

담수어류 이동 연구를 위한
electric tag 소개

윤 주 덕 |

부산대학교 환경기술산업개발연구소 전임연구원
zmszmsqkek@hanmail.net

김 정 희 |

공주대학교 생물교육과 석사과정
ragman-k@hanmail.net

장 민 호 |

공주대학교 생물교육과 교수
jangmino@kongju.ac.kr

어류의 이동 연구

어류의 이동을 연구하는 이유는 보전, 생태적 특성 파악, 자원확보, 기후변화에 의한 영향 파악 등 매우 다양하다. 하지만 어류는 수체내에서 생활하는 특성상 시각적으로 이동을 확인하기가 어렵다. 따라서 확인을 위해서 항상 포획을 해야하는 번거로움이 있다. 뿐만 아니라 채집을 한다고 해도 단순히 채집된 결과를 통해서 어류의 이동에 대한 내용을 논하기에는 어려움이 항상 존재하였다. 따라서 어류의 이동을 보다 효율적으로 파악하기 위해서 표지-재포획 (mark-recapture) 방식이 개발되기 시작했다. ‘표지-재포획’ 연구는 야외현장에서 대상생물의 개체군 파악,

군집의 변화, 개체의 이동을 연구하는데 일반적으로 사용되며, 특히 담수어류의 이동 및 개체군 평가를 위해 가장 보편적으로 이용되는 기술이다. 우수 생태계에 서식하는 동물의 이동에 관한 연구는 구미 선진국을 중심으로 비교적 활발한 연구가 수행되어왔다. 어류를 대상으로 한 표지(marking)는 1653년 Izaak Walton이 대서양 연어 치어의 꼬리에 리본을 부착하여 그들의 이동을 알아보려 한 것이 최초의 기록이다 (Lucas and Baras, 2001). 이후 과학기술의 발달로 많은 종류의 표지법(marking method)이 개발되어 이용되었으며, 현재에도 새로운 방법들이 계속 개발, 적용되고 있다. 선진국들의 경우 이미 담수어류의 이동에 관한 연구들이 활발히 진행되고 있으며, 연구대상 어종 역시 다양하지만 국내에서는 담수어류에 대한 이동 연구가 제한적이다.

초기의 연구는 대부분이 해양에서 어류의 이동에 관한 내용이 주를 이루었다. 특히 뱀장어, 참치, 연어 등과 같은 경제성어종을 대상으로 주로 연구가 시행되었으며 이후 점차 멸종위기종과 같은 보전이 필요한 종을 중심으로 연구의 방향이 옮겨가고 있는 양상을 보이고 있다. 담수어류의 경우 최근 10년간 이동 연구 관련 출판된 논문의 수는 2000년대에 들어서 증가하기 시작하여, 최근 그 수가 급증하고 있다. 연구 주제별로 살펴보면, 90년대에는 제한된 방식을 이용하여 경제성 어종을 모니터링을 주로 실시하였다면, 2000년대부터는 여러 어종을 대상으로 하여 다양한 표지방법을 이용한 연구들이 진행되었다.

앞서 일부 언급하였듯이 초기 이동 연구 대상 어류로는 경제성이 높은 회귀성 어류로 알려진 연어과 (Salmonidae)가 90%로 전체 대상어류에서 압도적

으로 높은 비율을 차지하는 것으로 나타났으나, 최근 종 다양성 보존이 곧 자국의 자원을 유지한다는 인식으로 각 국가에서 자국의 보호종을 설정하고, 이들에 대한 정보를 얻기 위해 언어과 이외의 어류의 이동에 대한 연구가 수행되기 시작하였다 (Lucas and Baras, 2001; Jang and Lucas, 2005). 언어과 이외에는 철갑상어 (Acipenseridae), 검정우럭과 (Centrarchidae), 잉어과 (Cyprinidae)등의 어류를 대상으로 이동에 관한 연구가 수행되었으며 (그림 1), 이외의 과들을 대상으로 한 연구도 꾸준히 증가하는 추세로 주목할 만하다.

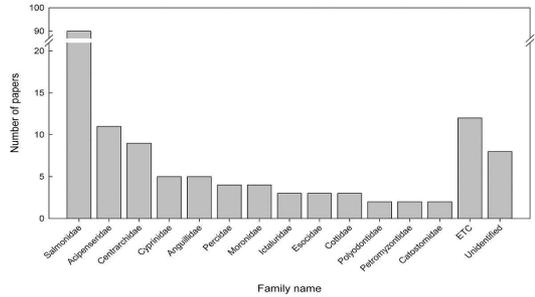


그림 1. 담수어류의 각 과별 이동에 관해 연구한 출판된 논문 수 (1998 - 2008)

이와 같이 어류의 이동과 관련된 연구의 폭이 넓어지고 깊이가 깊어지게 되는 데에는 electric tag 개발

표 1. 각종 Marking method의 종류 및 특성

구 분	종 류	특 성	단 점
Mark and Recapture	Fin clip	- 모든 종류의 어류에 적용가능 - 저비용 - 장비 없이 시각으로 판별 가능	- 개체 구분이 없음 - 감염 위험이 높음 - 행동에 문제를 유발
	Floy anchor	- 저비용 - 다양한 목적으로 이용 가능 - 시각적으로 판별 용이 - 개체 표지 가능	- 행동에 문제 유발 가능 - 병원성 감염 위험 - tag의 이탈 위험
	Visual implanted Elastomer (VIE)	- 개체의 크기와 무관 - 저비용 - 적외선 이용 판별 - 개체당 중복 표지 가능 - 이동에 큰 영향을 주지 않음	- 표지 개체의 식별이 어려움 - 확인을 위한 재포획 필요 - 재포획시 어류의 폐사 문제 - 집단 행동시 문제 유발 가능
	Corded wire tag	- 작은 개체에 적용가능 (< 10mm) - 다수 개체 모니터링에 효율적 - 개체식별가능 - 영구 사용가능	- 고비용 - 짧은 식별거리 (20cm 이하) - 회수 불가능 - 개체식별이 어려움 (포획후 현미경 이용)
Electric tag	Passive integrated transponder (PIT) tag	- 다양한 생물에 적용가능 - 소형어류에 적용가능 (< 100mm) - 개체 식별 가능 - 영구적 수명	- 짧은 식별거리 (1m 이내) - 다수의 수신기 필요 - 회수가 거의 불가능
	Radio tag	- 적은 개체로 효율적인 결과 - 긴 식별거리 (300m) - 육상에서 수신	- 고비용 - 한정된 수명 - 사용환경에 제한 (담수)
	Acoustic tag	- 적은 개체로 효율적인 결과 - 긴 식별거리 (300m) - 정확한 위치 추적 - 담수와 해수 모두 가능	- 고비용 - 제한적 수명 (battery 용량 및 옵션에 따라 달라짐) - 수중에서만 사용가능
	Satellite tag	- 위성을 통한 정확한 위치 추적 - 담수, 해수 모두 가능 - 식별거리에 제한이 없음	- 고비용 - 제한적 수명 (battery 용량 및 옵션에 따라 달라짐) - 상대적으로 큰 생물에 적용 - 위성 사용에 제약

에 의한 영향이 크게 작용하였다. 이전까지 단순한 형태의 표지법에서 좀 더 다각적인 방향으로 정밀한 어류이동 분석을 실시하기 위해서, 기술적으로 진보된 electric tag인 PIT tag, radio tag과 acoustic tag 등의 개발은 이동연구에 획기적인 전환점을 마련하였다. 이러한 연구방식은 더 작은 어류를 대상으로하여 더욱 정확한 이동과 관련된 정보를 축적하는데 많은 도움을 주고 있다. 본문에서는 현재 어류이동 평가에 주로 사용하는 electric tag인 PIT tag, radio tag, acoustic tag에 대한 장, 단점과 효율성 그리고 국내의 적용에 대한 내용을 소개하도록 하겠다.

PIT tag

Electric tag 중 가장 먼저 소개할 것은 PIT (Passive Integrated Transponder) tag이다. PIT tag은 우리 생활속에 깊숙이 자리잡고 있는 RFID (Radio-frequency identification) 방식을 이용한 것으로 일반적으로 이용되는 형태를 생물에 적용이 가능하게 변형시켜 사용되고 있다. 이 방식은 최근에 애완동물의 개체식별관리를 위하여 사용되면서 알려지기 시작했으며, 수중에서 생활하는 어류나 양서류, 파충류 등에도 적용이 가능하기 때문에 활용범위가 넓은 특징을 가지고 있다. 특히 tag의 크기가 다른 종류의 tag에 비하여 상당히 작기 때문에 (소형 tag: 길이 11mm, 직경 2.1mm, 대기중 무게 0.088g) 작은 생물들에게도 효율적으로 적용이 가능하다. 뿐만

아니라 신호를 방출하는 방식이 배터리 없이, 전용으로 사용되는 수신기에서 보내주는 전기적인 신호에 감응하는 형태이기 때문에 tag의 수명에 제한이 없다. 따라서 한번 적용하면 개체가 생명을 다할 때까지 사용이 가능하다. 이와 같은 특징을 가진 PIT tag이 어류에 주로 적용되기 시작한 것은 1990년대부터로 (Prentice et al., 1990a, b), 이후 진행된 많은 연구들에 의해 어류의 이동, 서식처 선택, 개체식별 등과 같은 모니터링에 유용한 방식인 것이 확인되어 다양하게 사용되고 있다 (Zydlewski et al., 2001; Riley et al., 2003; Russell et al., 2008). 하지만 tag의 방식에서 오는 식별거리의 한계 (약 40cm 이하)와 식별을 위해 특수한 수신기가 필요한점, 그리고 비록 저비용이지만 회수가 거의 불가능한 점들은 단점이기 때문에 연구목적에 따라 다른 방식의 선택이 필요하기도 하다.

국내에서도 PIT tag이 사용이 되고 있었는데 주로 종묘 관리를 위한 연구소에서 제한적으로 사용되고 있었고, 이동과 관련된 연구는 외국에 비해 상당히 늦은 2000년대 후반에 들어서 연구가 담수를 중심으로 하여 진행이 되기 시작하였다. 앞서 언급하였듯이 국내에 서식하는 토착종과 고유종은 중, 소형종이며 이들 중 대부분이 잉어과 어류이다. 실질적으로 토착종 및 고유종들의 복원 및 보존을 위해서는 각 종의 미소 서식지에서의 분포양상, 행동 및 이동의 연구가 선행되어야 한다. 이러한 연구의 진행시에 발신기의 크기가 다른 tag들에 비해 상대적으로 작은 PIT tag이 적합하다. 뿐만 아니라 어류의 이동과 관련하여 하천내

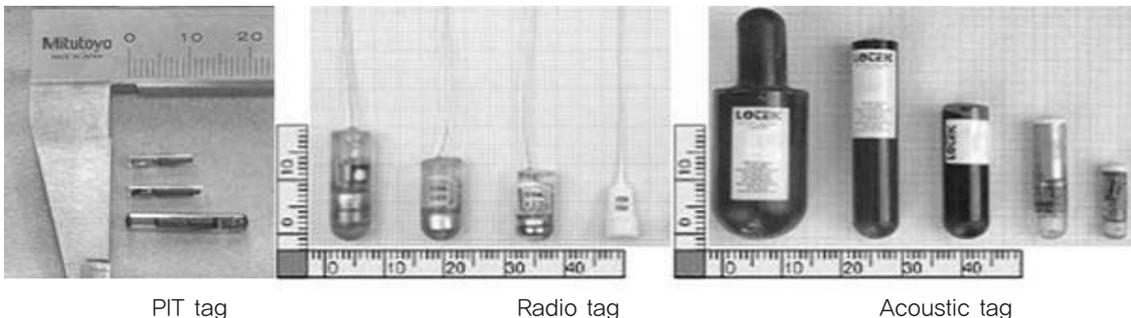


그림 2. 이동 연구에 이용되는 electric tag

구조물의 효율성이나 문제점을 파악하는데도 유용하게 사용될 수 있다. 예를 들어 본 방식을 이용하여 하천에 새롭게 건설되는 어도의 효율성을 파악시, tag 이 삽입된 개체들이 어도에 설치한 안테나를 통과하면서 얻어지는 자료들 (통과 개체수, 통과시도 개체수, 어도 입구에서 감지되는 개체수 등)을 다양한 환경변수를 이용하여 분석하면 효과적인 결과를 얻을 수 있다. 국내 장흥댐에서도 댐에 설치되어 있는 어도를 대상으로 하여 이러한 연구가 진행되었다. 뿐만 아니라 최근에는 PIT tag을 이용한 다양한 연구가 국내에서도 진행 중에 있으며, 기술 개발이 지속적으로 이루어지면 현재 이론적으로 6cm인 표지 가능 개체의 크기도 더욱 줄어들 것으로 판단된다.

Radio tag

어류의 이동 및 행동반경 연구에 있어서 PIT tag 을 이용한 방법은 저비용에 효율적인 방법이지만 연구의 목적이 달라지면 결과를 도출하는데 있어서 어려워진다. 특히 이동성이 높은 어류의 경우 PIT tag 을 이용한 방식은 감지 거리에 한계가 있기 때문에 home range나 이동거리 및 시기에 관한 내용을 밝히기 힘들다. 따라서 유영능력이 뛰어나고 이동성향이 활발한 어류를 대상으로 생태적 특성을 밝히는데 다른 electric tag방식인 radio나 acoustic 방식을 이용하는 것이 상대적으로 효율이 높다. 둘 중 radio tag은 이름에서도 유추할 수 있듯이 특정 주파수를 발생시키는 tag 신호를 수신기를 이용하여 추적하는 방식이다. Radio tag은 PIT tag과는 달리 자체발신형 tag으로 신호의 감지 범위가 훨씬 길기 때문에 (약 300m 이상) 이동 범위가 넓은 어류의 이동을 추적하는데 유용하다. 초기에는 육상동물이나 파충류와 같은 생물에 주로 적용하여 이용했으며 이후 기술이 발전하면서 방수가 가능한 발신기가 개발되어 담수어류에 적용되었다. 이 방식은 담수에서만 이용이 가능한 방식으로 전기전도도가 높은 해수에서는 사용이

불가능하며, 또한 어류가 수심이 깊은 지역으로 이동하면 신호의 강도가 약해져 추적이 어려운 단점이 있어, 주로 하천에 서식하는 담수어류의 이동에 적용되고 있다.

담수어류의 국지적인 이동을 연구하는데 효과적인 방법으로 특히 외국에서는 어류의 산란장이나 이동거리, 이동 패턴을 분석하기 위하여 많이 사용하고 있는 방법으로 국내에서는 낙동강 상류지역에서 열목어 서식처를 밝히기 위한 연구에 적용되었다. Radio tag을 이용한 연구를 위해서는 몇 가지 단계를 거쳐야 한다. 우선 어체내에 적용성을 알아보기 위하여 실험 대상종을 이용하여 실험실 내에서 dummy를 삽입, 어류에 대한 적용성 (생존율, 성장률 등)을 먼저 파악한다. 이후 대상종에 적절한 종류의 tag을 선택한다. Radio tag은 다양한 방식으로 어류에 부착되지만 일반적으로 사용되는 방식은 외과적 수술을 통하여 복강에 삽입하는 것으로 연구자의 숙련도가 연구에 큰 영향을 미친다. Tag삽입 이후에는 안테나를 이용하여 추적으로 통해 이동 패턴을 밝힌다. 이 방법을 통해 얻어진 결과는 보호구역을 설정하는 등과 같은 어류의 보전지역을 설정하는데 유용하게 사용되는 방식이다. 따라서 국내 멸종위기에 처해있는 종들의 경우 이 방법을 사용한다면 서식처를 보전하는데 유용할 것으로 판단되며 향후 지속적으로 연구가 증가할 것으로 판단된다.

Acoustic tag

Acoustic tag은 대형하천의 하구나 저수지 혹은 해수에 적합한 형태의 방식으로 tag에서 발신하는 수중음파를 수신기를 이용하여 채집 어류의 이동, 위치 등을 파악한다. 이 방법은 acoustic transducer에서 발신하는 sonar가 tag을 detect하여 위치 및 이동 궤적을 파악하는 시스템이기 때문에 손쉽게 이동을 파악할 수 있는 장점이 존재한다. 국내에서는 해양에서 해양어류를 대상으로 한 연구가 있지만 연구 대상



개체수가 제한적이었다. Acoustic tag은 다양한 장소에 적용할 수 있으며 또한 수심이 깊은 장소에서도 유용하다. Sonar를 수직과 수평방향으로 각각 발생시켜 신호를 수집하기 때문에 고유의 프로그램을 이용하여 쉽게 위치를 mapping할 수 있는 특징이 있다. 저수지 내에서 특히 깊은 물속에서 이동하여 radio tag을 이용하기 어려운 중의 경우 acoustic tag을 이용하면 보다 정확한 결과를 얻을 수 있다. 뿐만 아니라 tag의 크기에 따라 개체의 크기가 작은 경우에도 (약 150mm) 적용이 가능하기 때문에 보다 다양한 종에 적용이 가능하다. 다만 비용이 다른 방식의 electric tag에 비하여 상당히 높기 때문에 연구시 충분한 연구비가 뒷받침되어야 하는 문제점이 있다. Tag을 삽입하는 방식은 radio tag과 동일하며, 어류의 추적은 radio telemetry와 같이 직접 추적하기도 하지만 주로 고정 안테나를 설치하고 수신된 자료를 분석에 사용하기 때문에 연구가 상대적으로 용이하다. 또한 필요하면 수심, 용존산소, 수온과 같은 추가적인 환경 정보가 이동 정보와 함께 측정 가능하기 때문에 매우 효율적이라 할 수 있다. 따라서 비용적인 문제만 해결이 된다면 다른 방식들에 비해 용이하게 연구를 수행할 수 있는 매력적인 방법이다. 이 방식은 외래종과 국내 육식성어류의 분포양상

및 활동범위, 생태적 특성 등을 파악하여 외래종을 관리하고 국내 육식성 어류와의 경쟁관계를 파악하는 등 다양한 연구에 효율적으로 사용할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 다수의 다목적 댐과 보가 건설되어 있는 국내의 상황에서 유용한 결과 및 다양한 정보를 얻을 수 있는 방식이다.

맺음말

앞서 설명한 표지방법 이외에도 최근에는 GPS를 이용한 satellite tag과 같은 새로운 첨단 표지법들이 개발되면서 어류를 연구하는 방식이 날로 진보하고 있다. 하지만 국내에서는 현재까지 대부분의 연구가 고전적인 방식에 의존하고 있다. 물론 고전적인 방식을 이용한 모니터링이 중요하지만 이러한 단순한 방식을 통해서 얻는 모든 정보를 얻기는 어렵다. 또한 전세계적으로도 고전적인 방식은 기본이고 부가적으로 첨단방식을 이용한 연구가 주를 이루고 있으나 국내의 경우 이러한 흐름에 동참하지 못하고 있다. 향후 시행되는 연구들에서는 이러한 방식들을 적절하게 적용한다면 보다 용이하게 정확하며 대외적으로도 경쟁력이 있는 결과를 얻을 수 있을 것으로 판

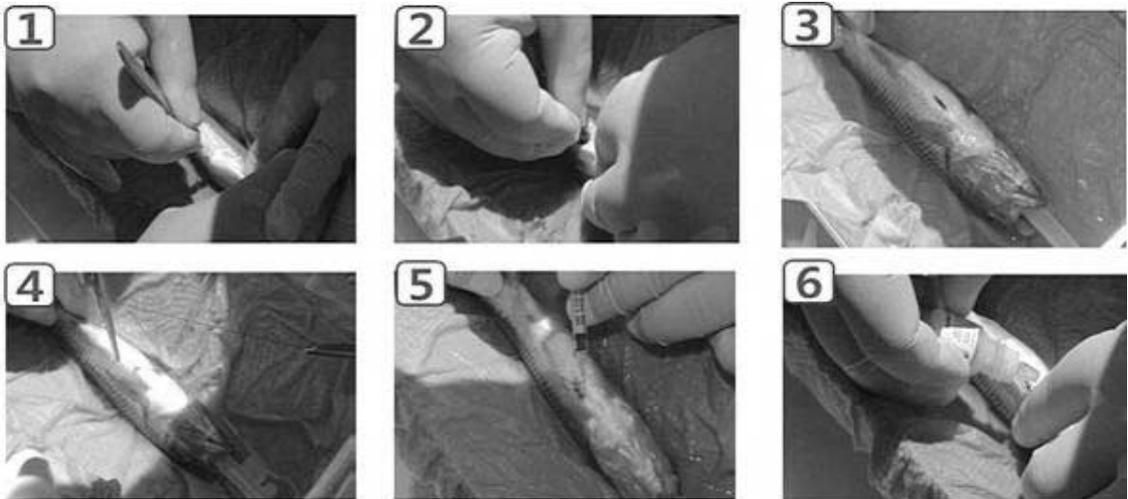


그림 3. 갈겨니 (*Zacco temminckii*)의 Acoustic tag 삽입

단된다. 특히 우리나라는 농경문화를 기반으로 하면서 과거부터 많은 수의 보가 건설되었으며, 뿐만 아니라 수자원 확보와 활용을 위해 다수의 다목적댐과 하구둑까지 건설되어 있다. 이와 같은 상황이 발생하면 회유성 어류들이 감소와 더불어, 서식종의 변화, 유전적 단절 등 다양한 문제가 발생할 수 있지만 어류가 물속에 살고 있기 때문에 확인이 쉽지 않다. 또한 하천을 가로지르는 구조물 건설시 어류의 이동을 위해 어도를 건설하지만, 이들 어도가 어류의 이동에 있어 정말 효율적인지 파악하기 어렵다. 앞서 소개한 tagging (표지법)이라는 방식을 이용하면 모든 문제

를 해결할 수는 없지만 현재까지 해결되지 않았던 문제들을 조금 더 해법이나 결과에 다가갈 수 있게 도움을 줄 수 있다. 한 가지 주의해야 할 점은 tagging 방식이 목적지향적인 연구방식이라 연구 목적이 확실하지 않으면 의미 있는 결과를 얻기가 힘든 부분이다. 따라서 확실한 전략과 목적을 설립한 이후 연구를 진행하는 것이 필요하다. Tagging 방식은 어류의 이동을 연구하는데 매우 매력적인 방식으로 적절한 활용을 통하여 국내의 담수어류의 이동연구에 큰 도움이 되었으면 한다. ☺

참고문헌

1. Jang, M.H. and Lucas, M.C. 2005. Reproductive ecology of the river lamprey. *J. Fish Biol.*, 66, 499-512.
2. Lucas, M. C. and Baras, E. 2001. *Migration of Freshwater Fishes*. Blackwell Science, Oxford, UK, pp. 352.
3. Prentice, E. F., Flagg, T. A. and McCutcheon, C. S. 1990a. Feasibility of using implantable passive integrated transponder PIT tags in salmonids. *Am. Fish. Soc. Symp.*, 7, 317-322.
4. Prentice, E. F., Flagg, T. A., McCutcheon, C. S. and Brastow, D. F. 1990b. PIT-tag monitoring systems for hydroelectric dams and fisheries. *Am. Fish. Soc. Symp.*, 7, 323-334.
5. Riley, W. D., Eagle, M. O., Ives, M. J., Rycroft, P. and Wilkinson, A. 2003. A portable passive integrated transponder multi-point decoder system for monitoring habitat use and behaviour of freshwater fish in small streams. *Fish. Manag. Ecol.*, 10, 265-268.
6. Russell, I., Parrott, D., Ives, M., Goldsmith, D., Fox, S., Clifton-Dey, D., Prickett, A. and Drew, T. 2008. Reducing fish losses to cormorants using artificial fish refuges: an experimental study. *Fish. Manag. Ecol.*, 15, 189-198.
7. Zydlewski, G. B., Haro, A., Whalen, K. G. and McCormick, S. D. 2001. Performance of stationary and portable passive transponder detection systems for monitoring fish movements. *J. Fish Biol.*, 58, 1471-1475.