

4배체 한국고유어종 동방종개의 생태학적 특징¹⁾

고명훈²⁾

고수생태연구소 소장

I. 서론

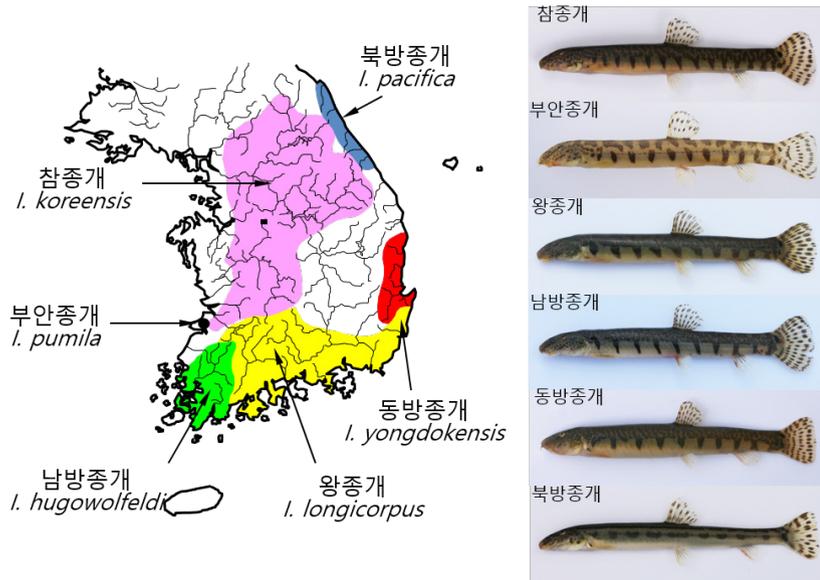
미꾸리상과(Cobitoidea) 어류는 잉어목(Cypriniformes)에 속하며 유라시아(Eurasia)의 강과 하천에 서식하는 저서성 소형어류로 10과 185속 1,499종이 있으며, 이중 미꾸리과(Cobitidae) 어류는 21속 171종이 보고되었다(Kottelat, 2012). 우리나라의 미꾸리과는 5속 16종이 서식하고 있으며, 이중 참종개 *Iksookimia*속은 우리나라 고유속으로 6종이 지리적으로 나뉘어 서식하고 있다(Kim, 1997, 2009) (그림 1). 본 연구종인 동방종개 *Iksookimia yondokensis*는 1997년 Kim and Park에 의해 신종 보고되었는데, 근연종 왕종개 *I. longicorpa*와 체측반문과 골질반(lamina circularis), 비늘 등에 차이가 있으며, 지리적으로도 우리나라의 동남부 지역인 형상강과 영덕오십천, 축산천, 송천 일대에서만 서식하여 차이를 보인다(Kim and Park, 1997). 일반적으로 대부분의 어류 및 동물은 2배체이나 동방종개는 우리나라 미꾸리과 어류 중 유일하게 염색체 수가 $4n=100$ 개 (참종개속 어류는 모두 $2n=50$)로 보고되어 주목받고 있다(Kim et al., 1999).

우리나라 미꾸리과 어류의 생태학적 연구는 Uchida (1939)에 의해 여러 종의 생태적 특징이 간략히 보고된 이후 1978년 참종개 개체군 생태를 시작으로 현재까지 많은 종들에서 생태적 연구가 진행되었다. 특히 서식지에 있어서 미꾸리속 *Misgurnus* 어류는 유속이 거의 없이 정체되고 하상은 펄로 된 곳에 주로 서식하고, 기름종개속 *Cobitis* 어류는 유속이 느리고 하상이 모래로 된 곳에 주로 서식하며, 새코미꾸리속 *Koreocobitis*과 참종개속 *Iksookimia*, 좀수수치속 *Kichulchoia*는 유속이 비교적 빠르며 하상이 자갈과 돌 등으로 된 곳에 주로 서식하는 등 속에 따라 생태적 차이를 보인다(Kim, 1997; 2009; Kim and Park, 2007).

전세계적으로 산업화 이후 많은 야생생물들은 멸종하거나 멸종위협에 처하고 생물다양성이 감소

1) Ecological Characteristics of Tetraploid Korean Endemic Fish Species, *Iksookimia yondokensis*

2) KO, Myeong-Hun, Kosoo Ecology Institute, E mail: hun7146@gmail.com



〈그림 1〉 참종개속 어류의 분포 및 종사진

하는 것으로 보고되고 있으며(Sala et al., 2000; IUCN, 2019), 우리나라 담수어류도 최근 대형 댐과 보의 건설, 무분별한 하천정비공사, 외래종의 도입, 수질오염 등으로 많은 종들이 개체수와 서식지가 감소하고 일부 종들은 멸종한 것으로 보고되고 있다(Jang et al. 2006; Kwater, 2007; Ko et al., 2017a; 2018; NIBR, 2011). 현재 많은 동식물들이 멸종위기종으로 지정되어 보호받고 있는데, 어류는 현재 I급 11종, II급 18종이 지정되었다(ME, 2022). 이중 미꾸리과 어류는 I급에 미호종개, 얼룩새코미꾸리, 좁수수치 3종, II급에 부안종개 1종 등 4종이 지정되었으며, 동방종개도 최근 서식지 및 개체수가 급격히 감소하여 멸종위험이 높은 것으로 보고되었다(Ko et al., 2020).

본 연구에서는 지금까지 연구된 4배체 한국고유어종 동방종개의 생태학적, 보존학적 연구 결과(Ko et al., 2016; 2017b; 2018b; 2020)를 소개하며, 나아가 앞으로의 연구 방향 및 보존방안에 대해 논의하고자 하였다.

II. 재료 및 방법

1. 분포양상 및 멸종위험 평가

동방종개의 시기별 분포양상은 전국자연환경조사(ME, 1997-2006; 2007-2011), 수생태건강성

평가(NIER, 2007-2015), 어류상 논문 등을 고려하여 1980~2006년, 2007~2015년, 2017~2018로 구분하였다. 조사지역은 형상강부터 송천까지 4배체로 보고되어(Kim et al., 1999) 형상강 일대인 대종천부터 송천 일대까지만 조사지역으로 설정하였고, 문헌조사에서 이 지역 외에 출현한 동방종개 기록은 모두 왕종개로 간주하여 제외시켰다. 또한 동방종개가 1997년에 신종으로 보고되었기 때문에(Kim and Park, 1997) 이 지역에서 1997년 이전에 보고된 왕종개는 모두 동방종개로 간주하였다. 분포조사는 과거의 출현지점과 서식지가 양호하여 출현이 예상되는 지역을 중심으로 22개 하천 97개 지점을 선정하여 1차(2017년)와 2차(2018년)로 2회 조사를 실시하였는데, 지점간 거리는 IUCN (2001)의 권고 격자(2×2 km)를 고려하여 2~5 km 간격으로 지점을 선정하였다. 채집은 3월부터 10월까지 족대(망목 4×4 mm)를 이용하여 지점 당 30분 동안 실시하였으며, 채집된 어류는 현장에서 종과 개체수를 확인한 후 바로 방류하였다. 서식지 환경은 하폭과 유폭, 수심, 하천형, 하상구조, 교란요인 등을 조사하였는데, 하천형은 Kani(1944)에 따라, 하상구조는 Cummins (1962)의 기준을 응용하였다. 멸종위험 등급은 과거 문헌과 본 조사 결과를 근거로 IUCN (2001)의 적색목록 평가기준에 따라 평가하였는데, 개체수의 감소 경향, 출현 및 점유면적, 조각화 및 지소(location) 수 등을 계산하여 평가하였다. 개체수의 감소 경향은 본 조사 결과를 동방종개의 3세대인 10.5년(Ko et al., 2016)을 근거로 2007~2015년의 출현기록과 비교하여 추정하였다.

2. 서식지, 성장 및 연령추정, 산란기 특징, 섭식생태

동방종개의 개체군 생태 연구는 서식개체수가 많고 서식지가 안정된 축산천에서 실시하였다. 축산천에서 동방종개의 서식경향 및 동소출현종을 알아보기 위하여 상류부터 하류까지 3~5 km 간격으로 5개 지점을 선정하였으며, 조사는 2015년 3월부터 2016년 25월까지 이루어졌다. 동방종개의 서식환경은 수문학적 환경과 이화학적 환경으로 나누어서 조사하였으며, 어류의 채집은 족대(망목 4×4 mm, 60분)와 투망(6×6 mm, 10회), 일각망(4×4 mm, 12시간 설치)을 이용하였고, 어류의 동정은 Kim and Park (2007)과 Kim et al. (2005)에 따랐다. 채집된 동방종개는 마취제 MS-222 (Sindal, Canada)로 마취하여 전장과 체중, 성비 등을 조사한 후 대부분 방류하였으며, 일부 생식소 분석이 필요한 개체만 10% 포르말린 용액에 고정하여 실험실로 옮겨 분석하였다. 암·수는 수컷의 골질반의 유무로 판단하였으며, 전장은 0.01 mm까지, 체중은 0.01g까지 측정하였다.

연령별 서식지 선호도는 서식지가 안정되는 9~10월에 개체별로 수심과 유속, 하상입자 크기 등을 조사한 후 연령별로 비교하였으며, 통계적 유의성은 SPSS 21.0을 사용하여 일원배치분산분석

(One-way-ANOVA, $\alpha=0.05$)을 실시한 후 사후분석 LSD test를 수행하였다. 매달 채집된 개체로 전장빈도분포도를 작성하여 성장도와 연령은 추정하였으며(Ricker, 1971), 성비를 계산하고 χ^2 검정을 통하여 성비 1:1 유의성을 확인하였다. 산란기는 매달 생식소가 발달한 암컷(전장 100~140 mm)과 수컷(전장 80~125 mm)을 각각 5~10개씩 채집하여 생식소성숙도(생식소성숙도(GSI) = 생식소무게/체중 \times 100)를 계산하여 추정하였다. 포란수는 5월과 6월에 채집된 개체의 난수를 계수하였으며, 성숙란의 크기는 6월에 채집된 성숙개체의 난을 개체별 30개를 측정하여 계산하였다. 일 활동주기는 동방종개의 서식개체수가 많고 물이 맑아 수중관찰이 가능한 경상북도 포항시 북구 신광면 사정리의 곡강천에서 2016년 8월 22~23일에 실시하였다. 정확한 활동성을 확인하기 위해 수중관찰과 직접포획 조사를 병행하였는데, 수중관찰은 소(pool) 지역에 10 m \times 40 m의 조사지역(수심 0.4~1.4 m, 면적 400 m²)을 선정한 후 수중관찰(스킨다이빙, 30분 관찰)로 3시간 간격으로 만 24시간 동안 활동개체수와 동소출현종을 조사하였다. 직접포획 조사는 수중관찰 지역에서 15 m 이상 떨어진 곳에 일각망(날개 길이 10 m, 망목 4 \times 4 mm)을 상류 방향으로 2개를 설치하여 같은 시간대별로 그물에 들어온 개체수 및 동소출현종을 계수하였다. 또한 각각의 시간대별로 기온과 수온을 측정하였으며, 섭식량 변화를 파악하기 위해 시간대별로 족대를 사용하여 전장 100 mm 이상의 성어 5개체씩을 채집하여 10% 포르말린 수용액에 고정한 후 섭식량을 0.01 g까지 측정하였다. 섭식내용물 분석은 미꾸리과 어류의 섭식이 왕성한 5월에 채집하여 10% 포르말린 수용액에 고정한 후 Ko et al.(2016)에 따라 연령별로 구분하여 최소 5개체씩을 분석하였다. 섭식내용물은 실험실에서 해부현미경(Olympus SZX9, Japan)과 광학현미경(Olympus BX50, Japan)을 이용하여 분석하였는데, 수서곤충은 Yoon(1995)과 Won et al. (2005), 동물성 플랑크톤은 Jo(1993), 조류는 Jeong(1993) 등을 참고하여 분류·동정하여 계수하고 부피를 계산하였다. 먹이생물은 개체수(%N)와 부피(%W), 출현빈도(%F)를 이용하여 상대중요성지수(index of relative importance, IRI)를 Pinkas et al. (1971)의 방법으로 계산(IRI=(%N+%W) \times %F)한 후 백분율로 환산하여(% IRI) 비교하였다.

3. 난발생 및 초기생활사

성숙한 동방종개는 경상북도 영덕군 축산면 상원리의 축산천에서 채집하였다. 이후 실험실로 운반한 후 성숙한 개체들을 골라 암·수 모두 1 kg당 Ovaprim(Syndel, Canada) 0.5 mL를 주사하였다. 12시간 경과 후 암컷을 복부를 압박하여 채란하고, 여기에 수컷으로부터 얻은 정액을 Ringer solution에 100배 희석시켜 인공수정시켰다. 산란수는 개체별로 모두 계수하였으며, 난경은 인공

배란된 난을 무작위로 30개를 선정하여 0.01 mm까지 측정하였다. 수정란은 직경 15 cm 패트리 디쉬에 분산 수용하여 난발생(egg development)과 전기자어기(pre-larvae stage)를 관찰하였으며, 이후 수조(20, 100 L)에 순차적으로 옮겨 사육하면서 후기자어기(post-larvae stage)와 치어기(juvenile stage)를 관찰하였다. 난황흡수가 끝난 자어부터 부화 후 30일까지는 알테미아(*Artemia* sp.) 유생(larvae)을, 31일 이후부터는 배합사료를 공급하여 사육하였다. 사육용수는 초기(20 L 수조) 매일 1/2씩 환수하였고, 30일 이후부터 순환여과식(100 L)으로 바꿨으며, 사육 수온은 25°C로 관리하였다. 난발생 과정과 자치어의 발달단계는 Kim (1997)과 Kim et al. (2005)을 따라 전기자어기, 후기자어기, 치어기로 구분하였고, 디지털카메라(Olympus DP72, Japan)가 부착된 해부현미경(Olympus SZX9, Japan)으로 관찰 및 촬영하였으며, 자·치어는 발달 단계별 무작위로 10개체를 선별한 후 마취제 MS-222 (Sindell, Canada)로 마취하여 전장을 측정하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 분포양상 및 멸종위험 평가

1) 시기별 분포

(1) 1980~2006년

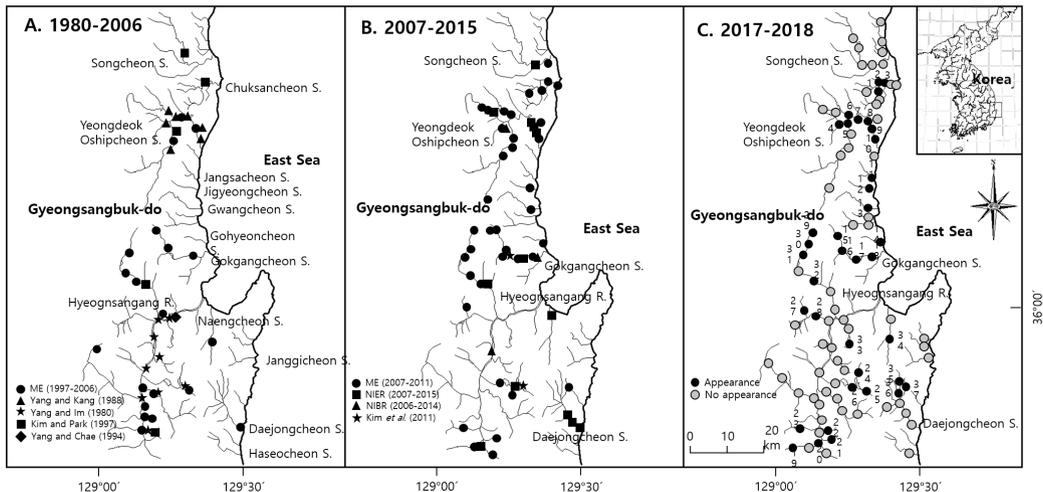
1980~2006년의 동방종개 *I. yongdokensis*는 어류상 논문과 제2차 전국자연환경조사 등에서 서식이 보고되었다(그림 2A). 어류상 논문은 영덕오십천과 형산강에서 조사되었는데, 형산강에서는 1980년 본류를 중심으로 상류에서 하류까지 8개 지점에서(Yang and Lim, 1980), 1994년에는 하류 1개 지점에서 서식이 확인되었고(Yang and Chae, 1994), 영덕오십천에서는 1988년 중·하류의 7개 지점에서 서식이 확인되었다(Yang and Kang, 1988). 이후 제2차 전국자연환경조사에서는 영덕오십천(3개 지점), 곡강천(3개), 형산강(12개), 냉천(1개), 대중천(1개) 등 5개 하천 20개 지점에서 서식이 확인되었다. 그리고 1997년에는 동방종개를 신종보고하면서 형산강(2개 지점)과 영덕오십천(1개), 축산천(1개), 송천(1개)에 서식하는 것이 보고되었다(Kim and Park, 1997).

(2) 2006~2015년

제3차 전국자연환경조사로 형산강(12개 지점), 영덕오십천(11개), 축산천(4개), 곡강천(6개), 송천(1개), 지경천(1개), 광천(1개), 고현천(1개), 대중천(1개) 등 9개 하천 38개 지점에서 출현하였다(ME, 2007-2011). 하천수생태건강성평가에서는 영덕오십천(4개), 형산강(3개), 대중천(3개), 송천(1개), 곡강천(1개), 냉천(1개) 등 6개 하천 13개 지점에서(NIER, 2007-2015), 국립생물자원관 표본기록에서는 영덕오십천(1개), 곡강천(1개), 형산강(1개)에서 표본이 확보되었다(NIBR, 2006-2014). 그 외 영남지역 호수의 어류상 조사에서 곡강천(1개)과 형산강(1개)에서(Kim et al., 2011), 다변수모델 평가에서 형산강 지류 기계천(1개)에서 서식이 보고되었다(Kim and An, 2010, 그림 2B).

(3) 2017~2018년 정밀분포조사

동방종개가 서식하였거나 서식지가 양호하여 출현이 예상되는 22개 하천 97개 지점을 조사한 결과, 동방종개는 9개 하천 37개 지점에서 546개체를 채집하였다. 출현하천은 형산강(15개 지점), 영덕오십천(7개), 곡강천(4), 축산천(3개), 대중천(3개), 장사천(1개), 지경천(1개), 광천(1개), 냉천(1개)로 나타나 형산강과 영덕오십천, 곡강천, 축산천, 대중천에서 서식지역이 넓게 확인되었다. 출현개체 수는 지점별로 큰 차이를 보였는데, 축산천과 영덕오십천, 지경천, 광천, 고현천은 하천 하류부에서,



〈그림 2〉 1980년부터 2018까지 동방종개 *Iksokimia yongdokensis*의 분포변화. ME (1997-2006): 제2차 전국자연환경조사, ME (2007-2011): 제3차 전국자연환경조사, #NIER (2007-2015): Appearance site of river and stream ecosystem health assessment, #NIBR (2006-2014): 국립생물자원관의 동방종개 표본 정보.

곡강천과 대종천은 중상류부에서, 형산강은 상류부에서 비교적 많은 개체가 채집되었다(그림 2C). 1980~2006년 출현지점 35개를 조사한 결과, 13개 지점에서만 서식이 확인되어 감소율은 62.9%였으며, 2006~2015년 출현지점 36개를 조사한 결과, 22개 지점에서만 서식이 확인되어 감소율은 38.9%였다.

2) 서식양상 및 서식지 특징

하천별 서식 양상 및 감소 경향을 살펴보면, 형산강은 서식하천 중 가장 많은 출현지점수를 보이고 있는데, 주로 하천상류부인 형산강 상류부와 기계천, 복천, 칠평천, 왕신천에 서식하는 것으로 나타났다. 1980-2006년도에는 형산강 중·하류부터 상류까지 폭넓게 서식한 것으로 보고된 바 있어(Yang and Lim, 1980; ME, 1997-2006) 최근 형산강 중·하류부터 중상류까지는 급격히 개체수가 감소하였거나 소멸한 것으로 추정되었다. 영덕오십천은 형산강 다음으로 많은 출현지점수를 보인 하천으로, 중·하류 지역에 폭넓게 서식하고 있어 중·상류부를 제외하고 비교적 1980-2006년, 2007-2015년과 유사하였다. 과거 중·상류부(영덕오십천과 대서천)에도 폭넓게 서식하는 것으로 보고되었으나(Yang and Kang, 1988; ME, 1997-2006; 2007-2015; NIER, 2007-2015) 본 조사에서는 서식이 확인되지 않아 서식지가 감소하였다. 대종천은 동방종개의 남방한계 하천으로 상류부터 하류까지 폭넓게 서식하였으나(ME, 1997-2006; 2007-2015; NIER, 2007-2015), 본 조사에서는 상류에서만 서식이 확인되어 서식지가 감소하였다. 축산천은 상류부터 최하류까지 서식이 보고되었으나(ME, 2007-2015), 본 조사에서는 중류에서만 서식이 확인되었다.

3) 감소 요인

동방종개의 감소 요인은 크게 기후변화에 따른 가뭄과 홍수, 외래종 배스와 블루길의 도입, 하천 공사 등으로 확인하였다. 동방종개의 첫 번째 감소 요인은 기후변화에 따른 가뭄과 홍수로, 2018년 6~7월은 심각한 가뭄으로 인해 많은 하천이 건천화 되었는데(WEIS, 2019), 영덕오십천의 중·상류부터 중·하류부, 형산강의 기계천 중·하류부, 곡강천 중·하류부, 송천 중·하류부 등이 건천화 되어 물이 아예 없거나 작은 웅덩이에만 물이 소량 있었다. 이러한 건천화 지역은 하천별 서식지 감소 지역과 매우 유사한 경향을 보여 동방종개의 큰 위협요인으로 판단되었다. 또한 2017년 10월 6일의 집중호우(포항기준 1일 182.7 mm)로 인해(WEIS, 2019) 동방종개 서식지역의 하천 지형이 대폭 변화되어 서식에도 큰 변화가 야기되었는데, 물길이가 바뀌거나 소(pool)가 퇴적물로 메워져 알아지거나

여울로 바뀌기도 하였고 하상이 자갈과 모래에서 큰돌과 돌로 바뀌기도 하는 등 서식지에 큰 변화가 생겼다.

동방종개의 두 번째 감소요인은 육식성 외래어종의 확산으로 추정된다. 동방종개는 형산강 본류구간에 1980-2006년까지 폭넓게 서식하고 있었으나 2007-2015년에는 거의 서식하지 않는 것으로 나타나 급격한 감소를 보였다. 현재 형산강에 출현하는 외래어종은 배스 *Micropterus salmoides*와 블루길 *Lepomis macrochirus*, 향어 *Cyprinus carpio* (Israeli type), 떡붕어 *Carassius cuvieri* 4종이 서식하고 있으며(ME, 1997-2006; 2007-2011; NIER, 2007-2015; Yoo et al., 2009; NIE, 2017), 이중 생태계 교란야생생물은 배스와 블루길 2종이 포함된다. 우선 블루길은 형산강에서 1980년에 처음으로 출현기록이 있어(Yang and Lim 1980) 1970년대에 처음 유입된 것으로 추정되며, 이후 형산강 하류부(Yang and Chae, 1994)와 제2차 전국자연환경조사에서 형산강 지류 남천(2001년, 2개 지점)에서 채집되었다(ME, 1997-2006). 이후 2009년 경주시의 7개 저수지에서(Yoo et al., 2009), 2010년 형산강 본류 3개 지점(Kim and An, 2010)에서 서식이 확인되었고, 지속적으로 본류와 저수지를 중심으로 서식이 보고되고 있었다(NIER, 2007-2015; NIE, 2017). 블루길은 주로 동물성 플랑크톤, 수서곤충, 새우류, 일부 계절에 따라 어류의 알이나 치어를 섭식하는 것으로 알려져 있어(Kim and Park, 2007), 블루길의 유입 및 확산이 동방종개의 감소 원인이라는 근거를 찾기 힘들었다.

형산강에서 배스는 정확히 언제 어떠한 경로로 유입되었는지는 알 수 없으나 기록상 2008년 형산강 본류에서 하천수생태 건강성평가로 처음 서식이 확인되었고(NIER, 2007-2015), 2010년에는 형산강 상류부터 하류까지 폭넓게 서식하는 것이 보고되었으며(Kim and An, 2010), 2017년 외래생물 전국서식실태조사(NIE, 2017)와 본 조사에서도 형산강 상류부터 하류까지 폭넓게 서식하고 있는 것이 확인되었다. 배스는 이러한 기록을 근거로 형산강에 2000년대 초·중반에 유입되어 형산강 본류를 중심으로 급격히 확산된 것으로 추정되었다. 배스는 상대적으로 크기가 크고 포식성이 매우 강하며 우리나라에 천적이 거의 없기 때문에 강과 호소에서 급격히 확산되고 있으며 소형 고유종 및 자생종의 개체수와 서식지의 직접적인 감소 원인으로 보고되었다(Jang et al., 2006; Ko et al., 2008; Park et al., 2019), 형산강에서 동방종개가 급격히 감소한 시기(2007~2015)와 배스의 도입 및 확산시기가 거의 일치하는 것으로 나타났으며, 배스가 서식하는 형산강 본류구간에 동방종개가 더 이상 채집되지 않는 점으로 볼 때, 형산강 본류의 동방종개 서식지 감소는 배스의 도입 및 확산이 주 원인으로 추정되었다.

동방종개의 세 번째 감소 요인은 무분별한 하천공사이다. 조사기간 동안 4지점(St. 1, 2, 18, 26)에서 하천공사가 진행되고 있었는데, 하천공사는 철로공사로 인해 하천 일부가 변형되는 경우도 있었지만(St. 2), 하천정비공사 또는 수해복구공사로 인해 하상과 하천의 독을 동시에 훼손하고 있어(St. 1, 18, 26) 동방종개의 직접적인 분포와 서식지에 큰 영향을 미치고 있었다.

4) 멸종위협등급 평가

동방종개의 멸종위협 정도를 확인하기 위해 IUCN (2001)의 평가 기준 A와 B로 평가하였다. 평가 기준 A의 경우, 동방종개의 1세대가 3.5년으로 추정되어(Ko et al., 2016) 3세대는 10.5년으로 계산하였다. 이에 감소 경향은 본 조사 결과와 2007~2015년에 출현결과를 비교하였는데, 본 조사 97개 지점 중 2007~2015년에 출현한 지점은 36개였고 이중 22개 지점에서 서식이 확인되어 감소율은 38.9%로 나타났다. 동방종개의 감소 원인은 명확히 밝혀지거나 원인이 해소되지 않았고, 출현범위 및 점유면적이 점점 감소하고 있으며, 서식지의 질은 가뭄과 홍수, 하천공사 등으로 하락되고 있었다. 형산강의 경우 외래종 배스의 확산으로 인해 서식지 및 개체수 감소에 영향을 주었다. 이러한 근거로 멸종위협 등급은 멸종위기 범주인 취약(VU A2ace)으로 평가되었다. 평가기준 B에서는 2017~2018년 기준 출현범위가 약 1,662 km², 점유면적 148 km² (37지점×4 km²)이며, 단절된 지소 수는 13개이고 극심한 개체군 변동은 관찰되지 않아서 근접한 취약(Near meets VU B1b(i,ii,iii)+B2b(i,ii,iii))으로 평가되었다. 따라서 동방종개의 최종 멸종위협 등급은 멸종위협 등급이 높게 나타난 평가기준 A에 따라 멸종위기 범주에 해당하는 취약(VU A2ace)으로 평가되었다.

2. 서식지 특징 및 서식지 선호도

1) 서식지 특징

동방종개가 주로 서식하는 지역은 물이 맑은 하천 중·상류부터 중·하류의 평지형(Bb type) 또는 계곡-평지형(Aa-Bb type) 하천으로 하폭 10~150 m, 유폍 3~110 m, 수심 0.3~1.5 m이고 하상은 주로 돌과 자갈, 잔자갈, 모래 등으로 이루어진 소나 유속이 느린 여울부였다. 특히 바닥이 딱딱하지 않아 동방종개가 쉽게 파고 들어갈 수 있는 자갈과 잔자갈, 모래가 쌓여 있는 소에 많은 개체가 서식하고 있었다. 동방종개는 하천에 따라 서식범위에 차이를 보였는데, 형산강과 대종천과 같이 하폭과 유폍이 좁더라도 경사각이 작고 자갈과 잔자갈, 모래가 쌓여 있는 소가 있으면 서식하는 경우가 많았

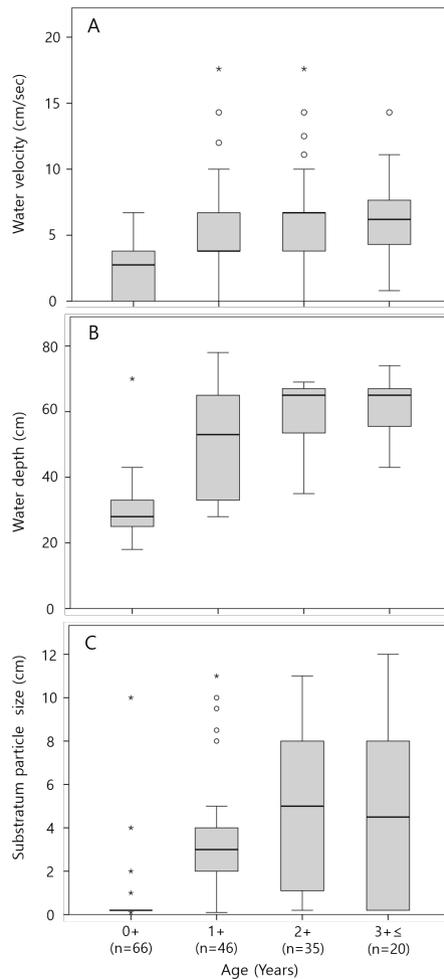
으나 영덕오십천과 같이 하폭과 유폍이 넓어도 경사각이 크고 하상이 큰돌과 돌, 암반으로 이루어진 곳에서는 거의 서식하지 않았다.

2) 연령별 서식지 선호도

연령별 서식지 선호도는 서식개체수가 많은 축산천에서 9~10월에 실시하였다. 개체별로 유속과 수심, 하상 기질 크기를 측정한 결과(그림 3), 당년생 치어(전장 25~50 mm, n=66)는 소 가장자리의 유속이 느리고(2.4 ± 2.09 cm/sec) 수심은 얇으며(29.2 ± 7.57 cm) 하상은 대부분 모래로 이루어진 곳(기질 크기 0.6 ± 1.44 cm)에 서식하였지만 1년생(전장 55~79 mm, n=46)과 2년생(전장 80~105 mm, n=35), 3년생 이상(전장 106~155 mm, n=20)은 대체로 유사하게 유속은 평균 5.5~6.1 cm/sec로 당년생보다 빨라졌고(One-way-ANOVA, $P < 0.001$), 수심은 평균 50~62 cm 깊어졌으며($P < 0.001$), 기질 크기는 평균 3.8~4.6 cm로 커져($P < 0.001$) 차이를 보였다. 1년생 이상의 연령군들 간에는, 유속과 하상은 모두 연령별 유의한 차이가 없었고(One-way-ANOVA, $sblim@kari.re.kr > 0.05$), 수심은 1년생과 2년생-3년생 이상에서 유의한 차이를 보였으나($P < 0.001$), 2년생과 3년생 이상은 유의한 차이가 없었다($P = 0.47$). 참종개속 어류 중 참종개와 부안종개, 왕종개, 남방종개는 주로 자갈과 돌 등에 주로 서식하여 동방종개와 유사하지만 북방종개는 모래지역에 주로 서식하여 차이를 보였다(Kim and Lee, 1984; Choi, 2003; Kim and Ko, 2005; Ko et al., 2009; Ko, 2015; Park, 2016).

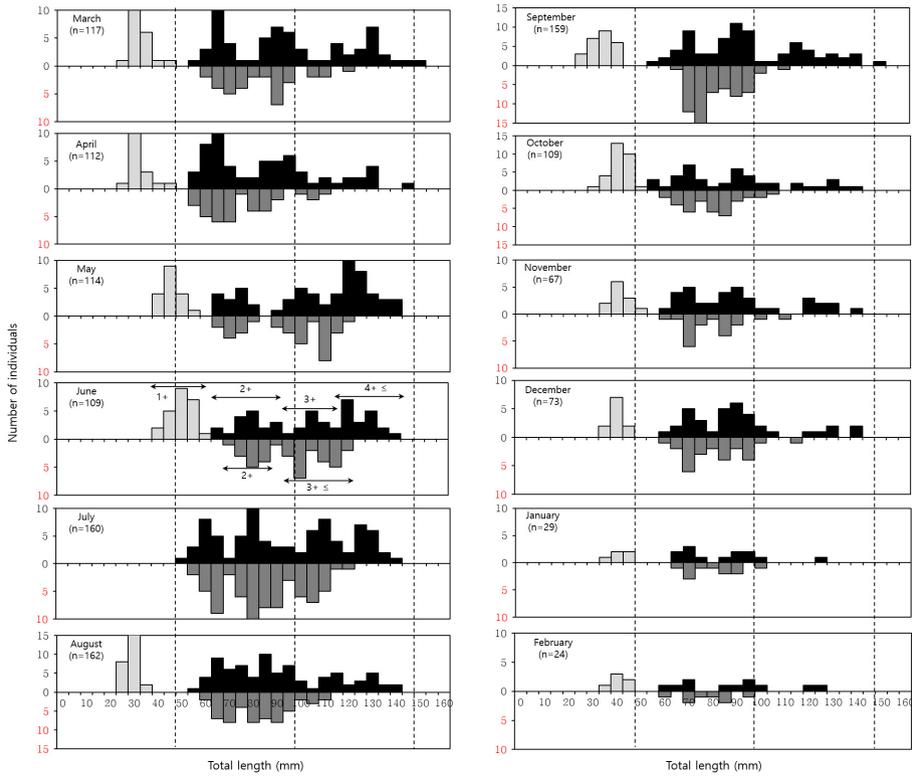
3. 성장 및 연령추정

매월 채집된 전장빈도 분포는 그림 4와 같이 나타났다. 2015년에 태어난 당년생 치어는 8월에 처음 채집되었으며 전장 15~35 mm였고, 이후 성장을 하여 9월 27~43 mm, 10월 34~48 mm였으며, 이후 월동기로 접어들면서 2월까지 35~50 mm로 거의 성장을 하지 않았다. 2012년에 태어난 치어는 3월에 전장 30~49 mm였으나 4월 이후 급격한 성장을 하여 5월 40~59 mm, 7월 50~74 mm, 9월 55~80 mm였으며 이후 월동기로 들어가면서 거의 성장이 멈추었고, 7월부터는 수컷 가슴지느러미 기조에 골질반이 생성되면서 암컷과 구별되었다. 2년생 이상의 연령군도 공통적으로 4월부터 9월까지의 비교적 빠른 성장을 보였으나 그 외의 계절은 느린 성장을 보이거나 성장하지 않았다. 산란이 시작되는 6월을 기준으로 연령을 추정하면, 암·수가 구별되지 않은 전장 40~64 mm는 만 1년생 치어였고, 만 2년생 이상은 암·수가 구별되었는데, 암컷은 65~94 mm가 만 2년생,



〈그림 3〉 2015년 9~10월 축산천 동방종개의 연령 별 유속과 수심, 하상구조 비교. 회색박스의 중앙의 선은 중앙값이고 박스는 50% 범위임. 속이 빈 원은 잠재적 특이치이고, 별은 극단적인 값임.

95~119 mm가 만 3년생, 120~145 mm가 만 4년생 이상으로, 수컷은 70~94 mm가 만 2년생, 95~125 mm가 만 3년생 이상으로 추정되었다. 암컷과 수컷은 만 1년생과 만 2년생에서 유사한 전장범위를 보였으나 3년생 이후부터는 암컷이 수컷보다 10~30 mm가 더 컸다. 이러한 성장 및 연령은 비교적 왕종개와 참종개, 부안종개, 북방종개, 기름종개, 점줄종개, 줄종개 등과 유사하였으나 전장빈도 분포를 이용한 연령수는 동방종개의 연령은 암컷이 4년생 이상, 수컷이 3년생 이상까지 추정되어 왕종개와 유사하나 참종개와 부안종개, 기름종개, 점줄종개, 줄종개, 새코미꾸리, 수수미꾸리보



〈그림 4〉 2015년 3월부터 2016년 2월까지 축산천 동방중개의 전장빈도 분포도. 회색은 치어, 검은색은 암컷, 짙은 회색은 수컷임.

다 많았고 왕중개와 북방중개보다는 적었다(표 1).

4. 산란기 및 특징

1) 성비

만 1년 동안 채집된 개체 중 치어는 191개체, 암컷은 617개체, 수컷 427개체로 성비(♂/♀)는 0.69로 나타났으며(표 2), 암·수간의 성비는 유의한 차이를 보였다($\chi^2=34.58, P<0.05$). 월별로는 3월과 4월, 5월, 8월, 11월이 유의한 차이를 보였으나($\chi^2>3.84, P<0.05$) 그 외의 달은 모두 유의한 차이를 보이지 않았다($\chi^2<3.84, P>0.05$).

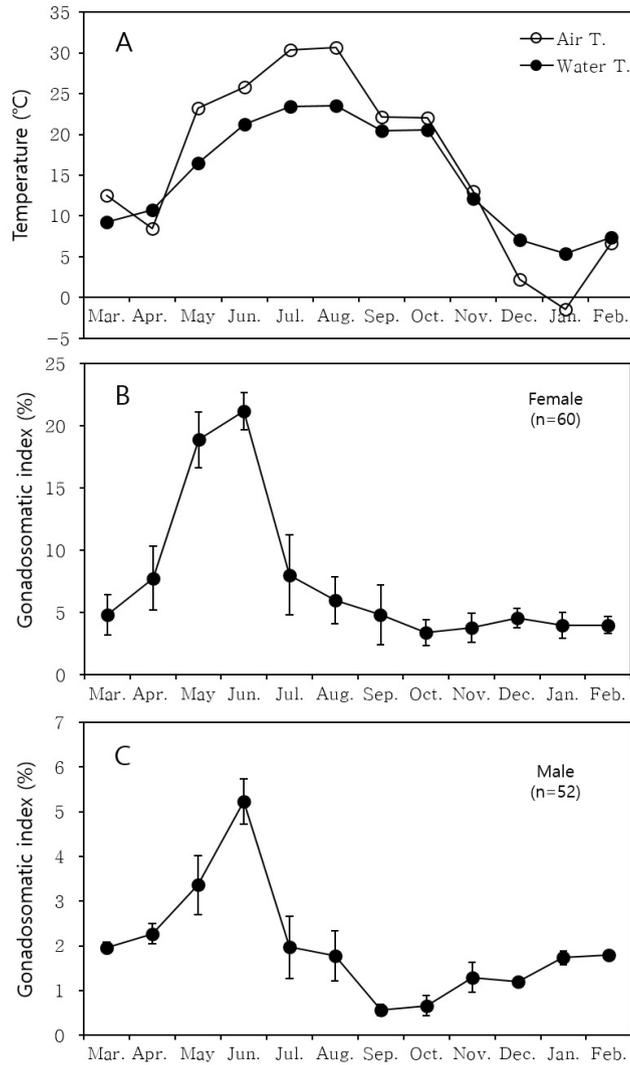
〈표 1〉 한국산 미꾸리과 어류의 산란기 전장빈도 분포도를 이용한 연령 비교

종명		연령								인용문헌
		암컷					수컷			
		1	2	3	4	5	1	2	3	
동방종개	(TL)	35-64	65-94	95-119	120-145		35-64	65-94	95-124	Ko et al., 2016
참종개	(TL)	30-49	50-64	65-105			30-49	50-90		Kim, 1978
부안종개	(TL)	30-44	45-59	60-80			30-44	50-60		Kim and Lee, 1984
왕종개	(TL)	55-79	80-99	100-114	115-134	140-160	55-79	85-104	105-134	Kim and Ko, 2005
북방종개	(TL)	30-49	50-74	75-99	100-124	130-160	30-49	50-74	75-110	Ko and Won, 2016
	(SL)	40-59	60-89	90-109	110-126		(without distinction of sex)			Choi and Byeon, 2009
기름종개	(TL)	45-59	60-89	90-124			50-60	70-99		Ko, 2009
점줄종개	(TL)	40-59	60-79	80-109			45-59	60-79		Ko and Park, 2011
줄종개	(TL)	45-59	70-94	95-125			45-60	70-94		Kim et al., 2006
미호종개	(TL)	26-43	52-69	70-83	84-103		26-43	52-69	70-85	Ko and Bang, 2018
새코미꾸리	(SL)	40-69	70-109	110-142			(without distinction of sex)			Byeon, 2007
수수미꾸리	(TL)	80-110	110-150				80-130			Chong, 1986

〈표 2〉 2015년 3월부터 2016년 2월까지 축산천 동방종개의 성비

월	치어	암컷	수컷	합계	성비 (♂/♀)	χ^2
3	19	64	34	117	0.53	9.18
4	16	61	35	112	0.57	7.04
5	18	63	33	114	0.52	9.38
6	24	48	37	109	0.77	1.42
7	-	87	73	160	0.84	1.23
8	26	80	56	162	0.70	4.24
9	25	75	59	159	0.79	1.91
10	29	44	36	109	0.82	0.80
11	12	36	19	67	0.53	5.25
12	11	36	26	73	0.72	1.61
1	5	13	11	29	0.85	0.17
2	6	10	8	24	0.80	0.22
합계	191	617	427	1,044	0.69	34.58

The critical value for χ^2 goodness-of-fit test of equal numbers of females and males (1 df) at 95% significance is 3.84.



〈그림 5〉 2015년 3월부터 2016년 2월까지 축산천의 온도 및 동방종개 생식소성속도(GSI) 변화

2) 산란기

산란기를 추정하기 위하여 매월 생식소성속도(GSI)를 분석하였다. 암컷은 3월에 $4.8 \pm 1.64\%$ 로 낮았으나 이후 수온이 상승하면서 4월 $7.8 \pm 2.56\%$, 5월 $18.9 \pm 2.24\%$ 로 급격히 높아졌으며 6월은 $21.2 \pm 1.51\%$ 로 정점을 보였다. 이후 7월에는 $8.0 \pm 3.22\%$ 로 급격히 낮아졌으며 8월은 $6.0 \pm 1.86\%$ 였고 이후 이듬해 2월까지 $3.4 \sim 4.0\%$ 로 낮게 유지되었다(그림 3B). 수컷은 3월에 $2.0 \pm 0.12\%$ 로 낮

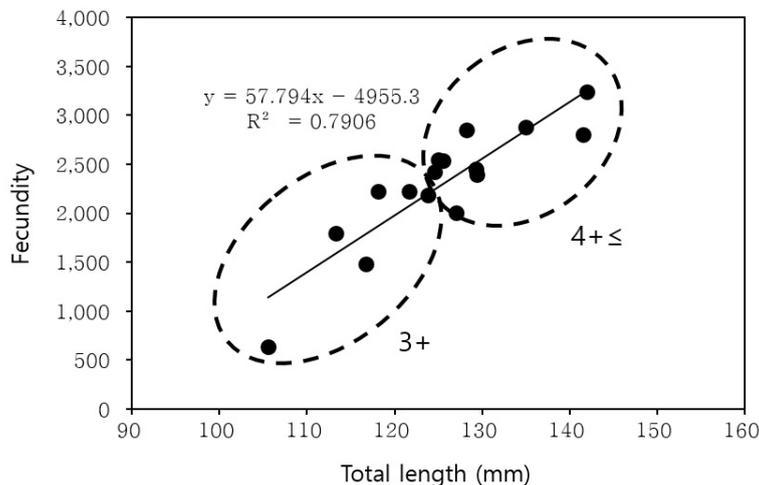
았으나 이후 4월 $2.3 \pm 0.23\%$, 5월 $3.4 \pm 0.66\%$ 로 급격히 높아졌으며 6월은 $5.2 \pm 0.51\%$ 로 정점을 보였다. 이후 7월은 $2.0 \pm 0.70\%$ 로 급격히 낮아졌으며 8월부터 이듬해 2월까지 2.0% 이하로 높게 유지되었다(그림 3C). 산란기는 6월에 채집된 암·수의 생식소성숙도가 모두 높고 암컷들은 모두 산란을 하지 않은 점과 7월에 채집된 암·수는 모두 생식소성숙도가 급격히 낮아지고 8월에 전장 15~35 mm의 당년생 치어가 채집된 점으로 볼 때 6월부터 7월로 추정되었고, 산란성기는 6월말부터 7월 초로 추정되었다(그림 3A). 이때의 수온은 20~25°C였으며, 산란에 참여하는 개체는 만 3년생 이상의 개체로 암컷은 전장 100 mm 이상, 수컷은 90 mm 이상의 개체들이었다(그림 5).

3) 포란수와 성숙란 크기

포란수는 만 3년생(n=5) $1,672 \pm 655$ 개, 만 4년생 이상(n=11) $2,574 \pm 349$ 개로 나타났으며, 전체(n=16)는 $2,292 \pm 618$ 개였다(그림 6). 6월에 채집된 성숙란의 크기는 전장과 생식소성숙도, 포란수와 상관없이 1.46 ± 0.02 (1.43~1.49) mm로 대부분 균일하였다.

4) 근연종과의 비교

동방종개의 성비(♂/♀)는 0.69로 나타나 부안종개 1.01보다는 낮았으나 다른 미꾸리과 어류와는 비교적 유사하였다(표 3). 미꾸리과 어류의 이차 성징은 골질반 외에 기름종개속 어류에서는 산란기



〈그림 6〉 2015년 5~6월의 축산천에서 채집된 동방종개의 포란수

〈표 3〉 우리나라 미꾸리과 어류의 산란기 특징 비교

종명	성비(♂/♀)	산란기(수온, °C)	성숙란 크기(mm)	포란수	인용문헌
동방종개	0.69	June-July (20-25)	1.45±0.03	2,292±618	Ko et al., 2016
참종개	0.74	June-July (20-26)	1.10±0.08	1,138±431	Kim, 1978; Ko et al., 2012
부안종개	1.01	May-July (20)	1.35±0.08	328±203	Kim and Lee, 1984; Ko et al., 2013
왕종개	0.65	June (20-24)	1.32±0.12	2,402±944	Kim and Ko, 2005
남방종개	0.59	June-July (21-23)	1.30±0.07	1,933±530	Choi, 2003; Park, 2016
북방종개 북방종개	0.63	July (20-25)	1.11±0.04	2,503±1,337	Ko and Won, 2016
	0.93	July (25-27)	0.76±0.01	809±295	Choi and Byeon, 2009
기름종개	1.55	July(22~27)	0.98±0.05	2,783±1,543	Ko, 2009
점줄종개	0.65	July (24-26)	1.09±0.02	1,127±453	Ko and Park, 2011
줄종개	0.58	June-July (22-26)	0.98±0.10	1,288±583	Kim et al., 2006
새코미꾸리	0.78	May-June (20-23)	1.18±0.09	1,365±720	Byeon, 2007
얼룩새코미꾸리	0.92	May-June (17-20)	0.87±0.05	2,2643±4,629	Hong et al., 2011
좁수수치	0.49	June-July (19-29)	1.45±0.16	69±35.3	Kim, 2008; Ko and Bang., 2014
수수미꾸리	0.73	April-May (13-21)	1.78±0.06	820±207	Chong, 1986
미꾸리	-	May-June	1.1	16,430-40,000	Uchida, 1939
미꾸라지	-	April-June	1.12	8,500-1,3500	Kim et al., 1987; 1992

에 반문 변화가 일어나는 것으로 보고되었는데(Kim and Jeong, 1988; Kim et al., 2006; Ko and Park, 2011; Ko, 2009), 동방종개에서는 이러한 반문변화는 관찰되지 않았다. 산란기는 6월에서 7월(수온 20~25°C)로 추정되어 춘하 산란형에 속하였으며(Shimzu and Hanyu, 1982; Kaneko et al., 1986), 비교적 참종개와 부안종개, 왕종개, 남방종개, 줄종개, 좁수수치와 유사하였으나 북방종개와 기름종개, 점줄종개보다는 빠르고 새코미꾸리, 얼룩새코미꾸리, 수수미꾸리, 미꾸리, 미꾸라지 보다는 느린 편이었다. 성숙란의 크기는 1.45±0.03 mm로 미꾸리과 어류 중에서 비교적 좁수수치와 유사하고 수수미꾸리 다음으로 큰 편에 속하였으며, 포란수는 2,292±618개로 미꾸리과 어류 중에서 중상위권에 속하였으며 비교적 왕종개와 북방종개, 남방종개, 기름종개, 수수미꾸리와 유사하였다.

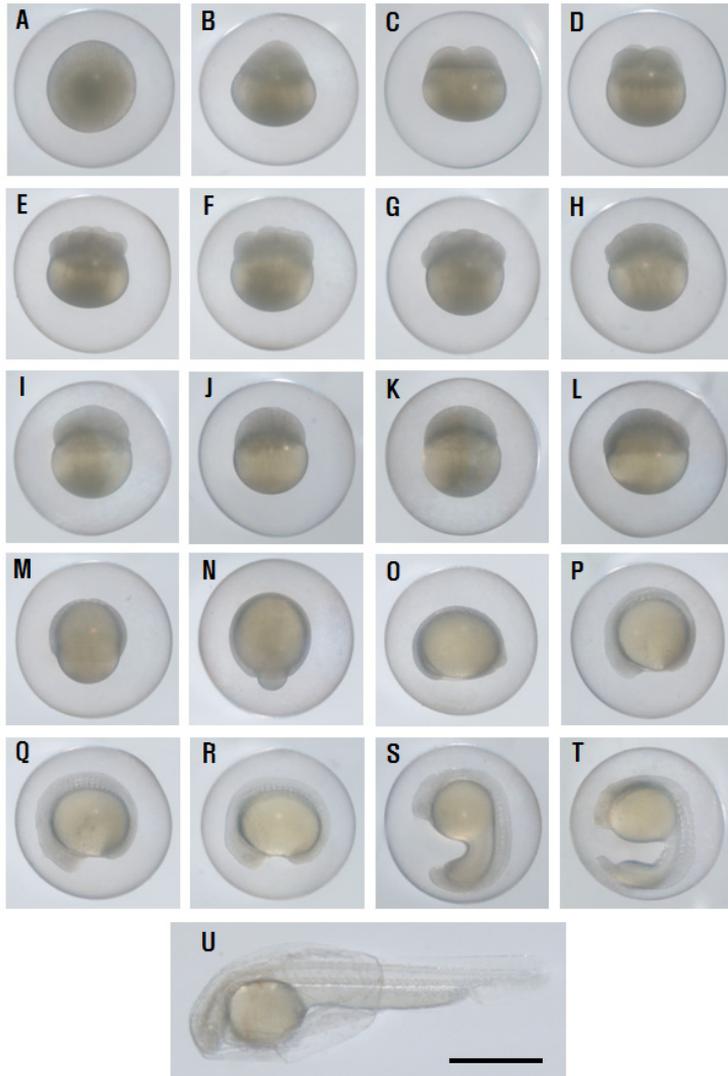
5. 난발생 및 초기생활사

1) 성숙개체 크기 및 성숙란의 특징

2015년 6월 15일에 채집된 동방종개의 수컷(n=5)은 전장 100-115 mm로 모두 정액을 가지고 있었고, 암컷(n=5)은 전장 125~142 mm로 모두 산란을 하지 않았다. Ovaprim을 주사한 후 12시간 후에 모두 배란되었으며 난질은 모두 양호하였다. 산란된 성숙란은 밝은 노란색의 분리침성란으로, 산란수(n=5)는 $2,668 \pm 399$ (2,220~3,240)개였고, 난경(n=30)은 1.54 ± 0.08 (1.45~1.63) mm였다.

2) 난발생 과정(Egg development)

동방종개의 수정란(fertilized egg)은 수정 15분 후에 물을 흡수하여 직경 2.7 ± 0.06 mm (n=30)로 팽창하였다(그림 7A). 수정 후 1시간 후에 세포질이 동물극(animal pole)쪽으로 끌려 배반(blastodisc, 1세포기)이 형성되었으며(그림 7B), 2세포기는 1시간 20분 후에 배반에 난할(cleavage)이 일어나 형성되었다(그림 7C). 4세포기는 1시간 40분 후에 경할(meridional cleavage)을 통하여 형성되었고(그림 7D), 8세포기는 2시간 후에 난할을 통하여(그림 7E), 16세포기는 2시간 20분 후에 경할을 통하여 형성되었다(그림 7F). 32세포기는 2시간 40분 후에(그림 7G), 64세포기는 3시간 후에 형성되었으며(그림 7H), 128세포기는 3시간 20분, 상실기(morula)인 256세포기는 3시간 40분 후에 형성되었고(그림 7I), 이후 난할을 계속하여 4시간 40분 후에는 포배기(blastula)가 형성되었다(그림 7J). 8시간 후에 낭배기(gastrula)가 형성되어 식물극(vegetal pole)쪽으로 덮기 시작하였으며(그림 7K), 이후 10시간 30분 후에 낭배 중기에(70-75%), 12시간 30분 후에는 90-95%를 덮어 낭배 말기에 도달하였다(그림 7L). 14시간 30분 후에는 원구(blastopore)가 폐쇄되어 배(embryo)가 형성되었으며(그림 7M), 17시간 20분 후에는 근절(myotomes)이 3~4개가 생기고 안포(optic vesicle)가 형성되었다(그림 7N). 20시간 10분 후에는 근절이 9-10개가 형성되었으며(그림 7O), 22시간 30분 후에는 근절이 17-18개이고 이포(auditory vesicle)와 Kupper's vesicle이 형성되었다(그림 7P). 이후 25시간 후에는 근절이 28-30개로 눈의 렌즈가 형성되고 뇌가 분화하였으며 Kupper's vesicle이 사라지고 움직이기 시작하였다(그림 7Q). 34시간 후에는 심장이 형성되어 뛰기 시작하였다(그림 7R). 50시간 후부터 꼬리를 이용하여 난막(chorion)을 뚫고 부화하였고, 65시간 후에 50%가, 75시간 이내에 모두 부화하였다(그림 7S).



〈그림 7〉 수온 25°C에서 동방종개미의 난발달 및 부화. 검은선은 1 mm임.

A: 수정 후 15분, 물 흡수된 수정란; B: 1시간, 배반; C: 1시간 20분, 2세포기; D: 1시간 40분, 4세포기; E: 2시간, 8세포기; F: 2시간 20분, 16세포기; G: 2시간 40분, 32세포기; H: 3시간, 64세포기; I: 3시간 20분, 128세포기; J: 3시간 40분, 상실기(256세포기); K: 4시간 40분, 포배기; L: 8시간, 낭배초기(50% epiboly); M: 10시간 30분, 낭배중기(70-75% epiboly); N: 12시간, 낭배말기(90-95% epiboly); O: 14시간 30분, 배형성; P: 17시간 20분, 3-4근절, 안포형성; Q: 20시간 10분, 9-10근절; R: 22시간 30분, 17-18근절, 이포 및 쿠퍼스씨관 형성; S: 25시간, 28-30근절, 쿠퍼스씨관 없어짐, 눈 렌즈 형성, 뇌분화, 움직임 관찰; T: 34시간, 심장형성; U: 50시간 부화시작, 65시간 50% 부화, 75시간 부화완료.

3) 자어와 치어의 발달

(1) 전기자어기(Pre-larvae stage)

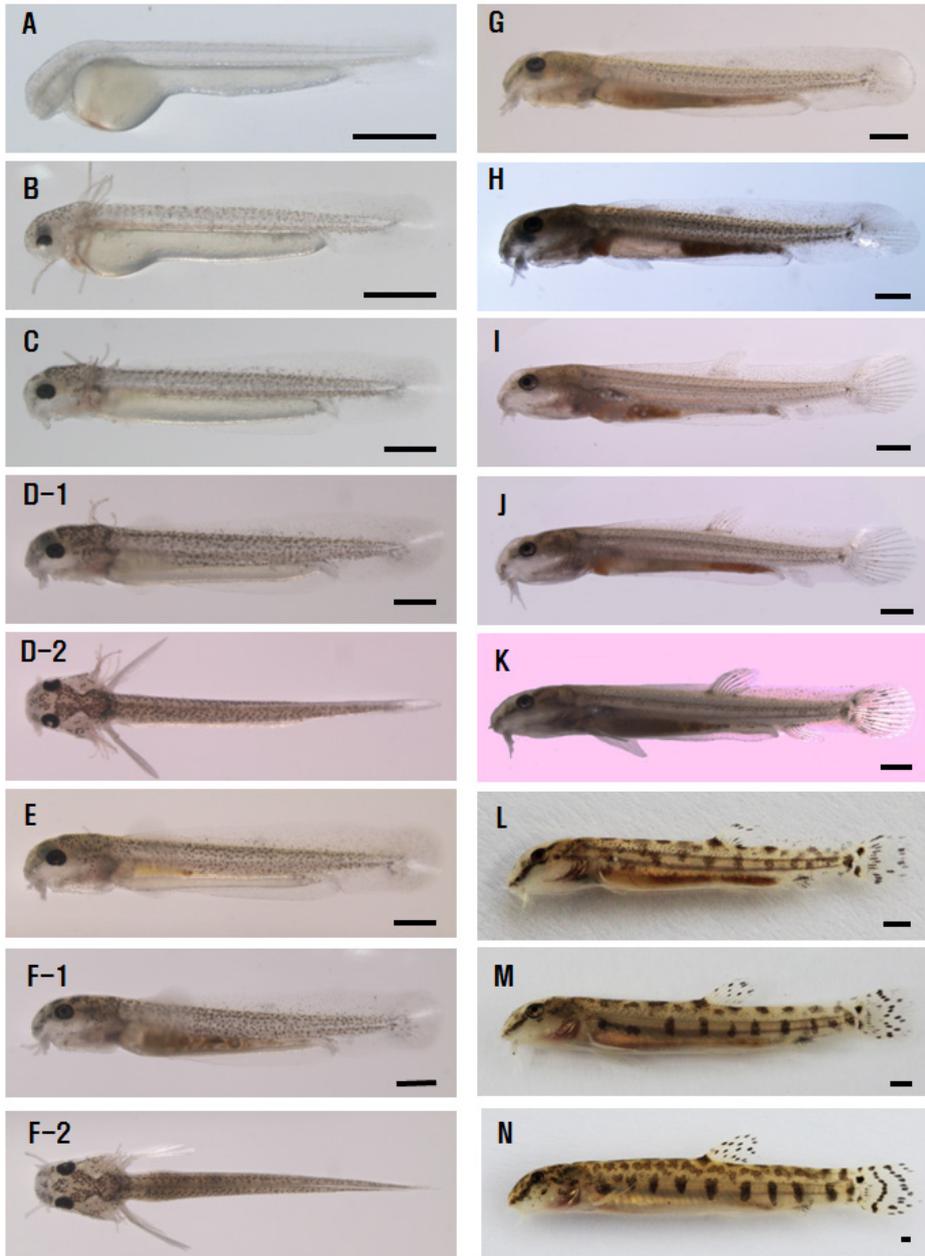
부화(hatching) 직후의 자어는 전장 5.8 ± 0.15 (5.5~6.0) mm (n=10)로 몸은 무색으로 입과 항문(anus)은 열리지 않았고 몸 앞쪽에 구형의 난황(yolk)이 있고 몸의 뒤쪽에 막지느러미(embryo fin)가 형성되기 시작하였다(그림 8A). 1일 후에는 6.7 ± 0.12 mm (n=10)로 눈은 검게 착색되었고 몸에 흑색포(black dot)가 침적되기 시작하였다. 앞쪽의 난황이 1/2이상 흡수되었고 외새(external gill)는 5쌍이 나타났다(그림 8B). 2일 후에는 7.3 ± 0.16 mm (n=10)로 난황이 흡수되어 1자로 평평해졌고 입수염 1쌍이 관찰되었다(그림 8C). 3일 후에는 7.9 ± 0.36 mm (n=10)로 외새가 짧아지기 시작하였고 수염이 안경만큼 길어졌으며 가슴지느러미는 두장보다 길어졌다(그림 8D). 4일 후에는 8.3 ± 0.26 mm (n=10)로 난황이 대부분 흡수되었고 수염이 3쌍 관찰되었으며 입과 항문이 열리면서 처음으로 먹이(알테미아 부화 유생)를 섭식하였다(그림 8E).

(2) 후기자어기(Post-larvae stage)

부화 후 5일째에는 전장 8.5 ± 0.15 mm (n=10)로 난황이 모두 흡수되어 후기자어기로 이행하였다. 외새는 짧아져 아가미 속으로 모두 들어갔고 뒷지느러미 기조가 3-4개가 나타나고 등지느러미와 뒷지느러미 원기가 관찰되었다(그림 8F). 7일 후에는 8.9 ± 0.32 mm (n=10)로 꼬리지느러미 기조는 7~8개가 관찰되었으며 수염이 길게 신장되었다(그림 8G). 13일 후에는 9.8 ± 0.24 mm (n=10)로 꼬리지느러미 기조는 10~12개가 관찰되었다(그림 8H). 부화 후 20일째에는 전장 10.3 ± 0.4 mm (n=10)로 등지느러미 기조가 4-5개가 관찰되고 꼬리지느러미 기조 14-15개가 관찰되었다(그림 8I).

(3) 치어기(Juvenile stage)

부화 후 23일째에는 전장 10.9 ± 0.45 mm (n=10)로 등지느러미 기조 7~8개, 뒷지느러미 기조 5~7개가 되면서 치어기로 이행하였다(그림 8J). 30일 후 12.6 ± 1.32 mm (n=10)로 체측중앙에 흑소포들이 모여 반문이 나타나기 시작하였고 꼬리지느러미에 1-2줄의 반문이 형성되기 시작하였다(그림 8K). 50일 후 17.3 ± 1.34 mm로 막지느러미는 축소되어 등지느러미 뒤쪽에만 나타나고 등쪽(10-12개)과 체측중앙(9-11개)의 반문은 진해져 뚜렷해졌으며, 등지느러미 1-2줄, 뒷지느러미 1줄,



〈그림 8〉 동방종개의 자어기 및 치어기 발달. 검은선은 1 mm임.

A: 0일, 전기자어기, 전장 5.8 ± 0.18 mm (mean \pm SD); B: 1일, 6.7 ± 0.12 mm; C: 2일, 7.3 ± 0.16 mm; D: 3일, 7.9 ± 0.36 mm; E: 4일, 8.3 ± 0.26 mm; F: 5일, 후기자어기, 8.5 ± 0.15 mm; G: 7일, 8.9 ± 0.32 mm; H: 13일, 9.8 ± 0.24 mm; I: 21일, 치어기, 10.3 ± 0.43 mm; J: 23일, 10.9 ± 0.45 mm; K: 30일, 12.6 ± 1.32 mm; L: 50일, 17.3 ± 1.34 mm; M: 70일, 20.9 ± 1.94 mm; N: 100일, 32.1 ± 4.11 mm.

꼬리지느러미에 2-3줄의 무늬가 나타났다(그림 8L). 70일 후 20.9 ± 1.94 mm ($n=10$)로 체측중앙부에 있는 반문은 보다 선명해졌다(그림 8M). 100일 후에는 32.1 ± 4.11 mm ($n=10$)로 체측중앙의 반문은 8~12개로 횡으로 길어졌으며, 등지느러미 3줄, 뒷지느러미 1줄, 꼬리지느러미 3-4줄의 무늬가 나타나고 배쪽은 은백색을 띠어 전체적인 외형이 비교적 성어와 유사하였다(그림 8N).

4) 근연종과의 비교

동방종개가 포함된 대부분의 참종개속과 기름종개속 어류는 포란수가 1,000~3,000개로 미꾸리속보다는 적었으나 *Niwaella delicata*, *C. takatsuensis*, 줍수수치, 수수미꾸리보다는 많았다. 기름종개속은 난경이 1.0~1.3 mm로 중·소 크기이며 대부분 모래에 서식하고 있었으나 참종개속 어류는 난경이 1.27~1.54 mm로 중·대이며 대부분 자갈과 돌이 쌓인 곳에 서식하여 차이를 보였다(표 4). 특히 동방종개의 난경은 1.54 ± 0.08 mm로 *Iksookimia*속내에서도 가장 큰 크기였다. 일반적으로 배수체 또는 2n 이상의 난을 형성하는 경우 1n의 난경보다 큰 것으로 알려졌으며 부화시간도 보다 오래 걸리는 것으로 보고되고 있다(Ko, 2009). 동방종개는 4배체(Kim et al., 1999)로 보고되어 난도 2n 이상으로 형성하기 때문에 같은 속 어류보다 난경이 크며 부화시간도 5-10시간 더 긴 원인으로 추정된다.

부화 직후 자어 크기는 성숙란의 크기와 연관성을 보였는데, 난경이 컸던 *Niwaella delicata*, *C. takatsuensis*, 줍수수치, 수수미꾸리는 부화지어 크기가 5.4-7.5 mm로 컸으나, 난경이 중·상이었던 대부분의 참종개속 어류는 4.7-5.8 mm (예외 북방종개 2.9 ± 0.05 mm), 난경이 중·하이었던 기름종개속 어류는 4.2-4.6 mm (예외 미호종개 3.6 mm), 난경이 작았던 미꾸리, 미꾸라지, 얼룩새코미꾸리는 2.7-4.0 mm로 작은 크기였다. 동방종개의 부화직후 자어 크기는 5.8 ± 0.15 mm로 참종개속 어류 중에서 난경과 마찬가지로 가장 큰 크기였다. 지금까지 초기생활사가 보고된 미꾸리과 어류 중 *Niwaella delicata* (Suzuki, 1966)만 제외하고 전기자어기에 외새(external gill)가 나타나는 특징을 보였다. 동방종개도 외새가 부화 후 1일부터 5일까지 관찰되어 같은 속의 왕종개와 참종개, 부안종개, 남방종개 및 기름종개속의 기름종개, 줄종개, 점줄종개와 유사하였다.

동방종개의 후기자어 이행 시기는 5일로 참종개속 및 기름종개속 어류와 대체로 유사하였으나 *Misgurnus*속의 4일보다는 느렸고, 얼룩새코미꾸리와 줍수수치, *Niwaella* (Honjo and Taguchi, 1974)보다는 빠른 편이었다. 또한 치어 이행시기는 23일로 왕종개와 북방종개, 기름종개, 미꾸라지와 대체로 유사하였다.

〈표 4〉 우리나라와 일본의 미꾸리과 어류의 초기생활사 비교

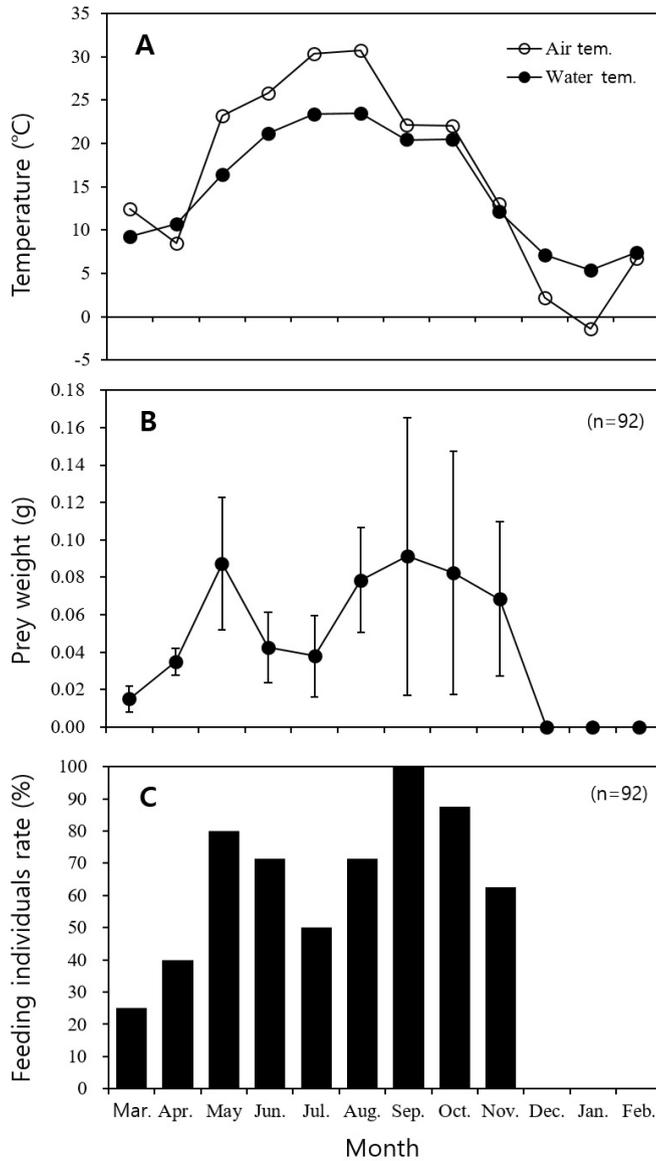
종명	산란기	성숙란크기 (mm)	포란수	부화시간 (수온)	부화자어 크기(mm)	외세	후기자어 이행시기	치이기 이행시기	인용문헌
동방종개	June-July	1.54±0.08	2,668±399 (2,220-3,240)	65 (50-75) h (25℃)	5.8±0.15	유	5	23	Present study
참종개	June-July	1.40±0.07	2,020±518 (1,339-2,635)	50 (45-60) h (23℃)	4.7±0.21	유	5	17	Kim, 1978; Ko et al., 2012
부안종개	June-July	1.27±0.02	1,017±334 (352-1,440)	52 (47-55) h (23℃)	4.7±0.14	유	5	17	Ko et al., 2013
왕종개	June	1.45±0.07	1,992±925 (717-3,862)	50-72 h (23-25℃)	5.1±0.23	유	5	25	Ko et al., 2009
남방종개	June-July	1.35±0.03	1,933±530 (1,350-2,680)	56 (48-60) h (25℃)	5.6±0.18	유	5	15	Ko and Bang, 2016; Park, 2016
북방종개	July	1.09±0.04	2,968±502	48 h (21-24℃)	2.9±0.05	유	7	26	Lee et al., 2011
기름종개	July	1.29±0.07	2,783±1,543 (812-6,474)	45-52 h (23-25℃)	4.5±0.24	유	5	25	Ko, 2009; Ko and Park, 2012
줄종개	July	1.04±0.03	2,646±916 (1,494-4,096)	56 (45-65) h (25℃)	4.6±0.11	유	5	25	Kim et al., 2006; Ko and Won, 2015
점줄종개	July	0.99±0.03	1,527±410 (1,121-2,055)	52 (41-57) h (25℃)	4.2±0.22	유	5	15	Ko and Park, 2011; Ko and Bang, 2013
미호종개	June-July	1.0±0.08	2,444±838 (923-4,202)	24 h (23-25℃)	3.6	유	4	35	Song et al., 2008; ME, 2011
<i>C. takatsuensis</i>	June-August	1.5	150-300	4-6 d (18℃)	5.7	유	<16	38	Sakai et al. 1989; Shimizu et al., 1998
<i>C. biwae</i>	May-June	1.1-1.2	668±176 (423-980)	2-3 d (23-26℃)	4.6	유	5-6	-	Okada and Seishi, 1937; Okada, 1959
미꾸리	May-June	1.1	16,300-40,000	48-72 h (20℃)	4.0	유	4	-	Uchida, 1939; Suzuki, 1976
미꾸라지	April-June	1.12	8,500-13,500	24 h (25℃)	2.7	유	4	24	Kim et al., 1987; 1992
얼룩새코미꾸리	May-June	1.0±0.05	22,643±4,629 (15,909-30,323)	38 h (20℃)	2.7	유	7	50	Song et al., 2009; Hong et al., 2011
좁수수치	July	1.46±0.07	60±35 (18-160)	66 (60-72) h (25℃)	5.5±0.07	유	6	17	Ko and Bang, 2014
수수미구리	May	1.8	861 (798-901)	6 d (10-14℃)	5.4	유	16	85	Chang, 1986; Kim and Lee, 1995
<i>Niwaella delicata</i>	April-May	2.7	60-120	17 d (9℃)	7.5	무	<90	-	Suzuki, 1966; Honjo and Taguchi, 1974; Kano, 2000

미꾸리과 어류 중 참종개속과 기름종개속은 체측 중앙에 규칙적인 반문이 나타나는데, 참종속과 줌수수치속은 횡반으로 긴 무늬가 나타나고 기름종개속은 종반 또는 둥근모양의 무늬가 나열되며 대부분 Gambetta's zone이 형성되는 것으로 보고되었다(Linnaeus, 1758; Kawanabe et al., 1989; Kim, 2009). 동방종개를 비롯한 참종개속 어류는 20~40일 사이에 체측 중앙에 둥근 반문이 형성된 이후 체측 상부의 반문이 형성되었으며 70일 이후부터 중앙 반문은 횡으로 점점 길어지는 특징을 보였다. 한편 한국의 기름종개속 어류는 14~17일 사이에 체측중앙에 흑소포들이 모여 Gambetta's zone 4가 먼저 형성되고 이후 Gambetta's zone 1, 2, 3순으로 형성되는데, 줄종개는 Gambetta's zone 4는 둥근 반문이 80일 이후부터 길게 신장되면서 줄로 바뀌어 원형 또는 타원형으로 있는 기름종개와 점줄종개와 차이를 보이는 것으로 보고된 바 있다. 따라서 참종개속과 기름종개속은 공통적으로 체측 중앙의 반문이 둥근 무늬로 처음 생성되어 유사하였지만 이후 성장하면서 반문의 형태가 참종개속은 횡으로 길어지지만 기름종개속은 종으로 길어지거나 줄로 이어져 차이를 보였다.

6. 활동주기 및 섭식생태

1) 연 활동주기

연 활동주기를 알아보기 위하여 1년간 월별 기온과 수온, 섭식량, 섭식개체율을 조사하였다(그림 9). 3월은 수온 9.3℃로 섭식량은 0.02 ± 0.01 g, 섭식개체율은 25.0%로 낮았으나 이후 수온이 상승하면서 점점 증가하였는데, 4월은 섭식량 0.04 ± 0.01 g, 섭식개체율은 40.0%였고 5월은 섭식량 0.09 ± 0.04 g, 섭식개체율은 80.0%로 첫 번째 정점을 보였다. 이후 6월과 7월의 섭식량은 거의 동일하게 0.04 ± 0.02 g으로 나타났고, 섭식개체율은 각각 71.4%, 50.0%로 점점 감소하는 경향을 보였다. 하지만 8월부터 다시 증가하는 경향을 보여 8월의 섭식량은 0.08 ± 0.03 g, 섭식개체율은 71.4%, 9월의 섭식량은 0.09 ± 0.07 g, 섭식개체율은 100%로 두 번째 정점을 보였고, 10월도 섭식량 0.08 ± 0.06 g, 섭식개체율 87.5%로 비교적 높게 나타났다. 이후 11월은 감소하여 섭식량은 0.07 ± 0.04 g, 섭식개체율 62.5%를 보였으며, 12월부터 2월까지의 수온이 10℃ 이하로 내려가면서 모든 개체가 섭식을 하지 않았다. 따라서 동방종개의 연 활동기는 수온이 약 10℃ 이상 되는 3월부터 11월까지로, 월동기는 12월부터 2월까지로 나타났다.



〈그림 9〉 2015년 3월부터 2016년 2월까지 축산천의 월별 온도(A), 먹이무게 (B), 섭식개체율(C) 변화

2) 일 활동주기

일 활동주기를 밝히기 위해 시간대별 섭식량과 수중관찰, 일각망을 통한 활동개체수를 조사하였다(그림 10). 조사 시 기온은 24.2~30.3℃, 수온은 22.2~25.2℃ 범위였으며, 날씨는 맑았다. 일출

(05:50) 후 06시에는 섭식량이 0.02 ± 0.01 g으로 최저치를 보였으며, 활동개체수는 수중관찰에서는 37개체가 관찰되고, 일각망에서는 12개체가 채집되었다. 이후 09시부터 15시까지는 섭식량과 활동개체수가 높게 나타났는데, 섭식량은 15시에 0.08 ± 0.06 g이었고, 수중관찰에서는 12시에 71개체가 확인되었으며, 일각망에서도 12시에 13개체로 채집되어 최대 개체수를 보였다. 이후 일몰(18:50)이 가까운 18시에는 섭식량이 0.05 ± 0.03 g으로 다소 감소하였고, 활동개체수는 수중관찰에서 53개체로 감소하였고, 일각망에서는 1개체만이 채집되었다. 야간인 21~03시까지는 섭식량이 $0.02 \sim 0.03$ g으로 낮았고, 수중관찰 조사에서 0~3개체가 확인되었으며, 일각망에서는 0~1개체가 채집되어 대부분의 개체들은 활동을 하지 않고 모래와 자갈, 돌무더기 밑에 은신하였다. 따라서 동방종개는 섭식량 및 활동개체수 변화로 볼 때 낮에 바닥 속에서 나와 활동과 섭식을 하고 야간에서는 모래와 자갈, 돌무더기 속에서 은신하는 주행성 어류로 나타났다.

본 조사에서 확인된 동소출현종은 수중관찰에서 7과 16종, 일각망에는 8과 13종으로 모두 9과 18종이 확인되었다. 공통적으로 우점종은 점몰개 *Squalidus multimaculatus*였고, 아우점종은 수중관찰에서 피라미 *Zacco platypus*, 일각망에서 버들치 *Rhynchocypris oxycephalus*였으며, 그 다음은 동방종개, 밀어 *Rhinogobius brunneus*, 참붕어 *Pseudorasbora parva* 순으로 우세하였다. 출현종 중 낮 시간대에 많이 관찰되고 활동성이 높았던 어류는 점몰개와 피라미, 송사리 *Oryzias latipes*, 참갈겨니 *Z. koreanus*, 버들치, 밀어 등이었으며, 주로 밤 시간대에 관찰되고 활동성이 높았던 어류는 꼬치동자개 *Pseudobagrus brevicorpus*, 동사리 *Odontobutis platycephala*, 꼭저구 *Gymnogobius urotaeni*, 동자개 *P. fulvidraco* 등이었다(표 5).

3) 섭식활동 및 소화관 내용물

(1) 섭식활동

동방종개는 일출 후 08시부터 17시까지 왕성한 섭식행동을 보였다. 섭식은 주로 모래 표층과 돌 위, 돌틈 등에서 이루어졌으며, 앞으로 전진하면서 지속적으로 유기물 층을 입으로 빨아들인 후 먹이를 걸러 먹는 여과섭식을 하였다.

(2) 소화관 내용물

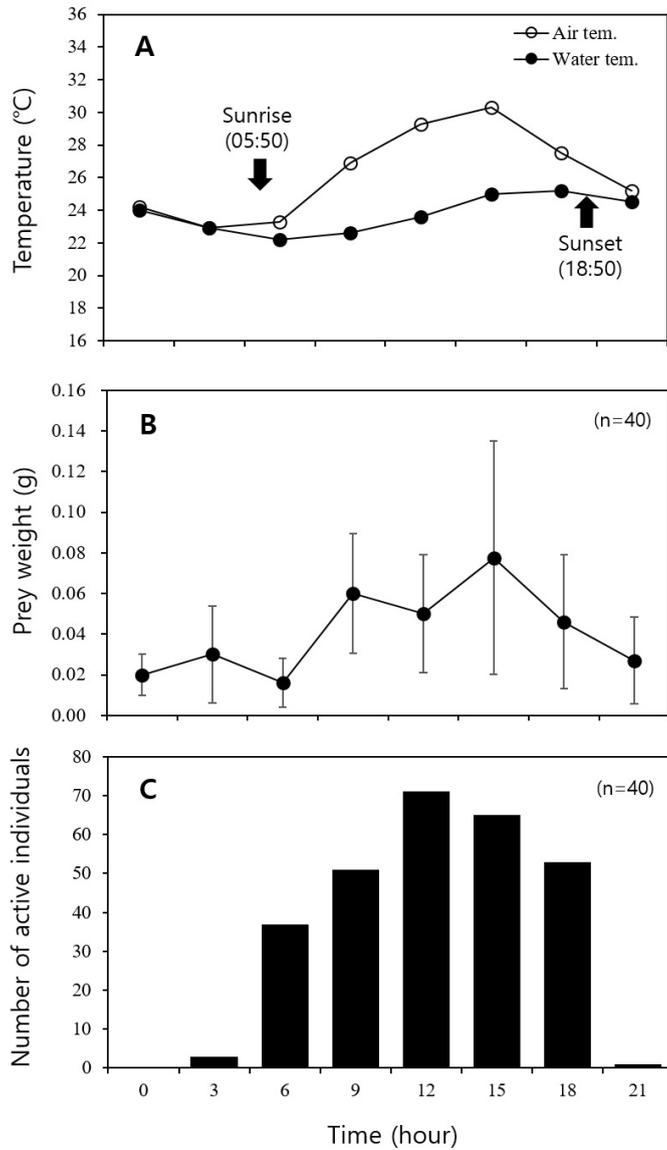
동방종개의 식성을 알아보기 위하여 연령별로 소화관 내용물을 조사한 결과는 표 6과 같았다. 먹

〈표 5〉 2016년 8월 22~23일 곡강천에서 수중관찰과 일각망에서 채집된 어류 종과 개체수

학명	수중관찰(시간)									일각망(시간)								
	0	3	6	9	12	15	18	21	합계	0	3	6	9	12	15	18	21	합계
Cyprinidae																		
<i>Carassius auratus</i>	3	1	5	2	7	3	1	3	25									
<i>Pseudorasbora parva</i>	2	1	4	3	3	5	5	7	30		2	5	2	4	7	8	2	30
<i>Squalidus multimaculatus</i>	350	260	514	480	650	612	570	540	3,976	60	130	57	65	283	271	302	193	1,361
<i>Zacco koreanus</i>			2	2	3	2	1		10					2	3	5		10
<i>Zacco platypus</i>	157	65	128	154	170	131	155	180	1,140	23	6	3	6	7	9	12	37	103
<i>Rhynchocypris oxycephalus</i>	20	12	13	15	15	11	17	17	120	10	9	30	7	23	19	5	10	113
Cobitidae																		
<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>				1			1	3	5									
<i>Iksookimia yongdokensis</i>		3	37	51	71	65	53	1	281			12	8	13	10	1	1	45
Bagridae																		
<i>Pseudobagrus fulvidraco</i>								1	1									
<i>Pseudobagrus brevicorpus</i>	1	1						2	4	1	1	1					1	4
Osmeridae																		
<i>Hypomesus nipponensis</i>								1	1	1							2	3
Adrianichthyidae																		
<i>Oryzias latipes</i>													32	18	6			56
Odontobutidae																		
<i>Odontobutis platycephala</i>	12	7	6	8	7	6	10	14	70		1	1	2					4
Centrarchidae																		
<i>Lepomis macrochirus</i>															1		2	3
Gobiidae																		
<i>Rhinogobius brunneus</i>	5	3	23	23	32	29	27	25	167					4	3	3		10
<i>Tridentiger brevispinis</i>					2	1	3	2	8									
<i>Gymnogobius urotaeniis</i>	2	1	2	1	1	1	1	3	12			2			1			3
Channidae																		
<i>Channa argus</i>				1					1									
총종수	9	10	10	12	11	11	12	14	16	5	6	8	7	8	10	7	8	13
총개체수	552	354	734	741	961	866	844	799	5,851	95	149	111	122	354	330	336	248	1,745

이생물은 크게 동물성(Zooplankton)과 식물성(Phytoplankton)으로 나누어졌으며, 구성비율은 상대중요성지수(IRI)로 계산하였을 때 각각 88.4%, 11.6%로 나타나 동물성 먹이가 월등히 높았다.

동물성 먹이는 절지동물문(Arthropoda)의 비율이 가장 높았는데, 이 중 곤충강(Insecta, 58.3%)의 파리목(Diptera)은 깔다구과(Chironomidae)가 54.7%로 매우 높았고, 하루살이목(Ephemeroptera, 3.6%)은 강하루살이과(Potamanthidae)가 1.7%, 미동정이 1.9%였다. 같은 문의 갑각강(Crustacea, 11.8%)의 새각목(Branchiopoda, 10.1%)은 코끼리물벼룩과(Bosminidae)



〈그림 10〉 2016년 8월 22~23일 곡강천 동방종개의 온도(A), 먹이양(B), 활동개체수(C) 변화

7.3%, 물벼룩과(Daphniidae) 2.5%, 등굴레물벼룩과(Chydoridae) 0.2%, 털보물벼룩과(Macrothricidae) 0.1%의 순으로 비율이 높았고, 요각목(Copepoda)은 1.7%를 차지하였다. 윤형동물문(Trochelminthes), 윤충강(Rotatoria)의 유영목(Ploima, 8.7%)에서는 주머니윤충과

〈표 6〉 2015년 5월 축산천에서 채집된 동방종개(n=20) 소화관내용물의 수, 부피, 출현빈도 및 상대중요성지수(IRI)

먹이생물	연령 (전장, mm)				합계 합계	수 (%)	부피 (%)	출현 빈도 (%)	IRI	IRI (%)
	0+ (20-39)	1+ (40-65)	2+ (66-99)	3+≤ (100-130)						
Zooplankton										
Phylum										
Sarcomastigophora										
Class Rhizopodea										
Family Arcellidae	400	284	148	44	876	14.9	0.3	100.0	1517.3	8.6
Phylum Trochelminthes										
Class Rotatoria										
Order Bdelloidea										
Family Philodidae	2	12	12	4	30	0.5	+	20.0	10.3	0.1
Order Ploima										
Family Trichocercidae	140	52	20	16	228	3.9	+	80.0	312.9	1.8
Family Asplanchnidae	336	180	120	44	680	11.5	0.1	100.0	1,166.3	6.6
Family Brachionidae	12	16	10	4	42	0.7	+	50.0	36.0	0.2
Family Euchlannidae	8	5	8	8	29	0.5	+	35.0	17.4	0.1
Phylum Tardigrada	7	40	38	34	119	2.0	0.5	70.0	175.1	1.0
Phylum Arthropoda										
Class Crustacea										
Order Branchiopoda										
Family Daphniidae	136	44	42	10	232	3.9	0.9	90.0	439.0	2.5
Family Bosminidae	208	258	112	38	616	10.5	2.5	100.0	1,295.0	7.3
Family Chydoridae	16	12	12	4	44	0.7	0.2	40.0	37.0	0.2
Family Macrothricidae	12	12	6	4	34	0.6	0.1	30.0	21.4	0.1
Order Copepoda	32	24	98	32	186	3.2	0.6	80.0	302.5	1.7
Class Insecta										
Order Diptera										
Family Chironomidae	208	320	308	452	1,288	21.9	75.1	100.0	9,693.2	54.7
Order Ephemeroptera										
Family Potamanthidae			16	4	20	0.3	15.1	20.0	308.4	1.7
Unidentified spp.		4	46	43	93	1.6	4.5	55.0	332.4	1.9
Phytoplankton										
Class Bacillariophyceae										
<i>Navicula</i> spp.	12	10	8	8	38	0.6	+	50.0	32.3	0.2
<i>Cymbella</i> spp.	27	8	24	9	68	1.2	+	70.0	80.9	0.5
<i>Synedra</i> spp.	24	36	122	25	207	3.5	+	80.0	281.7	1.6
<i>Fragilaris</i> spp.	8	2	4		14	0.2	+	20.0	4.8	0.0
<i>Melosira</i> spp.	72	40	72	94	278	4.7	+	100.0	475.9	2.7
<i>Nitzschia</i> spp.	8	12	8	14	42	0.7	+	35.0	25.0	0.1
Class Chlorophyceae										
<i>Cosmarium</i> sp.				2	2		+	5.0	0.2	+
<i>Peridinium</i> spp.	28	4	4	4	40	0.7	+	40.0	27.2	0.2
<i>Gonatozygon</i> spp.		28	18	4	50	0.8	+	50.0	42.5	0.2
<i>Closterium</i> spp.	224	172	168	68	632	10.7	+	100.0	1,077.6	6.1

*Unid.: 미동정개체; +: 0.1% 미만.

(Asplanchnidae) 6.6%, 쥐꼬리윤충과(Trichocercidae) 1.8%, 방패윤충과(Brachionidae) 0.2%, 장삼윤충과(Euchlannidae) 0.1% 등의 순으로, 윤충목(Bdelloidea)의 거머리윤충과(Philodidae)는 0.1% 였다. 육질편모충문(Sarcomastigophora)의 근족충강(Rhizopodea)은 8.6%였고, 완보동물문(Tardigrada)은 1.0%였다.

식물성 먹이는 조류(algae)로 녹조강(Chlorophyceae, 6.5%)은 *Closterium* spp. 6.1%, *Gonatozygo* spp. 0.2%, *Peridinium* spp. 0.2% 등의 순으로, 규조강(Bacillariophyceae, 5.1%)은 *Melosira* spp. 2.7%, *Synedra* spp. 1.6%, *Cymbella* spp. 0.5%, *Nabicala* spp. 0.2%, *Nitzschia* spp. 0.1% 등의 순으로 높았다.

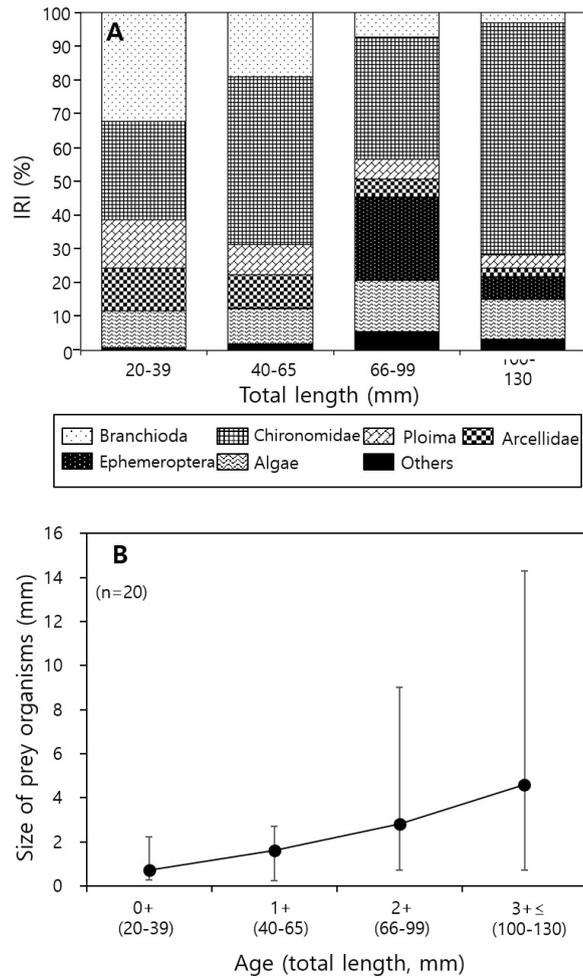
(3) 성장에 따른 먹이 크기 및 구성 변화

성장에 따른 먹이 구성을 상대중요성지수(IRI)로 비교한 결과(그림 11A), 당년생 치어(전장 20~39 mm)의 먹이에서는 새각목이 32.3%로 가장 비율이 높았고 그 다음은 깔다구과(28.9%), 윤충강(14.4%), 꽃병벌레과(12.5%), 조류(11.0%) 등의 순이었다. 1년생(40~65 mm)은 깔다구과가 급격히 증가하여 49.6%였고, 그 다음은 새각목(19.1%), 조류(10.3%), 꽃병벌레과(9.9%), 윤충강(8.9%) 등의 순이었다. 2년생(66~99 mm)은 깔다구과(36.2%)가 감소하고 하루살이과(24.6%)가 급격히 증가하였으며 그 다음은 조류(15.1%), 윤충강(6.0%) 등의 순이었다. 3년생 이상(100~130 mm)은 깔다구과가 68.7%로 가장 높았고 그 다음은 조류(11.8%), 하루살이목(6.8%), 윤충강(3.9%) 순이었다. 따라서 연령이 낮을 때에는 비교적 먹이 크기가 작은 새각목과 윤충강, 꽃병벌레과 등을 주로 섭식하다가 성장하면서 비교적 크기가 큰 깔다구과와 하루살이과로 먹이전환이 일어났다.

동방종개의 가장 중요한 먹이로 나타난 깔다구과와 하루살이목의 크기는 연령에 따라 큰 차이를 보였다(그림 11B). 당년생 치어에서 먹이 크기는 1.53 ± 0.45 mm로 작았으나 이후 1년생 1.84 ± 0.94 mm, 2년생 2.90 ± 2.16 mm, 3년생 이상 5.17 ± 2.81 mm로 나타나 연령이 높아지면서 먹이 크기도 급격히 커지는 경향을 보였다.

4) 근연종과의 비교

지금까지 조사된 미꾸리과 어류의 연활동주기는 왕종개와 줄종개, 접줄종개, 참종개, 북방종개가 있는데, 동방종개를 포함하여 공통적으로 수온 약 10~13°C 이상 되는 3월부터 10월까지의 활동기로 하상 밖으로 나와 활동과 섭식행동 등을 하지만 수온이 약 13°C 이하가 되는 11월부터 2월까지



〈그림 11〉 2015년 5월 축산천의 동방종개(n=20)의 성장에 따른 소화관내용물(A) 및 먹이크기(B) 변화

월동기로 하상의 기질 속으로 은신하며 먹이 섭식을 하지 않는 것으로 보고되어 유사하였다. 또한 섭식개체율과 섭식량 변화도 5월과 9월은 산란과 월동 준비 때문으로 높게 나타나고, 6월과 7월은 산란 및 장마의 영향으로 낮아지는 것으로 나타나 유사하였다(Kim and Ko, 2005; Ko et al., 2009; Ko, 2015). 일 활동주기는 왕종개와 줄종개, 점줄종개, 참종개는 주행성 어류로 보고되어(Kim and Ko, 2005; Ko et al., 2009; Ko, 2015) 동방종개와 동일하였지만 얼룩새코미꾸리는 야행성 어류로 보고되어 차이를 보였다(Hong, 2012).

동방종개의 소화관 내용물을 상대중요성지수(IRI)로 분석한 결과 갈다구과가 54.7%로 가장 높았

고 그 다음은 새각목 10.1%, 윤충강 8.7%, 꽃병벌레과 8.6%, 녹조강 6.3%, 규조강 5.1% 등의 순이었다. 미꾸리과 어류 중 줄종개(Kim et al., 2006)와 점줄종개(Ko et al., 2009), 미호종개(ME, 2011), 북방종개(Ko, 2015)의 먹이 비중은 깔다구과가 가장 높은 것으로 보고되어 본 종과 유사한 결과였지만, 같은 속에 속하는 왕종개(Kim and Ko, 2005)와 참종개(Ko et al., 2009)는 부피와 수에서 하루살이목과 깔다구과가, 남방종개는 수에서 요각목과 깔다구과가 높게 나타나 약간의 차이를 보였다. 미꾸리과 어류의 식성은 서식지와 연관되어 있는데, 왕종개와 참종개는 유속이 비교적 빠르고(10~30 cm/sec) 자갈과 돌이 많은 하천에 서식하기 때문에 이러한 지역 많이 서식하는 하루살이목을 많이 섭식한 것으로 추정된 반면, 동방종개는 자갈과 돌, 모래 바닥에 고루 서식하고 유속이 느린 곳(4~7 cm/sec)에 서식하기 때문에(Ko et al., 2016) 하루살이목보다는 깔다구과를 많이 섭식한 것으로 판단되었다. 또한 동방종개는 조류(Algae)의 비율(IRI)이 11.6%로 나타나 왕종개(Kim and Ko, 2005)와 줄종개(Kim et al., 2006), 참종개(Ko et al., 2009), 점줄종개(Ko et al., 2009)와 유사하였으나 조류를 거의 섭식하지 않은 북방종개(Ko, 2015)와 미호종개(ME, 2011)와는 차이를 보였다. 당년생 치어는 크기가 작은 윤충강과 새각목 등을 주로 섭식하나 연령이 높아지면서 이들의 비율은 작아지고 크기가 큰 깔다구과와 하루살이목의 비율이 증가하여 기존에 보고된 왕종개(Kim and Ko, 2005)와 참종개(Ko et al., 2009), 줄종개(Kim et al., 2006), 점줄종개(Ko et al., 2009), 미호종개(ME, 2011)와 비교적 유사하였다.

7. 추후 연구방향 및 보존방안

동방종개의 서식범위에 대해서는 논란이 되고 있는데, 현재는 4배체로 알려진 대종천부터 송천까지만 서식하는 것으로 알려져 있다(Kim and Park, 1997; Kim et al., 1999). 대종천 아래의 태화강부터 회야강 일대에 서식하는 집단은 2배체이기 때문에 왕종개로 판단하고 있지만(Kim and Park, 1997; Kim, 2009) 반문 및 골질반의 형태가 섬진강 및 낙동강에 서식하는 왕종개보다 동방종개와 유사하다고 보고된 바 있다(Kim et al., 1991). 따라서 추후 이 집단에 대한 분류학적 위치를 밝히기 위한 형태분석, 분자생물학적 연구가 포함된 분류학적 연구가 필요하다고 생각된다. 동방종개는 본 조사 결과 급격한 서식지 감소하여 IUCN 기준으로 멸종위기종 범주에 해당하는 취약으로 평가되었기 때문에 환경부의 멸종위기종 목록에 추가로 지정하여야 하며, 다른 멸종위기 야생생물들의 연구와 마찬가지로(ME, 2009, 2011, 2018; MLTM, 2010, 2011, 2012; WPOE, 2017), 종보존학적인 연구 및 인공증식기술 개발을 통해서 개체가 급격히 감소하거나 지역절멸한 지역에 치

어를 방류하여 종 복원사업을 하는 등의 노력이 이루어져야 한다고 생각된다. 또한 감소 원인은 심각한 가뭄과 외래종 배스의 확산, 무분별한 하천공사 등으로 추정되었기 때문에 이러한 문제를 해결할 수 있는 장기적인 보전방안이 필요하다고 생각되는데, 특히 배스의 확산과 서식지 훼손을 야기하는 무분별한 하천공사를 막기 위한 대책수립이 시급히 필요하다고 판단된다.

참고문헌

- Byeon, H. K. 2007. Ecology of *Koreocobitis rotundicaudata* (Cobitidae) in the Naerin Stream, Korea. Korean J. Ichthyol., 19: 299-305.
- Choi, E. K. 2003. Biology of the southern spined loach, *Iksookimia hugowolfeldi* (Pisces, Cobitidae). Master Thesis, Chonbuk National University, Jeonju, 42pp.
- Choi, J. K., Byeon, H. K. 2009. Ecological characteristics of *Cobitis pacifica* (Cobitidae) in the Yeongok Stream. Korean J. Limnol., 42: 26-31.
- Chong, D. S. 1986. Morphological and bionomical studies of *Niwaella multifasciata* (Wakiya et Mori). Master Thesis, Chonbuk Nat. Univ., 37pp.
- 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.
- Hong, Y. K., Yang, H., Bang, I. C. 2011. Habitat, reproduction and feeding habit of endangered fish *Koreocobitis naktongensis* (Cobitidae) in the Jaho Stream, Korea. Korean J. Ichthyol., 23: 234-241.
- Honjo, T., Taguchi, J. 1974. Studies on the reproduction of the delicate loach, *Niwaella delicata*. I. On the artificial spawning, hatching and rearing of delicate loach. Bull. Gifu Pref. Fish. Exp. Sta., 19: 1-7.
- Jang, M. H., Joo, G. J., Lucas, M. C. 2006. Diet of introduced largemouth bass in Korean rivers and potential interactions with native fishes. Ecol. Freshwater Fish, 15: 315-320.
- Jeong, J. 1993. Illustration of the freshwater algae of Korea. Academy Publishing

- Company, Seoul, 496pp.
- Jo, K. S. 1993. Illustration of the freshwater zooplankton of Korea. Academy Publishing Company, Seoul, 387pp.
- Kaneko, T., Aida, K., Hanyu, I. 1986. Changes in ovarian activity and fine structure of pituitary gonadotropin during spawning cycle of thachichibugoby, *Tridentiger obscurus*. Nippon Suisan Gakkaishi, 52: 1923-1928.
- Kani, T. 1944. Ecology of torrent-inhabiting insects, pp. 171-317. In: Insect I (Furukawa, J., ed.). Kenkyu-sha, Tokyo.
- Kano, Y. 2000. Age and growth of the Ajime-loach, *Niwaella delicata*, in the Yura river, Kyoto, Japan. Ichthyol. Res., 47: 183-186.
- Kawanabe, H. and Mizuno, N. 1989: Freshwater fishes of Japan. YAMA-KEI Publishers Co., Ltd., Tokyo.
- Kim, D.S., Kim, J. H., Park, I. S. 1992. Induced and multiple spawnings by human chorionic gonadotropin injection of the loach, *Misgurnus mizolepis* (Teleostomi: Cobitidae). J. Aquacult., 5: 109-115.
- Kim, I. S. 1978. Ecological studies of cobitid fish, *Cobitis koreensis* in Jeonju-cheon Creek, Jeonrabug-do province, Korea. Korean J. Ecol., 2: 9-14.
- Kim, I. S. 1997. Illustrated encyclopedia of fauna & flora of Korea, Vol. 37, Freshwater Fishes. Ministry of Education, Yeongi, 518pp.
- Kim, I. S. 2009. A review of the spined loaches, family Cobitidae (Cypriniformes) in Korea. Korean J. Ichthyol., 21 (supplement): 7-28.
- Kim, I. S., Ko, M. H. 2005. Ecology of *Iksookimia longicorpa* (Cobitidae) in the Seomjin River, Korea. Korean J. Ichthyol., 17: 112-122.
- Kim, I. S., Ko, M. H., Park, J. Y. 2006. Population ecology of Korean sand loach *Cobitis tetralineata* (Pisces: Cobitidae) in the Seomjin River, Korea. J. Ecol. Field Biol., 29: 277-286.
- Kim, I. S., Park, J. Y. 1997. *Iksookimia yongdokensis*, a new cobitid fish (Pisces: Cobitidae) from Korea with a key to the species of *Iksookimia*. Ichthyol. Res., 44: 249-

256.

- Kim, I. S., Park, J. Y. 2007. Freshwater fishes of Korea. Kyohak Publishing Co., Ltd., Seoul, 467pp.
- Kim, I. S., Jeong, M. T. 1988. Seasonal variation of the color pattern in the Cobitid fish *Cobitis taenia lutheri* form Korea. Korean J. Ecol., 11: 77-82.
- Kim, I. S., Lee, W. O. 1984. Morphological and ecological aspects on the population of *Cobitis koreensis* Kim (Pisces: Cobitidae) in the Begchon Stream, Puan-gun, Chollabugdo, Korea. Korean J. Ecology, 7: 10-20.
- Kim, I. S., Choi, Y. Lee, C. L., Lee, Y. J., Kim, B. J., Kim, J. H. 2005. Illustrated book of Korean fishes. Kyohak Publishing, Seoul, 615p.
- Kim, S. Y., Park, J. Y., Kim, I. S. 1999. Chromosome of spined loach, *Iksookimia yongdokensis* (Pisces: Cobitidae) form Korea. Korean J. Ichthyol., 11: 172-176.
- Kim, Y. P., An, K. G. 2010. Evaluations of ecological habitat, chemical water quality, and fish multi-metric model in Hyeongsan River watershed. Korean J. Limnol., 43: 279-287.
- Kim, Y. U., Kim, D. S., Park, Y. S. 1987. Development of eggs, larvae and juveniles of loach, *Misgurnus mizolepis* Günther. Bull. Korean Fish. Soc., 20: 16-23.
- Ko, M. H. 2009. Reproductive mechanisms of the unisexual diploid-triploid hybrid complex between the spined loach *Cobitis hankugensis* and *Iksookimia longicorpa* (Teleostei, Cobitidae) in Korea. Doctoral Thesis, Chonbuk National University, Jeonju, 160pp.
- Ko, M. H. 2015. Habitat characteristics and feeding ecology of the Korean endemic species, *Iksookimia pacifica* (Pisces: Cobitidae) in the Bukcheon (stream), Korea. Korean J. Ichthyol., 27: 275-283.
- Ko, M. H., Bang, I. C. 2014. Spawning character and early life history of the endangered Korean dwarf loach, *Kichulchoia brevifasciata* (Teleostei: Cobitidae). Korean J. Ichthyol., 26: 89-98.
- Ko, M. H., Bang, I. C. 2013. Egg development and early life history of the Korean sand spine loach, *Cobitis lutheri* (Pisces: Cobitidae). Korean J. Ichthyol., 31: 30-38.

- Ko, M. H., Park, J. Y. 2011. Growth and spawning ecology of *Cobitis lutheri* (Teleostei: Cobitidae) in the Mangyeong river, Korea. Korean J. Ichthyol., 23: 158-162.
- Ko, M. H., Park, J. Y. 2012. Eggs development and early life history of spine loach, *Cobitis hankugensis* (Pisces: Cobitidae), endemic to Korea. Korean J. Ichthyol., 24: 94-100.
- Ko, M. H., Park, S. Y., Bang, I. C. 2012. Egg development and early life history of Korean spined loach, *Iksookimia koreensis* (Pisces: Cobitidae). Korean J. Limnol., 45: 93-101.
- Ko, M. H., Park, J. Y., Kim, S. H. 2009. Habitat environment and feeding habitat of *Iksookimia koreensis* and *Cobitis lutheri* (Pisces: Cobitidae) in the Mangyeong River, Korea. Korean J. Ichthyol., 21: 253-261.
- Ko, M. H., Park, S. Y., Bang, I. C. 2013. Egg development and early life history of the endangered Korean spine loach, *Iksookimia pumila* (Pisces: Cobitidae). Korean J. Ichthyol., 25: 65-73.
- Ko, M. H., Won, Y. J. 2016. The age and spawning characteristics of the Korean endemic spine loach, *Iksookimia pacifica* (Pisces: Cobitidae) in the Bukcheon (stream), Korea. Korean J. Ichthyol., 28: 72-78.
- Ko, M. H., Jeon, Y. S., Won, Y. J. 2016. The habitat, age and spawning characteristics of the Korean eastern spined loach, *Iksookimia yongdokensis* (Pisces: Cobitidae) in the Chuksancheon (stream), Korea. Korean J. Ichthyol., 28: 239-248.
- Ko, M. H., Kwan, Y. S., Lee, K. L., Won, Y. J. 2017a. Impact of human activities on changes of ichthyofauna in Dongjin River of Korea in the past 30 years. Anim. Cells Syst., 21: 207-2016.
- Ko, M. H., Jeon, Y. S., Won, Y. J. 2017b. Early life history of the eastern Korean tetraploid spined loach, *Iksookimia yongdokensis* (Pisces: Cobitidae), Folia Zool., 66: 153-162.
- Ko, M. H., Bang, I. C. 2014. Spawning character and early life history of the endangered Korean dwarf loach, *Kichulchoia brevifasciata* (Teleostei: Cobitidae). Korean J. Ichthyol., 26: 89-98.
- Ko, M. H., Kim, H. J., Myung, R. Y., Won, Y. J. 2018a. The activity period and feeding ecology of the Korean eastern spined loach, *Iksookimia yongdokensis* (Pisces:

- Cobitidae). Korean J. Ichthyol., 30: 27-35.
- Ko, M. H., Park, J. Y., Lee, Y. J. 2008. Feeding habits of an introduced large mouth bass, *Micropterus salmoides* (Perciformes: Centrachidae), and its influence on Ichthyofauna in the Lake Okjeong, Korea. Korean J. Ichthyol., 20: 36-44.
- Ko, M. H., Han, M. S., Kwan, S. M. 2018b. 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., Han, M. S., kweon, S. M. 2020. Distribution status and extinction threat evaluation of the Korean endemic species, *Iksookimia yongdokensis* (Pisces: Cobitidae). Korean J. Ichthyol., 32: 1-7.
- Kottelat, M. 2012. Conspectus cobitidum: An inventory of the loaches of the world (Teleostei: Cypriniformes: Cobitoidei). The Raffles Bull. Zool., Suppl. 26: 1-199.
- Kwater 2007. A guidebook of rivers in South Korea. Kwater, Daejeon, 582pp.
- Lee, W. O., Kim, K. H., Baek, J. M., Kang, Y. J., Jeon, H. Z., Kim, C. H. 2011. Embryonic development and early life history of the northern loach, *Cobitis pacifica* (Pisces: Cobitidae). Korean J. Limnol., 44: 1-8.
- Linnaeus, C. 1758. Systema Naturae, edition X, vol. 1 (Systema naturae per regna tria naturae, secundum classes, ordines, genera, species, cum characteribus, differentiis, synonymis, locis. Tomus I. Editio decima, reformata). Holmiae Salvii: 824.
- ME (Ministry of Environment). 1997-2006. The 2nd national environment investigation of freshwater fish. National Institute of Environmental Research.
- ME (Ministry of Environment). 2007-2011. The 3rd national environment investigation of freshwater fish. National Institute of Environmental Research.
- 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). 2022. 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). 2006–2014. Appearance site of *Iksookimia pacifica* specimens in National Institute of Biological Resources.
- NIBR (National Institute of Biological Resources). 2011. Red data book of endangered fishes in Korea. Ministry of Environment, National Institute of Biological Resources, Incheon 202pp.
- 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 250pp.
- NIE (National Institute of Ecology). 2017. Nationwide survey of non-native species in Korea (III). NIE, Seocheon, 671pp.
- NIER (National Institute of Environmental Research). 2007–2015. River and stream ecosystem health assessment.
- Park. C. W. 2016. Ecology of the endemic Korean southern king spine loach, *Iksookimia*

- hugowolfeldi*. Master Thesis, Chonbuk National University, Jeonju, 56pp.
- Park, J. S., Kim, S. H., Kim, H. T., Kim, J. G., Park, J. Y., Kim, H. S. 2019. Study on feeding habits of *Micropterus salmoides* in habitat types from Korea. Korean J. Ichthyol., 31: 39-53.
- Park, J. Y., Kim, I. S. 2001. Fine structures of oocyte envelopes of three related cobitid species in the genus *Iksookimia* (Cobitidae). Ichthyol. Res., 48: 71-75.
- Pinkas, L., Oliphant, M. S., Iverson, I. K. K. 1971. Food habits of albacore, bluefin tuna, and bonito in California water. Fish Bull., 152: 1-105.
- Sakai, H., Yokoyama T., Sakai, Y., et al. 1989: Notes on the life history of *Cobitis takatsuensis*, a spinous loach. Bull. Biogeogr. Soc. Jpn. 44: 39-47.
- Sala, O. E., Chapin, F. S., Armesto, J. J., Berlow, E., Bloomfield, J., Dirzo, R., Elisabeth, H. S., Huenneke, L. F., Jackson, R. B., Kinzig, A., Leemans, R., David, M. L., Mooney, H. A. O., Martin, N. L., Poff, T. S., Martin, B. H., Walker, Marilyn, W., Wall, D. H. 2000. Global biodiversity scenarios for the year 2100. Science, 287, 1770-1774.
- Song, H. Y., Kim, W. J. Lee, W. O., Bang, I. C. 2008. Morphological development of egg and larvae of *Iksookimia choii* (Cobitidae). Korean J. Limnol., 41: 104-110.
- Song, H. Y., Yang, H., Cho, E. M., Shin, H. C., Bang, I. C. 2009. Morphological development of egg and larvae of *Koreocobitis naktongensis* (Cobitidae). Korean J. Ichthyol., 21: 247-252.
- Shimizu, A., Hanyu, I. 1982. Environmental regulation of annual reproductive cycle in a spring-spawning bitterling *Acheilognathus tabira*. Nippon Suisan Gakkaishi, 48: 1563-1568.
- Shimizu, T., Sakai, H., Mizuno, N. 1998. Embryonic and larval development of a Japanese spinous loach, *Cobitis takatsuensis*. Ichthyol. Res., 45: 377-384.
- Suzuki, R. 1966. Artificial spawning and early development of the loach, *Cobitis delicata* Niwa. Bull. Freshw. Fish. Res. Lab., 15: 175-188.
- Suzuki, R. 1976. Number of ovarian eggs and spawned eggs and their size composition in the loach, cyprinid fish. Bull. Japan. Soc. Sci. Fish.. 42: 961-967.

- WEIS (Water Environment Information System). 2019. Water data (Precipitation). Retrieved from <http://water.nier.go.kr/waterData>. version (12/2019).
- Won, D. H., Kwon, S. J., Jeon, Y. C. 2005. Aquatic insects of Korea. Korean Ecosystem Service, Seoul, 360pp.
- 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.
- Uchida, K. 1939. The fishes of Tyosen. Part I. Numatognathi, Eventognathi. Bull. Fish Exp. Sta. Gov. Gener. Tyôsen, pp. 400-458.
- Yang, H. J., Chae, B. S. 1994. The ichthyofauna and fish community structure at the downstream of the Hyongsan River. Korean J. Limnol., 27: 23-32.
- Yang, H. J., Lim, W. T. 1980. A study on the Ichthyofauna in the Hyeongsan River. J. Basic Sci. Kyungpook National Univ., 4: 23-32.
- Yang, H. J., Kang, Y. H. 1988. On the ichthyofauna and ecological survey of main species in the Oshib River. Research Review of Kyungpook National Univ., 45: 253-267.
- Yoo, D. J., Han, K. H., Yim, H. S., Seo, W. I., Lee, S. H. 2009. Ichthyofauna from reservoirs in Gyeongju-si, Gyeongsangbuk-do, Korea. Korean J. Ichthyol., 21: 38-46.
- Yoon, I. B. 1995. Aquatic insects of Korea. Jeonghaeng Publishing Company, Seoul, 262pp.