

〈Original article〉

## FISK (Fish Invasiveness Screening Kit)를 이용한 강릉남대천의 잠재적 침습 이입종 평가

김 정 은 · 이 황 구\*

상지대학교 생명과학과

### The Evaluation of Potential Invasive Species in the Gangneungnamdae Stream in Korea using a Fish Invasiveness Screening Kit

Jeong Eun Kim and Hwang Goo Lee\*

*Department of Biological Science, College of Science & Engineering, Sangji University,  
Wonju 26339, Republic of Korea*

**Abstract** - This study was conducted to understand the current status of the translocated species using a precede study and a model to evaluate the potential invasiveness that could adversely affect the aquatic ecosystem in the Gangneungnamdae Stream. A total of 12 translocated species were investigated and identified from 9 sites in a precede study, and steadily increased since 1982. For the study, which utilized research based on the total FISK (Fish Invasiveness Screening Kit) scores, all of the non-native fishes in Gangneungnamdae Stream were classified into two groups: namely as a high and a medium risk of becoming invasive. It was determined that there were two species (*Zacco platypus* and *Pseudorasbora parva*) that were determined to have posed the highest risk. The study determined that the mean scores were shown to have ranged from 3.06 ( $\pm 0.16$ )–3.42 ( $\pm 0.13$ ). Consequently, the habitat analysis showed that the determined QHEI (Qualitative Habitat Evaluation Index) values in the stream averaged 146 (88–171), indicating that an optimal habitat condition did exist in that locale. It can be inferred that compared to land use in the surrounding watersheds, the QHEI values and frequency of translocated species showed the lower the altitude of stream, the QHEI values were decreased and in case of land use pattern, a noted decreased forest and grassland area, and gradually increased urbanized area was seen to exist in the region. The correlation between the fish assemblage, QHEI, land use pattern of surrounding watershed and number of translocated species was identified and analyzed when the stream altitude decreased, and the number of species was increased ( $r = -0.782, p = 0.0127$ ), the number of species was decreased ( $r = -0.737, p = 0.0234$ ), and finally when the QHEI values were decreased, it was noted that the urbanized area was increased ( $r = 0.292, p = 0.446$ ). In the case of the number of translocated species, when the number of translocated species was increased, the associated urbanized area was increased.

**Keywords** : invasiveness species, non-native species, FISK, Gangneungnamdae Stream

\* Corresponding author: Hwang Goo Lee, Tel. 033-730-0430,  
Fax. 033-811-1030, E-mail. morningdew@sangji.ac.kr

## 서론

한반도 담수어류의 분포 구계에 있어 백두대간 서쪽으로 흐르는 한강 수계는 서한아에 속하며, 동해로 유입되는 강릉남대천 이북의 하천은 동북한아에 속한다(Jeon 1980). 이러한 이유로 한반도에 분포하는 담수어류는 여러 가지 지질학적 혹은 생태적 조건 등의 상호 작용에 의하여 각각의 제한된 분포 범위를 지니며, 고립된 수계별로 서로 다른 어류상과 독특한 생태적 지위를 가지게 된다(Jeong 1977; Choi 1984; Kim 1997; Kim *et al.* 2005). 어류의 수계간 이동은 어족자원의 증진을 위한 다양한 어종의 도입, 어민들의 경제적 소득을 위한 방류, 하천의 경관을 통해 이루어지는 여메니티(Amenity) 향상을 위한 도입, 지역주민 및 환경단체에서 행해지는 방류 활동, 일부 지진에 의한 지각변동에 따른 새로운 어종의 도입 등의 경로를 통해 이루어진다. 최근 특정 수계에 서식하는 어종이 다른 수계로 옮겨지는 경우가 빈번하게 일어나고 있으며, 국민과 정부의 무관심으로 인해 어류의 이동이 더욱 확산되고 있는 실정이다(Lee *et al.* 2003; Casal 2006; Gozlan 2008; Byeon and Oh 2015). 타수계에서 새로운 종이 이입되어 개체군이 증가할 경우 미소서식처의 변형, 새로운 질병과 기생충의 도입, 교잡종의 발생으로 인한 토착종의 fitness 감소, 섭식 길드의 변화 등이 유발되며, 결과적으로 생물다양성의 손실과 함께 수생태계의 구조와 기능을 변형시키는 결과를 초래하게 된다(Ross 1991; Lozon and MacIsaac 1997; Jang *et al.* 2003; Didham *et al.* 2005). 이러한 국내 타수계 이입종이 하천 생태계와 생물다양성에 미치는 영향들은 국외 도입 외래종이 미치는 악영향과 유사한 수준의 결과를 초래하는 것으로 알려져 있다(Rand *et al.* 2006a; Byeon 2014).

인간에 의한 하천 인근 토지이용의 변화는 하천에 직·간접적인 영향을 미치는 매우 중요한 요소로 작용하며, 이는 하천 생물의 서식지 변화를 야기시켜 토착종의 적응력 감소 및 이입종의 정착과 확산의 기회를 증대시키는 spillover 효과를 야기하게 된다(Suarez and Case 2002; Rand and Louda 2006b). 그 결과 이입종과의 자원 경쟁에서 실패한 토착종은 개체군이 급격히 감소하고, 분포역이 축소되어 지역적 절멸에 이를 가능성이 증가하게 된다(Byeon 2014). 일반적으로 동해로 흐르는 하천은 지형적 특성 때문에 서해와 남해로 흐르는 하천에 비해 출현종과 개체수가 적으며, 서식환경의 차이에 따른 독특한 어류상을 보이는 것으로 알려져 있다(Lee *et al.* 2010). 그러나 이들 하천들은 어족자원 증대를 위해 하천의 특성을 고려하지 않은 무분별한 어류의 방류가 빈번히 이루어지고 있으며(Byeon 2014), 이는 우리나라 담수어류 분포 구계에 대한 혼란을 가중시킬 것으로 우려된다.

국내의 경우 다수의 조사가 외래종에 대한 피해와 관리 방안에만 초점이 맞추어져 있으며, 국내 타수계 이입종에 대한 관심과 연구는 부족한 실정이다. 어류의 침습성 평가 기법인 FISK (Fish Invasiveness Screening Kit)는 하천 또는 강의 비토착종을 대상으로 잠재적 침습 위험종을 평가하고, 향후 관리방안을 제시할 수 있는 기법으로 그 효율성을 입증하여 여러 나라에서 사용되고 있다(Copp *et al.* 2009; Mastitsky *et al.* 2010; Onikura *et al.* 2011; Almeida *et al.* 2013; Puntilla *et al.* 2013; Vilizzi and Copp 2013; Tarkan *et al.* 2014; Lawson *et al.* 2015; Mendoza *et al.* 2015; Piria *et al.* 2015). 따라서 본 연구는 동해로 유입되는 하천인 강릉남대천의 비토착종을 대상으로 FISK 기법을 이용하여 잠재적 침습 위험종을 평가하고, 이입종의 침습성 강화 요인인 하천 인근 토지이용과 특성을 파악하여 이입종에 의해 발생 가능한 수생태계 위협의 관리방안을 제시할 수 있는 기초자료를 제공하고자 한다.

## 재료 및 방법

### 1. 연구대상 지역

강릉남대천은 유역면적 258.7 km<sup>2</sup>이며, 유로 길이는 51.3 km로 대관령과 삼당령에서 시작된 물줄기가 성산면 오봉리에서 합쳐져 강릉시를 지나 동해로 유입되는 하천이다. 각 조사지점은 선행 연구 자료(Byeon and Oh 2015)를 참고하여 선정하였으며, 토지이용 분석에 활용하였다(Fig. 1).

- Site 1: 강원도 강릉시 왕산면 목계리 구하교  
(N 37°37'33.0", E 128°51'41.2")
- Site 2: 강원도 강릉시 왕산면 도마리 도마교  
(N 37°40'04.2", E 128°50'32.8")
- Site 3: 강원도 강릉시 왕산면 왕산리 큰골교  
(N 37°39'18.2", E 128°47'12.7")
- Site 4: 강원도 강릉시 왕산면 왕산리 왕산교  
(N 37°41'17.3", E 128°48'29.7")
- Site 5: 강원도 강릉시 성산면 어울리  
(N 37°43'03.5", E 128°49'25.7")
- Site 6: 강원도 강릉시 성산면 금산리  
(N 37°43'33.8", E 128°50'16.0")
- Site 7: 강원도 강릉시 흥제동 화산교  
(N 37°44'41.2", E 128°52'02.0")
- Site 8: 강원도 강릉시 옥천동 철교  
(N 37°45'16.2", E 128°54'11.9")
- Site 9: 강원도 강릉시 견소동 하구  
(N 37°46'09.7", E 128°57'02.8")

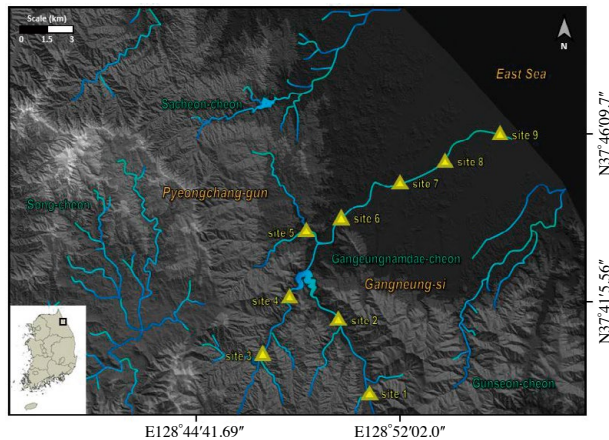


Fig. 1. The map showing the study sites in the Gangeungnamdae Stream, Gangwon-do, Korea.

## 2. 연구내용 및 방법

### 1) FISK (Fish Invasiveness Screening Kit)

강릉남대천의 잠재적 침습 위험종을 평가하기 위한 기법으로 Copp *et al.* (2005, 2009)에 의해 개발된 FISK (v. 2.03)를 이용하였으며, 이 평가 기법은 Cefas (<https://www.cefas.co.uk>)에서 누구나 이용할 수 있도록 무료로 제공하고 있다. FISK는 생물지리학 및 종의 기원(Biogeography and Historical), 생물학 및 생태학(Biology and Ecology)에 대한 2가지 주제를 대상으로 총 49가지의 질문으로 이루어진 반정량적인 평가 체계를 나타낸다. 생물지리학 및 종의 기원 부분에서는 사육 및 양식(Domestication and Cultivation), 기후 및 분포(Climatic and Distribution), 타 수계로의 침습성(Invasive elsewhere)의 3가지 항목으로 이루어져 있으며, 생물학 및 생태학 부분에서는 해로운 특성(Undesirable traits), 섭식 길드(Feeding guild), 번식(Reproduction), 분포 특성(Dispersal mechanisms), 저항력(Persistence attributes)의 5가지 항목으로 구성되어 있다. 각각의 질문에 대한 평가는 1 (very uncertain)~4 (highly certain) 사이의 신뢰 점수를 기입해야 하며, 해당 질문에 대한 자료 출처를 제시해야 한다. 종의 침습성을 나타내는 척도인 Threshold는 낮음(low: 1<), 중간(media: 1~18.9), 높음(high: ≥19)으로 이루어져 있으며, 이는 Copp *et al.* (2009)의 연구 자료를 참고하여 본 연구에 활용하였다.

### 2) 물리적 서식지 평가 지수

#### (Qualitative Habitat Evaluation Index; QHEI)

하천의 하상구조 및 형태학적 특징 등 다양한 물리적 서식지 환경과 이입종과의 관련성을 파악하기 위하여 대표적인 생물 서식지 평가 기법인 QHEI를 이용하였으며(An *et*

*al.* 2001; Choi and An 2013), 10개의 변수로부터 얻어진 합을 대상으로 최적(Optimal: 200~162), 양호(Suboptimal: 148~104), 보통(Marginal: 90~46), 악화(Poor: <32)의 4가지 상태로 구분하여 서식지 건강도를 평가하였다.

### 3) 토지이용 분석

강릉남대천의 토지이용도는 환경부 환경공간정보서비스(Environmental Geographic Information System; EGIS)에서 제공하는 중분류 토지피복지도(2013)를 이용하였다. 토지이용 분석은 지리정보시스템(Geographic Information System; GIS) 소프트웨어인 ArcGIS (v. 10.2)를 사용하였으며, 각 조사지점을 중심으로 하천에 직·간접적인 교란을 미칠 것으로 판단되는 범위인 1 km<sup>2</sup>를 설정하여 토지피복분류체계에 따른 Buffer 내 면적을 산출하였다. 토지이용 분석은 도심지(주거지, 공업지, 상업지, 문화체육휴양지, 교통지, 공공시설지), 농업지(논, 밭, 시설재배지, 과수원, 기타 재배지), 산림지(활엽수림, 침엽수림, 혼효림, 자연초지, 인공초지), 기타(내륙습지, 연안습지, 자연나지, 인공나지, 내륙수, 해양수)로 구분하여 실시하였다.

### 4) 상관관계 분석

하천 고도와 선형 연구인 Byeon and Oh (2015)에 의해 조사된 어류군집자료, 물리적 서식지 평가 지수, 하천 인근 토지이용률과의 상관성을 파악하기 위해 SPSS (v. 21.0)를 이용하여 상관관계 분석(Pearson Correlation)을 실시하였다.

## 결과 및 고찰

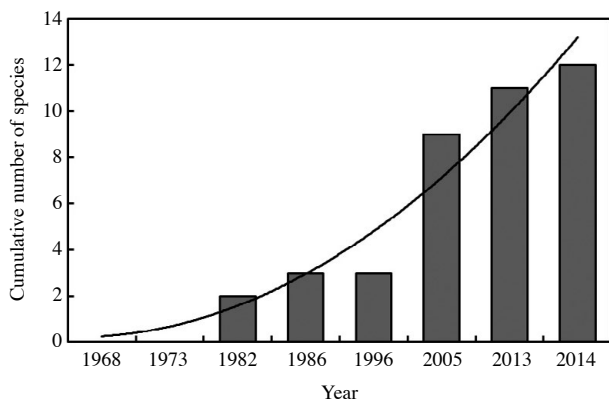
### 1. 이입종 현황

Byeon and Oh (2015)의 연구결과, 현재 강릉남대천 수계 내 정착하여 서식하고 있는 이입종은 12종으로 조사되었으며(Table 1), 1982년을 기점으로 꾸준히 증가하는 추세를 나타냈다(Fig. 2). 1968년과 1973년도에는 이입종이 출현하지 않은 것으로 보고되었으나 이는 조사범위와 지점, 사용 도구 등의 방법에 따른 차이에 의해 종 분포특성이 각기 다르게 나타난 것으로 판단된다. 일반적으로 서해와 남해로 흐르는 하천은 잉어과 어류의 우세현상이 발생하여 동해로 흐르는 하천에 비해 고유화 빈도가 높은 특징을 나타내는 것으로 알려져 있다(Jeon 1980; Choi *et al.* 1995; Kim and Lee 2001; Byeon *et al.* 2008; Kim *et al.* 2012; Han and An 2013; Chae *et al.* 2015). 동해안 인근 유역 하천의 고유화 빈도는 양양 남대천 14.7%(Kim *et al.* 2006a), 강릉 연곡천 20.7%(Kim *et al.* 2006b), 삼척 오십천 16.7%(Choi *et al.* 1995), 고성 북천 25.8%(Lee *et al.* 2010), 울진 왕피천 22.5%(Hong *et al.* 2016)

**Table 1.** The list of non-native species assessed by the FISK v2 tool in the Gangneungnamdae stream. The taxonomic information was obtained from Han *et al.* (2015) and Fishbase. The FISK consists of 49 questions that were categorized under two main subject areas (A: Biogeography/History, B: Biology/Ecology) that encompass all stages of the invasion process

Species	Common name	Family	Score			CF <sup>1)</sup>	
			Total	A	B	Total	SE <sup>2)</sup>
<i>Pseudorasbora parva</i>	Stone moroko	Cyprinidae	21	12	9	3.28	0.13
<i>Pungtungia herzi</i>	Striped shinner	Cyprinidae	15	8	7	3.22	0.13
<i>Coreoleuciscus splendidus</i>	Swiri	Cyprinidae	7.5	6.5	1	3.18	0.15
<i>Ladislabia taczanowskii</i>	Minagamihigai	Cyprinidae	1.5	2.5	-1	3.06	0.16
<i>Squalidus gracilis majimae</i>	Korean slender gudgeon	Cyprinidae	8	9	-1	3.1	0.17
<i>Pseudogobio esocinus</i>	Goby minnow	Cyprinidae	12.5	8.5	4	3.42	0.12
<i>Rhynchocypris kumgangensis</i>	Kumkang fatminow	Cyprinidae	2	2	0	3.14	0.16
<i>Zacco koreanus</i>	Korean dark chub	Cyprinidae	12	11	1	3.18	0.15
<i>Zacco platypus</i>	Pale chub	Cyprinidae	20.5	13.5	7	3.42	0.13
<i>Cobitis rotundicaudata</i>	White nose loach	Cobitidae	3	4	-1	3.16	0.16
<i>Liobagrus andersoni</i>	Korean torrent catfish	Amblycipitidae	7.5	6.5	1	3.24	0.15
<i>Coreoperca herzi</i>	Korean aucha perch	Centropomidae	16.5	9.5	7	3.32	0.15

<sup>1)</sup>Certainty factor, <sup>2)</sup>Standard error



**Fig. 2.** The cumulative curve of the number of non-native fish species in the Gangneungnamdae Stream, Korea.

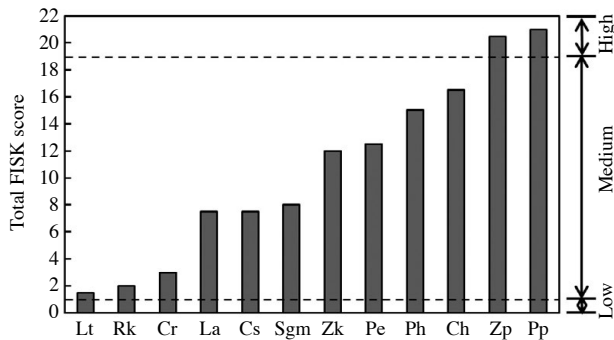
로 강릉남대천의 고유화 빈도인 25.0% (Byeon and Oh 2015) 와 비교시 복천 다음으로 높은 고유화 빈도를 유지하였다. 강릉남대천 내 이입종은 대부분 고유종에 속하는 잉어과 (Cyprinidae)의 어류로서 주로 서한아 수계에서 도입되어 본 수역에 정착하여 서식하고 있는 것으로 판단된다. 강릉 남대천의 이입종 도입 경로에 관해서는 구체적인 기록이나 보고가 거의 전무한 실정이며, 지역주민에 의한 무분별한 방류 또는 하천 복원에 따른 종다양성 및 어족자원의 증진을 위해 본 수계에 도입된 것으로 판단된다. 이입종의 성장은 수계 고유의 군집구조를 변형시키고, 중간경쟁을 통해 토착종의 생존과 번식을 위협하여 개체군의 감소 또는 지역적 절멸을 야기할 수 있다 (Didham *et al.* 2005). 따라서 향후 강릉 남대천 수계에 서식하는 토착종의 생물서식공간 보존 및 군집구조를 유지하기 위해서는 지자체별 생물종의 도입에 대

한 기록과 관리 규제가 이루어져야 하며, 외래어종뿐만 아니라 국내 타수계 이입종에 대한 정부와 국민의 관심이 필요할 것으로 판단된다.

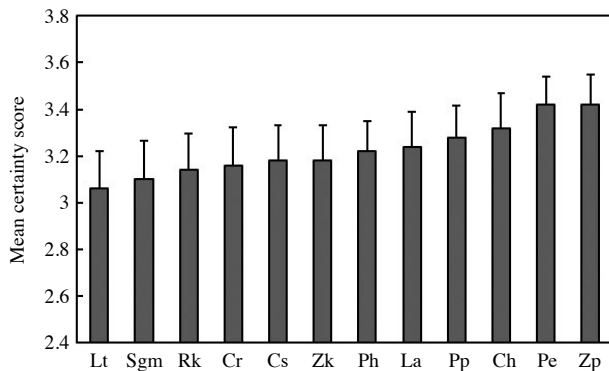
## 2. FISK 결과

### 1) FISK 지수

강릉남대천의 조사지점에서 채집된 비토착종은 12종으로 조사되었으며, 이에 따른 FISK 결과는 평균 10.6(1.5~21)으로 나타났다 (Table 1, Fig. 3). 피라미 (*Zacco platypus*)와 참붕어 (*Pseudorasbora parva*)가 19 이상의 값을 나타내어 향후 강릉남대천 수계 내에서 높은 (high risk:  $\geq 19$ ) 침습성을 보일 것으로 분석되었다. 피라미 (*Z. platypus*)와 참붕어 (*P. parva*)는 내성종 (tolerance species)으로 환경변화에 대한 감수성이 높으며, 두 종 모두 1982년부터 2014년까지 꾸준히 출현하고 있었다. 피라미 (*Z. platypus*)의 경우 도입 초기부터 개체수가 지속적으로 증가하고 있으며, 2014년에는 19.33%의 우점율을 나타내어 해당 수계에 안정적인 정착이 이루어진 것으로 판단된다. 또한 썩지 (*Coreoperca herzi*), 돌고기 (*Pungtungia herzi*), 모래무지 (*Pseudogobio esocinus*), 참갈겨니 (*Zacco koreanus*), 긴물개 (*Squalidus gracilis majimae*), 쉬리 (*Coreoleuciscus splendidus*), 통가리 (*Liobagrus andersoni*), 새코미꾸리 (*Cobitis rotundicaudata*), 금강모치 (*Rhynchocypris kumgangensis*), 새미 (*Ladislabia taczanowskii*)는 18.9 이하의 값을 나타내어 중간 수준 (medium risk: 1~18.9)의 침습성을 보이는 것으로 분석되었다. 특히, 참갈겨니 (*Z. koreanus*)의 경우 피라미 (*Z. platypus*)와 마찬가지로 1995년에 도입된 이후 해당 수역에 적응하여 개체군이 급격히 증가하고 있는



**Fig. 3.** The FISK scores for the 12 non-native fishes in Gangeungnamdae Stream, Korea. The dashed horizontal line represents the high risk threshold calibrated from the UK study (Copp *et al.* 2009). The abbreviations of species names are as follows: Lt: *Ladistabia taczanowskii*, Rk: *Rhynchocypris kumgangensis*, Cr: *Cobitis rotundicaudata*, La: *Liobagrus andersoni*, Cs: *Coreoleuciscus splendidus*, Sgm: *Squalidus gracilis majimae*, Zk: *Zacco koreanus*, Pe: *Pseudogobio esocinus*, Ph: *Pungtungia herzi*, Ch: *Coreoperca herzi*, Zp: *Zacco platypus*, Pp: *Pseudorasbora parva*.



**Fig. 4.** The non-native fishes of Gangeungnamdae Stream ranked by the mean ( $\pm$  SE) certainty of responses to the FISK questions. The maximum possible score of certainty is 4 (see Copp *et al.* 2005). The abbreviations of species names correspond to those in Fig. 3.

것으로 나타났으며 (Byeon and Oh 2015), 현재 정착이 이루어져 안정적인 개체군을 형성하고 있는 것으로 판단된다. 반면 FISK 값은 피라미에 비해 비교적 낮게 분석되었는데, 이는 참갈겨니 (*Z. koreanus*)가 민감종 (sensitive species)에 해당하여 서식처 이용 측면에 있어서 중·상류역의 제한된 분포수역을 가지는 특성이 작용한 것으로 판단된다.

각 FISK 질문의 답변에 대한 신뢰도 값은 평균  $3.2 (3.06 \pm 0.16 \sim 3.42 \pm 0.13)$ 로 분석되었으며, 최대 신뢰도 값이 4인 것을 고려할 때, 비교적 높은 수준을 나타내었다 (Fig. 4). 그러나 분포 특성과 저항력의 내용에 관한 질문의 경우 어종별 산란 및 행동특성, 오염에 대한 내성 등의 생태특성 연구가

미흡하여 해당 질문에 대한 질적인 대답을 수행하는 데 있어 한계가 있었으며, 이는 신뢰도 값에 영향을 미친 것으로 판단된다. 본 연구에서는 강릉남대천만을 대상으로 FISK를 이용하여 침습 위험종 평가를 실시하였으나 향후 4대강 및 국내에 분포하는 대하천을 대상으로 생물상에 대한 기초 연구와 생물 지리학적 분포 및 기원, 토착종과의 경쟁적 상호관계 등에 대한 연구가 병행되어 FISK 평가가 이루어질 경우 보다 정량적인 평가와 함께 국내 실정에 적합한 threshold 기준을 마련할 수 있을 것으로 판단된다.

### 3. 서식지 건강도 평가와 이입종 출현 특성

강릉남대천 수계의 9개 지점을 대상으로 물리적 서식지 평가지수 (QHEI)를 분석한 결과 평균 146 (88~171)으로 최적상태를 나타내었다 (Fig. 5). 총 9개의 지점 중 최적상태로 평가된 지점이 2개 지점 (Site 1, 2), 최적~양호상태 3개 지점 (Site 3, 4, 5), 양호상태 3개 지점 (Site 6, 7, 8), 보통상태 1개 지점 (Site 9)으로 분석되었다. 동해로 유입되는 강릉남대천은 지형적 특성으로 인해 중·상류의 계류형 특징을 나타내고 있으며 (Jeon 1982), 상대적으로 유로의 길이가 길고, 유역면적이 넓은 영서지방의 하천에 비해 물리적 서식지 상태가 양호한 것으로 평가되었다. 최적상태를 유지하고 있는 Site 1과 Site 2는 주로 하류의 도심하천에서 담수자원을 이용하기 위해 행해지는 하천 인근 토지의 개간, 친수공간을 위한 수변부 변형, 직강화 등의 직·간접적인 교란 (Ricclardi and Rasmussen 1999; Baron *et al.* 2002; Won *et al.* 2010; Hong and Kim 2014)에 대한 영향이 적어 서식처 자연성 보전이 비교적 잘 이루어진 것으로 판단된다. 반면 Site 9는 QHEI 값이 88 (Marginal)로 모든 지점 중에서 가장 낮은 점수를 나타내었는데, 이는 Site 9가 동해와 인접한 기수역 부근에 해당하여 다른 지점들에 비해 종다양성의 차이를 보였으며, 단순한 하상구조와 하상피복도로 인해 가장 낮은 점수를 나타낸 것으로 판단된다.

조사지점별 인근 토지이용률과 QHEI, 이입종 출현빈도를 구분한 결과 (Fig. 5), 하천의 고도가 낮아질수록 QHEI 값은 감소하는 결과를 나타내었으며, 토지이용 측면에서는 산림지역이 감소하고, 도심지역이 점차 증가하는 경향을 나타내었다. 전반적으로 상류에서 하류로 갈수록 도심하천이 형성되면서 서식처 질의 감소 및 비점오염원의 유입량이 증가하는 것으로 판단되며, 이는 도심하천으로 향할수록 서식지 건강도 지수가 감소하는 Kim *et al.* (2009)의 결과와 유사한 경향을 나타내었다. 물리적 교란에 의한 서식처 변화는 이입종의 침습성을 강화시키고 동시에 해당 수계로의 안정적인 정착의 기회를 증대시키며, 물리적 환경 변화에 대한 감수성이

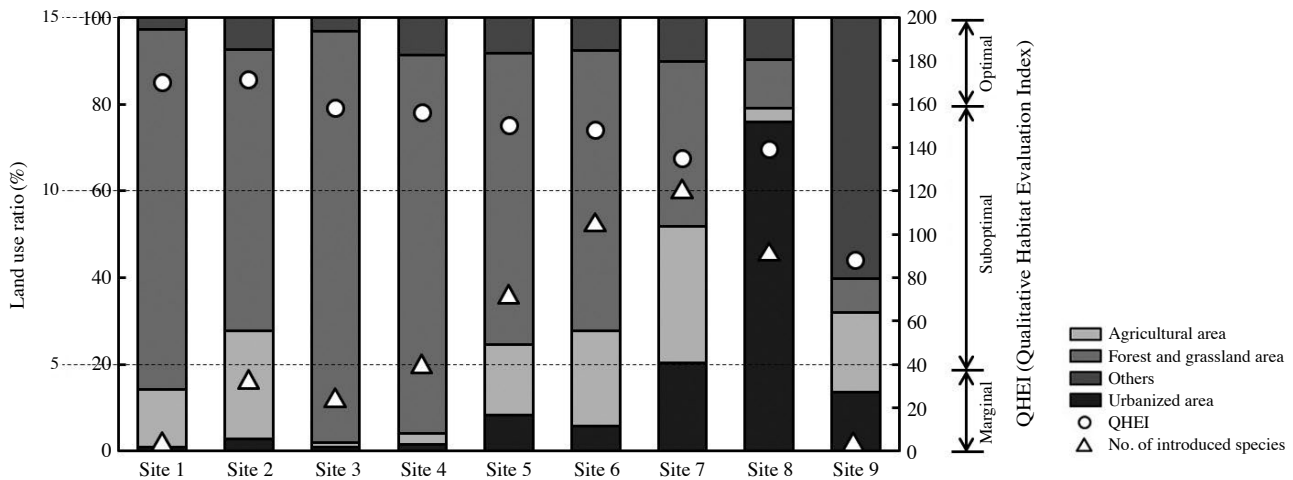


Fig. 5. The land use, QHEI and number of the introduced species located and identified in the Gangneungnamdae Stream, Korea.

Table 2. The qualitative habitat evaluation index (QHEI) in the stream at the Gwangneung forest

	Distance		Fish community			Land use around study sites			
	Distance from the end point (km)	Altitude (m)	No. of species	No. of individual	No. of introduced species	Urbanized area	Agricultural area	Forest and grassland area	Others
Altitude (m)	0.893**								
No. of species	-0.701*	-0.782**							
No. of individual	-0.557	-0.647*	0.956**						
No. of introduced species	-0.133	-0.519	0.625	0.637					
Urbanized area	-0.597	-0.557	0.811**	0.868**	0.313				
Agricultural area	-0.277	-0.413	0.118	0.0804	0.32	-0.217			
Forest and grassland area	0.961**	0.808**	-0.737*	-0.647*	-0.094	-0.721*	-0.234		
Others	-0.762*	-0.499	0.153	-0.0607	-0.408	0.0624	0.171	-0.67*	
QHEI	0.887**	0.691*	-0.455	-0.257	0.0943	-0.292	-0.163	0.798**	-0.914**

\* $p < 0.05$ , \*\* $p < 0.01$ , Others: Wet land, Bare ground, Freshwater

적은 토착 개체군의 감소를 야기시키는 주요 요인으로 작용한다(Didham *et al.* 2005). Whittier and Kincaid (1999)의 연구에 의하면 인간에 의한 인위적인 교란이 빈번하게 발생하는 지역에서 이입종의 풍부도와 유의한 양의 상관성을 나타내고, 토착종의 풍부도와는 음의 상관성을 나타내는 결과를 도출하였는데, 본 연구에서 역시 이입종의 출현 빈도가 Site 7에서 가장 높은 결과를 보였다. 이는 비교적 접근이 용이하고, 이용객들이 많은 도심하천의 특성상 무단 방류에 따른 타수계 어종이 강릉남대천 수계로 이입되었을 것으로 추정되며, Site 7에 위치한 보에 의해 어류의 소상이 차단되어 일부 어종들이 하류에 정착한 것으로 판단된다. 그러나 본 연구에서 실시한 한 차례의 조사 및 평가만으로 토지이용에 따른 이입종의 출현특성을 단정 짓기에는 무리가 있는 것으로 생각된다. 따라서 향후 이입종으로부터 발생 가능한 잠재적 생태계 변화 또는 2차 확산에 대한 우려를 최소화하기 위

해 강릉남대천 이입종의 정착 및 기원, 적응에 대한 연구가 병행되어야 할 것으로 판단된다.

#### 4. 어류군집, QHEI, 하천 인근 토지이용, 이입종간의 상관관계

선행된 연구에서 채집된 어류 군집을 이용하여 QHEI와 하천 인근 토지이용 그리고 강릉남대천 수계 내 이입종 출현간의 상관관계(Pearson Correlation) 분석을 실시한 결과는 다음과 같다(Table 2). 하천 상·하류간의 연속성을 나타내는 고도와 지점별 중수는 음의 상관성( $r = -0.782, p = 0.0127$ )을 나타내었으며, 상류에서 하류로 갈수록 중수와 개체수가 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 어류군집에 대한 상관성 분석 결과 중수와 개체수( $r = 0.956, p < 0.001$ ), 중수와 도심 지역( $r = 0.811, p = 0.00797$ )과는 양의 상관성을 나타내었으



며, 종수와 산림지역( $r = -0.737, p = 0.0234$ )과는 음의 상관성을 나타내었다. 이는 도심지역이 대부분 고도가 낮은 하류에 위치하고 있으며, 산림지역은 계류가 형성되어 있는 상류쪽에 밀집하고 있어 하천 고도에 따른 어류의 분포에 차이가 발생한 것으로 판단된다. QHEI와 토지이용률간의 상관성 분석 결과 도심지역과는 음의 상관성( $r = -0.292, p = 0.446$ )을 나타내었으나 통계적으로는 유의하지 않은 수준이었으며, 산림지역과는 양의 상관성( $r = 0.798, p = 0.00991$ )을 나타내었다. 인간의 간섭에 의한 직·간접적인 교란이 비교적 적은 산림지역에 비해서 도심하천의 경우 콘크리트 제방 및 저수로의 직선화, 보의 축조, 골재 준설 등의 물리적 변화(Kim *et al.* 2008)로 인하여 생물의 미소서식처 상실에 따른 서식처 건강도가 낮게 나타난 것으로 판단된다. 강릉남대천 내 타수계 이입종의 경우 도심지역과는 양의 상관성( $r = 0.313, p = 0.412$ ), 산림지역과는 음의 상관성( $r = -0.094, p = 0.81$ )을 나타내었으나 통계적으로는 유의하지 않은 수준을 나타내었다.

### 5. 이입종 관리 방안

이입종의 발생은 일반적으로 인간활동에 의해 자연적 서식범위에서 본래 서식하지 않는 타수계로 도입되는 것으로 알려져 있다(Hellmann *et al.* 2008). 또한 이입종은 새로 도입된 서식처 내에서 섭식 및 산란특성, 서식처 이용 등 토착종과의 자원경쟁이 발생하여 수계 내 서식처 변형이 점차 이루어져, 결과적으로 토착종과의 생태적 지위가 교체되는 현상을 야기하게 된다(Didham *et al.* 2005). 강릉남대천은 현재 이입종에 의한 부정적인 영향은 밝혀지고 있지 않으나 타수계 이입종의 수는 매년 점진적으로 증가하는 추세를 나타내고 있다. 이입종의 도입과 정착에 따른 하천 생태계의 부정적인 영향을 방지하기 위해 여러 지자체에서는 하천 복원을 실시하고 있으나 하천과 생물 서식지 간의 기능적 측면을 고려하지 않을 경우 역으로 이입종의 침습성을 강화시킬 위험성이 있다. 따라서 하천복원을 실시할 경우 토착종과의 상호 경쟁관계를 파악하여 알맞은 서식처 복원 및 변형이 이루어져야 할 것으로 판단된다. 또한 FISK를 통해 침습성이 높게 평가된 종을 대상으로 국내 담수생태계로부터 서식처 취약성이 높은 지점을 선정하여 무단방류에 따른 이입종의 유입과 정착을 방지하기 위한 제도적인 관리 방안의 마련이 필요할 것으로 요구된다.

## 적 요

본 연구는 선행된 연구자료의 어류군집을 이용하여 강릉남대천 내 이입종의 현황을 파악하고, 수생태계에 악영향을

미칠 수 있는 잠재적 침습성을 평가하고자 실시하였다. 강릉남대천에 서식하고 있는 국내 타수계 이입종은 12종으로 조사되었으며, 1982년 이후로 지속적으로 증가하는 추세를 나타냈다. 이입종의 FISK 평가 결과 피라미(*Zacco platypus*)와 참붕어(*Pseudorasbora parva*)가 높은 침습성을 보이는 것으로 분석되었다. FISK 질문의 답변에 대한 신뢰도 값은 평균  $3.2(3.06 \pm 0.16 \sim 3.42 \pm 0.13)$ 로 분석되었으며, 최대 신뢰도 값이 4인 것을 고려할 때, 상대적으로 높은 수준을 나타내었다. 조사지점별 물리적 서식지 평가(Qualitative Habitat Evaluation Index; QHEI) 결과 평균 146(88~171)으로 최적의 서식처 환경을 유지하고 있는 것으로 분석되었다. 지점별 하천 인근 토지이용률과 QHEI, 이입종 출현빈도를 구분한 결과 하천의 고도가 낮아질수록 QHEI 값은 감소하는 결과를 나타내었으며, 토지이용 측면에서는 산림지역이 감소하고, 도심지역이 점차 증가하는 경향을 나타내었다. 어류군집, QHEI, 하천 인근 토지이용률, 이입종간의 상관관계 분석을 실시한 결과 하천 상·하류간의 연속성을 나타내는 고도와 지점별 종수( $r = -0.782, p = 0.0127$ ), 종수와 산림지역( $r = -0.737, p = 0.0234$ ), QHEI와 도심지역( $r = -0.292, p = 0.446$ )과는 음의 상관성을 나타내었으며, 타수계 이입종의 경우 도심지역과는 양의 상관성( $r = 0.313, p = 0.412$ )을 나타내었으나 통계적으로는 유의하지 않은 것으로 분석되었다.

## REFERENCES

- Almeida D, F Ribeiro, PM Leunda, L Vilizzi and GH Copp. 2013. Effectiveness of FISK, an invasiveness screening tool for non-native freshwater fishes, to perform risk identification assessments in the Iberian Peninsula. *Risk Anal.* 33:1404-1413.
- An KG, SH Jung and SS Choi. 2001. An evaluation on health conditions of Pyeong-Chang River using the Index of Biological Integrity (IBI) and Qualitative Habitat Evaluation Index (QHEI). *Korean J. Limnol.* 34:153-165.
- Baron JS, NL Poff, PL Angermeler, CN Dahm, PH Gleick, NG Hairston, RB Hackson, GA Johnston, BD Richter and AD Steinman. 2002. Meeting ecological and societal needs for freshwater. *Ecol. Appl.* 12:1247-1260.
- Byeon HK. 2014. Habitat characteristic of *Coreoperca herzi* and *Coreoleuciscus splendidus* and effect on introduce to different water system. *Korean J. Nat. Conserv.* 16:13-23.
- Byeon HK and JK Oh. 2015. Fluctuation of fish community and inhabiting status of introduced fish in Gangeungnamdae Stream, Korea. *Korean J. Environ. Ecol.* 29:718-728.
- Byeon MS, HK Park, WO Lee and DS Kong. 2008. Fish fauna

- and community structure in Lake Paldang and its inflows. *J. Korean Soc. Water Environ.* 24:206–213.
- Casal CMV. 2006. Global documentation of fish introductions: the growing crisis and recommendations for action. *Biol. Invasions* 8:3–11.
- Chae BS, SK Kim, YH Kang, NS HEO, JM Park, HU Ha and UW Hwang. 2015. Ichthyofauna and fish community structure in upper reach of the Nakdong River, Korea. *Korean J. Ichthyol.* 27:116–132.
- Choi JS, HK Byeon and KS Choi. 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 and IS Kim. 1984. The atlas of Korean freshwater fishes. *Kor. Ins. Fres. Biol.* 1–95.
- Copp GH, L Vilizzi, J Mumford, GV Fenwick, MJ Godard and RE Gozlan. 2009. Calibration of FISK, an invasiveness screening tool for non-native freshwater fishes. *Risk Anal.* 29:457–469.
- Copp GH, R Harthwaite and RE Gozlan. 2005. Risk identification and assessment of non-native freshwater fishes: Concepts and perspectives on protocols for the UK. Science series Technical Report. Cefas, Lowesoft.
- Didham RK, JM Tylianakis, MA Hutchison, RM Ewers and NJ Gemmill. 2005. Are invasive species the drivers of ecological change? *Trends Ecol. Evol.* 20:470–474.
- Gozaln RE. 2008. Introduction of non-native freshwater fish: is it all bad? *Fish Fish.* 9:106–115.
- Han JH and KG An. 2013. Chaemical water quality and fish community characteristics in the mid-to downstream reach of Geum River. *Korean J. Environ. Biol.* 31:180–188.
- Han JH, CS Park, JW An, KG An and WK Paek. 2015. Identification guide to freshwater fishes of Korea. EcoNature, Seoul.
- Hong SS and SH Kim. 2014. A study on characteristic of Seoul stream and its surrounding urban fabric: Focused on Jungnangcheon, Tancheon, Anyangcheon. *Korean Ins. Architect.* 34:239–240.
- Hong YK, KH Kim, KM Kim, GH Lim, MY Song and WO Lee. 2016. Characteristics of fish fauna and community structure in Wangpicheon. *Korean J. Environ. Ecol.* 30:874–887.
- Jang MH, GI Cho, HB Song, HK Byeon, HW Kim and GJ Joo. 2003. Fish distribution and water quality of mountain streams in the Jirisan national park, Korea. *Korean J. Ecol.* 26:297–305.
- Jeon SR. 1980. Studies on the distribution of freshwater fishes from Korea. Ph. D. Dissertation, Univ. of Chungang, Seoul. pp. 14–49.
- Jeon SR. 1982. A study on fish fauna basin of small stream system flowing into the East Sea, Korea. *Korean J. Nat. Conserv. Report.* pp. 231–248.
- Jeong MG. 1977. The fishes of Korea. Iljisa. Korea. pp. 1–727.
- Kim CH, WO Lee, KE Hong, CH Lee and JH Kim. 2006a. Ichthyofauna and fish community structure in Namdae Stream, Yangyang, Korea. *Korean J. Ichthyol.* 18:112–118.
- Kim CH, KE Hong, JH Kim and KH Kim. 2006b. Ichthyofauna in Yeongok Stream, Gangneung, Korea. *Korean J. Ichthyol.* 18:244–250.
- Kim CH, EJ Kang, H Yang, KS Kim and WS Choi. 2012. Characteristics of fish fauna collected from near estuary of Seomjin River and population ecology. *Korean J. Environ. Biol.* 30:319–327.
- Kim HM, JH Lee and KG An. 2008. Water quality and ecosystem health assessments in urban stream ecosystems. *Korean J. Environ. Biol.* 26:311–322.
- Kim IS, Y Choi, CL Lee, YJ Lee, BJ Kim and JH Kim. 2005. Illustrated book of Korean fishes. Kyo-haksa. Seoul. pp. 1–615.
- Kim IS. 1997. Illustrated encyclopedia of fauna & flora of Korea. Vol. 37. Freshwater fishes. Ministry of Education. Yeongi. pp. 1–518.
- Kim JR and CL Lee. 2001. Ichthyofauna and fish community from the Dongjin River system, Korea. *Korean J. Ichthyol.* 13:40–49.
- Kim YP, EH Lee and KG An. 2009. Ecological health assessment of Dongjin River based on chemical measurement and fish assemblage analysis. *Korean J. Limnol.* 42:183–191.
- Lawson LL, JE Hill, S Hardin, L Vilizzi and GH Copp. 2015. Evaluation of the fish invasiveness screening kit (FISK v2) for peninsular Florida. *Management* 6:413–422.
- Lee WO, CB Kang, HU Park, MC Han, HK Byeon, JG Myeong, CH No, GP Hong, HP Song, BS Chae, KH Han, JR Go and YP Hong. 2003. The introduced fishes of Korea. Guryongmunhwasa, Seoul.
- Lee WO, MH Ko, JM Bak, DH Kim, HJ Jeon and KH Kim. 2010. Characteristics of fish fauna and community structure in Buk stream of Goseong, Korea. *Korean J. Ichthyol.* 22:238–248.
- Lozon JD and HJ MacIsaac. 1997. Biological invasions: are they dependent on disturbance? *Environ. Rev.* 5:131–144.
- Mastitsky SE, AY Karatayev, LE Burlakova and BV Adamovich. 2010. Non-native fishes of Belarus: Diversity, distribution and risk classification using the Fish Invasiveness Screening Kit (FISK). *Aquat. Invasions* 5:103–114.
- Mendoza R, S Luna and C Aguilera. 2015. Risk assessment of



- the ornamental fish trade in Mexico: Analysis of freshwater species and effectiveness of the FISK (Fish Invasiveness Screening Kit). *Biol. Invasions* 17:3491–3502.
- Onikura N, J Nakajima, R Inui, H Mizutani, M Kobayakawa, M Fukuda, S Fukuda and T Mukai. 2011. Evaluating the potential for invasion by alien freshwater fishes in northern Kyushu island, Japan, using the Fish Invasiveness Scoring Kit. *Ichthyol. Res.* 58:382–387.
- Piria M, M Povz, L Vilizzi, D Zanella, P Simonovic and GH Copp. 2015. Risk screening of non-native freshwater fishes in Croatia and Slovenia using the fish invasiveness screening kit. *Fisheries Manag. Ecol.* 23:21–31.
- Puntilla R, L Vilizzi, M Lehtiniemi and GH Copp. 2013. First Application of FISK, the freshwater fish invasiveness screening kit, in Northern Europe: Example of Southern Finland. *Risk Anal.* 33:1397–1403.
- Rand TA, JM Tylanakis and T Tschardtke. 2006a. Spillover edge effects: the dispersal of agriculturally subsidized insect natural enemies into adjacent natural habitats. *Ecol. Lett.* 9:603–614.
- Rand TA and SA Louda. 2006b. Spillover of agriculturally subsidized predators as a potential threat to native insect herbivores in fragmented landscapes. *Conserv. Biol.* 20:1720–1729.
- Ricciardi A and JB Rasmussen. 1999. Extinction rates of North American freshwater fauna. *Conserv. Biol.* 13:1220–1222.
- Ross ST. 1991. Mechanisms structuring streams fish assemblages are there lessons from introduced species. *Environ. Biol. Fishes* 30:359–368.
- Suarez AV and TJ Case. 2002. Bottom-up effects on persistence of a specialist predator: Ant invasions and horned lizards. *Ecol. Appl.* 12:291–298.
- Tarkan AS, L Güler Ekmekci, L Vilizzi and GH Copp. 2014. Risk screening of non-native freshwater fishes at the frontier between Asia and Europe: First application in Turkey of the fish invasiveness screening kit. *J. Appl. Ichthyol.* 30:392–398.
- Vilizzi L and GH Copp. 2013. Application of FISK, an invasiveness screening tool for non-native freshwater fishes in the Murray-Darling Basin (Southeastern Australia). *Risk Anal.* 33:1432–1440.
- Whittier TR and TM Kincaid. 1999. Introduced fish in North-eastern USA lakes: regional extent, dominance, and effect on native species richness. *Trans. Am. Fish. Soc.* 128:769–783.
- Won DH, MS Byun, JH Park, SW Lee and SJ Hwang. 2010. The assessment of stream ecosystem health and evaluate the current status of aquatic ecosystem health in five major rivers in Korea. *KSCE and KES Joint Conference*. pp. 149–160.

Received: 24 November 2017

Revised: 12 March 2018

Revision accepted: 12 March 2018