

BSPE99358-1128-3

ICT융합 수산자원 연구기반 해양 콘텐츠 개발 I.  
대구를 찾아서

Marine contents development based on researching  
fisheries resources using ICT I. Finding cods

2016.10.31

한 국 해 양 과 학 기 술 원

# 제 출 문

한국해양과학기술원장 귀하

본 보고서를 “ ICT융합 수산자원 연구기반 해양 콘텐츠 개발 I. 대구를 찾아서”과제의 최종보고서로 제출합니다.

2016. 10. 31

총괄연구책임자 : 김 태 원

참 여 연 구 원 :  
장 요 순, 이 은 경, 황 선 완, 유 재 명,  
이 정 아, 신 은 충, 권 순 열, 홍 지 민,  
장 수 진, 채 기 영, 명 정 구

위탁연구기관명 : (주) 비엑스피

위탁연구책임자 : 김 현 주

## 보고서 초록

과제고유 번호	PE99358	해당단계 연구기간	2015. 6. 1 - 2016. 8. 31	단계 구분	1단계
연구사업명	중사업명				
	세부사업명				
연구과제명	대과제명	국가사회현안대응과제			
	세부과제명	ICT융합 수산자원 연구기반 해양 콘텐츠 개발 I. 대구를 찾아서			
연구책임자	김태원	해당단계 참여연구원수	총 : 21 명 내부: 6 명 외부: 15 명	해당단계 연구비	정부: 3,500 천원 기업: 천원 계 : 3,500 천원
		총연구기간 참여연구원수	총 : 명 내부: 명 외부: 명	총 연구비	정부: 천원 기업: 천원 계 : 천원
연구기관명 및 소속부서명	한국해양과학기술원 생태기반 연구센터		참여기업명	비엑스피 (주)	
국제공동연구					
위탁연구					
요약(연구결과를 중심으로 개조식 500자 이내)				보고서 면수	155
<ul style="list-style-type: none"> <li>● 우리나라 진해만에 산란을 위해 회유하는 대구중 7마리를 대상으로 위성추적장치를 달아 이동경로를 추적한 결과 1-2주 후에 그 중 두 개체가 동북쪽으로 이동하는 경향성을 나타냄.</li> <li>● 유전적 다양성은 남해 대구 계군이 동해와 서해 대구 계군보다 낮았으며, 유전적 구조는 동해와 남해 대구 계군이 비슷하였음.</li> <li>● 대구는 진해만 입구에 주로 산란하고, 자어시기에는 입구와 내만에 주로 분포하며, 저층생활을 하는 치어시기는 진해만 내측에서부터 바깥쪽(가덕도 남쪽)에 이르는 지역까지 분포하는 것으로 나타남.</li> <li>● 이석 내 Sr/Ca ratios 분포로부터 대구는 기수에서 산란하고, 그 곳에서 초기 생활사를 보내며 성어기에는 해수와 기수를 포함하는 넓은 범위의 염분환경에 서식하는 것으로 보임.</li> </ul>					
색인어 (각 5개 이상)	한 글	대구, 위성추적, 유전자 마커, 이석, 초기 생활사			
	영 어	Pacific cods, satellite tracking, genetic marker, otolith, early life history			

# 요 약 문

## I. 제 목

ICT 융합 수산자원 연구기반 해양콘텐츠개발 I. 대구를 찾아서

## II. 연구개발의 목적 및 필요성

### 1. 연구개발의 목적

- 위성추적장치 및 어획자료를 이용한 대구의 이동경로 및 서식지 추정
- 유전자마커를 이용한 대구의 이동패턴 분석 및 이동경로 추정
- 이석 내 미량화학원소를 이용한 서식처 이용 및 계군 분석
- 대구 산란장 및 초기생활사 규명
- 연구결과를 바탕으로 한 “대구를 찾아서” 홍보동영상 콘텐츠 제작

### 2. 연구개발의 필요성

#### 우리나라의 주요 수산자원인 대구의 회유경로 파악 필요

- 대구는 우리나라의 대표적인 수산자원이지만 이들의 정확한 회유경로와 생활사에 대해 알려진 바가 없음. 이에 대해 회유경로를 파악하는 것이 필요함.

#### 지속적인 수산자원으로 공급을 위해 관리 필요

- 수산물로부터 공급되는 단백질은 전체 단백질 공급량의 약 20~25%를 차지함. 2006년 현재 수산물에서 약 3천 만톤의 단백질이 공급되고 있음. 2050년 인구 약 90억으로 증가 예상되므로 인류에게 7400만 톤(즉, 3.7억 톤 x 0.2) 이상의 단백질이 수산물로부터 공급되어야 함. 즉, 현재보다 두 배 이상의 수산물 생산량이 필요하므로, 적절한 수산물 증산 대책이 필요함. 그 대책으로 양식과 함께 자원관리 방안 모색이 절실함.
- 기후변화, 과도한 남획 등 외부적인 요인에 의해 대구의 개체군이 감소할 위험이 있기 때문에 이를 예상하여 집중적으로 관리하는 것이 필요함.



### Ⅲ. 연구개발의 내용 및 범위

- 위성추적장치 및 어획자료를 이용한 이동경로 및 서식지 추정
  - 가덕도와 진해만에 회유하는 대구에 위성추적태그를 부착하여 이동경로 추적
  - 어획자료 획득 및 분석을 통한 서식지 추정
- 유전자마커를 이용한 대구 계군의 유전특성 및 유전적 구조 분석
  - 한국의 동서남해 대구 계군 시료 채집
  - Microsatellite 마커를 이용한 대구 계군의 유전적 구조 분석
- 대구의 산란장 및 서식처 이용 양상 파악
  - 한반도 연안 산란수역을 중심으로 대구(성어 및 치어) 채집
  - 이석 내 미량원소 조성을 이용한 대구의 서식처 이용 양상 파악
- 연구결과를 바탕으로 한 대구의 생활사 동영상 콘텐츠 제작
  - 연구결과 리뷰와 스토리 보드 작성
  - 진행되는 연구결과를 포함한 대구생태 콘텐츠 제작

### Ⅳ. 연구개발결과

- 위성추적장치 및 어획자료를 이용한 대구의 이동경로 및 서식지 추정

우리나라 진해만에 산란을 위해 회유하는 대구를 대구중 7마리를 대상으로 위성추적장치를 달아 이동경로를 추적하였다. 1-2주 후에 이 중 4마리는 거제도 근해에서 위치수신이 되었으며 1마리는 동쪽으로 이동하여 일본의 대마도 북쪽에서 신호를 보내었고 다른 1마리는 울산쪽으로 이동하는 것이 발견되었다. 15년간의 어획자료 분석 결과 2000년대 초반에는 동해와 서해의 어획이 구분이 되어 나타나며 2013년 이후 동서남해 전역으로 어획이 확장되는 경향이 나타났다. 이 결과로 비추어 보아 동해안에서 잡히는 대구와 서해안에서 잡히는 대구는 이동경로 및 서식지가 다른 것으로 추정이 된다.

- 유전자마커를 이용한 대구의 이동패턴 분석 및 이동경로 추정

유전자 마커를 이용하여 대구의 이동패턴을 분석하고 이동경로 추정 연구를 수행하였다. 동·서·남해 대구 계군 시료를 확보하였고 14개의 마이크로세틀라이트 마커를 사용하여 genotyping 한 후, 각 계군의 유전적 다양성 및 유전적 구조를 분석하였다. 유전적 다양성은 남해 대구 계군이 동해와 서해 대구 계군보다 낮았으며, 유전적 구조는 동해와 남해

대구 계군이 비슷하였다. 유전적 구조를 재확인하기 위하여 진행한 유전적 거리 추정 결과에서도 동해와 남해 대구 계군이 한 개로 묶이고 서해 계군은 거리가 약간 떨어져 있었다. 이와 같은 연구결과로 우리나라 주변 해역에 서식하는 대구는 크게 두 개의 계군으로 나뉘고 동해와 남해 대구 계군이 동일한 패턴과 경로로 이동할 것으로 판단하였다. 또한, 죽변해역 서식 대구 집단의 마이크로세틀라이트 마커 특성(대립유전자 빈도 및 분포)은 다른 지역 대구 집단의 마커 특성과 다소 상이하였기에 대구가 죽변해역에서도 산란할 수 있는 가능성을 전제로 추가 연구가 필요함을 인식하였다.

#### ○ 이석 내 미량화합원소를 이용한 서식처 이용 및 계군 분석

대구(Pacific Cod, *Gadus macrocephalus*)의 서식처 이용 양상과 계군 분석을 위해 이석 내 미량화합원소를 분석하였다. 대구 시료는 세 곳의 연안 어장(동해 대진과 서해 백령도 및 남해 진해)에서 2015년 12월과 2016년 1월에 상업성 어구에 어획된 것이다. 이석 내 미량화합조성 분석은 한국기초과학지원연구원의 LA-ICPMS (Laser Ablation Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometer)를 이용하였다. 대구의 이석 내 Sr/Ca ratios 분포 범위는  $0.61 \times 10^{-3} \sim 13.79 \times 10^{-3}$  (평균±표준편차,  $4.89 \pm 1.66$ )였으며, 핵에서 Sr/Ca ratios는  $3.75 \pm 0.94 \times 10^{-3}$  (평균±표준편차) 이었다. 이석 내 Sr/Ca ratios 분포로부터 대구는 기수에서 산란하고, 그 곳에서 초기 생활사를 보내며 성어기에는 해수와 기수를 포함하는 넓은 범위의 염분환경에 서식하는 것으로 판단되었다. Ca에 대한 7개 원소의 비(Li/Ca, Na/Ca, Mg/Ca, Cr/Ca, Ni/Ca, Sr/Ca, Zn/Ca)를 이용한 nMDS (nonmetric multidimensional scaling) 분석 결과, 우리나라 연안에는 두 개의 성어 계군(황해 계군과 동해계군)과 두 개 이상의 산란 계군이 존재하는 것으로 보였다. 본 연구 결과는 대구의 서식지 이용과 계군 분석에 관한 유용한 새로운 정보를 제공함으로써, 대구 자원의 지속적 이용에 도움이 될 것이다.

#### ○ 대구 산란장 및 초기생활사 규명

초기생활사에 대한 연구는 산란장 회귀본능이 강한 대구의 효율적인 자원관리와 보존을 위해 매우 중요한데, 어류의 어린시기인 알과 자치어의 생존률이 가입의 강도를 결정하는 가장 중요한 요인이기 때문이다. 본 연구에서는 채집을 통해, 진해만으로 산란회유하는 대구계군의 산란장 및 자치어의 서식지 이용특성을 파악하고자 하였다.

자어는 진해만에서 1~6개의 정점을 정하여, 망구 1.5m, 망목 400 $\mu$ m인 Ring net를 이용하여 채집하였으며, 치어는 1~5개의 정점에서 beam 길이 8m인 Beam trawl을 이용하여 채집하였다.

본 연구결과로, 진해만으로 산란회유하는 대구는 진해만 입구에 주로 산란하고, 수정된 알이 부화하여 성장하는 단계인 자어시기에는 진해만 입구와 내만에 주로 분포하며, 유영능력을 갖추고, 바닥에 착저해서 저층생활을 하는 치어시기는 진해만 내측에서부터 바깥쪽(가덕도 남쪽)에 이르는 지역까지 분포하는 것으로 나타났다. 그러나 진해만은 만 전체

에서 굴과 홍합등의 양식이 이루어지고 있고, 어업활동 또한 많은 곳이어서 치어를 채집할 수 있는 지역이 매우 제한적이었다. 그리고 올해는 5월부터 이상기온의 영향으로 수온변동이 심하였으므로 1년 동안의 조사기간은 정확한 결과를 얻기에는 부족한 시간이었다. 따라서 대구의 산란장과 초기생활사 규명을 위해서는 앞으로 지속적인 조사가 이루어져야 하고, 초기성장에 따른 먹이와 성육조건에 대한 연구, 그리고 수정란과 자어의 방류효과를 규명하는 노력이 필요하다.

## V. 연구개발결과의 활용계획

- KIOST의 종합과학적 연구에 대한 홍보
- 과학뿐만 아니라 관광, 문화적인 콘텐츠 개발에 대한 파급효과
- 해양과학기술과 IT기술융합을 통해 해양수산분야 정책수립의 기초데이터로 활용

# S U M M A R Y

We tracked the migration routes of Pacific cod, *Gadus macrocephalus* by deploying satellite transmitters on 7 individuals coming to Jinhae Bay to breed. After 1- 2 weeks, four of them were found near Geoje Island not far from the release site. One of them transmitted the signal at the north sea of Tsushima Island, Japan. The other was found at the East Sea near Ulsan. Based on analysis of capturing data for 15 years, capturing sites are divided into East Sea and Yellow Sea in early 2000. After 2013, capturing sites are expanded to all the sea of Korea. Based on the results, Pacific cods captured in East Sea and those captures in Yellow Sea seemed to have different migration routes and habitats.

We performed genetic analysis using 14 microsatellite markers. Genetic diversity of the population from South Sea was lower than those from East and Yellow Sea and the populations from South Sea and East Sea are closer than the population from Yellow Sea.

We analyzed trace elements in sagittal otoliths to examine the habitat use patterns and for stock separation of fish populations of Pacific Cod, *Gadus macrocephalus*. The samples were caught by commercial fishing gears from three marine fishery grounds in the coast of Korea (Daejin in the East Sea, Baekryeong-do in the Yellow Sea, and the Jinhae Bay in the South Sea) in December 2015 and January 2016. We conclude from the otolith Sr/Ca ratios that *G. macrocephalus* spawns and grows in brackish water during the early part of its life cycle, and inhabited a broad range of salinities, including seawater and brackish water, during their lifetime. *n*MDS (nonmetric multidimensional scaling) analysis with 7 elements/Ca (Li/Ca, Na/Ca, Mg/Ca, Cr/Ca, Ni/Ca, Sr/Ca, Zn/Ca ratios in the otolith in each specimens showed that there might be two different stocks (Yellow Sea cod and East/South Sea cod) and more than two different spawning stocks in the coast of Korea.

Pacific cods migrate into Jinhae Bay and spawn mainly in the mouth of Jinhae Bay. Preflexion and flexion larvae, right after hatching from eggs, were distributed mainly at the mouth and inward of the Bay. Postflexion larvae, having the ability to swim to the bottom and living there, were distributed mainly from

the inside of the Bay to the outer side toward the southern part of Gaduk Island.

The findings of our study offer useful new information on the habitat use and stock separation of *G. macrocephalus*, allowing more sustainable use of the species.

(KEYWORDS : Pacific cods, satellite tracking, genetic marker, otolith, early life history)

# 목 차

제 1 장 서론	12
제 2 장 국내외 기술개발 현황	15
1. 국내 연구동향	15
2. 국외 연구동향	21
3. 기타 선행연구 분석	25
4. 현기술의 한계 분석	35
제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과	37
1절. 위성추적장치 및 어획자료를 이용한 이동경로 추적	37
1. 연구 방법	37
가. 위성추적장치를 이용한 이동경로 추적	37
(1) 태그의 부착	38
나. 어획자료를 이용한 서식처 추정	47
2. 연구 결과	49
가. 위성추적 장치를 이용한 이동경로 추적	49
나. 어획자료를 이용한 서식처 추정	53
3. 토의	98
2절. 유전자마커를 이용한 분석	99
1. 연구 방법	99

가. 한국의 동·서·남해 대구 계군 시료 채집 -----	99
나. Microsatellite 마커를 이용한 대구 계군의 유전적 구조 분석 -----	100
(1) Genomic DNA 분리 및 정제 -----	100
(2) Microsatellite marker 선정 및 PCR 증폭 -----	100
(3) 대립유전자의 크기 결정 -----	103
(4) Genotyping 결과를 이용한 통계 분석 -----	103
2. 연구 결과 -----	103
가. 대구 계군시료 분석을 위한 microsatellite marker 디자인 및 선정 ----	103
나. 대구 계군 분석에 사용한 microsatellite loci별 특성 -----	106
다. 대구 지역별 계군의 유전적 구조 및 유전적 다양성 -----	118
3절. 이석의 화학성분 분석 -----	122
1. 연구 배경 -----	122
2. 연구 방법 -----	123
가. 연구 재료 -----	123
나. 이석 내 미량화학원소 분석 -----	123
3. 연구 결과 -----	124
가. 대구 이석 내 Sr/Ca 비율 분포 변화와 서식처 이용 양상 -----	124
나. 대구의 계군분석 -----	126
4절. 진해만 대구의 초기 생활사 -----	128
1. 연구 방법 -----	128
2. 연구 결과 -----	129
가. 어란 -----	129
나. 자어 -----	130
다. 치어 -----	132
라. 수온 -----	132
3. 토의 -----	134

제 4 장 연구개발목표 달성도 및 대외기여도 -----	137
1. 연구개발목표 달성도 -----	137
2. 대외 기여도 -----	138
가. 대구를 찾아서 홍보 동영상 -----	138
나. 위성추적 및 어획자료를 통한 이동경로 및 서식지 추정 -----	138
다. 유전자 마커를 이용한 대구의 이동경로 추정 -----	138
라. 이석 내 미량화학원소를 이용한 서식처 이용 및 계군 분석 -----	138
마. 대구의 산란장 및 초기생활사 규명 -----	138
제 5 장 연구개발결과의 활용계획 -----	139
제 6 장 결언 -----	140
제 7 장 참고문헌 -----	141



## 제 1 장 서론

### 1. 연구개발의 목적

- 위성추적장치 및 어획자료를 이용한 대구의 이동경로 및 서식지 추정
  - 가덕도와 진해만에 회유하는 대구에 위성추적장치 부착 후 위치 수신을 하여 이동 경로를 추정한다.
  - 수협 무선국의 장기간 대구어획자료를 이용하여 대구의 서식지를 추정한다.
  
- 유전자마커를 이용한 대구의 이동패턴 분석 및 이동경로 추정
  - Microsatellite 마커를 이용하여 대구 계군의 유전특성 및 유전적 구조를 분석한다.
  - 유전적 구조 분석 결과를 활용한 대구의 이동패턴 분석 및 이동경로 추정한다.
  
- 이석 내 미량화학원소를 이용한 서식처 이용 및 계군 분석
  - 이석 내 미량화학원소 조성(Sr/Ca ratios)을 분석하여 서식처 이용을 분석한다.
  - 이석 내 칼슘에 대한 7개 미량화학원소 조성비에 따라 계군을 분석한다.
  
- 대구의 산란장 및 서식처 이동 양상 파악
  - 한반도 연안 산란수역을 중심으로 대구알과 자치어를 채집한다.
  - 채집한 자료를 바탕으로 대구의 산란장과 서식처 이동양상을 파악한다.
  
- 대구의 생활사 동영상 콘텐츠 제작
  - 기존 연구결과 리뷰를 통한 스토리보드를 작성한다.
  - 최신 연구결과로 홍보 동영상을 제작한다.

### 2. 연구개발의 필요성

#### □ 우리나라의 주요 수산자원인 대구의 회유경로 파악 필요

- 대구는 우리나라의 대표적인 수산자원이지만 이들의 정확한 회유경로와 생활사에 대해 알려진 바가 없다. 이에 대해 회유경로를 파악하는 것이 필요하다.

#### □ 지속적인 수산자원으로 공급을 위해 관리 필요

- 수산물로부터 공급되는 단백질은 전체 단백질 공급량의 약 20~25%를 차지한다. 2006년 현재 수산물에서 약 3천만톤의 단백질이 공급되고 있다. 2050년 인구 약 90억으로 증가 예상되므로 인류에게 7400만 톤(즉, 3.7억 톤 x 0.2) 이상의 단백질이 수산물로부터 공급되어야 한다. 즉, 현재보다 두 배 이상의 수산물 생산량이 필요하므로, 적절한 수산물 증산 대책이 필요하다. 그 대책으로 양식과 함께 자원관리 방안 모색이 절실

하다.

- 기후변화, 과도한 남획 등 외부적인 요인에 의해 대구의 개체군이 감소할 위험이 있기 때문에 이를 예상하여 집중적으로 관리하는 것이 필요하다.

### 3. 상위목표와의 연계성

#### □ 해양과기원 임무 및 경영목표 등과의 연계성

- 해양자원의 이용기술 개발과의 연계
  - 해양과기원의 임무 중 하나인 해양자원의 이용기술 개발을 위해서 변화하는 해양환경에서 주요한 해양생물자원을 보전하고 관리하는데 활용할 수 있다.
  - 해양생물자원 회복 및 관리 연구는 해양과기원의 전략목표 가운데 “[바다자원 찾기] 지속가능한 해양생태계 관리 및 미래 유용자원 탐색·활용”에 속해 있다.
- 해양환경 보전 및 기후변화 예측 연구
  - 해양과기원의 경영목표 중 하나인 해양환경 보전 및 기후변화 예측연구와 관련하여 변화하는 기후 시나리오에 대해 대구 회유경로와 개체군이 어떻게 변동할 것인지를 알아 미래의 대책을 세울 수 있다.

#### □ 국가적 아젠다(정부 140대 국정과제, 제3차 과학기술기본계획 등)와의 연계성

- 박근혜정부의 국정과제
  - (과제번호 7) IT기반의 과학기술융합
    - 해양과학기술과 ICT기술의 접목을 통한 해양정보 측정기술을 향상시킨다.
  - (과제번호 11) 지속가능한 수산업 실현
    - 태그 기술을 활용하여 얻어진 해양정보는 지속가능한 수산업 실현을 위한 정책수립의 기초자료로 활용 가능하다.
- 제3차 과학기술기본계획(2013~2017)
  - (High 2) 기후변화 대응력 강화, 식량안보와 식품안전 향상
    - 후쿠시마 원전사고가 회유성 어류에 미치는 영향에 대해 실제적인 과학적 데이터 확보를 기반으로 수산식품 안전성을 판별할 수 있다.
- 제2차 해양수산발전기본계획
  - 기후변화에 따른 해양관측 인프라 구축과 정밀 감시
    - 기후변화로 인해 발생하는 어장변동의 모니터링을 위한 기초 인프라로 활용이 가능하다.

○ 2015년도 미래부 업무계획

- 과학기술 기반 미래준비 강화

- 기후변화에 대응, 국민안전 확보를 위한 관련 핵심기술을 개발한다.

## 제 2 장 국내외 기술개발 현황

### 1. 국내 연구동향

#### □ 국립수산물과학원의 대구 관련 연구

- 대구 인공수정란 방류(기본과제, 1981)
  - 남해안 대구자원의 증강 및 보호가 목표로, 대구 인공수정란 5천만립 방류, 대구친어 성숙도 조사, 연령사정 시료 채취를 내용으로, 대구자원의 회복 및 증강을 기대한다.
  
- 대구인공수정란 부화 및 치·자어 사육시험(기본 및 계속과제, 1982)
  - 인공수정란 방류에 따른 사후관리에 필요한 기초자료 확보가 목표로, 부화시설개발, 자어사육실험, 치어사육 먹이 시험을 내용으로 한다.
  
- 대구 치·자어 사육시험(기본 및 계속과제, 1983)
  - 인공수정란 방류에 따른 사후관리에 필요한 기초자료 및 부화방류를 위한 기술개발을 목표로, 부화실험 및 치·자어 사육 실험을 내용으로 대구인공 수정란 방류 사업을 위한 기초자료 확보를 기대한다.
  
- 수산종묘생산(계속과제, 2003) 및 한해성어류 자원조성시험(신규과제, 2003)
  - 한해성 품종 종묘양산 기술 확립과 한해성어류 자원회복 기술개발을 목표로 한 과제로 대구 생태 및 난 발생학적 특징 파악이 포함된다.
  
- 양식어류 특산화 기술개발 연구(계속과제, 2004~2007)
  - 대구 난발생 및 자치어 종묘생산에 대한 내용(2004)과 대량종묘생산 기술개발(2005)을 다룬다.
  - 먹이공급체계 확립을 통한 대구 종묘생산 기술을 안정화한다(2006).
  - 대구 대량 종묘생산 기술개발과 양식 산업화를 위한 양식기술을 개발한다(2007).
  
- 다양한 대형과제에 연안 어업의 **한 어종**으로서 연구대상이 됨
  - 남해 연안어업 및 환경생태 조사(계속과제, 2012~2015): 연근해 어장 해양환경 변동에 따른 남해 주요 어업자원의 변동특성 분석을 목표로, 남서해 및 남동해 연안어업 자원조사, 남해 해양변동 연구, 남서해·남동해·제주연안 어장환경 모니터링을 한다.
  - 서해 연안어업 및 환경생태 조사(계속과제, 1993~2015): 서해 연안어업 자원조사, 서해 해양환경모니터링, 서해5도 어장조사 및 어장이용·관리 기반연구를 목표로, 주요 어업 어황조사 및 예보, 주요어종 생물학적 조사, 어종별 분포 및 어획량 특성조사, 어장환경조사 및 어장평가, 수산자원 분포 및 생태조사 등을 수행한다.

- 동해 연안어업 및 환경생태 조사(계속과제, 1994~2015): 동해 주요 어업자원의 생물특성과 자원상태평가·관리 및 해양생태계 변동과 기후변화 영향에 대한 조사와 연구가 목표로, 동해연안어업자원조사, 동해 해양변동 및 기후변화 모니터링, 동해 어장환경 모니터링을 한다. **동해연안어업자원조사의 생물학적 특성조사 대상종(6종)중에 대구가 포함된다.**
- 근해어업 자원조사(계속과제, 1997~2015): 1997년 ‘배타적 경제수역 어업자원조사’를 시작으로 2008년 ‘근해어업 자원조사’로 명칭이 변경되어 현재까지 계속되고 있는 사업으로, **우리나라 해역의 주요 어업자원에 대한 직접적인 조사**로써 생물학적 특성 및 자원상태를 파악하고 인접국간 공동자원관리에 필요한 기초자료를 확보, 어업자원생물과 어장환경간의 상호관계 구명, 지속적인 생산을 위한 취약생태계보호 및 수산자원보호구역 관리에 기초한 생태계기반의 어업자원관리에 필요한 과학적인 자료 제공을 목표로 하며, 근해어업자원연구, 참다랑어 자원조사, 유용해산무척추동물 유생분류기술서 발간 등을 내용으로 한다. 특히 **생태계 기반관리 연구를 위한 기초자료 조사 중 자원평가연구에 대구의 해구별 자원량 추정에 대한 내용(2010)**이 포함된다.
- 연근해 어업자원 평가 및 관리 연구(계속과제, 1990~2015): 1990년 ‘연근해 부어류자원에 관한 연구’를 시작으로 몇 차례 이름이 변경된 후, 2008년 ‘연근해 어업자원 평가 및 관리 연구’로 현재까지 계속되고 있는 사업이다. 연근해 주요 어업자원의 총허용어획량(TAC) 설정을 위한 과학적 자원평가 근거자료 및 신뢰성 있는 실시간 연근해 어황정보 제공을 목표로 하며, 주요 어업자원의 변동특성 분석, 주요어업의 어황동향 분석, 주요 어업자원의 어종별 어획동향 및 자원평가, TAC 대상어종 자원평가 및 ABC 산정, 인접국간 공동 대상어업자원의 어획동향 및 자원평가를 내용으로 한다. 이 과제 수행과 관련하여 ‘Size-dependent mortality formulation for isochronal fish species based on their fecundity: An example of Pacific cod (*Gadus macrocephalus*) in the eastern coastal areas of Korea (정 등, 2009)’ 연구논문이 있다.
- 수산자원회복을 위한 어업별 어획성능 정량화 연구(기본과제, 2006~2011): 어업별 어획성능 정량화 연구를 통한 어업자원의 합리적인 관리 및 수산자원 회복에 필요한 과학적인 자료제공, 어획성능에 기초한 연근해어업의 체계적 재편 정책 자료 제공, 어업에 대한 과잉 투자와 경제적 남획을 방지하여 경제적 지속생산 유지가 목표로, 대상어업별 어획노력량에 의한 어획성능 산정, 광학 및 음향기법에 의한 어획효율 조사, 대상어업별 단위노력어획량 표준화 분석, 대상어업별 어획능력 추정 및 어구정량화에 대한 경제성 분석을 내용으로 한다. 동해안 대구 대상어업 실태조사로써 2007년과 2008년에 각 4회 실시하는 내용을 포함 한다.

○ 수산자원회복사업(정책과제)

- 대구 자원회복을 위한 워크숍 개최(2013)
- 2013년도 대구 자원회복을 위한 워크숍 자료집 발간: 진해만 대구의 자원생태학적 연

구의 고찰 및 우리나라 대구의 분포와 이동에 대한 고찰을 다룬 바 있다.

- 기후변화가 수중생태계 구조에 미치는 영향 및 예측기술 개발(기본과제, 2013~2015)
  - 대마난류 영향 한반도 연안역 수중생태계 구조 및 변화도 분석 기반구축과 주요 **회유성 어종인 참조기의 음향산란특성** 및 체장의존성 분석, IPCC AR5결과를 활용한 기후변화에 따른 한반도 주변해역 장기해황변동 재현 및 예측, 한반도 주변해역 단기 해황변동 예측시스템 구축, 그리고 기후변화에 기인한 이상해황 발생 특성 분석 및 한반도 주변해역 중규모 악기상 발달 특성 분석을 목표로 하며, 연구내용 중에 연근해 주요종(갈치)의 음향산란특성 분석 및 체장의존성 규명, 대마난류역 정점별 수중생태계의 영양단계 해석 및 먹이망 구조의 공간 변이 분석, 기수변화에 따른 한반도 이상기상 영향 예측을 포함하고 있다.
  - 이 과제는 직접적인 대구 관련 과제는 아니나, 회유 어종의 이동경로 및 산란장에 기후변화가 미치는 영향과 회유 어종의 회유 시기 및 이동경로와 해류와의 관계, 그리고 조사법으로 음향조사를 적용하는 면에서 향후 우리의 연구 진행에 도움을 줄 수 있을 것으로 기대한다.
  
- 냉수대 발생해역의 생태환경 변동 연구(기본과제, 2013~2015)
  - 동해남부 냉수대 및 진도 냉수대의 발생기작을 해명하고, 예측 기반 마련을 통하여 냉수대 발생에 의한 수산업 피해를 최소화하고 상이한 냉수대 발생 기작에 대한 원인을 정량적으로 해명하고, 냉수대 발생에 따른 주변 해역의 생지화학적 변동 특성을 이해하여 수산업 피해 최소화 및 소득증대의 기반으로 활용, 또한 지역산업과 연계하여 대국민 정보제공 자료 활용에 목표를 두고, 냉수대 예측 기술개발 및 발생기작 규명, 동해남부 냉수대 및 진도 냉수대 발생해역의 어장생태 변동 경향 모니터링을 내용으로 한다.
  - 이 과제는 한해성 및 회유하는 어종으로 알려진 대구 연구중 특히 동해 및 남해 대구에 있어서, 대구의 생활사와 관련한 분포, 이동, 산란 등 모든 행동반경을 해역의 환경특성과 연계하여 해석할 수 있는 자료를 부분 제공해 줄 것으로 기대한다.
  
- 대구 자원회복사업 연구 (2007~)
  - 국립수산과학원 남동해수산연구소는 동해로 이동하는 대구의 서식환경과 행동특성 및 이동범위 파악을 위해 전자표지표를 부착한 대구 15마리를 거제 앞바다에서 방류하였다.
  - 2011년-2014년까지 4차례에 걸쳐 경남 진해만에서 산란을 끝낸 대구에 팝업(pop-up) 위성통신 태그를 부착해 방류하고 모든 개체가 동해로 이동한 것을 확인했다.
  - 2015년은 수온과 수심 등 동해로 이동하는 대구의 정확한 서식환경 뿐 아니라 행동특성을 파악할 수 있는 가속도 센서가 내장된 소형전자태그를 부착해 방류하였다.

- 이러한 조사는 2007년부터 해양수산부 주관 대구 자원 회복사업의 일환으로 이루어진다.
- 표지표를 부착한 대구를 어획시기와 장소 등 관련 정보제공과 함께 전자표지표를 반환하는 이에게는 10만원 상당의 상품권을 상품으로 제공하기로 했다.

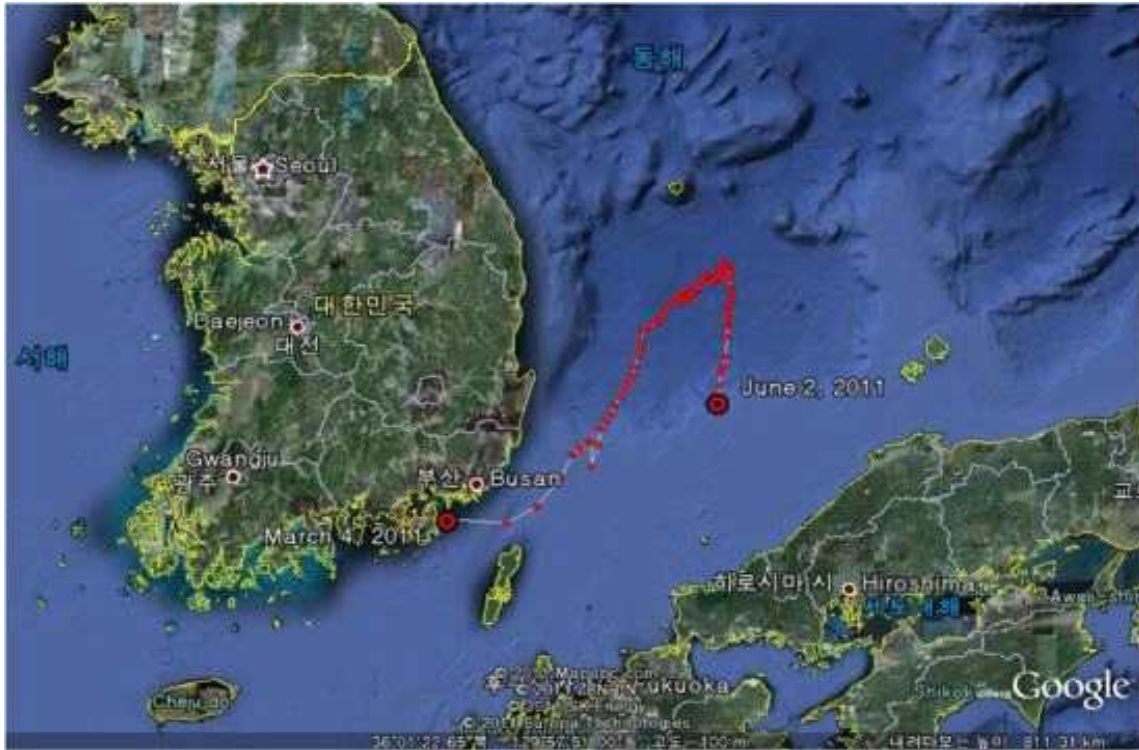


그림 2-1-1. 2011년 방류후 포착한 대구의 이동경로

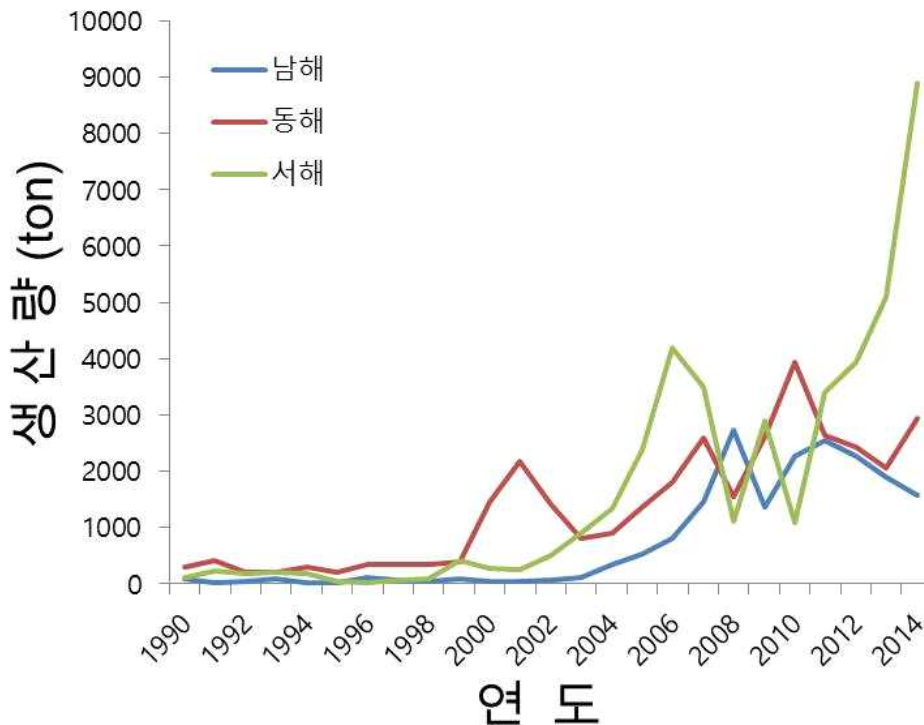


그림 2-1-2. 우리나라 해안 대구 연간 생산량의 변화 (출처: 해양수산부 수산정보포털)

□ **농림수산식품부의 대구 우량종묘 생산 및 방류기술개발 연구(2006~2008)**

- 농림수산식품부는 대구 우량종묘 대량 생산기술을 확립하고, 종묘방류 기술개발 효과조사를 실시했다.
  - 성장에 따른 형태학적 연구 및 소화효소 분석, 소화기관 발달에 대한 조직학적 연구를 수행했다.
  - 양질의 대구 수정란 생산 실험을 시도하여, 대구치어 1만 마리를 통영시 산양읍 풍화리 해상에 방류하였다.
  - 수정란 방류를 위한 실내실험에서는 모자반이나 팜사 등의 부착기질을 이용하는 것보다는 수정란을 수조에 그냥 뿌리는 것이 더 높은 생존율을 보였다. 또한 저질은 사니질이 최적의 조건으로 나타났다.
  - 수정란을 부화시킬 때 대용량 부화기를 이용할 경우 고밀도로 수용하여도 생존율이 높고(42L수조, 생존율 40.0~71.2%, 수정란 5,000ml), 사육공간과 인력 및 경비를 절감할 수 있을 것이다.
  - 진해만에 산란회유한 대구는 상대포란수가 316~935개로 폭넓게 나타나, 같은 체장이라도 산란회유하는 시기에 따라 포란수가 달라질 수 있음을 추정한다.
  - 대구 방류 효과를 추적하기 위한 이석의 Alizarin Complexone의 최적농도는 크기가 큰 치어(73.8±1.2 mm)에서 10mg/L의 농도가 적정한 것으로 추정한다.



- 우리나라 연안에 서식하는 동, 서해 대구와 진해만 대구의 위 내용물은 차이는 해역 간 대구의 체장 차이에 따른 것으로 추정한다. 진해만 대구는 45cm 이상에서 어류를 섭식하는 비율이 가장 높다.

#### □ 부산시 수산자원연구소 방류사업

- 2015 1월 30일 부산시 수산자원 연구소 직원과 어민들이 강서구 동선 인근해역에 대구 종묘 500만 마리를 방류하였다.
- 이 종묘는 8mm 정도의 어린 대구로 1월 초순경 진해 용원 위판장에서 방류용으로 구입한 대구 친어로부터 채란해 인공 부화시켜 30일 정도 연구소에서 키운 것이다.

#### □ 대구의 초기생활사에 관한 연구

- 한국 동해계군 대구의 난발생과 자치어의 성장(서 등, 2007. 한국수산학회지. 40(6)).
- 태평양 대구의 채란, 부화 및 자어성장에 미치는 수온의 영향(이 등, 2007. 한국양식학회지. 20(4)).
- 대구의 난 발생 및 자어 형태발달(김 등, 2007. 한국어류학회지. 19(4)).
- 사육밀도와 먹이 공급 횟수가 대구의 성장에 미치는 영향(최 등, 2011. 한국수산과학회지. 44(1)).
- 진해만 대구의 부화일 및 초기 성장에 관한 연구(곽 등, 2012. 한국어류학회지. 24(2)).
- 한국 진해만 대구 자치어 현존량 추정을 위한 음향자원조사기법의 적용(김 등, 2013. 수산기술학회지. 49(3)).

#### □ 우리나라 대구의 유전특성 분석 연구

- 국립수산과학원에서 microsatellite 마커를 이용하여 우리나라 3개 지역(주문진, 거제, 태안) 대구 계군과 북태평양(홋카이도, 베링해, 알래스카 만) 대구 계군의 유전적 차이 및 유전적 구조를 비교했다(2010년 논문발표).
  - 주문진 계군이 유전적인 차이를 나타냈으나 유전적 다양성은 낮았다.
  - 동해 계군은 남해 및 서해 계군에서 유전적으로 분화되었음을 확인했다.
- 2008년~2009년에 채집한 7개의 대구 계군을 미토콘드리아 DNA로 분석하여 유전적 거리 및 유전적 다양성을 계산하여 발표했다(국립수산과학원).
- 경상대학교에서 대구 집단의 유전적 차이를 규명하기 위하여 5개 지역(보령, 진해만, 주문진, 죽변, 방어진) 시료를 마이크로세틀라이트 마커 및 미토콘드리아 DNA 조절 영역을 분석했다(2011년 논문 발표).
  - 5개의 계군이 유전적으로 3개(보령-진해만, 방어진-죽변, 주문진)의 집단으로 구분됨을 확인했다.

## □ 이석을 활용한 대구의 생태 연구

- 경상대학교와 국립수산물과학원에서 이석의 미세구조를 이용하여 대구의 치어 및 성어의 성장 특성에 관한 연구가 수행한 바 있고(곽우석 등, 2012; 김희용 등, 2013),
- 경상대학교의 연구팀은 대구 방류 효과를 추적하기 위한 연구의 일환으로 Alizarin Complexone로 이석 marking 시 적정농도(치어(73.8±1.2 mm)에서 10mg/L가 적정 농도임)를 조사한 바 있으나,
- 대구 이석의 화학성분을 이용한 생태연구는 거의 이루어지지 않았다.

## 2. 국외 연구동향

### □ 대구의 생산량 변화

- 국제연합식량농업기구(FAO)에서 보고한 1950년부터 2010년까지의 대구 어획량 자료에 따르면 1970년대 말 감소추세에서 다시 급격히 증가하기 시작해 93년경을 최고로 다시 감소하는 경향이 나타난다.
- 태평양의 대구는 대서양 대구(Atlantic cod)와 달리 먼 거리를 회유하지 않으며 비교적 짧은 거리를 회유하는 것으로 알려져 있다.
- 최근의 기후변화가 이들의 회유경로에 영향을 주며 산란장소와 시기에 변화가 나타나는 것으로 보고된다.

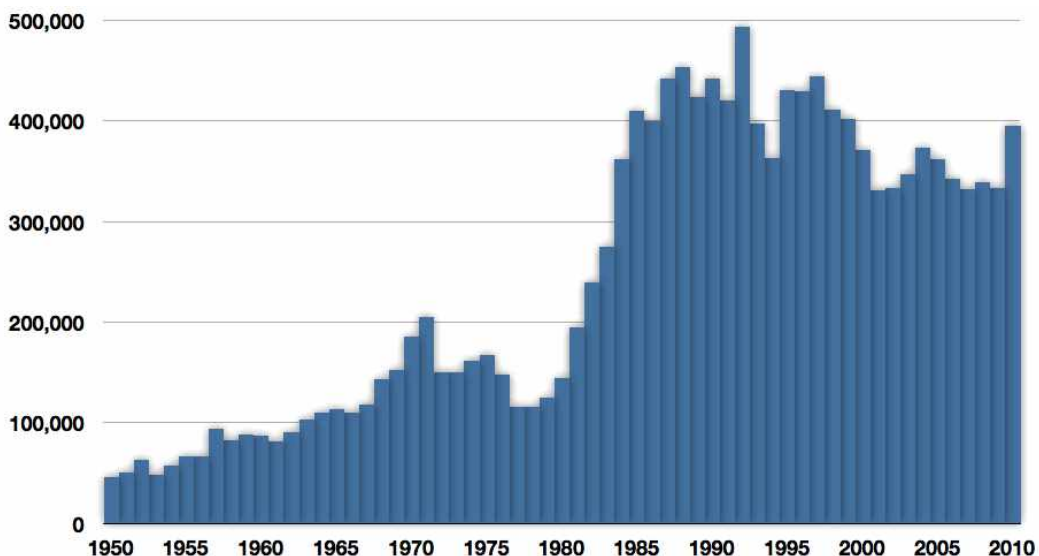


그림 2-2-1. 1950년부터 2010년까지 세계 대구 (Paicif cod) 어획량 (FAO)

### □ 대구(Pacific cods) 유전자마커 분석 연구

- NOAA에서 대구 계군 분석 및 수입된 대구류의 혼합 stock 분석시 사용하기 위한 microsatellite 마커를 개발했다.

- 마커 10개를 개발하고 각각의 마커 특성을 분석하였다.

## □ 알래스카 해역의 대구(Pacific cods) 이동 연구

- Cunningham et al. (2009) 은 microsatellite DNA 분석을 통해 북동 태평양의 대구의 유전적 개체군 구조를 분석했다.
  - 지리적으로 멀리 떨어져 있을수록 Genetic divergence가 증가하는 양상이 나타난다.
  - 대구의 출생부터 번식까지 분산하는 평균을 30km 미만으로 추정한다.
- 반면 러시아의 학자들 그룹인 Stroganov et al. (2009) 은 Microsatellite DNA를 이용해서 북태평양의 쿠릴 남부와 베링해, 오오츠크해, 캐나다 앞바다의 대구를 비교한 결과 쿠릴을 제외하고 다른 세 지역의 대구는 근사도가 상당히 높게 나타남 ( $I = 0.996$ ) 을 발견했다.
  - 쿠릴열도를 제외하고는 상당히 거리가 먼 집단 간 유전적인 교배가 일어날 가능성이 있다.
- 워싱턴대학과 NOAA, 알래스카 Department of Fish and Game의 연구진으로 구성된 Shi et al. (2007)은 North Pacific Research Board Project를 통해 여러 가지 태그를 사용해 표지후 채포획 방식을 사용하여 베링해와 알래스카 해역의 대구의 이동 율을 계산한 결과 70%의 tag가 50마일 (약80km) 이내에서 회유하는 것을 발견. 그러나 일부는 675마일 (약 1000km) 까지 이동하기도 했다.
- NOAA의 연구자 그룹인 Rand et al. (2014)는 베링해 동부에서 태그를 장착한 대구를 2003-2004년 연구했다.

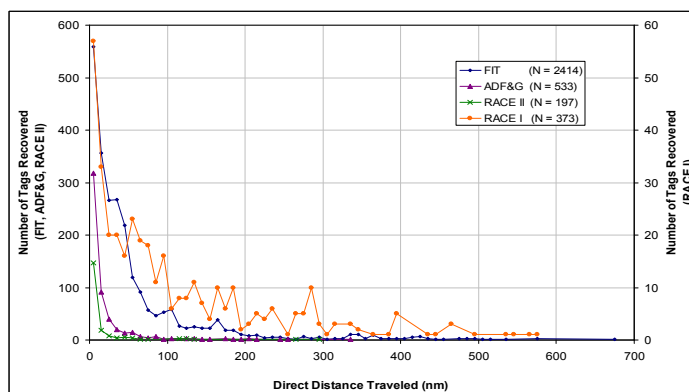


그림 2-2-2. 대구에 태깅을 하고 회수된 태그를 토대로 계산한 이동 거리.

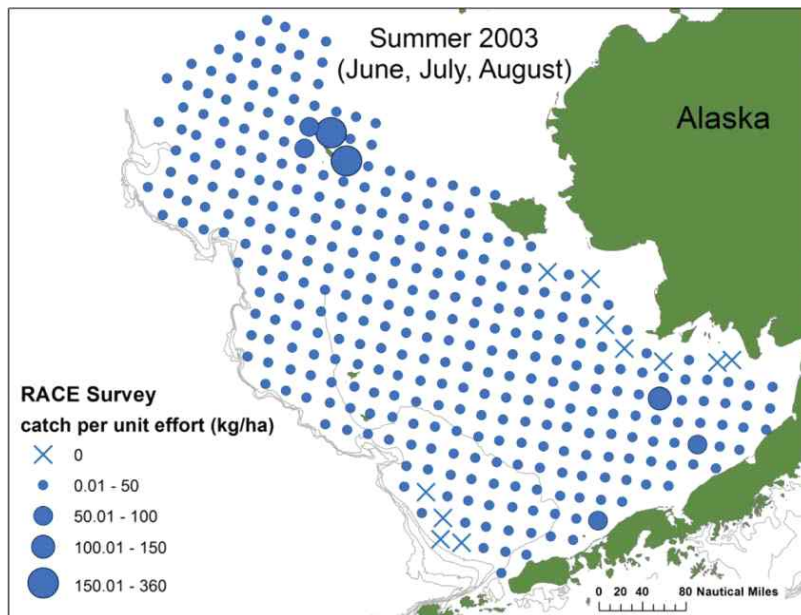


그림 2-2-3. RACE 태그가 회수된 빈도의 분포.

- 산란 전에는 베링해 전역에 넓게 분포하고 있다가 1-3월의 산란기에는 같은 장소에 모여드는 특성을 보인다는 결론을 내렸다.
- 100km 이상 먼 거리에서 회수되는 비율이 가을철 56%까지 올라가며 이 때 평균 이동거리가 403km 이다.

#### □ 대서양 대구(Atlantic Cod)의 이주 연구

- Nature Conservancy in Massachusetts 에서는 “E-ZPass for fish”라는 전자 태그를 이용해 Atlantic cod의 이주를 연구 중 이다.
- 기후변화, 남획 등으로 해마다 감소하는 대서양 대구를 보전하기 위한 방안으로 연구를 시작했다.
- 메사추세츠의 남부해안의 대구의 주요 산란장인 Gulf of Maine에서 전자태그를 부착했다.
- 해저에 있는 34개의 수신기 안에서 태그를 단 어류가 지나갈 때마다 고유한 신호를 수신해서 기록하는 방식이다.
- 이러한 정보는 각 물고기의 행동을 시각화하고 산란기의 시작과 끝을 알 수 있을 뿐만 아니라 산란행동을 이해하는 데 도움을 준다.



그림 2-2-4. 대서양 대구에 전자 태그를 부착하고 바다에 보내는 모습.

<http://blog.nature.org/science/2014/01/20/chasing-cod-tracking-a-fish-to-save-an-industry/#sthash.eQ9VS79o.dpuf>

#### □ 이석 화학성분을 이용한 대구의 생태 연구

- 캐나다와 미국의 연구진(Gao et al., 2005)은 이석의 안정동위원소와 추적 원소를 이용하여 Vancouver Island 주변에서 채집된 태평양대구(태평양대구)의 자원 구조(생활사, 산란군 등)를 분석하여 이전 연구자들에 의한 생물학적 관찰결과와 일치한다는 결론을 얻었다.
- 호주의 연구진(Kemp et al., 2011)은 이석 화학성분 조성을 대구류의 종 확인에 이용한다.
- 캐나다의 Campana et al. (1994)은 Atlantic cod의 계군 분석에 이석의 원소를 이용하였다.
- NOAA (National oceanic and atmospheric administration)의 한 연구진(Beth Matta, Thomas Helser, and Craig Kastle)은 알래스카만에서 태평양 대구(pacific cod) 치어의 서식처 이용 평가에 이석의 미량화학을 활용하는 연구를 수행하며, 또 다른 연구진(Craig R. Kastle, Thomas E. Helser, Jennifer McKay, Delsa M. Anderl)은 이석의 안정동위원소를 이용하여 태평양 대구(pacific cod)의 연령을 확인하는 연구를 수행한다.

### 3. 기타 선행연구 분석

#### □ 어류용 태그 분석

##### ○ 태그의 용도

- 최근 국내·외 연구기관을 통한 대규모 해양생태환경 연구가 다수 진행되고 있으며, 해당 연구들은 기본적으로 온도, 깊이, 밝기, 위치와 같은 다양한 정보 획득을 위한 센서가 사용되어 왔다.
- 상기 언급된 센서로는, 관찰 동물의 이동 경로를 추적하기 위한 위성 기반 Global Positioning System(GPS: 위성항법장치), 활동 환경 해석을 위한 온도, 조도, 깊이, 염도, 산성도, 자기장, 시간 측정 센서, 마지막으로 운동 상태 해석을 위한 Inertial Measurement Unit(IMU)가 대표적이다.
- 이러한 상기 언급된 센서는 장착 후 동물의 상태, 위치 및 행동 결정 방식에 대한 생태를 분석하기 위해 측정되어 수집되며, 크게 인공위성을 통한 데이터 수집과 별도의 저장 장치를 이용한 측정 후 회수하는 2가지 방법으로 사용된다.
- 해양 생물에 부착하는 이러한 센서를 사용하여 개체의 식별, 이동 거리 및 위치, 움직임과 이동 속도, 호흡 횟수, 심박동 및 체온을 비롯한 개체의 생리정보 뿐 아니라 소형 카메라나 레코더를 함께 부착하여 이동 지역의 시각 정보 및 음향 송수신과 관련된 정보 또한 얻을 수 있다 (Sound, 2006).
- 특히 어류에 부착하는 태그는 개체군의 특성과 이동경로를 파악하는데 매우 중요한 역할을 하며 상어나 가오리 등의 대형 판새류에서는 개체 식별에도 활용 된다.
- 연구의 주제 및 어종에 따른 적절한 태그를 선택하여 부착하는 것인 연구의 성공도를 좌우하며, 이 때 태그 및 식별을 위한 마크의 종류는 동시에 몇 가지가 복합적으로 사용되기도 한다 (Latour, 2005; Thorsteinsson, 2002).

##### ○ 어류의 식별을 위한 태깅 및 마킹의 종류

- 생물학적 방법
  - 체외 부착 기생 생물의 부착 위치 등의 특징
  - 외형적 특징
  - 유전적 특징
- 화학적 방법
  - 체내 구성 물질비 활용
  - 식별을 위한 화합물의 주입



- 물리적 방법
  - 부속지의 절단

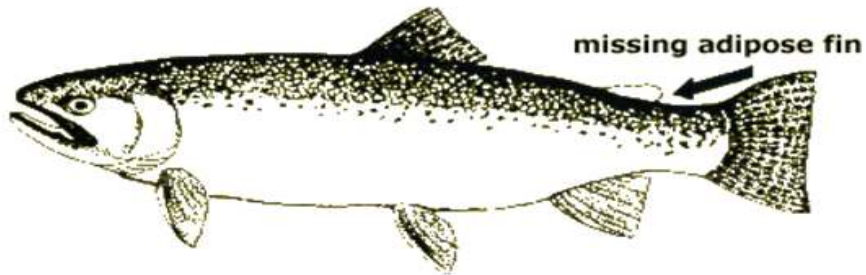


그림 2-3-1. mark and re-capture법을 위한 부속지 절단의 예  
(출처: Atlantic States Marine Fisheries Commission: <http://www.fishtag.info/index.htm>)

- 체외 부착 태그

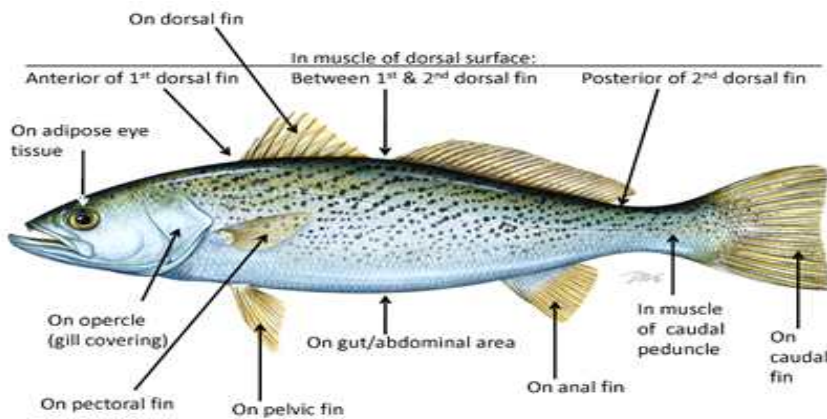


그림 2-3-2. 일반적인 어류의 체외 태그 부착 시 활용되는 부위. (출처: Atlantic States Marine Fisheries Commission: <http://www.fishtag.info/index.htm>)

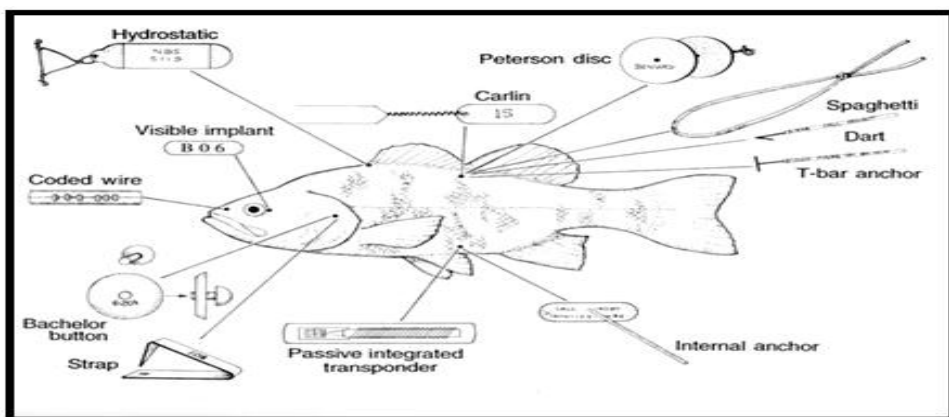


그림 2-3-3. 어류에 부착되는 태그의 종류 및 부착 위치. (출처: Atlantic States Marine Fisheries Commission: <http://www.fishtag.info/index.htm>)

· 체내 삽입 태그

○ 태그의 종류: 체외 부착 태그

- 체외 태그의 종류

· Visible Implant Elastomer (VIE): 외부에서 식별가능 하도록 색이나 글자로 정보를 표기하여 피하에 삽입하도록 만들어진 태그이다.

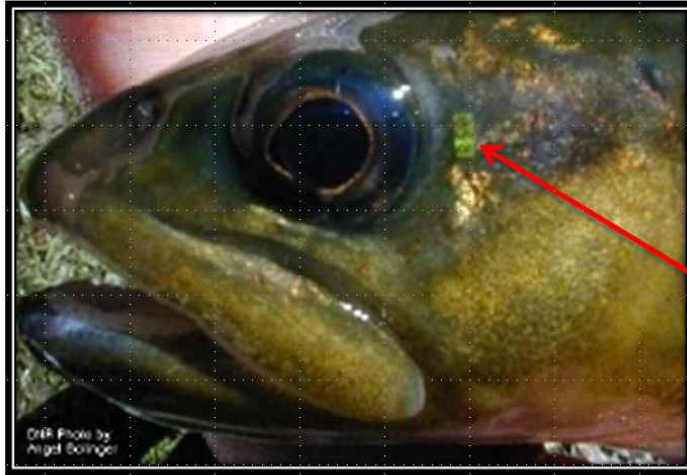


그림 2-3-4. Visible Implant Elastomer(VIE)  
(출처: Atlantic States Marine Fisheries Commission: <http://www.fishtag.info/index.htm>)

· Paper Fasteners

· Strap Tags: 금속이나 플라스틱으로 제작되어 원하는 정보를 기입 후 지느러미 등 체외 부속지에 부착한다.

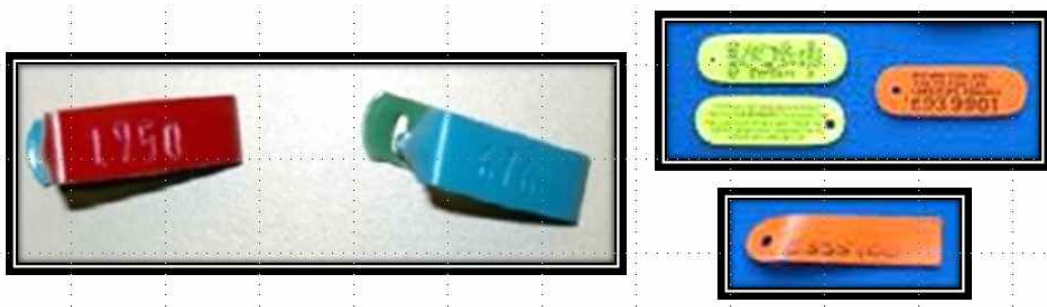


그림 2-3-5. Strap Tag  
(출처: Atlantic States Marine Fisheries Commission: <http://www.fishtag.info/index.htm>)

· Dart /Anchor/ Streamer Tags: 피하에 고정할 수 있는 구조를 활용하는 방식의 태그이다.





그림 2-3-6. Dart Tag 와 Anchor Tag (출처: Atlantic States Marine Fisheries Commission: <http://www.fishtag.info/index.htm>)

- Spaghetti Tags: Dart 또는 Anchor의 방식을 활용하여 고정하는 태그로 긴 끈의 형태를 가진다.

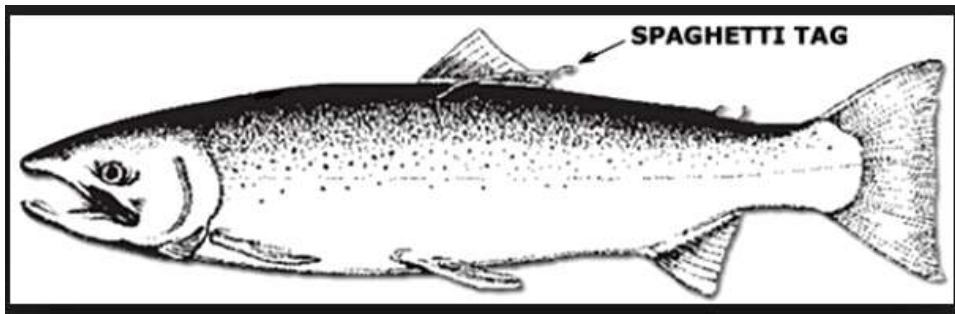


그림 2-3-7. Spagetti Tag  
(출처: [http://www.env.gov.bc.ca/fw/fish/images/spaghetti\\_tag\\_574.jpg](http://www.env.gov.bc.ca/fw/fish/images/spaghetti_tag_574.jpg))

- Dangler Tags: Dart 또는 Anchor의 방식을 활용하여 고정하는 태그로 식별을 위한 태그의 형태가 원형 또는 구슬 등의 형태를 가진다.
- Carlin Tags: 두 개의 평행한 스테인레스 스틸의 고정쇠를 사용하여 부착하는 방식의 태그이다.

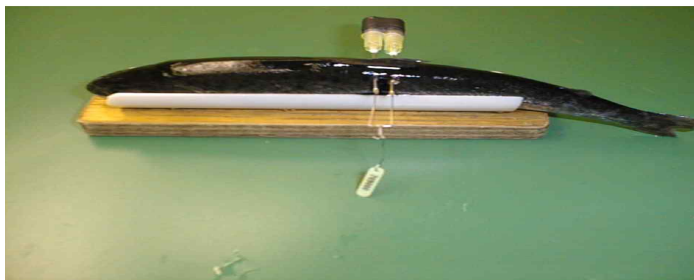


그림 2-3-8. Carlin Tag  
(출처: [http://www.hafro.is/catag/b-fish\\_tags\\_tagging/bl3-methods\\_section/bl304-tagging-carlinta.htm](http://www.hafro.is/catag/b-fish_tags_tagging/bl3-methods_section/bl304-tagging-carlinta.htm))

- Disc Tags: 디스크 형태를 가진 태그로 주로 Dart 또는 Anchor의 방식을 활용하여 고정하거나 Carlin Tag와 마찬가지로 스테인레스 스틸 또는 와이어를 어류의 등지느러미 아래쪽을 관통시켜 고정한다.



그림 2-3-9. Disc Tags

(출처: Atlantic States Marine Fisheries Commission: <http://www.fishtag.info/index.htm>)

- Specialized Electronic Tags: 고정 방식은 다른 체외 부착 태그와 유사하나 태그에서 특정한 전자기파를 방출하여 이를 식별에 이용한다.

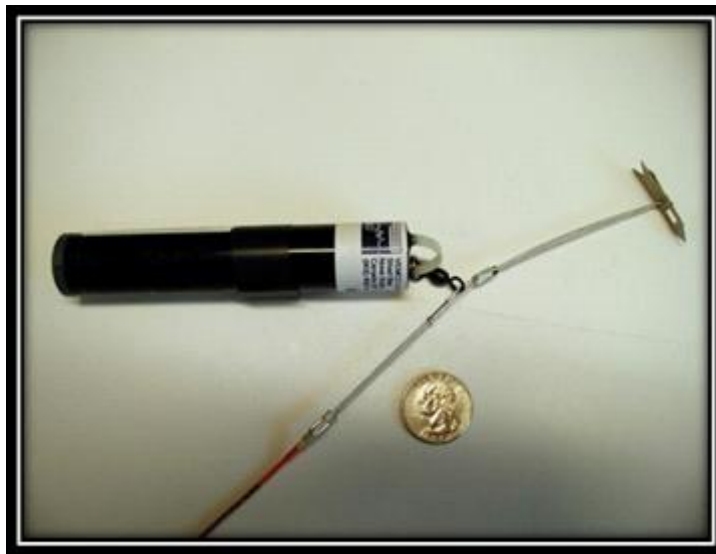


그림 2-3-10. Specialized electronic tag의 한 종류인 tethered acoustic tag. 일정 기간 동안 특정 주파수의 음향을 발생시키도록 제작됨. (출처: Atlantic States Marine Fisheries Commission: <http://www.fishtag.info/index.htm>)

- Pop-off/pop-up Satellite Tag (PSAT): 부착 개체 이동 시 지속적으로 정보를 저장하고 후에 떨어져 나오도록 제작된 태그이다.

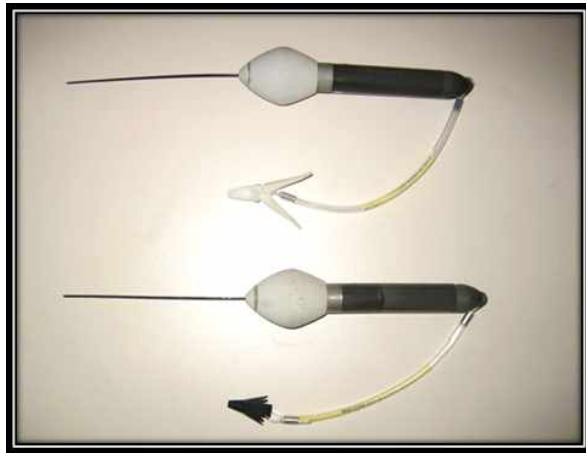


그림 2-3-11. Pop-off satellite archival tag(PSAT) (출처: Atlantic States Marine Fisheries Commission: <http://www.fishtag.info/index.htm>)

- 체외 부착 태그의 장점
  - 해부를 하지 않은 채로 식별이 가능하다.
  - 많은 개체를 동시에 빠르게 식별이 가능하다.
  - 체내 태그에 비하여 발견할 수 있는 확률이 높다.
- 체외 부착 태그의 단점
  - 체외 부착물로 인하여 포식자에게 발견될 확률이 높아 포식압 증가의 가능성이 있다.
  - 이동이나 움직임에 방해가 되는 경우가 있다.
  - 관통, 삼입 등의 부착법으로 인한 감염의 위험성이 있다.

○ 태그의 종류: 체내 삼입 태그

- 체내 태그의 종류
  - Thermal Tags: 부화장 등에서 활용하는 방법으로 부화장의 수온을 조절하여 이석 등에 특정한 패턴을 새기는 방식이다.

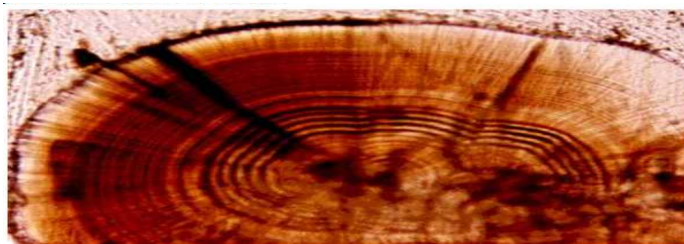


그림 2-3-12 이석 중앙 부근에 새겨진 4개의 어두운 띠로 나타난 thermal tag의 예. (출처: [http://www.azgfd.gov/w\\_c/Fish\\_Tagging\\_Marking\\_Techniques.shtml](http://www.azgfd.gov/w_c/Fish_Tagging_Marking_Techniques.shtml))

- Micro-tags: 현미경으로 식별이 가능한 미세한 크기의 플라스틱 칩으로 체내에 삽입할 수 있도록 만든 태그로 색의 조합에 따라 3억마리의 개체까지 구분이 가능하다.
- Coded Wire Tags: 1mm 가량 되는 크기에 작은 금속 태그로 X-ray 등의 장비를 활용하여 특정한 전자기장을 감지하여 태그의 유무를 확인할 수 있다.

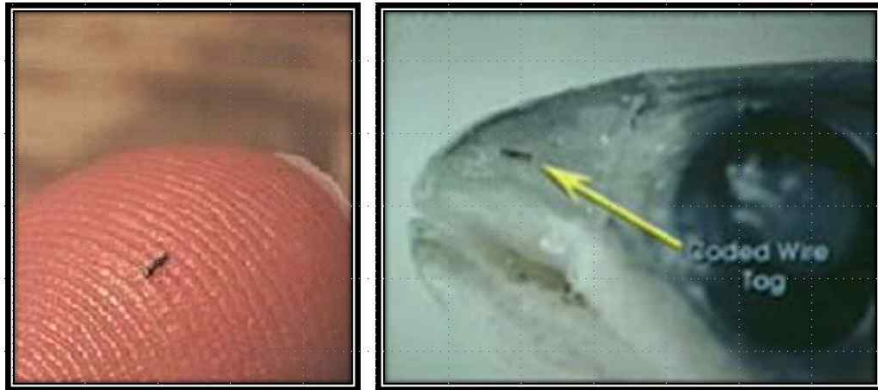


그림 2-3-13. Coded wire tag의 크기와 삽입된 예. (출처: Atlantic States Marine Fisheries Commission: <http://www.fishtag.info/index.htm>)

- Subcutaneous Tags: 일련의 숫자나 기호 등을 새겨 개체 식별이 가능하도록 표시한 후 피하에 삽입하도록 제작된 태그이다.
- Body Cavity Tags: 체강에 삽입하는 용도의 태그로 어종에 따라 크기가 다양하다.

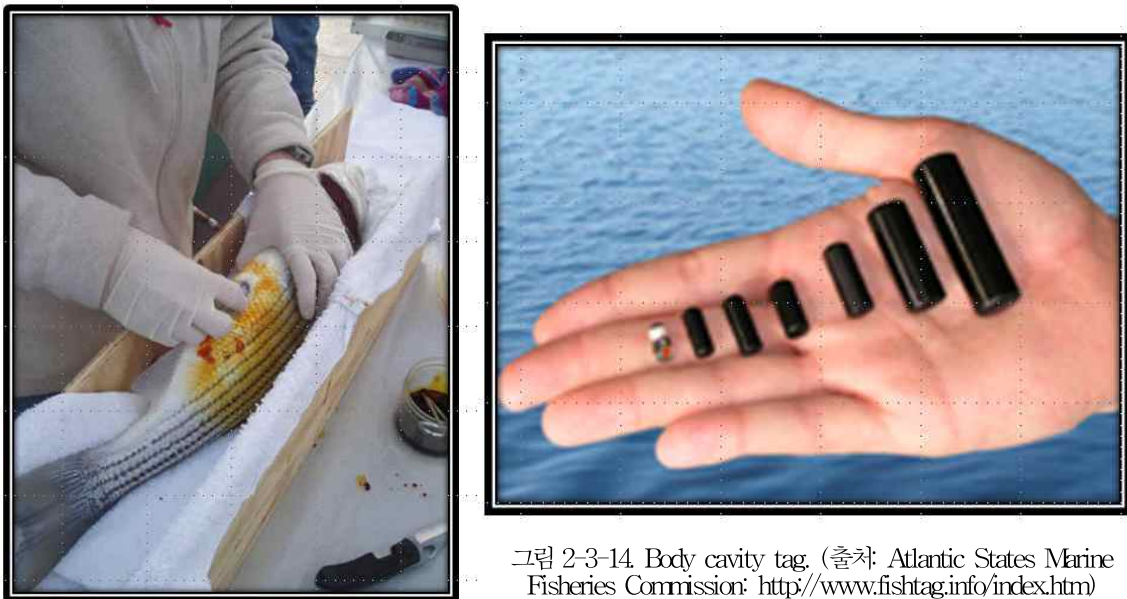


그림 2-3-14. Body cavity tag. (출처: Atlantic States Marine Fisheries Commission: <http://www.fishtag.info/index.htm>)

- Passive Integrated Transponder Tags (PIT)





그림 2-3-15. PIT tag. (출처: Atlantic States Marine Fisheries Commission: <http://www.fishtag.info/index.htm>)

- Radio Tags: 특정한 무선 신호를 발생시키도록 만들어진 태그로 수심이 얇은 민물 지역의 어류에 활용하는 경우가 많으며 차량, 보트, 비행기 등으로 이동하며 안테나로 신호를 수신한다.

- 체내 삽입 태그의 장점

- 체외로 노출되거나 돌출되지 않는다.
- 어류의 부속지를 제거할 필요가 없다.
- 크기가 작을수록 다른 태그 방법에 비하여 상대적으로 장기적 스트레스가 적다.

- 체내 삽입 태그의 단점

- 부착 방법 숙지에 있어 체외 태그보다 숙련도를 높이기 위한 충분한 훈련이 필요하다.
- 제거가 어렵다.

○ 태그 구입 및 제작

- 대표적인 태그 제작 업체

- Biomark: PIT 태그를 전문적으로 제작하는 업체로 미국 아이다호에 위치한다.
- Fish Tagger: 어류에 부착하기 위한 체내 삽입 및 체외 부착 태그를 제작하는 업체로 미국 플로리다에 위치한다.
- Floy Tag: 수중 생물에 부착하기 위한 다양한 종류의 체외 태그를 제작하는 업체로 미국 워싱턴에 위치한다.
- Microwave Telemetry, INC: Pop-up/pop-off Satellite Archival Tag(PSAT) 등 위성 추적을 위한 태그를 주로 제작하는 업체로 다양한 동물에 부착할 수 있는 태그를 제작한다. 미국 콜롬비아에 위치한다.
- Wildlife computer: 야생 동물의 위치 추적을 위한 Pop-up/pop-off Satellite Archival Tag(PSAT)를 전문적으로 제작하는 업체로 미국에 본사가 위치하며 아시아 클라이언트를 위한 부서를 가지고 있다.

- Northwest Marine Technology, INC
- Weetags: 해양 생물에 부착하여 온도와 깊이 등을 측정하기 위한 데이터 기록 및 저장 태그를 전문적으로 제작하는 업체이다. 캐나다 몬트리올에 위치한다.

○ Pop-up/pop-off Satellite Archival Tag(PSAT)

- 압력, 온도, 위치, 조도 등의 수중 환경 정보 및 이동 경로, 산란지역, 잠수 깊이 등의 생태적 정보 등 저장할 수 있는 태그이다.
- 물리적으로 태그를 회수하지 않아도 Argos System을 통하여 데이터를 무선으로 다운로드 받을 수 있다.
- 사전에 pop-off date를 지정, 또는 태그 부착 개체가 사망하거나 지정한 깊이 이상으로 들어가도록 프로그래밍 하여 특정 상황에서 태그가 자동적으로 개체로부터 떨어져 나와 수면에 떠오르고 이후 데이터를 위성을 통하여 전송하도록 제작된다.
- 본 연구에 있어 가장 크게 활용될 태그의 형태로 본 태그 이외에 기타 체외/체내 태그를 조합하여 이동지역 파악 및 회유 경로 추적에 사용 될 예정이다.
- 최근 연구에 가장 많이 활용되고 있는 두 업체의 PSAT 태그 비교.

업체	Microwave Telemetry	Wildlife Computer
태그 프로그래밍	생산자	사용자
활성화	마그네틱의 제거	컴퓨터를 이용하여 활성화 명령 또는 마그네틱의 제거
데이터 송신	Argos (위성 view 제공)	(위성 view 제공하지 않음)
메모리	64M	64M
Argos 메시지 대역 폭	10,000-15,000	10,000
데이터 전사	생산자(업체)를 통하여	사용자가 직접
데이터 생성	외부 온도, 압력(깊이), 위치 등 데이터 생성 주기는 조정 가능	외부 온도, 깊이, 위치 등 데이터 생성 주기는 조정 가능
온도 측정 범위	온도: -4°C ~ +60°C (resolution: 0.04°C)	온도: -40°C ~ +60°C (resolution: 0.05°C)
깊이 측정 범위	0-1296m (resolution: 1.27m)	0-1000m (resolution: 0.5m)
태그 분리를 위한 깊이 설정	기준 깊이 설정 가능(~1200m, 최소 15분) 특정 수압이 일정 기간 지속 될 경우 분리 설정 가능	기준 깊이 설정 가능(~1800m) 특정 수압이 일정기간 지속 될 경우 분리 가능
무게	40g (X-tag) ~ 65-68g(PTT-100)	75g (MK-10)
크기	120mm * 32mm(+150mm 안테나) (X-tag) 40mm * 216mm(+212mm 안테나) (PTT-100)	21mm * 175mm (MK-10)
압력 측정	2500m, 3500psi (X-tag) 2000m, 3000psi (PTT-100)	2000m, 3000psi (MK-10)
지지 가능한 무게	150lbs (X-tag) 120lbs (PTT-100)	정보 없음
정보 훼손 시 복구 가능 여부	불가능	가능
비용	\$3800 - 4400USD (X-tag)	\$3800~4000USD 옵션에 따라 달라질 수 있음

□ 대구 관련 콘텐츠 분석

○ 대구 이야기

- 마크쿨란스키는 대서양 대구의 생태와 역사를 다룬 방대한 <대구>를 저술 하면서 학생들을 위하여 이를 다시 요약 정리한 스토리 북인 <대구이야기(원제-The cod's tail)>을 발간했다.
- 이 책에서는 대서양 대구의 생태뿐만 아니라 대구와 관련하여 바뀌게 된 세계의 역사를 조망한다.
- 바이킹이 대구를 말려서 식량으로 활용하게 되면서 세계를 지배할 수 있게 되는 스토리나 1600년대 대서양을 중심으로 대구를 통해 럼주나, 당밀뿐만 아니라 노예를 사고파는 교역이 일어남을 보여준다.
- 대구를 이용한 요리에 관련된 문화도 재미있게 다루었는데 이를테면 염장한 대구를 요리하기 위해 24시간 이상 물에 담가 주고 자주 갈아주면 더 좋기 때문에 화장실 변기에 연결된 물탱크를 이용하게 된 일화도 소개한다.

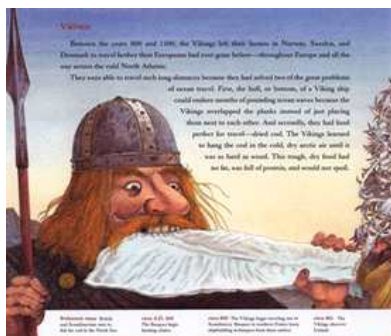
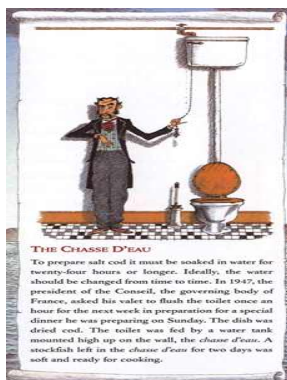
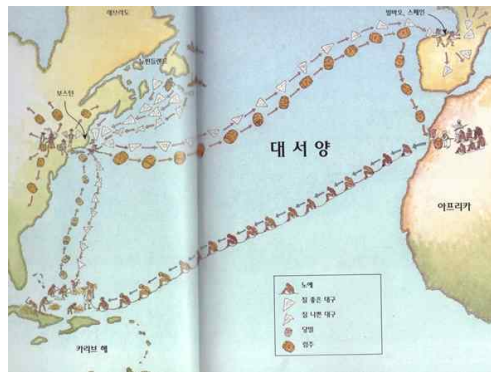
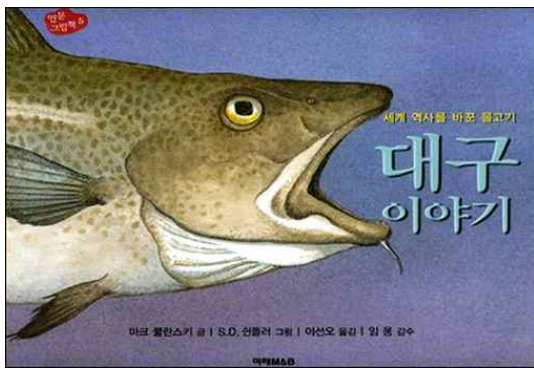


그림 2-3-16. 대구이야기 스토리북

○ What happened to the Grand Banks cod?

<https://www.youtube.com/watch?v=L5wR8lu2Q00&feature=youtu.be>

- Youtube에 올려진 이 동영상은 Grand Banks 대구에 생태에 관한 스토리를 다루며 1992년에 세계에서 가장 많이 잡히던 한 어종이 남획으로 인해 현재는 멸종위기에 처해 더 이상 잡을 수 없게 된 것을 보여주며 이 대구를 보전해야 할 필요성을 역설하고 있다.

#### 4. 현기술의 한계 분석

##### □ 태그 개발 기술의 한계

###### ○ 태그의 소형화

- 태그의 크기는 체내 삽입 및 체외 부착의 모든 방법에서 태그를 부착하게 되는 동물의 운동 능력의 저해, 적합도의 감소, 포식압의 증가를 야기할 수 있다.
- 따라서 이를 해결하기 위해 태그의 크기와 무게를 줄이기 위한 연구가 계속 이루어지고 있다.

###### ○ 획득하고자 하는 정보의 종류

- 기본적으로 해양생태환경 연구에 있어 온도, 깊이, 밝기, 위치와 같은 다양한 정보 획득을 위한 센서가 사용되어 왔다.
- 이러한 센서는 관찰 대상의 이동 경로를 추적하기 위한 위성항법장치(GPS), 온도, 조도, 깊이, 염도, 산성도, 자기장, 시간 측정 및 운동 상태 해석을 위한 Inertial Measurement Unit(IMU)가 대표적이다.
- 그러나 이러한 정보를 하나의 센서를 통하여 모두 얻기는 현재까지 불가능하며, 두어 가지의 정보를 획득할 수 있는 센서를 부착하거나 여러 개의 센서를 동시에 동물에 부착하는 방식을 사용하여 다양한 정보를 획득해 왔다.
- 여러 개의 센서를 동시에 부착하는 방식의 경우 크기가 커지거나 태그 자체의 수명이 짧아지며 또한 동물의 생존을 위협하게 되어 가능한 작은 태그에 다양한 종류의 정보를 수집할 수 있도록 센서를 가능한 소형화하기 위한 연구가 계속 진행 중이다.

###### ○ 데이터 저장 및 송신

- 관찰 동물에 부착한 태그는 일반적으로 수집한 정보를 위성을 통하여 주기적으로 전송하거나, 자체적으로 데이터를 저장하고 있다가 한꺼번에 전송하는 방식으로 활용되고 있다.
- 수중에서는 데이터 전송은 원활하지 않기 때문에, 어류와 같이 장시간 수중에 머물며 수면으로 올라오지 않는 생물종에 대하여 가능한 많은 양의 데이터를 저장하고, 배터리의 수명을 늘리기 위한 연구가 국외에서 활발하게 진행 중이다.
- 수중에서 활동하는 동물의 경우, 적절한 시점에 태그가 동물의 몸에서 분리되어 수면 위로 떠올라야만 데이터를 송신할 수 있는 경우가 많다. 현재에는 압력이나 일정 수심에 도달할 경우 자동으로 체외 부착 태그가 분리되어 떠오르게 하는 방식을 많이 활



용하고 있다.

- 태그는 다양한 요인에 의해 작동이 멈추거나, 데이터를 송신에 문제가 생기기도 하며 (Musyl et al., 2011) 이러한 원인을 정확히 파악하고 이를 해결하기 위한 다양한 연구 개발이 이루어지고 있다.
- 이 외에 해당 동물의 생리적 특성을 지속적으로 모니터링 하며 해당 개체가 사망하였을 경우 태그를 분리시킬 수 있는 센서를 활용하기 위하여 해당 센서의 측정의 정밀도와 소형화를 위한 연구가 국외에서 활발하게 진행 중이다.

#### □ 유전자마커를 이용한 대구의 이동패턴 분석 연구의 한계

- 유전자마커를 이용하여 생물집단의 유전특성을 파악할 수 있는 분석기술은 개발되었으나 어류를 비롯한 생물의 이동특성과 연관된 유전적 증거 및 유전자 정보가 부족하다.
- 어류의 이동특성 관련 유전자 및 환경변화에 대한 적응 관련 유전자 탐색이 필요하다.
- 대구 계군의 유전적 구조 분석에 필요한 다양한 유전자마커 확보가 시급하다.

#### □ 이석의 화학성분 분석을 통한 대구의 서식처 이용 양상 파악

- 어류 이석의 화학조성은 대상 생물의 생활사에 따른 서식환경을 대변하는 유용한 자료로써 어류 생태 연구에 폭넓게 이용되고 있다.
- 이석 화학성분 분석을 위해서는 레이저 삭막 유도결합 플라즈마 질량분석기 (LA-ICPMS, Laser ablation-inductively coupled plasma mass spectrometry)가 이용되어야 하고, 작은 이석 내 미량원소를 분석해야하는 만큼 고도의 숙련된 이석 전처리 기술과 이석 화학조성 분석 결과 해석 기술이 요구된다.

## 제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

### 1절. 위성추적장치 및 어획자료를 이용한 이동경로 추적

#### 1. 연구 방법

##### 가. 위성추적장치를 이용한 이동경로 추적

2016년 1월 28일과 2월 4일 거제도 외포리 앞바다에서 각각 대구 4개체와 3개체에 위치추적장치를 부착하여 수심 30m 되는 인근 해역에 방류하였다 (표 1). 대구는 현장에서 미리 홍영호 선장이 어획한 건강한 개체를 사용하였으며 부착한 위치추적태그는 Lotek사의 PSATGEO이다. 타사와 비교하여 이 회사의 태그를 선정한 이유는 Wildlife 제품의 국내보급사 가격이 개당 1,000만원 이상이 될 정도로 비쌌고 Microwave 제품은 주문 후 보급되기까지 시간이 6개월 이상이 소요되어 상대적으로 가격이 저렴하고 (500만원 수준) 대구와 같은 중형 어류의 위치추적을 위해서도 사용이 된 바가 있어 낙찰되었다.

대구는 표영성 어류가 아니고 심해 중층 또는 저서성 어류이므로 수면 위로 떠오르지 않아 유영을 하는 중에는 부착된 GPS 송신장치가 신호를 보낼 수 없다. 따라서 일정시간이 지나 탈거되어 수면에 떠오르도록 고안된 pop-up satellite tag를 사용하여 이동경로를 추정해야 한다. 수중에 유영을 할 때는 Psat에 내장된 geolocator가 이동방향과 거리를 추정하여 저장을 해 놓고 나중에 위성으로 그 정보를 송신한다. 이 연구에서 사용된 Lotek Psat중 4개는 4개월 후 자동으로 탈거되어 수면에 떠오르도록 프로그램 되었고 나머지 3개는 12개월 후 탈거되도록 프로그램 되었다.

표 3-1-1. GPS태깅 후 방류한 개체의 성별, 체장, 방류위치

방류 일자	Tag #	암수	체장	체고	방류위치	비고
01월 28일	1386	157885	수	68	34.55.266N 128.48.567E	
01월 28일	1387	157886	암	88	34.55.266N 128.48.567E	
01월 28일	1390	157887	수	67	34.55.266N 128.48.567E	
01월 28일	1394	157891	암	73	34.55.266N 128.48.567E	
02월 04일	1391	157888	암	75	34.55.094N 128.48.169E	34.933N 128.8469E
02월 04일	1393	157890	암	65	34.55.094N 128.48.169E	
02월 04일	1392	157889	수	68	34.55.094N 128.48.169E	

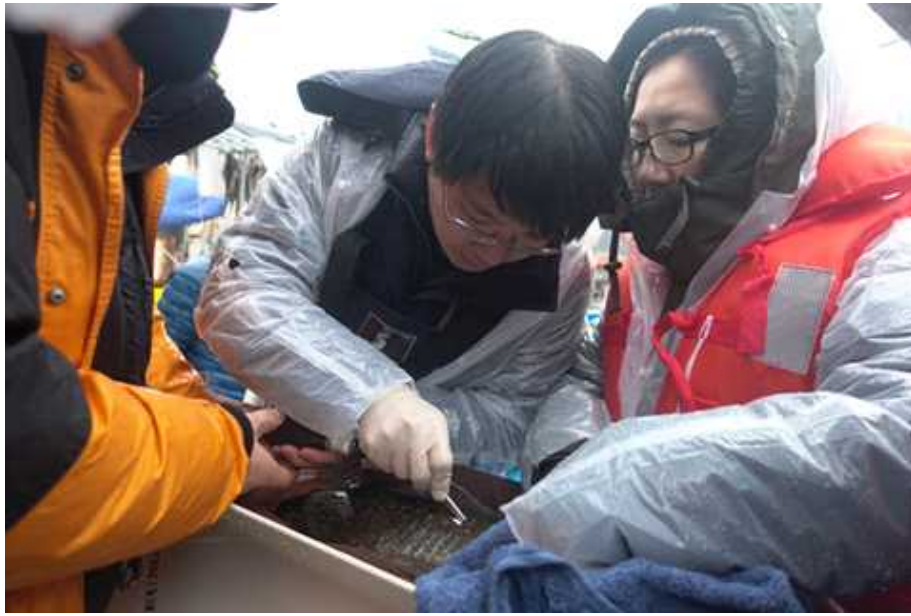


그림 3-1-1. dart tag에 연결하는 방법으로 대구에 태그를 부착하는 모습

#### (1) 태그의 부착

본 연구에서는 대구의 이동경로를 추적하기 위한 위성기반Global Positioning System(GPS: 위성항법장치)센서와, 이러한 센서를 부착한 개체를 외부에서 확인하기 위한 체외부착 태그를 활용하였다. 대구에 태그를 부착한 방법은 아래와 같다.

##### (가) Pop-up satellite tag의 부착

○ 본 연구에서는 대구에 더 적합한 부착방법을 확인하기 위해 2가지의 PSAT 부착 방법을 활용하였다. Dart tether를 활용하여 근육 조직에 PSAT의 와이어 부분을 고정시키는 방법과 오클랜드법을 활용하여 스테인레스 와이어를 근육조직에 관통시켜 고정하는 방법이다. PSAT는 부착 작업 전 바닷물을 담귀 작동 여부를 확인하였다



그림 3-1-2. 연구에 사용한 PSAT tag

① Dart tether를 이용한 부착

○ Floy tag사의 FH-69 (Stainless steel dart tag with SS wire core, wire: 25cm, tubing 15cm)를 PSAT와 연결시켰다. Dart tether는 두줄의 와이어가 꼬인 채 연결되어 있어, 와이어를 적절한 길이로 자르고 PSAT 하단의 고리 부분의 걸어 와이어의 돌출부를 마감한다. PSAT와 연결된 dart tether는 전용 어플리케이션을 이용하여 대상 어류의 등쪽 상단부, 지느러미 아래쪽의 근육 부분에 삽입한다. 이 경우 tether가 깊이 박혀 뼈를 건드리지 않도록 유의할 필요가 있다. dart tether 삽입이 끝나고 방류된 대상 어류는 유영 시 PSAT와 연결된 와이어 부분이 물의 흐름에 따라 움직이는 경우 돌출부에 의해 상처를 입을 수 있으므로, 와이어 마감부분은 수축튜브로 감싸 마무리하였다.

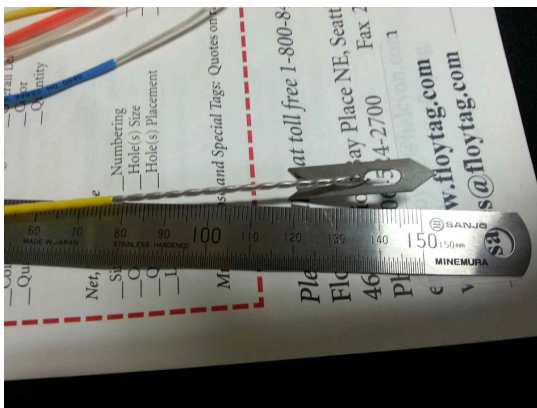


그림 3-1-3. Dart tether



그림 3-1-4. Dart tether용 어플리케이션

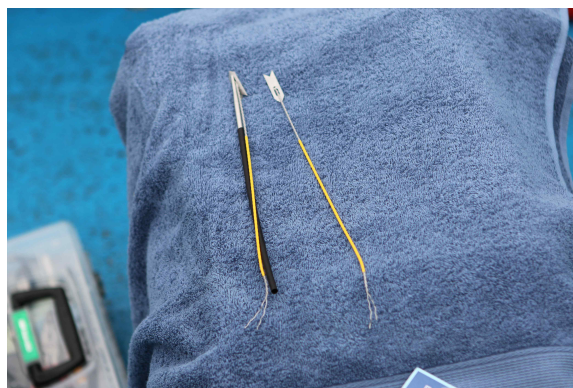


그림 3-1-5. 어플리케이션과 결합한 dart tether





그림 3-1-6. Dart tether를 이용한 PSAT의 부착 (왼쪽 상단부터 시계 방향으로)

## ② 오클랜드(Okland)법의 활용

○ PSAT를 어류에 부착하기 위해 활용되는 방법은 크게 4가지이다. 어류의 등쪽을 관통하는 스테인레스 스틸 와이어를 고정하기 위한 두 개의 단단한 플라스틱 판을 활용하는 오클랜드법(okland method), 등지느러미가 없는 부분에 와이어를 고정하고 이를 위해 등의 양 측면과 윗면에 세 개의 등근 디스크를 활용하는 젤리만-츠키모토법(Jellyman and Tsukamoto method), 질긴 피부를 가진 대상 동물에서 근육을 관통하지 않고 피부 조직에 PSAT를 고정하는 웨스터버그법(Westerberg method), 웨스터버그법에서 관통부위를 최소화하기 위해 변형된 오클랜드-웨스터버그법(Okland-Westerberg anchor implant method)이 그것이다 (Okland et al. 2013). 대구는 장어 등과 비하여 등지느러미가 높고 등면의 많은 부분을 차지하고 있으므로 본 연구에서는 등지느러미의 운동을 방해하지 않기 위하여 오클랜드법을 활용하여 PSAT를 부착하였다.

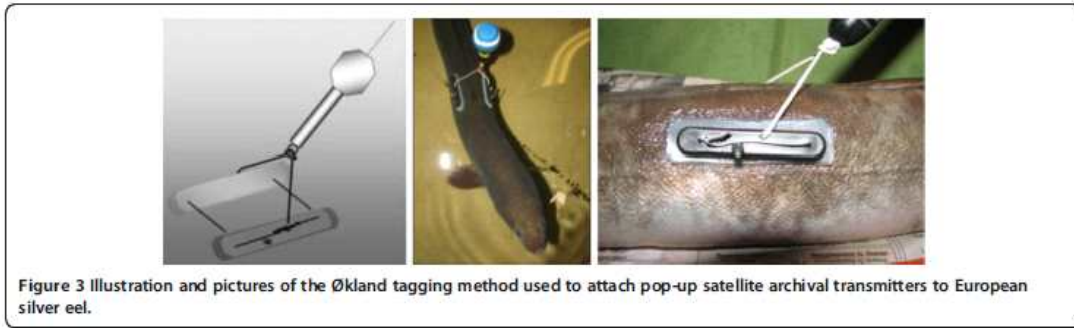


그림 3-1-7. 오클랜드 법 (Okland et al. 2013)

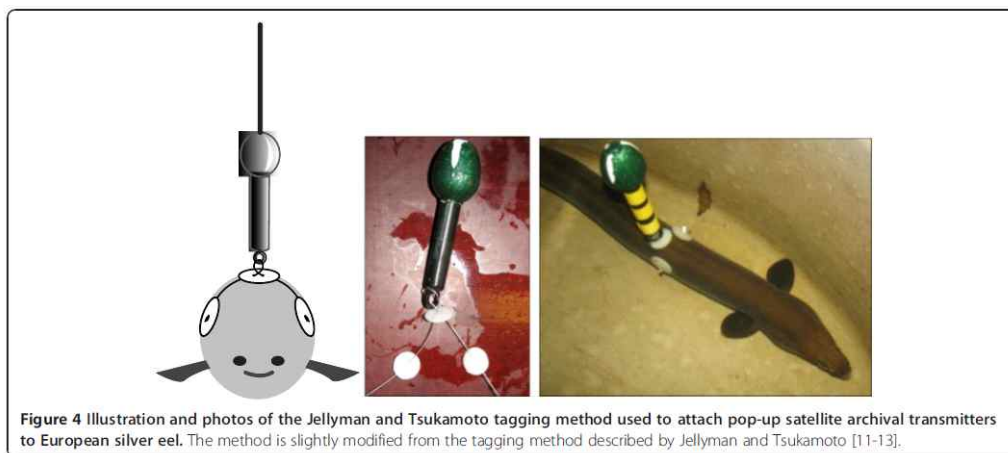


그림 3-1-8. 젤리만-츠키모토 법 (Okland et al. 2013)

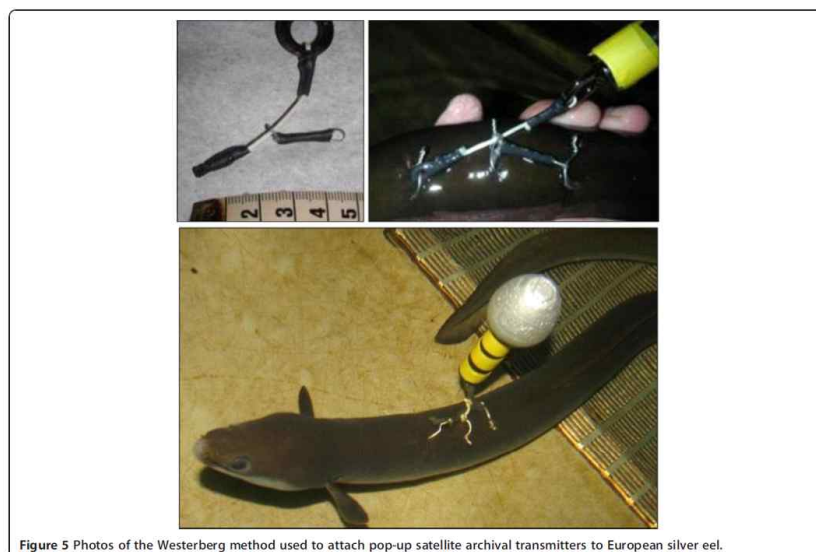


그림 3-1-9. 웨스터버그 법 (Okland et al. 2013)

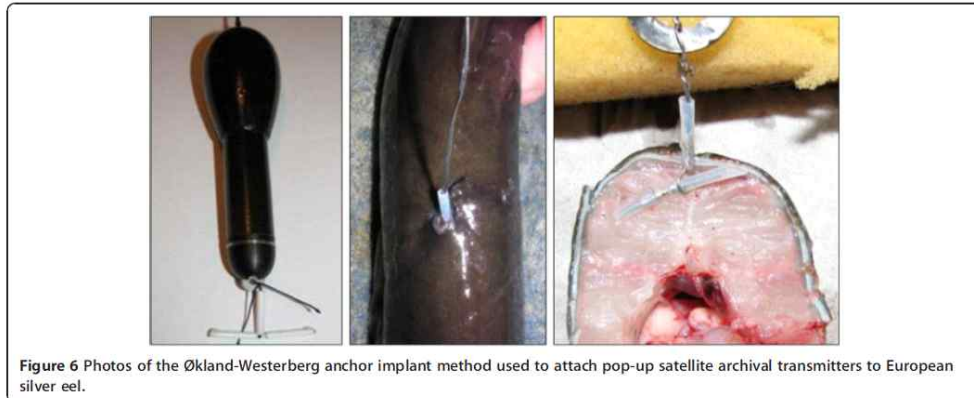


그림 3-1-10. 오클랜드-웨스터버그 법 (Okland et al. 2013)

○ 오클랜드법을 이용하여 PSAT를 부착하기 위해서는 스테인레스 와이어를 대상 어류의 등쪽 상부의 근육조직을 관통시키고 이를 단단한 플라스틱에 통과하여 고정시키는 방법이다. 대구의 크기를 고려하여 제작한 양 측면에 덧댈 수 있도록 만든 플라스틱 패드의 모식도는 아래와 같다. 플라스틱 패드는 두 개의 층으로 되어 있으며, 하단 고정판은 대상 어류의 상처를 입히지 않도록 부드럽고 야간의 연성이 있는 재질을 선택하였다. 상단 패드는 하단 패드에 단단히 부착되 중앙에 PSAT와 연결할 나일론 와이어가 통과 할 구멍을 내었다. 양 측 외곽에 만든 두 개의 구멍은 어류를 관통한 와이어를 통과시켜 흔들림 없이 안정적으로 고정하기 위한 것이며, 중앙의 구멍은 PSAT와 연결을 위한 와이어를 통과시키기 위한 구멍이다. PSAT와 연결 시에는 와이어가 하단 패드와 상단 패드 사이를 통과하도록 제작되었다. 따라서 나일론 와이어가 대상 어류에 직접적으로 접촉하여 상처를 발생시킬 확률을 최소화 하였다.

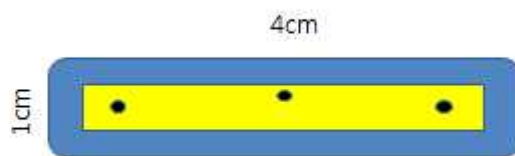


그림 3-1-11. 대구의 양 측면에 덧댈 플라스틱 고정판

○ 양 측면에 덧댈 고정판과 PSAT를 나일론 와이어를 사용하여 연결시킨 후, 대상 어류에 이를 고정하기 위한 작업을 진행한다. 어류의 근육을 관통할 때 척추를 건드리지 않기 위한 위치 선정이 중요하며, 관통 전 알코올을 이용하여 해당 부위 및 기구를 소독한다. Hypodermic needle(18ga, 4")를 사용하여 대구의 등쪽 상단부를 관통시키고



나일론 와이어를 통과 시킨 후 패드와 연결하여 고정한다. 이 때, 바늘은 등지느러미 아래쪽으로 척추와 장기를 건드리지 않는 근육층을 관통시킨다 (Musyl et al. 2007). PSAT부착 후 감염을 막기 위한 항생연고를 상처부위에 발라주었다.



그림 3-1-12. PSAT와 플라스틱 패드 연결 수 나일론 와이어의 매듭 부분을 수축 튜브를 이용해 감싸고 있는 장면



그림 3-1-13. 오클랜드법을 이용해 PSAT를 부착한 대구

### ③ 기타 도구의 제작 및 활용

○ 어류 태깅 시 대상 어류를 안정적으로 지지하고 수분을 지속적으로 공급하되 물이 넘쳐 태깅에 방해가 되지 않도록 작업을 하기 위해 아크릴 판을 활용하여 받침대를



추가로 제작하였다. 아크릴로 제작된 받침대는 태깅 작업에 문제가 없을 정도로 튼튼하나 상대적으로 무게가 가벼워 선박 내에서 진행되는 작업에도 활용이 가능하다. 제작한 받침대의 규격은 다음과 같다.

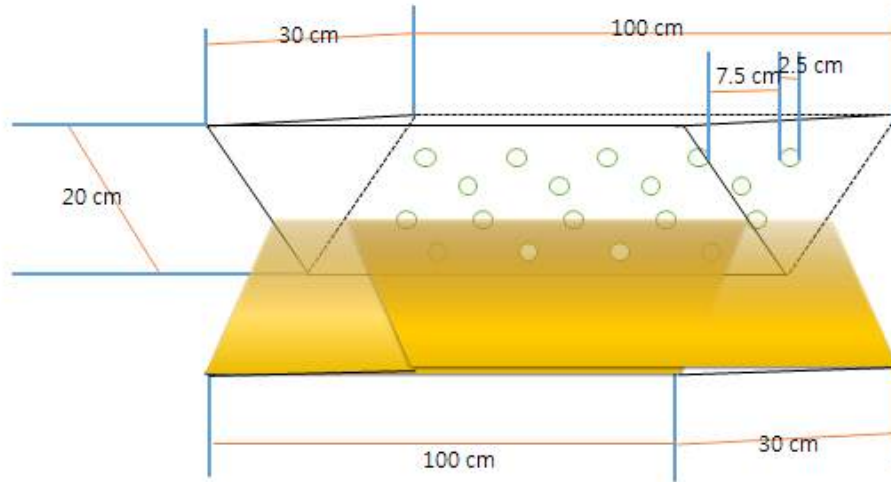


그림 3-1-14. 태깅용 받침대의 모식도



그림 3-1-15. 태깅 작업을 위해 선박으로 옮겨진 받침대

④ 각 태그 부착 방법에 따른 장단점.

○ Dart tether를 활용하여 PSAT 부착 시 상대적으로 태그를 부착하는 데 걸리는 시간이 타 방법에 비해 짧아 대상 어류가 물 밖에서 느낄 수 있는 스트레스를 최소화

할 수 있으며, 그 방법이 쉬워 위치를 결정하면 상대적으로 숙련도가 적은 사람도 쉽게 부착이 가능하다는 장점이 있다. 그러나 대상 생물 무게의 3-5%이하의 무게를 가진 PSAT라 하더라도 부착이 어류의 한 쪽 측면에서 이루어지므로 유영에 영향을 미칠 수 있는가에 대한 고려가 필요하다 (Methling et al., 2011).

○ 오클랜드법을 활용하여 PSAT를 부착할 경우, PSAT가 어류의 중앙 부위에 위치하므로 유영 시 무게로 인한 불편함을 초래할 가능성이 적으며, 완충 플라스틱 패드로 인하여 어류가 격렬하게 움직이더라도 태그의 부착으로 인한 추가적인 상처를 입을 가능성이 적다는 장점이 있다. 그러나 오클랜드 법은 사전에 패드와 와이어를 연결해 두는 등 준비가 필요하고, tether 부착에 비해 상대적으로 긴 시간이 걸리므로 대상 어류의 스트레스를 최소화 하기 위하여 실험자의 숙련도가 중요하게 작용할 수 있어 충분한 사전 준비가 요구된다.

#### (나) Dart tag의 부착

○ PSAT 부착한 개체의 외부 식별을 위해 식별용 dart tag를 부착하였다. dart tag는 길게 연장된 플라스틱 재질의 태그로 하단에 근육층에 태그를 고정시킬 수 있도록 만들어져 있으며, 전용 삼입용 피스톨 건(Mark II Long Pistol Grip gun, Floy tag)을 활용하여 빠르고 쉽게 부착이 가능하다. 본 연구에 활용된 것은 Floy tag사의 dart tag로 외부로 노출된 부분은 형광색이며 이 부위에 기관명을 표시하여 외부에서 대상 어류를 목격 했을 때 실험에 활용된 대상임을 쉽게 파악할 수 있으며, 포획 시 기관에 연락할 수 있도록 하였다.

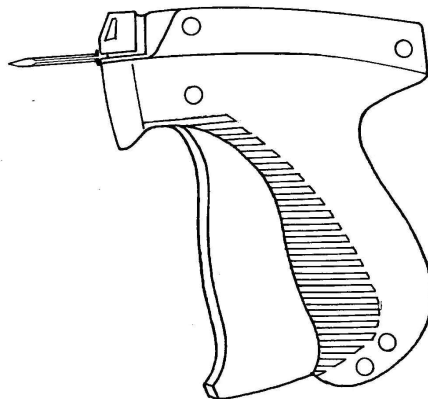


그림 3-1-16. Dart tag 전용 삼입용 피스톨 건 (Mark II Long Pistol Grip gun).



그림 3-1-17. 본 연구에 사용된 dart tag. 피스톨에 넣어 사용하면 한 번에 한 개씩 부착이 가능하다.



그림 3-1-18. Dart tag를 부착하는 모습.

나. 어획자료를 이용한 서식처 추정

#### 수협중앙회 무선국에 보고된 2001년~2015년 연근해 대구어획생산량 자료

우리나라 연근해 대구이동경로를 파악하기 위하여 대구에 직접적으로 이동경로 추적 장치를 부착시켜 이들의 이동경로를 파악할 수 있는 반면, 이 방법에서 오는 고가장비 및 장기간 조사, 실패할 높은 확률과 같은 단점을 보완하고, 최대한 이동경로를 찾고자 하는데 도움을 얻고자 보충 자료의 확보를 위하여 우리는 지난 장기간동안 국가에서 어민들로부터 보고받은 어획량 수집 자료를 간접자료로 활용하고자 하였다.

수협중앙회 무선국 보고 자료는 어민들이 연근해 바다에서 어획하는 어종의 어획위치와 어획량을 의무적으로 하루에 1회 보고하도록 원칙을 부과했다. 이 자료는 보고하는 어민에 따라 다소 주관적이고 의도성이 있어 정확도를 장담할 수는 없으나 간접적 자료로 이를 감안하여 이해할 필요가 있다고 본다.

수협중앙회 무선국 자료는 최대 15년 자료(2001년~2015년)를 활용할 수 있었다. 자료를 활용하여 연근해 해구도(그림 24, 수협중앙회 제공)를 바탕으로 2001년에서 2015년까지 연도별 대구어획현황(그림 2~16)과 각 연도의 월별 대구어획 현황(그림 17~196)을 Surfer(11.3.862) 프로그램을 이용하여 아래와 같이 나타내었다.

수집된 대구어획량 자료는 경위도별 및 해구별 자료로 표현되어있었으나, 그중 해구별 자료가 보다 정확하게 어획량이 보고되어있어서 해구별 자료를 이용하였으며, 해구별 자료는 9등분으로 표시된 것을 이해를 돕기 위하여 해구별 합산하여 해구의 중심점을 잡아 그 점을 경위도로 변환시켜 그림을 완성하였다.



## 2. 연구 결과

### 가. 위성추적장치를 이용한 경로 추적

전체 암컷 4개체와 수컷 3개체에 위성추적장치를 달아 추적한 결과 7개의 위성추적장치 중 6개에서 예정된 시간보다 빠르게 장착 뒤 1-2 주일 만에 신호가 수신되었다. 나머지 한 개의 위성추적장치는 프로그램이 된 4개월 후에도 신호가 수신되지 않아 분실된 것으로 추정된다.

6개의 위치가 수신된 태그 중 4개의 태그는 거제도 주변 해역 또는 부산 영도에서 위치가 수신되었다. 영도에서 위치가 수신된 태그는 부산에 거주하는 시민이 발견하여 신고하여 회수하였다.



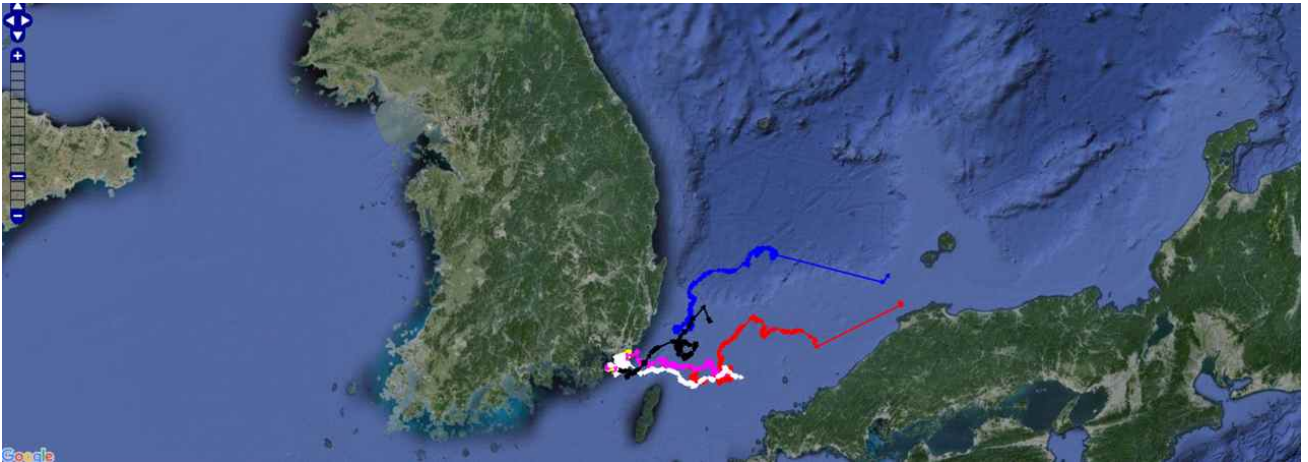


그림 3-1-20. 전체 위성추적 결과 신호 수신 지역

Tag# 157885 (수컷) 의 이동경로 (2월 3일 첫 신호 수신)

거제도 동북쪽 해역에서 발견되어 울산쪽으로 이동하였다. 처음 신호가 포착되기 전까지 수심 40m, 깊이의 수온 5도에서 14도의 수역에서 이동하는 것으로 추정된다.

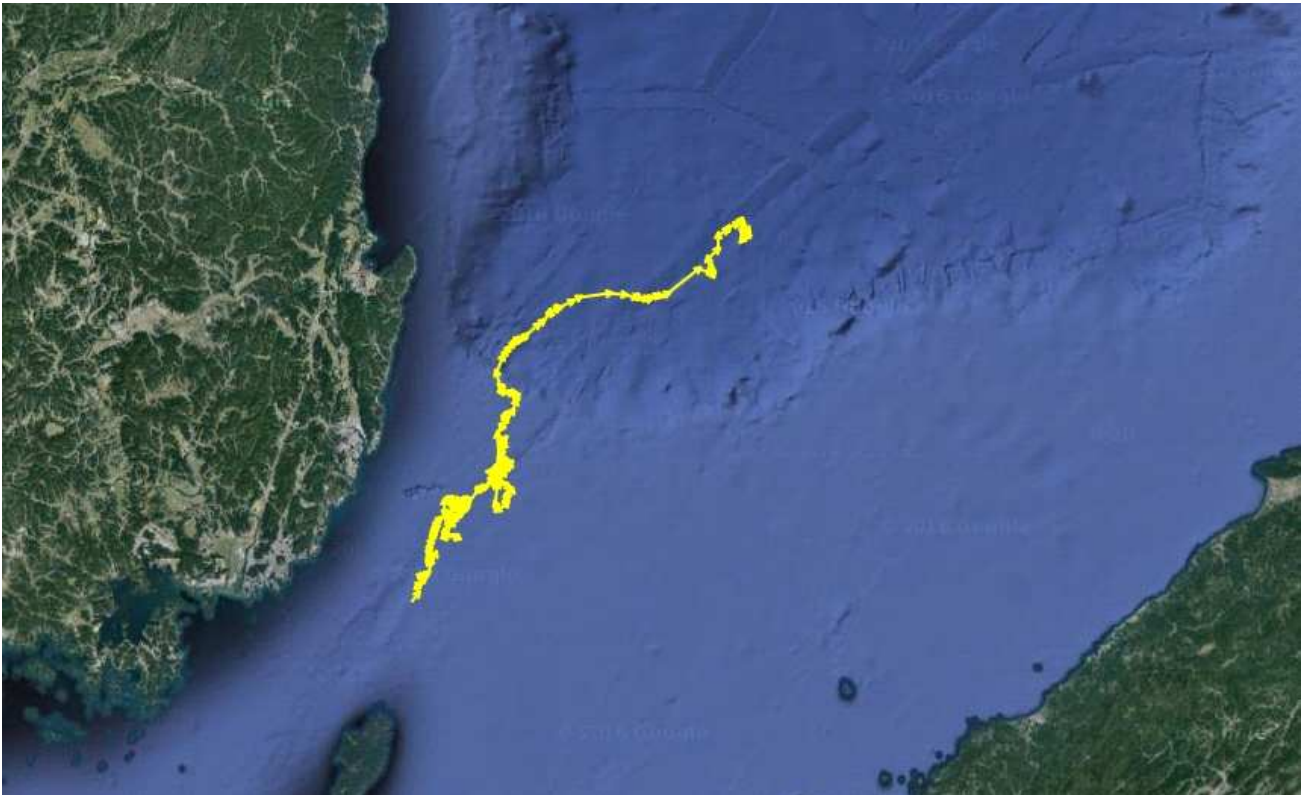


그림 3-1-21. Tag # 157885 위치수신 기록

표 3-1-2. Tag # 157885 의 데이터 로깅 기록

Tag_ID	UTC_Date	UTC_Time	Latitude	Longitude	Class	SST	SSTP	MinExtTer	MaxExtTer	MaxPressu
5992:1578	42397	0.134028				6.52	-0.66	5.4	18.42	40.09
5992:1578	42398	0	-53.9648	86.29034	H					
5992:1578	42398	0	53.284	128.5353	N					
5992:1578	42398	0	49.06	130.2851	S					
5992:1578	42398	0.661111				10.66	0.84	10.42	12.3	40.84
5992:1578	42399	0	35.33203	128.3265	H					
5992:1578	42399	0	40.216	126.3267	N					
5992:1578	42399	0	40.128	126.3267	S					
5992:1578	42399	0.986806				10.3	-0.41	10.06	10.86	9.84
5992:1578	42400	0	36.38672	128.4891	H					
5992:1578	42400	0	34.364	128.8641	N					
5992:1578	42400	0	34.144	129.1141	S					
5992:1578	42400	0.000694				10.3	-0.41	10	12.06	0.34
5992:1578	42401	0	35.68359	128.8984	H					
5992:1578	42401	0	33.836	128.8984	N					
5992:1578	42401	0	33.836	128.8984	S					
5992:1578	42401	0.242361				13.02	-0.41	11.6	13.74	0.34
5992:1578	42402	0	34.62891	129.3042	H					
5992:1578	42402	0	33.528	129.4292	N					
5992:1578	42402	0	33.968	129.4292	S					
5992:1578	42402	0.479167				13.28	-0.41	12.44	14.04	0.34

Tag # 157886 (암컷) 의 이동경로 (2월 4일 첫 신호)



그림 3-1-22 . Tag # 157886 의 위치수신 기록

쓰시마 동북쪽에서 발견되어 동쪽으로 이동하였다. 수심 30m 수온 11도 안팎의 해역에서 이동하는 것으로 추정된다.



표 3-1-3. Tag # 157886 의 데이터 로깅 기록

Tag_ID	UTC_Date	UTC_Time	Latitude	Longitude	Class	SST	SSTP	MinExtTer	MaxExtTer	MaxPressu
5992:157886	2016-01-28	4:25:00				9.34	-0.47	6.88	17.52	32.78
5992:157886	2016-01-29	0:00:00	36.03516	128.6603	H					
5992:157886	2016-01-29	0:00:00	61.116	140.5339	N					
5992:157886	2016-01-29	0:00:00	58.652	142.7837	S					
5992:157886	2016-01-29	9:03:00				11.24	26.03	11.2	11.54	30.78
5992:157886	2016-01-30	0:00:00	66.26953	154.8236	H					
5992:157886	2016-01-30	0:00:00	62.568	154.5736	S					
5992:157886	2016-01-30	9:08:00				11.06	26.03	11.12	11.76	28.03
5992:157886	2016-01-31	0:00:00	55.72266	118.6151	H					
5992:157886	2016-01-31	0:00:00	70.4	118.8651	N					
5992:157886	2016-01-31	0:00:00	70.752	113.8656	S					
5992:157886	2016-01-31	7:50:00				11.3	26.53	11.38	11.78	27.78
5992:157886	2016-02-01	0:00:00	38.14453	128.8984	H					
5992:157886	2016-02-01	0:00:00	49.148	129.6483	N					
5992:157886	2016-02-01	0:00:00	37.972	128.8984	S					
5992:157886	2016-02-01	16:20:00				11.16	-1.22	11.04	11.54	27.78

나. 어획자료를 이용한 서식처 추정

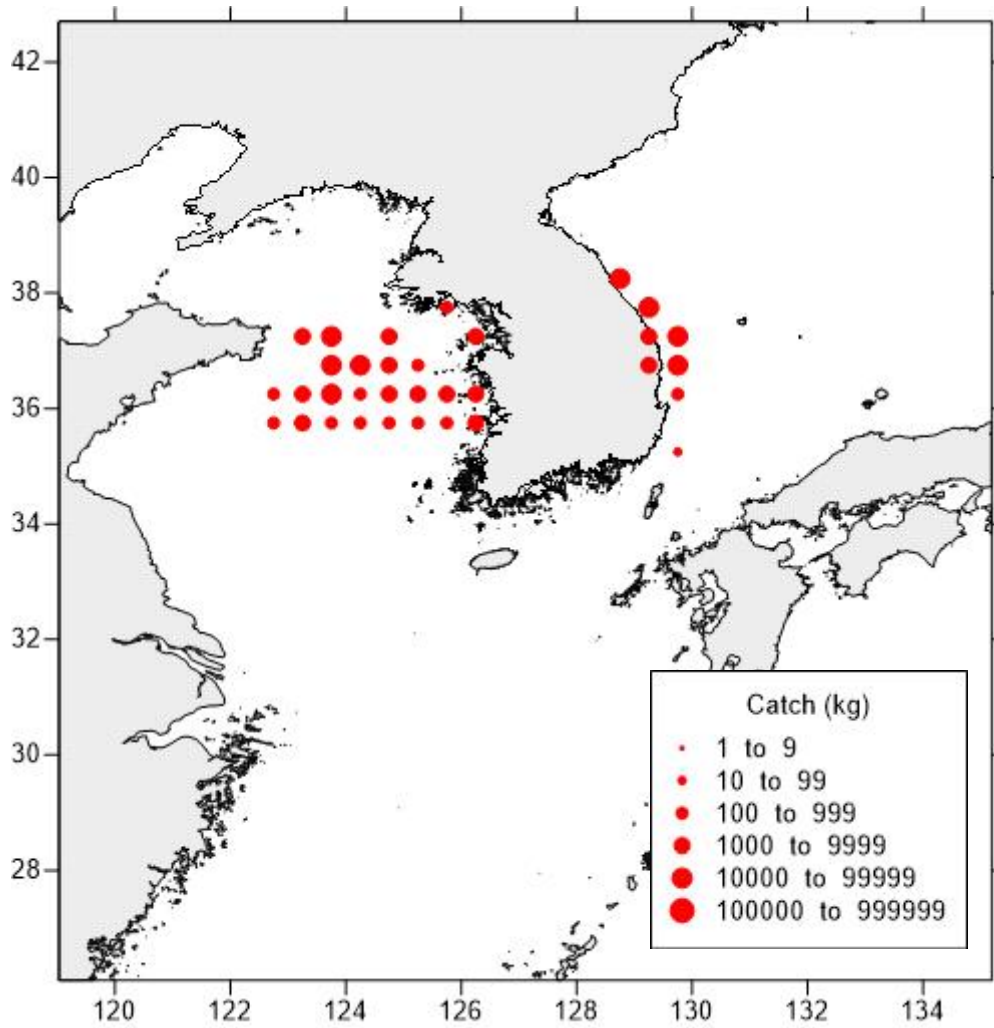


그림 3-1-23. 2001년 대구어획생산량

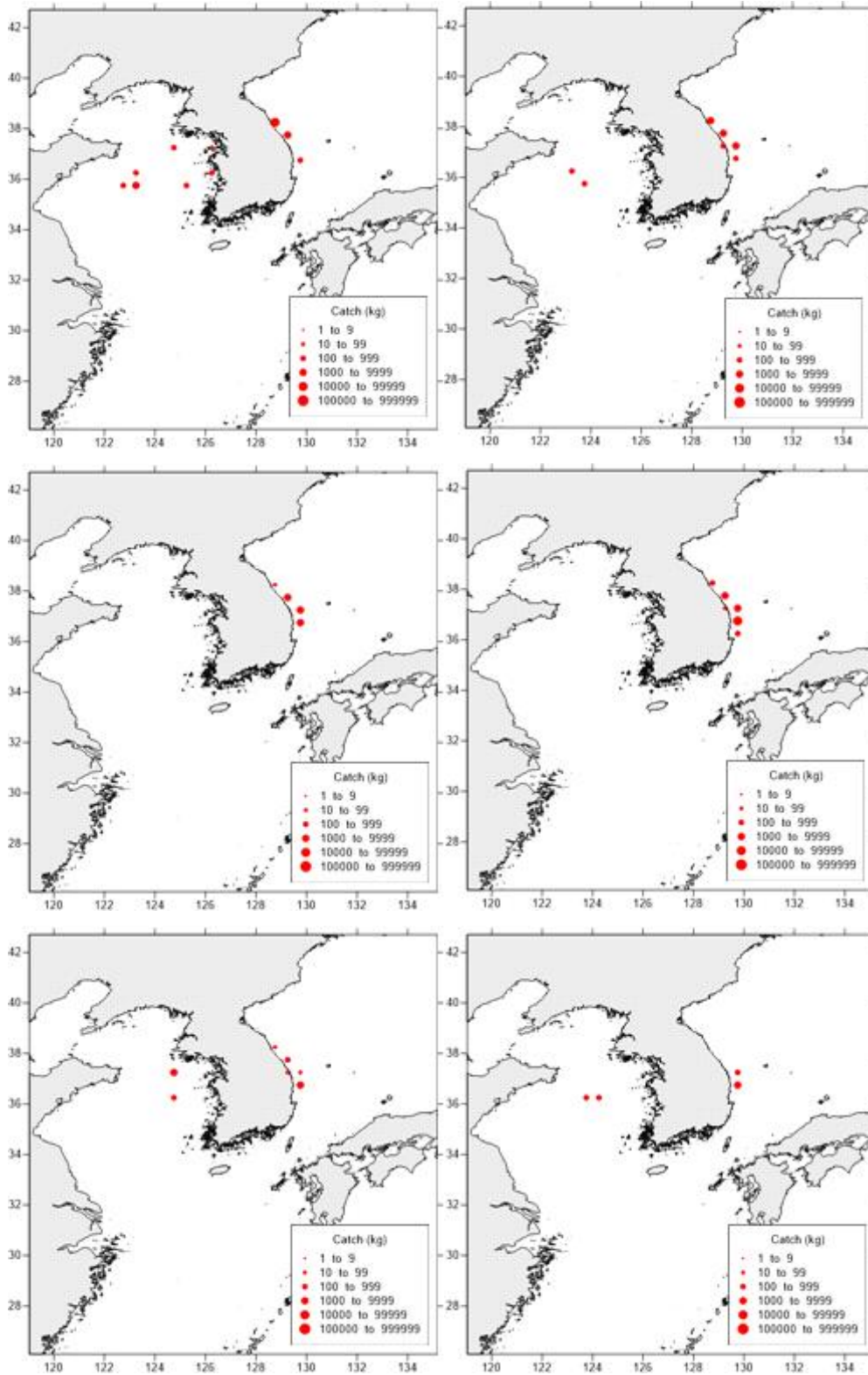


그림 3-1-24. 2001년 1월~6월 월별 대구어획생산량(왼쪽 맨 위에서부터 오른쪽으로)

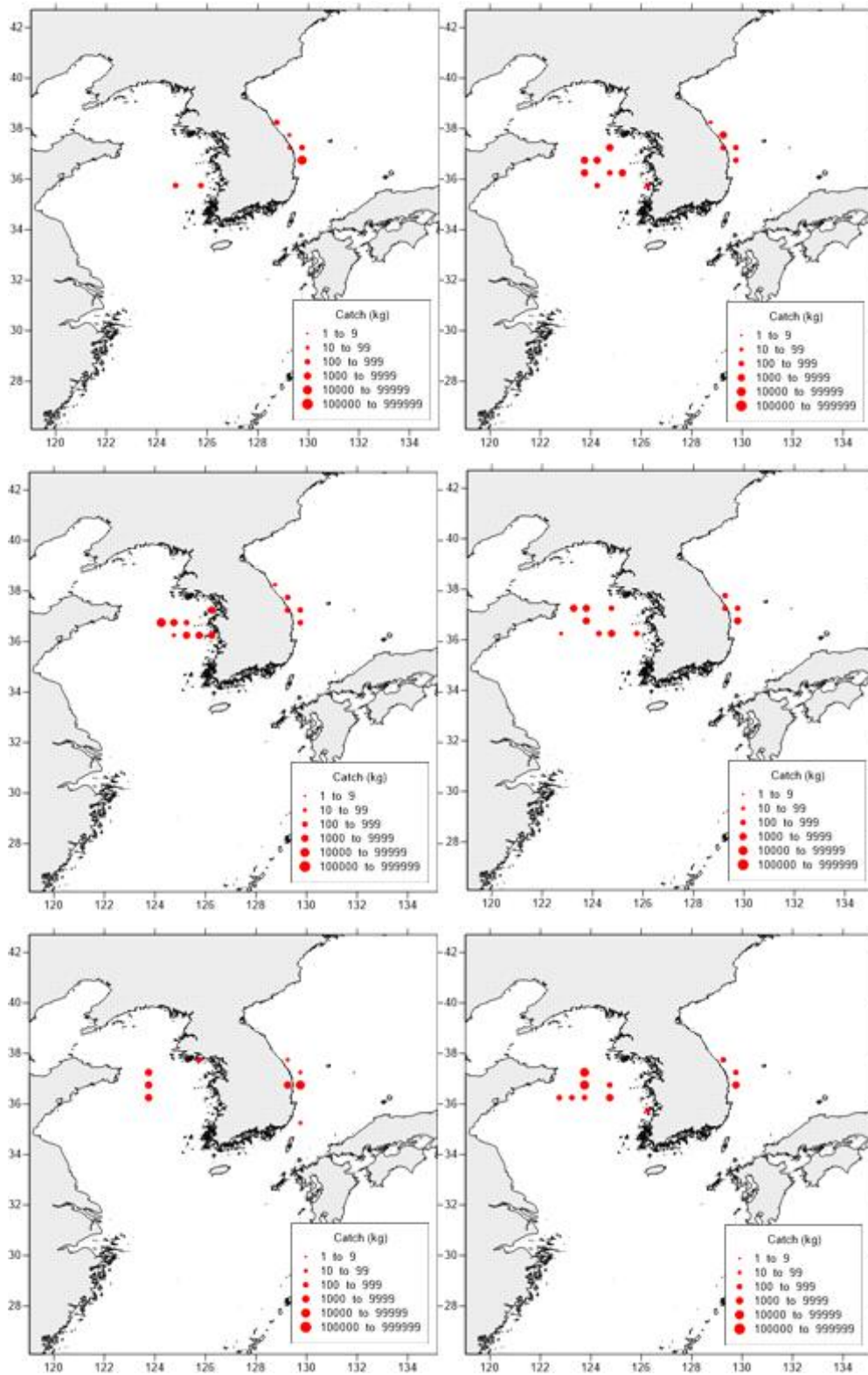


그림 3-1-25. 2001년 7월~12월 월별 대구어획생산량(왼쪽 맨 위에서부터 오른쪽으로)

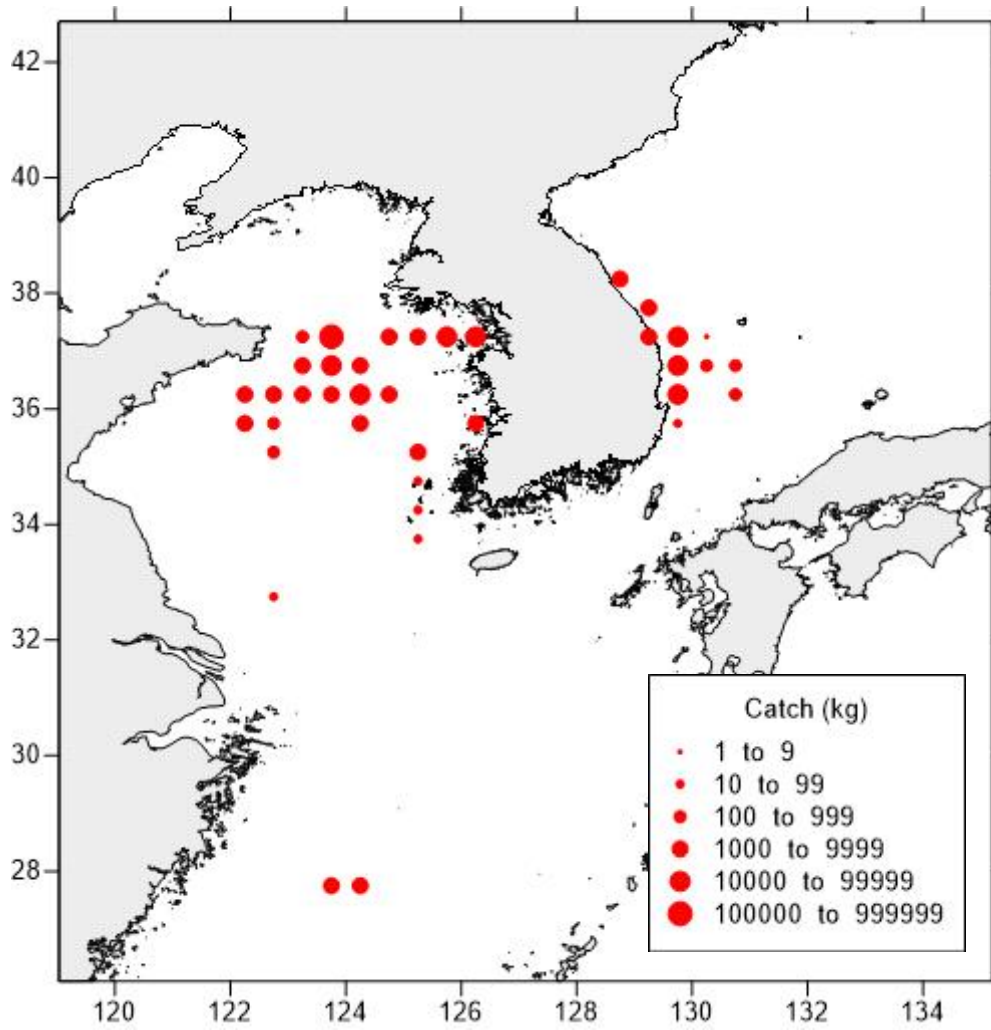


그림 3-1-26. 2002년 대구어 획생산량



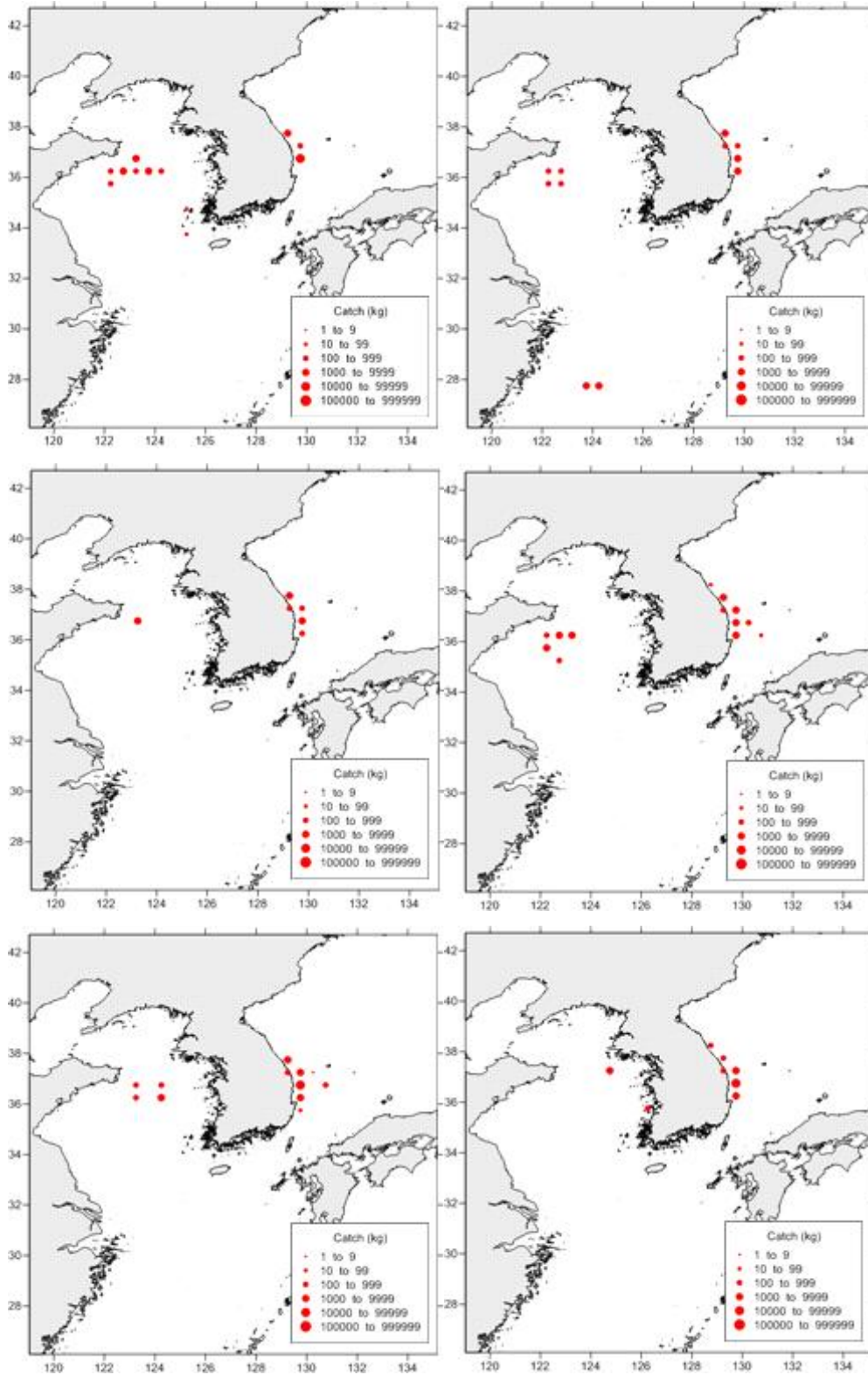


그림 3-1-27. 2002년 1월~6월 월별 대구어획생산량(왼쪽 맨 위에서부터 오른쪽으로)

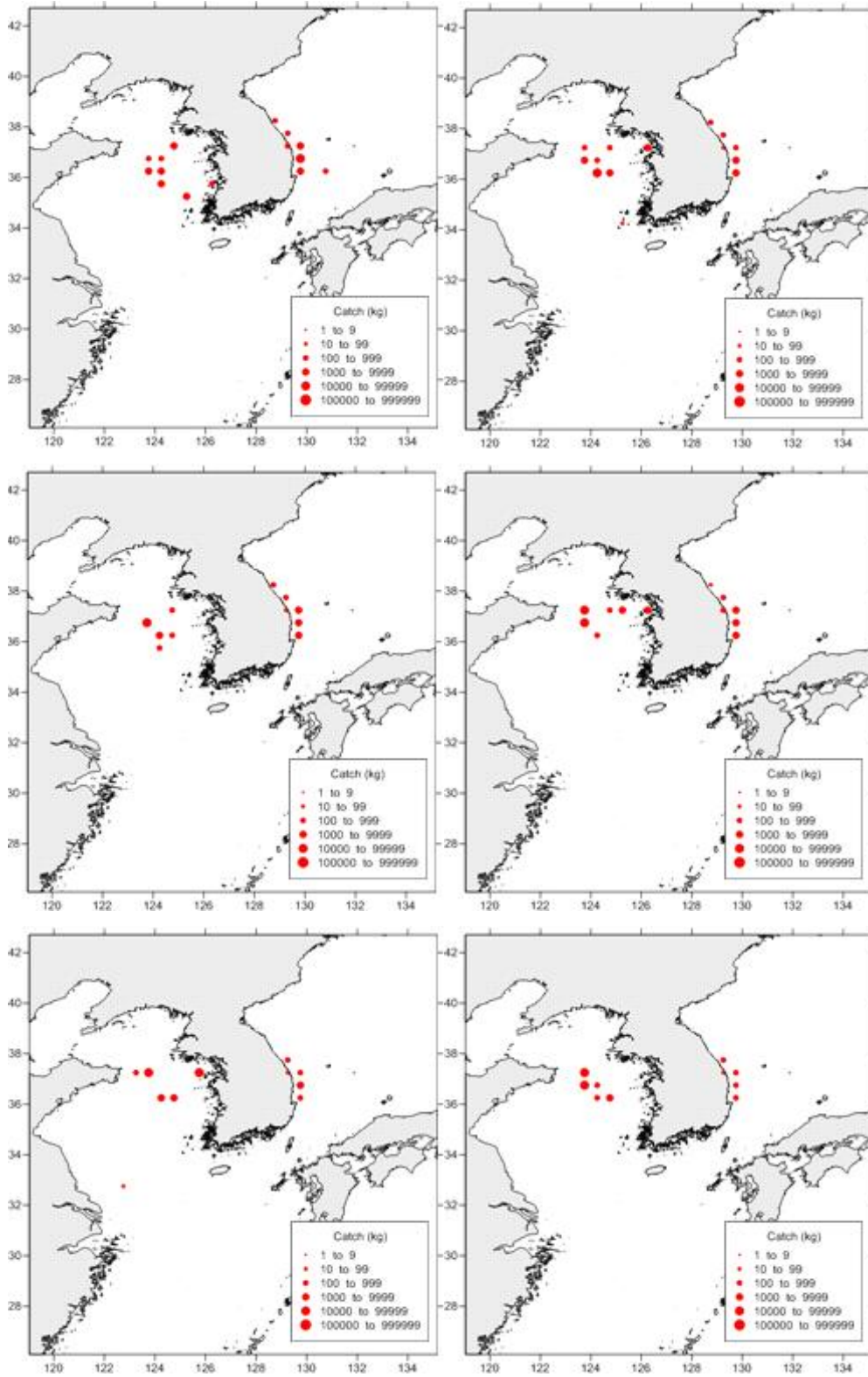


그림 3-1-28. 2002년 7월~12월 월별 대구어획생산량(왼쪽 맨 위에서부터 오른쪽으로)

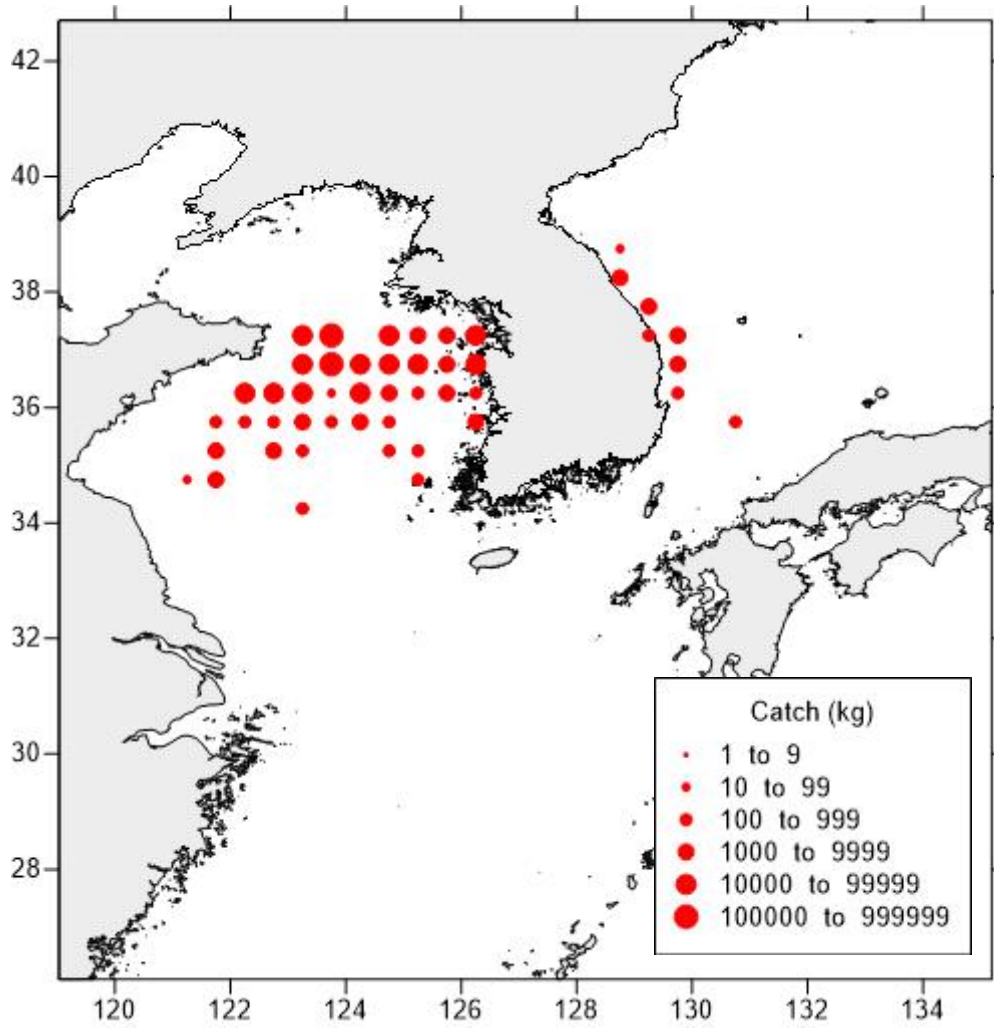


그림 3-1-29. 2003년 대구어획생산량



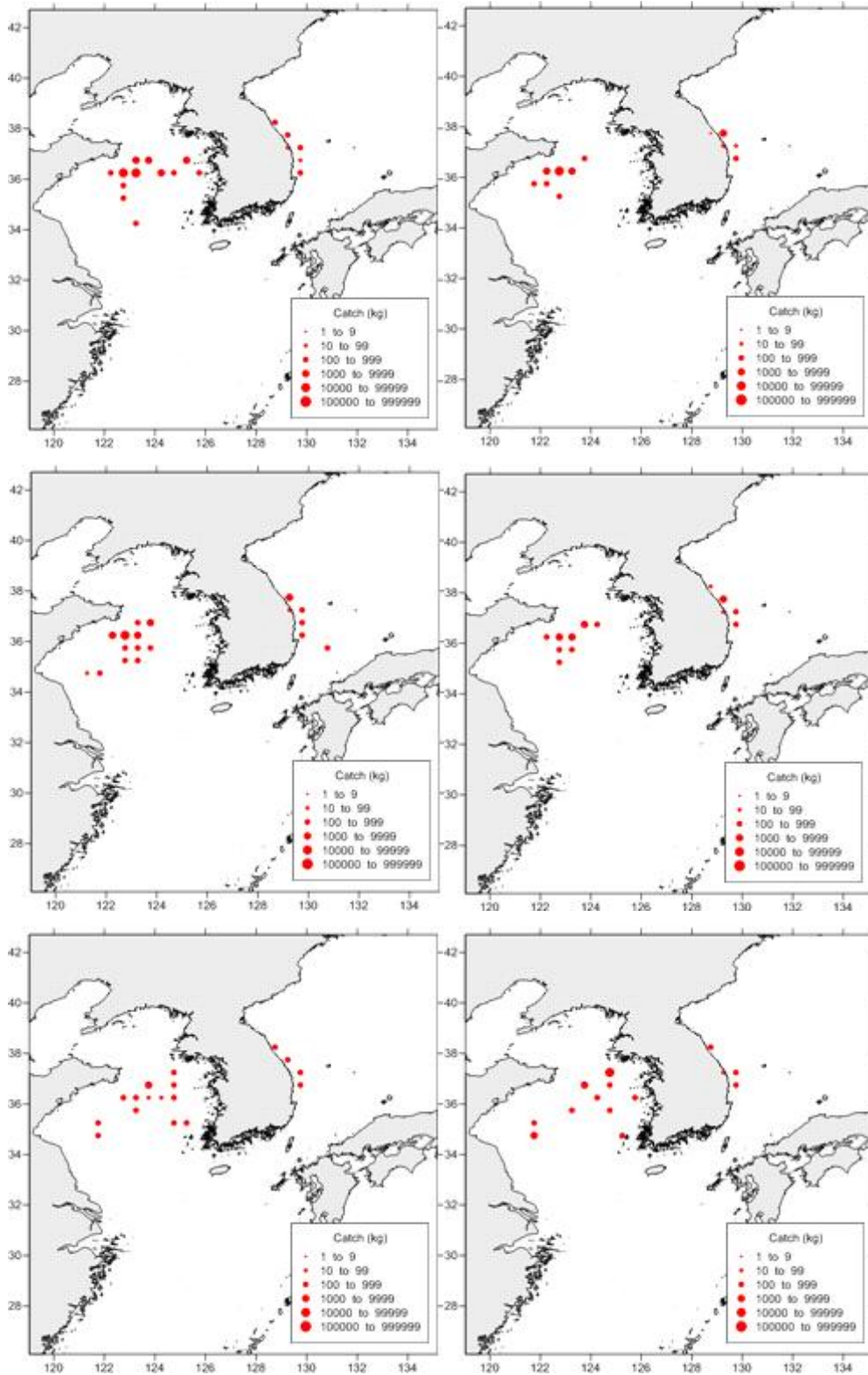


그림 3-1-30. 2003년 1월~6월 월별 대구어획생산량(왼쪽 맨 위에서부터 오른쪽으로)

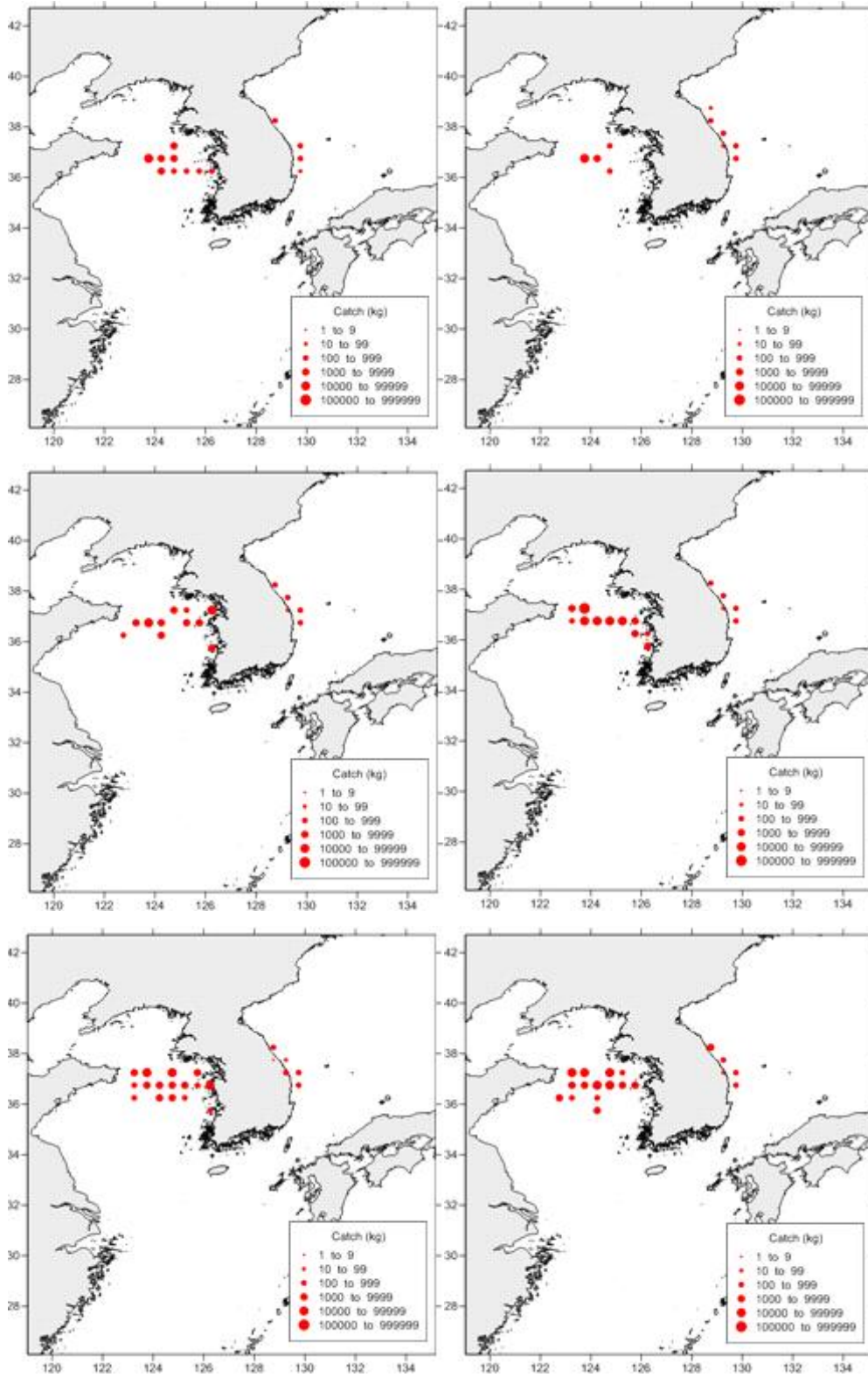


그림 3-1-31. 2003년 7월~12월 월별 대구어획생산량(왼쪽 맨 위에서부터 오른쪽으로)

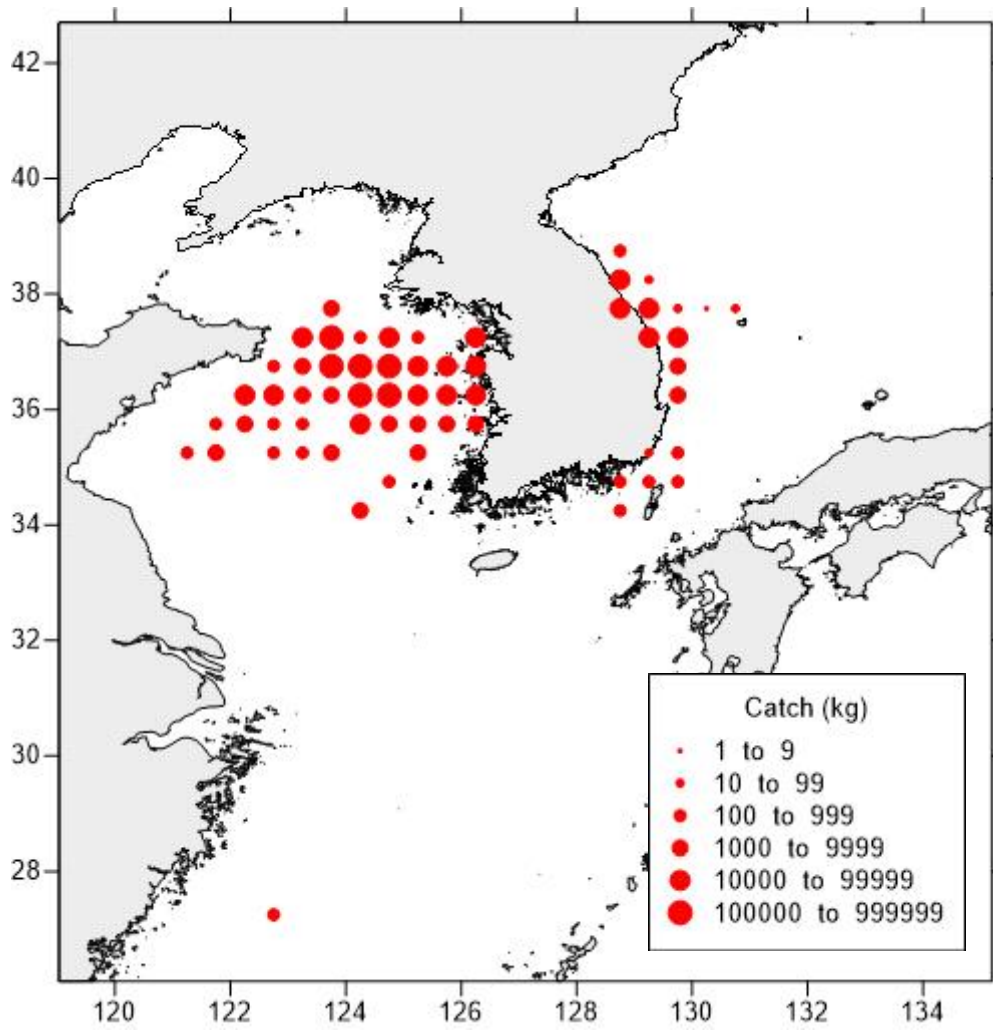


그림 3-1-32. 2004년 대구어획생산량

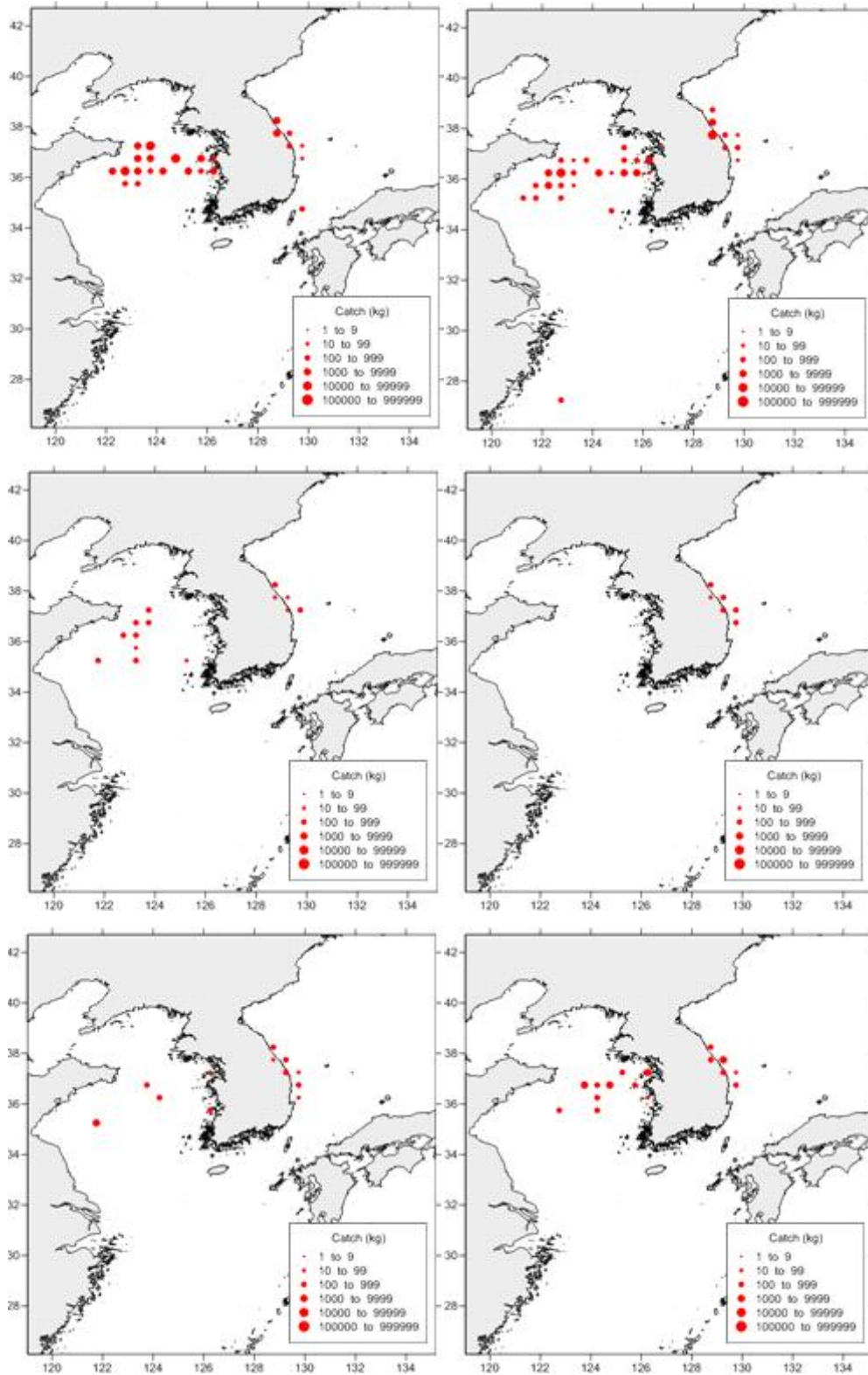


그림 3-1-33. 2004년 1월~6월 월별 대구어획생산량(왼쪽 맨 위에서부터 오른쪽으로)



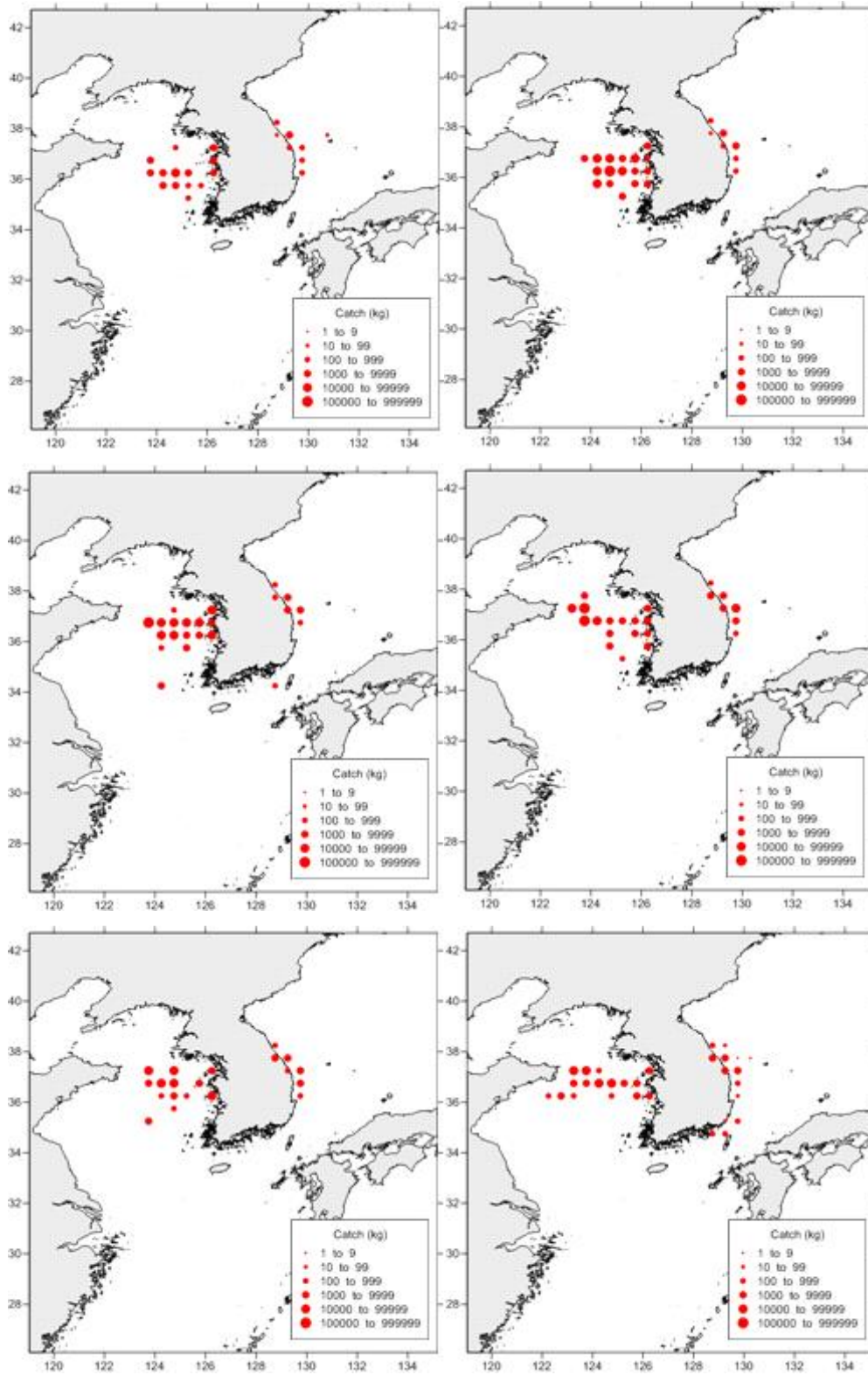


그림 3-1-34. 2004년 7월~12월 월별 대구어획생산량(왼쪽 맨 위에서부터 오른쪽으로)

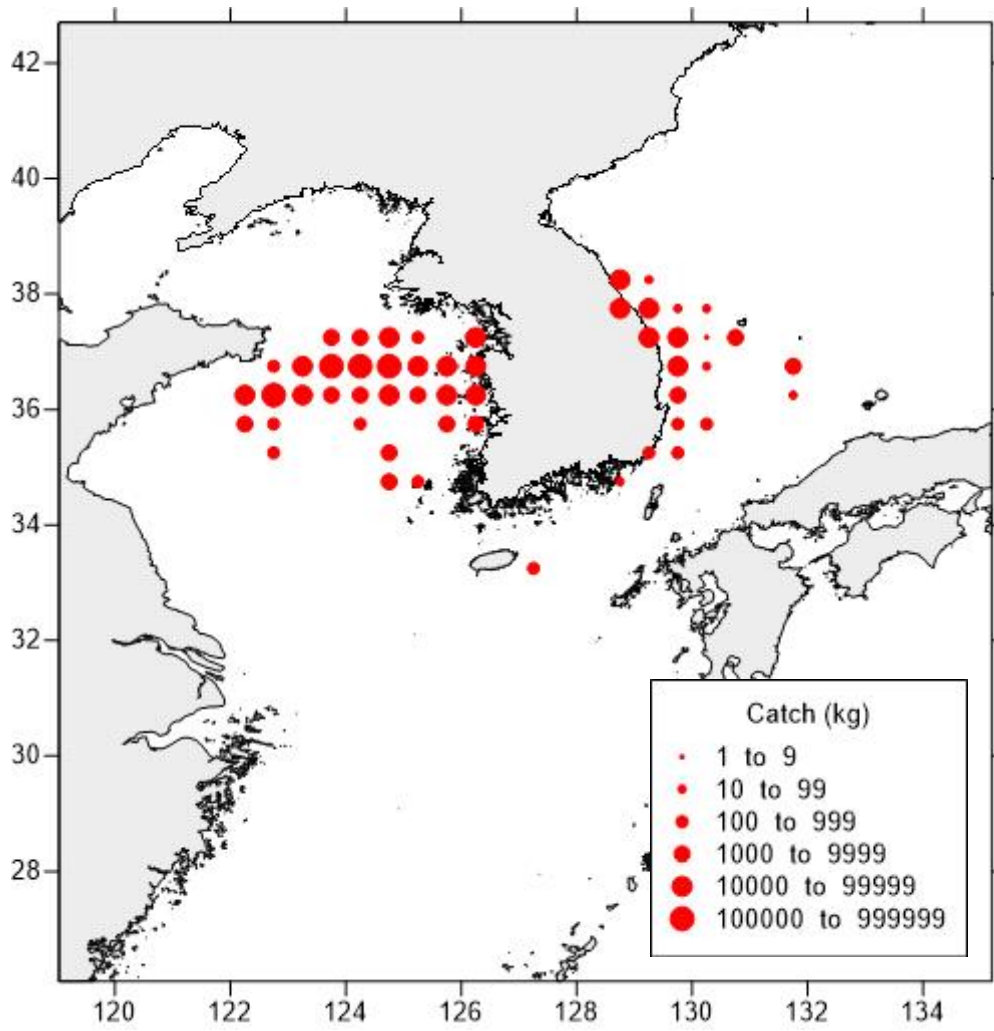


그림 3-1-35. 2005년 대구어획생산량

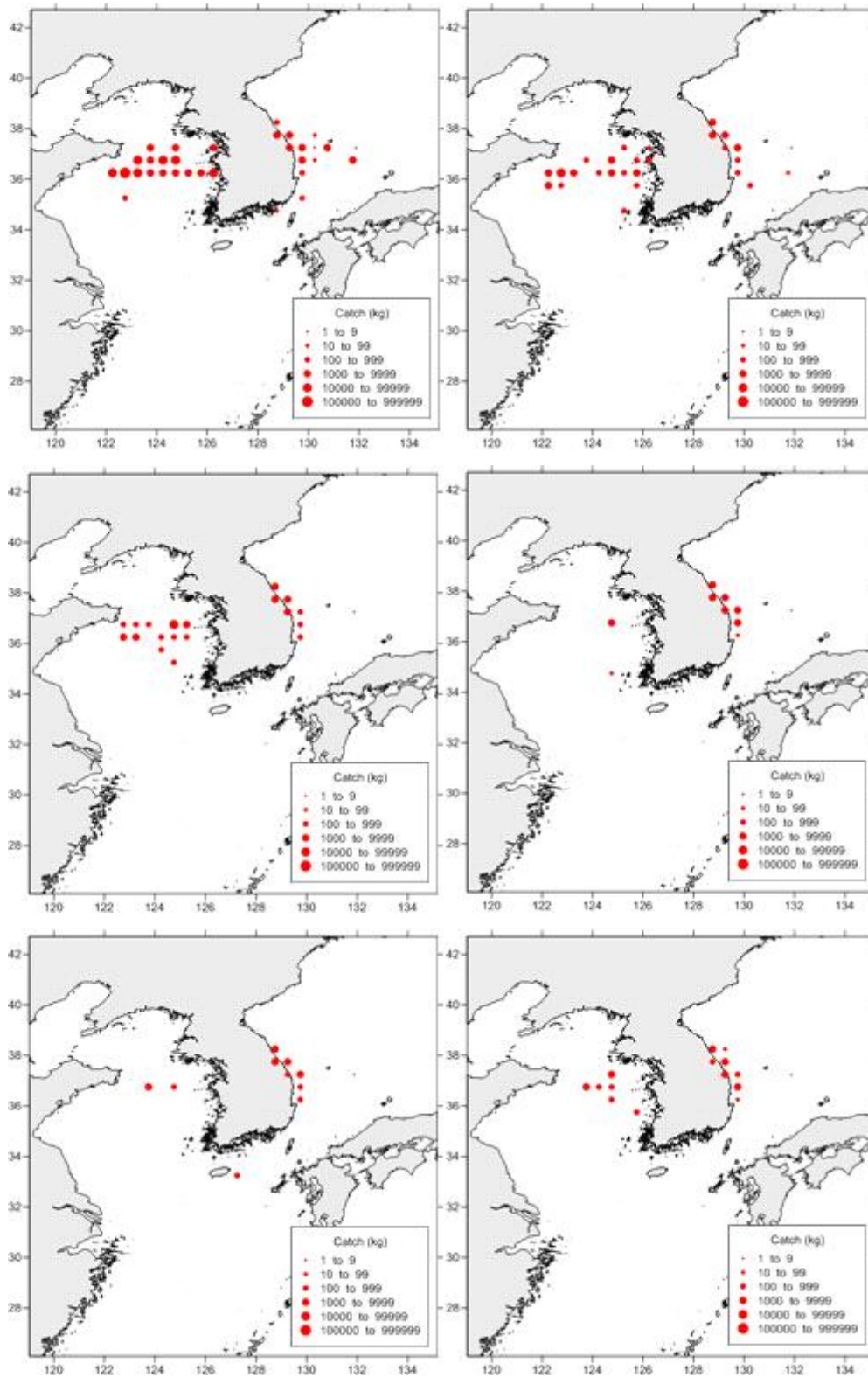


그림 3-1-36. 2005년 1월~6월 월별 대구어획생산량(왼쪽 맨 위에서부터 오른쪽으로)

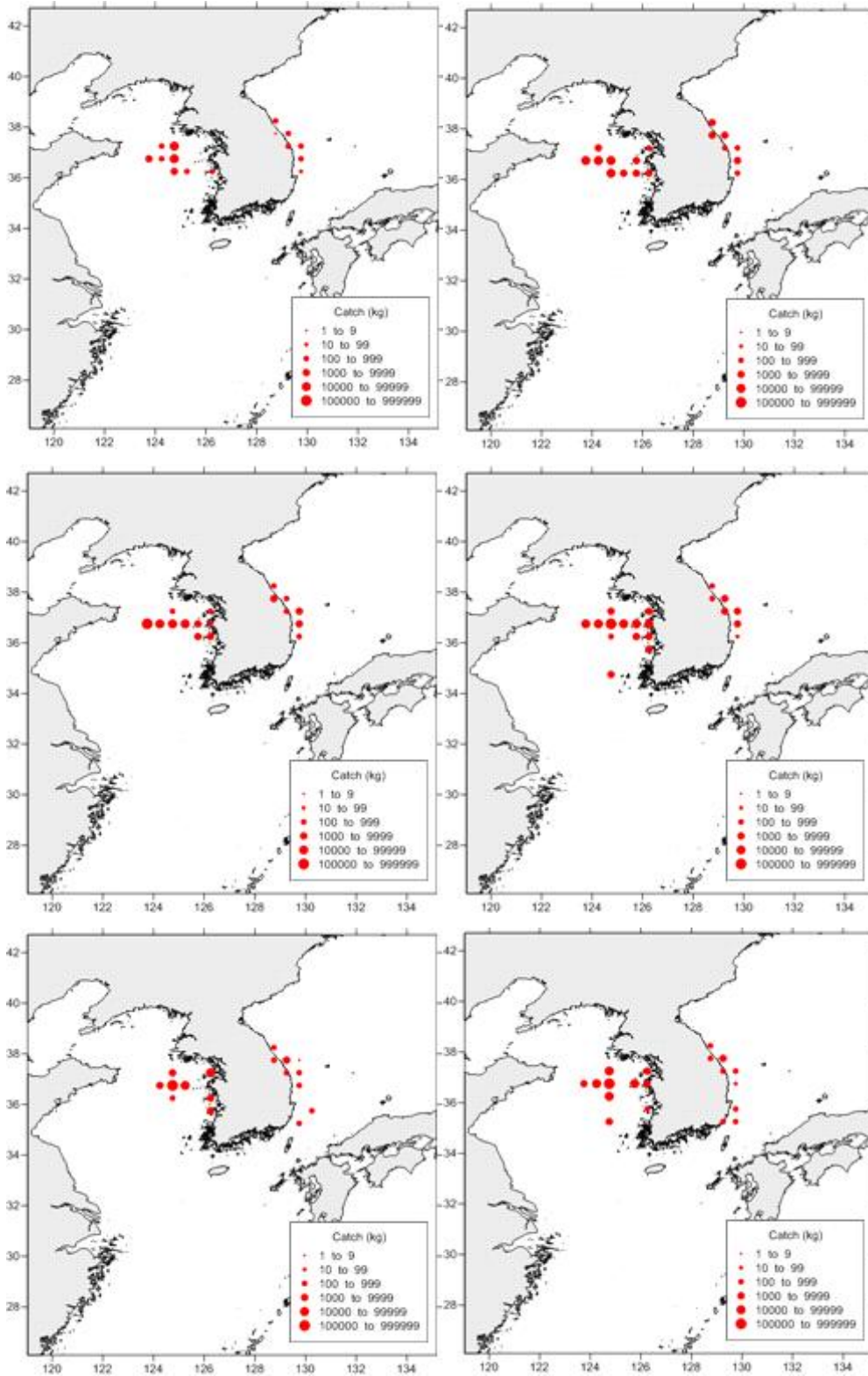


그림 3-1-37. 2005년 7월~12월 월별 대구어획생산량(왼쪽 맨 위에서부터 오른쪽으로)



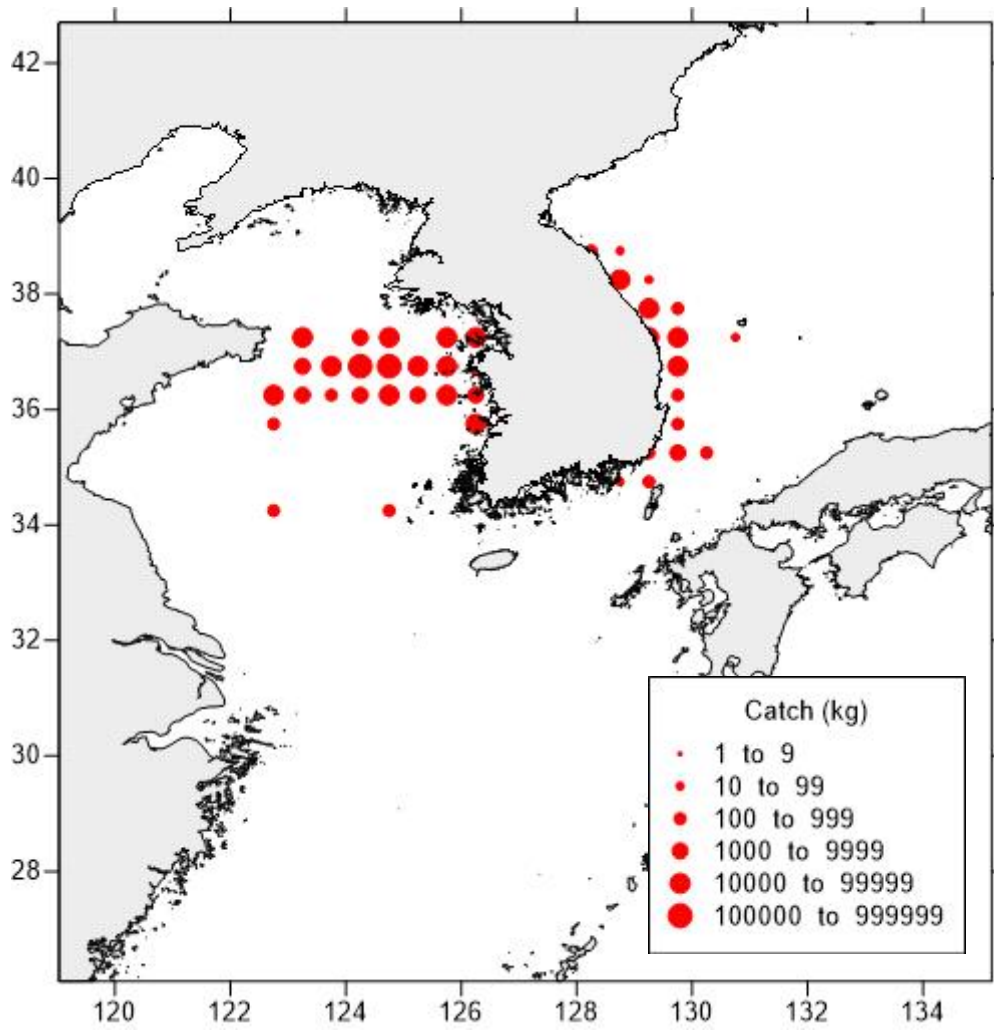


그림 3-1-38. 2006년 대구어획생산량

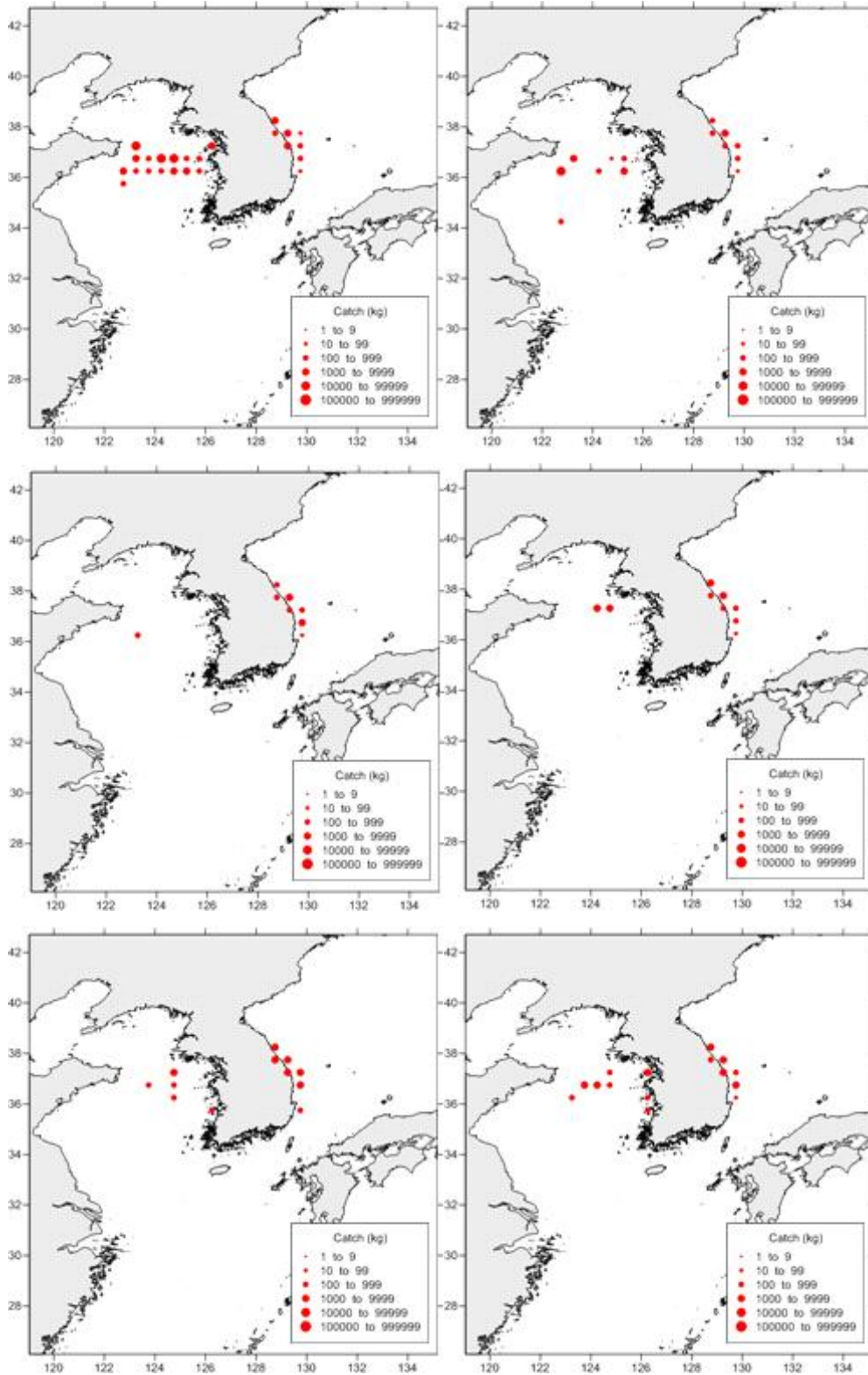


그림 3-1-39. 2006년 1월~6월 월별 대구어획생산량(왼쪽 맨 위에서부터 오른쪽으로)

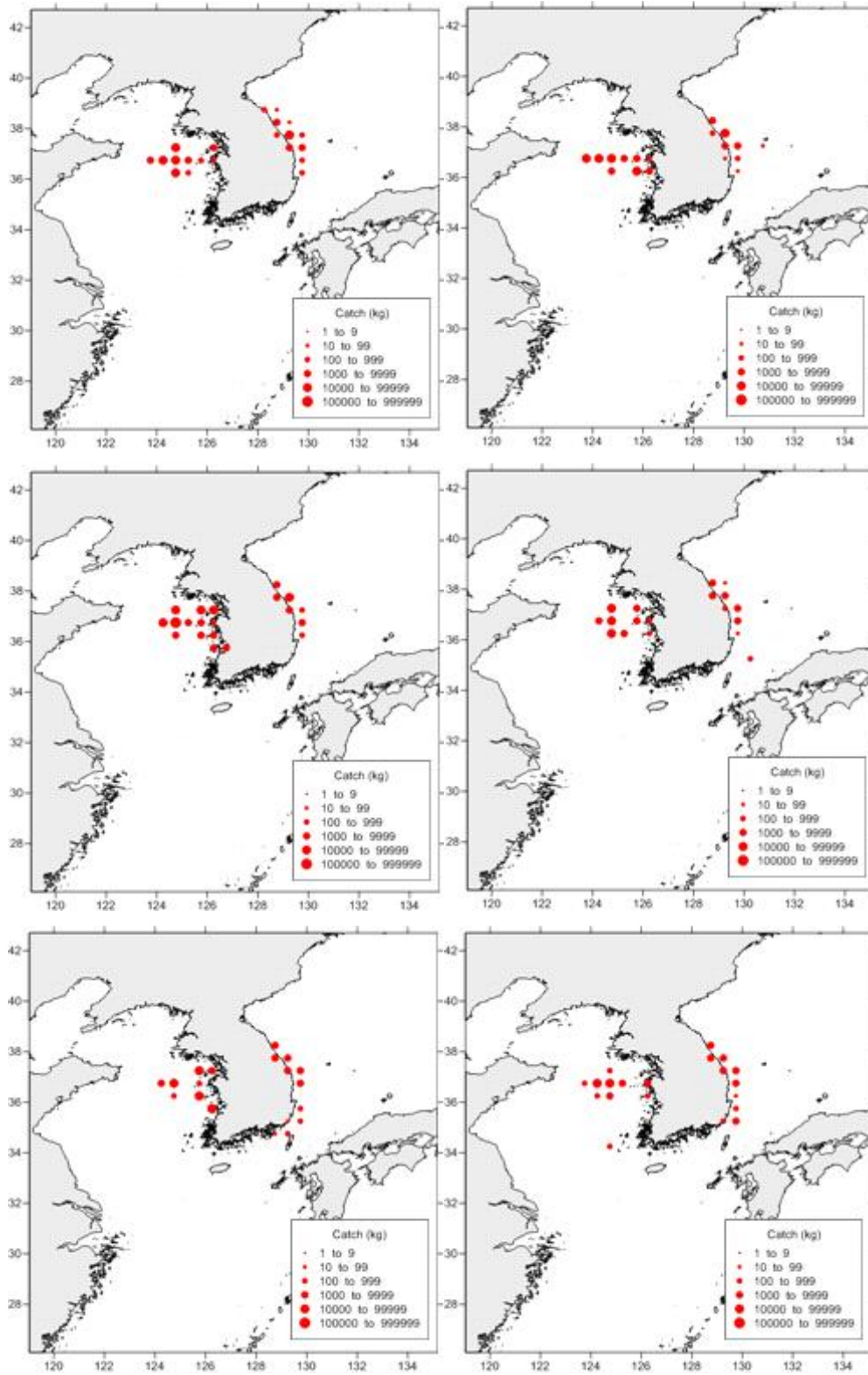


그림 3-1-40. 2006년 7월~12월 월별 대구어획생산량(왼쪽 맨 위에서부터 오른쪽으로)

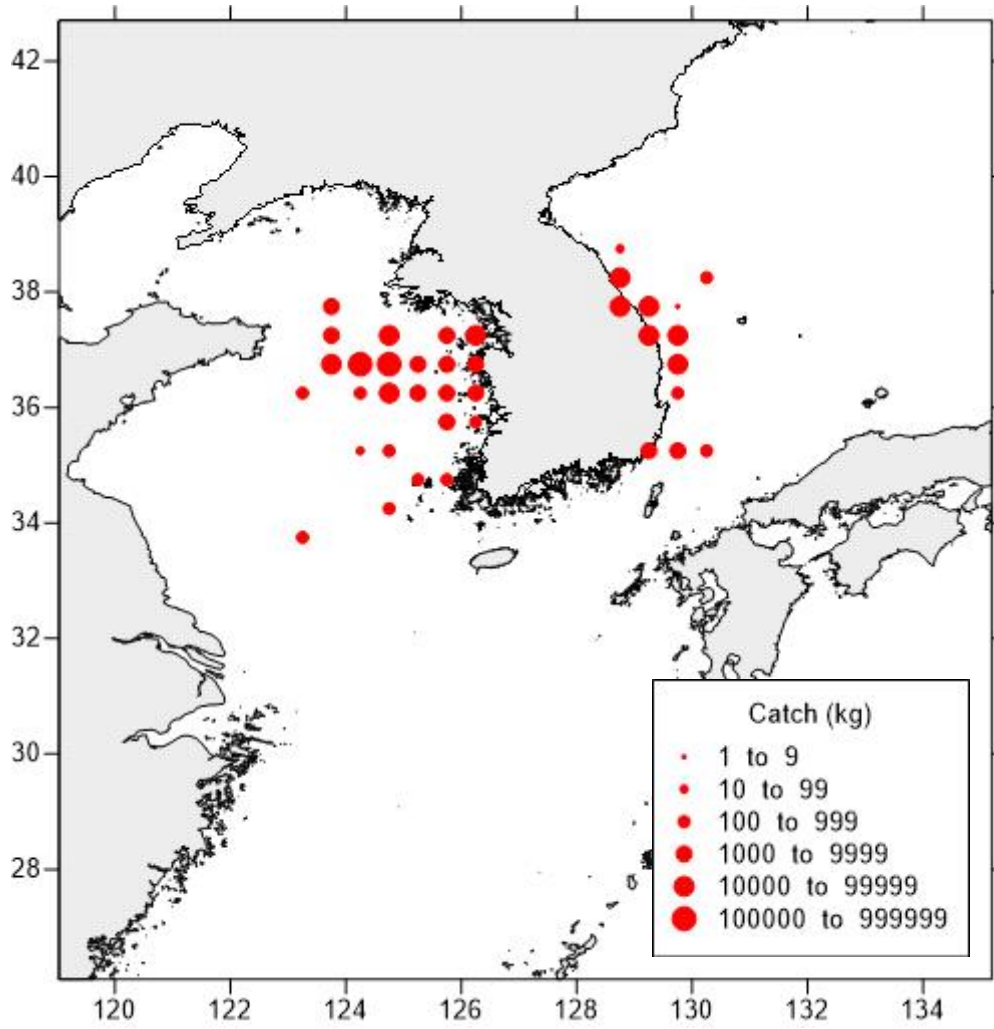


그림 3-1-41. 2007년 대구어획생산량

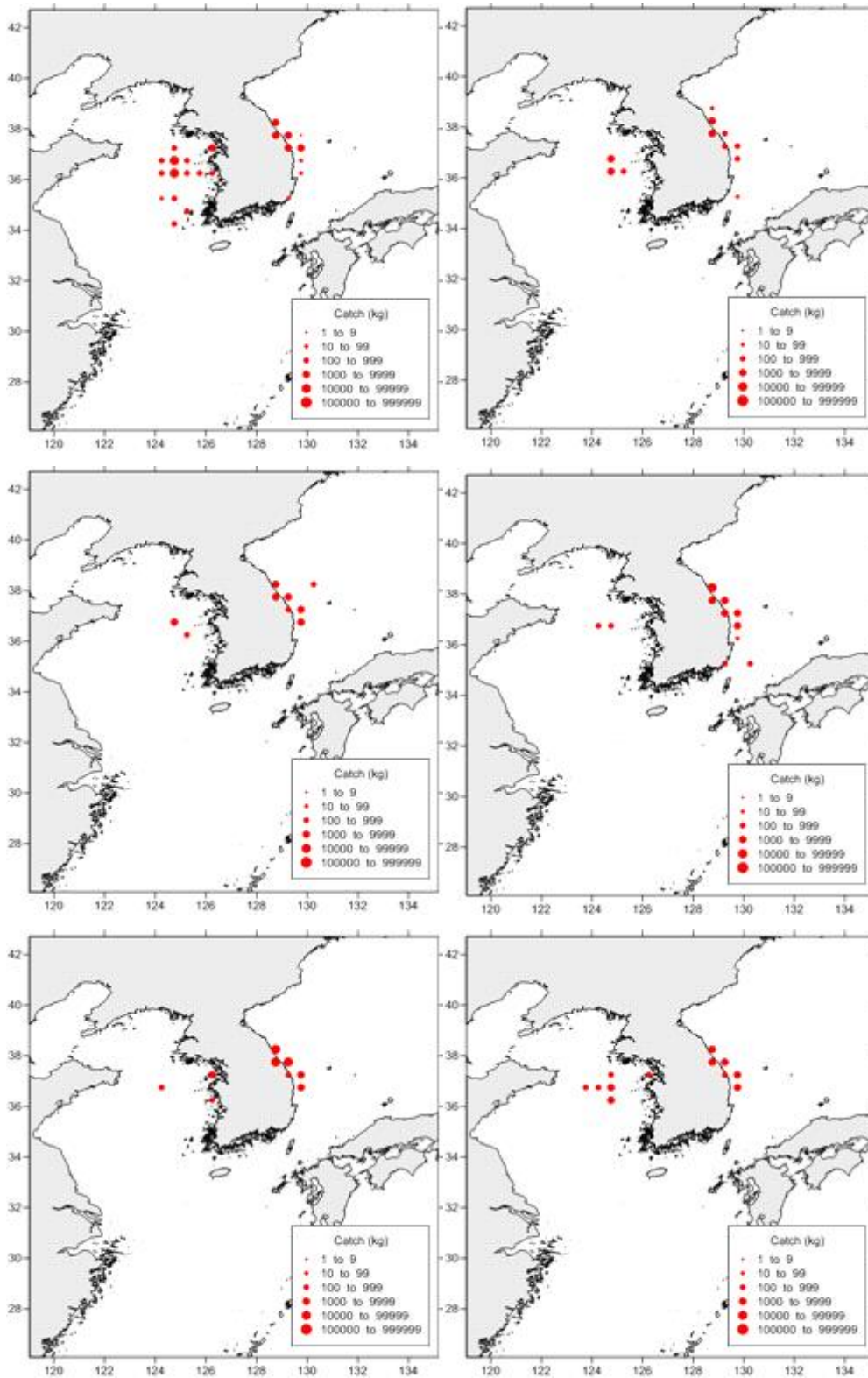


그림 3-1-42. 2007년 1월~6월 월별 대구어획생산량(왼쪽 맨 위에서부터 오른쪽으로)



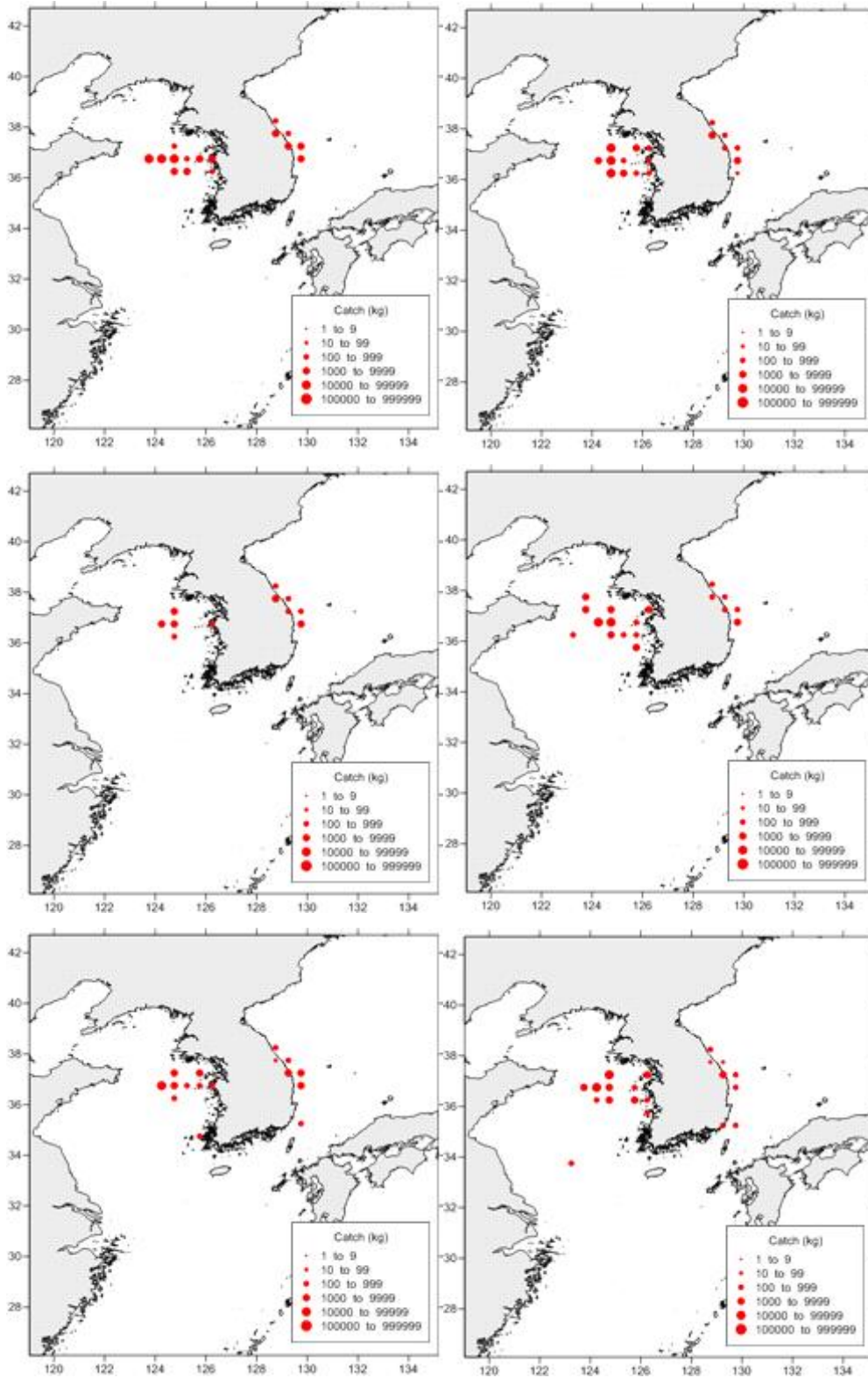


그림 3-1-43. 2007년 7월~12월 월별 대구어획생산량(왼쪽 맨 위에서부터 오른쪽으로)

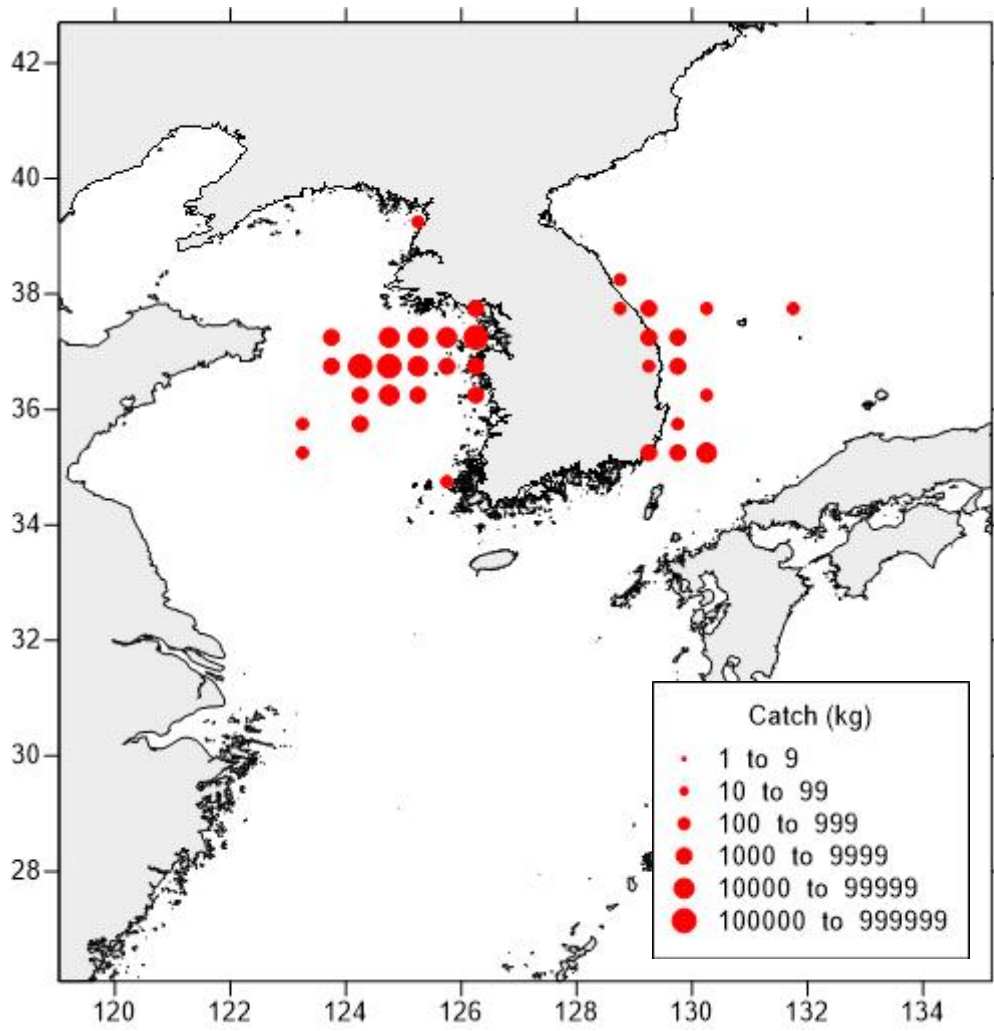


그림 3-1-44. 2008년 대구어획생산량



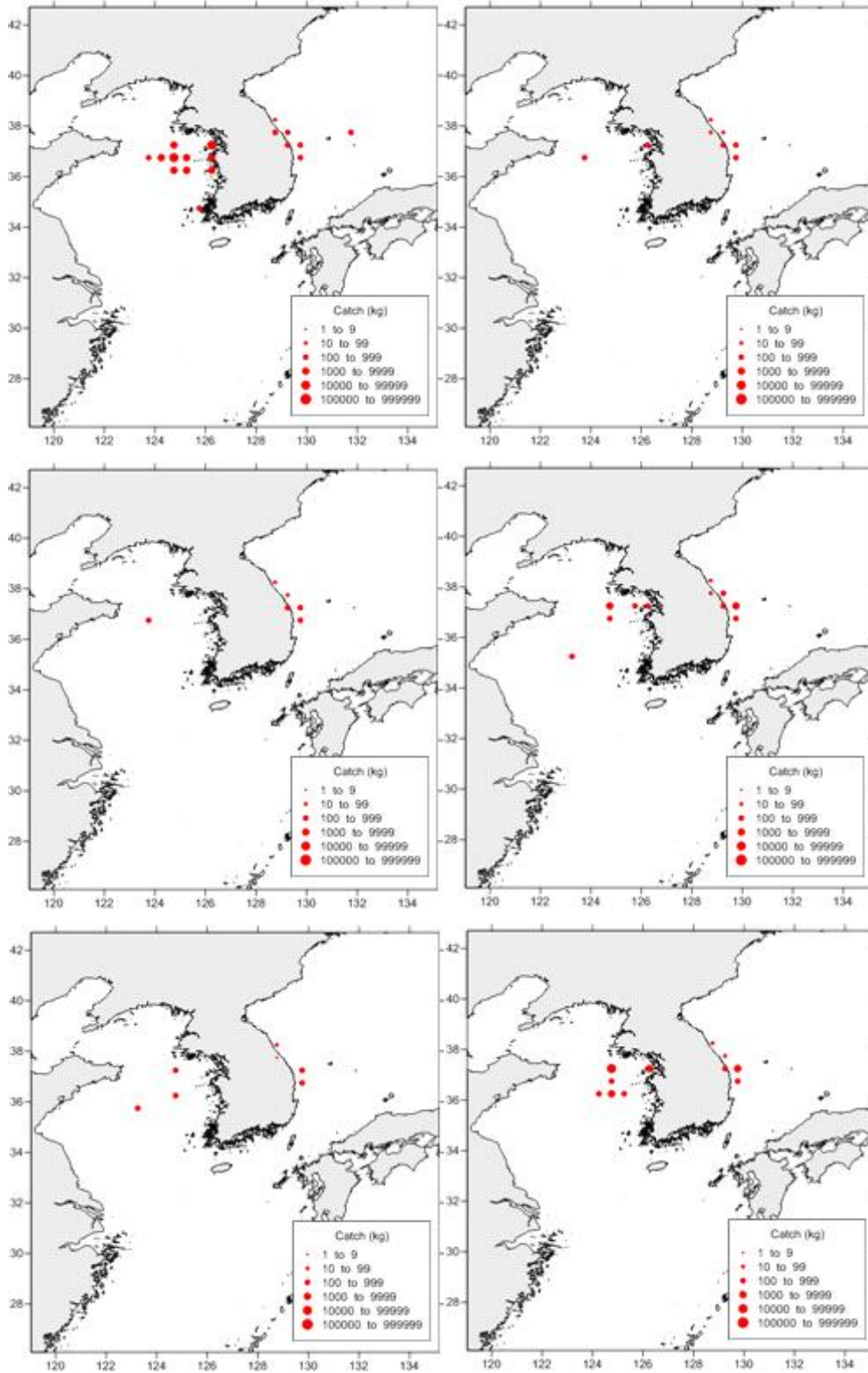


그림 3-1-45. 2008년 1월~6월 월별 대구어획생산량(왼쪽 맨 위에서부터 오른쪽으로)

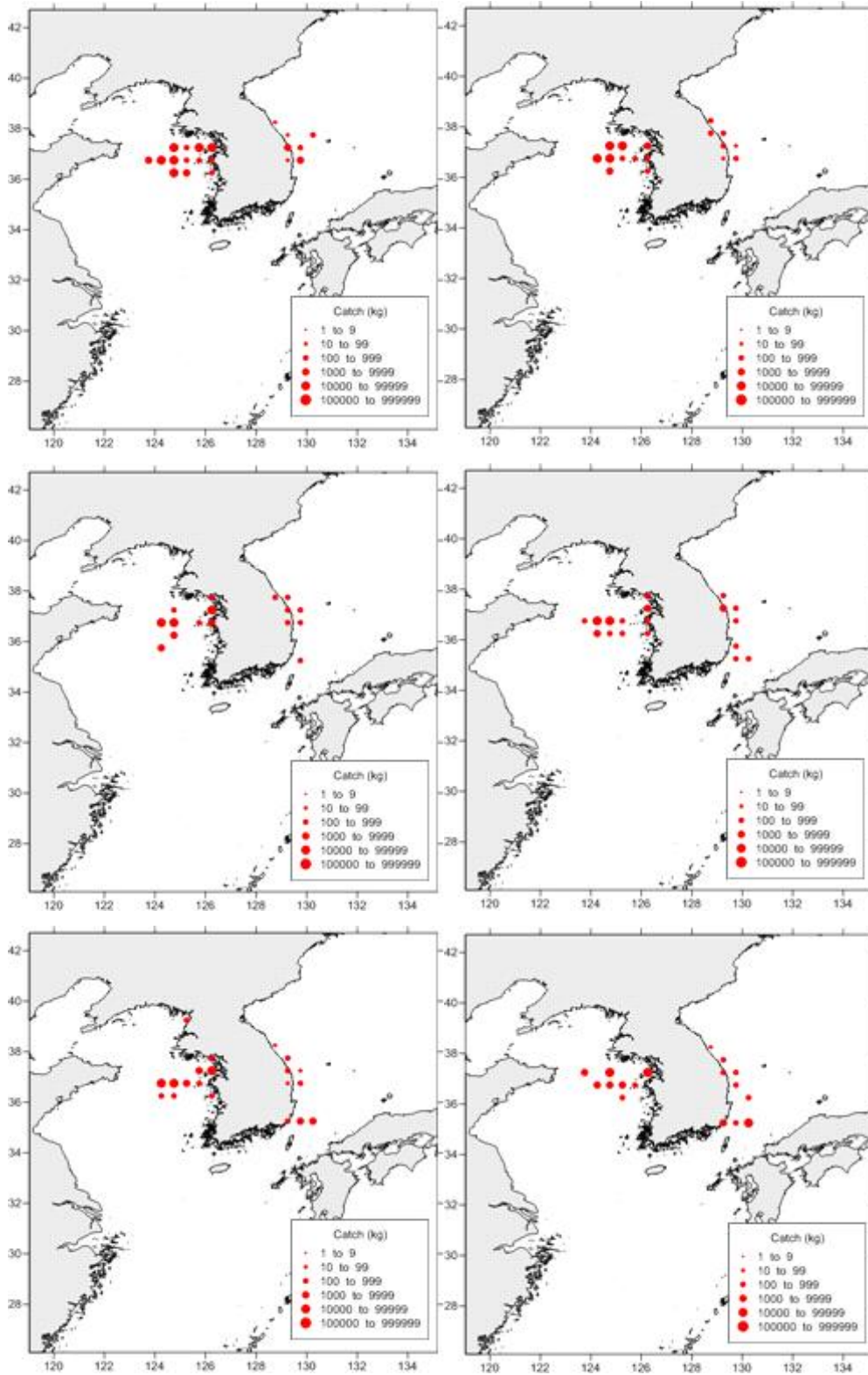


그림 3-1-46. 2008년 7월~12월 월별 대구어획생산량(왼쪽 맨 위에서부터 오른쪽으로)

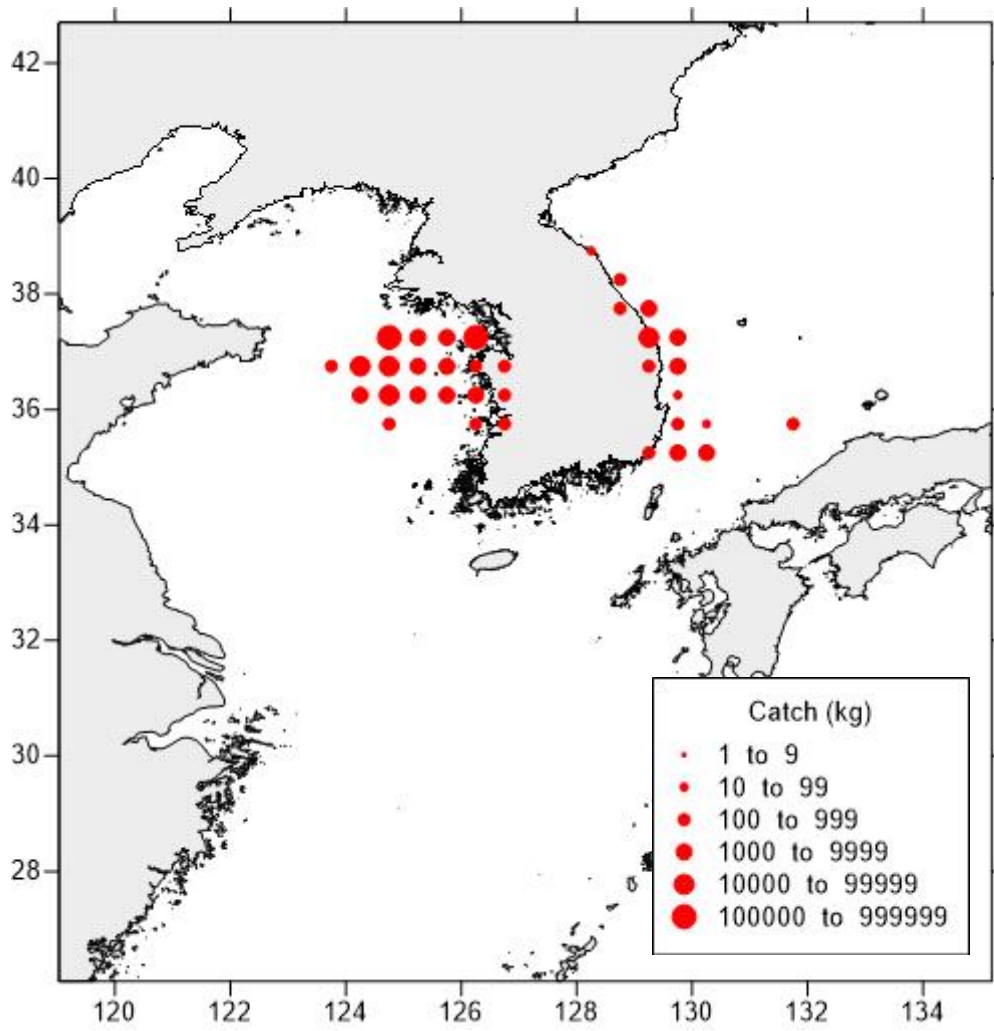


그림 3-1-47. 2009년 대구어획생산량

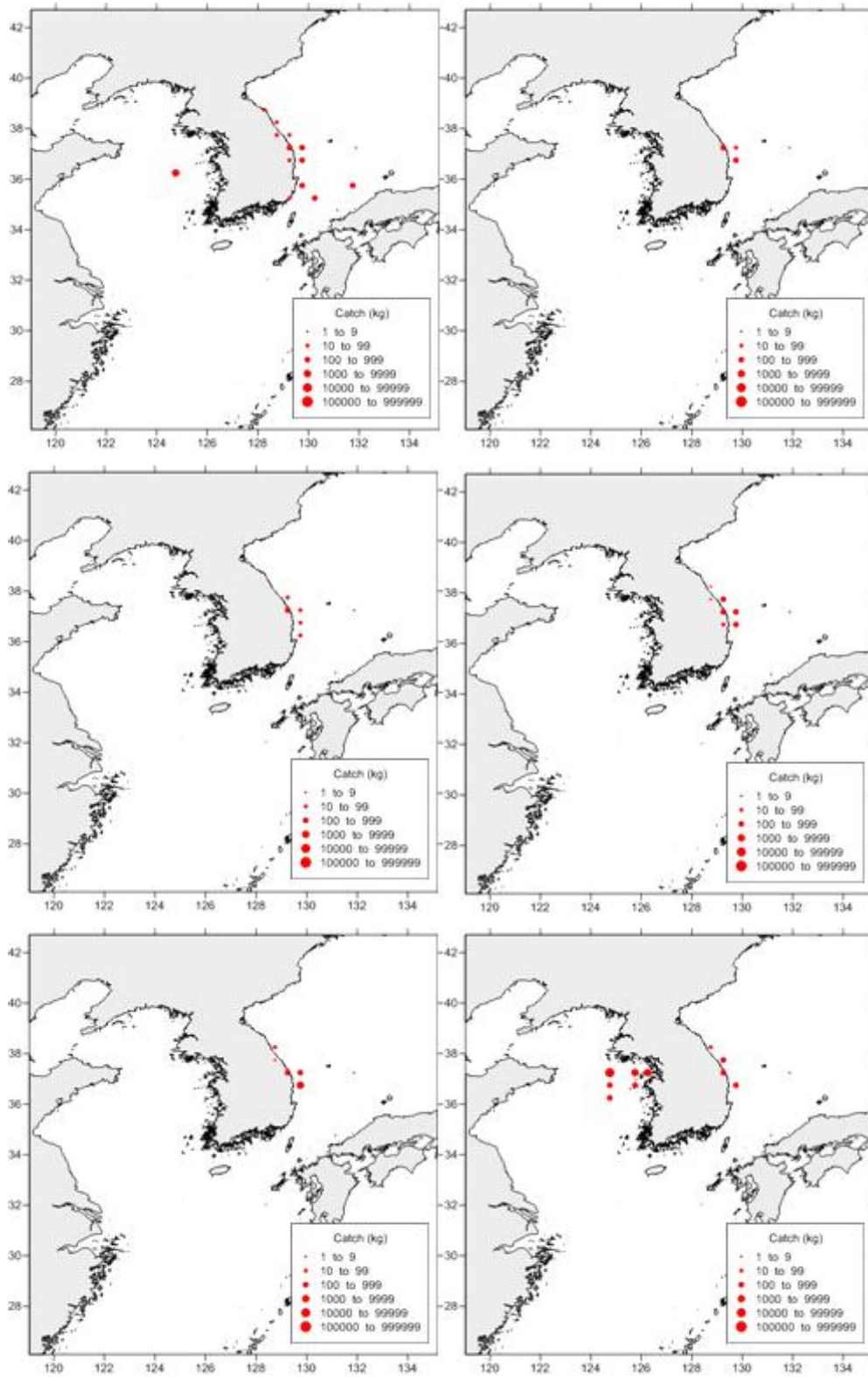


그림 3-1-48. 2009년 1월~6월 월별 대구어획생산량(왼쪽 맨 위에서부터 오른쪽으로)



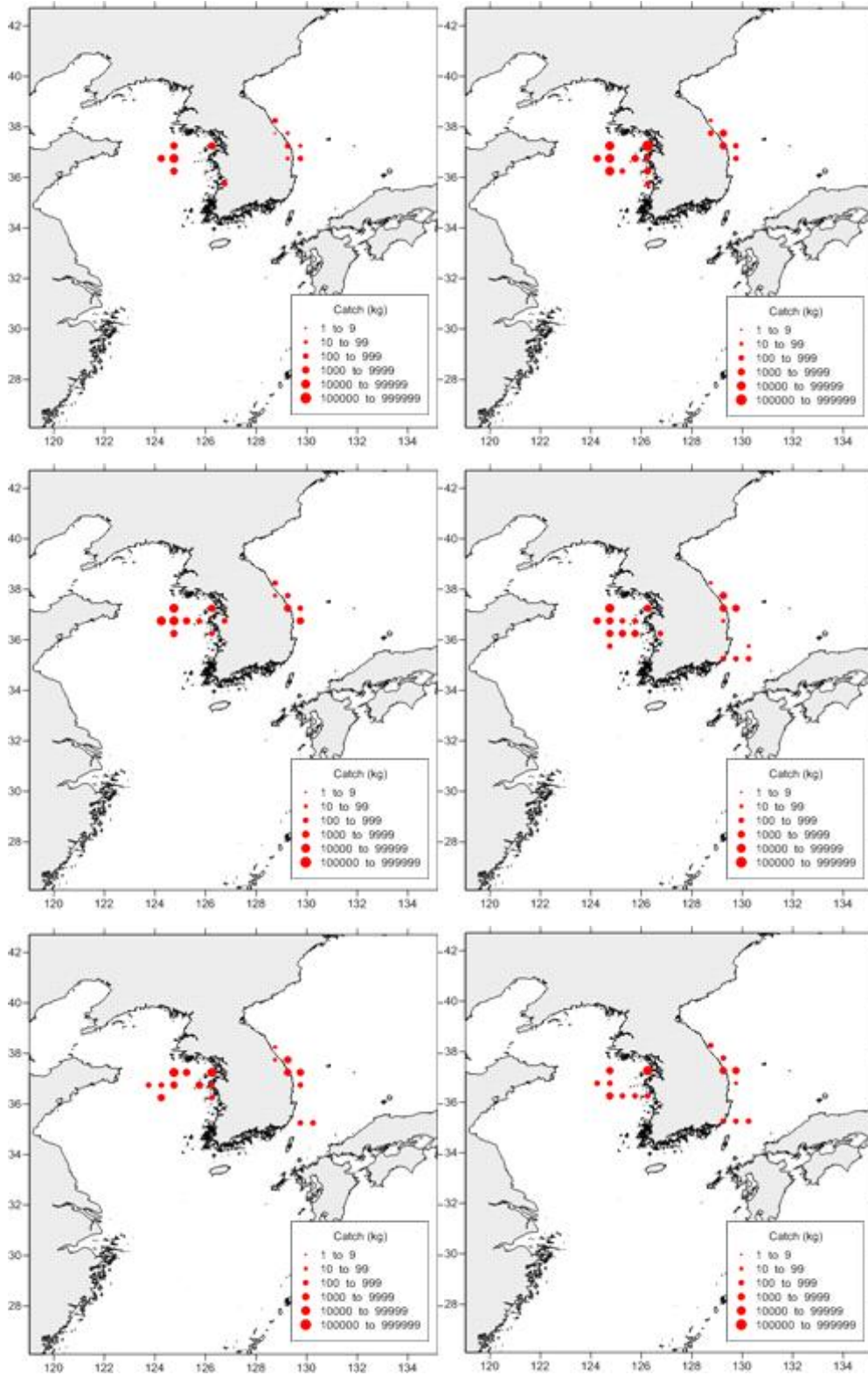


그림 3-1-49. 2009년 7월~12월 월별 대구어획생산량(왼쪽 맨 위에서부터 오른쪽으로)

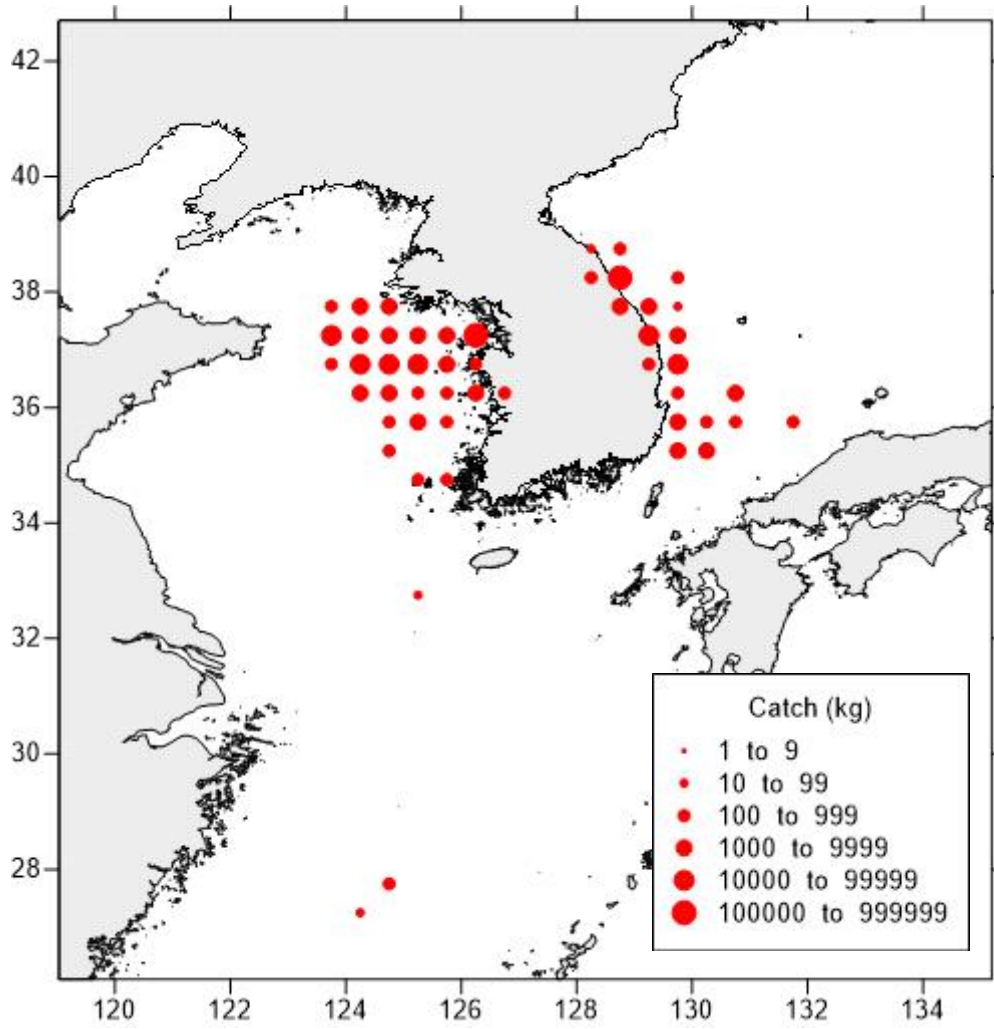


그림 3-1-50. 2010년 대구어획생산량

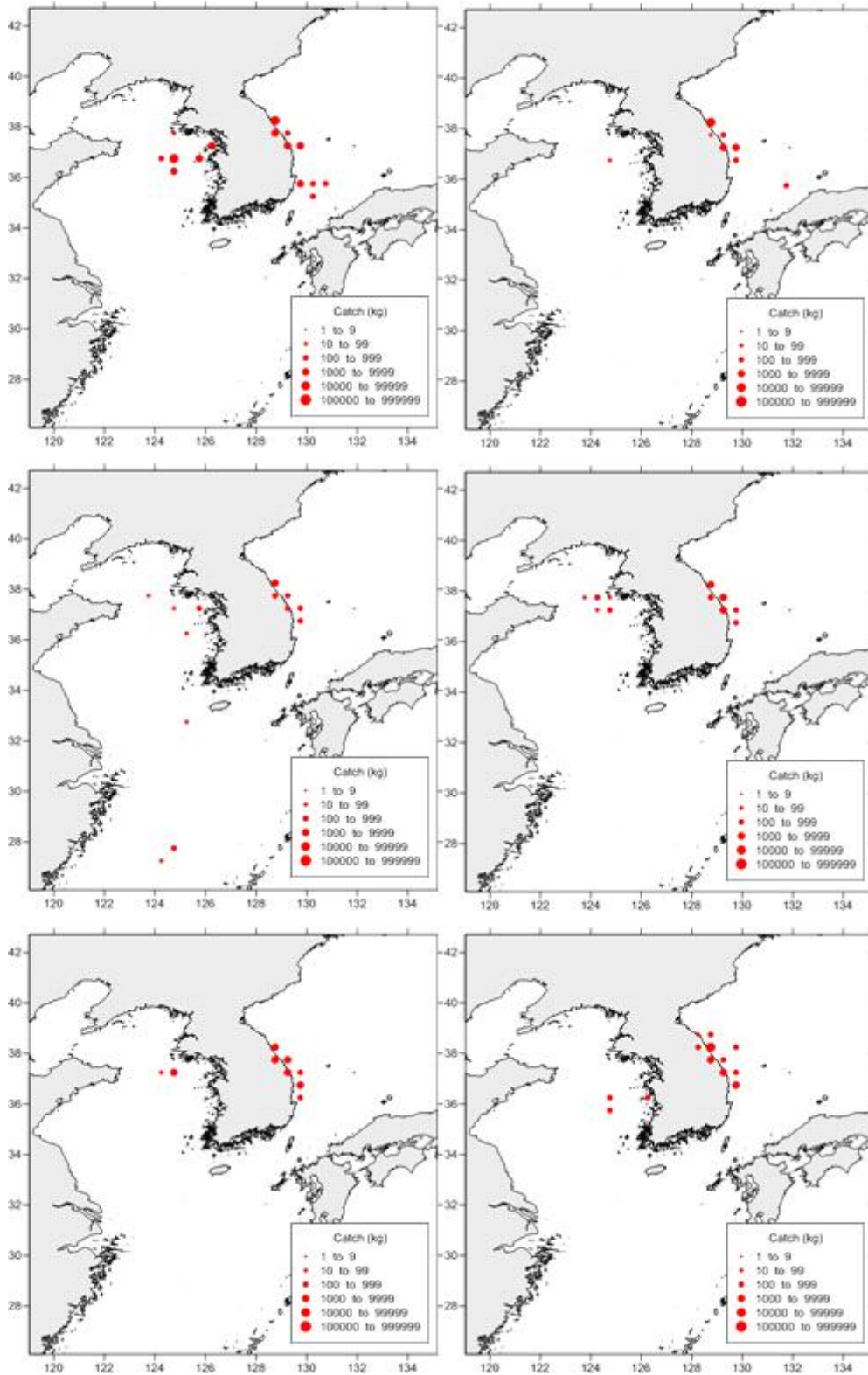


그림 3-1-51. 2010년 1월~6월 월별 대구어획생산량(왼쪽 맨 위에서부터 오른쪽으로)



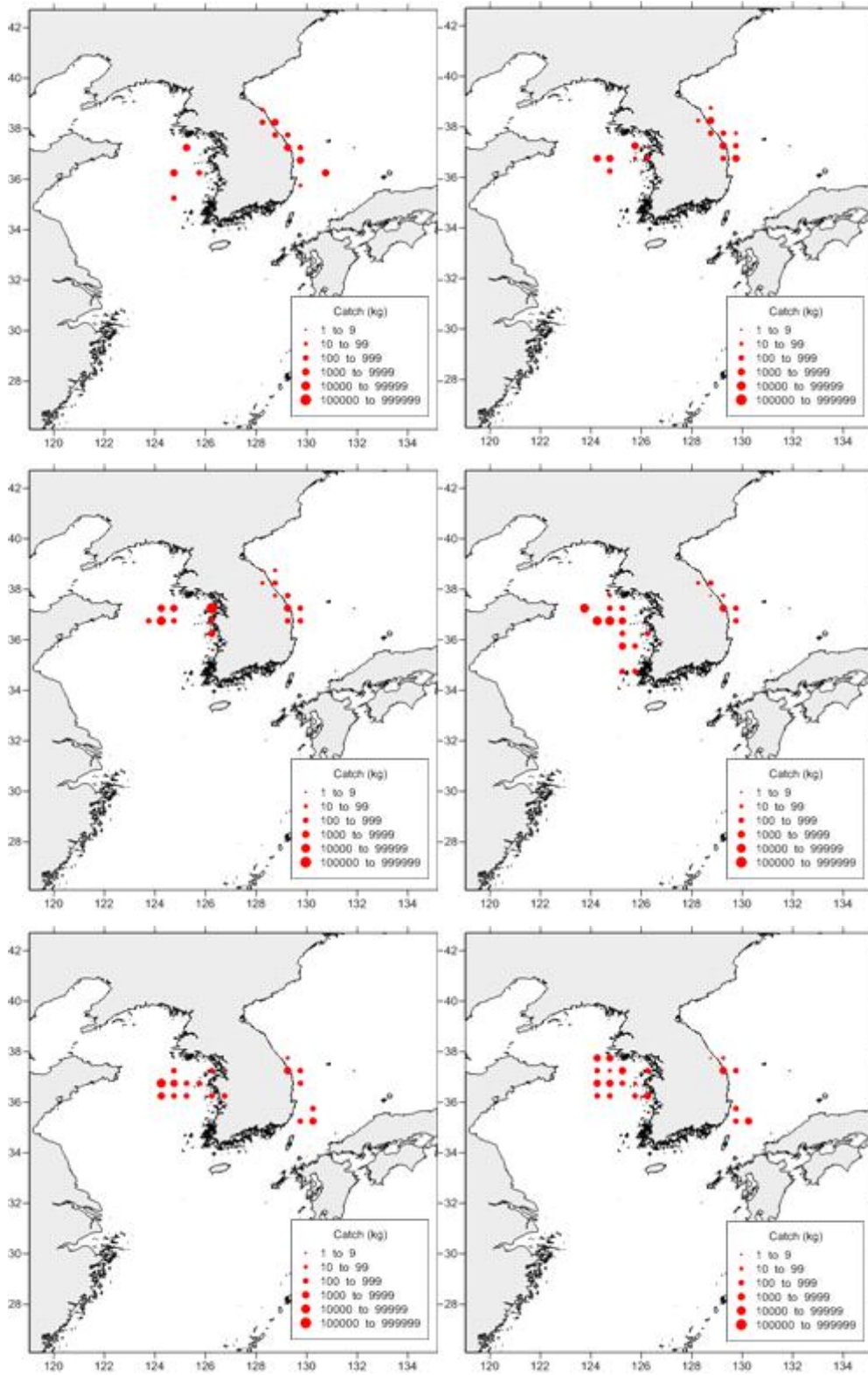


그림 3-1-52. 2010년 7월~12월 월별 대구어획생산량(왼쪽 맨 위에서부터 오른쪽으로)

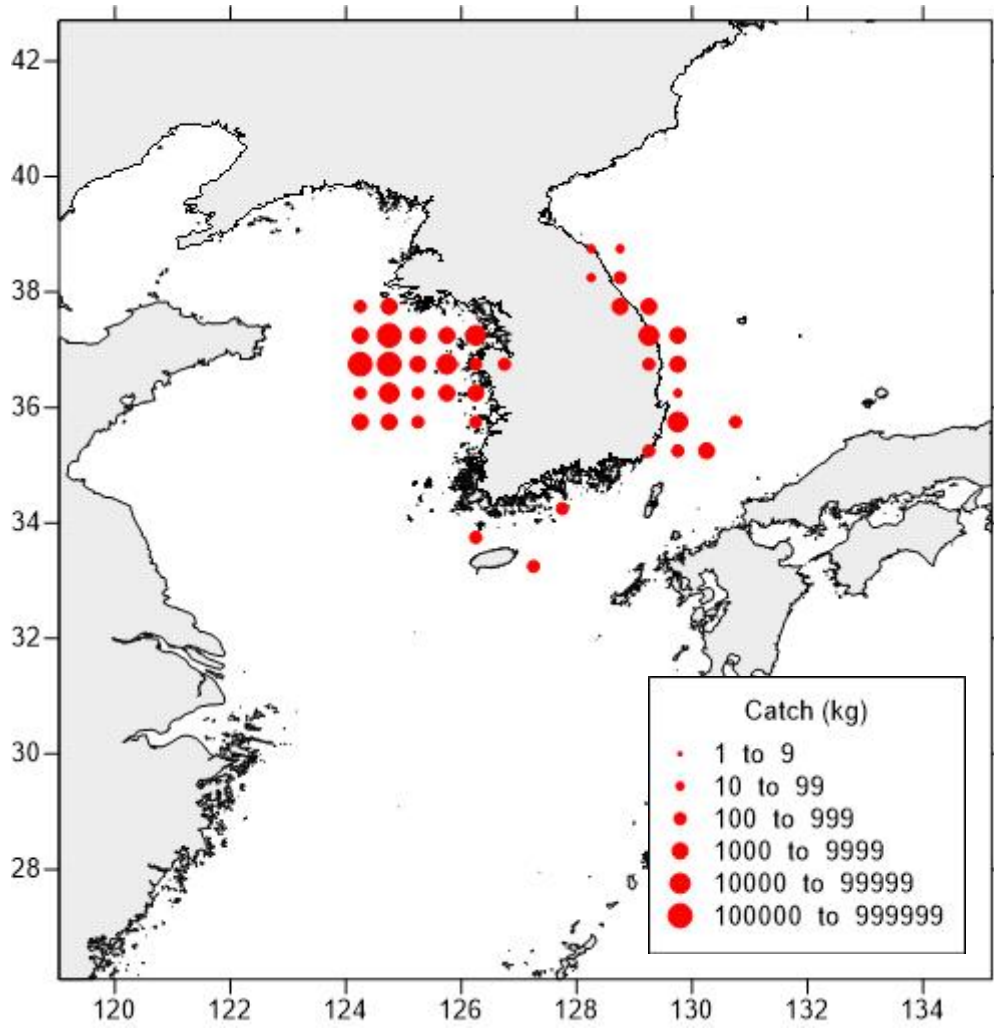


그림 3-1-53. 2011년 대구어획생산량

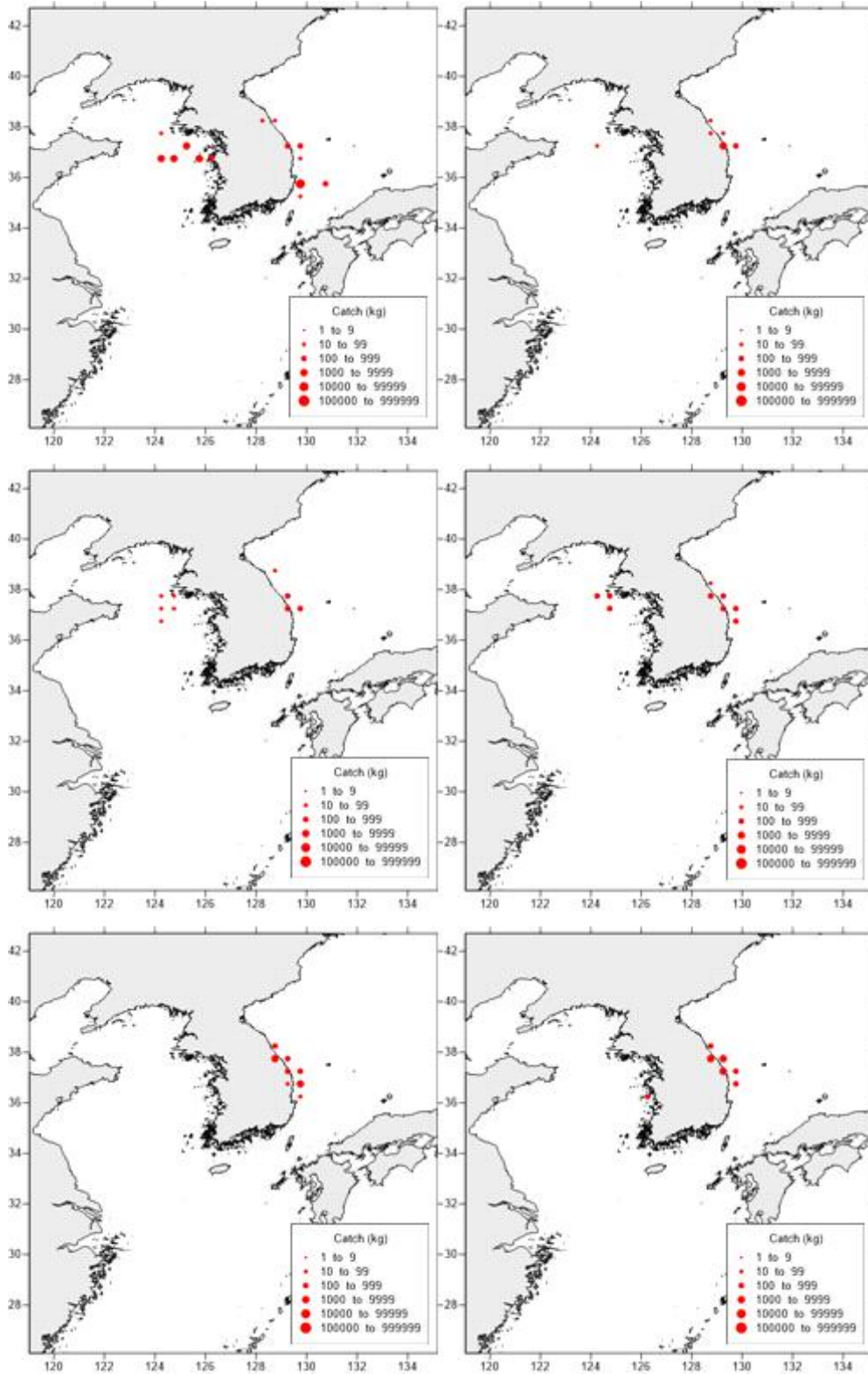


그림 3-1-54. 2011년 1월~6월 월별 대구어획생산량(왼쪽 맨 위에서부터 오른쪽으로)

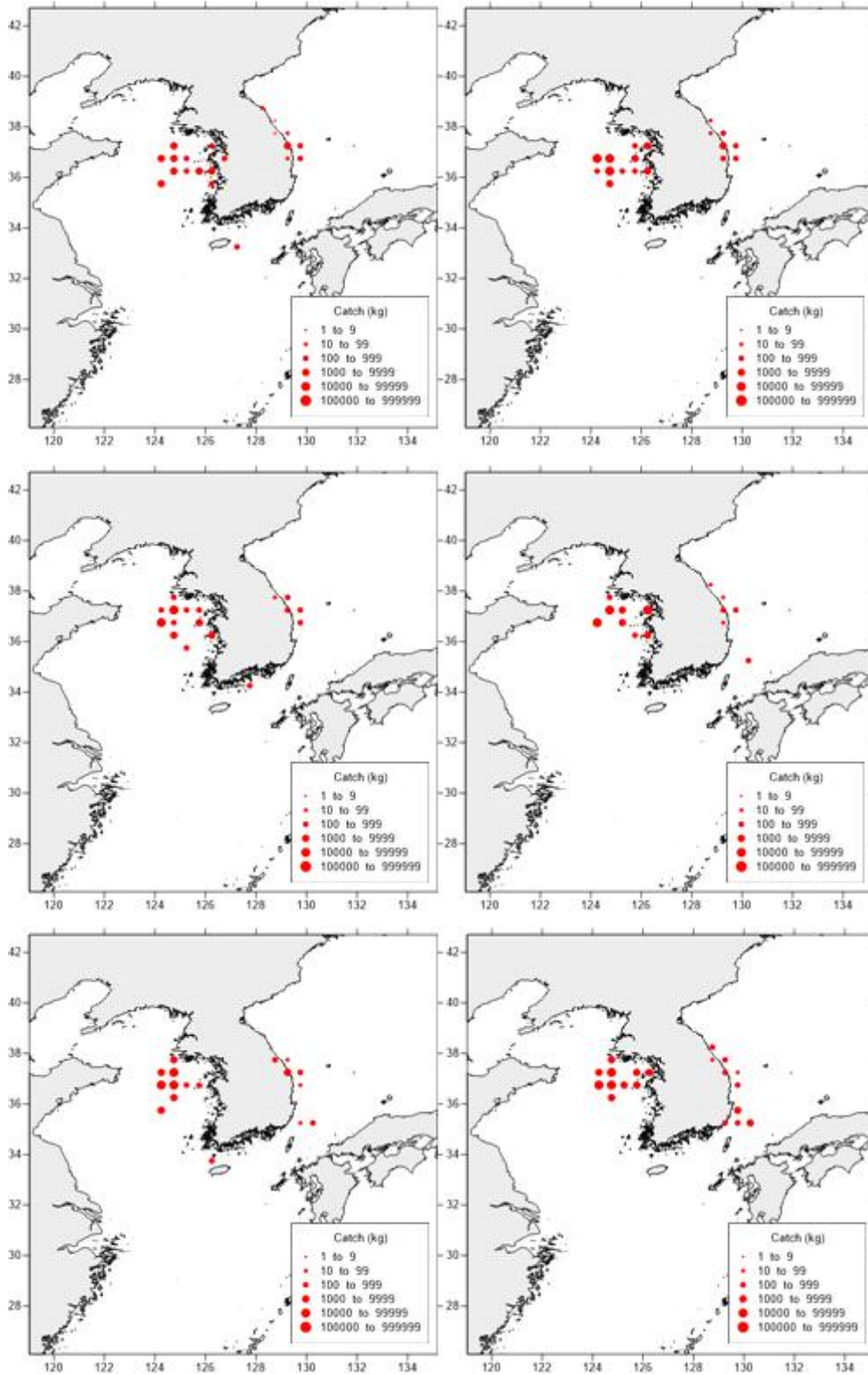


그림 3-1-55. 2011년 7월~12월 월별 대구어획생산량(왼쪽 맨 위에서부터 오른쪽으로)

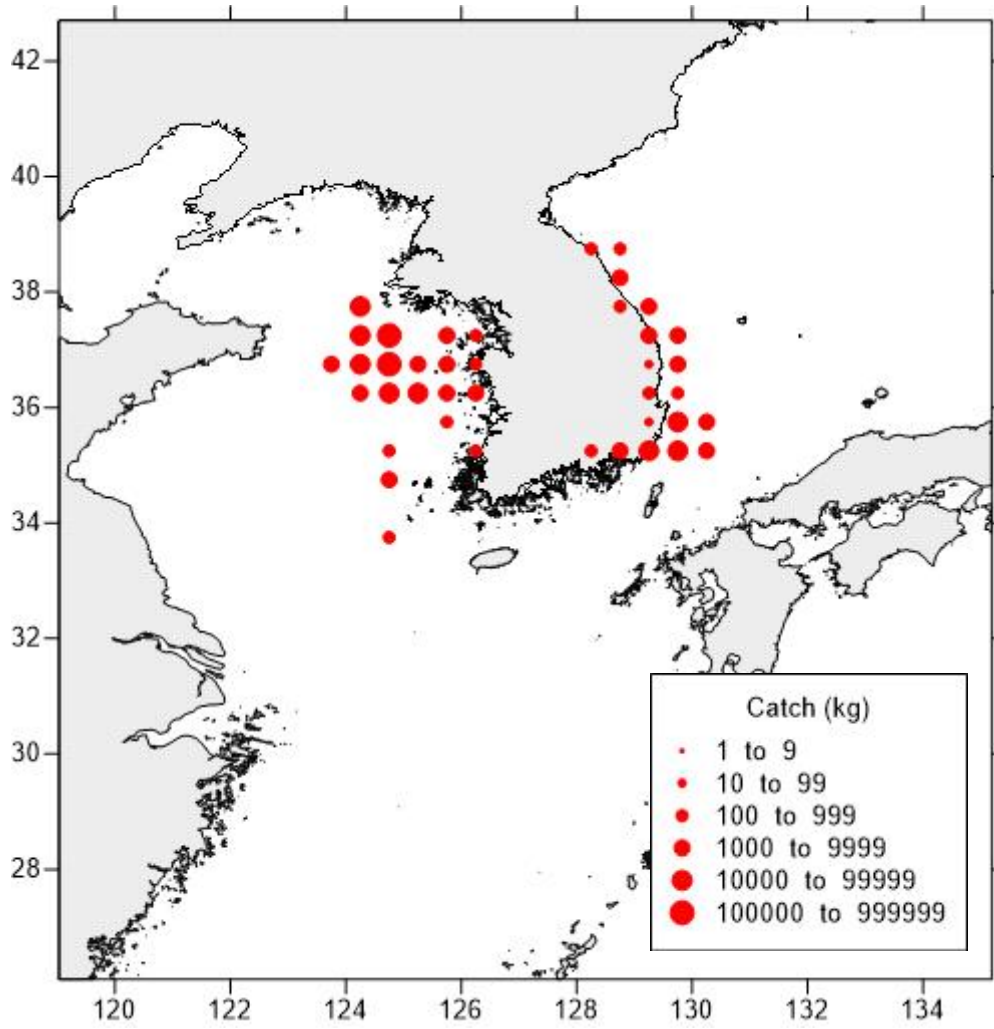


그림 3-1-56. 2012년 대구어획생산량



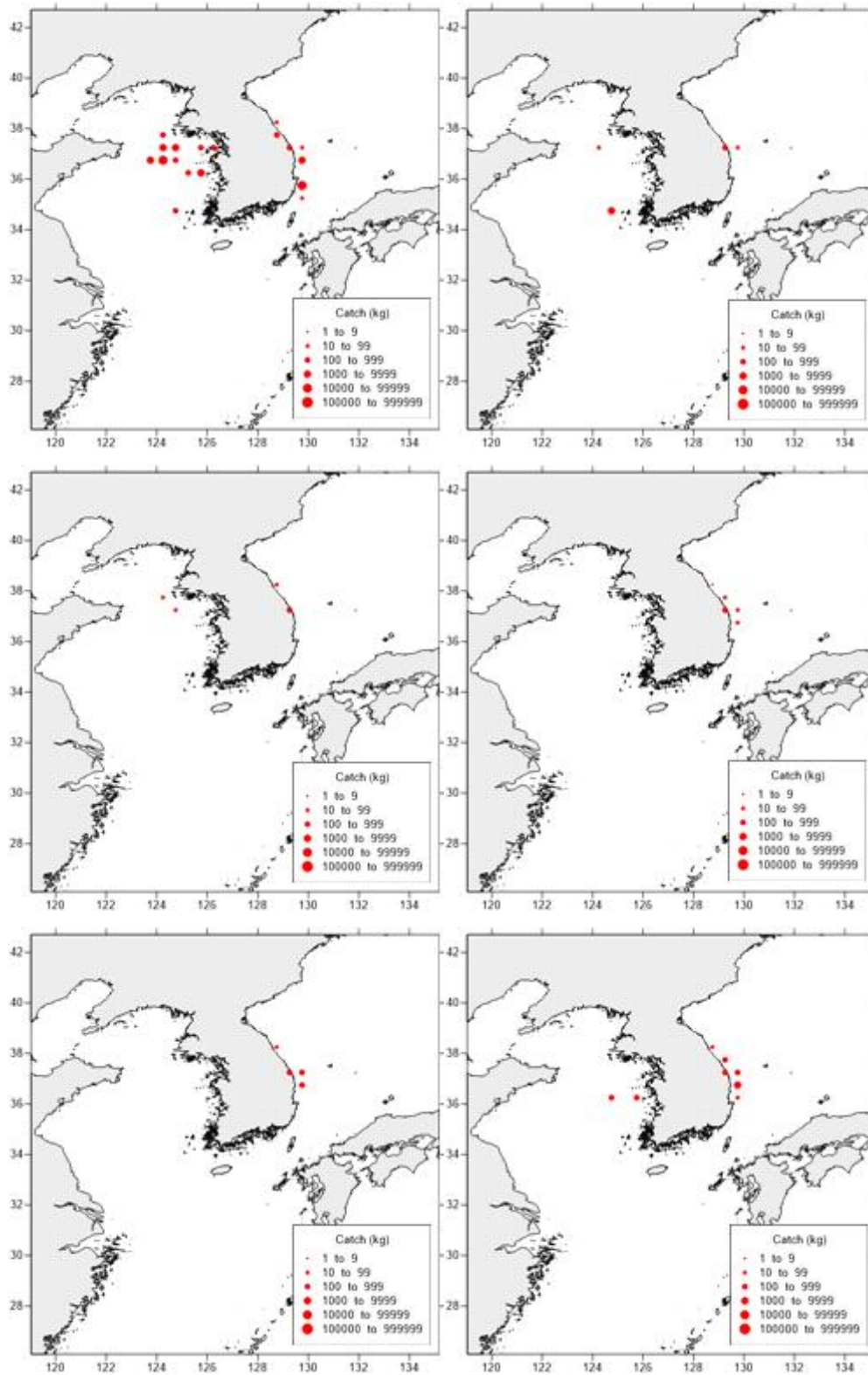


그림 3-1-57. 2012년 1월~6월 월별 대구어회생산량(왼쪽 맨 위에서부터 오른쪽으로)



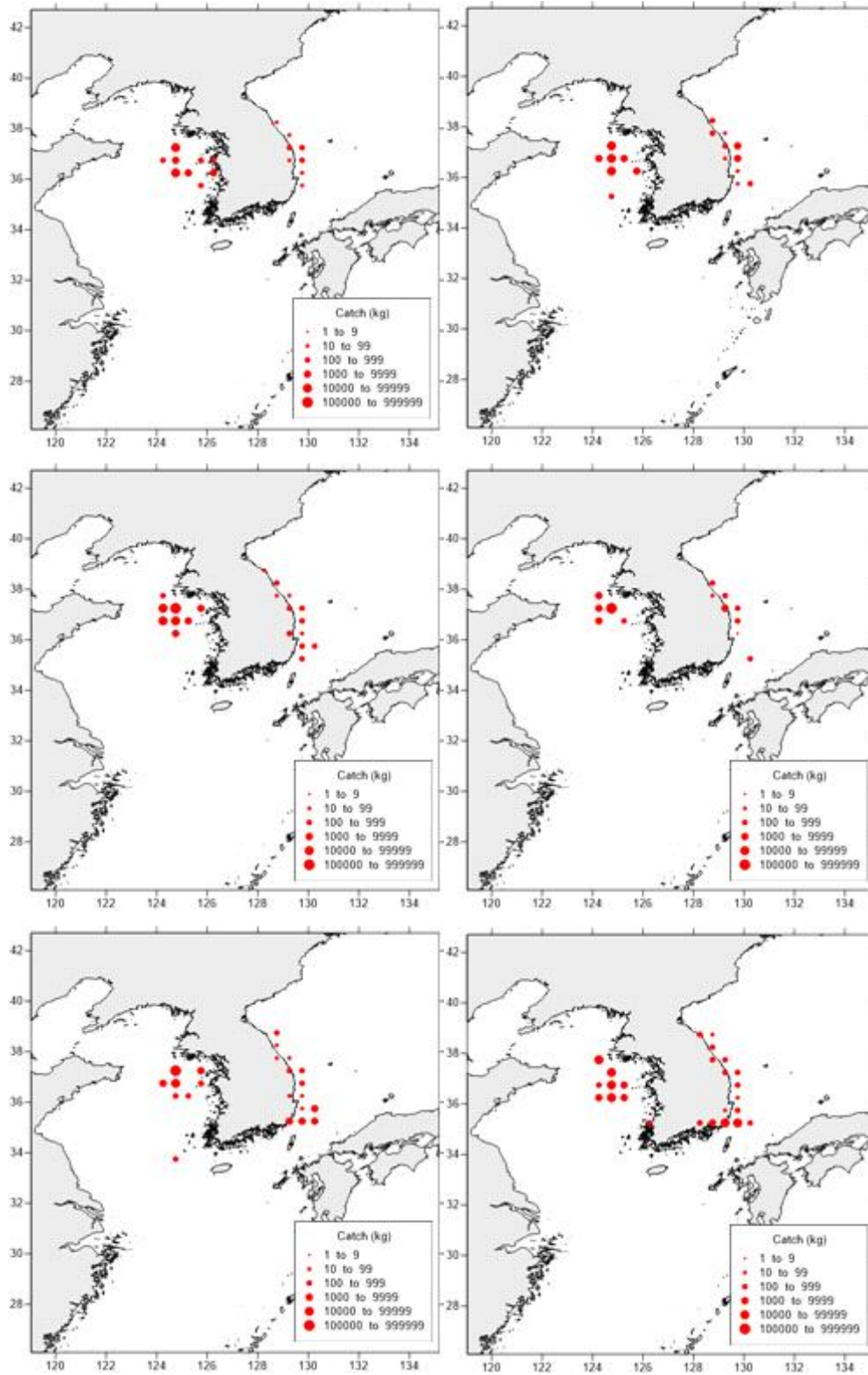


그림 3-1-58. 2012년 7월~12월 월별 대구어획생산량(왼쪽 맨 위에서부터 오른쪽으로)

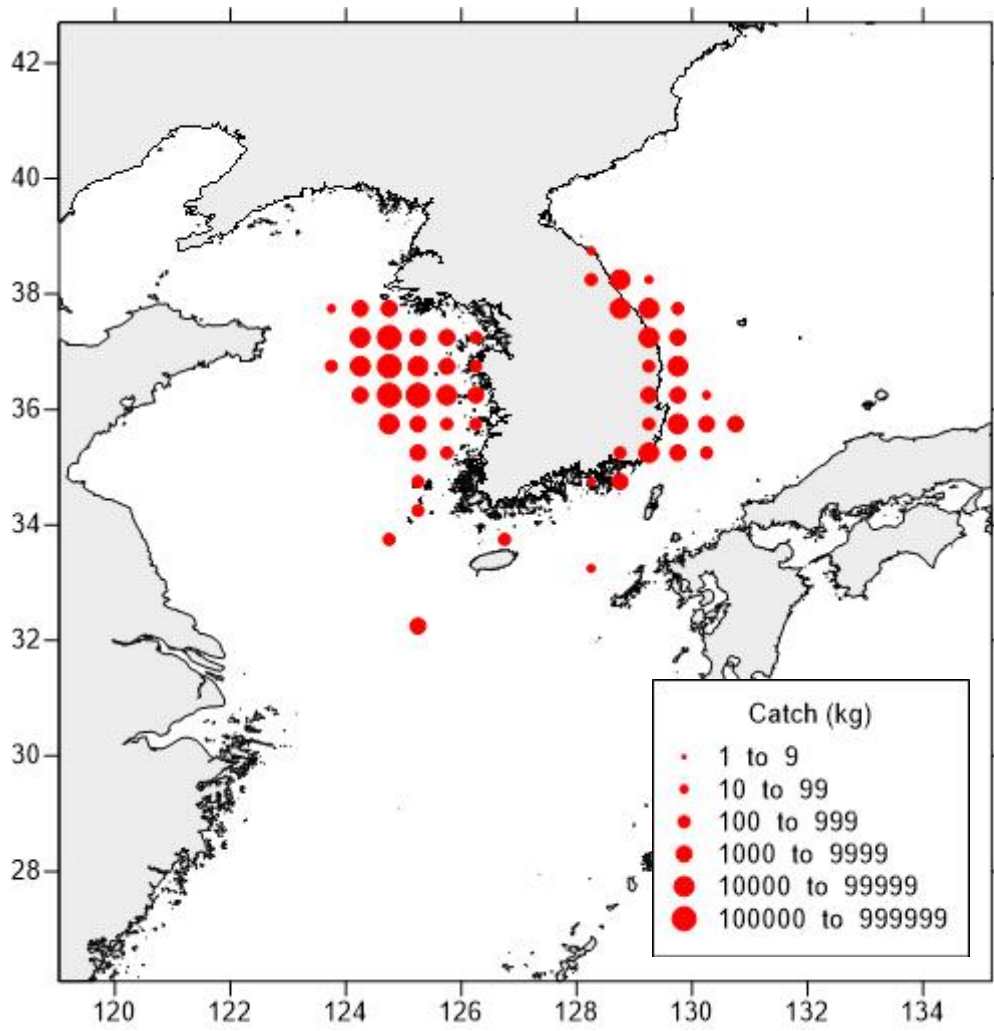


그림 3-1-59. 2013년 대구어획생산량

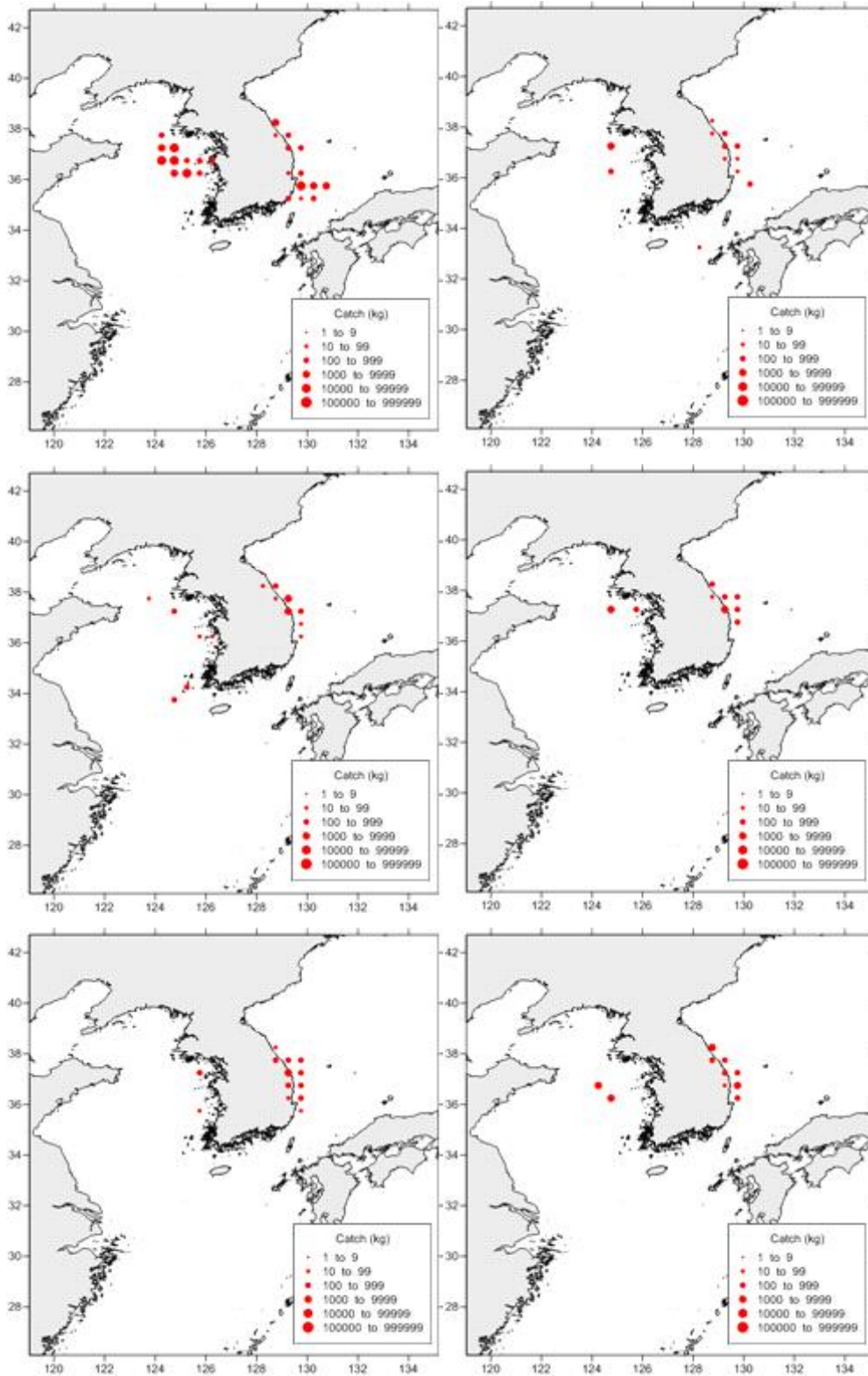


그림 3-1-60. 2013년 1월~6월 월별 대구어획생산량(왼쪽 맨 위에서부터 오른쪽으로)

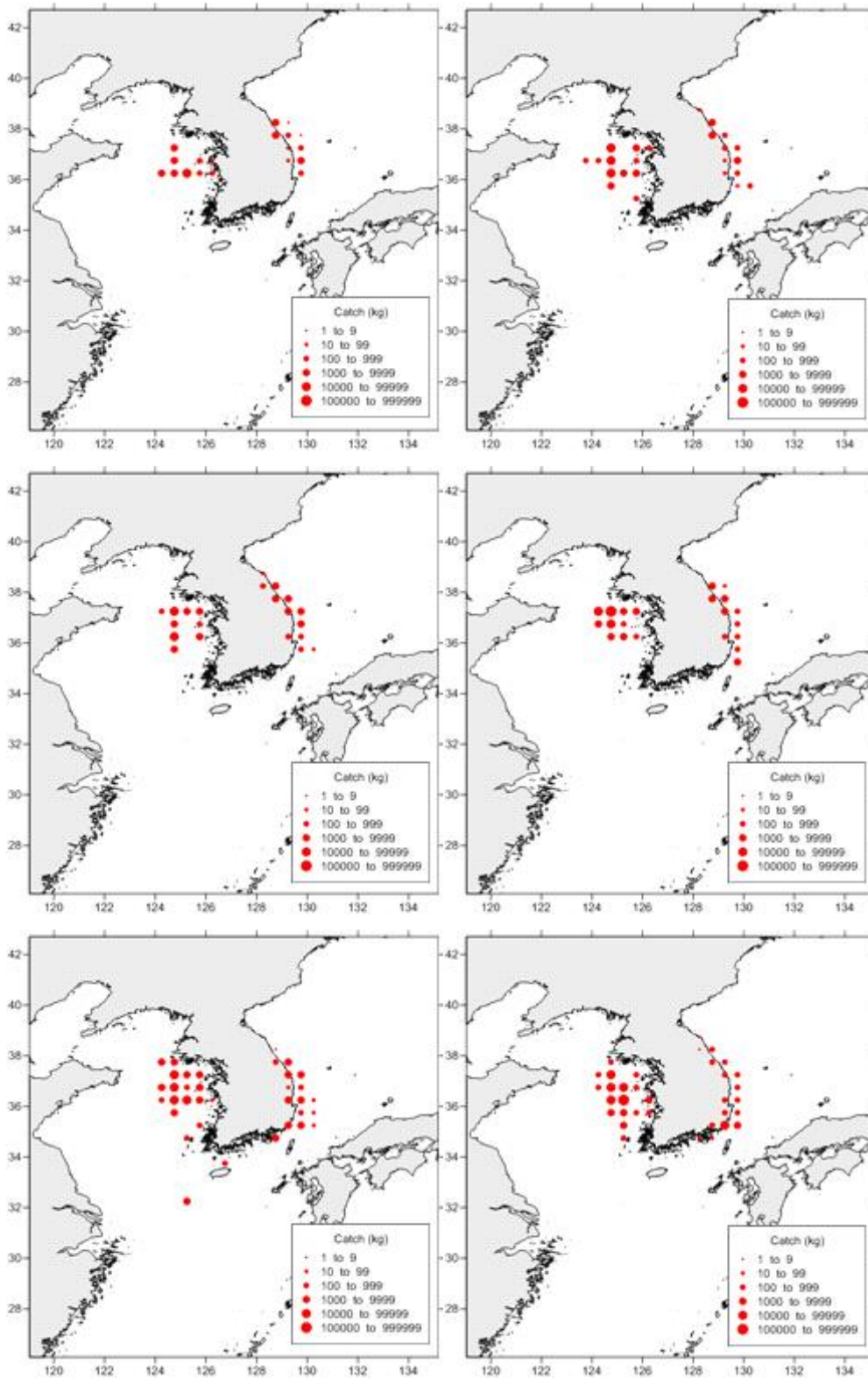


그림 3-1-61. 2013년 7월~12월 월별 대구어획생산량(왼쪽 맨 위에서부터 오른쪽으로)

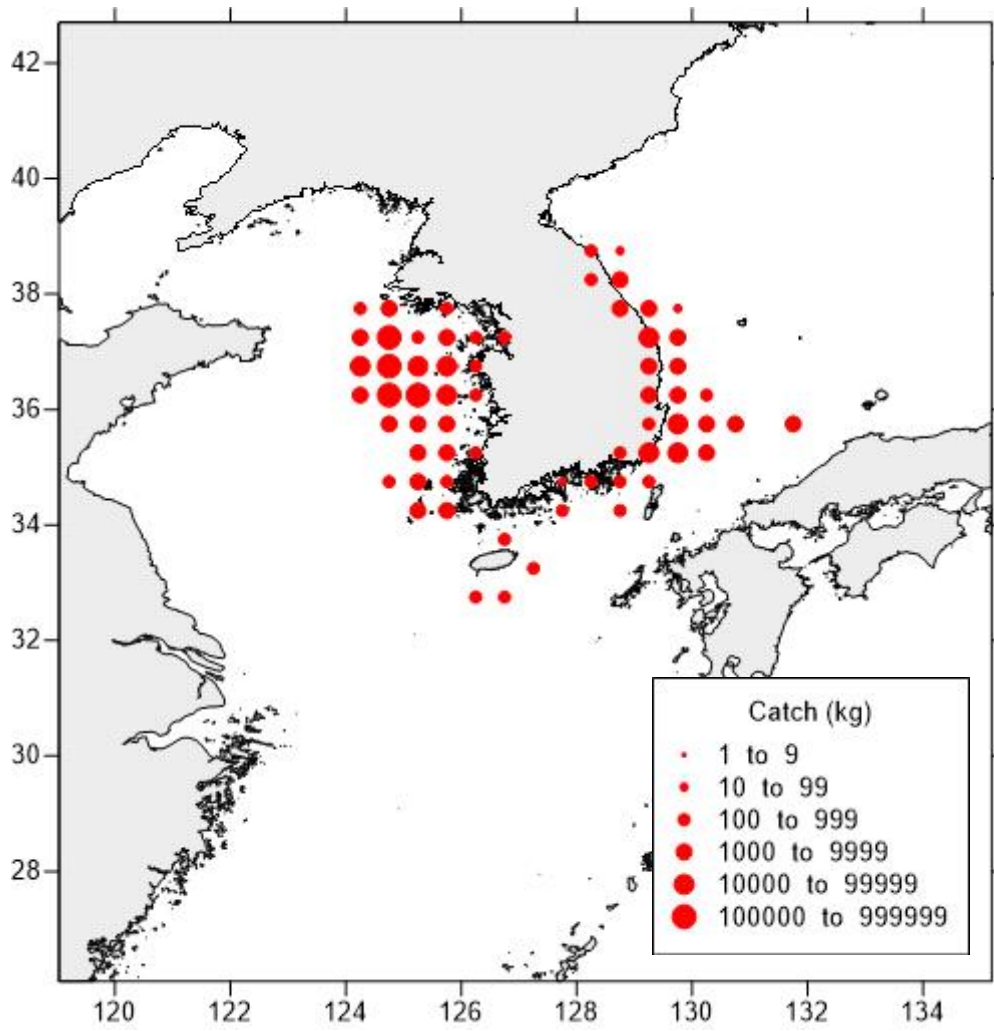


그림 3-1-62. 2014년 대구어획생산량



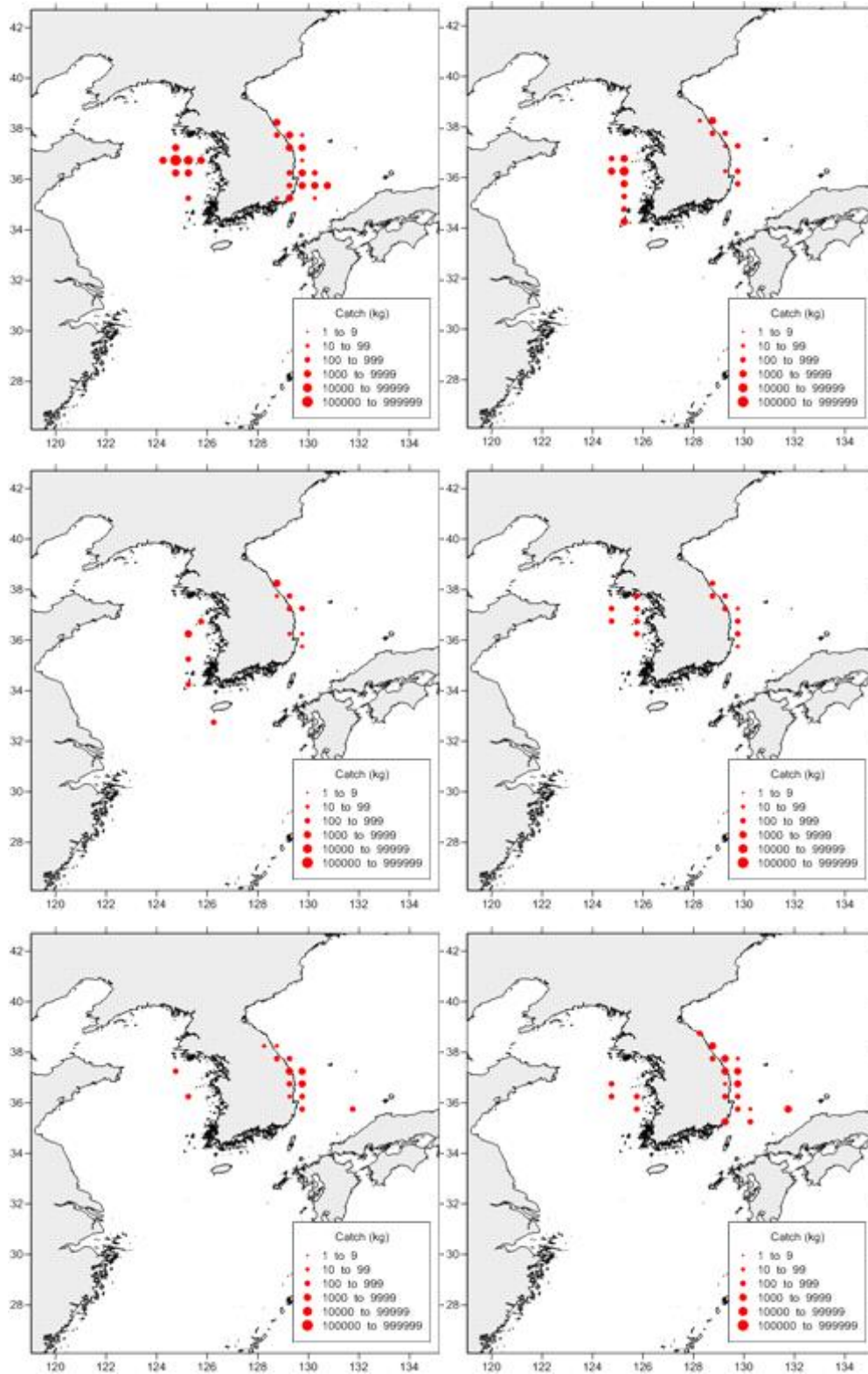


그림 3-1-63. 2014년 1월~6월 월별 대구어획생산량(왼쪽 맨 위에서부터 오른쪽으로)



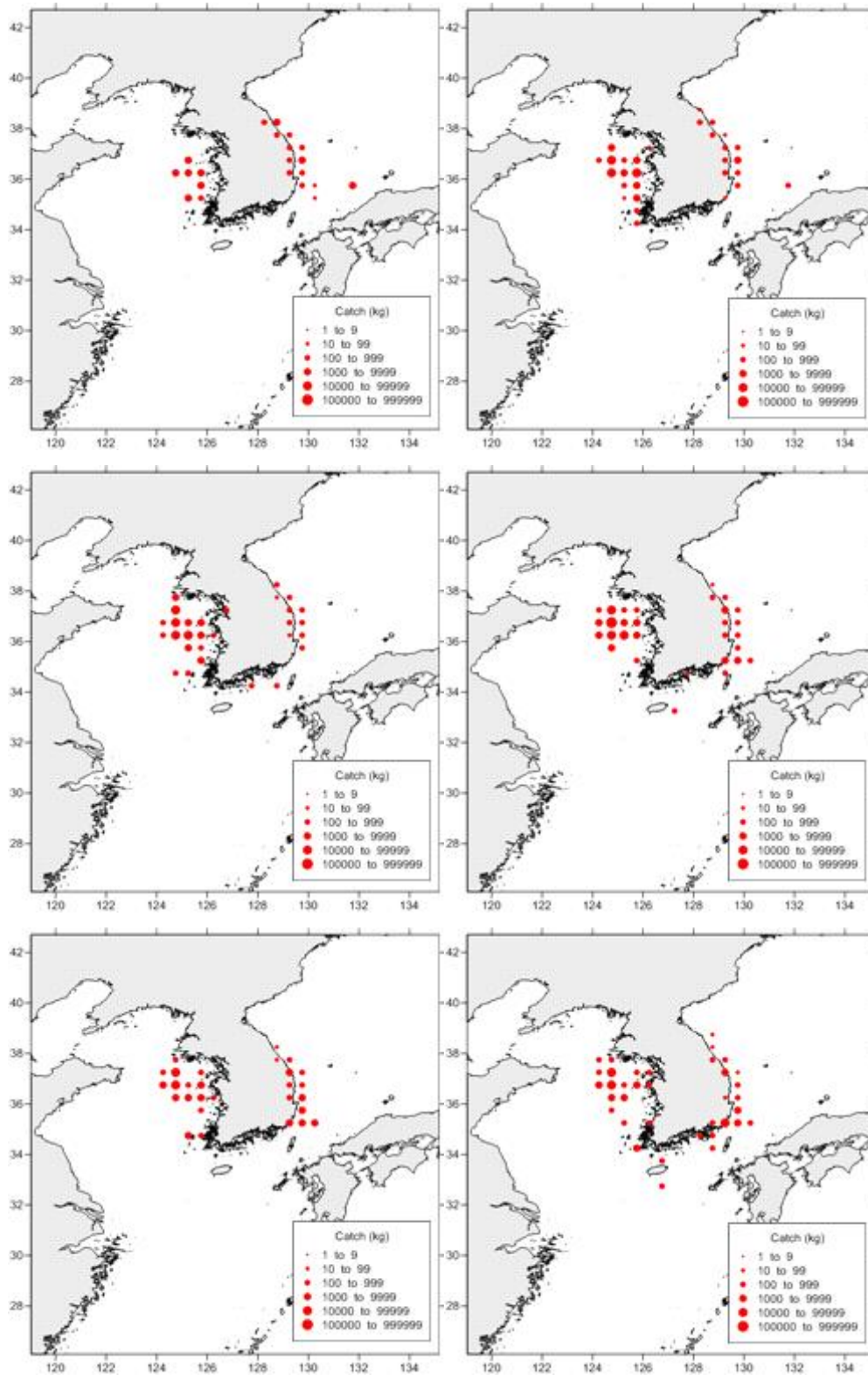


그림 3-1-64. 2014년 7월~12월 월별 대구어획생산량(왼쪽 맨 위에서부터 오른쪽으로)

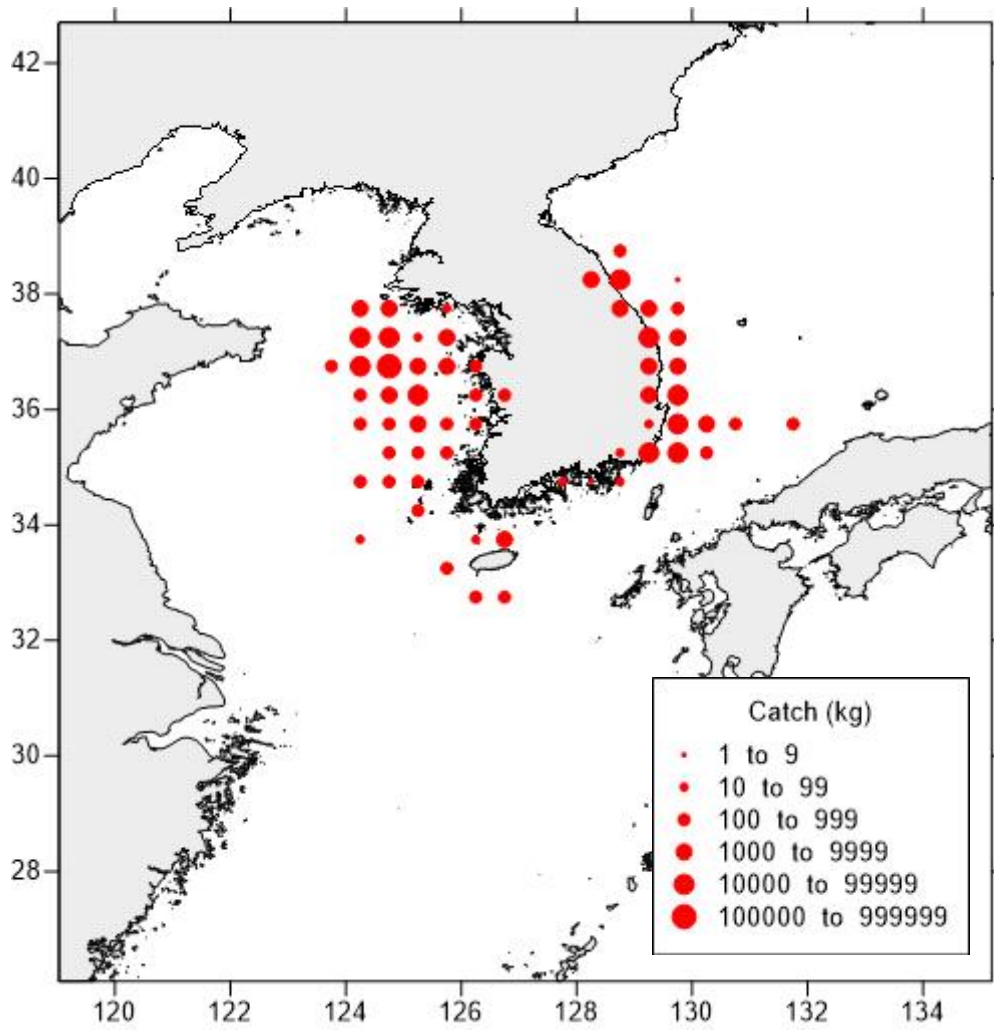


그림 3-1-65. 2015년 대구어획생산량

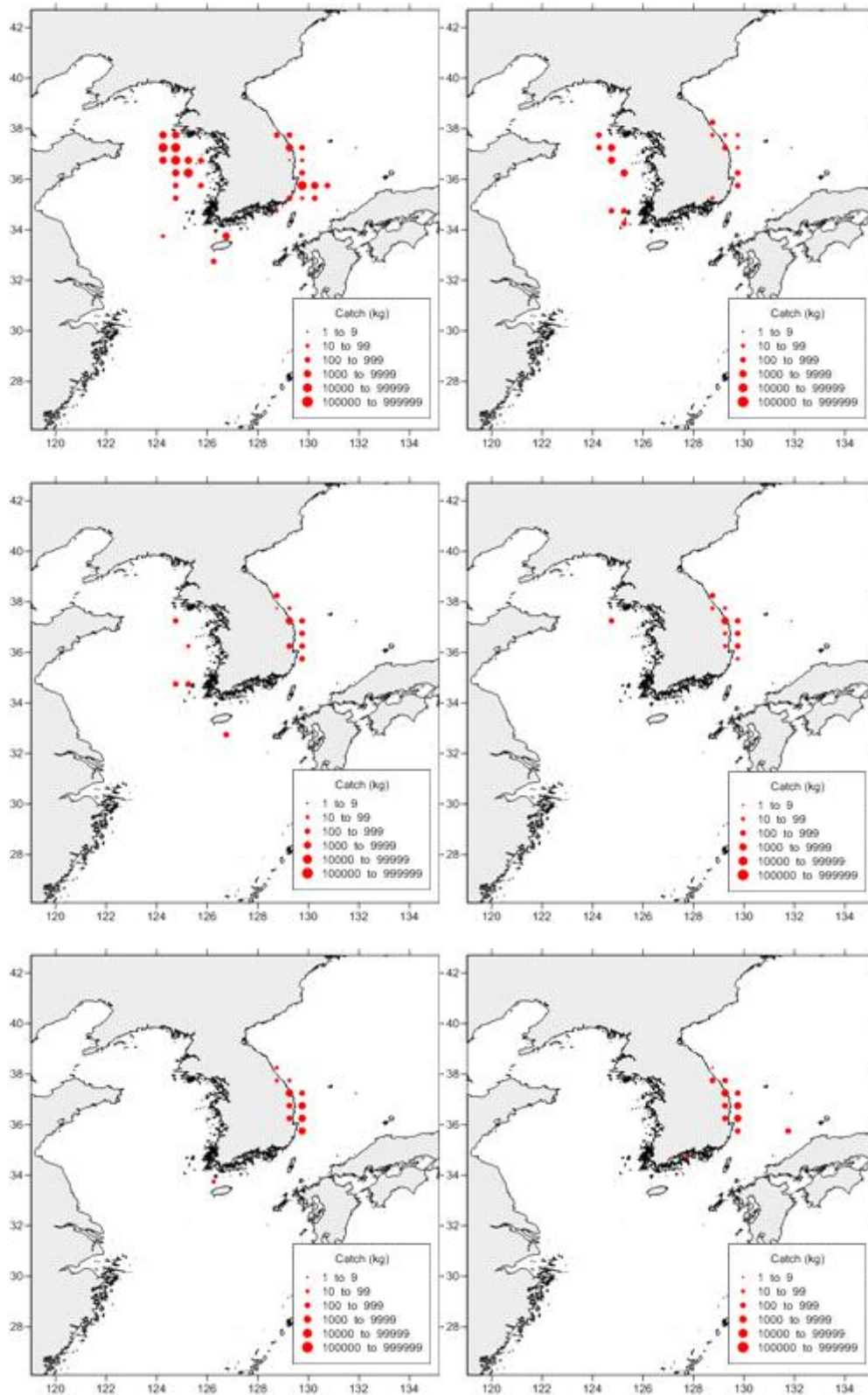


그림 3-1-66. 2015년 1월~6월 월별 대구어획생산량(왼쪽 맨 위에서부터 오른쪽으로)

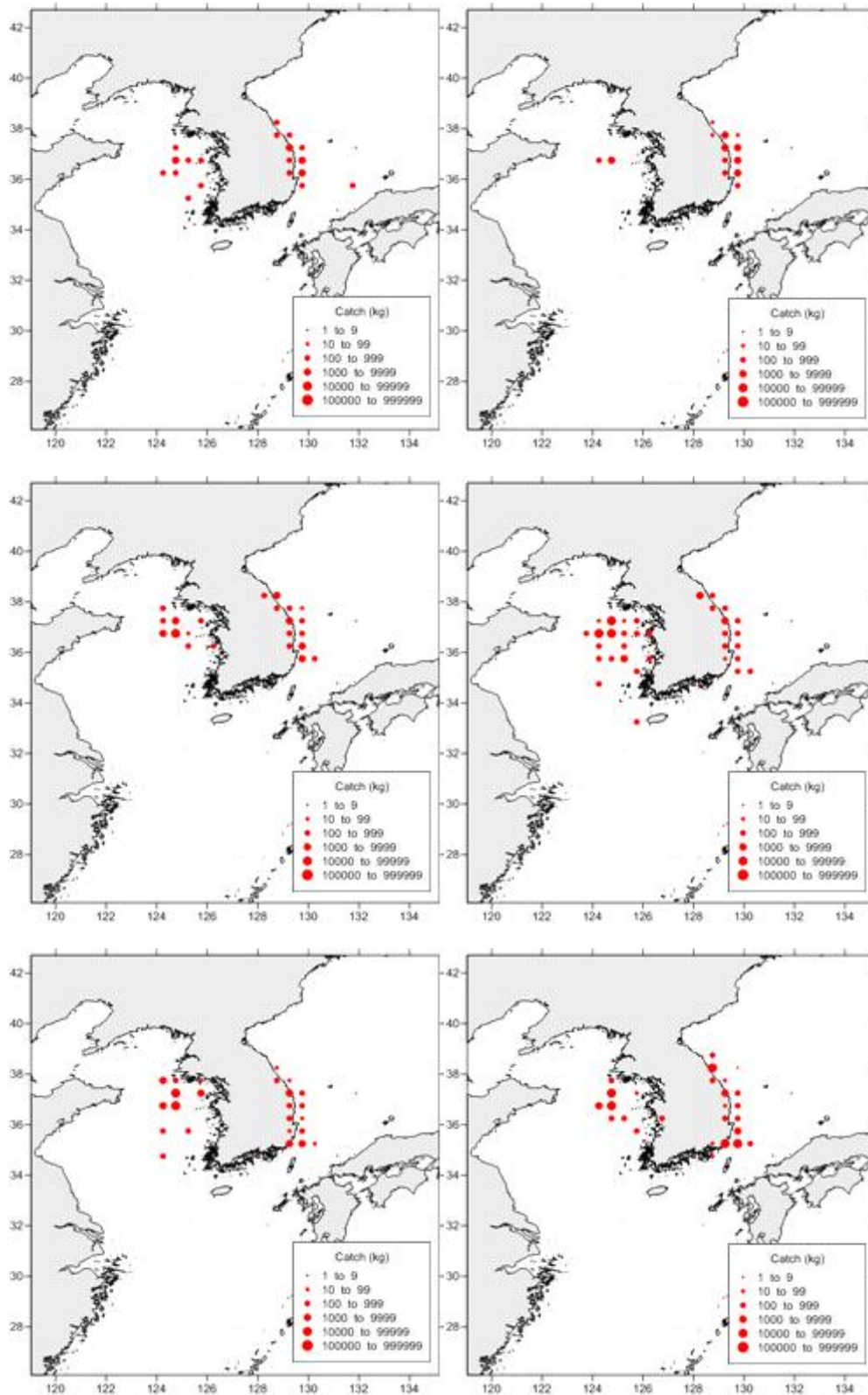


그림 3-1-67. 2015년 7월~12월 월별 대구어획생산량(왼쪽 맨 위에서부터 오른쪽으로)

### 3. 토의

위성추적장치로 회수된 신호를 분석한 결과 대구는 산란이후에 주로 동쪽이나 동북부로 이동하는 경향성이 나타나는 것으로 보인다. 어획자료 역시 서해와 동해에서 잡히는 패턴이 다르게 나타났다. 남해나 서해쪽으로 이동하는 개체가 한 마리도 발견이 되지 않는 점, 서해어획자료와 동해어획자료가 명확히 구분이 되는 점에 비추어 서해계군과 거제도를 포함한 동해계군은 구분이 되는 것으로 추정된다.

위성추적장치가 프로그램에서 예정된 일정보다 훨씬 빨리 대부분 방류 1-2주 내로 신호를 보내었다. 그 원인으로 인근해역에서 재포획되었을 가능성과 건강상태가 좋지 않아 대구가 사망했을 가능성 등을 생각해 볼 수 있다. 데이터를 살펴본 결과, 태그한 개체가 부력조절에 실패하여 떠오른 것으로 보이며 아마도 태깅 후 건강상태에 문제가 생기지 않았을지 추정해 본다. 그 원인으로 태그의 원칙적으로는 대구에 부착할 수 있을 만큼의 크기라고는 하지만 무게가 상당하여 어류의 유영에 큰 부담을 주지 않았을까 추정한다. 따라서 앞으로 위성추적장치를 이용한 대구의 위치추적을 한다면 비용부담이 크더라도 크기가 작고 가벼운 pop-up satellite tag을 사용하는 것을 고려하는 것이 좋겠다.

## 2절. 유전자 마커를 이용한 대구의 이동경로 추정

### 1. 연구 방법

가. 한국의 동·서·남해 대구 계군 시료 채집

대구어의 이동경로를 파악하기 위하여 서식해역별로 구분하여 대구 계군 시료를 채집하였다. 동·서·남해로 구분하여 12개 지역(고성, 강릉, 동해, 묵호, 죽변, 감포, 울산, 진해만, 서해 34도, 서해 35도, 서해 36도, 백령도)에서 285개체를 채집하였다(표 3-2-1).

표 3-2-1. 대구 계군 분석을 위한 서식해역별 시료채집 정보

서식해역	지역	위도	경도	채집시료 수(개체)
동해	고성	38° 49′	129° 08′	34
	강릉	37° 45′	129° 02′	5
	동해	37° 30′	129° 17′	21
	옥계	37° 37′	129° 13′	21
	죽변	36° 55′	129° 40′	32
	감포	35° 80′	129° 50′	15
남해	부산	35° 21′	129° 20′	60
	진해만	34° 87′	128° 87′	30
				<b>90</b>
서해	서해 34도	34° 45′	123° 15′	19
	서해 35도	35° 17′	123° 44′	10
	서해 36도	36° 40′	123° 45′	19
	백령도	37° 94′	124° 83′	19
				<b>67</b>
<b>전 체</b>				<b>285</b>



## 나. Microsatellite 마커를 이용한 대구 계군의 유전적 구조 분석

### (1) Genomic DNA 분리 및 정제

대구 genomic DNA 꼬리지느러미를 0.5cm X 0.5cm (가로X세로) 크기(약 25~50mg)로 잘라서 lysis buffer [10mM Tris-HCl pH7.5, 125mM NaCl, 10mM EDTA, 0.5% SDS, 5M Urea, 0.1mg/ml proteinase K] 200 $\mu$ l를 첨가하여 충분히 용해한 후, binding buffer 200 $\mu$ l와 isopropanol 100 $\mu$ l을 사용하여 genomic DNA를 분리하였고, Accuprep<sup>®</sup> Genomic DNA Extraction Kit(Bioneer Co., Korea)의 column을 이용하여 정제하였다. 분리·정제한 genomic DNA는 전기영동으로 확인한 후, NanoDrop<sup>®</sup> ND-1000 Spectrophotometer(NanoDrop Technologies, USA)를 사용하여 농도를 측정하고 -20 $^{\circ}$ C에 보관하였다.

### (2) Microsatellite marker 선정 및 PCR 증폭

본 연구에서는 태평양 대구, 대서양 대구 및 명태를 포함한 대구과(gadoid) 어류의 marker 정보(Kim *et al.* 2010; Canino *et al.* 2005; O'Reilly *et al.* 2000; Miller *et al.*, 2000)를 활용하여 35개의 microsatellite marker를 제작하였다. 각 마커의 좌위(locus) 이름과 반복서열 및 primer 염기서열 정보는 표 3-2-2와 같다. 제작한 35개의 마커를 대상으로 PCR 증폭 및 마커로의 사용 가능 여부를 확인하기 위하여 monoplex 및 multiplex PCR을 실시하였으며, 형광으로 표지된 microsatellite의 색상과 대립유전자의 크기별 분포를 고려하여 4개 set로 multiplex PCR을 수행하였다(표 3-2-3). PCR 반응액은 Solg<sup>™</sup> 2X Taq PCR Smart mix 1 (Sol Gent Co., Ltd., Korea)를 이용하였고, genomic DNA 20ng, 양방향 primer (10pM) 각각 1 $\mu$ l, 2x Smart mix 10 $\mu$ l 조성으로 최종 부피가 20 $\mu$ l가 되도록 멸균수를 첨가하여 조정하였다. PCR 반응액은 95 $^{\circ}$ C에서 15분 동안 미리 변성시킨 후, 95 $^{\circ}$ C에서 30초 - 48 $^{\circ}$ C~61 $^{\circ}$ C에서 30초 - 72 $^{\circ}$ C에서 30초 조건으로 35회 반복하였고 72 $^{\circ}$ C에서 7분간 final extension 과정을 거쳐 반응을 완성했다. PCR 증폭산물은 1% agarose gel에 전기영동하여 확인하였다.

표 3-2-2. 대구 계군 분석에 사용한 microsatellite marker 35개의 염기서열 정보

Locus	Repeat motif	Primer sequence (5' → 3')	$T_a$ (°C)	Allele size range (bp)	GenBank accession no.
KGM 5	(TG) <sub>61</sub>	F: ACGCACCTTAAGAACAAATGT R: GCACACAGGCACACAGAATA	52	188-234	
KGM 9	(TG) <sub>45</sub> -(TG) <sub>12</sub>	F: GCAGTGTGTATCGGTGTGT R: CATGTGTTCTGATTCGAGTTA	54	300-370	
KGM 12-2	(CA) <sub>5</sub> TA(CA) <sub>13</sub> -(CA) <sub>26</sub>	F: TCCTTCAACAACCTTGCTCTAT R: AGAAGCTAGGCCATAACATTA	54	174-192	
KGM 20	(TG) <sub>13</sub> TC(TG) <sub>4</sub> AGGT(TG) <sub>3</sub> AG(TG) <sub>9</sub> CT(TG) <sub>7</sub> CG(TG) <sub>2</sub> CG(TG) <sub>13</sub>	F: AATGTGCAAGTAAGCGTATGT R: CCAGGGCAGGAGTCTGT	52	164-186	
KGM 26	(CA) <sub>13</sub> -(CA) <sub>26</sub>	F: TCCTTCAACAACCTTGCTCTAT R: GAACTGAATAAATGCCAGGTA	52	190-224	
Gma 100	(GACA) <sub>18</sub>	F: CGGTATCGTCATTGCTGACA R: TCGCCCTTCGACTAAGTGT	55	223-393	DQ027806
Gma 102	(CTGT) <sub>17</sub>	F: TGGTTTCATTCGGTTTGGAT R: GGGCTCAGGTTAAAGCCTCTT	55	221-275	DQ027808
Gma 106	(GTCT) <sub>5</sub> ... (GTCT) <sub>5</sub>	F: TCACCATCACCTAGCAACCA R: GCGGAGATGGAGGATTACTG	55	179-225	DQ027812
Gma 107	(CTGT) <sub>12</sub>	F: GGGAGTGGAGTACAGGGTGA R: CCATTGTTTAACATCTGGGACA	55	195-243	DQ066622
Gma 108	(GACA) <sub>7</sub>	F: AAGTCCCAACACACCAAAGC R: CTCCTCTCTCGCGCTCTTTA	55	210-280	DQ027813
Gma 109	(GTCT) <sub>7</sub> G(GTCT) <sub>18</sub>	F: CATTTTACCTTTTGCTGAGGTG R: AATTAATTAGTTAGATGGAAAAGA	55	257-373	DQ066623
Gmo 3	(GACA)	F: AGGCACGCAGGTGGACAGGAAC R: GCAGCACGAGAGAGCTATTCTC	46	150-200	AF159233
Gmo 34	(GACA)	F: TCCACAGAAGGTCTCCTAA R: GGTGGACCTCATGGTGAA	50	80-120	AF159234
Gmo 35	(ACC)	F: GGAGGTGCTTTGAAGATG R: CCTTATCATGTACGTTGTAAAC	55	110-145	AF159235
Gmo 36	(GGT)	F: ACCGCAT[G/C]CCCTTTTCA R: GGTGATGGAGGCTCTAGT	50	170-210	AF159236
Gmo 37	(GACA)	F: GGCCAATGTTTCATAACTCT R: CGTGGATACATGGGTACT	46	220-290	AF159237
Tch 3	(GT) <sub>14</sub>	F: CGCGTTACAGTGTGTGCAAT R: GCCAATGTGGTAGGACCG	58		AF178493
Tch 4	(GT) <sub>10</sub> CT(GT) <sub>7</sub>	F: GGTGTGTGTTTGTGTGCCCC R: TTGGCTGTGTCTTAGGTGCTT	58		AF178494
Tch 5	(GATA) <sub>14</sub>	F: GCCTTAATATCACGCACA R: TCGCATTGAGCCTAGTTT	42		AF178495
Tch 6	TCT((GTCT)(GCCT)) <sub>4</sub> GCCT (GTCT) <sub>7</sub> GTTT(GTCT) <sub>8</sub>	F: AGACGGCCACTCATAACAGAC R: CAATCACTTCTGATGTGGTC	54		AF178496
Tch 7	(GTCT) <sub>14</sub> GTCGCTCT(GTCT) <sub>8</sub> CTCGCTCT(GTCT) <sub>18</sub>	F: CTCTAAAGGATTTATAACGTGTC R: ATCCTGCAGGTACGCTCC	47		AF178497
Tch 8	(GATA) <sub>16</sub> GACA(GATA) <sub>19</sub>	F: CGCTAATCAAATAACATGC R: ATCGTACCTCCAGTTAAATAG	42		AF178498
Tch 9	((GATA)(GATG)) <sub>4</sub> GATG (GATA) <sub>3</sub>	F: TATCCATCCATCCAAATATC R: AGATACATCCATAGCAAGGAA	49		AF178499

표 3-2-2. (계속)

Locus	Repeat motif	Primer sequence (5' → 3')	$T_a$ (°C)	Allele size range (bp)	GenBank accession no.
Tch 10	(GGCT) <sub>6</sub> CTCT(GTCT) <sub>2</sub>	F: GTCTCTATGTCTGTCTTTCTATTTG R: ACGAAACCCCAACCCTGATT	55		AF178500
Tch 11	(GATA) <sub>22</sub>	F: ATCCATTGGTGTTC AAC R: TCGAGTTCAGGTGGACAA	54		AF178501
Tch 12	(GGTT) <sub>22</sub>	F: CAATTTGTCAGCCTCTGTTACC R: AGTACAGCTTGATTGTTTCTGGG	50		AF178502
Tch 13	(GT) <sub>9</sub>	F: TTTCCGATGAGGTCATGG R: AATCCACTGGTGCAGACC	54		AF178503
Tch 14	(GAAA) <sub>31</sub>	F: CATACTGGTCACTTTTCTTAC R: AAAGTATATACGCCCAACT	56		AF178504
Tch 15	(GA) <sub>3</sub> (CA) <sub>2</sub> GACA(GA) <sub>5</sub> CAGATA(GA) <sub>8</sub>	F: AAAGTTCACCTGACCAAC R: GCAACACAACCTAATCATCT	50		AF178505
Tch 16	(GTCT) <sub>4</sub>	F: GCCCATCGTTCTATTCTC R: TGCTGACCTGATGATTGG	54		AF178506
Tch 17	(GTCT) <sub>27</sub>	F: GTCTGTCTGCCCGTGAGT R: AGCCAGTGGCATTGTTTC	54		AF178507
Tch 19	(GTCT) <sub>15</sub>	F: TATGCTGATTGGTTAGGC R: GATCATTTGTTTCAGAGAGC	51		AF178508
Tch 20	(GA) <sub>6</sub> GGGAA(GGAA) <sub>3</sub> G GAT(GGAA) <sub>2</sub> GGAAT(GA AA) <sub>10</sub> GAAG(GAAA) <sub>5</sub>	F: ACATTGTAAACGGCGATTTC R: TGGTTAGTCTGAGACCCAG	54		AF178509
Tch 21	(GT) <sub>17</sub>	F: AATGGACAATGGTGTAAACG R: GTGATGAGGATGAGGTGAAC	54		AF178510
Tch 22	(GACA) <sub>6</sub> G	F: ATCATATCTGGCCAAGTTC R: CTCTCTCTGAATCCCTCTG	53		AF178510

표 3-2-3. Single PCRgh 확인하기 위한 microsatellite marker 및 증폭반응 온도

Group	MS marker					1 <sup>st</sup>	2 <sup>nd</sup>
						Annealing temp. (°C)	Annealing temp. (°C)
Group1	Tch 9	Gmo 34	Gmo 36	Tch 15	Tch 12	48, 50, 52, 54	
	Tch 19	KGM 26	KGM 5	KGM 20			
Group2	Tch 22	KGM 12-2	KGM 9	Tch 13	Tch 16	52, 54, 56, 58	
	Tch 21	Tch 11	Tch 6	Tch 17	Tch 20		
Group3	Gmo 35	Gma 100	Gma 102	Gma 108	Gma 107	53, 55, 57, 59, 61	
	Gma 109	Gma 106	Tch 10	Tch 14	Tch 4		
Group4	Tch 3					40, 42, 44, 46, 48, 50	
	Tch 5	Gmo 37	Gmo 3	Tch 7	Tch 8		

### (3) 대립유전자의 크기 결정

PCR 증폭산물 1 $\mu$ l를 취하여 Hi-Di™ Formamide (Applied Systems, USA) 및 GeneScan™ - 500 LIZ Size Standard (Applied Systems, USA)를 첨가하여 최종 부피가 11 $\mu$ l 되도록 조정하고 혼합한 후, Genetic Analyzer 3730xl (Applied Systems, USA)을 사용하여 PCR 증폭산물의 단편 크기를 분석하였다. 형광표지는 DS-33 Matrix Standard Set (Applied Systems, USA)을 사용하였고, microsatellite loci에 대한 대립유전자의 정확한 크기는 GeneMapper V5.0 (Applied Biosystem, USA)을 이용하여 결정하였다.

### (4) Genotyping 결과를 이용한 통계 분석

Microsatellite loci별로 대립유전자 크기를 정리하여 대구 전체 집단에 대한 특성, 각 집단내 유전적 특성 및 유전적 거리와 주성분 분석을 이용한 대구 계군의 유전적 구조를 분석하였다. 시료별 대립유전자의 빈도, 이형접합률(Heterozygosity, He), 다형성정보지수(Polymorphic information content, PIC), Total exclusionary power, Hardy-Weinberg equilibrium 등을 CERVUS v.3.0.7 (Kalinowski et al., 2007)을 이용하여 계산하였다.

## 2. 연구 결과

### 가. 대구 계군시료 분석을 위한 microsatellite marker 디자인 및 선정

35개의 microsatellite marker를 디자인하여 monoplex-PCR 결과를 기반으로 multiplex-PCR을 수행하기 위한 조합을 표 3-2-4와 같이 4개 세트로 구성하여 PCR을 수행하였다. PCR 증폭 상태 및 대립유전자의 크기를 고려하여 계군분석에 사용할 microsatellite marker 선정하여 형광물질을 표지한 후 (그림 3-2-1), 재검증 과정을 거쳐 최종 14개의 마커를 선정(표 3-2-5)하여 genotyping을 실시하였다(그림 3-2-2).

표 3-2-4. 35개 microsatellite marker의 multiplex-PCR 수행을 위한 4개 세트 정보

	Locus	Range	Allele Size (bp)	Allele no.	Repeat motif	Annealing temp. (°C)
<b>Set 1</b>	Tch5	186-280	210	22	(GATA) <sub>14</sub>	53
	Tch8	125-229	210	33	(GATA) <sub>16</sub> GACA(GATA) <sub>19</sub>	53
	Tch11	121-193	200	20	(GATA) <sub>22</sub>	53
	Tch16	86-98	98	5	(GTCT) <sub>4</sub>	53
<b>Set 2</b>	Tch3	77-101	80	10	(GT) <sub>14</sub>	61
	Tch12	122-146	130	10	(GGTT) <sub>22</sub>	61
	Tch21	86-98	190	5	(GT) <sub>17</sub>	61
	Gma 102	221-275	220	12	(CTGT) <sub>17</sub>	61
<b>Set 3</b>	Tch10	139-179	180	20	(GGCT) <sub>6</sub> CTCT(GTCT) <sub>2</sub>	61
	Tch13	74-86	90	7	(GT) <sub>9</sub>	61
	Tch14	165-245	160	23	(GAAA) <sub>31</sub>	61
	KGM 12-2	174-192	195	17	(CA) <sub>5</sub> TA(CA) <sub>13</sub> -(CA) <sub>26</sub>	61
	Gmo 37	220-290	220	15	(GACA)	61
<b>Set 4</b>	KGM 26	190-224	180	18	(CA) <sub>13</sub> -(CA) <sub>26</sub>	61
	Gma 106	179-225	200	13	(GTCT) <sub>5</sub> ... (GTCT) <sub>5</sub>	61
	Gma 107	195-243	190	15	(CTGT) <sub>12</sub>	61
	Gmo 35	110-145	110	12	(ACC)	61
	Gmo 36	170-210	210	13	(GGT)	61

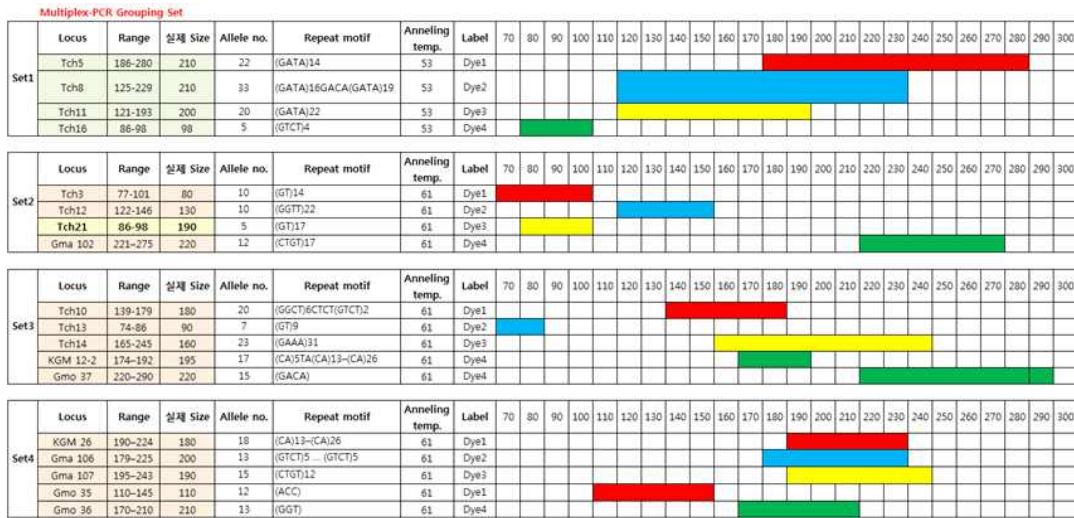


그림 3-2-1. Multiplex PCR 수행을 위한 마이크로세틀라이트 마커 조합 및 대립유전자 크기

표 3-2-5. Microsatellite marker의 형광표지 정보 및 증폭 여부

Microsatellite locus	Dye	Range (bp)	Single PCR
Tch12	FAM(Blue)	122-146	OK
Gma 106	FAM(Blue)	179-225	×
Gmo 35	VIC(Green)	110-145	OK
Gmo 36	VIC(Green)	170-210	OK
Tch 13	NED(Yellow)	74-86	OK
Tch10	NED(Yellow)	139-179	OK
Gma 108	NED(Yellow)	210-280	OK
Gmo 34	PET(Red)	80-120	OK
Gma 107	PET(Red)	195-243	OK
Tch16	FAM(Blue)	86-98	OK
Gmo 3	FAM(Blue)	150-200	×
Gma 109	FAM(Blue)	257-373	OK
Tch 3	VIC(Green)	77-101	OK
KGM 12-2	VIC(Green)	174-192	×
Gma 102	VIC(Green)	221-275	OK
Tch7	NED(Yellow)	186-226	×
KGM 26	PET(Red)	190-224	×
Tch14	PET(Red)	165-245	OK
Tch5	FAM(Blue)	186-280	×
Tch8	VIC(Green)	125-229	×
Tch11	NED(Yellow)	121-193	×
Tch21	PET(Red)	86-98	×
Gmo 37	NED(Yellow)	220-290	OK



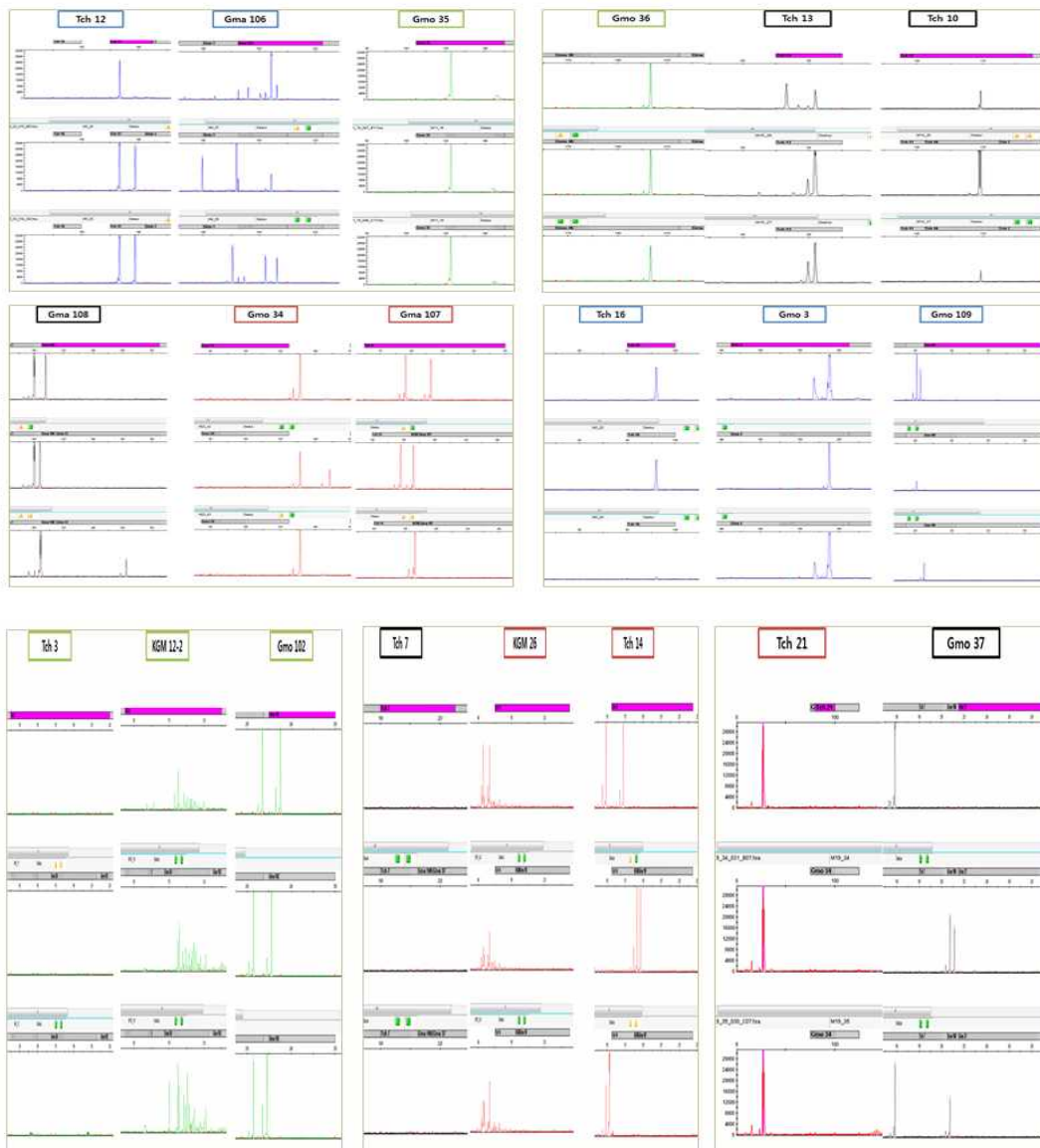


그림 3-2-2. 형광표지된 microsatellite marker를 이용한 genotyping

#### 나. 대구 계군 분석에 사용한 microsatellite loci별 특성

동·서·남해 대구 계군 285개체를 14개의 microsatellite marker를 이용하여 분석하였다. 각 좌위(locus)별 대립유전자 빈도 및 이형접합율과 다형성정보 지수를 비롯한 기본 통계량을 각 해역별로 계산하였다(표 3-2-6). 표 3-2-6의 분석 결과에서 Locus는 marker name을 의미하고, k는 maker내의 microsatellite의 종류, N은 분석한 시료의 수이다. Hobs는 observed heterozygosity이고 Hexp는 expected heterozygosity를 의미한다.

표 3-2-6. 대구 지역별 계군의 microsatellite marker별 특성 및 통계량

동해 대구 계군의 microsatellite marker 통계량						
Locus	k	N	Hobs	Hexp	PIC	HW
Gma108	15	126	0.802	0.723	0.682	*
Gmo34	16	108	0.713	0.768	0.731	NS
Gmo35	1	128	0	0	0	ND
Gmo36	4	128	0.086	0.083	0.081	ND
Tch10	2	128	0.086	0.097	0.092	ND
Tch12	2	127	1.000	0.502	0.375	***
Gma102	10	125	0.648	0.775	0.749	NS
Gma107	7	127	0.472	0.477	0.452	NS
<b>Gma109</b>	20	121	0.669	0.791	0.772	NS
Gmo3	3	128	0.055	0.054	0.053	ND
<b>Gmo37</b>	28	121	0.686	0.877	0.861	NS
Tch13	10	128	0.68	0.608	0.534	NS
<b>Tch14</b>	21	110	0.436	0.911	0.900	ND
Tch16	2	128	0.094	0.09	0.085	ND

서해 대구 계군의 microsatellite marker 통계량						
Locus	k	N	HObs	HExp	PIC	HW
Gma108	10	66	0.712	0.598	0.543	NS
Gmo34	10	34	0.824	0.845	0.812	ND
Gmo35	1	67	0	0	0	ND
Gmo36	1	67	0	0	0	ND
Tch10	2	67	0.194	0.177	0.16	ND
Tch12	3	67	1.000	0.511	0.386	***
Gma102	10	63	0.762	0.778	0.748	NS
Gma107	10	66	0.530	0.565	0.540	NS
<b>Gma109</b>	16	64	0.750	0.848	0.824	NS
Gmo3	3	67	0.075	0.073	0.071	ND
<b>Gmo37</b>	20	57	0.526	0.866	0.845	ND
Tch13	7	67	0.821	0.717	0.669	NS
<b>Tch14</b>	17	60	0.333	0.910	0.894	ND
Tch16	2	67	0.015	0.044	0.043	ND

표 3-2-6. (계속)

남해 대구 계군의 microsatellite marker 통계량						
Locus	k	N	HObs	HExp	PIC	HW
Gma108	9	89	0.888	0.605	0.523	***
Gmo34	8	43	0.767	0.692	0.631	NS
Gmo35	1	90	0	0	0	ND
Gmo36	2	90	0.011	0.033	0.032	ND
Tch10	2	90	0.056	0.054	0.053	ND
Tch12	2	90	1.000	0.503	0.375	***
<b>Gma102</b>	10	88	0.580	0.694	0.665	NS
Gma107	6	89	0.371	0.436	0.415	NS
Gma109	11	78	0.474	0.651	0.624	NS
Gmo3	3	90	0.056	0.055	0.053	ND
<b>Gmo37</b>	21	80	0.525	0.836	0.817	**
Tch13	8	89	0.798	0.608	0.531	***
<b>Tch14</b>	22	75	0.480	0.912	0.899	ND
Tch16	2	90	0.067	0.106	0.099	ND

동해 / 서해 / 남해 대구 계군의 통합 데이터						
Locus	k	N	HObs	HExp	PIC	HW
Gma108	15	281	0.808	0.662	0.609	***
Gmo34	16	185	0.746	0.771	0.737	NS
Gmo35	1	285	0	0	0	ND
Gmo36	4	285	0.042	0.048	0.047	ND
Tch10	2	285	0.102	0.103	0.098	ND
Tch12	3	284	1.000	0.503	0.378	***
Gma102	11	276	0.652	0.755	0.732	NS
Gma107	11	282	0.454	0.487	0.467	NS
Gma109	21	263	0.631	0.775	0.756	*
Gmo3	3	285	0.060	0.058	0.057	ND
Gmo37	33	258	0.601	0.865	0.852	***
Tch13	10	284	0.750	0.635	0.571	***
Tch14	26	245	0.424	0.919	0.912	***
Tch16	2	285	0.067	0.084	0.080	ND

PIC(polymorphic information content)는 다형성정보지수로 0~1 사이의 값으로 표현되며 microsatellite marker 가진 다형성의 정도를 나타낸다. PIC 값이 0에 가까울수록 마커가 제공하는 정보량이 적고, 1에 가까울수록 마커가 가지고 있는 정보의 양이 많은 것이다. Hardy-Weinberg equilibrium test 결과(HW)에서 NS는 not significant (유의하지 않음)를, \*는 5% 유의성을 기준으로 유의함, \*\*는 1% 유의성을 기준으로 유의함, \*\*\*는 0.1%을 기준으로 유의함, ND는 평가하지 못함을 의미한다. 본 연구에서 사용한 마커의 수가 14개로 적은 편이어서 multiple test는 생략하였다.

동해 대구계군은 128개체로 구성되었으며 14개 microsatellite 마커별 평균 대립유전자의 수(Mean number of alleles per locus)는 10.071이었고, 대립유전자의 missing 비율은 3.29%, 평균 이형접합률(expected heterozygosity,  $H_{exp}$ )은 0.482, 평균 다형성정보지수(PIC)는 0.4548이었다. Tch14, Gmo37, Gma109 마커는 20~28개의 대립유전자를 가졌고 다형성 지수는 0.772~0.900 이었다. 남해 대구계군은 90개체로 구성되었으며 평균 대립유전자의 수는 7.643, 대립유전자 missing 비율은 7.06%, 평균 이형접합률은 0.4417, 평균 PIC 값은 0.4084이었다. Tch14, Gmo37, Gma102 마커는 10~22개의 대립유전자를 가졌고 다형성 지수는 0.665~0.899 이었다. 67개체로 구성된 서해 대구계군 분석결과 평균 대립유전자의 수는 8.000, 대립유전자 missing 비율은 6.29%, 평균 이형접합률은 0.4950, 평균 PIC 값은 0.4667이었다. Tch14, Gmo37, Gma109 마커는 16~20개의 대립유전자를 가졌고 다형성 지수는 0.824~0.894 이었다. 대구 계군 분석에 사용한 14개의 microsatellite marker 특성을 파악하기 위하여 285개체 genotyping 결과를 통합하여 분석한 결과, 평균 대립유전자의 수는 11.286, 대립유전자 missing 비율은 5.19%, 평균 이형접합률은 0.4761, 평균 PIC 값은 0.4497이었다(표 3-2-6).

동·서·남해 계군을 genotyping 하여 확보한 기본 통계치를 이용하여 유전적 다양성을 조사하였다(그림 3-2-3). 마커별로 대립유전자의 평균을 비교한 결과, 동해 계군에서 남해 계군과 서해 계군보다 더 다양한 종류의 대립유전자가 확인되었기에 동해 대구계군이 유전적 다양성이 더 높은 것으로 판단하였다. 이형접합률( $H_{exp}$ )을 비교한 결과에서는 동해 대구 계군과 서해 대구 계군에 비해 남해 대구 계군의 이형접합률이 월등히 낮았으며 다양성정보지수(PIC)도 남해 대구계군이 낮게 나타난 것으로 남해 대구 계군의 유전적 다양성이 가장 낮은 것으로 판단하였다.

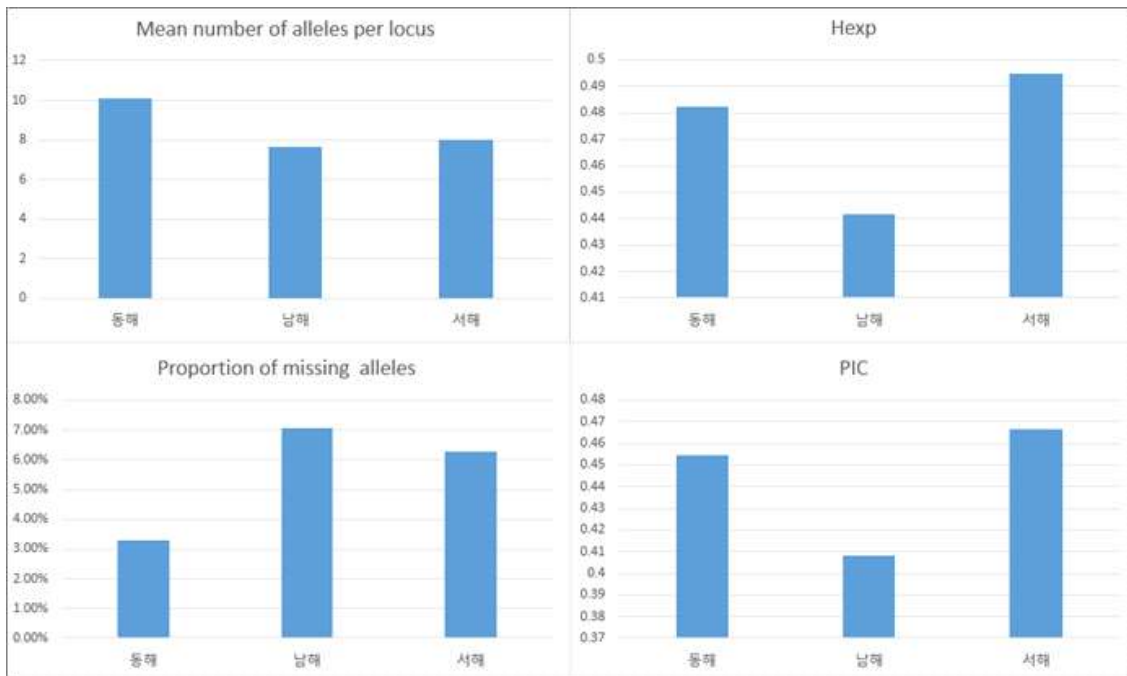


그림 3-2-3. Microsatellite maker 통계량을 이용한 대구 지역별 계군의 유전적 다양성 비교

동·서·남해 통합 microsatellite 통계량을 이용하여 population 분석을 위해서는 결과의 bias 확률을 줄이기 위하여 마커 데이터의 quality control을 실시하였으며, 본 연구에서는 다음의 기준을 적용하여 조정하였다. 1) PIC가 0.1이상 이고, 2) 마커 전체가 동일하지 않아야 되며 3) missing이 10%를 넘지 않아야 한다. 최종 microsatellite marker 7개의 genotyping 결과를 population 분석에 사용하였다. Data Quality Control 이후의 대구의 동·서·남해 통합 데이터(7 marker, 202 individuals)에 대한 기본 통계치 분석을 진행하였고, 그 결과는 표 3-2-7에 나타내었다. Data quality control 진행 후 202시료(동해 100개체 / 남해 57개체 / 서해 45개체)에 대하여 7개 microsatellite marker의 평균 대립 유전자의 수는 17.143, 대립유전자 missing 비율은 0%, 평균 이형접합률은 0.7322, 평균 PIC 값은 0.7043이었다.

표 3-2-7. Population 분석을 위한 data quality control 진행 후의 microsatellite marker 통계량

Locus	k	N	Hobs	Hexp	PIC	HW
Gma108	14	202	0.807	0.693	0.648	***
Gma102	11	202	0.663	0.749	0.725	NS
Gma107	9	202	0.470	0.507	0.485	NS
Gma109	20	202	0.649	0.771	0.751	NS
Gmo37	31	202	0.644	0.864	0.850	***
Tch13	10	202	0.708	0.626	0.563	**
Tch14	25	202	0.396	0.914	0.906	***



표 3-2-8. 14개 microsatellite marker를 이용한 대구 지역별 계군의 대립유전자 출현 빈도 및 크기

Locus	Populations												
	Gma108	고성	강릉	옥계	동해	죽변	감포	울산	진해만	서해 34도	서해 35도	서해 36도	백령도
193	0.0147					0.0167			0.0172				0.0278
200	0.4706	0.5000	0.4048	0.3333	0.3167	0.7000	0.5250	0.3793	0.6579	0.5500	0.7368	0.3333	
204	0.0147		0.1190	0.1190	0.0667		0.0167	0.0517		0.0500	0.0263	0.1389	
208	0.0294		0.1190		0.0500							0.0278	
212	0.0147				0.0167				0.0263			0.0556	
216	0.3235	0.5000	0.2857	0.2619	0.2500	0.3000	0.4583	0.3103	0.2895	0.4000	0.2368	0.1944	
220	0.0147			0.0238	0.0167				0.0263			0.0278	
224				0.0238									
240				0.0238									
251	0.0294		0.0238	0.0238	0.0500			0.0862				0.0833	
255					0.0167								
259			0.0238	0.0952	0.1167			0.0517				0.0833	
263	0.0147		0.0238	0.0238	0.0333			0.0172					
267	0.0588			0.0714	0.0500			0.0690				0.0278	
271	0.0147							0.0172					
<b>N</b>	<b>34</b>	<b>5</b>	<b>21</b>	<b>21</b>	<b>30</b>	<b>15</b>	<b>60</b>	<b>29</b>	<b>19</b>	<b>10</b>	<b>19</b>	<b>18</b>	
<b>Gmo34</b>	고성	강릉	옥계	동해	죽변	감포	울산	진해만	서해 34도	서해 35도	서해 36도	백령도	
115					0.0161								
119					0.0484			0.0333				0.1000	
127	0.1346	0.1667	0.0952	0.0714	0.1452	0.2500		0.1000		0.4286	0.1111	0.0667	
131	0.2115	0.5000	0.4286	0.1667	0.2903	0.1667	0.5769	0.3500	0.6667	0.1429	0.3889	0.1000	
135	0.1731	0.1667	0.0952	0.1905	0.0806	0.0833	0.0385	0.0500		0.0714	0.1667	0.0667	
139				0.0238				0.0167	0.1667		0.0556	0.0667	
143				0.0238	0.0161					0.0714	0.1667	0.1333	
147	0.3269	0.1667	0.3571	0.4286	0.3387	0.4167	0.3462	0.3667	0.1667	0.2143	0.1111	0.3667	
151	0.0192		0.0238	0.0238	0.0484		0.0385	0.0667					
155	0.0385			0.0238	0.0161							0.0333	
159	0.0192					0.0833		0.0167		0.0714		0.0333	
163	0.0192			0.0238									
167	0.0192												
171				0.0238								0.0333	
175	0.0192												
195	0.0192												
<b>N</b>	<b>26</b>	<b>4</b>	<b>21</b>	<b>21</b>	<b>31</b>	<b>6</b>	<b>13</b>	<b>30</b>	<b>3</b>	<b>7</b>	<b>9</b>	<b>15</b>	
<b>Tch10</b>	고성	강릉	옥계	동해	죽변	감포	울산	진해만	서해 34도	서해 35도	서해 36도	백령도	
164	0.0441			0.1190	0.0781			0.0833	0.0263			0.3158	
168	0.9559	1.0000	1.0000	0.8810	0.9219	1.0000	1.0000	0.9167	0.9737	1.0000	1.0000	0.6842	
<b>N</b>	<b>34</b>	<b>5</b>	<b>21</b>	<b>21</b>	<b>32</b>	<b>15</b>	<b>60</b>	<b>30</b>	<b>19</b>	<b>10</b>	<b>19</b>	<b>19</b>	
<b>Tch12</b>	고성	강릉	옥계	동해	죽변	감포	울산	진해만	서해 34도	서해 35도	서해 36도	백령도	
127	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	
139	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.4737	
143												0.0263	
<b>N</b>	<b>33</b>	<b>5</b>	<b>21</b>	<b>21</b>	<b>32</b>	<b>15</b>	<b>60</b>	<b>30</b>	<b>19</b>	<b>10</b>	<b>19</b>	<b>19</b>	

표 3-2-8. (계속)

Locus		Populations										
Gmo35	고성	강릉	옥계	동해	죽변	감포	울산	진해만	서해 34도	서해 35도	서해 36도	백령도
122	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
<b>N</b>	<b>34</b>	<b>5</b>	<b>21</b>	<b>21</b>	<b>32</b>	<b>15</b>	<b>60</b>	<b>30</b>	<b>19</b>	<b>10</b>	<b>19</b>	<b>19</b>
Gral02	고성	강릉	옥계	동해	죽변	감포	울산	진해만	서해 34도	서해 35도	서해 36도	백령도
194	0.0156			0.0238			0.0172					
198	0.0781	0.2500		0.1429	0.0625	0.0333	0.0345		0.2500		0.1316	0.1111
202	0.0313						0.0259				0.0263	
206	0.0781	0.2500	0.0952	0.0714	0.2188	0.1667	0.1379	0.1333	0.0556	0.1250	0.0526	0.1111
210	0.3906	0.2500	0.4524	0.5238	0.3281	0.4667	0.4914	0.5667	0.2778	0.5000	0.5000	0.3889
214	0.1094		0.0714	0.0238	0.0313	0.0667	0.0345	0.0333	0.1667	0.2500	0.0789	0.1667
218	0.0938	0.2500	0.2619	0.0952	0.1875	0.1333	0.0948	0.1833	0.0833	0.0625	0.1316	0.1111
222	0.0469		0.0476	0.0238	0.0156	0.0667	0.0259	0.0333	0.0556	0.0625	0.0263	0.0833
226	0.0781		0.0476		0.0781	0.0333	0.0776	0.0333	0.0278		0.0263	0.0278
230	0.0781		0.0238	0.0952	0.0781	0.0333	0.0603	0.0167	0.0556		0.0263	
234									0.0278			
<b>N</b>	<b>32</b>	<b>4</b>	<b>21</b>	<b>21</b>	<b>32</b>	<b>15</b>	<b>58</b>	<b>30</b>	<b>18</b>	<b>7</b>	<b>19</b>	<b>18</b>
Gral07	고성	강릉	옥계	동해	죽변	감포	울산	진해만	서해 34도	서해 35도	서해 36도	백령도
171									0.0263			
179	0.1061		0.0714	0.1190	0.1406	0.1667	0.0763	0.1333		0.1000	0.0278	
183									0.0263			
187	0.6818	0.9000	0.7381	0.6905	0.7031	0.7000	0.7712	0.6833	0.6053	0.4500	0.8611	0.5789
191	0.1061		0.0952	0.0714	0.0938	0.0333	0.0508	0.1000	0.1316	0.0500	0.0278	0.1316
195	0.0303		0.0238	0.0238	0.0469		0.0254	0.0333	0.0526	0.1500	0.0556	0.1316
199	0.0455		0.0238	0.0714	0.0156	0.0667	0.0339	0.0333	0.1316	0.1000		0.0526
203	0.0152	0.1000	0.0476	0.0238		0.0333	0.0424	0.0167	0.0263	0.1000	0.0278	0.0789
215	0.0152											
219										0.0500		
223												0.0263
<b>N</b>	<b>33</b>	<b>5</b>	<b>21</b>	<b>21</b>	<b>32</b>	<b>15</b>	<b>59</b>	<b>30</b>	<b>19</b>	<b>10</b>	<b>18</b>	<b>19</b>
Tch13	고성	강릉	옥계	동해	죽변	감포	울산	진해만	서해 34도	서해 35도	서해 36도	백령도
74	0.0588		0.1190	0.0476	0.0469		0.0424	0.0667	0.0526	0.1000	0.0526	0.1053
76				0.0476			0.0169		0.1053	0.0500	0.0526	0.1316
78					0.0156							
80					0.0156			0.0167				
82	0.5735	0.5000	0.5000	0.5000	0.4531	0.5000	0.4746	0.5500	0.4211	0.4500	0.3947	0.4474
84	0.0294		0.0238	0.0714	0.0156		0.0169	0.0333		0.1000		
86	0.3235	0.5000	0.3333	0.2857	0.4063	0.4667	0.4237	0.2833	0.3158	0.1500	0.4211	0.2368
88	0.0147		0.0238		0.0313	0.0333	0.0085	0.0500	0.0526	0.1500	0.0263	0.0263
90				0.0238	0.0156		0.0169		0.0526		0.0526	0.0526
94				0.0238								
<b>N</b>	<b>34</b>	<b>5</b>	<b>21</b>	<b>21</b>	<b>32</b>	<b>15</b>	<b>59</b>	<b>30</b>	<b>19</b>	<b>10</b>	<b>19</b>	<b>19</b>
Tch16	고성	강릉	옥계	동해	죽변	감포	울산	진해만	서해 34도	서해 35도	서해 36도	백령도
92	0.9706	1.0000	0.9048	0.9762	0.9219	1.0000	0.9583	0.9167	0.9737	1.0000	0.9474	1.0000
96	0.0298		0.0952	0.0238	0.0781		0.0417	0.0833	0.0263		0.0526	
<b>N</b>	<b>34</b>	<b>5</b>	<b>21</b>	<b>21</b>	<b>32</b>	<b>15</b>	<b>60</b>	<b>30</b>	<b>19</b>	<b>10</b>	<b>19</b>	<b>19</b>

표 3-2-8. (계속)

Locus		Populations										
Gmo37	고성	강릉	옥계	동해	죽변	감포	울산	진해 만	서해 34도	서해 35도	서해 36도	백령도
136							0.0200					
138						0.0714	0.0100					
154	0.0172						0.0200			0.0500	0.0357	
158	0.2414	0.2000	0.2381	0.2250	0.1875	0.2857	0.4200	0.2167	0.4667	0.5000	0.1429	0.0833
160	0.0517		0.1190	0.0250	0.0469			0.0667	0.0667			
162	0.1552	0.4000	0.1429	0.1750	0.2031	0.2500	0.1200	0.2000	0.2000	0.0500	0.2857	0.2222
172	0.0345			0.0250	0.0156							
178	0.0345			0.0500			0.0400		0.0667			
180					0.0313							
184										0.0500		0.0278
192	0.0345				0.0156							
196	0.0172								0.0667			0.0833
198												0.0556
200	0.0172			0.0250								
202	0.0172				0.0156					0.1000		
204	0.0345			0.0750	0.0469		0.0500			0.0500	0.0714	
206					0.0156	0.0714	0.0300			0.0500	0.1071	
208	0.0345		0.1429	0.1250	0.0781	0.1071	0.0300	0.1167	0.0333	0.1000	0.2500	0.0278
210	0.0172	0.2000	0.0238		0.0156		0.0700		0.0333			
212	0.0172		0.0238				0.0200	0.0333				
213			0.0238					0.0167				0.0278
214							0.0100					0.0556
216	0.0690	0.2000	0.0714	0.0500			0.1200	0.1000	0.0667		0.0357	0.0278
217	0.0862		0.1190	0.1500	0.2656	0.1429	0.0300	0.1500		0.0500	0.0714	0.2222
220				0.0250				0.0333				
221	0.0690											0.0833
224							0.0100					
225	0.0172		0.0238		0.0313							0.0556
228	0.0345		0.0238					0.0333				
229			0.0238		0.0156							
236				0.0250	0.0156	0.0714						
244				0.0250				0.0167				
248			0.0238					0.0167				0.0278
<b>N</b>	<b>29</b>	<b>5</b>	<b>21</b>	<b>20</b>	<b>32</b>	<b>14</b>	<b>50</b>	<b>30</b>	<b>15</b>	<b>10</b>	<b>14</b>	<b>18</b>

Gmo3	고성	강릉	옥계	동해	죽변	감포	울산	진해 만	서해 34도	서해 35도	서해 36도	백령 도
195	0.9706	1.0000	1.0000	0.9762	0.9531	0.9667	0.9667	0.9833	0.9474	0.9500	0.9737	0.9737
211				0.0238	0.0313	0.0333	0.0250	0.0167	0.0526	0.0500		0.0263
215	0.0294				0.0156		0.0083				0.0263	
<b>N</b>	<b>34</b>	<b>5</b>	<b>21</b>	<b>21</b>	<b>32</b>	<b>15</b>	<b>60</b>	<b>30</b>	<b>19</b>	<b>10</b>	<b>19</b>	<b>19</b>

Gmo36	고성	강릉	옥계	동해	죽변	감포	울산	진해 만	서해 34도	서해 35도	서해 36도	백령 도
201		0.1000										
204	0.9559	0.9000	0.9762	0.9286	0.9531	1.0000	1.0000	0.9500	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
207	0.0294		0.0238	0.0714	0.0469			0.0500				
216	0.0147											
<b>N</b>	<b>43</b>	<b>5</b>	<b>21</b>	<b>21</b>	<b>32</b>	<b>15</b>	<b>60</b>	<b>30</b>	<b>19</b>	<b>10</b>	<b>19</b>	<b>19</b>

표 3-2-8. (계속)

Locus		Populations										
Grn109	고성	강릉	옥계	동해	죽변	감포	울산	진해 만	서해 34도	서해 35도	서해 36도	백령도
229									0.0294		0.0263	
233	0.1552	0.3750	0.2381	0.0476	0.0625	0.1429	0.1042	0.1333	0.2059	0.1500	0.1316	0.1389
237	0.0172		0.0476	0.0238	0.0625		0.0417	0.0333	0.0588	0.2000	0.1579	0.1389
241	0.3448	0.5000	0.4762	0.3571	0.3906	0.5714	0.5625	0.5667	0.2941	0.3500	0.3158	0.2222
245	0.0345	0.1250	0.0476	0.0476	0.0625	0.0357	0.0417				0.0526	0.0278
249	0.0862		0.0476	0.1905	0.1406	0.0714	0.0833	0.1833	0.2059		0.1316	0.2222
253	0.0345			0.0238	0.0156					0.2000		0.0278
257	0.1034		0.0476	0.0714	0.0625	0.0714	0.0595	0.0500			0.0789	0.0278
261	0.0172						0.0238		0.1765		0.0263	
265	0.0172			0.0476	0.0313					0.0500	0.0263	
269	0.0690											0.0278
273			0.0476		0.0156		0.0119	0.0167	0.0294			
277	0.0345			0.0238						0.0500	0.0263	0.1111
281				0.0238			0.0238		0.0208			0.0278
285	0.0172				0.0469						0.0263	
293	0.0172											
297				0.0476					0.0104			
301	0.0172		0.0476	0.0952	0.0469	0.0357	0.0357	0.0167	0.0313			
305	0.0172				0.0469							
309					0.0156							
329	0.0172											0.0278
<b>N</b>	<b>29</b>	<b>4</b>	<b>21</b>	<b>21</b>	<b>32</b>	<b>14</b>	<b>48</b>	<b>30</b>	<b>17</b>	<b>10</b>	<b>19</b>	<b>18</b>

Tch14	고성	강릉	옥계	동해	죽변	감포	울산	진해만	서해 34도	서해 35도	서해 36도	백령도
90											0.0333	
94	0.0192											
98	0.0385				0.0179	0.0769	0.0106					
102					0.0179							
110							0.0319					
114	0.0385											
122							0.0106					
130										0.0500		
134	0.0963			0.0789		0.2692	0.1489		0.0526	0.0500		
138	0.0385						0.0106		0.0263		0.0667	0.2813
142	0.0192			0.0526	0.0179		0.0106		0.0789			
146					0.0357	0.0385	0.0106		0.1053		0.0667	0.1250
150	0.0385			0.0789	0.0536			0.0714	0.0526	0.2000		0.1875
154	0.0962		0.0263		0.0536		0.0106		0.1316	0.1000	0.1667	0.0625
158	0.0769		0.2895	0.1842	0.1607	0.1538	0.2447	0.0714	0.1842	0.2000	0.2000	0.1250
162	0.0577	0.2000	0.2105	0.1579	0.2500	0.1154	0.1809	0.1250		0.1000	0.1000	
166	0.0769	0.4000	0.0789	0.0263	0.0179	0.0769	0.0213	0.0536		0.1000	0.0333	
170	0.0962			0.0526		0.0769	0.0213	0.1250			0.1333	0.0625
174	0.0962		0.1316	0.0526			0.0851	0.0536	0.0263			
178	0.0577		0.0263	0.1316	0.0714	0.0769	0.0426	0.1250	0.1579	0.2000	0.0333	0.0938
182					0.0179		0.0213	0.0536	0.0526			
186				0.0526	0.0179		0.0213	0.0357				
190	0.0769	0.3000	0.1316	0.0526	0.1607		0.0638	0.0536	0.1053		0.1000	0.0625
194	0.0769	0.1000	0.0526	0.0789	0.1071	0.0769	0.0319	0.0714	0.0263		0.0667	
198								0.0357				
206			0.0526			0.0385		0.1250				
<b>N</b>	<b>26</b>	<b>5</b>	<b>19</b>	<b>19</b>	<b>28</b>	<b>13</b>	<b>47</b>	<b>28</b>	<b>19</b>	<b>10</b>	<b>15</b>	<b>16</b>

대구 지역별 계군 285개체를 14개 microsatellite marker로 genotyping 한 결과 대립 유전자의 출현 빈도 및 크기가 서식해역별로 다른 양상을 보였으며(표 3-2-8), 몇몇 microsatellite marker 분석에서는 특정 지역 시료에서만 나타나는 대립유전자도 존재하였다. 대구 285개체를 Gmo37 microsatellite marker로 분석한 결과, 33개의 대립유전자가 각 지역별 집단에서 상이하게 분포하였도 출현빈도 역시 다양하였다(그림 3-2-4). Tch14 microsatellite marker 분석 결과에서는 26개의 대립유전자가 출현하였고 특정 지역 집단에서만 출현하는 대립유전자가 있음을 확인하였다(그림 3-2-5). Gma109 microsatellite marker는 21개의 대립유전자를 가지고 있었고, 대립유전자의 분포 및 출현 빈도는 각 지역별 집단이 대체로 서로 비슷하였다(그림 3-2-6). Gma102 microsatellite marker 분석결과로 11개의 대립유전자가 각 지역별 집단에서 대체로 고르게 분포하였으나 몇 개의 대립유전자는 출현빈도가 지역별로 약간의 차이를 나타냈다(그림 3-2-7).

Locus	고성 (n=29)	강릉 (n=5)	육계 (n=21)	동해 (n=20)	죽변 (n=32)	감포 (n=14)	울산 (n=50)	진해만 (n=30)	서해34도 (n=15)	서해35도 (n=10)	서해36도 (n=14)	백령도 (n=18)
<b>Gmo37</b>												
136						0.0714	0.0200					
138							0.0100					
154	0.0172						0.0200			0.0500	0.0357	
158	<u>0.2414</u>	0.2000	<u>0.2381</u>	<u>0.2250</u>	0.1875	<u>0.2857</u>	<u>0.4200</u>	<u>0.2167</u>	<u>0.4667</u>	<u>0.5000</u>	0.1429	0.0833
160	0.0517		<u>0.1190</u>	0.0250	0.0469			0.0667	<u>0.0667</u>			
162	<u>0.1552</u>	0.4000	<u>0.1429</u>	<u>0.1750</u>	<u>0.2031</u>	<u>0.2500</u>	0.1200	<u>0.2000</u>	<u>0.2000</u>	0.0500	<u>0.2857</u>	<u>0.2222</u>
172	0.0345			0.0250	0.0156							
178	0.0345			0.0500			0.0400		0.0667			
180					0.0313							
184										0.0500		0.0278
192	0.0345				0.0156							
196	0.0172								0.0667			0.0833
198												0.0556
200	0.0172			0.0250								
202	0.0172				0.0156							
204	0.0345			0.0750	0.0469		0.0500			<u>0.1000</u>		
206					0.0156	0.0714	0.0300			<u>0.0500</u>	0.0714	0.1071
208	0.0345		0.1429	0.1250	0.0781	0.1071	0.0300	0.1167	0.0333	<u>0.1000</u>	<u>0.2500</u>	0.0278
210	0.0172	0.2000	<u>0.0238</u>		0.0156		0.0700		0.0333			
212	0.0172		0.0238				0.0200	0.0333				
213			0.0238					0.0167				0.0278
214							0.0100					0.0556
216	0.0690	0.2000	0.0714	0.0500			<u>0.1200</u>	0.1000	0.0667		0.0357	0.0278
217	0.0862		0.1190	0.1500	<u>0.2656</u>	0.1429	0.0300	0.1500		0.0500	0.0714	<u>0.2222</u>
220				0.0250				0.0333				
221	0.0690											0.0833
224							0.0100					
225	0.0172		0.0238		0.0313							0.0556
228	0.0345		0.0238					0.0333				
229			0.0238		0.0156							
236				0.0250	0.0156	0.0714						
244				0.0250				0.0167				
248			0.0238					0.0167				0.0278

그림 3-2-4. Gmo 37 microsatellite maker의 대립유전자 크기 및 출현 빈도

Locus	고성 (n=26)	강릉 (n=5)	육계 (n=19)	동해 (n=19)	죽변 (n=28)	감포 (n=13)	울산 (n=47)	진해만 (n=28)	서해34도 (n=19)	서해35도 (n=10)	서해36도 (n=15)	백령도 (n=16)
<b>Tch14</b>												
90											0.0333	
94	0.0192											
98	0.0385				0.0179	0.0769	0.0106					
102					0.0179							
110							0.0319					
114	0.0385											
122							0.0106					
130												
134	<u>0.0963</u>			0.0789		<u>0.2692</u>	0.1489		0.0526	0.0500		
138	0.0385						0.0106		0.0263		0.0667	<u>0.2813</u>
142	0.0192			0.0526	0.0179		0.0106		0.0789			
146					0.0357	0.0385	0.0106		0.1053		0.0667	0.1250
150	0.0385			0.0789	0.0536			0.0714	0.0526	<u>0.2000</u>		<u>0.1875</u>
154	<u>0.0962</u>		0.0263		0.0536		0.0106		0.1316	0.1000	<u>0.1667</u>	0.0625
158	0.0769		<u>0.2895</u>	<u>0.1842</u>	<u>0.1607</u>	<u>0.1538</u>	<u>0.2447</u>	0.0714	<u>0.1842</u>	<u>0.2000</u>	<u>0.2000</u>	0.1250
162	0.0577	0.2000	<u>0.2105</u>	<u>0.1579</u>	<u>0.2500</u>	0.1154	<u>0.1809</u>	<u>0.1250</u>		0.1000	0.1000	
166	0.0769	0.4000	0.0789	0.0263	0.0179	0.0769	0.0213	0.0536		0.1000	0.0333	
170	0.0962			0.0526		0.0769	0.0213	<u>0.1250</u>			0.1333	0.0625
174	0.0962		0.1316	0.0526			0.0851	0.0536	0.0263			
178	0.0577		0.0263	0.1316	0.0714	0.0769	0.0426	<u>0.1250</u>	<u>0.1579</u>	<u>0.2000</u>	0.0333	0.0938
182					0.0179		0.0213	0.0536	0.0526			
186				0.0526	0.0179		0.0213	0.0357				
190	0.0769	0.3000	0.1316	0.0526	<u>0.1607</u>		0.0638	0.0536	0.1053		0.1000	0.0625
194	0.0769	0.1000	0.0526	0.0789	0.1071	0.0769	0.0319	0.0714	0.0263		0.0667	
198								0.0357				
206			0.0526			0.0385		<u>0.1250</u>				

그림 3-2-5. Tch 14 microsatellite maker의 대립유전자 크기 및 출현 빈도

Locus	고성 (n=29)	강릉 (n=4)	육계 (n=21)	동해 (n=21)	죽변 (n=32)	감포 (n=14)	울산 (n=48)	진해만 (n=30)	서해34도 (n=17)	서해35도 (n=10)	서해36도 (n=19)	백령도 (n=18)
<b>Gma109</b>												
229									0.0294		0.0263	
233	0.1552	0.3750	0.2381	0.0476	0.0625	0.1429	0.1042	0.1333	0.2059	0.1500	0.1316	0.1389
237	0.0172		0.0476	0.0238	0.0625		0.0417	0.0333	0.0588	0.2000	0.1579	0.1389
241	<u>0.3448</u>	<u>0.5000</u>	<u>0.4762</u>	<u>0.3571</u>	<u>0.3906</u>	<u>0.5714</u>	<u>0.5625</u>	<u>0.5667</u>	<u>0.2941</u>	<u>0.3500</u>	<u>0.3158</u>	<u>0.2222</u>
245	0.0345	0.1250	0.0476	0.0476	0.0625	0.0357	0.0417				0.0526	0.0278
249	0.0862		0.0476	0.1905	0.1406	0.0714	0.0833	0.1833	0.2059		0.1316	0.2222
253	0.0345			0.0238	0.0156					0.2000		0.0278
257	0.1034		0.0476	0.0714	0.0625	0.0714	0.0595	0.0500			0.0789	0.0278
261	0.0172						0.0238		0.1765		0.0263	
265	0.0172			0.0476	0.0313					0.0500	0.0263	
269	0.0690											0.0278
273			0.0476		0.0156		0.0119	0.0167	0.0294			
277	0.0345			0.0238						0.0500	0.0263	0.1111
281				0.0238			0.0238		0.0208			0.0278
285	0.0172				0.0469						0.0263	
293	0.0172											
297				0.0476					0.0104			
301	0.0172		0.0476	0.0952	0.0469	0.0357	0.0357	0.0167	0.0313			
305	0.0172				0.0469							
309					0.0156							
329	0.0172											0.0278

그림 3-2-6. Gma109 microsatellite maker의 대립유전자 크기 및 출현 빈도



Locus	고성 (n=32)	강릉 (n=4)	옥계 (n=21)	동해 (n=21)	죽변 (n=32)	감포 (n=15)	울산 (n=58)	진해만 (n=30)	서해34도 (n=18)	서해35도 (n=7)	서해36도 (n=19)	백령도 (n=18)
<b>Gma102</b>												
194	0.0156			0.0238			0.0172					
198	0.0781	0.2500		<u>0.1429</u>	0.0625	0.0333	0.0345		<u>0.2500</u>		<u>0.1316</u>	<u>0.1111</u>
202	0.0313						0.0259				0.0263	
206	0.0781	0.2500	0.0952	0.0714	<u>0.2188</u>	0.1667	<u>0.1379</u>	0.1333	0.0556	0.1250	0.0526	0.1111
210	<u>0.3906</u>	0.2500	<u>0.4524</u>	<u>0.5238</u>	<u>0.3281</u>	<u>0.4667</u>	<u>0.4914</u>	<u>0.5667</u>	<u>0.2778</u>	<u>0.5000</u>	<u>0.5000</u>	<u>0.3889</u>
214	<u>0.1094</u>		0.0714	0.0238	0.0313	0.0667	0.0345	0.0333	<u>0.1667</u>	<u>0.2500</u>	0.0789	<u>0.1667</u>
218	0.0938	0.2500	<u>0.2619</u>	0.0952	0.1875	<u>0.1333</u>	0.0948	<u>0.1833</u>	0.0833	0.0625	0.1316	0.1111
222	0.0469		<u>0.0476</u>	0.0238	0.0156	0.0667	0.0259	0.0333	0.0556	0.0625	0.0263	0.0833
226	0.0781		0.0476		0.0781	0.0333	0.0776	0.0333	0.0278		0.0263	0.0278
230	0.0781		0.0238	0.0952	0.0781	0.0333	0.0603	0.0167	0.0556		0.0263	
234									<u>0.0278</u>			

그림 3-2-7. Gma102 microsatellite maker의 대립유전자 크기 및 출현 빈도

다. 대구 지역별 계군의 유전적 구조 및 유전적 다양성

동·서·남해 대구 계군 285개체를 14개의 microsatellite marker를 이용하여 genotyping 한 후 data quality control 과정을 거쳐 선별한 202개 시료 분석결과를 STRUCTURE (version 2.3.4)를 이용하여 집단분석을 실시하였다. STRUCTURE(version 2.3.4)를 이용한 Population 분석에서는 Seed=2 (2 Given Populations)과 Seed=3 (3 Given Populations)로 나누어 2번 분석하였다. Burn-in period 와 Replication 모두 100,000번으로 설정하였고 다른 parameter는 default 값으로 설정하여 분석하였다. 동해, 남해, 서해 대구 계군 시료의 microsatellite marker 데이터를 우리나라에 서식하고 있는 대구가 2개의 population으로 구성되어 있다고 가정하고(Seed=2: 2 Given Populations) Population level과 Individual level에서 분석하여 그림 3-2-8과 그림 3-2-9에 나타내었다. Seed=2 STRUCTURE 분석의 Population level에서 동해 계군과 남해 계군에서는 Given Population 1의 비율이 월등히 높았고 서해 계군은 그와 반대되는 패턴을 나타냈기에 대구는 동해 계군과 남해 계군이 비슷하다고 판단하였다. 또한, Individual level에서 Given Population 1의 비율이 높은 개체들이 동해 계군과 남해 계군에 많았고, 서해 계군의 개체들은 그 반대의 패턴을 보이고 있었다. 이와 같은 결과로부터 대구는 동해 계군과 남해 계군의 유사도가 비슷함을 확인하였다.

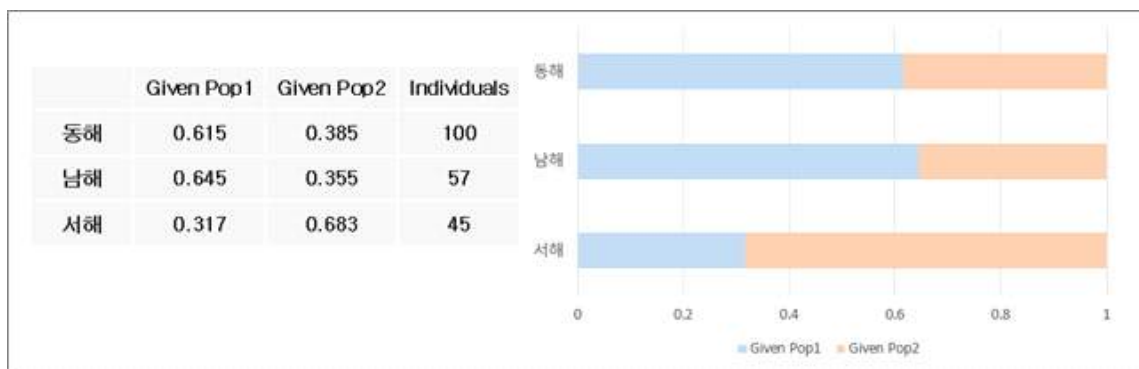


그림 3-2-8. Seed=2 STRUCTURE 분석 Population Level 결과

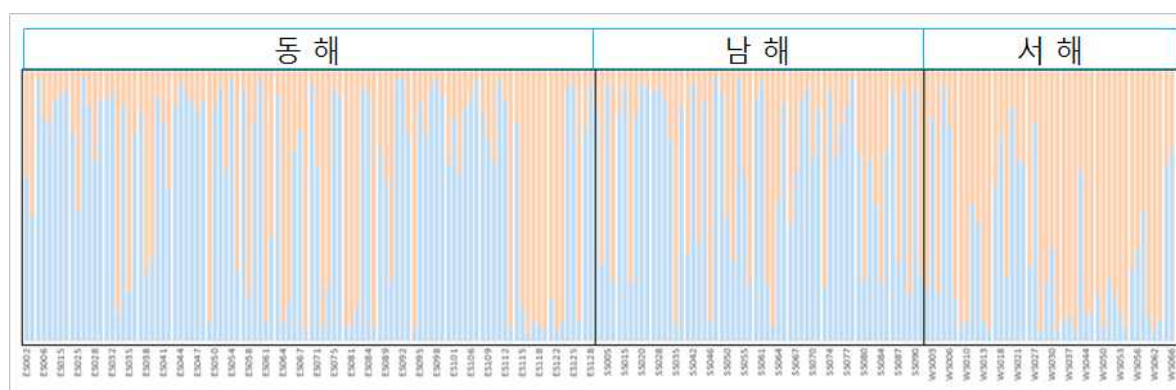


그림 3-2-9. Seed=2 STRUCTURE 분석 Individual Level 결과

추가로 진행한 Seed=3 STRUCTURE 분석 결과(그림 3-2-10, 그림 3-2-11), Population level에서 서해 계군이 Given population 3의 비율이 월등히 높은 특징이 있고, Individual level에서는 동해 계군과 남해계군에 Given Population 1과 2의 비율이 높은 개체 수가 대다수를 차지하였다. 이로써 동해와 남해 대구 집단이 유사한 것으로 판단하였다.

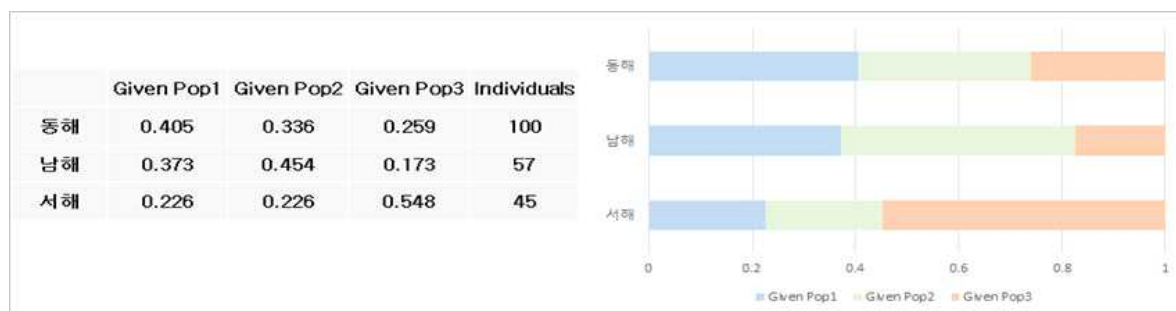


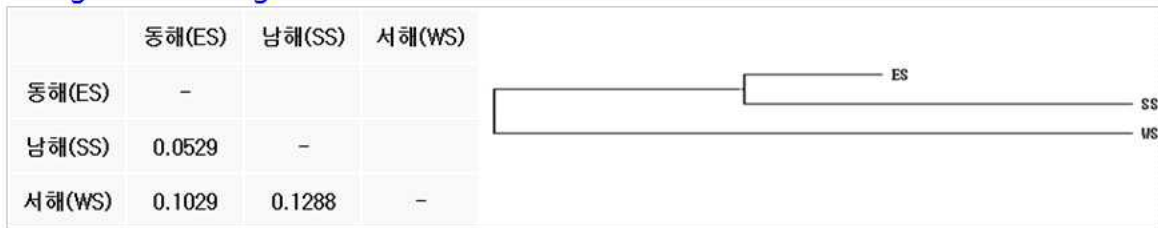
그림 3-2-10. Seed=3 STRUCTURE 분석 Population Level 결과



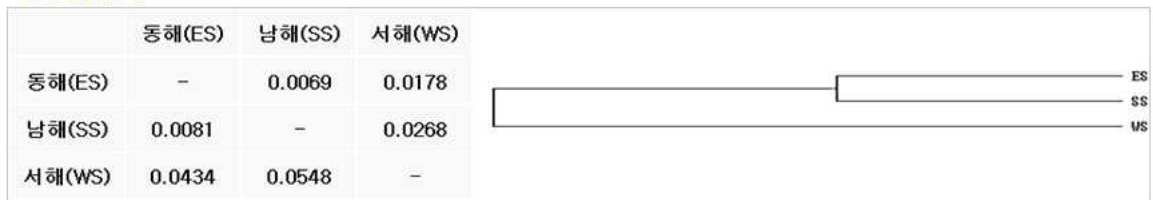
그림 3-2-11. Seed=3 STRUCTURE 분석 Individual Level 결과

STRUCTURE 분석 결과를 재확인하기 위하여 DISPAN 분석을 실시하여 유전적거리를 계산한 결과(그림 3-2-12), NJ 방법과 UPGMA 방법으로 분석한 결과에서 동해와 남해 계군이 하나로 묶이고 서해 계군은 조금 떨어져 있음을 확인하였다.

### Neighbor Joining



### UPGMA



\*Standard genetic distances(below) and standard(Above)

그림 3-2-12. 대구 지역별 계군의 Genetic Distance 분석

대구 지역별 계군의 유전적 다양성을 FSTAT Version 2.9.3을 이용하여 분석한 결과(표 3-2-9), microsatellite marker의 유전적 다양성 범위가 각각 다르게 나타났지만 다양성 정도는 유사하였다. 대구 지역별 계군의 유전적 다양성은 동해 계군과 서해 계군이 높았으며 남해 계군은 비교적 낮은편이었다.

표 3-2-9. 대구 지역별 계군의 유전적 다양성

Locus	동해	남해	서해	Fst
Gma108	0.741	0.652	0.619	0.010
Gma102	0.769	0.675	0.775	0.012
Gma107	0.477	0.478	0.602	0.006
Gma109	0.798	0.617	0.848	0.028
Gmo37	0.882	0.830	0.849	0.008
Tch13	0.604	0.615	0.688	0.001
Tch14	0.911	0.915	0.904	0.009
Total average	0.740	0.683	0.755	

### 3절. 이석 내 미량화학원소를 이용한 서식처 이용 및 계군 분석

#### 1. 연구 배경

대구(Pacific cod, *Gadus macrocephalus*)는 대구목(Gadiformes) 대구과(Gadidae)의 어류로, 우리나라 전 연안과 북위 34도 이상의 북태평양에 서식하며, 주로 수심 10 - 500 m에 이르는 대륙붕과 대륙사면에 서식하는 냉수성 어류이다. 어류나 갑각류를 먹으며 산란기인 12월에서 3월에는 수심이 낮은 곳으로 이동하여 연성저질에 산란한다(김 등, 2005). 대구에 관한 연구는 산란과 초기성장(곽, 2010; 곽 등, 2012; 이 등, 2007; 차 등, 2007), 연령과 성장, 자원량 평가(황 등, 2012) 등의 연구가 이루어졌으나, 생활사나 성장 단계에 따른 서식처 이용이나 계군분석에 관한 연구는 아직 미흡하다.

어류의 이석에는 부화 이후 어류의 성장 리듬이 기록되기 때문에 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). 어류의 내이에는 sagitta, lapillus, astriscus 라고 불리는 3쌍의 이석이 존재한다. 이 세 쌍의 이석 중에서 크기가 가장 큰 sagitta를 연구에 주로 이용하고 있다. 이석은 탄산칼슘(96%)을 중심으로 유기물 복합체(3%)와 무기원소 및 방사성동위원소(1%)로 구성되어 있다(Campana, 1999) 이렇게 형성된 어류의 이석 내 화학조성은 형성 후에 체내로 흡수되거나 환경변화에 의해 변화하지 않는다(Campana and Neilson, 1985). 이러한 이석의 특성을 바탕으로 이석 내 미량원소나 동위원소 분석을 통한 어류 생태에 관한 연구가 전 세계에서 활발하게 진행되고 있다(Brown and Severin, 2009; Campana and Fowler 1994; Campana et al., 2000; Dimaria et al., 2010; Gao et al., 2005; Kemp et al., 2011). 이석 내 화학조성은 어류 개체가 서식하였던 환경수의 화학원소 농도에 영향을 받기 때문에 어류 이석을 구성하고 있는 화학원소들은 서식지가 다른 어류의 계군, 회유 및 이동경로를 나타내는 자연적 표지로 활용한다(Brown and Severin, 2009; Campana and Fowler 1994; Campana et al., 2000; Dimaria et al., 2010; Gao et al., 2005; Kemp et al., 2011). 각각의 어류 이석에서 이석 내 미량원소의 함량이 다르다는 것은 개체별로 서식환경이 달랐음을 의미하며, 한 개체의 이석 내에서도 성장에 따라 화학조성이 다르게 나타나는 것은 어류의 생활사에 따라 서식환경을 달리 하였음을 의미한다. 이러한 이석의 특성을 이용하면 서식지나 산란장이 다른 계군을 분리할 수 있다.

본 연구는 대구의 서식처 이용 양상과 계군을 분석하고자 이석 내 미량화학원소를 분석한 것이다.

## 2. 연구 방법

### 가. 연구 재료

본 연구에 활용한 대구 시료는 세 곳의 연안어장(동해 대진, 서해 백령도, 남해 진해)에서 2015년 12월에서 2016년 1월 사이에 상업성 어구에 어획된 것이다(그림 3-3-1).



그림 3-3-1. 대구 시료 채집 지역.

### 나. 이석 내 미량화학원소 분석

이석 내 미량화학원소는 한국기초과학지원연구원에 구축되어 있는 레이저 장치를 부착한 유도결합플라즈마 질량분석기(LA-ICPMS : Laser Ablation Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometer)를 이용하여 line scanning model을 이용하여 분석하였다. Laser Ablation은 UP-213 Laser ablation System (New Wave Research Inc., U.S.A.)를 이용하였으며, ICPMS는 Thermo X-Series 2 (Thermo Fusher Scientifix inc., U.S.A)를 이용하였다. 분석에 이용된 어체의 생물학적 특성치는 표 3-3-1에 정리하였다. 이석 내 미량화학원소는 Li, Na, Mg, Ca, Cr, Mn, Ni, Zn, Sr 등 9개 원소를 대상으로 핵으로부터 장축방향의 가장자리까지 측정하였다. 측정값의 정량화를 위해 표준물질로 NIST 612



(Trace Elements in Glass, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, Maryland, U.S.A.)를 이용하였다. 레이저 세기는 100%, scan rate는 10  $\mu\text{m}$  /sec, 빔의 크기는 25  $\mu\text{m}$ , pulse replicate rate는 10 Hz였다. 측정값은 아래 식을 이용하여 Ca에 대한 농도비로 환산하였다.

$$[X/Ca]_{\text{sample}} = \frac{(X/Ca)_{\text{sample}}}{(X/Ca)_{\text{standard}}} \times [X/Ca]_{\text{standard}}$$

여기서,

X : 각 원소

$[X/Ca]_{\text{sample}}$  : 측정시료에서 각 원소와 Ca의 농도비

$(X/Ca)_{\text{sample}}$  : 측정시료의 각 원소와 Ca의 이온수의 비율

$[X/Ca]_{\text{standard}}$  : 표준물질에서 각 원소와 Ca의 농도비

$(X/Ca)_{\text{standard}}$  : 표준물질에서 각 원소와 Ca의 이온수의 비율이다.

표. 3-3-1. 이석의 미량화학분석에 사용된 대구의 체장과 체중

Sampling Area	Sample Number	Total length (mm, Mean $\pm$ SD)	Body weight (g, Mean $\pm$ SD)
Daejin	2	72.7 $\pm$ 0.49	4977 $\pm$ 323.9
Baegryeong-do	2	83.0 $\pm$ 8.49	6908 $\pm$ 1742.3
Jinhae	3	70.0 $\pm$ 3.28	3776 $\pm$ 770.5

### 3. 연구 결과

가. 대구 이석 내 Sr/Ca 비율 분포 변화와 서식처 이용 양상

LA-ICPMS로 분석한 대구의 이석 내 Sr/Ca비율 분포는  $4.0 \times 10^{-3}$  (해수 환경) 이상이 66.96%로 생활사의 대부분은 해수에서 보내고,  $2-4 \times 10^{-3}$  (기수 환경) 사이는 33%로 기수에서도 비교적 긴 시간을 머무르지만,  $2.0 \times 10^{-3}$  (담수 환경) 이하의 경우는 0.04%로 민물 환경을 서식처로 이용하는 경우는 거의 없는 것으로 판단된다(그림 3-3-2).

이석 핵 주변의 Sr/Ca 비율은  $3.95 \times 10^{-3}$  내외였으며, 핵으로부터 500  $\mu\text{m}$ 까지의 Sr/Ca 비율은 점차 감소하는 경향을 보였다(그림 3-3-3). 이의 결과로부터 대구는 기수에서 산란하고, 부화된 어린 대구는 점차 염분이 낮은 수역으로 이동하면서 성장하다가 외해로 이동하는 것으로 추정된다.

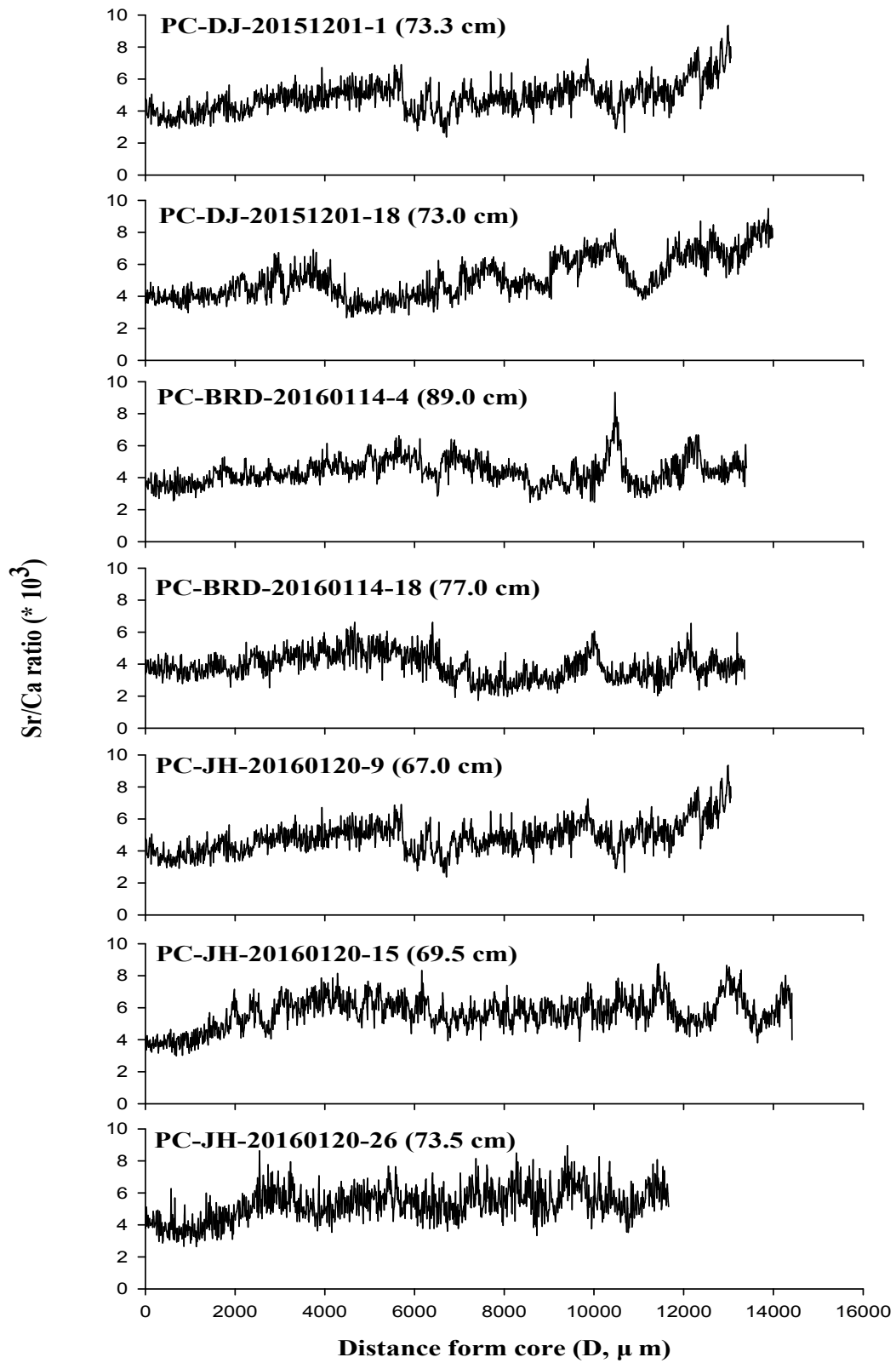


그림 3-3-2. 대구 이석에서 Sr/Ca 비율의 분포.

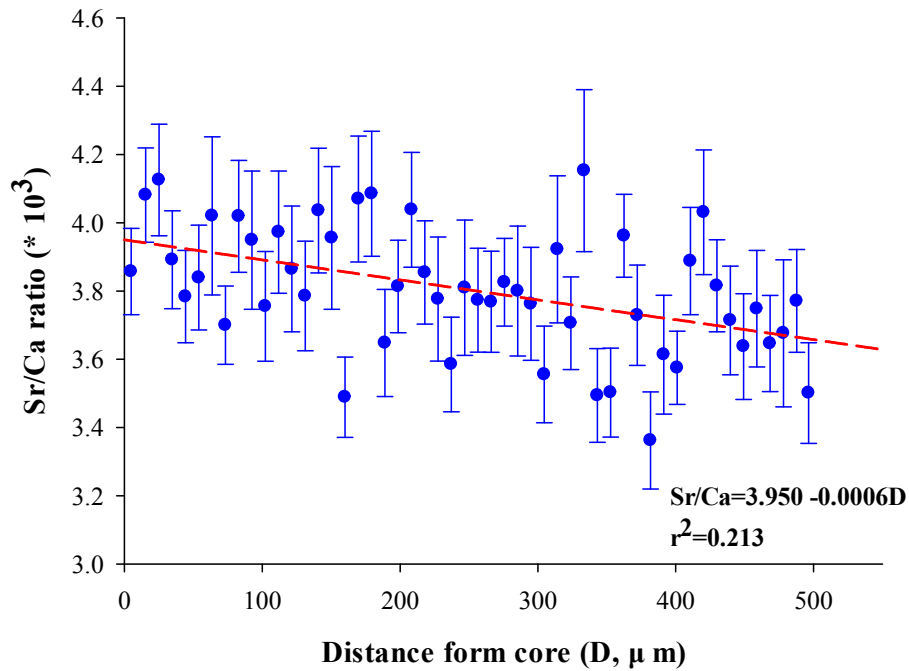


그림. 3-3-3. 대구 이석의 핵으로부터 거리에 따른 Sr/Ca 비율의 변화.

#### 나. 대구의 계군분석

대구 이석 내 7개 원소의 Ca에 대한 농도비(Li/Ca, Na/Ca, Mg/Ca, Cr/Ca, Ni/Ca, Sr/Ca, Zn/Ca)를 이용하여 nMDS (nonmetric multidimensional scaling) 분석을 실시하였다(그림 3-3-4). 그림 88에서 성어기는 두 개의 무리로 구분되었는데 비해 유어기는 세 개의 무리로 구분되었다. 성어기의 두 무리 중 하나는 황해 백령도에서 채집된 대구들로 구성된 무리이고, 다른 하나는 동해의 대진과 남해의 진해만에서 채집된 대구들로 구성된 무리이다. 한편, 유어기의 세 무리는 황해의 백령도에서 채집된 대구 무리, 동해의 대진에서 채집된 대구의 무리, 그리고 동해의 대진과 남해의 진해만에서 채집된 대구의 무리로 구성되었다. 이상의 자료로부터 우리나라 연근해산 대구는 두 개의 서로 다른 성어계군(황해 계군과 동/남해 계군)이 존재하며, 산란계군은 2개 이상일 것으로 추정된다.

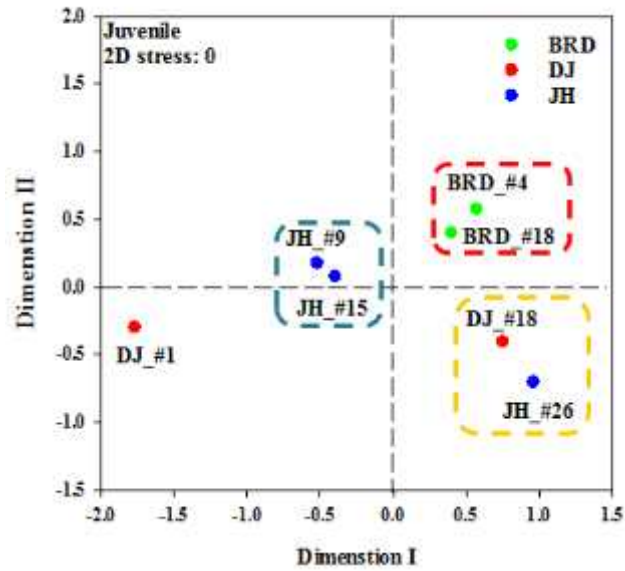
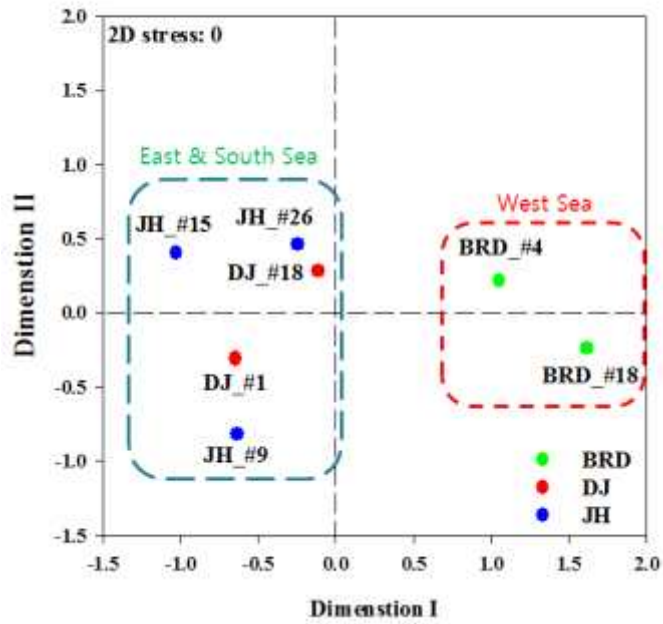


그림 3-3-4. 대구 이석 내 미량화학원소의 조성을 이용한 nMDS 행렬도(위: 성어기; 아래: 유어기; ●: 백령도; ●: 대진; ●: 진해)

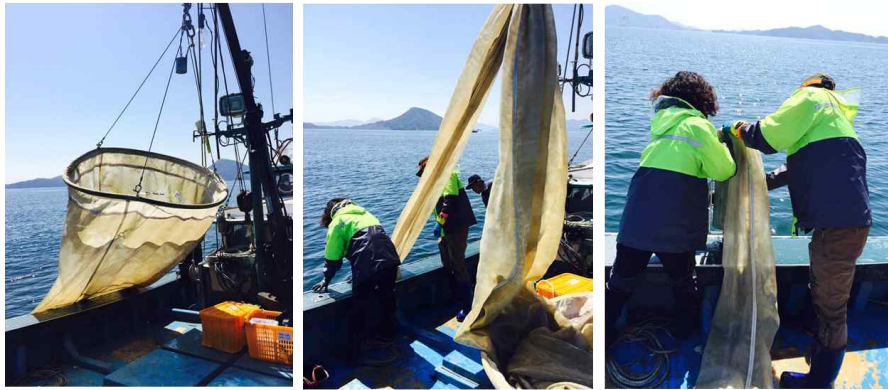
## 4절. 진해만 대구의 초기 생활사

### 1. 연구 방법

- 산란장 : 문헌조사로 추정한다(곽 등, 2012., 이 등, 2014., 국립수산과학원, 2015.).
- 자치어 : 2016. 2~6월에 진해만에서 대구 자어 및 치어를 채집하였다(표 3-4-1, 그림 3-4-1, 3-4-2). 자어는 두 종류의 Ring net(망구 1m, 1.5m)를 이용하여 경사채집하였으며, 예인속도는 약 1.5~2knot를 유지함. 2월부터 4월까지 10회 실시하였다. 치어는 Beam trawl(빔 길이 8m)을 이용하여 저층에서 약 30분~1시간 예인하였다. 4월부터 6월까지 5회 실시하였다.

표 3-4-1. 대구 자치어 채집 일정

채집시기	조사항목	채집도구	정점수	출현유무
2016.02.24.(주간)	자어	Ring net (∅1m, 400 $\mu$ m)	6	○
2016.03.08.(주간)	자어	Ring net (∅1m, 400 $\mu$ m)	6	○
2016.03.21.(야간)	자어	Ring net (∅1.5m, 400 $\mu$ m)	1	○
		Ring net (∅1m, 400 $\mu$ m)	2	
2016.03.22.(주간)	자어	Ring net (∅1m, 400 $\mu$ m)	6	
2016.04.06.(주간)	자어	Ring net (∅1.5m, 400 $\mu$ m)	2	○
		Ring net (∅1m, 400 $\mu$ m)	3	
2016.04.19.(주간)	자어	Ring net (∅1.5m, 400 $\mu$ m)	6	
		Ring net (∅1m, 400 $\mu$ m)	6	
2016.06.23.(주간)	자어	Ring net (∅1m, 400 $\mu$ m)	2	
2016.04.20.(주간)	치어	Beam trawl (8m)	4	
2016.05.10.(주간)	치어	Beam trawl (8m)	4	○
2016.05.25.(주간)	치어	Beam trawl (8m)	4	
2016.06.08.(주간)	치어	Beam trawl (8m)	4	
2015.06.23.(주간)	치어	Beam trawl (8m)	5	○



Ring net (Ø1.5m, 400 $\mu$ m, 10m), Ring net (Ø1m, 400 $\mu$ m, 3m)

그림 3-4-1. 진해만에서 대구 자어 채집.



그림 3-4-2. 진해만에서 대구 치어 채집.

## 2. 연구 결과

### 가. 어란

- 진해만에서 산란기에 대구 친어로부터 산란, 수정된 어란의 부화과정을 관찰하였다.
- 수정 4시간 후에는 수정막이 형성되고, 세포기, 상실기, 낭배기를 거쳐 배반과 배체를 형성하며 발생을 계속하여 수정 후 약 280시간이 지나서 부화하였다.
- 발생초기에는 점착성이 약한 침성란이나, 난발생이 진행됨에 따라 분리침성란으로 변화한다.



- 난경은 평균 1.14mm, 난막은 10 $\mu$ m이며, 부화자어의 평균체장은 4.03mm이다(그림 3-4-3).

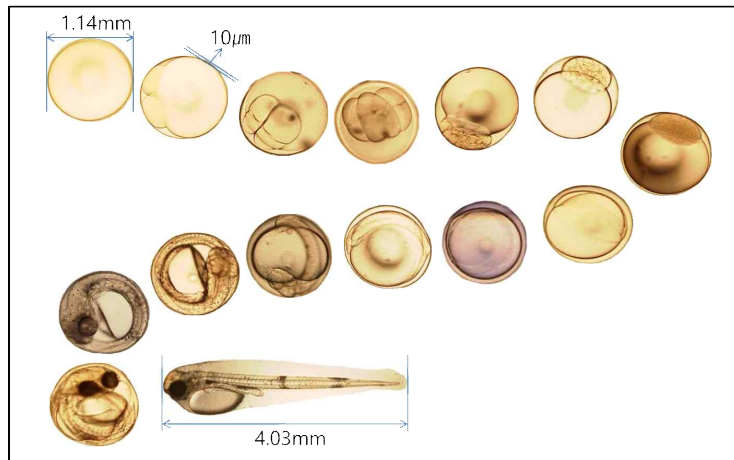


그림 3-4-3. 대구 어란의 부화과정.

#### 나. 자어

- 진해만에서 대구자어는 총 10회의 채집 중 4회 출현하였다.
- 채집된 개체는 모두 17미였으며, 4.97~12.58mm의 체장범위를 나타낸다.
- 2월에는 칠천도와 장목 위쪽에서 주로 출현하여 산란장과 비슷한 분포범위를 나타내었고, 체장은 4.97~6.64mm의 범위로 평균 5.82mm였다.
- 3월에는 칠천도 서쪽과 거제도 북쪽부분에 주로 출현하여, 2월보다 진해만 안쪽으로 이동한 것으로 보이며 체장은 5.91~9.10mm의 범위로 평균 7.84mm로 나타난다.
- 4월에는 1마리만 채집되었으나 3월과 비슷한 지역에서 분포하였고 체장은 12.58mm였다(그림 3-4-5).
- 채집된 자어의 일령은 김 등(2007)과 서 등(2007)을 참고하였다(그림 3-4-6).

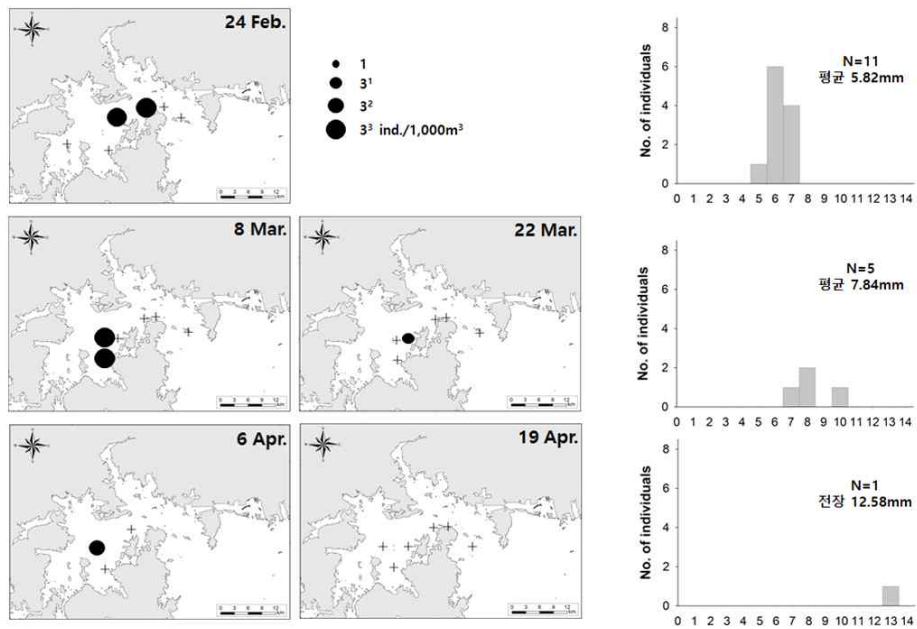


그림 3-4-5. 진해만 대구 자어의 분포밀도 및 평균체장.

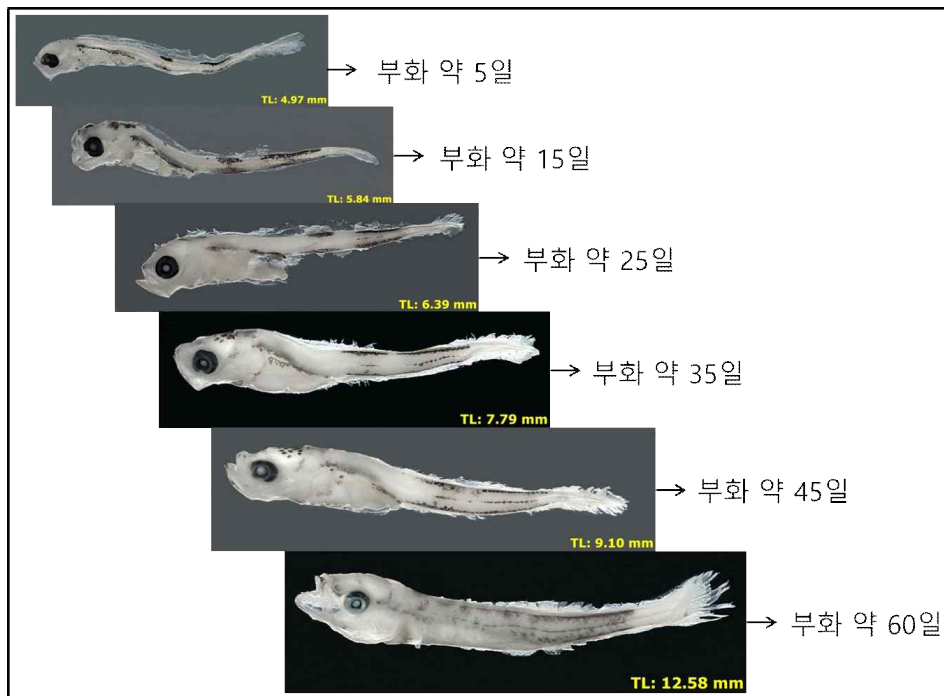


그림 3-4-6. 진해만에서 채집된 대구 자어.

다. 치어

- 진해만에서 대구자어는 총 5회의 채집 중 2회 출현하였다.
- 채집된 개체는 모두 4미였으며, 52.75~83.22mm의 체장범위를 나타낸다.
- 4월에는 치어가 채집되지 않았다.
- 5월에는 칠천도 북쪽과 가덕도 남쪽에서 출현하였고 체장은 52.75~81.80mm의 범위로 평균 67.01mm였다.
- 6월에는 칠천도 인근에서 1마리만 채집되었고, 체장은 83.22mm였다(그림 3-4-7, 3-4-8).

라. 수온

- 채집기간 동안 표층수온은 6.1~22.2℃ 범위였다.
- 표층과 저층의 수온 차는 2, 3월에는 평균 1℃ 미만이었으나, 점점 커져서 6월에는 평균 약 4℃ 이상의 차이를 나타낸다.
- 2016년 6월 8일보다 수온이 낮았던, 2015년 6월 23일의 저층수온 16.6℃를 기점으로 대구 치어가 채집되지 않았다. 이는 국립수산물과학원(2015)의 결과와 일치하였다(그림 3-4-9).

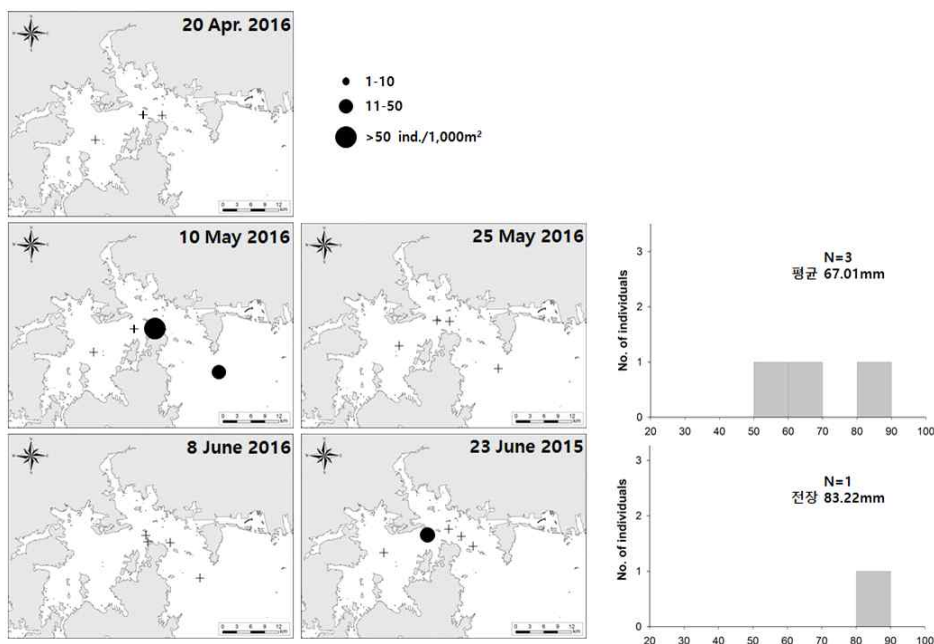


그림 3-4-7. 진해만 대구 치어의 분포밀도 및 평균체장.

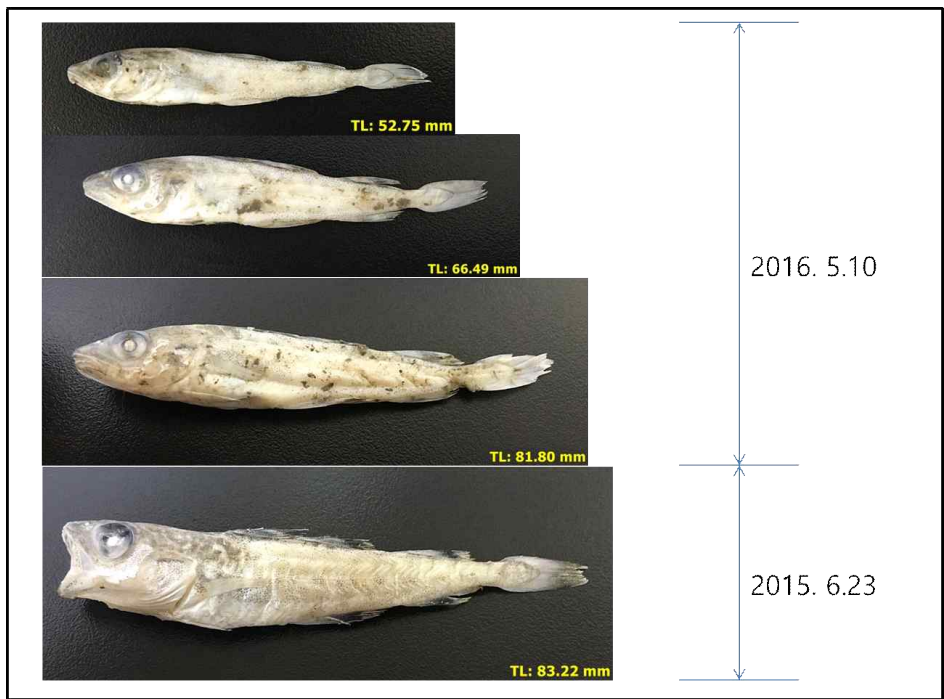


그림 3-4-8. 진해만에서 채집된 대구 치어.

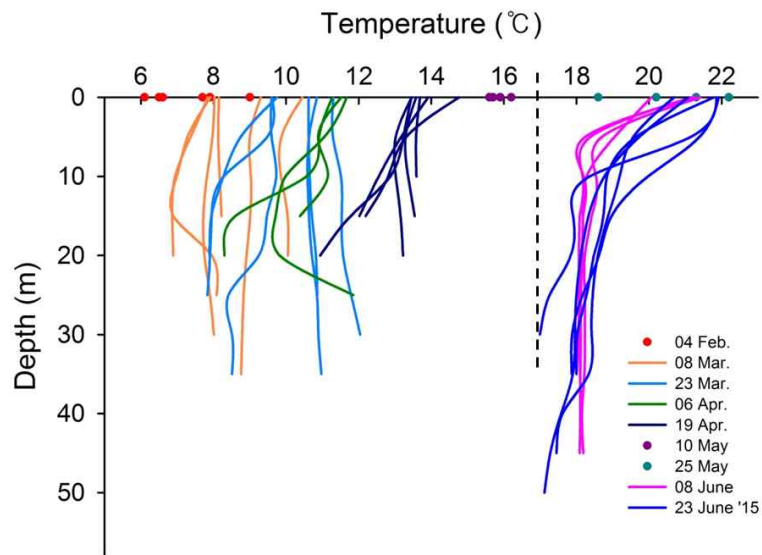


그림 3-4-9. 진해만의 수심별 수온분포.

### 3. 토의

- 진해만으로 산란회유하는 대구는 12월 중순~이듬해 3월 중순 사이에 진해만 입구에 주로 산란한다(이 등, 2005, 곽 등, 2012).
- 진해만에서 산란하는 대구의 포란수는 56~560만개로 알려져 있으며(곽우석, 2010), 포란수를 결정하는 요인은 친어 개체당 먹이의 양과 질, 수온 및 바닥의 부착기질 또는 저질 등의 물리적 용인, 서식 밀도 등으로 보고된다(Sakurai and Hattori, 1996).
- 수정란의 부화적수온은 6~7°C이며, 부화기간은 6~9°C에서 10~15일임. 김 등(2007)과 비슷한 결과를 나타낸다.
- 발생초기의 약 침성란은 발생이 진행됨에 따라 분리침성란으로 변화한다. 난의 난막에는 미립자의 펄이나 모래가 부착하여 난끼리 부착하는 것을 방지하며 위장을 통한 난 보호역할을 하여 생존율을 높인다. 같은 과(Family)의 명태에 비해 난막이 3배 이상 두꺼운 이유로 추정된다(이 등, 2009).
- 수정된 알이 부화하여 성장하는 단계인 자어시기(1월~5월)에는 진해만 입구와 내측(거제도 북쪽과 칠천도 서쪽)에 주로 분포한다. 이 시기에는 수직운동을 하는데, 수직운동은 발생단계, 수온, 광량에 따라 차이가 있다(Hurst et al., 2009). 또한 측선, 아래턱수염 등 계수형질을 모두 갖추는 시기이다.
- 유영능력을 갖추고, 바닥에 착저해서 저층생활을 하는 치어시기(3월 중순~6월)에는 진해만 입구에서부터 바깥쪽(가덕도 남쪽)에 이르는 지역까지 분포한다. 이 시기에 체장 약 45mm가 되면 바닥에 착저하고, 저층수온이 16.6°C가 넘으면 진해만을 빠져나가는 것으로 나타난다(그림 3-4-10, 3-4-11).
- 진해만에서 대구 치어는 2012~2016년 동안의 조사결과 급격히 감소하고 있는 경향을 보인다(표 3-4-2). 치어의 감소 이유는 조사시기 및 어구 불일치, 진해만으로 회유하는 동해계군의 어획량 감소, 연안에 굴, 홍합등의 양식으로 인한 통발, 어류채집용 자망이 많고, 상업적, 군사목적의 항로로 인해 조사지역이 매우 제한적이라는 점, 그리고 2016년 이상 고온으로 인해 진해만 내의 수온 증가 등으로 추정된다.
- 수온은 성어보다 난의 부화기간과 부화시 자어크기에 영향을 주는 주요인자(Werner, 2002)이며 난발생, 산란회유, 성육, 이동의 전 과정에 밀접한 관련이 있다(김 등, 2007).
- 국립수산물과학원(2015)에서는 대구의 자원회복 및 효율적인 관리를 위해, 대구 산란장 및 성육장에 방치된 폐어망 수거사업 확대, 체계적인 종묘방류 사업 지원, 금지채장 확대, 동해구기선저인망의 어획강도 조정, 산란기 산란장 보호와 관리, 해역별 관리방안 등의 내용으로 대구 자원회복 권고안을 수립하였다.
- 따라서 정확한 산란장 규명을 위해서는 대구의 난 특성과 산란 환경조건을 고려한 지속적인 조사가 필요하며, 초기생활사 규명에도 체장별 섭식실험, 위내용물 분석, 자

어 및 치어의 성육조건에 대한 연구가 이루어져야 한다. 또한 효율적인 자원관리를 위해 수정란 및 자어의 방류효과에 대한 지속적인 모니터링이 필요한 것으로 판단된다.

표 3-4-2. 진해만에서 채집된 대구 치어의 개체수 밀도 변화

조사기관	조사시기	개체수밀도(개체/km <sup>2</sup> )	어구
수산과학원	2012	0~323,666 (평균 82,000)	빔트롤
	2013	0~33,193 (평균 6,700)	소형기선저인망
	2014	0~6,418 (평균 1,700)	소형기선저인망
한국해양과학기술원	2015~2016	0~169 (평균 21)	빔트롤

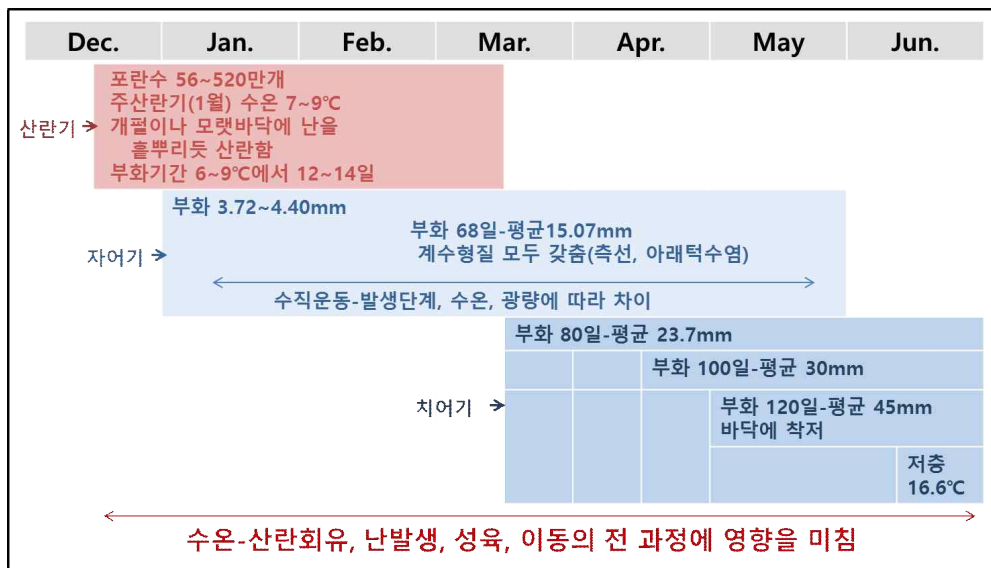


그림 3-4-10. 진해만 대구의 시기별 성장과정 모식도.



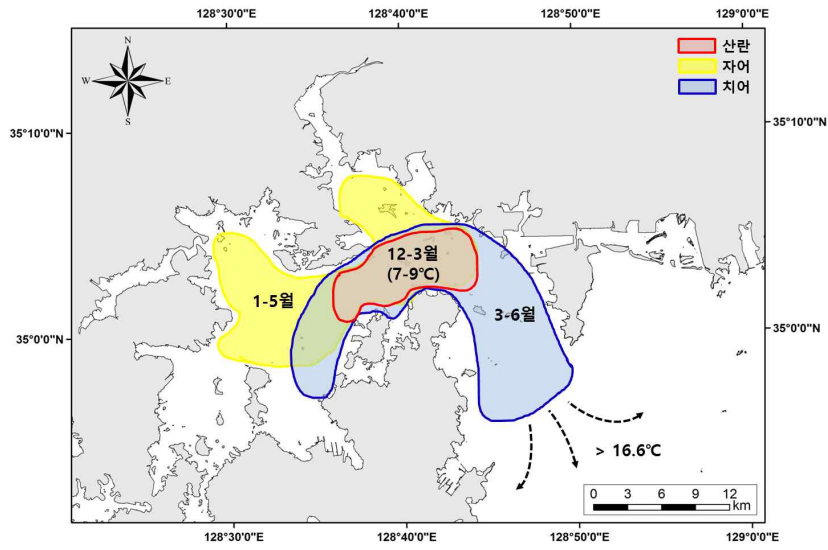


그림 3-4-11. 진해만 대구의 산란 및 성장단계별 서식지.

## 제 4장 연구개발목표 달성도 및 대외기여도

### 1. 연구개발목표 달성도

성과목표(가중치)	연구성과	최종목표 달성도
1. 대구를 찾아서 연구홍보 동영상 제작 (50%)	대구의 문화 역사에 대한 콘텐츠와 해양과기원의 대구를 찾아서 연구에 대한 홍보동영상을 제작함	50%
2. 위성추적 및 어획자료를 통한 이동경로 및 서식지 추정(20%)	희유한 대구의 초기 이동경로 및 서식지 이용양상 추정	16%
3. 대구의 유전자 마커분석을 통한 계군분석(10%)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 대구 계군 분석에 이용 가능한 microsatellite marker 확보 및 분석 조건 확립</li> <li>- Microsatellite marker 분석을 통한 대구 지역별 계군의 유전다양성 조사</li> <li>- 동·서·남해 대구 계군의 유전적 구조 분석</li> </ul>	10%
4. 이석 내 미량화학원소를 이용한 서식처 이용 및 계군분석 (10%)	이석의 화학성분 분석을 통한 서식처 이용 및 계군 구분	10%
4. 대구의 산란장 및 초기생활사 규명 (10%)	대구 자치어 채집을 통한 성장단계별 분포 및 서식지 규명	9%
합계(100%)		(95)%

1년의 짧은 연구기간임에도 불구하고 위성추적장치를 이용한 추적방법, 유전자 분석방법, 이석의 화학분석 방법, 초기생활사 연구 등을 통해 대구의 계군이 동해와 남해계군은 가깝고 반면 서해계군은 멀리 구분이 되는 것으로 일치한 결과를 내어 앞으로의 연구발전의 가능성을 남겼다.

## 2. 대외기여도

### 가. 대구를 찾아서 홍보 동영상

1년간의 연구진과 제작진이 노력을 기울여 만든 홍보 동영상은 국민적인 대구에 관한 관심사를 환기시키고 다양한 정보를 제공하였을 뿐만 아니라 앞으로 대구의 지속적인 자원관리를 위해 어떤 연구와 노력이 필요한가에 대한 방향성을 제시하였다.

### 나. 위성추적 및 어획자료를 통한 이동경로 및 서식지 추정

위성추적장치를 사용한 위치추적법은 우리나라를 제외하고는 세계적으로 활용이 된 바가 없으며 따라서 중요한 연구사적인 의미를 지닌다. 또한 2001년부터 2015년까지 어획자료를 바탕으로 한 공간 분포도는 지역의 자원관리를 위한 어획량 추산에 매우 도움을 줄 수 있는 중요한 자료이다.

### 다. 유전자마커를 이용한 대구의 이동경로 추정

대구 분석을 위한 35개의 microsatellite marker 디자인 및 증폭반응 조건을 확립하였고 대구 계군 특성정보 분석이 가능한 14개의 locus의 다양성정보지수를 확보하였다. 또한 서식해역별 유전다양성 데이터를 확보하고 동·서·남해 대구 계군의 유전적 구조 분석 및 유전적 거리를 계산하였다.

### 라. 이석 내 미량화학원소를 이용한 서식처 이용 및 계군 분석

이석 내 미량화학조성 분석을 통해 밝혀진 우리나라 연근해산 대구의 서식처 이용 양상 및 계군 분리에 관한 정보는 대구 자원의 자원생태학적 연구에 많은 도움이 될 것이며 관련 연구 분야의 발전에 기여할 것이다.

### 마. 대구의 산란장 및 초기생활사 규명

대구 산란장과 자치어의 초기 서식지 패턴을 분석함으로써 앞으로 어족자원 관리를 위한 초기생활사구역을 설정하는데 중요한 자료를 확보하였다.

## 제 5 장 연구개발결과의 활용계획

- 본 연구결과는 대구자원의 효율적인 보존과 관리를 위한 정책수립에 기초자료로 활용하고자 한다.
- 해양과학기술과 IT기술의 융합을 통해 해양수산분야의 정책분야를 제안하고자한다.
- 대구를 찾아서 홍보동영상은 KIOST의 생물자원 관리를 위한 종합과학적 연구에 대한 홍보를 위해 활용할 것이다.
- 대구 지역별 계군을 microsatellite marker로 분석하여 얻은 대립유전자 출현빈도 및 유전다양성 정보를 대구 산란지 확인을 위한 연구의 기초자료로 활용코자 한다.
- Microsatellite marker로 대구 계군을 지속적으로 분석하여 대구의 이동패턴 및 이동경로를 정확하게 파악하기 위한 대구의 유전특성 정보뱅크를 구축하고자 한다.

## 제 6 장 결언

1년의 짧은 기간 동안 우리는 ‘대구를 찾아서’라는 제목 하에 대구의 이동경로 및 서식지 추정과 연구홍보 동영상 제작이라는 두 마리 토끼를 잡기 위해서 노력하였다. 대구의 이동경로를 추적하고 서식지를 추정하기 위해 위성추적장치를 이용한 추적방법, 유전자 분석방법, 이석의 화학분석 방법, 초기생활사 연구를 통합하는 시도는 우리나라에서 최초이며 큰 의미를 지닌다. 최소한 동해계군과 서해계군이 구분된다는 공통적인 연구결론을 내린 것은 이 연구의 큰 성과라고 할 만하다. 그러나 이 모든 것이 첫술에 배부를 수 없다. 앞으로 기후변화나 높은 어획 강도, 환경 오염 등의 다양한 외부적 요인에 대응하여 우리가 대구를 미래의 수산자원으로 지속적으로 활용하고 우리의 밥상에서 사라진 한국산 명태와 같은 운명을 겪지 않기 위해서는 앞으로도 꾸준한 연구와 보전노력이 지속되어야 할 것이다. 1년의 연구로 얻은 성과와 겪은 시행착오를 밑거름으로 삼아 대구를 찾아서의 여정은 계속되어야만 한다.

## 제 7 장 참고문헌

- Ali S., P. Gladieux, M. Leconte, A. Gautier, A. F. Justesen, M. S. Hovmøller, J. Enjalbert, C. Vallavieille-Pope, 2014. Origin, Migration Routes and Worldwide Population Genetic Structure of the Wheat Yellow Rust Pathogen *Puccinia striiformis f.sp. tritici*. PLOS Pathogens 10(1), e1003903
- Bray, J. R. and J. T. Curtis, 1957. An ordination of upland forest communities of southern Wisconsin., Ecological Monographs., 27: 325-349.
- Brown, R.J. and K.P. Severin, 2009. Otolith Chemistry analyses indicate that water Sr:Ca is the primary factor influencing otolith Sr:Ca for freshwater and diadromous fish but not for marine fish. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 66: 1790-1808.
- Campana, S.E. and A.J. Fowler, 1994. Otolith elemental Fingerprinting for Stock Identification of Atlantic Cod (*Gadus Morhua*) Using Laser Ablation ICPMS. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 51: 1942-1950.
- Campana, S.E. and J.D. Neilson, 1985. Microstructure of fish otoliths. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 42: 1014-1032.
- 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., G.A. Chouinard, J.M. Hanson, A. Frechet and J. Bratney, 2000. Otolith elemental fingerprints as biological tracers of fish stocks. Fisheries Research, 46: 343-357.
- Canino M. F., I. B. Spies and L. Hauser, 2005. Development and characterization of novel di- and tetranucleotide microsatellite markers in Pacific cod (*Gadus macrocephalus*). Molecular Ecology Notes 5: 908 - 910.
- Cha, H.K., S.I. Lee, S.D. Yoon, Y.S. Kim, Y.Y. Chun, D.S. Chang and J.H. Yang, 2007. Maturation and spawning of Pacific Cod, *Gadus macrocephalus* TILESUS in East Sea of Korea. J. Kor. Soc. Fish. Tech. 43(4): 320-328.
- Cunningham, K. M., M. F. Canino, I. B. Spies, L. Hauser, 2009. Genetic isolation by distance and localized fjord population structure in Pacific cod (*Gadus macrocephalus*): limited effective dispersal in the northeastern Pacific Ocean. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 66(1):153-166.
- DiMaria, R.A., J.A. Miller and T.P. Hurst, 2010. Temperature and growth effects on otolith elemental chemistry of larval Pacific cod, *Gadus macrocephalus*. Environ.



- Biol Fish, 89: 453–462.
- Eyheramendy S., F. I. Martinez, F. Manevy, C. Vial and G. M. Repetto, 2015. Genetic structure characterization of Chileans reflects historical immigration patterns. Nature Communication 6, Article number: 6472
- Gao, Y., G.G. Bargmann, U. Brand and D.L.G. Noakes, 2005. Stable isotopic trace elemental compositions of otoliths and the stock structure of Pacific cod, *Gadus macrocephalus*. Environmental Biology of Fishes, 74: 335–348.
- Gwak W. S. and K. Nakayama, 2011. Genetic variation and population structure of the Pacific cod *Gadus macrocephalus* in Korean waters revealed by mtDNA and msDNA markers. Fish Sci. 77: 945 - 952.
- Kalinowski, S. T., M. L. Taper and M. L. Marshall, 2007. Revising how the computer program CERVUS accommodates genotyping error increases success in paternity assignment. *Molecular Ecology* 16: 1099 - 1106.
- Kemp, J., S.E. Swearer, G.P. Jenkins and S. Robertson, 2011. Otolith chemistry is more accurate than otolith shape in identifying cod species (genus *Pseudophycis*) in the diet of Australian fur seals (*Arctocephalus pusillus doriferus*). Can. J. Fish. Aquat. Sci., 68: 1732–1743.
- Kim I.S., Y. Choi, C.L. Lee, Y.J. Lee, B.J. Kim and J.H. Kim, 2005. Illustrated Book of Korean Fishes, Kyo-Hak Publishing Co., 615 P.
- Kim, M. J, H. S. An and K. H. Choi, 2010. Genetic characteristics of Pacific cod populations in Korea based on microsatellite markers. Fisheries Science 76: 595–603.
- Latour, R. J, 2005. Tagging methods and associated data analysis. FAO FISHERIES TECHNICAL PAPER, 474, p.45.
- Lee, T.W. and J.S. Byun, 1996. Microstructural growth in otolith of conger eel (*conger myriaster*) leptocephali during the metamorphic stage.. Marine Biology. 125: 259–268.
- Lee, T.W. and K.S. Lee, 1989. Daily growth increments and lunar pattern in otolith of eel, *Anguilla japonica*, in in the fresh water. Bull Korean Fish Soc., 22: 36–40.
- Methling C, C. Tudorache, P. V. Skov, and J. F. Steffensen, 2011. Pop Up Satellite Tags Impair Swimming Performance and Energetics of the European Eel (*Anguilla anguilla*). PLoS ONE 6(6): e20797.
- Miller K. M., K. D. Le, T. D. Beacham, 2000. Development of tri- and tetranucleotide repeat microsatellite loci in Atlantic cod (*Gadus morhua*). Mol Ecol. 2: 238–239.
- Musyl, M. K., and L. M. McNaughton, 2007. "Report on pop-up satellite archival tag (PSAT) Operations." Conducted on Sailfish, *Istiophorus platypterus* by Research

- Scientists of the Fisheries Research Institute, Eastern Marine Biology Research Center, and Institute of Oceanography, College of Science, National Taiwan University, 6-7.
- Musyl, M. K., M. L. Domeier, N. Nasby-Lucas, R. W. Brill, L. M. McNaughton, J. Y. Swimmer, M. S. Lutcavage, S. G. Wilson, B. Galuardi, and J. B. Liddle, 2011. Performance of pop-up satellite archival tags. *Marine Ecology Progress Series*, 433: 1-28.
- 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.
- Økland, F., E. B. Thorstad, H. Westerberg, K. Aarestrup, and J. D. Metcalfe, 2013. Development and testing of attachment methods for pop-up satellite archival transmitters in European eel. *Animal Biotelemetry*, 1(3). DOI:10.1186/2050-3385-1-3
- O'Reilly, P. T., M. F. Canino, K. M. Bailey and P. Bentzen, 2000. Isolation of twenty low stutter di- and tetranucleotide microsatellites for population analyses of walleye pollock and other gadoids. *Journal of fish biology* 56: 1074-1086.
- Pannella, G., 1971. Daily growth layers and periodical patterns. *Science (wash., DC)*, 173: 1124-1127.
- Sakurai and Hattori. 1996. Reproductive behaviour of Pacific cod in captivity. *Fisheries Science*, 62: 222-228.
- Seo Y.I., J.I. Kim, T. Y. Oh, S. K. Lee, J. H. Park, H. Y. Kim and E. S. Cho, 2010. The Pulation Structure of the Pacific Cod (*Gadus macrocephalus* Tilesius) Based on Mitochondrial DNA Sequences. *Journal of Life Science* 20(3):336-344.
- Sound, P. W., 2006. Biotelemetry options for tracking and monitoring marine organisms in Prince William Sound and the Copper River delta region. *Biotelemetry*.
- Stroganov A. N., M. E. Buryakova, A. M. Orlov and K. I. Afanas'ev, 2009. Variability of DNA Microsatellite Loci in Populations of Pacific Cod *Gadus macrocephalus* Tilesius (Gadidae). *Moscow University Biological Sciences Bulletin* 65(2): 74 - 77.
- Thomas P. Hurst, Daniel W. Cooper, Joel S. Scheingross, Erin M. Seale, Benjamin J. Laurel and Mara L. Spencer. 2009. Effects of ontogeny, temperature, and light on vertical movements of larval Pacific cod (*Gadus macrocephalus*). *Fisheries Oceanography*, 18:5, 301-311.
- Thorsteinsson, V., 2002. Tagging methods for stock assessment and research in fisheries. Report of concerted action FAIR CT, 96, p.179.

- 국립수산과학원 대구 광역과학위원회. 2015. 대구 자원회복 권고안.
- 곽우석, 2010, 진해만에 산란회유한 대구 *Gadus macrocephalus*의 포란수. 한국어류학회지, 22(2): 121-125.
- 곽우석, 최병언, 이소광, 2012. 진해만 대구의 부화일 및 초기 성장에 관한 연구. 한국어류학회지, 24(2): 110-117.
- 김태진, 박충열, 이소광, 곽우석. 2007. 대구(*Gadus macrocephalus*)의 난 발생 및 자어 형태 발달.
- 서영석, 박무역, 김진각, 이상욱. 2007. 한국 동해계군 대구(*Gadus macrocephalus*)의 난발생과 자치어의 성장. 한국수산학회지, 40(6): 380-386.
- 오승용, 박홍식, 노충환. 2010. 대구 *Gadus macrocephalus* 치어의 암모니아 배설에 미치는 수온의 영향. 한국어류학회지 22(3): 147-153.
- 오승용, 박홍식, 김종관. 2010. 대구 *Gadus macrocephalus* 치어의 산소 소비율에 미치는 수온과 광주기의 영향. Ocean and Polar Research 32(3): 229-236.
- 이소광, 박경대, 곽우석. 2009. 대구(*Gadus macrocephalus*) 수정란 방류 시 부착기질과 저질의 영향. 한국수산학회지, 42(1): 63-67.
- 이정용, 이채성, 김완기, 박상언, 민병화, 2007. 태평양 대구 *Gadus macrocephalus* 채란, 부화 및 자어 성장에 미치는 수온의 영향. 한국양식학회지, 20(4): 260-264.
- 이정훈, 김정년, 남기문, 김창원, 김주일. 2014. 동해 진해만에서의 자어 분포 및 중요성. 한국어류학회지, 26(2): 133-138.
- 이채성, 허영희, 이정용, 김완기, 홍승현, 황선재, 최수하. 2005. 한국 동해안 대구(*Gadus macrocephalus*)의 성숙과 산란. 한국수산학회지, 38(4): 245-250.
- 최영용, 박홍식, 오승용. 2011. 사육밀도와 먹이 공급 횟수가 대구 *Gadus macrocephalus*의 성장에 미치는 영향. 한국수산과학회지, 44(1): 58-63.
- 황강석, 최일수, 정석근, 2012. 표지방류 조사를 통한 거제 외포 주변해역 대구(*Gadus macrocephalus*) 자원량과 어획사망률 추정. 한국수산과학회지, 45(5): 499-506.

## 주 의

1. 이 보고서는 한국해양과학기술원에서 수행한 주요사업의 연구결과보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 한국해양과학기술원에서 수행한 주요사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안됩니다.