

최 중
연구보고서

**제주도 주변해역의 멸치 난치자어
수송기구에 관한 연구**

Studies on the Transportation Mechanism of the Eggs
and Larvae of Anchovy in the Surrounding
Sea of Jeju Island

2004. 7

주관연구기관 : 제주대학교

해 양 수 산 부

제 출 문

해양수산부 장관 귀하

본 보고서를 “제주도 주변해역의 멸치 난치자어 수송기구에 관한 연구” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2004 년 7 월 일

주관연구기관명 : 제주대학교

총괄연구책임자 : 노 홍 길

세부연구책임자 : 고 유 봉

연 구 원 : 김 상 현

연 구 원 : 고 준 철

연 구 원 : 이 승 종

연 구 원 : 김 대 협

연 구 원 : 김 종 진

연 구 원 : 김 상 현

연 구 원 : 곽 재 환

협동연구기관명 : 제주도수산자원연구소

협동연구책임자 : 홍 성 완

요 약 문

I. 제 목

제주도 주변해역의 멸치 난치자어 수송기구에 관한 연구

II. 연구개발의 목적 및 중요성

1990년대 농업생산량 증가율은 약 0.78%이며 인구증가율은 약 1.45%이므로 앞으로 식량자원의 부족은 점점 더 심화될 전망이다. 그러므로 부족한 식량자원 문제를 해결하는 방안으로 해양식량자원의 적극적인 활용에 큰 기대를 갖고 있는 실정이다. 그러므로 해양식량자원의 중요성은 21C의 인류생존전략과 맞물려 그 가치의 중요성을 아무리 강조해도 지나침이 없을 정도이다. 그러나 현재와 같은 해양식량자원 관리가 지속된다면 2010년이 되면 해양식량자원 수요는 11,000만톤 내지 12,000만톤 정도가 되지만 공급량은 9,000만톤(직접식용으로 사용할 수 없는 어획량을 제외한 양)에 불과하므로 해양식량자원도 2,000만톤 내지 3,000만톤 부족하게 될 전망이다. 그러므로 수산자원의 적극적인 증대방안강구는 세계적인 증대 과제중의 하나이다. 이러한 관점에서 우리나라가 연근해역의 고갈되어 있는 자원량을 바다가 수용 가능한 최대의 수준까지 회복시키는 대책수립은 사회적 불안요인으로 대두되고 있는 수산문제 치유의 근본대책이 되며 앞으로 예상되는 수산물 수급불균형에서 야기될 세계적인 수산식량 쟁탈전쟁에 대비하는 비전 있는 국가정책이 될 것으로 믿어 의심치 않는다. 또 수산자원 증대대책은 우리나라 문제뿐만 아니고 일본, 중국 등의 인접국가간의 협력체계구축과 우리나라의 신뢰도 평가와도 관련된 국가적 체면이 걸려있는 문화국민으로써 취해야할 최소한의 예의이다. 특히 산란장 및 치자어 생육장은 대부분 연안역에 분포하고 있으므로 본 연구수행결과에 의해 규명될 내용들을 근거로 연안역 환경보호 문제나 부정어업단속, 연안역 관리체계의 과학화의 필요성을 제시한다면 어촌사회의 의식구조 개혁이나 자율관리어촌운동을 가속화시키는 데에도 크게 기여할 것으로 판단된다.

따라서 우리 나라에서는 처음으로 실시되는 본 연구를 통하여 제주도 주변역의 난치자어의 이동기작, 산란장의 위치, 연안역 및 외해역의 경계인 전선역 부근의 난치자어 분포상태, 수평 및 수직적 물질수송 등을 규명하는 연구는 중요 경제성 어종의 자원량 변화 예측이나 합리적인 관리방안모색 및 적정어획량 산정 등과 같은 앞으로 추진할 자원관리형 어업체계 구축의

근간이 되며 이와 같은 합리적인 수산정책수립은 경제적 및 산업적 면에 크게 기여 할 뿐만 아니라 침체된 우리나라 수산업재건의 계기가 되리라 판단된다.

Ⅲ. 연구개발 내용 및 범위

1. 제주해협 및 인접해역의 해양학적 특성 파악

1) 기존자료정리

- (1) 연구대상해역인 제주도 주변해역에 대한 국립수산진흥원, 한국해양연구원, 한국해양조사원, 제주대학교 해양과학대학 등의 국내 자료 수집
- (2) 일본 및 중국 등의 관련자료 수집

2) 제주도 주변해역에 대한 해양학적 특성조사

- (1) 기존 자료를 인용한 제주도 주변해역의 해양학적특성 파악
- (2) 제주대학교 실습선 아라호(990톤)를 이용한 제주도 주변 30마일 범위의 광역 해양조사
- (3) 제주대학교 해양연구소 조사선 아라2호(15톤)와 소형어선을 이용하여 멸치 난치자어가 집중 출현할 것으로 예상되는 춘·하계를 중심으로 제주해협의 전선역에 정선을 설정하여 정밀 해양환경조사.

3) 멸치 난치자어의 수송과 관련되는 연안수 조사

- (1) 제주도 주변해역에 출현하는 한국남해안 연안수, 중국대륙연안수 등의 특성 분석 및 이들 수괴의 난치자어의 수송에 미치는 영향분석

2. 멸치 난치자어 분포조사

1) 멸치 난치자어 채집조사

- (1) 제주대학교 실습선을 이용한 제주도 주변 해역의 주요 어종에 대한 산란장 및 난치자어 분포에 대한 광역조사
- (2) 아라2호 및 소형어선을 이용한 제주해협에 설정한 정선에 대한 시기별 난치자어 출현 및 분포특성 조사

2) 멸치 난치자어 미세분포 및 생물환경 조사

- (1) 수평적,수직적 미세 단위 채집을 통한 멸치 난치자어의 패치분포 조사

3) 멸치 난치자어의 분포와 생물환경요인과의 관계

- (1) Chlorophyll 분포와의 관계조사
- (2) 동물성 플랑크톤 생물량 조사
- (2) 먹이원의 분포와의 관계조사
- (3) 포식자의 분포와의 관계조사

3. 해수유동조사

- 1) 멸치난치자어 수송기구를 파악 할 수 있는 오일러식 및 라그랑지식 해수유동조사
- 2) TGPS Buoy를 이용한 탁월풍이 해수유동에 미치는 단기적인 영향조사
- 3) TGPS Buoy, 소형 Drogue, 해류병 등을 이용한 해수확산 실험

IV. 연구개발 결과

1. 제주도 주변해역에 산란을 위해 내유해 오는 멸치 친어의 산란시기는 5월말부터 10월 중순까지로 이때의 수온, 염분범위는 각각 14.8~27.2℃ · 26.0~33.6psu였으며 산란이 집중적으로 이루어지는 시기는 7~8월이었고 이때의 수온, 염분범위는 지역에 따라 약간 차는 있지만 21.7~27.2℃, 26.0~32.2psu로 고수온, 저염분이 출현하는 시기였다. 그러나 염분의 경우 28.0psu 이하에서는 멸치 자치어들이 대부분 분포하지 않았다는 보고도 있으므로 제주도 주변해역에 출현하는 28.0psu 이하의 중국대륙연안수는 멸치 치어의 생산에 제한적 요인이 될 수 있다.

2. 멸치 친어의 주 산란장은 제주도 북부, 동·서부 연안역, 추자도, 보길도, 청산도 및 초도를 비롯한 제주해협 북부 및 그 인접해역의 섬 주변 수심 50m이천의 연안역이며, 멸치 치어는 산란장보다 외해쪽인 추자도, 장수도, 여서도 를 잇는 전선역 보근과 거문도 주변에 집중적으로 분포했다.

3. 멸치 난치어의 분포밀도가 높게 나타나는 제주해협 북부 연안해역의 부유물질 농도는 난의 경우 12.0~18.0mg/ℓ, 치어는 10.0~19.0mg/ℓ로 난은 부유물질 함량이 높은 남해 연안수의 영향을 받는 해역에 주로 출현하였고, 치어는 농도가 높은 연안역 뿐만 아니라 농도가 낮은 외해역을 포함한 넓은 해역에 분포하는 경향을 보였고 용존산소 역시 난의 경우 5.40~6.80mg/ℓ로 용존산소 함량이 높은 연안역에 주로 분포하며, 치어는 4.20~6.40mg/ℓ로 남해 연안역을 비롯하여 비교적 용존산소 함량이 낮은 외해역까지 광범위하게 분포하였다.

4. 멸치 난 중 I 단계 난들은 외양역(E, F, H해역)에 비해 청산도 주변역(J해역), 제주해협 남서부역(C해역) 그리고 추자도 부근의 제주해협 북서부역(A해역)에서 높은 비율(50%이상)을 차지하며 고밀도로 출현하고 있어서 이 해역들이 멸치들의 주산란장이 되고 있었다. 또한 부화 직전의 III단계 난인 경우는 전반적으로 연구해역의 동쪽방향으로 갈수록 출현율이 증가하는 경향을 나타내고 있었다.

5. 멸치 자치어들은 주로 20m 이천에서 고밀도로 출현하고 있으며 특히 자치어가 가장 많이

출현한 2001년 7월의 경우 제주해협 북부역(A, B해역)에서 높은 출현밀도를 보이고 있었다. 해역별 체급조성을 살펴보면 제주해협내 서부역(A, C해역)에 비해 동부역(B, D해역)에서 10.0mm TL 이상 개체들의 출현율이 높게 나타나고 있었다. 또한 전반적으로 시기가 지날수록 연구해역내에 비교적 크기가 큰 개체들의 출현율이 증가하고 있었다.

6. 조사해역내 엽록소 a 농도는 외해에 비해 연안역 부근에서 높은 농도를 보인 반면에 요각류와 화살벌레류와 같은 동물플랑크톤 현존량은 상대적으로 빈약하게 나타나고 있었다.

7. 멸치 자치어의 체측근과 지느러미의 발달과정을 조사한 결과 약 14.0~15.0mm TL 체급 이후부터는 제주해협 내에서 멸치 자치어들이 지속유영과 돌발유영과 같은 유영능력이 현저히 증가하고 있다고 예상되었다.

8. 제주해협 및 그 인접해역은 제주도 북부 외해역에는 북동방향의 향류가 계절에 관계없이 존재하며 제주도 북부 7mile 이내의 연안역은 동 내지 남동류, 서부 연안역은 북동류, 동부 연안역은 남서류, 제주해협 북부 연안역에는 남동류, 추자도 동부 및 장수도, 여서도를 잇는 선 주변의 전선역과 거문도 서부 및 남부해역에는 동 내지 남동류가 있고 제주도 동부 외해역에는 대마난류가 북상하여 우도 동쪽에서 북동방향으로 유향을 바꾸어 거문도 남쪽해역을 지나 한국 남해로 흘러가고 이 대마난류와 거문도 남쪽을 지나 유출되는 해협내의 해수가 합류하여 대마난류의 좌측을 따라 한국 남해로 이동한다. 또 우도 주변에서 북동으로 방향을 바꾸는 대마난류의 일부가 우도 북부해역에서 해협내로 설상으로 삼입되어 해협내의 유향을 복잡하게 만들고 있다.

9. 제주해협내의 향류 유속범위는 계절이나 지역에 따라 약간씩 차가 있지만 0.2~0.7knot 정도이고 제주도 북동부 연안역과 여서도 및 거문도 남부해역의 유속이 해협내의 다른 해역보다 향류 유속이 빠르다. 제주도 주변해역의 멸치 난치어의 수송은 기본적으로 이 향류 패턴에 의해 지배되므로 제주도 북부 연안 및 동부해역을 제외하면 해협내의 향류에 의해 멸치 난치어가 산란장에서 전선역으로 집적되고 이 전선역에 집적된 난치어는 동 내지 남동쪽으로 수송되어 주로 거문도 남쪽해역으로 운반되어 이 해역에서 마주치는 대마난류의 좌측을 따라 한국 남해 연안역으로 수송된다. 한편 제주도 서부 및 북부 연안역에 산란된 난치어의 일부는 제주도 북부 연안역의 동류 내지 남동류 및 제주도 동부연안 남서반류에 의해 표선부근까지 운반된 후 이 해역에서 제주도 남쪽에서 북상하는 대마난류의 좌측을 따라 우도 북부해역을 거쳐 거문도 남쪽으로 운반된다.

10. 제주해협내의 조석주기에 따른 TGPS Buoy 이동양상을 보면, 소조기때는 썰물에 의한 동쪽방향의 이동은 뚜렷하지만 밀물에 의한 서쪽방향의 이동은 매우 약해 거의 정체하거나 아주 짧은 거리만 이동했다. 그러나 대조기때는 썰물과 밀물의 영향 때문에 동·서방향의 이동이 뚜렷하게 나타났다. 그러므로 제주해협내에서는 지역에 따른 차는 있지만 소조기의 밀물때는 0.5~3.6mile 범위를 서쪽방향으로 이동하고 썰물때는 1.6~7.8mile 범위를 동쪽방향으로 이동했으며 대조기의 밀물때는 2.0~5.3mile 범위를 서쪽방향으로 이동했고 썰물때는 4.5~6.2mile 범위를 동쪽방향으로 이동했다.

11. 제주도 주변해역에서 산란된 치어가 거문도 부근해역까지 수송되었을 때 약 5~9mm정도가 되며 이러한 치어가 대마난류 좌측을 따라 소리도 및 육지도 부근의 한국 남해 연안역으로 수송되면 대체로 15~20mm의 치어가 될 수 있다. 그러므로 제주도 주변해역은 한국 남해 연안역에 15~20mm 치어를 공급하는 주요해역이 된다.

V. 연구개발결과의 활용방안

- 멸치 자원량 증대 및 합리적 관리방안 모색
- 멸치 난치자어의 수송과 연계된 물질수송 및 오염물질 이동경로의 예측
- 멸치에 대한 초기 생활사의 연구
- 제주도 주변해역의 해양환경연구
- 치어방류사업의 효과향상 방안도출
- 어·해황예보의 정도향상 대책 수립
- 조난선박의 인명구조 및 수색 방법 도출
- 수산해양학, 해양학, 생물학 등의 관련 학문분야 연구
- 수산자원조성, 관리, 변동, 생활사 등과 같은 수산자원 연구의 기초자료 제공
- 수산업의 과학과 및 종묘 방류사업의 효과증대, TAC제도의 정착 등을 통한 경제적 이익 창출
- 오염물질 확산경로 추정 및 과학적 해난사고 수습대책 제시 등이 가능

S U M M A R Y

1. The spawning season of anchovy begins at the end of May and runs till mid-October, when the water temperature is between 14.8~27.2°C and salinity is between 26.0~33.6psu. The main spawning season is concentrated between July and August, when the water temperature is between 21.7~27.2°C and salinity is between 26.0~32.2psu. However, according to some reports there were little distribution of anchovy larvae when salinity was below 28.0psu. The China Coastal Water of below 28.0psu appear to affect the surrounding sea of Jeju Island and can be a restrictive factor in survival of anchovy larvae.

2. The main spawning grounds of anchovy are coastal areas below 50m around the islands of the northern part of the Jeju Strait and neighboring sea areas of Jeju-do, Chuja-do, Bogil-do, Cheongsan-do and Cho-do. The larvae of anchovy are intensively distributed around the fronts between Chuja-do, Jangsu-do, Yeoseo-do and in the open sea rather than the spawning grounds.

3. For concentration of SS in the area of sea on the northern coast of the Jeju Strait with high density of anchovy eggs and larvae, the eggs between 12.0mg/ℓ ~18.0mg/ℓ were mainly observed in the sea area affected by coastal water of the southern sea with the high content of SS while the larvae between 10.0mg/ℓ ~19.0mg/ℓ tended to be distributed in a wide sea area including an open sea area with high concentration; for DO, the eggs between 5.40mg/ℓ ~6.80mg/ℓ were observed in a coastal area with the high content of dissolved water while the larvae between 4.20mg/ℓ ~6.40mg/ℓ were widely distributed from the coastal area of the southern sea to even an open sea area with the relatively low content of dissolved water.

4. High densities of the early developmental stage eggs occurred in the vicinity of Chongsan Island(Area J), from the southwestern part of Jeju Strait adjacent to the northwest coast of Jeju Island(Area C) and also in the northwestern part of Jeju Strait in the vicinity of Chuja Island(Area A), respectively. Therefore, it was found out that these areas are becoming main spawning grounds of anchovy in this study area. During the survey period, the proportion of the late developmental stage eggs was higher in the eastern part of study area than in the western.

5. Anchovy larvae were concentrated at the 10m and 20m depths. Specially, densities of larvae were markedly high in the northern part of Jeju Strait(Area A, B) than the other sea areas. The proportions of larvae whose total length is longer than 10.0mm and 20.0mm

were high in the eastern part(Area B, D) than in the western part of Jeju Strait(Area A, C).

6. Chlorophyll *a* concentration was high in the coastal waters and in the vicinity of Islands, on the other hand, zooplankton abundance such as copepod, sagitta was low in this area during the survey period.

7. Through the developmental process of white and red muscle fiber types of trunk musculature and the developmental characters of fins in the anchovy larvae, increase in sustained and burst swimming ability at least beyond 14.0~15.0mm TL.

8. The northern sea area of Jeju Island exhibits a northeastward current regardless of season; the coastal sea area within seven miles from the northern part of Jeju-do exhibits a southeastward current, the western coastal sea area exhibits a northeastward current, the eastern coastal sea area exhibits a southwestward current, the northern coastal sea area of the Jeju Strait exhibits a southeastward current, or southeastward current in western and southern sea areas of Geomun-do and around the fronts eastern Chuja-do, Jangsu-do, and Yeoseo-do. The Tsushima Warm Current moving northward in western and southern sea areas, changing its direction to northeastward at east of Udo, and then passing the southern sea area of Geomun-do into the South Sea of Korea. This Tsushima Warm Current joins the sea water within the strait, which passes the southern part of Geomun-do, moves into the South Sea of Korea along the left side of the Tsushima Warm Current. A part of the Tsushima Warm Current that changes its direction toward the northeast around Udo moves from the northern sea area of Udo into the strait, thus making the current within the strait complex.

9. The current within the Jeju Strait is flowing between 0.2~0.7knot with some variations depending on the season or the area. The velocity of the current in the northeastern coastal area of Jeju-do and in the southern sea area of Geomun-do and Yeoseo-do is higher than that of the current in other sea areas. Since the transport of anchovy eggs and larvae in the area of sea around Jeju-do is fundamentally dominated by this current pattern, the anchovy eggs and larvae are transported from a spawning grounds to the fronts by the current within the strait except in the northern coast of Jeju-do and the eastern sea area where the eggs and larvae are transported toward the east or southeast principally to the southern sea area of Geomun-do and then to the coastal area of the South Sea of Korea along the left side of the Tsushima Warm Current confronted in this sea area. On the other hand, some eggs and larvae spawned in southern and northern coastal areas of Jeju-do are transported to the vicinity of Pyoseon by the southwestward counter-current in the eastern coast of Jeju-do or the eastward current in

the northern coastal area of Jeju-do and then pass the northern sea area of Udo along the left side of the Tsushima Warm Current moving north from southern Jeju-do in this sea area to southern Geomun-do.

10. TGPS Buoy movement correlates with the tidal cycle within the Jeju, Strait at spring tide, the movement toward the east by the ebb tide was remarkable while that toward west by the flood tide was very weak, almost stagnated or moving only a little. On the contrary, there was a remarkable movement toward both east and west due to the effect of flood and ebb tides at neap tide. Therefore, within the Jeju Strait the movement was 0.5~3.6miles toward west and 1.6~7.8miles toward the east by the flood tide, respectively. The buoy movement is 2.0~5.3miles towards the west during neap tide and 4.5~6.2miles toward the east at spring tide.

11. The larvae spawned in the sea area around Jeju-do grow to about 5~9mm while they are transported in the sea area around Geomun-do. They can grow up to 15~20mm when they are transported to the coastal area of the South Sea of Korea around Sori-do and Yokji-do by the left side of Tsushima Warm Current. For this reason, the sea area around Jeju-do is a prime sea in supplying larvae of 15~20mm in length to the coastal area of the South Sea of Korea.

CONTENTS

Chapter 1. Outline of research	15
Chapter 2. The recent status of technique and development	16
Chapter 3. The contents of this research	18
1. Section 1. Material and Method	18
1.1. Examination of oceanographic conditions and anchovy eggs and larvae in surrounding sea of Jeju Island	18
1.2. Examination of residual current in surrounding sea of Jeju Island	19
1.3. Biological examination	19
2. Section 2. Results	25
2.1. Relationship between oceanographic conditions and anchovy eggs and larvae in surrounding sea of Jeju Island	25
2.1.1 Horizontal distribution of temperature, salinity, eggs and larvae	25
2.1.2 Vertical distribution of temperature, salinity, eggs and larvae.....	53
2.1.3 Distribution of SS and anchovy eggs and larvae	77
2.1.4 Distribution of DO and anchovy eggs and larvae	87
2.1.5 Distribution of anchovy eggs and larvae by development stages	95
2.1.6 Distribution of chlorophyll a concentration and zooplankton	98
2.1.7 Examination of trunk musculature and fins in anchovy larvae	102
2.2. Characteristic of residual current in Jeju Strait by TGPS Buoy	107
2.2.1 Seasonal characteristic of residual current	107
2.2.2 Tidal characteristic of residual current	118
2.2.3 Local characteristic of residual current	136
2.3. Characteristic of residual current by current meter	138
2.4. Transportation Mechanism of the Eggs and Larvae of Anchovy in surrounding sea of Jeju Island	141

2.4.1. Schematic representation of current system in the Jeju Strait and its adjacent sea.....	141
2.4.2. Presumption of spawning ground	142
2.4.3. Presumption of nursery ground	143
Chapter 4. Object achievement and contribution	149
Chapter 5. Utilizing project of results	150
Reference	152

목 차

제 1 장 연구개발과제의 개요	15
제 2 장 국내외 기술개발 현황	16
1) 국내관련 연구현황	16
2) 국외관련 연구현황	16
제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과	18
1. 연구수행 방법	18
1.1. 제주도 주변해역의 해황 및 멸치 난치자어 분포조사	18
1.1.1 수온과 염분조사	18
1.1.2 부유물질 조사	19
1.1.3 용존산소 조사	19
1.2. 제주도 주변해역의 해수유동 조사	19
1.3. 생물학적 조사방법	19
2. 연구결과	25
2.1. 제주도 주변해역의 해황과 멸치 난치어 분포와의 관계	25
2.1.1 수온·염분 수평분포와 멸치 난치어 분포	25
2.1.1.1 광역조사 결과	25
2.1.1.2 추자도 주변해역 조사결과	29
2.1.1.3 거문도 주변해역 조사결과	42
2.1.2 수온·염분 연직분포와 멸치 난치어 분포	53
2.1.2.1 광역조사 결과	53
2.1.2.2 추자도 주변해역 조사결과	61
2.1.2.3 거문도 주변해역 조사결과	69
2.1.3 부유물질과 멸치 난치어 분포	77
2.1.4 용존산소와 멸치 난치어 분포	86
2.1.5 해역별 멸치 난·자치어 단계별 분포현황	95
2.1.5.1 난 발생단계별 분포	95
2.1.5.2 자치어 체급조성	97
2.1.6 엽록소a 및 동물플랑크톤 분포현황	98

2.1.6.1	제주해협 및 주변해역	98
2.1.6.1.1	해역별 엽록소a 분포	98
2.1.6.1.2	해역별 동물플랑크톤의 현존량	98
2.1.6.1.2.3	화살벌레류	99
2.1.6.2	제주해협 북부해역	100
2.1.6.2.1	월별 엽록소a 농도와 요각류 분포	100
2.1.6.3	제주해협 동부해역	101
2.1.6.3.1	월별 엽록소a 농도와 요각류 분포	101
2.1.7	자치어 유영력 형성체급	102
2.1.7.1	체측근 발달	102
2.1.7.1.1	총 섬유개수	103
2.1.7.1.2	총 횡단면적	103
2.1.7.2	체급별 지느러미 발달	104
2.1.7.2.1	지느러미 원기 및 줄기수 변화	105
2.1.7.2.2	꼬리지느러미의 외부형태 변화	106
2.2	TGPS Buoy에 의한 제주해협의 해수유동특성	107
2.2.1	계절별 해수유동특성	107
2.2.1.1	춘계	107
2.2.1.2	하계	107
2.2.1.3	추계	111
2.2.1.4	동계	113
2.2.2	조석대별 해수유동특성	118
2.2.2.1	제주도 북부해역	118
2.2.2.2	제주해협 북부	125
2.2.2.3	제주도 서부 연안역	131
2.2.3	국지적 해수유동특성	136
2.2.3.1	제주도 동부 연안역의 연안반류 특성	136
2.3	해류계 Mooring에 의한 해수유동특성	138
2.3.1	장수도 주변해역	138
2.3.2	거문도 주변해역	138
2.4	제주도 주변해역의 멸치 난치어 수송기구	141
2.4.1	제주해협 및 그 인접해역의 향류 모식도	141
2.4.2	멸치 산란장의 추정	142
2.4.3	멸치 치어 성육장	143

제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도	149
제 5 장 연구개발결과의 활용계획	150
참고문헌	152

제 1 장 연구개발과제의 개요

어류의 생활사 중 난·치자기의 감모율이 가장 높으므로 이 시기의 생존율(生殘率)은 차후 그 생물의 자원량 변화와 직결되는 사항으로, 이와 같은 난·치자기의 생존율 변화에 영향을 주는 환경적 요인은 여러 가지 있겠지만 그 중에서 산란장, 치자성육장의 환경조건의 양부(良否)가 가장 중요한 요인이 될 수 있다. 그러나 이 시기의 특성 중 하나가 유영능력이 없거나 약하므로 자력으로 알맞은 환경을 찾아 이동하지 못하고 결국 주변해역의 해수거동에 의해 수동적으로 난·치자기의 서식장이 결정되고 있다. 그러므로 난·치자기에 주변해역의 밀도분포, 해수유동, 탁월풍의 방향 등은 난·치자를 어떠한 환경에서 생활할 수 있는가를 결정하는 요인이 되며 이것은 바로 난·치자의 생존율에 지대한 영향을 미쳐 해양생물의 생산성을 좌우하는 기본적인 문제가 되고 있다. 이처럼 난·치자를 어디로 운반할 것인가를 다루는 수송문제는 자원량과 그 변동을 해명하는 핵심적인 요소인데도 불구하고 이 영역 연구의 어려움 때문에 지금까지 그 중요성은 인식하면서 깊은 연구가 이루어지지 않고 있는 실정이다. 또한 초기감모가 일어나는 난·치자의 수송기작을 명확하게 파악하기 위해서는 산란후 수일에서 수십일까지에 걸쳐 미세한 시간스케일로 산란장주변의 국소적인 유향변동과 난·치자의 공간분포를 알 필요가 있지만 이와 같은 실측자료는 지금까지 국외적으로도 많지 않아 이러한 영역의 구체적 연구가 초보단계에 머물러 있고 국내적으로는 거의 이루어지지 않은 실정이다.

특히 제주도 주변해역은 쿠로시오에서 분기된 대마난류수, 황해난류수 및 혼합수 계열의 고온·고염분수와 황해역에 중심이 있는 황해냉수, 황해저층냉수의 저온·저염의 냉수계수, 그리고 한국남해안연안수, 양자강유출수 등 연안계수가 시기별, 계절별로 영향을 미침으로써 우리나라 연근해에 래유하는 여러 중요어종(조기, 갈치, 고등어, 전갱이, 오징어 등)의 산란장 및 서식장이 되고 있으므로 국내 어느 해역보다도 자원생물학적 가치가 높은 지역으로 인정받고 있어 이 해역을 중심으로 한 난·치자 수송기구의 연구는 바로 우리나라 연근해 해양생물자원의 변동기구 해명의 핵심과제가 되며, 우리나라 주변해역의 자원조성 및 관리의 과학화를 위하여 반드시 규명되어야 할 중점과제이다.

이상 지적한 난·치자수송문제가 자원량 변동에 중대한 영향을 미치는 데도 우리나라의 경우 지금까지 거의 연구가 이루어지지 않았던 점과 제주도 주변해역이 이 문제 연구에 알맞은 해역이라는 점을 고려한다면 때늦은 감은 있지만 이 과제를 체계적으로 풀어나가는 기초적 연구가 수행되어 거의 바닥 상태까지 고갈되어 있는 우리나라 연근해역의 자원량을 증대시키는 방안을 찾는 것이 시급하다. 따라서 본 연구는 초기감모에 영향을 끼치는 물리 및 생물환경 상호작용에 중점을 두면서 제주도 주변해역의 멀치 난·치자에 대한 세부적인 정성적, 정량적인 분포 지도를 마련함과 동시에 제주도 주변해역의 세부적인 향류패턴을 규명하여 멀치 난·치자의 수송기구를 구체적으로 밝히고자 했다.

제 2 장 국내외 기술개발 현황

1) 국내관련 연구현황

국내에서의 경우 주로 난·치자어의 특정해역별 분포상(유 등, 1990; 김, 1999), 특정종의 형태학적 검토(명 등, 1989; 명·김, 1993a; 김·유, 2000), 치자어 군집의 생태학적 연구(한, 1987; 고 등, 1991), 치자어기의 식성조사(이·허, 1989; 허·곽, 1999) 등 그리고 유용수산자원에 해당하는 어종의 난·치자어시기에 관한 연구로는 주로 멸치(김, 1983; 김·최, 1988; 김·김, 1991; 김·김; 1993; 이등, 1996; 추·김;1998), 정어리(김 등, 1994), 까나리(한 등, 1999)등에 주로 중점을 두고 연구가 진행되고 있으며 해양물리적 환경과 난·치자의 수송기작에 대한 구체적인 연구는 전무한 실정이다.

특히 제주도 주변해역에서의 난·치자어 수송에 관한 국내에서의 직접적인 연구는 거의 없으나 이 과제와 관련된 연구로는 제주도 주변해역의 일반적인 해양환경, 수괴분포 상태를 비롯한 대마난류, 황해난류, 중국대륙연안수의 이동상황 등에 관한 연구가 어느 정도 이루어져 있고 유용어종의 난·치자어에 관한 연구들도 대부분 일반적인 분포양상을 파악하는 초보단계의 수준이며, 최근에 멸치에 관해서는 여러 환경요인들과 결부한 분포양상이나 물리적 요인에 의한 수송기작을 밝히는 연구가 보고된 바 있으나 아직까지는 그 기초자료가 부족한 실정이다. 그러나 이들 연구의 수준이 일반적인 상황을 파악 할 수 있는 개괄적이고 거시적인 범주에 머물러 있으므로 난·치자 수송과 같은 구체적인 문제를 설명하기에는 미흡한 점이 많은 실정이다. 또한 생물학적 영역인 난·치자의 분류, 분포상태, 계절적인 양의 변화, 어종별 산란장, 부화기간 등에 대한 상세한 연구가 초보단계의 범주를 벗어나지 못한 부분이 많아 생물학적 측면의 연구도 시급한 실정에 있다.

2) 국외관련 연구현황

외국의 난·치자의 수송기구에 관한 연구는 1970년대까지는 물질수송·확산론의 연장선상에서 수송의 물리과정을 추구하는 것에 역점을 두었고 초기감모에 관한 생물학적 연구와의 연관성에 관해서는 불충분하였다. 1980년대에 들어서 연구의 학술적인 면이 크게 진전되어 섭이·피포식 등의 생물과정이나 치자어의 행동생태 등을 포함한 수송기작에 관한 연구가 진행되어 근래에까지 이러한 경향은 연구주체가 되고 있다. 연안해역의 해수순환이나 연안전선 등의 해양구조와 생물생산이 밀접하게 연관되고 있는 점을 고려한다면 초기감모에 영향을 끼치는 연안해양과정의 연구가 물리·생물상호작용의 해명을 지향하는 형태에서 전개되는 것은 당연하다 할 수 있겠다. 그리고 치자어의 생산, 가입과정에 관한 다양한 정보를 종합화하고 실험적 연구와 필드연구를 결합하여 수치모델이 다양한 형태로 도입되기 시작하는(Nakata *et al.*, 2000) 점도 최근의 특징이라 하겠다. 또한 정어리난과 같은 특정종을 대상으로 비중을 같게 하여 만든 인공난을 이용, 방류하여 단시일에 걸친 난의 수평분산과정을 추적(小林 等, 1997)하는 다채로운 연구도 시도되고 있다.

일본에서의 이 분야에 대한 연구를 좀더 구체적으로 설명해 보면, 중요 어종에 대한 산란조사가 거의 반세기에 걸쳐 계속되어 왔기 때문에 많은 어류의 난·치자 분포나 생태가 밝혀져 있어, 종에 따른 분포해역의 환경특성, 쿠로시오 등 해수의 유동에 의한 난·치자의 분산, 수송, 보급되는 양상, 치어기 이후의 군의 형성과 수괴간의 이동 등이 가입량 변동과 어떠한 관계가 있는가에 대한 논의가 상당한 수준까지 진전되어 있다(Nakai, 1960, 1962; 伸東, 1961; 淺見, 1962; 小達, 1962; 服部, 1964, 1965; 千田, 1964; 渡部, 1970; 山小坂·林, 1981; 平本, 1981; 小西, 1983).

이러한 생물연구자들로부터의 문제 제기와 더불어 1960년대 후반부터 해양물리 연구자들에 의한 난·치자의 수송, 확산, 보급기구에 관한 해양학적 연구가 정력적으로 실시되어 산란장과 성육장을 연결하는 운반과정으로 중요한 역할을 하는 쿠로시오의 수송, 확산기구에 관해 수척의 조사선에 의한 동시 정밀관측, 해류병 투하, 염료확산 실험을 행하여 그 결과를 해석함으로써 해수의 수송기능과 확산 기능의 증대 혹은 감소요인을 밝혔다(平野, 1965, 1969; 平野, 藤本; 1969, 1972; 中田, 1983). 한편 이 연구와 밀접한 관련이 있는 대마난류역에 관해서는 대마난류 개발조사(1953~1957)에 이어 동중국해역이나 우리나라 동해에 대한 중요자원의 보급기구의 연구가 이루어져 많은 연구업적이 쌓이게 되어 일본 규슈서방해역의 난·치자 수송에 관한 심포지엄이 개최(1976) 되기도 했다.

제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

1. 연구수행 방법

1.1. 제주도 주변해역의 해황 및 멸치 난치자어 분포조사

1.1.1 수온과 염분조사

1.1.1.1 2001년 제주도 주변해역 광역조사

멸치 난치어의 산란·성육·섭이장이 되고 있는 제주도 주변해역의 난치어 분포상태를 종합적으로 파악하기 위하여 제주대학교 실습선 아라호 (990Ton)를 이용하여 2001년 7월 16일~20일에 Fig. 1과 같은 관측점 (총 117 station)에 대한 수온, 염분(◆로 표시한 정점)을 CTD(Sea-Bird. Co. SBE-19)로 관측함과 더불어 부유물질, 용존산소, 난치어 채집 등을 동시에 실시하였다. 또 2002년 6월 12일~14일에는 Fig. 2와 같이 제주해협에 대한 (◆로 표시한 정점) 조사(총 48 station)를 2001년 7월 조사와 같은 방법으로 실시하였다. 이때 제주도 북쪽해역에는 여러 이질수괴들이 서로 상접하는 해역으로서 이들 수괴의 성질들을 더욱 세밀히 파악하기 위해 바둑판 형식의 조밀한 정점을 설정하였으며 제주도 남쪽해역은 비교적 균질한 수괴(대마난류수)의 영향을 받는 해역으로 정점간격을 넓게 한 방사형 형식의 정점을 설정하였다. 또한 제주해협내 Fig. 1의 단면 A~E를 설정하여 수온, 염분에 대한 연직분포 상황을 파악하였으며 수평, 연직분포에 있어 수온 0.2°C, 염분 0.2psu간격으로 나타냈다.

1.1.1.2 2002년 추자도 주변해역 조사

2001년 7월의 제주도 주변해역에 대한 광역조사 결과 추자도 주변해역에서 난치어가 집중적으로 채집되어 본 해역에 대한 해황특성을 정밀하게 파악하기 위해 2002년 5월 27일~29일, 6월 12일~14일, 7월 30일, 8월 26일, 9월 14일, 10월 30일, 11월 11일~14일 및 2003년 4월 9일~10일에 Fig. 3에 나타낸 추자도 주변해역의 정점(총 15 station)에서 소형선박(7ton)을 이용하여 CTD조사(◆로 표시한 정점)를 실시하였으며 추자도 서쪽의 단면 A, 보길도 남쪽의 단면 B, 보길도 남동부의 단면 C에 대한 연직해황을 분석하였다.

1.1.1.3 2003년 거문도 주변해역 조사

제주해협 동쪽에 위치한 여서도 부근 및 거문도 주변해역에 대한 해황특성을 상세히 파악하기 위해 2003년 6월 26일~27일, 8월 4일~6일, 8월 26일~27일 및 9월 29일~30일에 Fig.4에 나타낸 바와 같이 CTD관측정점(◆로 표시한 정점)을 설정하여 제주대학교 해양과환경연구소 소속 조사선 아라2호(17ton)를 이용하여 CTD(Sea-Bird. Co. SBE-19)에 의한 조사를 실시하였으며 여서도 동쪽의 단면 A, 거문도 서쪽의 단면 B, 거문도 동쪽의 단면 C에 대한 연직해황을 분석하였다.

1.1.2 부유물질 조사

광역조사, 추자도 및 거문도 주변 조사를 실시할 때 CTD관측점 중 (◆, ◇)와 같이 표시한 정점에서 부유물질(SS)조사도 병행했다. SS조사는 표층과 10m층의 해수 1ℓ를 채수하여 현장에서 glass microfibre filter(Whatman, 0.45 μ m)로 여과한 후 은박지에 싸서 냉동상태로 실험실에 운반하고 냉동 보관된 여과지를 건조기를 이용 105~110 $^{\circ}$ C에서 1시간 동안 건조시킨 후 테시케이터에 넣어 방냉한 다음 전자저울로 무게(mg)를 측정하였다. 부유물질의 양(K)은 여과 전(B)과 후(A)의 무게차이를 여과한 시료의 부피(V)로 나누어 계산하였다($K = (A-B)/V$).

1.1.3 용존산소 조사

광역조사, 추자도 주변해역 및 거문도해역의 CTD관측정점 중 (◆, ◇)와 같이 표시한 정점에서 용존산소(DO)측정도 병행했다. 용존산소 조사는 채수기를 이용하여 표층 및 10m층에서 채수된 해수를 현장에서 직독식 용존산소측정기(Model 550 DO-12)로 측정하였다.

1.2. 제주도 주변해역의 해수유동 조사

난치자의 수송기구를 해수유동 측면에서 규명하기 위해 기존에 제주해협에서 TGPS Buoy를 이용한 라그랑지식(Lagrangian method) 측류자료 (1996년 및 1997년)와 추자도 동쪽해역의 TGPS Buoy 추적자료(2002년 6월 20일~21일, 2002년 11월 29~12월 1일), 여서도 서쪽해역의 TGPS Buoy 추적자료(2003년 10월 30일~31일), 청산도와 거문도 사이의 TGPS Buoy 추적자료(2003년 12월 3일~4일), 제주도 서부연안역의 TGPS Buoy 추적자료(2002년 10월 4일~8일, 2003년 9월 16일~18일) 및 제주도 동부 연안역의 자료(2003년 9월 25일~26일)와 장수도 북부(2003년 10월 30일~31일) 및 거문도 북서부해역(2003년 12월 3일~4일)에서 해류계(RCM-7, 9)를 5m층에 Mooring하여 얻은 자료를 이용하여 분석하였다. 이상의 TGPS Buoy 투하위치 및 해류계 Mooring 위치를 Fig. 3, 4에 ★(TGPS Buoy 투하점)모양과 ☆(해류계 Mooring 위치) 모양으로 표시했다.

1.3. 생물학적 조사방법

멸치 난·자치어의 채집에 있어서 망목크기간 난·자치어 출현량의 차이를 알아보고자 망목 333 μ m과 505 μ m 두 개의 채집망이 부착된 봉고네트(망구직경 60cm)를 이용하였다. 채집은 각 수층을 2~3knot의 속도로 약 10분간 수평예망하여 실시하였다. 채집된 시료는 선상에서 5% 해수포르말린으로 고정시킨 후 실험실에서 멸치 난 및 자치어만을 분리, 계수하였다. 또 멸치 난·자치어의 분포밀도는 채집시에 네트입구에 부착시킨 유량계의 회전수에 의해 여과수량을 계산한 후 해수 1,000m³당 개체수로 환산하였다.

멸치 난은 난내 발생진행 상황에 따라 산란된 후 얼마 되지 않아 배체가 형성되지 않은 어란을 I 단계, 배체가 형성되어 있으나 미부가 난황에서 떨어져 있지 않은 어란을 II 단계, 미부가 난황과 떨어져 있는 부화 직전의 어란을 III 단계로 하는 등 총 3가지 단계로 구분하였다. 멸치 자치어인 경우에는 채집된 모든 개체에 대해 0.1mm 단위로 전장을 측정하였다.

이번 연구에서는 멸치 자치어의 유영력 형성시기를 알아보기 위해 2001년 7월 제주해협 내에서 봉고네트에 의해 채집된 약 640개체의 멸치 자치어를 실험에 사용하였다.

멸치 자치어의 지느러미 형성체급을 조사하기 위해 1.0 mm 범위로 멸치 자치어의 체급을 구분하였고, 각 체급별로 10~30개체씩을 무작위로 선택한 후 체급에 따른 등지느러미, 뒷지느러미, 배지느러미 원기 형성여부 및 줄기수를 계수하였다. 또한 꼬리지느러미인 경우에는 지느러미 외부형태의 발달변화를 관찰하였다.

체측근 발달상황을 조사하기 위한 시료는 전장범위 3.3~30.9 mm의 총 71개체의 멸치 자치어를 사용하였다. 시료는 통상 파라핀법에 의해 포매를 행하였고 절편제작시 근육의 횡단부위는 Fig. 5에서 보는 바와 같이 관찰의 통일성을 주기 위해 멸치 자치어의 뒷지느러미 후방부터 꼬리부분 이전까지의 미병부를 택하여 4~6 μm 두께로 절편을 제작하였다. 제작된 절편은 헤마톡실린-에오신으로 이중염색을 하여 근섬유들을 관찰하였다.

백색근과 적색근의 구분은 O'Connell(1981)의 북미산 멸치, *Engraulis mordax*의 체측근 발달에 관한 기재를 기본으로 하여 동정하였다. 각 근육의 총 섬유개수(total number of fibers) 측정은 광학현미경을 이용하여 직접 계수하였다. 각 근육의 횡단면적 측정을 위해서는 적색을 기준으로 한쪽 부분을 선택한 후 광학현미경에 장착된 디지털 카메라(OLYMPUS-DP10)를 이용하여 각 근육의 외곽선을 1 mm 간격의 눈금이 새겨진 방안지위에 도시하였다. 측정된 면적은 환산하여 실제면적으로 하였고, 이를 두배로 하여 총 횡단면적(total cross-sectioned area)으로 하였다. 또한 각각의 자료들을 최소제곱 회귀분석(Least Squares Regression) 방법으로 검사하였고, 구해진 각각의 회귀직선들은 $\log y = \log a + b \log x$ (y 는 각 근육들의 측정값, x 는 전장, a 와 b 는 상수)의 회귀직선식으로 표현하였다. 각 근육들에 대한 통계학적 분석은 통계프로그램 SPSS 10.0을 이용하였다.

동물플랑크톤은 봉고네트로 채집된 시료내에서 요각류와 화살벌레류 만을 따로 선별하여 각각의 개체수를 계수한 후 밀도(ind./m³)로 표시하였다. 클로로필 a 농도($\mu\text{g}/\ell$)는 채집 정점에 대해 각 수층의 해수를 채수기로 채수한 후 형광광도계(Tuner Designe, Model 10-AU)를 이용하여 측정하였다.

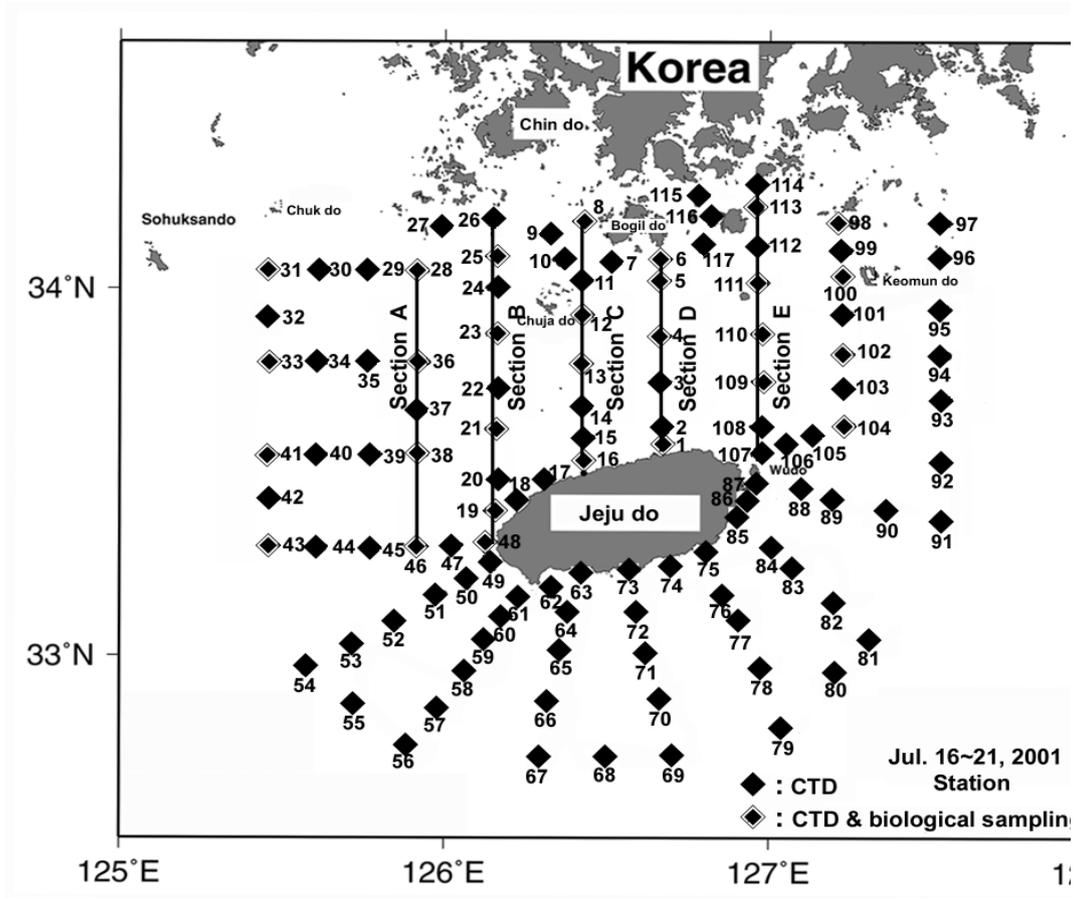


Fig. 1 Locations of oceanographic stations observed by the training ship of Cheju National University during Jul. 16~21, 2001.

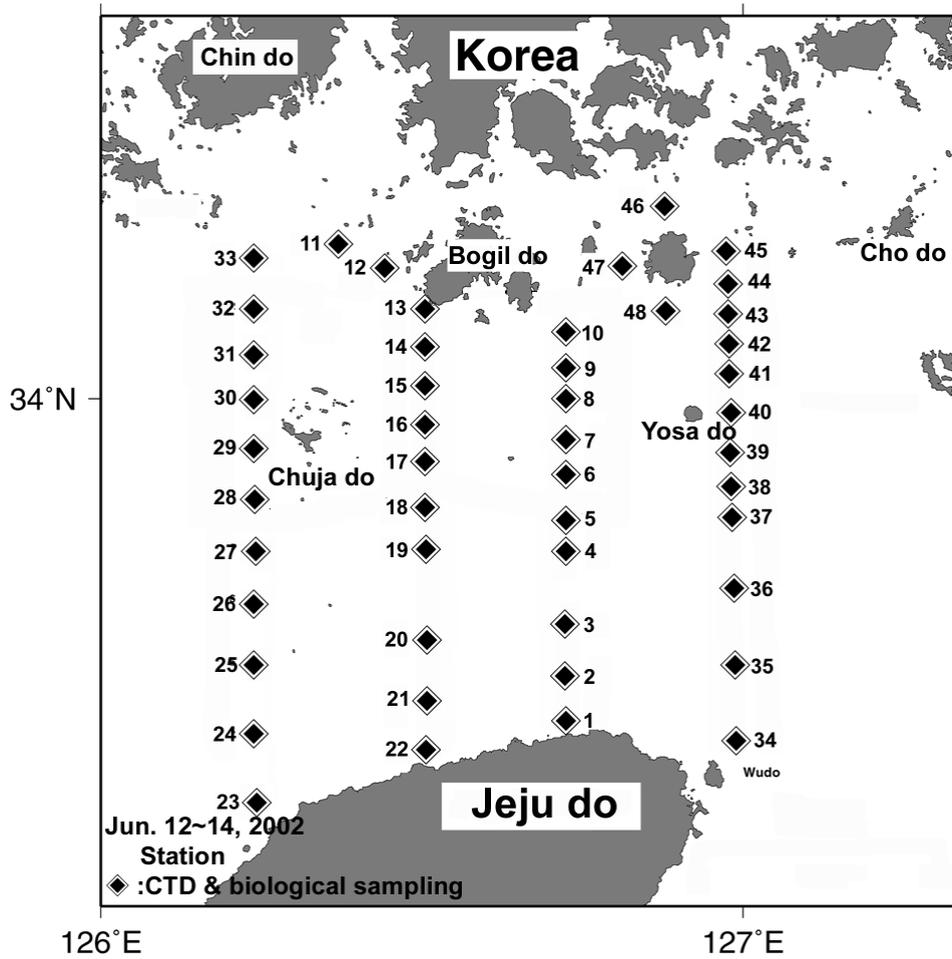


Fig. 2 Locations of oceanographic stations observed by the training ship of Cheju National University during Jun. 12~14, 2002.

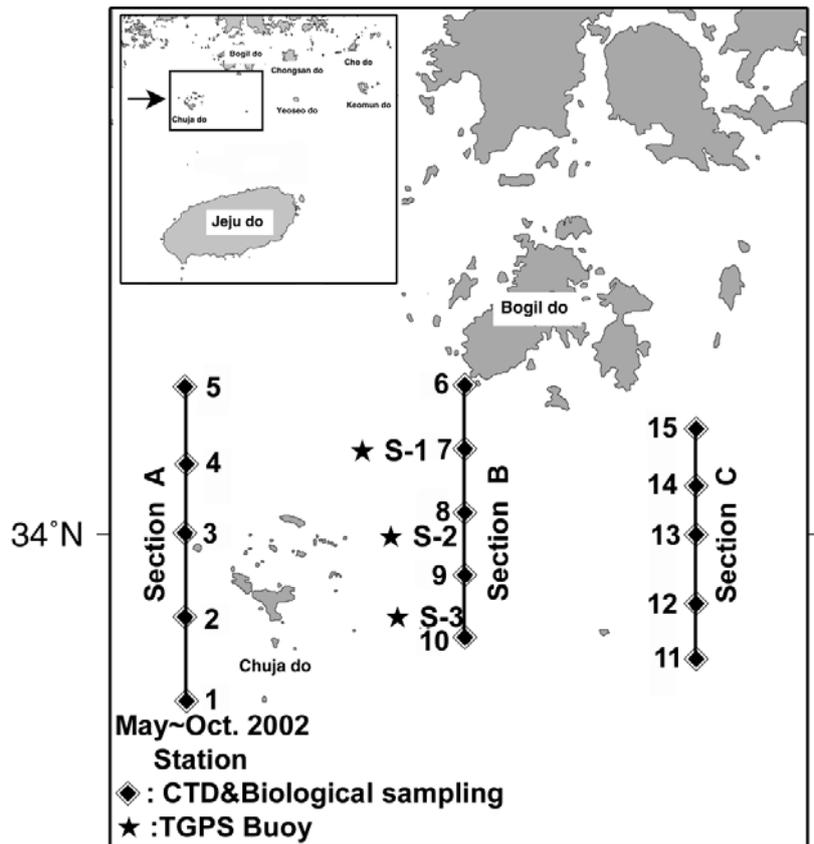


Fig. 3 Locations of oceanographic stations in surrounding sea of the Chuja-do during May~October, 2002.

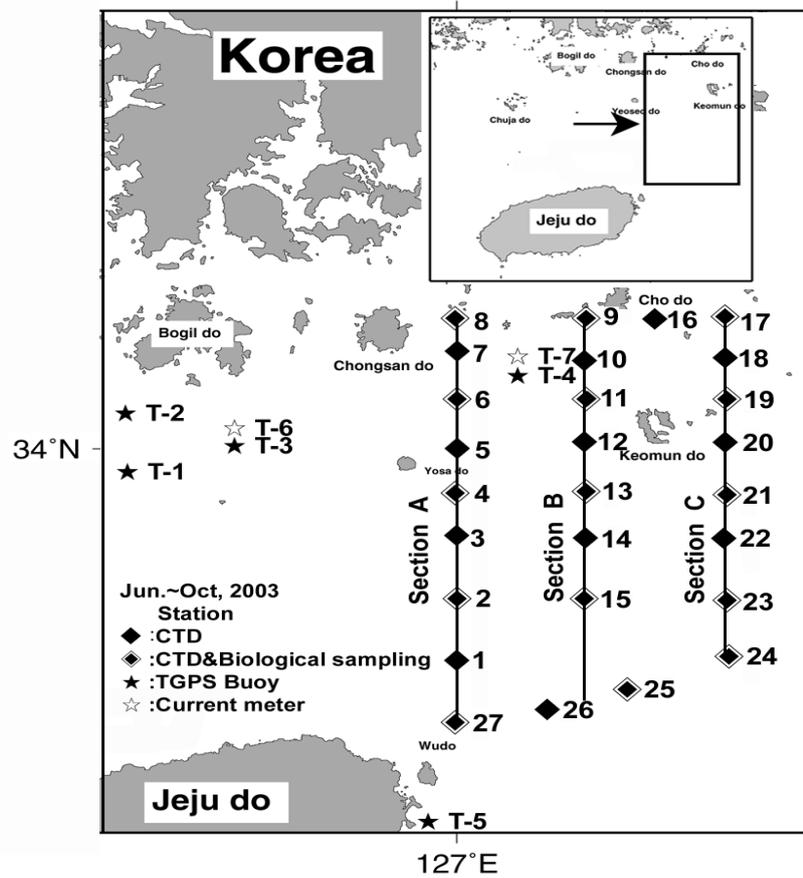


Fig. 4 Locations of oceanographic stations in the adjacent sea of the Keomun-do during June~October 2003.

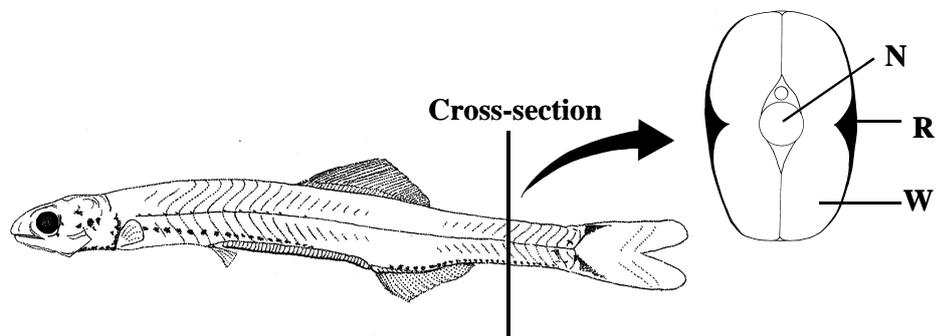


Fig. 5. Diagrams illustrating of cross-sections through the pre-caudal regions in larvae of anchovy, *Engraulis japonica*. N, notochord; R, red muscle; W, white muscle.

2. 연구결과

2.1. 제주도 주변해역의 해황과 멸치 난치어 분포와의 관계

2.1.1 수온·염분 수평분포와 멸치 난치어 분포

2.1.1.1 광역조사 결과

2.1.1.1.1 2001년 7월의 특성

2001년 7월 16일부터 20일까지 제주도 주변해역에서 관측된 수온·염분 수평분포 및 생물채집 정점에서 채집된 멸치 난치어 분포를 Fig. 6, 7에 나타냈다.

10m층 해황은 제주도를 중심으로 남동쪽 해역에는 26.0℃, 32.0psu이상의 고온·고염분수인 대마난류수가 북서쪽으로 확장하고 있으며, 제주도 서방해역에 중심이 있는 25.0℃이상, 31.0psu이하의 고온·저염분인 중국대륙연안수(양자강 희석수)가 설상으로 추자도쪽으로 확장되는 형태를 하고 있다. 또한 이 고온·저염분수는 제주해협을 통과하면서 한국 남해 서부해역에서 확장하는 14.0℃이하, 32.0psu이상의 상대적으로 저온·고염한 황해냉수계열의 해수 및 한국 남해 연안역 해수와의 사이에 동서방향의 조밀한 수온·염분전선대를 형성하였다. 그리고 제주도 동·서 양쪽해역인 우도 및 차귀도 주변해역에서는 지형적 특성 및 조석류에 의한 상하층수의 강제혼합으로 연안용승 및 조석전선이 형성되어 주변의 외해역보다 상대적으로 수온인 낮은 23.0~24.0℃의 저온수 와가 출현하였다.

20m층 해황은 이 층을 경계로 표층의 고온·저염분수와 중·저층의 저온·고염분수와의 경계층에서 소규모의 와가 많이 형성되어 복잡한 해황을 나타냈다.

멸치 난은 10m층에서 수온 17.2~21.4℃, 염분 32.0~33.2psu범위에서 채집되었으며 평균 2,277 No./10³m³로 한국 남해 연안수의 남쪽확장과 중국대륙연안수(양자강 희석수)의 세력확장에 의해 추자도를 중심으로 동서방향으로 조밀하게 형성된 전선역에서 높은 분포밀도를 보였다. 특히, 제주도 주변 연안역은 상대적으로 낮은 분포밀도를 나타냈고, 고온·저염의 중국대륙연안수 확장역에서는 멸치 난의 채집이 이루어 지지 않아 멸치 성어의 행동에 있어서 고온·저염한 해수에 대하여 회피행동을 하는 것처럼 보여진다. 또한, 멸치 난의 분포중심을 자세히 살펴보면 한국 남해역의 보길도 남부해역 및 청산도 주변해역에서 분포밀도가 높았으며 특히, 청산도 남쪽해역(Fig. 1, Sta. 117)에서 24,726 No./10³m³로 조사해역 중 가장 많은 양이 채집되었다.

따라서 멸치는 수심 50m미만의 천해역인 한국 남해 연안역의 추자도 및 보길도와 청산도를 중심으로 대체로 상대적으로 저온·고염한 해역에서 산란이 주로 이루어지고 있는 것으로 사료된다.

20m층에서의 멸치 난은 수온 12.6~22.0℃, 염분 29.0~33.6psu의 범위에서 채집되었으며,

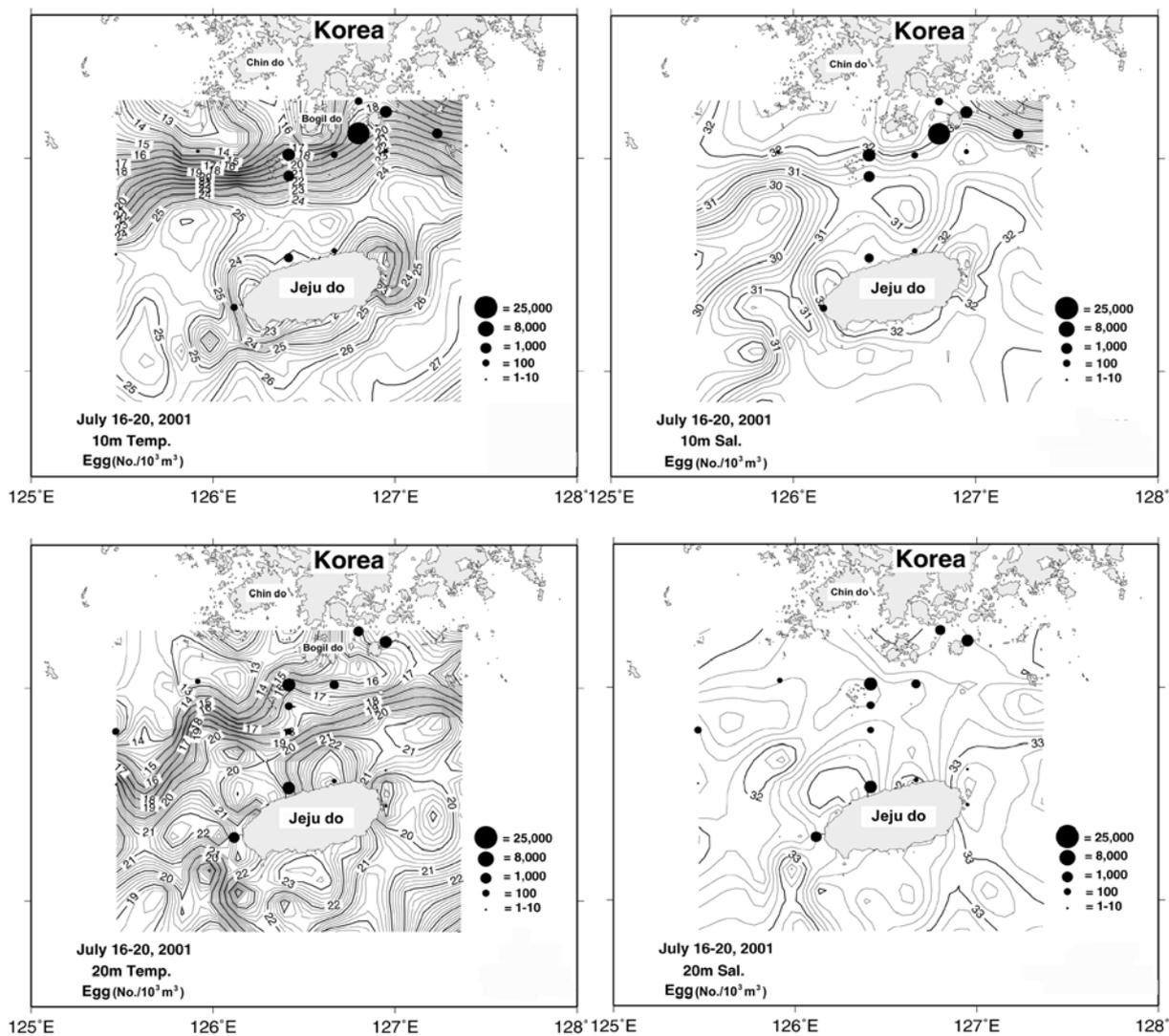


Fig. 6. Horizontal distributions of temperature(°C), salinity(psu) and eggs of anchovy in the surrounding sea of Jeju do in Jul. 16~20, 2001.

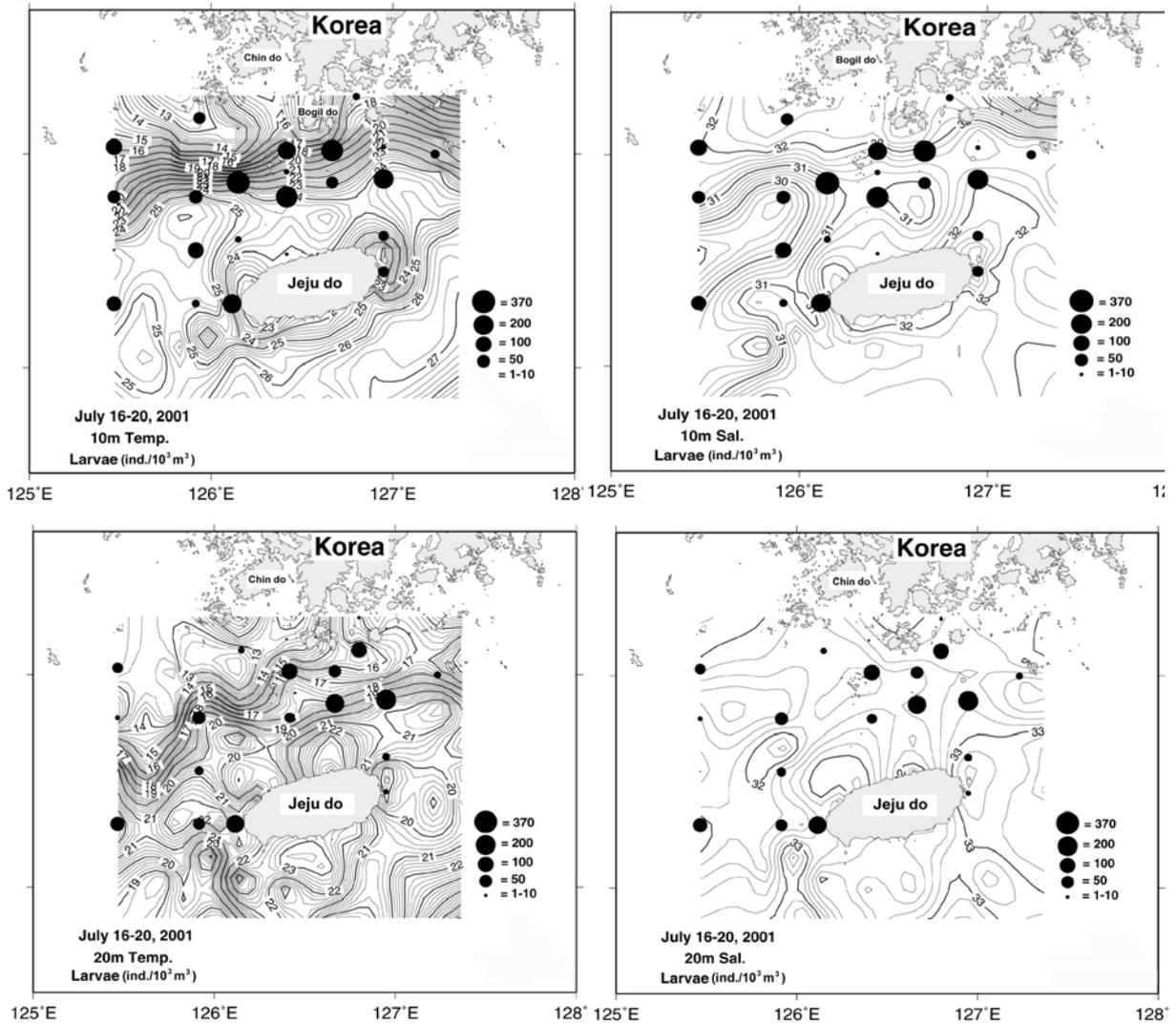


Fig. 7. Horizontal distributions of temperature(°C), salinity(psu) and larvae of anchovy in the surrounding sea of Jeju do in Jul. 16~20, 2001.

10m층에서 전선역을 중심으로 분포밀도가 높았던 것과는 달리 추자도 주변해역과 제주도 북부 및 동·서쪽의 연안수 영향을 받는 해역에서 분포밀도가 높았다. 특히, 황해 남동부 해역의 13.0°C 이하의 저수온 분포해역에서도 소량의 난이 채집되었다.

멸치 치어의 경우 채집층 중 10m층 (평균 76 ind./10³m³)에 가장 많이 채집되었고, 다음은 20m층으로 나타났다. 특히, 10m층에서 보길도 및 추자도 주변해역의 수온 12.6~25.0°C, 염분 31.8~32.0psu 범위의 전선대에서 분포밀도가 높았으며 그 중에서도 보길도 남쪽해역(Fig. 1, Sta. 5)과 제주해협 중양부(Fig. 1, Sta. 23)에서 각각 364 ind./10³m³, 343 ind./10³m³로 가장 높은 분포밀도를 나타냈다.

멸치 난이 섬주변해역의 상대적으로 저온·고염한 전선역의 내측에서 주로 분포하고 고온·저염의 중국대륙연안수역내에서는 분포하지 않는 특징을 나타내나, 치어의 경우는 고온·저염의 중국대륙연안수내에도 분포하면서 제주도 주변해역에 골고루 분포하는 특징을 나타내, 산란장으로부터 어떠한 수송 메카니즘에 의해 유동되어 온 것으로 추정할 수 있다. 즉, 유영능력이 없는 치어가 난이 분포하지 않는 해역에서 채집되었다는 것은 이러한 수송기능을 설명해 주는 좋은 결과라 할 수 있다.

2.1.1.1.2 2002년 6월의 특성

2002년 6월 12일부터 15일까지 제주해협에서 관측된 표층 및 10m층의 수온·염분 해황특성과 생물채집시 각 정점에서 채집된 멸치 난치어 수평분포를 Fig. 8, 9에 나타냈다.

제주해협 중양부에서의 표층 및 10m층 해황은 제주도 서방해역에서 해협내로 유입되는 고온·저염한 중국대륙연안수(21.0°C 이상·32.4psu 이하)의 확장 초기로 제주도 북서쪽 해역을 통과하여 동쪽으로 유출되면서 Eddy의 형태로 빠져나가고 있는 형상을 하였다. 또한, 고온·저염분수는 추자도 동쪽해역을 따라 보길도 주변해역으로 썩기모양으로 유입되는 형태도 나타났다. 그리고 보길도와 청산도 사이해역에서 상대적으로 저온·고염한 한국남해안 연안수가 남쪽으로 확장하면서 두 수괴의 사이에 동서방향의 수온·염분전선대가 형성되었다.

멸치 난의 경우 표층 및 10m층에 골고루 채집되었지만 특히, 10m층에서 평균 4,237 No./10³m³정도로 많이 분포하였고 가장 많이 채집된 정점은 보길도 서쪽해역의 Sta. 12(Fig. 2)에서 23,682 No./10³m³로 나타났다. 가장 많이 채집된 해역의 특징은 추자도 동쪽해역에 제주해협 중양부로부터 유입되는 것으로 보이는 고온·저염분수에 의해 쫓기어 이곳까지 유입되는 것 같은 형상을 하고 있는 것으로 2001년 7월의 결과에서와 같이 멸치의 성어가 고온·저염한 중국대륙연안수를 회피하는 행동에서 나타난 바와 같이 이러한 결과가 출현하지 않았나 사료된다. 이러한 결과는 2001년 7월 결과와 같이 중국대륙연안수의 내측에서는 멸치난이 채집이 되지 않은 것은 6월 결과에서도 나타났다. 반면에 청산도 주변해역의 상대적으로 차가운 냉수해역에서도 멸치의 난이 채집되는 특성을 보였으며, 제주도 연안역에서도 소량 채집되었다. 멸치 난이 채집된 각 층별 염분 분포 범위는 표층 32.8~33.4psu, 10m층 33.2~33.4psu로 나타났

다.

멸치 치어는 난에 비해 분포비율이 상당히 적었으며, 채집 층 전반에 걸쳐 30 ind./10³m³ 이하였다. 특히, 치어가 많이 출현한 수심은 10m층으로 21 ind./10³m³였으며 표층과 10m층에 있어 멸치 치어는 제주해협 중앙역에 형성된 전선역의 북쪽인 보길도 및 청산도 주변해역에서만 출현하였고 다른 해역에서는 전혀 나타나지 않았으며 치어가 출현한 해역의 수온은 16.0~18.2℃, 염분 33.0~33.4psu 분포였다. 이처럼 멸치 난에 비해 치어가 낮게 나타나는 것은 멸치의 산란 초기의 현상이거나 보길도 및 청산도 주변해역에서 산란한 난이 다른 외력에 의한 수송 메카니즘으로 한국남해 연안역으로 이송되어 나타나는 현상으로 사료된다.

따라서 멸치 치어의 분포밀도에 비해 멸치 난이 상대적으로 많은 것으로 보아 멸치 주 산란 시기는 6월이전 내지 5월경으로 사료되며 주 산란장은 중국대륙연안수의 영향을 크게 받지 않는 수심 50m이전의 천해역과 외해역보다 상대적으로 저온·고염한 연안역에서 주로 산란하는 것으로 사료된다.

2.1.1.2 추자도 주변해역 조사결과

2.1.1.2.1 2002년 5월의 특성

2002년 5월 27~29일의 추자도 주변해역에 조밀한 관측점을 설정하여 실시한 수온·염분 수평분포 및 채집된 멸치 난치어 수평분포를 Fig. 10에 나타냈다.

표층에서의 수온 및 염분의 분포 범위는 14.6~15.6℃ 및 33.4psu 전후로 추자도 동쪽해역의 14.6℃ 저온수가 추자도, 보길도 및 보길도 남동부 해역을 둘러싸고 있는 15.0℃ 이상의 고온수 속으로 관입되는 형태로 출현하였다. 이 시기는 제주해협내에서 동계 해황이 끝나고 춘계해황이 시작되며 표·저층이 균질하던 연직해황이 성층의 상태로 전환되는 시기에 해당한다.

멸치난은 표층 및 10m층에서 전혀 채집되지 않았고 멸치 치어만이 수온 14.6~15.2℃범위의 표층에서 추자도 동쪽 외해역 및 보길도 남동부해역의 3개 정점에서만 소량으로 채집되었다.

따라서 이시기에 한국남해역에 해당하는 이곳에서 멸치 난은 채집되지 않고, 치어만 채집되는 것으로 보았을 때, 치어가 다른 곳에서 이송되어 왔을 가능성을 시사해 주는 것으로 이곳에서는 5월에 산란이 이루어지지 않고 주로 6월부터 산란이 본격적으로 이루어지고 있다고 사료된다.

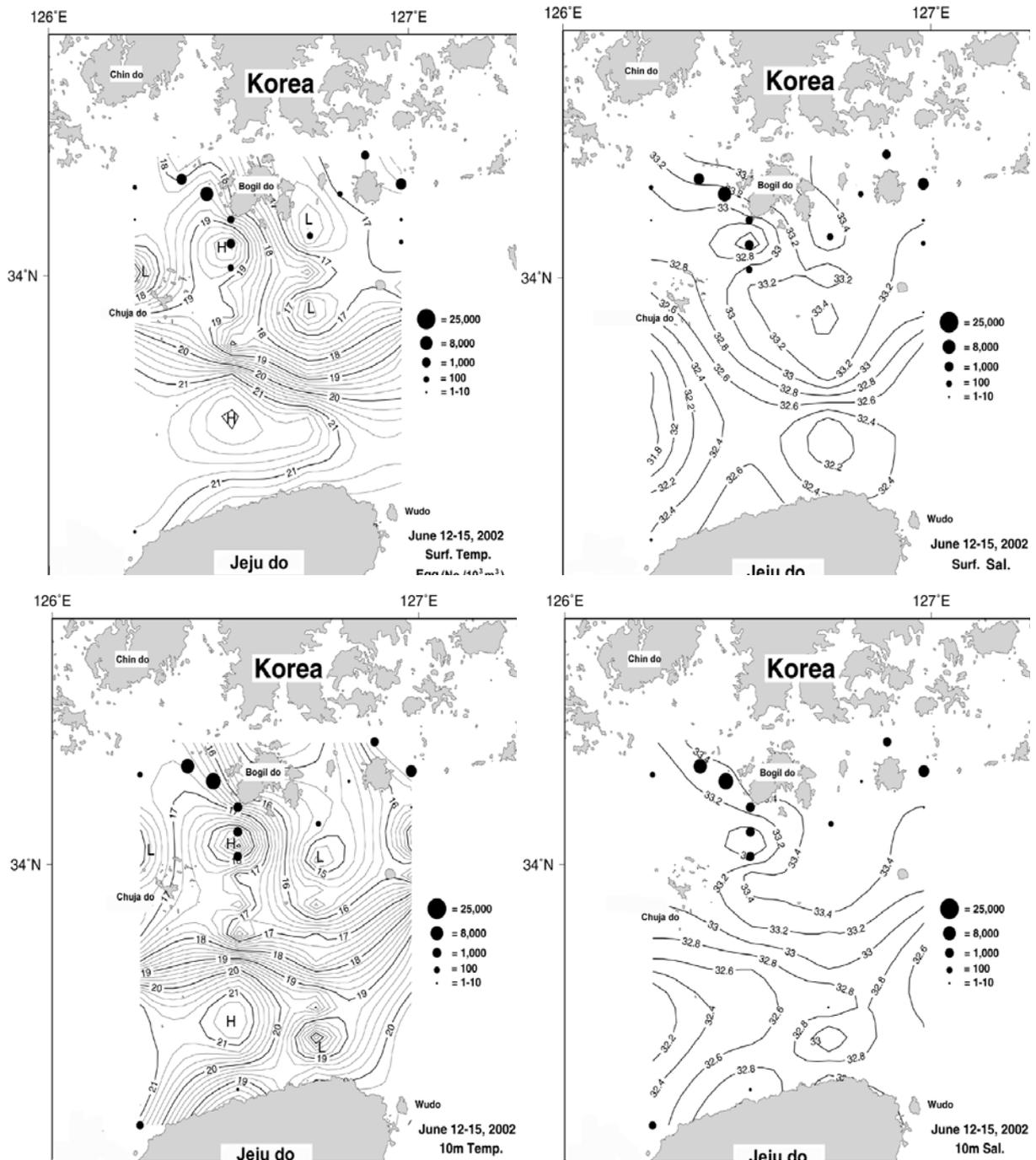


Fig. 8. Horizontal distributions of temperature(°C), salinity(psu) and eggs of anchovy in the Jeju Strait in Jun. 12~15, 2002.

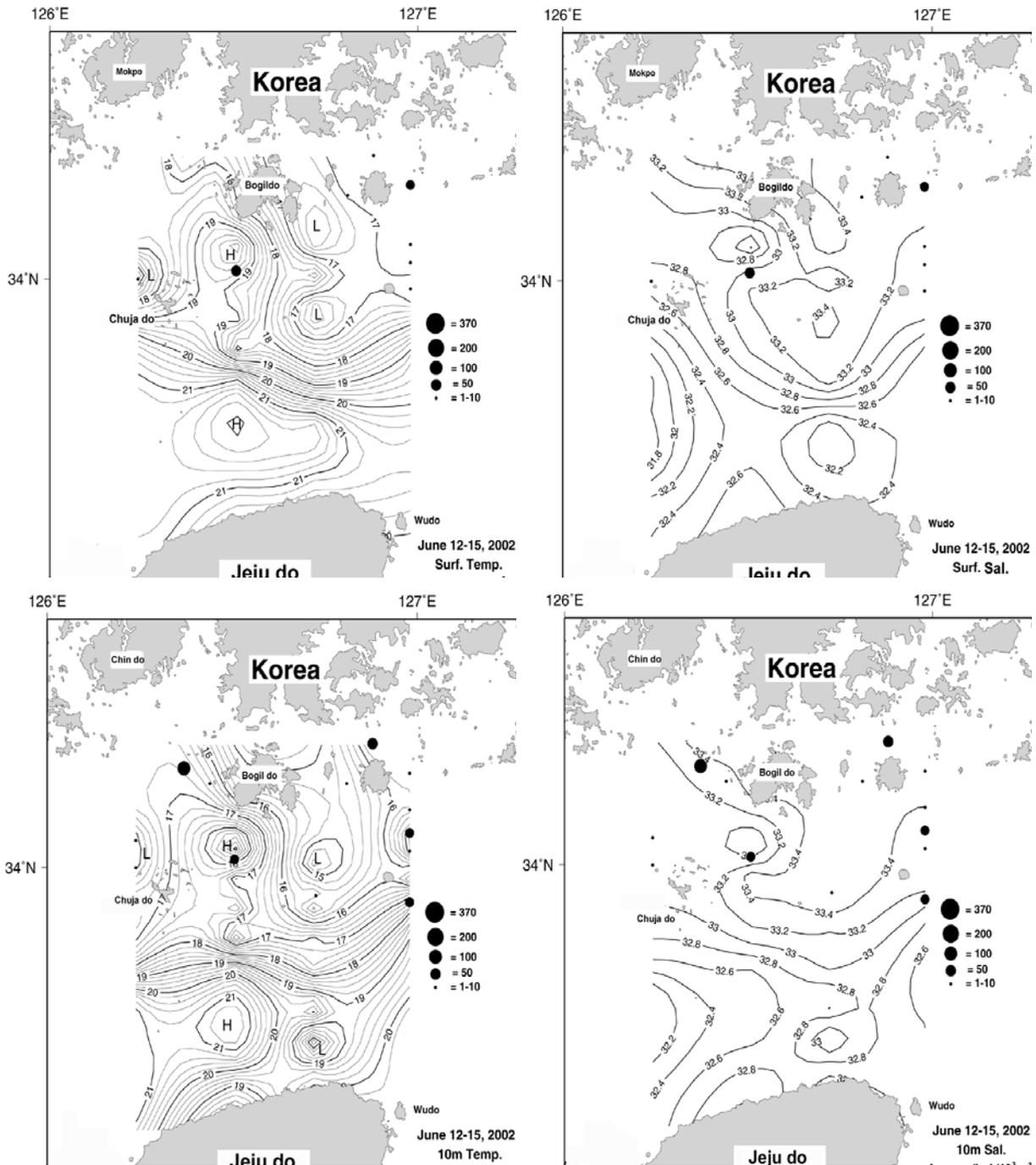


Fig. 9. Horizontal distributions of temperature($^{\circ}\text{C}$), salinity(psu) and larvae of anchovy in the Jeju Strait in Jun. 12~15, 2002.

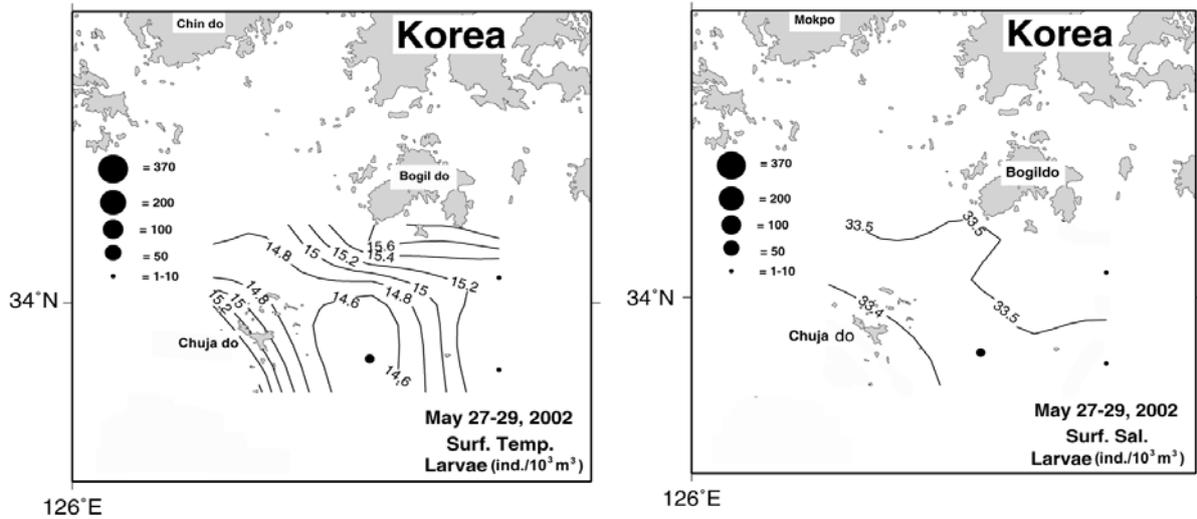


Fig. 10. Horizontal distributions of temperature(°C), salinity(psu) and larvae of anchovy in the surrounding sea of Chuja do in May 27~29, 2002.

2.1.1.2.2 2002년 7월의 특성

2002년 7월 30일에 추자도 주변해역의 조밀한 관측점의 표층과 10m층 수온과 염분 수평분포 및 각 정점에서 채집된 멸치 난치어 분포를 Fig. 11, 12에 나타냈다.

표층과 10m층 해황은 보길도 남동쪽해역에서 유입되는 수온 22.4°C · 염분 32.0psu의 고온 · 저염한 외해수와 보길도 주변해역에서 유출되는 수온 20.8°C, 염분 32.2psu의 상대적으로 저온 · 고염한 연안수의 사이에 수온 · 염분 전선대를 형성하였다. 그리고 추자도 남서쪽해역에는 31.6psu이하의 중국대륙연안수가 확장되면서 추자도 동쪽해역에서 서로 다른 이질수괴와 마주치면서 안상부의 형태를 나타냈다.

멸치 난의 경우 표층이 10m층보다 전 관측점에서 출현량이 많았으며 평균 분포밀도는 10,798 No./10³m³로 보길도 서쪽에서 남쪽방향으로 잇는 정점에서 난이 다량으로 채집되었다. 특히, 추자도 동쪽의 Sta. 16에 95,229 No./10³m³로 가장 많은 분포밀도를 보였다. 이 정점은 수온 및 염분수평분포에서 살펴보는 바와 같이 수온전선대의 가장자리이면서 염분에서는 마치 안상부의 정점에 해당하는 곳으로 이질수괴가 상접하는 해역에서 최대밀도를 보이는 특징을 나타냈다. 멸치 난이 채집된 표층의 수온은 20.8~22.4°C, 염분은 31.6~32.2psu 범위로 보길도 남동쪽해역에서 유입되는 외해수와 보길도 주변해역에서 유출되는 연안수 사이에 형성된 전선역에 주로 분포하였고 가장 많이 채집된 정점의 수온은 21.7~22.0°C로 나타났다. 10m층의 경우 표층보다 낮은 19.0~20.2°C의 수온분포로 수온과 출현량은 낮지만 난의 출현형태는 거의 비슷하다. 그러나 추자도 남동쪽해역에서 확장해오는 저염분수역인 중국대륙연안수내에서 멸치 난이 거의 채집이 되지 않는 특징은 앞선 결과와도 같았다.

멸치 치어의 경우 난파는 달리 표층보다 10m층에 출현량(총 328 ind./1,000m³)이 많았으며 주 분포해역은 추자도 서쪽 및 보길도 남동부해역인 고온·저염분수(20.2℃·32.2psu)가 유입되는 외해역에서 다량 분포하였다. 이러한 현상은 앞의 결과에서와 같이 고온·저염분수역에서는 멸치 난이 채집이 안되고 반대로 치어는 채집이 되는 특성과도 같은 현상이지만, 특히 이시기에는 멸치 난이 수온전선대의 가장자리 및 안상부의 최고 정점에서 미끄러져 내려오는 형상으로 주변해역에서 부화하고 성육되는 것으로 사료된다.

따라서 이시기에는 수온전선대의 정점부근이나 서로 다른 이질수괴들의 상접하여 형성되는 안상부의 정점에서 멸치 난이 최고밀도를 나타냈으며, 치어의 경우는 이러한 정점에서 미끄러져 흘러내린 형상을 하는 수송 메카니즘에 의해 외해역으로 분산되어 분포하는 특징을 나타냈다.

2.1.1.2.3 2002년 8월의 특성

2002년 8월 26일 추자도 주변해역에서 관측된 표층과 10m층의 수온·염분 수평분포 및 각 정점에서 채집된 멸치 난치어 수평분포를 Fig. 13, 14에 나타냈다.

표층 및 10m층의 경우 2001년 7월의 해황(Fig. 1)에서 보길도 남쪽해역에 동서방향으로 형성된 수온·염분전선과 같이 본 결과에서도 국지적으로 조밀하게 설정하여 조사하더라도 유사한 해황을 나타냈다. 따라서 보길도 남쪽해역의 22.0℃·30.8psu의 연안수와 추자도 동쪽해역의 27.6℃·26psu이하의 외해수와 사이에 수온·염분전선대가 형성되었다.

2002년 8월은 연구기간 중 멸치 난 및 치어 모두 최대 출현량을 보이면서 표층과 10m층에서 19.6~27.6℃의 광범위한 수온범위내의 조사대상 모든 정점에서 다량으로 분포하였다.

멸치 난의 경우 수온 및 염분 전선대의 경도차가 큰 표층에서 10m층보다 많은 분포밀도를 나타냈고, 특히, 고온·저염분수가 위치한 외해역 보다 상대적으로 저온·고염한 연안수가 위치한 보길도 남부해역의 연안수역에 분포밀도가 높았다. 또한, 표층염분에 있어 조사기간 중 가장 낮은 저염분수가 출현한 추자도 동쪽해역 (26.8psu)에서도 다른 시기와는 달리 멸치 난이 채집된 것이 특징이다.

멸치 치어의 경우 조사해역의 거의 모든 정점에서 많이 출현하였지만 특히, 표층이 10m층보다 높은 분포밀도를 보였으며 저온·고염의 연안역에 비해 고온·저염의 외양수가 유입되는 추자도 동쪽 및 보길도 남동부 해역에서 출현비율이 높았다.

따라서 2002년 8월 추자도 주변해역의 해황과 멸치 난치어 분포특성을 종합해 보면 6월과 7월에 비해 멸치 난치어의 분포밀도가 8월에는 그 분포비율이 최고치에 달해 상당히 높은 산란 및 부화의 상호작용이 활발히 이루어지기 때문에 산란시기와 부화의 피크가 8월에 나타나는 것으로 사료된다.

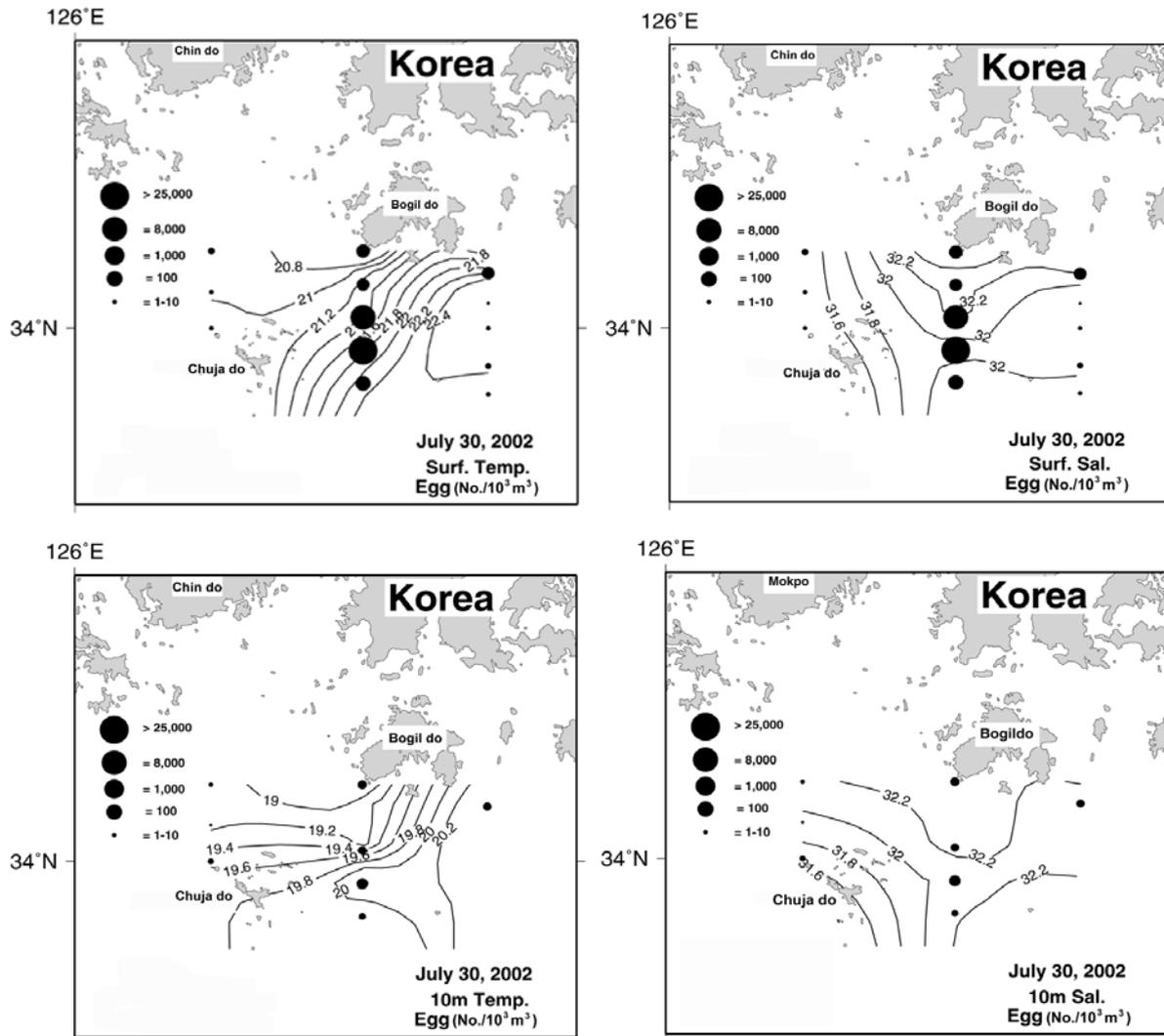


Fig. 11. Horizontal distributions of temperature(°C), salinity(psu) and eggs of anchovy in the surrounding sea of Chuja do in Jul. 30, 2002.

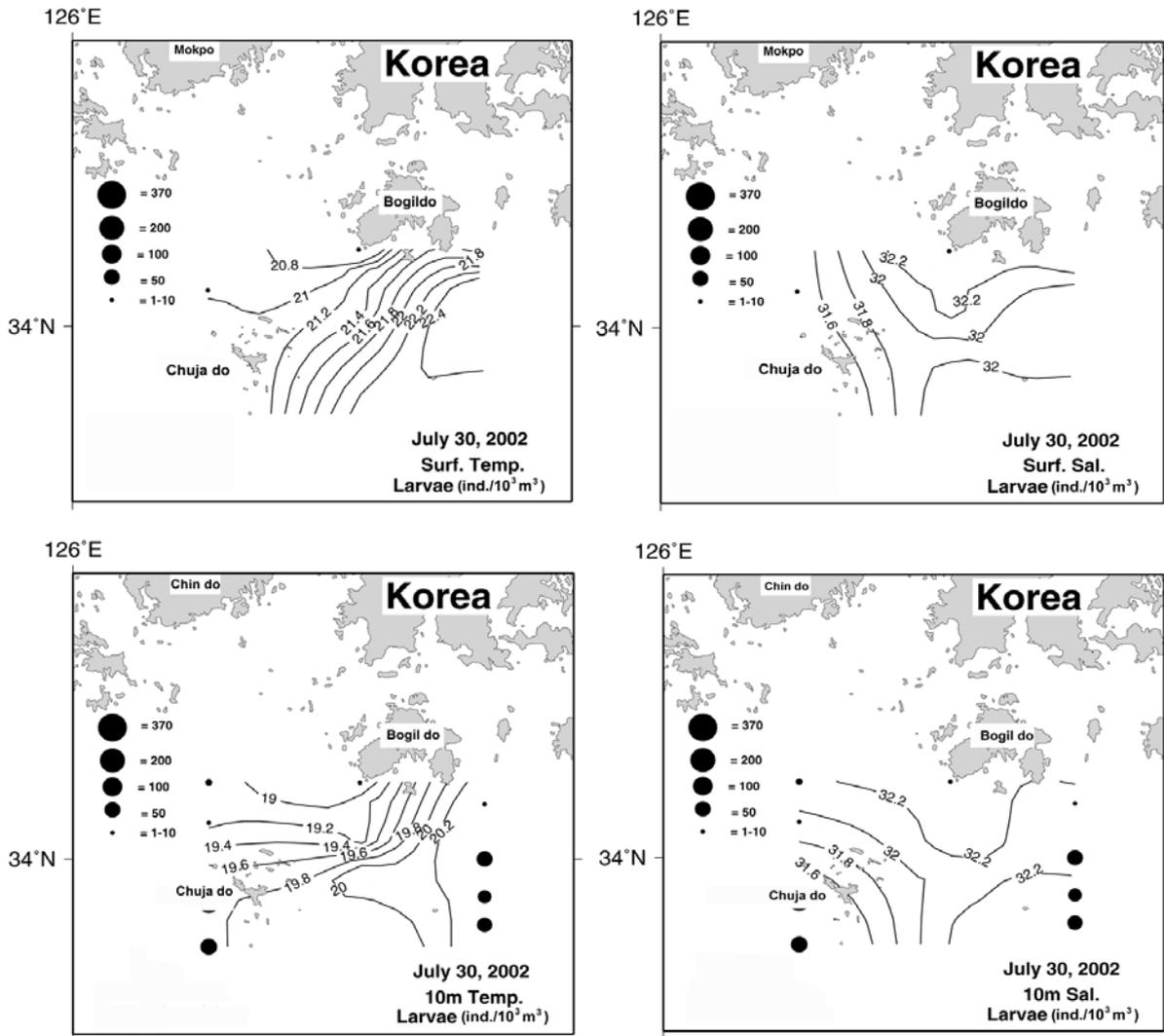


Fig. 12. Horizontal distributions of temperature(°C), salinity(psu) and larvae of anchovy in the surrounding sea of Chuja do in Jul. 30, 2002.

2.1.1.2.4 2002년 9월의 특성

2002년 9월 14일에 추자도 주변해역에서 관측된 표층과 10m층의 수온·염분에 대한 수평분포 및 각 정점에서 채집된 멸치 난치어 수평분포를 Fig. 15, 16에 나타냈다.

수온·염분전선대의 경도차가 줄어들었지만 2002년 8월과 비슷한 해황을 나타내어 보길도 남쪽 22.2°C·30.8psu의 저온·고염한 연안수 및 외해역의 25.0°C·30.2psu의 고온·저염한 외해수가 상접하며 조밀한 수온·염분전선대를 형성하였다.

멸치 난의 분포는 표층에서 수온 23.8~24.8°C의 범위 및 염분 29.8~30.2psu의 범위에서 출현하였고, 10m층은 수온 23.2~23.6°C의 범위 및 염분 30.4~30.6psu의 범위에서 출현하여, 지금까지 보길도 연안역에서 출현하였던 양상과는 달리, 9월이 되면서 다소 외해역에서 출현하는 경향을 나타냈으며 출현량에 있어서도 현저히 감소하였다.

멸치 치어의 경우 난의 분포양상과는 반대로 외해역 보다 수온이 낮은 연안역인 보길도 남쪽해역에 집중적으로 출현하였으며, 치어가 출현한 해역의 수온·염분은 표층에서 22.2~23.8°C·30.2~30.8psu, 10m층에서 21.8~22.6°C·30.8~31.0psu 였다.

따라서 표층과 10m층의 수온·염분분포에 의한 멸치 난치어의 분포특성은 2002년 8월 및 다른시기의 분포양상과는 반대로 멸치 난은 고온·저염한 보길도 남쪽 외해역에서, 치어는 저온·고염한 보길도 남쪽 연안역에 나타난 것이 특징이다.

2.1.1.2.5 2002년 10월의 특성

2002년 10월 30일 추자도 주변해역에서 관측된 표층과 10m층의 수온과 염분 수평분포 및 멸치 난치어 수평분포를 Fig. 17에 나타냈다.

표층 해황은 하계 해황이 종료되면서 수온 및 염분 분포범위는 15.0~18.4°C·31.6~32.4psu로 연안역이 저온·고염한 상태를 유지하였고, 10m층 해황도 표층보다 수온이 다소 낮고 염분이 다소 높은 상태였으며 수온 15.0~17.8°C·염분 32.0~32.4psu로 연안역 저온·고염, 외해역 고온·저염한 해수의 경계에서 수온전선이 강하게 형성된 시기로 파악되었다.

멸치 난치어 분포는 추자도 남서쪽해역 Sta. 29의 한 정점에서만 출현하였으며, 그 중에서도 멸치난은 표층에서 치어는 10m층에서만 채집이 되었다. 멸치 난의 경우 표층에서 37 No./10³m³, 치어는 10m층에서 10 ind./10³m³로 9월에 비해 출현량이 현저히 감소하였다.

따라서 10월 추자도 주변해역 멸치 난치어 분포특성은 하계 해황에서 추계 해황으로 바뀌는 시기로 9월에 비해 조사해역 수온이 약 7.0°C정도 낮아졌으며, 난치어가 채집된 해역에 있어서도 연안역의 냉수역보다는 난수역인 외해역에서 채집되는 특성이 나타났다. 난치어 분포밀도도 현저히 줄어들어 멸치의 산란기가 거의 종료되는 시기로 판단된다. 따라서 10월부터는 제주해협에서의 멸치 난치어의 출현형태로 보았을 때, 멸치 친어가 산란장에서 월동장으로 이동되었거나, 생리적으로 산란을 종료하는 시기에 접어든 것으로 사료된다.

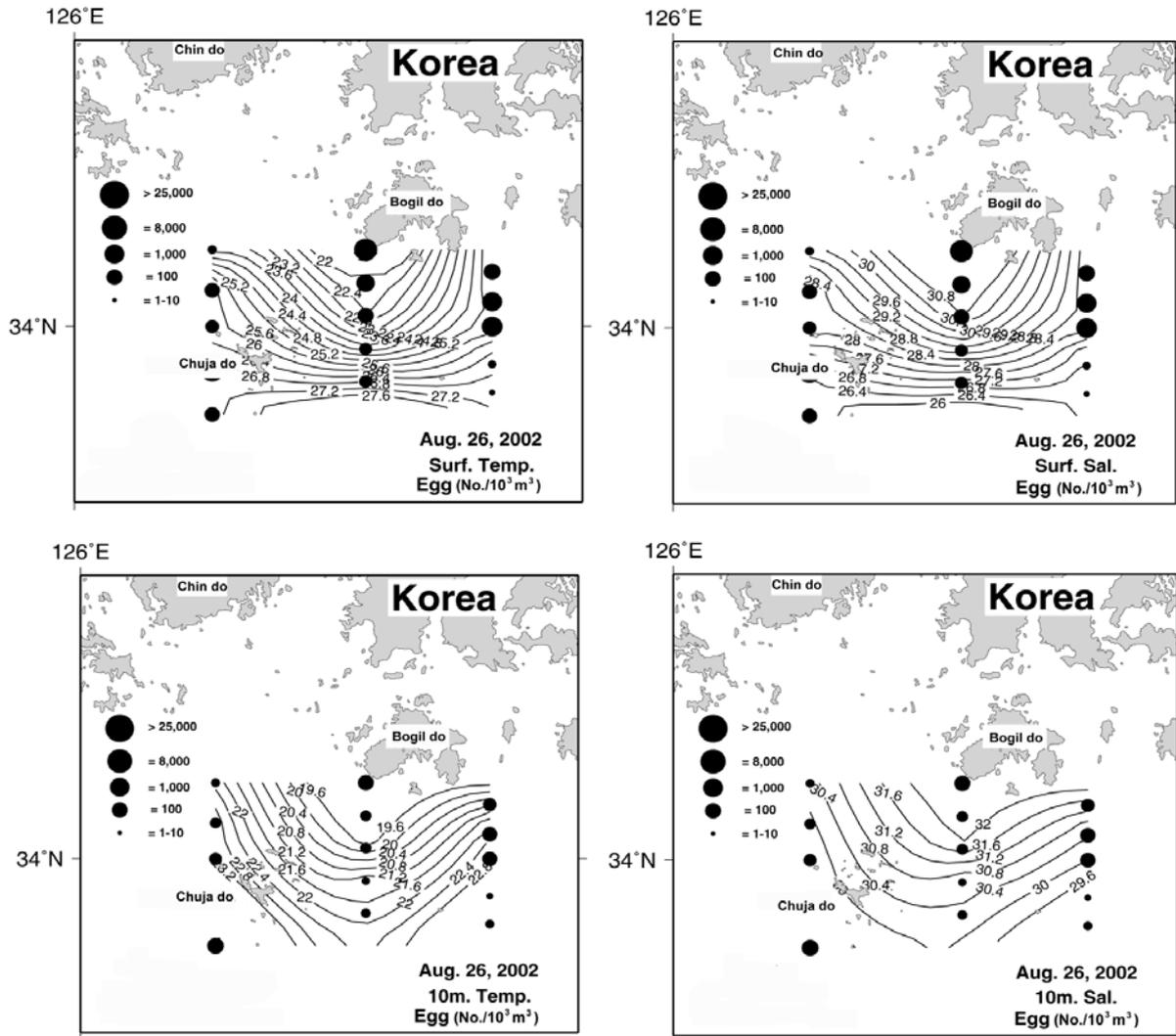


Fig. 13. Horizontal distributions of temperature(°C), salinity(psu) and eggs of anchovy in the surrounding sea of Chuja do in Aug. 26, 2002.

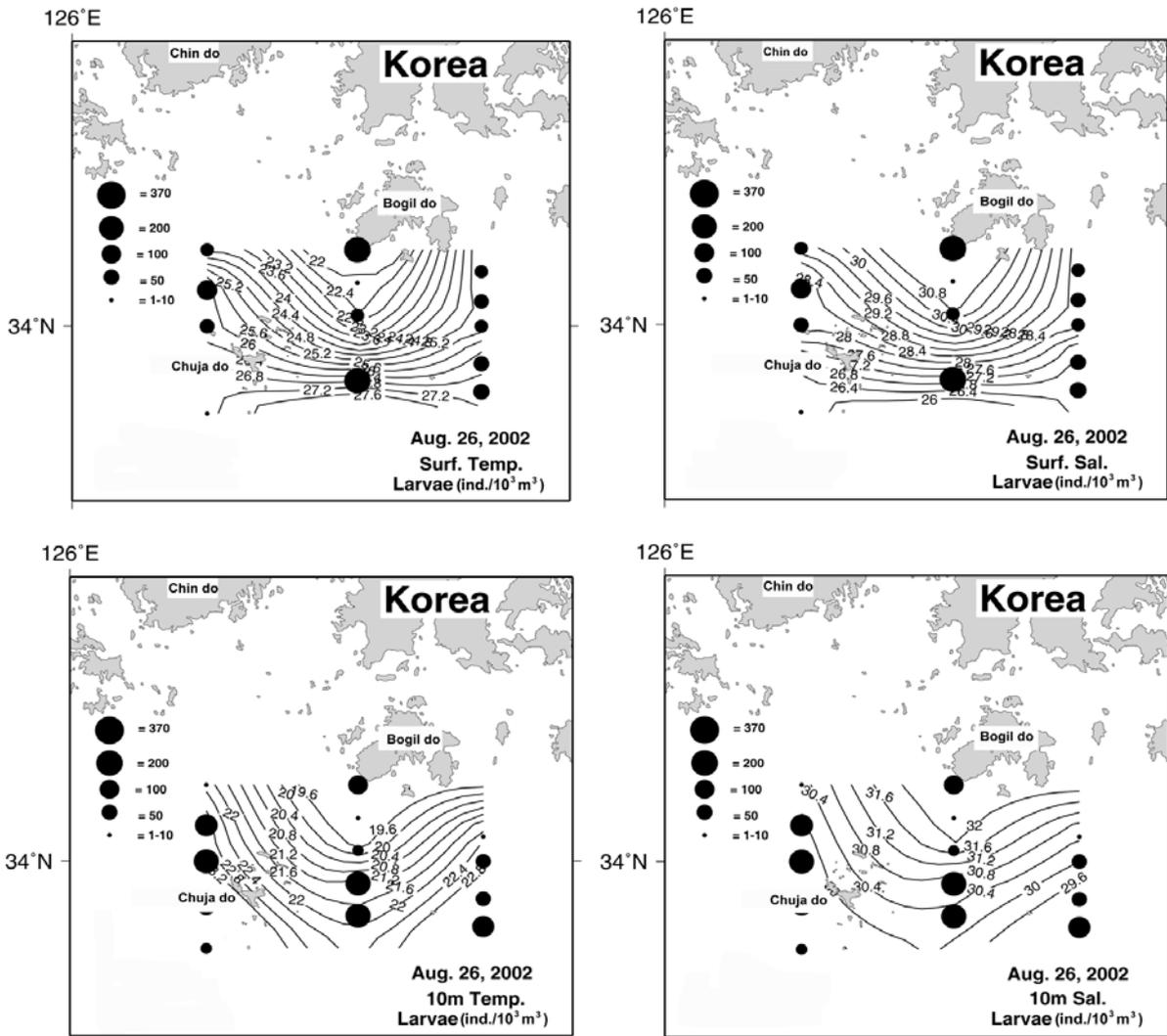


Fig. 14. Horizontal distributions of temperature(°C), salinity(psu) and larvae of anchovy in the surrounding sea of Chuja do in Aug. 26, 2002.

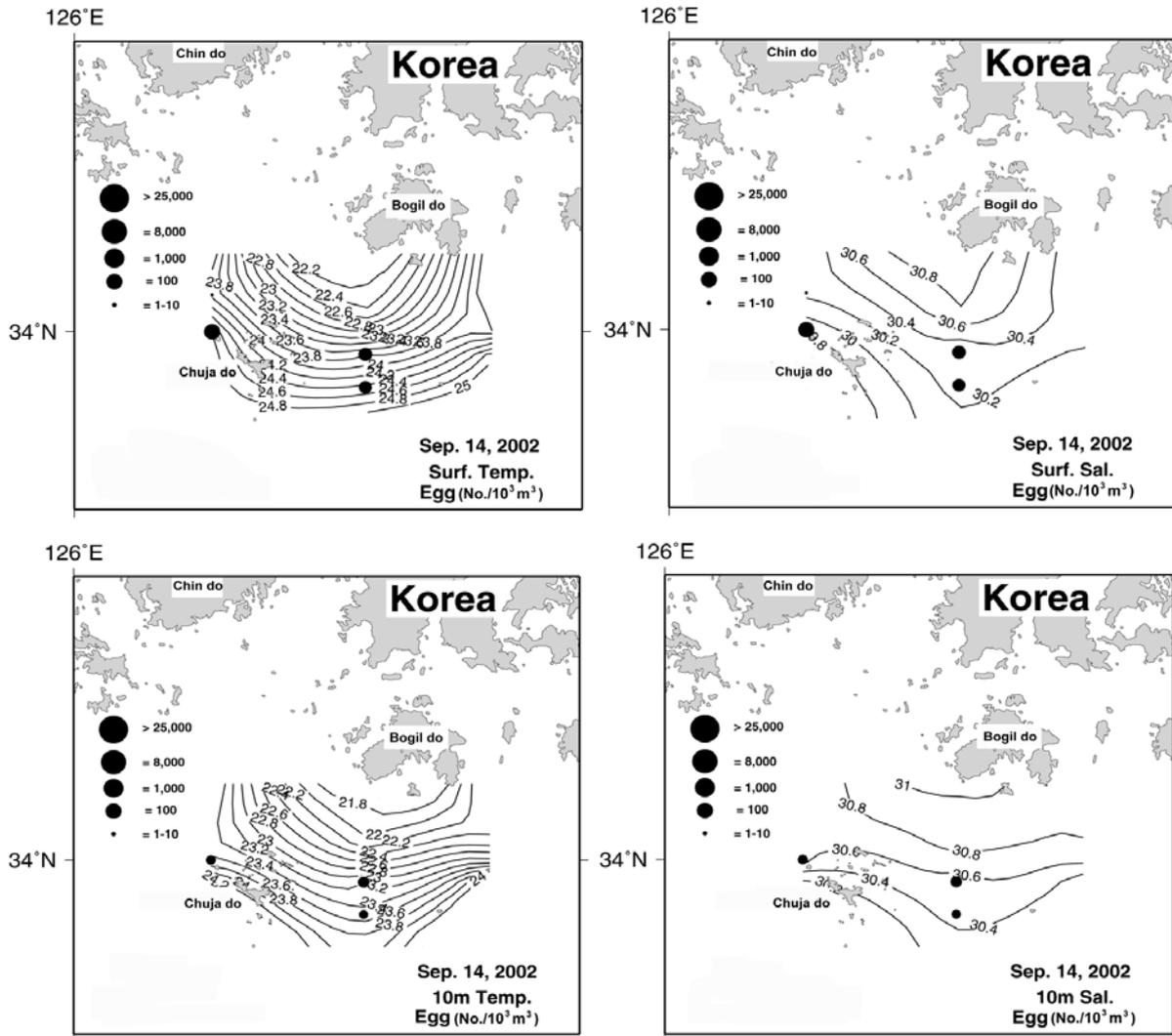


Fig. 15. Horizontal distributions of temperature(°C), salinity(psu) and eggs of anchovy in the surrounding sea of Chuja do in Sep. 14, 2002.

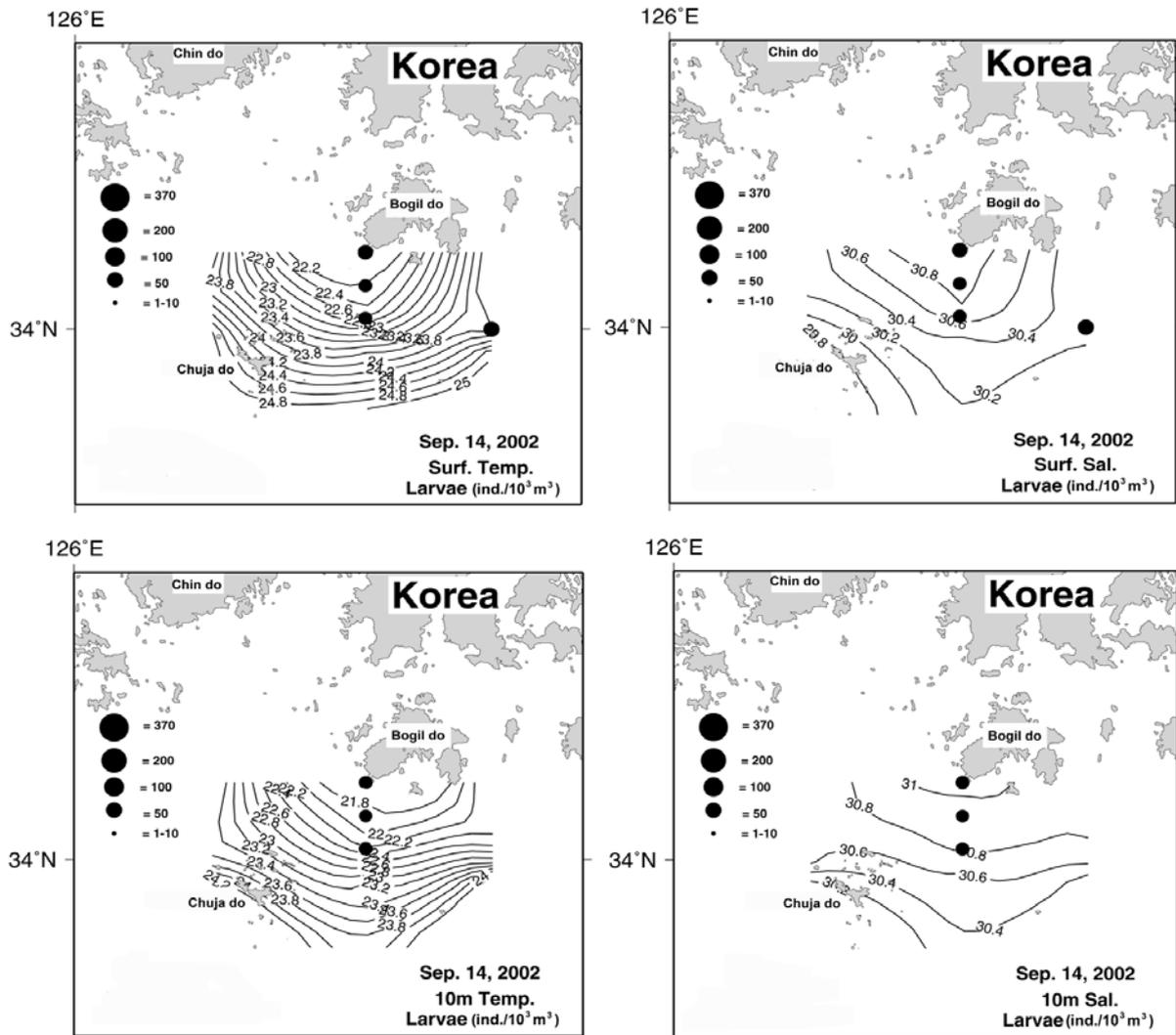


Fig. 16. Horizontal distributions of temperature(°C), salinity(psu) and larvae of anchovy in the surrounding sea of Chuja do in Sep. 14, 2002.

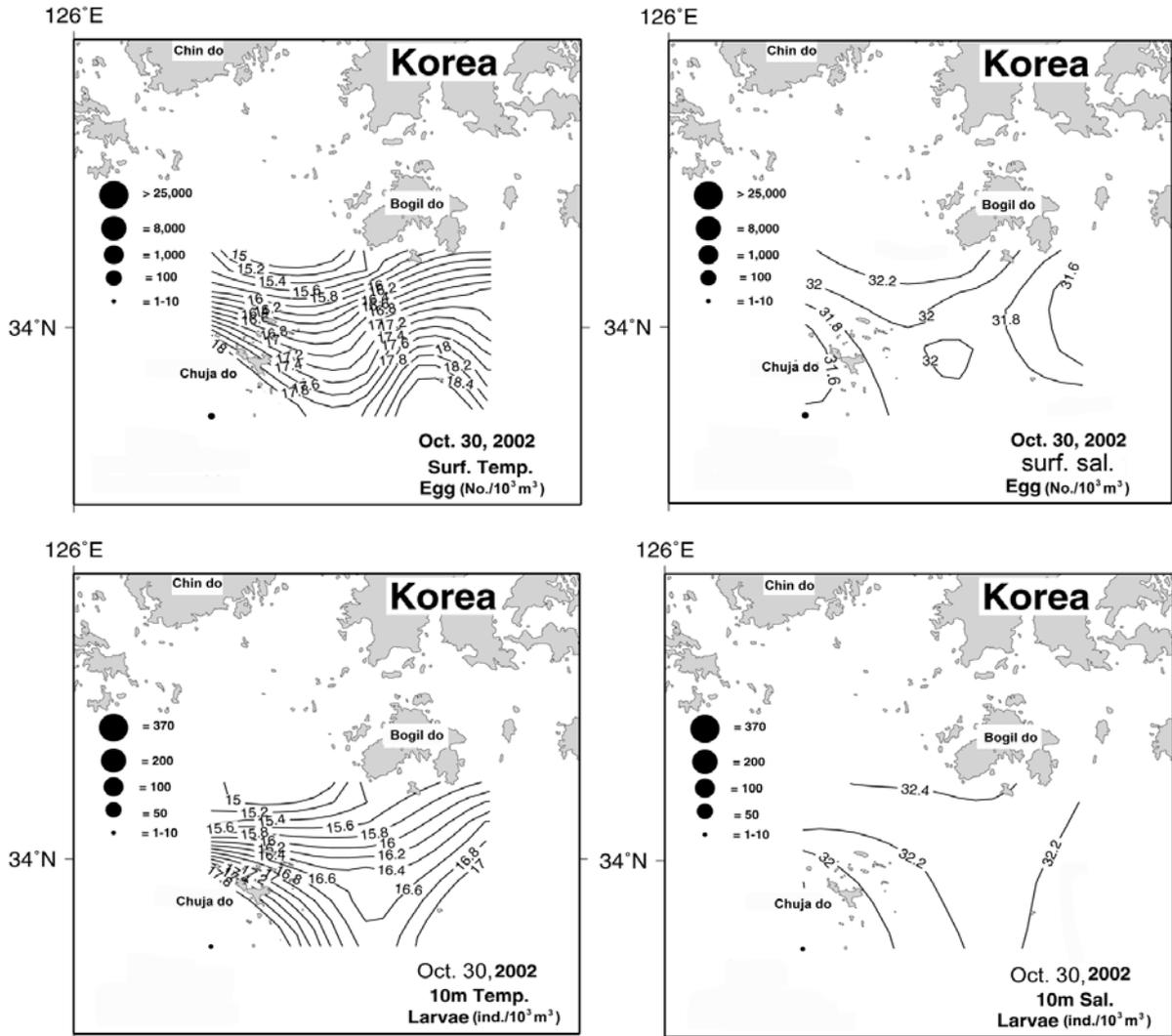


Fig. 17. Horizontal distributions of temperature(°C), salinity(psu), eggs and larvae of anchovy in the surrounding sea of Chuja do in Oct. 30, 2002.

2.1.1.3 거문도 주변해역 조사결과

2.1.1.3.1 2003년 6월의 특성

2001년 7월의 연구결과에 의하면 멸치 난치어가 가장 많이 출현하는 해역이 보길도, 청산도 및 추자도를 연결하는 해역과 거문도 주변해역에서 많이 채집되었으므로 1차년도인 2002년에는 추자도 주변해역에서 조사를 실시하여 그 결과를 앞절에 나타내었고, 본 절부터는 2003년에 거문도 주변해역에서 연구 조사된 결과를 열거하였다.

6월 26, 27일에 거문도 주변해역에서 관측된 표층과 10m층의 수온·염분 수평분포 및 각 정점에서 채집된 멸치 난치어 수평분포를 Fig. 18, 19에 나타냈다.

표층 및 10m층 해황은 초도와 여서도를 잇는 해역에 수온 18.0℃, 염분 32.6psu의 저온·고염분의 연안수와 제주도 북동쪽해역의 수온 22.0℃ 이상, 염분 32.2psu 이하의 고온·저염분한 외해수가 북서쪽으로 확장되면서 두 수괴의 사이에 조밀한 수온전선이 남서~북동방향으로 형성되었다. 이시기의 제주도 동쪽 외해역에서 북서쪽으로 확장하는 고온·저염분수는 중국대륙연안수로 추정되는 해수로, 지금까지의 연구에서는 중국대륙연안수가 주로 양자강입구에서 유출되어 북동쪽으로 확장되면서 제주해협을 통과하여 한국남해역으로 확장되는 형태와는 달리 제주도 동쪽해역에서 확장되는 것과 같은 형태를 취하는 특이한 해황이 출현하였다. 그리고 제주도 우도 북동쪽에 출현하는 수온·염분 전선대는 김·노(2004)의 결과에 의하면 제주해협을 통하여 유출되는 해수와 제주도 동쪽 해역에서 북서쪽으로 확장하는 외해수와 사이에 형성되는 전선이라고 지적한 바와 같은 경향을 나타내었다.

멸치 난의 경우 표층에서 수온 17.8~18.6℃ 범위에 분포하였으며 특히, 초도 동쪽해역의 수온 18.6℃, 염분 32.4psu의 중간난수역에서 가장 높은 출현량 (Sta. 15, 2,181 No./10³m³)을 보였다. 이 시기에도 2002년의 결과와 같이 제주도 우도 북동쪽에 출현하는 고온·저염분의 중국대륙연안수역에서는 멸치 난이 출현하지 않는 특징을 나타냈다.

멸치 치어는 수온 17.6~18.6℃ 및 염분 32.5~32.7psu의 청산도와 초도를 연결하는 주변의 연안역에서 출현 (총 출현량 199 ind./10³m³)하였고, 다소 외해역인 여서도 및 거문도 주변에는 출현하지 않았다. 또한 제주도 동쪽의 우도 북쪽해역에 21.0℃ 이상·32.5psu의 고온·저염분수가 분포하는 Sta. 6 (73 ind./10³m³)에서도 멸치 치어가 출현하였다.

따라서 2003년 6월 준계의 거문도를 중심으로 관측된 정점에서의 난치어 분포는 난치어 모두 연안역의 저온·고염분역에 분포하여, 2002년 추자도 주변해역의 춘·하계 결과에서 난이 채집된 해역과 유사한 결과를 나타내나, 치어의 경우는 외해역이 아닌 연안역에서 채집되는 특이한 경향을 나타내 이 해역에서의 난의 수송 메카니즘이 다른 결과인지 혹은 이 해역의 특성인지 등에 대하여는 검토되어야 할 것으로 사료된다. 이러한 것을 설명해 주는 것으로 멸치 난이 청산도보다 초도 동쪽해역으로 갈수록 많아지는 것에 비해, 치어의 경우는 반대로 초도쪽에서 청산도쪽으로 갈수록 많이 채집되는 결과와도 일치하는 것으로 초도와 거문도사이의 해역

으로 동쪽에서 확장해오는 외해수의 수송 메카니즘 혹은 바람에 의한 원인 등에 의해 나타난 결과로 사료된다.

2.1.1.3.2 2003년 8월 4~6일의 특성

2003년 7월에는 잦은 폭풍주의보와 기상악화로 관측이 실시되지 못하였고, 7월 해황이 어느 정도 유지되는 8월 초인 4일~6일에 거문도 주변해역에서 관측된 수온·염분의 수평분포 및 각 정점에서 채집된 멸치 난치어 수평분포를 Fig. 20, 21에 나타냈다.

표층 해황은 하계가 시작되면서 표층으로부터 태양 복사에 의한 가열과 함께 높은 수온분포를 나타내었고, 제주도 동쪽해역에 수온 29.4℃, 염분 29.8psu의 중국대륙연안수가 2003년 6월과 같이 제주도 동쪽해역에서 확장하고 있으며, 청산도 및 초도를 중심으로 수온 23.2℃, 염분 32psu의 한국남해안 연안수가 확장되면서 두 수괴의 사이에 조밀한 수온·염분전선을 형성하였다. 또한 여서도 쪽에서는 제주해협 동쪽입구에서 유출되는 해수에 의해 염분분포가 설상으로 나타나고 있다. 앞서 지적한 바와 같이 본 조사 기간에도 중국대륙연안수가 제주해협을 통과하여 동쪽으로 유출되는 것이 아니라, 제주도 남쪽을 통과하여 북동쪽으로 확장하는 형태를 취함으로써 다른 시기(김·노, 1994)의 해황과도 상당히 구분되었다.

10m층 해황은 제주도 북동쪽해역의 고온·저염분수의 확장이 표층과 유사한 경향을 나타내나 청산도 동쪽해역에서 거문도 주변 해역으로 저온·고염의 한국남해연안수가 확장하고 여서도 동쪽해역에는 수온 22.0℃의 지형성의 와로 추정되는 냉수와가 출현하였다.

멸치 난의 경우 표층에 출현량이 높았으며 특히, 청산도 및 초도를 연결하는 해역인 한국남해의 저온·고염분역에서 많이 채집되었다. 그 중에서도 초도 동쪽해역에서 가장 많이 채집되었다. 그리고 제주도 우도부근 외해역의 정점에서도 다소 채집되는 특징을 나타내어 해협을 경계로 양분되는 특징이 나타났다.

멸치 치어의 경우 표층에서는 우도 북쪽의 Sta. 26에 37 ind./10³m³로 한 정점에서만 출현하고 그 이외의 정점에서는 출현하지 않았으며, 대부분 10m층에 많이 출현하는 경향을 보였다. 10m층에서는 초도 주변연안역(Sta. 15, 17)과 우도 북동쪽(Sta. 5, 7)에 각각 출현하였으며 출현량은 초도 동쪽해역의 연안역(수온 22.6~22.8℃)에 총 개체수 420 ind./10³m³로 가장 높은 분포밀도를 나타냈다. 이와 같은 결과로부터 치어가 초도 동쪽해역에 높은 분포밀도를 보이는 것은 난의 분포가 많기 때문에 나타난 결과일 수도 있지만, 청산도 동쪽해역에서 동쪽으로 확장하는 저온·고염한 연안수의 수송으로 산란된 난이 청산도 동쪽해역에서부터 초도 동쪽 해역으로 이송됐을 것으로 사료된다.

2.1.1.3.3 2003년 8월 26~27일, 9월 4일의 특성

2003년 8월 26일과 27일에 거문도 주변해역 조사를 실시하던 중 갑작스런 기상악화로 인해 정점별 조사를 완료하지 못하여 8월 해황이 어느 정도 유지되는 9월 4일에 재조사를 실시하였

다. 이때 관측된 표층과 10m층의 수온·염분 수평분포 및 각 정점에서 채집된 멸치 난치어 수평분포를 Fig. 22, 23에 나타냈다.

표층해황은 8월초의 상황과는 달리 제주도 서방해역을 따라 제주해협 서쪽입구를 통하여 유입된 고온·저염한 중국대륙연안수가 해협의 동쪽입구를 통하여 유출되면서 수온·염분전선대를 형성하였다. 출현 형태는 제주해협의 동쪽입구에서 수온 27.6℃, 염분 29.4psu의 고온·저염한 중국대륙연안수가 거문도 주변해역으로 확장되고 있으며, 이 해수는 거문도 주변해역의 해수를 한국남해연안수와 거문도 남쪽해역의 대마난류수를 분리시켜 놓는 형상을 하고 있다.

10m층 해황은 수온과 염분에 있어서 표층보다 저온·고염한 상황이지만 표층 해황과 거의 유사한 형태를 나타냈다.

멸치 난의 경우 거문도 북부해역인 초도 주변의 연안역에서 25.2~26.8℃의 수온범위 및 30.6~31.6psu 염분범위내에 총 출현량 1,815 No./10³m³로 분포하였으며, 거문도 남부해역에서는 출현하지 않았다. 10m층에서도 청산도 및 초도 주변의 22.8℃의 연안역내에서 출현하였지만 출현량은 표층보다 많은 1,948 No./10³m³로 약간 높게 출현하였다. 이시기의 멸치 난의 분포특징은 8월초와 비슷한 양상으로 출현위치는 청산도 및 초도 주변의 외해역보다 연안수의 영향을 받는 저온수역에서 대부분 출현하였고 8월초에 비해 난이 분포했던 해역의 수온이 약 1.3℃ 높았으나 출현량은 상당히 감소하였다. 이처럼 난의 분포역에 수온이 높았음에도 불구하고 난의 출현량이 감소한 원인은 연안역의 산란시기가 거의 종료되면서 대부분의 난들이 부화하여 치어로 성장하기 때문에 8월초에 비해 멸치 난의 출현량이 감소한 것으로 사료된다.

따라서 이 시기에는 멸치 난이 분포한 남해 연안역에 중국대륙연안수의 영향이 직접적으로 미치는 여서도 남쪽해역에서는 전혀 채집되지 않았으며 외해역에 비해 염분이 높게 나타나는 남해 연안수의 영향을 받는 청산도 및 초도 주변의 연안역에서만 분포하였다.

멸치 치어의 경우 표층과 10m층에 걸쳐 높은 분포밀도를 보였지만 특히, 10m층에서 조사기간 중 총 출현량 15,497 No./10³m³로 가장 많이 출현하였다. 표층의 경우 치어가 출현한 해역의 수온범위는 25.2~27.6℃, 염분은 29.4~32.6psu 범위로서 조사해역 전반에 걸쳐 치어가 분포하였고, 특히 26.8℃의 고온수를 경계로 서쪽해역의 남북방향으로 치어의 분포밀도가 매우 높았으며 거문도 북부의 연안역보다 거문도와 여서도 남부해역의 외해역에서 출현비율이 높았다. 10m층의 경우도 표층과 비슷한 양상으로 분포하였지만 출현량에 있어 월등히 많았고 중국대륙연안수와 남해연안수 사이의 전선역에 집중적으로 분포하는 경향이였다.

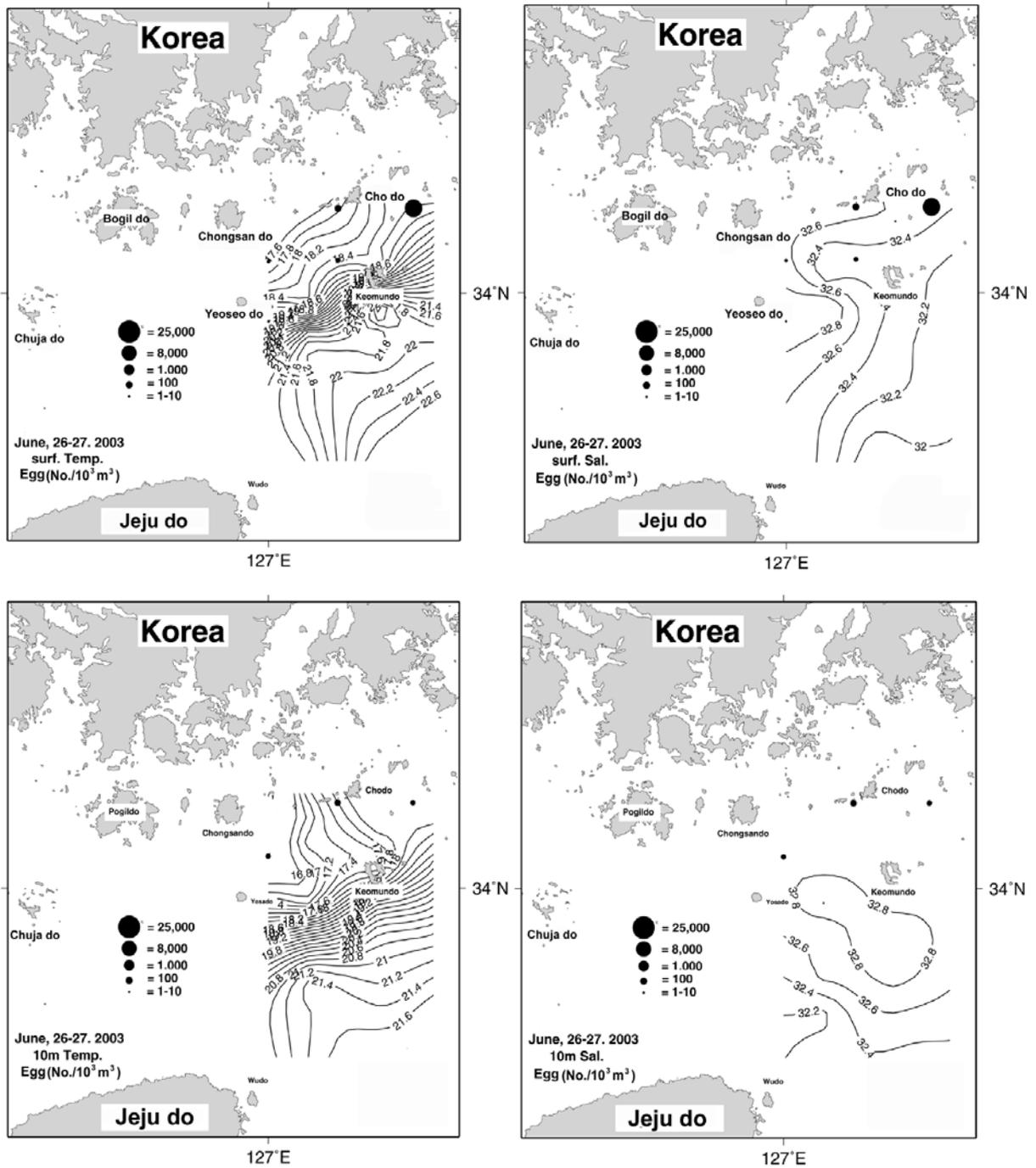


Fig. 18. Horizontal distributions of temperature(°C), salinity(psu) and eggs of anchovy in the surrounding sea of Keomun do in Jun. 26~27, 2003.

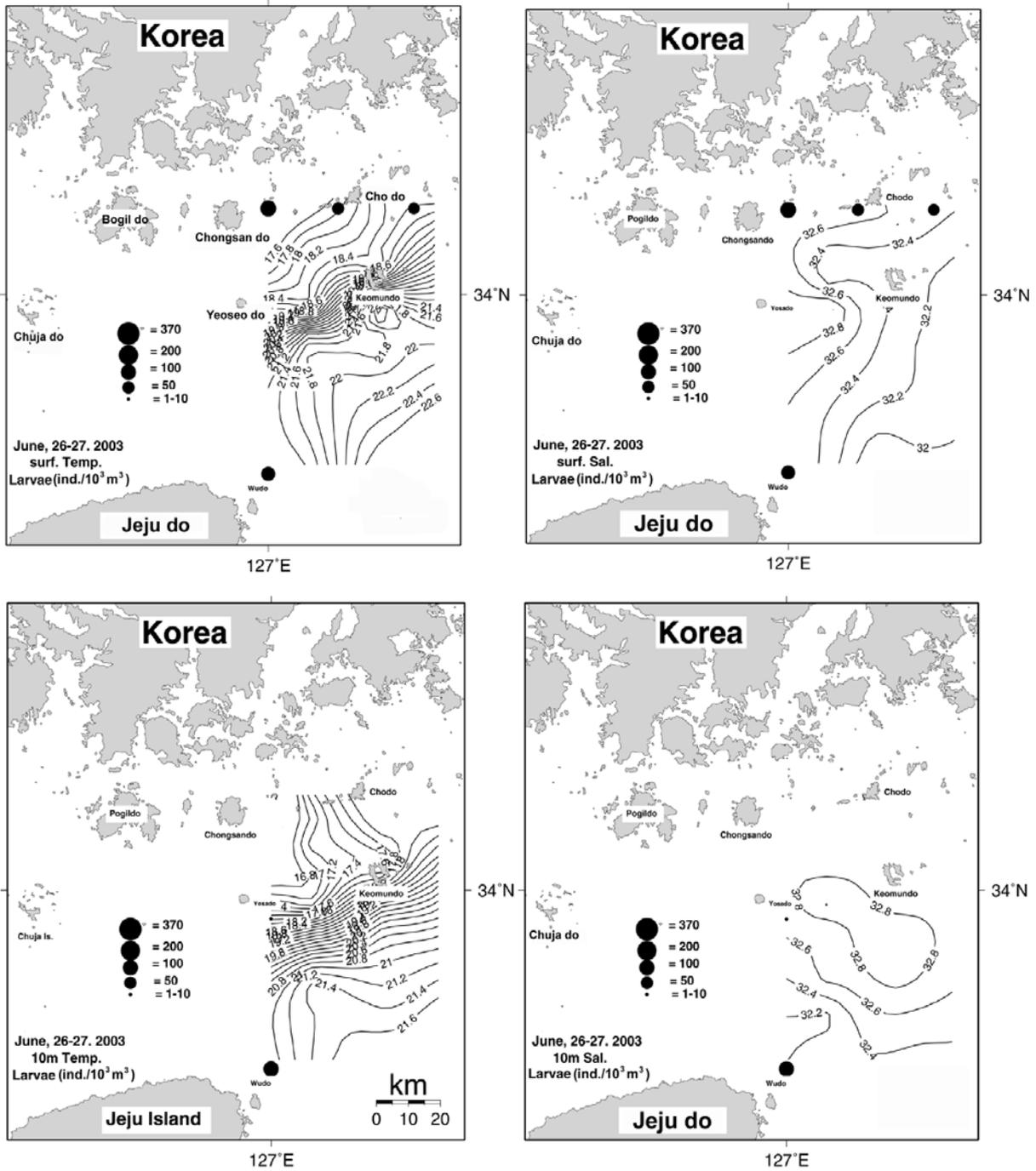


Fig. 19. Horizontal distributions of temperature(°C), salinity(psu) and larvae of anchovy in the surrounding sea of Keomun do in Jun. 26~27, 2003.

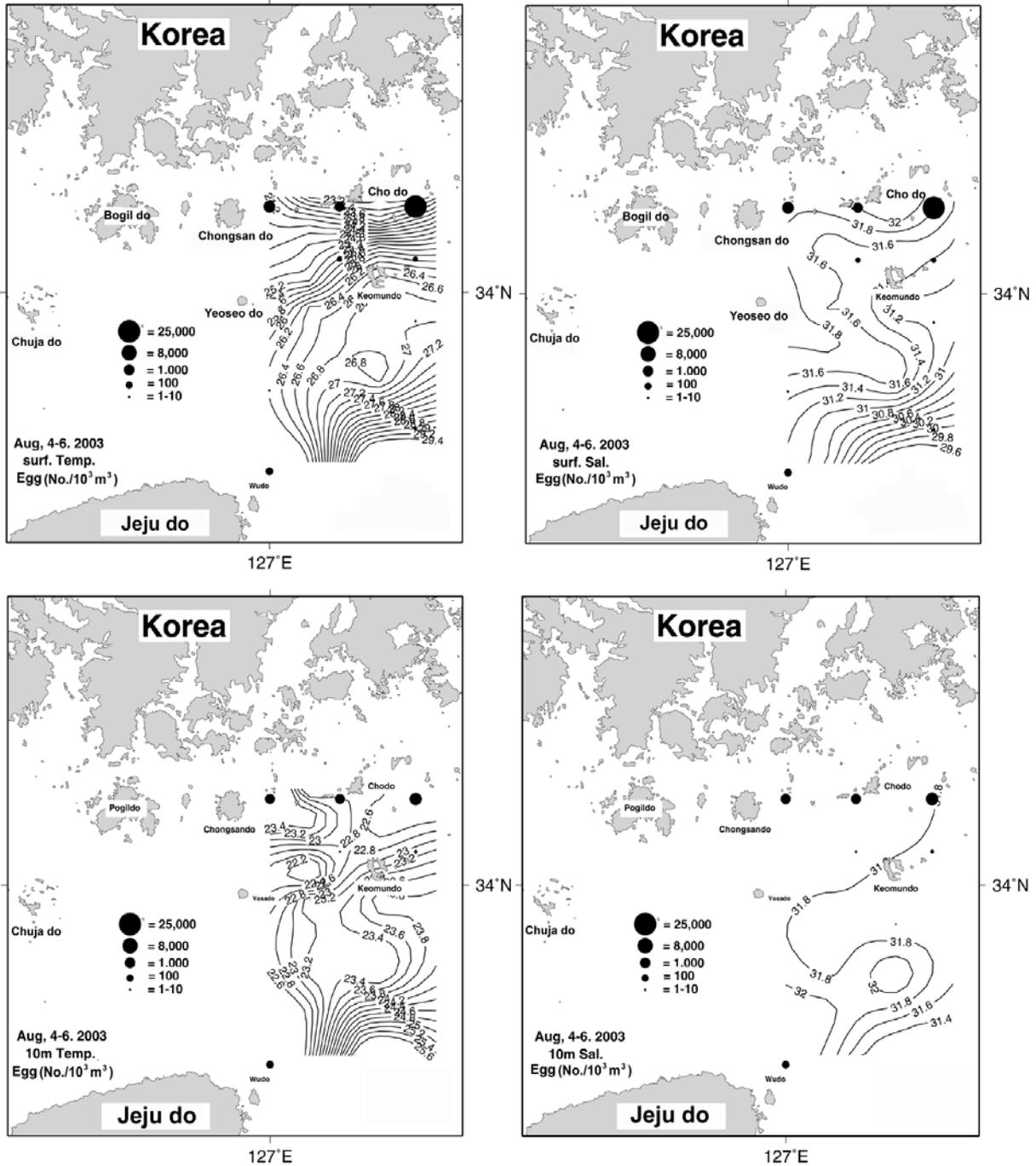


Fig. 20. Horizontal distributions of temperature (°C), salinity(psu) and eggs of anchovy in the surrounding sea of Keomun do in Aug. 4~6, 2003.

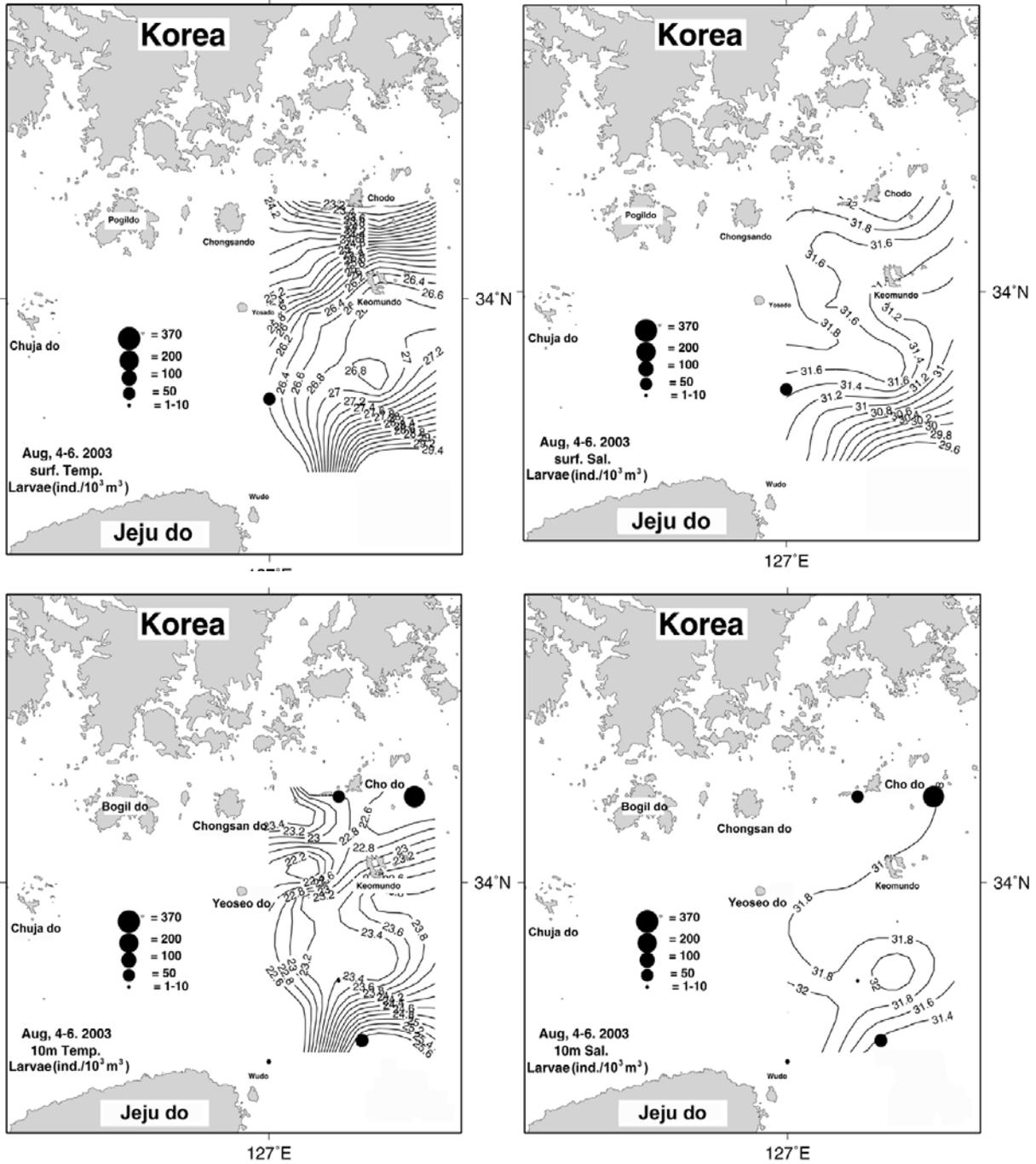


Fig. 21. Horizontal distributions of temperature(°C), salinity(psu) and larvae of anchovy in the surrounding sea of Keomun do in Aug. 4~6, 2003.

2.1.1.3.4 2003년 9월의 특성

2003년 9월 29일과 30일에 거문도 주변해역에서 관측된 표층과 10m층의 수온·염분 수평 분포 및 각 정점에서 채집된 멸치 난치어 수평분포를 Fig. 24에 나타냈다.

하계 제주도 주변해역에 출현했던 중국대륙연안수 세력이 아직까지 영향을 미치고 있어 표층 및 10m층 해황이 고온·저염화 현상이 잔존해 있다. 멸치 난의 경우 조사해역 표층 및 10m층의 모든 정점에서 채집되지 않았고 치어만 채집되었다.

멸치 치어의 경우는 8월말에 비해 출현량 (총 출현량 270 No./10³m³)은 현저히 줄어든 상태이며 특히, 10m층 거문도 동부 및 서부해역에 수온 22.0~22.4℃ 및 염분 31.0~31.4psu의 범위에서 소량으로 채집되었다.

따라서 멸치 난은 출현하지 않고 치어만이 출현하는 것으로부터 거문도 주변해역에서는 이 시기에 멸치의 산란이 모두 종료된 시기이며, 거문도 주변에서 소량으로 출현한 멸치 치어는 다른 연안역의 산란장에서 늦게 부화된 치어가 거문도 주변해역으로 수송되어 성장하는 과정에서 채집된 것으로 사료된다.

제주해협내에서의 해황특성 및 멸치 난치어 분포특성을 분석한 결과, 추자도 주변해역을 중심으로한 1차년도 및 거문도 주변해역을 중심으로 한 2차년도의 조사는 거의 유사한 경향을 나타냈지만 특이한 형상이 출현하기도 하였다. 그 특징들은 대체로 6월부터 섬주변의 외해역에서 멸치 성어들이 내유해와 산란을 한 결과로써, 이로 인하여 연안역에서 멸치난이 채집되는 결과를 초래하였으며 10월 중순까지 이러한 산란은 지속되는 것으로 파악되어졌다. 산란장으로서의 한국남해안의 보길도, 청산도 및 추자도를 연결하는 연안해역과 거문도를 중심으로 청산도, 초도 주변해역이 주된 산란장이 되고 있었다. 또한, 제주도 주변 연안해역의 섬주변에서도 산란이 일부 이루어지고 있는 특징도 나타났다.

산란장으로서의 해황특성은 멸치 난의 경우 고온·저염한 중국대륙연안수의 중심부에서는 거의 채집되지 않아 이를 토대로 멸치 성어의 습성을 파악해 보면, 멸치 성어는 이러한 고온·저염의 중국대륙연안수를 회피하는 동작을 나타내고 있는 것으로 사료된다. 따라서 멸치 난은 이러한 중국대륙연안수를 벗어난 수온·염분전선대의 외측과 연안역의 상대적으로 저온·고염한 특성을 나타내는 해역에서 주로 채집이 되는 특성을 나타냈다. 그리고 이러한 수온·염분전선대와 상당히 밀접한 관련성을 가지면서 서로 다른 해류계의 경계역 및 연안계수와 외해계수의 경계역이 되는 전선대의 수렴역에 난이 밀집되어 있는 경향을 나타냈다.

그리고 멸치 치어의 경우는 난이 주로 연안역에서 채집된 반면, 추자도 주변해역에서의 치어는 보길도, 청산도 및 추자도 주변해역을 벗어난 다소 외해역에서 채집이 되는 특성을 나타냈다. 그러나 거문도 주변해역에서는 이와는 반대로 멸치난과 치어가 주로 연안역에서 채집된 후 8월부터 외해역에서 채집되는 특성도 보였다.

그러므로 이러한 멸치 난치어의 분포특성으로부터 유영능력이 없는 난치어의 수송 메카니즘이 과연 어떠한 원인에서 비롯되는 것인지가 가장 주목할 만한 과제의 하나이다.

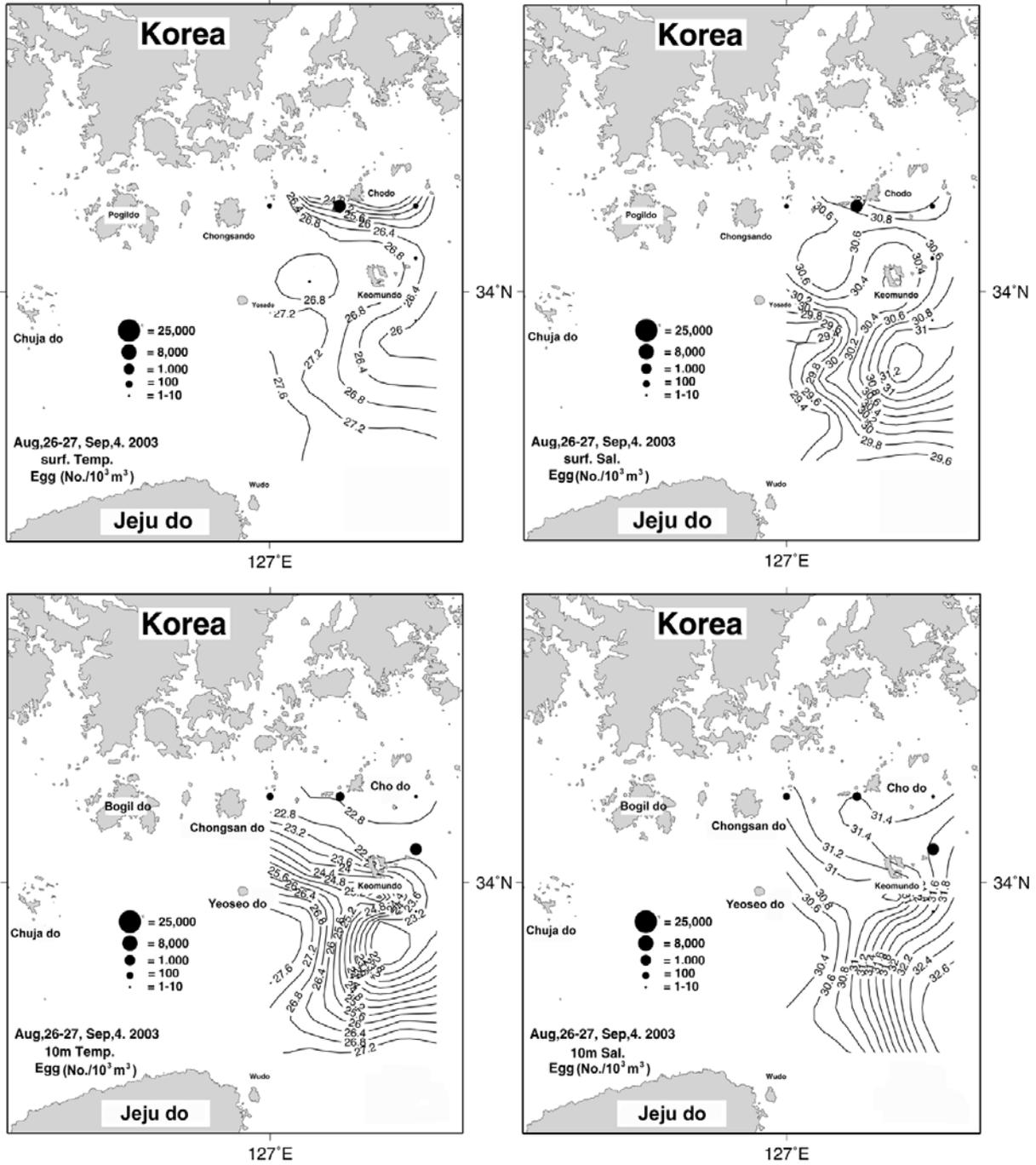


Fig. 22. Horizontal distributions of temperature(°C), salinity(psu) and eggs of anchovy in the surrounding sea of Keomun do in Aug. 26~27, Sep. 4, 2003.

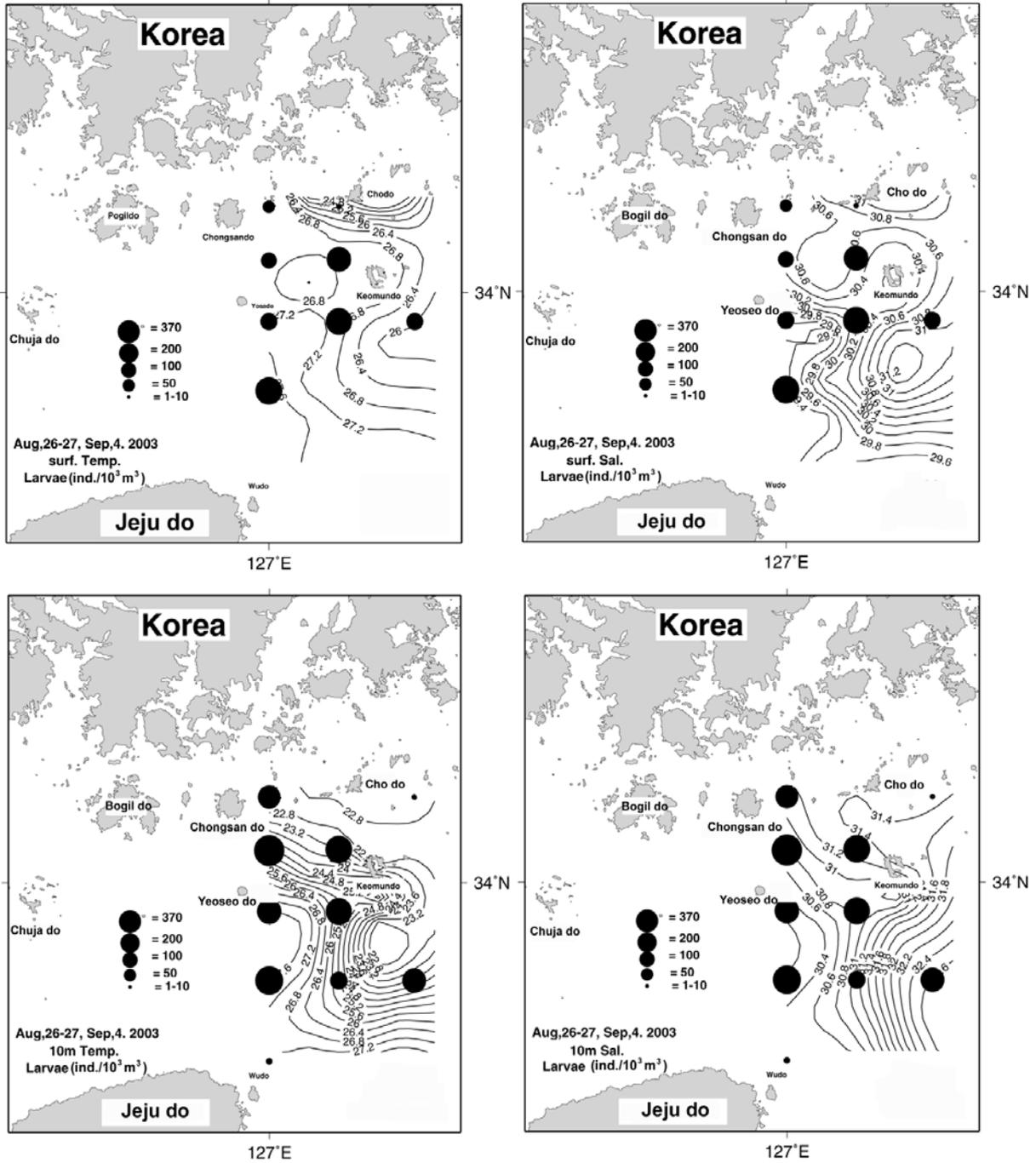


Fig. 23. Horizontal distributions of temperature(°C), salinity(psu) and larvae of anchovy in the surrounding sea of Keomun do in Aug. 26~27, Sep. 4, 2003.

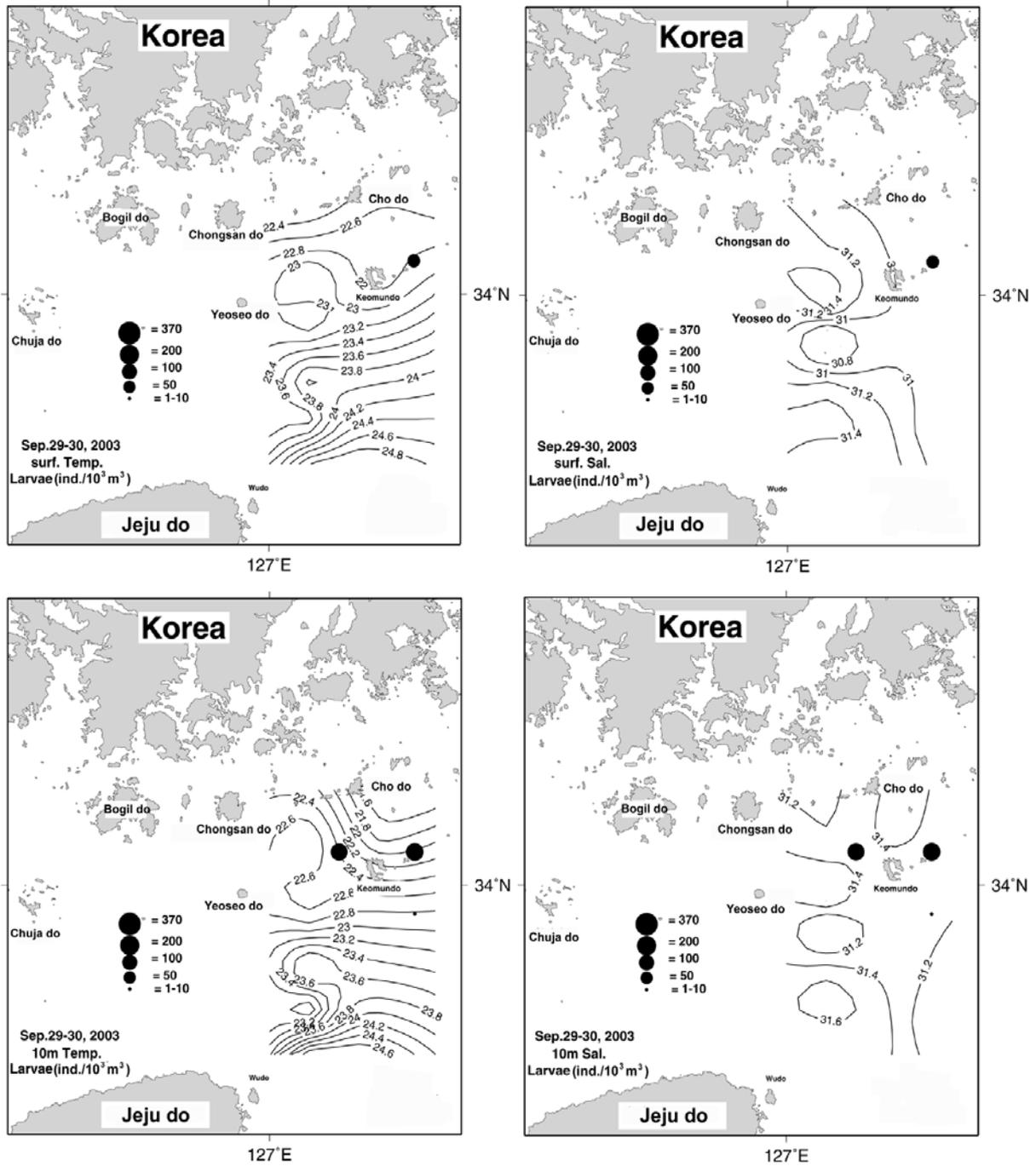


Fig. 24. Horizontal distributions of temperature(°C), salinity(psu) and larvae of anchovy in the surrounding sea of Keomun do in Sep. 29~30, 2003.

2.1.2 수온·염분 연직분포와 멸치 난치어 분포

2.1.2.1 광역조사 결과

2.1.2.1.1 2001년 7월

제주해협 및 제주도 서부해역에서의 수온, 염분 연직특성에 따른 멸치 난치어의 분포상황을 파악하기 위해 제주해협내 정선단면(Fig. 1, Section A~E)을 설정하여 분석하였으며 멸치 난치어가 집중적으로 채집된 시기인 2001년 7월 16일의 결과를 Fig. 25에 나타냈다.

맹골도 남부에서 제주도 서부해역까지 설정한 단면(Section A)의 경우, 약 20m층을 경계로 수온·염분약층이 강하게 형성되었다. 제주도 북서쪽 외해역 Sta. 37~28의 40m~70m층에서 11.0°C, 32.4~33.2psu의 저온·저염분수가 출현하여 제주해협쪽으로 유입되는 양상이며, Sta. 46, 38의 제주도 서부해역 저층에서는 14.0°C 34.0psu의 대마난류수가 제주도 북동방향으로 확장하고 있다. 표층(Sta. 36, 38)에서는 26.0°C, 29.8psu이하의 고온·저염한 중국대륙연안수가 10m층까지 영향을 미치며 심한 수온·염분약층을 형성했다.

멸치 난은 맹골도 남쪽해역(Sta. 28)의 10~30m층에 소량으로 분포하였고, 수온 12.5~13.0°C, 염분 32.4psu로 황해냉수와 남해 연안수의 혼합수역인 상대적으로 수온이 낮은 저온·저염분역에 한정되어 분포하였다.

멸치 치어의 경우 Sta. 38, 36의 제주도 서쪽해역의 수온범위 12.5~25.0°C인 저수온역 및 고수온역에서 분포밀도가 높게 나타났으며 10m층에서 30m층에 국지적으로 형성된 수온·염분약층역(Sta. 38)의 상부 및 황해냉수와 남해연안수의 영향을 받는 해역인 11.0°C, 32.4psu의 저온수의 상층부(Sta. 36)에서 분포하는 특징을 나타냈다. 따라서 멸치 난의 경우는 고온·저염분역에는 출현하지 않는 특징을 나타내나 치어의 경우 약층의 상부 및 하부에서, 그리고 고온·저염분역에서도 출현하는 경향을 나타냈다.

제주해협 서쪽입구 단면의 차귀도에서 정북방향으로 설정한 단면(Section B)의 경우 Sta. 20, 21인 제주도 북서쪽해역 저층에 14.0~15.0°C, 34.0psu의 대마난류수가 출현하여 고염분수가 40m층까지 영향을 미치고 있으며, Sta. 22~25의 20m~50m층에서 11.0~12.0°C·32.4~33.4psu의 저온·저염분수가 출현하여 제주해협 서쪽해역에 영향을 미치고 있다. 그리고, Sta. 22의 50m층 중층에서 11.0°C의 저온수가 렌즈 형태로 출현하였다. 또한, 표층에는 제주도 서방해역에서 해협내로 확장하는 24.0°C 이상, 32.0psu이하의 중국대륙연안수가 표층에 출현하여 강한 수온·염분약층을 형성하였다.

멸치 난은 모든 정점에서 분포하지 않았다.

멸치 치어의 경우는 Sta. 23과 25의 추자도 남서쪽 및 북서쪽해역에 분포하였으며 수온·염분약층역인 14.0~24.0°C, 31.2~32.4psu 범위의 추자도 남서쪽(Sta. 23)정점에 분포밀도가 높게 나타났다.

제주도와 추자도 동쪽해역을 남북으로 연결하는 단면(Section C)의 경우, 연직해황이 단면 A, B와 비슷한 양상이지만 중·저층에 출현한 11.0°C의 저온수는 출현하지 않았으며, Sta. 13

의 제주해협 중앙부 저층에서는 해저를 따라 13.0°C의 저온수가 제주도 북부 연안역으로 유입되고 있다. 또한 B-line 저층에서 유입된 34.0psu의 고염분수가 Sta. 15~14의 저층에 한정되어 출현하고 있으며 Sta. 12~14인 제주해협 중앙부 표층에는 24.0°C 이상 31.2psu 이하의 중국대륙 연안수의 끝자락이 10m층에 영향을 미치고 있다. 이 단면에서는 단면 A 및 B에서 수온·염분 약층이 강하게 형성되었던 것에 비해 약층이 다소 파괴되어 나타났다. 이와 같은 결과는 추자도를 중심으로한 지형적인 원인으로 나타난 결과라고 사료된다.

멸치 난이 분포한 해역은 제주도 북쪽 연안역(Sta. 16)과 추자도 동쪽해역(Sta. 11~13)으로 제주해협 중앙부에 비해 수온은 낮고 염분이 비교적 높은 추자도 주변역의 15.5~24.0°C, 31.8~32.8psu의 범위에 분포하였다. 다른 단면에 비해 분포범위가 확대되어 단면 A, B에서의 결과와는 다르게 나타났다. 특히, Sta. 13과 같이 수온·염분약층의 경도가 크게 나타나는 해역보다는 Sta. 11과 같이 수온·염분약층의 경도가 다소 낮고 연직혼합이 다소 이루어지는 중간난수해역에 분포밀도가 높게 나타났다.

반면 멸치 치어는 Sta. 13의 10m층에 높은 분포밀도를 나타내어 약층과는 무관하게 나타나는 것처럼 보였다. 또한 멸치 난의 경우는 고온·저염한 중국대륙연안수역내에서는 분포하지 않았으나 치어의 경우 수온·염분약층의 상하층을 구분하지 않고 분포하였다.

제주도 북동쪽 연안역에서 보길도 남부해역에 설정한 단면(Section D)의 경우 Sta. 2~3의 표층에 23.0°C, 32.0psu의 중국대륙연안수가 출현하여 약 20m층까지 영향을 미치고, 제주해협 중앙부(Sta. 3~5)에서부터 보길도 남부(Sta. 6)의 저층에 14.0°C의 저온수가 해저면을 따라 제주도 북부해역 저층까지 확장하고 있으며, Sta. 2, 3의 해협중앙 저층에서는 14.0°C 이상·34.0psu의 고염분수가 해저골에 출현하는 등 제주도 동쪽해역 저층으로부터 서쪽으로 유입되는 대마난류수(14.0~15.0°C, 34.0psu)가 제주해협 중앙부 저층으로 유입되고 있는 형상을 하고 있다. 본 단면에서도 수온·염분약층이 다른 단면에 비해 경도는 낮았고, 제주도 북부(Sta. 1) 및 보길도 남쪽(Sta. 6)을 제외하면 섬과 상당한 거리를 보이고 있는 해역이다.

따라서 수평분포 특성에서와 같이 Sta. 5의 섬에서 다소 떨어진 외해역에서 산란이 이루어지고 있지만 섬과 상당히 떨어져 있는 곳에서는 산란이 이루어 지지 않고 있음을 보여주고 있다.

반면에 치어의 경우는 Sta. 3, 4 및 5에서 집중적으로 채집되어 단면 C 혹은 다른 곳에서 수송되어와 부화되어 채집된 것으로 사료되며 이 해역의 특징을 앞에서도 지적한 바와 같이 수온·염분약층이 다소 약화된 해역에 해당하는 해역이면서 조석류 등에 의해 상·하층수의 혼합이 다소 이루어지는 해역에 해당한다. 따라서 치어들은 이러한 환경, 즉 수온·염분의 수직 경도가 크지 않은 해역을 선호하는 것으로 보인다. 그러나, 치어 자체가 이곳으로 본능적으로 이동해 왔다고 보기보다는 이곳으로 수송되어 왔을 것으로 사료되므로 치어들의 산란장 선택이 이러한 결과를 초래하도록 하는 행동이라 사료된다.

제주해협 동쪽 입구인 우도북쪽해역에서 청산도 동쪽해역에 설정한 단면(Section E)의 경우 저층에서 15.0°C, 34.2psu의 대마난류수가 해저 경사면을 따라 북쪽방향으로 확장되며 Sta. 108

의 50m층에서는 저층에서 유입되는 34.2psu의 고염분수가 떨어져 나와 렌즈의 형태로 잔존하며 넓은 범위에 영향을 미쳤다. Sta. 108~113의 여서도 북쪽과 청산도 주변역의 약 20m층까지 24.0℃, 32.0psu의 고온·저염한 중국대륙연안수가 유입되어 있다.

멸치 난은 Sta. 113의 청산도 동부 연안역의 수온 16.0~17.5℃, 염분 32.8~33.6psu의 저온·고염한 연안역에서 소량으로 분포하였고, 상하층수의 조석혼합이 이루어진 해역에 분포하는 등 중국대륙연안수의 외측경계에서 이루어지는 특성을 나타냈다. 또한 섬주변해역에서 산란이 이루어지는 것을 나타냈다.

멸치 치어는 10m층과 20m층에 조밀하게 형성된 약층내인 여서도 남쪽해역(Sta. 110~112)과 청산도 동부연안역(Sta. 113) 및 제주도 우도북부해역(Sta. 108)의 고수온 및 저염분역에 주로 분포하였다.

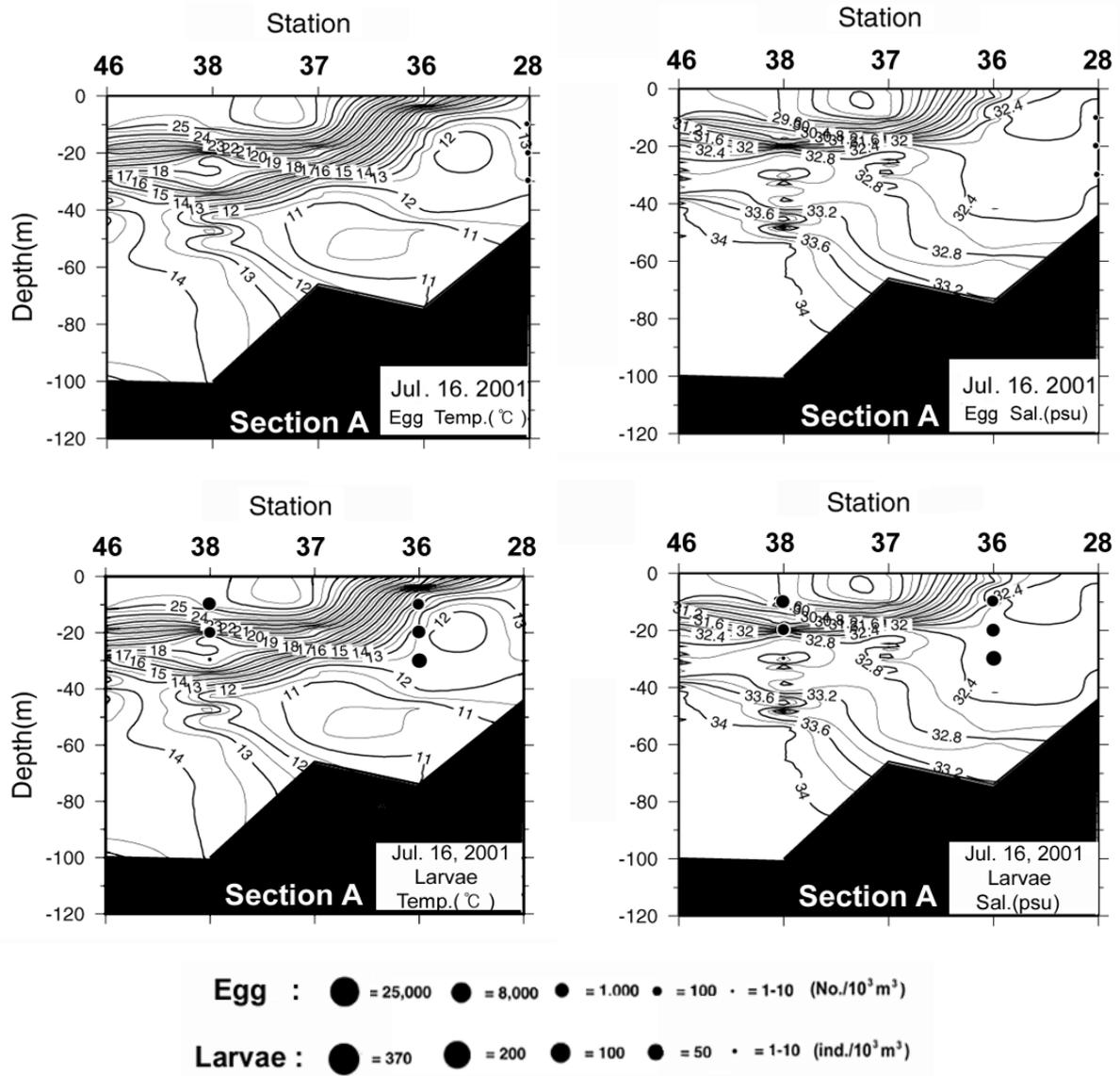


Fig. 25. Vertical distributions of temperature(°C), salinity(psu), eggs and larvae of anchovy along section A in Jul. 16, 2001.

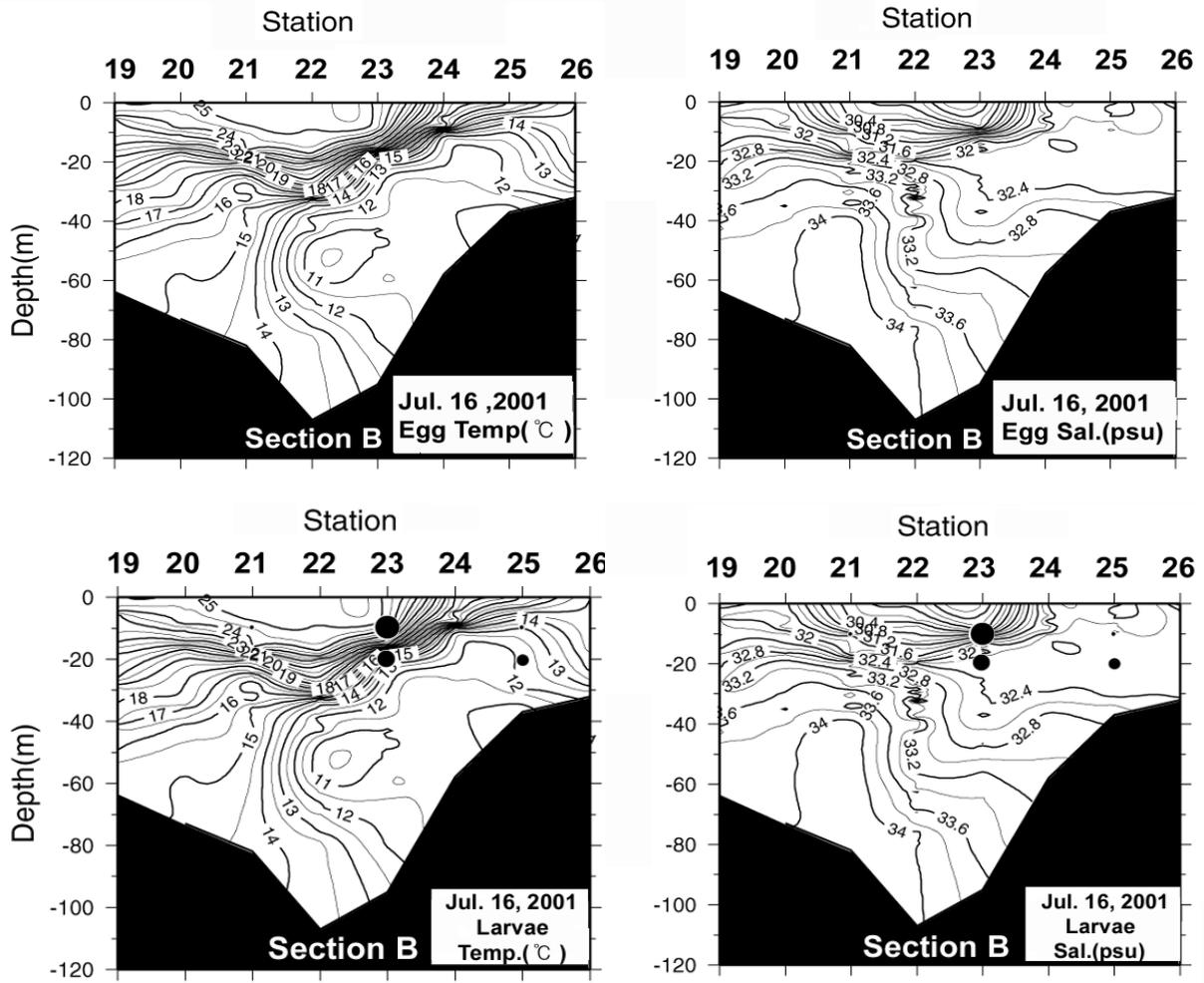


Fig. 25. Continued(Section B).

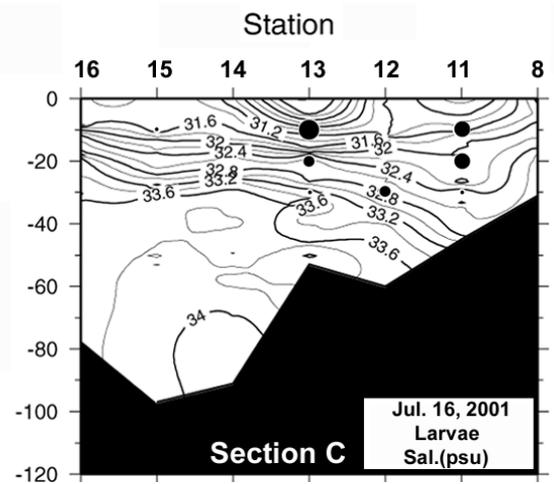
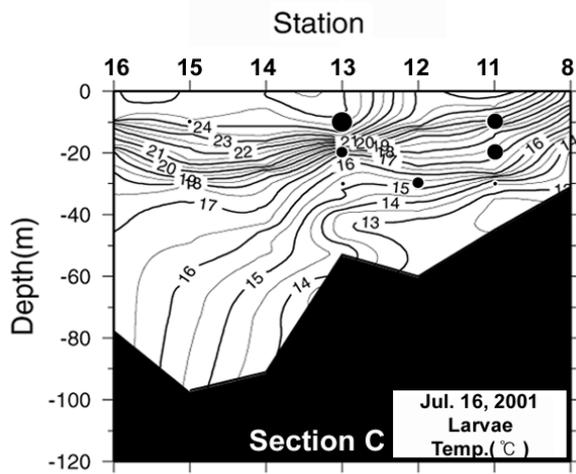
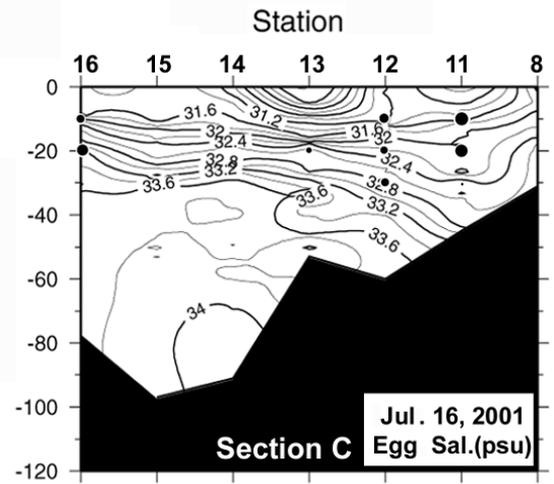
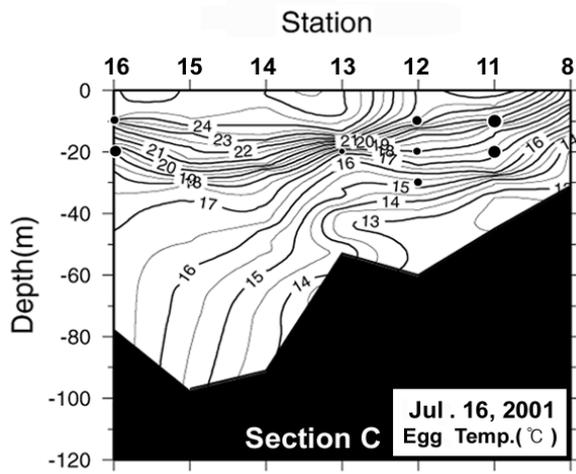


Fig. 25. Continued(Section C).

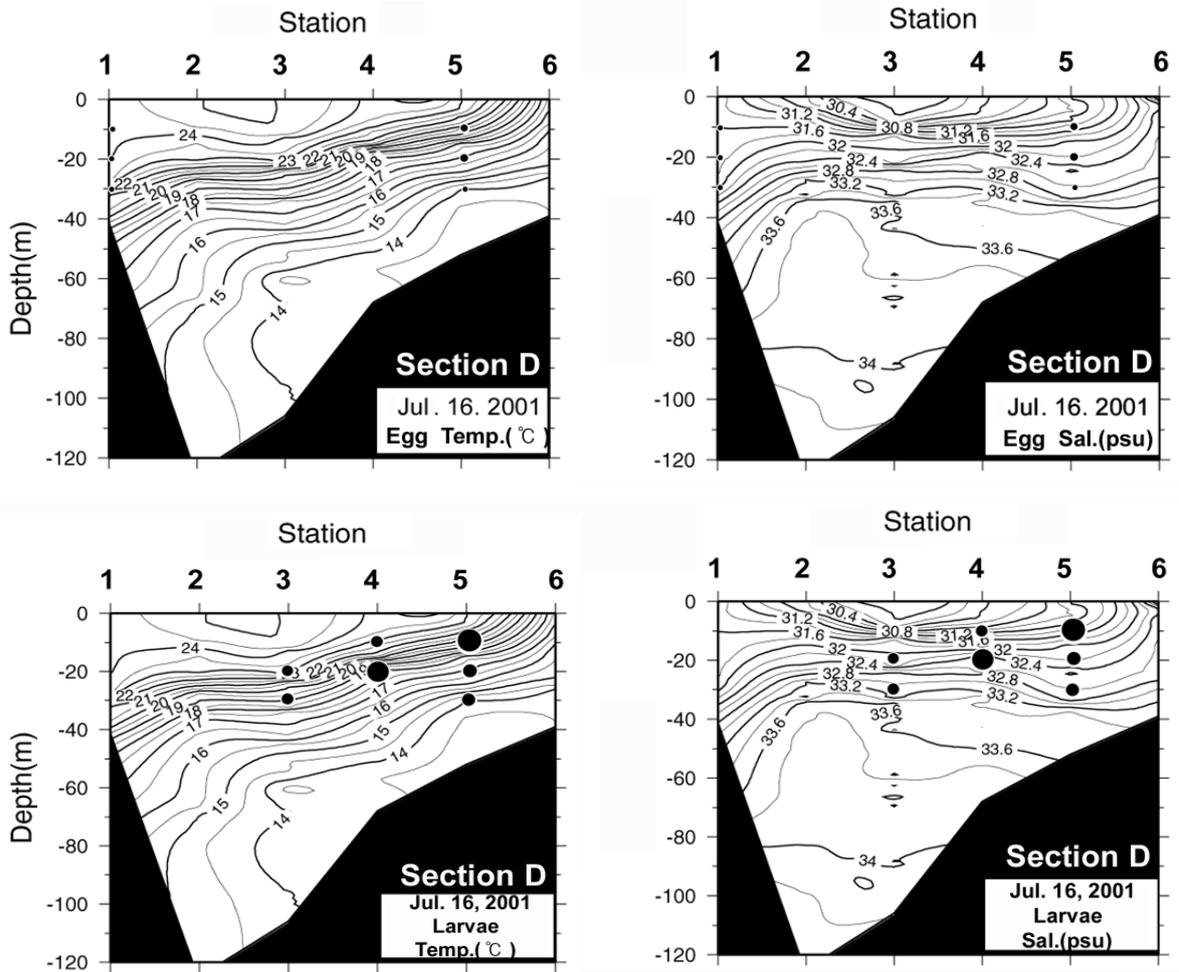


Fig. 25. Continued(Section D).

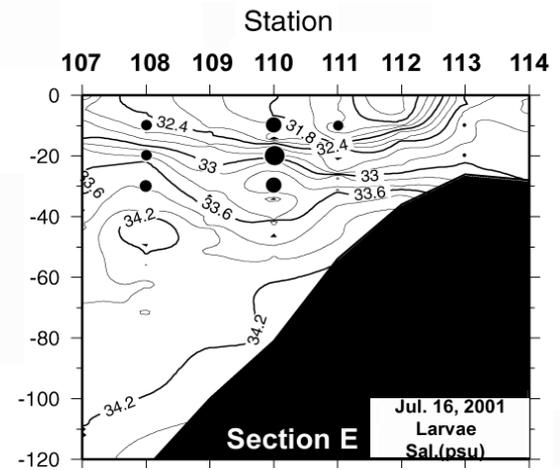
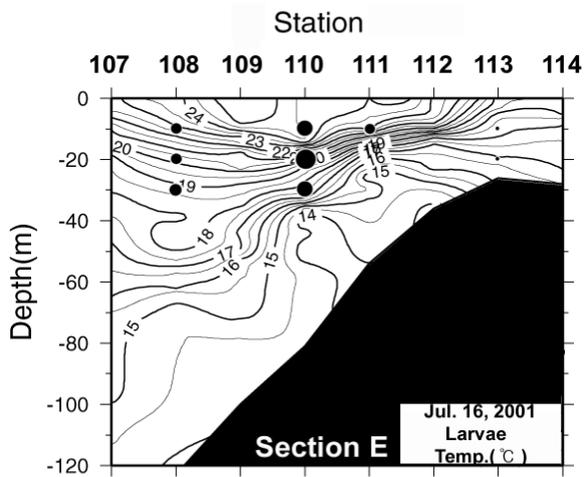
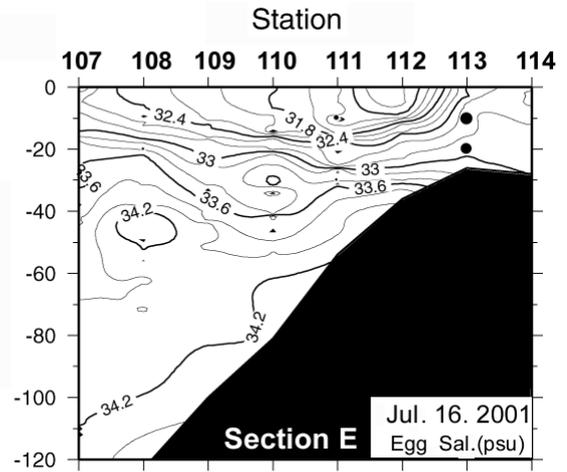
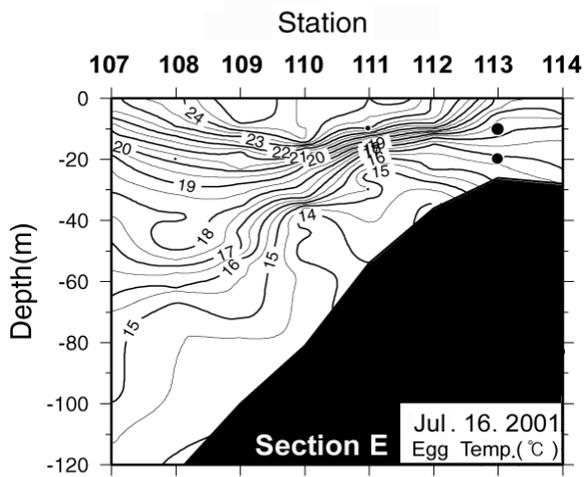


Fig. 25. Continued(Section E).

2.1.2.2 추자도 주변해역 조사결과

2.1.2.2.1 2002년 7월

추자도 주변해역의 수온, 염분에 대한 멸치 난치어의 연직분포 상황을 파악하기 위해 Fig. 2에서와 같이 추자도 주변역에 정선단면(Section A~C)을 설정하여 멸치 난치어가 집중적으로 채집된 2002년 7월 30일의 수직분포에 대한 결과를 Fig. 26에 나타냈다.

추자도 주변해역에 설정한 단면(Section A, B, C)의 저층에서는 추자도 서쪽 외해역에서 동쪽으로 확장하는 14.0°C의 저온수가 유입되고, 추자도 서쪽단면(Section A)보다 동쪽단면(Section C)의 표층수온이 높게 나타나고 있다. Section A의 경우 표층부터 20m층까지 19.0~20.0°C, 31.8psu이하의 고온·저염분수에 의해 영향을 받으면서 수온·염분약층을 형성하였다.

멸치 난치어는 A 단면에서 외해역으로부터 유입된 고온, 저염분수(20°C, 31.2~31.4psu)역내인 추자도 남서쪽 연안(Sta. 1, 2)에서 출현량이 높았고 Sta. 4, 5의 연안역에서는 분포량이 적었다.

반면 B 단면의 경우 A 단면에서 출현했던 저염분수가 수온은 상승하는 반면 염분은 높게 나타났다. 멸치 난은 모든 정점에서 21.0°C 이상, 32.0psu 이하 범위의 고온·저염분역에서 집중적으로 분포하였으며 특히, 추자도 서쪽해역(Sta. 8~10) 표층에 분포밀도가 매우 높게 나타났다.

멸치 치어의 경우는 보길도 남쪽해역(Sta. 6)에 극히 소량으로 출현하였다.

C 단면의 경우 A, B 단면과 유사한 경향의 연직해황을 나타내었다. 멸치 난은 모든 정점의 표층에서 출현하였으나 채집량은 적었다. 멸치 치어는 Sta. 11~13의 10m층인 20.5°C, 32.2psu의 저온·저염한 성층에서 채집이 이루어졌으며 이 층에서 난이 채집되지 않은 상황에서 치어가 출현하므로써 다른 해역에서 수송되어와 부화한 것으로 추정된다.

2.1.2.2.2 2002년 8월

2002년 8월 26일 추자도 주변해역의 수온, 염분의 연직분포에 대한 멸치 난치어의 연직 상황을 Fig. 27에 나타냈다.

추자도 서쪽해역에 설정한 단면(Section A)의 경우 태양복사에 의해 표층이 가열되어 수온이 7월보다 상승하고 제주도 남서쪽해역에서 확장되는 중국대륙연안수에 의해 저염화 경향을 나타냈다. Sta. 1~2의 표층에서 27.0°C, 26.8psu의 중국대륙연안수가 추자도 남서쪽해역으로 부터 북동쪽방향으로 유입되고 있으며 저층에서는 15.0°C, 34.4psu의 저온·고염분수인 대마난류가 출현하여 수괴사이에 조밀한 수온·염분약층을 형성하였다. 특히, 수온이 가장 높은 시기에 추자도 남서부해역 저층에 대마난류수가 출현한 것은 8월의 추자도 주변해역의 독특한 해황특성을 나타냈다. 이때의 멸치 난은 거의 모든 정점 및 수심에서 분포밀도가 높게 나타났다. 그 중 추자도 서쪽해역의 고온·저염분역에서(Sta. 2) 높은 출현량을 나타내, 지금까지 고온·저염

의 중국대륙연안수역내에서는 채집되지 않았던 난이 채집되므로써, 다른곳에서 이류 혹은 확산되어 왔는지, 혹은 멸치 친어의 성향이 바뀌는 것인지는 더욱 연구할 필요가 있다.

치어는 난과 반대로 고온·저염의 하층부에 출현량이 높게 나타나므로써 지금까지의 결과와는 다른 경향이였다. 그러나 한가지 주의할 사항은 여기서 고온·저염의 해수를 중국대륙연안수로 해석하였으나, 이 해수를 하계 우기(장마철)의 지속으로 인하여 표층이 일시적으로 저염화되는 한국 남해연안역의 특성에 의한 결과라면 중국대륙연안수를 회피하는 멸치 친어의 행동을 해석할 수 있는 실마리를 제공해 준다.

보길도 남부역의 단면(Section B)의 경우 단면 A의 연직구조와 비슷한 양상으로 보길도 남부의 외해역(Sta. 9, 10)의 표층에서 25.0°C, 28.8psu의 고온·저염분수의 영향을 받고 있으며, 단면 A의 저층에 출현한 14.0°C 최저온수는 출현하지 않았고 40m층 이심부터 17.0°C, 33.2~33.6psu의 저온·고염분수가 균질하게 분포하고 있다.

보길도 남동부해역의 단면(Section C)의 경우 단면 A, B 외해역에 출현한 고온·저염분수의 영향이 Sta. 11, 12의 표층에 현저히 나타나고 있으며 저층에서는 단면 A에 출현했던 34.4psu의 고염분수가 출현하고 있다.

단면 B의 멸치난 분포는 표층이 10m층보다 높은 분포밀도를 나타내고 보길도 남쪽연안해역에서 높은 분포밀도를 나타냈다. 반면, 외해역에서는 낮은 분포밀도를 나타냈다. 또한 단면 A와는 달리 저염분수의 외측에 높게 나타났다.

치어의 경우도 다른시기와 같이 고온·저염분수내 및 보길도 남쪽연안역에 높았다.

단면 C의 경우 멸치 난은 보길도와 청산도 사이해역에서 유출되는 듯한 형태로 Sta. 13~15의 표층에 높은 분포밀도를 보였고 치어의 경우는 반대로 외해역에서 높은 분포밀도였다.

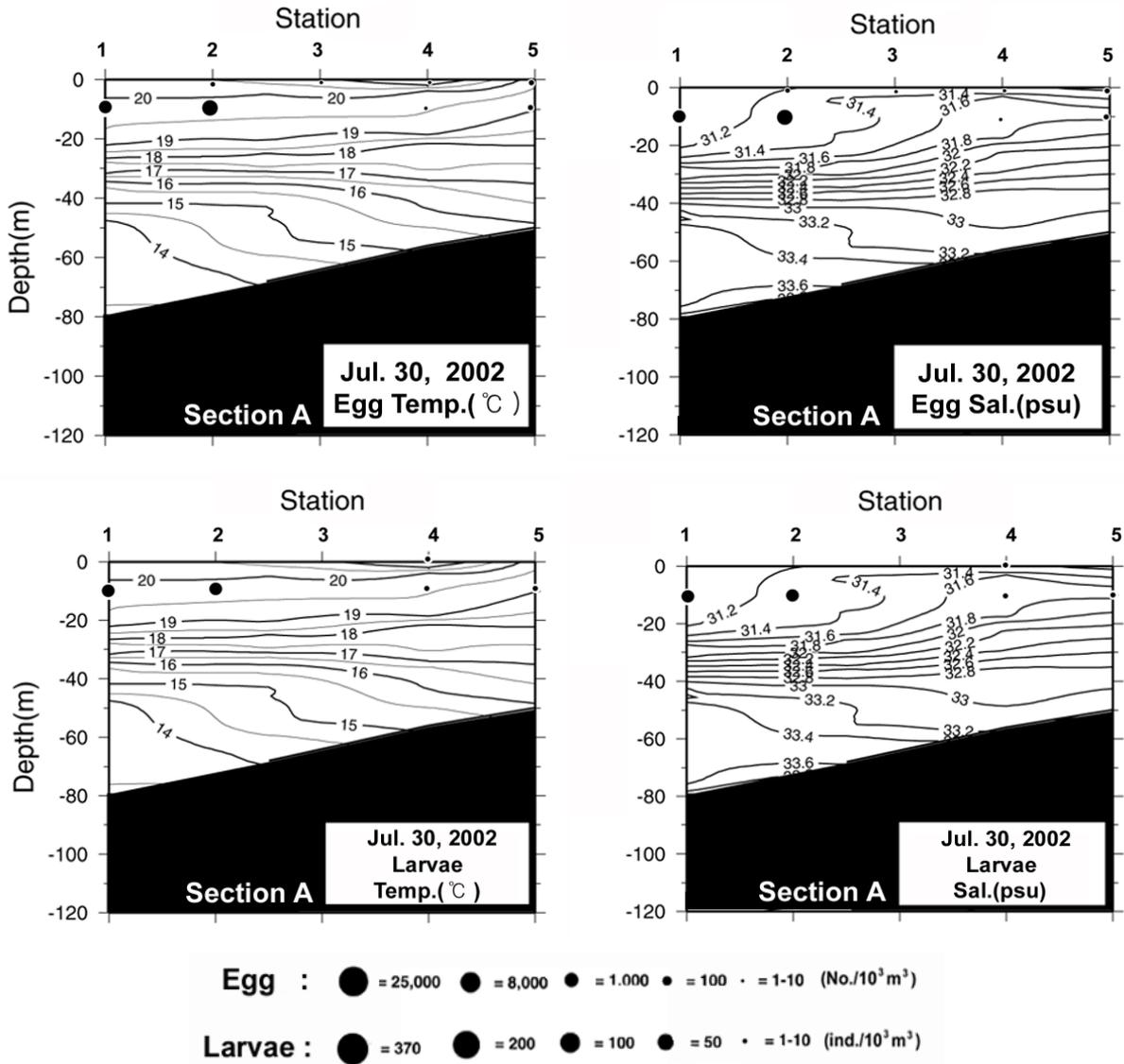


Fig. 26. Vertical distributions of temperature(°C), salinity(psu), eggs and larvae of anchovy along section A in Jul. 30, 2002.

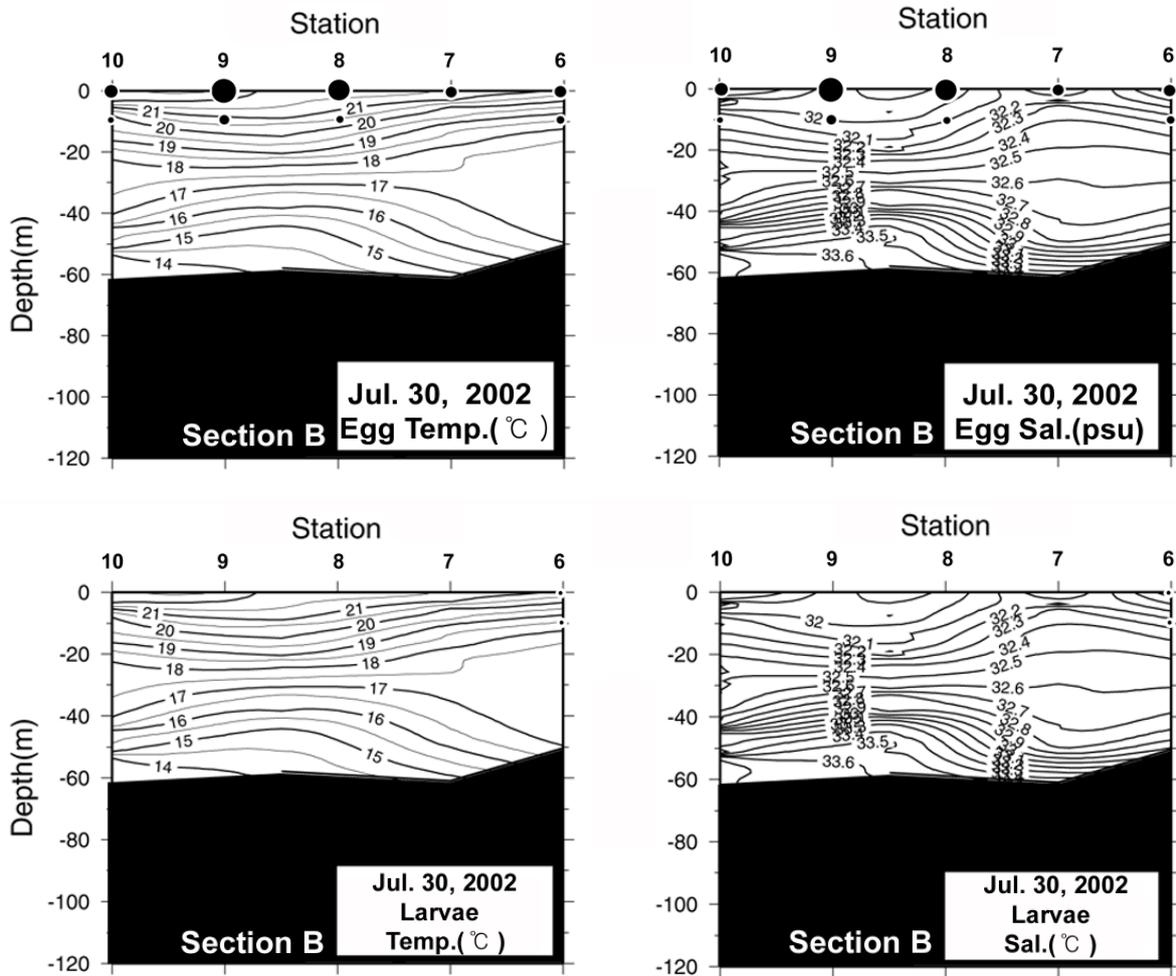


Fig. 26. Continued(Section B).

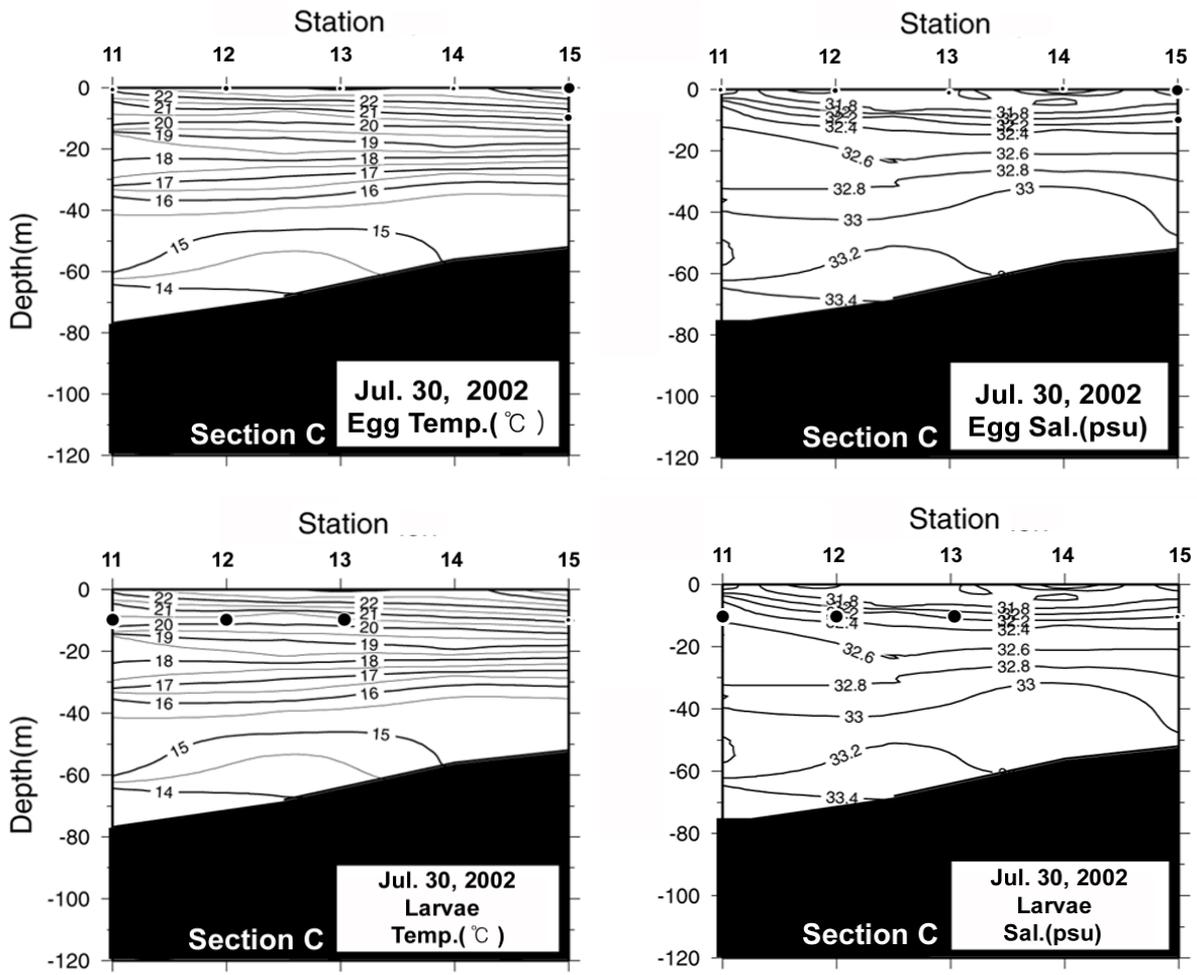


Fig. 26. Continued(Section C).

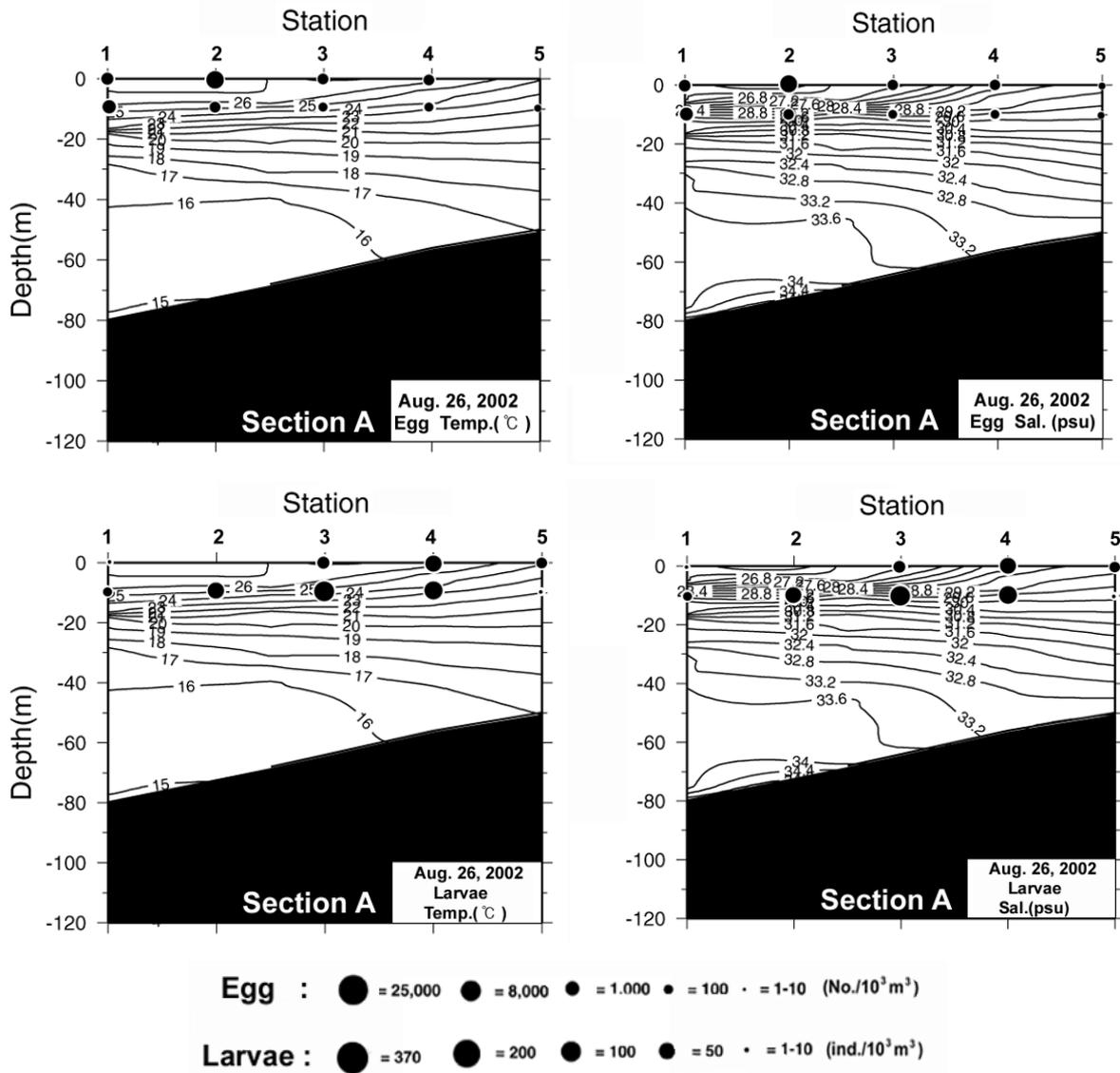


Fig. 27. Vertical distributions of temperature(°C), salinity(psu), eggs and larvae of anchovy along section A in Aug. 26, 2002.

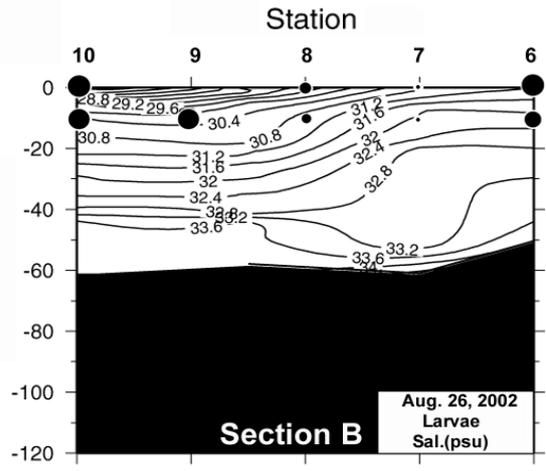
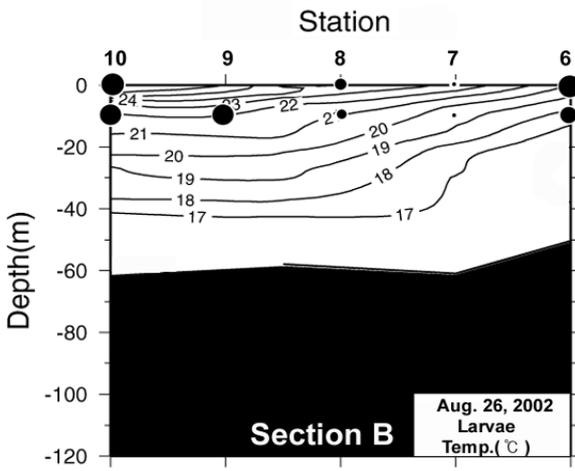
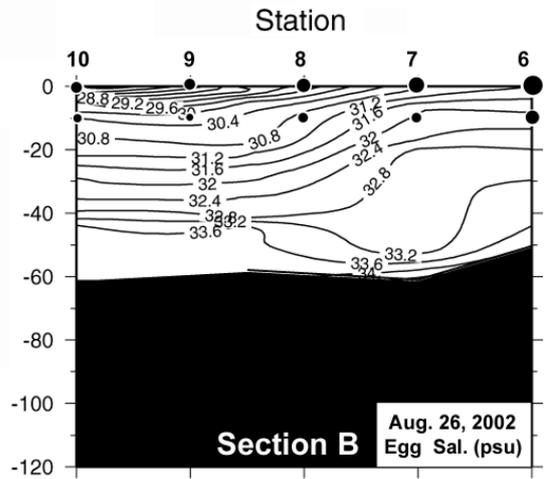
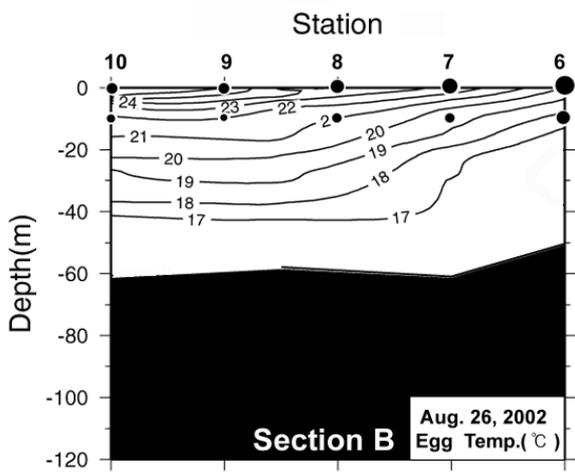


Fig. 27. Continued(Section B).

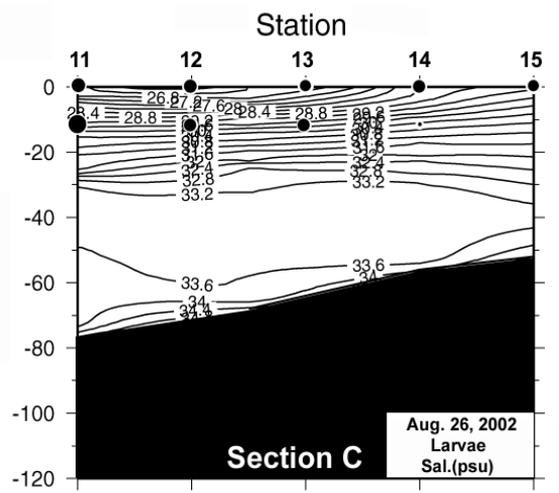
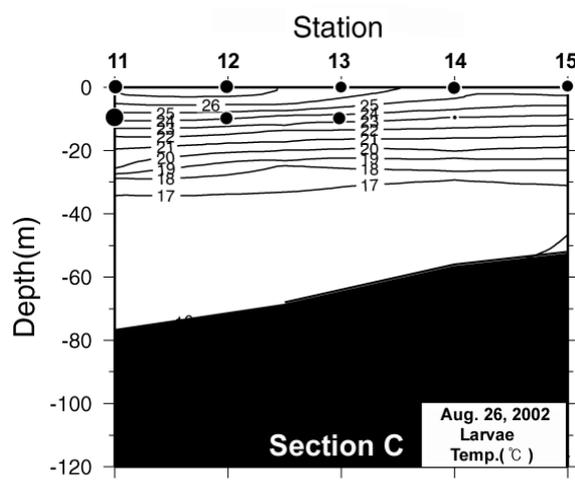
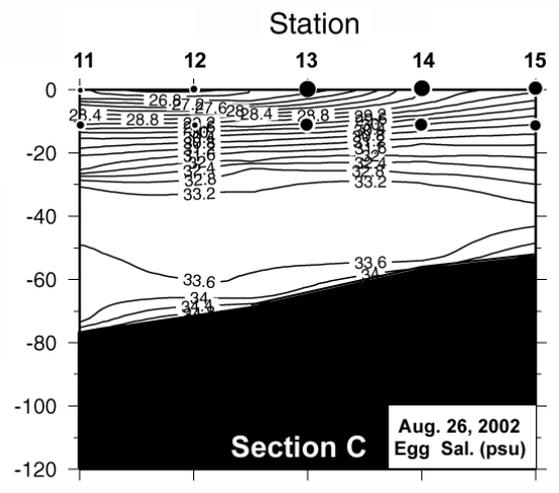
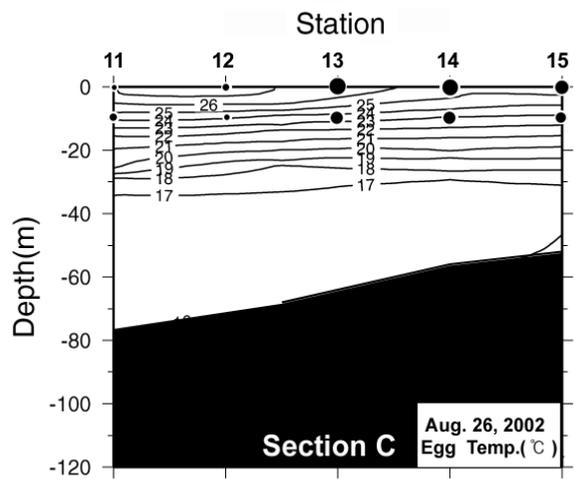


Fig. 27. Continued(Section C).

2.1.2.3 거문도 주변해역 조사결과

2.1.2.3.1 2003년 8월 초

거문도 주변해역의 수온, 염분의 연직해황에 대한 멸치 난치어의 분포 상황을 파악하기 위해 Fig. 3과 같이 거문도 주변역에 단면(Section A~C)을 설정하여 멸치 난치어가 집중적으로 채집된 2003년 8월 4~6일의 수직분포에 대한 결과를 Fig. 28에 나타냈다.

제주도 동쪽의 우도북부해역에서 청산도 동부해역까지 설정한 단면(Section A)의 경우 우도 북쪽 해역의 저층에 15.0°C, 34.0psu의 대마난류수가 여서도 북쪽해역인 Sta. 6의 저층까지 확장되고 있으며 특히, Sta. 2의 40m층에서는 14.0°C의 저온수가 렌즈의 형태로 출현하였다. 표층의 Sta. 27, 1~7까지 23.0°C 이상 31.8psu의 고온·저염분수가 10m층 부근에 영향을 미치고 있으며 특히, Sta. 4에서는 이러한 저염분수가 20m층까지 깊게 유입되고 있어 표층의 고온, 저염분수와 저층의 저온, 고염분수 사이에 매우 조밀한 수온·염분약층을 형성하였다.

멸치 난은 우도 북쪽해역인 Sta. 27과 청산도 동쪽 연안역의 Sta. 8에 소량으로 분포하였다. 멸치 치어는 출현하지 않았다.

초도 남쪽방향으로 설정한 단면 B의 경우 단면 A와 비슷한 연직해황으로 저층의 대마난류수가 북서쪽으로 확장하는 양상이 잘 나타나고 있으며 표층에서는 24.0°C, 31.6psu이하의 고온·저염분수가 넓게 분포하고 있다.

멸치 난은 거문도 북서쪽해역 Sta. 11의 표층과 초도 남부 연안역(Sta. 9)의 표층과 10m층에서 소량으로 분포하였다. 특히, 초도 연안역은 표층에서부터 20m층까지 혼합이 왕성하게 이루어져 연직적으로 균질해진 해역에 높은 분포밀도를 나타냈다.

조사해역 동쪽의 거문도 동쪽해역에 설정한 단면 C의 경우 단면 A, B의 저층에 출현했던 15.0°C, 34.0psu의 대마난류수가 더 이상 북쪽으로 확장하지 못하고 Sta. 22~23의 40m층까지 상승하고 있고, 표층에는 23.0°C, 31.8psu이하의 고온·저염분수가 출현하여 두 수괴의 사이에 수온·염분약층이 강하게 형성되었다.

멸치 난은 Sta. 24, 21, 19의 표층에서 소량으로 분포하였지만 분포밀도가 큰 해역은 손죽도 남쪽(Sta. 17)의 표층 혼합수내에 매우 높게 나타났다.

멸치 치어 또한 이 해역의 10m층에 분포밀도가 높았다.

2.1.2.3.2 2003년 8월 말

앞의 8월 4~6일 관측보다 약 20여일 후인 2003년 8월 26~27일과 9월 4일에 관측된 거문도 주변해역의 수온, 염분에 대한 연직해황 및 멸치 난치어 분포 상황을 Fig. 29에 나타냈다.

단면 A의 경우 Sta. 27, 1~4의 표층부터 10m층까지 27.0°C 이상, 30.6psu이하의 고온·저염분수가 분포하여 8월초보다 수온은 상승하고 염분은 더욱 낮아졌다. 또한, Sta. 2~6까지 중·저층에서는 14.0°C의 저온수가 40m층까지 분포하고 있으며 특히, Sta. 3~4의 40m층에 13.0°C

의 최저온수가 렌즈의 형태로 존재하고 있고, 제주도쪽 저층에는 15.0℃, 34.2psu의 대만난류수가 폭넓게 확장되었다. 이러한 중·저층에서 저온수와 표층의 고온·저염분수 사이의 약 30m층 부근에서는 매우 조밀한 수온·염분약층이 형성되었다. 단면 B, C의 연직해황은 단면 A와 비슷한 형태로 나타나고 있다.

단면 A에서의 멸치 난의 분포는 거의 전 층 및 전 정점에서 채집되지 않았다.

치어의 경우는, 각 정점에서 난이 채집되지 않았으나 거의 전 정점 및 층에서 채집이 이루어져 다른 해역으로부터 이류 혹은 확산과정에 의해 수송된 것으로 사료되어지며, 이러한 원인은 채집된 수층이 주로 수온 및 염분약층의 상층부에서 채집된 결과에서도 나타나고 있다.

단면 B에서는 멸치 난이 Sta. 9의 표층 및 10m층에서 소량 채집되었으며, 이 해역은 8월초의 결과와 같이 표·중층간에 조석류 등에 의해 혼합이 이루어진 해역에서 채집이 이루어졌다.

치어의 경우는 멸치 난의 채집해역보다 남쪽해역에서 채집되었고, 수온·염분 약층의 상층부에서 채집이 이루어진 것으로 판단할 때 다른 해역으로부터 수송이 이루어져 나타난 결과로 사료된다.

단면 C의 멸치난은 Sta. 19의 10m층에서 소량채집이 되었을 뿐 다른 정점에서의 채집은 이루어지지 않았다. 치어의 경우에 있어서도 다른 단면에서와 같이 수온·염분약층의 상부인 Sta. 21, 23의 표·10m층에서 다량 채집이 이루어졌다.

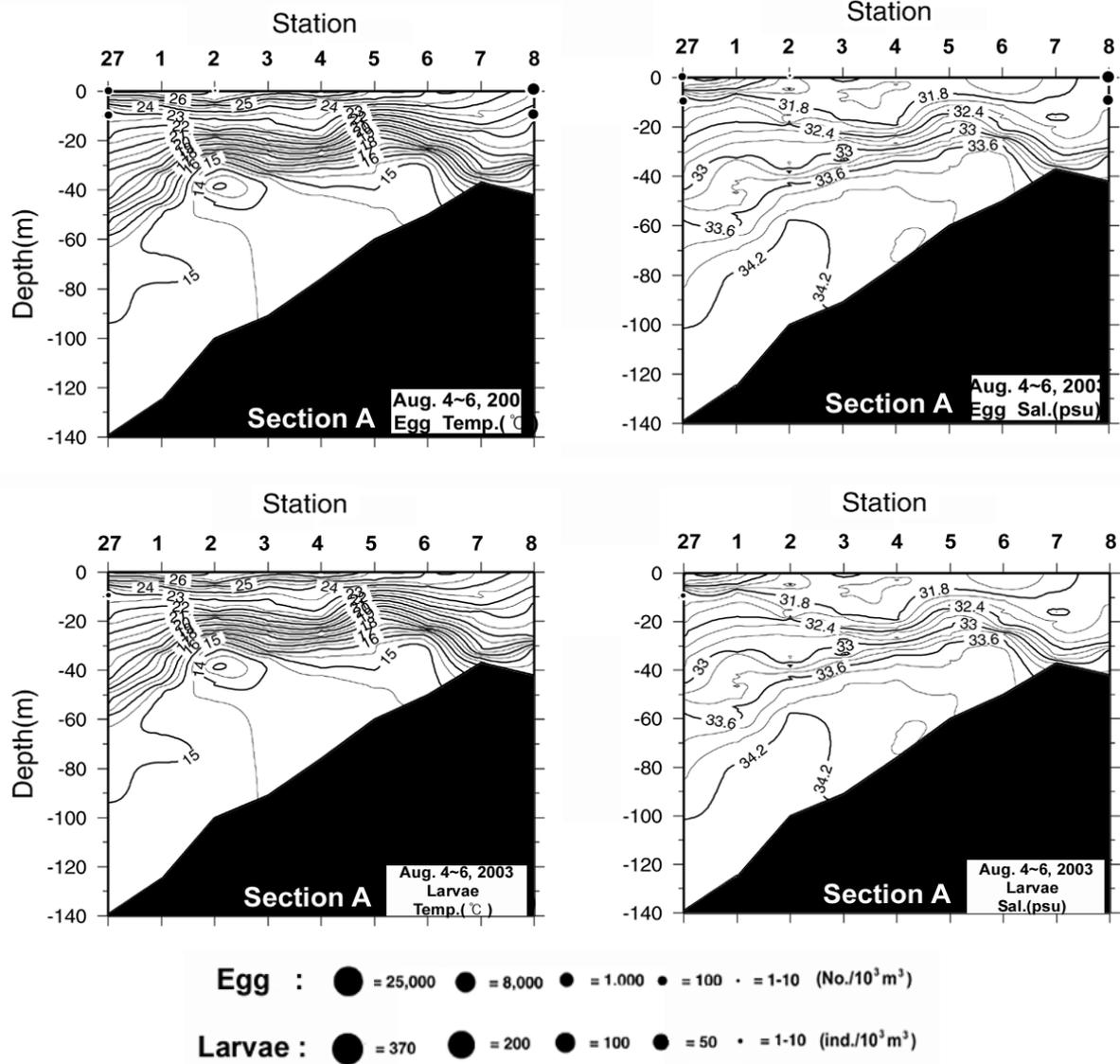


Fig. 28. Vertical distributions of temperature(°C), salinity(psu), eggs and larvae of anchovy along section A in Aug. 4~6, 2003.

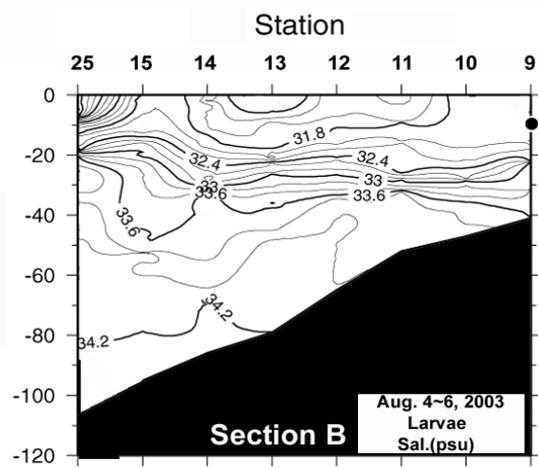
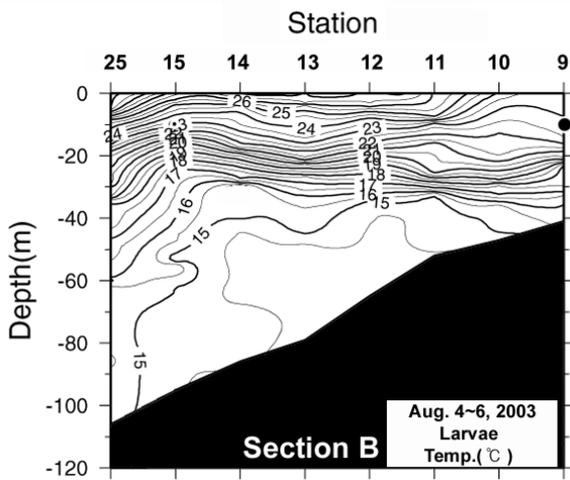
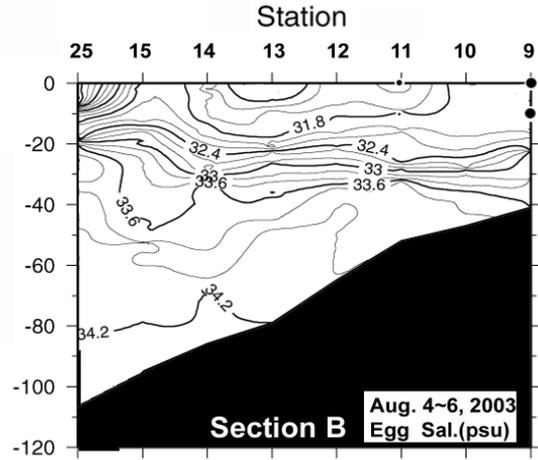
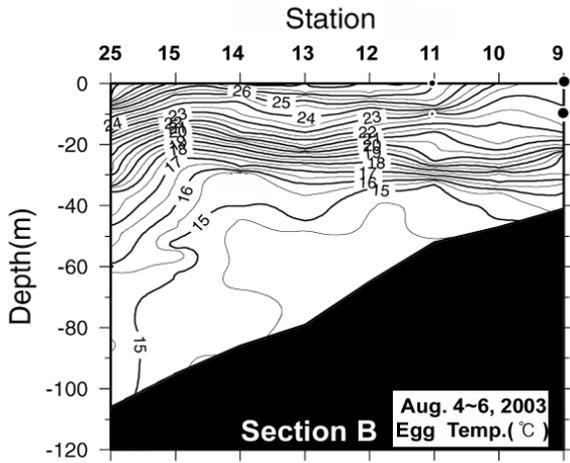


Fig. 28. Continued(Section B).

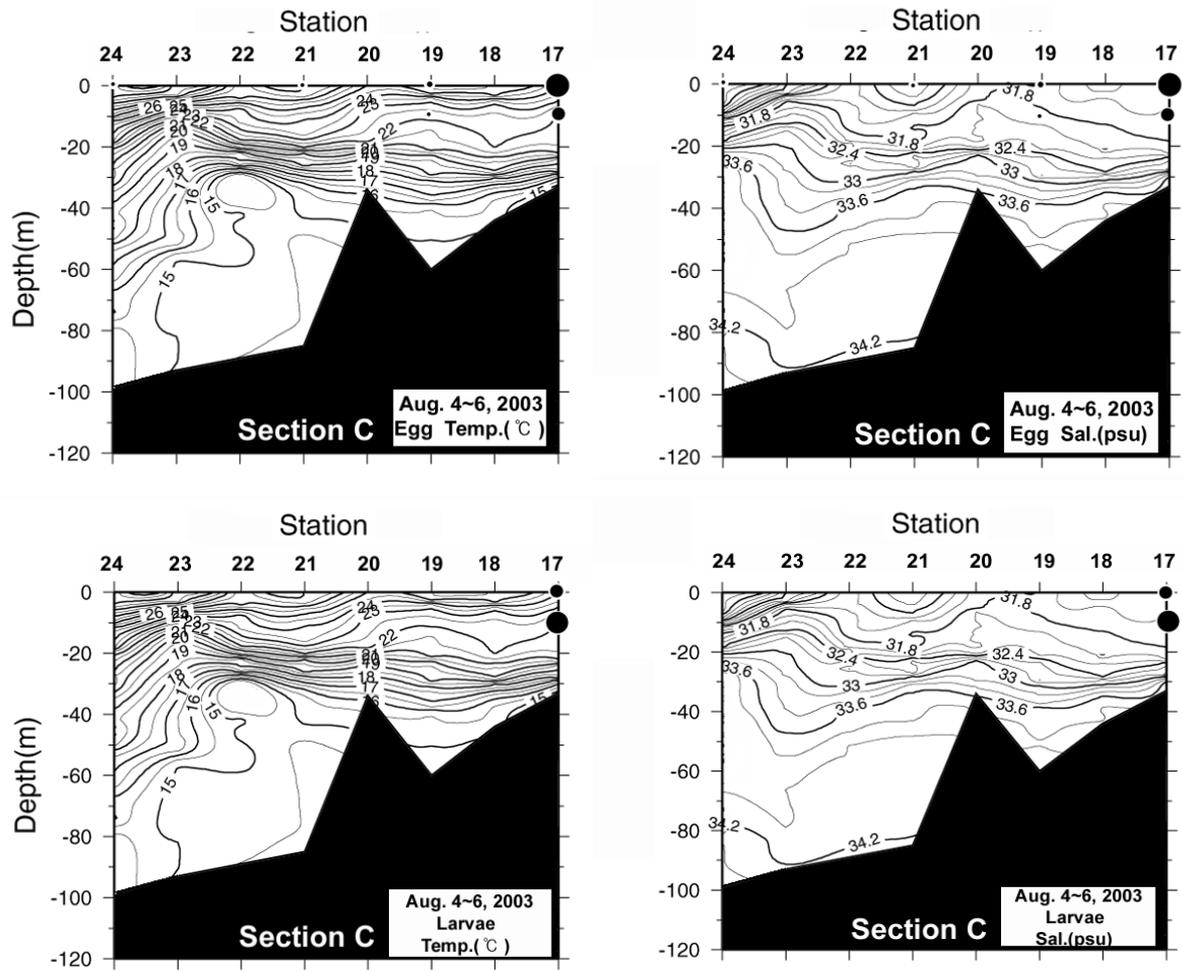


Fig. 28. Continued(Section C).

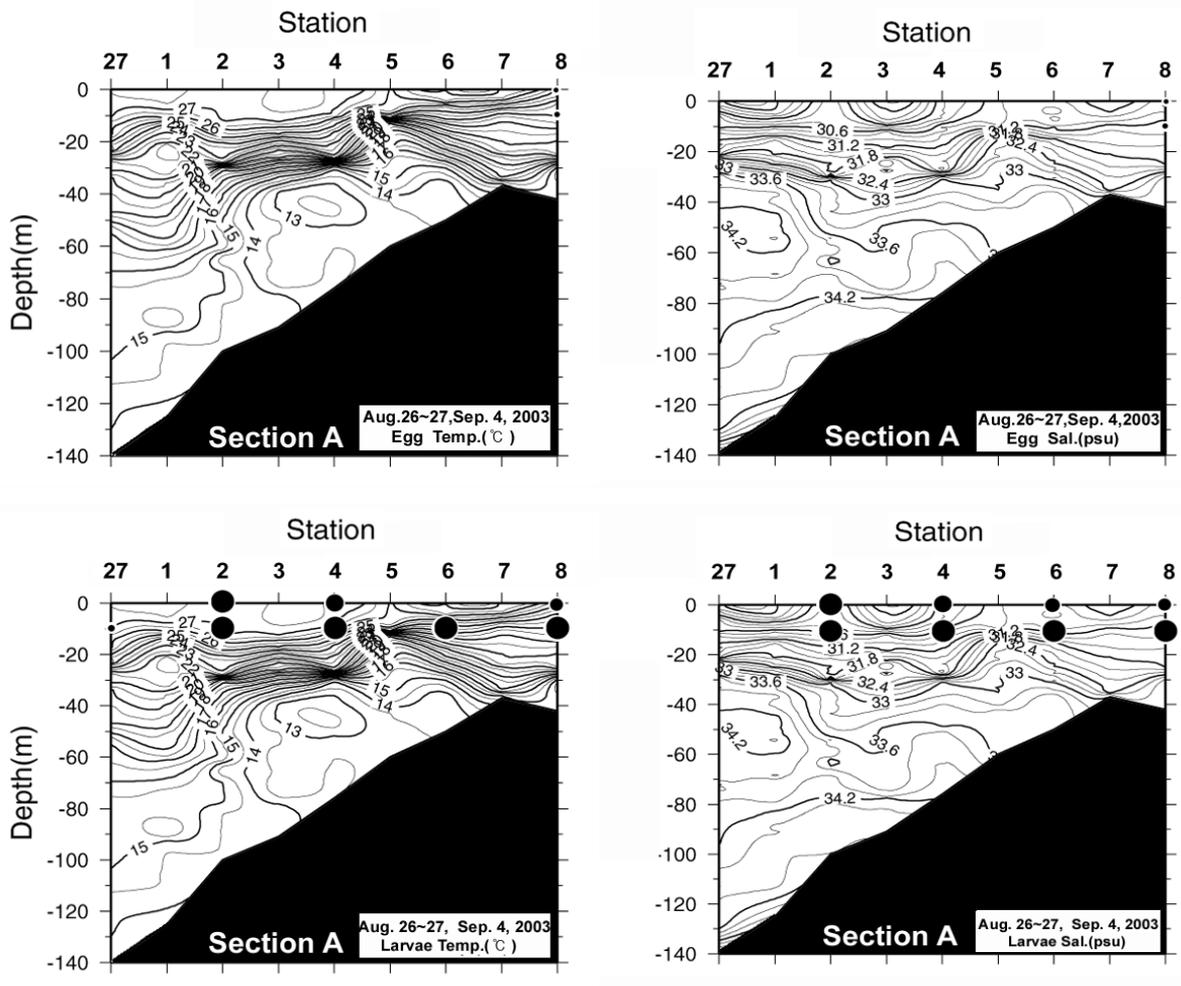


Fig. 29. Vertical distributions of temperature(°C), salinity(psu), eggs and larvae of anchovy along section A in Aug. 26~27, Sep. 4, 2003.

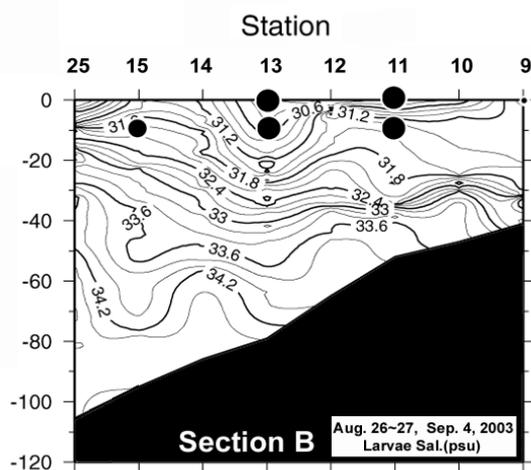
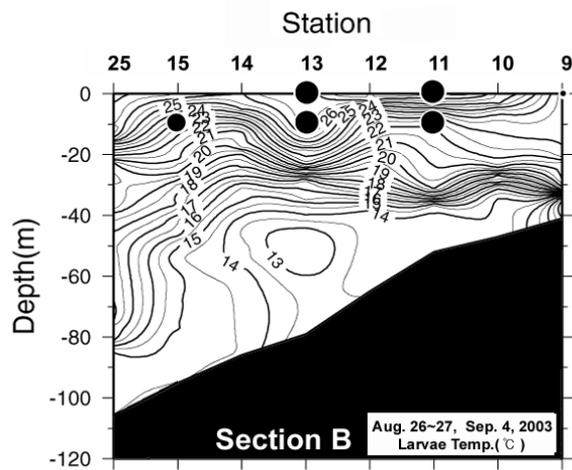
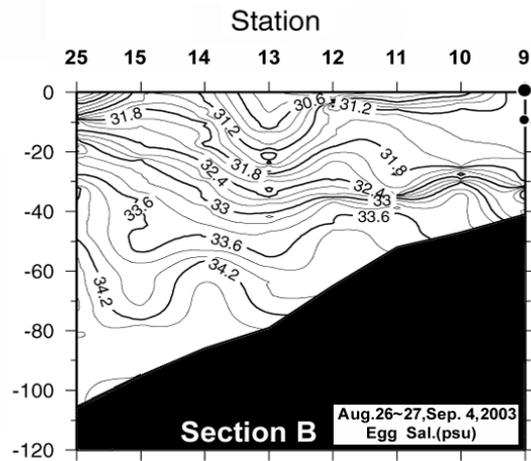
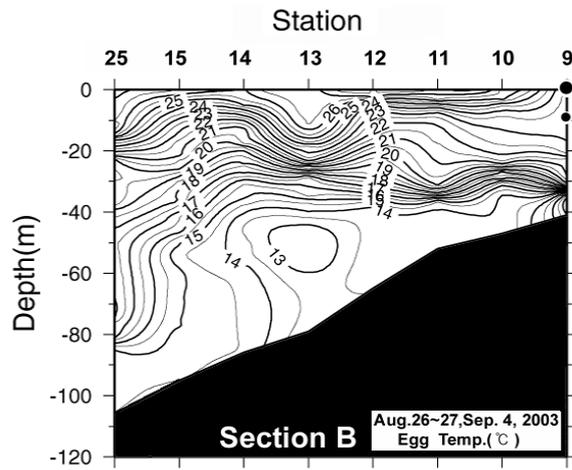


Fig. 29. Continued(Section B).

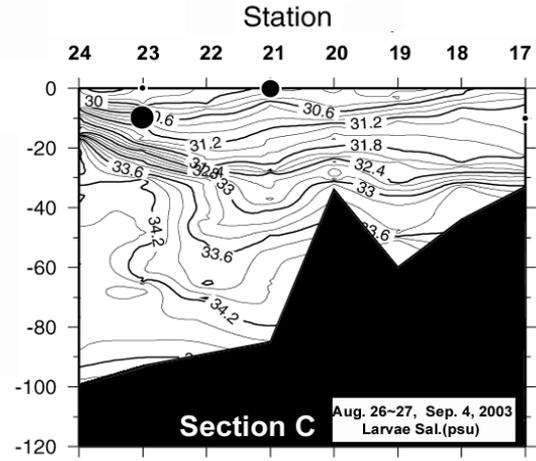
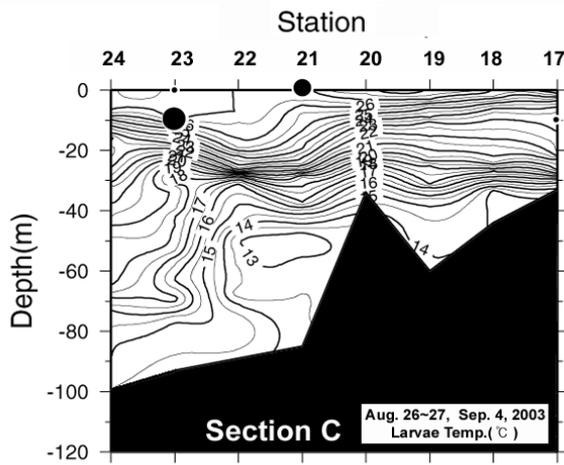
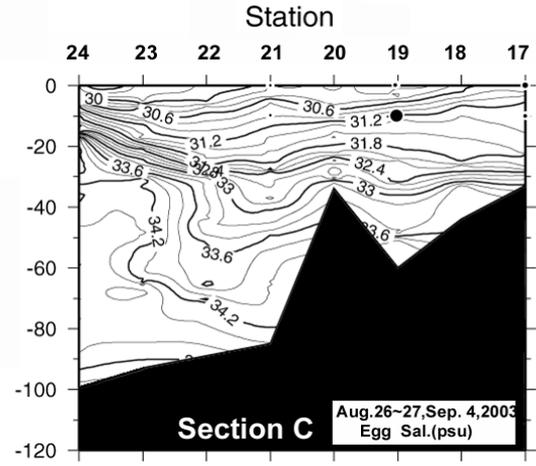
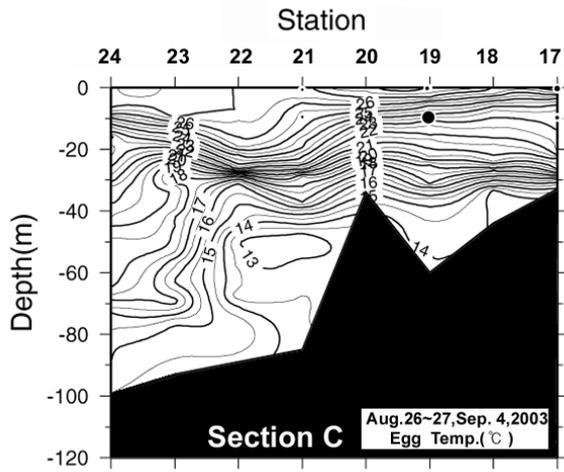


Fig. 29. Continued(Section C).

2.1.3 부유물질과 멸치 난치어 분포

제주도 주변해역에 출현하는 해수에 대한 부유물질 함유량이 멸치 난치어 분포에 어떠한 영향을 미치는지를 파악하기 위해 멸치 난치어가 집중적으로 분포한 하계(6월~8월)에 대한 결과를 분석하였다.

2.1.3.1 2002년 6월

2002년 6월 12~15일에 관측된 제주해협 각 정점에서 부유물질 분포 및 멸치 난치어분포를 Fig. 30에 나타냈다.

제주해협에서 각 정점별로 측정된 부유물질 평균값은 표층 14.7mg/ℓ, 10m층 15.8mg/ℓ로 10m층에서 높게 나타났으며, 부유물질의 농도범위는 표층 12.0~16.0mg/ℓ, 10m층 10.0~26.0mg/ℓ였다. 표층의 경우 제주해협과 남해연안역에서 거의 균질하게 분포하였지만, 10m층은 보길도 주변 연안역이 제주해협에 비해 상대적으로 높게 나타나고 있다.

표층 멸치 난치어가 분포한 해역은 보길도 및 청산도 부근 연안역으로 부유물질 농도는 14.0~16.0mg/ℓ 범위의 상대적으로 부유물질이 높은 해역에 출현하였다. 그러나 추자도 북동쪽의 최고 부유물질을 나타내는 해역에서의 멸치 난의 분포밀도는 낮고 보길도 서쪽해역에서 높은 것으로 보았을 때, 멸치 치어가 산란하는데 있어 부유물질 값이 해역은 다소 회피하는 것으로 추정된다.

10m층의 경우는 보길도 남부역에 26.0mg/ℓ 최고 값이 나타나 난치어의 분포량이 높은 해역은 보길도를 중심으로 부유물질 농도 14.0~26.0mg/ℓ로 제주해협보다 농도가 높은 남해 연안역에 주로 분포하였다.

2.1.3.2 2002년 7월

2002년 7월 30일 추자도 주변해역의 각 정점에서 출현한 멸치 난치어와 부유물질 분포에 대한 수평분포를 Fig. 31에 나타냈다.

추자도 주변해역에서 측정된 수심별 부유물질 평균값은 표층 16.69mg/ℓ, 10m층 16.95mg/ℓ로 10m층이 0.26mg/ℓ 높았다. 각층의 부유물질 농도범위는 표층이 15.6~18.4mg/ℓ, 10m층이 14.4~18.8mg/ℓ였다.

표층의 경우 멸치 난은 조사해역 전반에 걸쳐 출현했지만 특히, 보길도 남부해역에 부유물질 농도 15.6~17.6mg/ℓ 범위에 분포밀도가 매우 컸다.

치어는 17.6~18.4mg/ℓ 범위의 추자도 북부 및 보길도 연안에 출현했지만 출현량은 매우 적었다.

10m층의 경우 멸치 난 출현분포는 표층과 비슷한 양상으로 보길도 남부역인 14.4~17.6mg/ℓ의 범위에 난이 분포했지만 출현량은 표층에 비해 적게 나타났고 부유물질량이 많은 해역보다도 다소 낮은 해역에 난이 분포하였다. 치어의 경우 표층에 비해 부유물질 농도가 높은 해역인

추자도 남서쪽해역과 보길도 남동쪽해역의 정점에서 분포량이 많았으며 부유물질 농도는 14.4~18.8mg/ℓ 였다. 따라서 치어의 경우에 있어서 부유물질이 다소 높은 해역에서 채집되는 특징을 나타냈다.

2.1.3.3 2002년 8월

2002년 8월 26일 추자도 주변해역의 각 정점에서의 부유물질과 멸치 난치어 분포를 Fig. 32에 나타냈다.

추자도 주변해역에서 측정된 수심별 부유물질 평균값은 표층 14.02mg/ℓ, 10m층 14.47mg/ℓ로 10m층이 0.45mg/ℓ 높았으며, 표층부터 10m층까지의 부유물질 농도범위는 각각 12.0~19.0mg/ℓ, 12.0~18.0mg/ℓ 였다. 부유물질 농도는 전회까지의 조사에서 연안역이 높고 외해역이 낮게 분포하는 것에 비해 본 조사에서는 이와 반대 현상으로 외해역이 높고 연안역이 낮게 나타났으며, 표층과 10m층(부유물질 농도범위 12.0~19.0mg/ℓ)의 모든 정점에서 멸치 난치어가 출현하였고 분포밀도도 상당히 높았다.

멸치난의 경우 추자도 남서쪽해역에서 채집된 경우를 제외하면 추자도와 보길도 사이해역의 13.0mg/ℓ 이하의 부유물질이 상대적으로 낮은 해역에서 많은 채집이 이루어졌으며, 이러한 경향은 10m층에서도 나타났다.

멸치 치어의 경우는 난과는 반대로 부유물질의 농도가 높은 해역에서 높게 나타났으며 낮은 곳에서는 다소 적은 채집결과를 나타냈다.

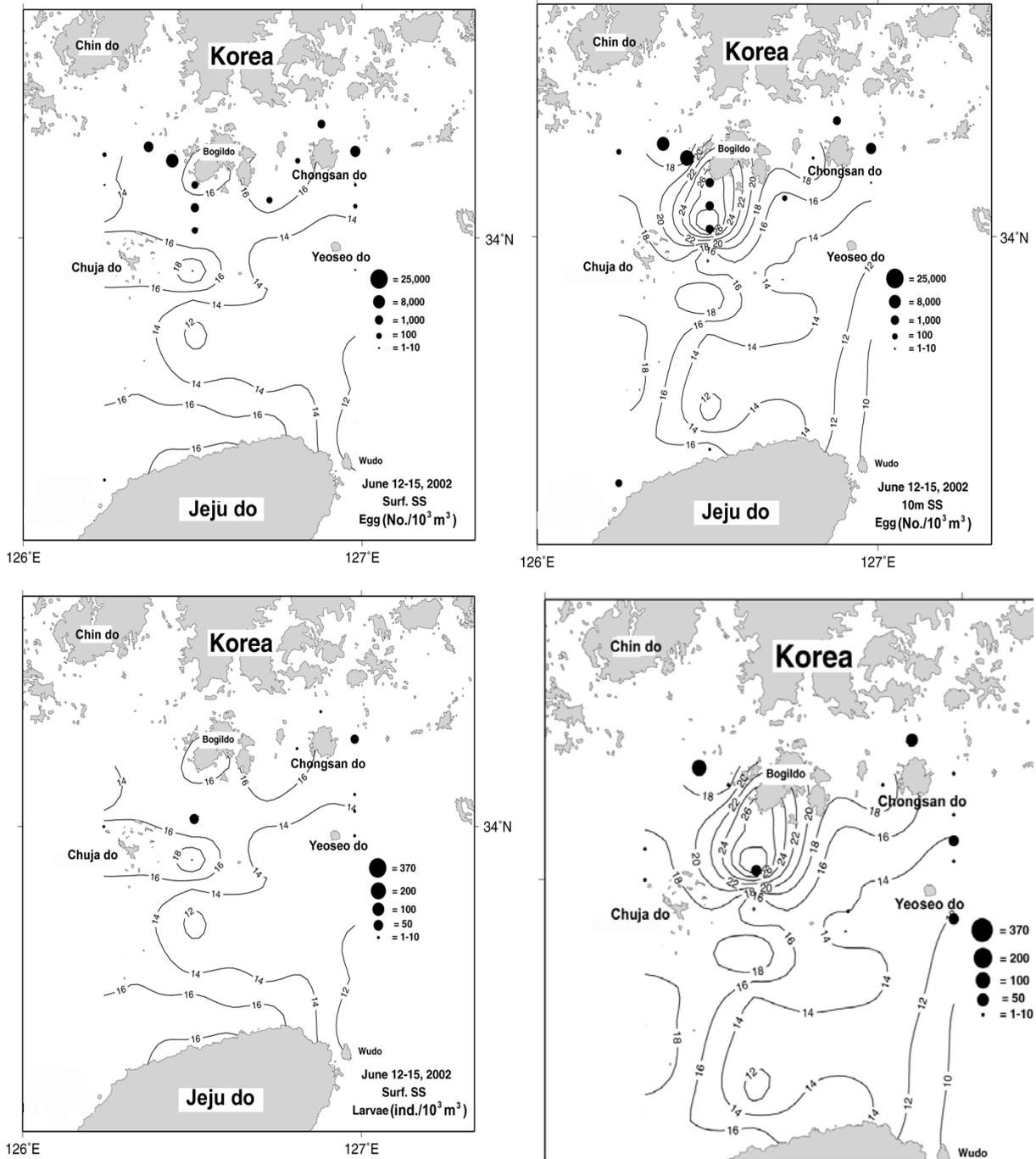


Fig. 30. Horizontal distributions of SS(mg/ℓ), eggs and larvae of anchovy in the Jeju Strait in Jun. 12~15, 2002.

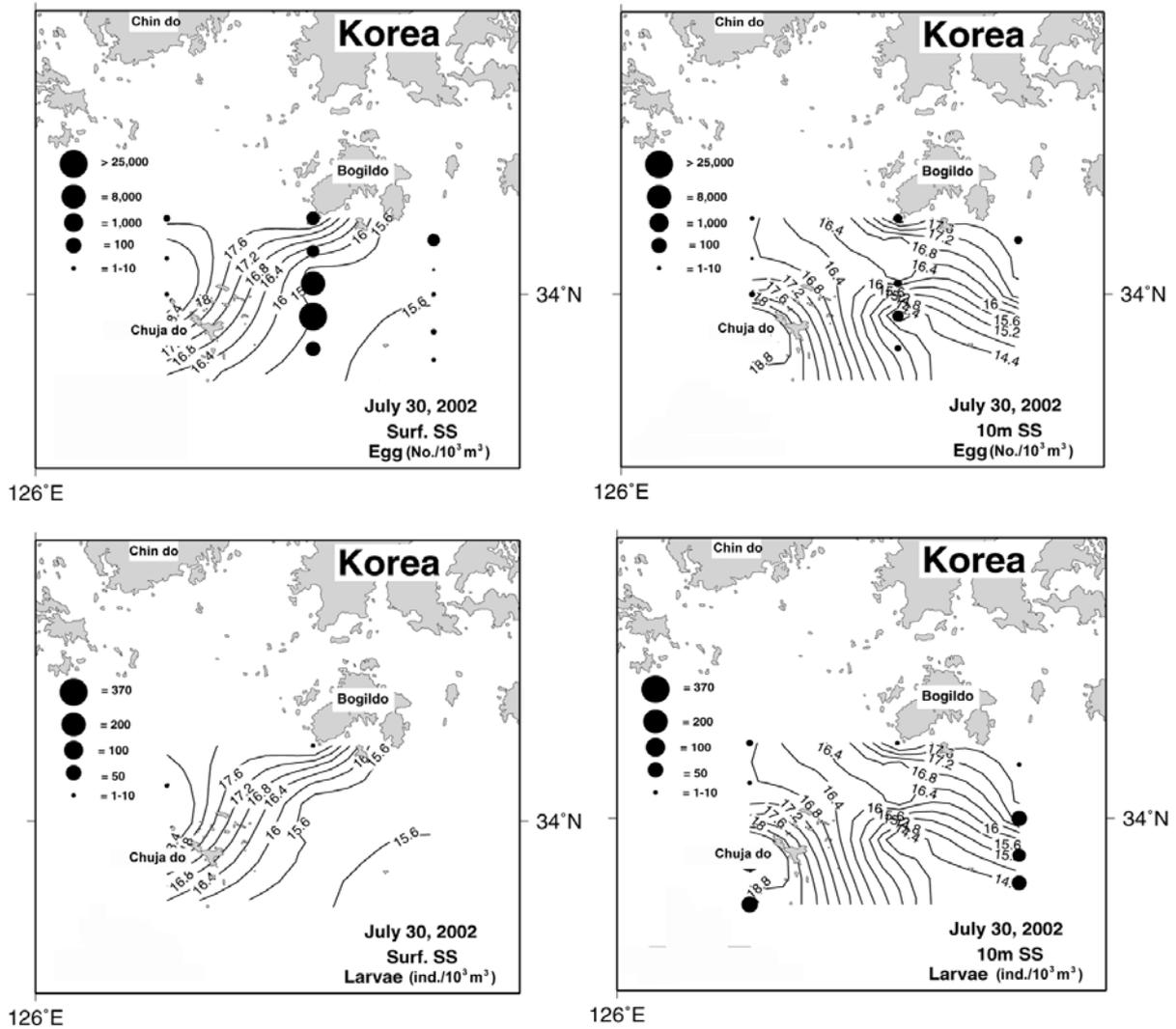


Fig. 31. Horizontal distributions of SS(mg/ ℓ), eggs and larvae of anchovy in the surrounding sea of Chuja do in Jul. 30, 2002.

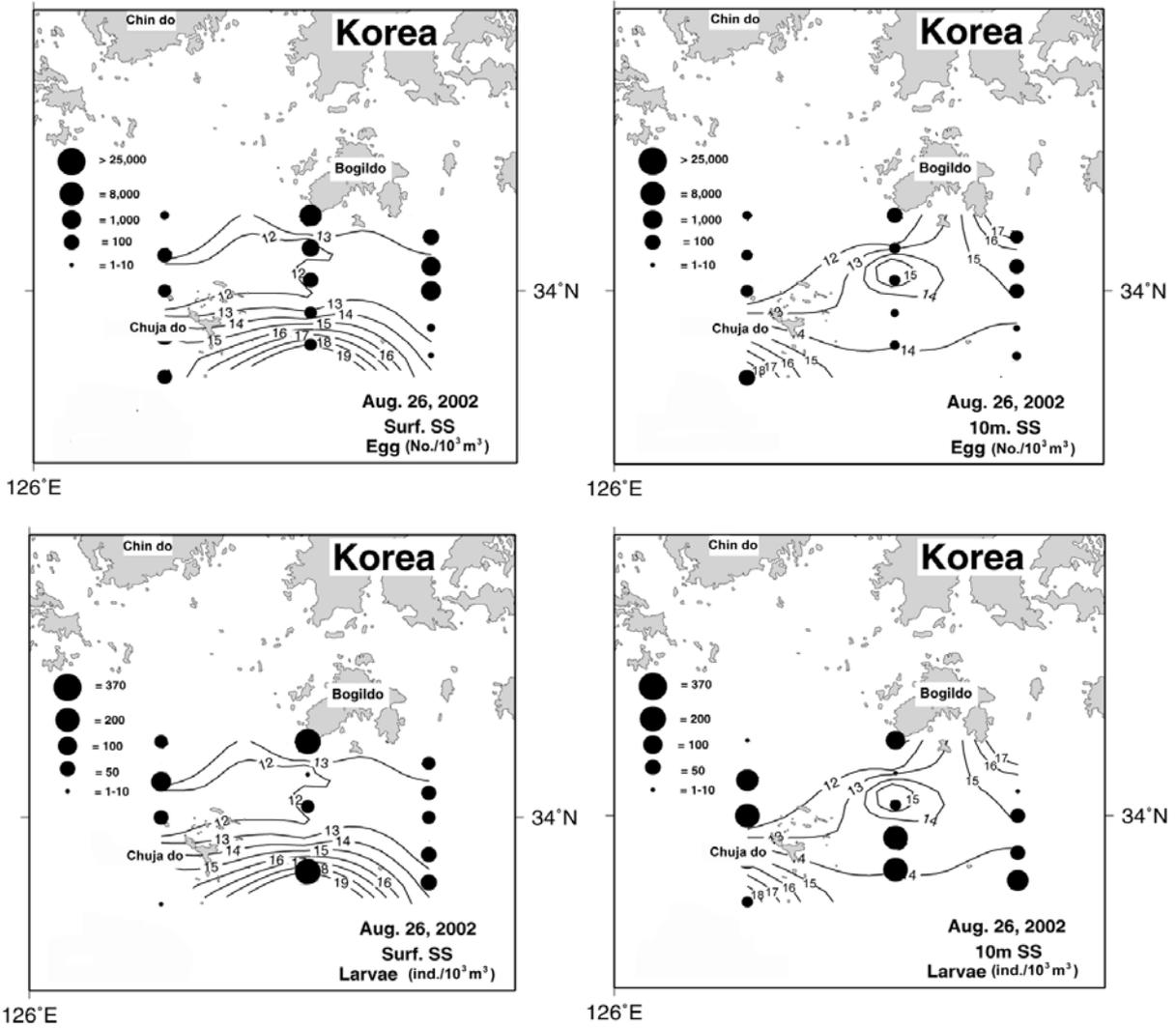


Fig. 32. Horizontal distributions of SS(mg/l), eggs and larvae of anchovy in the surrounding sea of Chuja do in Aug. 26, 2002.

2.1.3.4 2003년 6월

2003년 6월 26~27일 거문도 주변해역의 각 정점의 부유물질 수평분포와 멸치 난치어 분포를 Fig. 33에 나타냈다.

측정된 부유물질의 평균값은 표층 13.30mg/ℓ, 10m층 12.83mg/ℓ로 표층이 0.47mg/ℓ 높았으며 표층부터 10m층까지의 부유물질 농도범위는 각각 11.0~16.0mg/ℓ, 11.0~15.0mg/ℓ로 표층이 높게 나타났다. 부유물질 농도는 표층과 10m층에서 해역별 차이가 크지 않고 비교적 균질하지만 여서도를 중심으로 북쪽 연안역은 높고 남쪽해역은 낮게 나타났다. 멸치 난치어가 분포한 해역은 표층의 경우 청산도 및 초도 주변의 연안역으로 부유물질 농도는 14.0~15.0mg/ℓ로 다소 높았으며 10m층에서도 멸치 난은 거문도 북부 연안역 13.0~14.0mg/ℓ 범위에서 분포하였다.

2.1.3.5 2003년 8월 4~6일

2003년 8월 4~6일 거문도 주변해역의 각 정점의 부유물질 분포 및 멸치 난치어 분포를 Fig. 34에 나타냈다.

측정된 수심별 부유물질의 평균값은 표층 11.35mg/ℓ, 10m층 10.13mg/ℓ로 표층이 1.22mg/ℓ 높았으며 6월보다 낮은 값을 나타냈다. 표층부터 10m층까지의 부유물질 농도범위는 각각 10.0~12.0mg/ℓ, 9.0~11.0mg/ℓ였다. 표층과 10m층에서 비교적 균질한 농도를 보였다.

멸치 난은 우도 북쪽해역 및 초도를 중심으로 동·서방향에서 난이 채집되었으며 부유물질 농도는 10.0~11.0mg/ℓ 범위였다.

그러나 치어의 경우 표층에서 거문도 남쪽해역에 12.0mg/ℓ의 주변해역보다 농도가 높은 해역의 한 정점에서만 치어가 출현하였다. 10m층의 경우 10.0mg/ℓ로 비교적 부유물질 함량이 낮은 남해 연안역에 분포하였지만 우도 북부 정점에서는 8.0mg/ℓ의 최저농도가 나타난 해역에서도 출현하였다.

2.1.3.6 2003년 8월 26~27일, 9월 4일

2003년 8월 26~27일, 9월 4일 거문도 주변해역의 각 정점의 부유물질 분포 및 멸치 난치어 분포를 Fig. 35에 나타냈다.

측정된 수심별 부유물질의 평균값은 표층 11.80mg/ℓ, 10m층 11.49mg/ℓ로 표층이 0.31mg/ℓ 높았으며 표층부터 10m층까지의 부유물질 농도범위는 각각 10.0~15.0mg/ℓ, 10.0~13.0mg/ℓ였으며 표층의 경우 우도 북동부해역에 15.0mg/ℓ의 최고값이 나타났다.

멸치 난은 표층에서 대체로 초도 부근해역의 11.0~12.00mg/ℓ의 상대적으로 낮은 부유물질 분포를 나타내는 곳에서 채집이 이루어 졌으며 우도 북동쪽의 높은 해역에서는 채집이 이루어 지지 않았다. 10m층에서도 11.0~12.00mg/ℓ의 거문도 북동쪽해역에 높은 분포를 나타냈고 초도와 청산도 주변해역에서도 채집이 이루어 졌으나 그 양은 적었으며 부유물질도 거문도 동쪽

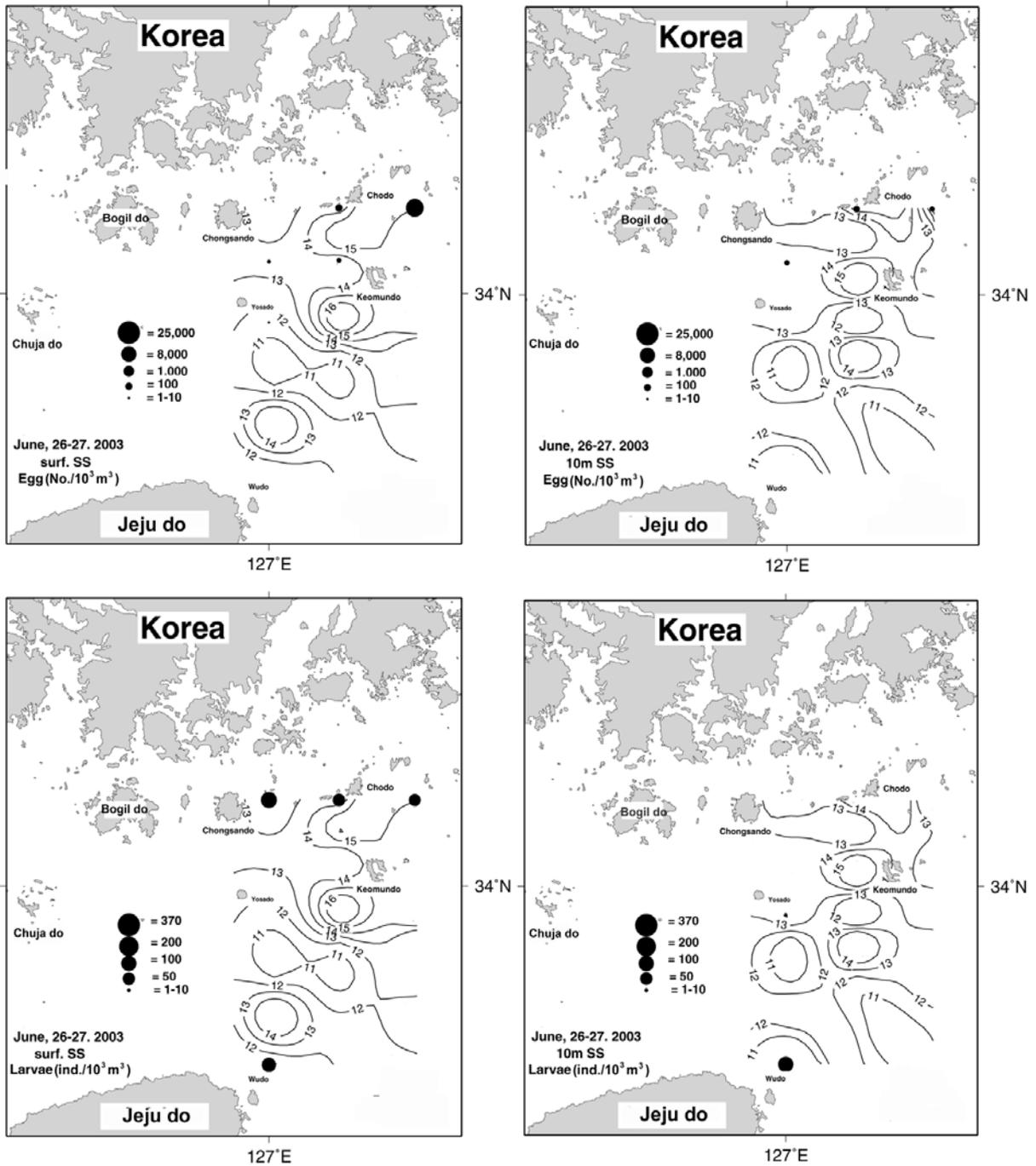


Fig. 33. Horizontal distributions of SS(mg/ℓ), eggs and larvae of anchovy in the surrounding sea of Keomun do in Jun. 26~27, 2003.

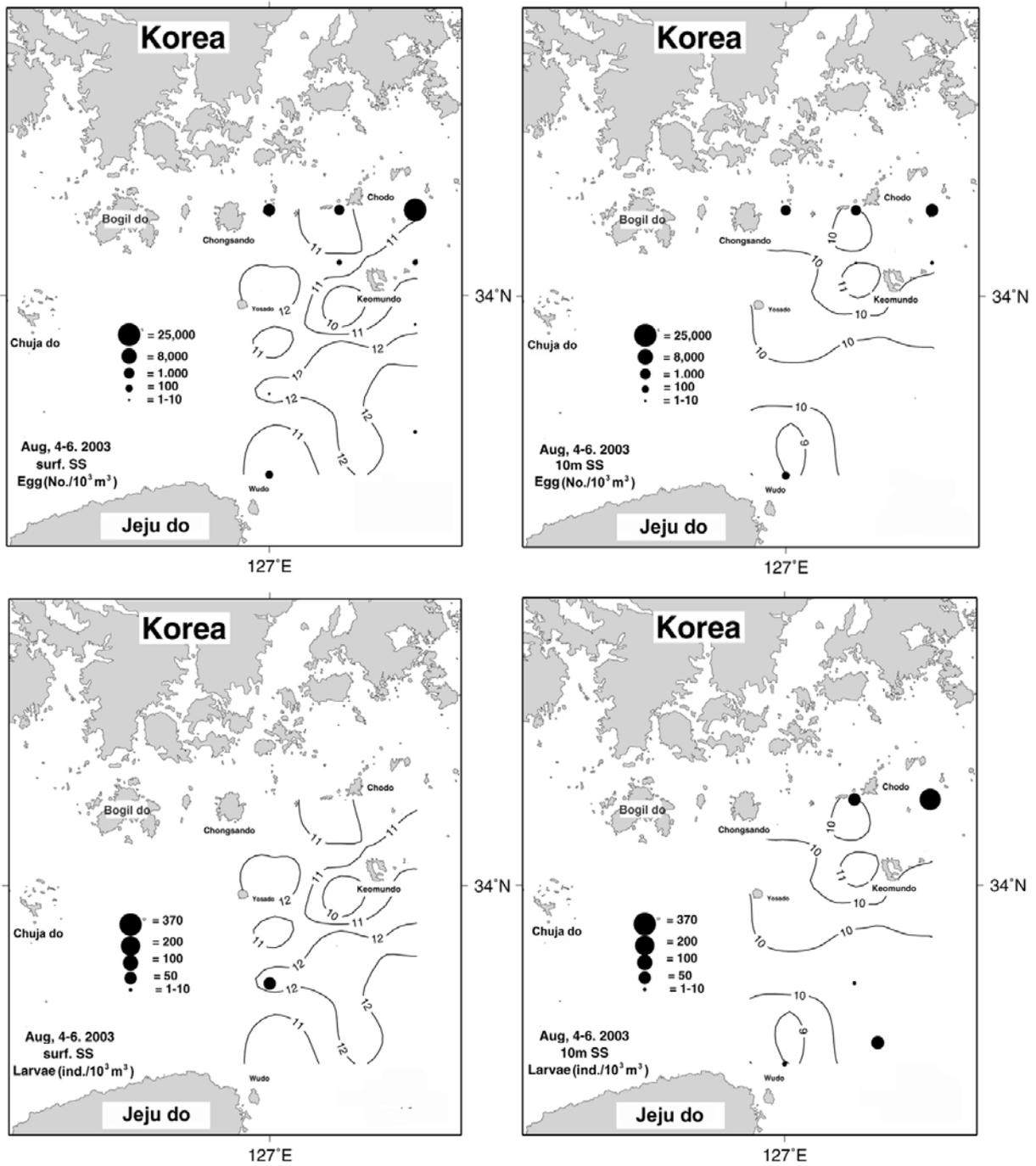


Fig. 34. Horizontal distributions of SS(mg/l), eggs and larvae of anchovy in the surrounding sea of Keomun do in Aug. 4~6, 2003.

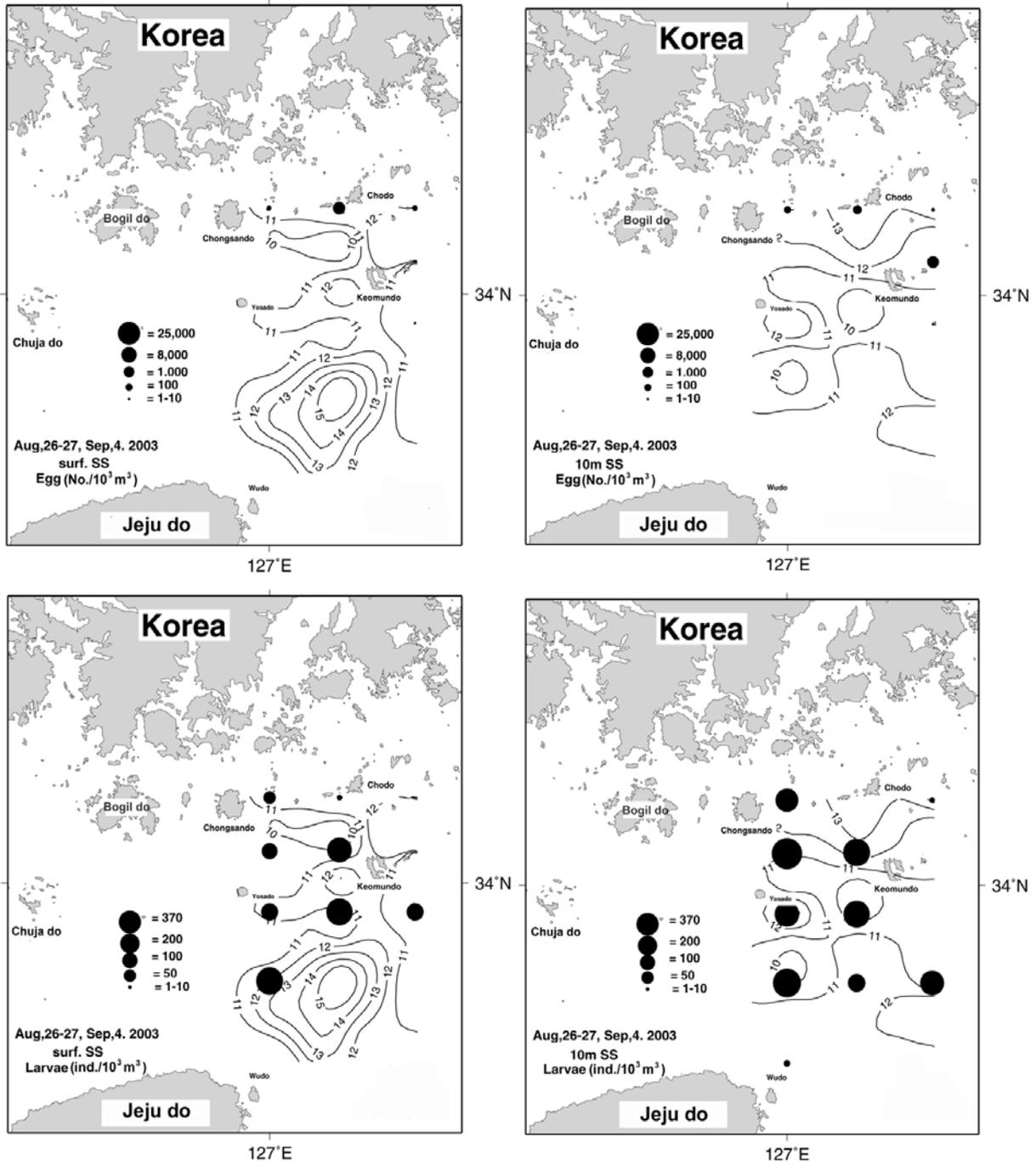


Fig. 35. Horizontal distributions of SS(mg/ℓ), eggs and larvae of anchovy in the surrounding sea of Keomun do in Aug. 26~27, 2003.

해역보다 다소 높았다.

치어는 최고 값이 나타난 해역을 제외한 조사정점 전반에 걸쳐 10.0~12.0mg/ℓ 범위에 분포 밀도가 높게 나타났다. 그러나 10m층의 경우 부유물질 최고 값은 초도 남쪽 연안역에 13.0mg/ℓ로 나타났고 멸치 치어가 분포한 해역의 부유물질 농도는 10.0~12.0mg/ℓ로서 조사해역에 설정된 정점에서 출현밀도가 매우 크게 나타났다.

2.1.4 용존산소와 멸치 난치어 분포

용존산소는 생물의 호흡과 대사작용에 꼭 필요한 것으로 용존산소가 결핍하면 생물의 성장이 늦어지고 서식장소를 이동하거나 도망하게 되며 심한 경우에는 사망하게 되는 화학적인 요인중의 하나이므로 본 절에서는 용존산소의 해역별 분포에 따른 멸치 난치어의 분포특성을 비교 분석하였다. 분석에 있어 DO값은 잉클러법 등에 의해 절대값을 측정하는 것이 아니라 DO meter를 이용하여 측정하였으므로 절대값 보다는 상대적인 높낮이를 난치어 분포특성과 대비시켜 보았다.

2.1.4.1 2002년 6월

2002년 6월 12~15일까지 제주해협 각 정점의 용존산소 수평분포 및 멸치 난치어 분포를 Fig. 36에 나타냈다.

제주해협에서 각 정점별로 측정된 용존산소 평균값은 표층 8.28mg/ℓ, 10m층 8.13mg/ℓ로 표층이 높게 나타났으며 표층 및 10m층의 용존산소 범위는 7.00~9.40mg/ℓ, 6.40~8.80mg/ℓ로 본 조사시 제주해협내의 용존산소 분포양상은 제주도 북부 연안역 및 중국대륙연안수의 영향을 받는 제주도 북부해역, 대마난류수와 한국 남해 연안수와 혼합되어 거문도 서부해역에서 제주해협 중앙부에 유입되는 해수, 그리고 보길도 및 청산도 연안역에서 유입되는 연안수 등 용존산소 값이 각기 다른 여러 수괴들이 제주해협내에 영향을 미치고 있다.

표층의 경우 여서도 주변해역에서 용존산소 8.40~9.40mg/ℓ의 범위로 최대 값이 나타났고 제주도 북부해역에는 중국대륙연안수로 사료되는 해역에 최소 값이 나타나 해역별 차이를 보이고 있다.

멸치 난치어가 분포한 해역은 난의 경우는 용존산소가 낮은 보길도와 청산도사이의 해역보다는 보길도 서쪽 및 남쪽해역의 상대적으로 DO가 높은 해역에 멸치 난의 높은 분포밀도를 나타냈고, 10m층의 경우도 유사한 경향을 나타냈다.

멸치 치어의 경우도 분포밀도가 다소 낮고, 채집점이 몇 안되지만 보길도와 청산도 사이해역에서 낮은 용존산소를 나타내는 해역의 외측에 분포하여 용존산소가 높은 곳에 난치어가 분포하는 특성을 나타냈다.

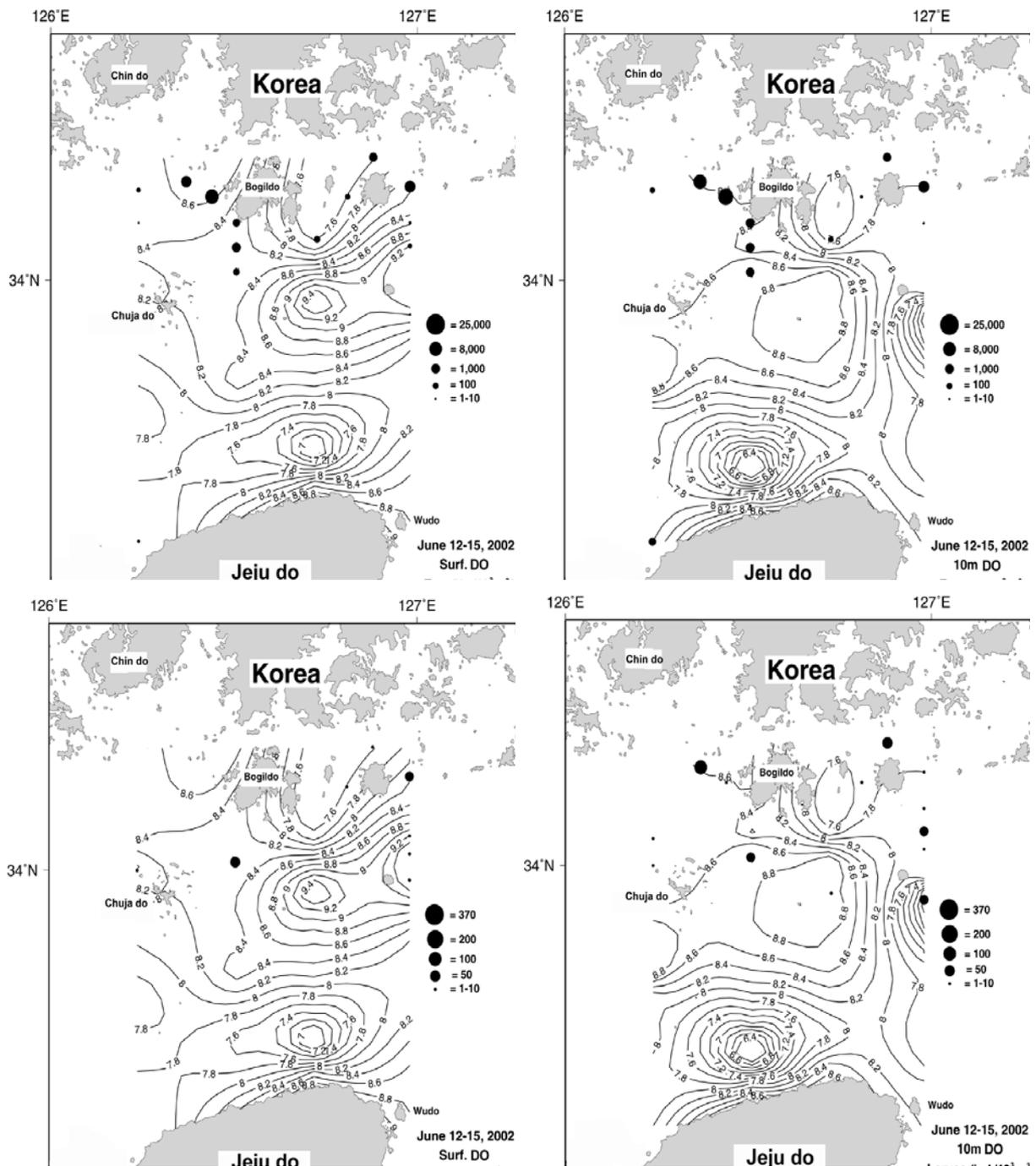


Fig. 36. Horizontal distributions of DO(mg/ℓ), eggs and larvae of anchovy in the Jeju Strait in Jun. 12~15, 2002.

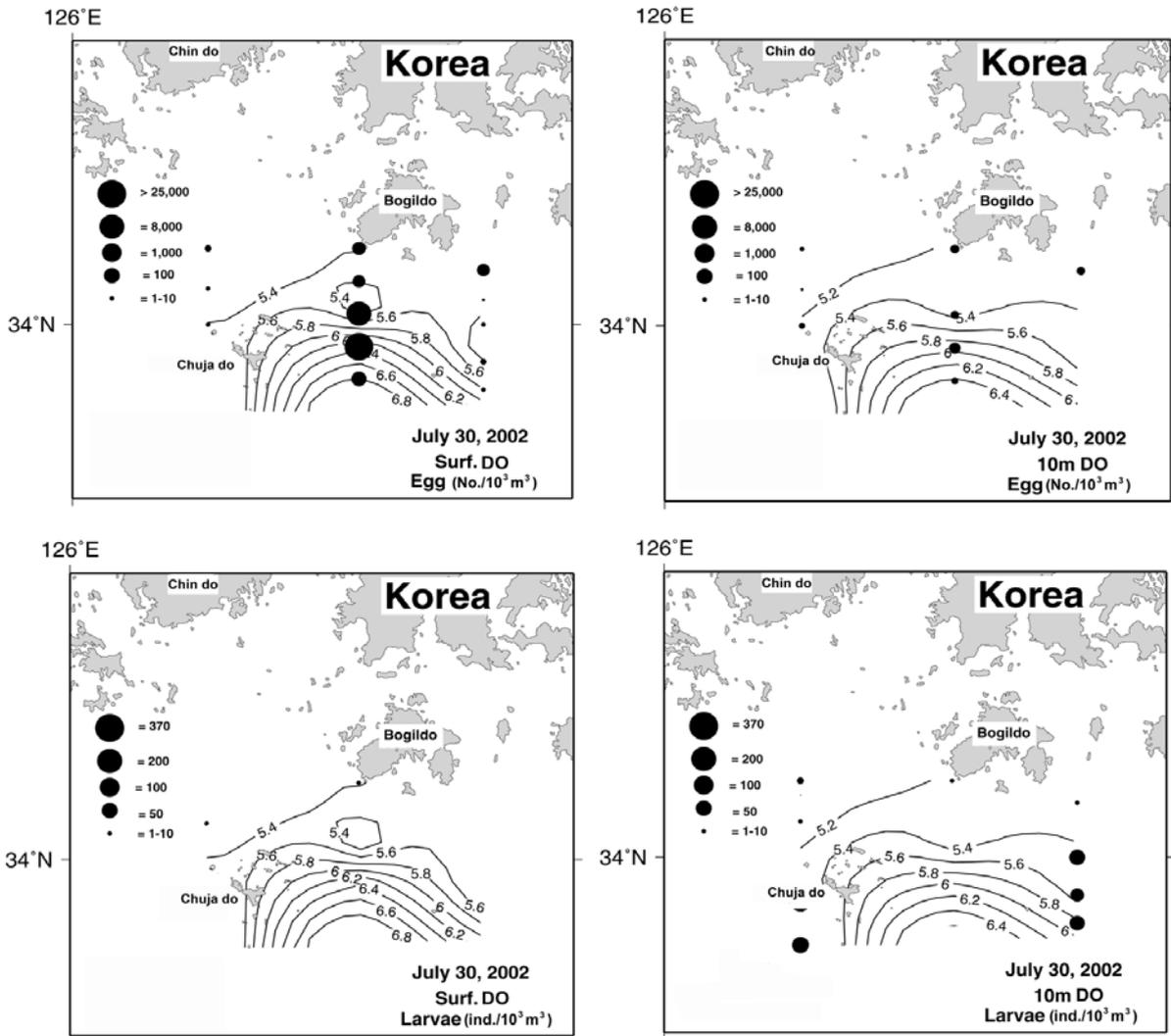


Fig. 37. Horizontal distributions of DO(mg/ℓ), eggs and larvae of anchovy in the surrounding sea of Chuja do in Jul. 30, 2002.

2.1.4.2 2002년 7월

2002년 7월 30일 추자도 주변해역의 각 정점의 용존산소 분포와 멸치 난치어 분포를 Fig. 37에 나타냈다.

추자도 주변해역에서 각 정점별로 측정된 용존산소 평균값은 표층 5.45mg/l, 10m층 5.36mg/l로 표층이 0.39mg/l 높았으며, 표층 및 10m층의 용존산소 범위는 각각 5.40~6.80mg/l, 5.20~6.40mg/l였다. 멸치 난의 경우 조사해역내 5.40~6.80mg/l 범위에 출현하였고, 표층 난의 분포에 있어 출현량이 가장 많았던 정점의 용존산소량은 6.20mg/l였고, 자치어는 산소량이 낮은 연안역보다 5.40~6.00mg/l의 상대적으로 용존산소가 높은 외해역에서 분포하였다.

2.1.4.3 2002년 8월

2002년 8월 26일 추자도 주변해역 각 정점에서의 용존산소 분포 및 멸치 난치어 분포를 Fig. 38에 나타냈다.

추자도 주변해역에서 각 정점별로 측정된 용존산소 평균값은 표층 4.74mg/l, 10m층 5.94mg/l로 10m층이 1.20mg/l 높았으며, 표층 및 10m층의 용존산소 범위는 각각 4.00~5.80mg/l, 5.60~7.20mg/l였다.

멸치 난치어는 표층과 10m층의 모든 조사정점에서 분포밀도가 매우 높았고, 멸치 난은 용존산소량 4.00~5.80mg/l의 범위에서 분포하였다. 표층 및 10m층에서의 난의 분포는 추자도 남서쪽해역에서 채집된 난을 제외하면 대체로 용존산소량이 높은 해역에서 채집되는 특성은 6월의 결과와도 유사하다.

멸치 치어의 경우는 5.60~7.20mg/l의 범위에서 높은 분포밀도를 나타내었고, 10m층에서 7.20mg/l의 너무 높은 값을 나타내는 용존산소량의 주위에서는 다소 낮은 치어가 채집되었다.

2.1.4.4 2003년 6월

2003년 6월 26일~27일까지 거문도 주변해역의 각 정점에서의 용존산소 분포 및 멸치 난치어 분포를 Fig. 39에 나타냈다.

거문도 주변해역에서 각 정점별로 측정된 용존산소 평균값은 표층 6.31mg/l, 10m층 6.63mg/l로 10m층이 0.32mg/l 높게 나타났으며, 표층 및 10m층의 용존산소 범위는 각각 5.20~7.20mg/l, 5.60~7.40mg/l로 여서도를 기준으로 북부해역은 높고 남부해역은 낮게 나타났으며 여서도 주변해역에는 용존산소 함량이 다른 수괴들이 접하면서 전선형태를 취하거나 복잡한 양상을 띄고 있다. 표층과 10m층에 있어 멸치 난치어는 남해 연안역의 청산도와 초도 부근에서 용존산소 함량이 높은 6.80~7.20mg/l의 해역에 주로 분포하였으며, 우도북부의 용존산소 6.00mg/l의 저산소 해역에도 자치어가 출현하였다.

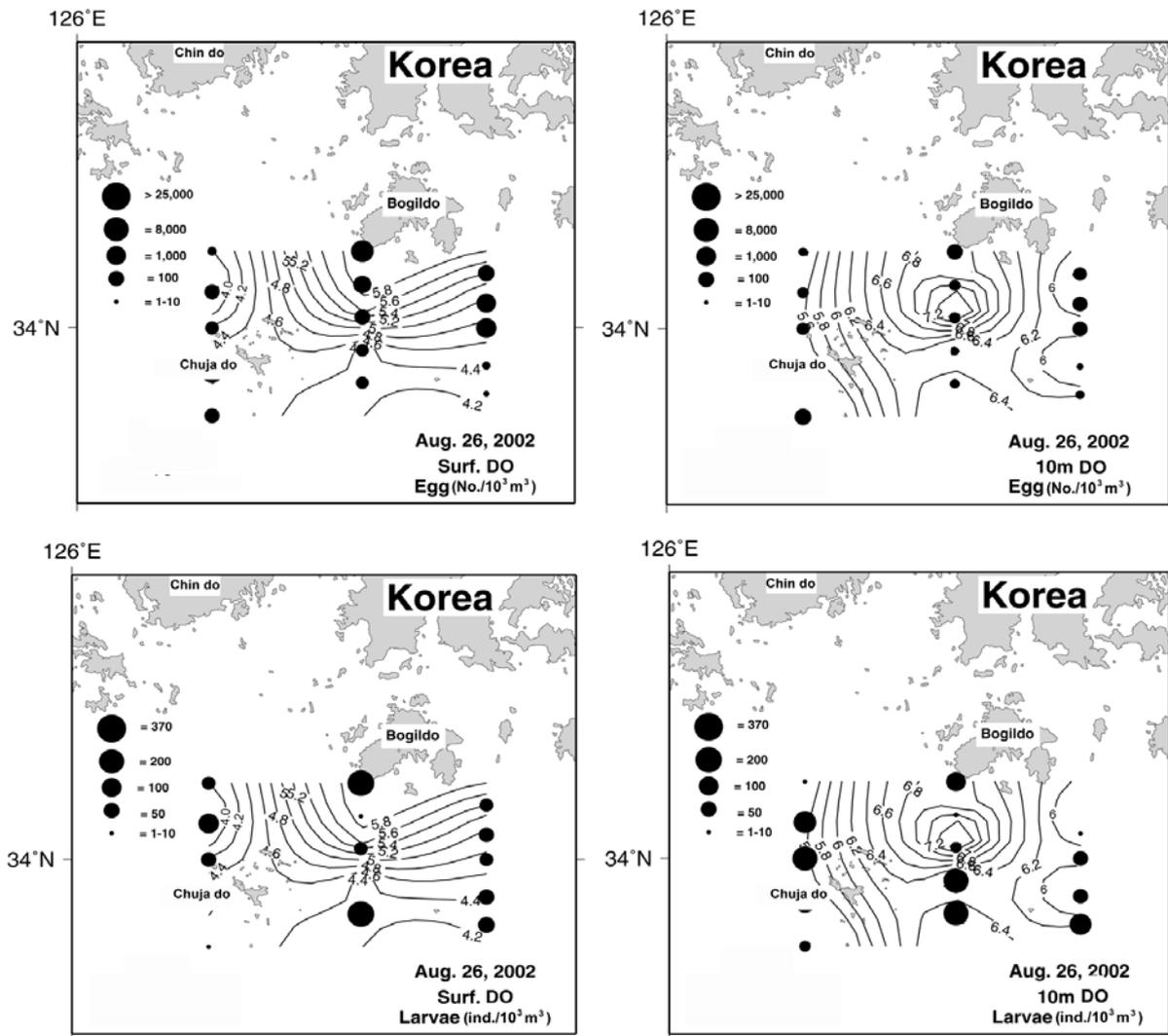


Fig. 38. Horizontal distributions of DO(mg/ℓ), eggs and larvae of anchovy in the surrounding sea of Chuja do in Aug. 26, 2002.

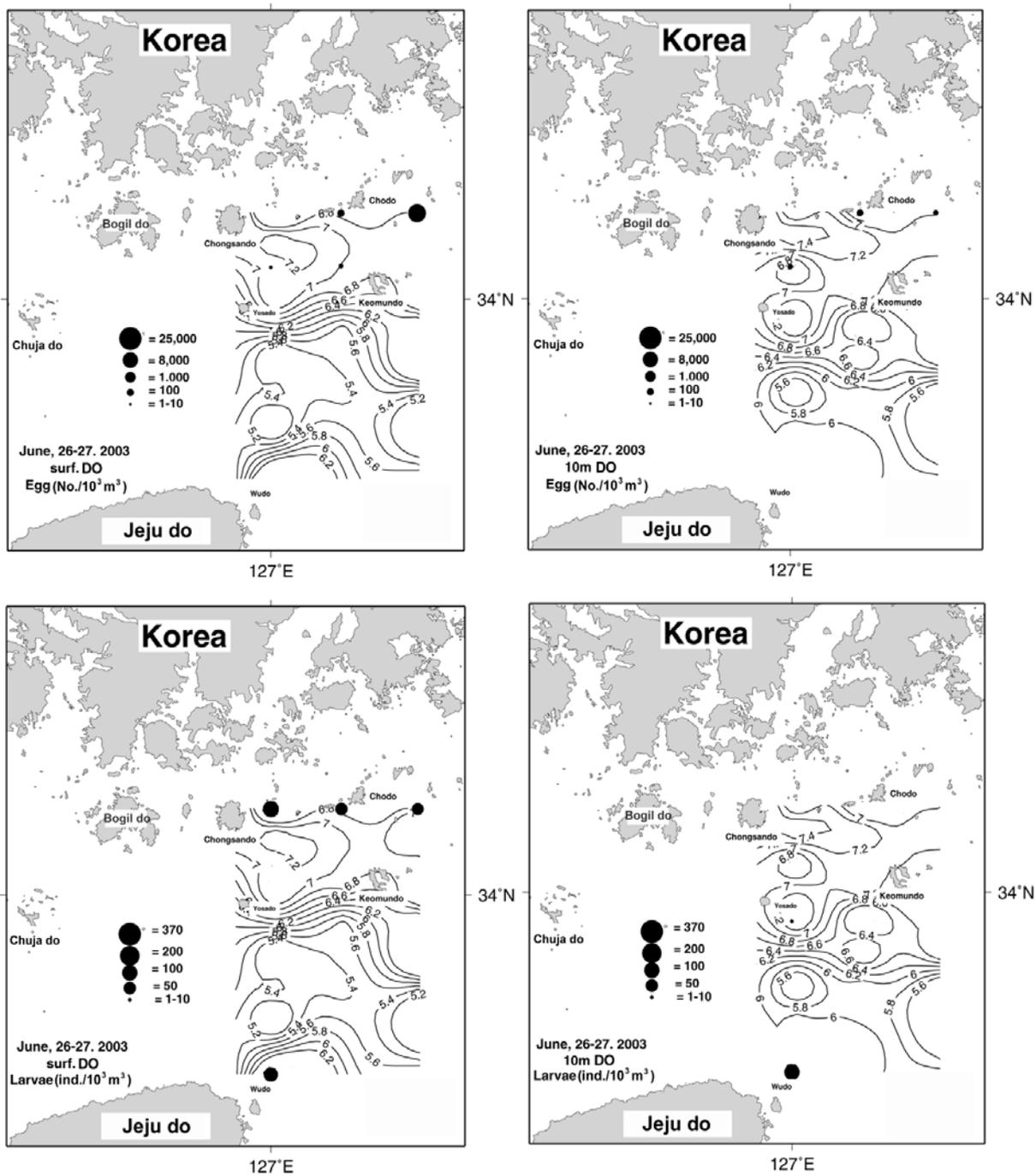


Fig. 39. Horizontal distributions of DO(mg/ℓ), eggs and larvae of anchovy in the surrounding sea of Keomun do in Jun. 26~27, 2003.

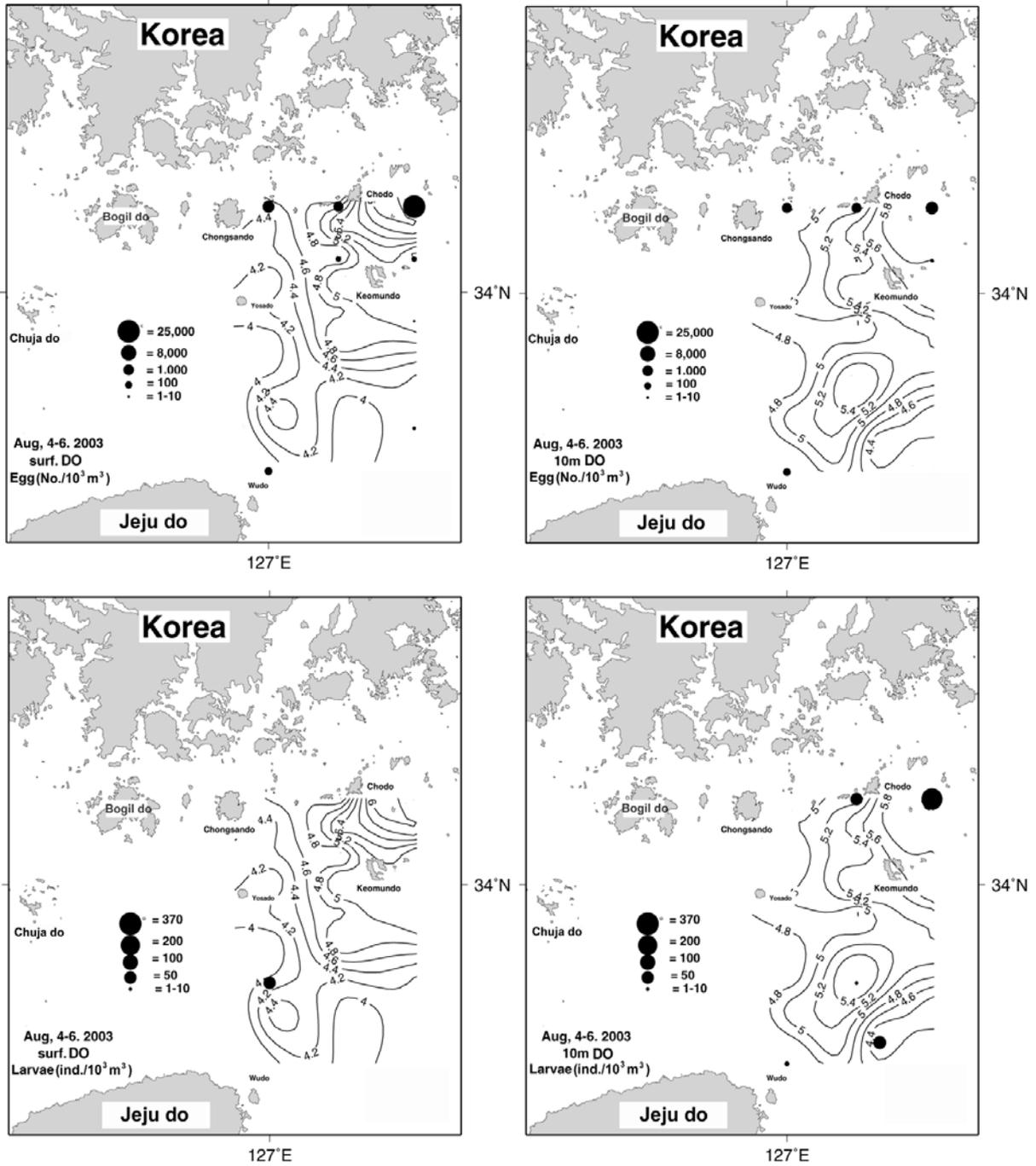


Fig. 40. Horizontal distributions of DO(mg/ℓ), eggs and larvae of anchovy in the surrounding sea of Keomun do in Aug. 4~6, 2003.

2.1.4.5 2003년 8월 4~6일

2003년 8월 4일~6일까지 거문도 주변해역의 각 정점에서의 용존산소 분포 및 난치어 분포를 Fig. 40에 나타냈다.

각 정점별로 측정된 용존산소의 평균값은 표층 4.75mg/l, 10m층 5.15mg/l로 10m층이 0.40mg/l 높게 나타났으며, 표층 및 10m층의 용존산소 범위는 각각 4.20~6.00mg/l, 4.40~5.80mg/l였다. 표층의 경우 청산도 및 초도 주변 연안역에 용존산소 5.00mg/l 이상으로 비교적 높게 나타난 반면 그 이외의 외해역을 비롯한 해역에서는 4.80mg/l 이하로 낮았다.

멸치 난은 거문도 북부 및 남해 연안역 4.40~6.00mg/l의 용존산소가 상대적으로 높은 해역에 주로 분포하였다.

치어는 표층에서 우도 북부해역 4.20mg/l의 저산소해역의 한 정점에서 출현하였다. 10m층도 표층에서는 남해 연안역(5.00~5.80mg/l)에 치어 분포밀도가 높았지만 우도 북동부 저산소해역(4.40~4.80mg/l)에는 소량으로 출현하였다.

2.1.4.6 2003년 8월 26~27일, 9월 4일

2003년 8월 26일~27일, 9월 4일까지 거문도 주변해역의 각 정점에서의 용존산소 분포 및 멸치 난치어 분포를 Fig. 41에 나타냈다.

각 정점별로 측정된 용존산소 평균값은 표층 4.96mg/l, 10m층 5.39mg/l로 10m층이 0.43mg/l 높게 나타났으며, 표층 및 10m층의 용존산소 범위는 각각 4.20~5.40mg/l, 4.40~6.40mg/l로 중국대륙연안수의 영향으로 거문도 남부해역인 외해역은 여전히 저산소 현상이 나타나고 있었다.

멸치 난은 남해 연안역의 용존산소량이 상대적으로 높은 해역에서만 분포하였다.

치어의 경우 전 해역에서 광범위하게 분포하였다. 즉, 4.80~5.20mg/l로 넓은 범위에 다량으로 출현하였지만 특히 4.20~4.80mg/l의 고산소역의 주변에서 분포밀도가 매우 컸으며 10m층도 표층과 비슷한 양상을 띄고 있다.

용존산소 분포에 따른 멸치 난치어 분포상황을 분석한 결과 절대값이 아닌 상대적인 값을 중심으로 볼 때, 한국 남해 연안역의 섬주변과 같이 지형적인 원인 및 기타 외력에 의해 교란이 일어나 많은 양의 용존산소를 함유한 해역에 멸치 난치어의 분포밀도가 상당히 높게 나타났다. 이러한 현상은 한국 남해 연안역에서 채집되는 멸치 난치어의 연직분포 특성에서와 같이 외해역에서는 채집되지 않았던 난치어가 연안역의 표층에서부터 약 20~30m층까지 연직적으로 균질한 해황을 나타내는 혼합수역에서 채집되는 결과와도 상당히 일치하였다. 그러나 2003년 8월 26~27일, 9월 4일에 관측된 결과에서와 같이 외해역의 용존산소량이 상대적으로 낮은 해역에서도 멸치 난치어가 채집되는 경향도 나타나므로써, 외력에 의해 수송되는 결과로 상대적으로 적합하지 않은 용존산소의 권역내에 이송되는 결과를 초래하였다고 사료되는 특수성도 나타났다.

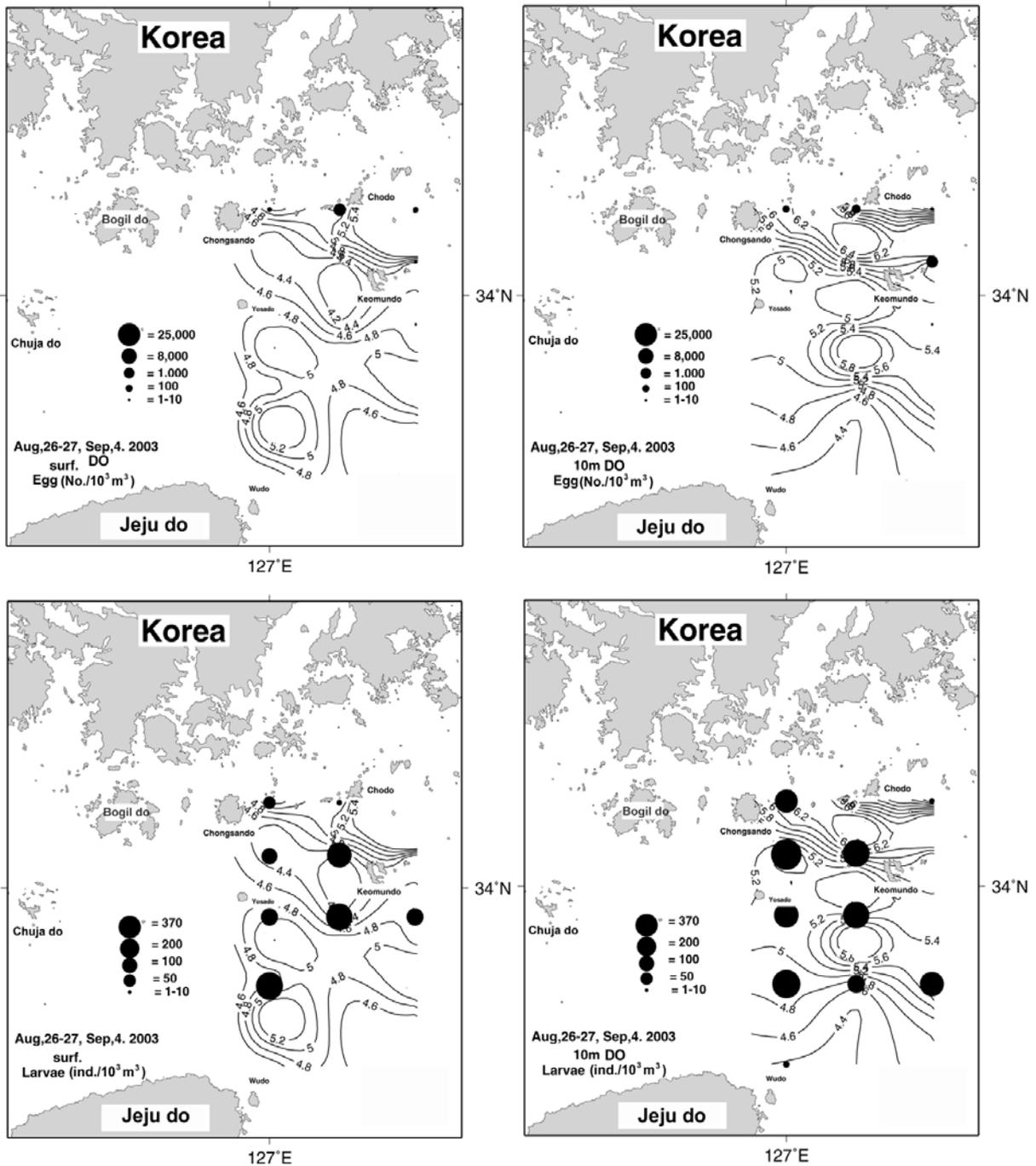


Fig. 41. Horizontal distributions of DO(mg/ℓ), eggs and larvae of anchovy in the surrounding sea of Keomun do in Aug. 26~27, 2003.

2.1.5 해역별 멸치 난·자치어 단계별 분포현황

2.1.5.1 난 발생단계별 분포

조사기간 동안 2001년 7월에 있어서 난들의 발생단계별 분포밀도와 분포비율상황을 해역별로 구분하여 살펴보았다(Table 1, Fig.42). 발생단계별 분포비율 논의에서 2001년 7월 전체 평균 분포밀도가 10개/1,000m³ 이하로 출현한 제주해협 남서부 외양역인 F해역과 제주해협 남동부 외양역인 H해역은 논의대상에서 제외시켰다.

2001년 7월의 전 수층 평균 분포밀도는 남해안 청산도 주변역의 J해역, 제주해협 서부역에 해당하는 A해역과 C해역, 제주해협 북동부 외양역인 G해역이 모두 1,400개/1,000m³ 이상으로 난들이 많이 출현한 해역에 속하였다. 발생단계별로 살펴보면, 산란된 후 얼마 지나지 않은 I 단계 난은 제주해협 남부역인 C, D해역과 북동부역인 B해역, 제주해협 북서부 외양역인 E해역 그리고 청산도 주변역의 J해역에서 50%이상의 높은 비율로 출현하였다. 평균 분포밀도는 J해역이 7,927개/1,000m³로 가장 많았고 그 다음으로 C해역 1,013개/1,000m³, G해역 717개/1,000m³, A해역 489개/1,000m³의 순이었다.

난내에 배체가 형성된 II단계 난은 A해역이 69%로 분포비율이 가장 높았고 다음으로 J해역 40%, E해역 33%, D해역 29%의 순으로 분포하였다. 평균 분포밀도는 J해역이 5,953개/1,000m³로 가장 높았고 A해역 1,292개/1,000m³, G해역 444개/1,000m³, C해역 189개/1,000m³ 순으로 출현하였다.

부화하기 직전의 III단계 난은 G해역이 59%로 가장 높았으며 다음으로 B해역 25%, C해역 19%의 순이었다. 평균 분포밀도 역시 G해역이 1,680개/1,000m³로 가장 많았고 J해역 941개/1,000m³, C해역 293개/1,000m³의 순으로 분포하였다.

다음으로 2002년 6월에 있어 전 수층 평균 분포밀도는 거차군도 주변역인 I해역이 26,248개/1,000m³로 가장 많았고 다음으로 J해역 3,630개/1,000m³, A해역 672개/1,000m³의 순서를 보였다.

I 단계 난은 난들이 출현하는 모든 해역에서 모두 50% 이상의 높은 비율을 나타냈다. 평균 분포밀도는 I해역이 23,297개/1,000m³로 가장 많았고 다음으로 J해역 3,498개/1,000m³, A해역 398개/1,000m³의 순이었다.

II단계 난은 A해역이 26%로 가장 높은 비율을 보였다. 해역별 평균 분포밀도는 I해역이 2,318개/1,000m³로 가장 많았고 A해역 174개/1,000m³, J해역 96개/1,000m³의 순으로 출현하였다.

III단계 난은 A해역에서 15%를 보였을 뿐 나머지 해역에서는 모두 3% 미만의 낮은 출현율을 나타냈다. 평균 분포밀도는 앞의 단계들과 마찬가지로 I해역에서 633개/1,000m³으로 가장 많았고 다음 A해역 100개/1,000m³, J해역 36개/1,000m³의 순서로 분포하였다.

따라서 전체적으로 보면 연구해역내에서 산란된 지 얼마 되지 않은 I 단계 난들은 외양역에 비해 주로 섬이나 연안역 부근에 해당하는 A, C, I, J해역에서 대부분 높은 비율(50%이상)을 차지하며 고밀도로 출현하고 있어서 채집할 당시 이들 해역에서 멸치들의 집중적인 산란이 일어나고 있음을 알 수 있었다. 또한 2001년 7월에 발생이 가장 많이 진행된 III단계 난들은 출현율이 전반적으로 연구해역의 동쪽 방향으로 갈수록 점차 증가하는 경향을 보였다.

Table 1. Mean abundances of anchovy eggs by the developmental stages.

(Unit : No./1,000m³)

Developmental stages	Mean egg abundance									
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Stage I	489	19	1,013	88	30	2	717	1	-	7,927
Stage II	1,292	12	189	41	15	3	444	-	-	5,953
Stage III	80	11	293	10	1	2	1,680	-	-	941
Total	1,861	42	1,495	139	46	7	2,841	1	-	14,821

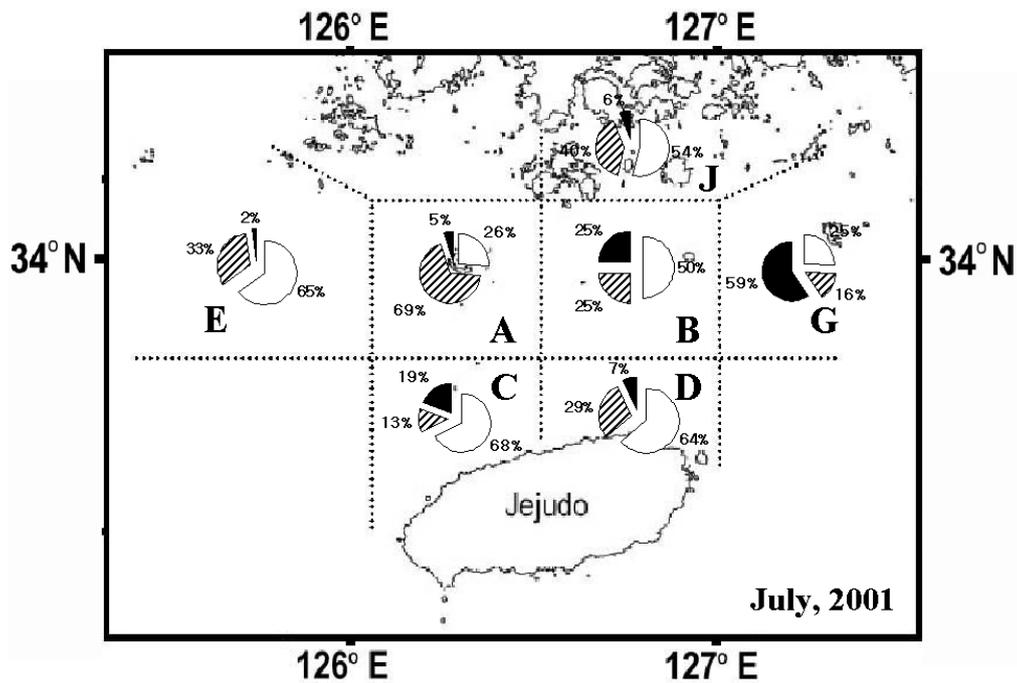


Fig.42. Spatial distribution of anchovy eggs by developmental stages.

2.1.5.2 자치어 채급조성

2001년 7월에 있어 멸치 자치어의 채급조성을 해역별로 구분하여 살펴보았다(Fig.43).

조사기간 동안 채집된 자치어의 전장은 3.2~26.5 mm(이하 전장) 범위였다. 여기서 각 채급에 따른 출현율은 크게 10.0 mm 미만, 10.0~19.9 mm 그리고 20.0 mm 이상 채급 등 크게 3가지로 구분하여 비교하였다. 제주해협 북서부역인 A해역에서는 10.0 mm 미만 개체가 87.9%의 높은 비율로 출현하였고 10.0 mm 이상 채급들은 모두 10% 이하로 낮았다. 제주해협 북동부역인 B해역에서는 10.0 mm 미만 개체가 56.0%, 10.0~19.9 mm 개체가 43.2%, 20.0 mm 이상 개체가 0.8%의 순으로 출현하여 A해역 보다 는 10.0 mm 이상의 개체들의 출현율이 증가하였다. 제주해협 남서부역인 C해역에서는 A해역과 마찬가지로 10.0 mm 미만이 87.2%의 높은 출현율을 보인 반면 나머지 채급들은 모두 10% 이하로 낮았다.

제주해협 남동부역인 D해역에서는 10.0 mm 미만 개체가 64.3%로 낮은 반면, 10.0~19.9 mm 개체는 28.9%, 20.0 mm 이상 개체는 6.8%로 C해역 보다 10.0~19.9 mm 개체와 20.0 mm 이상 개체의 출현율이 높았다.

제주해협 북서부 외양역인 E해역과 북동부 외양역인 G해역 그리고 청산도 주변역인 J해역에서는 10.0 mm 미만 개체들이 모두 90%이상을 차지하였으며 상대적으로 10.0 mm 이상 개체들의 출현율은 극히 낮았다. 이에 비해 제주해협 남서부 외양역인 F해역은 10.0 mm 미만 개체가 18.5%인데 반해 10.0~19.9 mm 개체는 48.1%, 20.0 mm 이상 개체는 33.4%로 대형개체들의 출현율이 높았다. 또 거차군도 주변역인 I해역도 비록 개체수는 적었지만 10.0 mm 이상 개체가 84.2%로 높은 출현율을 보였다.

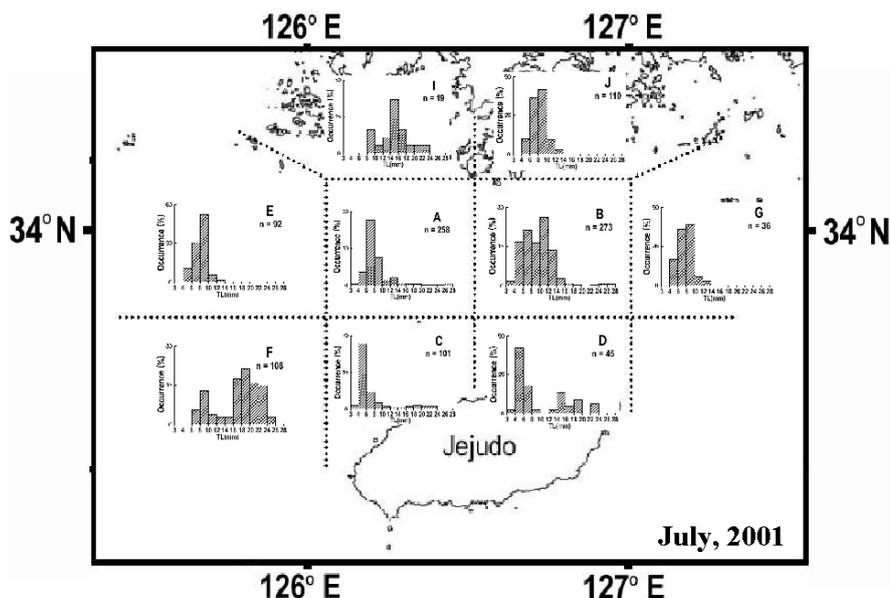


Fig.43. Spatial distributions in total length frequency of anchovy larvae in July, 2001.

2.1.6 엽록소 a 및 동물플랑크톤 분포현황

2.1.6.1 제주해협 및 주변해역

2.1.6.1.1 해역별 엽록소 a 분포

2001년 7월에 있어서 각 해역내 수층별 엽록소 a 의 평균값을 Table 2에 나타냈다. 이번 조사 기간 동안 전체적인 엽록소 a 의 평균값은 $0.799 \mu\text{g}/\ell$ 로 나타났다. 우선 10 m 수층인 경우는 전체 평균이 $0.808 \mu\text{g}/\ell$ 로 이 중 I해역이 $1.093 \pm 0.25 \mu\text{g}/\ell$ 으로 가장 높았고, 다음으로 J해역 $0.994 \pm 0.06 \mu\text{g}/\ell$, G해역 $0.976 \pm 0.05 \mu\text{g}/\ell$ 의 순으로 나타나고 있었다.

20 m 수층은 10 m 수층 보다 엽록소 a 값이 다소 높아 전체 평균은 $0.824 \mu\text{g}/\ell$ 를 나타냈으며 해역별로는 G해역 $0.973 \pm 0.04 \mu\text{g}/\ell$, I해역 $0.938 \pm 0.14 \mu\text{g}/\ell$, C해역 $0.921 \pm 0.18 \mu\text{g}/\ell$ 의 순으로 높은 값을 보이고 있었다.

30 m 수층은 전체 평균이 $0.764 \mu\text{g}/\ell$ 로 가장 낮았고 모든 해역에서의 엽록소 a 평균값은 $0.900 \mu\text{g}/\ell$ 미만으로 낮게 분포하고 있었다.

이상을 종합해 보면, 엽록소 a 가 가장 적은 해역은 제주해협 남동부 외양역에 해당하는 H해역인 반면에 상대적으로 많이 분포하는 해역은 A, I, J, G해역 등으로 이들 해역들은 전반적으로 남해 연안역이나 남해와 인접한 섬 부근에 해당하는 곳임을 알 수 있었다.

Table 2. Mean concentration of chlorophyll a of each sea area in this study.

(Unit : $\mu\text{g}/\ell$)

	Chlorophyll a concentration										Average
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	
10 m	0.811	0.785	0.734	0.706	0.778	0.643	0.976	0.558	1.093	0.994	0.808
20 m	0.834	0.897	0.921	0.714	0.841	0.682	0.973	0.597	0.938	0.844	0.824
30 m	0.845	0.703	0.797	0.713	0.748	0.816	0.865	0.653	0.704	0.795	0.764
Average	0.830	0.795	0.817	0.711	0.789	0.714	0.938	0.603	0.912	0.878	0.799

2.1.6.1.2 해역별 동물플랑크톤의 현존량

2001년 7월에 있어 각 해역별 요각류와 화살벌레류의 수층별 평균 밀도와 분포상황을 Table 3과 Fig.44에 나타냈다.

2.1.6.1.2.1 요각류

이번 조사에서 요각류는 전 수층을 통틀어 평균 30.8 ind./m^3 정도로 출현하였다. 10 m 수층에서는 전체 평균 26.1 ind./m^3 정도의 요각류가 출현하였는데 해역별로 살펴보면, D해역이 103.8 ind./m^3 으로 가장 높았고 그 다음으로 A해역 54.1 ind./m^3 , C해역 26.3 ind./m^3 , E해역 26.1 ind./m^3

m³의 순으로 분포하고 있었다. 이 외의 해역에서는 거의 10 ind./m³ 미만으로 분포밀도가 낮았다.

20 m 수층에서의 요각류는 전체 평균 32.5 ind./m³ 정도로 출현하였으며 해역별로는 D해역이 109.5 ind./m³로 가장 많았고 이어서 A해역 60.1 ind./m³, I해역 55.1 ind./m³, E해역 25.8 ind./m³ 순으로 요각류가 출현하고 있었다.

30 m 수층은 전체 평균이 33.7 ind./m³로 모든 수층 중 가장 높은 분포밀도를 보였는데 D해역 214.4 ind./m³, I해역 66.5 ind./m³, F해역 12.8 ind./m³ 순으로 요각류가 출현하고 있었다.

이상을 해역별 전 수층 평균으로 살펴보면 조사기간 동안 전반적으로 A, D, I해역에서 전체 평균 이상으로 요각류가 다량 출현하고 있음을 알 수 있었다.

2.1.6.1.2.3 화살벌레류

조사기간 동안 화살벌레류는 전 수층을 통틀어 평균 8.0 ind./m³ 정도의 분포밀도를 보였다. 10 m 수층에서는 전체 평균 9.6 ind./m³ 정도로 출현하였고 해역별로는 A해역이 18.7 ind./m³로 가장 높았으며 이어서 C해역 14.5 ind./m³, D해역 13.1 ind./m³의 순으로 분포하고 있었다.

20 m 수층에서는 전체 평균 8.5 ind./m³ 정도의 화살벌레류가 출현하였는데 이 중 H해역이 13.6 ind./m³로 가장 많았고 A해역과 C해역 10.5 ind./m³, B해역 9.4 ind./m³, I해역 9.3 ind./m³의 순으로 분포하고 있었다.

30 m 수층인 경우 전체 평균은 5.8 ind./m³로 가장 낮은 분포밀도를 나타냈는데 D해역 11.7 ind./m³, G해역 8.6 ind./m³, I해역 8.5 ind./m³의 순으로 분포하고 있었고 그 외의 해역들은 모두 7.0 ind./m³ 미만의 낮은 분포밀도를 보이고 있었다.

이상 해역별 전 수층 평균을 비교해 보았을 때 화살벌레류가 전체 평균 이상으로 많이 출현한 해역은 A, C, D해역임을 알 수 있었다.

Table 3. Mean abundances of copepods and sagitta collected in the study area on July, 2001.

(Unit : ind./m³)

		Mean abundance of copepods and sagitta										Average
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	
copepod	10 m	54.1	9.8	26.3	103.8	26.1	11.8	8.6	9.7	7.5	3.3	26.1
	20 m	60.1	13.2	16.7	109.5	25.8	12.6	8.6	20.1	55.1	3.5	32.5
	30 m	3.6	9.5	10.4	214.4	2.7	12.8	8.2	6.9	66.5	1.8	33.7
	Average	39.3	10.8	17.8	142.6	18.2	12.4	8.5	12.2	43.0	2.9	30.8
sagitta	10 m	18.7	9.2	14.5	13.1	6.5	7.8	7.7	6.2	5.8	6.7	9.6
	20 m	10.5	9.4	10.5	3.9	8.6	8.5	7.0	13.6	9.3	4.0	8.5
	30 m	2.9	5.1	3.4	11.7	3.8	5.4	8.6	2.2	8.5	6.8	5.8
	Average	10.7	7.9	9.5	9.6	6.3	7.2	7.8	7.3	7.9	5.8	8.0

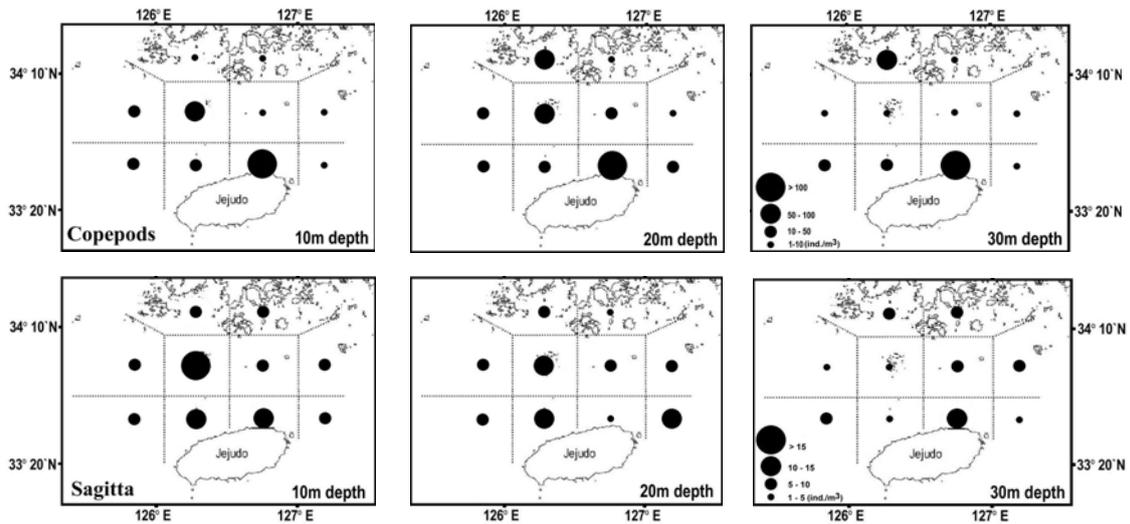


Fig.44. Horizontal distribution of mean abundances (ind./m³) of copepods and sagitta at the depths of 10 m, 20 m and 30 m.

2.1.6.2 제주해협 북부해역

2.1.6.2.1 월별 엽록소 a 농도와 요각류 분포

제주해협 북부해역에서의 엽록소 a 농도와 요각류 현존량의 월별 변화를 Fig.45에 나타내었다. 표층 엽록소 a 농도는 0.149(11월)~1.267(8월) $\mu\text{g}/\ell$ 의 범위로 변화하면서 평균 0.784 $\mu\text{g}/\ell$ 를 나타냈고, 10 m 수층에서는 0.134(11월)~1.439(9월) $\mu\text{g}/\ell$ 의 범위로서 평균 0.881 $\mu\text{g}/\ell$ 을 보여 10 m 수층 보다 표층이 다소 낮았다.

요각류 현존량은 표층에서 평균 173.1 ind./m³으로 38.7(4월)~566(10월) ind./m³의 범위로 변화하였다. 10 m 수층에서는 36(9월)~283(6월) ind./m³의 범위로 변화하면서 평균 125.1 ind./m³ 정도가 출현하였다.

이상으로부터, 조사기간 동안 엽록소a 농도는 전체 조사수층을 통틀어 4~5월, 8~9월에 높은 값을 유지하였으며 요각류 현존량은 다른 월과 비교하여 7~8월에 빈약하였고 6월과 10월에는 비교적 많이 나타났다.

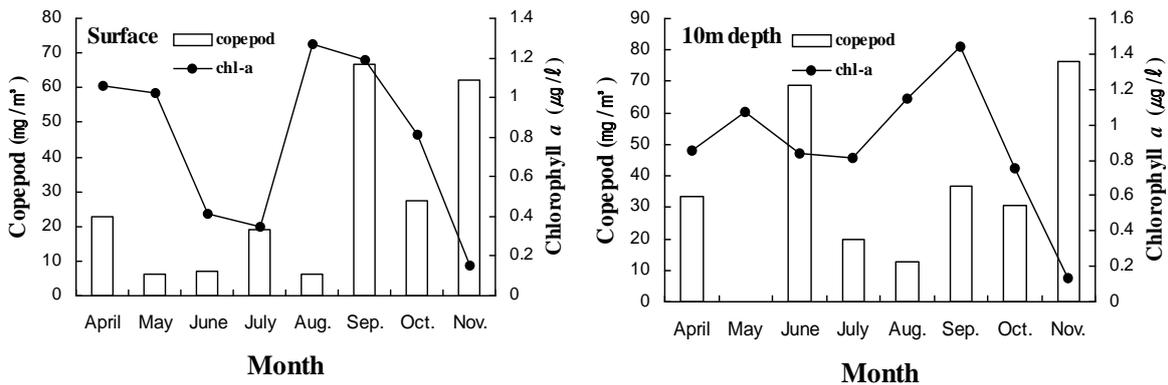


Fig.45. Monthly of mean copepod abundance (ind./m³) and chlorophyll a concentration (μg/l) in the northern part of Jeju Strait from May to November, 2002 and April, 2003.

2.1.6.3 제주해협 동부해역

2.1.6.3.1 월별 엽록소a 농도와 요각류 분포

제주해협 동부해역에서의 엽록소a 농도와 요각류 현존량의 월별 변화를 Fig.46에 나타내었다. 표층 엽록소a 농도는 1.063(7월)~1.878(9월) μg/l의 범위로 변화하면서 9월에 가장 높았고, 10 m 수층에서는 1.222(6월)~1.755(10월) μg/l의 범위로 10월에 가장 높은 농도를 보여주었다.

표층 요각류 현존량은 4.4(7월)~155.2(10월) ind./m³의 범위로 변화하면서 10월에 가장 많았고, 10 m 수층에서는 전체 31.5(8월)~169.5(10월) ind./m³의 범위로서 표층, 10 m 수층 모두 10월에 가장 많이 출현하였다.

따라서 조사기간 동안 엽록소a 농도는 고수온기인 7~8월에 다소 낮은 값을 보였지만 9월 이후부터는 상승하는 경향을 보였으며 요각류 현존량도 고수온기에 다소 빈약하던 것이 이 시기를 전후로 현존량이 점차 많아지고 있었다.

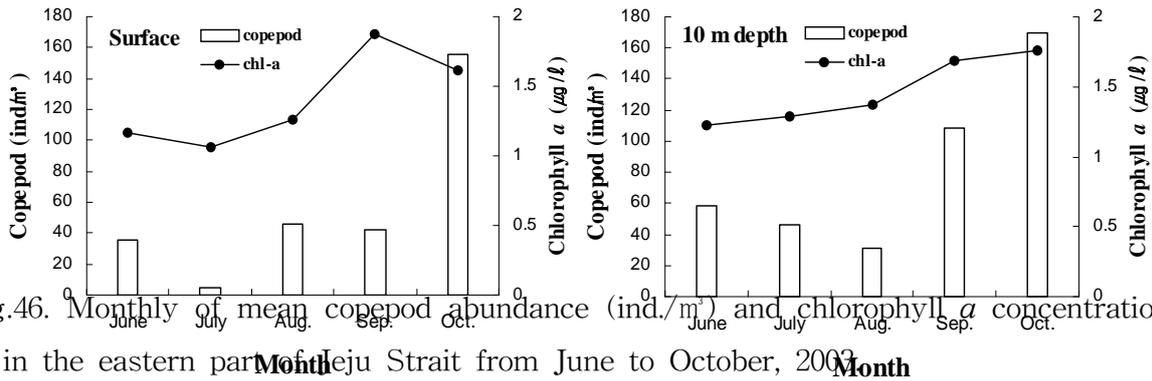


Fig.46. Monthly of mean copepod abundance (ind./m³) and chlorophyll *a* concentration (µg/ℓ) in the eastern part of Jeju Strait from June to October, 2009

2.1.7 자치어 유영력 형성체급

2.1.7.1 체측근 발달

멸치 자치어의 전장에 대한 백색근과 적색근의 총 섬유개수와 총 횡단면적의 회귀분석 결과는 Table 4와 같고, 이것들을 log/log 대응방식으로 기입하여 Fig.47, Fig.48과 같이 그래프상에 나타냈다.

Table 4. Linear regression analysis of total number of fibers and cross-sectioned area on total length in anchovy larvae. $\log a$ and b are constants in equation $\log y = \log a + b \log x$ (r = correlation coefficient)

	Muscle type	Range of TL	$\log a$	b	r
Total number of fibers	White	< 6.5 mm	1.684	0.659	0.995
		6.5-26.1 mm	0.652	2.041	0.988
		> 26.1 mm	3.026	0.467	0.993
	Red	< 14.2 mm	1.518	0.564	0.894
		14.2-19.3 mm	0.028	1.943	0.875
		> 19.3 mm	1.112	1.064	0.896
Total cross-sectioned area	White	< 8.2 mm	0.699	2.135	0.925
		8.2-17.3 mm	1.259	1.368	0.895
		> 17.3 mm	-0.897	3.179	0.923
	Red	< 14.9 mm	0.681	1.074	0.968
		14.9-18.6 mm	-2.711	4.116	0.939
		> 18.6 mm	-0.535	2.315	0.960

2.1.7.1.1 총 섬유개수

멸치 자치어의 전장에 대한 각 근육들의 총 섬유개수 변화를 Fig.47에 나타냈다. 백색근과 적색근 섬유개수의 증가 경향에 있어서는 모두 2개의 변곡점이 존재하였다. 백색근(Fig.47, A)은 6.5 mm 이전까지는 섬유개수가 약 100~200개 정도로 완만하게 증가하다가(기울기 $b=0.659$) 6.5 mm부터 26.1 mm까지 약 250~4,600개의 범위로 증가율이 급격해지면서 꾸준하게 증가하였다($b=2.041$). 26.1 mm 이후의 개체부터는 다시 증가율이 둔화되는 경향을 보였고($b=0.467$) 30.9 mm의 개체에서는 백색근의 총 섬유개수가 약 5,300개에 이르렀다.

적색근섬유는 백색근섬유와는 달리 전장 6.2 mm의 개체부터 출현하였다(Fig.47, B). 적색근의 총 섬유개수는 14.0 mm 이전까지 약 90~165개의 범위로 증가하다가($b=0.564$) 14.2 mm의 개체부터 증가율이 급격해지면서 19.3 mm까지 약 210~320개의 범위를 보였다($b=1.943$). 19.3 mm 이후의 개체부터는 다시 증가율이 완만해지면서($b=1.064$) 30.9 mm의 개체에서는 적색근섬유의 총 개수가 약 510개를 나타냈다.

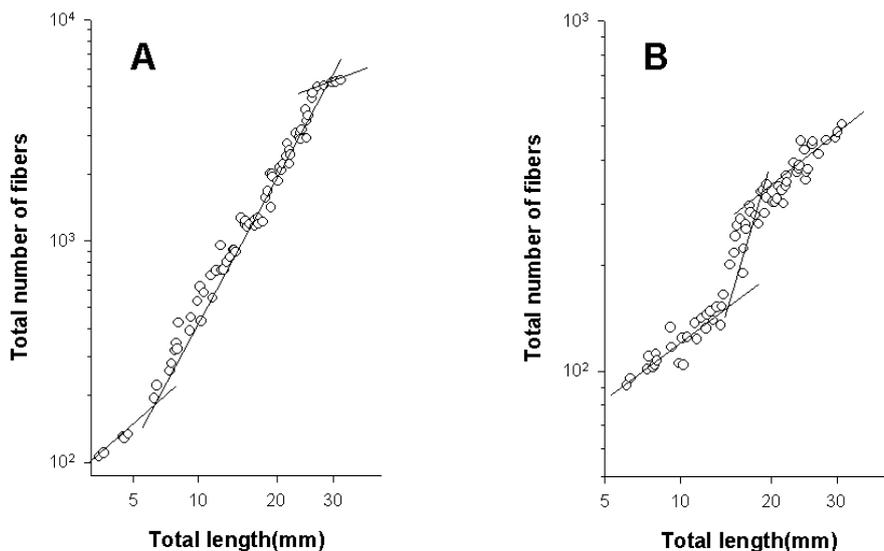


Fig.47. Logarithmic plots showing relationship between total number of fibers and total length in anchovy larvae. A; white muscle, B; red muscle.

2.1.7.1.2 총 횡단면적

멸치 자치어의 전장에 대한 각 근육들의 총 횡단면적 변화를 Fig.48에 나타냈다. 백색근과 적색근의 총 횡단면적의 증가 경향에 있어서도 근섬유개수와 마찬가지로 각각 2개의 변곡점을 보이며 증가하였다. 백색근의 총 횡단면적(Fig.48, A)은 8.2 mm 이전까지는 약 $60\sim390 \mu\text{m}^2$ 로

증가하였고($b=2.135$), 8.2 mm부터 17.3 mm사이에서는 총 횡단면적의 범위가 395~1,460 μm^2 로 증가율이 다소 둔화되는 경향을 보였다($b=1.368$). 그러나 17.3 mm 이후의 개체부터는 다시 증가율이 높아지면서($b=3.179$), 30.9 mm의 개체에서는 백색근의 총 횡단면적이 약 8,015 μm^2 에 이르렀다.

적색근의 총 횡단면적(Fig.48, B)은 14.9 mm 이전까지는 약 38~90 μm^2 의 범위로 증가하다가($b=1.074$) 14.9 mm 개체부터 가파르게 증가하여 18.6 mm까지 약 126~314 μm^2 의 범위를 나타냈다($b=4.116$). 이러한 급격한 증가율은 18.6 mm 이후의 개체부터는 다소 완만해지면서($b=2.315$), 30.9 mm 개체의 적색근 총 횡단면적은 약 790 μm^2 를 보여주었다.

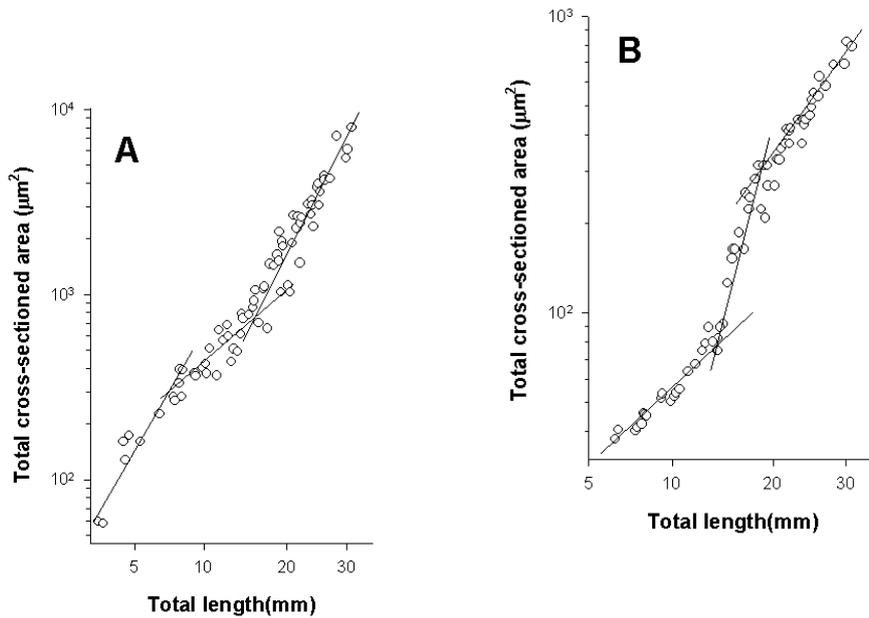


Fig. 48. Logarithmic plots showing relationship between total cross-sectioned area and total length in anchovy larvae. A; white muscle, B; red muscle.

2.1.7.2 체급별 지느러미 발달

멸치 자치어의 체급별 지느러미의 발달 상황을 알아보기 위해 자치어들의 체급을 각각 1.0 mm의 범위로 구분하여 각 체급별 등지느러미, 뒷지느러미, 배지느러미의 원기 형성여부 및 지느러미 줄기수(Table 5)와 꼬리지느러미의 외부형태를 관찰하였다(Table 6).

2.1.7.2.1 지느러미 원기 및 줄기수 변화

지느러미 원기형성(Table 5)에 있어서는 등지느러미 원기가 전장 5.0~5.9 mm 체급에서 가장 먼저 발현되었고, 그 다음으로 뒷지느러미 원기가 6.0~6.9 mm 체급부터 나타나기 시작하였다. 배지느러미 원기는 다른 지느러미에 비해 원기의 출현시기가 가장 늦어 14.0~14.9 mm 체급부터 유문부 측면에서 최초로 나타났다.

지느러미 줄기는 6.0~6.9 mm 체급부터 등지느러미 6~7개, 뒷지느러미 8~9개의 줄기가 최초로 형성되었다. 체급이 증가할수록 두 지느러미의 줄기수도 점차 증가하여 등지느러미는 14.0~14.9 mm 체급부터, 뒷지느러미는 15.0~15.9 mm 체급부터 성어의 정수에 달하였다. 배지느러미는 15.0~15.9 mm 체급부터 3~4개의 줄기가 형성되었으며 19.0~19.9 mm 체급부터는 6~7개로 성어의 정수에 달하였다.

따라서 멸치 자치어는 체급 15.0 mm 이상부터 모든 지느러미에서 줄기가 형성되면서 지느러미가 발달하기 시작하였으며 19.0 mm 이후의 개체부터는 모든 지느러미의 줄기수가 성어와 같음을 확인할 수 있었다.

Table 5. Developmental characteristic of fins according to the body size (TL)

D; dorsal fin, A; anal fin, P; pelvic fin

Total length (mm)	Number of fin ray			n	Total length (mm)	Number of fin ray			n
	D	A	P			D	A	P	
3.5~3.9	-	-	-	30	15.0~15.9	13-16	15-17	3-4	30
4.0~4.9	-	-	-	30	16.0~16.9	15-16	16-18	3-5	30
5.0~5.9	+	-	-	30	17.0~17.9	14-16	15-17	4-6	30
6.0~6.9	6-7	8-9(+)	-	30	18.0~18.9	15-16	16-17	5-6	20
7.0~7.9	9-10	10-11	-	30	19.0~19.9	15-16	17-18	6-7	20
8.0~8.9	11-12	11-12	-	30	20.0~20.9	15-16	17-18	6-7	20
9.0~9.9	10-13	12-15	-	30	21.0~21.9	15-16	16-17	6-7	20
10.0~10.9	11-14	12-15	-	30	22.0~22.9	15-16	16-17	6-7	10
11.0~11.9	12-14	13-15	-	30	23.0~23.9	15-16	16-18	6-7	10
12.0~12.9	12-14	13-15	-	30	24.0~24.9	15-16	16-18	7	10
13.0~13.9	12-15	14-16	-	30	26.0~26.9	15-16	16-18	7	10
14.0~14.9	14-16	14-17	+	30					

+, body size that each rudimental fins observed first time

n, number of experimental specimens

2.1.7.2.2 꼬리지느러미의 외부형태 변화

멸치 자치어의 체급별 꼬리지느러미의 외부형태를 크게 끝부분이 둥근형, 약간 일직선형, 가운데 부분이 오목하게 들어간 형태 그리고 두 갈래로 갈라지는 분기형 등 총 4가지의 발달단계로 구분하여 관찰하였다(Table 6).

부화 후 전장 5.0~5.9 mm 체급까지는 지느러미 끝부분이 둥근형태를 취하다가 6.0~6.9 mm 체급부터 끝부분이 거의 일직선인 형태로 지느러미가 변화하였다. 9.0~9.9 mm 체급부터는 끝의 가운데 부분이 약간 오목하게 들어가는 형태를 보이다가 13.0~13.9 mm 체급 이후부터는 모든 개체의 꼬리지느러미가 성어와 같이 두 갈래로 분기하는 형태로 발달하였다.

Table 6. Development of caudal fin in anchovy larvae

Total length (mm)	Shape of hind margin	n
5.0~5.9	+	20
6.0~6.9	++	20
7.0~7.9	++	20
8.0~8.9	++	20
9.0~9.9	+++	20
10.0~10.9	+++	20
11.0~11.9	+++	20
12.0~12.9	+++	15
13.0~13.9	++++	15
14.0~14.9	++++	15
15.0~15.9	++++	15

+, rounded; ++, truncated;

+++ , emarginated; ++++ , furcated

n, number of experimental specimens

2.2 TGPS Buoy에 의한 제주해협 해수유동특성

2.2.1 계절별 해수유동특성

2.2.1.1 춘계

Fig. 49(a~c)는 1996년 5월 30~31일(a), 1997년 4월 28일~5월 2일(b), 1998년 5월 7일~10일(c)에 춘계 해수유동상황에 대한 TGPS Buoy 추적조사를 실시한 결과를 나타내고 있다.

제주도 북부 외해측의 제주해협내 유향은 동류(Fig. 49, b, c-2), 북동부 연안역은 남동류(Fig. 49, a, c-1)를 나타내고 있다. 이 결과를 좀더 구체적으로 분석하면 Fig. 49, a 및 c-1의 경우는 Buoy가 이동한 순간 유속범위는 각각 0.2~3.7knot(a), 0.2~3.2knot(c-1)로 거의 같은 유속범위를 나타내고 있으며 추적 기간동안 시간당 평균유속은 각각 1.7knot, 1.1knot였고 순간 최고, 최저유속은 3.8knot·0.1knot(a), 3.3knot·0.1knot(c-1)로 매우 빠른 유속이 나타났다. 조석주기에 따른 유향변화를 보면 밀물때는 서류내지 북서류, 썰물때는 남동방향으로 이동하였고 밀물때보다 썰물때 흐름이 강했다. 한편, 제주도 북부 외해역의 유향(Fig. 49, b, c-2)을 보면 Buoy가 이동한 순간 유속범위는 0.2~2.6knot로 앞에서 설명한 연안역 보다는 약하지만 양자 공히 같은 유속범위를 나타냈으며 추적 기간동안 시간당 평균유속은 각각 1.2knot, 1.1knot, 순간 최고, 최저유속도 공히 2.6knot, 0.1knot였다. 조석주기에 따른 유향변화를 보면 b(1997년 4월)의 경우 밀물때는 서류, 썰물때는 동쪽방향으로 이동하며 조석류의 영향을 받지만 c-2(1998년 5월)의 경우는 밀물때 서쪽으로 이동하지 않고 조석주기에 관계없이 동쪽으로만 흐르는 양상을 나타내 시기별 차이를 보이고 있다. 이처럼 흐름의 양상이 시기에 따라 다르게 나타나는 원인으로 밀물과 썰물의 조석차가 다른 대조시와 소조시때의 유동특성으로 판단된다.

Buoy의 시간별 유향, 유속자료로 부터 Buoy 추적기간의 총체적 이동 벡터 값을 구하고 이를 평균한 결과에 의하면 항류의 유향은 동류였고 유속은 각각 0.2knot(b), 0.8knot(c-2)로 c-2의 경우는 제주해협내에서도 매우 빠른 유속에 해당된다.

따라서, 춘계 제주도 주변해역의 유향을 종합해 보면 제주도 북부 연안역은 밀물에 비해 썰물의 영향이 우세하게 나타나 항류방향은 남동류였고 시간당 평균유속은 1.1~1.7knot로 매우 빨랐으며, 제주도 북부 외해역은 조석에 의한 시기별 차이를 보이고 있지만 항류방향은 동류였고 시간당 평균유속은 1.1~1.2knot로 제주도 북동부 연안역보다는 약간 느렸다.

2.2.1.2 하계

Fig. 50(a~e)는 1997년 7월 10~11일(a), 1997년 8월 27~29일(b), 1997년 9월 4~9일(c), 2002년 6월 20~21일(d), 2003년 9월 16~18일(e)에 제주해협내의 여러 지점 및 제주도 서부연안역에 Buoy를 투하하여 하계 해수유동상황의 결과를 각각 나타내고 있다.

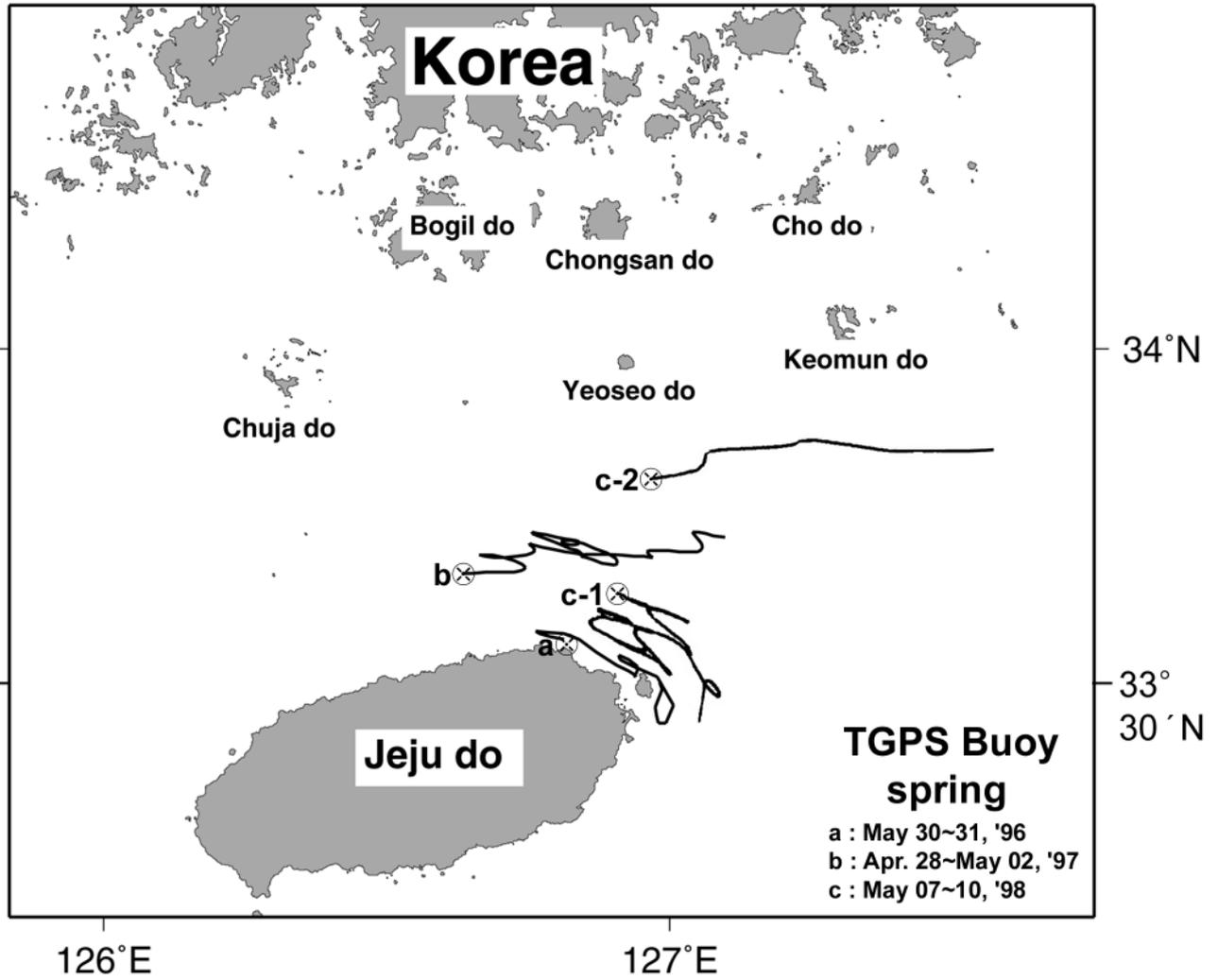


Fig. 49. Drift track of TGPS Buoy in spring(1996, 1997)

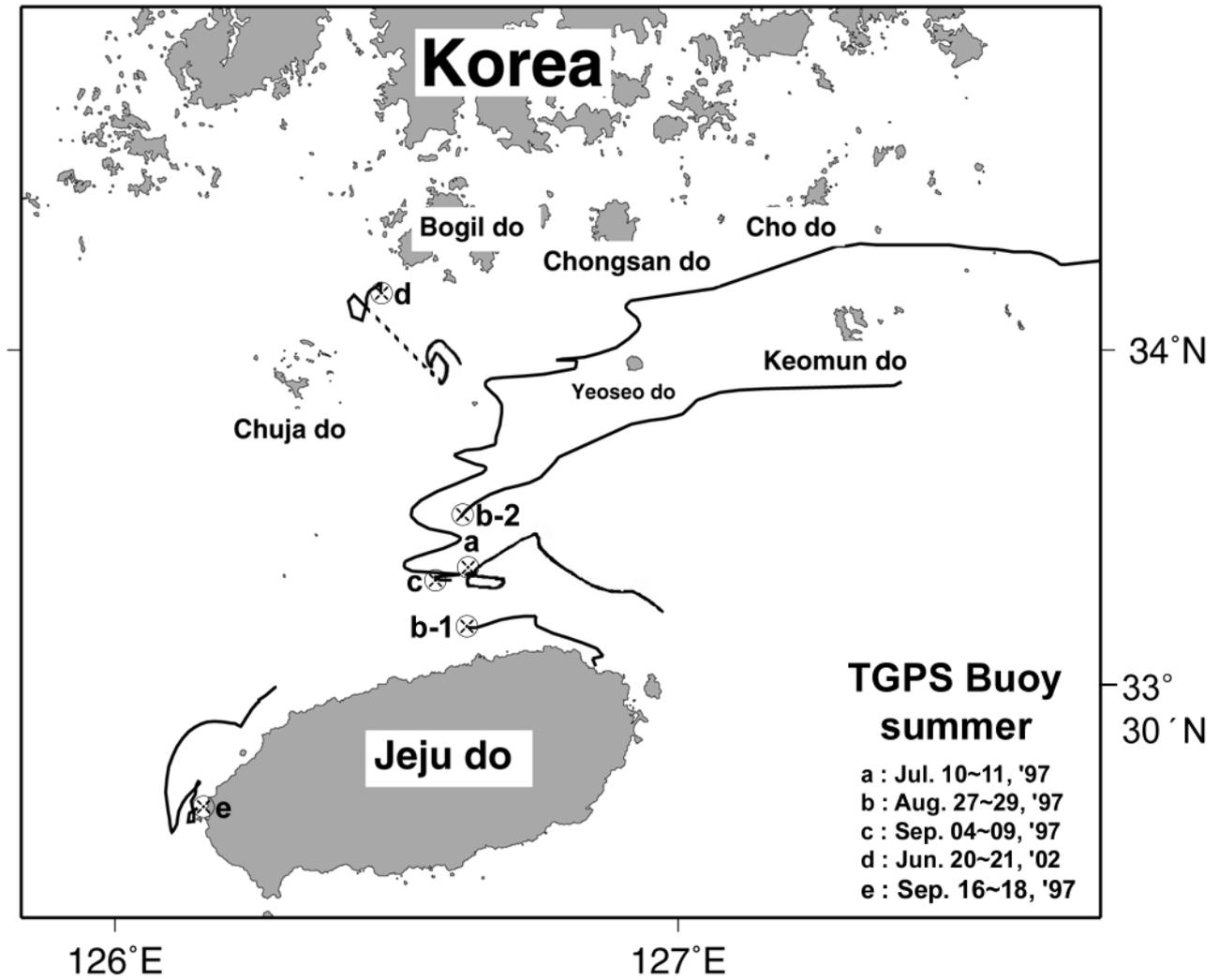


Fig. 50. Drift track of TGPS Buoy in summer(1997, 2002, 2003)

하계 제주해협 및 제주도 서부연안역의 표층류 흐름의 전반적인 경향은 제주도 북부 외해역은 북 내지 북동류, 북동부 연안역은 동 내지 남동류, 추자도 동쪽해역은 남동류 및 제주도 서부연안역은 남서 내지 북동류로 해역별로 항류방향이 다르게 나타났다.

그 결과를 좀더 상세히 분석해보면 1997년 7월(Fig. 50, a)의 경우는 제주도 조천에서 북쪽으로 7mile 지점에 투하한 결과로 Buoy가 이동한 순간 유속범위는 0.2~2.8knot로 추적기간 동안의 시간당 평균유속은 1.0knot였으며 순간 최고, 최저유속은 2.8knot, 0.1knot였다. Buoy는 투하 초기에 썰물때 동쪽, 밀물때 서쪽으로 이동하는 왕복운동을 하였지만 투하 후 약 18시간 이후부터 북동방향으로 이동하다가 약 9시간 이후부터 다시 방향이 바뀌어 남동방향으로 이동하였고 이때의 벡터분석에 의한 항류의 유형은 동류였고 유속은 0.3knot였다. 1997년 8월(Fig. 50, b)의 경우는 제주도 북부연안 조천에서 북쪽으로 3mile 떨어진 연안역에 Buoy b-1을, 12mile 떨어진 외해역에 Buoy b-2를 투하한 경우로 연안역에 투하한 b-1은 Fig. 49 a 및 c-1과 같이 연안을 따라 동 내지 남쪽으로 이동했지만 외해역에 투하한 b-2의 경우는 Fig. 49의 c-2와 같이 북동 내지 동쪽으로 이동하여 거문도 남쪽을 거쳐 한국 남해로 이동했다.

이처럼 제주도 북부연안에서 7마일 이내의 연안역에는 해안선을 따라 동 내지 남동쪽으로 이동하는 흐름이 우도 북부연안까지 나타나고 있고 북부연안으로부터 10mile이상 떨어진 외해 쪽에는 북동 내지 동쪽으로 이동하는 항류가 우세하며 대부분의 경우 여서도 및 거문도 남쪽을 통하여 한국남해로 이동했다. Fig. 50의 b-2 Buoy의 이동궤적을 좀더 구체적으로 분석하면 Buoy의 순간 유속범위는 0.2~2.6knot로 추적기간 중 시간당 평균유속은 1.2knot였으며 순간 최고, 최저유속은 2.7knot · 0.1knot였다. Buoy 이동궤적의 전체적인 경향은 밀물과 썰물에 따른 유형변화 없이 여서도 남동부 해역까지 북동방향으로 이동 하지만 거문도 남부해역에서는 동쪽으로 이동하였다. 그러나 전반적인 항류 방향은 북동류였고 벡터해석에 의한 유속은 1.1knot로 매우 빨랐다. 9월의 경우(Fig. 50, c)는 제주도 북부연안인 조천에서 북쪽으로 8mile 떨어진 외해역에 Buoy를 투하한 경우로 투하위치는 Fig. 50의 a와 거의 같지만 Buoy의 이동 양상은 앞의 흐름과 매우 다른 패턴을 보였다. 9월의 순간 유속범위는 0.2~2.7knot였고 추적기간 중의 시간당 평균 이동속도는 1.3knot였으며 순간 최고, 최저유속은 2.9knot, 0.1knot로 8월에 비해 9월의 유속이 전체적으로 빠른 경향을 보였다. Buoy의 이동궤적은 투하지점에서 장수도(추자도와 여서도를 잇는 선의 중간지점)까지는 밀물과 썰물의 영향을 받아 동서방향으로 지그재그 모양을 그리며 북쪽으로 이동하지만 장수도에서 여서도까지는 조석류 주기에 따른 약간의 유형변화를 보이나 전체적으로 동쪽으로 이동해 여서도와 청산도의 중간해역을 통과한 후 조석 주기에 따른 유형의 변화없이 동쪽으로만 이동하여 거문도 북쪽을 지나 한국남해 연안역으로 흘러가는 독특한 이동궤적을 보였다. 제주도 북부 외해역에 투하한 Buoy는 북동쪽으로 이동하여 여서도 남쪽을 통과한 후 동쪽으로 이동하여 거문도 남쪽을 지나 한국남해쪽으로 이동하는 유형패턴을 보이는 것이 일반적인 경향인 것과는 대조적으로 Fig. 50, c의 경우는 여서도 북쪽을 지나 거문도 북쪽을 통과하는 매우 이례적인 이동궤적을 보였다. Buoy의 순간유속 범위는

0.2~2.8knot였고 추적기간 중 시간당 평균유속은 1.3knot였으며 순간 최고, 최저유속은 2.9knot, 0.1knot로 8월에 비해 9월의 유속이 빠르게 나타났지만 벡터분석에 의한 항류의 유속은 0.2knot로 매우 느린 유속을 보였다.

2002년 7월(Fig. 50, d) 추자도와 보길도 사이의 유향을 파악하기 위해 추자도 북동쪽 약 7mile부근 해역에 Buoy를 투하하여 추적조사를 실시했지만 타 선박의 잦은 통항과 전파방해로 인해 Buoy의 연속적인 추적이 불가능하였고 또, 기상악화 및 강풍으로 인해 부득이 Buoy 추적을 조기에 중지하였다. 그러나 부분적으로 얻어진 자료를 바탕으로 Buoy의 이동상황을 분석해 보면 순간 유속범위는 0.2~3.2knot였고 추적 기간동안 시간당 평균유속은 0.9knot였으며, 순간 최고, 최저유속은 각각 3.3knot, 0.1knot로 나타났다. 이때의 이동양상은 밀물때는 북서류, 썰물때는 남동방향으로 이동하였고, 밀물때보다 썰물때 흐름이 강했으며 전반적인 항류방향은 남동류였고 벡터 분석에 의한 항류유속은 0.4knot 정도였다. Fig. 50, e는 2003년 9월에 제주도 서부해역에 투하한 Buoy의 이동궤적으로 순간 유속범위는 0.2~2.0knot였고, 시간당 평균유속은 0.9knot였으며 순간 최고, 최저 유속은 각각 3.2knot, 0.1knot였다. 차귀도 북쪽 연안역에 투하한 Buoy는 초기에는 썰물때 남서쪽으로 이동하다가 밀물때는 북내지 북동방향으로 이동하여 조석류에 의해 남, 북으로 이동하였지만 그후, 차귀도 남서쪽 3mile 지점에서는 조석류의 영향과 관계없이 북 내지 북동쪽으로 타원형을 그리며 계속 이동하여 제주도 북부 연안역으로 이동하였다.

따라서 하계 제주도 주변해역의 유향을 종합해 보면 제주해협 중앙부의 경우, 시기에 따른 약간의 차는 있지만 전반적으로 북동류의 흐름이 우세했으며 남해안의 거문도 주변해역에서는 동류성분이 강하게 나타났고 추자도 주변해역 및 제주도 북동부 연안역의 항류방향은 남동류, 제주도 서부연안역은 북동류였고 항류성분의 유속은 0.2~1.1knot범위로 시·공간에 따른 차가 크게 나타났다.

2.2.1.3 추계

Fig. 51(a~d)는 1997년 10월 18~24일(a), 2002년 10월 4~8일(b), 2003년 10월 17~18일(c), 2003년 10월 30~31일(d)에 제주해협과 제주도 서부해역 및 추자도 주변해역에 TGPS Buoy 투하하여 추적한 추계 해수유동상황의 결과를 각각 나타내고 있다.

추계 제주해협 및 제주도 서부해역의 표층류 흐름의 전반적인 경향은 제주도 북부 외해역은 북동류, 동부 연안역은 남동 내지 북동류, 제주도 서부 연안역은 남서류, 추자도 북동 및 동부 해역은 남동 및 동류, 장수도와 여서도 사이의 해역은 동류로 각 해역별로 항류방향이 다르게 나타나고 있다.

그 결과를 좀더 상세히 분석하면 1997년 10월(Fig. 51, a-2)의 경우 제주도 조천에서 북쪽으로 10mile 지점에 투하한 결과로 Buoy가 이동한 순간 유속범위는 0.2~3.1knot, 추적기간동안 시간당 평균유속은 1.4knot였으며 순간 최고, 최저유속은 각각 3.2knot, 0.1knot였다. Buoy는 투

하 초기 동쪽으로 이동하면서 썰물때 동류, 밀물때 서류로 이동하였지만 동쪽방향인 썰물의 유속이 강해서 전반적인 향류방향은 동류였고 벡터해석에 의한 유속은 0.5knot였다. 같은 시기에 투하한 a-1의 경우 조천에서 북쪽으로 5mile 지점에 투하한 결과로 Buoy가 이동한 순간 유속 범위는 0.2~3.0knot, 시간당 평균유속은 1.2knot로 a-2보다 약 0.3knot 느리게 나타났다. 그러나 Buoy의 흐름 방향은 조석주기의 영향으로 매우 불규칙하게 나타났다. Buoy의 이동궤적을 구체적으로 살펴보면 투하 초기에는 조석류에 의해 밀물때 서쪽, 썰물때 동쪽 및 남동쪽으로 이동하는 왕복운동을 하지만 전체적인 경향은 썰물의 영향이 우세하여 남동쪽으로 이동하여 종달리 북부 연안역까지 이동했다. 그러나 종달리 북부연안역에서는 흐름방향이 바뀌어 조석주기에 관계없이 서쪽방향으로만 이동하여 제주시 북부 연안역에 도달하고, 그 이후에는 북 내지 북동방향으로 이동하여 제주해협 중앙역으로 나가 최종적으로 a-2와 같은 이동패턴을 보인 매우 특이한 이동궤적을 그린 사례이다.

이처럼 외해쪽에서는 동쪽으로 이동하다가 제주도 북동부연안역에서 일반적인 향류 양상과는 다른 서류가 나타나 제주시 연안까지 이동하는 흐름이 나타나는 것은 제주도 동쪽을 따라 북상하는 대마난류의 제주해협내로의 삼입(노·平野, 1983)과 밀접한 관계가 있을 것으로 사료된다.

제주도 서부 연안역(Fig. 51, b)의 경우 비양도에서 서쪽으로 3mile 지점에 투하한 결과로 Buoy가 이동한 순간 유속범위는 0.2~4.1knot로 추적기간동안 시간당 평균유속은 1.5knot이고, 순간 최고, 최저유속은 각각 4.0knot, 0.1knot로 나타났다. 조석주기에 따른 유향변화를 보면 Buoy는 투하초기에 썰물때는 제주도 서부연안역을 따라 남쪽으로 밀물때는 북서쪽으로 이동하였으며 점차 외해역으로 이동하여 썰물때는 남동 또는 남류, 밀물때는 북서 내지 북류로 이동하였으며 이때의 향류방향과 유속은 남서, 0.4knot이므로 결과적으로 육지로부터 약 14mile 정도 떨어진 해역까지 이동했다. 또한, 남서방향으로 이동되는 Buoy경로가 시계방향의 타원형을 그리며 연안역에서 외해역으로 이동하는 양상을 보여 제주도 서부해역에 일반적으로 나타나는 북상류와 상반되는 현상이 나타났고 이러한 시계방향의 타원궤적은 관성류와 같은 양상이기도 하므로 10월의 제주도 북동부 및 제주도 서부연안역의 흐름에 대한 보다 상세한 연구가 필요하다.

Fig. 51, c는 추자도 북동쪽해역 7mile(c-1)지점과 동쪽해역 5mile(c-2)지점에 각각 투하한 결과로 c-1, c-2의 경우 Buoy가 이동한 순간 유속범위는 0.2~1.6knot, 시간당 평균유속역시 0.8knot로 양자가 거의 같았으며 순간 최고, 최저유속 또한 c-1, c-2 Buoy 공히 1.7knot, 0.1knot였다. 조석주기에 따른 유향변화를 보면 밀물때 북서류가 나타나 추자도와 보길도 사이로 이동하지만 썰물로 바뀌면서 남동방향으로 이동하다가 그 후 보길도 남쪽해역에서는 조석주기에 관계없이 동류만이 나타났다. 이때 동쪽으로 이동한 향류의 이동거리는 각각 16.2mile(c-1), 15.4mile(c-2)로 c-1 Buoy의 이동거리가 길게 나타났고 벡터해석에 의한 향류의 평균유속은 각각 0.4knot(c-1), 0.7knot(c-2)로 c-2가 약 0.3knot 빠른 유속을 보였다.

여서도 주변해역의 상황을 파악하기 위해 2003년 10월 17~18일 c-1 Buoy를 회수한 지점인 보길도 남동쪽 9.5mile 지점(Fig. 51, d)에 Buoy를 투하한 결과에 의하면 Buoy가 이동한 순간 유속범위는 0.2~1.6knot, 시간당 평균 유속은 0.7knot였으며 순간 최고, 최저유속은 1.7knot, 0.1knot였다. Buoy의 전반적인 흐름은 조석주기에 관계없이 동류만 나타났지만 조석주기에 따른 유향변화를 살펴보면 투하 초기에 동쪽 이동하면서 썰물때는 동류, 밀물때는 거의 흐름 없이 동쪽방향의 흐름이 유지되다 여서도 서쪽 약 5mile 지점에서 흐름방향이 남동류로 바뀌어 여서도 남쪽해역을 향해 이동하였으며 최초 투하지점에서 동쪽으로 약 12.6mile 이동하였고 벡터해석에 의한 평균유속은 0.7knot로 남동방향의 향류가 나타났다.

따라서 추계 제주도 북부해역 및 남해 연안역의 유황을 종합해 보면 제주도 북부 외해역의 경우 하계와 같은 패턴인 북동방향의 향류가 나타났지만 평균유속은 추계가 빠르게 나타났으며, 이에 비해 제주도 북부 연안역에서는 밀물과 썰물의 조석주기에 의해 시계방향의 이동궤적을 그리는 불규칙한 유동이 나타났고 이러한 비 이상적인 흐름은 제주도 서부 연안역에서도 나타나 비교적 하계에 비해 평균유속이 빠르게 나타나는 해역별 유동특성을 보이고 있다. 추자도 주변해역의 경우 추자도와 보길도 사이의 입구에서는 남동쪽방향의 흐름이 우세하고 장수도와 여서도 사이의 해역에서는 밀물의 영향 없이 동쪽방향의 썰물이 우세한 향류가 나타났다.

2.2.1.4 동계

Fig. 52(a~c)는 1998년 2월 11~14일(a), 2002년 11월 28일~12월 1일(b), 2003년 12월 3~4일(c)에 제주해협 및 인접해역의 각 지점에서 TGPS Buoy를 투하하여 추적한 결과를 나타내고 있다.

동계 제주해협 및 인접해역의 표층류 흐름의 전반적인 경향은 제주도 북동부해역은 북동류, 추자도 동부해역은 남동 내지 동류 및 거문도 서부해역은 남동류였다.

그 결과를 좀더 상세히 분석하면 Fig. 52, a는 제주도 북동부해역의 유황을 파악하기 위해 1998년 2월에 우도 북서쪽 3.2mile(a-1)지점과 우도 남동쪽 1.5mile(a-2)지점에 투하한 결과로 a-1 Buoy의 경우는 Buoy가 이동한 순간 유속범위는 0.2~3.2knot, 추적기간동안의 시간당 평균유속은 1.4knot였으며 순간 최고, 최저유속은 3.3knot, 0.1knot였다. 또한 조석주기에 따른 유황변화를 살펴보면 Buoy는 초기 썰물때는 남동류로 우도 남동쪽해역까지 이동하였고, 밀물때는 북서류로 우도 북부해역으로 이동하지만 점차 외해역으로 이동하면서 전반적인 흐름방향은 북동류였다. 특히, 우도 북동쪽해역으로 이동된 후의 Buoy 이동궤적은 조석류의 영향으로 썰물과 밀물에 따라 북동방향과 북서방향으로 지그재그 형태를 그리며 북동진 하지만 거문도 남부해역에서는 조석주기에 관계없이 동류만 나타났으며 이러한 흐름양상은 우도에서 거문도 사이의 대마난류 흐름패턴을 나타낸 것으로 해석된다. 벡터분석에 의한 향류의 평균유속은 0.6knot였다. 또한 우도 남쪽해역에 투하한 a-2 Buoy의 경우 Buoy가 이동한 순간 유속범위는 0.2~3.1knot, 시간당 평균유속은 1.6knot였으며 순간 최고, 최저유속은 3.2knot, 0.1knot로 a-1

에 비해 시간당 평균유속이 빠르게 나타났다. 조석주기에 의한 Buoy의 이동궤적을 살펴보면 썰물때 남동류, 밀물때 북류로 a-1과 썰물때의 방향은 같지만 밀물때는 북류로 나타나 해역별 차이를 보이며 전반적인 흐름은 a-1과 같은 양상의 북동류로 벡터분석에 의한 항류의 평균유속은 0.7knot로 a-1에 비해 빠른 유속을 보이고 있다.

추자도 동쪽해역(Fig. 52, b)의 경우 추자도 북동쪽 7mile(b-1)지점과 동쪽7mile(b-2) 지점에 투하한 결과로 b-1 Buoy의 경우 Buoy가 이동한 순간 유속범위는 0.2~2.6knot, 시간당 평균유속은 0.9knot였으며 순간 최고, 최저유속은 2.6knot, 0.1knot였다. 조석주기에 따른 유향변화는 썰물때 남동류, 밀물때는 서류였지만 전반적인 흐름은 동류로 썰물과 밀물의 왕복운동이 불류직한 지그재그 모양을 그리며 동쪽방향으로 이동하였다. 썰물과 밀물때의 이동거리는 각각 썰물때 19.6mile과 11.2mile로 썰물때가 밀물때 보다 약 8.4mile정도 길어 결과적으로 동쪽으로 흐르는 항류가 나타났으며 벡터분석에 의한 항류의 평균유속은 0.3knot로 비교적 느렸다. b-2의 경우 Buoy가 이동한 순간 유속범위는 0.2~2.5knot, 시간당 평균유속은 1.0knot였으며 순간 최고, 최저유속은 각각 2.6knot, 0.1knot로 b-1보다 시간당 평균유속이 빠르게 나타났다. Buoy의 이동궤적은 썰물때 남동류, 밀물때는 서류이지만 전반적인 흐름은 b-1과 같이 동류였고 썰물과 밀물때의 이동거리는 각각 썰물때 14.9mile과 6.9mile로 썰물때가 밀물때 보다 약 8.0mile정도로 길어 b-1과 같은 양상이었으며 벡터분석에 의한 항류의 평균유속은 0.4knot였다. Fig. 40, c는 거문도 주변해역의 유동상황을 파악하기 위해 2003년 12월 3일~4일동안 여서도 동쪽 10.7mile지점에 투하한 결과로, Buoy가 이동한 순간 유속범위는 0.2~1.9knot, 시간당 평균유속은 0.6knot였으며 순간 최고, 최저유속은 각각 2.0knot, 0.1knot였다. 조석주기에 따른 유향변화는 썰물때 남동쪽, 밀물때 남서쪽으로 이동했지만 장수도 및 여서도 주변해역에서 관측된 결과와 같이 밀물때의 이동범위는 매우 작아 전체적으로는 남동방향의 항류가 나타나 벡터분석에 의한 항류의 평균유속은 0.4knot였다.

이상의 TGPS Buoy 추적에 의한 제주도 주변해역의 계절별 해수유동 상황을 종합한 결과 춘계의 경우 제주도 북부 연안역은 밀물에 비해 썰물의 영향이 우세하게 나타나 항류방향은 동 내지 남동류였고 평균유속은 0.5knot, 순간 최고유속은 3.6knot였으며 제주도 북부 외해역은 조석주기에 따른 차이는 있지만 항류방향은 동류로 나타났으며 평균유속은 0.2knot, 순간최고유속은 2.6knot로 연안역에 비해 느린 유속을 나타냈다.

하계인 경우 제주도 북부 외해역은 시기에 따라 유향이 다르게 나타났지만 항류방향은 북동류였고 평균유속 0.5knot, 순간 최고유속 2.9knot로 춘계에 비해 평균유속 및 순간 최고유속이 빠르게 나타났다. 거문도 주변해역에서는 동류성분이 강하게 나타났으며 추자도 동쪽해역의 항류방향은 남동류였고 평균유속 0.4knot, 순간최고유속은 3.3knot였으며 제주도 서부연안역의 항류방향은 북동류였고 평균유속 0.3knot, 순간최고유속 3.2knot로 제주도 북부해역보다 추자도 주변 및 제주도 서부연안역의 순간 최고유속이 빠르게 나타났다.

추계의 경우 제주도 북부 외해역과 북동부 연안역의 유향이 각각 달라 제주도 북부 외해역

의 항류방향은 북동류였고 평균유속은 0.5knot, 순간 최고유속은 3.2knot로 춘계와 하계때 보다 상당히 빠른 유속이 나타났다. 특히, 북부 연안역에서는 우도에서 제주시까지 이동하는 서류가 출현했고 제주도 서부 연안역에는 관성류와 같이 반시계 방향의 타원을 그리며 점차 외해역으로 빠져나가는 남서류(평균유속 0.2knot, 순간최고유속 4.0knot)가 나타나는 등 특수한 흐름이 나타났다. 추자도 및 여서도 부근해역에서는 추자도 동쪽연안역을 제외하면 밀물에 의한 서쪽 이동이 없이 동쪽으로 이동하는 항류가 우세하며 이때의 평균유속 0.4~0.7knot, 순간최고유속은 1.7knot로 다른 계절에 비해 유속은 빠르게 나타났다.

동계인 경우 제주도 북동부 연안역의 항류방향은 북동류로 평균유속 0.6~0.7knot, 순간최고유속은 3.2knot였으며 추자도 동쪽해역의 항류방향은 남동 내지 동류로 평균유속 0.3~0.4knot, 순간최고유속 2.6knot였다. 거문도 주변해역은 남서방향으로 흐르는 밀물에 비해 남동쪽방향의 항류가 우세하여 전반적인 항류방향은 남동류로 평균유속 0.4knot, 순간 최고유속 2.0knot였고 거문도 주변해역보다 추자도 동쪽해역의 유속이 빠르게 나타났다.

따라서 제주도 주변해역 및 그 인접해역의 TGPS Buoy 추적자료에 의한 계절별 해수유동 특성을 각 해역별로 나타난 항류 특징들을 종합적으로 분석한 결과를 요약하면 다음과 같다.

제주도 북부 연안역의 경우 계절에 따른 평균 유속범위는 0.4~0.6knot로 밀물에 비해 썰물 영향이 강해 항류방향은 동류 내지 남동류로 하계에 평균유속(0.6knot)이 가장 빠르게 나타났으며 조석주기에 따라 썰물(남동류)의 이동만큼 밀물(서류)의 이동범위도 유사하게 나타나는 특성을 보였다.

제주도 북부 외해역의 경우 계절별 평균유속범위는 0.2~0.5knot로 전반적인 항류방향은 동류 내지 북동류로 평균유속은 하계와 추계에 0.5knot로 빠르게 나타났으나 순간 최고유속은 추계(3.2knot)때 빠른 유속이 나타났다.

제주도 서부 연안역의 경우 계절별 유속범위는 0.2~0.3knot로 하계에 북동류(평균유속 0.3knot), 추계에 남서류(평균유속 0.2knot)로 시기 및 조석주기에 따라 유향이 변하지만 대체로 추계에 비해 하계의 유속이 빠르게 나타났다.

제주도 북동부 연안역의 경우 항류방향은 북동류(동계)로 제주도 북부 외해역과 같았지만 평균유속 및 순간 최고유속은 0.6knot, 3.3knot로 제주도 주변해역 중 가장 빠른 유속을 보였다.

추자도 동쪽해역의 경우 계절별 평균유속 범위는 0.3~0.5knot로 전반적인 항류방향은 남동류로 나타났지만 추자도 동쪽해역에서 점차 멀어질수록 동쪽방향의 항류가 우세하였으며 평균유속은 추계(0.5knot)때 빠르게 나타났다.

여서도 주변해역의 항류는 동류(추계)로 평균유속은 0.7knot였고 거문도 주변해역의 경우 항류는 남동류(동계)로 평균유속은 0.4knot로 여서도 주변해역의 유속이 빠르게 나타났다.

또한 제주도 북부해역의 외해역과 연안역의 해수유동상황 중 연안역에서 떨어진 각기 다른 지점에 투하한 Buoy의 유황을 살펴본 결과 제주도 북부 연안역에서부터 약 7mile이내의 해역에서의 항류는 평균유속 0.5knot의 남동류가 존재하고 있었으며 제주도 북부 약 8mile 이상인

외해역에서는 평균유속 0.4knot의 북동류가 항시 나타나고 있어 항류성분이 다른 외해역과 연안역사이의 경계역은 제주도 북부 연안역에서부터 약 7mile이내인 것으로 판단된다.

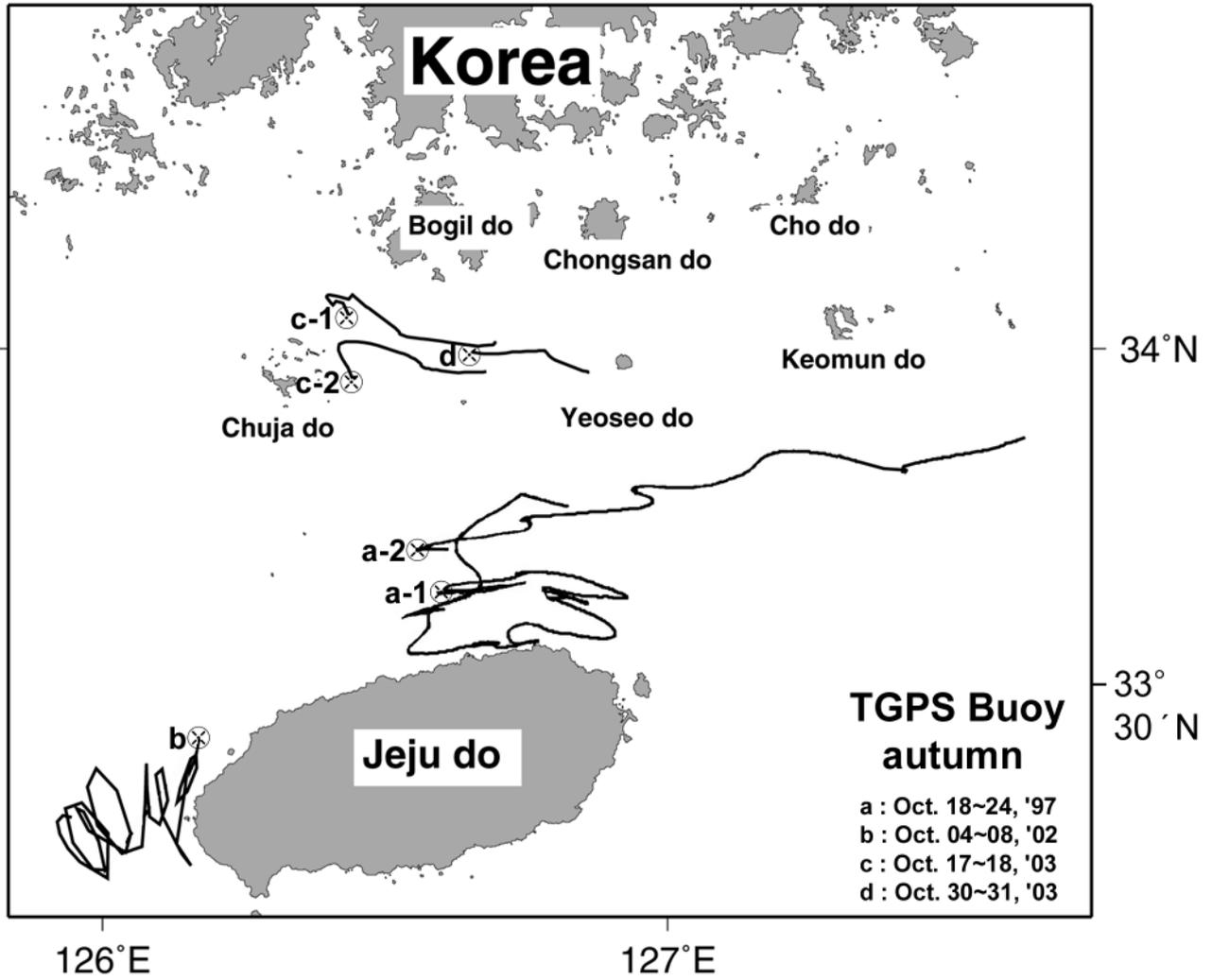


Fig. 51. Drift track of TGPS Buoy in autumn(1997, 2002, 2003).

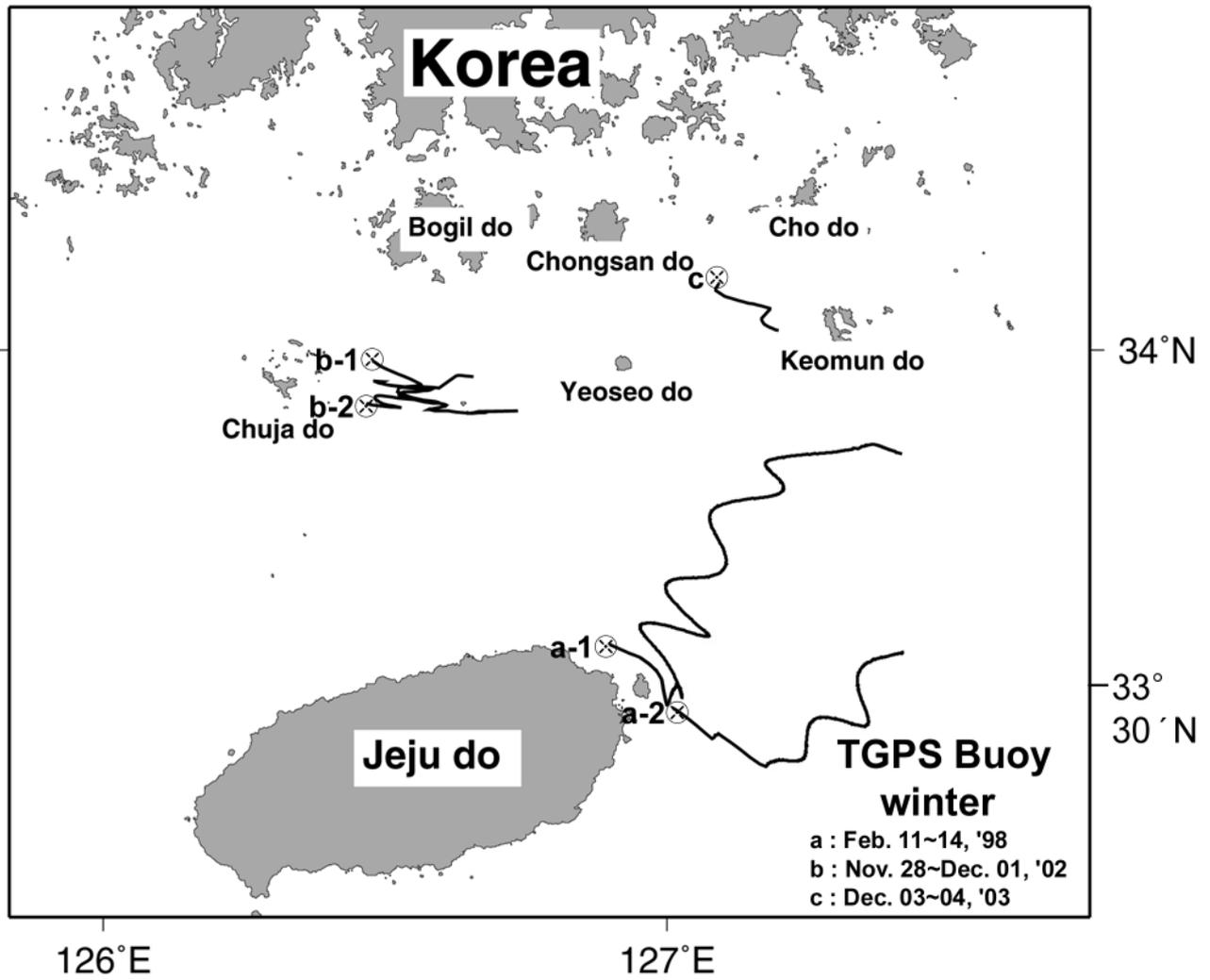


Fig. 52. Drift track of TGPS Buoy in winter(1998, 2002, 2003).

2.2.2 조석대별 해수유동특성

2.2.2.1 제주도 북부해역

2.2.2.1.1 1996년 5월

TGPS Buoy의 이동패턴과 조석과의 관계를 파악하기 위해 제주도 북동부 연안역에서 추적한 TGPS Buoy 이동경로를 Fig. 53에 나타냈다.

Buoy 추적을 실시한 1996년 5월 30~31일은 조석표상 소조기로 바뀌는 시기로서 제주도 행정 북쪽 2mile 연안역에 투하한 Buoy는 시간당 평균유속은 1.7knot로 밀물때 서류 내지 북서류, 썰물때 남동류였지만 우도 남쪽해역까지 이동한 Buoy는 다시 북쪽방향으로 이동하는 등 밀물때 보다 썰물때의 유속이 강하며 전반적인 흐름은 남동류였다. 이러한 연안 조석주기에 따른 Buoy의 이동궤적을 구체적으로 살펴보면 제1밀물(flood tide-1)시 투하지점에서 평균유속 0.9knot, 북서방향으로 2.7mile이동하였으며 그 지속시간은 약 3시간으로 나타났다. 제1썰물(ebb tide-1)때 평균유속은 1.0knot로 남동방향으로 9.1mile 이동하였고 지속시간은 9시간 20분으로 추적기간 중 썰물의 이동거리 및 지속시간이 가장 길게 나타났다. 제2밀물(flood tide-2) 때는 제1밀물때와 같은 북서방향으로 1.8mile 이동하였고 평균유속 0.4knot로 지속시간은 4시간 30분으로 추적기간 중 Buoy의 이동거리가 가장 짧게 나타났다. 제2썰물(ebb tide-2)때 우도 동쪽해역을 시계방향의 궤적을 그리며 평균유속 1.1knot로 이동방향은 남동쪽으로 6.5mile 이동하였고 그 지속시간은 5시간 55분 걸렸다. 제3밀물(flood tide-3)시 평균유속 1.3knot, 북쪽방향으로 2.7mile 이동하였고 지속시간은 약 2시간 10분으로 나타났다.

따라서 조석차가 비교적 작아지는 소조기때 제주도 북동부 연안역의 표층류 흐름양상을 종합해 보면, 북서방향으로 이동하는 밀물때보다 남동방향의 썰물때 흐름이 강하게 나타났으며 조석류에 의한 총 이동거리를 합산하면 썰물때 15.6mile, 밀물때 7.2mile로 썰물때의 이동거리, 평균유속 및 지속시간이 길게 나타나 결과적으로 투하지점에서 남동쪽으로 총 9.1mile 이동하였다.

2.2.2.1.2 1997년 4월~5월

제주도 북부 연안역에서 추적한 TGPS Buoy 이동경로를 Fig. 54에 나타냈다.

Buoy 추적을 실시한 1997년 4월 28~5월 2일은 조석표상 소조기로 바뀌는 시기로서 제주도 북쪽 약 7mile 해역에 투하한 Buoy의 시간당 평균유속은 1.2knot로 썰물때 동류, 밀물때 서류로 물때가 바뀌면서 동·서방향으로 이동하다 우도 정북쪽해역에서는 북서방향으로 흐르는 밀물보다 북동쪽으로 흐르는 썰물이 강하게 나타나 전반적인 흐름은 동류로 나타났다. 이러한 조석주기에 따른 Buoy의 이동궤적을 구체적으로 살펴보면 제1썰물(ebb tide-1)시 투하지점에서 평균유속 1.0knot, 동쪽방향으로 7.0mile 이동하였고 그 지속시간은 약 7시간으로 나타났다. 제1밀물(flood tide-1)시는 평균유속 0.8knot, 북서방향으로 4.8mile이동하였으며 지속시간은 약 6

시간으로 나타났다. 제2썰물(ebb tide-2)때는 평균유속 0.6knot, 동 내지 북동방향으로 4.6mile을 약 7시간 40분 동안 이동하였고, 제2밀물(flood tide-2)때는 제1밀물때와 같이 흐름방향은 북서쪽이지만 이동거리는 매우 짧았다. 제3썰물(ebb tide-3)때 평균유속 0.6knot로 남동쪽방향으로 4.6mile을 약 7시간 40분 동안 이동하였으며 제3밀물(flood tide-3)시 평균유속 0.6knot, 북서쪽방향으로 4.8mile을 약 8시간 동안 이동하였다.

제4썰물(ebb tide-4)시 평균유속 0.5knot, 남동쪽방향으로 3.5mile을 약 7시간 동안 이동하였고 제4밀물(flood tide-4)시 제2밀물과 같이 정체된 상태였으며 다시 제5썰물(ebb tide-5)시 평균유속 0.8knot, 남동방향으로 6.0mile을 약 7시간 30분 동안 이동하였고, 제5밀물(flood tide-5)때는 평균유속 0.6knot, 북서방향으로 3.5mile을 약 5시간 50분 동안 이동하였다.

제6썰물(ebb tide-6)시는 평균유속 0.6knot로 약 9시간 40분 동안 남동쪽으로 5.8mile 이동하여 썰물과 밀물때 이동하였던 타원형 사이를 통과하여 이동하였다. 다시 제6밀물(flood tide-6)이 되면서 정체된 상태를 보이다가 제7썰물(ebb tide-7) 이후부터는 북서방향의 밀물에 의한 이동범위는 축소되고 동쪽방향의 썰물이 우세하게 나타났다.

따라서 최초 투하지점에서 성산포 정북쪽방향까지 썰물과 밀물에 의한 이동방향이 명확히 나타나 Buoy는 S자모양의 이동궤적을 그리는 대조기때의 특징이 나타났으며 조석류에 의한 총 이동거리는 썰물때 31.5mile, 밀물때 15.8mile로 썰물때가 밀물때보다 15.7mile 길게 나타났다. 평균유속은 각각 0.6knot, 0.4knot로 썰물때 유속이 빠르게 나타났으며 투하지점에서 동쪽방향의 14.3mile(성산포 정북방향)지점에서 조석류에 의해 불규칙한 S자형태의 이동궤적을 그리지만 그 이후부터 밀물의 영향이 약해져 북동방향으로 이동하는 유동특성을 나타냈다.

2.2.2.1.3 1997년 7월

제주도 북부 해역에서 추적한 TGPS Buoy 이동경로를 Fig. 55에 나타냈다.

Buoy 추적을 실시한 1997년 7월 10~11일은 조석표상 소조기로서 제주도 북쪽 약 7mile 떨어진 해역에 투하한 Buoy의 평균유속은 시간당 1.0knot로 투하 후 조석류의 영향으로 시계방향의 원형을 그리며 이동하다 밀물의 영향 없이 북동류에서 남동류로 바뀌는 이동양상이 나타났다. 조석주기에 따른 Buoy의 이동궤적을 자세히 살펴보면 제1밀물(flood tide-1)시 투하지점에서 북서방향으로 이동했지만 거의 정체된 상태였으며 그 이후 제1썰물(ebb tide-1)때 평균유속 0.5knot로 동쪽방향으로 3.5mile을 약 7시간 동안 이동하였고, 제2밀물(flood tide-2)시 썰물과 반대 방향인 평균유속 0.4knot로 서쪽방향으로 2.7mile을 약 6시간 40분 동안 이동하는 등 밀물에 비해 썰물때 평균유속 및 이동거리가 길게 나타나 제1썰물과 제1밀물에 의해 Buoy의 이동궤적은 시계방향의 원형을 그리는 유동특징을 보였다. 그러나 제2썰물(ebb tide-2)때는 북동방향으로 약 9시간 10분동안 이동하였고 이동거리는 7.3mile였으며 평균유속은 0.8knot로 나타났다. 이후 Buoy의 이동방향은 남동쪽으로 바뀌어 Buoy 회수시까지 11시간동안 남동류가 나타나 약 13.1mile이동하였다.

따라서 밀물때 흐름은 매우 약한 반면 썰물때 흐름이 강하게 나타나는 소조시 현상이 잘 나타났으며 총 이동거리 및 평균유속의 경우 썰물때 23.9mile(0.6knot), 밀물때 3.2mile(0.3knot)로 썰물의 이동범위가 매우 길고 평균유속도 빠르게 나타났다.

2.2.2.1.4 1997년 8월

제주도 북부 연안역에서 추적한 TGPS Buoy이동경로를 Fig. 56에 나타냈다.

Buoy 추적을 실시한 1997년 8월 27~29일은 조석표상 소조기로서 제주도 북쪽 약 3mile 떨어진 연안역에 투하한 Buoy의 시간당 평균유속은 0.9knot로 밀물에 의한 서쪽흐름은 뚜렷하게 나타나지 않고 썰물에 의한 남동쪽 흐름만 강하게 나타나 전반적인 흐름은 남동류였다. 조석주기에 따른 Buoy의 이동궤적을 구체적으로 살펴보면 제1썰물(ebb tide-1)시 평균유속 0.9knot, 동쪽으로 6.5mile을 약 8시간 50분동안 이동하였으며, 제1밀물(flood tide-1)시는 남쪽으로 이동거리는 0.4mile로 매우 짧게 나타나 거의 정체한 양상으로 지속시간은 2시간 40분동안 영향이 나타났다. 제2썰물(ebb tide-2)때 평균유속 1.0knot로 약 7시간동안 연안역을 따라 남동방향으로 6.8mile 이동하였고 추적기간 중 이동거리, 평균유속 및 지속시간이 가장 길게 나타났으며, 제2밀물(flood tide-2)때 평균유속 0.4knot로 약 4시간 30분 동안 서쪽방향으로 1.0mile 이동하여 거의 정체된 양상으로 세화 연안 천해역까지 이동하여 결과적으로 투하지점에서 세화 연안 천해역까지 총 12.4mile 이동하였다.

따라서 썰물의 영향이 강하며 밀물의 영향이 거의 나타나지 않는 소조기의 특징이 잘 나타났으며 이와 같이 Buoy의 이동이 썰물때 동쪽으로 이동하다 다시 남동쪽으로 방향이 바뀌는 양상은 Fig. 55의 제주도 북부 연안 7mil 해역에 투하한 Buoy의 이동경로와도 비슷하게 나타났다. 그리고 제주도 북부해역 12.0mile지점에 투하한 Buoy는 시간당 평균유속 0.8knot로 연안역에 비해 평균유속이 0.1knot 느리게 나타났으며, Buoy의 이동궤적은 밀물의 영향이 나타나지 않고 썰물의 이동방향과 같은 북동류만 나타났다. 최초 투하지점에서 여서도 남동부 해역까지는 북동방향으로 이동하다가 이후부터 동류로 바뀌어 거문도 남부해역까지 이동하여 총 41.1mile 북동쪽방향으로 이동하였다. 그러므로 남동쪽방향의 향류가 나타나는 제주도 북부 연안역에 투하한 Buoy의 이동궤적과는 다른 양상을 나타냈다.

2.2.2.1.5 1997년 9월

제주도 북부 해역에서 추적한 TGPS Buoy이동경로를 Fig. 57에 나타냈다.

Buoy 추적을 실시한 1997년 9월 4~9일은 조석표상 대조기에서 소조기로 바뀌는 시기로서 제주도 북쪽해역 약 8mile 떨어진 해역에 투하한 Buoy는 시간당 평균유속 1.4knot로 조석주기에 의한 Buoy의 이동경로는 썰물과 밀물의 영향을 받아 동쪽 및 서쪽으로 이동하지만 전반적으로 북내지 북동류가 강하게 나타났다. 이러한 조석주기에 따른 Buoy의 이동궤적을 구체적으로 살펴보면 제1썰물(ebb tide-1)시 평균유속 0.8knot로 동쪽으로 4.3mile을 약 5시간 25분 동

안 이동하였고, 제1밀물(flood tide-1)때 평균유속 1.0knot로서쪽방향으로 7.3mile을 약 7시간 18분 동안 이동하였으며 밀물의 세기가 강해 제1썰물보다 이동거리가 약 4mile 길게 나타났다. 제2썰물(ebb tide-2)때 평균유속 0.9knot로 북동방향으로 5.7mile을 약 6시간 20분 동안 이동하였고 제2밀물(flood tide-2)때는 제1밀물때와 같이 평균유속 0.8knot로 북서쪽방향으로 약 6시간동안 4.8mile을 이동하였다. 제3썰물(ebb tide-3)시 제2썰물과 같이 평균유속은 1.3knot로 북동쪽방향으로 7.7mile을 약 5시간 54분 동안 이동하였고, 제3밀물(flood tide-3)시 평균유속 0.6knot로 북서쪽방향으로 3.2mile을 약5시간 24분 동안 이동하는 등 제2밀물때와 이동방향은 같으나 이동거리가 점차 짧아지고 있다. 제4썰물(ebb tide-4)시 Buoy는 평균유속 0.8knot로 동쪽에서 북쪽방향으로 흐름이 바뀌어 장수도 북쪽해역까지 이동하며 이때의 거리는 북동방향으로 4.0mile이었고 그 지속시간은 약 5시간으로 나타났다.

보길도 남쪽해역까지 이동해온 Buoy는 다시 제4밀물(flood tide-4)이 되면서 북서쪽으로 이동하지만 그 이동거리는 점차 짧아지고 있으며 제5썰물(ebb tide-5)시 평균유속 0.9knot로 동쪽방향으로 8.4mile을 약 9시간 20분 동안 여서도와 평행하게 이동하였다. 제5밀물(flood tide-5)때의 평균유속은 1.2knot로 흐름방향은 서류로 밀물의 지속시간 및 이동거리가 1시간 15분, 1.4mile로 썰물에 비해 상당히 짧아지고 있으며 제6썰물(ebb tide-6)때 평균유속 1.0knot로 북동쪽으로 7.6mile을 약 7시간 40분 동안 여서도와 청산도 사이로 이동하여 다시 밀물(flood tide-6)이 되면서 북서방향으로 2.0mile이동하였지만 제7썰물(ebb tide-7) 이후부터는 밀물의 영향 없이 썰물의 영향이 강한 북동류가 계속적으로 나타나 초도 및 거문도 사이를 지나 동쪽방향으로 이동하였다.

따라서 조석표상 대조기에서 소조기로 바뀌는 시기로 제주해협의 전반적인 흐름은 북 내지 북동류로 나타났지만 투하지점에서 장수도 남쪽해역까지 이동할 때의 조석은 대조기에 해당하므로 밀물과 썰물의 영향이 뚜렷이 나타나 밀물때는 서류, 썰물때는 동류로 S자모양의 이동궤적이 뚜렷하게 나타나며 평균유속, 이동거리 및 지속시간도 비슷하게 나타난 것이 대조기 때의 특징이라 할 수 있다. 이후부터는 썰물의 영향이 강하게 나타나는 소조기 때의 이동패턴이 잘 나타나고 있다. 즉, 본 조사시 투하지점에서 장수도 남쪽해역까지는 대조기 때의 유동특성을, 장수도, 여서도 및 거문도 주변해역에서는 소조기 때의 유동특성을 보여주고 있다.

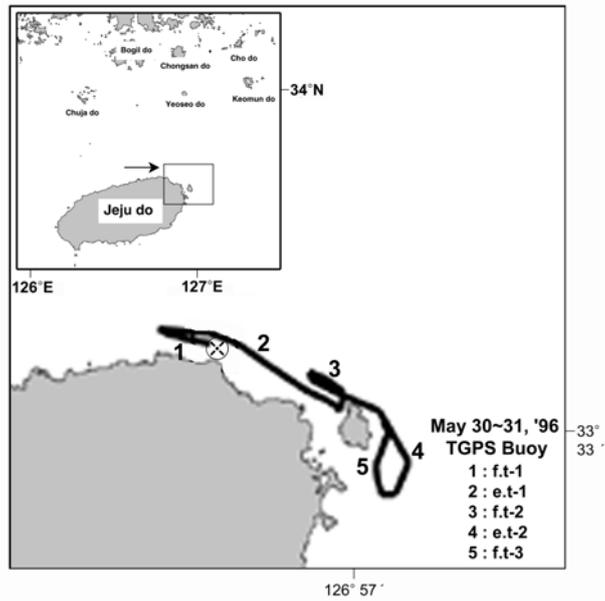


Fig. 53. Drift track of TGPS Buoy in the northeastern coastal sea area of Jeju do in May 30~31, 1996(e.t:ebb tide, f.t:flood tide)..

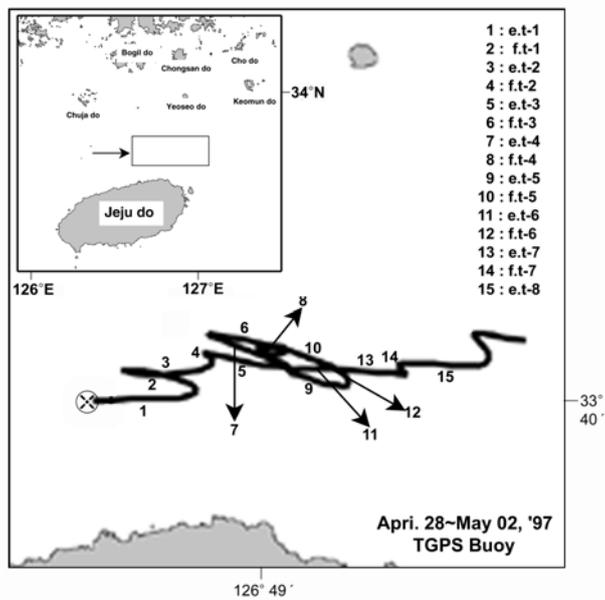


Fig. 54. Drift track of TGPS Buoy in the northern sea area of Jeju do in Apr. 28~May 02, 1997(e.t:ebb tide, f.t:flood tide).

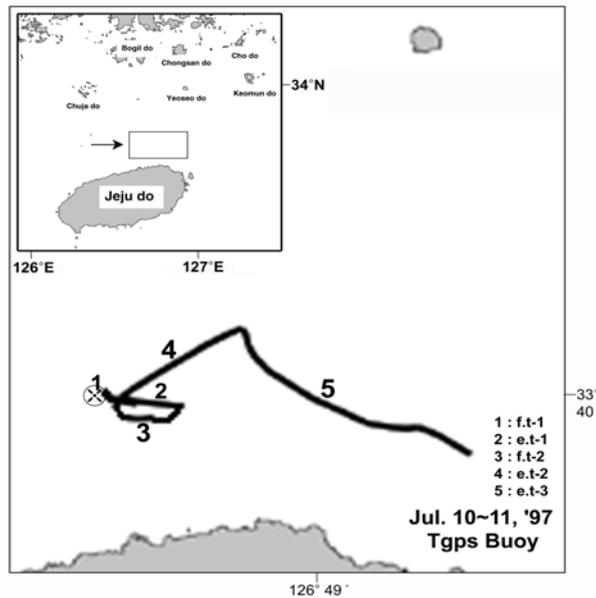


Fig. III-55. Drift track of TGPS Buoy in the northern sea area of Jeju do in Jul. 10~11, 1997(e.t:ebb tide, f.t:flood tide).

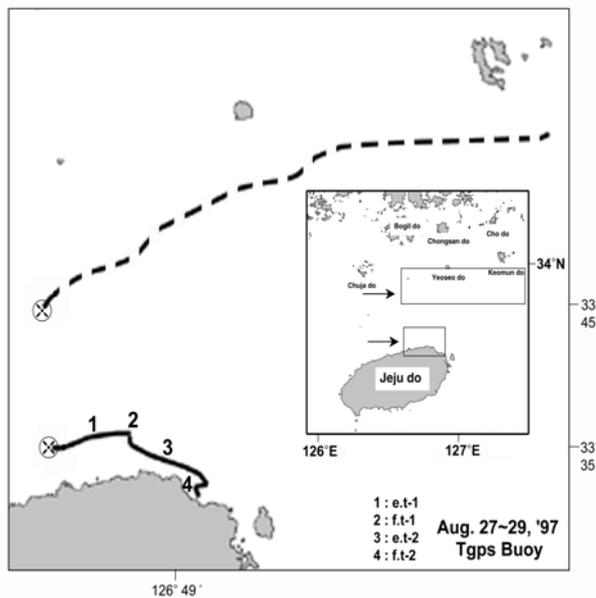


Fig. 56. Drift track of TGPS Buoy in the northern sea area of Jeju do in Aug. 27~29, 1997(e.t:ebb tide, f.t:flood tide).

2.2.2.1.6 1997년 10월

제주도 북부 해역에서 추적한 TGPS Buoy 이동경로를 Fig. 58에 나타냈다.

제주도 북부 연안역 및 외해역의 표층류 이동상황을 파악하기 위해 2대의 TGPS Buoy를 투하하여 1997년 10월 17~24일까지 총 7일 동안 추적하였고 조사기간 중 조석표상 대조기에서 소조기로 변하는 시기로 제주도 북부 외해역 10mile 지점에 투하한 Buoy의 시간당 평균유속은 1.4knot로 썰물때 동류, 밀물때 서류 내지 북서류로 나타났지만 밀물의 이동거리가 매우 짧았으며 썰물의 영향이 강한 북동류가 우세하였다. 그러나 이보다 연안역인 5mile 지점에 투하한 Buoy는 시간당 평균유속 1.2knot로 외해역에 비해 유속이 낮게 나타나며 Buoy의 이동궤적이 시계방향의 원형을 그리는 국지적인 변화를 보여 밀물때 서류 내지 북서류, 썰물때 동류 내지 남동류였다. 특히, 썰물때 제주도 북동부 연안역에서 동류 내지 남동류의 일반적인 흐름이 나타났지만 조석표상 대조기로 행원부근에서 제주시로 향하는 서쪽방향의 밀물의 영향도 매우 강했다.

이러한 조석주기에 따른 Buoy의 불규칙한 이동궤적을 구체적으로 살펴보면 투하한 후 밀물과 썰물에 의해 동쪽 및 서쪽방향으로 이동하여 제1밀물(flood tide-1)때 평균유속은 1.0knot로 서쪽방향으로 3.8mile을 약 3시간 50분 동안 이동하였으며 제1썰물(ebb tide-1)때 평균유속 0.8knot로 동쪽으로 6.0mile을 약 7시간 30분 동안 이동하여 밀물때 보다 이동거리 및 지속시간이 길었다. 제2밀물(flood tide-2)때는 평균유속 0.5knot로 서쪽으로 2.6mile을 약 4시간 30분 동안 이동하여 제1밀물에 비해 평균유속, 이동거리 및 지속시간이 짧아졌으며 제2썰물(ebb tide-2)때 평균유속 1.2knot로 동쪽방향으로 7.9mile을 약 6시간 40분 동안 이동하여 제주도 북부해역에서 썰물때 동쪽의 이동거리가 가장 길었다. 제3밀물(flood tide-3)때 평균유속 1.2knot로 서쪽으로 7.6mile을 약 6시간 20분 동안 이동하였고 제2썰물과 같이 밀물 때의 이동거리가 가장 길게 나타났다. 제3썰물(ebb tide-3)때 평균유속 1.1knot로 동쪽방향으로 8.0mile을 약 7시간 30분 동안 이동하였고 제4밀물(flood tide-4)시 정체된 상태로 뚜렷한 이동이 없었으며 다시 제4썰물(ebb tide-4)때 평균유속 1.4knot로 남동방향으로 10.1mile을 약 7시간 20분 동안 이동하여 조사기간 중 Buoy 이동거리 및 평균유속이 가장 빠르게 나타났다.

제5밀물(flood tide-5)때 평균유속 1.2knot로 서쪽방향으로 7.6mile을 약 6시간 20분 동안 이동하였고, 제5썰물과 제6밀물 때 남동 내지 북서방향으로 이동범위가 매우 짧게 나타났지만 제6썰물(ebb tide-6)때 평균유속 1.0knot로 남동쪽으로 6.3mile을 약 6시간 20분 동안 이동하였다. 이후 다시 밀물의 영향이 강하게 나타나 제7밀물(flood tide-7)때 평균유속 1.1knot로 북서방향으로 9.0mile을 약 8시간 10분 동안 이동하였고, 이후 연안역 가까이 접근한 Buoy는 제7썰물(ebb tide-7)이 되면서 평균유속 0.6knot로 동쪽방향으로 이동하지만 이동거리는 2.6mile, 지속시간도 약 4시간 20분으로 매우 짧았다. 제8밀물(flood tide-8)시 서쪽방향으로 약 5.8mile 이동하여 다시 동쪽으로 0.3mile이동한 썰물(ebb tide-8)이 나타나는 등 비교적 좁은 해역에서 조석류의 영향이 현저히 나타나고 있다. 제9밀물(flood tide-9)때 평균유속 0.8knot로 서쪽방향으로

8.2mile을 약 10시간 10분 동안 이동하여 다시 썰물(ebb tide-9)이 되면서 Buoy의 이동방향은 북동류로 바뀌고 이러한 흐름은 제10썰물(ebb tide-10)에서도 나타나 결과적으로 8.2mile의 북동쪽으로 이동하였다. 다시 밀물(flood tide-11)때 북서방향으로 약 3.9mile 이동하였고 이후 회수시까지 평균유속 1.0knot로 북동 및 남동방향으로 10.5mile이동하였다.

따라서 연안역에서 떨어진 5mile 해역내에서는 동, 서방향으로 이동하는 썰물과 밀물의 세기(이동거리, 평균유속 및 지속시간)가 거의 비슷한 양상이 나타났고 특히, 연안에서 5mile해역에서는 썰물때 동쪽으로 이동하는 항류가 강하게 나타났으며, 5mile 이내 해역에서는 밀물때 서쪽방향으로 이동하는 항류가 강하게 나타나 해역별 차이를 보이고 있다. 이러한 국지적인 해류 변화가 일어나는 원인으로 밀물과 썰물의 차가 심하게 나타나는 대조기면서 제주도 북부 외해역과 연안역의 중간수역으로 제주도 동쪽에서 서쪽으로 난류세력이 유입되면서 연안역에 형성되는 강한 조석류의 영향에 의해 원형을 그리는 비정상적인 이동궤적이 나타날 가능성이 있는 해역으로 사료되며 차후 이러한 현상에 대해 심도 있는 연구가 필요하겠다.

2.2.2.2 제주해협 북부

2.2.2.2.1 2002년 11월~12월

추라도 주변해역에서 추적한 TGPS Buoy 이동경로를 Fig. 59에 나타냈다.

Buoy 추적을 실시한 2002년 11월 29~12월 1일은 조석표상 대조기로서 추라도 동쪽해역 약 7mile 해역에 투하한 No. 1, No. 2 Buoy의 시간당 평균유속은 각각 0.9, 1.0knot로 썰물때는 남동류, 밀물때는 서류로 전반적인 흐름은 동쪽방향으로 이동하였다. 이러한 조석주기에 따른 Buoy의 이동궤적을 구체적으로 살펴보면 먼저 추라도 북동쪽 해역에 투하한 No. 1 Buoy의 경우 제1썰물(ebb tide-1)때 평균유속 0.6knot로 남동쪽으로 4.8mile을 약 8시간 동안 이동하였고, 제1밀물(flood tide-1)때 평균유속 0.6knot로 서쪽방향으로 4.0mile을 약 6시간 40분 동안 이동하였으며 썰물의 세기가 강해 제1밀물보다 이동거리가 길게 나타났다. 제2썰물(ebb tide-2)때 평균유속 0.8knot로 남동쪽으로 5.0mile을 약 6시간 20분 동안 이동하였고 제2밀물(flood tide-2)때는 제1밀물때와 같이 서쪽방향으로 약 5시간 동안 3.0mile 이동하였고 평균유속 0.6knot였다. 제3썰물(ebb tide-3)시 제2썰물과 같은 남동방향으로 약 5시간 30분 동안 3.8mile 이동하였고 평균유속은 0.7knot로 나타났으며 제3밀물(flood tide-3)때 평균유속 0.8knot로 북서쪽방향으로 3.9mile을 약 4시간 55분 동안 이동하였다. 제4썰물(ebb tide-4)때 Buoy는 동쪽에서 북동쪽방향으로 흐름이 바뀌어 6.8mile 이동하였고, 평균유속은 0.5knot로 회수시까지 약 13시간 30분 동안 북동쪽으로 빠르게 이동하였다.

No. 2 Buoy의 경우 No. 1 Buoy의 복잡한 이동궤적과는 달리 비교적 단순한 흐름양상이 나타나 최초 투하한 제5썰물(ebb tide-5)때 약 5시간 10분동안 장수도와 평행한 동쪽방향으로 평균유속 0.5knot로 2.6mile이동하였고 제4밀물(flood tide-4)때 평균유속 0.6knot로 북서류로 2.0mile을 약 3시간 20분 동안 서류내지 북서류로 이동하였다.

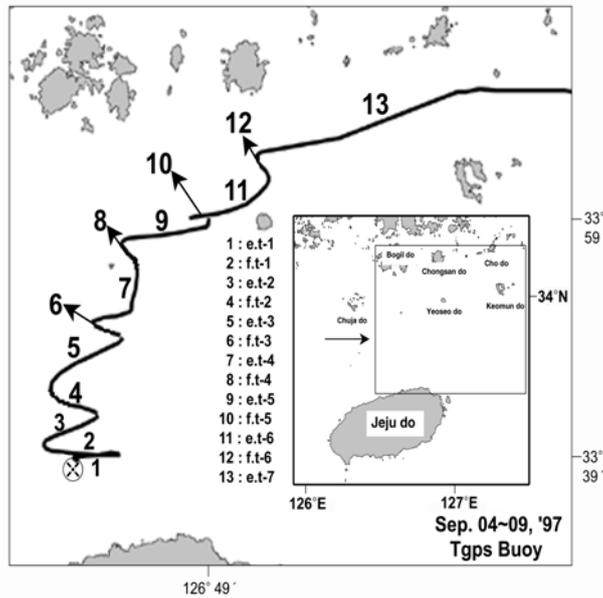


Fig. 57. Drift track of TGPS Buoy in the Jeju Strait in Sep. 04~09, 1997 (e.t:ebb tide, f.t:flood tide).

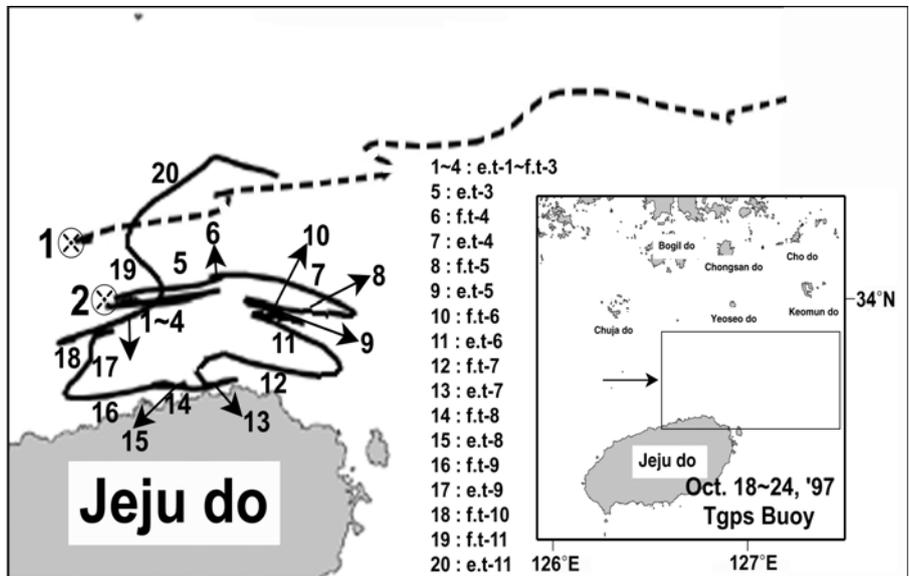


Fig. 58. Drift track of TGPS Buoy in the Northeast waters of Jeju do in Oct. 18~24, 1997(e.t:ebb tide, f.t:flood tide).

제6썰물(ebb tide-6)때 평균유속 0.9knot로 남동방향으로 6.4mile을 약 7시간 30분 동안 이동하였고, 다시 제5밀물(flood tide-5)때 평균유속 0.3knot로 남서방향으로 1.6mile을 약 5시간 30분 동안 이동하였다. 제7썰물(ebb tide-7)시 조사기간 중 평균유속(1.4knot) 및 이동거리가 가장 길게 나타나 동쪽방향으로 약 7.8mile인 장수도 동쪽해역까지 이동하여 다시 제 6밀물(flood tide-6)이 되면서 장수도 남부해역으로 4.6mile이동하였다.

따라서 No. 1 Buoy와 No. 2 Buoy의 이동궤적은 해역에 따라 다르게 나타났지만 썰물때 동내지 남동류, 밀물때 서 내지 북서류로 조석류에 의한 항류는 같았고 밀물과 썰물의 평균유속 및 전체 이동거리는 No. 1 Buoy의 경우 썰물때 0.7knot로 20.4mile, 밀물때 0.6knot로 10.9mile 이동하여 밀물때 보다 썰물때의 평균유속 및 이동거리가 길게 나타났고 No. 2 Buoy의 경우 썰물때 0.9knot로 16.8mile, 밀물때 0.4knot로 8.2mile 이동하여 No. 1 Buoy와 같은 양상이 나타났다.

2.2.2.2.2 2003년 10월 17~18일

TGPS Buoy의 이동패턴과 조석과의 관계를 파악하기 위해 2003년 10월 17~18일까지 추자도 주변해역에서 추적한 TGPS Buoy이동경로를 Fig. 60에 나타냈다.

2003년 10월 17~18일은 조석표상 소조기로 추자도 동쪽 및 북동쪽해역 약 7mile 해역에 투하한 결과로 No 3, 6 Buoy 모두 밀물의 영향으로 북서쪽으로 이동하여 썰물이 바뀌면서 남동방향으로 이동하지만 보길도 남쪽해역에서는 밀물의 영향이 거의 없는 동류의 흐름으로 시간당 평균유속은 No 3, 6 Buoy 공히 0.7knot로 같게 나타났다. 조석주기에 따른 Buoy의 이동궤적을 구체적으로 살펴보면 먼저 No. 3. Buoy의 경우 제1밀물(flood tide-1)때 평균유속 0.6knot로 약 4시간 동안 추자도와 보길도 사이의 북서쪽방향으로 2.4mile 이동하였고 제1썰물(ebb tide-1)때 방향이 바뀌어 평균유속 0.8knot로 약 5시간 동안 남동방향으로 4.0mile이동하여 제1밀물에 비해 이동거리 및 지속시간이 길게 나타났다. 제2밀물(flood tide-2)때 평균유속 0.2knot로 약 5시간 동안 남동방향의 흐름은 나타났지만 정체된 상태로 이동거리는 약 1.0mile이내로 매우 짧았으며 제2썰물(ebb tide-1)이 되면서 평균유속 1.1knot로 약 7시간 24분 동안 동쪽방향으로 약 8.1mile이동하였다.

No. 6 Buoy의 경우 No. 3 Buoy와 거의 유사한 이동패턴으로 제3밀물(flood tide-3)시 평균유속 0.8knot로 약 4시간 24분 동안 북서방향으로 약 3.5mile이동하였고 No. 3. Buoy에 비해 평균유속 및 이동방향은 같았지만 밀물 때 이동거리가 1.1mile 길었다. 이후 제3썰물(ebb tide-3)시 평균유속 0.8knot로 약 8시간 42분 동안 남동방향으로 7.0mile 이동하여 No. 3 Buoy의 제1썰물에 비해 평균유속은 같지만 남동방향으로 3.0mile 더 이동했다. 이후 제4밀물(flood tide-4)시 No. 3 Buoy와 유사한 양상으로 이동방향이 뚜렷이 나타나지 않았으며 제4썰물(ebb tide-4)때 평균유속 0.9knot로 약 5시간 50분 동안 동쪽방향으로 5.2mile 이동하였다.

따라서 No. 3 Buoy와 No. 6 Buoy의 이동궤적 및 이동방향은 같은 양상으로 썰물때 남동류,

밀물때 북서류로 나타났지만 보길도 남부해역으로 이동해 오면서 밀물이 영향은 거의 나타나지 않고 전반적인 흐름은 동류였다. 밀물과 썰물의 전체 평균유속 및 이동거리를 살펴본 결과 No. 3 Buoy의 경우 썰물때 0.9knot · 12.1mile, 밀물때 0.4knot · 3.4mile로 이동하여 밀물때 보다 썰물때의 평균유속 및 이동거리가 길었으며, No. 6 Buoy의 경우 썰물때 0.8knot · 12.2mile, 밀물때 3.5mile · 0.8knot로 No.3 Buoy와 마찬가지로 밀물때 보다 썰물때의 평균유속 및 이동거리가 길게 나타나 결과적으로 조석류에 의한 이동거리 및 평균유속은 No. 6 Buoy가 길게 나타났으며 추자도 북서쪽해역에 비해 동쪽해역 흐름이 빠르게 나타나는 해역별 차이를 보이고 있다.

2.2.2.2.3 2003년 10월 30~31일

2003년 10월 30~31일까지 여서도 주변해역에서 추적한 TGPS Buoy이동경로를 Fig. 61에 나타냈다.

2003년 10월 30~31일은 조석표상 소조기로서 보길도 남쪽 약 7mile 해역에 투하한 결과로 썰물때 동류, 밀물때는 정체된 양상으로 동쪽방향의 흐름이 유지되다 여서도 서쪽 약 5mile 지점에서 흐름방향이 남동류로 바뀌어 여서도 남쪽해역을 향해 이동하였으며 시간당 평균유속 0.7knot로 전반적인 흐름은 동류 내지 남동류로 나타났다. 조석주기에 따른 Buoy의 이동궤적을 구체적으로 살펴보면 최초 투하한 후 제1썰물(ebb tide-1)때 평균유속 0.8knot로 동쪽방향으로 4.9mile을 약 6시간 10분 동안 이동하였고, 제1밀물(flood tide-1)때는 평균유속 0.2knot로 남동쪽방향으로 약 1.4mile 이동하여 썰물에 비해 밀물의 평균유속 및 이동거리가 상당히 짧게 나타났으며 제2썰물(ebb tide-2)때 평균유속 0.8knot로 여서도 동쪽해역까지 4.3mile을 약 5시간 24분 동안 남동방향으로 이동하였다.

따라서 조석표상 소조기로 썰물의 영향이 우세한 동쪽방향의 항류가 강하게 나타났고 밀물(flood tide-1)때 정체된 양상은 Fig. 60과 같이 유사한 흐름이 본 조사에서도 나타났다. 밀물과 썰물의 전체 평균유속 및 이동거리를 살펴본 결과 썰물때 0.8knot로 9.2mile, 밀물때 0.2knot로 1.4mile 이동하여 결과적으로 Fig. 60과 같이 밀물에 비해 썰물의 유속 및 이동거리가 빠르게 나타나는 소조기때의 특징이 잘 나타나 있다.

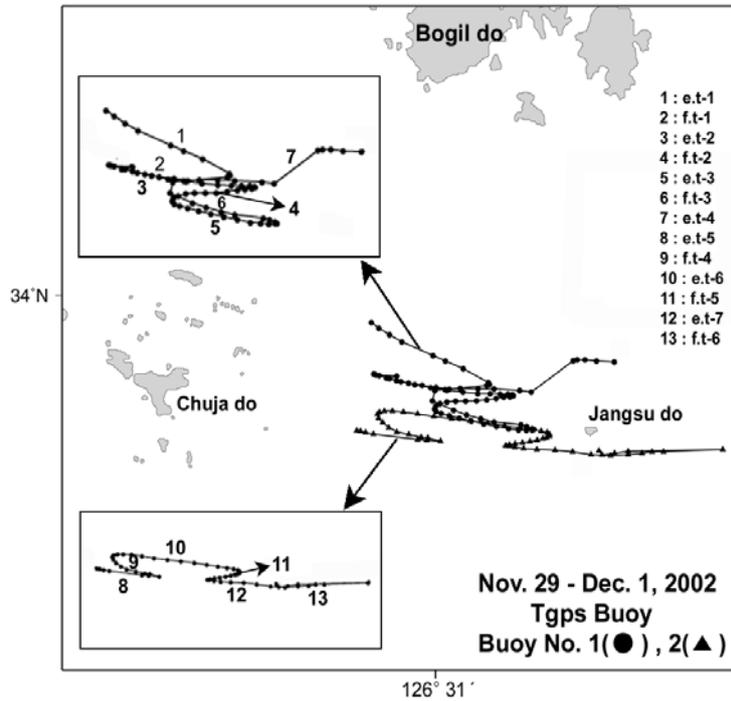


Fig. 59. Drift track of TGPS Buoy in the surrounding sea of Chuja do in Nov. 29~Dec. 01, 2002(e.t:ebb tide, f.t:flood tide).

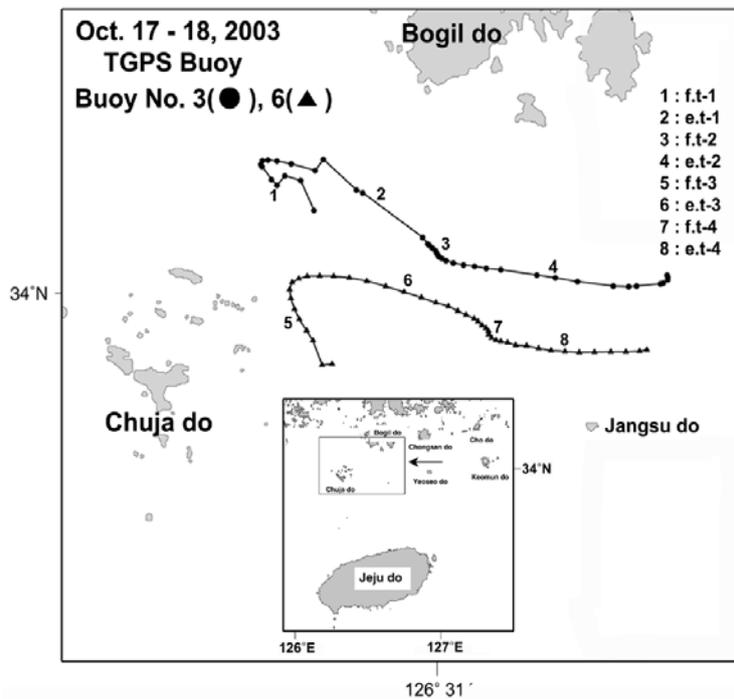


Fig. 60. Drift track of TGPS Buoy in the surrounding sea of Chuja do in Oct. 17~18, 2003(e.t:ebb tide, f.t:flood tide).

2.2.2.2.4 2003년 12월 3~4일

2003년 12월 3~4일까지 거문도 주변해역에서 추적한 TGPS Buoy이동경로를 Fig. 62에 나타냈다.

2003년 12월 3~4일은 조석표상 소조기로서 여서도 북동쪽 약 10.7mile 해역에 투하한 결과로 썰물때 남동류, 밀물때 남서류로 추적기간 중 시간당 평균유속은 0.6knot로 흐름방향은 남동류로 나타났다. 조석주기에 따른 Buoy의 이동궤적을 살펴보면 최초 투하한 Buoy는 제1밀물(flood tide-1)때 평균유속 0.1knot로 약 3시간 동안 남서방향의 흐름은 나타났지만 이동거리는 0.3mile로 매우 짧았으며, 이후 썰물(ebb tide-1)이 되면서 평균유속 0.5knot로 남동쪽방향으로 거문도 동쪽해역까지 4.9mile을 약 9시간 48분 동안 이동하였다. 제2밀물(flood tide-2)때는 제1밀물 때보다 남서방향의 이동거리가 길게 나타나 남서쪽으로 약 0.8mile 이동하였고 평균유속은 0.2knot로 지속시간은 4시간이었다. 이후 Buoy 회수시까지 썰물(ebb tide-2)의 영향으로 평균유속 0.4knot로 약 4시간 12분 동안 남동쪽방향으로 약 1.7mile 이동하였다.

따라서 본 조사에서도 밀물에 비해 썰물의 이동거리 및 평균유속이 빠르게 나타났으며 조석표상 소조기로 여서도 주변해역(Fig. 61)의 해수유동 상황과 비교한 결과, 남동쪽방향으로 이동하는 썰물의 흐름은 유사하게 나타났으나 밀물의 흐름은 여서도 주변역에는 거의 정체된 유향을 보인 반면 거문도 주변역에서는 남서방향의 유향이 뚜렷히 나타나는 해역별 유동특성이 보였다.

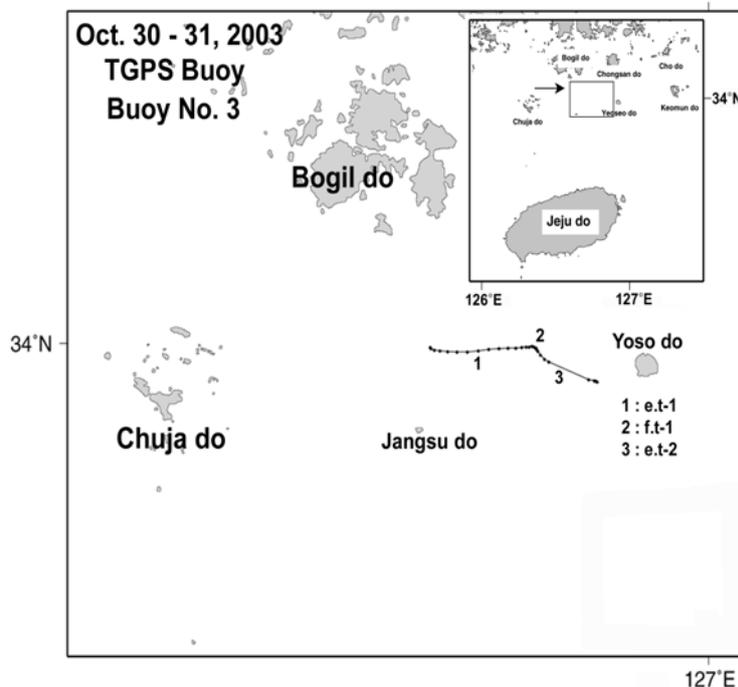


Fig. 61. Drift track of TGPS Buoy in the surrounding sea of Yeoseo do in Oct. 30~31, 2003(e.t:ebb tide, f.t:flood tide).

2.2.2.3 제주도 서부 연안역

2.2.2.3.1 2002년 10월 4~8일

2003년 10월 4~8일까지 제주도 서부 연안역에서 추적한 TGPS Buoy 이동경로를 Fig. 63에 나타냈다.

2002년 10월 4~8일은 조석표상 대조기로서 비양도 서쪽 약 3mile 해역에 투하한 결과로 추적기간동안 시간당 평균유속은 1.6knot이고 순간 최고유속은 4.7knot로 매우 빠르게 나타났으며 썰물과 밀물의 이동범위가 상당히 넓게 나타나는 대조기때의 특성을 나타내었다. 그리고 썰물때 남동 또는 남류로 제주도 서부 연안역을 따라 남쪽방향으로 이동하다가 밀물때는 북서내지 북류로 외해역으로 이동하였고 전반적인 항류 방향은 남서류로 나타났다.

이러한 조석주기에 따른 Buoy의 이동궤적을 살펴보면 제1썰물(ebb tide-1)때 평균유속 0.7knot로 남서방향으로 3.1mile을 약 4시간 24분 동안 이동하였고 제1밀물(flood tide-1)때는 작은 원을 그리며 평균유속 0.3knot로 북동방향으로 1.5mile을 약 5시간 동안 이동하여 밀물때 비해 썰물때 지속시간은 짧았으나 평균유속 및 이동거리는 길게 나타났다. 제2썰물(ebb tide-2)때는 평균유속 0.7knot로 남서방향으로 4.5mile을 약 6시간 24분 동안 이동하여 제1썰물때 보다 이동거리는 1.4mile 길었고 평균유속은 0.4knot 빠르며 썰물의 지속시간도 길게 나타났다. 제2밀물(flood tide-2)때는 제1밀물 때 나타난 원형의 궤적이 더욱 커진 양상으로 평균유속 0.6knot로 약 5시간 42분 동안 북동방향으로 3.4mile이동하여 점차적으로 지속시간 및 이동거리가 길게 나타났다. 제3썰물(ebb tide-3)때 Buoy의 유향은 남서내지 남동방향으로 평균유속은 0.9knot로 제주도 서부 무릉리 연안역까지 약 8시간 20분 동안 7.4mile 이동하였다. 제3밀물(flood tide-3)때는 썰물때 남동방향으로 이동한 거리만큼 약 5시간 50분 동안 북서방향으로 7.5mile이동하였고 이때의 평균유속은 1.3knot로 빠른 유속을 보였다.

제4썰물(ebb tide-4)때 평균 1.0knot의 빠른 유속으로 남쪽방향으로 4.0mile을 약 4시간 동안 이동하였으나 제3썰물에 비해 이동거리가 짧았으며, 제4밀물(flood tide-4)때는 평균유속 1.2knot로 약 3시간 30분 동안 북쪽방향으로 4.2mile 이동하였다. 제5썰물(ebb tide-5)시 평균유속은 조사기간 중 가장 빠른 1.6knot로 남쪽방향으로 4.5mile을 약 2시간 50분 동안 이동하였으며 제5밀물(flood tide-5)시 Buoy는 점차 외해역으로 빠져나가려는 경향이 강하게 나타났고 평균유속은 1.0knot로 비교적 빨랐으며 약 8시간 동안 북서방향으로 약 8.1mile까지 이동하는 등 조사기간 중 밀물 때의 이동거리가 가장 길었다.

제6썰물(ebb tide-6)때의 Buoy의 궤적은 외해역으로 이동하며 시계방향의 타원형을 그리는 양상으로 평균유속은 1.3knot의 빠른 유속으로 남동방향으로 7.7mile을 약 5시간 54분 동안 이동하였고, 제6밀물(flood tide-6)때는 더욱더 외해역으로 이동하는 북서쪽의 유향이 나타나 평균유속 1.4knot로 북서쪽으로 5.8mile을 약 4시간 12분 동안 이동하였다.

제7썰물(ebb tide-7)때는 평균유속 1.0knot로 남동방향으로 6.1mile을 약 6시간 동안 이동하

였고 제7밀물(flood tide-7)때 Buoy의 궤적은 외해역으로 빠져나갔으며 평균유속 0.8knot로 북서방향으로 6.6mile을 약 8시간 10분 동안 이동하였다. 제8썰물(ebb tide-8)때는 평균유속 1.2knot로 남동방향으로 9.8mile을 약 8시간 20분 동안 이동하여 제5밀물때의 위치까지 이동하여 큰 타원형을 그리는 양상으로 조사기간 중 조석류에 의한 이동거리가 가장 길게 나타났다.

따라서 이상의 결과를 종합하면 10월 7~8일의 2일 동안은 대조기인 썰물과 밀물에 의한 조석차가 가장 크게 나타나는 시기로 Buoy이동경로가 시계방향의 큰 타원형을 그리며 연안역에서 외해역으로 이동하는 양상이 뚜렷이 나타났으며, 일반적으로 나타나는 서부해역의 북상류와는 반대양상으로 연안역에서 외해역으로 시계방향의 이동궤적을 그리는 등 시기 및 조석주기에 따라 이러한 비정상적인 흐름이 나타날 가능성이 있는 해역으로 사료된다.

2.2.2.3.2 2003년 9월 16~18일

2003년 9월 16~18일까지 제주도 서부 연안역에서 추적한 TGPS Buoy 이동경로를 Fig. 64에 나타냈다.

2003년 9월 16~18일은 조석표상 소조기로 차귀도 서쪽 약 3mile 해역에 투하한 결과로, 추적기간동안 시간당 평균유속은 0.9knot이고 순간 최고유속은 2.6knot로 나타났다. 조석주기에 따른 Buoy의 이동궤적을 살펴보면 먼저 No. 3 Buoy의 경우 제1썰물(ebb tide-1)때 평균유속 1.2knot로 남서방향으로 1.6mile을 약 1시간 20분 동안 이동하였고, 제1밀물(flood tide-1)때 평균유속 0.6knot로 북쪽방향으로 3.5mile을 약 5시간 36분 동안 이동하여 밀물에 비해 썰물의 평균유속은 약 0.9knot 빨랐으나 이동거리는 짧게 나타났다. 제2썰물(ebb tide-2)때 평균유속 0.7knot로 남서방향으로 4.9mile을 약 7시간 동안 이동하여 제1썰물보다 지속시간 및 이동거리가 길게 나타났다. 제2밀물(flood tide-2)때는 평균유속 0.7knot로 북 내지 북동방향으로 이동하여 총 이동거리는 15.9mile로 Buoy 회수시까지 이러한 북동류의 유황이 약 22시간 정도 지속됐다. 그리고 제주도 서부 연안역 상황을 파악하기 위해 차귀도 북쪽 3mile 지점에 투하한 No. 6 Buoy의 경우 제3밀물(flood tide-3)때 평균유속 0.5knot로 북동방향으로 2.2mile을 약 4시간 24분 동안 이동하여 점차 서부연안 두모리 천해역까지 접근하면서 제3썰물(ebb tide-3)때는 평균유속 0.1knot로 남서방향으로 1.9mile을 약 19시간 동안 이동하였다.

따라서 조석주기에 의한 제주도 서부 해역의 해수유동상황을 종합해 보면 Buoy는 조석류의 영향을 받아 썰물때 남서쪽, 밀물때는 북 내지 북동쪽으로 이동하지만 차귀도 남서쪽 약 3mile 해역에서부터 조석류에 관계없이 북 내지 북동방향으로 이동하는 제주도 서부해역에서 일반적으로 나타나는 북상류 흐름이 관측되었으며 본 조사시기는 조석표상 소조기에 해당하므로 밀물과 썰물의 차가 심하게 나타나지 않았다. 그리고 서부 연안 천해역의 흐름상황을 파악하기 위해 투하한 No. 6 Buoy는 밀물때 북동방향으로 이동하다 썰물때 연안역을 따라 남서방향으로 이동하지만 용당리 부근의 연안역은 유속이 매우 느려 거의 정체하는 유황이 나타났다. 따라서 2002년 10월에 제주도 서부 연안역에서 관측되었던 시계방향의 비정상적인 흐름은 나타

나지 않았지만 조석류에 의해 연안역에서 외해역으로 밀려가는 흐름은 유사하게 나타나고 있어 제주도 서부해역은 외해역의 해류상황과 조석류에 의해 시기별로 유황이 변하는 해역으로 판단된다.

이상의 조석주기에 따른 제주도 주변해역 및 그 인접해역의 해수유동 특성을 살펴본 결과 시기별로 조석류의 유속과 이동거리가 각각 다르게 나타났으며 이러한 썰물과 밀물에 대한 조석특성을 해역별로 종합해 보면 다음과 같다.

제주도 북부 외해역의 경우 소조기때 썰물과 밀물의 평균유속 및 평균이동거리는 0.6knot · 5.4mile, 0.3knot · 1.6mile로 유황은 북동류, 서류였으며 대조기때는 0.8knot · 5.7mile, 0.6knot · 3.1mile로 유황은 동 내지 북동류와 북서류로 나타나 밀물에 비해 북동쪽으로 흐르는 썰물의 영향이 강하며 소조시에 비해 대조시의 유속이 빠르게 나타났고 이동거리 또한 상당히 길게 나타났다.

제주도 북부 연안역의 경우 소조기때 썰물과 밀물의 평균유속 및 평균이동거리는 0.9knot · 7.2mile, 0.5knot · 2.5mile로 유황은 동 내지 남동류, 서류로 나타났고 대조기때는 0.6knot · 6.0mile, 0.4knot · 5.2mile로 유황은 남동류, 서류로 밀물에 비해 동 내지 남동쪽으로 유출되는 썰물의 영향이 강하게 나타났다. 그러므로 전반적으로 대조기보다 소조기때가 평균유속도 빠르며 이동거리도 길었지만 대조시 밀물의 평균이동거리가 소조때보다 약 3.0mile길었다. 또한 제주도 북부 외해역과 연안역의 조석상황을 비교 분석한 결과, 외해역에 비해 연안역의 평균유속 및 이동거리가 빠르거나 길게 나타나 제주도 북부 외해역에서 북동쪽방향으로 빠져나가는 흐름보다 북부 연안역에서 동 내지 남동쪽으로 유출되는 연안 조석류가 상대적으로 빠른 것으로 나타났다.

제주도 서부 연안역의 경우 소조기때 썰물과 밀물의 평균유속 및 평균이동거리는 0.9knot · 3.3mile, 0.7knot · 3.5mile로 유황은 남서류, 북동류로 평균유속은 썰물때 빠르게 나타났으나 이동거리는 썰물에 비해 밀물때가 0.2mile 길게 나타났고 대조기때는 1.0knot · 5.8mile, 0.9knot · 5.3mile로 유황은 남 내지 남동류, 북 내지 북동류로 제주도 북부 외해역과 연안역의 유동상황과 같은 양상으로 대조기때의 평균유속과 이동거리가 빨랐다.

남해 연안역의 추자도 동쪽해역의 경우 소조기때 0.8knot · 6.0mile, 0.6knot · 2.0mile로 유황은 남동 내지 동류 및 북서류였으며 대조기때는 0.9knot · 5.3mile, 0.5knot · 3.1mile로 유황은 남동 내지 동류 및 서류로 나타났다.

여서도 및 거문도 주변해역에서는 대조기때에 Buoy추적조사를 실시하지 못한 관계로 소조기때의 유동상황에 대해 분석한 결과, 먼저 여서도 주변해역의 경우 썰물때 0.7knot · 4.6mile, 밀물때 0.4knot · 1.4mile로 유황은 동류, 남동류였으며 동쪽으로 흐르는 썰물때 흐름이 강하게 나타났고 거문도 주변해역의 경우 썰물때 0.5knot · 3.3mile, 밀물때 0.2knot · 0.5mile로 유황은 남동류, 서류로 남동쪽방향으로 흐르는 썰물의 영향이 우세하지만 여서도 주변해역에 비해 평균유속은 늦거나 이동거리는 점차 짧아지고 있었다.

따라서 각 해역별로 조석대별 유동특성을 분석한 결과, 소·대조시에 의한 조석에 관계없이 썰물때 유동이 우세하였고 제주도 주변해역 중 북부 연안역의 동 내지 남동류로 이동하는 조석류의 평균유속 및 이동거리가 가장 빠르거나 길었으며 이에 비해 남해 연안역은 상당히 늦게 나타났다. 특히, 남해 연안역 중 추자도 주변해역의 남동 내지 동쪽으로 이동하는 조석류의 유속 및 이동거리는 비교적 빠르거나 길었지만 동쪽(여서도~거문도)으로 이동할 수록 조석의 세기가 점차 늦어지고 있었다.

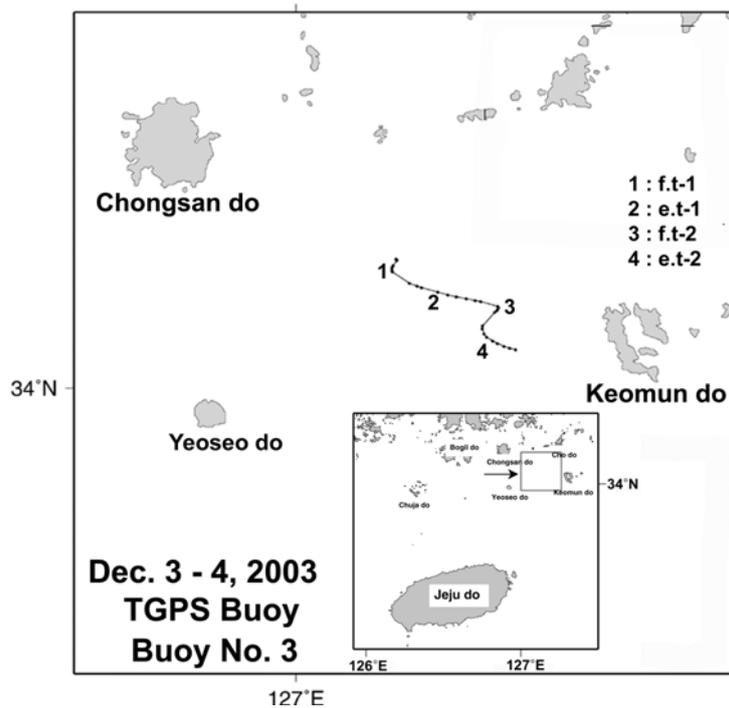


Fig. 62. Drift track of TGPS Buoy in the surrounding sea of Keomun do in Dec. 03~04, 2003(e.t:ebb tide, f.t:flood tide).

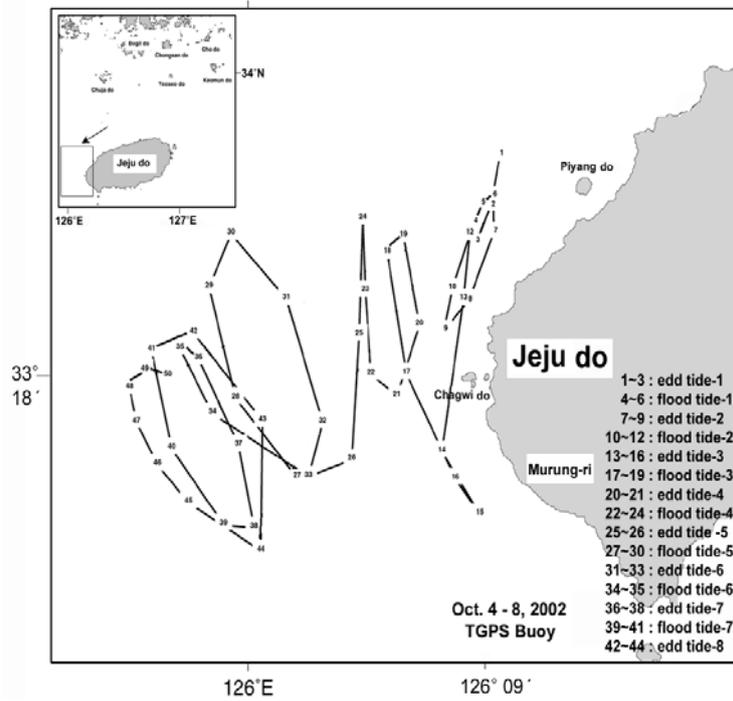


Fig. 63. Drift track of TGPS Buoy in the western coastal sea area of Jeju do in Oct. 04~08, 2002(e.t:ebb tide, f.t:flood tide).

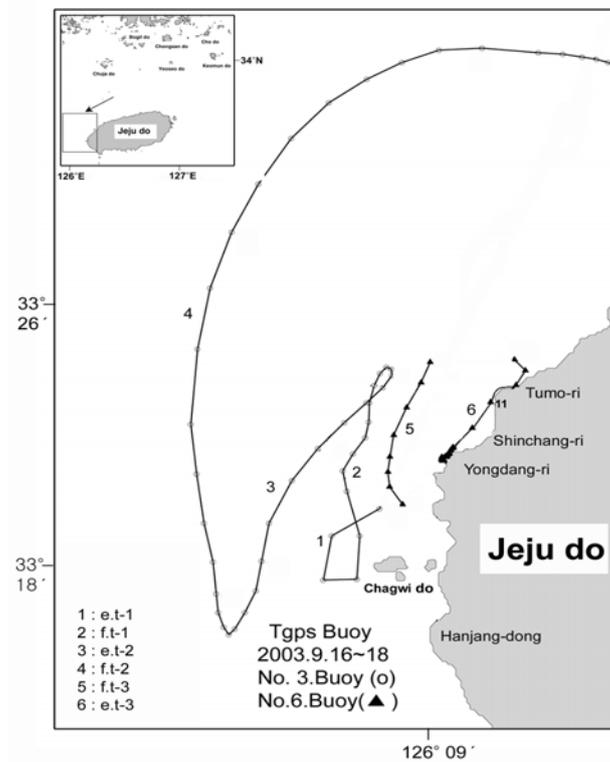


Fig. 64. Drift track of TGPS Buoy in the western coastal sea area of Jeju do in Sep. 16~18, 2003(e.t:ebb tide, f.t:flood tide).

2.2.3 국지적 해수유동특성

2.2.3.1 제주도 동부 연안역의 연안반류 특성

제주도 동부연안역의 흐름상황을 파악하기 위해 섭지코지 동쪽 0.6mile 지점의 연안역에 TGPS Buoy를 투하하여 2003년 9월25일(음력 8월29일) 10시53분부터 9월26일(음력 9월1일) 14시20분까지 28시간에 걸쳐 추적한 결과를 Fig. 65에 나타냈다.

Buoy이동에 의한 순간유속 범위는 0.1~1.9knot였고, 시간당 평균유속은 0.5knot로 순간 최고, 최저유속은 각각 1.9knot, 0.1knot로 나타났다. 신양리 동쪽 연안역에서 최초 투하한 Buoy는 썰물때 연안역으로 접근하면서 남서쪽으로 이동하다가 밀물때는 동쪽으로 약간 이동하였지만 그 이동범위는 매우 작게 나타났다. 그 후 조석류와 관계없이 신양리, 신산리, 표선리 연안역을 따라 남서쪽으로 이동하였다. 따라서 제주도 동부 연안역은 외해역에서 북 내지 북동방향으로 이동하는 대마난류의 흐름과 반대인 남서방향의 유향을 나타내는 연안반류가 출현하는 해역이라 판단되며 이와 같은 유황(流況)은 Fig. III-49(a, c)과 Fig. III-51(b), 및 Fig. III-66의 1982년 11월 해류관 추적 및 Fig. III-67의 1996년 5월의 Buoy 추적결과에서도 연안반류 현상이 잘 나타나 있다.

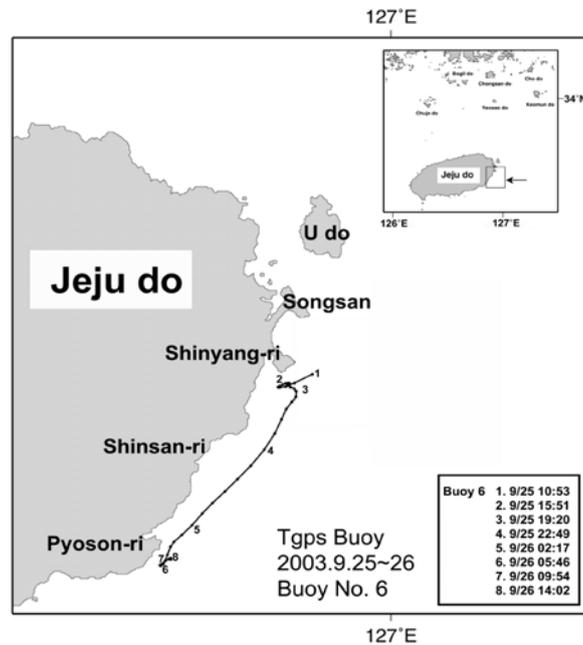


Fig. 65. Drift track of TGPS Buoy in the eastern coastal sea area of Jeju do in Sep. 25~26, 2003.

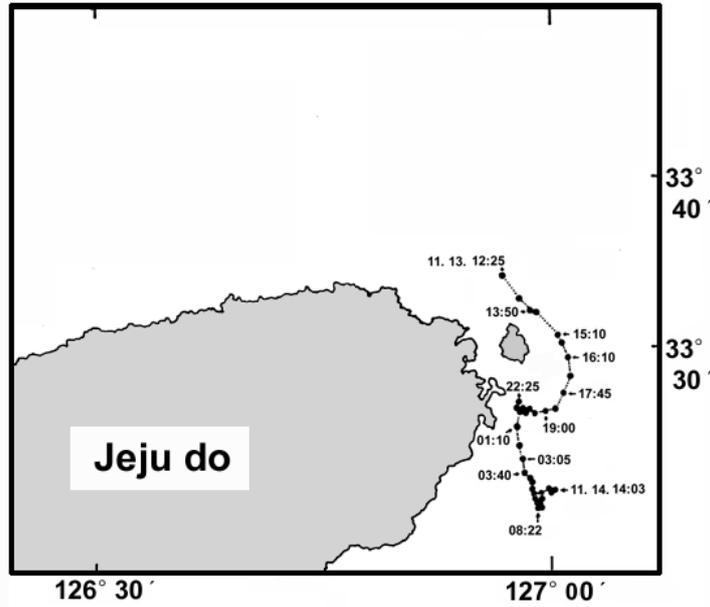


Fig. 66. Drift track of drogue in the eastern coastal sea area of Jeju do in Nov. 13~14, 1982(Kim and Rho, 1997).

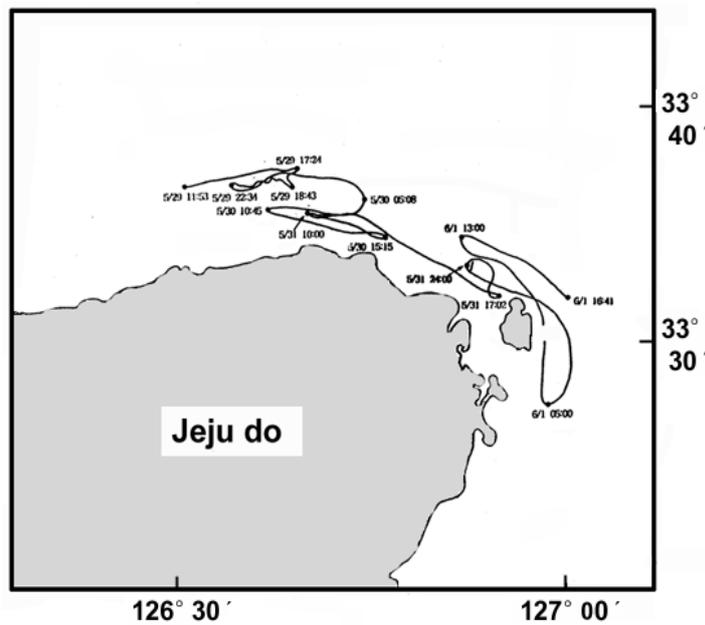


Fig. 67. Drift track of TGPS Buoy in the northeastern coastal sea area of Jeju do in May 29~Jun. 01, 1996.

2.3. 해류계 Mooring에 의한 해수유동특성

2.3.1 장수도 주변해역

2003년 10월30일 14시45분부터 10월31일 15시10분까지 장수도 북쪽 7mile 지점의 정치측류점(34°00' 00", 경도 126°40' 10")에 해류계(RCM-7)를 수심 5m 깊이에 mooring하여 25시간동안 연속 조사한 결과로부터 얻은 자료의 유향, 유속 벡터를 Fig. 68에 나타냈다.

유향은 TGPS Buoy추적 결과와 같이 동류 및 남동류가 우세하였으며 썰물때의 유향은 남동류이고 평균유속은 44.87cm/sec(0.87knot)였고, 그 지속시간은 썰물때 18시20분 이였으며, 밀물때의 유향은 서류이고 평균유속은 36.92cm/sec(0.72knot)였고 그 지속시간은 6시간으로 썰물이 밀물보다 평균유속이 7.95cm/sec(0.15knot) 빠르게 나타났고 지속시간도 길었다. 또한 순간 최고 유속은 밀물 77.24cm/sec(1.50knot), 썰물 87.51cm/sec(1.70knot)로 썰물이 밀물보다 10.27cm/sec(0.2knot)강했다.

Fig. 69은 조사기간동안의 조석 잔차류를 나타내는 유향 진행 Vector도로 조사기간 동안의 해수의 이동은 남동방향이고 그 유속은 0.83knot 정도였다. 그러므로 장수도 주변연안역은 썰물때는 남동류, 밀물때는 서류의 조석류가 있지만 썰물의 유속이 강하고 그 지속시간도 길어 0.5mile/hr 정도 남동방향으로 이동하는 조석 잔차류가 존재하는 것으로 사료된다.

2.3.2 거문도 주변해역

2003년 12월3일 14시30분부터 12월4일 14시20분까지 여서도 북동쪽 7mile 지점의 정치측류점(34°05' 55", 경도 127°05' 15")에 해류계(RCM-7)을 수심 5m 깊이에 mooring하여 25시간동안 연속 조사한 결과로부터 얻은 자료의 유향, 유속 벡터를 Fig. 70에 나타냈다.

유향은 TGPS Buoy추적 결과와 같이 썰물때 남동쪽으로 흐르는 유향이 뚜렷히 나타난 반면 밀물의 경우 썰물때의 남동류와 반대방향의 유향은 나타나지 않고 시간대별로 동쪽방향의 흐름이 나타났고, 썰물때 평균유속은 15.61cm/sec(0.3knot), 순간 최고 유속은 32.48cm/sec(0.63knot)로 썰물때의 그 지속시간은 12시간 30분으로 나타났으며 밀물의 영향 없이 동쪽으로 흐르는 항류인 경우 평균유속은 12.9cm/sec(0.25knot), 순간 최고 유속은 28.70cm/sec(0.56knot)로 지속시간은 11시간 20분으로 썰물때인 남동류가 동류에 비해 평균유속 및 지속시간이 길게 나타났다. 그러나 Buoy 추적결과에서는 이동거리는 매우 짧은 남서방향으로 흐르는 밀물의 이동양상이 나타났지만 정치측류 결과 남서방향의 밀물은 전혀 나타나지 않는 것으로부터 거문도 주변해역에 있어 수심 5m부근에서는 밀물에 의한 유속이 약하여 남서쪽방향의 항류는 나타나지 않고 동쪽방향의 항류가 강하게 나타나기 때문인 것으로 판단되며 이러한 현상은 유향 진행 Vector도에서 확인할 수 있다. Fig. 71는 조사기간동안의 조석 잔차류를 나타내는 유향 진행 Vector도로 조사기간 동안의 해수의 이동은 동 내지 남동방향이고 그 유속은 0.29knot 정도로 여서도 주변연안역은 썰물때는 동류, 밀물때의 흐름은 나타나지 않고 장수도 주변해역에 비해

평균유속 및 지속시간도 매우 적게 나타나 0.3mile/hr 정도 동쪽으로 이동하는 조석 간차류가 존재하는 것으로 사료된다.

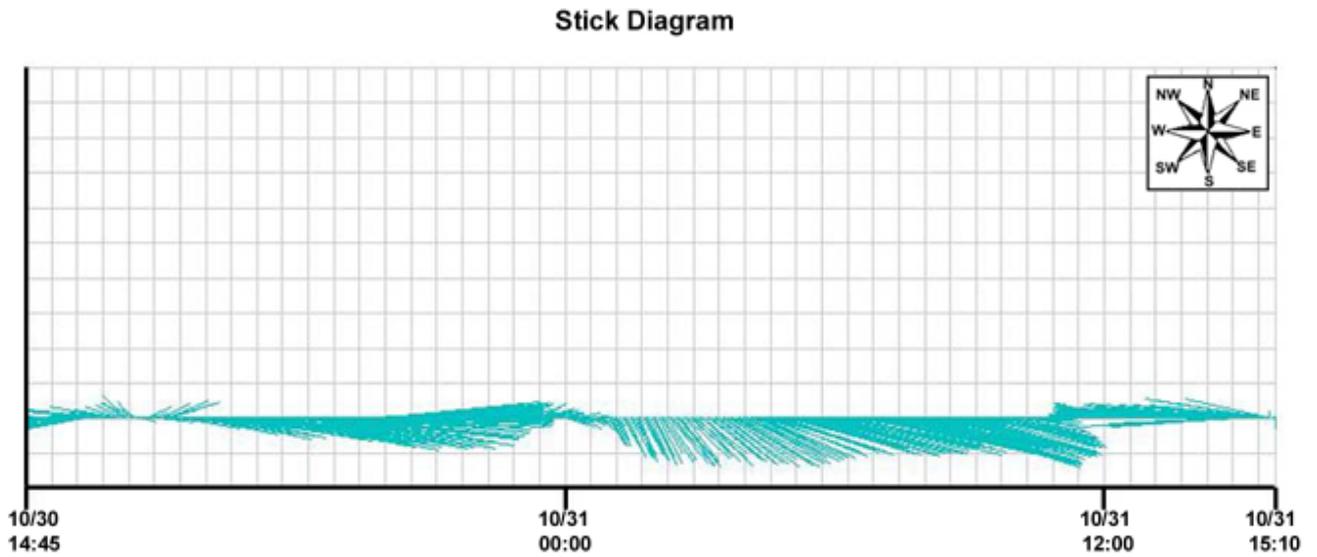


Fig. 68. Stick diagram of current direction and speed around Jangsu do in Oct. 17~18, 2003.

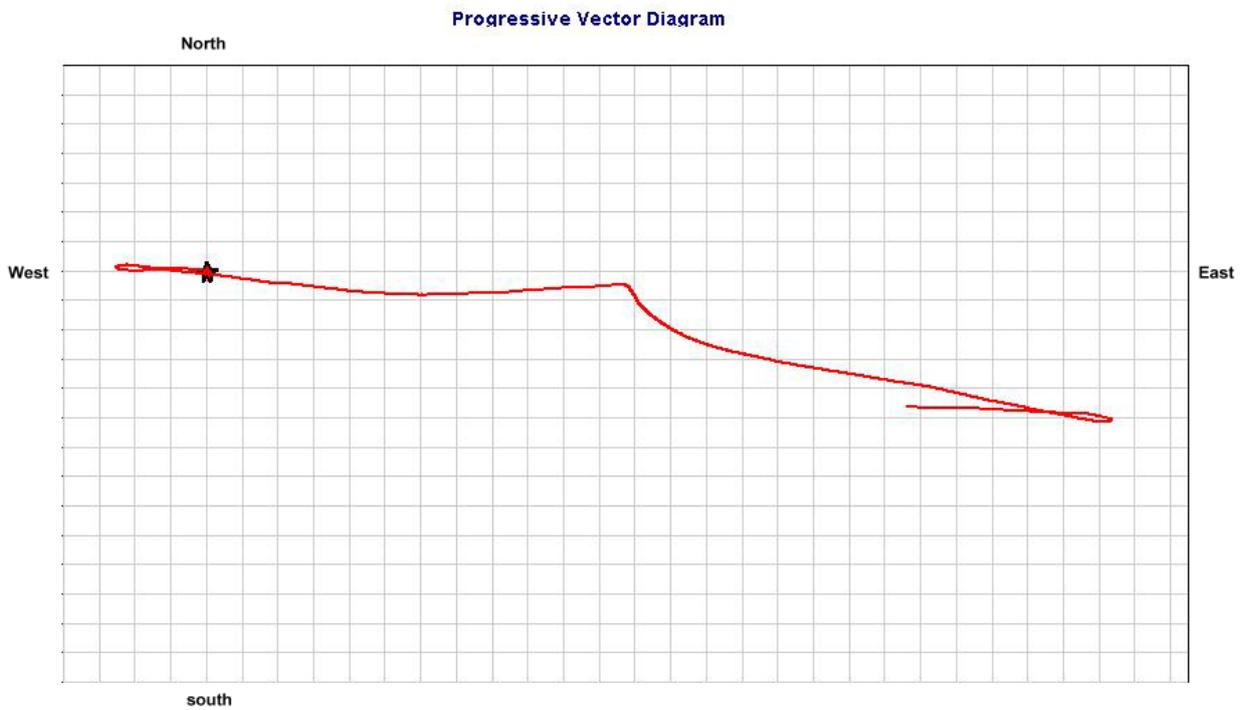


Fig. 69. Progressive vector diagram of Fig. 68.

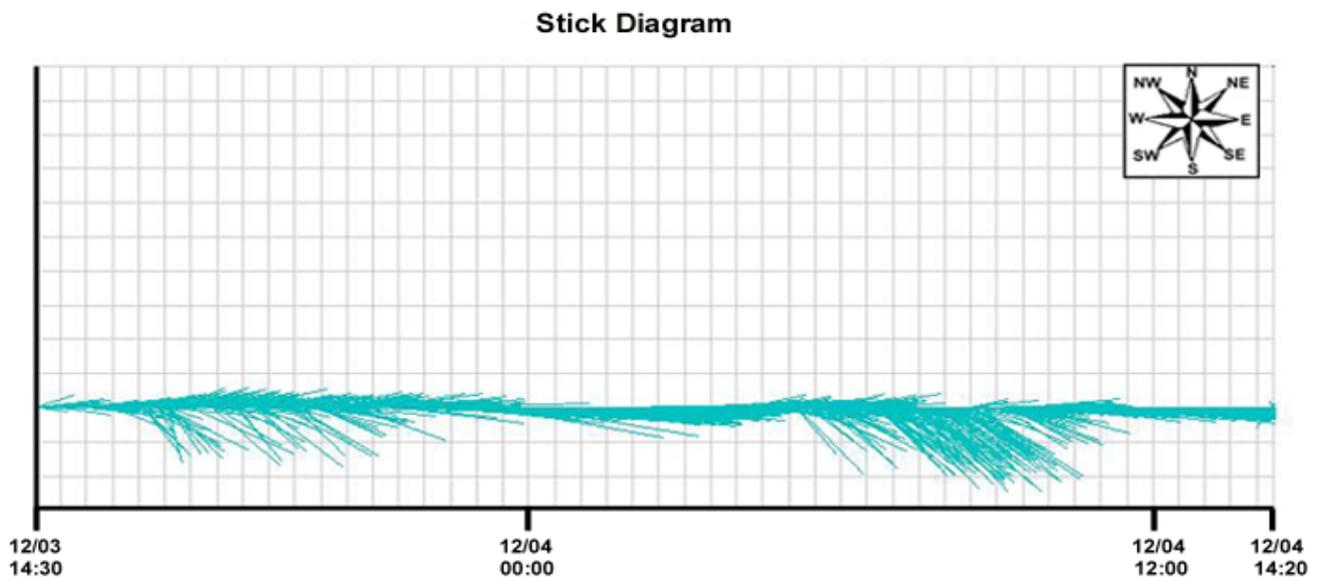


Fig. 70. Stick diagram of current direction and speed around Keomun do in Dec. 3~4, 2003.

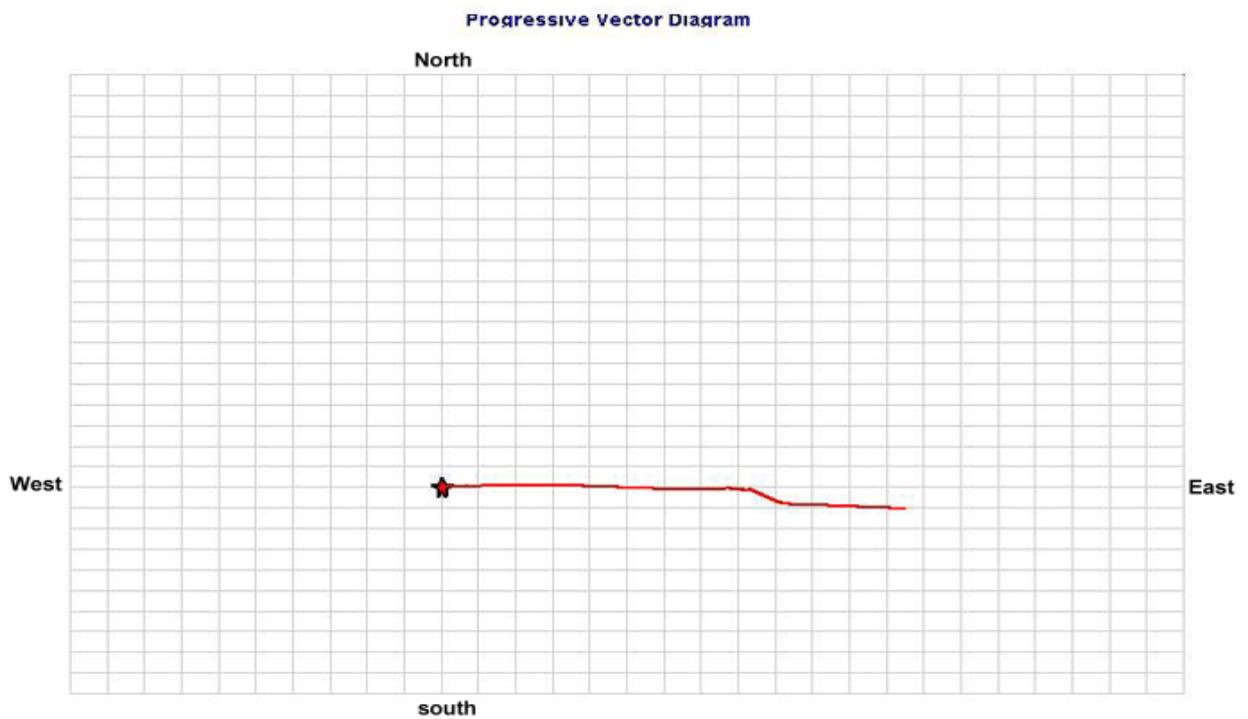


Fig. 71. Progressive Vector Diagram of Fig. III-70.

2.4. 제주도 주변해역의 멸치 난치어 수송기구

제주도 및 추자도와 거문도 주변해역에 대한 수온·염분조사, 부유물질(SS), 용존산소(DO)와 같은 해양환경조사, 멸치 난치어 조사, 해수유동조사로부터 규명된 결과들을 종합하여 제주도 주변해역의 멸치 난치어 수송기구를 정리하면 다음과 같다.

2.4.1. 제주해협 및 그 인접해역의 향류 모식도

본 연구에서 이용한 제주해협 및 그 인접해역에 투하한 TGPS Buoy 추적결과와 Current meter 자료 등을 바탕으로 제주해협 및 그 인접해역의 향류 모식도를 그려보면 Fig. 72와 같다.

이 모식도에 의하면 제주도 북부 7mile 이내의 연안역에는 제주도 서쪽해역에서 제주해협내로 유입되는 향류가 연안을 따라 동쪽으로 이동하는 흐름이 있고 이 향류는 제주도 북동부 연안역에서 남동류가 되며, 우도 북쪽에서 남류로 바뀌어 제주도 동부 연안역을 따라 표선 부근까지 남하하는 동부 연안 반류가 된다. 한편, 제주도 북부연안으로부터 7mile 이상의 외해측은 추자도, 장수도, 여서도를 잇는 선의 이남해역에는 제주도 서쪽해역에서 제주해협내로 유입된 향류가 북동쪽으로 이동하여 거문도 남쪽해역을 지나 한국남해로 유출된다. 또 추자도, 장수도, 여서도를 잇는 선의 이북해역인 연안역에는 남동방향의 향류가 있다. 그러므로 추자도와 보길도, 청산도 주변에서 남동방향으로 확장하는 연안수와 제주해협 남부에서 북동쪽으로 이동하는 외해수가 추자도, 장수도, 여서도 부근해역에서 마주쳐 전선을 형성하고 이 전선역에는 비교적 빠른 동류 내지 남동류가 나타난다. 또, 제주도 동쪽 외해역에는 대마난류가 북상하여 우도 동쪽에서 북동쪽으로 방향을 바꾸지만 이 북상류의 일부가 우도 북쪽을 통하여 제주해협내로 설상으로 삽입하므로 제주도 북쪽 외해역의 흐름이 동쪽으로 바로 유출되지 못하고 북동류가 되어 대마난류의 좌측을 따라 한국 남해로 유출되고 있고, 특히 제주시 북쪽에서는 연안을 따라 동쪽으로 흐르는 연안류와 북동쪽으로 흐르는 해협의 주류로 나누어지며 이 분기점 부근까지 해협 동쪽에서 설상으로 삽입되는 대마난류가 영향을 미칠 수 있는 복잡한 유황을 보이고 있다.

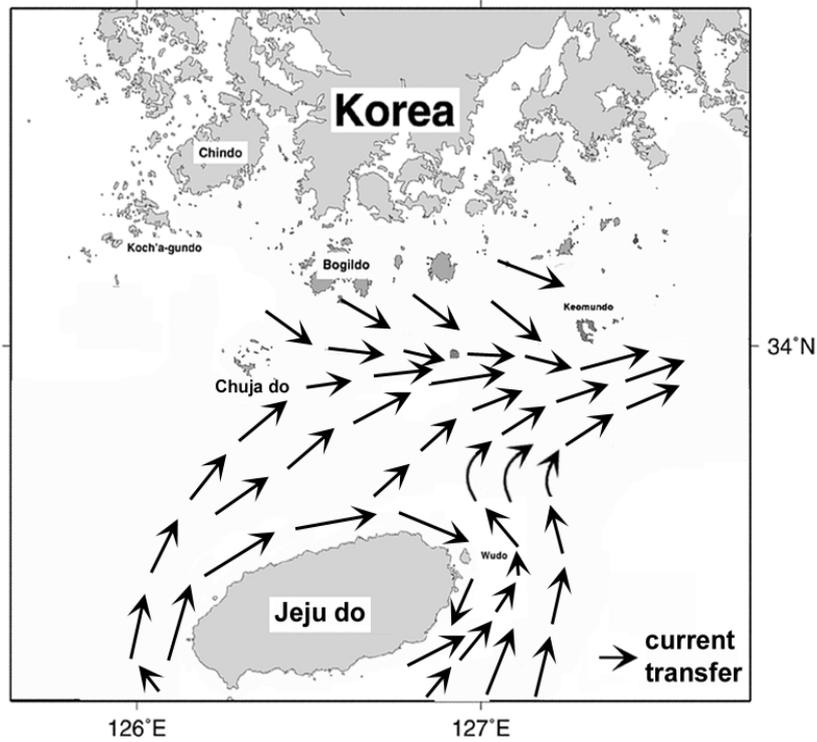


Fig. 72. Schematic representation of current system in the Jeju Strait and its adjacent sea.

2.4.2. 멸치 산란장의 추정

제주해협 및 그 인접해역의 멸치 난 출현실태를 분석한 결과, 산란은 5월경부터 차츰 이루어지기 시작하여 8월에 peak에 도달하고, 10월에 종료되는 것 같다. 그리고 멸치의 산란이 시작되는 5월경부터 제주도 주변해역에 영향을 미치는 수괴로는 제주도 남동쪽 해역에서 북동쪽으로 확장하는 고온·고염의 대마난류수, 한국 남해 연안역에서 제주해협의 중앙쪽으로 남하 확장하는 상대적으로 저온·고염한 한국남해안연안수, 황해남부 해역에서 한국남해 서부해역 및 추자도 주변해역으로 확장하는 저온·저염의 황해냉수 및 춘계로부터 추계에 걸쳐 양자강입구로부터 유출되어 북동쪽인 제주도쪽으로 확장되면서 제주도 서방해역을 유과하여 추자도 주변해역 및 제주 해협을 통하여 유출되는 고온·저염한 중국대륙연안수 등 여러 이질수괴들이 상접하여 복잡한 수온·염분 전선대를 형성하는 시기와의 일치하였다

따라서, 이러한 이질수괴가 복잡하게 출현하면서 표층으로부터 태양복사에 의한 가열이 시작되는 시기인 5월에 산란이 시작되고 있으며, 멸치 난이 채집된 장소로는 추자도, 보길도, 청산도, 거문도 주변 및 제주도 주변의 작은 섬들인 마라도, 차귀도, 비양도, 문섬, 우도 등의 주변해역에서 멸치 난이 채집되었다. 그러나 제주도 서방해역을 통해서 제주해협내로 유입하는 고온·저염의 중국대륙연안수내에서는 멸치 난이 채집되지 않고 그 주변에서 채집되었다.

Fig. 73은 상기의 결과를 기초로 정리한 제주도 주변해역의 산란장 모식도이다. 제주해협 및 그 인접해역의 멸치 산란장은 추자도, 보길도, 청산도, 초도 주변의 연안역에 주로 분포하고 제주도 북부연안과 제주도 서부 및 동부의 도서 주변에 소규모 산란장이 형성되고 있다.

Fig. 74는 정(1991)이 추정된 멸치 난의 부화 시간과 치어 성장 상태를 모식도로 나타낸 것으로 산란 후 약 30시간 (1.25일)이면 멸치 난에서 체장 약 2.3mm의 치어로 부화하고 부화된 치어는 약 30일이면 체장 약 30mm로 성장한다고 했다. 따라서 난이 채집된 곳은 제주해협내의 향류 및 조석류를 고려할 때 최대 12mile 이내의 가까운 해역에서 산란된 것으로 볼 수 있다. 그러므로 난이 채집된 장소는 제주도 주변해역의 산란장이라고 할 수 있다.

2.4.3. 멸치 치어 성육장

제주해협 및 그 인접해역에서 멸치 치어 분포상태를 기초로 치어 성육장을 모식도로 나타내면 Fig. 75와 같다.

모식도에서 알 수 있듯이 치어들이 주로 채집된 장소는 제주해협 북쪽의 도서주변 즉, 추자도, 보길도, 청산도, 초도 등을 중심으로 한 산란장 보다 약간 외해측인 추자도, 장수도, 여서도, 거문도를 잇는 선을 중심으로 한 수렴역(Fig. 72 참조) 주변이다. 이처럼 멸치 치어 주 분포해역이 산란장 보다 약간 외해역이고 해협북쪽의 연안수와 해협남쪽의 외해수가 수렴하는 전선역 부근이 되는 것은 해협북쪽의 연안 산란장에서 산란된 난이 Fig. 72의 향류 모식도에서 알 수 있듯이 해협 북쪽 연안역에서는 남동쪽으로 이동하는 향류에 의해 운반되면서 부화하여 외해역쪽으로 수송될 뿐만 아니라 제주도 북부 및 서부 연안역에 산란된 난도 향류에 의해 수송되면서 부화하여 해협내의 북동류에 의해 상기 수렴역으로 운반되기 때문이다.

이처럼 수렴역에 운반된 치어는 전선역 주변의 동류 내지 남동류에 의해 대부분 여서도 남쪽해역을 거쳐 거문도 남부해역으로 운반되어 점차 성장하면서 대마난류 좌측을 따라 한국 남해 연안역으로 수송된다. 또, 제주도 북부 연안역과 제주도 서쪽연안 작은섬 주변에 산란되어 부화된 치어의 일부는 제주도 서쪽해역에서 제주해협내로 유입하여 제주도 북부 연안역을 따라 동쪽으로 이동하는 연안동류에 의해 운반되어 우도 부근까지 이동된 후 제주도 동쪽의 연안반류에 의해 표선부근 해역까지 남하했다가 제주도 남쪽에서 북상하는 대마난류의 좌측을 따라 다시 북상하여 제주해협 동쪽입구를 거쳐 한국 남해 연안역으로 운반되는 것으로 판단된다.

Fig. 76은 이와 같은 수송기구를 뒷받침하는 좋은 예가 될 수 있다. Fig. 76은 2003년 제주해협 동쪽입구 부근의 치어 채집량과 체장 빈도분포를 나타내고 있다. 6월(Fig. 76, a)의 경우 우도 북쪽해역에서 치어가 가장 많이 채집(18미)되었고 체장도 6.0~14.0mm까지의 범위이다. Fig. 74의 모식도에 의하면 난에서 부화하기까지는 30시간이 소요되고 부화된 치어는 2.3mm 정도의 체장이 된다고 했다. 또, Garcia(2002)는 멸치 치어는 일일 0.6~0.7mm정도 성장한다고

보고한 바 있으므로 이러한 자료를 바탕으로 계산하면 6.0mm의 치어가 되기까지는 6~7일이 소요된다고 볼 수 있다. 그리고 가장 출현량이 많은 10mm의 치어가 되는데는 12~14일 정도의 시일이 필요하다. 그러므로 제주도 북부 연안 동류의 평균유속을 0.4knot라고 할 때 6mm치어는 우도 서쪽 60~70mile 부근해역에서 산란된 것으로 볼 수 있다. 이러한 거리에 해당하는 지역으로는 제주도 서쪽 차귀도 부근해역이 될 수 있다. 또, 10mm정도의 치어는 순수하게 항류에 의해서만 운반되었다고 가정 할 때 우도로부터 120~140mile 떨어진 곳에서 산란됐다고 추정 할 수 있다. 또, 7월(Fig. 76, b)의 경우 우도 동쪽외해역에 다른 지역보다는 대형의 치어(3미)가 채집되었는데 이 해역에서만 대형 치어가 채집된 것은 이 해역의 수송기구의 특징 때문이라고 판단된다. 즉, 다른 채집점은 모두 제주해협내를 통하여 운반되는 수송기구인데 반해, 이 채집점은 제주도 동쪽을 거쳐 한국 남해 외해로 흘러가는 대마난류에 의해 물질수송이 이루어지고 있는 해역이므로 채집점으로부터 상당히 먼 곳에서 부화된 치어가 출현한 것으로 해석된다.

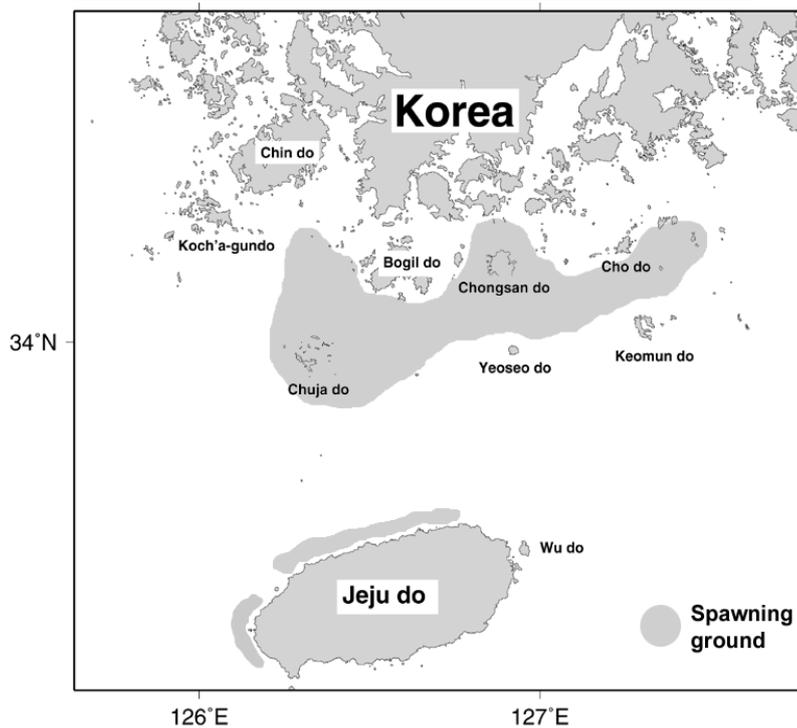


Fig. 73. Schematic representation of spawning ground of anchovy, *Engraulis japonica* in the Jeju Strait and its adjacent sea.

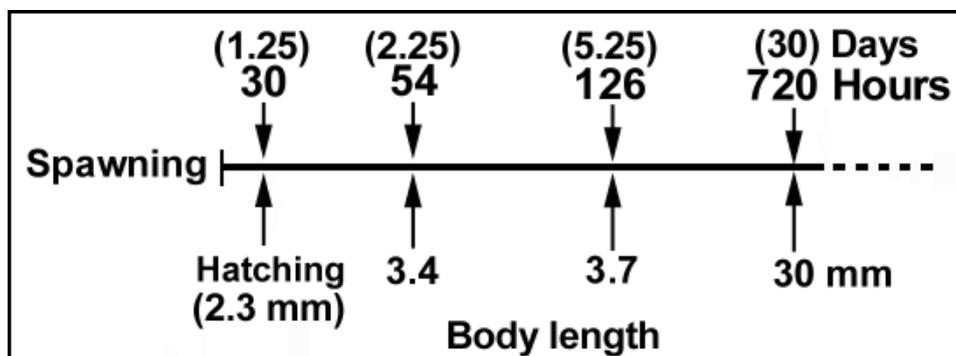


Fig. 74. Schematic representation of early stage life cycle for anchovy, *Engraulis japonica* (Chyung, 1991).

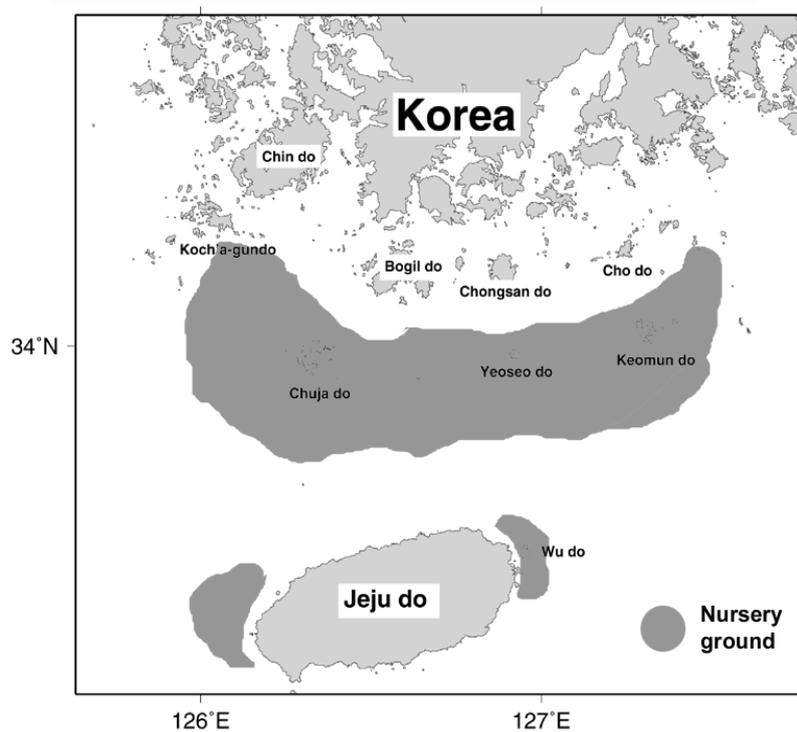


Fig. 75. Schematic representation of nursery ground of anchovy, *Engraulis japonica* in the Jeju Strait and its adjacent sea.

8월(Fig. 76, c)의 경우 이 해역에서는 난은 전혀 채집되지 않고 치어만 다량으로 채집된 특수한 예로 이 해역에 치어만 채집된 것은 제주해협이나 제주도 동·서부 해역에서 부화된 치어가 제주해협 및 그 인접해역의 수송기구(Fig. 72)에 의해 이 해역까지 운반된 것으로 해석된다. 특히 제주도 북동부 연안역에 소형 치어가 채집된 것은 제주도 서쪽 내지 북부 연안역에서 부화된 치어가 제주도 북부 연안역을 따라 동쪽으로 흐르는 연안류에 의해 운반된 것이기 때문이며 그것과 인접한 북부 외해역에 대형 치어가 많이 분포하고 치어 채집수도 366미에 달할 정도로 많은 것은 이 해역이 제주도 동쪽해역을 북상하는 대마난류가 우측으로 방향을 바꾸면서 해류의 좌측부분이 해협내로 설상으로 삼입(Fig. 72)되는 특수한 상황이 나타나는 해역이기 때문이라고 해석된다. 즉, 이 해역에 10mm이상의 대형 치어가 출현한 것은 먼 곳에서 부화된 치어가 대마난류에 의해 수송되었기 때문이며 치어가 많이 채집된 것은 설상 삼입역의 흐름이 약해 치어가 집적되기 때문이라고 판단된다. 그러므로 인접지역이라고 하더라도 두 지점은 각각 다른 수송기구에 의해 지배되고 있다고 할 수 있다. 또, 치어 366미가 채집된 지점 동쪽에도 대형 치어가 채집된 것은 이들 지점도 모두 대마난류 흐름 내에 있기 때문이다. 이것과는 달리 여서도 주변과 거문도 서부 및 남서부 해역에 많은 치어가 채집됨과 더불어 대형 치어도 많이 나타난 것은 추자도, 보길도 등의 제주해협 북부 도서주변의 산란장에서 부화된 치어가 남동류에 의해 외해쪽으로 운반되고 제주도 서쪽 및 북부연안에서 부화된 치어의 일부(나머지는 연안을 따라 우도 부근해역으로 수송)가 북동류에 의해 추자도, 장수도, 여서도를 잇는 전선역으로 운반되어 해협북부 연안역에서 운반된 치어들과 전선역을 중심으로 집적되어 동류 내지 남동류에 의해 여서도 쪽으로 이동하여 거문도 남쪽으로 운반되기 때문이다. 즉, 제주해협 및 그 인접해역의 흐름장에 의해 각 산란장에서 전선역으로 운반되고 이곳에 집적된 치어는 전선역을 따라 동쪽으로 이동하기 때문에 여서도 및 거문도 주변에 많은 치어가 채집되었고 또, 이곳까지 운반되는 데는 많은 시일이 소요되므로 대형 치어도 많이 출현한 것으로 해석할 수 있다. 특히, 거문도 남서쪽 지점에서 249미의 치어와 10mm이상의 대형 치어가 많이 출현한 것은 해협내의 전선역을 따라 거문도 남쪽으로 유출되는 흐름이 북동쪽으로 흐르는 대마난류와 마주치는 해역이 되기 때문이라고 판단된다.

이상의 난치어 분포상황과 제주해협 및 그 인접해역의 향류 양상을 종합하여 제주도 주변해역의 멸치 난치어 수송기구 모식도를 작성하면 Fig. 77과 같다.

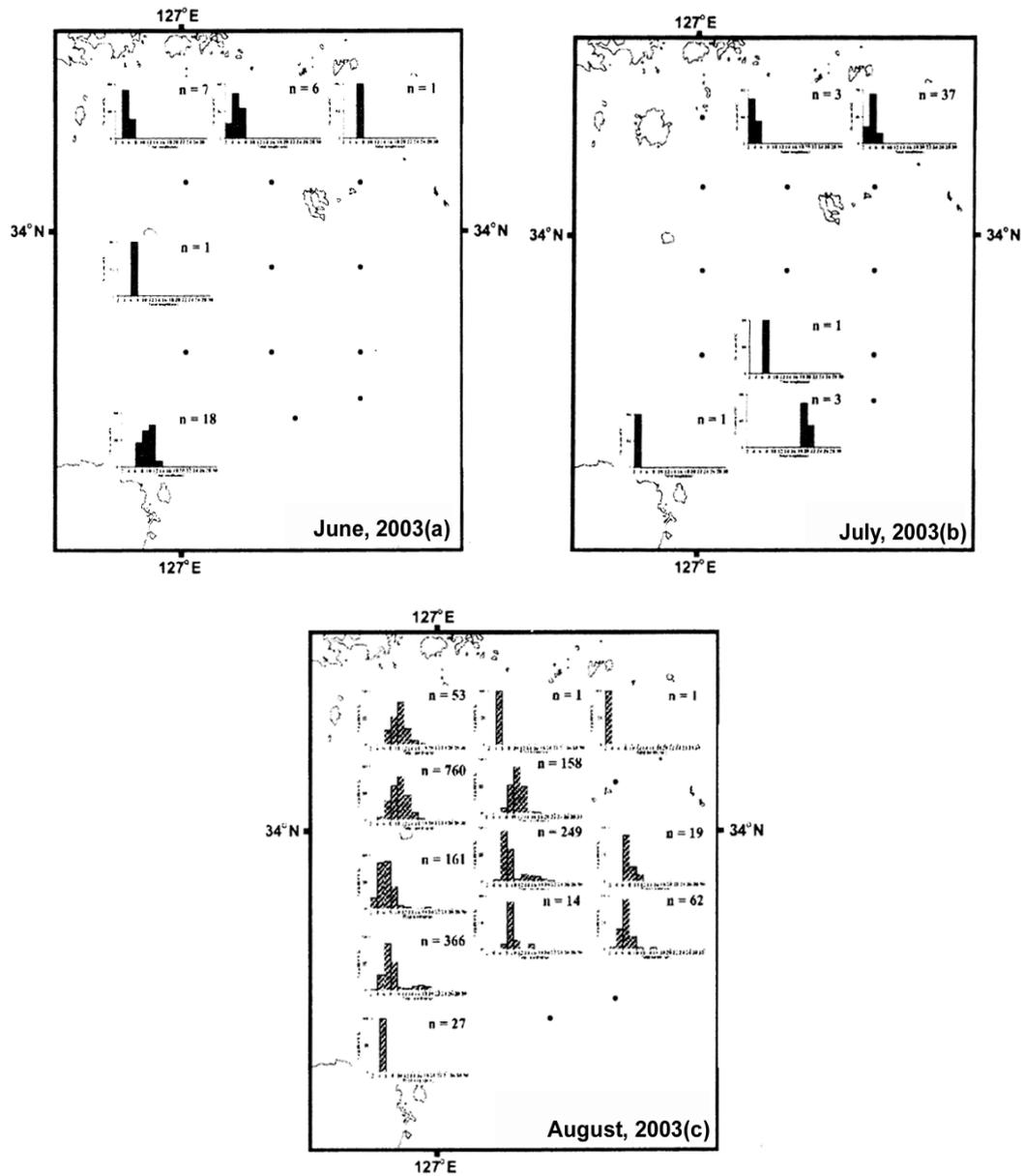


Fig. 76. Monthly and spatial changes of length-frequency distribution of anchovy larvae in the eastern part of Jeju Strait(Lee, 2004).

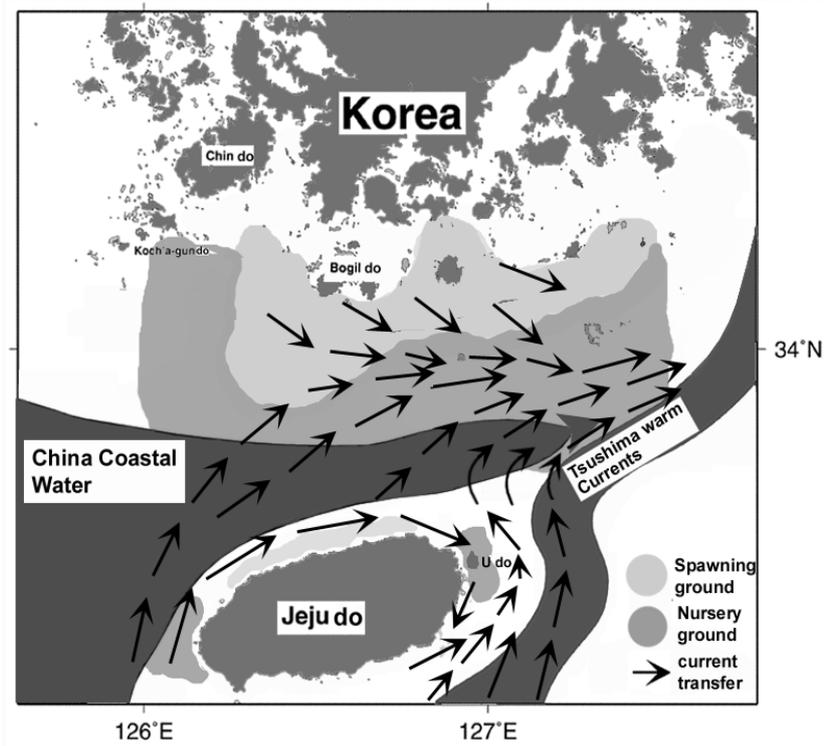


Fig. 77. Schematic representation of the expectational transport of anchovy eggs and larvae surrounding sea of Jeju do in summer.

제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

1. 연구개발 목표의 달성도

- 1) 기존 자료를 인용한 제주도 주변해역의 해양학적 특성 파악
- 2) 제주대학교실습선 아라호(990톤)를 이용한 제주도 주변 3회의 광역 해양환경 조사
- 3) 소형어선(7.5ton) 및 아라2호를 이용하여 2002~2003년까지 멸치 난치자어가 집중 출현할 것으로 예상되는 제주해협 전선역에 정선을 설정하여 10회의 정밀 해양환경조사.
- 4) 멸치 난치자어 채집해역 및 제주도 주변해역에 멸치 난치자어의 이동실태를 직접파악하기 위해 6회에 걸쳐 TGPS Buoy를 이용한 표층해류 조사
- 5) 한국 남해연안역의 여서도 및 거문도 주변해역에 2회의 오일러식 해류 측정
- 6) Chlorophyll 분포 및 동물성 플랑크톤 생물량을 위와 동등한 시기에 병행하여 조사
- 7) 제주도 및 인근도서의 기상관측자료 및 인공위성에 의한 표층수온자료 수집

2. 연구개발에 의한 관련분야 기여도

본 연구결과는 제주도 주변해역 특히 제주해협 및 그 인접해역의 멸치 산란장, 치어 성육장, 난치어 분포와 환경과의 관계, 멸치 치어의 체장별 분포특성, 멸치 난치어의 수송기구 등이 구체적으로 제시되고 이 해역의 멸치 치어가 한국 남해 연안역에 어떻게 공급될 것인가를 제시하고 있으므로 한국 남해 연안역의 멸치 자원 변동기구 해명 및 권현망, 유자망 등의 멸치 관련어업의 생산량 변화 원인 규명 등에 크게 기여할 것으로 판단된다. 또 멸치 자원은 우리의 식량자원으로 이용될 뿐만 아니라 중요어류의 먹이생물로서의 역할도 크므로 한국 주변해역의 수산자원 관리 및 변동 등과 같은 문제 해명에 중요한 기초자료가 될 수 있다.

제주도 주변해역은 한국 연안에 래유하는 중요어류의 월동장 내지 회유경로가 되므로 이 해역의 구체적 환경특성과 유동성이 밝혀질 것으로 관련 학문연구에 크게 기여 될 것으로 판단되며 본 연구해역내의 각종 난치어 수송문제나 치어 방류사업의 효과증대 방안 도출 등에 크게 기여 할 수 있다. 그러므로 최근 우리나라의 어려운 수산문제 해결의 핵이 되는 주변해역의 수산자원 조성을 성공적으로 추진 할 수 있는 방안이 무엇인가를 암시하는 의미 있는 연구라고 할 수 있다.

제 5 장 연구개발결과의 활용계획

1. 핵심기술(연구내용) 수준 및 활용유형

핵심기술 (연구내용)	핵심기술(연구내용) 수준					기술(연구결과) 활용유형(복수표기 가능)				
	세계 최초	국내 최초	외국기술 복제	외국기술 소화·흡수	외국기술 개선·개량	특허 출원	산업체이전 (상품화)	현장애로 해 결	정책 자료	기타
제주해협내의 난·자치어 수송		○						○	○	
해협내 멸치 난·자치어 분포 및 출현시기		○							○	
멸치 난·자 치어 분포역 의 환경특성 규명		○						○	○	

2. 각 연구결과별 구체적인 활용계획

핵심기술(연구내용)	활 용 계 획(활용시기, 활용방법 등을 요약하여 기재)
제주해협내의 수온, 염분, 클로로필, 부유물질 등 환 경요인	제주해협내의 환경특성 규명, 어·해황예보 기술개발, 어장탐색 등 에 활용
제주해협내의 유동특성	물질수송경로 예측, 어로작업, 선박항해, 해난사고 대책수립 등에 활용
제주해협내의 멸치 난·자 치어 출현시기 및 분포상 황	수산자원 조성 및 관리기술 향상, 수산자원 변동 원인 규명, 종묘 방류 효과 증대, TAC제도 정착 등에 활용

3. 기대효과

- 멸치 자원량 증대 및 합리적 관리방안 모색
- 멸치 난치자어의 수송과 연계된 물질수송 및 오염물질 이동경로의 예측
- 멸치에 대한 초기 생활사의 연구
- 제주도 주변해역의 해양환경연구
- 치어방류사업의 효과향상 방안도출
- 어·해황예보의 정도향상 대책 수립
- 조난선박의 인명구조 및 수색 방법 도출
- 수산해양학, 해양학, 생물학 등의 관련 학문분야 연구
- 수산자원조성, 관리, 변동, 생활사 등과 같은 수산자원 연구의 기초자료 제공
- 수산업의 과학과 및 종묘 방류사업의 효과증대, TAC제도의 정착 등을 통한 경제적 이익 창출
- 오염물질 확산경로 추정 및 과학적 해난사고 수습대책 제시 등이 가능

제 6 장 참고문헌

- Aoki, I. and K. Miyashita. 2000. Dispersal of larvae and juveniles of Japanese anchovy *Engraulis japonicus* in the Kuroshio Extension and Kuroshio-oyashio transition regions, western North Pacific Ocean. Fisheries Research, 49 : 155~164.
- Choi C.M. 1989. A study on the origin of coastal waters in the southwestern seas of Korea. M.S. Thesis, Cheju Nat'l. Univ., 44 pp. (in Korea)
- Cho Y.K., 1988. A study on the bottom water and transport in the South Sea, Korea. M.S. Thesis, Seoul National Univ., pp. 55 (in Korean)
- Chen, D.S. and Y.B. Go, 1983. The distribution of chlorophyll a in the neighbouring waters of Cheju Island. Bull. Mar. Resour. Res. Inst. Cheju Nat. Univ., 7 : 23~27.
- Choi J.K., J.H. Noh, K.S. Shin and K.H. Hong, 1995. The early autumn distribution of chlorophyll-a and primary productivity in the Yellow Sea, 1992. The Yellow Sea, 1 : 68~80.
- Garcia, J., Garcia, A., Mazzola, S., Quintanilla, L., Delgado, J., Cattita, A. and Patti, B. 2002. Hydrographic phenomena influencing early life stages of the Sicilian Channel anchovy. Fish. Oceanogr. 11:1, 31~44.
- Kim S.H. and H.K. Rho. 1997. A study on the Residual Current in the Cheju Strait. J. Kor. Fish. Soc., 30(5), 759~769
- Kim S.H. 1987. A study on the current in the Cheju Strait. M.S. Thesis, Cheju National Univ., pp. 61.
- Kim B.K.. 1979. A study on the currents in the Jeju Strait. Bull. Fish. Res. Dev. Agency, Korea, 21, 7~21.
- Kim S. 1999. Distribution of the fish larvae in relation to the water masses in the Korea Strait. Ph. D. Thesis, Inha Univ., pp. 128. (in Korea)
- Kim J.M., 1984. Studies on the distribution of the ichthyoplankton in the Tsushima current regions during the autumn seasons. Tokyo University, Ph. D. thesis. 258 pp.
- Kim I.O. and H.K. Rho. 1994. A study China coastal water appeared in the neighbouring seas of Cheju Island. J. Kor. Fish. Soc., 27(5), 515~528. (in Korea)
- Kim I.O. and H.K. Rho. 1994. A study on China coastal water appeared in the neighbouring seas of Cheju Island. J. Kor. Fish. Soc., 27(5), 515~528. (in Korean)

- Kim S.H. 1995. Studies on the assembling mechanism of the Hairtail, *Trichiurus lepturus*, at the fishing grounds of the Cheju Strait. PH.D. Thesis, Cheju Natl. Univ., pp. 168. (in Korean)
- Kawaguchi, K., Y. Yamashita and A. Hayashi. 1990. Some aspects of spawning of the reared Japanese anchovy(*Engraulis japonica*) in relation to the photoperiod, water temperature and starvation. Bull. Japan. Soc. Fish. Oceanogr., 54 : 364~372.
- Kim S.S. 1987. A study on chemical character instics of sea water in the neighbourin Sea of Cheju Island in summer. M.S. Thesis, Cheju Nat. Univ., (in Korea)
- Kasai, A. 1995. Effect of variations in the Kuroshio and Oyashio currents on the egg and larval transport and recruitment of Japanese sardine(*Sardinops melanostictus*). Ph.D. Thesis, Tokyo Univ., 5~60.
- KORDI. 1984. A study on the Atlas of Marine Resources in the Adjacent Seas to Korea, BSPG00019-70-7.
- KOSEC. 1983. Unpublished technical report, KOSEC.
- Rho H.K. and T. Hirano. 1983. Tongue-like warm water appeared in the east entrance of the Jeju Strai. Bull. Kor. Fish. Soc., 16(4), 299~304. (in Korean)
- Rho H.K. and K. Kim. 1983. Variations of sea surface temperature between Jeju and Mogpo and between Jeju and wando. J. Oceanol. Soc. Korea, 18(1), 64~72(in Korean)
- Rho H.K. 1985. Studies on arine environmental of fishing ground in the waters around Jeju Island PH.D. Thesis, Tokyo university., pp. 215 (in Japanese)
- Rho, H.K and T. Hirano. 1983. Tongue-like warm water appeared in the east entrance of the Jeju Strait. Bull. Korean Fish Soc., 16(4), 299~304.
- Nakao, T., 1977. Oceanic Variability in relation to fisheries in the East China Sea and the Yellow Sea. J. Fac. Mar. Sci. Tech., Tokai. Univ., Japan, Spec. pp. 190~367
- Nagata, H., K. Kitani and K. Watanabe. 1986. Environmental features in the coastal water of the San-in idstrict, especially with reference to the spawning ground of the Japanese sardine, *Sardinops melanostictus* in April, 1984. Bull. Japan. Soc. Fish. Oceanogr., 50 : 298~303.
- Yang Y.J., H.K. Rho and S.H. Kim. 1999. Relationship between SST fronts and Purse-seine Fishing Grounds in the South-West Sea of Korea and the Northern

Area of the East China Sea. J. Kor. Fish. Soc., 32(5), 618~623

- 沖山 宗雄. 1965. 左度海に出現する魚卵・稚仔に関する豫察的研究. 日水研報告, 15 : 13~37.
- 高尾, 龜次. 1987. 飼育實驗によるカタクチイワシの産卵生態. 水産海洋研究會報, 第51卷, 第1号 : 59~61.
- 後藤・常夫・乎井・光行. 1999. 1989~1993年5月の能登半島 周邊海域におけるいわし類の卵の水平分布と水塊配置. 日水研報告, 49 : 81~96
- 船本 銑一郎・青木一郎. 1999. 本州東方沖合域におけカタクチイワシの産卵生態. 月刊 海洋, 31(4) : 222~226.
- 三谷 勇・長谷川 保. 1988. 河川水の流入に伴う表面塩分變化とカタクチシラス漁場の形成. 水産海洋研究會報, 第52卷, 第4号 : 297~303.
- 中村 保昭, 1982. 水産海洋學的見地からの駿河灣の海洋構造について. 静岡水試研報, 17 : 12~126.
- 漁谷 逸朗・岩川 敬樹・川口 弘一, 1993. イワシシラス漁場形成機構に濁度の重要性. 日水誌, 60(1) : 73~78.
- 中井 甚二郎・宇佐 美脩造・服部 茂昌・本城 康至・林繁一. 1955. 昭和24年~26年縊資源共同研究經過報告. 東海區水産研究所, 東京, 84 pp.
- 長田 宏・木谷 浩度辺和春. 1986. 1984年4月の山陰沿岸域におけるマイワシ産卵場の海洋特性. 水産海洋研究會報, 第50卷, 第4号 : 298~303.
- 中田 英昭・岡崎 雄二. 1999. 黒潮續流フロント域における仔魚の分布と餌料生物生産の動態. 月刊 海洋, 31(4) : 206~210.
- 船本 銑一郎・青木一郎. 1999. 本州東方沖合域におけカタクチイワシの産卵生態. 月刊 海洋, 31(4) : 222~226.
- 강영실・전경암. 1999. 한국 남해 연안전선의 생물·화학적특성 및 영양학적 구조. 한국수산학회지, 32(1) : 22~29
- 공 영, 1971. 한국 남해연안 전선에 관한 연구. 한국해양학회지, 6(1) : 25~36.
- 고경민・고유봉・김종만, 1991. 제주도 북방 함덕 연안역의 자치어출현, 한국어류학회지, 3(1) : 24-35
- 김진영, 1983. 한국남해 및 서해 연안해역에서의 멸치난치어의 분포. 한국수산학회지, 16(4) : 401~410.
- 김진영・김주일. 1993. 한국 남해 연안의 멸치 난·자어의 분포와 사망률의 변동. 한국어류학회지, 5(2) : 217~225.

- 김진영 · 최영민. 1988. 멸치, *Engraulis japonicus* 난 · 치어의 연직분포. 한국수수산학회지, 21(31) : 139~144.
- 김진영 · 김주일. 1991. 한국 남해안 멸치의 난 · 자어 밀도와 가입. 수진연구보고, 45 : 101~107.
- 김 성, 1999. 대한해협을 수기구조에 따른 자치어의 분포특성. 인하대학교 이학박사 학위논문, 128p.
- 김 성 · 유재명, 2000. 짧은 수염대구(*Laemonema nana* Taki; 국명신칭)자치어의 형태 발달. 한국어류학회지, 12(1), 33-37.
- 김용억 · 명정구 · 박지상, 1983. 문치가자미의 난발생과 부화자어. 한국수산학회지, 16(4), 389~495
- 김주일 · 김진영 · 최광호, 1994. 봄철의 한국 남해 멸치와 정어리란 분포 및 감소율의 비교. 한국수산학회지, 27(3), 299~306
- 김용억 · 한경호 · 김복기 · 최수하 · 김귀영 · 조재권, 1999. 강원 연안산 까나리 자치어의 분포. 한국어류학회지, 11(2), 155~163
- 김진영 · 최영민. 1988. 멸치 난 · 치어의 수직분포. 한국수산학회지, 21(30) : 139~144.
- 김진영 · 강용주. 1992. 한국남해 멸치의 산란생태. 한국수산학회지, 25(5) : 331~340.
- 김진영 · 김주일 · 최광호, 1994. 봄철의 한국 남해 멸치와 정어리란 분포 및 감소율의 비교. 한국수산학회지, 27(3) : 299~305.
- 명정구 · 김종만 · 김용억, 1989. 실험실에서 사육한 도루묵의 난발생 및 자치어의 형태. 한국수산학회지, 22(3), 129-137.
- 명정구 · 김용억, 1993. 한국산 연어속 어류의 형태학적 연구-I. 연어 *Oncorhynchus keta*의 난발생 및 자치어의 형태. 한국어류학회지, 5(1), 53-67.
- 이태원 · 허성희, 1989. 해산동물의 초기생활사에 관한 연구. 2. 미끈날망둑, *Chaenogobius laevis*(Steindachner)의 자치어기의 연령, 성장 및 식성. 한국수산학회지, 22(5), 332~341.
- 이은경 · 유재명 · 김 성 · 이영철. 1996. 대한해협 멸치 치자어의 수직분포. 한국어류학회지, 8(2) : 47~56.
- 이승중, 2004. 한국 남해 멸치의 난 · 자치어 분포특성과 생산량 및 환경과의 관계 제주대학교 이학박사 학위논문, 88~89p.
- 유재명, 1991. 한국 남해의 치자어 분포. 부산수산대학교 이학박사학위논문, 238 pp.
- 유재명, 최승민, 장만, 1989. 여름철 제주도 연안의 치자어에 관한 연구. 한국해양연구소. 보고

- 서 BSPE 00126. 228~399 pp.
- 이영철 · 이은경 · 김성 · 유재명, 1996. 대한해협 멸치 치자어의 수직분포. 한국어류학회지, 8(2), 47~57
- 양성기, 1994. 한국남해연안의 해표면 수온분포와 친해전선의 변동 특성. 한국환경과학회지, 3(2) : 111~128.
- 임주열 · 옥인숙, 1977. 한국 근해에 있어서 멸치란 치자어의 출현분포에 관한 연구. 수진연구보고, 16 : 73~80
- 조성환 · 윤원득 · 임동현 · 최중기 · 노재훈 · 전형진 · 송태운. 1999. 황해 식물클랑크톤군집의 염록소 a, 기초생산력 및 크기별 분류군의 시·공 분포. 수진연구보고, 57 : 163~173.
- 조규대, 1986. 동지나해의 선망 어장 환경. 어업기술학회지, 22(4) : 104~116.
- 추효상 · 김동수. 1998. 한국 남해의 대마난류수 변동이 멸치 난·자어의 연안역수송에 미치는 영향. 한국수산학회지, 31(2) : 226~224.
- 차성식, 1986. 황해 중동부 연안역의 부유성 난 자치어의 군집에 관한 연구, 서울대학교 이학박사학위 논문, 114pp.
- 허성범 · 유재명. 1984. 한국 서해안의 어류 난치어 분포. 한국수산학회지, 17(6) : 536~542.
- 한경남, 1987. 황해 남서부 연안수역의 부유성 난, 자치어에 관한 생태학적 연구. 인하대학교 이학석사 학위논문, 58p.
- 허성희 · 광석남, 1999. 광양만 잘피밭에 서식하는 문절망둑(*Acanthogobius flavimanus*)의 식성. 한국수산학회지, 32(1), 10~17
- KOSEF, 1990. Tsushima Current and Circulation in the East Sea(Sea of Japan). KOSEF 870616