

어류서식적합도 향상을 위한 하천구조 최적화

Optimization of Channel Structure for Fish Habitat Suitability Enhancement

최 흥 식* / 김 상 문**

Choi, Heung Sik / Kim, Sang Mun

Abstract

An Improvement of channel structure for sound fish habitat suitability enhancement is investigated. The restoration target species of Zacco Koreanus which is represented a sound aquatic ecosystem is selected by investigating results of the fish fauna and the river environments. The changes of lower channel width for enhancing suitability indices for water velocity and depth result in habitat suitability enhancement in general by PHABSIM simulation. The habitat suitability enhancement is not guaranteed consistently by the changes of lower channel is confirmed. The optimal lower channel widths at each reach are presented by genetic algorithm of optimization which is considering the enhancement of suitability indices for water velocity and depth with given instream flows. The suggested plan of the lower channel modification will contribute to the various projects for the environmental improvement of aquatic system.

Keywords : channel structure, restoration target species, habitat suitability, genetic algorithm, instream flow

요 지

본 연구는 어류서식 적합도 향상을 위한 하천구조 개선 방안을 위한 연구이다. 이를 위해 대상하천의 유역 및 수중환경조사와 어류의 군집특성 결과를 이용하여 건전한 수중 생태계를 대표할 수 있는 복원 목표어종으로 참갈겨니를 선택하였다. PHABSIM을 이용한 검증결과 유속과 수심에 대한 적합지수 향상을 위한 저수로 폭의 변화는 대상어종의 서식적합도 향상을 가져왔음을 알 수 있었다. 그러나 서식적합지수 향상을 위한 저수로 폭의 변화는 일관성 있는 서식적합도의 향상을 나타내지 못함을 확인하였다. Genetic Algorithm을 이용하여 대상하천의 서식적합도 개선을 위한 주어진 유지유량에 따른 하천 구간별 유속, 수심을 고려한 저수로 폭의 최적 방안을 제시하였다. 저수로 단면 구조개선의 방안 제시는 수계환경개선을 위한 각종 사업에 기여할 것으로 판단된다.

핵심용어 : 하천구조, 복원 목표어종, 서식적합도, Genetic Algorithm, 유지유량

1. 서 론

하천환경은 홍수로 인한 피해의 경감과 각종 용수를 확보하기 위하여 치수 및 이수 측면을 강조하여 관리하여 왔다. 그 결과로 예전의 자연스러운 하천의 모습은 인공

적으로 많이 변화하였을 뿐만 아니라 동·식물의 서식처 환경에도 많은 영향을 끼쳤다. 최근에는 이러한 변화에 따른 역기능을 최소화하고, 건전한 하천환경을 가꾸려는 노력의 일환으로 하천환경개선사업들이 시행되고 있다. K-water (1995)는 도심지내 하천기능 회복과 생물 다

* 교신저자, 상지대학교 건설시스템공학과 교수 (e-mail: hskchoi@sangji.ac.kr, Tel: 033-730-0472)
Corresponding Author, Professor, Department of Civil Engineering, Sangji Univ., Wonju 220-702, Korea

** 건일엔지니어링·수자원부·대리 (e-mail: ksmt@naver.com)
Kunil Engineering Co., Ltd.

양성에 따른 환경 생태적인 가치에 대해 하천 생태계 건전화 개념을 도입하여 담수성 어류 서식처 제공 및 이동에 필요한 유량을 산정한 연구를 수행하였다. Kim et al. (1996a, 1996b)은 물고기 서식처 환경에서 수심과 유속의 수리조건을 만족하기 위한 최소유량 산정 방법을 제시하였다. 이 방법은 하천에서 특정 한계구간, 주로 여울에서 어류 이동에 필요한 수심과 유속을 확보할 수 있는 통과유량(Bovee, 1982)을 제시한 것이다. Jeong et al. (2007)은 수리서식 모형을 이용한 대상하천에서의 어류서식에 필요한 최적유량을 산정하였다. Choi (2008)는 하천의 유지유량 증가 방안에 따른 수질 및 어류서식환경 개선효과 방안을 제시하였다. Choi and Choi (2009)는 원주천의 수환경과 어류군의 조사연구를 기초로 하여 어류군집 건전화 위한 하도의 서식구조 특성분석을 실시하여 하도 구조 개선방향을 제시하였다. Kang (2012)은 한강과 금강수계에서 지난 2007~2010년간의 현장 모니터링 자료로부터 어종별 서식처적합도지수를 비교하였다. 그 결과 피라미는 두 수계에서 유사한 분포를 갖지만, 참갈겨니와 쉬리의 경우 두 수계에서 매우 다른 분포형태를 갖는다고 하였다.

본 연구는 하천의 특성을 감안한 수증환경조사로 대상 하천 구간의 어류 조사, 단면 조사 및 유량 측정을 실시하였다. 조사된 자료를 바탕으로 하천 갈수량과 어류의 서

식처 환경을 고려한 하천유지유량을 산정하였다. 제시된 하천유지유량과 조사된 어류상을 토대로 복원목표어종의 서식환경 복원에 적합한 하천구조를 제시하였다. 적정한 하천 유지유량의 확보가 불가능할 경우 기존 유지유량에 따른 복원목표어종의 유속과 수심에 대한 저수로 폭의 조정을 실시하여 서식적합도의 향상을 분석한다. 어류서식 적합도 평가는 PHABSIM (USGS, 2001)모형을 이용하였다. 하천유지유량에 따른 서식적합도향상을 위한 수심과 유속의 조정을 위한 구간별 저수로 폭의 최적결정은 유전자알고리즘을 사용하였다.

2. 하천현황 및 유지유량 산정

2.1 원주천의 현황

원주천은 한강의 지류인 섬강에 합류하는 유로연장 28.5 km, 유역면적 150.33 km²인 도시하천이다. 본 연구의 대상구간은 원주천의 중상류 지역인 신촌천 합류부에서 원주교 사이의 약 4.25 km의 No. 86~No. 129 지점이다. 이 구간의 하상경사는 1/114이며, 조도계수는 0.030이다 (Fig. 1; MOCT, 1999).

2.2 유지유량의 산정

물고기 서식을 위한 하천유지유량의 결정방법에는 크

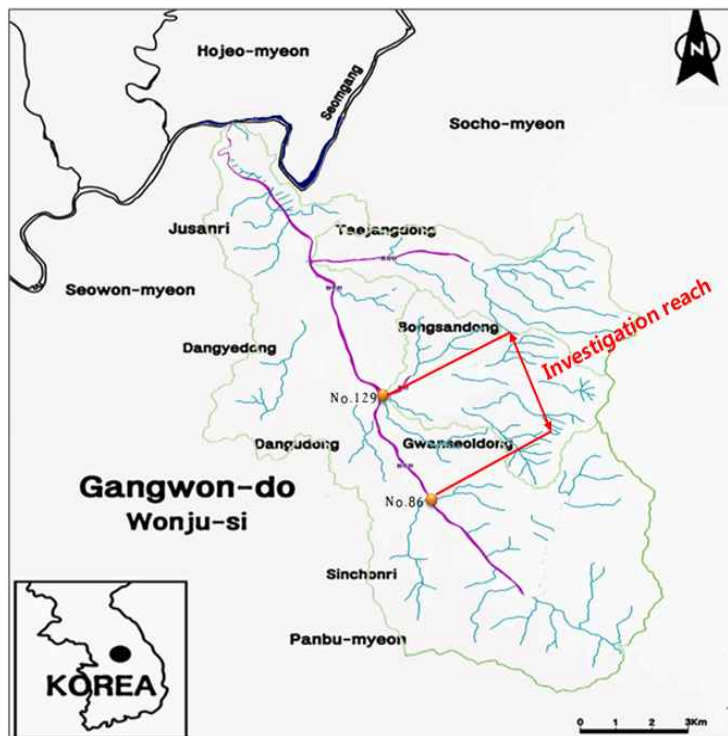


Fig. 1. Wonju River Basin and Investigation Reach

계 과거의 관측된 유량자료를 이용하는 방법과 일본의 방법인 한계 단면에서의 한계수리량 산정방법이 있다. 우리나라 하천의 자연적, 사회적 여건상 기본적으로 한계 단면에서의 한계수리량 산정방법을 채택하되 우리 하천 실정에 맞게 조정하는 것이 현실적이라 사료된다(Woo et al., 1994). 이 방법은 대상 하천에서 물고기 서식 실태를 파악하여 대표 어종을 선정하고 구체적인 서식처 수리 조건을 조사한 뒤, 하천의 한계지점을 선정하여 한계유량을 설정하는 것이다. 이 절차에 따라 한국의 대표어종과 원주천의 어류조사 결과와 군집특성 분석(Choi et al., 2000)에서 상류에는 독중개, 중류에는 갈겨니, 하류에는 피라미로 선정하였다(Table 1). 대상구간은 원주천 중류에 해당되는 곳으로 대표어종은 갈겨니를 선택하였다. 이를 복원 목표종으로 선택함은 개체수가 많은 어종이 서식적합도 기준의 신뢰성을 높일 수 있기 때문(Bovee et al., 1998)이다.

선정된 대표어종에 따른 서식처 수리조건은 Table 2와 같다. 하천유지유량은 수리 조건의 최소한의 기준을 가지고 산정하게 된다. 필요 유량은 산란기, 치어기, 성어기 각각의 성장 단계별로 제시하는 것이 바람직하지만 서식처 수리 조건이 산란기의 경우 대부분 4~5월로 편중되어 있으며, 치어기의 경우 여름~가을로 되어 그 신뢰성을 따라가지 못하는 것이 현실이다. 하지만 성어의 경우 봄~가을로 대부분 연중이라 할 수 있으므로 성어의 수리조건을 기준으로 필요유량을 추정하였다.

대표어종과 그 어종에 대한 서식처 수리 조건을 정하였

다면, 그 다음 한계구간을 설정한다. 어류는 하천에서 유지되는 수심과 유속에 민감하게 반응하기 때문에 최소한의 유량을 보장해 주어야 한다. 일반적으로 하천에 유량이 감소하는 경우 여울에서 수심이나 유속 등 서식처 수리조건이 먼저 한계에 달하게 되므로 한계구간은 통상 여울에 주목할 필요가 있다. 원주천 중류의 환경조사를 실시하여 하폭 96.41 m, 저수로 폭 31.20 m의 신촌천 합류부지점(No. 105)을 선정하였다(Fig. 2). 이는 대상구간 중에서 어류의 서식에 적합한 여울이 형성되어 있었으며, 본 지점에서 유지유량을 산정하게 되면 하류로 내려가더라도 최소한 이 유량이상은 산정될 수 있다고 판단되었기 때문이다.

유지유량의 산정을 위해 한계단면에서의 등류계산을 위해 Manning의 평균유속공식을 이용하였다.

$$Q = A \cdot V = A \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

여기서, n : Manning의 조도계수

A : 통수단면적

R : 수리반경

S : 하상경사

Fig. 3은 선정된 대표어종의 서식처 수리조건을 바탕으로 한계단면에서의 Manning 식에 의한 수심에 따른 유량 관계를 나타낸 것이다. 대표 어종인 참갈겨니의 수리 조건인 수심 0.20~0.40 m 사이의 유량은 약 1.31~8.73 m³/s 정도를 가지는 것으로 나타났다. 이 중 대표어종인 참갈겨니

Table 1. Delegate and Its Alternative Fish of Won-ju River (Choi et al., 2000)

| Classification | Delegate Fish | Alternative Fish | River types | Delegate Fish of Won-ju river |
|-------------------|----------------------|--|-------------------|-------------------------------|
| Lenok | Cottus koreanus | Lenok, Cherry salmon | Mountain upstream | Cottus koreanus |
| Chinese minnow | Chinese minnow | Rhynchocypris kumganensis, Loach, Rhynchocypris steindachneri | Mountain upstream | Chinese minnow |
| Zacco temmincki | Zacco temmincki | Long-nosed barbel, Coreoleuciscus splendidus, Coreoperca herzi, Korean torrent catfish, Sweet fish, Chinese gudgeon, Liobagrus mediadiposalis | Mountain stream | Zacco temmincki |
| Zacco platypus | Zacco platypus | Microphysogobio yaluensis, Squalidus gracilis majimae, Striped shinner, Goby minnow, Odontobutis platycephala, Skin carp, Opsariichthys bidens | Midstream | Zacco platypus |
| Carassius auratus | Carassius auratus | Pseudorasbora parva, Chinese bleak, Hemiculter eigenmanni, Askatic ricefish, Common carp | Flat downstream | Carassius auratus |
| Sweet fish | Rhinogobius brunneus | Floating goby, Sweet fish, Tridentiger obscurus | Brackish zone | - |

Table 2. Hydraulic Conditions of Habitat for Delegate Fish at Geum River (K-water, 1995)

| Classification | Depth (cm) | | | Velocity (cm/s) | | |
|---------------------------|-----------------------|-------------------------|--------------------------|-----------------|------------|------------|
| | Spawning | Young fish | Adult fish | Spawning | Young fish | Adult fish |
| Cottus koreanus | 4~5 month (20~30) | Spring~Fall (20~30) | Spring~Fall (30~60) | 10~30 | 20~50 | 30~120 |
| Lenok | 3~4 month (20~30) | Spring~Fall (20~30) | Spring~Fall (30~120) | 10~30 | 20~50 | 30~120 |
| Chinese minnow | 4~5 month (10~20) | Summer~Fall (20~30) | Spring~Fall (30~50) | 10~30 | 20~40 | 30~120 |
| Rhynchocypris kumganensis | 4~5 month (10~30) | Summer~Fall (20~30) | Spring~Fall (30~80) | 10~20 | 20~30 | 30~100 |
| Zacco temmincki | 5~7 month (5~30) | Summer~Fall (10~20) | Spring~Fall (20~50) | 5~10 | 20~30 | 30~80 |
| Sweet fish | 9~10 month (30~60) | Fall~Winter (50~150) | Spring~Summer (20~50) | 10~30 | 30~40 | 30~50 |
| Zacco platypus | 4~5month (10~30) | Summer~Fall (10~20) | Spring~Fall (20~50) | 10~10 | 10~20 | 30~60 |

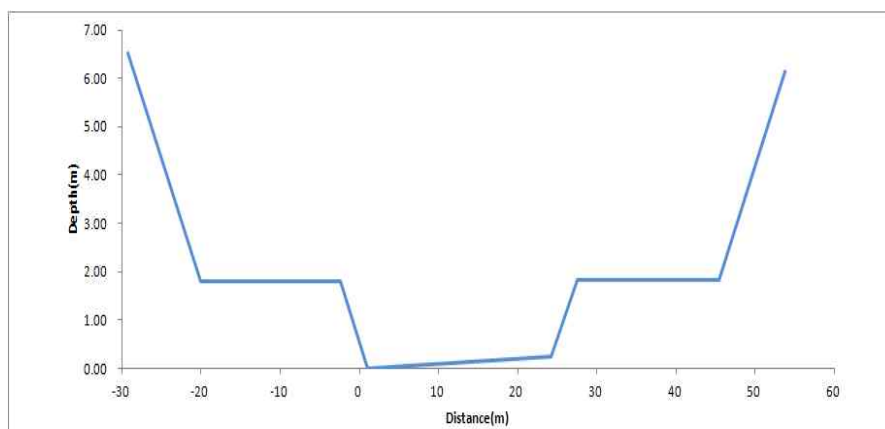


Fig. 2. Critical Section at Shin-cheon River Confluence

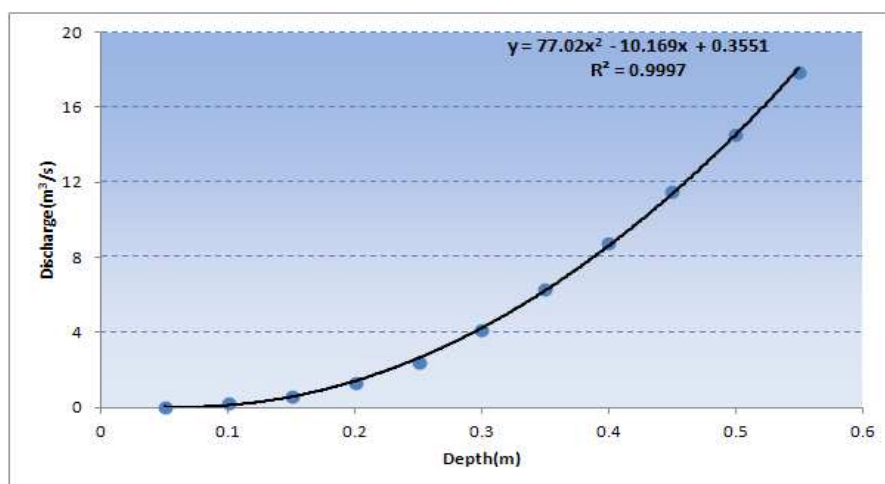


Fig. 3. Depth-discharge (D-Q)curve at Shin-cheon River Confluence

의 최소 수심 0.20m에 해당하는 유량은 1.31 m³/s로 이를 해당 구간의 생태유량 즉 하천유지유량으로 결정하였다.

3. 어류서식적합도 향상을 위한 하천구조개선

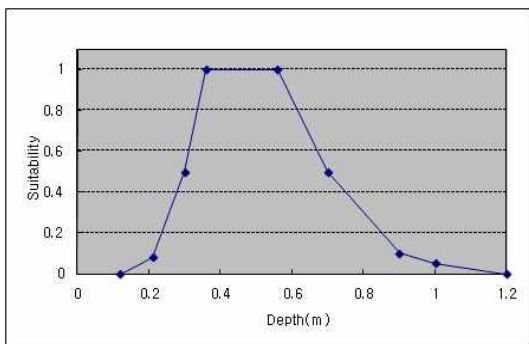
3.1 하천구조 개선방법

하천구조 개선방법의 일환으로 시행되는 하도 및 저수로 정비 기본계획의 방향은 치수, 이수 기능 위주의 고찰과 하천의 환경적 기능을 포함하여야 한다. 아울러 하천구조개선은 하천의 연속성, 다양성, 고유성 및 역동성을 최대한 보장해야 한다.

어류를 대상으로 한 서식적합지수 곡선형태는 이분법(binary), 단일변량 곡선(univariate curve)법, 다변량 응답 평면(multivariate response surface)법으로 구분된다. 어류의 물리서식처에서의 생태유량을 결정할 경우 동일수계 또는 가능한 동일하천에서 조사된 자료를 이용하여 구축된 적합도지수를 사용해야 한다. 금회 적용한 어류서식적합지수 곡선의 형태는 한강수계에 서식하는 참갈겨니의 수심과 유속에 대한 서식적합도 지수(Kang, 2012)를 적용하였다.

본 연구에서 제시되는 하천구조개선 방법은 다음과 같다.

- 1) 대상하천의 구간에 복원목표어종을 선정하고 이에 상응하는 유속과 수심의 최소기준을 정한다.
- 2) 수면폭(W)과 하폭(B)의 최소기준(W/B)을 정한다.
- 3) 1)과 2)의 조건을 만족하는 복원목표어종에 대한 유지유량을 산정한다.
- 4) 산정된 유지유량에 따른 수심과 유속에 대한 서식적합도를 향상시킬 수 있는 저수로 폭의 조정방안을 제시한다.
- 5) 조정방안에 따른 서식적합도의 향상을 평가한다.
- 6) 유전자알고리즘을 이용하여 어류 서식적합도를 최대한 향상시킬 수 있는 각 단면의 저수로 폭을 결정한다.



수면폭의 경우 하천경관을 고려한 설문조사 결과로 K-water (1995)에서 제시한 방법인 수면폭과 하폭의 비, $W/B \geq 0.2$ 를 기준으로 하였다. 하천구조개선 방법을 바탕으로 우선 1)과 2)의 조건을 만족하는 하천유지유량을 산정하였다. 산정된 유지유량의 적용성을 위해 가중된 가용면적(WUA; Weighted Usable Area)-생태유량을 모의하는 PHABSIM 모형과 비교한 후 저수로 폭의 조성 방안을 제시하였다.

3.2 가용면적-생태유량 관계

어류의 물리서식처를 고려하여 산정된 하천유지유량과 가중된 가용면적-생태유량을 모의하는 PHABSIM 모형에 의해 산정된 유지유량을 비교하였다. PHABSIM 모형의 가중가용면적은 유량의 증가에 따라 점차 증가한 후 감소되는 곡선 형태를 이룬다. 기존 연구(Kim et al., 1996 (a, b); Kang et al., 2004; Sung et al., 2005)에 의하면 곡선의 첨두치에 해당되는 가중가용면적의 유량을 대상생물에 대한 최적유량으로 산정한다. 아래 Fig. 5는 기존 저수로단면의 대상 구간에서 갈겨니 성어기의 가중 가용면적과 생태유량관계를 나타낸 것으로 0.70 m³/s에서 차츰 증가하여 약 9.00 m³/s에서 최대로 나타났다. 따라서 가용면적-생태유량에 의한 최적 생태유량은 약 9.00 m³/s이다.

본 대상구간의 물리서식처를 고려하여 산정된 유지유량은 수심조건을 최소~최대의 조건인 0.20~0.40 m으로 보게 되면 수심-유량 관계에 따라 약 1.31~9.00 m³/s 정도의 유량이 산정됨을 알 수 있다(Fig. 3). 따라서 본 연구에서는 실제 하천에서의 유지유량을 반영하여 하천의 최소유지유량으로 1.31 m³/s를 적용하여 하천 구조개선 방안을 제시하였다.

3.3 저수로 폭의 조정

하천을 일정한 형태의 저수로와 고수부지를 지닌 복단

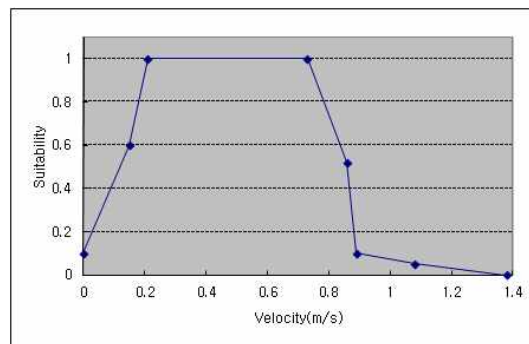


Fig. 4. Habitat Suitability Index of Zacco Koreanus for Water Depth and Velocity (Kang, 2012)

면 형태로 정비하면, 여울과 소가 없는 단조로운 하상이 되고 수심이 얇은 흐름이 형성되기 쉽다. 일정한 저수로 폭은 여울과 소 그리고 식물이 자라는 다양한 형태의 수제역이 없어져 생물의 다양한 서식공간이 사라질 수 있다.

본 연구에서는 주어진 유량을 토대로 수심, 유속을 변경하며 저수로 폭의 결정이 가능하다. 저수로 유량을 Q라 하면 저수로 폭 B는 다음과 같다.

$$B = \frac{Q}{H \cdot V} \quad (2)$$

여기서, H = 수심

V = 유속

위의 Eq. (2)를 이용하여 산정한 유량 1.31 m³/s에 따른 저수로 폭을 수정하였다. 이와 같은 저수로 폭의 변화는 좁은 구간은 유속이 발달하는 여울, 그리고 넓은 구간은

유속이 작은 소의 역할을 가져와 자연스런 여울과 소의 조성으로 기대된다.

기존 저수로 폭과 축소된 저수로 폭에 대해 PHABSIM 모형을 이용하여 서식적합도를 분석해본 결과(Figs. 6~8), 전구간 저수로 폭을 10% 정도 축소하였을 경우 No. 117, 100단면을 포함한 일부에서 참갈겨니에 대한 서식적합도가 향상한 것으로 나타났다(Fig. 6). 저수로 폭을 30% 축소하였을 경우 기존 저수로 폭과 비교하여 전구간에서 약간의 감소를 보인다(Fig. 7). 50% 축소하였을 경우 서식적합도가 급격히 감소하였다(Fig. 8). 저수로 폭의 축소에 의한 수심과 유속의 증대가 높은 서식적합도 향상을 가져오지 못함을 확인하였다. 따라서 서식적합도 향상을 위한 지점별 저수로 폭의 적절한 결정이 필요할 수 있다고 판단하였다.

산정된 유지유량(1.31 m³/s)을 기준으로 서식적합도를

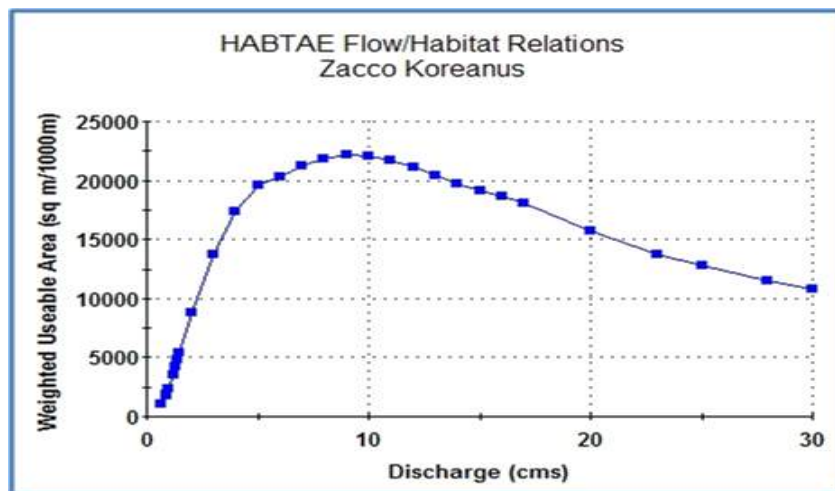


Fig. 5. Result of WUA-Discharge (Natural low water channel)

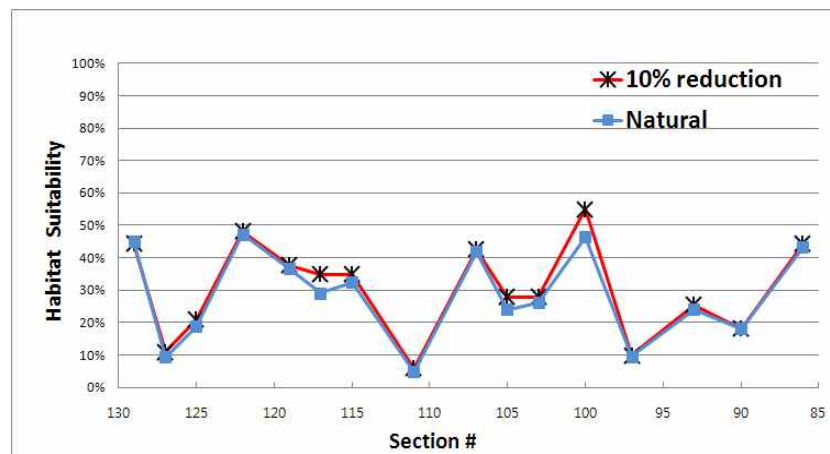


Fig. 6. Habitat Suitability for Natural Channel and 10% Reduction of Low Water Channel Width

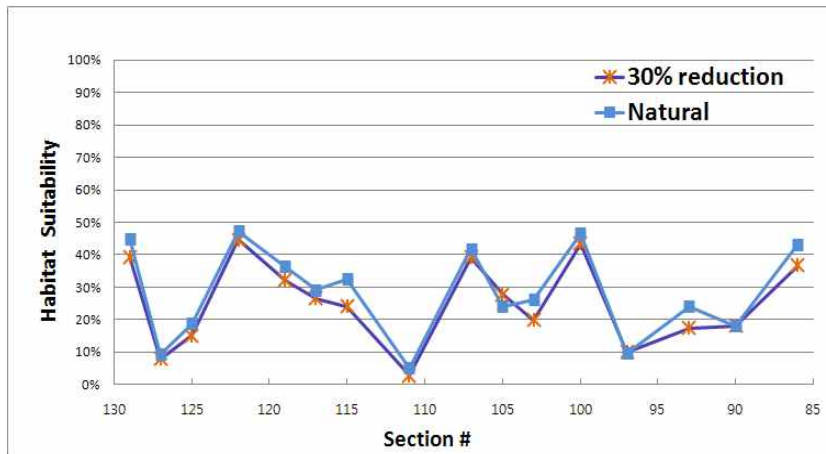


Fig. 7. Habitat Suitability for Natural Channel and 30% Reduction of Low Water Channel Width

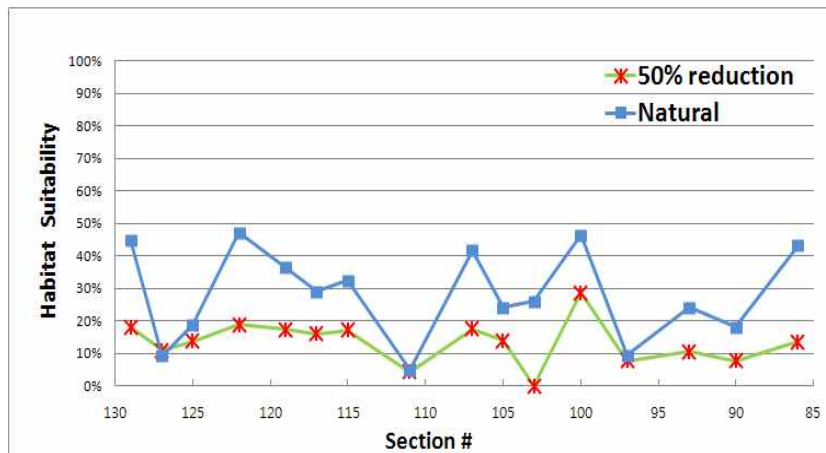


Fig. 8. Habitat Suitability for Natural Channel and 50% Reduction of Low Water Channel Width

향상시키기 위한 구간별 또는 단면별 최적화된 저수로 폭을 결정하였다. 저수로 폭은 저수로 폭과 하폭의 비 $W/B \geq 0.2$ 를 기준으로 10~30% 이내의 축소범위를 대상으로 하였다. Genetic Algorithm을 이용한 최적해의 추정은 Table 4와 같은 목적함수와 제약조건을 이용하였다. 수심과 유속은 하천의 최소유지유량을 고려하여 참갈겨니에 대한 서식적합도에 대응하는 작은 값 측의 수심인 0.11~0.36 m 사이의 값을 적용하였으며, 유속 역시 작은 값 측의 0.03~0.21 m/s 사이의 값을 적용하였다.

여기서, W_i = 각 단면의 수면폭

L_i = 각 단면사이의 거리

V_i = 각 셀에서의 유속에 대응하는 HSI지수

H_i = 각 셀에서의 수심에 대응하는 HSI지수

Table 5는 유속과 수심조건에 따른 저수로 폭의 최적화 방안이다. 적용결과 기존의 저수로 폭에 비해 적게는 약 10%에서 많게는 20% 정도의 축소를 보였으며, 이는

Table 4. Objective function and Constraints

| Objective function | Constraints |
|--|---------------------------------|
| $f(x_i) = \sum_{i=1}^n W_i \times L_i \times V_i \times H_i$ | $0.9 W_i \leq W_i \leq 0.7 W_i$ |
| | $0.05 \leq H_i \leq 1.00$ |
| | $0.10 \leq V_i \leq 1.00$ |

자연스레 저수로에서의 여울과 소의 형태로 저수로의 변경이 기대된다.

Fig. 9는 Genetic Algorithm을 이용하여 최적화된 저수로 폭과 자연하천에서의 서식적합도를 나타낸 것이다. 당초 저수로 폭에서의 각 단면의 평균 서식적합도는 약 28.53%이었으나 최적화된 저수로 폭의 적용에 따른 평균 서식적합도는 약 32.73%로 향상되었다. 그러나 No. 127, 111, 97단면의 경우 저수로 폭을 축소하여도 서식적합도의 향상은 가져오지 못하였다. 따라서 저수로폭의 축소뿐

Table 5. Optimized Low Water Channel Width

| Section (No.) | Discharge (m ³ /s) | Velocity (m/s) | Depth (m) | Natural low water channel width (m) | Optimized low water channel width (m) | Ratio of reduction (%) | Ratio of river width to optimized low water channel width |
|---------------|-------------------------------|----------------|-----------|-------------------------------------|---------------------------------------|------------------------|---|
| 86 | 1.31 | 0.20 | 0.28 | 32.40 | 25.92 | 20.01 | 0.20 |
| 90 | 1.31 | 0.20 | 0.30 | 41.00 | 32.77 | 20.07 | 0.26 |
| 93 | 1.31 | 0.27 | 0.22 | 49.60 | 43.96 | 11.36 | 0.39 |
| 97 | 1.31 | 0.30 | 0.25 | 35.50 | 31.85 | 10.27 | 0.34 |
| 100 | 1.31 | 0.34 | 0.24 | 29.40 | 22.90 | 22.12 | 0.24 |
| 103 | 1.31 | 0.29 | 0.23 | 41.60 | 33.09 | 20.46 | 0.34 |
| 105 | 1.31 | 0.35 | 0.30 | 31.20 | 24.55 | 21.33 | 0.25 |
| 107 | 1.31 | 0.28 | 0.20 | 34.30 | 30.29 | 11.68 | 0.32 |
| 111 | 1.31 | 0.28 | 0.22 | 29.40 | 25.59 | 12.97 | 0.26 |
| 115 | 1.31 | 0.34 | 0.28 | 23.30 | 20.60 | 11.61 | 0.21 |
| 117 | 1.31 | 0.26 | 0.24 | 29.40 | 25.75 | 12.43 | 0.27 |
| 119 | 1.31 | 0.35 | 0.26 | 34.30 | 30.44 | 11.25 | 0.29 |
| 122 | 1.31 | 0.25 | 0.20 | 44.10 | 38.87 | 11.86 | 0.34 |
| 125 | 1.31 | 0.29 | 0.20 | 39.80 | 35.43 | 10.98 | 0.30 |
| 127 | 1.31 | 0.35 | 0.24 | 34.30 | 30.29 | 11.69 | 0.26 |
| 129 | 1.31 | 0.30 | 0.25 | 24.50 | 21.78 | 11.10 | 0.20 |

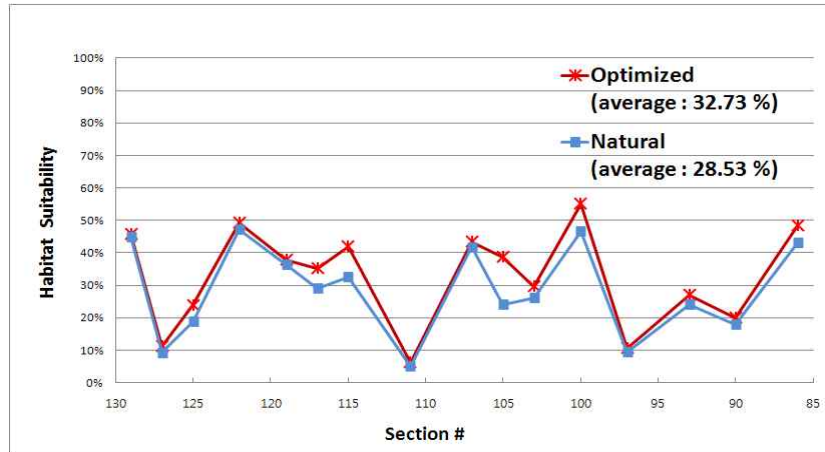


Fig. 9. Habitat Suitability for Natural Channel and Optimized Low Water Channel Width

만이 아닌 확대 또한 고려해야 할 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서는 어류 서식처 수리조건을 고려한 하천유지유량을 결정하고, 이를 토대로 한 하천 저수로 폭의 개선방안을 통한 자연스런 여울과 소의 조성방안에 대하여 검토하였다. 대상 하천의 유역 및 수중환경조사를 토대로

하여 어류의 군집특성을 분석한 후 건전한 수중 생태계를 대표할 수 있는 복원 목표종으로 참갈겨니를 선택하였다. 복원 목표종에 대한 수심 및 유속의 수리조건을 바탕으로 하천유지유량을 산정하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 가용면적-생태유량을 모의하는 PHABSIM 모형에 의한 유지유량은 약 0.7~9.0m³/s이고, 한계 단면을 선정하여 수심-유량관계에 의한 유지유량은 약 1.3~8.7m³/s이다. 따라서 어류 서식처 수리조건을 고려

한 한계 단면에서의 수심-유량관계에 의한 유지유량은 1.31 m³/s로 결정하였고, 이 값은 타 구간에서도 적용될 수 있을 것으로 판단된다.

- 2) 저수로의 변경에 의한 유속, 수심의 변화는 대상어종의 서식 적합지수와 적합도 향상을 가져왔다. 이 중 가중된 가용면적-생태유량과 서식적합도의 향상을 가장 많이 가져온 것은 저수로 폭이 10% 정도 축소된 단면이다. 그러나 서식적합지수 향상을 위한 저수로 폭의 변화는 높은 서식적합도의 향상을 나타내지 못함을 확인하였다.
- 3) 어류서식 적합도의 향상을 위한 최적의 하천 구간별 저수로 단면의 구성을 위한 목적함수와 제약조건을 구성하였다. Genetic Algorithm을 이용하여 대상하천의 서식적합도 개선을 위한 주어진 유지유량에 따른 하천 구간별 유속, 수심을 고려한 저수로 폭의 최적 방안을 제시하였다. 적용결과 기존의 저수로 폭에 비해 적게는 약 10%에서 많게는 22% 정도의 축소를 보였다. 그 결과 당초 저수로 폭에서의 각 단면의 평균 서식적합도는 약 28.5%이었으나, 최적화된 저수로 폭의 적용에 따른 서식적합도는 약 32.7%로 향상되었다.
- 4) 이는 건전한 생태계유지를 위한 최적 생태유량과 저수로 단면 구조개선의 방안 제시와 더불어 수계환경 개선을 위한 각종 사업에 기여할 것으로 판단된다.

감사의 글

이 논문은 2009년도 상지대학교 교수 연구년제 지원에 의해 수행되었습니다.

REFERENCES

Bovee, K.D. (1982), A Guide to Stream habitat Analysis using the Instream Flow Incremental Methodology, *Instream Flow Information Paper No. 12*, U.S Fish and Wildlife Service, Office of Biological Services, FWS/OBS-82/26, Fort Collins, Colorado.

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/BRD/1998-0004, USGS, Fort Collins, Colorado.

Choi, H.S. (2008). "Effect on water quality and fish habitat improvement of Wonju Cheon by instream flow increasing." *Journal of Wetlands Research*, KWS, Vol. 10, No. 3, pp. 57-68.

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, Vol. 29, No. 3, pp. 311-317.

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*, KSL, Vol. 33, No. 3, pp. 274-281.

Jeong, S.M., Lee, J.H., Kim, D.H., and Oh, K.R. (2007). "Estimation of Optimum Flow Needed for Fish Habitat by Application of One and Two Dimensional Physical Habitat Simulation Model-Focused on Zacco Platypus." *Journal of The Korean Society of Hazard Mitigation*, KOSHAM, Vol. 8, No. 1, pp. 117-123.

Kang, H. (2012). "Comparison of Physical Habitat Suitability Index for Fishes in the Rivers of Han and Geum River Watersheds." *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, KSCE, Vol. 32, No. 1B, pp. 71-78.

Kang, J.H., Lee, E.T., Lee, J.H., and Lee, D.H. (2004). "Estimation of River Instream Flow Considering Fish Habitat Conditions." *Journal of Korea Water Resources Association*, KWRA, Vol. 37, No. 11, pp. 915-927.

Kim, K.H., Kim, S.M., Lee, S.H., and Woo, H. (1996b). "Development of a Method for Determining the Instream Flow and Its Application : II. Application and Result." *Journal of Korea Water Resources Association*, KWRA, Vol. 29, No. 5, pp. 185-202.

Kim, K.H., Lee, J.W., Hong, I.P., and Woo, H. (1996a). "Development of a Method for Determining the Instream Flow and Its Application : I. Estimation Method." *Journal of Korea Water Resources Association*, KWRA, Vol. 29, No. 4, pp. 161-176.

K-water (1995). *Development of a Method for Determining the Instream Flow and Its Application*. Research Report IPD-95-2.

Ministry of Construction and Transport (1999). *Basic Plan of River Arrangement for Wonju Stream*.

Sung, Y.D., Park, B.J., Joo, G.J., and Jung, K.S. (2005). "The Estimation of Ecological Flow Recommendations

for Fish Habitat." *Journal of Korea Water Resources Association*, KWRA, Vol. 38, No. 7, pp. 545-554.

USGS (2001), *PHABSIM for Windows-User's Manual and Exercises*, Midcontinent Ecological Science Center.

Woo, H., Lee, J.W., and Kim, G. H. (1994). "Comparison and Discussion of Instreamflow Determination for

Fish Habitat in Rivers." *Proceedings of Korean Association of Hydrological Sciences Conference*, KAHS, pp. 153-158.

| | |
|------------------------------|------------------|
| 논문번호: 12-092 | 접수: 2012.08.09 |
| 수정일자: 2012.10.02/10.25/11.07 | 심사완료: 2012.11.07 |