

잔가시고기 *Pungitius kaibarae* (큰가시고기과)의 분포 현황 및 멸종위협평가

고명훈 · 한미숙 · 김형수^{1,*}

고수생태연구소, ¹국립수산과학원 첨단양식실증센터

Distribution Status and Extinction Threat Evaluation of the Short Ninespine Stickleback *Pungitius kaibarae* (Gasterosteidae) in Korea by Myeong-Hun Ko, Mee-Sook Han and Hyeong-Su Kim^{1,*} (Kosoo Ecology Institute, Seoul 07952, Republic of Korea; ¹Advanced Aquaculture Research Center, National Institute of Fisheries Science, Changwon 51688, Republic of Korea)

ABSTRACT A distribution survey was conducted from 2018 to 2020 to evaluate the distribution status, habitat characteristics, and extinction threat of the short ninespine stickleback *Pungitius kaibarae* (Gasterosteidae). Literature reports of *P. kaibarae* distribution have been sorted by each period, 1980~1996, 1997~2005, and 2007~2017, and the samples were collected in 32, 43, and 64 stations for each period. Among the 75 streams and 193 sampling sites investigated during the study period, 1,400 *P. kaibarae* individuals were collected from 26 streams at 39 sites. The main habitat of *P. kaibarae* was downstream or brackish water zones with a low altitude, slow water velocity, and many aquatic plants. The main reasons for the decline in population size were assumed to be drought and flood, river work for flood restoration and river maintenance, bridges construction, and predation by the exotic fish species *Micropterus salmoides*. Previous evidence reported a 42.6% reduction in occupancy within 10 years, a decline in habitat quality, and the spread and impact of the exotic fish species *Micropterus salmoides*. Therefore, *P. kaibarae* is now considered a Vulnerable (VU A2ace) species based on the IUCN Red List categories and criteria. Therefore, *P. kaibarae* should be re-designated as an endangered species by the Ministry of Environment and systematically managed.

Key words: *Pungitius kaibarae*, distribution status, extinction threat evaluation

서 론

최근 전 세계적으로 야생생물들은 급격한 인구증가와 기후변화, 서식지 파괴 등으로 인해 많은 종들이 멸종하거나 멸종위기에 직면해 있고 생물다양성이 크게 감소하는 것으로 보고되고 있다(Sala *et al.*, 2000; Sutherland *et al.*, 2009; IUCN, 2019). 우리나라 담수어류도 하천개발, 대형 댐과 하굿둑의 건설, 하천정비공사, 수질오염, 외래종의 도입 등으로 인해 많은 종들이 멸종위협에 처한 것으로 보고되었다(Jang *et al.*, 2006; Kwater, 2007; NIBR, 2011, 2019; Ko *et al.*, 2017, 2018b). 우리나라 멸종위기

종은 1989년부터 환경부에서 지정하여 보호하고 있는데, 담수어류는 1996년 24종, 1998년 12종, 2005년 18종, 2012년 25종, 2017년 27종으로(ME, 1996, 1998, 2005, 2012, 2017) 지속적으로 증가하였으며, 이에 따라 멸종위기종의 복원을 위해 정채수립과 복원 연구가 지속적으로 이루어지고 있다(ME, 2009, 2011, 2018; MLTM, 2010, 2011, 2012; WPOE, 2017). 효율적으로 멸종위기종들을 관리·보존하기 위해서는 정확한 멸종위협 등급을 평가하여 지정하는 것이 중요한데, 멸종위기종의 선정 기준은 불명확하여 연구자 간 큰 논란이 되어왔다. 세계자연보전연맹(IUCN)에서는 객관적으로 생물의 멸종위협 정도를 평가할 수 있는 적색목록 기준지침서를 발간하였으며(IUCN, 2001), 많은 나라들에서 멸종 위협이 높은 생물을 대상으로 적색자료집(Red Data Book)을 발간하고 있다. 우리나라 어류의 적색목록집은

저자 직위: 고명훈(소장), 한미숙(대표이사), 김형수(연구사)
*Corresponding author: Hyeong-Su Kim Tel: 82-55-540-2760,
E-mail: kimk2k@korea.kr

2011년에 처음 발간되고(NIBR, 2011), 이후 2019년에 개정되었는데(NIBR, 2019), 자료 부족으로 정확한 감소 경향을 파악하는 대신 주로 출현범위 및 점유면적 등을 근거로 멸종위협을 평가하였다.

큰가시고기과(Gasterosteidae)에 속하는 잔가시고기 *Pungitius kaibarae*는 우리나라와 일본에 서식하였으나 일본 집단은 절멸한 것으로 알려진 소형어류이다(Kim, 1997; Kim and Park, 2007). 최근까지 아종 *P. sinensis kaibarae*로 가시고기 *P. pungitius sinensis* (Chyung, 1977) 또는 *P. sinensis sinensis*와 아종관계로 보고되었으나(Chae, 1988; Chae and Yang, 1988), Kim *et al.* (1989)은 두 종이 등지느러미 기초막의 색으로 잘 구분되어 잔가시고기 *P. kaibarae* ssp., 가시고기 *P. sinensis* 종명으로 기록하였다. 잔가시고기는 서식지 및 개체수 감소 등을 근거로 2005년 환경부지정 멸종위기야생동·식물 II급으로 지정되었으나 2012년 해제되었으며(ME, 2005, 2012), 2011년 우리나라 담수 어류의 적색자료집에서는 준위협(NT)으로(NIBR, 2011), 2019년에는 관심대상종(LC)으로 평가된 바 있다(NIBR, 2019). 하지만 점유면적의 기준이 된 전국자연환경조사는 멸종위기종이나 한국고유종, 자생종 등의 정확한 분포 양상이나 감소경향을 파악하는 데 한계가 있기 때문에 종 고유의 생태적 특성을 고려한 정밀조사가 필요하며, 이러한 정밀조사를 통해 멸종위협이 높은 종들에 대해서 멸종위협등급이 재평가되고 있다(Ko *et al.*, 2018a, 2019, 2021; Choi *et al.*, 2021). 잔가시고기의 분포 기록은 Jeon (1987), Chae (1988), Yoon (2007) 등이 있으며 그 외 전국자연환경조사(ME, 1997~2005, 2007~2017), 하천건강성평가(NIER, 2008~2017), 내륙습지 조사(NIW, 2014~2015), 멸종위기어류 분포 조사(NIBR, 2013~2015) 등이 있다.

따라서 본 연구에서는 잔가시고기의 정밀분포 조사를 실시하여 분포 현황과 서식지 특징, 위협요인 등을 밝히고 과거출현기록과 비교 및 출현기록을 분석하여 멸종위협등급을 평가하며 나아가 잔가시고기의 보존방안에 대해 논의하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 과거 분포 현황

잔가시고기의 시기별 분포 현황은 2~4차 전국자연환경조사 등을 기준으로 1980~1996년, 1997~2005년, 2007~2017년으로 구분하였다. 1980~1996년은 전국자연환경조사 이전으로 잔가시고기의 분포(Jeon, 1987), 큰가시고기과의 분류(Chae, 1988; Kim *et al.*, 1989), 어류상 논문(Yang and Lim, 1980; Chae and Yang, 1988; Yang and Chae, 1994a, 1994b; Byeon *et al.*, 1996) 등이 있으며, 1997~2005년은 제2차 전국자

연환경조사(ME, 1997~2005)와 지리적 분포와 분류학적 특성(Yoon, 2007), 어류상 논문(Jang *et al.*, 2001; Kim *et al.*, 2006) 등이 있다. 2007~2017년은 제3~4차 전국자연환경조사(ME, 2007~2017), 하천수생태 건강성평가(NIER, 2008~2017), 내륙습지 조사(NIW, 2014~2015), 멸종위기어류 분포 조사(NIBR, 2013~2015), 어류상 논문(Lee *et al.*, 2010; Ko *et al.*, 2013; Byeon and Oh, 2015) 등을 분석하여 정리하였다.

2. 정밀분포 조사

1) 지점 선정 및 조사시기

정밀분포 조사는 과거 출현지역과 출현이 예상되는 지역인 동해안 전 지역의 하천과 낙동강 지류 금호강 상류부, 출현기록이 있는 춘천시 일대 등을 포함하였고, 지점 간 거리는 IUCN (2001)의 권고 격자(2×2 km)를 고려하여 2~5 km 간격으로 75개 하천 193개 지점을 선정하였다. 분포 및 수문학적 환경은 2018년과 2020년에 3월부터 10월까지 2회 조사하였으며, 이화학적 환경은 2020년 3월 2~24일에 실시하였다.

2) 어류 채집 및 서식지 조사

채집은 족대(망목 4×4 mm)를 사용하였으며, 현장에서 채집된 어류는 종과 개체수를 확인한 이후 바로 방류하였다. 수문학적 환경은 하폭과 유폍, 수심, 하천형, 하상구조, 고도, 교란요인 등을 조사하였는데, 하폭과 유폍, 수심은 거리 측정용 망원경(Yardage pro Tour XL. BUSHNELL, Japan)과 줄자를 이용하여 최소·최대 거리를 측정하고, 하천형은 Kani (1944), 하상구조는 Cummins (1962)에 따라 구분하였으며, 고도는 Google Earth (Google Earth pro, US)를 이용하여 확인하였다. 이화학적 환경은 다항목 수질측정기(HI-9828, Romania)와 디지털온도계(T-250A, ASAHI, Japan)를 사용하여 수온과 전기전도도(Conductivity), 염도(Salinity), pH, 용존산소량(DO, Dissolved Oxygen) 등을 측정하였다.

3. 멸종위협등급 평가

멸종위협등급은 적색목록 범주와 기준지침서를 근거로 평가하였다(IUCN, 2001, 2017). 5개의 평가기준 중 평가기준 A(개체군 크기 감소)와 B(지리적 서식범위)는 본 조사 결과를 과거 출현 결과와의 비교·분석을 통하여 멸종위협등급을 평가하였다. 이 중 평가기준 A는 3세대 또는 10년 동안의 감소경향으로 평가하는데, 잔가시고기의 연령분석 연구가 진행되지 않아 10년간 감소경향으로 분석하였다. 그 외 평가기준 C(소개체군 크기 및 쇠퇴)와 D(극소 또는 제한된 개체군), E(정량적 분석)는 본 결과의 평가방법으로 적합하지 않아 제외하였다.

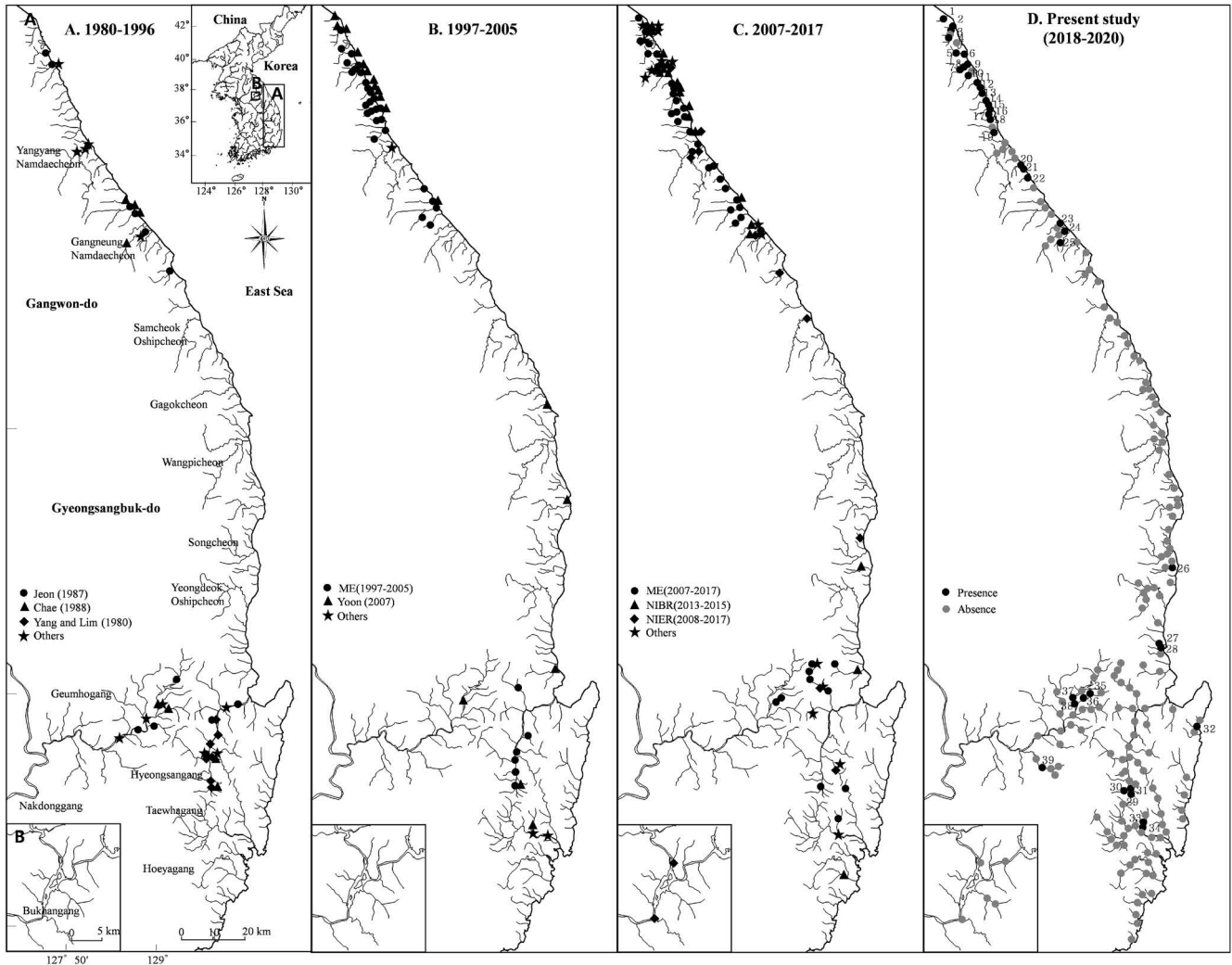


Fig. 1. Distribution of *Pungitius kaibarae* in Korea from 1980 to 2020. A - Others: Chae and Yang, 1988; Kim *et al.*, 1989; Yang and Chae, 1994a, 1994b; Byeon *et al.*, 1996, B - Others: Jang *et al.*, 2001; Kim *et al.*, 2006, C - Others: Lee *et al.*, 2010; Ko *et al.*, 2013; NIW, 2014~2015; Byeon and Oh, 2015.

결과 및 고찰

1. 시기별 분포 현황

1) 1980~1996년 출현기록

1980~1996년에 잔가시고기가 출현한 지점은 32개 지점이었다. Jeon (1987)에 의해 낙동강(영천), 형산강, 주수천, 강릉 남대천, 사천천, 연곡천, 고성 북천, 자산천으로 8개 하천 12개 지점, Chae (1988)에 의해 신리천, 연곡천, 사천천, 강릉 남대천, 금호강, 형산강 6개 하천 7개 지점, Kim *et al.* (1989)에 의해 고성 북천, 양양 남대천, 강릉 남대천, 금호강, 형산강 5개 하천 5개 지점이었고, 어류상 보고 등으로 형산강에서 8개 지점(Yang and Lim, 1980; Chae and Yang, 1988; Yang and Chae, 1994b), 낙동강 지류 금호강 2개 지점(Yang and Chae, 1994a), 양양 남대천

3개 지점(Byeon *et al.*, 1996)이었다(Fig. 1A).

2) 1997~2005년 출현기록

이 시기에 잔가시고기 출현지점 수는 43개였다. 2차 전국자연환경조사로 자산천, 고성 북천, 고성 남천, 오호천, 삼포천, 문암천, 천진천, 용춘천, 물치천, 화상천, 신리천, 연곡천, 사천천, 형산강 등 14개 하천 33개 지점(ME, 1997~2005), Yoon (2007)에 의해 2001~2006년에 송현천, 배봉천, 자산천, 고성 북천, 고성 남천, 오호천, 삼포천, 문암천, 천진천, 용춘천, 신리천, 부구천, 황보천, 형산강, 태화강, 낙동강 지류 금호강 16개 하천 17개 지점, 어류상 논문으로 양양 남대천 1개 지점(Kim *et al.*, 2006), 태화강 2개 지점(Jang *et al.*, 2001)에서 서식이 확인되었다(Fig. 1B).

3) 2007~2017년 출현기록

이 시기의 잔가시고기 출현지점 수는 64개였다. 3~4차 전국 자연환경조사로 송현천, 화진포 지류, 자산천, 고성 북천, 고성 남천, 오호천, 삼포천, 문암천, 천진천, 용촌천, 영랑호 지류, 청초천, 물치천, 양양 남대천, 광정천, 해송천, 화상천, 신리천, 연곡천, 사천천, 경포천, 강릉 남대천, 곡강천, 금호강, 형산강, 태화강 26개 하천 41개 지점(ME, 2007~2017), 멸종위기종 가시고기 *P. sinensis* 분포 조사 일환으로 배봉천, 자산천, 고성 북천, 고성 남천, 오호천, 삼포천, 문암천, 천진천, 용촌천, 청초천, 물치천, 경포천, 강릉 남대천, 축산천, 곡강천, 회야강 16개 하천 16개 지점(NIBR, 2013~2015), 하천 수생태계 건강성평가로 고성 북천, 물치천, 양양 남대천, 강릉 남대천, 삼척 오십천, 백록천, 형산강, 태화강, 북한강 등 9개 하천 13개 지점(NIER, 2008~2017), 내륙습지 조사로 경포호, 강릉 남대천, 형산강 3개 하천 7개 지점, 어류상 논문으로 고성 북천 4지점(Lee et al., 2010), 배봉천 5개 지점(Ko et al., 2013), 강릉 남대천 1개 지점(Byeon and Oh, 2015) 등이었다(Fig. 1C).

2. 정밀분포 조사

잔가시고기의 분포 조사를 2018년부터 2020년까지 193개 지점을 2회 조사한 결과, 2018년은 31개 지점 780개체, 2020년 30개 지점 620개체로 모두 39개 지점 1,400개체를 채집하였다. 이 중 동해안 하천에서 출현한 하천(지점 수)은 북부에서 남부 쪽으로 송현천(1지점), 배봉천(3), 자산천(2), 고성 북천(3), 고성 남천(1), 오호천(1), 삼포천(1), 문암천(1), 아야진천(1), 천진천(1), 용촌천(1), 영랑호 지류(1), 천초천(1), 물치천(1), 광정천(1), 잔교천(1), 해송천(1), 안현천(1), 강릉 남대천(2), 축산천(1), 광천(1), 청하천(1), 형산강(3), 대화천(1), 태화강 지류 척파천(2)으로 25개 하천 34개 지점이었고, 낙동강 지류 금호강에서는 5개 지점에서 서식을 확인하였다(Fig. 1D).

3. 서식지 특징

잔가시고기가 출현한 지점들의 서식지 특징은 Table 1과 같다. 고도는 형산강과 금호강이 80~116m로 비교적 높은 하천 상류부였으나 그 외 지점들은 대부분 30m 이하로 낮은 하천 하류 또는 기수역이었으며, 공통적으로 달뿌리풀 *Phragmites japonica* 이나 갯버들류(pussy willow), 고마리 *Persicaria thunbergii*, 부들 *Typha orientalis* 등의 수초가 많이 서식하는 정수역이었다. 하폭은 10~200 m, 유폭 3~110 m로 범위가 넓었으며, 수심은 대체로 0.3~1.5m로 비교적 유사하였다. 하천형은 형산강과 금호강이 대체로 여울과 소가 반복적으로 나타나는 상류형(Aa 또는 Bb형)이었으나 그 외 지점들은 대체로 경사각이 작은 하류형(Bc형)이었으며, 하상은 지점별로 다양한 구성비율을 보였다. 수질(3월)은 기수역의 경우 전기전도도와 염도가 각각 200

µs/cm, 0.10 psu 이상으로 높게 나타났으나 그 외 지점들은 각각 54~166 µs/cm, 0.02~0.08 psu 이하로 나타났고, 용존산소량(DO)은 8.9~17.3 mg/L로 높았으며, pH는 6.5~8.5로 비교적 중성에 가까웠다.

4. 감소율 및 서식양상

과거에 잔가시고기 출현이 보고된 지점들과 본 조사 결과를 비교해 보면, 1980~1996년은 28개 출현지점 중 9개 지점에서만 출현하여 감소율은 67.9%였으며, 1997~2005년은 34개 출현지점 중 20개에서 출현하여 감소율은 41.2%, 2017~2017년은 47개 출현지점 중 27개 지점에서 서식이 확인되어 감소율은 42.6%였다.

이 중 남부동해안에서는 형산강, 금호강, 태화강, 곡강천, 회야강 일대에서 서식지가 급격히 감소하는 것으로 나타났다. 형산강의 경우 2005년 이전에는 형산강 본류를 포함하여 전역에 서식하고 있었으나(Fig. 1) 이후 지속적으로 감소하여 본 조사에서는 형산강 상류 일부에서만 서식이 확인되었다. 이러한 원인은 2000년대 후반 배스 *Micropterus salmoides*가 유입되어 2010년에는 전역으로 확산된 것으로 보고된 바 있어(Kim and An, 2010; NIER, 2008~2017), 포식성이 강한 배스의 확산이 잔가시고기의 서식지 감소에 큰 영향을 준 것으로 추정되며, 이와 유사하게 형산강에 서식하던 동방종개 *Iksookimia yongdokensis*도 배스의 유입 이전에는 형산강 전역에 서식하였으나 배스의 유입 이후 급격히 감소하여 현재 형산강 상류 일부에만 서식하는 것으로 보고되었다(Ko et al., 2020). 금호강에서는 1980~1996년에 중상류 지역에 넓게 서식하고 있었으나(Fig. 1), 이후 서식지가 급격히 감소하여 본 조사에서는 상류부인 자호천, 고촌천, 오목천 일부에만 서식하는 것으로 나타났으며, 감소 원인은 금호강의 산업화에 따른 개발 및 수질오염, 배스의 확산 등으로 추정된다. 곡강천과 회야강, 태화강, 축산천 등에서는 최근(특히 2018~2020년) 극심한 가뭄과 홍수가 반복적으로 일어났고, 홍수로 인한 복구공사가 광범위하게 일어나면서 서식지가 크게 교란되었기 때문에(Ko et al., 2020) 잔가시고기 서식지도 크게 감소한 것으로 추정된다.

북부동해안 지역에서 잔가시고기는 비교적 많은 지역에서 지속적으로 서식이 확인되고 있었다. 다만 2002년과 2003년 태풍 “루사”와 “매미”로 인한 대규모 홍수 및 복구공사로 인해 서식지가 크게 교란된 바 있으며(Yoon and Kim, 2004; Kim et al., 2006; Lee et al., 2010), 과거 양양 남대천, 삼척 오십천, 주수천 등은 잔가시고기의 서식이 보고되었지만(Kim et al., 1989; Byeon et al., 1996; NIER 2008~2017), Jeon (1987)과 Chae (1988), Yoon (2007), Ko (2016)는 이 지역에서 가시고기만 서식하는 것으로 보고하여 이 지역에서 잔가시고기는 일시적으로 유입되어 서식하였거나 오동정되었을 가능성이 있는 것으로 추정

되었다.

강원도 춘천시 의암호 상류와 하류에서 잔가시고기의 서식이 보고되었는데(NIER, 2008~2017), 본 조사에서 출현지점 및 출현 가능성이 높은 5개 지점을 조사한 결과 잔가시고기는 모두 서식이 확인되지 않았으며, 의암호 상류(윗샘밭교)에서는 환경부지정 멸종위기 야생생물 II급의 가시고기의 서식이 확인되었다. 따라서 춘천시 의암호 일대에서 보고된 잔가시고기는 일시적으로 유입되었다가 소멸되었거나 또는 잔가시고기가 아닌 가시고기가 의암호 일대에 유입되어 서식하다 대부분 소멸되고 현재 의암호 상류(윗샘밭교)에만 서식하고 있는 것으로 추정되었다.

5. 멸종위협 평가 및 보존방향

잔가시고기의 멸종위협 평가는 IUCN (2001, 2017)의 기준에 따라 평가하였다. 평가기준 A는 10년 동안의 감소경향으로 평가하였는데, 10년(2007~2017년)간 출현지점 47개 중 본 조사에서 27개 지점에서만 서식이 확인되어 감소율은 42.6%였고, 감소 원인이 중단되지 않거나 이해되지 않고 되돌리지 못할 수 있는 감소로 점유면적과 출현범위가 감소하고 서식지의 질적 하락이 있으며 외래어종 배스의 영향으로 서식지가 크게 축소된 것으로 판단되어 취약(VU A2ace)으로 평가되었다. 평가기준 B는 출현 범위 14,223 km² (취약에 해당), 점유면적 156 km² (위기에 해당)로 멸종위협 범주에 해당되지만, a) 지속적인 쇠퇴가 확인되었으나, b) 심각한 파편화 또는 지소 수가 10개 이상(24개)이고, c) 극심한 변동은 관찰되지 않아(a, b, c 중 2가지 이상 충족시켜야 멸종위협등급으로 평가됨) 근접한 취약(Near meets VU B1b (i, ii, iii, iv) + B2b (i, ii, iii, iv))으로 평가되었다. 따라서 잔가시고기의 최종 멸종위협등급은 평가기준 A에 따라 취약(VU A2ace)으로 평가되었다.

잔가시고기는 서식지 및 개체수 감소 등의 원인으로 2005년 환경부지정 멸종위기 야생동·식물 II급으로 지정되었다가 2012년에 개정되면서 멸종위기종에서 해제되었다(ME, 2005, 2012). 또한 적색자료집에서는 2011년 준위협(NT), 2019년 관심대상종(LC)으로 평가되어 멸종위기 범주 밖으로 평가되어 멸종위협 수준이 낮은 것으로 보고되었다(NIBR, 2011, 2019). 하지만 본 조사에서 정밀분포 조사를 실시하여 멸종위협등급을 평가한 결과 멸종위기등급에 해당하는 취약(VU)으로 평가되어 멸종위협이 높은 것으로 나타났으며, 특히 남부동해안에 포함되는 형산강, 금호강 등은 포식성이 강한 외래종 배스의 확산, 하천공사 등으로 서식지가 급격히 감소하고 있었다. 따라서 잔가시고기는 다시 환경부 멸종위기 야생생물로 재지정하여 보호할 필요가 있다고 판단되며, 다른 멸종위기종들과 마찬가지로(ME, 2009, 2011, 2018; MLTM, 2010, 2011, 2012; WPOE, 2017) 잔가시고기의 서식양상과 위협요인 등을 반영한 체계적인 보존계획을 수립하

고 종합적인 연구를 진행하는 등 적극적인 보존 노력이 필요하다고 판단된다.

요 약

잔가시고기 *Pungitius kaibarae*의 분포양상 및 서식지 특징, 멸종위협등급을 평가하기 위해 2018년부터 2020년까지 분포 조사를 실시하였다. 과거 출현지점 수는 1980~1996년, 1997~2005, 2007~2017년으로 구분하여 정리한 결과, 각각 32개, 43개, 64개 지점이었다. 분포 조사는 75개 하천, 193개 지점을 조사하여 26개 하천, 39개 지점에서 1,400개체를 채집하였다. 잔가시고기는 주로 고도가 낮고 유속이 느리며 수초가 많은 하천 하류 또는 기수역에 서식하였다. 위협요인으로 가뭄 및 홍수, 홍수복구와 하천정비 공사, 교량 건설, 외래종 배스의 포식 등이었다. IUCN 평가기준에 따른 멸종위협등급을 평가한 결과, 10년 동안 서식지 감소율 42.6%, 서식지의 질적 하락, 외래종 배스의 확산 및 영향 등을 근거로 취약(Vulnerable, VU A2ace)으로 평가되었다. 따라서 잔가시고기는 환경부 멸종위기종으로 재지정하고 체계적으로 관리해야 할 것이다.

사 사

본 논문은 2022년 국립생물자원관의 보호야생생물 관찰평가 및 관리(NIBR202209101)의 지원으로 수행된 연구입니다.

REFERENCES

- Byeon, H. K., J. S. Choi and J. K. Choi. 1996. Fish fauna and distribution characteristics of anadromous type fish in Yangyangnamdae Stream. Korean J. Limnol., 29: 159-166.
- Byeon, H. K. and J. K. Oh. 2015. Fluctuation of fish community and inhabiting status of introduced fish in Gangeungnamade stream, Korea. Korean J. Environ. Ecol., 29: 718-728.
- Chae, B.S. 1988. Classification on the eightspine stickleback (*Pungitius sinensis*, Gasterosteidae) to the morphological characteristics. Kyungpook National University. Doctoral Thesis, Daegu, Korea, 82pp.
- Chae, B.S. and H.J. Yang. 1988. Comparison of the morphology between two populations of eightspine stickleback, *Pungitius sinensis kaibarae* (Tanaka). Korean J. Limnol., 21: 79-91.
- Choi, K.S., D.K. Kim and M.H. Ko. 2021. Distribution aspects and extinction threat evaluation of the endangered species, *Rhynchocypris semotilus* (Pisces: Cyprinidae). Korean J. Ichthyol., 33: 177-183. <https://doi.org/10.35399/ISK.33.3.3>.

- Chyung, M.K. 1977. The fishes of Korea. Iljisa, Seoul, Korea, 727pp.
- Cummins, K.W. 1962. An evolution of some techniques for the collection and analysis of benthic samples with special emphasis on lotic waters. Amer. Midl. Nat'l., 67: 477-504.
- IUCN. 2001. IUCN red list categories and criteria: Version 3.1. IUCN Species Survival Commission. IUCN, ii + 30pp.
- IUCN. 2017. Guidelines for using the IUCN red list categories and criteria. version 13 (March 2017). Prepared by the Standards and Petitions Subcommittee of the IUCN Species Survival Commission, 108pp.
- IUCN. 2019. IUCN Red List of threatened species. version (12/2020). Retrieved from http://www.iucn.org/resources/conservation_tools.
- Jang, M.H., G.J. Joo and M.C. Lucas. 2006. Diet of introduced largemouth bass in Korean rivers and potential interactions with native fishes. Ecol. Freshwater Fish, 15: 315-320.
- Jang, M.H., K.R. Choi and G.J. Joo. 2001. Fish community of headwater streams in Gaji Mountain, Ulsan. Korea J. Limnol., 34: 239-250.
- Jeon, S.R. 1987. Studies on the key and distributions of the cottid and gasterosteid peripheral fresh-water fishes from Korea. Sangmyungwomans University Symposium, 19: 549-576.
- Kani, T. 1944. Ecology of torrent-inhabiting insects. In: Furukawa, J. (ed.), Insect I. Kenkyu-sha, Tokyo, Japan, pp. 171-317.
- Kim, I.S. 1997. Illustrated encyclopedia of fauna & flora of Korea, freshwater fishes. Ministry of Education, Yeongi, Korea, 629pp.
- Kim, I.S., C.H. Yoon and J.H. Lee. 1989. Morphological variation and karyotype of the Korean species of sticklebacks (Pisces, Gasterosteidae). Korean J. Syst. Zool., 5: 107-119.
- Kim, C.H., K.E. Hong, J.H. Kim and K.H. Kim. 2006. Ichthyofauna in Yeongok Stream, Gangneung, Korea. Korean J. Ichthyol., 18: 244-250.
- Kim, I.S. and J.Y. Park. 2007. Freshwater fishes of Korea. Kyohak Publishing, Seoul, Korea, 467pp.
- Kim, Y.P. and K.G. An. 2010. Evaluations of ecological habitat, chemical water quality, and fish multi-metric model in Hyeongsan River watershed. Korean J. Limnol., 43: 279-287.
- Ko, M.H. 2016. Distribution status and threatened assessment of endangered species, *Pungitius sinensis* (Pisces: Gasterosteidae) in Korea. Korean J. Ichthyol., 28: 186-191.
- Ko, M.H., S.J. Moon and I.C. Bang. 2013. Fish community structure and inhabiting status of endangered species in Baebong Stream. Korean J. Ecol. Environ., 46: 192-204.
- Ko, M.H., Y.S. Kwan, W.K. Lee and Y.J. Won. 2017. Impact of human activities on changes of ichthyofauna in Dongjin River of Korea in the past 30 years. Anim. Cells Syst., 21: 207-216. <https://doi.org/10.1080/19768354.2017.1330223>.
- Ko, M.H., M.S. Han and S.M. Kwan. 2018a. Distribution aspect and extinction threat evaluation of the endangered species, *Rhodeus pseudosericeus* (Pisces: Cyprinidae) in Korea. Korean J. Ichthyol., 30: 100-106.
- Ko, M.H., M.S. Han and S.M. Kwan. 2018b. Distribution aspect and extinction threat evaluation of the endangered species, *Cottus hangiongensis* (Pisces: Cottidae) in Korea. Korean J. Ichthyol., 30: 155-160.
- Ko, M.H., M.S. Han and S.M. Kwan. 2019. Distribution aspects and extinction threat evaluation of the Korean endemic species, *Iksookimia pacifica* (Pisces: Cobitidae) in Korea. Korean J. Ichthyol., 31: 16-22.
- Ko, M.H., M.S. Han and S.M. Kwan. 2020. Distribution status and extinction threat evaluation of the Korean endemic species, *Iksookimia yongdokensis* (Pisces: Cobitidae) in Korea. Korean J. Ichthyol., 32: 1-7.
- Ko, M.H., M.S. Han and K.S. Choi. 2021. Distribution status, habitat characteristics and extinction threat evaluation of the endangered species, *Brachymystax lenok tsinlingensis* (Pisces: Salmonidae) in Korea. Korean J. Ichthyol., 33: 74-83. <https://doi.org/10.35399/ISK.33.2.4>.
- Kwater. 2007. A guidebook of rivers in South Korea. Kwater, Daejeon, Korea, 582pp.
- Lee, W.O., M.H. Ko, J.M. Baek, D.H. Kim, H.Z. Jeon and K.H. Kim. 2010. Characteristics of fish fauna and community structure in Buk Stream of Goseong, Korea. Korean J. Ichthyol., 22: 238-248.
- ME (Ministry of Environment). 1996. Natural environment conservation act, Ministry of Environment Notice No. 1996-33.
- ME (Ministry of Environment). 1997-2005. The 2nd national environment investigation of freshwater fish. Ministry of Environment, National institute of environmental research, Incheon, Korea.
- ME (Ministry of Environment). 1998. Natural environment conservation act (Law No. 5392).
- ME (Ministry of Environment). 2005. Enforcement of wildlife laws (Law No. 7167).
- ME (Ministry of Environment). 2007-2017. The 3rd-4th national environment investigation of freshwater fish. Ministry of Environment, National institute of environmental research, Incheon, Korea.
- ME (Ministry of Environment). 2009. Development of genetic diversity analysis, culture and ecosystem restoration techniques for endangered fish, *Iksookimia choii*. Soonchunhyang University, Asan, Korea, 537pp.
- ME (Ministry of Environment). 2011. Development of culture techniques and construction of monitoring system for released seedlings of endangered fish *Koreocobitis naktongensis*. Soonchunhyang University, Asan, Korea, 250pp.
- ME (Ministry of Environment). 2012. Conservation and management laws of wildlife (Law No. 10977).
- ME (Ministry of Environment). 2017. Conservation and management laws of wildlife (amendment of enforcement regulations) (Law No. 10977).
- ME (Ministry of Environment). 2018. A study on conservation plan of endangered freshwater fish (*Pseudobagrus brevicorpus*). Soonchunhyang University, Asan, Korea, 204pp.
- MLTM (Ministry of Land & Transport and Maritime Affairs). 2010.

- Culture and restoration of endangered species in the major four river drainages. Soonchunhyang University, Asan, Korea, 489pp.
- MLTM (Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs). 2011. Culture and restoration of endangered species in the major four river drainages II. Soonchunhyang University, Asan, Korea, 363pp.
- MLTM (Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs). 2012. Culture and restoration of endangered species in the major four river drainages III. Soonchunhyang University, Asan, Korea, 423pp.
- NIBR (National Institute of Biological Resources). 2011. Red data book of endangered fishes in Korea. Ministry of Environment, National institute of biological resources, Incheon, Korea, 202pp.
- NIBR (National Institute of Biological Resources). 2013-2015. National distribution survey of endangered fish, Incheon, Korea.
- NIBR (National Institute of Biological Resources). 2019. Red data book of Republic of Korea, Volume 3. Freshwater fishes. Ministry of Environment, National institute of biological resources, Incheon, Korea, 250pp.
- NIER (National Institute of Environmental Research). 2008-2017. Stream/River ecosystem survey and health assessment. National institute of environmental research, Incheon, Korea.
- NIW (National Institute of Wetland). 2014-2015. Monitoring of national inland wetlands. Changnyeong, Korea.
- Sala, O.E., F.S. Chapin, J.J. Armesto, E. Berlow, J. Bloomfield, R. Dirzo, H.S. Elisabeth, L.F. Huenneke, R.B. Jackson, A. Kinzig, R. Leemans, M.L. David, H. Mooney, A.O. Martin, N.L. Poff, T.S. Martin, B.H. Walker, W. Marilyn and D.H. Wall. 2000. Global biodiversity scenarios for the year 2100. *Science*, 287: 1770-1774. <https://doi.org/10.1126/science.287.5459.1770>.
- Sutherland, W.J., W.M. Adams, R.B. Aronson, R. Aveling, T.M. Blackburn, S. Broad, G. Ceballos, I.M. Cote, R.M. Cowling, G.A.B. Da Fonseca, E. Dinerstein, P.J. Ferraro, E. Fleishman, C. Gascon, M. Hunter Jr., J. Hutton, P. Kareiva, A. Kuria, D. W. Macdonald, K. Mackinnon, F.J. Madgwick, M.B. Mascia, J. McNeely, E.J. Milnergulland, S. Moon, C.G. Morley, S. Nelson, D. Osborn, M. Pai, E.C. Parsons, L.S. Peck, H. Possingham, S.V. Prior, A.S. Pullin, M.R. Rands, J. Ranganathan, K.H. Redford, J.P. Rodriguez, F. Seymour, J. Sobel, N.S. Sodhi, A. Stott, K. Vance-borland and A.R. Watkinson. 2009. One hundred questions of importance to the conservation of global biological diversity. *Conserv. Biol.*, 23: 557-567.
- WPOE (Wonju Provincial Office of Environment). 2017. Culture and restoration research of endangered wildlife (*Brachymystax lenok tsinlingensis*). Wonju Provincial Office of Environment, Wonju, Korea, 45pp.
- Yang, H.J. and W.T. Lim. 1980. A study on the ichthyofauna in the Hyeongsan River. *J. Basic Sci. Kyungpook National Univ.*, 4: 23-32.
- Yang, H.J. and B.S. Chae. 1994a. The ichthyofauna and fish community structure at the downstream of the Hyongsan River. *Korean J. Limnol.*, 27: 23-32.
- Yang, H.J. and B.S. Chae. 1994b. The water environment and limnological study of the river system around the Megalopolis. The ichthyofauna and structure of fish community in the Kumho River (II). *Korean J. Limnol.*, 2: 177-188.
- Yoon, J.D. 2007. Geographic distribution and taxonomic characteristics of genus *Pungitius*. Pusan National University, Master Thesis, Busan, Korea, 42pp.
- Yoon, Y.Y. and H.S. Kim. 2004. Effect of typhoon "Rusa" on the natural Yeon-gok stream and coastal ecosystem in the Yeong-dong province. *J. Korean Soc. Mar. Environ. Energy*, 7: 35-41.