 요구하고 있다

(TEEB 2010). 따라서 생태계 서비스 도입에 적극 대응하기 위해 각 분야별 지표항목의 개발과 이에 따른 가치평가 기준을 마련하는 것은 필수적이 되었다. 국가생태계 서비스평가를 위한 지표항목은 크게 생태계 기반이 되는 지지 서비스를 포함하여 공급, 조절, 문화서비스 분야로 나누어 지고 생태계 내 수산자원이나 야생 동·식물 등은 생태계 지지·공급서비스 측면에서 중요한 평가항목이 될 수 있다 (Joo *et al.* 2017).

이제까지 하천의 횡구조물인 어도(Fishway)는 하천의 종적 연결성을 위한 단순 구조물로 인식되어 왔으며, 유·무형의 생태적 기능 및 역할에 대해서는 간과되어 왔다 (Cha *et al.* 2015). 하천에 설치된 어도는 기본적으로 생물 서식지 확대 측면에서 수생태계 지지 및 조절서비스의 기능을 가지고 있으며, 또한 지속가능한 수산자원확보 및 자원량 증대측면에서 공급서비스 기능을 함께 수행하고 있다. 그 외 생태교육, 관광, 체험, 여가 등 다양한 문화적 서비스 기능도 수행하고 있다. 따라서 이에 대한 다양한 평가지표 개발과 함께 올바른 가치평가가 필요한 상황이다 (Karjalainen *et al.* 2013).

담수생태계의 생물자원을 효율적으로 관리하기 위해 어류 자원량(Fish stocks) 변동과 경제적 가치(Economic value)를 파악하여 비교평가하는 것은 중요하다. 해양환경의 경우 경제적 중요성 때문에 수산자원의 가치평가는 자원량 변동의 중요한 지표가 되고 있지만, 반면 담수생태계에서는 어류자원보다는 생물다양성 및 수생태계 건강성 개선을 목표로 하여 하천의 질적 관리에 초점을 맞추어 왔

다(Choi and An 2013; Lee and An 2016; Lee *et al.* 2017). 반면 유용한 생태계 자원으로서 경제적 가치를 통한 수생태계 관리는 상대적으로 미흡하게 진행되어 왔다.

동해로 유입되는 하천들 중 삼척오십천의 경우 황어(*Tribolodon hakonensis*), 은어(*Plecoglossus altivelis*), 연어(*Oncorhynchus keta*) 등 다양한 회유성어종의 이동과 피라미(*Zacco platypus*), 점물개(*Squalidus multimaculatus*), 새코미꾸리(*Koreocobitis rotundicaudata*) 등 1차 담수어의 국지 회유가 발생하고 있어 경제적 가치가 매우 높으나, 보와 같은 하천구조물의 설치로 인해 이동에 제한되고 있다. 따라서 어도의 개보수를 통해 하천의 종적 연결성이 확보됨에 따라 다양한 어종의 산란장과 서식지 확대에 의해 자원량 증가가 예상되기에 본 연구에서는 생태계 공급서비스 측면에서 어도 개보수 전·후 어류상 및 수산 자원량 변동을 분석하고 이에 따른 경제적 가치를 비교평가하였다.

재료 및 방법

1. 조사지점 및 조사시기

동해로 유입되는 삼척오십천에 위치하는 삼척오십천-0010보(Samcheokosipcheon0010 Weir; SOW-0010)를 대상으로 조사를 실시하였으며(Fig. 1), 어도 개보수는 2014년 12월에 완공되었고 완공 이후 2019년까지 지속적으로 모니터링이 이루어지고 있다. 본 조사는 어도 개보수 이전 2014년 3분기(9월)와 4분기(11월) 2회 조사가 이루어졌

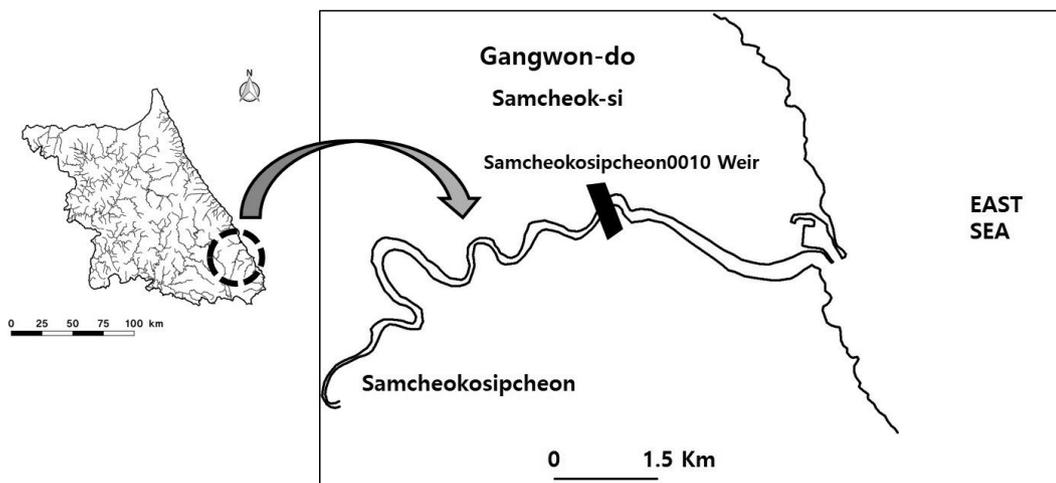


Fig. 1. Sampling location of SOW-0010 in Samcheokosipcheon flowing into the East Sea in Korea.

Table 1. Surface area for fish survival and the ratio of the surveyed area

Name of weir	Upstream area (m ²)	Downstream area (m ²)	Area from weir to estuary (m ²)	Total area (m ²)	Proportion of surveyed area (%)
SOW-0010	12,369	14,279	319,841	300,226	8.88

고, 개보수 이후인 2015년부터 2019년까지 매 분기별로 4 회/년 조사가 이루어졌으나, 본 연구에서는 어도 개보수에 따른 변화량을 분석하기 위해 어도 개보수 전인 3~4 분기와 동일시기에 조사된 자료를 비교분석하였다.

2. 어류상 조사 및 자원량 추정

하천의 어류채집은 정량조사방법인 단위노력당포획 (Catch per unit effort, CPUE)에 따라 보 상·하류 200 m 구간을 대상으로 투망 (망목 7×7 mm: 10회)과 족대 (망목 4×4 mm: 30분) 이용하여 어류조사를 실시하였다. 채집된 어류는 현장에서 동정 및 계측한 후 즉시 방류하였고, 어류의 동정에는 국내에서 발표된 검색표 (Kim and Park 2002; Chae et al. 2019)를 이용하였다. 보 상·하류 조사구간에서 소해면적법 (Swepted area method, SAM)을 적용하여 어류 이용가능수면적, 어획량, 투망면적, 투망어획률 등을 기반으로 어류 자원량을 추정하였다 (King 2007) (Eq. 1).

$$\text{어류 자원량} = \frac{\text{이용가능수면적}(A) \times \text{어획량}(T)}{\text{투망면적}(D) \times \text{투망어획률}(Q)} \quad (\text{Eq. 1})$$

여기서 이용가능수면적(A)은 하천의 수리조건을 바탕으로 어류서식이 부적합한 수심면적을 제외하고 가용면적을 계산하였다 (Milhous et al. 1989). 어획량(T)은 정량조사를 바탕으로 포획된 어류의 생체량을 측정하였다. 또한 투망어획률(Q)은 어획가능면적과 투망면적(D)을 고려하여 유효면적비를 통해 계산하였다 (Jordan et al. 1997; Rojas and Minello 1997; Stevens 2006) (Eq. 2).

$$Q = \frac{\pi(r-r_1/2)^2}{\pi r^2} = \frac{\text{어획가능면적}}{\text{투망면적}(D)} \quad (\text{Eq. 2})$$

여기서 π는 원주율, r은 투망반지름, r₁은 투망에 포획된 어류의 평균크기를 나타낸다.

3. 어류 자원량을 기반으로 한 경제적 가치 추정

추정된 어류 자원량을 기반으로 “내수면 수산자원 및 환경조사 매뉴얼”에서 제시한 경제성어종 70종 (NIFS 2016)

Table 2. Unit price per kilogram of economic fishes captured in the SOW-0010

Fish species	Unit price (kg)
<i>Carassius auratus</i> (붕어)	₩ 6,549
<i>Cyprinus carpio</i> (잉어)	₩ 4,228
<i>Rhynchocypris oxycephalus</i> (버들치)	₩ 5,859
<i>Tribolodon hakonensis</i> (황어)	₩ 5,859
<i>Zacco platypus</i> (피라미)	₩ 8,341
<i>Koreocobitis rotundicaudata</i> (새코미꾸리)	₩ 10,306
<i>Silurus asotus</i> (메기)	₩ 3,438
<i>Silurus microdorsalis</i> (미유기)	₩ 3,438
<i>Plecoglossus altivelis</i> (은어)	₩ 19,274
<i>Oncorhynchus keta</i> (연어)	₩ 1,350
<i>Oncorhynchus masou masou</i> (산천어/송어)	₩ 15,159
<i>Mugil cephalus</i> (송어)	₩ 4,382
<i>Odontobutis interrupta</i> (얼룩동사리)	₩ 7,009
<i>Gymnogobius urotaenia</i> (꼭저구)	₩ 7,009

Fishery information portal in the Dept. of Oceans and Fisheries (<http://www.fips.go.kr>)

중 본 연구에서 확인된 종들에 대한 단가를 적용하여 어류 자원량의 경제적 가치를 추정하였다. 어종별 단가는 판매금액 (<https://www.fips.go.kr>)으로부터 역추정하였으며 (Table 2), 어종별 무게(g)는 조사기간 동안 종별로 채집된 개체 중 치어를 제외하고 계측한 결과를 사용하였다. 수산 자원량에 대한 경제적 가치평가는 어종별 단가에 단위포획량을 곱한 후 누적합산 하여 이를 전체 조사면적 비율로 나누었고 여기에 조업계수를 곱하여 산출하였다 (Eq. 3).

$$\text{경제적 가치평가} = \frac{\sum(\text{단가} \times \text{단위포획량}(kg))}{\text{조사면적 비율}(\%)} \times \text{조업계수} \quad (\text{Eq. 3})$$

여기서 조사면적 비율(%)은 보에서 하구까지 전체면적 대비 보 상·하류 조사면적의 비율을 의미하며, 하구까지 전체면적은 일반적인 어류서식의 허용가용면적인 90%를 적용하였다. 조업계수 (Fishing coefficient)는 “조업일수/조사횟수”로 산출하였으며, 조업일수 (Fishing days)는 1년 중 어류 조사가 가능한 8개월을 기준으로 월 5일 조사로 하였다.

4. 통계분석

보 상·하류 구간 어류 자원량 비교분석은 쌍체비교 (Paired t-test)를 적용하였고, 이때 쌍체 간의 차이는 없는 것으로 가정하였다. 또한, 두 집단 간 평균비교는 F-검정을 통해 분산 차이를 확인한 후 t-test를 적용하였다. 모든 통계분석은 유의수준 (α) 0.05에서 유의성검증을 실시하였다. 통계분석은 SPSS 12.0 Ko (SPSS Inc., Chicago, IC, USA) 통계 프로그램을 이용하였다.

결 과

1. 어류상

SOW-0010의 상·하류 구간에서 조사기간 동안 서식이 확인된 어류는 총 12과 28종 2,164개체가 채집되었다 (Table 3). 특이종으로 멸종위기야생 생물 II급인 가시고기 (*Pungitius sinensis*), 한독중개 (*Cottus hangiongensis*) 2종 (5.7%), 해당지역의 생물상을 특정하는 기준이 되는 한국 고유종은 쉬리 (*Coreoleuciscus splendidus*), 물개 (*Squalidus japonicus coreanus*), 점물개, 참중개 (*Iksookimia koreensis*), 새코미꾸리, 자가사리 (*Liobagrus mediadiposalis*), 미유기 (*Silurus microdorsalis*), 얼룩동사리 (*Odontobutis interrupta*) 등 8종 (28.6%)으로 확인되어 고유종의 구성비가 한반도의 평균적인 고유종 빈도인 23.0% (Nam 1996)보다 높게 나타난 것으로 분석되었다.

분류군별 출현을 보면 잉어과 (Cyprinidae) 어류가 10종 (35.7%)으로 출현종이 가장 많았으며, 다음으로 망둑어과 (Gobiidae) 어류가 4종 (14.3%), 미꾸리과 (Cobitidae), 종개과 (Balitoridae), 메기과 (Siluridae), 연어과 (Salmonidae) 어류가 각각 2종 (7.1%) 등의 순으로 국내 담수어류 중 잉어과 어류들이 다른 분류군에 포함된 어류들보다 더 다양하게 분포하는 일반적인 특성과도 일치하는 것으로 나타났다 (Choi et al. 1984). 한편, 동해로 유입되는 하천의 특성상 회유성 어류인 황어, 은어, 연어, 산천어 (*Oncorhynchus masou masou*), 가시고기, 한독중개, 꼭저구 (*Gymnogobius urotaenia*) 등 7종 (25.0%)이 확인되었다.

서식이 확인된 어류 중 상대풍부도가 가장 높게 나타난 종은 은어로 886개체 (40.9%)로 우점하였으며, 황어 503개체 (23.2%), 점물개 152개체 (7.0%) 등의 상대풍부도가 높게 나타나 동해로 유입되는 하천의 특성을 반영한 것으로

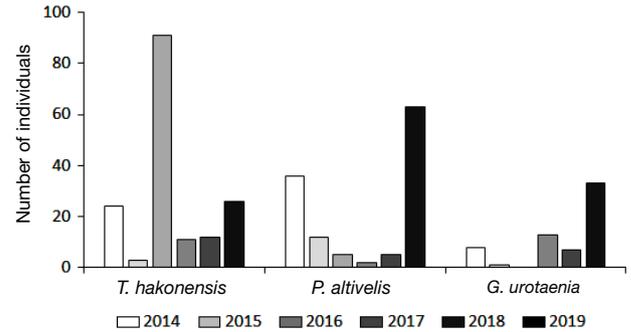


Fig. 2. Changes in the number of individuals, such as *Tribolodon hakonensis*, *Plecoglossus altivelis*, and *Gymnogobius urotaenia*, before (2014) and after the renovation of the fishway (2015–2018) in the upstream region of SOW-0010.

사료된다.

한편, 어도 개보수가 이루어진 2015년 이후 SOW-0010의 상류 구간에서 황어, 은어, 꼭저구 등 3종의 개체수가 증가하였으며 (Fig. 2), 새코미꾸리, 밀어 (*Rhinogobius brunneus*), 붕어 (*Carassius auratus*), 연어, 미유기 등 12종이 SOW-0010의 상류 지역으로 어도를 통해 소상한 것으로 조사되었다 (Table 3). Choi et al. (1995)에 따르면 과거 삼척오십천에서 14과 30종의 출현을 기록하였으며, 연어, 황어, 은어 등의 경우 현재 설치된 SOW-0010의 하류역에서만 출현한 것으로 보고하고 있다. 따라서 상류에서 이들이 출현하는 것은 어도 개보수를 통해 본 종들의 소상이 이루어진 것임을 확인할 수 있었다.

2. 어류 자원량 추정

소해면적법을 적용하여 SOW-0010의 상·하류 구간에서 어류 자원량을 추정한 결과 상류 구간 평균자원량은 0.146 M/T이었고, 하류 구간 평균자원량은 0.685 M/T으로 하류 구간의 평균자원량이 약 4.7배 (Fig. 3) 높은 것으로 나타났다 (Paired- $t_{11(2)} = 3.36, p = 0.006$).

또한, 개보수 전·후 자원량을 비교한 결과 2014년 개보수 전 평균자원량은 0.103 M/T이었고, 2015년부터 2019년까지 개보수 이후 평균자원량은 0.478 M/T으로 약 4.6배 (Fig. 4) 증가한 것으로 나타났다 ($t_{2(2)} = 2.71, p = 0.012$). 이러한 차이는 하천의 종적 연결성 증가에 따른 결과로 판단되었다 (Table 4).

또한, 채집된 어류의 생체량과 생존가능 수면적을 기반으로 산출되어진 어류 자원량 (ton)을 비교한 결과 상류구간의 평균 자원량은 어도 개보수 전 0.040 ton에서 어도 개

Table 3. Fish fauna collected up and downstream of the SOW-0010 and total biomass (g)

Species	2014		2015		2016		2017		2018		2019		Total	R.A. (%)
	Up	Down												
Family Cyprinidae (잉어과)														
<i>Carassius auratus</i> (붕어)			1		16		9		1				27	1.3
<i>Coreoleuciscus splendidus</i> (쉬리)	18	9	19	5	3	4			6			17	81	3.7
<i>Cyprinus carpio</i> (잉어)									1				1	0.1
<i>Pseudorasbora parva</i> (침봉어)					2								2	0.1
<i>Pungtungia herzi</i> (뿔고기)			11								27	45	83	3.8
<i>Rhynchocypris oxycephalus</i> (버들치)						4					13		17	0.8
<i>Squalidus japonicus coreanus</i> (물개)						4		1					5	0.2
<i>Squalidus multimaculatus</i> (점물개)			3	1	11	3	94				40		152	7.0
<i>Tribolodon hakonensis</i> (황어)	24	16	3	20	91	187	11	18	41	12	26	54	503	23.2
<i>Zacco platypus</i> (피라미)	4		4										8	0.4
Family Cobitidae (미꾸리과)														
<i>Iksookimia koreensis</i> (참중개)	2					12			1				15	0.7
<i>Koreocobitis rotundicaudata</i> (세코미꾸리)		1	2		3	6	5		1	19	11	5	53	2.5
Family Balitoridae (중개과)														
<i>Orthrias nudus</i> (대륙중개)			13	1	1				1				16	0.7
<i>Orthrias toni</i> (중개)	1	4				6			15			2	28	1.3
Family Amblycipitidae (통가리과)														
<i>Liobagrus medialis</i> (자가사리)			1		2							1	4	0.2
Family Siluridae (메기과)														
<i>Silurus asotus</i> (메기)									1				1	0.1
<i>Silurus microdonalis</i> (미유기)					1	1					1		3	0.1
Family Osmeridae (바다빙어과)														
<i>Plecoglossus altivelis</i> (은어)	36	33	12	262	5	14	2	128	5	137	63	189	886	40.9
Family Salmonidae (연어과)														
<i>Oncorhynchus keta</i> (연어)			1	3								2	6	0.3
<i>Oncorhynchus masou masou</i> (산천어)			1										1	0.1
Family Mugilidae (송어과)														
<i>Mugil cephalus</i> (송어)		1		8	2								11	0.5
Family Gasterosteidae (큰가시고기과)														
<i>Pungitius sinensis</i> (가시고기)					1	2							3	0.1

Table 3. Continued

Species	2014		2015		2016		2017		2018		2019		Total	R.A. (%)
	Up	Down	Up	Down	Up	Down	Up	Down	Up	Down	Up	Down		
Family Cottidae (툰중개과)														
<i>Cottus hangiongensis</i> (한독중개)	13		5	7	5		14				4		48	2.2
Family Odontobutidae (동사리과)														
<i>Odontobutis interrupta</i> (일록동사리)				1									1	0.1
Family Gobiidae (망둑어과)														
<i>Gymnogobius urotaenia</i> (꼭지구)	8	18	1	1	4	13	7				33	57	142	6.6
<i>Rhinogobius brunneus</i> (밀어)		3	1	1				1			11	12	29	1.3
<i>Tridentiger brevispinis</i> (민물검정망둑)		17					4					16	37	1.7
<i>Tridentiger obscurus</i> (검정망둑)				1									1	0.1
Number of individuals	93	115	63	309	120	244	69	152	241	225	404	2,164	100.0	
Number of Species	7	10	12	10	9	12	11	5	7	12	9	12	28	
Total Biomass (g)	320.1	1,292.1	4,701.9	15,182.0	2,695.7	2,554.0	2,308.3	7,507.3	6,466.4	26,037.2	7,569.5	17,642.3		

Up: Upstream, Down: Downstream, R. A.: relative abundance

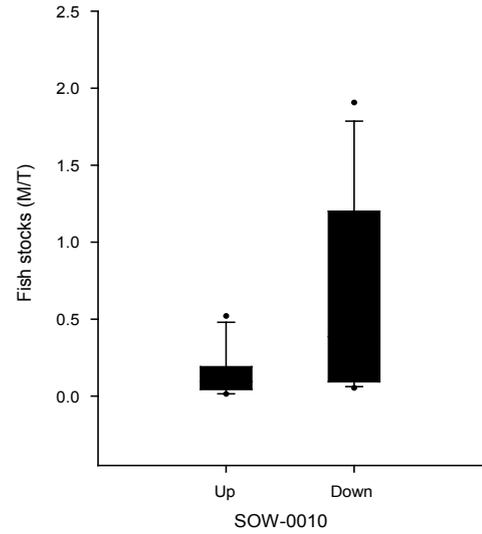


Fig. 3. Comparison of fishery resources up and downstream of the SOW-0010 during the experimental periods.

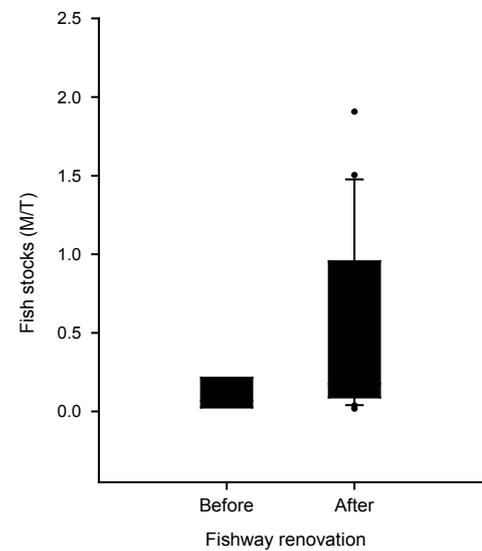


Fig. 4. Comparison of fishery resources before and after fishway renovation of the SOW-0010.

보수 후 0.145~0.408 ton으로 증가하였으며, 하류구간의 평균 자원량은 어도 개보수 전 0.188 ton에서 어도 개보수 후 0.186~1.894 ton으로 증가하였고, 상·하류 구간의 전체 자원량 또한 어도 개보수 전에 비해 어도 개보수 후 증가한 것으로 분석되었다(Table 5).

3. 경제적 가치 추정

SOW-0010의 상·하류 구간에서 서식이 확인된 어종 중

Table 4. Estimation of fish stocks based on the total biomass according to each sampling season

Fish stocks		Total biomass (g)	Fish stocks (M/T)	Remarks
2014	Upstream	1st	258.6	Before renovation
		2nd	61.5	
	Downstream	1st	982.7	
		2nd	309.4	
2015	Upstream	1st	446.0	After renovation
		2nd	1,713.0	
	Downstream	1st	4,174.6	
		2nd	7,235.2	
2016	Upstream	1st	561.2	After renovation
		2nd	416.0	
	Downstream	1st	354.1	
		2nd	1,002.1	
2017	Upstream	1st	284.8	After renovation
		2nd	180.3	
	Downstream	1st	211.5	
		2nd	2,048.8	
2018	Upstream	1st	968.8	After renovation
		2nd	83.7	
	Downstream	1st	4881.3	
		2nd	430.8	
2019	Upstream	1st	2437.8	After renovation
		2nd	667.5	
	Downstream	1st	4504.1	
		2nd	5996.8	

수산자원(경제성 어종)에 속하는 어종은 14종 1,660개체로 조사기간 동안 확인된 전체 종수의 50.0%, 개체수의 76.7%에 해당하는 것으로 나타났다.

SOW-0010의 상·하류 200m 구간에서 채집된 경제성어종 개체수에 따른 생체량을 바탕으로 추정된 생산적 가치(Production value)는 어도 개보수 전 2014년 23,569원에서 어도 개보수 후 2015년 106,281원, 2016년 13,315원, 2017년 46,272원, 2018년 99,614원, 2019년 120,384원으로 증가하였다(Table 6).

또한, 보 하구까지 전체지역으로 면적을 확대하여 조

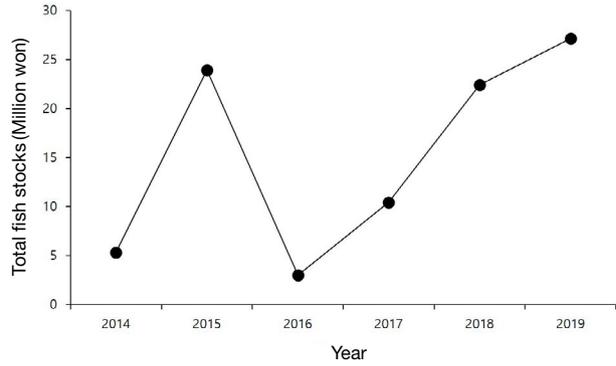


Fig. 5. Yearly variation in the economic value before and after fishway renovation of the SOW-0010.

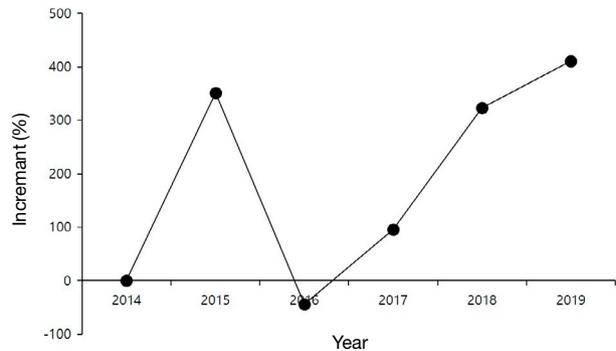


Fig. 6. An annual increment of the economic value after fishway renovation of the SOW-0010.

사면적 비율과 조업계수를 적용하여 추정한 경제적 가치는 어도 개보수 전 2014년 약 5.3백만원에서 어도 개보수 후 2015년 약 23.9백만원, 2016년 약 3.0백만원, 2017년 약 10.4백만원, 2018년 약 22.4백만원, 2019년 약 27.1백만원으로 매년 증감패턴이 다르게 나타났다(Fig. 5). 특히 2016년의 경우 자원량 및 경제적 가치가 급격히 감소한 경향을 보였으며, 이는 기후변화에 따른 극심한 가뭄의 영향으로 자원량이 감소된 것으로 판단한다. 2016년 이후 하천의 유량이 안정적으로 유지되면서 자원량 및 이에 따른 경제적 가치는 다시 증가하는 경향을 보였다.

2014년 대비 경제적 가치의 증가율을 보면 2015년 351%, 2016년 -44%, 2017년 96%, 2018년 323%, 그리고 2019년 411% 증가하였고 평균 약 227% 증가한 것으로 나타났다(Fig. 6). 어도 개보수 전에 비해 어도 개보수 이후 경제적 가치가 높아진 것은 다양한 회유성어종의 유입과 담수어류의 국지적 이동이 증가했기 때문으로 판단한다.

4. 자원량에 따른 경제적 가치 변동

자원량 변화에 따른 경제적 가치변동 곡선을 지수함수모델에 적용시킨 결과 모델계수는 0.582이며, 이에 따른 최대 경제적 가치는 약 30.4백만원인 것으로 나타났다 ($R^2=0.896$). 이는 어도 개보수에 따라 얻을 수 있는 최대 경제적 가치를 의미한다(Fig. 7).

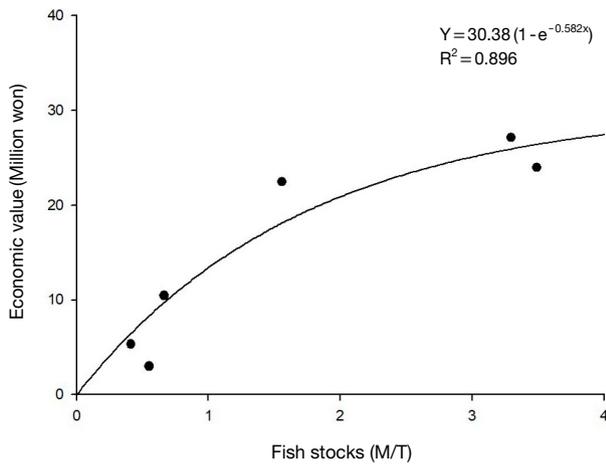


Fig. 7. Exponential model of the economic value with changes in fish stock.

고찰

어도와 관련된 수생태계 관련 연구는 다양한 생태계 서비스영역에 부합될 수 있을 것으로 판단한다. 먼저 지지서비스 측면에서 생물서식지 질적 향상과 생물다양성 및 수생태계 건강성 확보에 기여할 수 있고, 생태계 공급서비스 측면에서 지속가능한 수산자원 확보에 기여할 수 있을 것으로 판단된다. 또한, 조절 및 문화서비스 측면에서 생태환경 및 경관개선 그 외 교육, 관광, 여가 등 다양한 서비스를 제공할 것으로 기대할 수 있다. 다양한 영역에서 나타나는 혜택에 대한 가치평가를 위해선 각 분야별로 표준화된 지수나 지표개발이 필수적이다(Karjalainen et al. 2013). 이제까지 수생태계 분야에서 생물다양성이나 건강성에 관한 정량적 지표는 가지고 있지만 그 외 분야에서 관련 지수나

Table 5. Changes of the average fish stock from 2014 to 2019 in the SOW-0010 (unit: M/T)

Location	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Upstream	0.040	0.296	0.170	0.145	0.408	0.404
Downstream	0.188	1.105	0.186	0.546	1.894	1.106
Total	0.228	1.401	0.356	0.692	2.302	1.510

Table 6. Economic fish species (fishery resources) and changes in production value in SOW-0010 from 2014 to 2019 (unit: KRW)

List of economic fishes	2014	2015	2016	2017	2018	2019
<i>Carassius auratus</i> (붕어)			1	16	10	
<i>Cyprinus carpio</i> (잉어)					3	
<i>Rhynchocypris oxycephalus</i> (버들치)		2		8	1	40
<i>Tribolodon hakonensis</i> (황어)	40	66	340	146	270	70
<i>Zacco platypus</i> (피라미)	4	15		26	49	
<i>Koreocobitis rotundicaudata</i> (새코미꾸리)		6	49	79	30	34
<i>Silurus asotus</i> (메기)					1	
<i>Silurus microdorsalis</i> (미유기)		2	6	4	6	14
<i>Plecoglossus altivelis</i> (은어)	82	313	38	284	185	430
<i>Oncorhynchus keta</i> (연어)		20	6	7		2
<i>Oncorhynchus masou masou</i> (산천어)		1				
<i>Mugil cephalus</i> (송어)	1	21	2	5		
<i>Odontobutis interrupta</i> (얼룩동사리)				1	6	
<i>Gymnogobius urotaenia</i> (꼭저구)	26	25	24	56	15	208
Number of species	5	11	8	11	13	8
Number of individuals	153	472	466	632	578	814
Production value (unit: KRW)	₩23,569	₩101,281	₩13,315	₩46,272	₩99,614	₩120,384

지표개발은 미흡한 수준이다.

본 연구에서는 수생태계 공급서비스 측면에서 어도 개보수를 통한 어류 자원량 변동을 추정하였고, 이에 따른 경제적 가치평가를 수행하였다. 추후 다른 서비스분야로 확대하여 종합적인 평가를 수행하는 것이 필요하다. 어도 개보수를 통해 지역주민을 포함하여 수혜자 중심의 지불 의사능력(Willing to pay)은 경제적 가치를 종합적으로 평가하는 중요한 기법이 될 수 있을 것으로 판단한다. 실제 어도 개보수에 따라 지역주민을 대상으로 설문조사(미발표자료)를 실시한 결과 어류 자원량 증가와 경관개선이 압도적으로 높았으며, 이에 대한 적절한 지불의사능력을 가지고 있는 것으로 나타났다. 따라서 이에 대한 조사기법이 정립되고 현장에 적용되면 어도를 통한 생태계 가치평가는 확대될 것으로 판단한다. 이러한 평가지표는 향후 본 사업의 성패를 결정하고 타당성을 설명하는 중요한 자료가 될 수 있을 것으로 기대한다.

수산 자원량에 대한 관련연구는 지난 1950년대부터 개체군 성장 및 분포 관련 기초이론이 나오기 시작하면서 해양생물을 중심으로 다양한 방법이 개발되고 적용되어 왔다(Lee *et al.* 2015; Lim *et al.* 2018). 지난 1980~90년대 수산자원학의 발달과 함께 통계를 이용한 다양한 자원량 평가기법들이 개발되었고, 지난 2000년대 이후부터는 기존의 개체군 수준에서 벗어나 생태계기반 수산자원관리개념으로 평가되고 있다. 그러나 아직 국내 담수생태계에서는 어류 자원량 추정을 위한 표준화된 조사방법이 마련되지 않은 상태이며, 따라서 국내하천환경에 적합한 자원량 평가기법개발이 필요한 상황이다. 생물자원량 평가에는 다양한 방법이 있으며 크게 직접조사와 간접적인 방법을 통한 자원량 조사법이 있다. 해양자원 연구에서는 주로 트롤이나 형망과 같은 능동적 어구를 이용한 조사 및 수중음파탐지(Hydroacoustic)를 통한 직접적인 방법으로 수산자원량을 추정한다. 반면 장기간 축적된 어획량 자료나 통계자료를 바탕으로 간접적 수산자원량 추정방법은 크게 1) 코호트분석법, 2) 단위노력당 포획조사법, 3) 표지방법으로 구분할 수 있으며, 각각 장·단점을 가지고 있다(Maceina and Rider 1993). 국내 하천의 경우 표준조사방법인 단위노력당 포획조사를 기반으로 소해면적법(SAM) 혹은 포획감소(Catch-depletion method)등을 적용하여 직·간접적인 방법을 통해 자원량 규모를 산정하는 것이 가장 효과적일 것으로 판단한다.

본 연구에서 수행된 어도 개보수에 따른 어류 자원량 변

동은 향후 하천연속성 확보 및 생물서식지 확대에 따른 평가지표로서 활용가능성이 높을 것으로 기대한다. 하천환경에서 적용되고 있는 생물군집지수나 건강성평가지수 등은 생물다양성과 하천의 건강도를 나타내는 정량지표지만 자원의 총량을 반영하지는 못하는 단점이 있다. 특히 어도 개보수에 따른 생물서식지 확대에 따른 생물량 변화에 대한 평가는 기존의 평가를 적용 시 과소평가의 우려가 있다. 회유성 어종이 유입하는 하구하천의 경우 산란시기 특정 어종이 집중적으로 유입함으로써 우점화 비율이 높아져 생물다양성과 건강성이 악화되는 것으로 평가될 수 있기 때문이다. 또한, 어도 개보수의 주 목적은 생물서식지 확대를 통한 자원량 증가 목적이 크기 때문에 하천의 질적인 평가보다는 양적 변화에 대한 평가지표가 더 중요한 의미를 가질 수 있다. 따라서 자원량 변동에 따른 생태환경변화를 반영하는 다양한 지표를 적극적으로 개발하는 것이 필요하다.

본 연구의 경제적 가치추정기법에서 어종별 단가(Unit price)와 조업계수는 경제성 가치평가에 직접적으로 영향을 주는 요인으로 향후 이에 대한 보완이 필요하다. 어종별 단가는 표준단가를 설정하거나 물가상승률을 반영하여 가격을 설정하는 방법 또는 매년 시장조사를 통하여 가격을 산정하고 적용하는 방법 등 다양한 방안을 고려할 수 있다. 본 연구에서 어업일수는 내수면 어업권을 가진 어민을 대상으로 구두설문을 통해 역추정한 것으로 추후 자료의 객관성 확보를 위해 평균어업일수를 바탕으로 계수를 재산정하는 것이 필요하다.

자원량에 따른 경제적 가치변동을 지수함수모델에 적용하여 분석한 결과 자원량의 증가는 경제적 가치변동을 약 89.6% 정도 설명하는 것으로 나타났으며, 따라서 산출된 모델계수와 최대 경제적 가치값은 정량적 비교자료로서 유용한 지표가 될 수 있을 것으로 판단한다. 경제적 가치에 대한 기여도가 높을수록 계수값은 증가하게 되고 이에 따른 최대 경제적 가치가 높아지게 된다. 본 연구에서는 정량적 비교를 위해 3~4분기 자료만 대상으로 자원량 및 경제성 평가를 수행한 것으로 전체를 분기를 대상으로 분석할 경우 모델계수값과 이에 따른 경제적 가치는 더 높아질 것으로 판단한다.

적 요

SOW-0010의 어도 개보수 전·후 자원량을 분석한 결과 개보수 이후 평균자원량은 약 4.6배 증가한 것으로 나타났

다. 경제적 가치는 어도 개보수 전 2014년 약 5.3백만원에서 어도 개보수 후 2015년 약 23.9백만원, 2016년 약 3.0백만원, 2017년 약 10.4백만원, 2018년 약 22.4백만원, 2019년 약 27.1백만원으로 매년 증감패턴이 다르게 나타났다. 2016년을 제외하고 전체적으로 개보수 이후 경제적 가치는 증가한 것으로 나타났다. 이는 다양한 회유성어종의 유입과 담수어류의 국지적 이동이 증가했기 때문으로 판단한다. 자원량 변화에 따른 경제적 가치변동을 지수함수를 적용하여 분석한 결과 모델계수는 0.582였으며, 이에 따른 최대 경제적 가치는 30.4백만원인 것으로 추정되었다. 군집 내 경제성어종의 비율과 점유율이 높을수록 계수값이 증가하고 이에 따라 경제적 가치가 높아질 것으로 예상된다.

사 사

본 연구는 2019년도 “어도 개보수사업 모니터링 및 효과분석”의 사업 지원을 받아 수행하였음.

REFERENCES

- Cha SB, JU Seong, JO kim and JC Park. 2015. Evaluation of fish migration ratio at the fishway constructed in weir. *J. Environ. Sci. Int.* 24:229–236.
- Chae BS, HB Song and JY Park. 2019. *A Field Guide to the Freshwater Fishes of Korea*. LG Evergreen Foundation, Korea.
- Choi JS, HK Byeun and KS Cho. 1995. Studies on stream conditions and fish community in Osip Stream (Samchuk County). *Korean J. Limnol.* 28:263–270.
- Choi JW and KG An. 2013. Ecological health assessments on stream order in Southern Han River watershed and physical habitat assessments. *Korean J. Environ. Biol.* 31:440–447.
- Choi KC, SR Jeon, IS Kim and YM Son. 1984. *Korea Freshwater Fish Distribution Map*. Jungmoonsa. Seoul.
- de Groot RS, R Alkemade, L Braat, L Hein and L Wilemen. 2010. Challenges in integrating the concept of ecosystem services and values in landscape planning, management and decision making. *Ecol. Complex.* 7:260–272.
- Joo WY, HS Kwon, JY Jang, HJ Bae, PM Jung, EJ Bang, JI Kim, MY Kim, CW Seo and JC Choi. 2017. *National Ecosystem Services Assessment “National Ecosystem Service Strategy and Action Plan”*. National Institute of Ecology. Seochon, Korea.
- Jordan F, S Coyne and JC Trexler. 1997. Sampling fishes in vegetated habitats: effects of habitat structure on sampling characteristics of the 1-m² trap. *Trans. Am. Fish. Soc.* 126:1012–1020.
- Karjalainen TP, M Marttunen, S Sarkki and AM Rytönen. 2013. Integrating ecosystem services into environmental impact assessment: An analytic-deliberative approach. *Environ. Impact Assess. Rev.* 40:54–64.
- Kim IS and JY Park. 2002. *Freshwater Fishes of Korea*. Kyo-Hak Publishing Co., Ltd. Seoul, Korea.
- King M. 2007. *Fisheries Biology, Assessment and management*, 2nd edition. Blackwell Publishing Ltd. Hoboken, NJ.
- Lee EJ, YI Seo, HW Park, HJ Kang and CI Zhang. 2015. A study on the comparison of spawning biomass per recruit analysis for fisheries management of small yellow croaker caught by drift gill net. *J. Korean Soc. Fish. Technol.* 51:535–544.
- Lee SJ and KG An. 2016. Distributions of endangered fish species and their relations to chemical water quality-ecological stream health in Geum-River watershed. *Korean J. Environ. Ecol.* 30:986–995.
- Lee SJ, HS Park and KG An. 2017. Preliminary environmental impact assessments on fish compositions and the ecological health of Jeokbyeok River on the road construction of Muju-Geumsan region. *J. Environ. Impact Assess.* 26:27–43.
- Lim JH, YI Seo and CI Zhang. 2018. A study on the forecasting biomass according to the changes in fishing intensity in the Korean waters of the East Sea. *J. Korean Soc. Fish. Ocean Technol.* 54:217–223.
- MA. 2005. *Millennium Ecosystem Assessment: ecosystems and human well-being: synthesis*. Island Press, Washington, D.C.
- Maceina MJ and SJ Rider. 1993. Use of a catch-depletion method to estimate population density of age-0 largemouth bass in submersed vegetation. *North Am. J. Fish. Manage.* 13:847–851.
- Millhous RT, MA Updike and DM Schneider. 1989. *Physical Habitat Simulation System Reference Manual - Version II. In-stream Flow Information Paper No. 26*. US Fish and Wildlife Service. Washington, D.C.
- Nam YM. 1996. Current status of freshwater fish from Korea. pp. 31–45. In: *Proceedings of the Korean Society of Limnology Symposium*. The Korean Society of Limnology.
- NIFS. 2016. *Inland Water Fisheries Resources and Environmental Survey Manual*. SP-2015-FR-003. National Institute of Fisheries Science. Busan, Korea.
- Rojas LP and TJ Minello. 1997. Estimating densities of small fishes and decapod crustaceans in shallow estuarine habitats: a review of sampling design with focus on gear selection. *Estuaries* 20:199–213.
- Stevens PW. 2006. Sampling fish communities in saltmarsh impoundments in the northern Indian River Lagoon, Florida: cast net and culvert trap gear testing. *Fla. Sci.* 69:135–147.
- TEEB. 2010. *Ecological and Economic Foundations*, Kumar P (ed.). *The Economics of Ecosystems and Biodiversity*. Routledge, UK.