

## 제 출 문

한국해양과학기술원장 귀하

본 보고서를 “이석연구를 기반으로 하는 대구(Pacific Cod, *Gadus macrocephalus*)의 서식처 이용 연구기반 구축에 관한 연구”과제의 최종보고서로 제출합니다.

2016. 2. 29.

총괄연구책임자 : 황선완

## 보고서 초록

과제고유 번호	PE99363	해당단계 연구기간	2015.7.1. -2015.12.31	단계 구분	1단계
연구사업명	중사업명				
	세부사업명				
연구과제명	대과제명	이석연구를 기반으로 하는 대구(Pacific Cod, <i>Gadus macrocephalus</i> )의 서식처 이용 연구기반 구축			
	세부과제명				
연구책임자	황선완	해당단계 참여연구원수	총 : 1 명 내부: 1 명 외부:    명	해당단계 연구비	정부: 50,000 천원 기업:       천원 계 :       천원
		총연구기간 참여연구원수	총 : 1 명 내부: 1 명 외부:    명	총 연구비	정부: 50,000 천원 기업:       천원 계 : 50,000 천원
연구기관명 및 소속부서명	한국해양과학기술원 생태기반연구센터		참여기업명		
국제공동연구					
위탁연구					
요약(연구결과를 중심으로 개조식 500자 이내)				보고서 면수	20
<ul style="list-style-type: none"> <li>● 어류 생태연구를 위한 이석연구기반 구축</li> <li>● 유용생물시료의 생물학적 자료획득에 필요한 연구기반 구축</li> </ul>					
색인어 (각 5개 이상)	한 글	대구, 이석연구, 서식처 이용, 연구기반			
	영 어	Pacific Cod, otolith research, habitate use, infrastructure system			

# 요 약 문

## I. 제 목

이석연구를 기반으로 하는 대구(Pacific Cod, *Gadus macrocephalus*)의 서식처 이용 연구기반 구축

## II. 연구개발의 목적 및 필요성

이석은 어류 개체의 연령을 사정하는데 널리 이용되어 왔다. 많은 연구에서 어류의 초기생활사 연구를 위해 일일 성장선 측정을 사용하였다. 이석 내 미량화학성분 분석을 결합하면, 이석의 성장선은 어류의 서식처 환경 유추를 가능케 하는 강력한 도구이다.

이 연구개발의 목적은 이석 연구를 기반으로 하는 대구(Pacific cod, *Gadus macrocephalus*)의 서식처 이용 연구기반을 구축하는데 있다.

## III. 연구개발의 내용 및 범위

- 이석 연구에 기반 한 어류 생태 연구기반 구축
- 유용생물시료의 생물학적 자료획득에 필요한 연구 기자재/시설 구축

## IV. 연구개발 결과

## V. 연구개발결과의 활용 계획

- 어류의 자원생태학적 연구에 활용
- 대구의 이석 연구에 활용
- 기타 유용생물자원의 자원생태학적 연구에 활용

# S U M M A R Y

## I . Title

The Construction of the Infrastructure System for Study on Habitat Use of Pacific Cod (*Gadus macrocephalus*) Based on Otolith Research

## II . Objectives and justification of this research development

Otoliths have been used to determine the ages of individual fish. Many studies have used measurements of daily growth increments to examine the early life history of fish. Combined with an analysis of the microelements in the otoliths, growth rings are powerful tools that enable inferences about fish habitats to be made.

The purpose of this study is to construction of the infrastructure system for study habitat use of Pacific Cod, *Gadus macrocephalus*, based on otolith research.

## III . Contents and scope of this research development

- Construction of infrastructure system for study fish ecology based on otolith research
- Construction of infrastructure system for obtain a biological data of useful biological resources

## IV . Results of this research development

## V . Application plans from this research

The results of this study will be used to research of fish ecology as follows:

- Study on fisheries resources ecology of fishes
- Otolith research for Population dynamics of Pacific Cod
- Study on fisheries resources ecology of useful biological resources

# C O N T E N T S

## Chapter 1. Outline of research and development

1-1. Objectives of research and development

1-2. Necessity of research

## Chapter 2. Present status

## Chapter 3. Research and results

3-1. Contents of research and development

3-2. Major research infrastructure

## Chapter 4. Degree of achievement and contribution to other related areas

4-1. Goal and Achievement

4-2. Contribution

## Chapter 5. Application plan of research results

## Chapter 6. References

# 목 차

## 제1장 연구개발과제의 개요

제1절. 연구개발의 목적

제2절. 연구개발의 필요성

## 제2장 국내외 기술개발 현황

## 제3장 연구개발 수행 내용 및 결과

제1절. 연구개발 수행 내용

제2절. 주요 연구 기자재

## 제4장 연구개발 목표 달성도 및 대외기여도

제1절. 연구개발 목표 달성도

제2절. 대외기여도

## 제5장 연구개발결과의 활용 계획

제1절. 어류 생태관련 연구에 활용

제2절. 이석연구에 활용

## 제6장 참고문헌

# 제1장 연구개발과제의 개요

## 제1절. 연구개발의 목적

어류는 종에 따라서 또는 같은 종이라도 성장 단계나 계절에 따라서 서식처를 달리하는 경우가 대부분이기 때문에 특정 해역에서 어류를 대상으로 한 연구에서 어종별 해역 이용 양상을 정량적으로 파악할 필요성이 있다. 어류의 계절이나 생활사에 따른 서식처 이용 양상을 정량적으로 파악하기 위해서는 기초적인 생태학적 정보만으로는 한계가 있다. 그러므로 대상 어류의 기초적인 생태학적 자료 외에도 어류의 내이에 위치하는 이석의 미세구조와 이석 내 미량원소 활용을 통한 연구가 필요하다.

어류의 내이에 위치한 이석(otolith)은 평형감각을 담당하는 작은 탄산칼슘( $\text{CaCO}_3$ ) 성분의 ‘돌’로서 주로 아라고나이트(약 90%)와 소량의 유기물 복합체(약 3%) 및 미량원소(약 1%)로 구성되어 있다. 이석에 나타나는 성장륜 구조는 어류의 나이를 추정하는데, 이석을 구성하는 화학성분은 어류의 생활환경(즉 서식지, 먹이, 수온, 염분 등) 변화를 연구하는데 매우 유용하지만, 이의 연구기반은 취약한 실정이다.

본 연구의 목적은 이석연구를 기반으로 하여 대구(Pacific cod, *Gadus macrocephalus*)의 서식처 이용 연구를 위한 연구기반을 구축하는데 있다.

## 제2절. 연구개발의 필요성

### 1. 기술적 측면

대구(Pacific cod, *Gadus macrocephalus*)는 계절이나 생활사에 따른 서식처 이용을 달리하기 때문에 기초적인 생태자료만으로는 대구생태의 정량적 연구에 한계가 있음. 이를 해결하기 위한 방편으로 이석연구 즉, 이석의 미세구조를 이용하여 어류의 나이를 추정하고 이석 내 미량원소를 활용한 생활환경변화 연구가 필요하다.

상기 이석 연구를 통한 대구 생태연구의 수월성을 위한 연구기반 즉, 대구의 생물학적 기초자료를 획득하고, 이석 시료의 전처리와 분석을 위한 연구 기자재 및

연구 시설 구축이 필요하다.

## 2. 경제·산업적 측면

대구(Pacific cod, *Gadus macrocephalus*) 자원의 효율적인 관리와 이용을 위해 이들의 생활사에 따른 서식처 이용에 관한 구체적인 정보가 필요하며, 이의 관련 정보는 이석 연구를 통해 확보할 수 있다.

## 3. 사회·문화적 측면

연구 영역의 다양성 및 역량 강화

## 4. 연구소 고유기능 발전과의 연관성

본 연구기반구축은 해양과기원 발전 전략(2012-2020)에 따른 주요 기능의 ‘해양 관측·탐사, 해양환경 및 기후 변화에 관한 연구’에 활용성이 크며, 12대 중점 연구 분야 중 ‘해양환경 및 생태계 보전기술’에 활용할 수 있고, 해양생물자원 회복 및 관리 연구는 해양과기원의 전략목표 가운데 “[바다자원 찾기] 지속가능한 해양 생태계 관리 및 미래 유용자원 탐색·활용”에 활용할 수 있으며, 생물·생태계연구본부의 주요 임무인 생물자원 개발연구, 생태계 연구에 활용될 수 있음.



## 제2장 국내외 기술개발 현황

어류 이석의 미세성장선에는 부화 이후 어류의 성장 리듬이 기록되기 때문에 대상 어류의 초기생활사를 추적하는데 중요한 정보를 제공한다(Campana and Neilson, 1985). 이석은 유기물질과 aragonite 성분의 비율에 의해 주기적인 성장선이 나타나며, 체내로 흡수되지 않고 지속적으로 성장하여 어류의 과거 성장기록을 정확하게 추정할 수 있는 이점이 있어 어류의 초기생활사를 연구하는데 널리 이용된다(Pannella, 1971; Campana, 1983; Neilson and Green, 1985).

최근, 분석기기의 분석 능력과 측정치의 정밀도가 향상됨에 따라 어류의 이석 내 화학조성을 이용한 연구 활동은 가속화되고 있다. 1980년 이전에는 이석 내 화학조성을 이용하여 연구된 논문이 단지 6편에 불과하였으나, 1998년 말까지 불과 20여년 만에 157편의 논문이 보고되었다(Campana, 1999). 어류의 내이에는 sagitta, lapillus, asteriscus 라고 불리는 3쌍의 이석이 존재한다. 이 세 쌍의 이석 중에서 크기가 제일 큰 sagitta를 연구에 주로 이용하고 있다. 이석은 산칼슘(96%)과 유기물 복합체(3%) 그리고 31종의 무기원소와 방사성 동위원소(약 1%)로 구성된다(Campana, 1999). 이렇게 형성된 어류의 이석 내 화학조성은 형성 후에는 외부의 환경변화에도 불구하고 변화하지 않는다는 특징을 가지고 있다(Campana and Neilson, 1985). 이러한 이석의 특성을 바탕으로 이석 내 미량원소나 동위원소 분석 통해 어류 생태에 관한 연구가 전 세계에서 활발히 진행되고 있다. 이석 내 화학조성이 어류 개체가 서식하였던 수환경의 화학원소 농도에 영향을 받기 때문에 어류 이석을 구성하고 있는 화학원소들은 서로 다른 서식지를 가지는 어류의 계군 또는 회유경로를 지시할 수 있는 자연적 표지(natural tag) 또는 지문(fingerprint)으로 활용한다(Campana et al., 1995; 1999; Campana and Thorrold, 2001; Gillanders and Kingsford, 2000; Rooker et al., 2002; Thresher, 1999; Thorrold et al., 1997; 1998). 각 어류의 이석의 미량원소 함량이 다르다는 것은 각 어류 개체의 서식환경이 달랐음을 의미한다. 또한, 한 개체의 이석 내에서도 성

장에 따라 화학조성이 다르게 나타난다는 것은 어류의 생활사에 따른 서식환경의 차이가 있음을 의미한다. 이러한 이석의 특성을 이용하면, 서식지나 산란장이 다른 계군을 분리할 수 있다. 또한, 어류 이석 내 미량원소와 동위원소의 농도는 어류 서식지의 오염정도(Hanson and Zdanowicz, 1999), 어류의 회유 경로(Halden et al., 2000; Secor, 1992; Thresher et al., 1994), 연령사정(Tzeng et al., 1999) 등의 연구에도 이용하기도 하였다.

한편, 위에서 언급한 바와 같이 이석을 이용한 연구가 전 세계적으로 광범위하게 수행되면서 어류 이석을 구성하는 원소의 비율에 영향을 미치는 요인이 무엇인가에 대한 연구들도 시작되었다. 어류 이석 내 화학원소에 영향을 미치는 요인에 대하여 몇몇 연구자들은 어류가 서식하는 환경수의 화학조성이 어류 이석을 구성하는 원소에 영향을 미치는 주요 요인이라 주장하였다(Hoff and Fuiman, 1995; Milton and Chenery, 2001). Rieman et al. (1994)은 이석의 화학조성 중 Sr/Ca에 영향을 미치는 물의 화학조성의 중요성을 강조하였으며, Farrell and Campana (1996)는 어류의 이석을 구성하는 미량원소 Sr은 어류의 먹이보다는 서식했던 물의 미량원소 농도에 더 큰 영향을 받는다고 주장하였다. 또한, Campana (1999)는 물에 녹아있는 Sr, Zn, Mn, Ba과 같은 특별한 금속원소들만 이석에 잘 반영된다고 보고하였다. 반면에 이석 내 미량원소의 구성은 어류가 서식하고 있는 물의 화학조성만을 단순히 반영하는 것이 아니라(Rooker et al., 2001), 다양한 환경적, 생리학적 과정을 통하여 반영된다고 보고하였다(Schroder et al., 1995). 즉, 어류의 생리학적 과정이나 수온(Townsend et al., 1995), 먹이(Gallahar and Kingsford, 1996) 그리고 스트레스(Kalish, 1989), 염분, pH, 용존산소 등이 영향을 미치고 있다고 주장하였다.

어류의 이석을 구성하는 원소의 농도에 영향을 미치는 요인에 관하여 많은 연구들이 진행되고 있으며, 여러 가지 요인 중에서 중추적인 역할을 하는 것이 무엇인가에 대한 연구와 논의는 계속되고 있다.

## 제3장 연구개발 수행 내용 및 결과

### 제1절. 연구개발 수행 내용

본 연구개발을 통해 이석 연구를 통한 대구(Pacific cod, *Gadus macrocephalus*)의 서식처 이용 연구기반 즉, 대구의 생물학적 기초자료 획득, 대구 이석 시료의 전처리와 분석 등 대구의 서식생태 연구의 수월성 확보를 위한 연구 기자재 및 연구 시설을 구축하였으며, 주요 연구 기자재 및 연구 시설은 표 1과 같다.

표 1. 이석 연구를 위한 주요 연구 기자재 및 시설

주요 연구기자재 및 연구 시설		수량	용 도	보유현황	비고
연구 기자재	광학현미경	1 ea	이석의 미세구조 및 미세 시료 관찰/분석	보유	
	현미경 카메라 및 소프트웨어	1 ea	시료 촬영 및 보정	보유	
	연마기	1 set	이석분석 전처리 (연마 및 광택)	보유	
	냉동고	1 ea	실험재료의 장기저장 및 선도 유지	보유	
연구 시설	진열장	1식	이석 시료 및 시약 보관	기존시설활용	
	싱크대	1식	실험기기 세척	기존시설활용	
	후드 시스템	1식	실내 환기 및 시약 냄새 제거	기존시설활용	

## 제2절. 주요 연구 기자재

### 1. 자동 연마기(Automatic Grinder/Polisher)

본 연구개발사업을 통해 구축한 자동 연마기(그림 1)는 Buehler사의 자동 연마기(**Ecomet 300 & Automet 300**, Buehler, A Divis ITW, Inc, U.S.A)로 어류의 이석을 epoxy resin을 이용하여 고정시킨 후, 연마/광태에 사용하는 장비이며, 이석의 미세구조를 이용한 어류의 연령, 초기생활사, 산란시기, 산란장, 개체군 역학 및 자원평가, 산란군 구분, 계군분석, 이동 경로 및 생활환경 변화 추적, 고환경 추정 및 복원, 환경물질 변화 예측 등의 연구 활성화와 수월성 확보에 중요한 장비임. 어류의 연령형질 등을 측정하기 위해 어류 대뇌부에 위치해 있는 이석을 추출하고 이를 몰딩할 수 있는 용액에 고정시킨 후 고속절단기를 이용하여 절단시키고 절단시킨 면을 0.2 mm - 0.4 mm 까지 얇게 연마하는 장치로, 주변 시설 장치로는 절수호수를 통해 청수를 이용하여 절단면에 공급하면서 절단시 마찰열에 의한 몰딩 패드 열을 제거하는 역할을 하며 연마 속도 조절을 통해 몰딩패드의 단면을 고르게 할 수 있으며, 주요 제원으로써 연마제가 필요함.

본 장비의 구성은 본체와 자동장치로 구성되어 있음. 본체는 12" (300 mm 직경) 탁상형으로 부식방지 및 연마의 안정성을 위한 알루미늄 주물로 제작되었으며, 찌꺼기 제거를 위한 장치, 연마 중 연마반과 시료관찰을 위한 LED 조명장치, 바울(Bowl)의 세척이 가능한 호스, 연마 중 발생한 연마반의 열을 식히기 위한 냉각수 분사장치 등이 부착되어 있음. 본체는 2 마력(1,500 와트) DC 모터로 구동되며, 회전 속도는 50 - 400 rpm (10 rpm씩 조절 가능)이며, 회전방향은 정방향/역방향 모두 가능하고, 냉각수는 직경 6 mm의 호스로 공급되며, 냉각수 압력은 40-100 psi 임. 자동장치는 0.75 마력(560 와트)의 모터로 구동되며, 회전방향은 정방향/역방향 모두 가능하고 회전속도는 60 - 150 rpm (10 rpm씩 조절 가능)이며, 연마시간은 20초에서 99분까지 조절 가능함.

상기 장비는 현재 국립수산과학원에 3 sets가 구축되어 있음. 이들 장비들은 모두 어류의 연령, 초기생활사, 산란시기, 산란장, 개체군 역학 및 자원평가 등의 어류

생태 및 자원생태학적 연구에서 어류의 내이에 있는 이석을 추출하고 이를 인공경화수지에 몰딩한 후, 고속 절단기를 이용하여 절단시킨 다음, 절단면을 0.2 mm - 0.4 mm까지 얇게 연마하고 광택을 내어 이석의 미세구조 관찰을 위한 전처리에 활용하고 있음. 본 연구기관에서는 이석의 미세구조를 이용한 연구(연령, 초기생활사, 산란시기 및 산란장 추정, 개체군 역학 및 자원평가 등) 및 화학성분을 이용한 연구(산란군 구분, 계군 분석, 이동 경로 및 생활환경 변화 추적, 고환경 추정 및 복원, 환경물질 변화 예측 등)에 활용할 계획으로 용도상 국립수산과학원에 구축되어 있는 장비와 유사함.



REG. NO. 9111013      **OFFER**      KEY ONE ENGINEERING CO., LTD.  
 10-F, Park View Office Tower, Jungdo-dong, Bundang-gu, Seongnam, Kyungki, Korea  
 Tel: 82-31-785-2199 • Fax: 82-31-785-2499  
 e-mail: keyone@keyone.co.kr  
 Web: www.keyone.co.kr

MESSRS : Korea Institute of Ocean Science & Technology

**KEY ONE ENGINEERING CO., LTD.**  
 KEY ONE 엔지니어링

We are pleased to offer you as follows.

**SUPPLIER:** Buehler, A Divis ITW, Inc.      **DATE:** August 25, 2015

**ORIGIN :** U.S.A and Europe      **OFFER No:** K508016F-4

**SHIPPED FROM :** U.S.A Airport      **Ref. No.:** \_\_\_\_\_

**SHIPMENT:** Within 3 months after receipt of L/C

**VALIDITY:** September 25, 2015

**PACKING:** Export packing for Air shipment

**PAYMENT:** By an irrevocable L/C at sight to be opened in favor of Buehler, A Division of Illinois Tool Works, Inc. 41 Waukegan Lake Bluff, IL 60044-1699, U.S.A.      Sang-Hyun Kim/President

H.S NO	DESCRIPTIONS	QTY	UNIT PRICE	TOTAL

### 국가연구시설장비정보등록증 Registration Certificate of Research Facilities & Equipment

시설장비등록번호	NFEC-2016-02-207709	등록일자	2016-02-02
한글명	자동 연마기		
영문명	Automatic grinder-polisher		

<b>기본정보</b>			
고정자산관리번호	5420160003	연구시설 - 장비구분	주장비
취득방법	구매	모델명	Ecomet 300/Automet 300
제조사	Buehler	제작국가	미국
취득금액(원)	40,229,475원	취득일자	2016-01-29
활용범위	공동활용여용가능	장비용도	시험용

<b>보유기관정보</b>	
보유기관명	한국해양과학기술원
설치장소	경기도 안산시 상록구 해안로 787. (사동) 한국해양과학기술원 해양생태계연구부 2층 1223

<b>국가연구개발사업</b>			
국가과제고유번호	1525005227	부처명	해양수산부
과제명	창의사업		
주관기관	한국해양과학기술원	연구책임자	박경순

2016. 02. 12

**국가연구시설장비진흥센터장**




그림 2. 자동형 연마기(Buehler model 49-7260 EcoMet 300/AutoMet 300)

## 2. 냉장/냉동고



사진 2. 시료의 장기보관 선도 유지를 위한 냉장/냉동고

## 3. 연구기반시설: 썬크대, 진열장, 후드 시스템 등



사진 3. 연구기반시설(썬크대, 후드 시스템, 진열장, 실험 공간 등)

## 제4장 연구개발 목표 달성도 및 대외기여도

### 제1절. 연구개발 목표 달성도

년차	연구성과	진척율(%)		성취도 (정상, 부진)	특기사항 (우수성 및 부진사유)
		년차별 계획대비	총연구 기간대비		
1차년 (2015)	자동형 연마기 구축	100		정상	
	냉장/냉동고 구축	100			
	기타 연구기반시설 구축	100			

### 제2절. 대외기여도

본 연구개발을 통해 구축된 자동형 이석 연마기는 공동연구 등의 방법을 통해 대외적으로 기여할 수 있음 것임.



## 제5장 연구개발결과의 활용계획

### 제1절. 어류 생태관련 연구에 활용

- 어류의 종 동정 및 분류
- 어류의 생물학적 및 생태학적 자료 획득

### 제2절. 이석연구에 활용

- 이석 시료의 전처리 및 분석
- 이석의 미세구조를 이용한 연구
  - 연령, 초기생활사, 산란시기, 산란장, 개체군 역학 및 자원평가
- 이석의 화학성분을 이용한 연구
  - 이석 화학성분 분석을 통한 산란군 및 계군 분석, 이동 경로 및 생활환경 변화 추적 연구
  - 이석 화학성분 분석을 통한 고환경 추정 및 복원 연구
  - 이석 화학성분 분석을 통한 환경물질 변화 예측 연구

## 제6장 참고문헌

- Campana, S.E. and J.D. Neilson, 1985. Microstructure of fish otoliths. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 42: 1014-1032.
- Campana, S.E. and S.R. Thorrold, 2001. Otoliths, increments, and elements: Keys to a comprehensive understanding of fish populations? Can. J. Fish. Aquat. Sci., 58: 30-38.
- Campana, S.E., 1983. Feeding periodicity and the production of daily growth increments in otolith of steelhead trout (*Salmo gairdneri*) and flounder (*Platichthys stellatus*). Can. J. Zool., 61: 1591-1597.
- Campana, S.E., 1999. Chemistry and composition of fish otoliths: pathways, mechanisms and applications. Mar. Ecol. Prog. Ser., 188: 263-297.
- Campana, S.E., Gagne, J.A. and J.W. McLaren, 1995. Elemental fingerprinting of fish otoliths using ID-ICPMS. Mar. Ecol. Prog. Ser., 122: 115-120.
- Farrell, J. and S.E. Campana, 1996. Regulation of calcium and strontium deposition on the otoliths of juvenile Tilapia, *Oreochromis niloticus*. Comp. Biochem. Physiol., 115A: 103-109.
- Gallahar, N.K. and M.J. Kingsford, 1996. Factors influencing Sr/Ca ratios in otoliths of *Girella elevata*: an experimental investigation. J. Fish Biol, 48: 174-186.
- Gillanders, B.M. and M.J. Kingsford, 2000. Elemental fingerprints of otoliths of fish may distinguish estuarine 'nursery' habitats. Mar. Ecol. Prog. Ser., 201: 273-286.
- Halden, M.J., S.R., Mejia, J.A., Babaluk, J.D. Reist, A.H., Kristofferson, J.I., Campbell, and W.J. Teesale, 2000. Oscillatory zinc distribution in Arctic char (*Salvelinus alpinus*) otolith: The result of biology or environment? Fisheries Research, 46: 289-298.

- Hanson, P.J. and V.S. Zdanowicz, 1999. Elemental composition of otoliths from Atlantic croaker along an estuarine pollution gradient. *J. Fish Biol.*, 54: 656-668.
- Hoff, G.R. and L.A. Fuiman, 1995. Environmentally induced variation in elemental composition of red drum (*Sciaenops ocellatus*) otoliths. *Bull. Mar. Sci.*, 56: 578-591.
- Kalish, J.M., 1989. Otolith microchemistry: validation of the effects of physiology, age and environment on otolith composition. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 132: 151-178.
- Milton, A.D. and S.R. Chenery, 2001. Sources and uptake of trace metals in otoliths of juvenile barramundi (*Lates calacrifer*). *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 50: 855-868.
- Neilson, J.D. and G.H. Green, 1985. Otolith of Chinook Salmon (*Oncorhynchus tshawtscha*): daily growth increments and factors influencing their production. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 39: 1340-1347.
- Pannella, G., 1971. Fish otoliths: daily growth layers and periodical patterns. *Science (Wash., DC)*, 173: 1124-1127.
- Rieman, B.E., D.I. Myers, and R.I. Neilson, 1994. Use of otolith microchemistry to discriminate *Oncorhynchus nerka* of resident and anadromous origin. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 51: 68-77.
- Rooker, J.R., et al., 2001.
- Rooker, J.R., D.H. Secor, V.S. Zdanowicz, and T. Itoh, 2001. Otolith elemental fingerprints of Atlantic bluefin tuna from eastern and western nurseries. *Col. Vol. Sci. Pap. ICCAT*, 54: 198-506.
- Rooker, J.R., D.H. Secor, V.S. Zdanowicz, G.D. Metri, L.O. Relini, M. Deflorio, N. Santamaria, G. Palandri, and M. Relinni, 2002. Otolith elemental fingerprints of Atlantic bluefin tuna from eastern and

- western nurseries. Col. Vol. Sci. Pap. ICCAT, 54: 198-506.
- Schroder, S.L., C.M. Kundsén, and E.C. Volk, 1995. Marking salmon fry with strontium chloride solutions. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 52: 1141-1149.
- Secor, D.H., 1992. Application of otolith microchemistry analysis to investigate anadromy in Chesapeake Bay striped bass *Morone saxatilis*. Fish. Bull. U.S., 90: 798-806.
- Thorrold, S.R., C.M. Jones, and S.E. Campana, 1997. Response of otolith microchemistry to environmental variations experienced by larval and juvenile Atlantic croaker (*Micropogonias undulatus*). Limnol. Oceanogr., 42: 102-111.
- Thorrold, S.R., C.M. Jones, S.E. Campana, J.W. McLaren, and J.W.H. Lam, 1998. Trace element signatures in otoliths record natural river of juvenile American shad (*Alosa sapidissima*). Limnol. Oceanogr., 43: 1826-1835.
- Thresher, R.E. 1999. Elemental composition of otoliths as a stock delineator in fishes. Fisheries Research. 43: 165-204.
- Thresher, R.E., C.H. Protocor, J.S. Gunn, and I.R. Harrowfield, 1994. An evaluation of electron-probe microanalysis of otoliths for delineation and identification of nursery areas in southern temperate ground fish, *Nemadactylus macropterus* (Cheilodactylidae). Fish. Bull, 92: 817-840.
- Townsend, D.W., R.I. Radtke, S. Corwin, and D.A. Libby, 1995. Strontium:Calcium ratios for hindcasting larval cod *Gadus morhua* distributions related to water masses on Georges Bank. Mar. Ecol. Prog. Ser., 119: 37-44.
- Tzeng, W.N., K.P. Severin, H. Wickstrom, and C-H. Wang, 1999. Strontium bands in relation to age marks in otoliths of European Eel *Anguilla*

*anguilla*. Zoological Studies, 38: 452-457.