

하천구조 개선에 따른 어류 서식적합도와 물리적 교란의 상관분석

A Correlation Analysis between Physical Disturbance and Fish Habitat Suitability before and after Channel Structure Rehabilitation

최흥식* · 이웅희

상지대학교 건설시스템공학과

Heung Sik Choi* and Woong Hee Lee

Department of Civil Engineering, Sangji University, Wonju 220-702, Korea

Received 4 March 2015, revised 7 March 2015, accepted 20 March 2015, published online 31 March 2015

ABSTRACT: In this study, an optimal improvement method of stream channel structure is presented for the enhancement of fish habitat suitability by genetic algorithm. The correlation between fish habitat suitability and physical disturbance in stream is analyzed according to the changes of hydraulic characteristics by channel structure rehabilitation. *Zacco koreanus* which is an indicator fish of the soundness of aquatic ecosystem was selected as a restoration target species by investigating the community characteristics of fish fauna and river environments in Wonju stream. The habitat suitability is investigated by PHABSIM with the habitat suitability index of *Zacco koreanus*. Hydraulic analysis by HEC-RAS and physical disturbance evaluation in stream are carried out. The optimal channel width modified for the enhancement of fish habitat suitability is provided. The correlation analysis between habitat suitability and physical disturbance with the change of hydraulic characteristics by channel modification showed that the proper channel modification enhanced fish habitat suitability and mitigated physical disturbance in the stream. The improvement of physical disturbance score by the channel structure rehabilitation for the enhancement of fish habitat suitability was confirmed in this study.

KEYWORDS: Channel structure rehabilitation, Fish habitat suitability, Genetic algorithm, Physical disturbance evaluation

요약: 본 연구는 어류서식적합도 향상을 위해 유전자알고리즘을 이용한 하천의 구조개선 방안을 제시하였다. 하천구조 개선에 의한 수리특성의 변화에 따른 어류 서식적합도와 물리적 교란양상과의 상관특성을 분석하였다. 원주천의 하천 환경조사와 어류의 군집특성을 이용하여 수중 생태계를 대표할 수 있는 복원 목표어종으로 참갈겨니를 선택하였다. 참갈겨니의 서식적합지수를 사용한 서식적합도 분석은 PHABSIM 모형을 이용하였다. HEC-RAS를 이용한 수리특성 분석과 하천교란 평가방법을 이용하여 물리적 교란평가를 수행하였다. 서식적합도 향상을 위한 최적의 저수로 폭의 개선방안을 제시하였다. 하천구조의 개선에 의한 수리특성의 변화에 따른 서식적합도와 물리적 교란의 상관성을 분석하여 어류 서식적합도와 물리적 교란 평가점수의 향상이 있음을 확인하였다. 서식적합도 향상을 위한 하천의 구조 개선은 물리적 교란의 평가점수의 향상을 가져옴을 확인하였다.

핵심어: 하천구조 개선, 어류서식적합도, 유전자알고리즘, 물리적 교란 평가

*Corresponding author: hsikchoi@sangji.ac.kr

© Korean Society of Ecology and Infrastructure Engineering. 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, provided the original work is properly cited.

1. 서론

하천의 정비와 직강화는 수생태계의 다양한 변화를 초래하여 하천의 생물종은 감소하고 건전한 서식처가 사라지는 현상이 발생한다. 이수·치수를 위한 하천의 정비 및 구조물의 설치는 하천의 수리적·지형학적 특성을 변화시키며, 장·단기적인 하천의 변화를 가져와 하천의 물리적 교란을 발생시킨다. 하천의 물리적 교란은 하도의 변형과 하중도, 여울, 소 등의 생성과 소멸을 가져오며 수리적 특성의 변화와 함께 하상변화와 하천 생태계의 변화를 가져온다. 최근에는 자연친화적인 하천환경을 만들고 하천 생태계의 건전성 확보를 위해 다양한 하천복원 사업의 실시와 자연과 인간이 어우러진 환경을 조성하기 위한 연구가 진행되고 있다.

환경부 (MOE 2011)는 양재천 일부 구간에 다양한 자연재료를 이용한 자연형 하천공법을 시험 적용하여 복원사업의 효과를 확인하였다. 서울시 (Seoul City 2006)는 청계천 일부 구간의 하폭, 저수로 폭, 고수부지 폭, 고수·저수호안의 높이 등을 복원하였으며, 친수·생태환경 조성을 위해 유지용수를 공급하여 자연성이 있는 하천으로 복원하였다. 또한 국토해양부 (MLTM 2011)는 인간과 자연이 어우르는 하천 조성을 목표로 하천의 구조적 안정성을 보장하고 자연성과 환경성을 보전·복원시켜 생태적이며 경제적으로 지속가능한 국가 통합 하천 복원매뉴얼을 제시하였다. 그러나 지금까지의 복원사업은 하천 생태계에 직·간접적인 영향을 주는 하천의 물리적 구조 개선에 따른 수리특성의 변화와 어류의 서식적합도 (HS, habitat suitability) 변화 및 하천교란의 양상에 대한 연구는 미흡한 실정이다.

Tompkins and Herricks (2003)는 같은 유량 조건에서 수리·지리적으로 변화된 특징에 따라 어류 서식처 평가가 달라짐을 확인하였다. Kim et al. (2004)은 하천 유량에 따른 서식처 평가로 성장 단계별 생태학적 서식처 선호도를 모의하였으며, 개별 어종에 대한 최적 유량을 산정하였다. Moir et al. (2005)은 하천의 흐름방향을 9개 구간으로 나누어 결정적인 서식적합도 지수 (HSI, habitat suitability index)와 PHABSIM을 통한 대상하천에서의 어류 서식적합도를 분석하였다. Jung et al. (2006)은 PHABSIM과 River2D를

이용하여 대상 어종의 성장 단계별 (성어기·산란기) 가중가용면적 (WUA, Weighted Usable Area)을 비교·검토하였으며, 어류 서식조건을 고려한 최적 유량 값은 두 가지 모델에서 큰 차이를 보이지 않는 것을 확인하였다. Hur and Kim (2009)은 생물 모니터링을 통해 작성된 서식적합도 지수를 기반으로 PHABSIM을 이용하여 최적 생태유량을 산정하였다. Casper et al. (2010)은 PHABSIM과 SWAT모형을 이용하여 유역정보와 강우특성을 통해 서식처를 평가하였다. Kim et al. (2014)은 하천 환경과 서식처 교란이 어류 군집구조에 미치는 영향 분석을 위해 생물평가법과 어류 군집조사를 실시하였으며, 하상 특성에 따라 군집구조가 변형됨을 확인하였다. Kim and Choi (2014)는 준정류 모형과 PHABSIM을 이용하여 댐에 의한 유황의 변화에 따른 어류의 물리서식처 영향을 분석하였으며, 10년 후 하상변동에 따른 대상어종의 서식적합도를 분석하였다. Hur et al. (2014)은 현장조사를 통해 어류의 출현 중에 따른 HIS의 산정과 지점별 WUA의 분석을 통해 최적 생태유량을 산정하였다.

Stein et al. (2002)은 하천복원 사업에 따른 인위적 변화에 대하여 DEM자료를 이용하여 하천교란을 분석하였다. Tiegs et al. (2005)은 항공사진을 이용하여 시간변화에 따른 하천교란을 확인하였으며, 교란지역의 생물상 조사를 실시하여 교란영향에 따른 생물종의 분석을 실시하였다. Hesselink et al. (2006)은 사례를 중심으로 하천의 제방축조와 같은 인위적인 교란에 대하여 하천의 지형변화를 체계적으로 분석하고, 하천관리 기법을 정립하였다. Jo (1997)는 하천의 물리적 구조에 초점을 두고 하천생태계 변위 축인 종적, 횡적, 수직적인 공간축을 중심으로 6개 부분 24개 평가항목에 대한 하천자연도 평가법을 제안하였다. Kim (2008, 2009)은 댐 하류의 하천교란 평가기법을 제시하였으며, 시범하천을 대상으로 교란 평가기법의 적용성을 확인하였다. Choi and Lee (2014)는 하천 구조물 설치에 따른 하상변동 양상과 물리적 교란평가를 분석하여 구조물 설치에 따른 하상변동 영향범위는 하천교란 영향범위와 같음을 확인하였다.

Choi and Choi (2009)는 어류군집 건전화를 위한 하천구조 개선방안을 연구하였으며, 생태계의 건전성을 유지할 수 있는 수질의 변화, 유량의 증대와 하

상구조 변경의 필요성을 제시하였다. Choi and Kim (2013)은 어류 서식적합도 향상을 위해 PHABSIM과 유전자알고리즘 (GA, genetic algorithm)을 이용하여 원주천의 서식적합도 향상을 위한 최적 저수로 폭을 제시하였다.

지금까지의 연구에서 하천 물리적 구조의 변화에 따른 생태계의 직·간접적 영향에 대한 연구가 미흡한 실정이며, 하천정비에 따른 교란된 하천의 회복방안의 제시가 필요하다. 또한 물리적 교란과 함께 발생 가능한 생태 교란에 대한 연구가 미미하다. 따라서 본 연구는 어류의 서식적합도 향상을 위한 저수로 폭의 최적화와 그에 따른 물리적 교란 영향을 분석하였다. 저수로 폭의 개선 후 시간경과에 따른 하상변동 영향은 배제하였으며, 저수로 폭의 개선에 따른 수리특성의 변화만을 고려하였다. 서식적합도 향상을 위한 하천구조 개선은 수리특성의 변화를 가져오며, 이의 변화와 물리적 교란과 서식적합도의 관계를 규명하여 서식적합도의 향상을 위한 하천구조 개선과 하천의 물리적 교란과의 상관을 규명하였다.

천 생태계의 건전성은 떨어져 개선 방안이 필요한 실정이다. 본 연구는 원주천 중·상류지역인 관설 취수보에서 홍양천 합류점까지의 약 10 km를 서식적합도 및 물리적 하천 분석을 위한 대상구간으로 선정하였다. 대상구간의 하상경사는 1/320이며, 조도계수는 0.030이다. 원주천의 유황은 Table 1과 같으며, 서식적합도와 물리적 하천교란 평가를 위한 유량 조건으로는 $1.596 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ 로 평수량을 사용하였다.

본 연구의 복원 목표 어종은 원주천의 군집특성 분석 (Choi et al. 2000)결과에 따라 원주천 중류에 우점종으로 서식하고 있는 참갈겨니를 선택하였다. 복원 목표종을 우점종으로 선택함은 개체수가 많은 어종의 서식적합도 분석 결과가 신뢰성을 높일 수 있기 때문이다 (Bovee et al. 1998). 서식적합도 분석은 산란기, 치어기, 성어기 각각의 성장 단계별 분석이 필요하지만 서식처 수리조건이 산란기의 경우 대부분 4~5월로 편중되어 있고 치어기의 경우 여름~가을로 그 기간이 짧으며, 성어기는 봄에서 가을로 동절기를 제외한 대부분의 연중이라 할 수 있으므로 성어의 수

2. 대상하천 및 복원 목표 어종의 선정

원주천은 한강 제1지류인 섬강에 합류하는 유로연장 25.66 km, 유역면적 152.9 km^2 인 도시하천으로 원주시를 남북으로 관류하고 있다 (Fig. 1). 원주천은 지속적인 생태하천 조성사업이 이루어져 왔으나, 하

Table 1. Flow regime of Wonju River at the Wonju Observation Station.

Basin area (km^2)	Flow regime ($\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$)			
	Drought flow (Q_{365})	Low flow (Q_{275})	Ordinary flow (Q_{185})	Abundant flow (Q_{95})
152.92	0.401	0.885	1.596	3.095

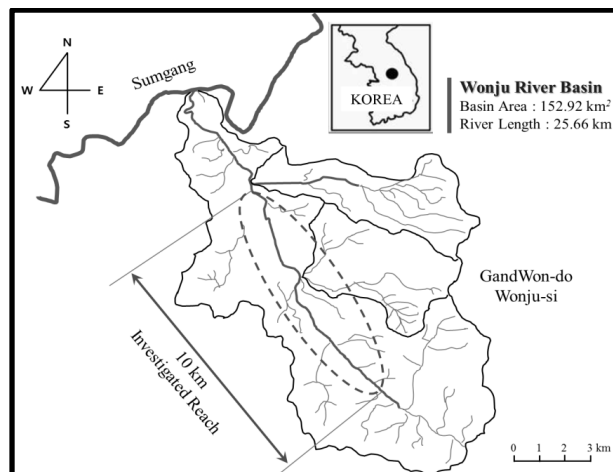


Fig. 1. Map showing Wonju River basin and the investigated reach.

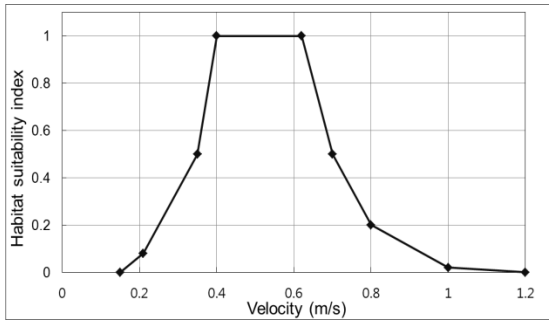


Fig. 2. Habitat suitability index of *Zacco koreanus*.

리조건을 기준으로 서식적합도를 분석하였다. 성어 기 참갈겨니의 수리조건에 따른 서식적합도 지수는 Fig. 2와 같으며, 수심 0.15~1.2 m와 유속 0~1.5 m s⁻¹의 범위에서 서식적합도가 산정된다.

3. 서식적합도 향상을 위한 하천구조 개선

어류의 서식적합도 향상을 위한 단면별 저수로 폭의 최적화를 위해 GA를 이용하였다. GA는 변수들의 진화과정을 통해 최적해를 얻는 기법으로 경계조건 안에서 자유롭게 변환되며, 교차 (cross-over), 변이 (mutation) 과정을 거쳐 가장 우수한 유전자, 즉 최적해를 도출하는 기법이다.

저수로 폭과 하폭 비 $W/B \geq 0.2$ 를 기준으로 하였으며, 저수로 폭의 변경은 10~30%이내의 축소 범위만을 대상으로 하였다. 저수로 폭의 증가는 하천 제내지의 토지이용 및 제방의 안정성에 영향을 고려하여 반영하지 않았다. GA를 이용한 최적해의 추정은 Table 2의 목적함수와 제약조건을 이용하였다. 여기서 W_i 는 각 단면의 수면 폭, L_i 는 각 단면 사이의 거리, V_i 는 각 셀에서의 유속에 대응하는 서식적합도 지수, D_i 는 각 셀에서의 수심에 대응하는 서식적합도 지수이다.

참갈겨니의 서식적합 지수를 이용하여 원주천 대상구간에 대한 가중가용면적과 서식적합도를 모의하였다. 구간별로 구조 개선을 통한 최적 저수로 폭의 축소 전과 후의 서식적합도를 비교하였다 (Fig. 3). 구조개선 전의 서식적합도는 10.3%에서 33.0%로 나타났으며, 평균은 22.8%이다. GA를 이용하여 최적 저수로 폭에 의한 구조개선 후의 서식적합도는 10.5%

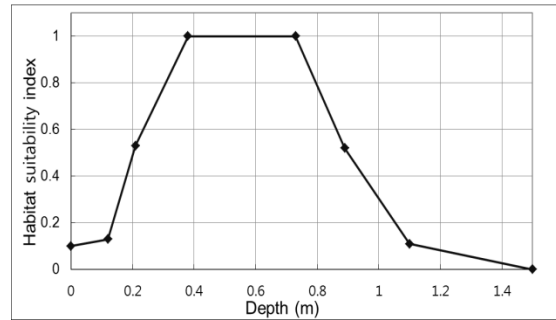


Table 2. Objective function and constraints (Choi and Kim 2013).

Object function	Constraints
$Max \cdot f(x_i) = \sum_{i=1}^n W_i \times L_i \times V_i \times D_i$	$0.9 W_i \leq W_i \leq 0.7 W_i$
	$0.06 \leq D_i \leq 1.00$
	$0.10 \leq V_i \leq 1.00$

에서 37.5%로 나타났으며, 평균은 26.9%이다. 구조물 주변에서의 서식적합도 증가율은 미미하였으나, 구간별 증가율은 -0.1%에서 3.3%로 나타났으며, 평균 4.1%의 서식적합도가 증가하였다. 이는 현재의 서식적합도가 22.8%임을 고려하였을 때 17.7%의 서식적합도 향상으로 서식적합도가 상당폭 증가한 것을 의미한다. 현재복원 목표어종의 서식적합 지수를 이용한 하천 구조의 최적화는 서식적합도의 향상을 가져왔다.

서식적합도 향상을 위한 저수로 폭의 조정 결과 대상구간의 총 97개 단면에 대하여 11.5%에서 24.7%까지로 평균 18.3%로 전체 구간 평균 약 6.7 m의 저수로 폭을 축소하였다 (Fig. 4).

4. 하천구조 개선에 따른 수리특성과 서식적합도의 변화

Fig. 5는 하천구조 개선에 따른 수리특성과 서식적합도 변화의 상관성을 분석한 결과이다. 자세한 수리특성 변화의 분석을 위해 대상구간 10 km를 957개 구간으로 분할하였다. 하천구조 개선에 따른 유속에 대한 최대 서식적합 지수는 변경 전 301개 지점에서 변경 후 349개로 증가하였다. 수심에 대한 최대 서식

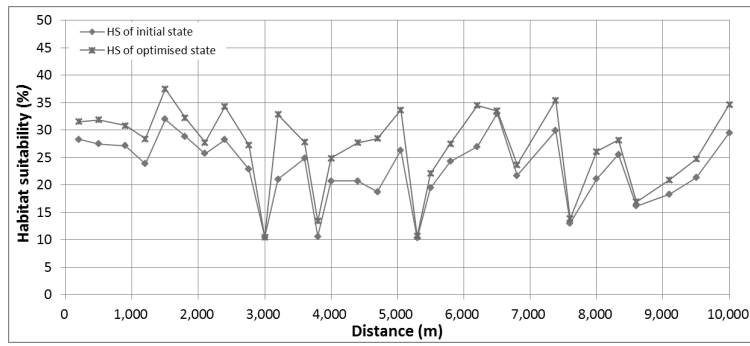


Fig. 3. Comparisons of habitat suitability at the initial and optimized states.

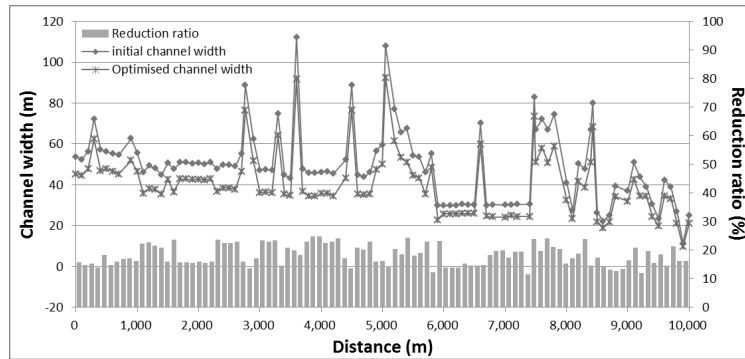
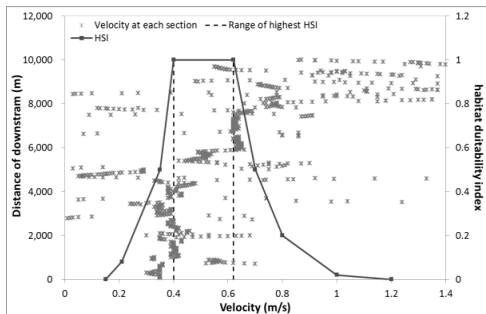
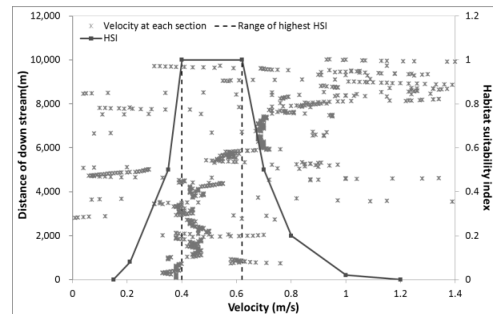


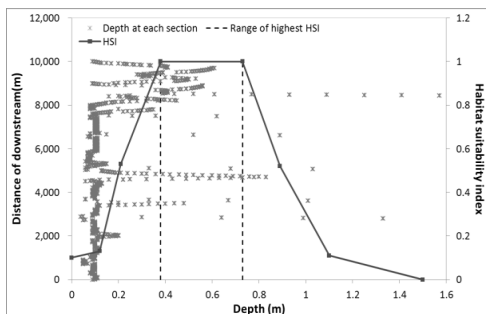
Fig. 4. Changes of channel width at the initial and optimized states and their reduction ratio along the distance from the downstream.



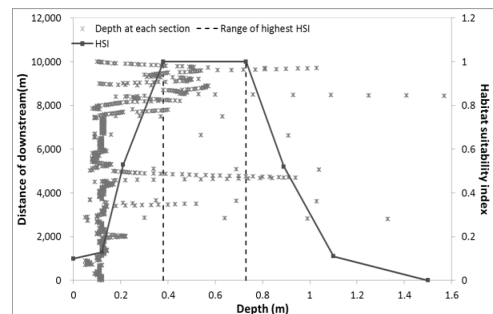
(a) Velocity of initial channel



(b) Velocity of optimized channel



(c) Depth of initial channel



(d) Depth of optimized channel

Fig. 5. Comparisons of hydraulic characteristics at initial and optimized channels.

적합 지수는 변경 전 120개에서 변경 후 119개 지점으로 1개 지점이 감소하여 현저한 변화가 없는 것으로 나타났다 (Table 3).

이는 하천구조 개선에 따른 저수로 폭의 축소로 유속과 수심이 증가한 결과로 판단된다. 유속의 증가는 계류성 어종인 참갈겨니의 서식을 위한 이점으로 작용한다. 그러나 수심의 경우 총 구간 전체에 걸쳐 평균 0.025 m가 증가하는 것으로 나타났으며, 대상구간 내 최상류지점을 제외하고 거의 변화가 없는 것으로 확인되었다. 그에 따라 대상구간에서의 저수로 폭 축소는 유속에 대한 서식적합도 지수를 만족시켜 서식적합도가 증가한 것으로 판단된다.

원주천은 하류로부터 5,000 m 지점을 중심으로 도시하천과 자연형 하천으로 구분된다. 도시하천의 특성을 나타내는 하류구간은 원주시 중심부에 위치하여 고수부지의 개발과 하도의 정비율이 높으며, 수면폭은 넓고 수심은 얇다. 상류구간은 정비율은 높으나 주수로 및 홍수터의 형성이 자연형 하천과 유사하다. 상류구간은 하폭이 좁고 비교적 큰 수심을 유지하며, 유속이 빠르다.

Fig. 5 (a), (b)에서와 같이 흐름 양상은 상류에서 빠른 유속과 하류에서의 느린 유속의 특성을 나타낸다. 상·하류의 구분에 따른 유속에 대한 최대 서식적

합도 지수가 나타나는 구간은 하천구조 개선 전 상류의 123개 지점과 하류의 178개 지점이고, 개선 후에는 상류의 70개 지점과 하류의 279개 지점으로 나타났다. 이는 빠른 유속을 가진 상류에서는 저수로 폭의 축소로 유속을 보다 더 증가시키고, 낮은 유속을 가진 하류에서는 저수로 폭의 축소로 유속을 증가시켜 높은 서식적합 지수를 가져온 것으로 판단된다.

Fig. 5 (c), (d) 및 Table 3에서와 같이 저수로 폭의 축소에도 수심은 거의 동일한 지점수로 나타났다. 이는 하폭의 축소는 유속의 변화는 있으나 수심의 변화가 미미한 것으로 판단된다.

5. 하천구조 개선에 따른 물리적 하천 교란과 서식 적합도

물리적 교란 평가는 Lee et al. (2014)이 제시한 개선된 교란평가 방법으로 HEC-RAS 수치모의 결과를 이용하였다. Table 4의 10개 항목에 대하여 각 항목별 20점의 총점 200점으로 평가된다. 물리적 교란의 시간적 변화에 따른 예측 평가가 아닌 현재 상황과 구조 개선에 의한 저수로 폭의 변경에 따른 수리특성의 평가로 하상재료, 유사퇴적, 하도변형, 하안 안정성의 5가지 항목은 변화가 없는 것으로 평가하였다.

Fig. 6은 하천구조 개선 전·후의 구간별 물리적 교란평가 결과이다. 구조개선 전의 교란평가는 105점에서 127점으로 평균 111.5점으로 보통의 평가결과이다. 개선 후의 물리적 교란 평가결과는 104점에서 133점으로 평균 114.6점으로 보통의 평가결과이다. 구조개선 전·후의 평가결과는 -4점에서 17점이 변화였으며, 평균 3.1점의 교란 평가점수가 증가하여 구조개선 전·후로 크게 차이가 나지 않는 것을 확인하였다. 이는 본 연구의 목적상 하상변동 모의 예측에

Table 3. Number of stations with high range of HSI of 1.0 at the initial and optimized channels.

Location	Velocity		Depth	
	Initial channel	Optimized channel	Initial channel	Optimized channel
Upstream	123	70	98	98
Downstream	178	279	22	21
Total	301	349	120	119

Table 4. Physical disturbance evaluation method of the stream.

Evaluation items		Score	Evaluation	
Epifaunal (bottom) substrate / available cover	Channel alteration	20 points for each	200~160	Excellent
Embeddedness	Frequency riffles (or bands)		160~120	Good
Velocity / depth regime	Bank stability		120~80	Fair
Sediment deposition	Vegetative protection		80~0	Poor
Channel flow status	Riparian zone			

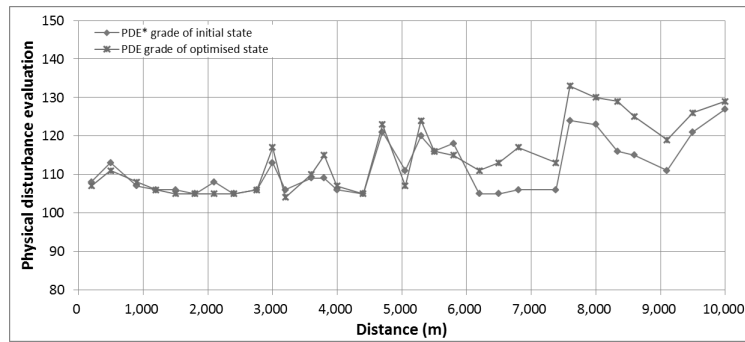


Fig. 6. Comparisons of physical disturbance evaluations before and after channel structure modification (* PDE: physical disturbance evaluation).

Table 5. Number of stations with riffle appearance and different velocity/depth regime at the initial and optimized channels.

Location	Riffle appearance		Velocity / depth regime*							
	Initial channel	Optimized channel	Initial channel				Optimized channel			
			S-D	S-Sh	F-D	F-Sh	S-D	S-Sh	F-D	F-Sh
Upstream	71	100	71	261	75	71	56	221	101	100
Downstream	9	13	36	433	1	9	41	424	1	13
Total	80	113	107	694	76	80	97	645	102	113

* S: Slow, F: Fast, D: deep, Sh: Shallow

따른 교란 평가가 아닌 저수로 폭의 수정에 의한 수리특성의 변화를 고려한 교란 평가를 실시하여 미미한 차이를 나타낸 것으로 판단된다.

상류부는 기존의 교란 평가 점수보다 높은 점수로 평가되었으며, 하류부에서도 교란 점수는 크게 낮아지지 않고 현 상태를 유지하거나 약간 높아지는 것을 확인하였다. 따라서 하천구조 개선을 위한 저수로 폭의 개선은 현재의 물리적 교란 정도와 비슷한 결과 또는 교란 평가점수의 증가를 가져 올 것으로 판단된다.

Table 5는 유속/수심 양상의 구분에 따른 여울과 흐름의 다양성이 발생하는 구간을 분석한 결과이며, 현재의 상태를 안정화상으로 가정하여, 저수로 폭의 개선에 따른 하상변동양상이 발생되지 않는 가정에서의 수리특성 변화를 고려하였다.

하천구조 개선 전의 여울 발생 지점은 상류에서 71개, 하류에서 9개 지점이다. 구조개선 후 상류에서 100개, 하류에서 13개 지점으로 구조개선 전보다 여울 발생 지점이 증가하였다. 여울은 구조개선 전·후 모두 88% 비율로 상류에서 발생하였다. 아울러 물리적 교란 평가점수가 증가한 상류에서 여울의 발생 비

율이 증가한다는 것은 유속이 크고 용존산소가 풍부한 장소에 서식하는 계류성 어종인 갈겨니의 서식적합도를 증가시킬 것을 의미한다.

물리적 교란 평가에 있어 유속/수심 양상은 느림-깊음, 느림-얕음, 빠름-깊음, 빠름-얕음의 네 가지 영역이 다양하게 나타남에 따라 교란 평가점수가 높아진다. 구조개선 전의 유속/수심 상황의 분석 결과 느림-얕음이 상류에서 261개, 하류에서 433개, 총 694개로 가장 많이 나타났으며, 상류의 경우 느림-깊음, 빠름-깊음, 빠름-얕음의 세 가지 상황이 고르게 분포되었다. 하류에서는 빠름-깊음과 빠름-얕음 상황은 발생이 미미하였으며, 대부분 유속이 느리게 나타났다. 저수로 개선 후의 유속/수심 양상도 개선 전과 비슷한 양상으로 나타났으나, 개선 전에 비해 빠름-깊음, 빠름-얕음 상황이 상류 55개구간에서 증가하였다. 아울러 구조개선 전보다 구조개선 후의 유속/수심 양상의 비율이 고르게 분포되어 있는 것을 확인하여 이는 교란 평가점수의 향상으로 나타났다.

따라서 하천구조 개선을 통한 저수로 폭의 변경을 통해 여울의 출현 빈도를 증가시킬 수 있었으며, 다

양한 유속/수심 양상이 나타나는 것을 확인하였다. 이는 물리적 교란 평가의 수리특성 항목의 평가점수가 높아 질 수 있으며, 물리적 교란이 좋아 질 수 있음을 의미한다.

6. 결론

본 연구는 어류 서식적합도 향상을 위해 하천구조 개선을 실시하였으며, GA를 이용하여 복원 목표 어종으로 선정한 참갈겨니의 서식적합 지수를 이용하여 서식적합도 향상을 위한 최적 저수로 폭을 도출하였다. 아울러 개선된 저수로 폭에 따른 수리특성의 변화와 물리적 교란과 서식적합도의 상관성을 분석하였으며, 하상변동에 따른 양상은 배제하였다. 복원 목표종으로 선정한 참갈겨니에 대한 서식적합도를 분석하고 물리적 교란과 상관성을 분석하였다.

- 1) 어류 서식적합도 향상을 위하여 GA를 이용한 하천구조의 개선으로 저수로 폭을 최적화하였다. 저수로 폭의 축소는 평균 18.3%로 구간 평균 약 6.74 m의 수정 방안을 제시하였다.
- 2) 하천구조 개선에 따른 어류 서식적합도 평가를 실시하였다. 구조개선 전의 서식적합도는 평균 22.8%이고 개선 후는 26.9%로 약 4.1% 증가하였다. 이는 현재의 서식적합도가 22.8%임을 고려하였을 때 17.7%의 서식적합도 향상으로 서식적합도가 상당폭 증가한 것을 의미한다. 복원 목표 어종의 서식적합 지수를 이용한 하천구조의 개선은 어류의 서식적합도 향상을 가져올 수 있음을 확인하였다.
- 3) 하천구조 개선에 따른 수리특성의 변화와 서식적합 지수의 상관성을 분석하였다. 저수로 폭의 수정에 따른 수리특성의 변화는 복원 목표 어종의 서식적합 지수 변화를 가져오며, 서식적합 지수 최대값에 포함되는 구간의 개수가 증가함을 확인하였다.
- 4) 물리적 교란 평가 결과 구조개선 전은 평균 111.5 점, 개선 후는 114.6점으로 미약하게 증가하였다. 상류 구간에서 교란 평가 점수가 크게 증가하는 것을 확인하였다. 하천구조 개선을 위한 저수로

폭의 축소는 유속의 증가를 가져와 물리적 교란 평가점수의 증가를 가져올 수 있음을 확인하였다.

- 5) 구조 개선에 따른 물리적 교란 평가와 수리특성과의 상관 분석 결과 구조개선 전보다 33개 구간에서 여울의 발생 빈도가 증가하였으며, 상류구간에서의 전체의 88% 비율로 여울이 발생하였다. 물리적 교란 평가가 크게 증가한 상류에서 여울의 빈도가 증가함은 계류성 어종인 참갈겨니의 서식적합도의 증가를 가져올 수 있음을 의미한다. 아울러 유속/수심 양상의 분석결과 구조개선 후 유속/수심의 다양한 양상이 고르게 나타나 물리적 교란 평가점수의 향상을 가져올 수 있음을 확인하였다.
- 6) 대상 어종의 서식적합 지수를 이용한 하천구조의 개선에 따른 저수로 폭의 최적화는 복원 목표 어종의 서식적합도 향상과 물리적 교란 평가점수의 향상을 가져오며, 그에 따라 생태적 서식적합도 향상은 물리적 교란에 이롭게 작용하는 것을 확인하였다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 물관리연구사업의 연구비 지원 (12기술혁신C02)에 의해 수행되었습니다.

References

- Bovee, K.D., Lam, B.L., Bartholow, J.M., Stalnaker, C.B., Taklor, J., and Henriksen, J. 1998. Stream Habitat Analysis Using the Instream Flow Incremental Methodology. Biological Resources Division Information and Technology Report. USGS, Fort Collins, Colorado, USA.
- Casper, A.F., Dixon, B., Earls, J., and Gore, J.A. 2010. Linking a spatially explicit watershed model (SWAT) with an instream fish habitat model (PHABSIM): A case study of setting minimum flows and levels in a low gradient, sub-tropical river. *River Research and Applications* 27: 269-282.
- Choi, J.K., Byeon, H.K., and Seok, H.K. 2000. Studies on the dynamics of fish community in Wonju Stream. *Korean Journal of Limnology* 33: 274-281. (in Korean)
- Choi, H.S. and Choi, J.G. 2009. Analysis of channel

- habitat characteristics for soundness of fish community at Wonju-stream. *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, KSCE 29: 311-317. (in Korean)
- Choi, H.S. and Kim, S.M. 2013. Optimization of channel structure for fish Habitat Suitability Enhancement. *Journal of Korea Water Resources Association* 46: 267-276. (in Korean)
- Choi, H.S. and Lee, W.H. 2014. Analysis of riverbed changes and physical disturbance evaluation by weir installation in a reach. *Journal of the Korean Society of Civil Engineering*, KSCE 34: 1203-1213. (in Korean)
- Hesselink A.W., Kleinhans M.G., and Boreel G.L. 2006. Historical discharge measurements in three Rhine branches. *Journal of Hydraulic Engineering* 132: 140-145.
- Hur, J.W. and Kim, J.G. 2009. Assessment of riverine health condition and estimation of optimal ecological flowrate considering fish habitat in downstream of Yongdam Dam. *Journal of Korea Water Resources Association* 42: 481-491. (in Korean)
- Hur, J.W., Kim, D.H., and Kang, H.S. 2014. Estimation of optimal ecological flowrate of fish in Chogang stream. *Ecology and Resilient Infrastructure* 1: 61-67
- Jo, Y.H. 1997. Development of an Evaluation Method of Stream Naturalness for Ecological Restoration of Stream Corridors. Ph.D. Dissertation, Seoul National University, Seoul, Korea. (in Korean)
- Jung, S.M., Lee, J.H., and Kim, D.H. 2006. One and two dimensional hydraulic models application for simulation of fish habitat. *Korea Water Resource Association* 1: 1068-1072. (in Korean)
- Kim, K.H. 2008. Assessment of physical river disturbances in the Namgang-Dam downstream. *Journal of the Korean Environmental Restoration and Revegetation Technology* 1: 45-53. (in Korean)
- Kim, K.H. 2009. Assessment of physical stream disturbances by river improvement-case studies of Nam River and Youngcheon River. *Journal of the Korean Environmental Restoration and Revegetation Technology* 12: 83-97. (in Korean)
- Kim, S.K. and Choi, S.W. 2014. Change of fish habitat in a downstream reach of a stream due to dam construction. *Ecology and Resilient Infrastructure* 2: 61-67. (in Korean)
- Kim, S.G., Kim, C., Lee, S.W., and Kwon, E.H. 2004. Evaluation of fish habitat in close-to-nature stream using PHABSIM model. *Korea Water Resource Association* 1: 1404-1407. (in Korean)
- Kim, S.H., Lee, W.O., and Cho, K.H. 2014. Effects of habitat disturbance on fish community structure in a gravel-bed stream, Korea. *Ecology and Resilient Infrastructure* 2: 49-60. (in Korean)
- Lee, W.H., Shim, K.R., and Choi, H.S. 2014. An improvement of river physical disturbance evaluation technique. In, *Proceeding of 40th Korea Society Civil Engineering Convention*, KSCE., Daegu, Korea, pp. 389-390. (in Korean)
- MLTM. 2011. Development of River Restoration Techniques for Coexistence with Nature. *Ecoriver 21 Final Report*. Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, Korea. (in Korean)
- MOE. 2011. Ecological Stream Restoration Technical Specification. Ministry of Environment, Korea. (in Korean)
- Moir, H.J., Gibbins, C.N., Soulsby, C., and Youngson, A.F. 2005. PHABSIM modeling of Atlantic salmon spawning habitat in an upland stream: testing the influence of habitat suitability indices on model output. *River Research and Applications* 21: 1021-1034.
- Seoul City. 2006. Restoration Undertaking on the Cheonggye Creek Report. Seoul, Korea. (in Korean)
- Stein, J.L., Stein, J.A., and Nix, H.A. 2002. Spatial analysis of anthropogenic river disturbance at regional and continental scales: identifying the wild rivers of Australia. *Landscape and Urban Planning* 60: 1-25.
- Tiegs, S.D., O'leary, J.F., Pohl, M.M., and Munill, C.L. 2005. Flood disturbance and riparian species diversity on the Colorado River Delta. *Biodiversity and Conservation* 14: 1175-1194.
- Tompkins, H.R. and Herricks, E. 2003. PHABSIM Analysis of a Straight Trapezoidal Reach and a Highly Sinuous Reach in a Low-order Agricultural Stream in the Midwest. *International IFIM User's Workshop*, Fort Collins, Colorado, USA.