「The Sea」 Journal of the Korean Society of Oceanography
Vol. 12, No. 2, pp. 112 — 120, May 2007

연어과 어류의 계군분석을 위한 기생충의 활용

김 정 호
강릉대학교 해양생명공학부

Use of Parasites for Stock Analysis of Salmonid Fishes

JEONG HO KIM
Faculty of Marine Bioscience and Technology, Kangnung National University, Kangnung 210-702, Korea

본 총설에서는 연어과 어류의 계군 분석을 위한 생물학적 표식으로서의 기생충의 유용성에 관하여 다루었다. 계군의 정의는 학자에 따라 다양하지만, 대부분은 본질적으로 서로 유사한 생물학적 특징을 가지며 타 계군과의 혼합 없이도 스스로 번식이 가능하여 일정한 규모를 유지할 수 있는 일련의 개체들의 모임을 계군으로 정의하고 있다. 이 계군을 관리하는 일은 지속적인 생산 및 소비를 위하여 매우 중요하며 특히 연어과 어류의 계군은 각국이 지속적인 자원 확보를 위하여 적극적으로 치어를 방류하고 있으며, 이는 각국의 자산으로 간주되므로 공해 상에서 각 계군을 구분하여야 한다. 계군을 구분하는 방법은 매우 다양하다. 인공 표식, 기생충과 같은 생물학적 표식, 이석 분석, 비늘 분석, 유전정보 분석 등의 방법이 있는데, 각각 장점과 단점이 있으며, 이 중에서 기생충과 같은 생물학적 표식은 별도의 비용이 들지 않는다는 장점이 있다. 기생충이 존재하는 수역을 감수성이 있는 어류가 통과할 때 이 기생충에 감염이 된다. 이후, 감염된 어류가 이동하여 기생충이 존재하지 않는 수역에서 포획될 경우, 이 개체가 기생충이 존재하는 지역을 통과하였음을 유추해 낼 수 있다. 따라서 이 개체는 기생충에 의해 자연히 표식되는 셈이 된다. 그러나 이 지역을 통과하지 않은 개체는 기생충에 의해 표식되지 않는다. 그러므로 이 생물학적 표식을 통해 각각의 계군을 구분할 수 있으며 이동 경로도 추적이 가능하다. 여기서는 연어과 어류 연구를 목적으로 기생충을 생물학적 표식으로 사용한 각종 예를 들었으며, 이 방법의 장점 및 단점 또한 서술하였다. 연어(*Oncorhynchus keta*)는 국내에 소상하는 주된 연어과 어류이며, 북태평양 전역에 분포한다. 한국산 연어는 오호츠크해를 거쳐 북서태평양 및 베링해로 이동한 후 회유하는 것으로 생각된다. 그렇지만, 한국산 연어의 공해 상에서 분포 및 회유 경로에 대해서는 확실하게 알려지지 않은 부분이 많으며 한국산 연어 계군을 타 계군과 확실하게 구분할 수 있는 표식도 아직까지는 존재하지 않는다. 여기에서는 기생충에 관한 정보를 포함한 한국산 연어의 계군 분석에 대한 최근의 연구 결과에 관하여 마지막으로 언급하였다.

This paper reviews the use of parasites as 'biological tags' for studying stock analysis of salmonid fishes. Numerous definitions of stock concepts exist, but most of them essentially define a group of fish as having similar biological characteristics and being self-reproducing as stocks. It is important to manage fish stocks for human consumption and sustainable production and especially for salmonid fishes. Because these fry are considered as each country's property, it is necessary to identify and discriminate each fish stock in the open sea. Methods of separating fish stocks are very diverse. Artificial tags, parasites, otoliths, scales, and genetic characters have been used for stock analysis and each method has advantages and disadvantages. Of these, parasites can be good biological tags because they are applied by nature at no cost. Parasites can be infected with susceptible host fishes when they enter into certain areas. Then if they move to the outside and are caught, researchers can infer that the fish had been in the endemic area for a period of time during their life. Hence, the host fish can be considered as naturally 'tagged' by parasites. However, if they do not pass the parasites-endemic area, they will harbour no parasites. Therefore, researchers can discriminate each fish stocks and trace their migration routes with these biological tags. In this paper, several examples on the use of parasites as biological tags for studying salmonids, as well as other species, are listed. The advantages and limitations of parasites as biological tags are also discussed. Chum salmon (*Oncorhynchus keta*), the main salmonid species migrating to Korea, is distributed all around the North Pacific. Korean chum salmon are generally thought to move to the Sea of Okhotsk, the western North Pacific and the Bering Sea. However, there is no clear information on the distribution and migration pathways of Korean chum salmon, and no markers exist

*Corresponding author: jhkim70@kangnung.ac.kr

for separating them from others yet. Recent Korean chum salmon stock analysis including parasites information are mentioned.

Key words: Biological Tags, Parasites, Salmonid, Chum Salmon

서 론

연어(chum salmon, *Oncorhynchus keta*)는 북태평양 지역에 서식하는 연어과 어류 중에서 가장 넓게 분포하고 있어 서쪽으로는 한국, 일본에서부터 러시아의 베링해, 오호츠크해, 캐나다, 미국의 오레곤주 연안에까지 분포하고 있다(Salo, 1991). 다른 연어·송어 어류와 마찬가지로 이들 연어도 산란을 위하여 모천으로 회귀하는 습성을 지니고 있으며, 따라서 공해상의 연어들은 산란을 위하여 제각기 다른 모천으로 회귀하게 된다. 그러므로 공해 상에서 연어들은 하나 이상의 계군이 혼합되어 있는 셈이 되며, 결국 계군에 따라서 다른 모천으로 회귀할 운명을 지니고 있는 셈이 된다. 그런데, 각각의 계군에 속하는 연어들의 모천 회귀 경로가 서로 겹치는 경우가 발생하며 특히 각 국가가 설정한 배타적인 경제수역을 통과할 때 포획되는 연어자원에 대해 국가간의 이해관계가 상충하는 경우들이 발생한다.

연어 계군의 구분은 특정 계군의 경로를 추적하여 지역적인 분포 및 계절적인 분포에 관한 정보를 알아내고, 특정 계군과 타 계군을 구별하는 등 생물학적인 목적과 이러한 정보들을 바탕으로 지속적인 자원유지를 영위하기 위한 현실적인 목적을 위해 필요하다. 특히 지속적인 자원유지를 위해 각 국가가 연어과 어류의 종묘를 적극적으로 방류하고 있는 현재, 공해상에서 포획되고 있는 연어는 특정국가의 잠재적인 '재산'이므로 연어 계군을 구분해 낼 수 있는 방법이나 혹은 표식(marker)을 개발하는 일이 필요하다.

어류의 계군

어류의 '계군(stock)'에 관한 정의는 학자에 따라 조금씩 다르며, Hilborn and Waters(1992)에 의하면 자체적으로 번식이 가능할 정도의 충분한 개체수로 구성된 어류의 한 무리를 의미하며 이들 무리를 구성하고 있는 각 개체들이 공통적으로 유사한 이력을 가지고 있어야 한다. 이러한 유사성은 유전하는 것이 아니라 외부 환경에 의해 유도되는 것이며 따라서 한 계군 내에 유전적으로 구분되는 다수의 소집단(subpopulation)이 있을 가능성이 있다(Begg and Waldman, 1999). 반면, 유전적으로 서로 혼합되지 않는 지리적으로 격리된 집단을 계군으로 정의하는 학자도 있다(Ovenden, 1990). 또한, 시간적 또는 공간적으로 격리되어 있으면서 주변의 다른 집단들과 구별될 정도의 충분히 독립적으로 생식이 이루어지는 집단을 계군으로 정의하기도 하며, 이러한 집단간의 차이는 인위적인 표식 혹은 각종 생물학적 차이로 구분할 수 있다. 이처럼 계군은 학자에 따라, 혹은 관점에 따라 다양하게 정의를 내릴 수 있으며, 특정 계군을 정의하고 분석, 계군의 성장, 가입량, 자연 사망률, 어획에 의한 사망률, 이동 경로 등을 분석하여 계군을 관리하는 일은 계군이 고갈되지 않고 지속적인 어획고를 올리기 위하여 필요하다.

현재 어류 계군을 구분하기 위한 방법은 1) 인공적인 표식 (artificial tags)을 포획한 어류에 부착한 후 방류하여 일정 기간 후 다시 포획하는 방법(Sanchez-Lamadrid, 2001; Welsh *et al.*, 2003; Robichaud and Rose, 2004), 2) 어류가 서식환경에서 자연히 감염될 수 있는 기생충과 같은 생물학적 표식(biological tags)을 사용하여 감염된 기생충의 종간 차이 혹은 감염율의 차이를 비교하는 방법(Castro-Pampillon *et al.*, 2002; Oliva and Ballon, 2002; Melendy *et al.*, 2005), 3) allozyme, microsatellite DNA, RFLP, mitocondrial DNA 등 유전적 표식(genetic markers)을 사용하여 유전적 정보의 차이를 비교, 분석하는 방법(Hansen *et al.*, 2001; Gilbey *et al.*, 2005; Schönhuth *et al.*, 2005), 4) 이석을 분석하여 구성성분의 종류 및 차이를 비교하는 방법(DeVries *et al.*, 2002; Rooker *et al.*, 2003; Swan *et al.*, 2006), 5) 이외에 형태학적 차이를 가지고 구분하는 방법 등이 있다.

이러한 각 방법들은 제각기 장, 단점이 있다. 예를 들면 인공적인 표식을 부착하는 방법은 계군 분석을 위해 가장 오랜 동안 사용해 온 방법이며, 결과 분석이 용이하고 숙련된 전문가가 아니더라도 자료 수집을 할 수 있다. 단점으로는 표식 작업에 의해 개체가 폐사하거나 행동이상을 보일 가능성이 있으며 이후 표식이 소실될 가능성도 존재한다. 최근에는 이러한 단점들을 개선한 인공표식들이 많이 개발되어 있기는 하지만, 완벽하게 이러한 문제들을 해결한 인공표식은 아직 개발되어 있지 않다. 또한, 표식을 부착한 후 방류하므로 자료 수집 및 결과 분석을 위해서는 다시 포획을 해야 하는 번거로움이 있다.

생물학적 표식을 이용하는 방법은 어류에 기생하는 기생충을 이용하게 되는데 인공 표식과 같이 인위적으로 표식하는 작업이 불필요하며 일상적인 어획 후에 감염되어 있는 기생충을 조사, 분석하므로 번거롭지 않다. 그러나, 기생충은 생물이므로 이들의 개체수는 주변 환경에 따라, 그리고 그들이 기생하는 숙주의 개체 수의 변화에 따라 영향을 받을 수 있다. 또한 기생하는 숙주 역시 생물이므로 주변 환경에 따라 개체 수가 변화할 수 있다. 하지만, '생물학적 표식'으로서의 기생충은 '표식'이므로 주변 환경의 변화와 관계없이 시간이 지나도 안정적이어야 한다. 따라서 조사 대상이 되는 계군간 기생충의 차이가 존재할 때 이를 진정한 계군간의 차이로 보아야 하는지, 아니면 주변 환경의 변화 혹은 기생충의 중간 숙주가 되는 다른 생물의 개체수 변화에 의한 것인지를 구분해야 한다. 이를 위해서는 장기간에 걸쳐 특정 기생충의 감염율을 조사하여 '생물학적 표식'으로서 사용이 가능한 기생충을 결정해야 한다.

유전 정보의 차이를 비교, 분석하는 방법의 장점은 모든 개체가 태어날 때부터 가지고 있는 유전정보를 이용하는 방법이므로 이미 모든 개체들은 표식되어 있는 셈이 된다. 따라서 표식작업을 위한 비용이 따로 들지 않으며, 유전적인 정보는 단기간의 환경변화에 의해 영향을 받지 않으므로 일단 기준을 정하면 빈번히 이 기준을 수정할 필요는 없다. 하지만, 유전적인 정보 중 기준으로

삼을 수 있는 정보를 찾아내어 결정하기까지의 시간 및 비용이 많이 소요된다. 한편, 형태학적 분석이나 이석을 분석하는 방법은 주변 환경의 변화에 따라 비교적 영향을 쉽게 받으므로 결과 해석에 신중을 기해야 한다.

계군을 구분할 때 특정한 한 가지 방법에 의해 항상 손쉽게 명확한 결과가 나오지는 않는다. 이론적으로 어떠한 기준에 의해 분석한 결과가 계군이 확실하게 구분될 정도로 명확하다면 문제가 발생하지 않으나 많은 경우에 특정 지역에서 2개 이상의 계군을 구성하고 있는 개체들이 혼합되어 존재하므로 계군의 구분 및 분석이 복잡해진다. 따라서, 일반적으로 계측치의 계군 간의 차이가 계군 내의 차이보다 월등히 커야 하는 전제조건을 가지고 분석을 행한다(Waldman, 1999). 실제로 동일한 지역의 어종에 대해 서로 다른 방법으로 계군을 분석하여 상이한 결과를 보이는 경우들이 종종 있으며, 최근에는 어떤 어종의 계군을 구분, 분석하는 데 있어서 다양한 방법을 함께 사용(holistic approach)하는 것을 권장하고 있다. 즉, Begg and Waldman(1999)은 유전정보를 사용하는 방법 1가지와 표현형을 기준으로 하는 방법 1가지를 함께 사용할 것을 제안하였으며, 2가지 이상의 방법을 병용하여 다방면에서 종합적으로 결과를 분석, 계군을 구분한 연구논문도 최근 발표되고 있다(Larsen *et al.*, 1997; Begg, 1998; Ayvazian *et al.*, 2004; Farina *et al.*, 2004; Fritsch *et al.*, 2007). 여기서는 기생충을 생물학적 표식으로 사용하여 어류의 계군 분석 등 여러 다양한 목적에 사용한 예를 살펴보고 그 중 연어과 어류를 대상으로 연구한 예를 중점적으로 살펴보기로 한다.

생물학적 표식을 사용한 계군 분석

기생충이란 다른 생물의 체내 혹은 체표에서 일정 기간 혹은 일생을 보내면서 그 생물로부터 영양분 등 어떤 이득을 취하는 생물을 의미한다(Matthews 1998). '기생충'이라는 단어를 듣고 대부분의 사람이 떠올리는 이미지는 '기괴한 형태를 하고 사람에게 좋지 않은 영향을 주는 기분 나쁜 생물'일 것이다. 또한 어류의 기생충이라고 하면 역시 이러한 기분 나쁜 생물이 식용으로 하는 어류 체내에 존재하여 어류 및 이를 섭취한 사람에게 큰 피해를 준다고 생각하는 경우가 대부분이다. 그러나 어류에서 영양분을 무차별적으로 착취하여 어류에게 강한 병원성을 보이는 기생충은 의외로 많지 않다. 왜냐하면, 기생의 대상인 어류가 죽으면 어류에 기생하고 있던 기생충도 결과적으로 자손을 남기지 못한 채 죽기 때문이다. 오히려 어류에 기생하고 있는 기생충을 추적함으로써 대상 어류의 식성, 이동 경로, 서식 환경의 변화 등 다양한 정보를 얻어 낼 수 있다. 이러한 의미에서 기생충을 생물학적 표식 'biological tags'이라는 용어를 사용하여 표현한다.

'생물학적 표식(biological tags)'이 인공 표식과 비교하였을 때 갖는 장점을 MacKenzie and Abaunza(1998)는 다음과 같이 서술하였다. ① 인공표식작업이 어렵거나 불가능한 소형 어류, 심해 어류, 갑각류 계군을 연구할 때 유용하게 쓰일 수 있다. ② 인위적인 표식을 부착하는 작업이 생략되므로 비용 및 노동력이 절감되며 일상적인 시료채취작업만으로 시료를 쉽게 얻을 수 있다. 일단 감염되어 있는 기생충을 사전 조사하여 '생물학적 표식'으로 사용할 지표종을 선정하고 나면 이후 작업은 간편해진다. ③ 인공표식을 인위적으로 부착했을 때 발생할 가능성이 있는 어류의 비정상적 행동을 최소화 할 수 있다.

그러나, 기생충을 생물학적 표식으로 사용하려 할 경우, 모든 기생충이 생물학적 표식으로 사용될 수 있는 것은 아니다. 예를 들어 목표로 하는 기생충의 생활사가 매우 복잡하여 어류에 단시간만 기생하고 숙주인 어류를 떠나는 경우, 또는 기생충의 생활사 자체가 충분히 알려져 있지 않은 경우에는 생물학적 표식으로 이용하기가 곤란하다. 또한, 기생충을 특정 어류의 생물학적 표식으로 사용하기 위해서는 그 어류에 기생하고 있는 기생충에 관해 상세한 정보, 예를 들어 특정한 어류에 기생하고 있는 기생충의 종류 및 학명, 생활사 등을 알고 있어야 한다는 것이 전제 조건이 된다. 따라서 어류에 기생하는 기생충이 모두 생물학적 표식으로서 사용될 수 있는 것은 아니며 MacKenzie(1983)는 생물학적 표식으로 사용될 수 있는 기생충의 조건으로서 ① 숙주가 되는 어류에 기생하는 기생충의 기생률이 비교하고자 하는 지역 간에 차이를 나타내는 기생충, ② 시료 채집 과정 중에 쉽게 숙주로부터 탈락하거나 소실되지 않는 기생충, ③ 대량의 시료를 채집, 처리하는 경우가 대부분이므로 시료에서 기생충을 채취하는 방법이 간단하며, 가급적 특정 부위에만 기생하는 기생충, ④ 형태학적으로 매우 유사한 다른 종이 존재하지 않아 동정이 용이한 기생충, ⑤ 연구기간 중에 사멸되지 않고 충분히 오랜 기간동안 생존하며 가급적 다른 숙주로 자유로이 이동하지 않는 기생충, ⑥ 병원성이 강하지 않으며 숙주의 생사, 행동 등에 영향을 주지 않는 기생충(병원성이 강하여 기생한 숙주를 폐사시키는 기생충은 생물학적 표식으로 사용할 수 없다), ⑦ 생활사가 복잡하지 않은 기생충(생활사가 단순하여 중간숙주를 필요로 하지 않는 기생충이라면 이론적으로 감염된 어류와 감염되지 않은 어류 간의 물리적인 거리가 충분하지 않은 한 감염이 불가능하므로 생물학적 표식으로서 계군 분석에 이용할 수 있다) 등을 들었다.

어류에는 분류학상으로 단세포 생물에 속하는 섬모충, 편모충, 미포자충 등에서 다세포 생물인 점액포자충, 흡충, 선충, 조충, 기생성 갑각류에 이르기까지 다양한 범주에 속하는 기생충들이 기생하고 있다. 다세포 생물의 경우에는 수생 무척추 동물 및 다른 수생 척추동물을 중간숙주로 취하면서 어류에 기생하는 기생충인 것들이 많으며, 이들을 생물학적 표식으로 이용하면 그 어류가 포식한 먹이생물의 종류, 어류의 식성 등을 알아낼 수 있으며, 먹이가 되는 생물의 지리적인 분포 등에 대한 정보도 아울러 얻어낼 수 있다.

실제로 어류에 기생하는 기생충이 어류의 계군 연구 및 분석에 사용된 예를 Table 1에 정리하였다. 북서 대서양에 서식하는 Greenland halibut(*Reinhardtius hippoglossoides*)에 기생하는 기생충을 조사한 결과에 의하면 선충류에 속하는 *Anisakis simplex*, *Ascarophis* sp., *Contracaecum* sp., 및 흡충류에 속하는 *Brachyphallus crenatus, Steganoderma formosum* 및 *Stenakron vetustum*의 기생율의 차이로 뉴펀들랜드 지역을 중심으로 한 캐나다 연안의 계군, 남서 그린랜드 지역을 중심으로 한 계군, 동부 그린랜드 및 아이슬란드 지역을 중심으로 하는 계군의 3계군으로 구분할 수 있었다(Boje *et al.*, 1997).

칠레 연안에 서식하는 볼락의 일종인 *Sebastes capensis*의 계군 분석 역시 기생충을 '생물학적 표식'으로서 사용하여 이루어졌으

Table 1. List of fish parasites as biological tags mentioned in this study

Fish species	Parasite species	References
Greenland halibut (*Reinhardtius hippoglossoides*)	*Stenakron vetustum* (D) *Brachyphallus crenatus* (D), *Steganoderma formosum* (D), *Anisakis simplex* (N), *Ascarophis* sp. (N), *Contracaecum* sp. (N)	Boje *et al.*, 1997
false jacopever (*Sebastes capensis*)	*NL	Oliva and Gonzalez, 2004
Southern hake *(Merluccius australis)* Argentine hake (*Merluccius hubbsi*)	*NL	MacKenzie and Longshaw, 1995
Atlantic cod (*Gadus morhua*)	*Loma branchialis* (P), Ascaridoid nematoda (N) *Pseudoterranova decpiens* (N) *Echinorhynchus gadi* (A) *Lernaeocera branchialis* (Co)	Khan and Tuck, 1995
Pacific herring (*Clupea harengus pallasi*)	*Parahemiurus merus* (D), *Lacitrohunchus dollfusi* (C), *Anisakis simplex* (N), *Contracaecum* sp. (N), *Hysterothylacium* sp. (N)	Moser and Hsieh, 1992
Indo-Pacific sailfish (*Istiophorus platypterus*)	*Cardicola grandis* (D), *Callitetrahynchus gracilis* (C), *Otobothrium dipsacum* (C), *Penella instructa* (Co)	Speare, *1995*
Patagonian grenadier (*Macruronus magellanicus*)	*NL	Oliva, 2001
white hake (*Urophycis tenuis*)	*Diclidophoroides maccallumi* (M), *Capillaria gracilis* (N), *Hysterothylacium aduncum* (N)	Melendy *et al.*, 2005

Note: (P), Protozoa; (M), Monogenea; (D), Digenea; (N), Nematoda; (C), Cestoda; (A), Acanthocephala; (Co), Copepoda.
*Not listed in this table. To check the detailed lists of parasite species in each study, refer the literature cited in the table.

며, 두 지역에서 포획된 *S. capensis*에서 발견되는 총 18종의 기생충 중에서 각각의 지역에서만 발견되는 기생충이 10종 및 3종이므로 이들을 사용하여 *S. capensis*의 계군 분석이 가능하다고 하였다(Oliva and Gonzalez, 2004). MacKenzi and Longshaw는 칠레 및 아르헨티나 연안에 서식하는 *Merluccius australis* 및 *Merluccius hubbsi*는 형태학적으로 매우 유사하여 구별이 쉽지 않으나 감염되어 있는 기생충상(parasitic fauna)의 차이로 구별이 가능하다고 언급하였다(MacKenzie and Longshaw, 1995). 또한, Khan and Tuck(1995) 는 캐나다의 뉴펀들랜드 연안에 서식하는 대서양대구(*Gadus morhua*)의 계군 분석을 위해 감염되어 있는 기생충을 조사한 결과 선충류에 속하는 *Pseudoterranova decpiens*를 비롯한 5 종의 기생충 감염율의 차이에 따라 계군을 구분할 수 있으며, 기존의 인공 표식을 사용한 계군의 구분과 일치한다고 하였다. 캘리포니아 연안에 서식하는 pacific herring(*Clupea harengus pallasi*)에 기생하는 기생충을 조사한 결과에서도 조충류에 속하는 *Lacitrohunchus dollfusi*, 흡충류에 속하는 *Parahemiurus merus*, 선충류에 속하는 *Anisakis simplex, Contracaecum* sp., *Hysterothylacium* sp.가 생물학적 표식으로 쓰일 가능성이 언급되었다(Moser and Hsieh, 1992).

Speare는 호주 동부 연안에 서식하는 돛새치 *Istiophorus platypterus*에 기생하는 기생충을 조사하여 흡충에 속하는 *Cardicola grandis*, 조충에 속하는 *Callitetrahynchus gracilis, Otobothrium dipsacum*, 갑각류에 속하는 *Penella instructa*의 기생률의 차이로 계군의 구분 및 이동경로 추적이 가능하다고 하였다(Speare, 1995). 또한, 칠레 남부 연안에 서식하는 *Macruronus magellanicus*에서 발견되는 기생충상의 변화로 계군의 이동경로 추적이 가능하다고 하였으며(Oliva, 2001), 캐나다의 세인트로렌스만 연안에 서식하는 white hake(*Urophycis tenuis*)의 이동경로 추적을 위해 단생흡충류에 속하는 *Diclidophoroides maccallumi*, 선충에 속하는 *Capillaria gracilis, Hysterothylacium aduncum*을 생물학적 표식으로 사용한 연구도 있다(Melendy *et al.*, 2005).

생물학적 표식을 사용한 연어과 어류의 계군 분석

연어과 어류는 담수와 해수를 왕복하는 특징을 지니고 있으므로 이러한 연어에 기생하는 기생충도 담수유래 기생충과 해수유래 기생충이 존재한다. 연어는 부화 후 일정 기간을 담수에서 서식하므로 이 때 감염되는 기생충을 추적, 연구함으로써 서식 환경의 물리, 화학적 정보 및 생물학적 정보(기생충의 중간 숙주가 되는 각종 무척추동물에 관한 정보, 기생충의 종숙주가 될 수 있는 조류 혹은 포유류에 관한 정보)를 간접적으로 얻어낼 수 있다. 또한 연어가 바다로 이동한 후에는 담수유래 기생충은 대부분 소실되며, 일부 근육 내의 유충들은 비교적 오랜 동안 생존하며 이들은 공해 상에서 포획된 개체가 유래한 하천을 추적할 때 이용할 수 있다. 또한, 바다로 이동한 후에 다양한 해수유래 기생충의 감염이 발생하며 이들을 조사함으로써 산란을 위해 소상할 때 이동

경로의 역추적이 가능하다. 연어과 어류는 담수에서 일정기간 성장한 후, 해수로 이동하면서 공해 상에서 서로 유래를 달리하는 계군들이 혼합되어 존재하므로 계군이 혼합되기 이전에 특정 지역에서만 감염되는 기생충이 있다면 생물학적 표식으로서 계군의 구분에 적용할 수 있을 것이다. 또한, 이 기생충은 연어가 해수에서 생활하는 동안에 사멸되지 않을 정도로 충분히 수명이 길어야 한다. Margolis(1998)는 연어과 어류 등 소하성 어류의 생물학적 표식으로 사용될 수 있는 기생충의 조건으로서 ① 담수에서 감염이 성립되어야 하며 해수에서 타 숙주로 전염되지 않는 기생충, ② 숙주인 연어과 어류와 동일하게 담수역에 제한적으로 존재하는 기생충, ③ 수명이 숙주인 연어과 어류가 해수에서 생활하는 기간동안 충분히 살아남을 정도로 긴 기생충 등을 들었다. 이러한 조건을 만족시키는 기생충은 의외로 많지 않으며, 조사하려는 어종에 존재하는 기생충의 종에 관한 방대한 사전 정보 및 특정 기생충이 생물학적 표식으로 사용할 수 있을 정도로 장기간에 걸쳐 지역간 감염율이 일정하게 차이를 나타내는가의 여부 등을 결정하여야 하므로 생물학적 표식이 될 종을 결정하는 작업은 시간과 인내가 요구된다. 하지만 일단 생물학적 지표종이 결정되면 이후의 과정은 일상적인 채집 후 기생충의 감염율을 조사하면 되므로 비교적 손쉽게 일을 진행할 수 있는 장점을 가지고 있다.

연어과 어류에 기생하는 기생충에 관한 총설로서는 Buchmann *et al.*(1995)이 무지개 송어에 기생하는 기생충에 관한 check list를 정리하였으며, Nagasawa *et al.*(1987)이 일본 국내에 서식하는 연어과 어류에 대하여 방대한 목록을 발표하였다. 이에 따르면 총 18 종의 연어과 어류에 94종의 기생충이 기생하는 것으로 알려져 있으며, 이 중에서 국내에서 주로 방류하고 있는 연어(*O. keta*)를 살펴보면 약 40종의 각종 기생충이 기생하고 있다. 이 중에서 담수 유래인 기생충은 16종이며, 해수 유래의 기생충은 24종이다(Margolis, 1982). 기생충은 분류학적 위치 및 학명이 변경되는 경우가 종종 발생하므로 종수에는 현재와는 다소 차이가 있을 가능성이 있다.

연어과 어류의 계군 분석에 사용된 기생충은 Table 2에 정리하였으며, 이러한 시도 중 sockeye salmon(*Oncorhynchus nerka)*을 사용하여 행한 Margolis(1992) 및 Konovalov(1995)의 연구가 유명하다. 이들은 *O. nerka*의 계군을 식별하기 위하여 대규모 채집 후 감염되어 있는 기생충들을 조사 분석한 결과, 아시아 지역의 *O. nerka* 계군에는 소화관 내에 선충에 속하는 *Truttaedacnitis truttae*가 특징적으로 기생하며 북미 지역의 *O. nerka* 계군에는 조충에 속하는 *Triaenophorus crassus*의 plerocercoid가 기생하고 있음을 밝혀냈다. 이들은 모두 담수유래 기생충이며, 따라서 이 2 종의 기생충의 감염율의 차이에 따라 공해상에서 포획되는 *O. nerka*의 계군 구분이 가능함을 시사하였다. 또한 Awakura *et al.*(1995)은 시마연어 *Oncorhynchus masou*의 뇌 및 척수에 기생하는 점액포자충 *Myxobolus arcticus*와 *M. neurobius*를 조사하여 계군에 따라 감염율에 차이가 있다고 하였다. 즉, 홋카이도 연안에서 포획된 시마연어에는 *M. neurobius*가 주로 감염되어 있으며, 혼슈 연안에서 포획되는 시마연어에는 *M. arcticus*가 주로 감염되어 있음을 밝혀냈다. 또한 오호츠크해에서 포획되는 시마연어에는 두 종의 *Myxobolus*에 각각 감염되어 있는 개체들이 혼합되어 있다고 하였다. *Myxobolus*는 담수 유래 기생충이므로 이 결과를 토대로

Table 2. List of salmonid parasites as biological tags mentioned in this study

Fish species	Parasite species	References
sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*)	*Myxobolus arcticus* (My) *Triaenophorus crassus* (C) *Truttaedacnitis truttae* (N)	Margolis, 1992; Konovalov, 1995; Urawa and Nagasawa, 1995
masu salmon (*Oncorhynchus masou*)	*Myxobolus arcticus* (My), *Myxobolus neurobius* (My)	Awakura *et al.*, 1995
chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*)	*Myxobolus arcticus* (My), *Myxobolus kisutch* (My)	Urawa and Nagasawa, 1995; Urawa *et al.*, 1998, 2006
coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*)	*Myxobolus arcticus* (My), *Myxobolus kisutch* (My)	Urawa and Nagasawa, 1995; Urawa *et al.*, 1998, 2006
pink salmon (*Oncorhynchus gorbuscha*)	*NL	Urawa and Nagasawa, 1995
chum salmon (*Oncorhynchus keta*)	*Brachycephallus crenatus* (D), *Lecithaster salmonis* (D), *Pelichnibothrium speciosum* (C) *Tentacularia* sp. (C), *Eubothrium* sp. (C), *Nybelinia* sp. (C), Unidentified cestoda, *Anisakis* sp. (N), *Anisakis simplex* (N), *Contracaecum* sp. (N), *Hysterothylacium* sp. (N), *Lepeophtherius salmonis* (Co)	Urawa and Nagasawa, 1995; Kim *et al.*,1990; Kim *et al.*, 2005
brook charr (*Salvelinus fontinalis*)	*NL	Frimeth, 1987
charr (*Salvelinus alpinus*)	*Brachycephallus crenatus* (D), *Prosorhynchus squamatus* (C) *Eubothrium salvelini* (C), *Protocephalus longicolli* (C)	Dick and Belosevic, 1981

Note: (P), Protozoa; (My), Myxospora; (M), Monogenea; (D), Digenea; (N), Nematoda; (C), Cestoda; (Co), Copepoda.
*Not listed in this table. To check the detailed lists of parasite species in each study, refer the literature cited in the table.

시마연어의 이동 경로를 추적할 수 있다고 하였다.

Urawa and Nagasawa(1995)은 북태평양 및 베링해에서 chinook salmon(*Oncorhynchus tshawytscha*), sockeye salmon(*O. nerka*), coho salmon(*O. kisutch*), pink salmon(*O. gorbuscha*), chum salmon(*O. keta*) 등 5종의 *Oncorhynchus* 속 어류를 채집하여 조사한 결과, chinook salmon, sockeye salmon, coho salmon에서는 *M. arcticus*의 감염이 확인되었으나 chum salmon과 pink salmon에서는 *M. arcticus*가 발견되지 않았으며, chinook salmon에서 *M. arcticus*의 감염율이 계군에 따라 차이가 난다고 하였다. 즉, 베링해 및 알라스카만 지역에서 포획된 chinook salmon에는 *M. arcticus*가 거의 기생하지 않으나 북서태평양 지역에서 포획되는 chinook salmon에는 높은 비율로 기생한다고 하였다. 아시아 지역의 계군에는 감염율이 57~94%이지만 북아메리카 지역의 계군은 매우 드물게 감염이 발견되므로(Urawa *et al.*, 1998), chinook salmon의 아시아 계군의 생물학적 표식으로서 *M. arcticus*가 유용하게 사용될 가능성이 있다.

*Myxobolus kisutch*는 chinook salmon 및 coho salmon에 감염하며, 미국의 컬럼비아 강 등 워싱턴 주의 하천에서 주로 발견되는 점액포자충이다. 아시아 유래의 chinook salmon 계군에는 거의 발견되지 않으므로 특정 계군을 구별해 내는데 좋은 생물학적 표식으로 사용할 수 있다(Urawa *et al.*, 1998; Urawa *et al.*, 2006).

또한 계군의 구분 뿐 아니라 연어과 어류의 이동 경로, 식성 등의 조사를 위해서도 기생충이 생물학적 표식으로 사용될 수 있다. 예를 들어 *Salvelinus* 속에 속하는 brook charr(*Salvelinus fontinalis*)의 강해형과 육봉형을 구분하기 위하여 해산 기생충의 감염 여부를 조사하거나(Frimeth, 1987), 동일한 *Salvelinus* 속에 속하는 *S. alpinus*의 강해형과 육봉형을 구분하기 위해 기생충을 조사, 강해형의 생물학적 지표로서 해수산으로 흡충에 속하는 *Brachycephallus crenatus, Prosorhynchus squamatus* 등이, 육봉형의 생물학적 지표로서 담수산 조충류에 속하는 *Eubothrium salvelini, Protocephalus longicolli* 등이 사용될 수 있다(Dick and Belosevic, 1981).

소화관 내용물을 조사함으로써 연어과 어류의 먹이생물을 파악할 수 있지만, 대부분의 어류 기생충이 중간숙주를 경유하여 어류에 감염되는 사실을 고려하면 감염되어 있는 기생충을 조사하여 어류의 식성을 알아내는 방법도 가능하다. 그러나 기생충의 생활사가 확실하게 밝혀져 있어야만 분석이 가능하며, 중간숙주가 되는 생물에서의 기생률 및 어류에 섭취된 후의 생존률 등 분석에 영향을 줄 수 있는 요소들이 많으므로 아직까지 이러한 연구가 많지는 않다.

국내에 주로 소상하는 연어(*O. keta*)에 기생하는 기생충에 관해 조사한 논문은 현재 김 등(1990)이 조사한 논문이 유일하며 흡충류에 속하는 *Brachycephallus crenatus, Lecithaster salmonis*, 조충류에 속하는 *Pelichnibothrium speciosum, Tentacularia* sp., 선충류에 속하는 *Anisakis* sp. 등이 연어에서 발견되었다. 이들 중 *B. crenatus* 및 *L. salmonis*는 연어과 어류에 흔하게 발견되는 기생충이며, *P. speciosum*은 연어과 어류에서 감염이 보고된 예가 단 한 번 밖에 없어(Schölz *et al.*, 1998), 존재 자체가 불확실하다. 최근 Kim *et al.*(2005)은 국내에 소상하는 연어(*O. keta*) 80 개체에서 흡충류에 속하는 *B. crenatus*, 조충류에 속하는 *Eubothrium* sp., *Nybelinia* sp.와 미동정된 조충류 1종, 선충류에 속하는 *Anisakis simplex*, *Contracaecum* sp., *Hysterothylacium* sp. 의 유충, 갑각류에 속하는 *Lepeophtherius salmonis* 등 총 8종의 기생충을 발견, 감염율을 조사하였다. 소규모로 단기간에 행한 연구결과이므로 타 계군과의 비교는 곤란하며, 보다 대규모로 장기간에 걸친 연구 조사가 필요하다. 또한, 가까운 일본에서는 신경계에 기생하는 점액포자충 *M. arcticus*의 감염율을 조사한 연구결과가 있어(Urawa and Nagasawa, 1995), 국내산 연어에 기생하는 *M. arcticus*의 감염율도 조사할 필요가 있으리라 생각된다.

국내 연어과 어류의 계군 분석

우리나라 동해안에 소상하는 연어과 어류는 연어(*Oncorhynchus keta*) 및 시마연어(*Oncorhynchus masou*) 의 2종류가 있으며, 주로 회귀하는 종은 연어이다(성 등, 2001). 연어는 분포지역이 한국에서 북아메리카 오레곤주에 이르기까지 매우 넓으며(Salo, 1991), 부화한 개체가 바다로 내려가 성장한 후 다시 태어난 모천으로 회귀할 때까지 계군에 따라 오호츠크해, 베링해 및 알라스카 만 등 넓은 범위의 지역에서 서식한다. 이 때, 계군에 따라 서식지역이 지리적으로 반드시 확실하게 구분되는 것이 아니라 지역에 따라 1개 이상의 계군에서 유래하는 개체들이 함께 존재하는 경우들이 많다. 따라서, 공해상에서 포획된 개체가 어느 국가의 하천에서 유래하는가에 관한 부분이 중요한 문제가 될 수 있다. 더군다나 각 국가에서 인위적으로 종묘를 대량 생산하여 적극적으로 방류하고 있으므로 각국이 소유권을 주장할 수 있는 중요한 대상이기도 하다.

연어(*O. keta*)의 계군 구분에 관한 연구는 인공표식을 사용한 연구(Ogura, 1994), 이석을 사용하여 분석한 연구(Kang *et al.*, 2003), 유전 정보를 사용한 연구(Beacham and Candy, 2005), 기생충을 사용한 연구(Urawa and Nagasawa, 1995), 이석 분석 및 유전정보를 사용한 연구(Urawa *et al.*, 2000) 등이 있다. 특히 최근에는 유전자를 이용한 다양한 방법이 시도되어 allozyme 분석법, microsatellite DNA 염기배열 분석, 미토콘드리아 DNA를 이용한 RFLP 분석, 미토콘드리아 DNA의 sequence 분석 등의 방법으로 연어의 계군분석을 수행하였다(Seeb and Crane, 1999; Beacham and Candy, 2005; Sato *et al.*, 2004). 이들의 연구 결과 및 최근에 개발된 미토콘드리아 DNA microarray 법을 사용하여 분석한 결과(Moriya *et al.*, 2007)에 의하면 연어의 계군은 일본 유래 계군, 북아메리카 유래 계군, 러시아 유래 계군으로 대략 나눌 수 있으며 공해 상에서 일본 유래 계군은 베링해의 동부 및 중앙 해역, 러시아 계군은 베링해의 서부 및 남부 해역, 북아메리카 계군은 알류산 열도 해역에 주로 분포한다고 하였다.

국내산 연어의 계군 분석을 위한 연구는 이석 내에 포함된 미량원소를 분석한 연구(Sohn *et al.*, 2005; Kang *et al*, 2003), 인공표식 및 온도 자극 표지 후 추적한 연구(이 등, 2006), microsatellete DNA 염기배열 및 미토콘드리아 DNA의 염기배열 일부를 분석한 연구(정 등, 2003) 등이 있다. 우리나라 연어 계군은 유전적으로 일본 계군과 동일한 것으로 추정되며, 일부는 일본 계군과 구분되는 유전적인 특징을 가지고 있는 것으로 보이지만(정 등, 2003) 아직까지 국내산 연어를 다른 주변국가에서 유래하는 연어와 명확하게 구별해 낼 수 있는 유전적 표지는 개발되어 있지 않으며 타 계군과의 유전적 관계도 아직 명확하지 않다. 이는 연어 치어의

방류량이 해마다 증가하고 있긴 하지만 다른 국가와 비교하였을 때 미미한 수준인 탓에 공해 상에서 국내에서 방류한 개체를 포획할 수 있는 확률이 높지 않은 등 여러 원인에 의한 것으로 보인다. 2004년의 통계자료에 의하면 연어 치어의 방류량은 일본이 가장 많아서 약 18억 마리, 미국이 약 6억 마리, 러시아가 약 3억 마리, 캐나다가 약 1억 마리인데 비해 우리나라는 1,200만 마리에 불과하다 (NPAFC, 2004). 연어의 지속적인 어획 및 효과적인 자원 관리를 위해서는 국내에서 방류한 연어 치어의 이동 경로 및 공해상에서 국내산 연어 계군을 다른 계군과 구분할 수 있는 방법의 개발이 절실히 필요하다.

결 론

기생충은 인간에게 있어서 불필요한 존재로 생각되기 쉽지만 한편으로는 어족 자원의 관리를 위해 유용하게 이용할 수 있는 생물체이기도 하다. 기생충은 별도의 비용이 필요 없이 어류에게 자연히 표식되는 장점을 가지고 있으므로 정확한 정보를 가지고 있다면 유용하게 생물학적 표식으로 다양한 분야에 사용할 수 있다. 즉, 어류에 기생하는 기생충을 모두 채집하여 동정한 후, 장기간에 걸쳐 다량의 개체를 채집하여 계군 간에 감염율의 차이를 나타내는 기생충을 발견해 내기까지의 작업은 시간과 노력을 요구한다. 또한, 이러한 기생충의 생활사 및 분포에 관한 정보를 얻어내기 위해서는 장기간의 실험 및 조사가 필요하다. 하지만 일단 생물학적 표식으로 사용할 기생충이 결정되면 이후의 작업은 간편하다.

연어과 어류의 경우, 알려진 기생충은 백여 종에 이르지만 생물학적 표식으로 사용된 종은 수종에 지나지 않는다. 이러한 원인 중의 하나는 연어과 어류에 기생하는 대부분의 기생충이 생활사 및 중간 숙주에 관하여 거의 연구되어 있지 않기 때문이며, 이 분야에 대하여 좀더 많은 정보를 얻을 수 있다면 유용한 생물학적 표식이 될 수 있는 기생충을 발견할 수 있을 것이다.

최근에는 계군 동정, 구분, 분석을 하는데 있어서 한 방법만 사용하기 보다는 다양한 방법을 사용하여 종합적으로 계군에 관한 연구를 하는 경향이 있으며, 생물학적 표식을 사용하는 방법 역시 다른 방법과 함께 계군 분석에 이용되는 경우들이 증가하고 있다. 어떤 방법을 사용하든지 간에 공해 상에서 특정 어종의 한 계군이 다른 계군과 항상 정확하게 구분이 되지는 않으며, 특정 지역에서 복수의 계군이 혼합되어 존재하는 경우도 많으므로 최상의 방법을 한 가지 적용하기 보다는 복수의 방법을 적용하는 것이 바람직하다. 또한, 복수의 계군 간에서 나타나는 오차가 계군 내의 오차를 항상 넘어서는 분석방법을 택하는 것이 바람직하다. 국내산 연어의 계군 분석에서도 현재 유전적 정보, 이석 분석 등 다양한 시도가 이루어지고 있으며 차후 기생충과 같은 생물학적 표식을 적용한 분석방법도 국내산 연어의 이동 경로 및 타 계군과의 관계 등을 밝히는 데 도움이 될 것이다.

사 사

본 논문을 작성하는데 있어 다방면에 걸쳐 많은 도움을 주신 영동내수면연구소 이채성 소장님, 이철호 연구사님, 성기백 박사님, 강수경 박사님께 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

김기홍, 주경환, 임한종, 1990. 강원도 대포항에서 구입한 연어(*Oncorhynchus keta*) 및 송어(*Oncorhynchus masou*)의 Anisakid 유충 감염상 및 기생윤충류에 관한 조사. 한국농촌의학회지, **15**: 89–96.

성기백, 김진영, 박차수, 강영실, 2001. 한국 연어자원의 회유와 서식환경의 장기 변동. 한국수산자원학회지, **4**: 42–50.

이채성, 강수경, 성기백, 김주경, 이철호, 2006. 한국산 연어의 표지연구: CWT와 이석발안란 표지. 수산관련학회 공동학술대회 발표요지집, 226–227.

정웅식, 이윤호, 김수암, 진덕희, 성기백, 2003. 유전적 형질에 의한 북태평양 연어(*Oncorhynchus keta*)의 계군 구분. 한국수산학회지, **36**: 578–585.

Awakura, T., K. Nagasawa, and S. Urawa, 1995. Occurrence of *Myxobolus arcticus* and *M. neurobius* (Myxozoa: Myxosporea) in masu salmon *Oncorhynchus masou* from Northern Japan. *Sci. Rep. Hokkaido Salmon Hatchery* **49**: 35–40.

Ayvazian, S.G., T.P. Bastow, J.S. Edmonds, J. How and G.B. Nowara, 2004. Stock structure of Australian herring (*Arripis georgiana*) in southwestern Australia. *Fish. Res.* **67**: 39–53.

Beacham, T.D. and J.R. Candy, 2005. Microsatellite analysis and stock identification of Pacific salmon using Pacific rim baselines. *NPAFC Tech. Rep.* **6**: 48–49.

Begg, G.A. and J.R. Waldman, 1999. An holistic approach to fish stock identification. *Fish. Res.* **43**: 35–44.

Begg, G.A., 1998. A review of stock identification of haddock, *Melanogrammus aeglefinus*, in the Northwest Atlantic Ocean. *Mar. Fish. Rev.* **60**: 1–15.

Boje, J., F. Riget and M. Koie, 1997. Helminth parasites as biological tags in population studies of Greenland halibut (*Reinhardtius hippoglossoides* (Walbaum)), in the north-west Pacific. *ICES J. Mar. Sci.* **54**: 886–895.

Buchmann, K., A. Uldal and H.C.K. Lyholt, 1995. A checklist of metazoan parasites from rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Acta. Vet. Scand.* **36**: 299–318.

Castro-Pampillon, J.A., M. Soto-Bua, H. Rodriguez-Diminguez, J. Mejuto-Garcia, C. Arias-Fernandez and J.M. Garcia-Estevez, 2002. Selecting parasites for use in biological tagging of the Atlantic swordfish (*Xiphias gladius*). *Fish. Res.* **59**: 259–262.

DeVries, D.A., C.B. Grimes and M.H. Prager, 2002. Using otolith shape analysis to distinguish eastern Gulf of Mexico and Atlantic Ocean stocks of king mackerel. *Fish. Res.* **57**: 51–62.

Dick, T.A. and M. Belosevic, 1981. Parasites of Arctic charr *Salvelinus alpinus* (Linnaeus) and their use in separating sea-run and non-migrating charr. *J. Fish Biol.* **18**: 339–347.

Farina, A.C., R. Duarte, J. Landa, I. Quincoces, J.A. Sanchez, 2004. Multiple stock identification approaches of anglerfish (*Lophius piscatorius* and *L. budegassa*) in western and southern European waters. *ICES CM Documents.* 305 pp.

Frimeth, J.P., 1987. A survey of the parasites of non-anadromous and anadromous brook charr (*Salvelinus fontinalis*) in the Tabusintac river, New Brunswick, Canada. *Can. J. Zool.* **65**: 1354–1362.

Fritsch, M., Y. Morizur, E. Lambert, F. Bonhomme, and B. Guinand, 2007. Assessment of sea bass (*Dicentrarchus labrax*, L.) stock

delimitation in the Bay of Biscay and the English Channel based on mark-recapture and genetic data. *Fish. Res.* **83**: 123–132.

Gilbey, J., D. Knox, M. O'Sullivan and E. Verspoor, 2005. Novel DNA markers for rapid, accurate, and cost-effective discrimination of the continental origin of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *ICES J. Mar. Sci.* **62**: 1609–1616.

Hansen, M.M., E. Kenchington and E.E. Nielsen, 2001. Assigning individual fish to population using microsatellite DNA markers. *Fish. Fisher.* **2**: 93–112.

Kang, S.K., S. Kim, K. Telmer, D. Welch, J.H. Helle, Y.H. Lee and K. Nagasawa, 2003. Identification of stocks and environmental characteristics of North Pacific chum salmon, *Oncorhynchus keta*, by chemical analysis of otolith. *NPAFC Tech. Rep.* **5**: 37–38.

Khan, R.A. and C. Tuck, 1995. Parasites as biological indicators of stocks of Atlantic cod (*Gadus morhua*) off Newfoundland, Canada. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* **52**: S195–S201.

Kim, J.H., C.H. Lee and C.S. Lee, 2005. Preliminary studies on metazoan parasites of chum salmon (*Oncorhynchus keta*) in Korea. *NPAFC-PICES joint Symposium Abstract Book.* 62 pp.

Konovalov, S.M., 1995. Parasites as indicators of biological processes, with special reference to sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* **52**: S202–S212.

Larsen G., W. Hemmingsen, K. MacKenzie, and D.A. Lysne, 1997. A population study of cod, *Gadus morhua* L., in northern Norway using otolith structure and parasite tags. *Fish. Res.* **32**: 13–20.

Margolis, L., 1982. Parasitology of Pacific Salmon-an overview. In: Aspects of Parasitology, edited by E. Meerovitch, E. McGill University Press, Montreal, Canada, pp. 135–226.

Margolis, L., 1992. A brief history of Canadian research from 1955 to 1990 related to Pacific salmon (*Oncorhynchus* species) on the high seas. *Int. North Pacific Fish. Comm. Special Edition* **20**: 79 pp.

Margolis, L., 1998. Are naturally-occurring parasite 'tags' stable ? An appraisal from four case histories involving Pacific salmonids. *NPAFC Bull.* **1**: 205–212.

MacKenzi, K., 1983. Parasites as biological tags in fish population studies. *Adv. Appl. Biol.* **7**: 251–331.

MacKenzi, K. and P. Abaunza, 1998. Parasites as biological tags for stock discrimination of marine fish: a guide to procedures and methods. *Fish. Res.* **38**: 45–56.

MacKenzi, K. and M. Longshaw, 1995. Parasites of the hakes *Merluccius australis* and *M. hubbsi* in the waters around the Falkland Islands, southern Chile, and Argentina, with an assessment of their potential value as biological tags. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* **52**: S213–S224.

Matthews, B.E., 1998. An introduction to Parasitology. Cambridge University Press, Cambridge, U.K., pp. 11–13.

Melendy, J., G. McClelland and T. Hurlbut, 2005. Use of parasite tags in delineating stocks of white hake (*Urophycis tenuis*) from the southern Gulf of St. Lawrence and Cape Breton Shelf. *Fish. Res.* **76**: 392–400.

Moriya, S., S. Sato, T. Azumaya, O. Suzuki, S. Urawa, A. Urano and S. Abe, 2007. Genetic stock identification of chum salmon in the Bering Sea and North Pacific Ocean using mitochondrial DNA microarray. *Mar. Biotechnol.* **9** (in press).

Moser, M. and J. Hsieh, 1992. Biological tags for stock indentification in pacific herring *Clupea harengus pallasi* in California. *J. Parasitol.* **78**: 54–60.

Nagasawa, K., S. Urawa and T. Awakura, 1987. A checklist and bibliography of parasites of salmonids in Japan. *Sci. Rep. Hokkaido Salmon Hatchery* **41**: 1–75.

NPAFC, 2004. NPAFC statistical handbook and historical data., http://www.npafc.org/new/publications/Statistical%20Yearbook/Data/Historical%20yearly/yearlypage.htm.

Ogura, M., 1994. Migratory behavior of Pacific salmon (*Oncorhynchus keta*) in the open sea. *Bull. Nat. Res. Inst. Far Seas Fish.* **31**: 1–139 (in Japanese with English summary).

Oliva, M., E, 2001. Metazoan parasites of *Macruronus magellanicus* from southern Chile as biological tags. *J. Fish Biol.* **58**: 1617–1622.

Oliva, M.E. and I. Ballon, 2002. Metazoan parasites of the Chilean hake *Merluccius gayi gayi* as a tool for stock discrimination. *Fish. Res.* **56**: 313–320.

Oliva, M.E. and M., T. Gonzales, 2004. Metazoan parasites of *Sebastes capensis* from two localities in northern Chile as tools for stock identification. *J. Fish Biol.* **64**: 170–175.

Ovenden, J.R., 1990. Mitochondrial DNA and marine stock assessment: a review. *Aust. J. Mar. Freshwater Res.* **41**: 835–853.

Robichaud, D. and G.A. Rose, 2004. Migratory behavior and range in Atlantic cod: inference from a century of tagging. *Fish. Fisher.* **5**: 185–214.

Rooker, J.R., D.H. Secor, V.S. Zdanowicz, G.D. Metrio and L.O. Relini, 2003. Identification of Atlantic bluefin tuna (*Thunnus thynnus*) stocks from putative nurseries using otolith chemistry. *Fish. Oceanogr.* **12**: 75–84.

Sanchez-Lamadrid, A., 2001. Effectiveness of four methods for tagging juveniles of farm-reared gilthead sea bream, *Sparus aurata*, L. *Fish. Manag. Ecol.* **8**: 271–278.

Salo, E.O., 1991. Life history of chum salmon (*Oncorhynchus keta*). In: Pacific salmon life histories, edited by Groot, C. and L. Margolis, University of British Columbia Press. Vancouver, Canada. pp. 231–309.

Sato, S., H. Kojima, J. Ando, H. Ando, R.L. Wilmot, L.W. Seeb, V. Efremov, L. LeClair, W. Buchholz, D.H. Jin, S. Urawa, M. Kaeriyama, A. Urano and S. Abe, 2004. Genetic population structure of Chum salmon in the Pacific rim inferred from mitochondrial DNA sequence variation. *Environ. Biol. Fishes* **69**: 37–50.

Schönhuth, S., Y. Álvarez, V. Rico, J.A. González, J.I. Santana, E. Gouveia, J.M. Lorenzo and J.M. Bautista, 2005. Molecular identification and biometric analysis of Macaronesian archipelago stocks of *Beryx splendens*. *Fish. Res.* **73**: 299–309.

Schölz, T., L. Euzet and F. Moravec, 1998. Taxonomic status of *Pelichnibothrium speciosum* Monticelli, 1889(Cestoda: Tetraphyllidea), a mysterious parasite of *Alepisaurus ferox* Lowe (Teleostei: Alepisauridae) and *Prionace glauca* (L.)(Euselachii: Carcharinidae). *Syst. Parasitol.* **41**: 1–8.

Seeb, L.W. and P.A. Crane, 1999. Allozymes and mitochondrial DNA discriminate Asian and North American populations of chum salmon in mixed-stock fisheries along the south coast of the Alaska Peninsula. *Trans. Am. Fish. Soc.* **128**: 88–103.

Sohn, D.W., S.K. Kang and S.A. Kim, 2005. Stock identification of chum salmon (*Oncorhynchus keta*) using trace elements in otoliths.

J. Oceanogr. **61**: 305–312.

Speare, P., 1995. Parasites as biological tags for sailfish *Istiophorus platypterus* from east coast Australian waters. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **118**: 43–50.

Swan, S.C., A.J. Geffen, B. Morales-Nin, J.D.M. Gordon, T. Shimmield, T. Sawyer and E. Massuti, 2006. Otolith Chemistry: An aid to stock separation of *Helicolenus dactylopterus* (bluemouth) and *Merluccius merluccius* (European hake) in the Northeast Atlantic and Mediterranean. *ICES J. Mar. Sci.* **63**: 504–513.

Urawa, S., L. Harrell, C.W. Mahnken, and K. Myers, 2006. Geographical distribution and seasonal occurrence of *Myxobolus kisutchi* (Myxozoa: Myxosporea) in the central nerve tissues of chinook and coho salmon in the Columbia river and its vicinities. *Bull. Nat. Salmon Res. Center* **8**: 1–7.

Urawa, S., M. Kawana, G. Anma, Y. Kamei, T. Shoji, M. Fukuwaka, K.M. Munk, K.W. Myers and E.V. Farley Jr., 2000. Geographic origin of high-seas chum salmon determined by genetic and thermal otolith markers. *NPAFC Tech. Rep.* **2**: 283–290.

Urawa, S. and K. Nagasawa, 1995. Prevalence of *Myxobolus arcticus* (Myxozoa: Myxosporea) in five species of Pacific Salmon in the North Pacific Ocean and Bering Sea. *Sci. Rep. Hokkaido Salmon Hatchery* **49**: 11–19.

Urawa, S., K. Nagasawa, L. Margolis and A. Moles, 1998. Stock identification of chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) in the north Pacific Ocean and Bering Sea by parasite tags. *NPAFC Bull.* **1**: 199–204.

Waldman, J.R., 1999. The importance of comparative studies in stock analysis. *Fish. Res.* **43**: 237–246.

Welsh, S.A., A.W. Kahnle, B.A. Versak, and R.J. Latour, 2003. Use of tag data to compare growth rates of Atlantic coast striped bass stocks. *Fish. Manag. Ecol.* **10**: 289–294.

2007년 3월 19일 원고접수
2007년 5월 10일 수정본 채택
담당편집위원: 이채성