

博士學位論文

韓國 南海 멸치의 卵·仔稚魚 分布
特性과 生産量 및 環境과의 關係



제주대학교 중앙도서관
濟州大學校 大學院

海 洋 學 科

李 承 鍾

2004年 6月

韓國 南海 멸치의 卵·仔稚魚 分布
特性과 生産量 및 環境과의 關係

指導教授 高 有 峰

李 承 鍾

이 論文을 理學 博士學位 論文으로 提出함

2004年 6月

李承鍾의 理學 博士學位 論文을 認准함



제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

審査委員長

委 員

委 員

委 員

委 員

李 峻 伯

李 泰 源

明 正 求

梁 益 勳

高 有 峰



濟州大學校 大學院

2004年 6月

Distribution of the Eggs and Larvae, and
Catch of Anchovy, *Engraulis japonica*,
and Its Relationships with Environmental
Factors in the South Sea, Korea

Seung-Jong Lee

(Supervised by Professor You-Bong Go)

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL
FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE
OF DOCTOR OF SCIENCE

DEPARTMENT OF OCEANOGRAPHY
GRADUATE SCHOOL
CHEJU NATIONAL UNIVERSITY

June 2004

목 차

List of Figures	i
List of Tables	vii
요 약	ix
Summary	xi

제1장 서 론	1
1. 연구배경	1
2. 남해의 해황 및 어황	4
3. 멸치의 분포 및 생태적 특성	5
4. 연구목적	10

제2장 재료 및 방법	11
1. 난·자치어 조사해역	11
1.1 제주해협 및 주변해역	11
1.2 제주해협 북부해역	13
1.3 제주해협 동부해역	13
2. 난·자치어 채집 및 분석	13
2.1 채집수층	13
2.2 채집방법	16
2.3 시료처리	16
3. 환경	17
3.1 수온·염분 측정	17
3.2 엽록소 a 측정	17
3.3 동물플랑크톤 채집	17

3.4 기상 자료	18
4. 자치어의 유연력 형성체급	18
4.1 관찰시료	18
4.2 지느러미 발달	18
4.3 조직학적 검사	19
5. 한국 남부의 기상	19
6. 남해의 해황	21
7. 멸치 생산량	23
8. 계절 구분	23
9. 통계분석	23
9.1 T-test 검사	23
9.2 최소제곱 회귀분석	23
9.3 상관분석	24
9.4 다중회귀분석	24
제3장 결 과	25
1. 제주해협 및 그 주변해역에서의 멸치 난·자치어 분포와 환경과의 관계	25
1.1 제주해협 및 그 주변해역에서의 해양과 기상 환경특성	25
1.1.1 수온·염분 분포	25
1.1.1.1 제주해협 및 주변해역	25
1.1.1.2 제주해협 북부해역	31
1.1.1.3 제주해협 동부해역	33
1.1.2 엽록소 a 농도와 동물플랑크톤 분포	33
1.1.2.1 제주해협 및 주변해역	33
1.1.2.2 제주해협 북부해역	37
1.1.2.3 제주해협 동부해역	41

1.1.3 기상	44
1.1.3.1 제주해협 북부해역	44
1.1.3.2 제주해협 동부해역	47
1.2 난·자치어 분포	50
1.2.1 제주해협 및 주변해역	50
1.2.1.1 망목에 따른 난·자치어의 출현량 비교	50
1.2.1.2 해역별 난·자치어의 분포	50
1.2.1.3 난의 발생단계별 분포	55
1.2.1.4 자치어의 체급별 분포	60
1.2.1.5 일주수직 분포	64
1.2.2 제주해협 북부해역	68
1.2.2.1 난·자치어의 월별 출현량 변화	68
1.2.2.2 난·자치어의 수평분포	72
1.2.2.3 난의 발생단계별 분포	72
1.2.2.4 자치어의 체급별 분포	75
1.2.3 제주해협 동부해역	77
1.2.3.1 난·자치어의 월별 출현량 변화	77
1.2.3.2 난·자치어의 수평분포	80
1.2.3.3 난의 발생단계별 분포	83
1.2.3.4 자치어의 체급별 분포	83
1.3 자치어의 유영력 형성체급	90
1.3.1 체측근 발달	90
1.3.1.1 총 섬유개수	90
1.3.1.2 총 횡단면적	94
1.3.2 체측근 단면의 조직학적 발달	94
1.3.3 체급별 지느러미의 발달	95
1.3.3.1 지느러미 원기 및 줄기수 변화	95
1.3.3.2 꼬리지느러미의 외부형태 변화	98

1.4 난·자치어 분포와 환경과의 관계	100
1.4.1 난의 분포밀도와 수온·염분과의 관계	100
1.4.2 자치어의 분포밀도와 수온·염분과의 관계	102
1.4.3 난·자치어 분포와 환경요인과 통계분석	104
1.4.3.1 여름철 제주해협과 그 주변해역	104
1.4.3.2 제주해협 북부해역	107
2. 한국 남해산 멸치 생산량 장기변동과 환경과의 관계	111
2.1 우리나라 남부 기상의 장기변동	111
2.1.1 기상요인	111
2.1.1.1 기온	111
2.1.1.2 강수량	111
2.1.1.3 풍속	112
2.1.1.4 상대습도	112
2.1.2 계절별 평년편차	114
2.1.2.1 기온	114
2.1.2.2 강수량	116
2.1.2.3 풍속	118
2.1.2.4 상대습도	120
2.2 한국 남해 해황의 장기변동	122
2.2.1 수온·염분	122
2.2.2 계절별 평년편차	124
2.2.2.1 수온	124
2.2.2.2 염분	126
2.3 멸치 생산량의 장기변동	129
2.3.1 국내 멸치 생산량 변화	129
2.3.2 해구별 멸치 생산량 변화	131

2.3.3 어업별 멸치 생산량 장기변동	131
2.3.4 월별 생산비율 변화	133
2.3.5 계절별 멸치 생산량 장기변동	137
2.3.5.1 기선권현망 어업	137
2.3.5.2 유자망 어업	138
2.4 멸치 생산량과 환경과의 관계	142
2.4.1 ENSO와의 관계	142
2.4.2 계절별 생산량과 환경요인과의 관계	144
2.4.2.1 기선권현망 어업	144
2.4.2.2 유자망 어업	146
2.4.3 겨울철 생산량 증가와 환경특성	148
2.4.3.1 불황과 호황 시의 환경특성	148
2.4.3.2 생산량에 대한 다중회귀분석	155
제4장 고찰	160
참고문헌	202
감사의 글	



List of Figures

Fig.1. Map showing the sampling sites in the western part of the South Sea included Jeju Strait, Korea.	12
Fig.2. Map showing the study area in the northern part of Jeju Strait. Monthly sample were collected from May to November, 2002 and April, 2003.	14
Fig.3. Map showing the study area in the eastern part of Jeju Strait. Monthly sample were collected from June to October, 2003.	14
Fig.4. Diagrams illustrating of cross-sections through the pre-caudal region in anchovy larvae.	20
Fig.5. Map showing the meteorological data observation area (black circle) and water temperature and salinity observation stations (dotted points) by NFRDI in the South Sea of Korea from 1971 to 2002.	22
Fig.6. Horizontal distribution of water temperature (°C) and salinity (‰) at the depths of 10 m, 20 m and 30 m in July, 2001.	30
Fig.7. Monthly variation in mean water temperature (°C) and salinity (‰) in the northern part of Jeju Strait from May to November, 2002 and April, 2003.	32
Fig.8. Monthly variation in mean water temperature (°C) and salinity (‰) in the eastern part of Jeju Strait from June to October, 2003.	34
Fig.9. Mean chlorophyll <i>a</i> concentration of each sampling area in the western part of the South Sea included Jeju Strait, Korea.	38
Fig.10. Mean copepod abundance of each sampling area in the western part of the South Sea included Jeju Strait, Korea. ...	39

Fig.11. Mean sagitta abundance of each sampling area in the western part of the South Sea included Jeju Strait, Korea. ...	40
Fig.12. Monthly of mean copepod abundance (ind./m ³) and chlorophyll <i>a</i> concentration ($\mu\text{g}/\ell$) in the northern part of Jeju Strait from May to November, 2002 and April, 2003.	42
Fig.13. Monthly of mean copepod abundance (ind./m ³) and chlorophyll <i>a</i> concentration ($\mu\text{g}/\ell$) in the eastern part of Jeju Strait from June to October, 2003.	43
Fig.14. Monthly changes of precipitation in Chuja-do and Bogil-do during 2002.	45
Fig.15. Variation of the average wind speed (m/s) and direction (°) at Chuja-do (A) and Bogil-do (B) during 2002.	46
Fig.16. Monthly changes of precipitation in Keomun-do during 2003.	48
Fig.17. Variation of the average wind speed (m/s) and direction (°) at Keomun-do during 2003.	49
Fig.18. Horizontal distribution of mean abundance of anchovy eggs and larvae at the depths of 10 m, 20 m and 30 m in July, 2001.	58
Fig.19. Spatial distribution of anchovy eggs by developmental stages.	62
Fig.20. Spatial distributions in total length frequency of anchovy larvae in 2001.	65
Fig.21. Spatial distributions in total length frequency of anchovy larvae in 2002.	66
Fig.22. Spatial distributions in total length frequency of anchovy larvae in 2003.	67
Fig.23. Vertical distribution of anchovy larvae divided into two size groups as time of day.	69
Fig.24. Monthly changes in mean abundance of eggs (No./10 ³ m ³) and larvae (ind./10 ³ m ³) in the northern part of Jeju Strait	

from May to November, 2002 and April, 2003.	70
Fig.25. Horizontal distribution of abundance of anchovy egg and water temperature in the northern part of Jeju Strait in 2002.	73
Fig.26. Horizontal distribution of abundance of anchovy larvae and water temperature in the northern part of Jeju Strait in 2002.	74
Fig.27. Monthly and spatial changes of anchovy egg by developmental stage in the northern part of Jeju Strait.	76
Fig.28. Monthly and spatial changes of length-frequency distribution of anchovy larvae in the northern part of Jeju Strait.	78
Fig.29. Monthly changes in mean abundance of eggs (No./10 ³ m ³) and larvae (ind./10 ³ m ³) in the eastern part of Jeju Strait from June to October, 2003.	81
Fig.30. Horizontal distribution of abundance of anchovy egg and water temperature in the eastern part of Jeju Strait in 2003.	84
Fig.31. Horizontal distribution of abundance of anchovy larvae and water temperature in the eastern part of Jeju Strait in 2003.	85
Fig.32. Monthly and spatial changes of anchovy egg by developmental stage in the eastern part of Jeju Strait.	86
Fig.33. Monthly and spatial changes of length-frequency distribution of anchovy larvae in the eastern part of Jeju Strait.	88
Fig.34. Logarithmic plots showing relationship between total number of fibers and total length in anchovy larvae.	92
Fig.35. Logarithmic plots showing relationship between total cross-sectioned area and total length in anchovy larvae.	93
Fig.36. Microphotographs of myotomal muscle fibers of anchovy	

larvae.	96
Fig.37. Scatter diagram of anchovy egg abundance (No./1,000m ³) on the T-S diagram.	101
Fig.38. Scatter diagram of anchovy larvae abundance (ind./1,000 m ³) by the body size (TL) on the T-S diagram.	103
Fig.39. Interannual variations of climatic factors in the southern region of Korea from 1971 to 2002.	113
Fig.40. Annual changes of air temperature anomalies in the southern region of Korea from 1971 to 2002.	115
Fig.41. Annual changes of precipitation anomalies in the southern region of Korea from 1971 to 2002.	117
Fig.42. Annual changes of wind speed anomalies in the southern region of Korea from 1971 to 2002.	119
Fig.43. Annual changes of relative humidity anomalies in the southern region of Korea from 1971 to 2002.	121
Fig.44. Interannual variations of surface sea temperature (SST) in the South Sea of Korea from 1971 to 2002.	123
Fig.45. Interannual variations of surface sea salinity (SSS) in the South Sea of Korea from 1971 to 2002.	123
Fig.46. Variation of sea surface temperature (SST) anomalies in the South Sea from 1971 to 2002.	125
Fig.47. Variation of sea surface salinity (SSS) anomalies in the South Sea from 1971 to 2002.	128
Fig.48. Fluctuations in annual catches of total fish and anchovy in Korea from 1971 to 2002.	130
Fig.49. Fluctuations in percent composition of anchovy catch compared with the catch of total fish in Korea from 1971 to 2002.	130
Fig.50. Annual changes in anchovy catch by each sea area of Korea from 1971 to 2002.	132
Fig.51. Annual changes in percent composition of anchovy catch	

in the each sea area from 1971 to 2002.	132
Fig.52. Composition of anchovy catch by the fishing methods in South Sea of Korea from 1971 to 2002.	134
Fig.53. Interannual changes of anchovy catch by drag net and drift gill net fishery in the South Sea of Korea from 1971 to 2002.	135
Fig.54. Monthly frequency in mean catch of anchovy in the South Sea of Korea during 32 years.	136
Fig.55. Annual changes in seasonal catches of anchovy by drag net fishery in the South Sea of Korea during 1971~2002. ...	139
Fig.56. Annual changes in percent composition of seasonal catches of anchovy by drag net fishery from 1971 to 2002. ..	139
Fig.57. Annual changes in seasonal catches of anchovy by drift gill net fishery in the South Sea of Korea during 1971~2002.	141
Fig.58. Annual changes in percent composition of seasonal catches of anchovy by drift gill net fishery from 1971 to 2002.	141
Fig.59. Interannual variations of the annual SOI anomaly, the annual SST anomaly in NINO 3 and South Sea, and the annual catch of anchovy from South Sea.	143
Fig.60. Horizontal distribution of SST anomalies in the cases of the years with bad catch by drag net and drift gill net in the South Sea during winter.	153
Fig.61. Horizontal distribution of SST anomalies in the cases of the years with good catch by drag net and drift gill net in the South Sea during winter.	154
Fig.62. Interannual variations in the observed values and the estimated catch of standardized values of drag net fishery and drift gill net fishery in the South Sea of Korea in winter by the regression equations shown in Table 20 and Table 21,	

respectively. 159

Fig.63. Schematic figure showing the expectational movement of anchovy larvae in the Jeju strait and its adjacent water in summer. 190

Fig.64. Schematic diagram showing the effects of the early 1990s climatic changes on Pacific anchovy population in South Sea of Korea during winter. 201



List of Tables

Table 1. Sampling information performed in this study	15
Table 2. Mean water temperature at each depth in the study areas	26
Table 3. Mean salinity at each depth in the study areas	28
Table 4. Comparisons of mean abundances of anchovy eggs and larvae collected by a Bongo net with two different mesh sizes (333 μm and 505 μm) in July 2001	51
Table 5. Mean abundance of anchovy eggs collected in the western part of the South Sea included Jeju Strait, Korea	56
Table 6. Mean abundance of anchovy larvae collected in the western part of the South Sea included Jeju Strait, Korea	57
Table 7. Mean abundance of anchovy eggs by the developmental stages in the study area	61
Table 8. Mean abundances of anchovy eggs and larvae collected in the northern part of Jeju Strait from May to November, 2002 and April, 2003	71
Table 9. Mean abundances of anchovy eggs and larvae collected in the eastern part of Jeju Strait from June to October, 2003	82
Table 10. Linear regression analysis of total number of fibers and cross-sectioned area on total length in anchovy larvae	91
Table 11. Developmental characteristic of fins according to the body size (TL)	97
Table 12. Development of caudal fin in anchovy larvae	99
Table 13. Correlation coefficients among anchovy egg, larvae abundance and each environmental factors	106
Table 14. Correlation coefficients between the abundances of anchovy eggs and larvae and environmental factors in the	

northern part of Jeju Strait	108
Table 15. Multiple regression analysis to determine the variables (X) effects on the abundances of anchovy egg (Y_1) and larvae (Y_2)	110
Table 16. Correlation coefficients between the environmental factors and the catches of anchovy by drag net in the South Sea from 1971 to 2002	145
Table 17. Correlation coefficients between the environmental factors and the catches of anchovy by drift gill net in the South Sea from 1971 to 2002	147
Table 18. Comparison of environmental factors between the cases of the years with bad catch and the years with good catch by anchovy drag net and drift gill net fishery in winter on the South Sea, Korea	152
Table 19. Multiple regression analysis to determine the component effects on the catch of anchovy(Y_1) by drag net in winter in the South Sea from 1971 to 2002	157
Table 20. Multiple regression analysis to determine the component effects on the catch of anchovy(Y_2) by drift gill net in winter in the South Sea from 1971 to 2002	158
Table 21. Comparison of chlorophyll a concentration in South Sea, Korea	161
Table 22. Comparison of copepod and sagitta abundance in South Sea, Korea	163
Table 23. Comparison of anchovy egg and larvae abundance in South Sea, Korea	168

요약

제주해협 및 그 주변해역에서 2001년부터 2003년 사이 3년간 멸치 난·자치어의 분포와 그 분포에 영향을 미치는 환경요인들과의 관계를 분석하였다. 또한 1971년부터 2002년까지 32년간 남해 멸치의 자원량 변동과 한반도 기상 및 남해의 해황 변화 사이의 관계도 분석하였다.

난·자치어 분포특성으로 미루어 보아 멸치 성어들은 수온이 약 15℃ 이상이 될 때 산란해역내 엽록소 a 농도가 높고 동물플랑크톤 현존량이 빈약한 연안역 부근에서 주로 산란하며, 시기적으로는 상대적으로 바람이 약하고 강수량이 많은 여름철에 집중적으로 산란하는 것으로 추정된다. 멸치 자치어들은 유영능력이 향상된 개체일 수록 20℃ 이상의 고수온, 32% 이하의 저염분 그리고 엽록소 a 농도가 낮고 요각류가 풍부한 해역에 많이 분포하였다. 따라서 제주해협 및 그 주변해역에서는 주로 여름철 남해안측 연안역이나 섬 주변역에서 산란되어 부화한 멸치 자치어들은 일정 기간동안 산란장 부근에서 색이활동을 하며 머무르다가 성장하면서 차츰 산란장 외해측으로 이동하여 이곳을 성육장으로 활용하고 있는 것으로 추정되었다.

장기간 남해의 멸치 생산량 변동과 기상 및 해황 변화와의 관계를 분석한 결과 타 계절에 비해 겨울철에 변화 양상이 뚜렷하였다. 1990년대에 들어서부터 우리나라 남부의 겨울철 기후체제가 온난화 양상으로 전환되었고 남해의 수온상승 현상도 지속적으로 나타나고 있었다. 이시기부터 기선권현망 어업과 유자망 어업에 의한 겨울철 멸치 생산량이 뚜렷하게 증가하였다. 결론적으로 1990년대의 겨울철에 우리나라 남부의 기온 상승 및 남해 수온상승과 같은 물리적 환

경변화는 먹이생물 증가와 같은 멸치 가입과 성장에 유리한 환경이 조성된 계기가 되어 멸치 자원량이 증가한 것으로 판단된다.



Summary

The distribution of eggs and larvae of anchovy, *Engraulis japonica* and its relationship with environmental marine and meteorological factors in the Jeju Strait and its adjacent water, were investigated for 3 years from 2001 to 2003. The relationships among the long-term variations of climate in the southern part of the Korean peninsula, and oceanic conditions of the South Sea, and the variation of anchovy catches were analyzed using the time-series data for 32 years from 1971 to 2002. Egg density was high in the coastal waters and in the vicinity of Islands where water temperature was over 15°C, chlorophyll *a* concentration was high and zooplankton abundance was low. Larger larvae (> 15.0 mm TL) were abundant in the area of high temperature (> 20°C) and low salinity (< 32‰) with lower chlorophyll *a* concentration and higher copepod abundance. The main spawning season of anchovies was summer when the northwesterly wind was weak and precipitation was concentrated. It suggests that hatched anchovy larvae grew in the coastal water until the size reached over 15 mm TL, and then larger larvae moved out to the offshore in summer. The climatic conditions such as air temperature, wind speed and relative humidity in the southern part of Korean peninsula have been shifted to be a warm regime in the early 1990s especially in winter. The SST in winter in the South Sea became consistently higher since the early 1990s. Winter catches of anchovy has been

increased from the early 1990s for drag net fishery and from the late 1990s for drift gill net fishery. During the years of high anchovy catch in the South Sea during winter, climate conditions were characterized by relatively higher air temperature, relative lower humidity and weak wind speed, and by higher SST anomalies in the South Sea. It suggests that the increase of anchovy catch in winter seems to be caused by an environmental change in connection with a warmer winter since the early 1990s.



제1장 서론

1. 연구배경

멸치류, 청어류, 정어리류, 고등어류 등으로 대표되는 중소형표층성 어류들은 전 세계의 해양에 광범위하게 분포하는 어종들로서 유엔 세계식량농업기구의 보고에 따르면(FAO, 2000) 2000년도에 전 세계 어류 총 생산량의 11.3%에 해당하는 약 10,719,000M/T이 생산될 정도로 세계 여러 나라의 수산업에서 이들이 차지하는 비중은 대단히 높다. 우리나라에서도 이러한 중소형표층성 어류들의 자원량이 최근에 들어서 증가하는 추세를 보이고 있으며 이들에 대한 활발한 어업활동이 이루어지면서 어민 소득에 큰 몫을 담당하고 있다(백과 이, 2000).

이번 연구대상 어종인 멸치(Pacific anchovy, *Engraulis japonica*)는 우리나라의 모든 해역에 분포하지만 주로 남해 일대에 주어장이 형성되어 있으며 그 자원량도 해마다 꾸준히 증가하는 추세를 보이고 있다(장 등, 1980; 손 등, 1984; 박과 이, 1991; 백과 이, 2000). 멸치에 대해서는 과거부터 난·자치어의 분포(임과 옥, 1977; 김, 1983), 산란(최와 김, 1988; 김과 강, 1992), 성장(김과 김, 1986; 차, 1990), 식성(박과 차, 1995) 등 생물, 생태학적 분야를 비롯하여 어장 형성(김 등, 1998; 이와 김, 1998; 서와 김, 1999), 자원분포(박과 임, 1965; 황과 김, 1977; 김과 김, 1991; 박과 윤, 1996; Kim and Lo, 2001) 등 자원학적 분야에 이르기까지 많은 연구들이 이루어져 왔다.

일반적으로 난과 자치어로 대표되는 어류의 초기생활사에 관한 연

구는 과거부터 국내에서 형태발달, 초기성장, 섭식생태, 종조성, 분포 현황 등을 중심으로 활발한 연구가 진행되어 왔다. 특히 난·자치어의 분포에 영향을 미치는 환경요인에 관한 연구는 향후 해당 어종의 신규가입량 예측 및 자원량 평가에도 유용하게 활용될 수 있으므로 매우 중요하지만 지금까지의 연구는 주로 해류나 수괴의 분포 등 물리적인 상황에 중점을 두어 논의한 것들이 거의 대부분이다 (유, 1991; 추와 김, 1998; 김과 유, 1999; 전과 차, 2001). 그러나 우리가 알고 있는 해양의 생태계 구조는 물리적인 요인뿐만 아니라 다양한 환경요인들이 서로 복잡하게 얽혀 있고, 자치어인 경우에는 성장함에 따라 유영능력이 향상되며 이들의 체급에 따라서도 분포 양상의 차이가 예상되므로 결국 해양의 물리적인 요인만을 가지고 난·자치어의 분포상황을 상세히 설명하기에는 한계가 있을 것이다. 이러한 한계를 극복하기 위해서 앞으로 난·자치어의 분포를 연구함에 있어서는 성어들의 산란시기 결정에 있어 산란해역의 해황을 포함하여 해역의 기상상황 등과 어떠한 관련이 있는지 등을 이들의 재생산 전략 차원에서 접근하는 시도가 이루어져야 할 것이다. 이에 더하여 자치어의 분포와 먹이생물, 포식생물과 같은 생물적인 환경요인과는 어떠한 관련이 있는지, 또한 체급에 따른 자치어의 유영능력 차이가 이들의 분포양상에 어떠한 영향을 미치는지 등 여러 요인들을 복합적으로 고려하면서 논의해 나가야 할 것이다.

멸치는 서식 해역내의 서로 다른 환경변화에 대응하면서 자신들의 재생산전략을 바꾸어 가며 종족을 유지하는 생태적 특성을 지닌 것으로 알려져 있다(Bakun and Parrish, 1991; 松浦, 1992; 船木·青木, 1999). 이러한 생태적 특성에도 불구하고 남해에서 멸치들이 환경변화에 어떻게 적응하고 어떠한 재생산전략을 취하며 서식하고 있는지에 대해서는 아직까지 자세히 밝혀지지 않았다. 또한 멸치 난·자치어의 분포 및 생존에 환경요인들이 어떠한 영향을 끼치고

있는지에 대해서도 불분명하다. 남해의 수산업에서 멸치가 차지하는 비중이 매우 높다는 것을 감안했을 때 이들의 재생산 전략을 파악하고 초기생활사 시기에 있어서 이들의 분포와 이에 영향을 미치는 여러 외부 환경요인들과의 관계를 규명하는 것은 향후 남해 멸치 자원의 보존 및 체계적인 관리를 위해 시급히 수행되어야 할 과제 중 하나이다.

해양은 지구표면의 70% 이상을 차지하고 있기 때문에 해양의 유동은 지구의 기후변화에 영향을 미치게 되며 또한 기후의 변화로 인해 해양의 여러 가지 물리적 현상들이 발생하는 등 지구의 해양과 기후는 서로 밀접하게 연관되면서 변화하고 있다. 그리고 이러한 변화에 해양생태계가 반응하면서 서로 균형을 이루고 있다. 그런데 최근 들어 무분별한 산림훼손에 따른 온실가스의 증가 등으로 인해 지구온난화와 같이 지구의 기후체제가 급속도로 변화하고 있으며 이로 인해 여러 곳에서 해양생태계의 변화가 감지되고 있다 (Graham, 1995; Montevocchi and Myers, 1997; Planque and Taylor, 1998).

지리적으로 북태평양 서쪽에 위치하고 있는 우리나라에서도 1990년대에 들어 대기온도가 상승하고(Kwon *et al.*, 2003), 집중강수현상이 증가(Choi, 2002)하는 등 온난화의 징후가 뚜렷하게 나타나고 있으며 이에 따라 연근해의 수온상승(Hahn, 1994), 동물플랑크톤 분포 밀도의 변동(강과 정, 2000), 주요 어종의 어황 변화(박 등, 2000) 등 우리나라 기후체제의 변화에 따른 연근해의 해황 및 생태계가 반응하고 있음이 밝혀지고 있다. 이러한 변화에 주목하여 최근에 와서 국내 연구자들에 의해 우리나라 주변해역들을 중심으로 장기간의 기상 및 해황 변화에 따라 해양 생태계가 어떻게 반응하는지에 대해 활발한 연구가 이루어지고 있다(Kang and Kim, 2000; Kang *et al.*, 2000; Kim and Kang, 2000; Zhang *et al.*, 2000; Kang *et al.*,

2002; Ginger and Kang, 2003).

이와 관련하여 우리나라 남해에서 주로 어획되는 멸치는 군집을 이루는 성향이 강하며 일생동안 해양의 표층부근에 서식하기 때문에 기후변동에도 매우 민감하게 반응하는 것으로 알려져 있다(김, 2003). 또한 멸치는 자어부터 성어단계에 이르기까지 다양한 해양생물들의 공통적인 먹이생물이 되는 중간소비자이므로(Odate, 1957; Hayashi, 1966) 이들의 분포와 양적 크기에 따라 남해 생태계의 변화가 예상된다. 이와 같이 멸치가 수산자원학적 또는 생태학적으로 중요한 역할을 담당하고 있음에도 불구하고 아직까지 남해의 멸치를 대상으로 기후변화를 포함한 장기간의 환경변화와 멸치 자원량 변동과의 관계에 대해서 이들의 생태적 특성 등을 충분히 고려하여 구체적으로 논의한 연구는 거의 전무한 실정이다.

2. 남해의 해황 및 어황

남해는 전체 면적이 약 75,000 km², 용적은 약 7,630 km³ 정도로 동해와 황해에 비해 그 규모가 작지만 연중 다양한 수괴들의 출현으로 인해 계절별로 복잡한 해황을 보인다. 남해의 해황에 영향을 미치는 대표적인 수괴로는 쿠로시오 해류로부터 분리하여 오도열도와 제주도 사이를 통과한 후 대한해협을 거쳐 동해로 유입되는 대마난류수, 중국대륙 하천수의 유입에 의해 형성되는 중국대륙연안수, 대마난류의 일부가 제주도 남부를 거쳐 황해로 유입되는 황해난류수, 황해중앙영역의 중·저층에 분포하는 수온 10℃ 이하의 황해중앙저층냉수, 남해안에 존재하는 고유 연안수인 한국대륙연안수 등을 들 수 있으며 계절별로 이 수괴들의 세력이 서로 차이를 보이며 남해의 해황

변화를 주도하고 있다(盧, 1985; Pang *et al*, 1992; 고 등, 1998; 조와 고, 2000).

이와 같이 남해는 계절에 따른 복잡한 해황 특성들로 인해 동해, 황해와는 다른 생태계를 구성하고 있는데(Kim and Kang, 2000; 김, 2003) 특히 남해는 우리나라 전체 출현 어종의 약 70% 이상이 출현할 정도로 어종 다양성이 매우 높은 해역이다(백, 1982; 김과 이, 1994; 김과 고, 2003; 이, 2004). 또한 남해는 굴곡이 심한 해안선과 많은 섬들이 존재하고 따뜻한 대마난류의 영향으로 인해 다양한 정착성 어류들이 서식하는 동시에 이곳을 거쳐 회유하는 주요 어종의 산란장 내지는 성육장으로서도 중요한 역할을 하고 있다. 이러한 여건 등으로 인해 국내 연근해 어업에서 생산되는 전체 어류 중 남해에서 생산되는 비율은 1980년대는 평균 70% 이상, 1990년대에는 평균 80% 이상(김, 2000)을 차지할 정도로 우리나라 수산업에 있어서 남해가 담당하는 비중은 아주 높다. 이번의 연구대상 해역인 제주해협 및 그 주변해역도 다양한 해황 변화와 여러 종류의 회유성 어종들의 길목이 되는 지리적 여건 등으로 인해 연중 방어, 삼치, 갈치, 고등어, 멸치, 정어리, 오징어 등과 같은 주요 수산자원 어종들의 어장이 형성되는 해역(국립수산진흥원, 1998)으로서 수산학적 가치가 매우 높은 해역이라 할 수 있다.

3. 멸치의 분포 및 생태적 특성

멸치에 관하여 우리나라 주변해역에서의 일반적인 분포현황 및 산란, 성장, 섭이 등과 같은 일반적인 생태적 특징들에 대해 현재까지 국내외에서 보고된 결과들을 바탕으로 정리해 보면 다음과 같다.

1) 우리나라 주변해역에서 멸치의 분포현황

우리나라 근해에서 계절별 멸치의 분포 및 이동상황은 당시 해황에 따라 다소 차이가 날 수 있으나 일반적으로 겨울철인 1~2월에는 남해의 연안전선 이남 해역과 일본 큐슈 서쪽해역에서 월동하다가 봄철인 3월 수온이 상승하면서 남해 연안역으로 내유하기 시작하여 남해에 어장을 형성하고 가을철까지 분포하게 된다. 여기서 일부 무리들은 각각 동해와 황해로 북상하는데 동해 북상군은 6월에 강원도 연안까지 이르고 황해 북상군은 7월에 연평도 이북까지 북상회유 한다. 가을철이 되어 수온이 하강하기 시작하면 동해를 북상하였던 어군은 9월부터 남하하기 시작하여 11~12월에 경남연안까지 남하회유 하고, 황해를 북상하였던 어군은 11~12월에 전남연안과 제주도 연안으로 남하회유 한다(장 등, 1980; 국립수산진흥원, 1998).

2) 멸치의 산란

남해안산 멸치의 산란시기는 3~11월, 주산란기는 5~7월로 알려져 있다(임과 옥, 1977; 최와 김, 1988; 국립수산진흥원, 1998). 그리고 12 cm 이하의 개체는 늦봄부터 초여름에 걸쳐 2~3개월간 산란에 참여하는 것으로 추정되고 있다. 멸치의 산란은 22~04시 사이의 주로 야간에 일어나며(畔田, 1981; 高尾 等, 1983; Kawaguchi *et al.*, 1990; 김과 강, 1992; 松岡 等, 1998) 표층부터 20 m 수층 사이에서 산란이 이루어지고 있다(中田·今井, 1981; Iseki and Kiyomoto, 1997; 松岡 等, 2002).

암컷 한 마리당 산란하는 알수는 일본산 멸치의 경우 6,000~26,000개 정도를 낳는 개체가 거의 90%를 차지하고 있으며 성어의 크기가 11.9~13.8 cm 사이 개체들은 7,300~35,000개(평균 23,910개)를 산란한다(宇佐美·杉山, 1962). 또한 암컷 한 마리당 연내 총 산

란수는 약 30,000개로 추정되고 있는데(高尾, 1987) 이는 북미산 멸치, *Engraulis mordax*에서도 대략 20,000~30,000개로 추정(Stephen and Kucas, 1988)되고 있어 서로 유사한 결과를 보여 주고 있다. 우리나라 멸치 암컷 한 마리의 포란수는 23,000~315,000개의 범위로, 최대 난경균 난모세포의 수로부터 추정된 1회 산란수는 1,857~8,223개, 체중 1 g당 산란수는 276~697개(평균 438개)로 보고되어 있다(김과 강, 1992).

멸치는 긴 산란기 동안에 짧은 간격으로 산란을 반복하는 다회산란어로서 산란시의 수온에 반응하여 저수온에서는 크기가 큰 난을 적게 생산하고(大卵少産) 고수온에서는 크기가 작은 난을 많이 생산(小卵多産)하는 재생산전략을 갖고 있는 것으로 알려져 있다(今井, 1987; 船本, 2001). 또, 1회당 산란수나 산란빈도, 산란간격등은 수온 이외의 환경요인이나 생물학적 요인에도 영향을 받아 고수온이면 산란빈도가 높고, 먹이의 양이 많으면 산란간격도 길어진다(今井·楫取, 2000). 또한 멸치의 개체군밀도나 자원량 수준에 따라서도 산란수, 산란간격등 산란상황이 다르게 나타나고 있다(錢谷·木村, 1997).

일본산 멸치의 성숙체장범위는 7.5~10.0 cm, 최소 성숙체장은 약 6 cm 정도로 알려져 있으며 보다 외양에서 산란하는 성어일수록 성숙체장이 대형화하는 경향을 보이는 등, 멸치는 주변환경변화에 따라 성숙체장이 변화하고 있음을 알 수 있다(近藤, 1969; 岡田·和田, 2000; 船本, 2001). 국내의 경우 산란초기인 4~6월에는 10 cm 이상의 개체가 주로 산란에 참여하며 6~8월에는 10 cm 미만의 개체가 뒤늦게 산란에 참여하고 있다(최와 김, 1988).

3) 멸치의 성장

멸치는 태어난 계절, 서식해역의 위치, 수온이나 먹이의 현존량과

같은 주위의 환경, 자원량 수준 등에 따라 성장이 다르다고 알려져 있다(Hayashi and Kondo, 1957; 三谷, 2001). 멸치 알의 수정후 부화에 이르기까지의 소요시간은 산란해역의 수온환경에 따라 차이를 보이는데 남해안산 멸치 수정난의 부화에 소요되는 시간은 5~6월 산란개체는 평균 4.7일, 7~8월 산란개체는 평균 3.2일로 늦봄이나 초여름에 더 많은 시간이 소요되고 있음을 알 수 있다(김, 1992)

멸치 자치어의 성장률에 대한 연구결과는 연구자마다 서로 다른 결과를 보여주고 있는데 자치어의 이석을 가지고 연구한 결과를 살펴보면, 멸치는 자어전기에서는 일간 성장률이 완만하며 자어후기나 치어기에는 성장률이 가장 크게 되고 그 후 지수함수적으로 작아지는 성장곡선을 나타낸다는 것이 밝혀졌다(Tsuji and Aoyama, 1984; 辻, 1985). 또한 辻(1985)에 의하여 멸치 자어기의 성장은 체장 18~19 mm에 변곡점을 가지는 2개의 직선에 가깝다는 것이 판명되었는데 평균성장속도는 18~19 mm 이전에서는 0.69 mm/day, 그 이후에서는 0.4 mm/day가 되고 있다. 국내산 멸치 자치어인 경우도 난황 흡수 후 10일 경에는 체장이 9.2 mm에 달하고 일일성장률은 0.61 mm/day를 보였고, 20일 경에는 체장이 15.1 mm, 일일성장률 0.53 mm/day, 30일 경에는 체장 19.7 mm, 일일성장률 0.37 mm/day, 40일 경에는 체장 22.8 mm, 일일성장률 0.23 mm/day, 50일 경에는 체장 24.7 mm, 일일성장률 0.13 mm/day로 나타나 앞의 보고와 유사한 양상을 보여주고 있다(차, 1990).

멸치 성어의 수명은 2~3세로 알려져 있는데 멸치의 성장을 Hayashi and Kondo(1957)의 여름가을 발생군의 모델에 기초하여 가정한다면, 7월에 태어난 개체는 다음해 1월에는 약 6.5cm, 그 다음해 1월에는 약 12 cm에 달한다(岡田·和田, 2000). 또한 멸치는 서식해역의 환경에 따라 성장차이가 심하므로 체장으로 2세어와 3세어를 구분하는 것은 곤란한 것으로 알려져 있다.

4) 멸치의 섭이

일반적으로 멸치 성어들의 섭이방법은 간혹 대형 플랑크톤 군집과 조우하였을 경우 쪼아먹는 식의 섭이방법을 보이기도 하지만 대부분 여과식 섭이가 주를 이룬다고 알려져 있다(O' Connell, 1972; 魚谷, 1985a). 하지만 자치어 시기의 멸치는 섭이기관이 충분히 발달하지 못하여 구강내의 여과특성치가 낮기 때문에 연속적인 해수여과가 곤란하므로 대부분 쪼아먹는 식의 섭이를 하는 것으로 밝혀졌다(魚谷, 1985a·1985b). 이러한 섭이법은 북미산 멸치 자치어(Hunter, 1972) 또는 청어류(Theilacker and Dorsey, 1980)등의 자치어에서도 공통으로 나타나고 있다. 또한 멸치 자치어들은 야간보다는 주로 주간에만 한정적으로 섭이를 행하고 있다고 알려져 있다(魚谷, 1985b).

지금까지 멸치 자치어의 식성에 관해서는 많은 연구가 이루어져 왔으며 이러한 연구결과에서 거의 공통적인 결과로 멸치 자치어 시기에 있어서는 요각류의 알과 유생들이 이들의 주요한 먹이원이 되고 있다(近藤, 1971; Arthur, 1976; 桑原·鈴木, 1984; 船越, 1984; Ochiai and Tanaka, 1986; 三谷, 1987; 魚谷, 1988; 박과 차, 1995; Uotani *et al.*, 1996; Hirakawa *et al.*, 1997; 井口 等, 1999)

한편, 멸치 자치어의 먹이로서 식물플랑크톤 중에서 와편모조류가 보조먹이로서 자어의 생존이나 성장률을 높일 수도 있지만(川口 等, 1988) 이들이 멸치의 주요 먹이원이 되지는 못하고 오히려 춘·추계의 식물플랑크톤 증식에 따른 요각류 재생산의 응답과 같이 식물플랑크톤 생물량이 멸치의 주요 먹이원인 요각류의 생산을 규정하여 이 시기에 발생하는 멸치들의 먹이용 가능성(food availability)을 좌우하는 기능이 더 높다(井口 等, 1999).

4. 연구목적

본 연구는 남해에서 멸치 난·자치어의 분포특성들이 향후 남해 멸치의 신규 가입량 및 전체 자원량 변동에 어떠한 영향을 미치고 있는지를 추정하기 위한 전 단계의 연구로서 환경요인들과 멸치 초기발육단계 개체의 분포 및 생존관계 및 기상상황을 포함한 여러 환경요인들과 남해 멸치 생산량과의 상호관계 분석을 통해 남해에서 멸치가 증가하고 있는 원인이 무엇인지를 규명하고자 하는데 그 목적을 두었다.

이를 위해 본 연구는 크게 두 가지 측면에서 접근하였다. 첫 번째는 남해에서도 수산자원학적으로 가치가 높은 제주해협 및 그 주변해역을 대상으로 3년에 걸친 조사자료를 통하여 멸치들의 산란현황 및 난·자치어의 분포상황을 정량적으로 상세히 조사하고 이와 동시에 조사당시의 여러 가지 환경상황을 고려하여 이들의 분포와 각종 환경요인들과의 대응 관계들을 조사하였다. 나아가 해양내에서 나타나는 난의 분포특성들을 멸치 성어들의 재생산 전략 그리고 자치어들의 분포특성들을 이들의 생존전략 차원에서 설명하였다.

두 번째는 GLOBEC 프로그램과도 유사한 취지의 연구로서 최근 주목되고 있는 지구온난화 현상과 관련하여 32년간의 장기간 시계열 자료들을 통하여 우리나라 남부의 기후체제 및 남해 해황이 어떻게 변화하고 있는지를 자세히 살펴보고 이러한 기후 및 해황 변화가 남해의 멸치 생산량 변동에 어떠한 영향을 미치고 있는지를 과정규명적인 접근방법을 통하여 규명하였다.

제2장 재료 및 방법

1. 난·자치어 조사해역

1.1 제주해협 및 주변해역

제주해협을 포함한 그 주변해역에 있어서의 멸치 난·자치어 분포는 2001년 7월과 11월, 2002년 6월과 11월, 2003년 10월 등 총 5회에 걸쳐 제주대학교 조사실습선 아라호를 이용하여 조사하였다.

본 연구에서는 조사해역을 총 10개의 해역으로 구분하여 분석하였다(Fig.1). 제주해협(A~D해역)은 Fig.1에서처럼 제주도를 기준으로 하여 동서방향으로는 제주도 동쪽 우도 부근해역($127^{\circ} 00' E$)부터 제주도 서쪽 차귀도 부근($126^{\circ} 07' E$)까지를, 북쪽으로는 보길도 이남 해역($34^{\circ} 06' N$)까지로 정의하였다. 제주해협을 다시 북서부역(A해역), 북동부역(B해역), 남서부역(C해역) 그리고 남동부역(D해역) 등 각각 4개의 해역으로 구분하였다. 또 제주해협을 기준으로 서부 외양역을 북서부 외양역(E해역)과 남서부 외양역(F해역)의 2개 해역으로, 동부 외양역을 북동부 외양역(G해역)과 남동부 외양역(H해역)의 2개 해역으로 각각 구분하였다. 이밖에 남해안에 해당되는 해역은 보길도를 중심으로 서쪽을 거차군도 주변역(I해역), 동쪽은 청산도 주변역(J해역)으로 각각 구분하였다. 참고로 2002년 6월과 11월에는 제주해협(A~D해역) 및 남해안 부근 해역(I, J해역)에 대해서만 조사를 실시하였다.

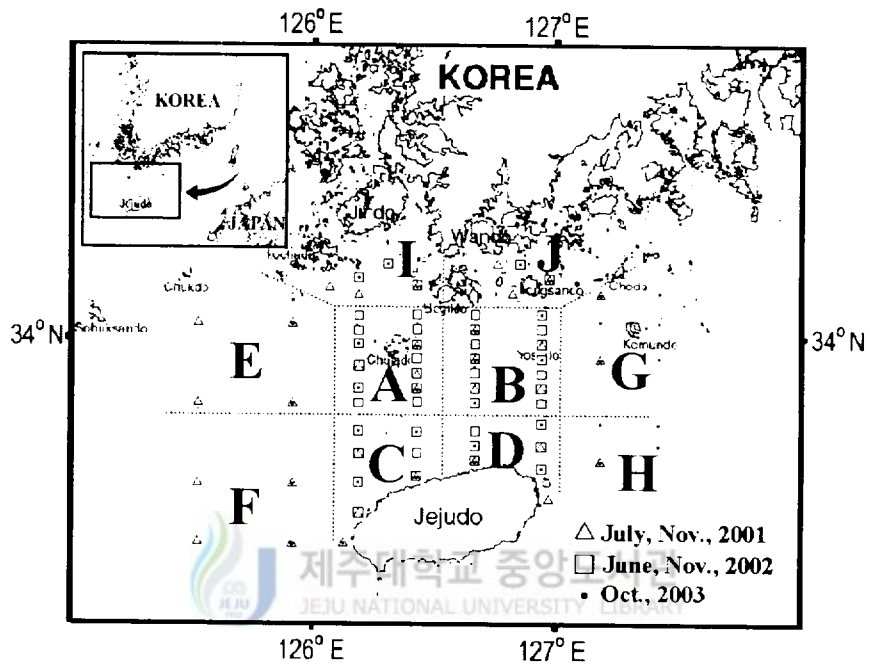


Fig.1. Map showing the sampling sites in the western part of the South Sea included Jeju Strait, Korea.

1.2 제주해협 북부해역

제주해협 북부해역에 해당하는 추자도 부근 해역에 설정된 총 15개 정점을 대상으로 소형선박을 이용하여 2002년 5~11월과 2003년 4월에 매월 1회씩 채집을 실시하였다(Fig.2).

1.3 제주해협 동부해역

제주해협 동부 해역 설정된 총 15개 정점을 대상으로 제주대학교 실습선 아라2호를 이용하여 2003년 6~10월까지 매월 실시하였다(Fig.3).

2. 난·자치어 채집 및 분석

2.1 채집수층



본 연구의 채집에 관련된 사항을 Table 1에 표시하였다. 제주해협 및 주변해역에 있어서 멸치 난·자치어의 채집수층은 2001년 7월과 11월은 10 m, 20 m, 30 m, 2002년인 경우 6월은 표층, 10 m, 20 m, 30 m, 11월은 표층, 10 m, 30 m 이며 2003년 10월은 표층, 10 m, 20 m, 30 m 수층을 대상으로 채집하였다. 참고로 채집정점의 수심이 30 m 부근이거나 30 m가 안되는 남해안에 위치한 정점(I, J해역)에서 채집이 야간에 이루어졌을 경우에는 안전상의 이유로 30 m 수층의 채집을 실시하지 않았다. 한편 제주해협 북부와 동부해역에서는 모두 표층과 10 m 수층에서 채집을 실시하였다.

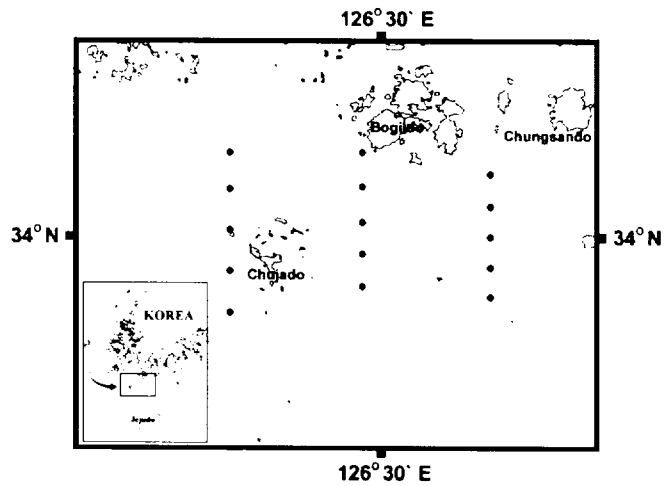


Fig.2. Map showing the study area in the northern part of Jeju Strait. Monthly sample were collected from May to November, 2002 and April, 2003.

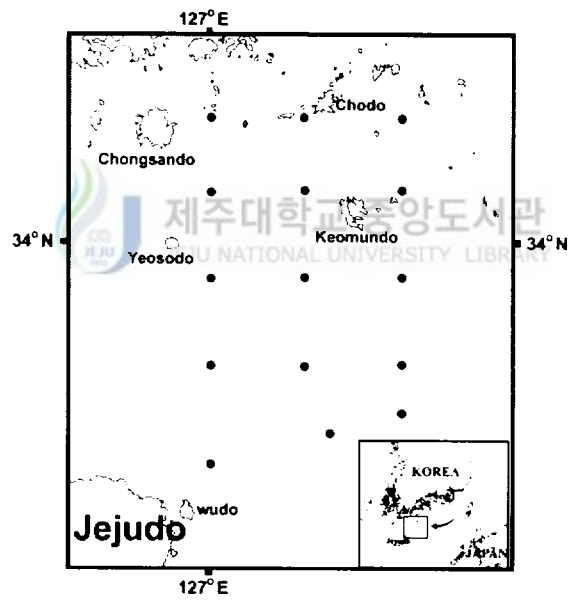


Fig.3. Map showing the study area in the eastern part of Jeju Strait. Monthly sample were collected from June to October, 2003.

Table 1. Sampling information performed in this study

Sampling site	Sampling period	Sampling depth	Sampling gear	Number of station
Jeju Strait and its adjacent water	July, 2001	10 m	Bongo net	37
		20 m	"	
		30 m	"	
	Nov., 2001	10 m	Bongo net	39
		20 m	"	
		30 m	"	
	June, 2002	0 m	MTD net	46
		10 m	Bongo net	
		20 m	"	
	Nov., 2002	0 m	MTD net	46
		10 m	Bongo net	
		30 m	"	
Oct., 2003	0 m	MTD net	38	
	10 m	Bongo net		
	20 m	"		
Northern part of Jeju Strait	May ~ Nov., 2002	0 m	MTD net	15
	April, 2003	10 m	Bongo net	
Eastern part of Jeju Strait	June ~ Oct., 2003	0 m	MTD net	15
		10 m	Bongo net	

2.2 채집방법

멸치 난·자치어의 채집은 MTD 네트(망구 45 cm, 망목 333 μm)와 봉고네트(망구 60 cm, 망목 333 μm 와 505 μm)로 대상수층에서 약 10 분간 2~3kt의 속도로 수평예인하여 채집하였다. 채집시 각각의 네트 입구에는 유량계를 장착하여 단위면적당 여과된 유량을 계산하였다.

2.3 시료처리

채집된 시료는 선상에서 5~10% 해수포르말린으로 고정시킨 후 실험실에서 멸치 난과 자치어만을 따로 분리, 계수하였다. 또, 멸치 난·자치어의 분포밀도는 채집시 네트입구에 부착시킨 유량계의 회전수에 의해 여과수량을 계산한 후 해수 1,000 m³당 개체수로 환산하였다.

멸치 난은 난내 발생 단계에 따라 산란된 후 얼마 되지 않아 배체가 형성되지 않은 난을 I 단계, 배체가 형성되어 있으나 꼬리가 난황에서 떨어져 있지 않은 난을 II 단계, 꼬리가 난황과 떨어져 있는 부화 직전의 난을 III 단계로 하는 총 3 단계로 구분하였다. 멸치 자치어는 채집된 모든 개체를 0.1 mm 단위로 전장(TL)을 측정하였다.

한편, 2001년 7월에 봉고네트에 의해 채집된 멸치 난·자치어들을 대상으로 333 μm 과 505 μm 두 채집망의 서로 다른 망목간 채집되는 생물량의 차이를 비교하였다.

3. 환경

3.1 수온·염분 측정

전 조사 정점에서 CTD(Sea-bird, SBE-19)를 이용하여 모든 채집 수층을 대상으로 수온과 염분을 측정하였다. 본 연구에서 이용한 수온, 염분 자료는 제주대학교 해양산업공학부 어장환경학연구실의 자료임을 밝혀 둔다.

3.2 엽록소 a 측정

연구해역내의 엽록소 a 농도($\mu\text{g}/\ell$)는 각 채집 수층의 해수를 Niskin 채수기로 1ℓ씩 채수한 후 2001년에는 형광광도계(Tuner Designe, Model 10-AU), 2002년과 2003년에는 90 % 아세톤 추출법으로 엽록소를 추출한 후 Parsons *et al.*(1984)의 방법에 의하여 측정하였다.



3.3 동물플랑크톤 채집

각각의 네트에 의해 채집된 시료내에서 요각류와 화살벌레류만을 따로 선별하여 각각의 개체수를 계수한 후 밀도(ind./m³)를 계산하였다.

3.4 기상 자료

2002년과 2003년의 연구기간 동안 제주해협 북부해역인 경우에는 2002년의 추자도와 보길도, 제주해협 동부해역인 경우에는 2003년의 거문도에서의 월별 풍향, 풍속, 강수량 자료를 제주지방기상청으로부터 구하여 사용하였다.

4. 자치어의 유영력 형성체급

4.1 관찰시료

2001년 7월에 제주해협 및 그 주변해역에서 봉고네트에 의해 채집된 약 640개체의 멸치 자치어를 실험에 사용하였다. 이 중 지느러미 발달과정을 조사하기 위한 시료는 자치어의 체급을 1.0 mm 범위로 구분하여 각 체급별로 10~30개체씩을 무작위로 선택하였고, 체측근 발달상황을 조사하기 위한 시료는 전장범위 3.3~30.9 mm의 총 71개체의 멸치 자치어를 사용하였다.

4.2 지느러미 발달

무작위로 선택된 각 체급별 자치어들에 대해 등지느러미, 뒷지느러미, 배지느러미 원기 형성여부 및 줄기수를 각각 계수하였다. 또한 꼬리지느러미는 지느러미 외부형태의 발달변화를 관찰하였다.

4.3 조직학적 검사

시료는 통상 파라핀법에 의해 포매를 행하였고 절편제작시 근육의 횡단부위는 Fig.4에서 보는 바와 같이 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) 측정에는 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. 계측된 면적은 환산하여 실제면적으로 하였고, 이를 두배로 하여 총 횡단면적(total cross-sectioned area)으로 하였다.



5. 한국 남부의 기상

한국 남부의 기상변동 현황을 알아보기 위한 기상자료는 1971년부터 2002년까지의 32년간 목포, 여수, 부산, 제주 등 4개 지역(Fig.5)의 기온, 강수량, 풍속, 상대습도에 관한 자료를 기상청으로부터 구하여 사용하였다. 각 기상요인별 평균값들은 위 네 지역의 값들을 평균하여 사용하였고, 평년편차는 기상요인별로 기상청에서 발표한 1971년부터 2000년까지의 30년 동안의 월별 평균값과 각 지역별 월 평균 실제값과의 차를 구한 후 이를 평균하여 사용하였다.

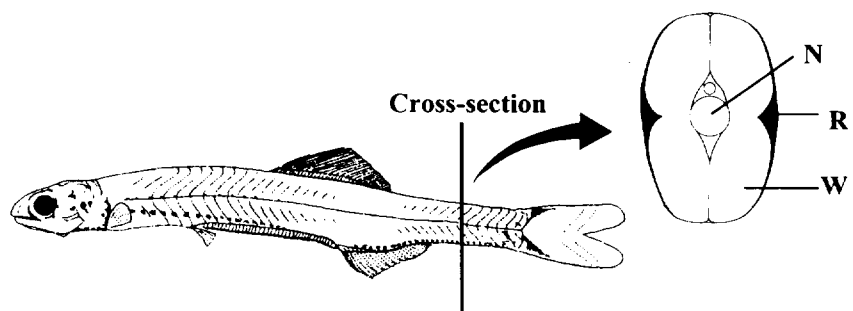


Fig.4. Diagrams illustrating of cross-sections through the pre-caudal region in anchovy larvae.
N, notochord; R, red muscle; W, white muscle.

이번 연구에서는 지난 32년간 우리나라에서 생산되고 있는 멸치 생산량 변동과 ENSO(El Niño-Southern Oscillation)와의 관계에 대해서 살펴보았는데 엘리뇨 발생시기를 파악하기 위한 자료들로서는 호주 북부의 다윈과 남태평양의 타히티의 기압평년편차와의 차이로 정의되는 남방진동지수(SOI, South Oscillation Index) 자료를 호주 기상국(The Bureau of Meteorology Australia)으로부터 제공받았고 또한 열대 동부태평양에 위치하는 엘리뇨 감시해역(NINO 3, 5° N~5° S, 150° W~90° W)의 표층 수온편차 자료는 미국 기후예보 센터(Climatic Prediction Center)로부터 제공받아 사용하였다.

6. 남해의 해황

장기간 남해의 해황 변동현황을 알아보기 위한 수온과 염분 자료는 국립수산과학원에서 실시한 한국 남해 정선관측자료 중 1971년부터 2002년까지의 32년 동안 7개의 관측선(203, 203, 205, 206, 207, 208, 209)의 41개 조사 정점 표층에서 관측한 것을 이용하였다 (Fig.5). 조사시기는 2월, 4월, 6월, 8월, 10월, 12월의 격월의 자료를 사용하였다.

수온, 염분의 평년편차 자료는 한국근해 평년 해황도(국립수산진흥원, 1997a, b)에 나타난 1966년부터 1995년까지 각 정점별 수온과 염분의 평년값과 해당월의 각 정점별 실제관측값과의 차를 구하여 이를 수온과 염분의 평년편차로 사용하였다.

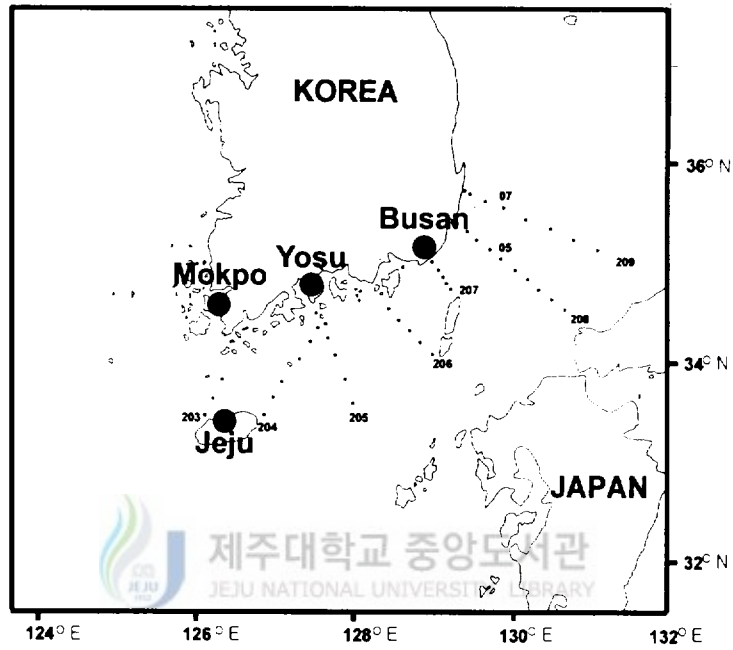


Fig.5. Map showing the meteorological data observation area (black circle) and water temperature and salinity observation stations (dotted points) by NFRDI in the South Sea of Korea from 1971 to 2002.

7. 멸치 생산량

이번 연구에서 사용한 멸치 생산량 자료는 해양수산부(과거 농림수산부)에서 발간한 1971년부터 2002년까지의 어업생산량통계자료 중 연도별, 월별, 어업별, 지역별 멸치 생산량 자료를 이용하였다.

8. 계절 구분

멸치 생산량 자료 및 기상자료에 대한 계절구분에 있어서는 이전해 12월부터 당해 2월까지를 겨울철, 당해 3월부터 5월까지를 봄철, 당해 6월부터 8월까지를 여름철 그리고 당해 9월부터 11월까지를 가을철로 각각 구분하여 사용하였다. 또한 해황 자료인 수온과 염분의 경우에는 이전해 12월과 당해 2월을 겨울철, 4월은 봄철, 당해 6월과 8월은 여름철, 10월은 가을철로 각각 구분하였다.



9. 통계분석

9.1 T-test 검사

2001년 7월에 채집된 멸치 난·자치어에 있어 망목에 따른 생물량 차이에 관한 유의성 조사는 T-test(SPSS 10.0)를 이용하여 분석하였다.

9.2 최소제곱 회귀분석

멸치 자치어의 체측근 관찰에 있어 각각의 근섬유 개수와 횡단면적 자료들에 대한 회귀분석은 최소제곱 회귀분석방법(Least Squares Regression)을 이용하여 분석하였고, 구해진 각각의 회귀직선들은 $\log y = \log a + b \log x$ (y 는 각 근육형질들의 측정값, x 는 전장, a 와 b 는 상수)의 회귀직선식으로 표현하였다.

9.3 상관분석

제주해협 및 그 주변해역에서 채집된 멸치 난·자치어의 해역별 분포밀도와 환경요인들과의 상관성 여부를 알아보기 위해 상관분석(Correlation analysis)을 실시하였다. 또한 계절별 남해 멸치 생산량과 환경요인들과의 관계에 대해서도 상관분석을 실시하였다.

9.4 다중회귀분석

2002년 제주해협 북부해역에 있어 멸치 난·자치어의 분포 및 남해 겨울철 멸치 생산량 변동에 환경요인들이 어떠한 영향을 끼치고 있는지를 알아보기 위해 단계별 투입방식(step-wise method) 다중회귀분석(Multiple regression analysis)을 실시하였다. 다중회귀분석을 행할 시에는 단위의 차이로 인한 오차를 제거하기 위해 $(X_i - \bar{X})/SD$ 의 식을 사용하여 모든 자료를 표준화하였다(Johnson and Wichern, 1988). 여기서 X_i 는 자료 i 의 측정자료, \bar{X} 와 SD 는 각각 평균과 표준편차이다.

제3장 결과

1. 제주해협 및 그 주변해역에서의 멸치 난·자치어 분포와 환경과의 관계

1.1 제주해협 및 그 주변해역에서의 해양과 기상 환경특성

1.1.1 수온·염분 분포

1.1.1.1 제주해협 및 주변해역

1.1.1.1.1 해역별 수온 분포

조사기간 동안 각 해역의 채집 수심별 평균 수온을 Table 2에 나타내었다. 2001년 7월의 전 수층 평균 수온은 H해역이 21.4℃로 가장 높았고 그 다음으로 C, D, F해역이 각각 20.7~20.8℃로 비슷하였다. 반면 I해역은 전 수층 평균수온이 13.1℃로 다른 해역들에 비해 가장 낮았다. 2001년 11월에 있어서도 7월과 마찬가지로 H해역이 21.3℃로 가장 수온이 높았고 그 다음으로 C, D, F해역이 19.0℃ 이상을 보였다. I해역은 14.7℃로 가장 낮았다.

제주해협과 남해안 연안해역에서만 조사를 실시한 2002년 6월은 C해역과 D해역이 모두 18.5℃로 가장 수온이 높았고 그 다음으로 A해역 16.5℃, I해역 16.4℃, J해역 16.0℃의 순이었으며 B해역이 15.6℃로 가장 낮았다. 2002년 11월도 7월과 마찬가지로 C해역이 18.3℃로 가장 수온이 높았고 그 다음으로 D해역 17.9℃, A해역 15.

Table 2. Mean water temperature at each depth in the study areas

Month	Depth	Mean water temperature (°C)											
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J		
July, 2001	10 m	21.3	21.7	23.7	22.9	18.7	25.6	21.1	25.5	14.1	18.3		
	20 m	16.8	18.0	20.5	20.9	14.2	21.0	17.8	20.2	12.8	16.4		
	30 m	14.1	15.8	17.9	18.7	11.6	15.4	15.9	18.5	12.5	15.4		
	Average	17.4	18.5	20.7	20.8	14.8	20.7	18.3	21.4	13.1	16.7		
Nov., 2001	10 m	15.6	16.0	19.4	19.3	16.1	19.0	16.7	21.4	14.8	15.0		
	20 m	15.1	15.9	19.3	19.5	16.3	19.0	16.7	21.4	14.8	15.0		
	30 m	14.8	15.7	18.8	19.4	15.9	18.9	16.7	21.2	14.4	15.0		
	Average	15.3	15.9	19.2	19.4	16.2	19.0	16.7	21.3	14.7	15.0		
June, 2002	0 m	19.0	17.3	21.3	20.8	-	-	-	-	18.5	17.3		
	10 m	17.2	16.5	20.7	19.7	-	-	-	-	16.6	16.2		
	20 m	15.3	14.8	17.2	17.6	-	-	-	-	15.2	15.3		
	30 m	14.5	13.7	14.9	16.0	-	-	-	-	15.2	15.1		
	Average	16.5	15.6	18.5	18.5	-	-	-	-	16.4	16.0		
Nov., 2002	0 m	15.7	15.2	18.2	17.9	-	-	-	-	14.4	14.4		
	10 m	15.5	15.2	18.3	18.0	-	-	-	-	14.4	14.5		
	30 m	15.1	15.2	18.3	17.8	-	-	-	-	13.5	14.6		
	Average	15.4	15.2	18.3	17.9	-	-	-	-	14.1	14.5		
Oct., 2003	0 m	17.2	16.0	19.7	20.2	16.0	20.1	17.7	22.9	15.6	15.2		
	10 m	17.2	15.8	19.7	20.2	15.8	20.1	17.5	22.9	15.3	15.1		
	20 m	16.9	15.3	19.7	20.0	15.4	20.1	17.1	22.6	15.3	14.8		
	30 m	16.1	14.9	19.8	19.7	14.5	20.2	16.3	22.2	15.3	14.7		
	Average	16.9	15.5	19.7	20.0	15.4	20.1	17.2	22.7	15.4	15.0		

4℃, B해역 15.2℃의 순이었다.

2003년 10월에 있어서 각 해역별 수온 분포는 H해역이 전 수층 평균 22.7℃로 가장 높았고 다음으로 D해역, F해역, C해역이 20.0℃ 전후로 높은 값을 나타냈다. 반면에 B해역, E해역, I해역이 15.4~15.5℃의 범위였으며 J해역은 15.0℃로 조사해역 중 가장 낮았다.

이상을 정리해보면, 조사기간 동안 제주해협 남동부 외양역인 H해역이 가장 고수온을 나타냈으며 제주해협 내에서는 남부에 해당하는 C해역, D해역이 비교적 고수온의 경향을 보여주었다. 반면에 남해안에 인접한 I해역과 J해역은 저수온의 경향이 강하였으며 특히 2001년 7월의 I해역에서는 타 해역에 비해 저수온 현상이 아주 심하게 나타났다.

1.1.1.1.2 해역별 염분 분포

조사기간 동안 각 해역의 채집 수심별 평균 염분을 Table 3에 나타내었다. 2001년 7월의 전 수층 평균 염분은 H해역이 32.9‰로 가장 높았고 다음으로 D해역 32.8‰, C해역과 J해역이 32.6‰ 등의 순이었다. 반면에 E해역은 32.0‰으로 해역들 중 가장 염분이 낮았다. 2001년 11월도 7월과 거의 유사한 양상으로 H해역이 34.1‰로 조사해역 중 가장 염분이 높았고 그 다음으로 D해역 33.7‰, C해역 33.4‰ 그리고 F해역과 G해역이 33.3‰의 순이었다. E해역은 32.6‰로 가장 낮은 염분을 기록하였다.

2002년 6월에는 J해역이 33.5‰로 염분이 가장 높았고 B해역 33.4, I해역 33.3‰, A해역 33.1‰의 순이었으며 C해역이 32.7‰로 가장 낮았다. 2002년 11월에는 D해역이 33.0‰로 가장 높을 뿐 다른 해역들은 모두 33.0‰ 이하의 염분을 나타냈으며 그 중 I해역이 32.6‰로 가장 염분이 낮은 특징을 보였다.

2003년 10월에는 H해역이 33.6‰로 염분이 가장 높았으며 그 다음

Table 3. Mean salinity at each depth in the study areas

Month	Depth	Mean salinity (%)									
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
July, 2001	10 m	31.2	31.4	31.7	32.2	31.2	31.2	31.8	31.9	32.2	32.3
	20 m	32.2	32.5	32.8	32.8	32.4	32.0	32.6	33.1	32.4	32.7
	30 m	32.6	33.1	33.4	33.4	32.4	33.4	33.0	33.7	32.3	32.9
	Average	32.3	32.3	32.6	32.8	32.0	32.2	32.5	32.9	32.3	32.6
Nov., 2001	10 m	32.8	33.1	33.4	33.7	32.6	33.2	33.2	34.1	32.7	33.0
	20 m	32.8	33.1	33.5	33.7	32.7	33.3	33.3	34.1	32.8	33.0
	30 m	32.8	33.1	33.4	33.7	32.6	33.3	33.4	34.0	32.8	33.0
	Average	32.8	33.1	33.4	33.7	32.6	33.3	33.3	34.1	32.8	33.0
June, 2002	0 m	32.7	33.2	32.3	32.3	-	-	-	-	33.2	33.4
	10 m	33.0	33.3	32.4	32.7	-	-	-	-	33.2	33.5
	20 m	33.3	33.4	32.9	33.1	-	-	-	-	33.4	33.5
	30 m	33.4	33.6	33.3	33.3	-	-	-	-	33.4	33.5
Average	33.1	33.4	32.7	32.9	-	-	-	-	33.3	33.5	
Nov., 2002	0 m	32.5	32.6	32.3	32.8	-	-	-	-	32.5	32.5
	10 m	32.8	32.8	32.9	33.0	-	-	-	-	32.6	32.9
	30 m	32.9	33.0	33.3	33.1	-	-	-	-	32.7	33.0
	Average	32.7	32.8	32.8	33.0	-	-	-	-	32.6	32.8
Oct., 2003	0 m	31.8	32.4	32.1	32.5	31.8	31.8	32.3	33.3	32.1	32.6
	10 m	32.0	32.6	32.5	33.0	32.3	32.3	32.4	33.8	32.4	32.6
	20 m	32.2	32.8	32.7	33.1	32.4	32.3	32.6	33.7	32.5	32.7
	30 m	32.5	33.0	32.9	33.2	32.5	32.4	32.8	33.7	32.5	32.8
Average	32.2	32.7	32.6	33.0	32.3	32.2	32.5	33.6	32.4	32.7	

으로 D해역 33.0%, B해역과 J해역이 32.7%, C해역 32.6% 순이었다. A해역과 F해역은 32.2%로 조사해역들 중 상대적으로 낮은 염분을 나타냈다.

전체적으로 조사기간 동안 비교적 고염분을 보인 해역들은 제주해협 남동부 외양역인 H해역과 제주해협 남부역에 해당하는 C해역, D해역 등이었다. 또한 연구해역 전체를 놓고 살펴보았을 때 제주해협 서부역(A해역, C해역)과 그 외양역(E해역, F해역)이 제주해협 동부역(B해역, C해역)과 그 외양역(G해역, H해역)에 비해 염분이 낮은 특징을 나타내었다.

1.1.1.1.3 수온·염분의 수평 분포

제주해협 및 그 주변해역에서 실시한 총 5회의 조사 중 2001년 7월에 관측된 해역내 수온·염분의 수층별 수평분포 현황을 Fig.6에 나타냈다.

10 m 수층은 전체적으로 수온범위가 12.9~26.3℃였다. 제주도 주변해역은 대마난류수의 영향으로 인해 22.6~26.3℃의 고수온의 해수가 존재하고 있었고 남해안으로 접근할수록 점차 수온이 낮아지는 경향을 보였다. 특히 제주해협 북서부 외양역(E해역)부터 제주해협 북부역(A~B해역) 그리고 제주해협 북동부 외양역(G해역)에 걸쳐 강한 수온 전선대가 동서방향으로 길게 형성되고 있었다. 염분은 28.8~32.7‰의 범위를 보였으며 제주해협 남서부 외양역(F해역)은 중국대륙연안수의 영향으로 28.8‰ 정도의 저염분대 해수가 제주해협 내로 유입되고 있었다. 또 청산도 주변역(J해역)을 중심으로 남해안 연안을 따라 염분전선대가 형성되었으며 남해안 연안쪽이 상대적으로 고염의 특성을 보였다.

20 m 수층의 수온범위는 12.1~23.1℃로 10 m 수층 보다 평균 3~4℃ 정도 수온이 낮게 형성되었다. 제주도 주변에는 20℃ 이상의 고수온의 수괴가 분포하였고 제주해협의 남서부 외양역(F해역)을 시작

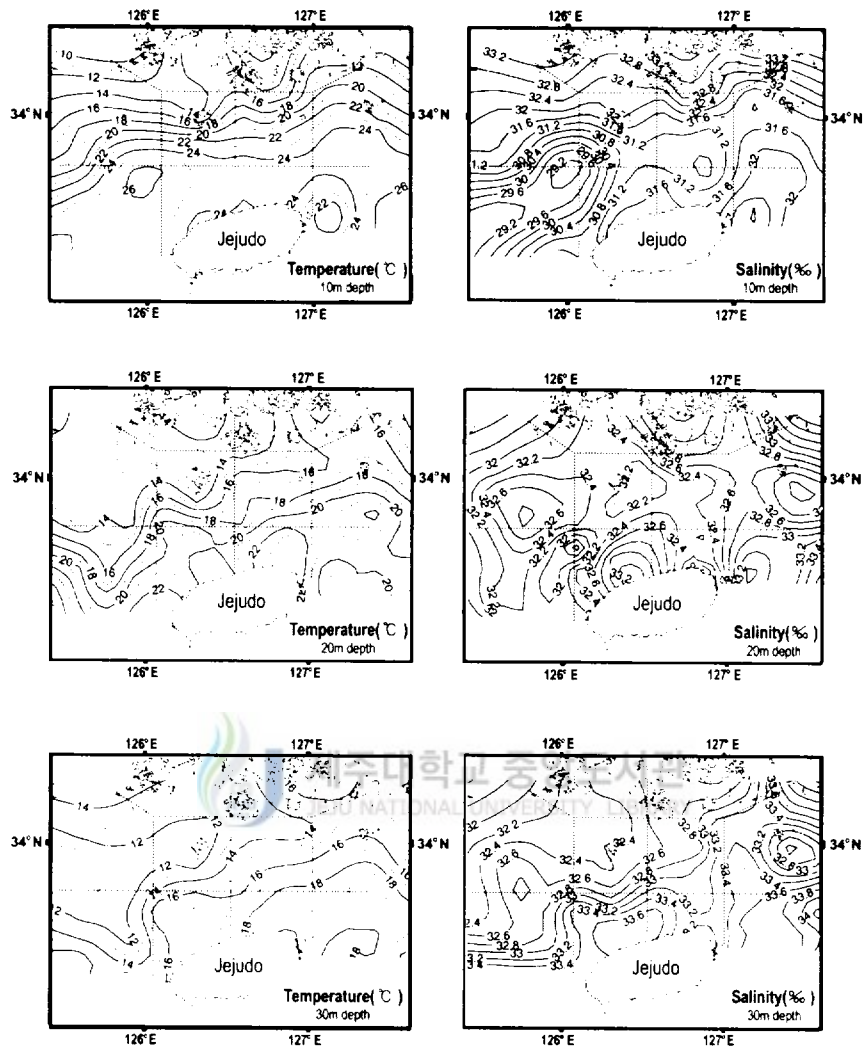


Fig.6. Horizontal distribution of water temperature (°C) and salinity (‰) at the depths of 10 m, 20 m and 30 m in July, 2001.

으로 북동방향으로 수온전선대가 비스듬하게 형성되었다. 염분은 31.4~33.4‰의 범위로 10m 수층에 비해 평균 1‰정도 염분이 높았으며 10 m 수층에서와 같은 저염분대의 해수는 출현하지 않았다. 그리고 제주해협 남서부역(C해역)과 제주해협 동부 외양역(G, H해역)에 비교적 고염의 해수들이 분포하고 있었다.

30 m 수층은 수온범위가 10.2~20.7℃로 20 m 수층에 비해 평균 2~3℃ 낮은 분포범위를 보였는데 등온선의 분포는 20 m 수층과 비슷한 양상이 나타났다. 염분은 32.1~34.0‰의 범위로 20 m 수층에 비해 평균 0.5‰정도가 높았고, 등온선의 분포와 유사한 양상으로 제주해협 남서부 외양역(F해역)에서부터 북동방향으로 비스듬하게 염분전선대가 형성되고 있었다.

1.1.1.2 제주해협 북부해역

제주해협 북부해역의 수온·염분 월별 변화를 Fig.7에 나타냈다. 표층 수온은 4월 11.0℃에서 점점 상승하여 8월에 24.9℃로 가장 높았고 이후 낮아져 11월에 15.1℃로 하강하였다. 10 m 수층도 표층과 유사하게 4월부터 상승하여 9월에 23.3℃로 가장 높았으며 이후 다시 하강하면서 11월에 14.8℃가 되었다. 대체적으로 표층이 10 m 수층 보다 약 1℃ 정도 수온이 높았다.

표층 염분은 5월 33.4‰로 가장 높았으나 점차 하강하여 8월에 28.5‰로 가장 낮았고 이후 다시 상승하여 11월에 32.5‰를 기록하였다. 10 m 수층도 표층과 유사하여 4월에 33.5‰로 가장 높았으나 이후 하강하여 8월에 30.4‰이었으며 다시 상승하여 11월에 32.8‰를 나타냈다.

결과적으로 수온은 7~9월에 20℃이상의 고수온, 염분은 8~9월에 31‰ 이하의 저염분을 나타내고 있어서 여름철에 고수온·저염분

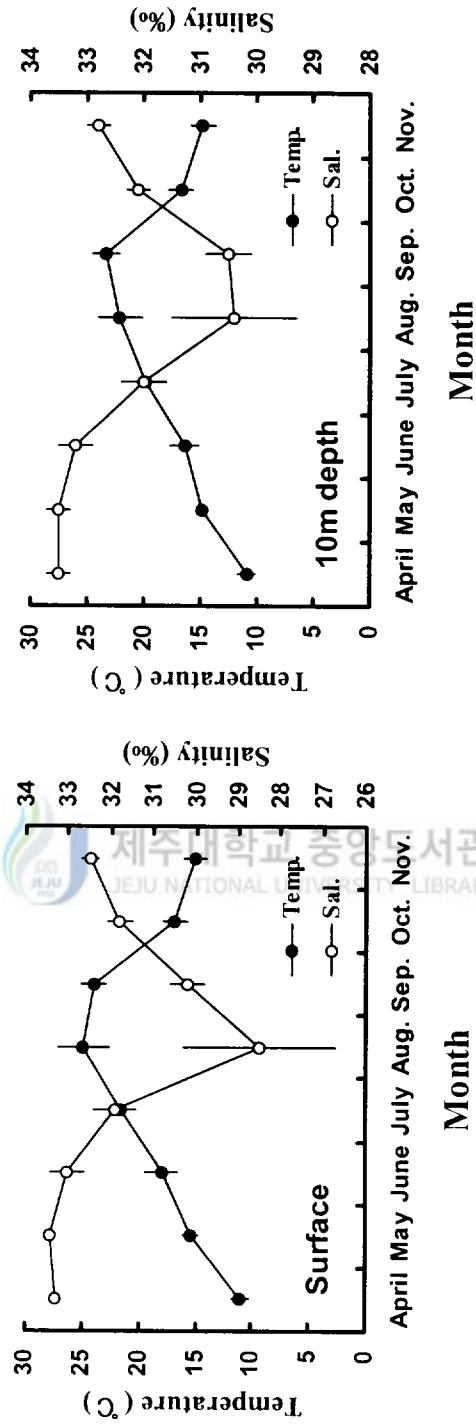


Fig.7. Monthly variation in mean water temperature ($^{\circ}\text{C}$) and salinity (‰) in the northern part of Jeju Strait from May to November, 2002 and April, 2003.

현상이 나타나는 온대해역의 전형적인 계절적 패턴을 보여주고 있었다.

1.1.1.3 제주해협 동부해역

제주해협 동부해역의 수온·염분 월별 변화를 Fig.8에 나타냈다. 표층 수온은 6월 20.1℃에서 점점 상승하여 8월에 26.7℃로 가장 높았고 이후 낮아져 10월에 18.5℃로 하강하였다. 10 m 수층도 표층과 유사하게 6월 19.3℃에서 점차 상승하여 8월에 24.6℃로 가장 높았으며 이후 다시 낮아지면서 10월에 18.3℃가 되었다. 대체적으로 표층이 10 m 수층 보다 약 1~2℃ 정도 수온이 높았다.

표층 염분은 6월 32.3‰에서 점차 하강하여 8월에 30.3‰로 가장 낮았고 이후 다시 상승하여 10월에 32.5‰를 기록하였다. 10 m 수층도 표층과 유사하여 6월 32.6‰에서 이후 하강하면서 8월에 31.2‰이었으며 다시 상승하여 10월에 32.8‰을 나타냈다.

따라서 제주해협 동부해역도 북부해역과 유사하게 7~9월에 20℃ 이상의 고수온, 32‰ 이하의 저염분 현상이 나타나고 있었다.

1.1.2 엽록소 a 농도와 동물플랑크톤 분포현황

1.1.2.1 제주해협 및 주변해역

1.1.2.1.1 해역별 엽록소 a 분포 현황

제주해협 및 주변해역에 있어서 총 5회에 걸쳐 조사한 해역별 엽

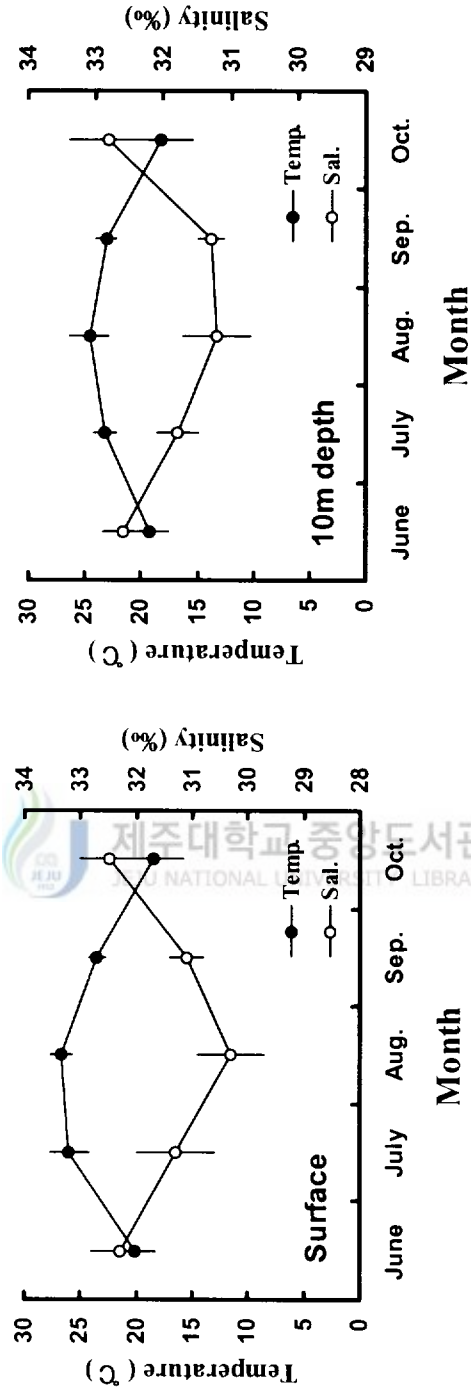


Fig.8. Monthly variation in mean water temperature (°C) and salinity (‰) in the eastern part of Jeju Strait from June to October, 2003.

록소 a 농도를 시기별로 구분하여 Fig.9에 나타냈다.

2001년 7월에 있어서는 G해역이 평균 $0.938 \mu\text{g}/\text{l}$ 로 엽록소 a 농도가 가장 높았고 다음으로 I해역 $0.912 \mu\text{g}/\text{l}$, J해역 $0.878 \mu\text{g}/\text{l}$, A해역 $0.830 \mu\text{g}/\text{l}$ 의 순이었다. 그 이외의 해역들은 모두 $0.8 \mu\text{g}/\text{l}$ 미만을 보였으며 특히 H해역은 $0.603 \mu\text{g}/\text{l}$ 로 조사해역 중 농도가 가장 낮았다.

2001년 11월은 F해역이 $0.942 \mu\text{g}/\text{l}$ 로 가장 높았고 C해역 $0.934 \mu\text{g}/\text{l}$, A해역 $0.890 \mu\text{g}/\text{l}$, H해역 $0.852 \mu\text{g}/\text{l}$ 의 순이었다. 그 외에 해역들은 모두 $0.750 \mu\text{g}/\text{l}$ 전후의 농도로 분포하였다.

2002년 6월에 있어서는 I해역이 $1.693 \mu\text{g}/\text{l}$ 로 가장 높은 농도를 보였으며 다음으로 J해역 $1.547 \mu\text{g}/\text{l}$, B해역 $1.256 \mu\text{g}/\text{l}$, D해역 $1.071 \mu\text{g}/\text{l}$ 의 순으로 분포하였다.

2002년 11월은 C해역이 $1.089 \mu\text{g}/\text{l}$ 로 엽록소 a 농도가 가장 높았고 D해역 $1.002 \mu\text{g}/\text{l}$, C해역 $1.089 \mu\text{g}/\text{l}$, J해역과 I해역이 각각 $0.960 \mu\text{g}/\text{l}$, $0.914 \mu\text{g}/\text{l}$ 의 순이었다.

2003년 10월에 있어서는 조사해역 중 G해역이 $2.015 \mu\text{g}/\text{l}$ 로 가장 높았고 J해역 $1.559 \mu\text{g}/\text{l}$, C해역 $1.445 \mu\text{g}/\text{l}$, E해역 $1.400 \mu\text{g}/\text{l}$ 의 순이었다. 그 이외의 해역들에서도 다른 월에 비해 모두 $1.2 \mu\text{g}/\text{l}$ 이상으로 높은 값을 형성하였다.

이상의 결과로부터, 조사기간 동안 남해 연안역이나 일부 섬과 인접한 해역에 해당하는 A, I, J, G해역들이 엽록소 a 농도가 상대적으로 높게 나타나고 있음을 알 수 있었다. 또한 전반적으로 10월이 다른 월에 비해 엽록소 a 농도가 높게 나타나고 있었다.

1.1.2.1.2 해역별 동물플랑크톤 현존량

이번 연구에서 각 해역별 동물플랑크톤 현존량 분포는 요각류와 화살벌레류로 구분하여 Fig.10과 Fig.11에 각각 나타내었다.

1.1.2.1.2.1 요각류

2001년 7월에 해역내 요각류 현존량(Fig.10)은 D해역이 전 수층 평균 142.6 ind./m³으로 가장 많았다. 그 다음으로 I해역 43.0 ind./m³, A해역 39.3 ind./m³, C해역 17.8 ind./m³의 순으로 분포하였으며 J해역이 2.9 ind./m³으로 현존량이 가장 적었다.

2001년 11월은 F해역이 545.1 ind./m³으로 요각류 현존량이 가장 풍부하였으며 다음으로 C해역 418.9 ind./m³, B해역 334.8 ind./m³, A해역 306.9 ind./m³의 순이었고 7월과 마찬가지로 J해역이 11.0 ind./m³으로 가장 적은 현존량을 보였다.

2002년 6월에 있어서는 A해역이 186.8 ind./m³으로 가장 많았고 B해역 126.3 ind./m³, I해역 88.8 ind./m³인 반면에 C해역과 J해역은 50 ind./m³ 이하의 현존량을 보여주었다.

2002년 11월도 6월과 마찬가지로 A해역이 85.6 ind./m³으로 현존량이 가장 많았고 C해역 80.9 ind./m³, D해역 63.9 ind./m³, B해역 39.9 ind./m³의 순이었으며 I해역과 J해역은 상대적으로 현존량이 빈약한 특징을 보여주었다.

2003년 10월에는 H해역이 278.3 ind./m³으로 가장 많았으며 C해역 204.5 ind./m³, G해역 178.8 ind./m³, D해역 168.4 ind./m³의 순으로 분포하였다. 반면에 I해역과 J해역은 각각 8.5 ind./m³, 24.1 ind./m³으로 요각류 현존량이 상당히 빈약하였다.

결과적으로 남해 연안역이나 섬과 인접한 해역에 해당하는 G해역, I해역 그리고 J해역 등에서의 요각류 현존량은 상대적으로 빈약하였으며 또한 시기별로는 10월과 11월이 다른 월에 비해 요각류 현존량이 많이 나타나고 있었다.

1.1.2.1.2.2 화살벌레류

2001년 7월에 화살벌레류 현존량(Fig.11)은 A해역에서 10.7 ind./m³으로 가장 많았고 C해역과 D해역이 9.5~9.6 ind./m³ 정도였다. 그

이외의 해역들은 모두 8.0 ind./m³ 이하였으며 이 중 J해역이 5.8 ind./m³으로 가장 적었다.

2001년 11월은 F해역이 14.6 ind./m³으로 가장 많았고 그 다음으로 C해역 8.6 ind./m³, B해역 5.1 ind./m³의 순이었다. 나머지 해역들은 모두 5.0 ind./m³ 이하로 분포하였으며 7월과 마찬가지로 J해역이 0.4 ind./m³으로 현존량이 가장 적었다.

2002년 6월에는 모든 해역들의 현존량이 4.0 ind./m³ 이하로 적었으며 이 중 A해역 3.8 ind./m³, I해역 3.5 ind./m³, B해역 2.4 ind./m³, J해역 1.5 ind./m³ 등의 순이었다.

2002년 11월에는 A해역이 18.6 ind./m³으로 가장 많았고 C해역이 4.9 ind./m³로 그 뒤를 따랐다. 나머지 해역들은 모두 2.0 ind./m³ 이하였으며 특히 I해역과 J해역은 1.0 ind./m³ 이하로 현존량이 아주 적었다.

2003년 10월에는 H해역이 10.2 ind./m³으로 현존량이 가장 많았고 C해역 9.9 ind./m³, F해역 5.8 ind./m³, G해역 5.3 ind./m³인 반면에 I해역과 J해역은 모두 1.0 ind./m³ 이하로 적었다.

따라서 화살벌레류 현존량도 요각류와 마찬가지로 남해 연안역에 해당하는 I해역과 J해역에서 상대적으로 적게 나타나는 특징을 보였으며 또한 10월과 11월의 현존량도 다른 월에 비해 많게 나타나고 있었다.

1.1.2.2 제주해협 북부해역

제주해협 북부해역에서의 엽록소 a 농도와 요각류 현존량의 월별 변화를 Fig.12에 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.

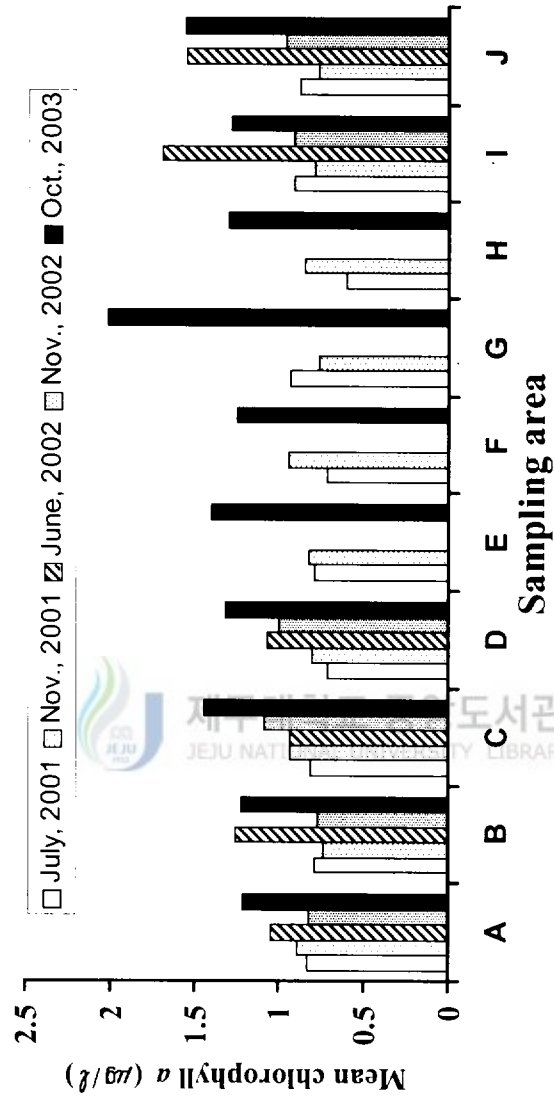


Fig.9. Mean chlorophyll *a* concentration of each sampling area in the western part of the South Sea included Jeju Strait, Korea.

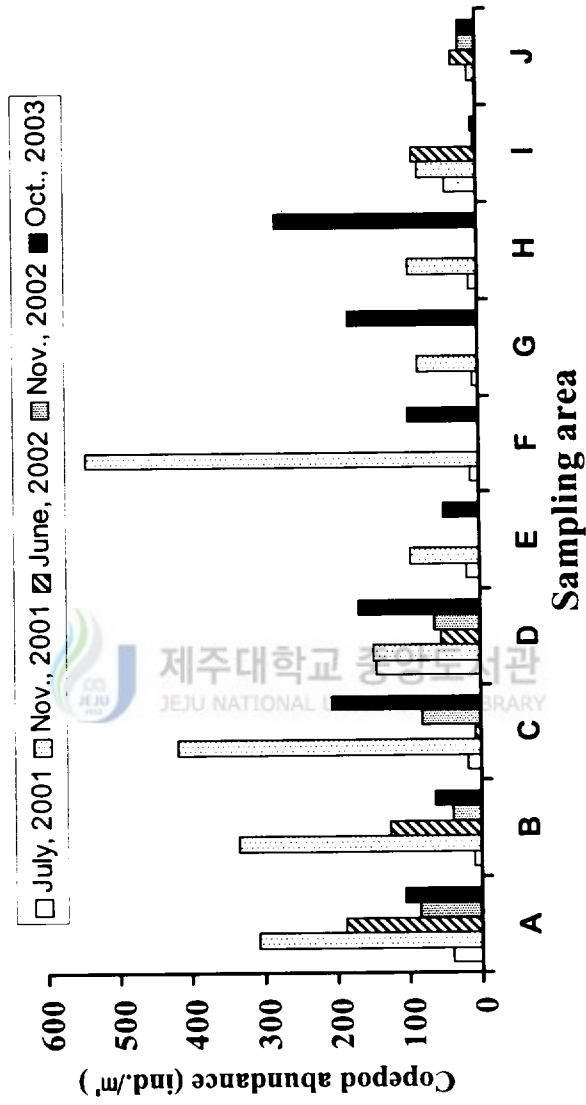


Fig.10. Mean copepod abundance of each sampling area in the western part of the South Sea included Jeju Strait, Korea.

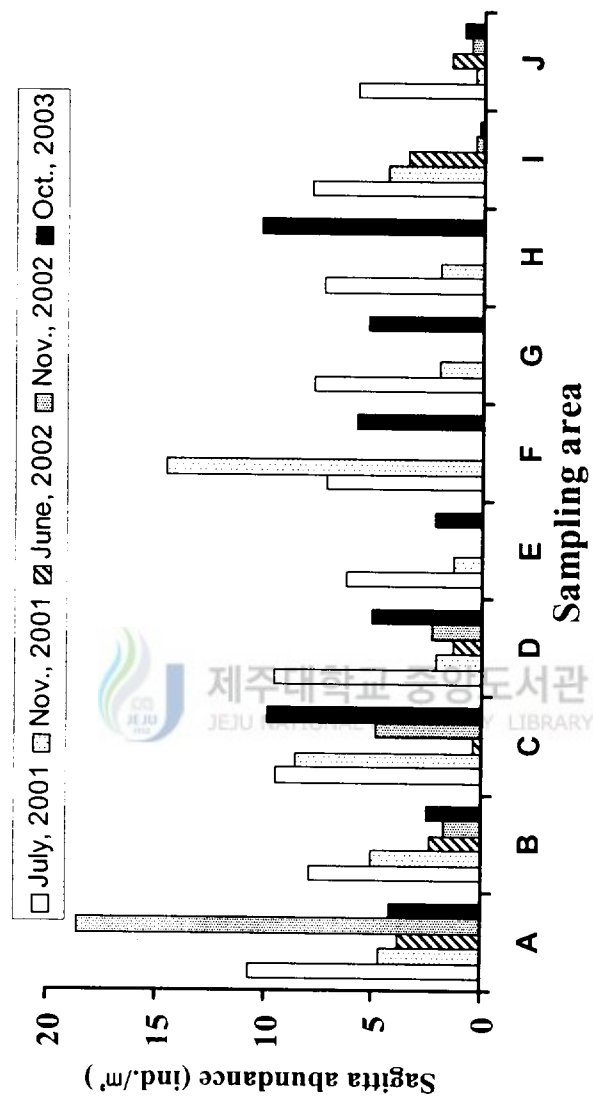


Fig.11. Mean sagitta abundance of each sampling area in the western part of the South Sea included Jeju Strait, Korea.

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./m³정도가 출현하였다.

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

1.1.2.3 제주해협 동부해역

제주해협 동부해역에서의 엽록소 a 농도와 요각류 현존량의 월별 변화를 Fig.13에 나타내었다. 표층 엽록소 a 농도는 1.063(7월)~1.878(9월) $\mu\text{g}/\ell$ 의 범위로 변화하면서 9월에 가장 높았고, 10 m 수층에서는 1.222(6월)~1.755(10월) $\mu\text{g}/\ell$ 의 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 엽록소 a 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.

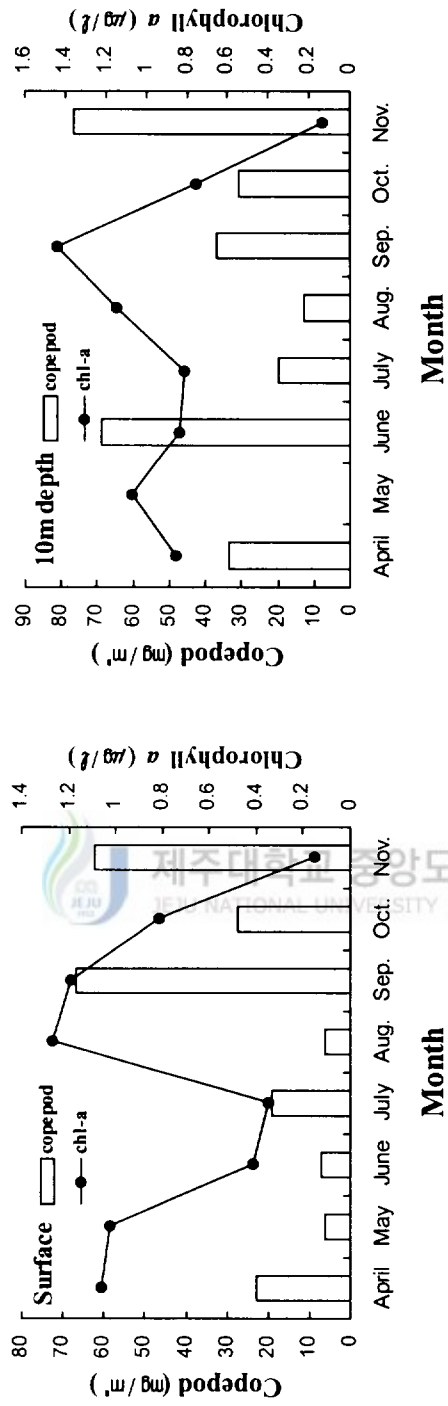


Fig.12. Monthly of mean copepod abundance (ind./m³) and chlorophyll a concentration (µg/l) in the northern part of Jeju Strait from May to November, 2002 and April, 2003.

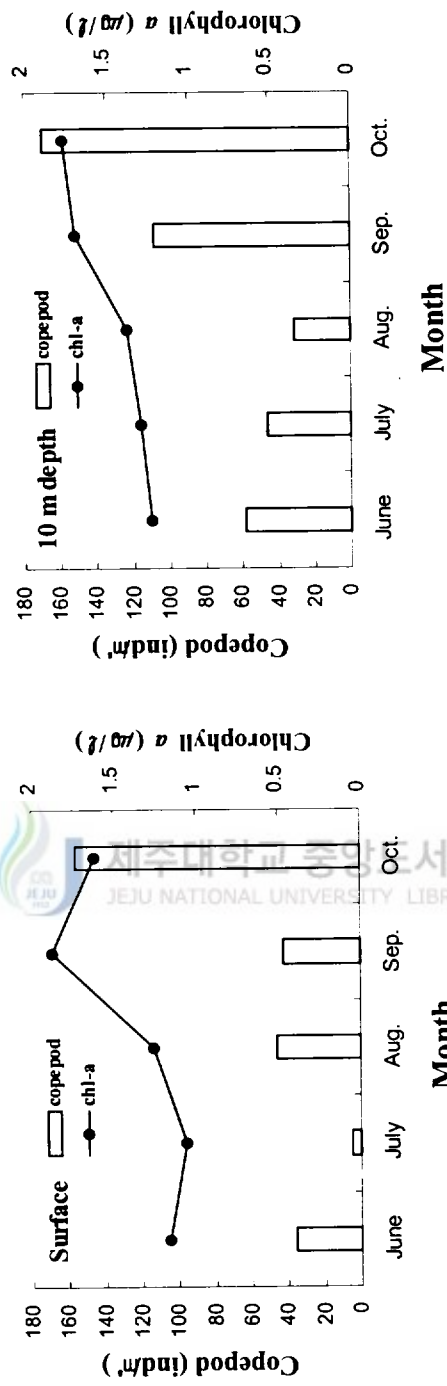


Fig.13. Monthly of mean copepod abundance (ind./m³) and chlorophyll a concentration (µg/l) in the eastern part of Jeju Strait from June to October, 2003.

1.1.3 기상

1.1.3.1 제주해협 북부해역

1.1.3.1.1 강수량의 월별 변화

제주해협 북부해역내에 속해 있는 추자도와 보길도의 월별 강수량의 연간 변동패턴은 서로 유사하여 8월에 추자도와 보길도에서 각각 390.6 mm와 406.1 mm로 피크를 보였고 전체 강수량의 약 54%가 7~8월의 2개월 동안에 집중되고 있었다(Fig.14).

1.1.3.1.2 풍계의 월별 변화

제주해협 북부해역에 있어서 2002년 추자도와 보길도에서의 풍속과 풍향에 대한 한시간 평균 자료를 가지고 바람의 변동양상을 조사하여 Fig.15에 나타냈다.

두 지역에서의 바람 변동패턴은 매우 유사함을 보였는데 1~4월 동안 비교적 강한(평균 풍속 10 m/s 이상) 북서풍 계열의 바람이 우세하게 불다가 5월로 접어들면서 북서풍 계열의 바람은 점차 약해지고 풍향도 점차 남동풍 계열로 전환하였다. 7~9월에는 거의 대부분 평균 풍속이 10 m/s 이하를 보이면서 점차적으로 바람이 약화되다가 이후 10월이 되면서 다시 강한 북서풍 계열의 바람이 우세하였다.

결과적으로 제주해협 북부해역에서는 강수량이 많고 고수온기에 해당하는 여름철에 바람의 세기가 약화되는 특징을 보이고 있었다.

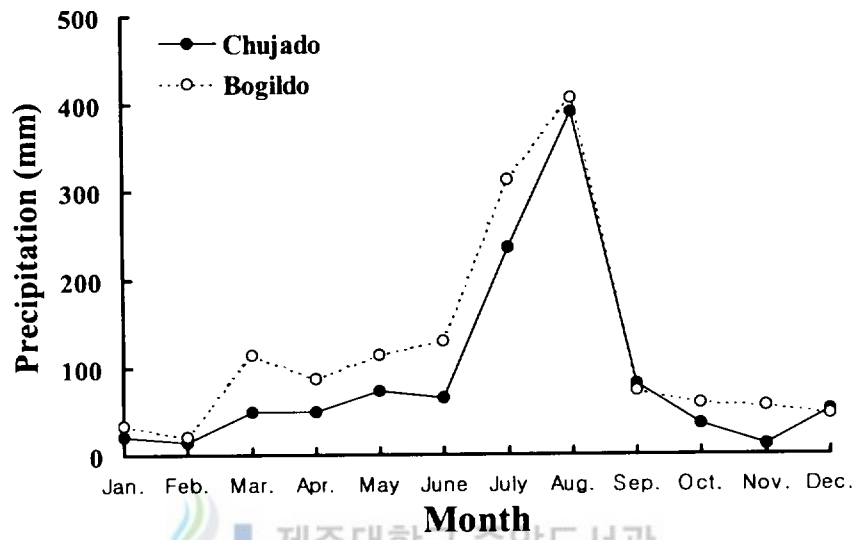


Fig.14. Monthly changes of precipitation in Chuja-do and Bogil-do during 2002.

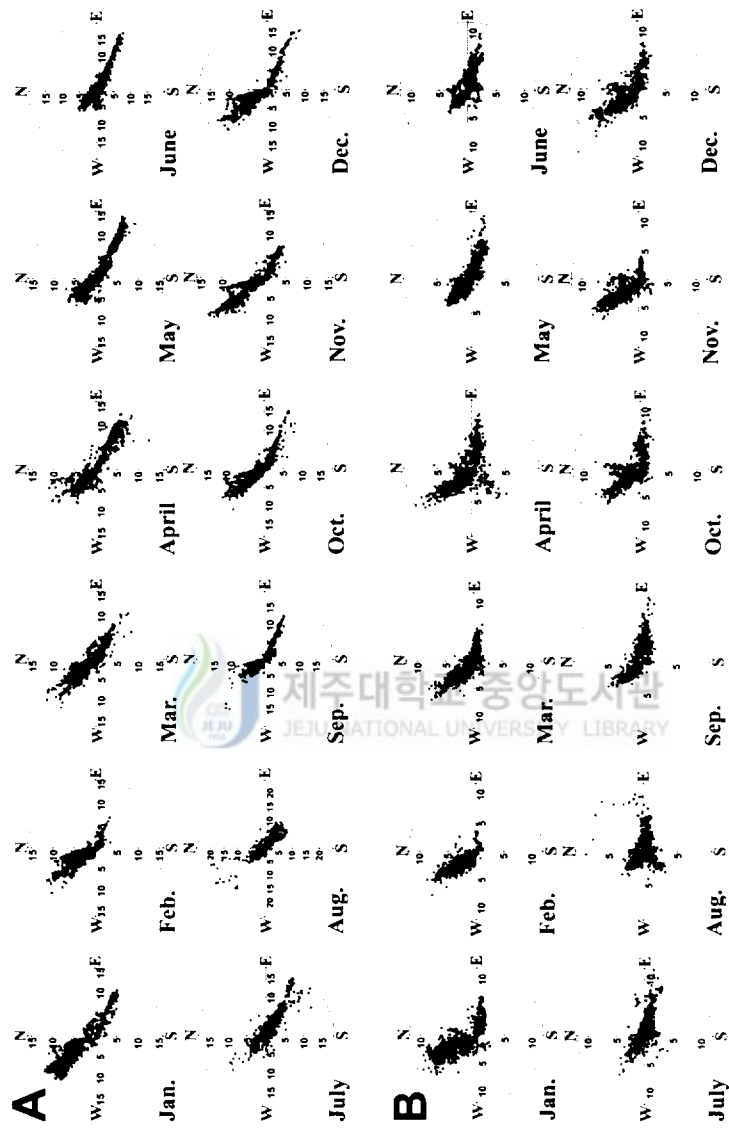


Fig.15. Variation of the average wind speed (m/s) and direction (°) at Chuja-do (A) and Bogil-do (B) during 2002.

1.1.3.2 제주해협 동부해역

1.1.3.2.1 강수량의 월별 변화

제주해협 동부해역에 속해 있는 거문도의 월별 강수량은 7월에 336.9 mm, 8월에 303.1 mm로 높은 값을 보이다가 점차 감소하였다. 이 결과는 앞서 제주해협 북부 해역에서의 결과와 유사한 것으로서 제주해협 동부 해역에서도 7~8월의 여름철에 강수량이 집중되고 있었다(Fig.16).

1.1.3.2.2 풍계의 월별 변화

제주해협 동부해역에 있어서 2003년 거문도에서의 풍속과 풍향에 대한 한시간 평균 자료를 가지고 바람의 변동양상을 조사하여 Fig.17에 나타냈다.

1월부터 4월까지의 평균 풍속 10 m/s 이상의 비교적 강한 북서풍 계열의 바람이 우세하게 불었다. 그러나 5월에 접어들면서 북서풍 계열의 바람이 점차 약화되었고 6월부터 9월까지 거의 대부분 평균 풍속 10 m/s 미만의 약한 바람이 우세하였다. 10월이 되면서 다시 북서풍 계열의 바람이 강화되면서 이러한 현상은 12월까지 지속되었다.

전체적으로 보면 제주해협 북부해역에서의 결과와 거의 유사하게 동부해역에서도 고수온을 보이는 여름철에 상대적으로 해역내 바람의 세기가 약화되는 것이 특징적이었다.

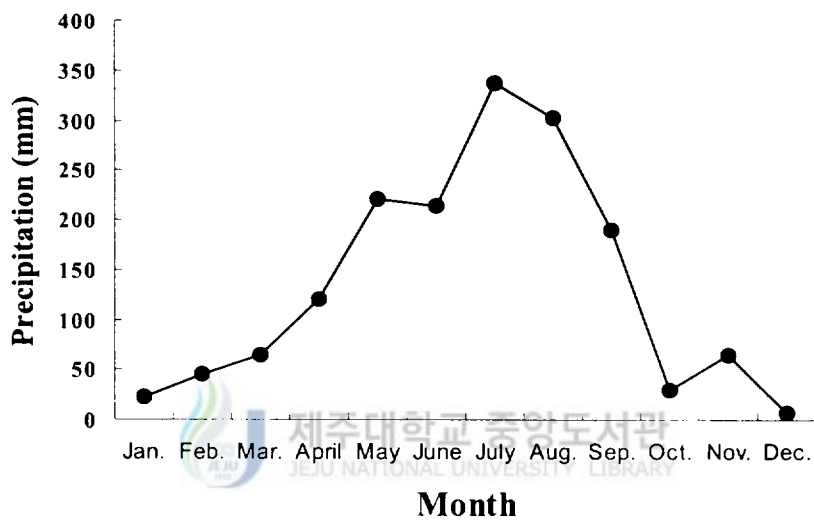


Fig.16. Monthly changes of precipitation in Keomun-do during 2003.

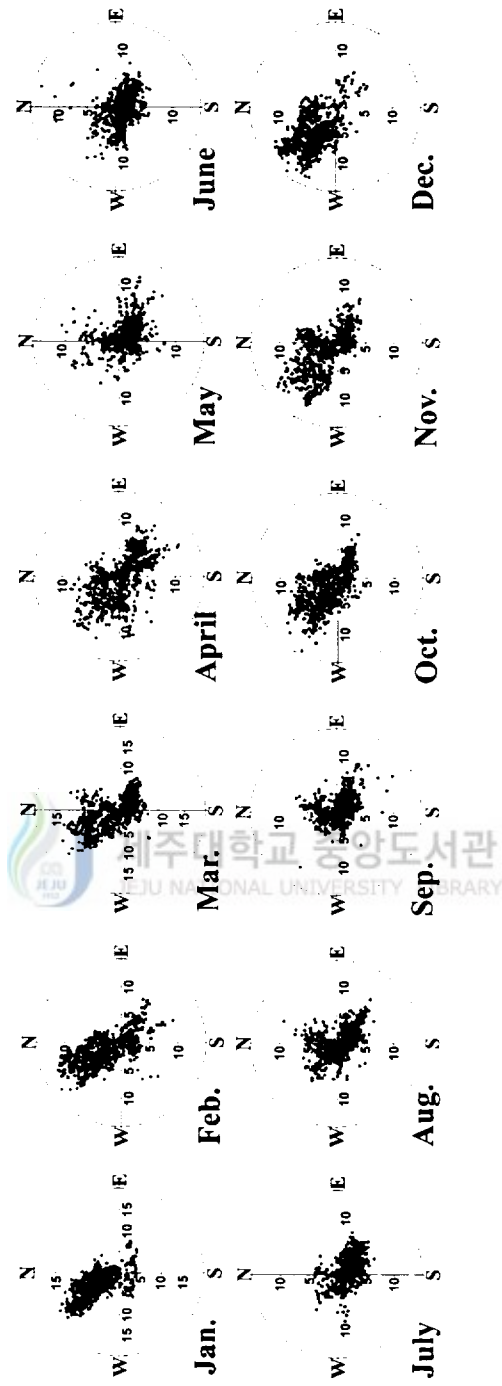


Fig.17. Variation of the average wind speed (m/s) and direction (°) at Keomun do during 2003.

1.2 난·자치어 분포

1.2.1 제주해협 및 주변해역

1.2.1.1 망목에 따른 난·자치어의 출현량 비교

2001년 7월에 채집된 멸치 난·자치어 생물량을 대상으로 망목 333 μm 와 505 μm 의 두 가지 채집망에 채집된 멸치 난·자치어의 출현량을 서로 비교하였다(Table 4).

난은 전 수층을 통틀어 망목 333 μm 네트에서는 평균밀도 2,125개/1,000m³, 망목 505 μm 네트에서는 평균밀도 17개/1,000m³이 출현하면서 333 μm 네트에서가 전체 출현량의 99.2%를 차지하고 있어 505 μm 네트(0.8%)보다 출현량이 많았다(T-test, $P < 0.05$).

자치어는 전 수층을 통틀어 망목 333 μm 네트에서는 평균밀도 110개체/1,000m³ (51.6%), 망목 505 μm 네트에서는 평균밀도 103개체/1,000m³(48.4%)이 출현하였는데 수층별로는 333 μm 네트쪽이 조금 많았으며 유의한 출현량의 차이는 나타나지 않았다.

이상의 결과로부터, 멸치 난의 채집에는 망목 333 μm 네트가 더 유효하였고 멸치 자치어는 망목에 따른 출현량의 차이가 크지 않음을 알 수 있었다. 따라서 이후부터 서술하는 멸치 난·자치어에 관한 모든 사항은 망목 333 μm 네트에서 채집된 것들을 대상으로 하였다.

1.2.1.2 해역별 난·자치어의 분포

제주해협을 포함한 그 주변해역에 있어서 총 5회에 걸쳐 실시한

Table 4. Comparisons of mean abundances of anchovy eggs and larvae collected by a Bongo net with two different mesh sizes (333 μm and 505 μm) in July 2001
(Unit : No./1,000m³ and ind./1,000m³)

Depth	Mean eggs abundance					Mean larvae abundance								
	333 μm	%	505 μm	%	df	t	P	333 μm	%	505 μm	%	df	t	P
10 m	1,102	99.6	4	0.4	6	4.192	*	49	50.5	48	49.5	21	1.098	NS
20 m	593	98.8	7	1.2	7	6.040	*	40	53.3	35	46.7	19	-1.151	NS
30 m	430	98.6	6	1.4	6	5.238	*	21	51.2	20	48.8	17	0.792	NS
Total	2,125	99.2	17	0.8				110	51.6	103	48.4			

*, $P < 0.05$; NS, not significant.

멸치 난·자치어의 채집결과를 Table 5와 Table 6에 각각 나타냈다. 또한 2001년 7월에 있어 난·자치어의 수평분포현황을 Fig.18에 나타냈다.

1.2.1.2.1 난의 분포

이번 조사에서 난은 2001년 7월과 2002년 6월에만 출현하였고 그 이외의 시기(10월과 11월)에서는 전혀 출현하지 않았다(Table 5).

2001년 7월(Fig.18)의 난은 전 수층 평균 2,125개/1,000m³이 출현하였다. 10 m 수층에서는 전체 평균 1,102개/1,000m³이었으며 해역별로는 J해역에서 9,351개/1,000m³으로 가장 많았고 G해역에서도 289개/1,000m³으로 비교적 많이 출현하였다. 제주해협에서는 특히 서부에 해당하는 A해역과 C해역에서 각각 평균 1,172개/1,000m³과 172개/1,000m³으로 동부해역(B, D해역 10개/1,000m³)에 비해 상대적으로 많았으며 반면에 E해역, F해역과 H해역에서는 3개/1,000m³으로 난이 아주 적었다.

20 m 수층에서는 전체 평균 593개/1,000m³이 출현하였는데 10 m 수층과 유사한 양상으로 J해역에서 3,423개/1,000m³으로 가장 많았다. G해역에서는 1,294개/1,000m³으로 10 m 수층보다 더 많았다. 제주해협인 경우도 10 m 수층과 마찬가지로 A해역과 C해역이 각각 591개/1,000m³과 573개/1,000m³으로 B해역과 D해역의 각각 22개/1,000m³, 9개/1,000m³에 비해 높은 분포밀도를 보였다. 한편 외양역에 해당하는 E해역과 F해역에서는 각각 20개/1,000m³, 2개/1,000m³으로 난이 적게 출현하였다.

30 m 수층은 전체 평균이 430개/1,000m³으로 채집수층 중 출현량이 가장 적었으며 역시 J해역이 2,047개/1,000m³으로 가장 많았고 그 다음으로 G해역에서 1,258개/1,000m³이 출현하였다. 제주해협내에서는 남부에 해당하는 C해역과 D해역이 각각 750개/1,000m³과 119개/1,000m³으로 북부인 A해역 98개/1,000m³, B해역 10개/1,000m³

보다 상대적으로 많이 출현하였다.

2002년 6월의 해역별 난 출현양상을 보면 전 수층 평균 5,213개/1,000m³이 출현하여 2001년 7월 보다 더 많은 난들이 출현하였다. 수층별로 살펴보면 표층에서는 전체 평균 1,431개/1,000m³이었는데 이 중 I 해역이 6,820개/1,000m³으로 가장 많았고 J해역 1,600개/1,000m³ 그리고 제주해협 북서부역에 해당하는 A해역 151개/1,000m³의 순이었다.

10 m 수층은 전체 평균 2,673개/1,000m³을 나타냈으며 이 중 I해역이 14,145개/1,000m³으로 출현량이 가장 많았고 J해역 1,584개/1,000m³, A해역 253개/1,000m³ 순으로 출현하여 표층과 유사한 분포양상을 보였다.

20 m 수층의 전체 평균은 1,097개/1,000m³이며 표층 및 10m 수층과 마찬가지로 I해역이 5,913개/1,000m³으로 가장 많았고 J해역 446개/1,000m³, A해역 205개/1,000m³의 순으로 난들이 출현하였다.

30 m 수층은 전체 평균 12개/1,000m³이 출현하였으며 A해역에서 63개/1,000m³, C해역에서 7개/1,000m³의 난이 출현하고 있어 가장 적은 특징을 보였다.

이상의 결과들로부터, 연구해역내에서의 멸치 난들은 모든 조사기간 동안 거차군도 주변역(I해역), 청산도 주변역(J해역), 거문도 부근의 제주해협 북동부 외양역(G해역), 추자도 중심의 제주해협 북서부역(A해역) 그리고 제주도 북서부연안에 인접한 제주해협 남서부역(C해역)등 전반적으로 외양역 보다는 일부 섬을 중심으로 한 집중 분포 현상이 뚜렷하게 나타나고 있음을 알 수 있었다. 한편 보길도 서쪽에 해당하는 거차군도 주변역(I해역)에서는 2002년 6월과는 달리 그 전해인 2001년 7월에 있어서는 전 수층을 통해 난들이 출현하지 않았고 이와 반대로 제주해협 남동부역(D해역)에서는 2001년 7월에는 출현하였지만 2002년 6월에는 출현하지 않는 것이 특징이

었다.

1.2.1.2.2 자치어의 분포

총 5회에 걸친 조사에서 멸치 자치어들은 모든 시기에 출현하였다 (Table 6).

2001년 7월(Fig.18)의 자치어는 전 수층 평균이 110개체/1,000m³이었다. 수층별로는 10 m 수층에서는 평균 49개체/1,000m³이 출현하였으며 제주해협 북부에 해당하는 A해역과 B해역에서 각각 188개체/1,000m³과 113개체/1,000m³으로 가장 많았다. 반면에 그 외의 해역들에서는 모두 50개체/1,000m³ 이하로 밀도가 낮았다.

20 m 수층에서는 평균 40개체/1,000m³을 나타냈다. 해역별 분포양상은 10 m 수층 보다는 분포밀도가 낮았지만 역시 제주해협 북부역인 A, B해역에서 각각 72개체/1,000m³과 103개체/1,000m³으로 분포밀도가 높았다. 그 나머지 해역에서도 모두 50개체/1,000m³ 이하로 낮았다.

30 m 수층은 평균 21개체/1,000m³으로 채집수층 중 자치어가 가장 적게 출현하였다. 해역별로도 모든 해역에서의 평균 분포밀도가 10~50개체/1,000m³의 범위로 출현하여 다른 수층에 비해 아주 적게 출현하였다.

2001년 11월에 있어서 자치어는 전 수층 평균이 1개체/1,000m³으로 7월에 비해 매우 적었다. 출현해역은 F해역이 모든 수층을 통틀어 가장 많이 출현하였고(합계 7개체/1,000m³) B해역 20 m 수층에서 1개체/1,000m³, D해역 30 m 수층에서 1개체/1,000m³씩 출현하였을 뿐 그 외의 해역에서는 출현하지 않았다.

2002년 6월에 있어서 자치어는 전 수층 평균 18개체/1,000m³이었다. 수층별로는 표층에서 평균 2개체/1,000m³이 출현하였으며 J해역이 10개체/1,000m³으로 가장 많았고 그 다음 A해역 2개체/1,000m³,

B해역 1개체/1,000m³의 순이었다.

10 m 수층에서는 평균 13개체/1,000m³이 출현하였으며 이 중 I해역이 52개체/1,000m³으로 가장 많았고 다음으로 J해역이 23개체/1,000m³, A해역과 B해역이 각각 2개체/1,000m³씩 출현하였다.

20 m 수층은 평균이 3개체/1,000m³이었으며 이 중 J해역이 12개체/1,000m³으로 가장 많았고 I해역이 2개체/1,000m³, A해역과 B해역이 각각 1개체/1,000m³씩 출현하였다.

30 m 수층에서는 A해역에서 1개체/1,000m³이 출현하였을 뿐 이외의 해역에서는 출현하지 않았다.

2002년 11월에는 전체 평균 2개체/1,000m³이 출현하였으며 전 수층을 통틀어 D해역을 제외한 모든 해역에서 평균 1~3개체/1,000m³의 적은 수준으로 출현하였다.

2003년 10월은 전체 평균 1개체/1,000m³으로 전체적으로는 A해역과 C해역 그리고 G해역과 H해역에서 평균 1~2개체/1,000m³이었을 뿐 그 나머지 해역들에서는 전혀 출현하지 않았다.

이상을 종합해 보면, 조사기간 동안 멸치 자치어는 주로 10 m와 20 m 수층에서 분포하고 있었다. 또한 양적으로 가장 많이 출현한 2001년 7월에 자치어는 난의 분포와는 달리 연안역 남부의 외해쪽에 집중적으로 분포하는 경향을 보였으며 또한 상대적으로 여름철이 지남에 따라 출현량이 감소하는 경향을 보이고 있었다.

1.2.1.3 난의 발생단계별 분포

조사기간 동안 멸치 난이 출현한 2001년 7월과 2002년 6월에 있어서 난들의 발생단계별 분포밀도와 분포비율상황을 해역별로 구분하여 살펴보았다(Table 7, Fig.19).

발생단계별 분포비율 논의에서 2001년 7월 전체 평균 분포밀도가

Table 5. Mean abundance of anchovy eggs collected in the western part of the South Sea included Jeju Strait, Korea (Unit : No./1,000m³)

Month	Depth	Mean eggs abundance										Average
		A	B	C	D	E	F	G	II	I	J	
July, 2001	10 m	1,172	10	172	11	6	3	289	1	0	9,351	1,102
	20 m	591	22	573	9	20	2	1,294	0	0	3,423	593
	30 m	98	10	750	119	20	2	1,258	0	0	2,047	430
	Total	1,861	42	1,935	139	46	7	2,841	1	0	14,821	2,125
Nov., 2001	10 m	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	20 m	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	30 m	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Total	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
June, 2002	0 m	151	12	3	0	-	-	-	-	6,820	1,600	1,431
	10 m	253	5	49	0	-	-	-	-	14,145	1,584	2,673
	20 m	205	1	14	0	-	-	-	-	5,913	446	1,097
	30 m	63	0	7	0	-	-	-	-	-	-	12
	Total	672	18	73	0	-	-	-	-	26,872	3,630	5,213
Nov., 2002	0 m	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	10 m	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	30 m	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Total	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Oct., 2003	0 m	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	10 m	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	20 m	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	30 m	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Total	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Table 6. Mean abundance of anchovy larvae collected in the western part of the South Sea included Jeju Strait, Korea (Unit : ind./1,000m³)

Month	Depth	Mean larvae abundance										Average
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	
July, 2001	10 m	188	113	38	12	33	31	12	0	11	49	49
	20 m	72	103	43	23	32	41	24	0	13	44	40
	30 m	11	42	20	21	33	20	38	0	0	22	21
	Total	271	258	101	56	98	92	74	0	24	115	110
Nov., 2001	10 m	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0.4
	20 m	0	1	0	0	0	2	0	0	0	0	0.3
	30 m	0	0	0	1	0	0.5	0	0	0	-	0.2
	Total	0	1	0	1	0	7	0	0	0	0	1
June, 2002	0 m	2	1	0	0	-	-	-	-	0	10	2
	10 m	2	2	0	0	-	-	-	-	52	23	13
	20 m	1	1	0	0	-	-	-	-	2	12	3
	30 m	1	0	0	0	-	-	-	-	-	-	0.2
	Total	6	4	0	0	-	-	-	-	54	45	18
Nov., 2002	0 m	0	1	1	0	-	-	-	-	0	2	1
	10 m	0	0	0	0	-	-	-	-	1	0	0.2
	30 m	1	0	3	0	-	-	-	-	-	-	1
	Total	1	1	4	0	-	-	-	-	1	2	2
Oct., 2003	0 m	2	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0.4
	10 m	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1
	20 m	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0.3
	30 m	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0.3
	Total	5	0	2	0	0	0	3	1	0	0	1

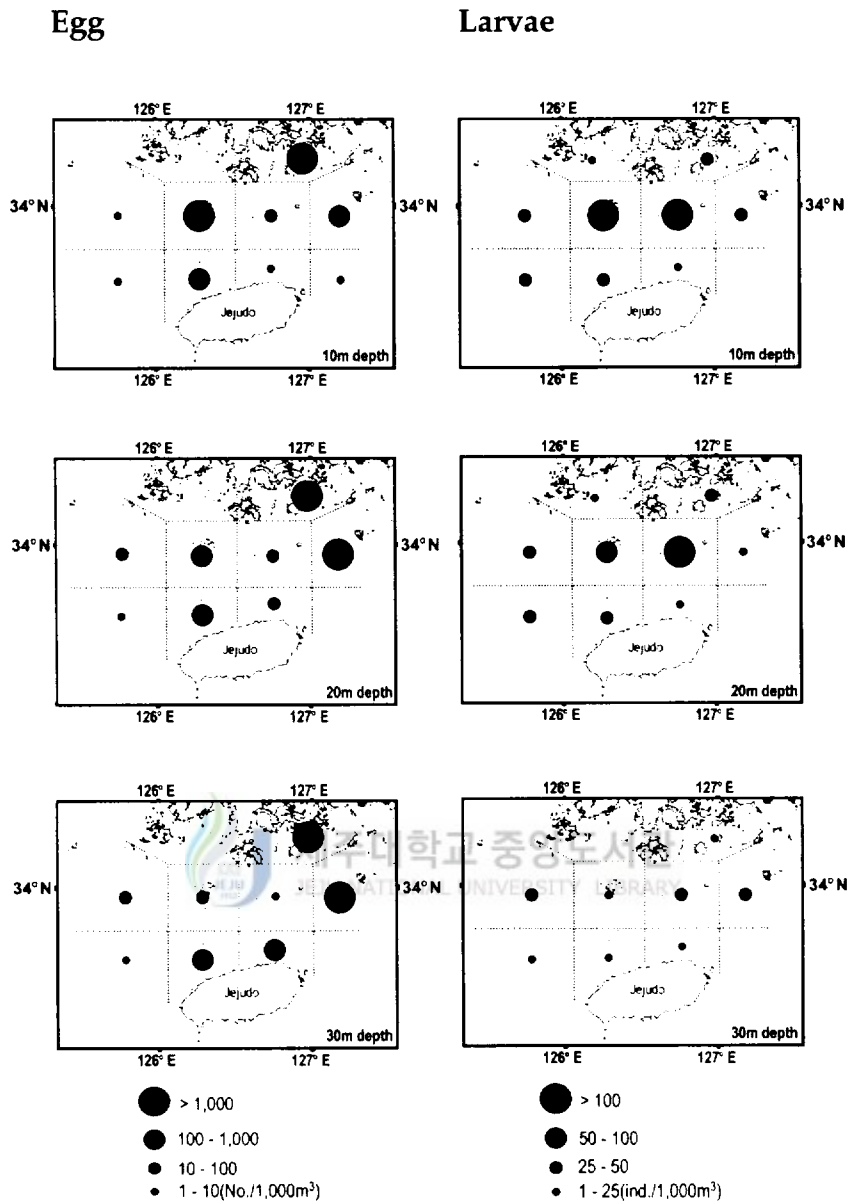


Fig.18. Horizontal distribution of mean abundance of anchovy eggs and larvae at the depths of 10 m, 20 m and 30 m in July, 2001.

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 II 단계 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 III 단계 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.

1.2.1.4 자치어의 체급별 분포



멸치 자치어의 체장조성을 각 시기마다 해역별로 구분하여 살펴보았다(Fig.20, Fig.21, Fig.22).

2001년 7월(Fig.20)의 조사기간 동안 채집된 자치어의 전장은 3.2~26.5 mm(이하 전장) 범위였다. 여기서 각 체급에 따른 출현율은 크게 10.0 mm 미만, 10.0~19.9 mm 그리고 20.0 mm 이상 체급 등 크게 3가지로 구분하여 비교하였다. 제주해협 북서부역인 A해역에서는 10.0 mm 미만 개체가 87.9%의 높은 비율로 출현하였고 10.0 mm 이상 체급들은 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

Table 7. Mean abundance of anchovy eggs by the developmental stages in the study area
(Unit : No./1,000m³)

Month	Stage	Mean egg abundance									
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
July, 2001	stage I	489	19	1,013	88	30	2	717	1	0	7,927
	stage II	1,292	12	189	41	15	3	444	0	0	5,953
	stage III	80	11	293	10	1	2	1,680	0	0	941
	Total	1,861	42	1,495	139	46	7	2,841	1	0	14,821
June, 2002	stage I	398	14	68	0	-	-	-	-	23,297	3,498
	stage II	174	3	3	0	-	-	-	-	2,318	96
	stage III	100	1	2	0	-	-	-	-	633	36
	Total	672	18	73	0	-	-	-	-	26,248	3,630

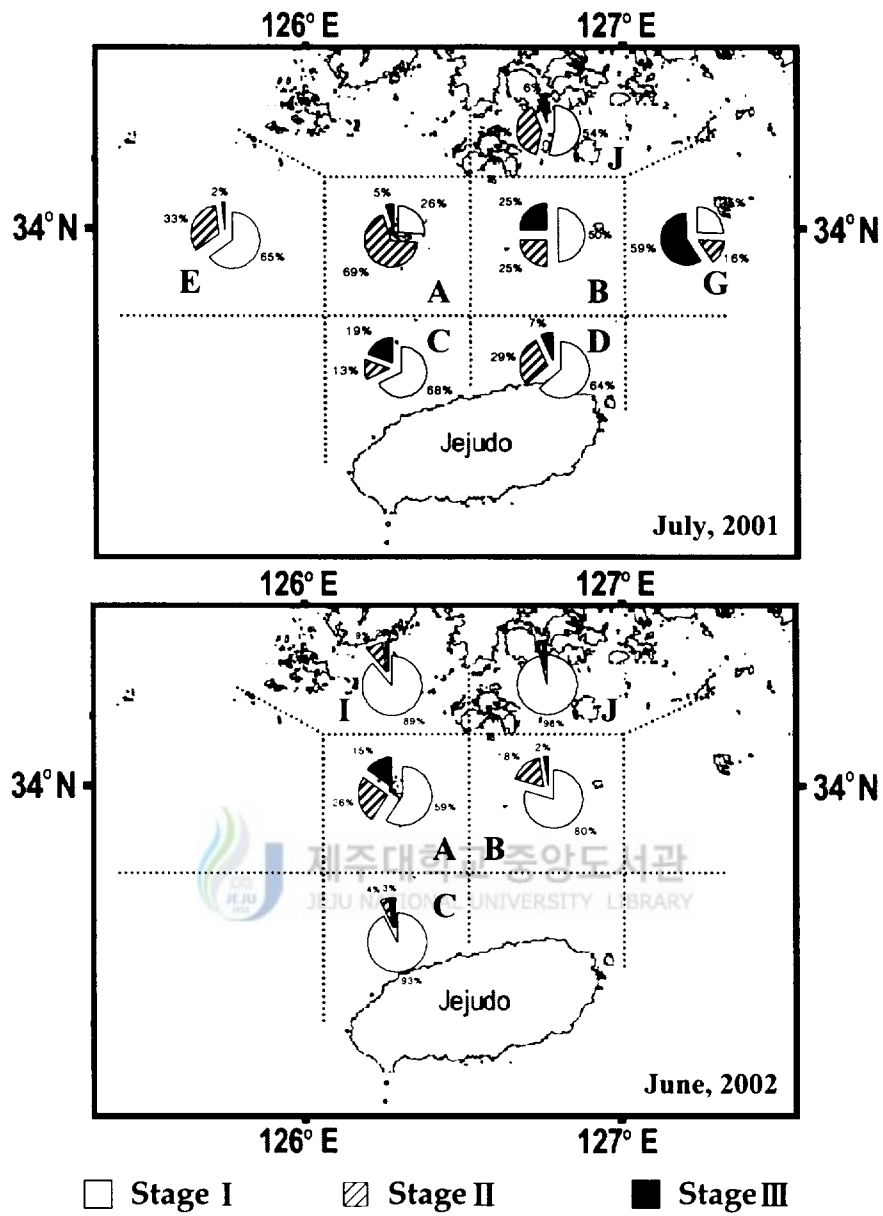


Fig.19. Spatial distribution of anchovy eggs by developmental stages.

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 채집들은 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.

2001년 11월에 있어 해역내에 출현한 자치어 전장은 15.1~39.6 mm 범위였다. 출현한 해역별로 보면 제주해협 북동부역인 B해역에서는 39.6 mm의 대형개체가 한 개체 출현하였고 제주해협 남동부역인 D해역에서는 15.1 mm의 한 개체가 출현하였다. 이에 비해 제주해협 남서부 외양역인 F해역에서는 30.0~39.9 mm의 범위가 90%를 차지하고 있어 대형개체들의 출현율이 높았다.

2002년 6월(Fig.21)에는 전장 범위가 3.0~19.1 mm로 비교적 소형의 개체들이 주를 이루었다. 해역별로 보면 A해역에서는 10.0 mm 미만의 개체가 65.2%, 10.0~19.9 mm 개체는 34.8%를 차지하였다. 그밖에 B해역, I해역 그리고 J해역에서는 모두 10.0 mm 미만의 개체들로 구성되었다.

2002년 11월에는 총 전장 범위가 21.6~69.2 mm로서 6월에 비해 대형 개체들이 출현하였다. 이 중 A해역에서는 20.0~29.9 mm 개체와 30.0 mm 이상의 개체가 각각 50%씩을 차지하였으며 C해역에서는 20.0~29.9 mm이 90.9%, 30.0 mm 이상의 개체가 9.1%를 차지하였다. 이밖에 B해역과 J해역에서는 모두 30.0mm 이상의 개체가 출현하였으며 I해역에서는 21.8 mm의 한 개체만이 출현하였다.

2003년 10월(Fig.22)은 11.4~37.5 mm 범위였는데 해역별로 보면 A해역은 20.0~29.9 mm 개체가 75%, 30.0 mm 이상 개체가 25%를 차지하였다. C해역에서는 모든 개체가 20.0~29.9 mm 범위안에 있었고 G해역에서는 20.0~29.9 mm 개체와 30.0 mm 이상의 개체가 각각 50%씩 차지하였으며 H해역에서는 전장 11.4 mm의 한 개체가 출현하였다.

이상을 정리해 보면, 멸치 자치어들이 가장 많이 출현한 2001년 7월에 제주해협 서부역에 해당하는 A, C해역에서는 주로 10.0 mm 미만 개체들이 주로 분포한(87% 이상) 반면에 동부역인 B, D해역에서는 10.0 mm 보다 큰 개체들의 출현율이 높게 나타나고 있음을 알 수 있었다. 이 밖에 제주해협 이외의 E, G, J해역에서는 모두 10.0 mm 미만의 개체가 주를(90% 이상) 이루었고 F, I해역에서는 10.0~19.9 mm와 20.0 mm 이상의 비교적 큰 개체들이 많이 출현하고 있었다. 또한 전반적으로 시기가 지날수록 연구해역내에서 크기가 큰 개체들의 출현율이 증가하는 경향을 나타내고 있었다.

1.2.1.5 일주수직 분포

멸치 자치어가 가장 많이 출현한 2001년 7월에 있어서 멸치 자치어들의 체급을 15.0 mm를 기준으로 구분한 후 15.0 mm 미만의 것

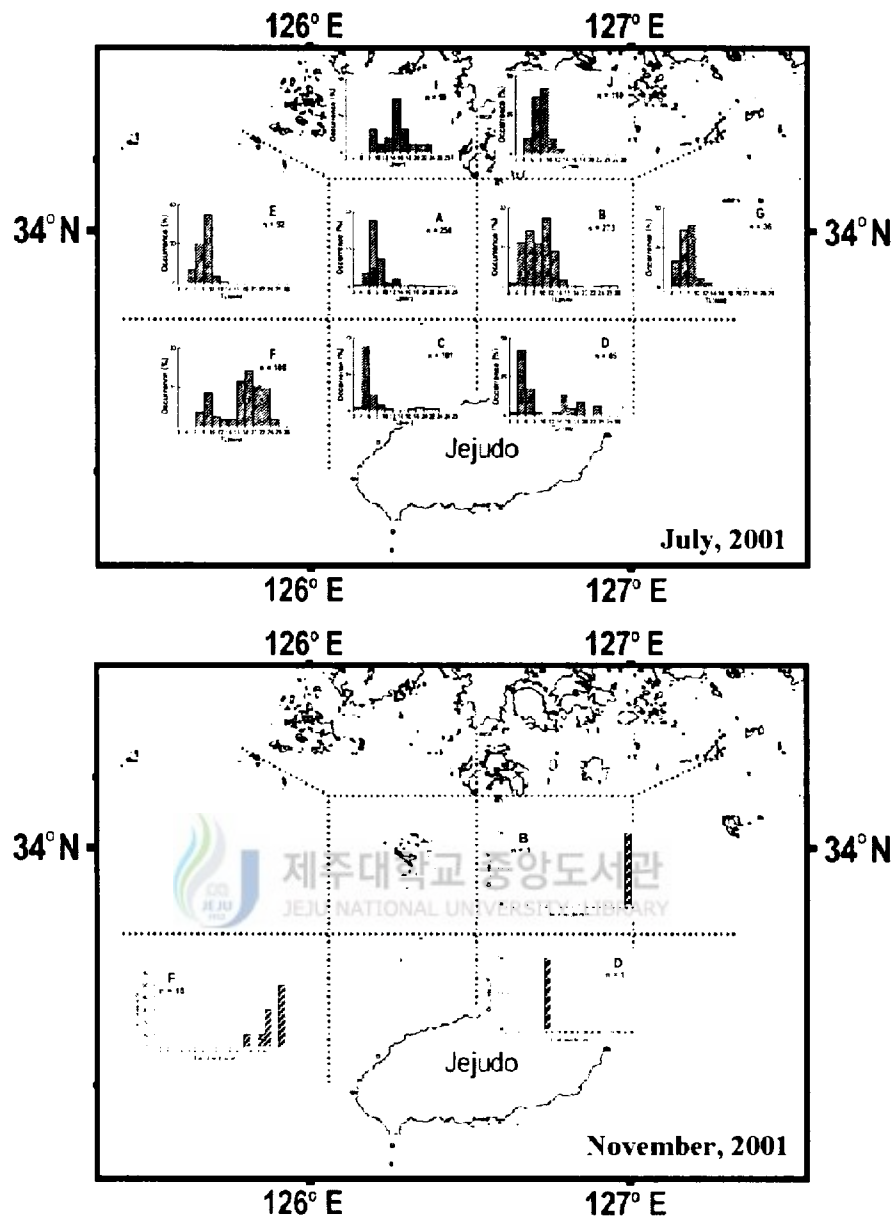


Fig.20. Spatial distributions in total length frequency of anchovy larvae in 2001.
 (x-axis, total length; y-axis, occurrence)

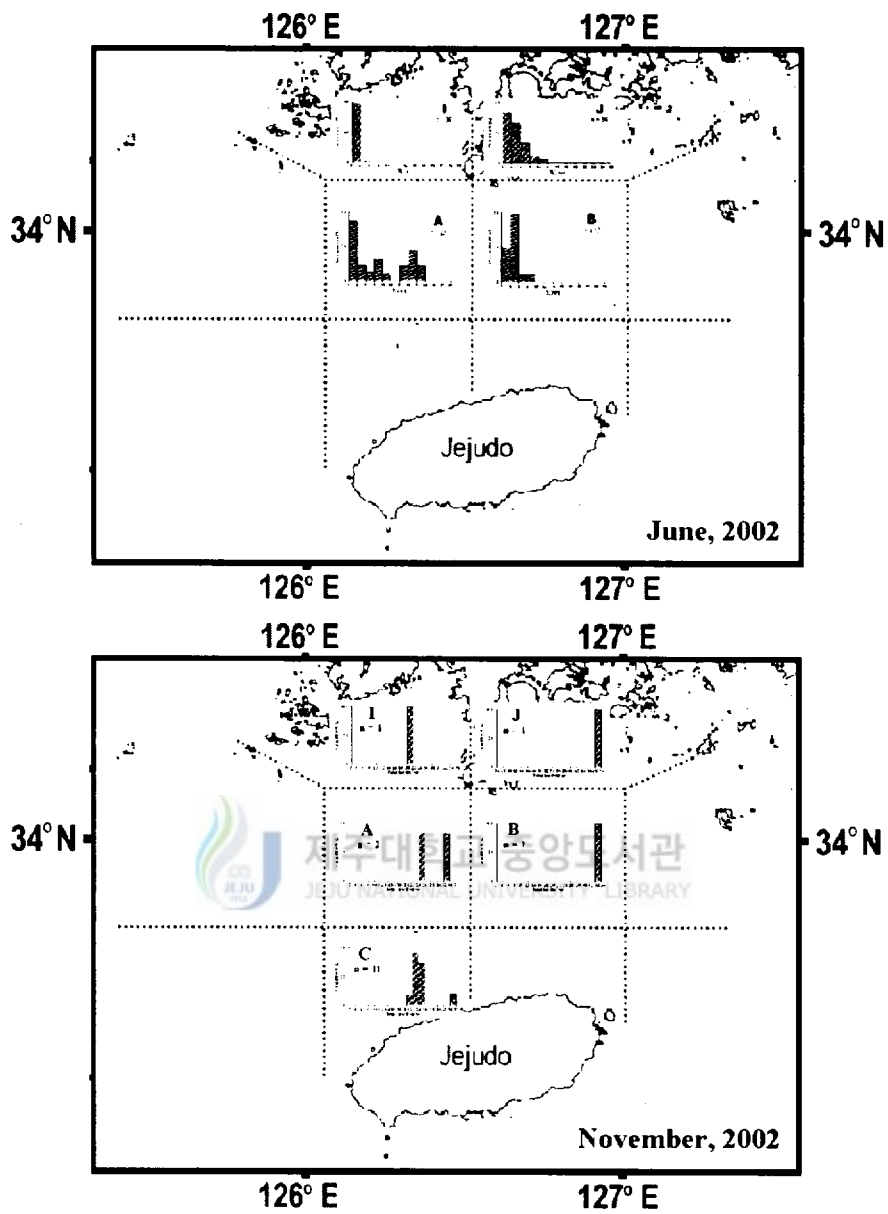


Fig.21. Spatial distributions in total length frequency of anchovy larvae in 2002.
 (x-axis, total length; y-axis, occurrence)

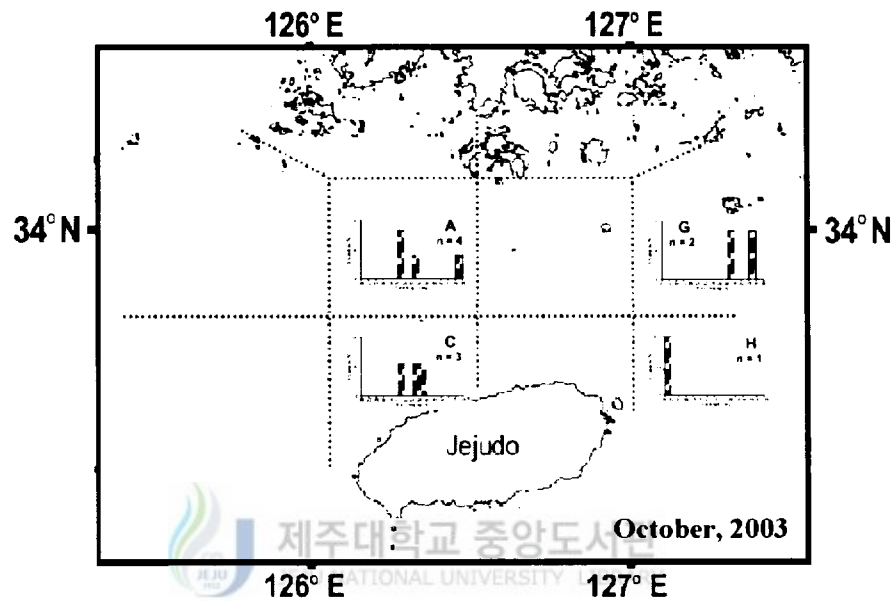


Fig.22. Spatial distributions in total length frequency of anchovy larvae in 2003.

(x-axis, total length; y-axis, occurrence)

은 유연력이 미약한 시기, 그 이상은 어느 정도 유연 능력이 향상된 시기로 보고 시간대별 주야 수직분포 상황을 조사하였다(Fig.23).

15.0 mm 미만의 멸치들은 각 시간대별로 모든 채집 수층에서 꾸준히 출현하고 있어서 특징적인 출현양상은 보이지 않았다. 이에 반해 15.0 mm 이상의 멸치들은 일출경(05시 40분)까지는 10 m와 20 m 수층에 분포하였지만 이후 낮 동안에는 전 수층에서 전혀 출현하지 않았다. 하지만 일몰경(20시 40분)이 되면서부터는 다시 10 m 수층에 출현하여 야간과 새벽 시간대에 걸쳐 모든 채집 수층에서 꾸준히 출현하고 있었고 특히 자정 무렵 또는 그 전에서가 자정 이후보다도 상대적으로 출현율이 높았다.

결국 15.0 mm 이상인 멸치 자치어들은 유연능력이 향상되어 좀 더 뚜렷한 일주 수직이동을 하고 있음을 확인할 수 있었다.

1.2.2 제주해협 북부해역

1.2.2.1 난·자치어의 월별 출현량 변화

제주해협 북부해역에 있어서 월별 멸치 난·자치어의 평균 밀도 변화를 Fig.24 및 Table 8에 나타내었다.

표층 난의 평균 밀도는 2~10,078개/1,000m³의 범위로서 7월에 가장 많이 출현하였다. 반면에 자치어는 1~98개체/1,000m³의 범위를 보였으며 8월에 가장 많이 출현하였다.

10 m 수층에서 난은 46~744개/1,000m³, 자치어는 1~88개체/1,000m³의 범위를 보였으며 난, 자치어 모두 8월에 피크를 나타냈다.

결과적으로 난은 7월, 자치어는 8월에 각각 피크를 보이면서 여름

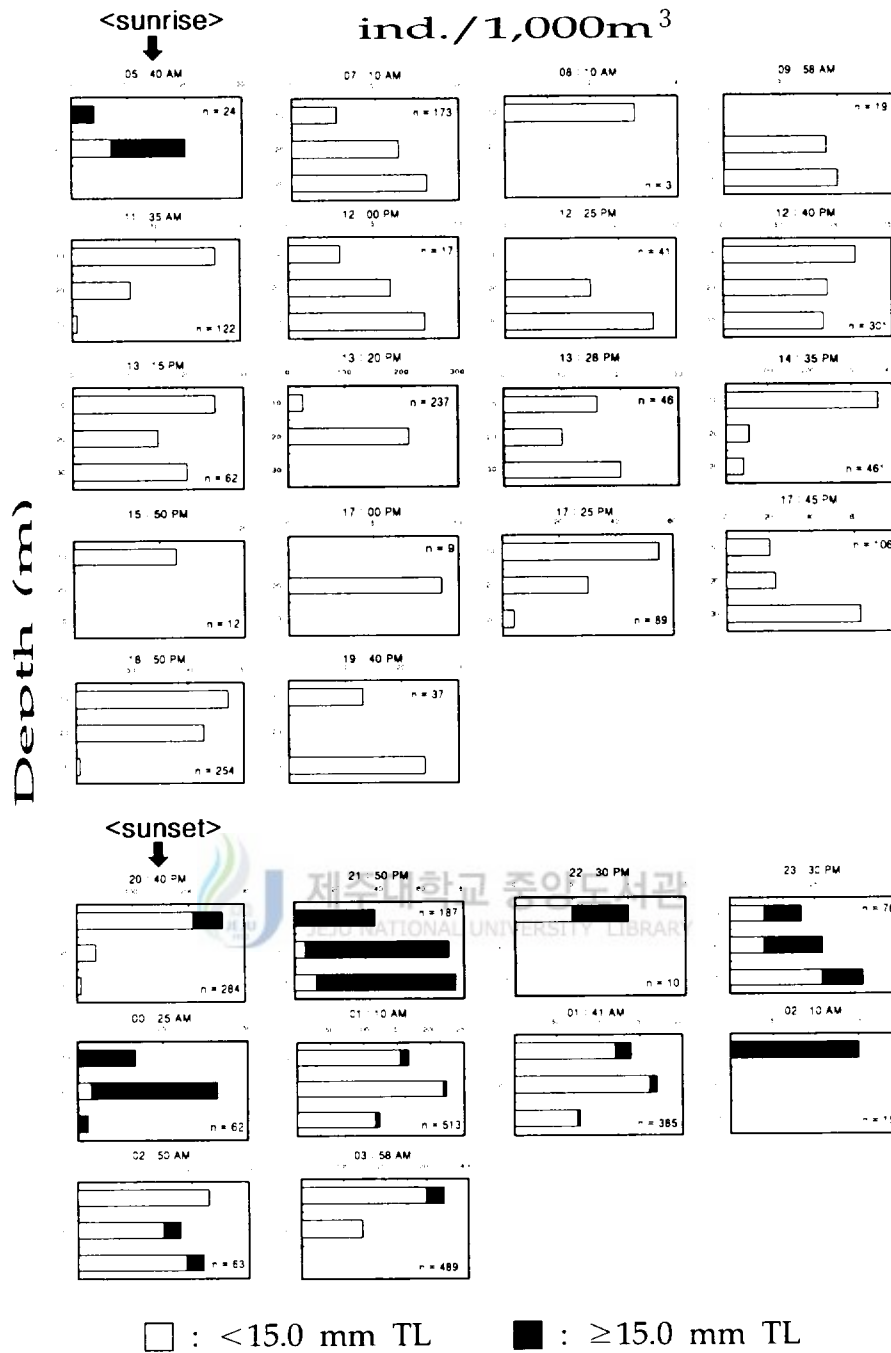


Fig.23. Vertical distribution of anchovy larvae divided into two size groups as time of day.

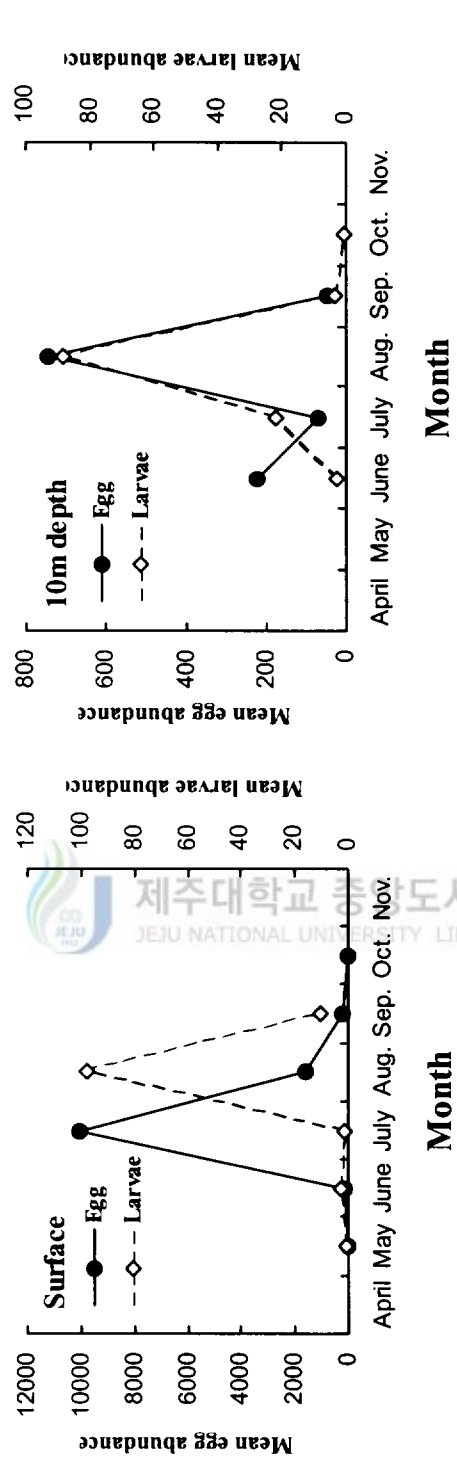


Fig.24. Monthly changes in mean abundance of eggs (No./10³m³) and larvae (ind./10³m³) in the northern part of Jeju Strait from May to November, 2002 and April, 2003.

Table 8. Mean abundances of anchovy eggs and larvae collected in the northern part of Jeju Strait from May to November, 2002 and April, 2003

	April	May	June	July	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.
Egg (No./10 ³ m ³)								
0 m	0	2	139	10,078	1,572	189	2	0
10 m	0	-	223	69	744	46	0	0
Average	0	1	181	5,074	1,158	118	1	0
Larvae (ind./10 ³ m ³)								
0 m	0	1	3	1	98	11	0	0
10 m	0	-	3	22	88	3	1	0
Average	0	0.5	3	12	93	7	0.5	0

철에 집중적으로 출현하고 있으므로 제주해협 북부해역에서 멸치 친어들의 산란은 고수온·저염분을 보이는 여름철에 주로 이루어지고 있음을 알 수 있었다.

1.2.2.2 난·자치어의 수평분포

제주해협 북부해역에 있어 해역내 수온 분포와 함께 멸치 난·자치어의 수평적 분포양상을 Fig.25와 Fig.26에 나타내었다.

난은 5월에 조사해역의 북부에 해당하는 보길도의 남부연안에서 처음으로 출현하였다. 6월이 되면서 난의 분포범위는 점차 남쪽으로 확장되었고 7월과 8월이 되면 모든 채집정점에서 출현하였다. 특히 8월에 조사해역 내에는 동서방향으로 강한 수온전선이 형성되어 있었으며 이 전선상에서 난이 풍부하게 존재하고 있었다.

9월에 접어들면서 난의 출현은 조사해역의 남부에 해당하는 추자도 남서부 해역에 한정적으로 출현하였다.

자치어는 8월에 거의 모든 정점에서 풍부하게 출현하였고 조사기간 동안 난처럼 특별한 분포경향은 보이지 않았다.

이상을 종합해 보면 제주해협 북부해역내에서 멸치 난·자치어는 고수온을 보이는 7~8월에 대부분의 정점에서 골고루 출현하고 있었으며 또한 시기가 지날수록 특히 난의 분포중심이 점차 조사해역의 남쪽으로 이동하는 특징을 보여주었다.

1.2.2.3 난의 발생단계별 분포

멸치 난이 출현하였던 월중에서 전 수층 평균 출현밀도가 10개/1,000m³ 이하인 5월과 10월을 제외한 나머지 월에 대해 발생단계별

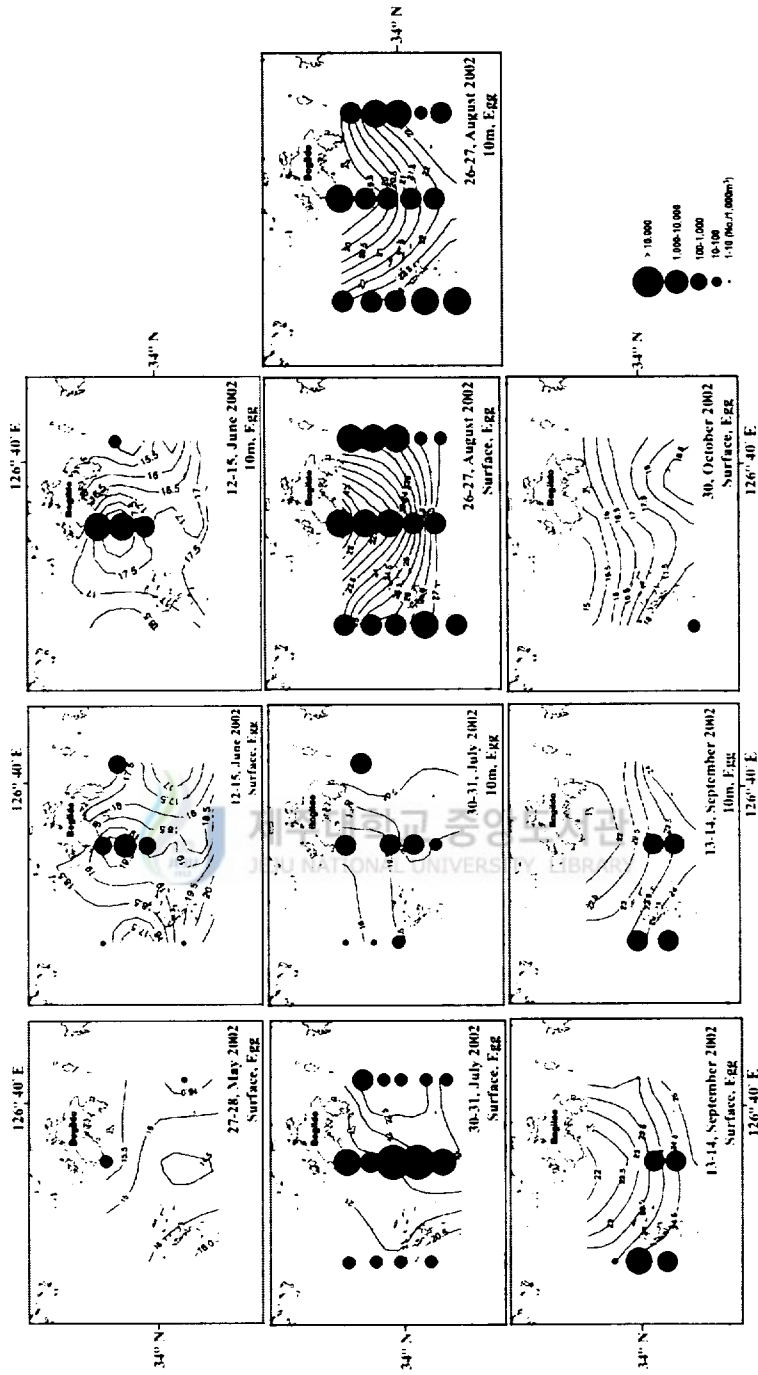


Fig.25. Horizontal distribution of abundance of anchovy egg and water temperature in the northern part of Jeju Strait in 2002.

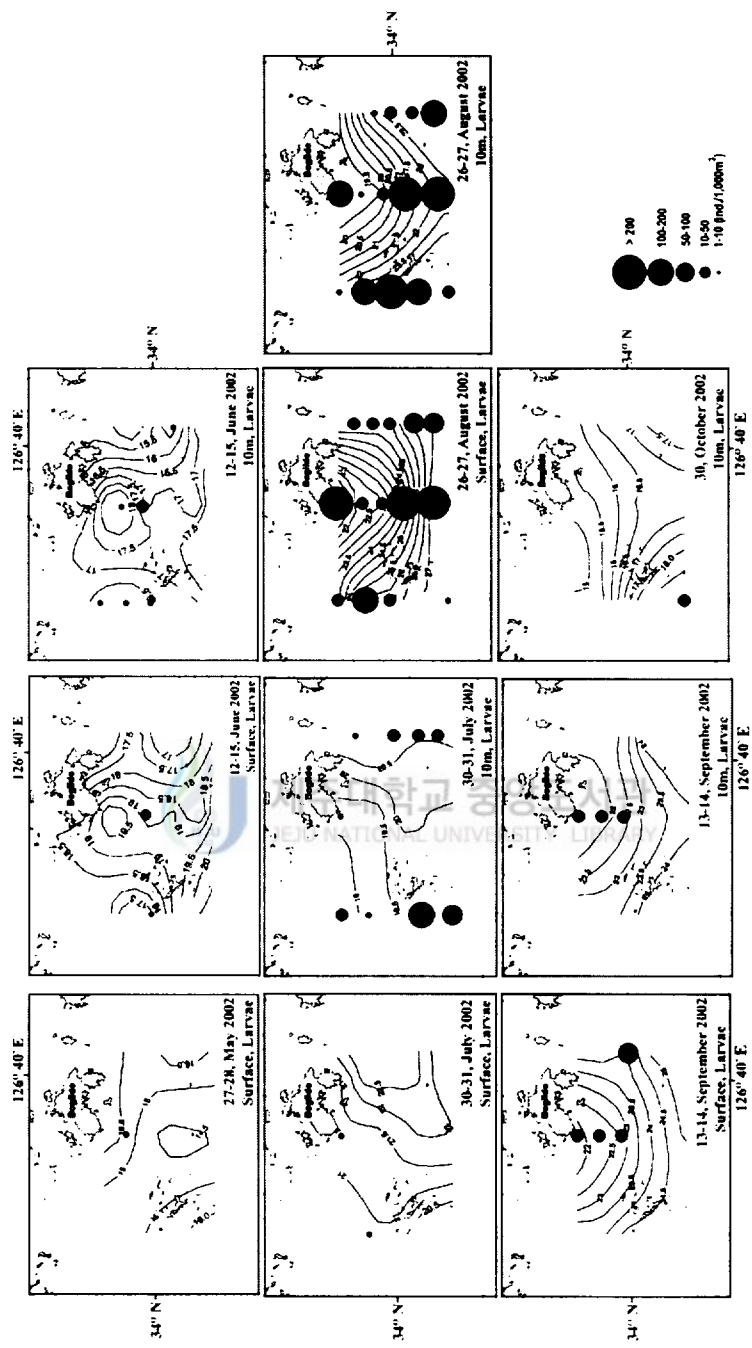


Fig.26. Horizontal distribution of abundance of anchovy larvae and water temperature in the northern part of Jeju Strait in 2002.

난의 월별 분포양상을 조사하여 Fig.27에 나타내었다.

6월에 조사해역의 서쪽해역에서는 수정된 지 얼마 되지 않은 I 단계 난들만이 출현하였으며 보길도 남부 해역에서는 모든 발달단계의 난들이 출현하였다.

난이 가장 많이 출현한 7월은 전체적으로 조사해역의 서부에서 I, II단계 난들이 주로 출현한 반면 남부와 동부에 위치한 정점들에서는 부화직전 단계인 III단계 난들이 높은 비율로 출현하였다.

8월에는 거의 대부분의 정점에서 I 단계 난들의 출현율이 낮았고 II단계 난들의 출현율이 높았다. 특히 조사해역의 남부에 위치한 정점들에서는 III단계 난들이 높은 비율로 구성되었다.

9월은 조사해역의 서부에 위치한 정점들에서 I 단계 난들만이 출현하였으며 남부에서는 I 단계와 II단계 난들이 거의 같은 비율로 출현하였다.

따라서 전반적으로 조사해역의 서부에서는 발달초기의 I 단계 난들이 주로 출현하였고 부화 직전의 III단계 난은 조사해역의 남부와 동부해역에서 출현율이 높게 나타나고 있음을 확인할 수 있었다.



1.2.2.4 자치어의 체급별 분포

조사기간 동안 멸치 자치어의 전 수층 평균밀도가 1개체/1,000m³ 미만으로 출현한 5월과 10월을 제외한 나머지 월에 대해 자치어의 체급별 분포양상을 Fig.28에 나타냈다.

6월은 추자도 서부의 한 개 정점에서 전장 16.0~19.9 mm(이하 전장)의 자치어들이 출현하였고 나머지 정점에서 출현한 자치어들은 대부분 10.0 mm 미만의 체급들로 구성되었다.

7월도 추자도 북서부와 남서부 정점에서 12.0 mm 이상의 자치어들이 소수 출현하였을 뿐 나머지 모든 정점에서의 자치어들은 모두

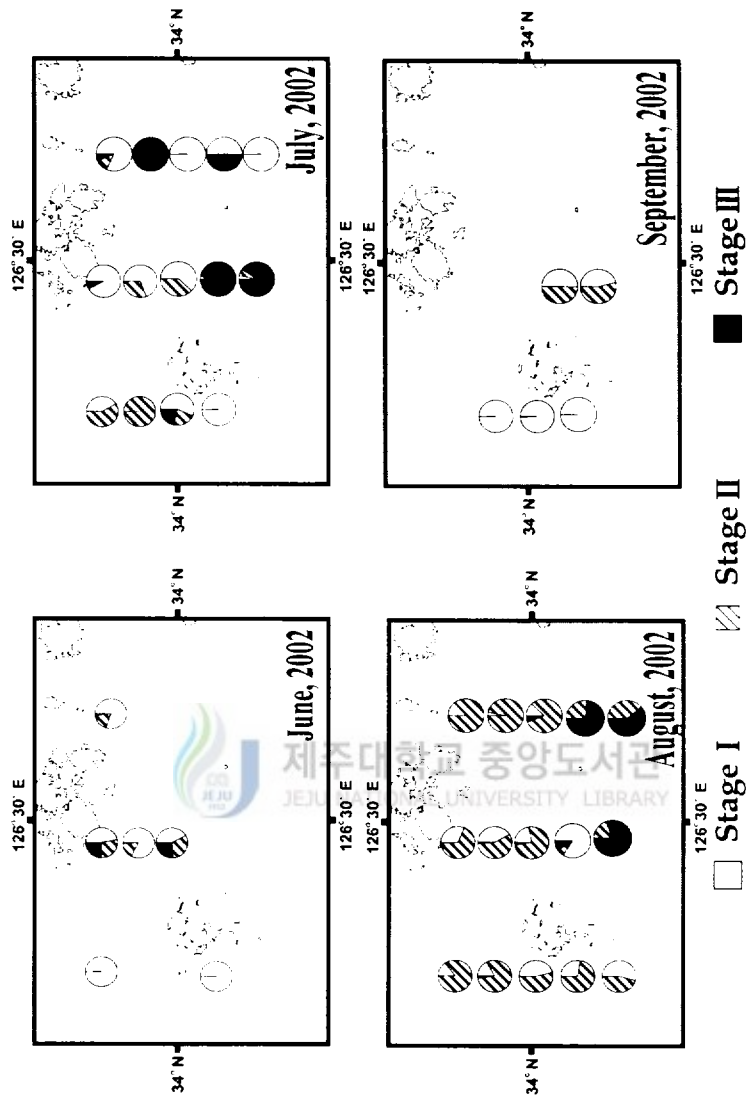


Fig.27. Monthly and spatial changes of anchovy egg by developmental stage in the northern part of Jeju Strait.

10.0 mm 미만이었다.

자치어가 가장 많이 출현한 8월은 조사해역의 서부와 북부에 위치한 정점에서 모두 10.0 mm 미만의 체급들로 구성된 반면에 조사해역의 남부와 동부의 정점에서는 26.0~27.9 mm의 큰 개체가 출현하였다.

9월은 자치어가 몇몇 정점에서만 분포하였는데 대부분 10.0 mm 체급 이상의 출현비율이 증가하고 있었고 20.0 mm 이상의 출현비율도 높았다.

이상의 결과로부터, 조사해역내에서 산란이 활발히 이루어지는 7~8월의 자치어 체급은 대부분 10.0 mm 미만의 개체들이 주를 이루고 있었고 특히 조사해역의 남부와 동부에서 큰 개체가 출현하고 있음을 알 수 있었다. 또한 시기가 지남에 따라 출현하는 자치어의 체급도 증가하는 경향을 보였다.

1.2.3 제주해협 동부해역



1.2.3.1 난·자치어의 월별 출현량 변화

제주해협 동부 해역에 있어서 멀치 난·자치어의 평균 밀도 변화를 Fig.29 및 Table 9에 나타내었다.

표층 난의 평균 밀도는 122~305개/1,000m³의 범위로서 7월에 가장 많이 출현하였다. 반면에 자치어의 평균 밀도는 1~262개체/1,000m³의 범위로 변화하였으며 8월에 피크를 보였다.

10 m 수층은 10~220개/1,000m³의 범위로 표층과 같이 7월에 피크를 보였으며 자치어는 6~1,033개체/1,000m³의 범위로서 표층과 마찬가지로

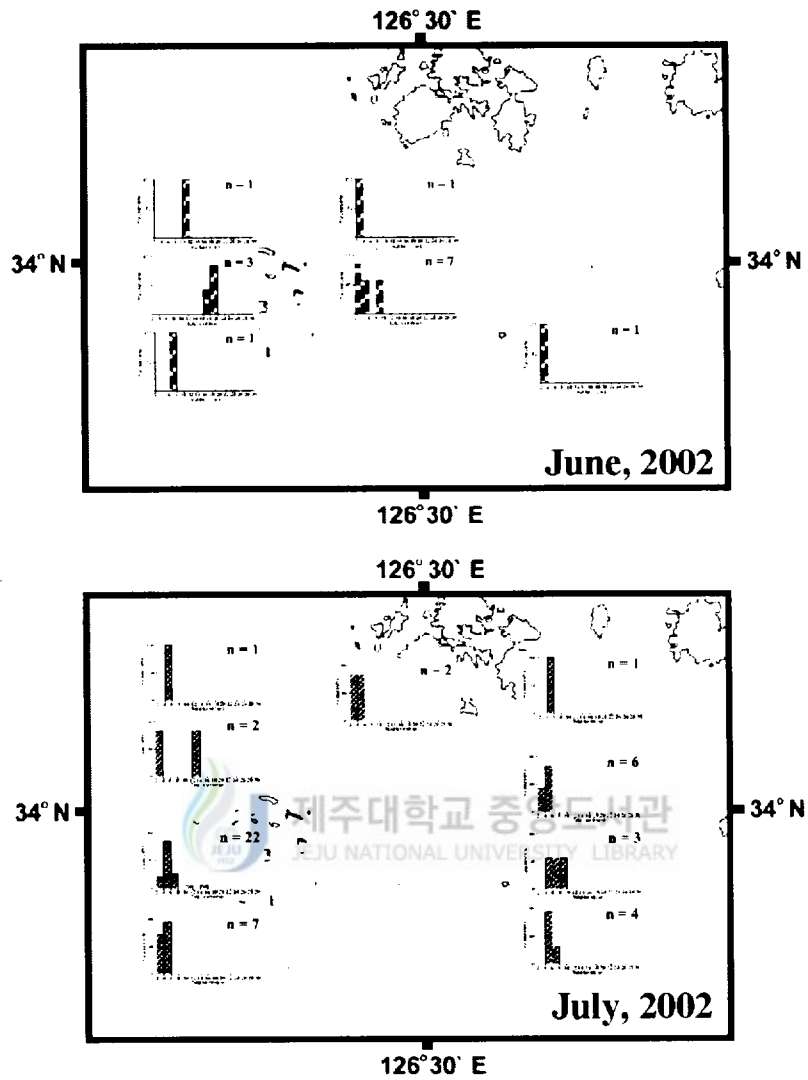


Fig.28. Monthly and spatial changes of length-frequency distribution of anchovy larvae in the northern part of Jeju Strait.(x-axis, total length; y-axis, occurrence)

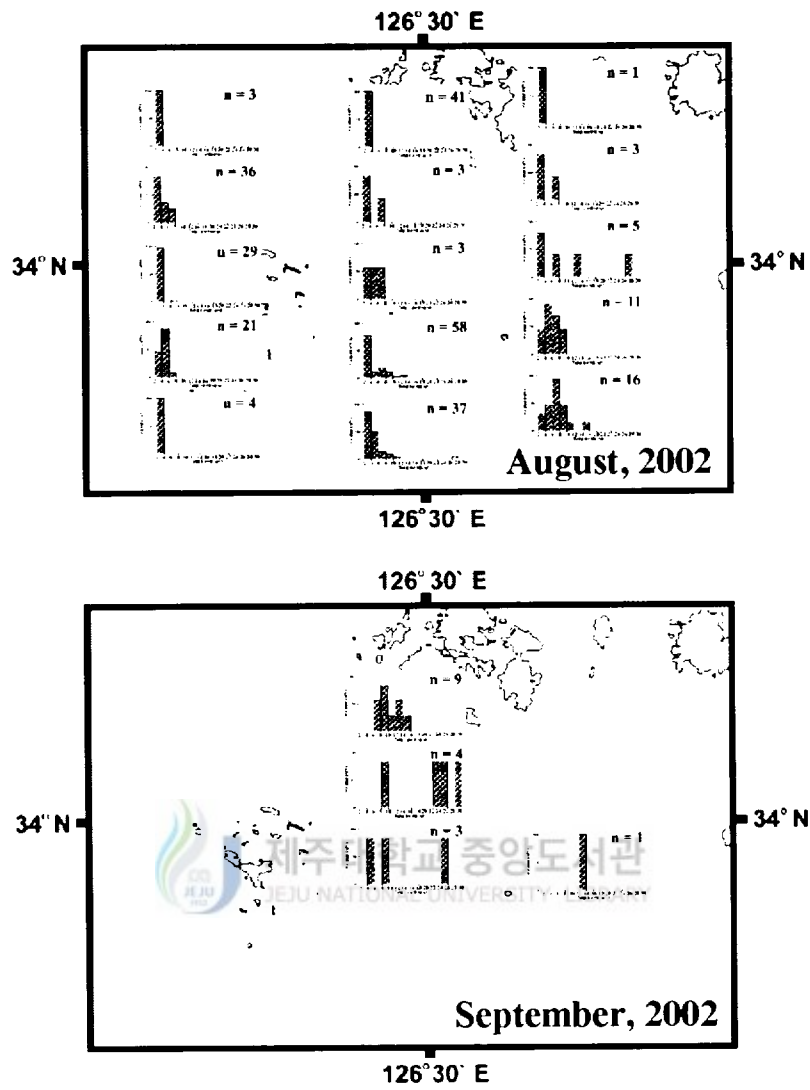


Fig.28. (Continued).

가지로 8월에 가장 많이 출현하였다

따라서 제주해협 동부 해역에서도 앞서의 북부해역과 동일하게 난은 7월, 자치어는 8월에 각각 피크를 보여 주로 여름철에 출현하고 있음을 알 수 있었고, 특히 난은 9월부터 조사해역 내에서 출현하지 않는 특징이 있었다.

1.2.3.2 난·자치어의 수평분포

제주해협 동부해역에 있어 해역내 수온 분포와 함께 멸치 난·자치어의 수평적 분포양상을 Fig.30과 Fig.31에 나타냈다.

난은 6월에 주로 조사해역의 북부인 청산도와 초도 등 주로 남해안과 인접한 섬 연안에서 출현하였다. 7월부터는 제주도 북동부의 우도 부근에서 최초로 출현하였으나 대부분 6월과 마찬가지로 주로 남해안 연안에서 풍부하게 출현하였다. 8월도 이전과 거의 같은 양상으로 출현하였으며 특히 10 m 수층은 거문도 북서부에 위치한 정점에서 대량으로 분포하였다.

자치어도 6월과 7월은 난과 거의 비슷한 양상으로 분포하였다. 하지만 자치어가 가장 풍부하게 출현한 8월에는 남해안 인근 해역보다는 오히려 조사해역 중앙부 부근에서 대량으로 발생하였다. 9월과 10월에 접어들면서 자치어는 대부분 거문도 주위의 몇몇 정점에서만 한정적으로 출현하였다.

결국 제주해협 동부해역에서의 멸치 난은 산란이 활발하게 이루어졌던 7~8월에도 주로 남해안 연안의 섬이나 제주도 인근해역에서 대량으로 출현하여 이러한 해역들이 멸치들의 주 산란장이었으며 반면에 자치어는 그 분포범위가 점차 조사해역 전체로 확장되면서 점차 남하하는 경향이 있음을 확인할 수 있었다.

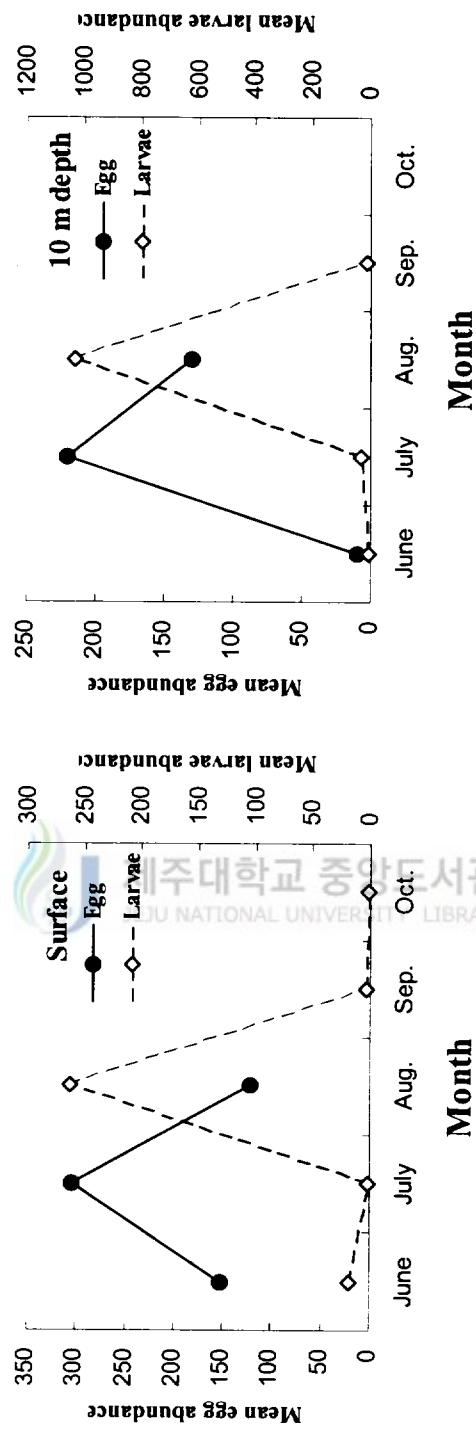


Fig.29. Monthly changes in mean abundance of eggs (No./10³m³) and larvae (ind./10³m³) in the eastern part of Jeju Strait from June to October, 2003.

Table 9. Mean abundances of anchovy eggs and larvae collected in the eastern part of Jeju Strait from June to October, 2003

	June	July	Aug.	Sep.	Oct.
Egg (No./10 ³ m ³)					
0 m	153	305	122	0	0
10 m	10	220	130	0	0
Average	82	263	126	0	0
Larvae (ind./10 ³ m ³)					
0 m	18	2	262	4	1
10 m	6	31	1,033	14	0
Average	12	17	648	9	0.5

1.2.3.3 난의 발생단계별 분포

제주해협 동부해역에 있어서 발생단계에 따른 멸치 난의 월별 분포양상을 Fig.32에 나타내었다. 6월에 출현한 난들은 대부분 수정된 지 얼마 되지 않은 I 단계 난들로 구성되었다. 난이 가장 많이 출현한 7월에도 대부분 I 단계 난들이 발생하였고 제주도 북동부 우도 부근의 정점에서는 III 단계 난이 출현하였다. 또한 조사해역의 동쪽에 위치한 정점들에서 II 단계 난들의 비율이 증가하면서 가장 남쪽의 정점에서는 모두 II 단계 난들로 구성되었다. 8월에 들어서면서 모든 단계의 난들이 출현하였지만 양적으로 볼 때 대부분 II 단계 난들의 구성비율이 높았다.

이상과 같이 조사기간 동안 해역내 분포하는 난들은 주로 I 단계와 II 단계 난들로 구성되어 있었으며 특히 동쪽에서 발달단계가 진행된 난의 출현비율이 다소 증가하는 경향을 나타내는 것이 특징적이었다.

1.2.3.4 자치어의 체급별 분포

조사기간 동안 멸치 자치어의 전 수층 평균밀도가 1개체/1,000m³ 미만으로 출현한 10월을 제외한 나머지 월에 대해 자치어의 체급별 분포양상을 Fig.33에 나타냈다.

6월은 제주도 북동부 우도 부근 정점에서 10.0~13.9 mm(이하 전장) 범위의 자치어들이 출현하였고 그 이외의 정점에서는 모두 10.0 mm 미만의 개체들로 구성되었다. 7월에도 조사해역의 남부 한 개 정점에서 18.0~21.9 mm의 개체들이 출현한 반면 그 이외에는 모두 10.0 mm 미만이었다.

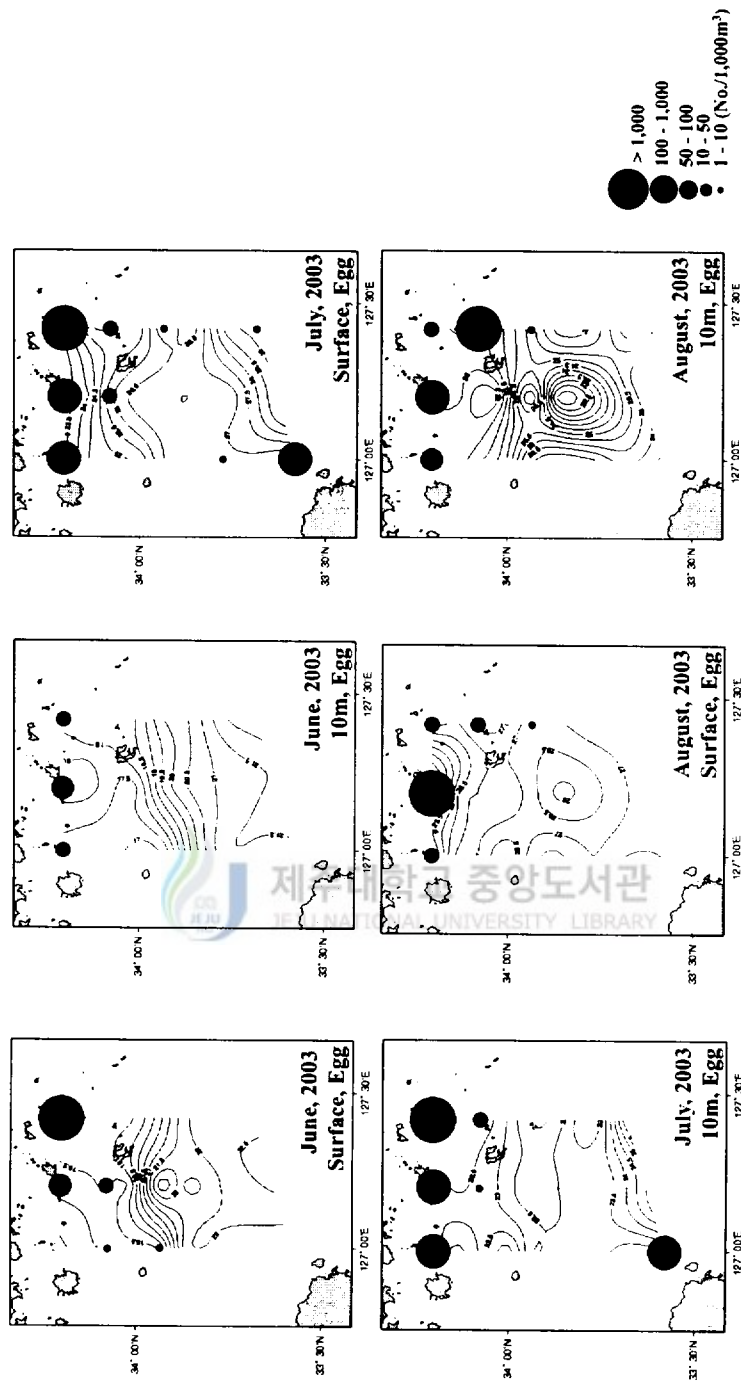


Fig.30. Horizontal distribution of abundance of anchovy egg and water temperature in the eastern part of Jeju Strait in 2003.

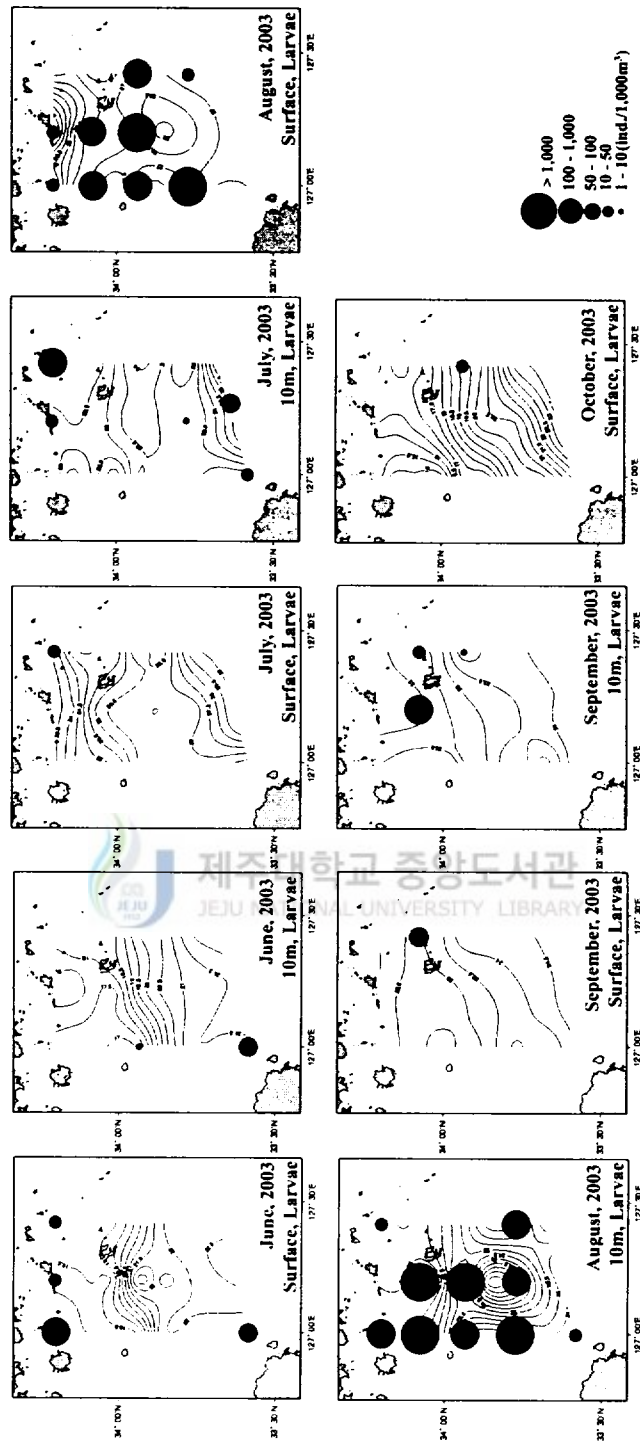


Fig.31. Horizontal distribution of abundance of anchovy larvae and water temperature in the eastern part of Jeju Strait in 2003.

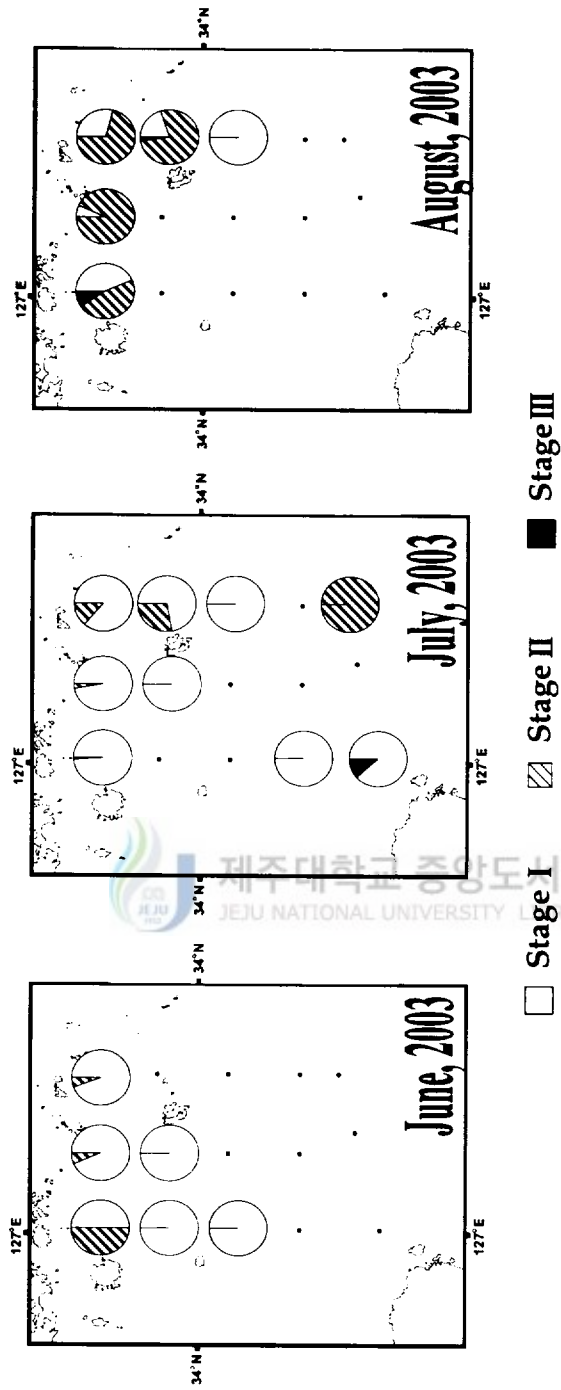


Fig.32. Monthly and spatial changes of anchovy egg by developmental stage in the eastern part of Jeju Strait.

자치어가 가장 많이 출현한 8월은 조사해역의 북부에 비해 중부와 남부에서 20.0 mm 이상의 큰 개체들의 출현비율이 높았으며 9월에는 거문도 동부의 한 개 정점에서 26.0 mm 이상의 대형개체가 출현하였다.

따라서 전반적으로 연구해역의 남부와 동부에서 크기가 큰 개체들의 출현비율이 높았고 시기가 지남에 따라 자치어의 체급도 증가하고 있음을 알 수 있었다.



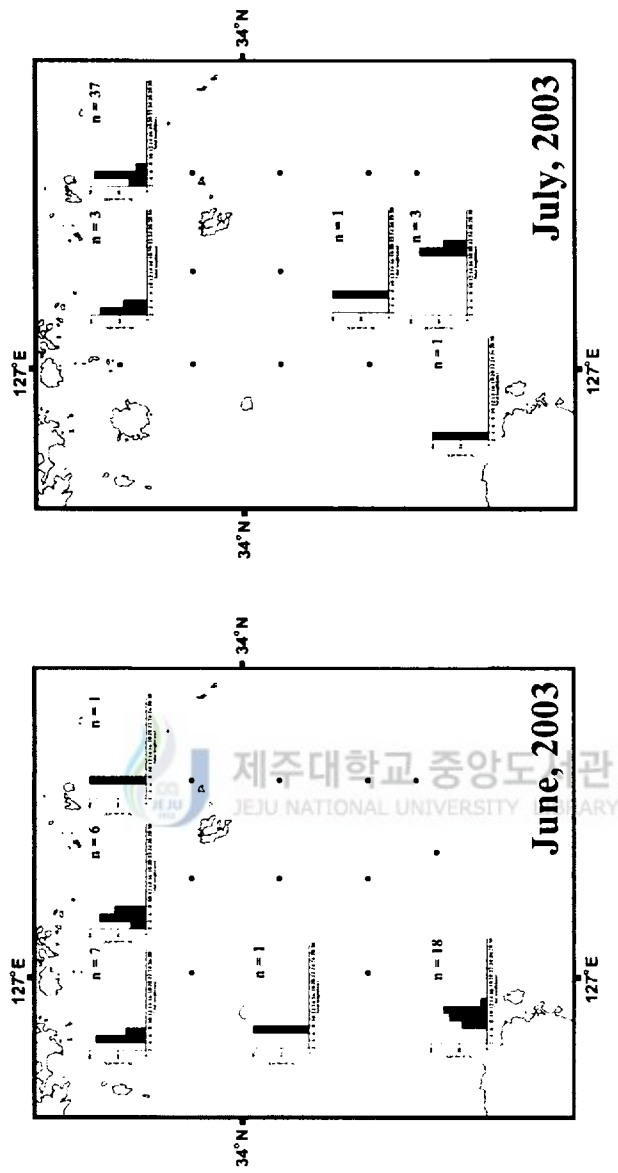


Fig.33. Monthly and spatial changes of length-frequency distribution of anchovy larvae in the eastern part of Jeju Strait. (x-axis, total length; y-axis, occurrence)

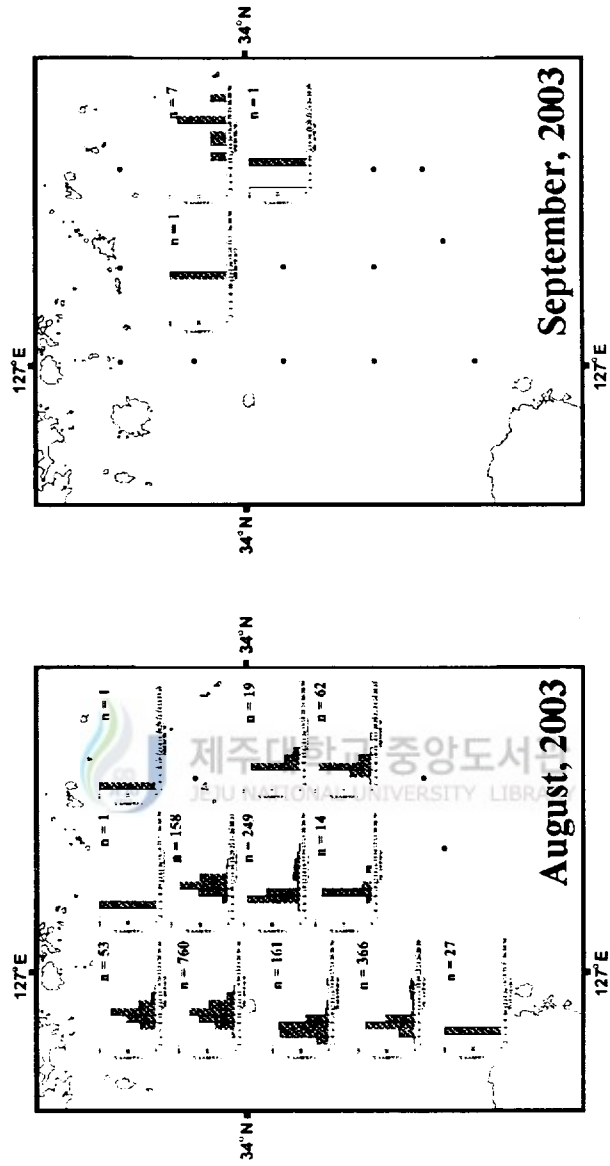


Fig.33. (Continued).

1.3 자치어의 유영력 형성체급

1.3.1 체측근 발달

멸치 자치어의 전장에 대한 백색근과 적색근의 총 섬유개수와 총 횡단면적의 회귀분석 결과는 Table 10과 같고, 이것들을 log/log 대응방식으로 기입하여 Fig.34, Fig.35와 같이 그래프상에 나타냈다.

1.3.1.1 총 섬유개수

멸치 자치어의 전장에 대한 각 근육들의 총 섬유개수 변화를 Fig.34에 나타냈다. 백색근과 적색근 섬유개수의 증가 경향에 있어서는 모두 2개의 변곡점이 존재하였다. 백색근(Fig.34, 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.34, 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.

Table 10. 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

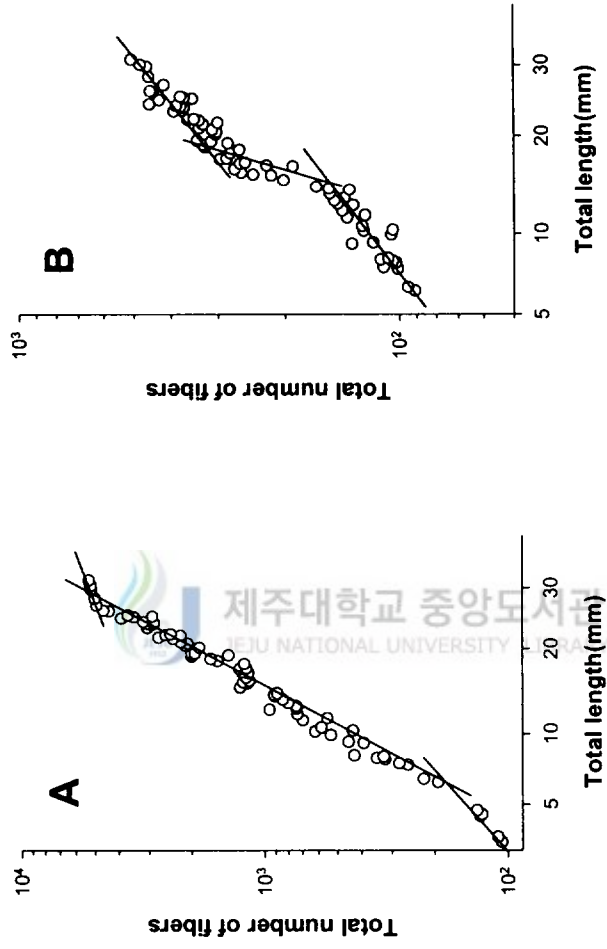


Fig.34. Logarithmic plots showing relationship between total number of fibers and total length in anchovy larvae. A; white muscle, B; red muscle.

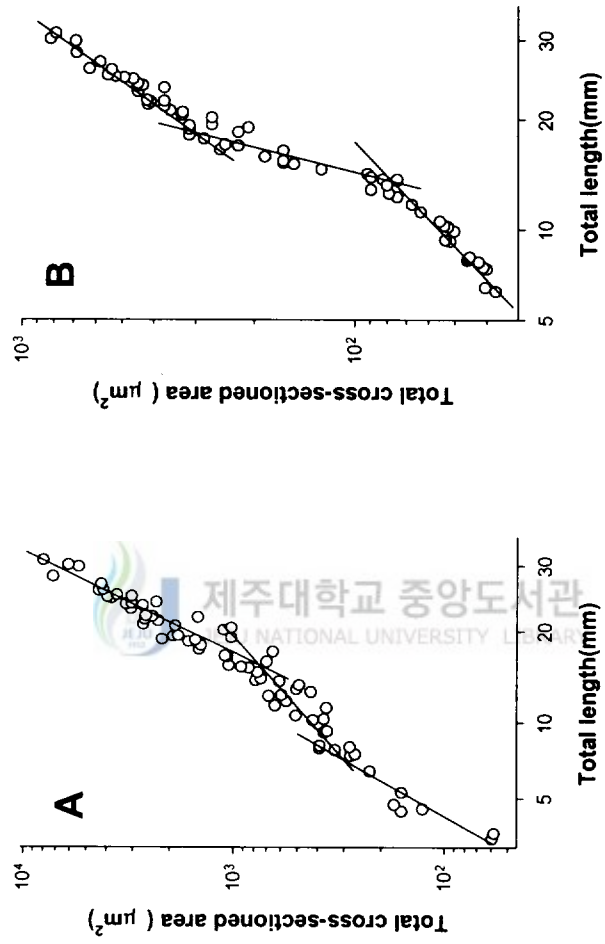


Fig.35. Logarithmic plots showing relationship between total cross-sectioned area and total length in anchovy larvae. A; white muscle, B; red muscle.

1.3.1.2 총 횡단면적

멸치 자치어의 전장에 대한 각 근육들의 총 횡단면적 변화를 Fig.35에 나타냈다. 백색근과 적색근의 총 횡단면적의 증가 경향에 있어서도 근섬유개수와 마찬가지로 각각 2개의 변곡점을 보이며 증가하였다. 백색근의 총 횡단면적(Fig.35, A)은 8.2 mm 이전까지는 약 60~390 μm^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.35, 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.



1.3.2 체측근 단면의 조직학적 발달

크기별 멸치 자치어의 체측근 횡단면을 조직학적으로 관찰하여 그 조직상을 Fig.36에 나타냈다.

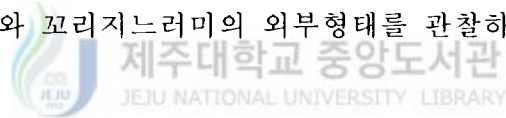
최초 전장 6.2 mm부터 체표를 따라 단일층의 표층 적색근섬유들이 출현하였으며 그 이전의 단계에서는 오직 백색근섬유만이 존재하고 적색근섬유는 발견되지 않았다(Fig.36, A).

14~15 mm 부근부터 수평격벽 부근을 중심으로 적색근 섬유세포가 비대해지면서 2~3개의 성층구조의 V자 형태로 발달하였다(Fig.36, B).

이후의 체급부터는 수평격벽 부근의 적색근 섬유 성층이 더욱 겹겹이 발달하였으며 적색근 섬유의 수적 증가가 뚜렷하였고 또한 백색근 섬유도 수적인 증가뿐만 아니라 섬유세포면적이 비대성장하며 발달하였다(Fig.36, C와 D).

1.3.3 체급별 지느러미의 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 11)와 꼬리지느러미의 외부형태를 관찰하였다(Table 12).



1.3.3.1 지느러미 원기 및 줄기수 변화

지느러미 원기형성(Table 11)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 지

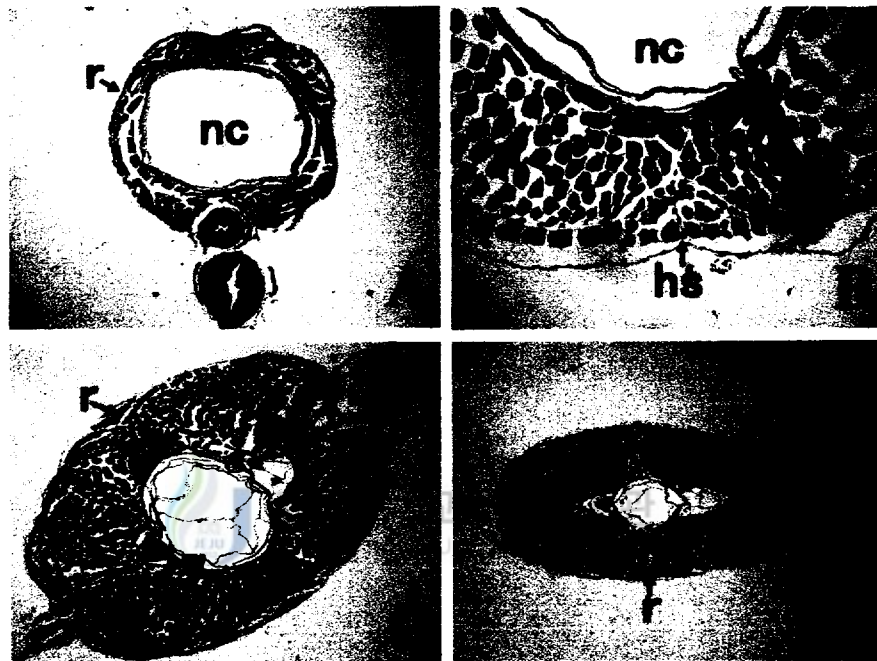


Fig.36. Microphotographs of myotomal muscle fibers of anchovy larvae.

A, 6.2 mm TL($\times 200$); B, 14.9 mm TL($\times 400$)

C, 19.2 mm TL($\times 100$); D, 26.1 mm TL($\times 40$)

nc, notochord; hs, horizontal septum; r, red fibers; w, white fibers; lw, large white fiber; sw, small white fiber.

Table 11. 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

느러미의 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.

1.3.3.2 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 12).

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 12. 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

1.4 난·자치어 분포와 환경과의 관계

1.4.1 난의 분포밀도와 수온·염분과의 관계

2001년 7월의 결과를 대상으로 해역내 멸치 난의 고밀도 분포와 수온, 염분과의 관계에 대해서 분석하였다(Fig.37). 여기에서 난의 고밀도 분포라 함은 1,000개/1,000m³ 이상으로 출현한 정점만을 기준으로 하였다. 우선 전 수층을 통하여 난이 출현한 전체적인 수온, 염분은 10.8~26.3℃, 28.8~33.7‰의 범위로 아주 광범위하였다. 수층별로는 10 m 수층은 14.2~26.3℃, 28.8~32.7‰의 범위로 나타났으나 고밀도의 분포는 각각 18.2~19.8℃, 31.4~32.0‰의 범위로 매우 좁혀졌다.

20 m 수층에서도 전체 12.5~24.0℃, 31.6~33.3‰의 범위로 나타났지만 고밀도 분포는 15.1~21.8℃, 32.0~32.8‰의 범위로 역시 좁혀졌다.

30 m 수층에서는 각각 10.8~20.7℃, 32.3~33.7‰의 범위내에서 출현하였으나 고밀도 분포는 13.5~20.1℃, 32.7~33.6‰의 범위로 좁게 나타났다.

따라서 전반적으로 멸치 난들은 매우 광범위한 수온, 염분 범위대에서 출현하고 있음을 알 수 있었다. 그러나 1,000개/1,000m³ 이상의 고밀도 출현은 대체적으로 13.5~21.8℃, 31.4~33.6‰의 범위대로 그 분포범위가 더 좁혀지고 있었다.

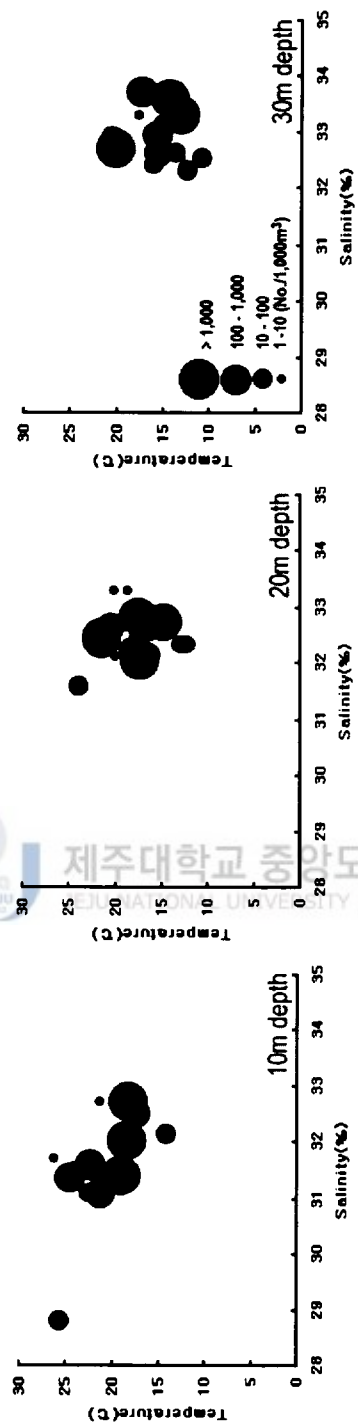


Fig.37. Scatter diagram of anchovy egg abundance (No./1,000m³) on the T-S diagram.

1.4.2 자치어의 분포밀도와 수온·염분과의 관계

2001년 7월에 있어 해역내 멸치 자치어의 분포밀도와 수온, 염분과의 관계는 멸치 자치어를 각각 전장 15.0 mm 미만과 15.0 mm 이상으로 구분하여 분석하였다(Fig.38). 이번 채집에서는 15.0 mm 이상의 개체들이 상대적으로 적게 출현하였으므로 여기서의 고밀도 분포라 함은 15.0 mm 미만과 15.0 mm 이상을 각각 50개체/1,000m³, 25개체/1,000m³ 이상으로 정의하였다.

수층별로는 10 m 수층의 전체적인 수온, 염분 범위는 15.0 mm 미만 개체가 13.3~25.8℃, 28.8~32.7‰, 15.0 mm 이상개체는 12.9~25.7℃, 29.9~32.3‰의 범위에서 출현하였다. 하지만 고밀도 분포로 볼 때 15.0 mm 미만 개체는 15.8~24.5℃, 29.9~32.0‰의 범위인데 비해 15.0 mm 이상 개체는 23.6~25.7℃, 29.9~31.0‰로 비교적 범위가 좁혀졌다.

20 m 수층은 모든 개체가 12.1~22.8℃, 31.7~33.3‰의 범위대에 분포하였다. 하지만 고밀도 분포는 15.0 mm 미만 개체가 14.3~22.8℃, 31.7~32.7‰의 범위인 반면, 15.0 mm 이상 개체는 21.4~22.8℃, 31.7~32.2‰의 범위에서 상대적으로 높은 출현밀도를 보였다.

30 m 수층의 전체적인 출현범위는 15.0 mm 미만 개체가 10.8~20.1℃, 32.2~34.0‰, 15.0 mm 이상 개체는 14.3~20.1℃, 32.7~34.0‰의 범위에서 출현하였다. 고밀도 분포는 15.0 mm 미만 개체가 12.7~20.1℃, 32.4~34.0‰의 범위이며, 15.0 mm 이상 개체는 오직 한 정점(14.7℃, 34.0‰)에서만 출현하였다.

이상을 종합해 보면, 전반적으로 멸치 자치어들도 대체로 광범위한 수온·염분 범위대에서 분포하였으나 고밀도 분포를 보면 15.0 mm 이상의 개체들이 15 mm 미만 개체들 보다 비교적 20℃ 이상의 수온, 32‰ 이하의 염분에서 많이 분포하고 있어서 상대적으로 고수

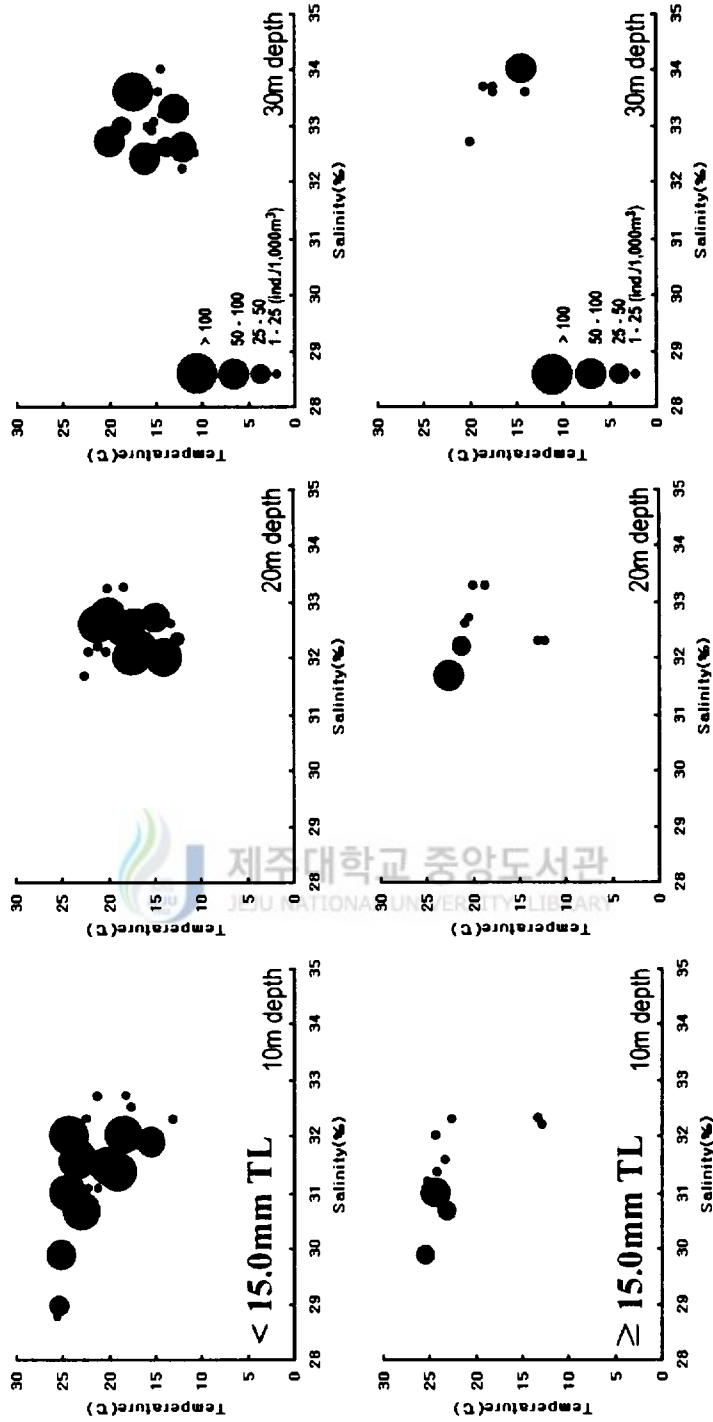


Fig.38. Scatter diagram of anchovy larvae abundance (ind./1,000m³) by the body size (TL) on the T-S diagram.

은, 저염분인 해역에 많이 출현하는 특징이 있음을 확인할 수 있었다.

1.4.3 난·자치어 분포와 환경요인과의 통계분석

1.4.3.1 여름철 제주해협과 그 주변해역

2001년 7월의 멸치 난·자치어 결과에 있어 그 분포밀도와 각각의 해양환경 요인간에 상관성 여부를 알아보기 위해 상관분석을 실시하였고 그 결과를 Table 13에 나타내었다.

1.4.3.1.1 난

난의 분포밀도는 자치어의 분포밀도와 30 m 수층에서 유의한 양의 상관관계($r=0.628$, $P<0.05$)가 있었으며, 수온과의 관계에서는 10 m와 20 m 수층에서 수온이 증가할수록 난 밀도가 감소하는 경향을 나타냈다($r=-0.673$, $P<0.01$; $r=-0.494$, $P<0.05$). 염분과는 20 m 수층에서만 유의한 양의 상관관계($r=0.548$, $P<0.05$)가 나타났다.

난의 분포밀도와 화살벌레류 현존량과의 관계에서는 10 m 수층에서 화살벌레류의 현존량이 증가할수록 난의 밀도가 감소하는 음의 상관관계($r=-0.513$, $P<0.05$)를 보인 반면, 30 m 수층에서는 반대로 양의 상관관계($r=0.793$, $P<0.01$)가 나타났다. 요각류 현존량과는 10 m와 20 m 수층에서 각각 유의한 음의 상관관계($r=-0.498$, $P<0.05$; $r=-0.465$, $P<0.05$)를 나타냈다. 엽록소 a 농도와는 10 m와 20 m 수층에서 엽록소 a 농도가 증가할수록 난의 밀도도 증가하는 경향을 보였다($r=0.651$, $P<0.01$; $r=0.578$, $P<0.01$).

이상과 같이 멀치 난의 분포밀도는 염분을 제외한 나머지 환경요인들과 대부분 유의한 관계가 나타나고 있음을 알 수 있었다.

1.4.3.1.2 자치어

1.4.3.1.2.1 15.0 mm 미만 개체

15.0 mm 미만 자치어들은 30 m 수층에서 엽록소 a 농도가 증가할수록 자치어 밀도가 감소하는 유의한 음의 상관관계($r=-0.485$, $P<0.05$)를 보였을 뿐 나머지 환경요인들과는 전 수층에서 유의한 상관관계가 나타나지 않았다.

1.4.3.1.2.2 15.0 mm 이상 개체

15.0 mm 이상 자치어의 분포밀도는 10 m 수층에서 수온과 유의한 양의 상관관계($r=0.601$, $P<0.05$)가 나타났고, 염분과는 10 m와 20 m 수층에서 각각 유의한 음의 상관관계($r=-0.637$, $P<0.05$; $r=-0.695$, $P<0.05$)를 보였다. 요각류와 화살벌레류에와는 모두 10 m 수층에서 이들의 현존량이 증가할수록 자치어의 밀도도 증가하는 유의한 양의 상관관계($r=0.586$, $P<0.05$; $r=0.474$, $P<0.05$)를 보였다. 또한 10 m와 20 m 수층에서 엽록소 a 농도가 증가할수록 이들의 밀도가 감소하는 유의한 음의 상관관계($r=-0.541$, $P<0.05$; $r=-0.830$, $P<0.05$)가 나타났다.

따라서 전반적으로 15.0 mm 이상의 멀치는 특히 10 m 수층에서 이번에 조사된 환경요인들과 모두 유의한 관계를 보이는 특징이 있었다.

Table 13. Correlation coefficients among anchovy egg, larvae abundance and each environmental factors

	Egg	Larvae	
		<15.0 mm TL	≥15.0 mm TL
10 m			
Egg			0.120
Temperature	- 0.673**	0.114	0.601*
Salinity	0.235	- 0.067	- 0.637*
Copepods	- 0.498*	0.137	0.586*
Sagitta	- 0.513*	0.101	0.474*
Chlorophyll <i>a</i>	0.651**	0.060	- 0.541*
20 m			
Egg			0.349
Temperature	- 0.494*	0.098	0.455
Salinity	0.548*	0.037	- 0.695*
Copepods	- 0.465*	0.213	0.137
Sagitta	- 0.392	0.284	0.234
Chlorophyll <i>a</i>	0.578**	0.252	- 0.830*
30 m			
Egg			0.628*
Temperature	- 0.152	0.304	- 0.437
Salinity	0.353	0.020	0.587
Copepods	0.052	0.052	0.301
Sagitta	0.793**	0.341	0.357
Chlorophyll <i>a</i>	- 0.311	- 0.485*	- 0.004

*, $P < 0.05$; **, $P < 0.01$

1.4.3.2 제주해협 북부해역

제주해협 북부해역에 있어서 멀치 난·자치어 밀도의 월별 변화와 기상요인을 포함한 환경요인과의 관계를 알아보기 위해 상관관계 및 다중회귀분석을 실시하였고 그 결과를 Table 14와 Table 15에 각각 나타내었다.

1.4.3.2.1 상관분석

난은 표층에서 수온($r=0.824$, $P<0.05$), 강수량($r=0.868$, $P<0.05$) 그리고 풍속($r=-0.853$, $P<0.05$)과 유의한 관계가 나타났고, 10 m 수층에서는 강수량($r=0.801$, $P<0.05$), 풍속($r=-0.852$, $P<0.05$)과 유의한 관계를 보였다.

반면에, 자치어는 표층에서 수온($r=0.771$, $P<0.05$), 염분($r=-0.912$, $P<0.01$) 그리고 10 m 수층에서는 강수량($r=0.917$, $P<0.01$), 요각류 현존량($r=-0.800$, $P<0.05$)과 유의한 관계가 나타났다.

이러한 사실들로부터 결과적으로 멀치 난의 밀도변화는 수온의 증가와 더불어 특히 해역내 기상요인들과 관계하고 있었고 반면에 멀치 자치어들의 밀도변화에는 기상요인 및 해양환경요인들과 복합적으로 관계하고 있음을 확인할 수 있었다.

1.4.3.2.2 다중회귀분석

다중회귀 분석에서는 멀치 난 밀도(Y_1)와 자치어 밀도(Y_2)를 각각 종속변수로 두고 각각의 환경요인들(X)을 독립변수로 하였다. 난은 표층에서 0.837의 상관계수를 갖는 회귀방정식이 산출되었고 수온, 강수량 그리고 풍속의 부분회귀계수는 각각 5.600, 1.681, -1.652이었다. 10 m 수층에서는 0.730의 상관계수를 갖는 회귀방정식이 구해졌고 강수량과 풍속의 부분회귀계수는 각각 0.347, -9.159이었다.

자치어는 표층에서 0.831의 상관계수를 갖는 회귀방정식이 산출되

Table 14. Correlation coefficients between the abundances of anchovy eggs and larvae and environmental factors in the northern part of Jeju Strait

Environmental factors	Egg (No./1,000m ³)		Larvae (ind./1,000m ³)	
	0 m	10 m	0 m	10 m
Temperature (°C)	0.824*	0.660	0.771*	0.678
Salinity (‰)	-0.511	-0.511	-0.912**	-0.647
Precipitation (mm)	0.868*	0.801*	0.668	0.917**
Wind speed (m/s)	-0.853*	-0.852*	-0.600	-0.749
Copepods (mg/m ³)	-0.205	-0.424	-0.310	-0.800*
Chlorophyll <i>a</i> (µg/ℓ)	0.081	0.481	0.625	0.352

*, $P < 0.05$; **, $P < 0.01$

었는데 수온과 염분의 부분회귀계수는 각각 1.331, -8.013을 나타냈다. 10 m 수층에서는 0.768의 상관계수가 산출되었으며 강수량과 요각류 현존량의 부분회귀계수는 각각 2.449, -0.671이었다.

이와 같은 사실들을 통하여 조사기간 동안 멸치들의 산란에는 특히 수온의 증가 및 풍속의 감소와 같은 요인들이 관련하고 있었으며 반면에 자치어의 분포에는 수온상승과 더불어 강수량과 밀접히 관련하는 염분의 감소와 같은 요인들이 관련하고 있음을 알 수 있었다.



Table 15. Multiple regression analysis to determine the variables (X) effects on the abundances of anchovy egg (Y_1) and larvae (Y_2)

	Multiple regression equation	Multiple correlation coefficient	F	Sig.
$Y_{1, \text{ surface}}$	$= -7.656 + 5.600X_1 + 1.681X_3 - 1.652X_4$	0.837	5.140	0.005
$Y_{1, 10m}$	$= 5.788 + 0.347X_3 - 9.159X_4$	0.730	5.403	0.007
$Y_{2, \text{ surface}}$	$= 2.799 + 1.331X_1 - 8.013X_2$	0.831	9.851	0.025
$Y_{2, 10m}$	$= 3.334 + 2.449X_3 - 0.671X_5$	0.768	1.613	0.05

Y_1 , egg abundance (No./1,000m³); Y_2 , larval abundance (ind./1,000m³); X_1 , water temperature (°C); X_2 , salinity (‰); X_3 , precipitation (mm); X_4 , wind speed (m/s); X_5 , copepod abundance (mg/m³).

2. 한국 남해산 멸치 생산량 장기변동과 환경과의 관계

2.1 우리나라 남부 기상의 장기변동

2.1.1 기상요인

1971년부터 2002년까지의 기간 동안 우리나라 남부(목포, 여수, 부산, 제주)의 기온, 강수량, 풍속, 상대습도에 대한 경년 변동현황을 Fig.39에 나타냈다.

2.1.1.1 기온

남부의 연평균 기온은 전체 기간 동안 평균 14.5℃를 나타냈고 변동범위는 13.4('80년)~15.7℃('98년)로서 2.3℃의 변동폭으로 변화하였다. 기온에 대한 5년 이동 평균의 변동양상을 살펴보면 남부의 연평균 기온은 70년대 후반까지 약간 상승하다가 이후 감소하였고 80년대 후반에 들어서부터 꾸준히 증가하는 경향을 보였다. 따라서 전체적으로 남부의 기온은 80년대 후반부터 서서히 상승하는 특징을 보였다.

2.1.1.2 강수량

남부의 연평균 강수량은 전체 기간 동안 평균 1,371 mm를 기록하였는데 그 변동범위는 879('88년)~2,202 mm('85년)로서 1,323 mm의 변동폭을 보이며 변화하였다. 강수량에 대한 5년 이동 평균의 변동양상을 보면 전반적으로 70년대 후반까지는 감소, 80년대 후반까지는 증가, 90년대 중반까지는 다시 감소하고 이후 증가하는 반복적인 증감 경향을 보여 전체적으로 남부의 강수량은 해마다 연평균 강수량의 차가 심하였지만 약 8~10년을 주기로 감소와 증가를 반복하며 변화하는 특징이 나타났다.

2.1.1.3 풍속

남부의 연평균 풍속에 있어서는 전체 기간 동안 평균 4.0 %를 나타냈으며 변동범위는 3.7('99년)~4.5 %('71년)로서 0.8 % 정도의 변동폭으로 변화하였다. 풍속에 대한 실제 평균값 및 5년 이동 평균의 변동양상을 보면 남부에서의 풍속은 80년대 후반과 90년대 초반에 다소 증가하는 경향을 보였지만 전체적으로는 꾸준히 감소하는 경향이 두드러졌다.

2.1.1.4 상대습도

남부의 연평균 상대습도는 전체 기간 동안 평균 70.0%를 기록하였으며 변동범위는 76.3('72년)~64.9%('01년)로서 11.4%의 변동폭을 보이며 변화하였다. 상대습도에 대한 실제 평균값 및 5년 이동 평균의 변동양상에 있어서도 풍속과 마찬가지로 70년대 초반부터 최근까지 꾸준히 감소하는 경향을 보였다.

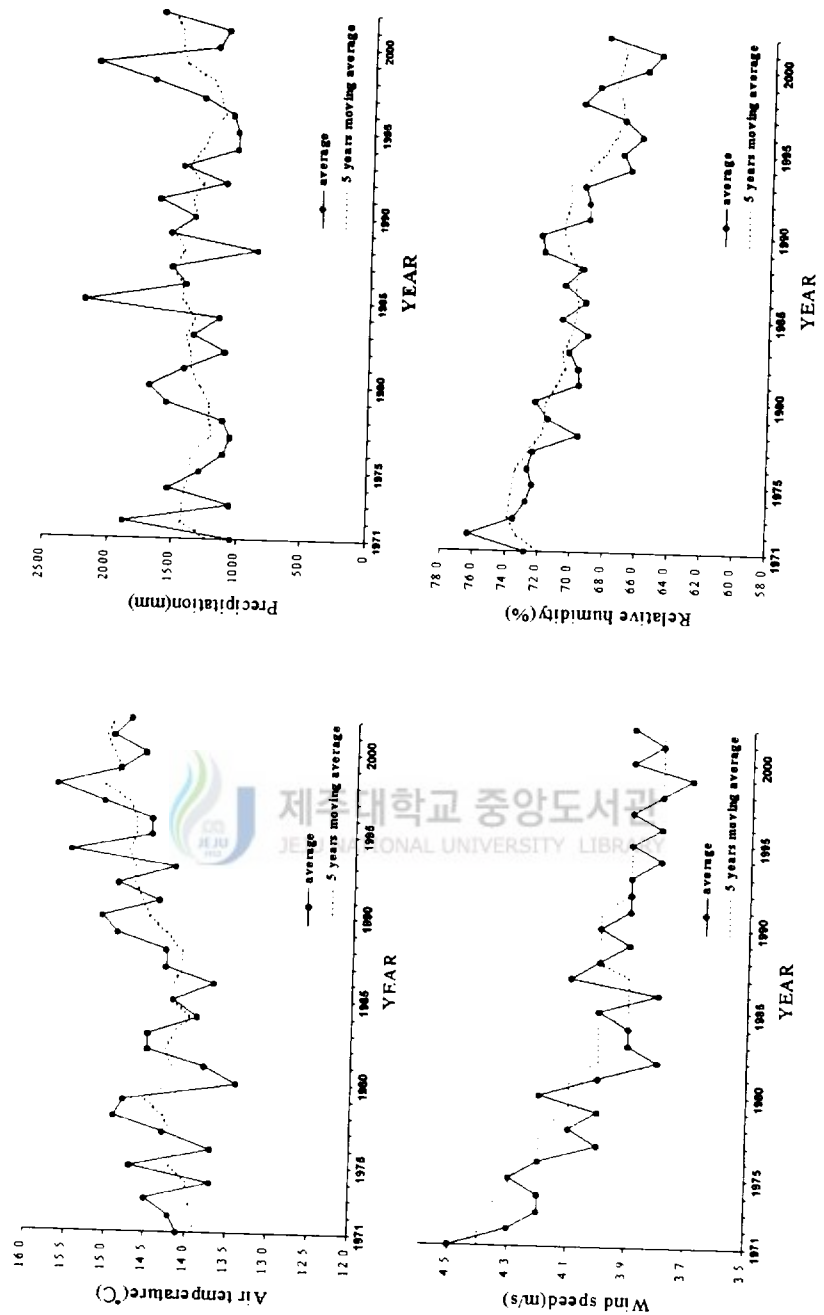


Fig.39. Interannual variations of climatic factors in the southern region of Korea from 1971 to 2002.

2.1.2 계절별 평년편차

한국 남부에 있어 지난 30년간(1971~2000년)의 평균값에 대한 각 기상요인들의 평년편차 변동양상을 계절별로 구분하여 Fig.40~43에 나타내었다.

2.1.2.1 기온

겨울철 남부의 기온 평년편차 변동을 연도별로 살펴보면(Fig.40) 전체 기간 동안 $-2.2\sim 1.6^{\circ}\text{C}$ 의 범위로 변화하였는데 1970년대 전반부터 1980년대 중반까지는 몇몇 해를 제외하고 대부분 평년 보다 $0.5\sim 2.0^{\circ}\text{C}$ 정도 낮은 저온의 경향을 보였다. 하지만 1980대 후반부터는 대부분 평년 보다 높은 고온의 경향이 지속적으로 유지되었다.

봄철의 변동범위는 $-0.9\sim 1.6^{\circ}\text{C}$ 로서 1988년까지는 몇몇 해를 제외하고 평년과 비슷하거나 평년 보다 낮은 저온의 경향이 지속되었으나 그 변동폭은 거의 1°C 이내로서 겨울에 비해 그다지 크지 않았다. 이후 1989년부터는 대부분 평년과 비슷하거나 높은 수준을 유지하며 고온의 경향이 나타났다.

여름철은 전체적으로 $-1.6\sim 1.7^{\circ}\text{C}$ 의 변동범위를 보였고 평년과 비교하여 $\pm 0.5\sim 1.5^{\circ}\text{C}$ 폭으로 증감을 반복하며 다소 불규칙적으로 변화하였다. 그러나 1990년대 중반부터는 대체적으로 평년 보다 높은 고온의 경향을 보였다.

가을철은 전체적으로 $-1.7\sim 1.5^{\circ}\text{C}$ 의 변동범위를 보이며 변화하였다. 1980년대 후반까지는 대체적으로 몇몇 해를 제외하고 평년과 비슷하거나 저온의 경향이 주로 나타났으며 1990년대부터는 2002년을 제외하고 평년과 비슷하거나 대부분 고온의 경향을 보이며 변화하였다.

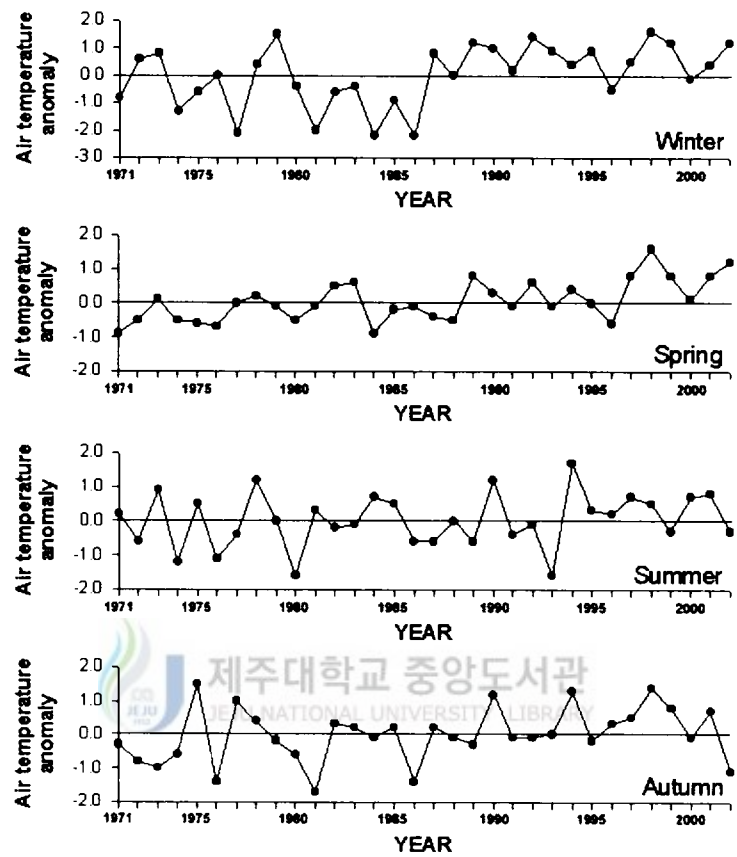


Fig.40. Annual changes of air temperature anomalies in the southern region of Korea from 1971 to 2002.

이상의 결과들로부터 1990년대에 들어 대부분의 계절에서 온난화 현상이 뚜렷하게 나타나고 있음을 확인할 수 있었고 상대적으로 겨울철 온난화 현상이 강하게 나타나고 있었다.

2.1.2.2 강수량

겨울철 남부의 강수량 평년편차 변동을 연도별로 살펴보면(Fig.41) 전체 기간 변동범위는 -76.5~129.3 mm로서 비교적 적은 변동폭을 보이며 불규칙적으로 변화하였으며 1994년부터는 강수량이 적은 해가 많이 출현하였다.

봄철은 -208.6~185.3 mm의 변동범위로서 겨울철에 비해 약간 큰 변동폭을 보였다. 대체적으로 1970년대 중반까지는 평년에 비해 강수량이 많았고 이후부터 1990년대 중반까지는 비교적 강수량이 적은 해가 자주 출현하였다.

여름철은 -398.2~514.4 mm의 변동범위를 보임으로서 계절 중 변동폭이 가장 컸으며 전체 기간을 통해 다소 불규칙하게 변동하였다. 특히 1970년대 중반에는 평년 보다 약 200 mm 이상 적은 해가 자주 출현하는 것이 특징적이었다.

가을철은 전체 기간 동안 -199.0~306.6 mm의 변동범위를 보이며 변화하였으며 대체적으로 1980년대 중반 이후부터 1990년대 중반까지 평년에 비해 강수량이 적은 해가 지속적으로 출현하였다.

이상과 같이 다른 계절에 비해 특히 겨울철은 1990년대에 들어서부터 강수량이 적은 해가 자주 출현하고 있음을 알 수 있었다.

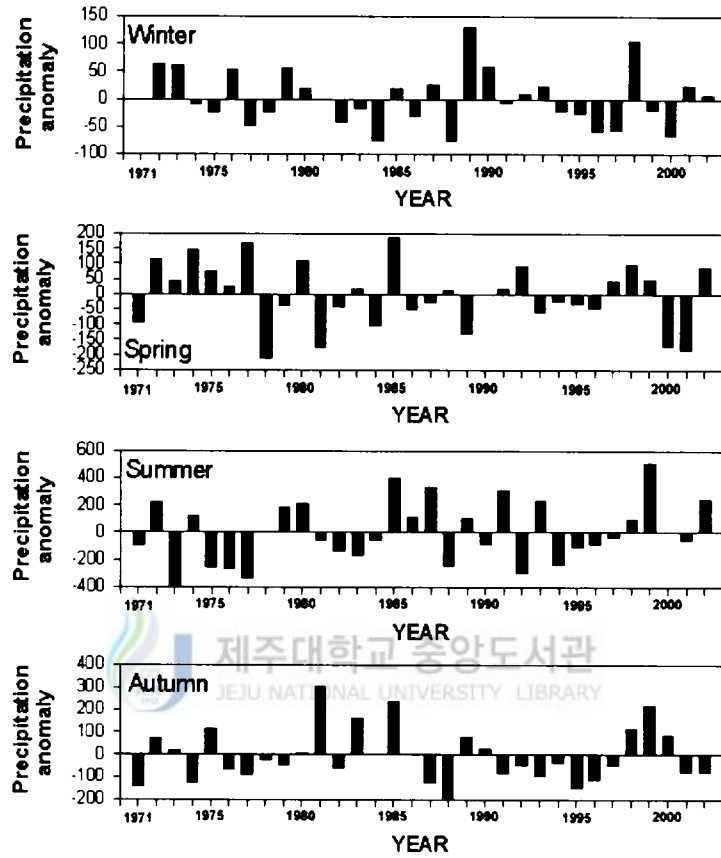


Fig.41. Annual changes of precipitation anomalies in the southern region of Korea from 1971 to 2002.

2.1.2.3 풍속

겨울철 남부의 풍속 평년편차 변동을 연도별로 살펴보면(Fig.42) 전체 기간 $-0.5\sim 0.8$ m/s의 변동범위로 사계절 중 가장 큰 변동폭을 보였다. 1980년대 전반까지는 대부분 평년보다 바람이 다소 강하게 불었으나 1980년대 후반에 들어서부터 평년과 비슷하거나 약한 바람이 부는 겨울철이 지속적으로 나타나고 있어서 전체적으로 겨울철 풍속은 꾸준히 감소하였다.

봄철은 $-0.4\sim 0.5$ m/s의 변동범위를 보였고 1980년까지는 평년 보다 강한 바람이 불었으나 그 이후부터는 1988년과 1990년을 제외하고 평년 보다 약한 바람이 부는 해가 꾸준히 지속되었다.

여름철의 변동범위는 전체 기간 동안 $-0.3\sim 0.6$ m/s를 나타냈으며 70년대 초반에 다소 강한 바람이 불었으나 그 이후부터는 대부분 평년 수준을 크게 벗어나지 않는 범위 내에서 다소 약한 바람이 지속적으로 불었다.

가을철은 $-0.4\sim 0.4$ m/s의 변동범위를 보여 사계절 중 변동폭이 가장 적었으며 1970년대 중반까지는 비교적 강한 바람이 불었으나 그 이후부터는 지속적으로 풍속이 감소하며 변화하여 전체 기간 동안 가을철 풍속은 겨울철과 마찬가지로 지속적으로 감소하는 경향을 보였다.

따라서 전체적으로 모든 계절에 걸쳐 풍속은 감소하는 경향을 보였고 이러한 현상은 상대적으로 겨울철에 더욱 두드러지게 나타나고 있었다.

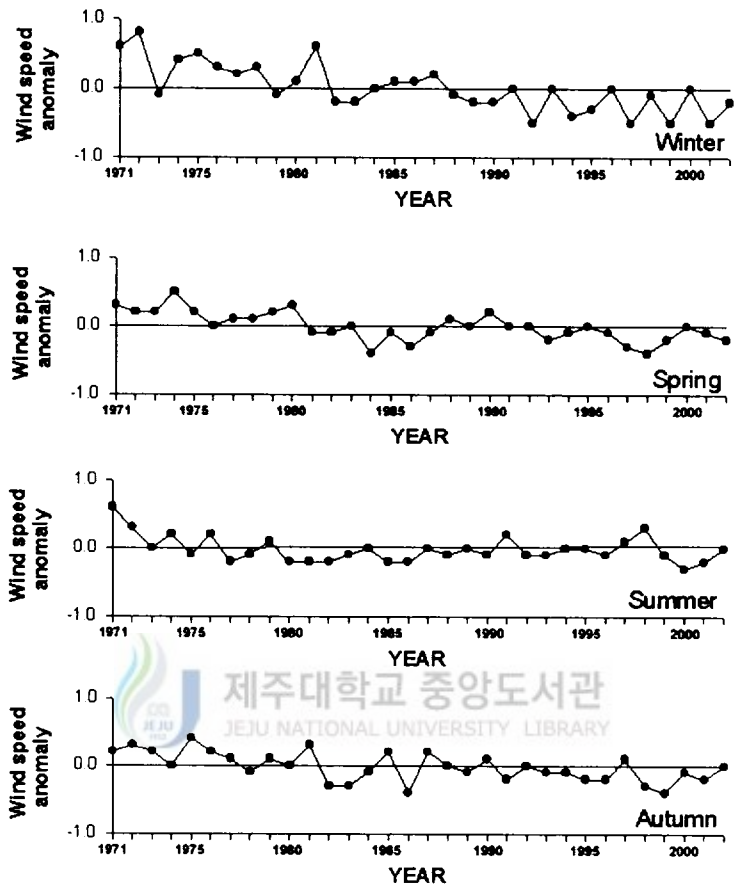


Fig.42. Annual changes of wind speed anomalies in the southern region of Korea from 1971 to 2002.

2.1.2.4 상대습도

겨울철 남부의 상대습도 평년편차 변동을 연도별로 살펴보면 (Fig.43) 전체 기간 동안 -7.0~7.8%의 변동범위로 변화하였다. 1970년대 전반부터 1980년대 전반까지는 평년보다 상대습도가 높은 해가 지속적으로 출현한 반면에 1990년대 중반부터는 이와 반대로 평년보다 낮은 상대습도를 보이는 해가 지속적으로 유지되어 건조한 겨울철이 꾸준히 출현하였다.

봄철은 -8.8~7.6%의 변동범위를 보이며 변화하였다. 변동경향은 겨울철과 유사하게 1970년대 중반까지는 상대습도가 높았고 이후 거의 평년 수준을 유지되다가 1990년대 중반부터 평년 보다 낮은 해가 꾸준히 유지되었다.

여름철은 전체 기간 동안 -3.7~3.7%의 변동범위를 보여 사계절 중 가장 적은 변동폭을 보였다. 연도별 변동경향은 1980년대 전반까지 평년 보다 높은 해가 꾸준히 출현하였고 이후부터는 몇몇 해를 제외하고 대부분 평년 보다 상대습도가 낮은 해가 지속적으로 나타났다.

가을철은 전체 기간에 걸쳐 -5.7~4.7%의 변동범위를 보이며 변화하였는데 1980년대 후반까지는 대부분 상대습도가 높은 해가 출현하였지만 1990년대 전반부터 최근까지는 거의 모든 해에서 상대습도가 낮았다.

결과적으로 모든 계절의 상대습도는 대부분 1990년대 이후부터 감소하여 건조한 날이 지속되고 있음을 확인할 수 있었고 특히 겨울철 건조현상이 두드러진 것이 특징이었다.

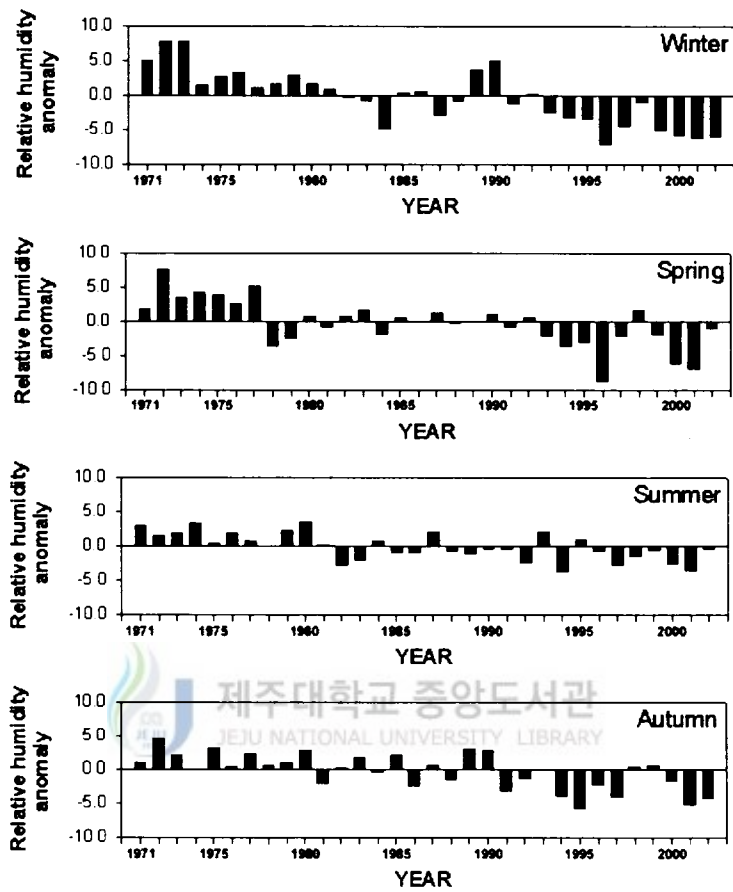


Fig.43. Annual changes of relative humidity anomalies in the southern region of Korea from 1971 to 2002.

2.2 한국 남해 해황의 장기변동

2.2.1 수온 · 염분

1971년부터 2002년까지의 32년간 한국 남해에 있어 표층의 수온과 염분의 연변동 경향을 각각 Fig.44와 Fig.45에 나타냈다.

남해의 표층 수온은 전체 기간 동안 평균 18.2℃ 정도였으며 17.4(‘80년)~19.2℃(‘98년)의 변동범위로서 전체 기간동안 1.8℃의 변동폭을 보이며 불규칙하게 변화하였다. 그러나 5년 이동평균값을 살펴보면 1989년까지는 18.0℃ 부근을 기준으로 작은 변동폭을 보이며 변화하다가 1990년에 들어서 상승하기 시작하여 1990년대에는 18.5℃부근까지 상승하였고 이후 2000년대에 들어서 다소 감소하는 경향을 보였다. 따라서 1990년대는 다른 시기에 비해 고수온을 유지하는 것이 특징이었다.

남해의 표층 염분은 전체 기간 동안 평균 33.6‰을 기록하였으며 변동범위는 33.0(‘98년)~34.0‰(‘88년) 정도로 1.0‰ 정도의 변동폭을 보이며 변화하였다. 1970년대 초반부터 염분이 하강하다가 1979년에 33.8‰로 염분이 상승하였다. 이후 0.5‰ 정도의 변동폭을 보이며 변화하다가 1990년대 후반에 들어 급격히 하강하는 경향을 보였다. 5년 이동평균값에 있어서도 1980년대와 1990년대 중반까지 다소 일정한 수준으로 염분이 유지되다가 1990년대 후반에 들어 급격히 감소하는 특징을 보였다.

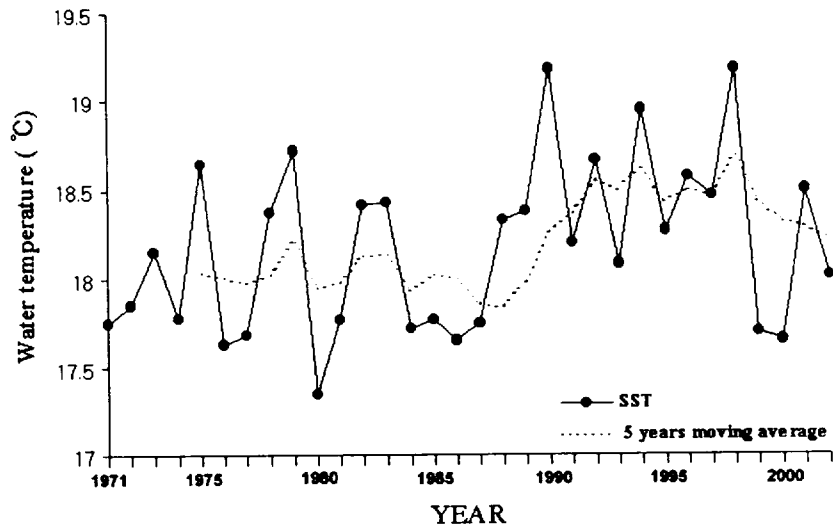


Fig.44. Interannual variations of surface sea temperature (SST) in the South Sea of Korea from 1971 to 2002.

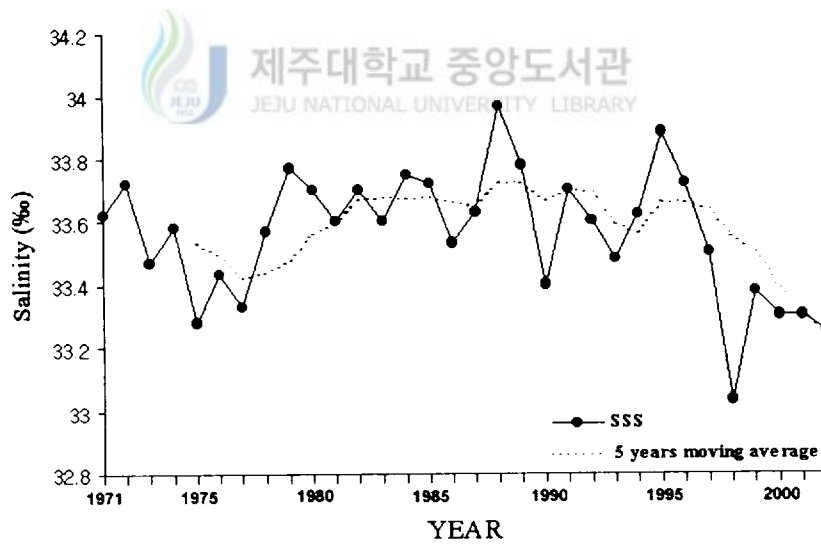


Fig.45. Interannual variations of surface sea salinity (SSS) in the South Sea of Korea from 1971 to 2002.

2.2.2 계절별 평년편차

1971년부터 2002년까지의 32년간 한국 남해 표층의 수온과 염분 평년편차 변화를 계절별로 구분하여 Fig.46과 Fig.47에 각각 나타냈다.

2.2.2.1. 수온

남해 표층수온의 계절별 평년편차 변동사항을 Fig.46에 나타냈다. 겨울철 수온 평년편차는 $-1.5('77년) \sim -1.3('97년)^\circ\text{C}$ 의 변동범위를 보였는데 1973년을 제외한 1970년대 중반까지는 평년보다 낮은 저수온의 경향을 보였다. 이후 1988년까지 약 $\pm 1^\circ\text{C}$ 의 변동폭으로 불규칙하게 변화하다가 1989년부터 최근까지는 모두 평년보다 높은 고수온의 경향이 지속적으로 유지되었다.

봄철 수온 평년편차는 $-1.8('84) \sim 1.4('97년)^\circ\text{C}$ 의 변동범위로 겨울철보다 변동폭이 약간 크게 나타났다. 1976년까지는 대부분 평년보다 높은 고수온의 경향을 보였으나 이후부터 1988년까지는 거의 저수온의 경향으로 바뀌었다. 1989년부터는 몇몇 해를 제외하고 최근까지 겨울철과 마찬가지로 고수온이 나타났으며 특히 1990년대 후반에 1°C 이상의 강한 고수온의 경향을 보였다.

여름철 수온 평년편차는 $-1.4('80년) \sim 1.4('00년)^\circ\text{C}$ 의 변동범위를 보이며 매우 불규칙하게 변화하였으나 1996년부터 몇몇 해를 제외하고 약간 고수온의 경향이 나타났다.

가을철 수온 평년편차는 $-1.6('72년) \sim 2.1('98년)^\circ\text{C}$ 의 변동범위로서 다른 계절들과 비교하여 가장 큰 변동폭을 보이며 변화하였다. 1975년을 제외하고 1978년까지는 모두 평년보다 낮은 저수온을 보였으

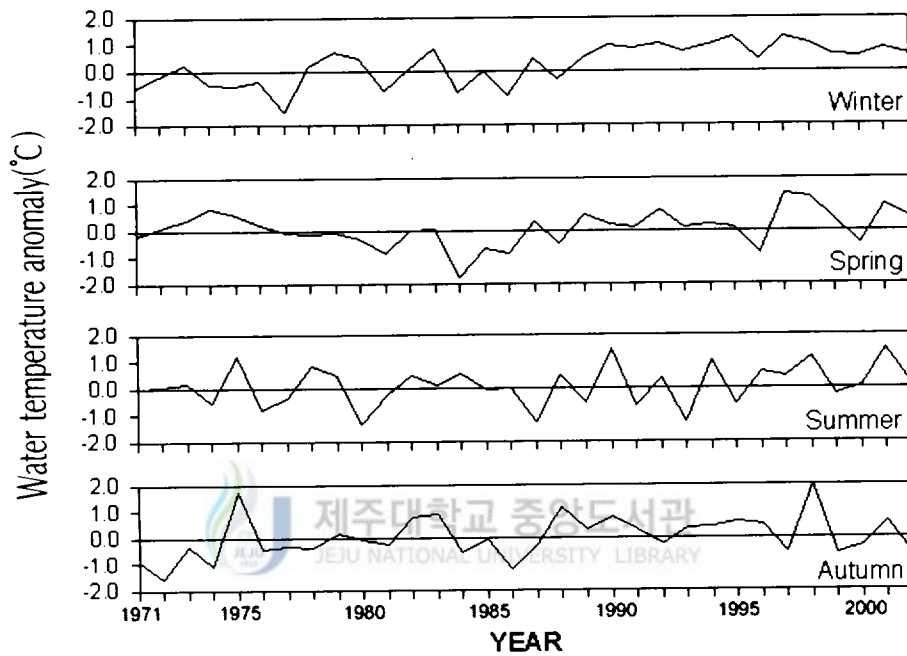


Fig.46. Variation of sea surface temperature (SST) anomalies in the South Sea from 1971 to 2002.

나 1980년대 후반부터 1990년대 중반까지는 대부분 고수온을 유지하였다. 1990년대 중반 이후부터는 1998년과 2001년을 제외하고 모두 저수온의 경향이었다.

이상의 결과들로부터 남해의 표층수온 평년편차는 가을철을 제외하고 1990년대 후반부터 평년에 비해 고수온의 경향이 있음을 확인할 수 있었으며 특히 겨울철은 1980년대 후반부터 최근에 이르기까지 지속적으로 고수온이 강하게 나타나고 있었다.

2.2.2.2. 염분

남해 표층염분의 계절별 평년편차 변동사항을 Fig.47에 나타냈다. 겨울철 염분 평년편차는 $-0.5('99년) \sim 0.3('96년)\%$ 의 변동범위를 보이며 변화하였다. 1971년부터 1997년까지는 $\pm 0.5\%$ 의 적은 변동폭을 보이며 거의 평년값 수준으로 변화하다가 1998년부터 최근까지는 저염분 경향이 지속적으로 유지되었다.

봄철 염분 평년편차는 $-0.4('02년) \sim 0.2('94년)\%$ 의 변동범위를 보여 겨울철 보다 변동폭이 더 적었다. 1990년대 초반과 중반에는 약간 고염분을 보였고 1998년부터는 겨울철과 마찬가지로 저염분이 나타났다.

여름철 염분 평년편차의 변동범위는 $-0.7('75년) \sim 0.5('95년)\%$ 로 앞의 계절들 보다 다소 큰 변동폭을 보이며 변화하였다. 전체 기간에 걸쳐 염분 편차는 불규칙적으로 변화하였고 뚜렷한 경향은 보이지 않았다.

가을철 염분 평년편차는 $-0.9('02년) \sim 0.7('88년)\%$ 의 변동범위를 보여 모든 계절 중 가장 큰 변동폭으로 변화하였다. 1995년까지는 대부분 $\pm 0.5\%$ 의 범위내에서 불규칙하게 변화하다가 1996년부터 최근에 이르기까지 저염분이 지속되었다.

따라서 전체적으로 겨울철과 봄철에 비해 여름철과 가을철의 염분 변동폭이 크게 나타나고 있었으며 대부분의 계절에서 1990년대 중반 또는 후반부터 저염분의 경향이 강하게 나타나고 있음을 알 수 있었다.



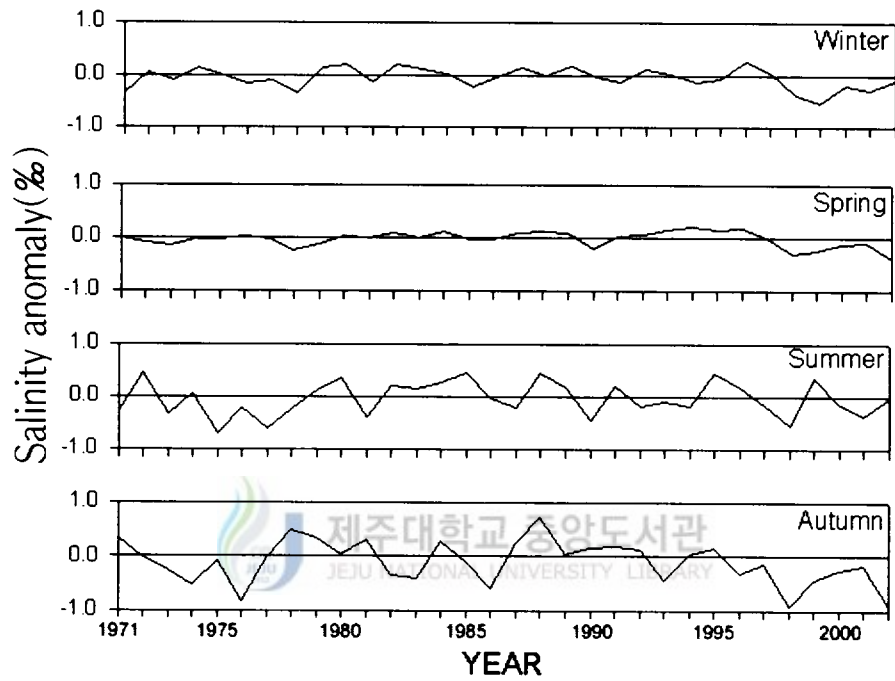


Fig.47. Variation of sea surface salinity (SSS) anomalies in the South Sea from 1971 to 2002.

2.3 멸치 생산량의 장기변동

2.3.1 국내 멸치 생산량 변화

1971년부터 2002년까지의 32년간 국내에서 생산된 일반해면어업 대상 전체 어류의 생산량과 멸치 생산량의 경년변동을 Fig.48, 전체 어류 중에서 멸치가 점유하는 비율의 경년 변동 사항을 Fig.49에 각각 나타냈다.

지난 32년간 국내에서 일반해면어업에 의해 생산된 전체 어류의 생산량(Fig.48)은 평균 997,661M/T을 기록하였는데 1971년에 573,608M/T의 가장 낮은 생산량으로 시작하여 1986년에 1,373,018M/T으로 최대값을 보인 후 점차 감소하는 추세를 보였고 2002년에는 714,058M/T이 생산되었다.

이에 반해 멸치의 생산량은 32년간 평균 176,884M/T을 기록하였으며 1971년에 66,904M/T에 불과하던 것이 2001년에는 273,927M/T으로 최대값을 보이는 등 멸치 생산량은 일반해면어업 대상 전체 어류들과는 달리 꾸준히 증가하는 추세를 보였다.

한편 지난 32년간 국내 일반해면어업 대상 전체 어류 중 멸치 점유비율의 경년 변동 사항을 살펴보면 멸치의 평균 점유율은 18.2%로 1971년에 11.7%를 차지하면서 증감을 보이며 변화하다가 1988년에 가장 낮은 10.8%를 차지하였고 이후 계속 증가하면서 2002년에는 33.1%로 가장 높은 점유비율을 차지하였다(Fig.49).

이상의 결과로부터, 국내에서 지난 32년간 일반해면어업 대상 전체 어류의 생산량은 1986년을 정점으로 점차 감소추세를 보였지만 멸치 생산량은 이후에도 지속적으로 증가하는 것이 특징이었다.

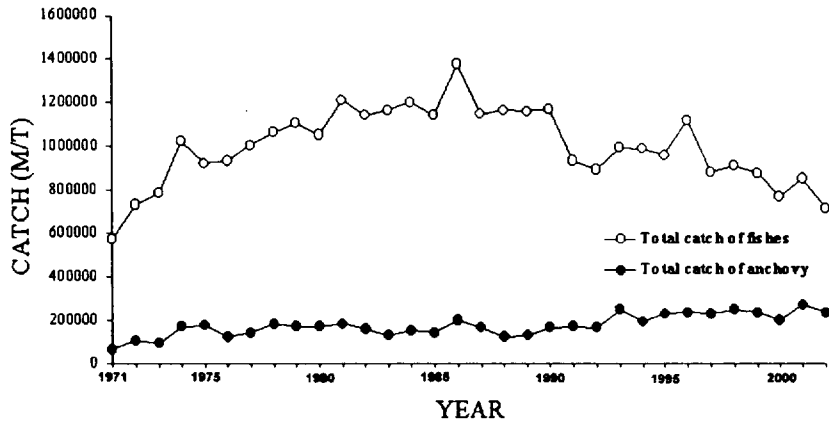


Fig.48. Fluctuations in annual catches of total fish and anchovy in Korea from 1971 to 2002.



Fig.49. Fluctuations in percent composition of anchovy catch compared with the catch of total fish in Korea from 1971 to 2002.

2.3.2 해구별 멸치 생산량 변화

1971년부터 2002년까지의 기간 동안 국내에서 생산된 멸치를 크게 남해구(전남, 경남, 부산, 제주), 황해구(경기, 인천, 충남, 전북) 그리고 동해구(울산, 경북, 강원) 등 세 개의 해역으로 구분하여 생산량의 경년변동 경향(Fig.50)과 점유비율(Fig.51)을 비교하였다.

남해구에서는 전체기간 평균 159,377M/T의 멸치가 생산되었으며 1971년에 62,072M/T으로 최저였던 것이 점차적으로 증가하여 2001년에는 249,089M/T으로 최대값을 나타냈다. 또한 국내 전체 멸치 생산량 중 남해구는 전체 평균 90.0%를 차지하여 상당히 높은 점유비율을 보였다.

동해구에서는 평균 8,553M/T의 멸치가 생산되었으며 1990년에 16,603M/T으로 가장 많았다. 하지만 국내 전체 멸치 생산량 중 동해구가 차지하는 비율은 평균 5.1%로 남해구에 비해 상당히 적었다.

황해구는 평균 8,954M/T의 멸치가 생산되었으며 2002년에 23,179M/T으로 가장 많았으나 국내 멸치 생산량에 있어 황해구가 차지하는 비율은 평균 4.9%로 다른 두 해구에 비해 점유비율이 가장 낮았다.

따라서 국내에서 생산되는 멸치는 거의 대부분 남해에서 생산되고 있음을 알 수 있었다.

2.3.3 어업별 멸치 생산량 장기변동

1971년부터 2002년까지의 기간 동안 남해에서 생산되는 멸치에 대해서 주요 어업별 점유비율을 Fig.52에 나타내었다. 이 중 기선권현

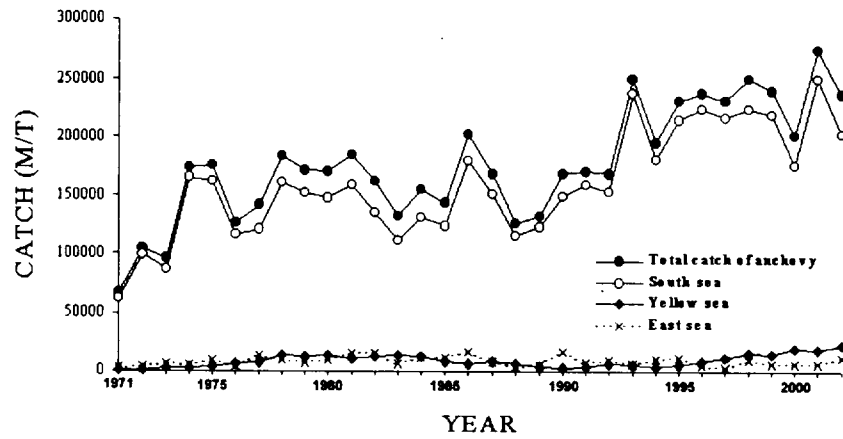


Fig.50. Annual changes in anchovy catch by each sea area of Korea from 1971 to 2002.

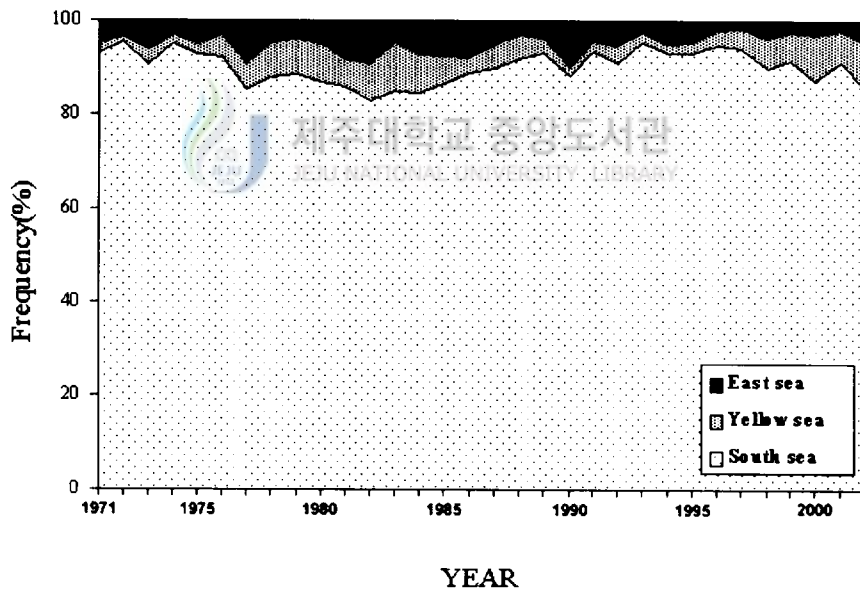
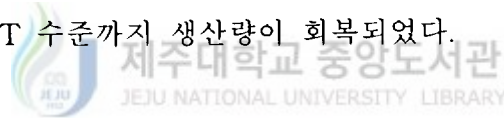


Fig.51. Annual changes in percent composition of anchovy catch in the each sea area from 1971 to 2002.

망(Drag net) 어업이 53.7%로 가장 높은 비율을 차지하였고 다음으로 유자망(Drift gill net) 어업 17.5%, 정치망(Set net) 어업 10.9%, 들망(Scoop net) 어업 3.4%의 순이었으며 그 외 기타 어업은 14.5%를 차지하였다. 따라서 남해에서 멸치는 기선권현망어업과 유자망어업 두 가지의 어업에 의해서 70% 이상이 생산되고 있었다.

어업별 점유비율 중 수위를 차지하는 기선권현망어업과 유자망어업에 의한 멸치의 생산량 변화를 Fig.53에 나타냈다. 기선권현망어업에 의한 멸치 생산량은 32년간 평균 94,987M/T으로서 1971년에 21,000M/T이던 것이 점차 증가하여 1986년을 제외하고는 1992년까지 약 90,000M/T 내외의 수준으로 변동하다가 1993년에는 162,588M/T으로 가장 높은 생산량을 기록하였다. 이후 90년대 중반부터는 점차 감소하는 추세를 보였다.

유자망 어업에 의한 멸치 생산량은 32년간 평균 31,000M/T으로서 1974년에 58,714M/T으로 가장 많이 생산되었으나 이후 감소하면서 1995년까지 30,000M/T 내외로 증감을 반복하며 변화하다가 1996년에 13,299M/T으로 가장 낮았다. 이후 다시 증가하면서 2002년에는 약 50,000M/T 수준까지 생산량이 회복되었다.



2.3.4 월별 생산비율 변화

1971년부터 2002년까지의 32년간 기선권현망과 유자망어업에 의한 월별 멸치 생산비율 변화를 Fig.54에 나타냈다.

기선권현망 어업의 월별 생산비율은 1월부터 6월까지 모두 10% 미만으로 낮았으나 7월에 13.6%로 증가하여 8월에 가장 높은 15.5%의 생산비율을 나타냈다. 이후 12월까지 계속 10% 이상으로 높은 생산

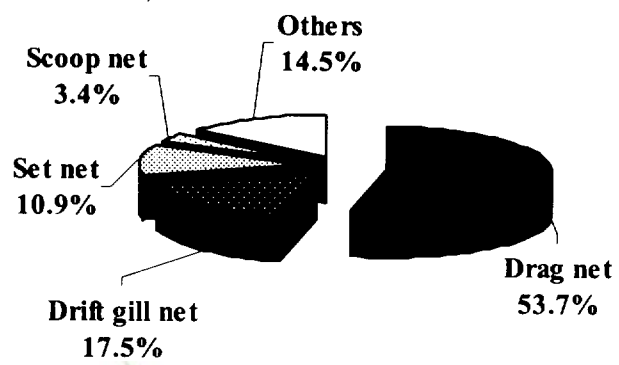


Fig.52. Composition of anchovy catch by the fishing methods in South Sea of Korea from 1971 to 2002.

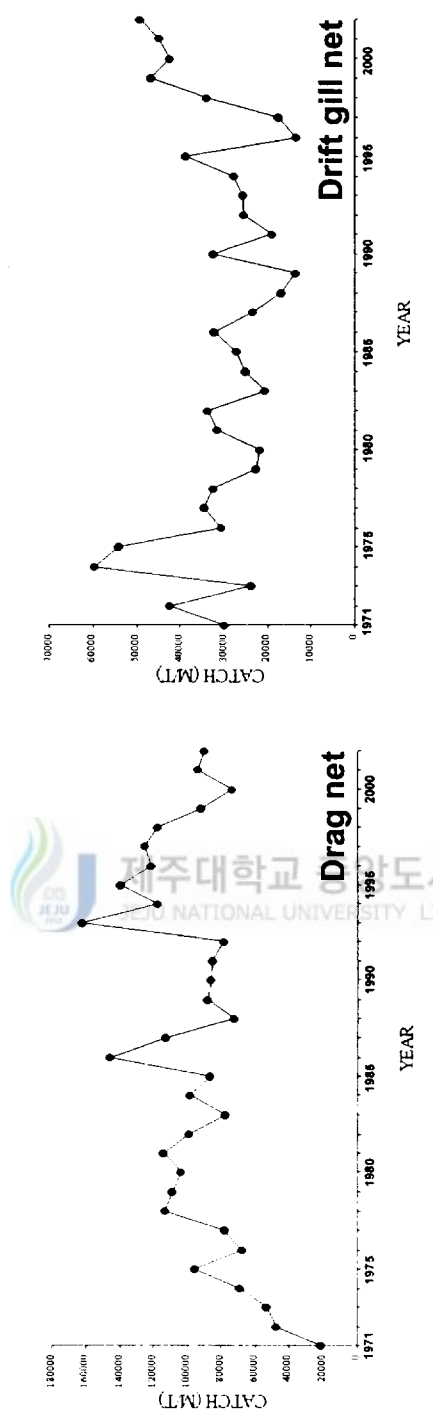


Fig.53. Interannual changes of anchovy catch by drag net and drift gill net fishery in the South Sea of Korea from 1971 to 2002.

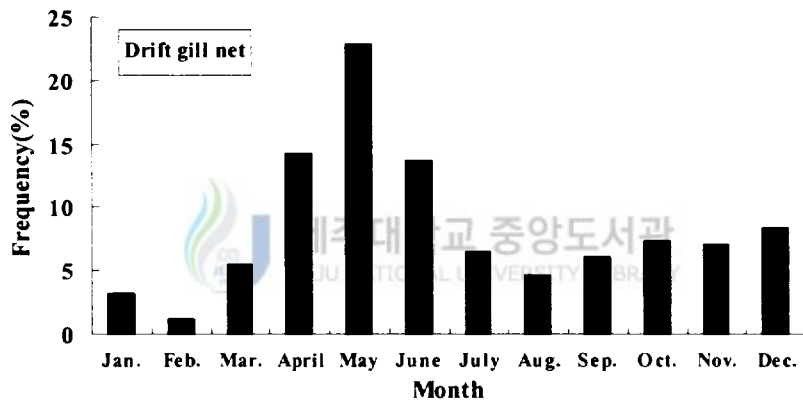
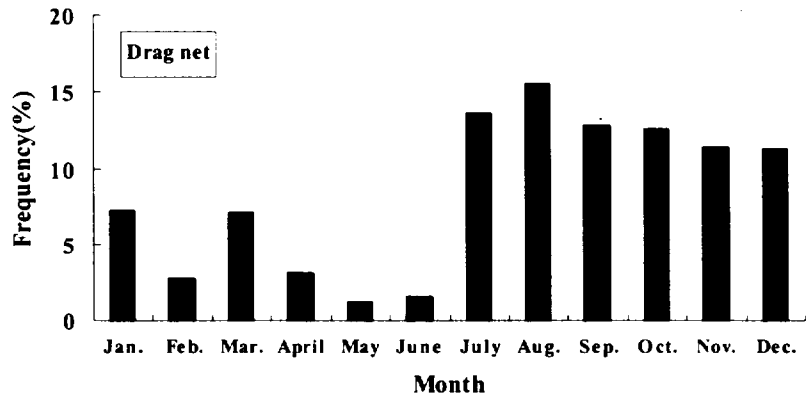


Fig.54. Monthly frequency in mean catch of anchovy in the South Sea of Korea during 32 years.

비율을 보았으므로 7~12월의 생산량이 전체에서 77.2%를 차지하였다. 따라서 우리나라 남해의 기선권현망 어업에 의한 멸치 주성어기는 여름철과 가을철인 7~12월에 해당하였다. 한편 기선권현망 어업은 4~6월이 법정 금어기간으로서 남해 일부 해역에서 조업을 할 수 없기 때문에 이 시기의 생산비율은 상당히 낮았다.

유자망 어업은 1~3월에 5% 내외였다가 4월에 14.2%로 증가하여 5월에 22.8%로 가장 높았고 6월은 13.6%를 차지하였다. 이후 7월부터 12월까지 생산비율은 모두 10% 미만으로 낮은 수준을 보였다. 따라서 남해에서 유자망 어업에 의한 멸치 주성어기는 봄철인 4~6월이 전체 중 56.0%를 차지하므로 이시기에 집중적으로 생산되었다.

2.3.5 계절별 멸치 생산량 장기변동

1971년부터 2002년까지의 32년간 기선권현망 어업과 유자망 어업의 연간 생산량 변화와 점유비율을 계절별로 구분하여 그림으로 나타냈다(Fig.55~58).

2.3.5.1 기선권현망 어업

기선권현망 어업에 의한 겨울철 생산량 변동(Fig.55)을 살펴보면 1979년을 제외하고 1971년부터 1992년까지는 모두 20,000M/T 미만으로 낮은 수준을 유지하며 변화하다가 1993년부터 27,264M/T으로 증가하기 시작하여 1999년에는 40,438M/T으로 최대생산량을 나타냈다. 이후 2000년과 2001년에는 다소 감소하였으나 2002년에 다시 36,235M/T으로 증가하였다. 점유비율 면에서도 겨울철 생산량은 꾸

준히 증가하여 1990년대 중반부터는 전체 계절 중 겨울철 생산량이 약 30%의 비율을 차지하였다(Fig.56).

여름철 생산량은 1971년부터 증가하여 1982년까지 30,000M/T 내외로 증감을 반복하며 변화하다가 1987년에 50,066M/T으로 최대 생산량을 기록하였다. 이후 1980년대 후반과 1990년대 초반에는 상대적으로 생산량이 낮았고 1990년대 중반과 후반은 1995년을 제외하고 40,000M/T 내외로 높은 수준을 보였으나 2000년대 들어 다시 감소하는 경향이 두드러졌다. 여름철 생산량의 점유비율은 전 기간 평균 30% 내외로 변화하였으며 뚜렷한 증감 경향은 나타나지 않았다.

가을철 생산량은 1980년대 중반까지 증가하는 경향을 보이며 1986년에 74,631M/T으로 최대 생산량을 기록하였다. 그러나 1980년대 후반부터는 감소하면서 1999년부터 모두 20,000M/T 내외로 생산량이 낮았다. 가을철 생산량의 점유비율에 있어서도 1992년까지는 대부분 40% 내외로 높은 비율을 차지하였으나 이후부터는 1995년을 제외하고 모두 30% 미만으로 점유비율이 감소하였다.

한편 봄철 생산량 변동은 기선권현망어업의 법정 금어기간(4~6월)이 포함되어 있으므로 논의대상에서 제외시켰다.

결과적으로 우리나라 남해에서 기선권현망 어업에 의한 멸치 생산량은 주성어기가 되는 여름철 생산량이 최근인 2000년대 전반에, 가을철 생산량은 1990년대 중반부터 감소하는 경향을 보인 반면에 상대적으로 겨울철 생산량은 1990년대 전반부터 뚜렷하게 증가하는 경향이 강하게 나타나고 있음을 확인할 수 있었다.

2.3.5.2 유자망 어업

유자망 어업에 의한 겨울철 생산량 변동(Fig.57)을 살펴보면 1971년부터 1998년까지는 거의 5,000M/T 미만의 낮은 수준으로 유지되

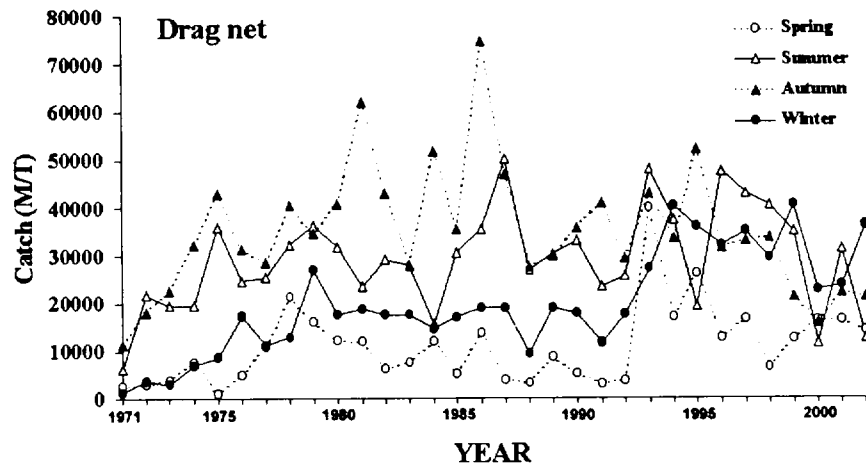


Fig.55. Annual changes in seasonal catches of anchovy by drag net fishery in the South Sea of Korea during 1971~2002.

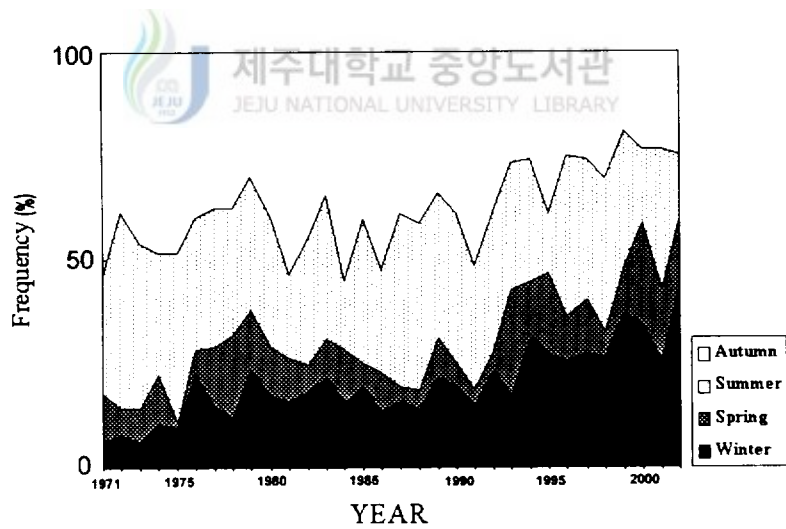


Fig.56. Annual changes in percent composition of seasonal catches of anchovy by drag net fishery from 1971 to 2002.

다가 1999년에 14,046M/T으로 급증하였으며 이후의 시기에도 모두 9,000M/T 내외로 생산량이 높았다. 점유비율도 겨울철 생산량은 점차적으로 증가하는 경향을 보이면서 1990년대 후반부터 대부분 20% 이상을 차지하였다(Fig.58).

봄철 생산량은 1970년대 중반에 비교적 많은 생산량을 보이며 1975년에 31,220M/T으로 최대 생산량을 기록하였으나 이후 점차 감소하여 1996년에는 3,030M/T으로 최소 생산량을 보였다. 1999년에 14,716M/T으로 다소 생산량이 회복되었지만 2000년대에 들어 다시 10,000M/T 내외의 수준으로 생산량이 감소하였다. 전체 계절 중 봄철 생산량이 차지하는 비율도 1995년까지는 대부분 40% 내외의 높았지만 이후 시기부터는 대부분 30% 미만으로 낮았다.

여름철 생산량은 1974년에 28,011M/T로 최대 생산량을 기록한 이후에 감소하기 시작하여 1976년부터 1998년까지는 모두 10,000M/T 미만의 낮은 수준으로 변화하였다. 하지만 2000년을 제외하고 이후의 시기부터는 모두 14,000M/T 이상으로 생산량이 다시 회복되었다. 점유비율은 1970년대 초반을 제외하고 대부분의 해에서 30% 미만으로 변화하였다.

가을철 생산량은 1971년부터 1999년까지 대부분 10,000M/T 이하의 생산량을 기록하며 불규칙적으로 변동하다가 2000년에 들어 증가하여 2002년에 14,714M/T로 최대 생산량을 기록하였다. 점유비율은 1990년대 중반부터 대부분 30% 이상으로 높은 비율을 보였다.

전체적으로 우리나라 남해에서 유자망 어업에 의한 멸치 생산량은 주성어기인 봄철의 생산량이 시기가 지날수록 점차 감소하는 경향이 뚜렷한 반면에 겨울철, 여름철 그리고 가을철 생산량은 1990년대 후반 혹은 2000년대에 들어서 증가하는 경향이 두드러지게 나타나고 있음을 알 수 있었다.

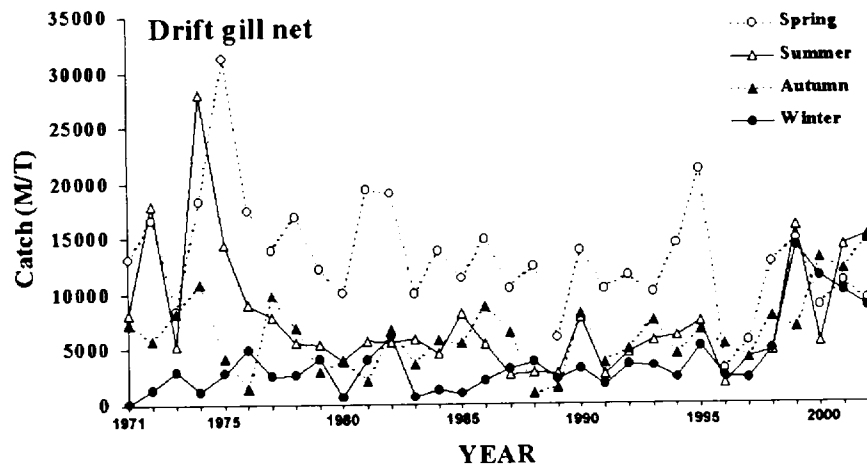


Fig.57. Annual changes in seasonal catches of anchovy by drift gill net fishery in the South Sea of Korea during 1971~2002.

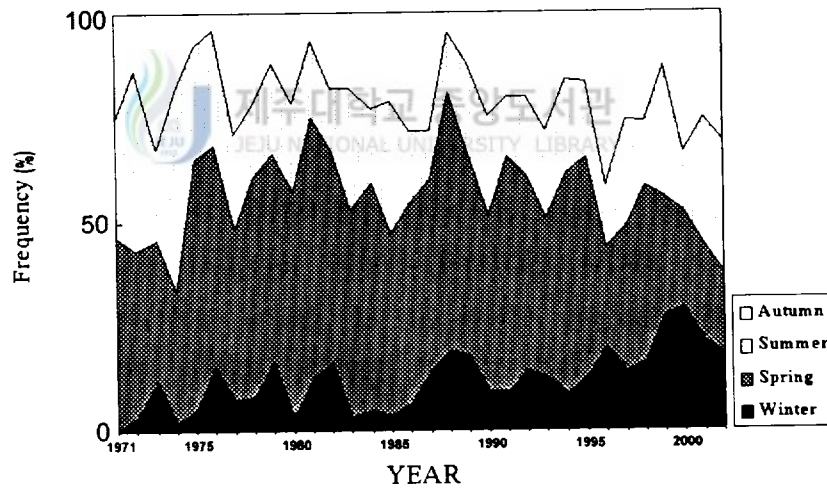


Fig.58. Annual changes in percent composition of seasonal catches of anchovy by drift gill net fishery from 1971 to 2002.

2.4 멸치 생산량과 환경과의 관계

2.4.1 ENSO와의 관계

엘리뇨가 발생하는 기간 동안에 남해의 멸치 생산량이 어떻게 변화하고 있는지를 알아보기 위해 1971~2002년까지의 남방진동지수(SOI)와 열대 동부태평양에 위치하는 엘리뇨 감시해역(NINO 3)의 연평균 표층 수온편차 및 남해의 연평균 표층 수온편차 그리고 남해 멸치의 연간 생산량의 변동상황을 함께 Fig.59에 나타냈다.

전체적으로 SOI와 NINO 3 해역의 표층 수온편차는 거의 반대의 경향을 띠며 변화하였는데 특히 1972년, 1982~1983년, 1987년, 1997년에는 SOI가 값이 큰 폭의 음의 편차값을 보임과 동시에 NINO 3 해역의 표층 수온편차는 큰 폭으로 상승하여 이 시기에 엘리뇨가 강하게 발생하고 있었다. 남해의 표층 수온편차 변동은 엘리뇨가 발생한 년도와 관련하여 뚜렷한 경향은 나타나지 않았다.

남해의 연간 멸치 생산량은 남해의 수온이 대부분 고수온을 보이는 1990년대에 들어서 멸치 생산량도 급격히 증가하였다. 멸치 생산량과 엘리뇨와의 관계를 살펴보면 강한 엘리뇨가 발생했던 1972년, 1982~1983년, 1987년, 1997년에는 멸치 생산량이 상대적으로 저조하였다. 또한 1997년을 제외한 1972년, 1982년, 1987년의 엘리뇨 해 들인 경우에는 그 다음 년도인 1973년, 1983년, 1988년에 평균 20,000M/T 이상으로 멸치 생산량이 급격하게 감소하여 엘리뇨 해보다 멸치 생산량이 더 저조하였으며 또 그 다음해가 되면 생산량이 다시 회복하는 경향이 공통적으로 나타나고 있는 것도 특징적이었다.

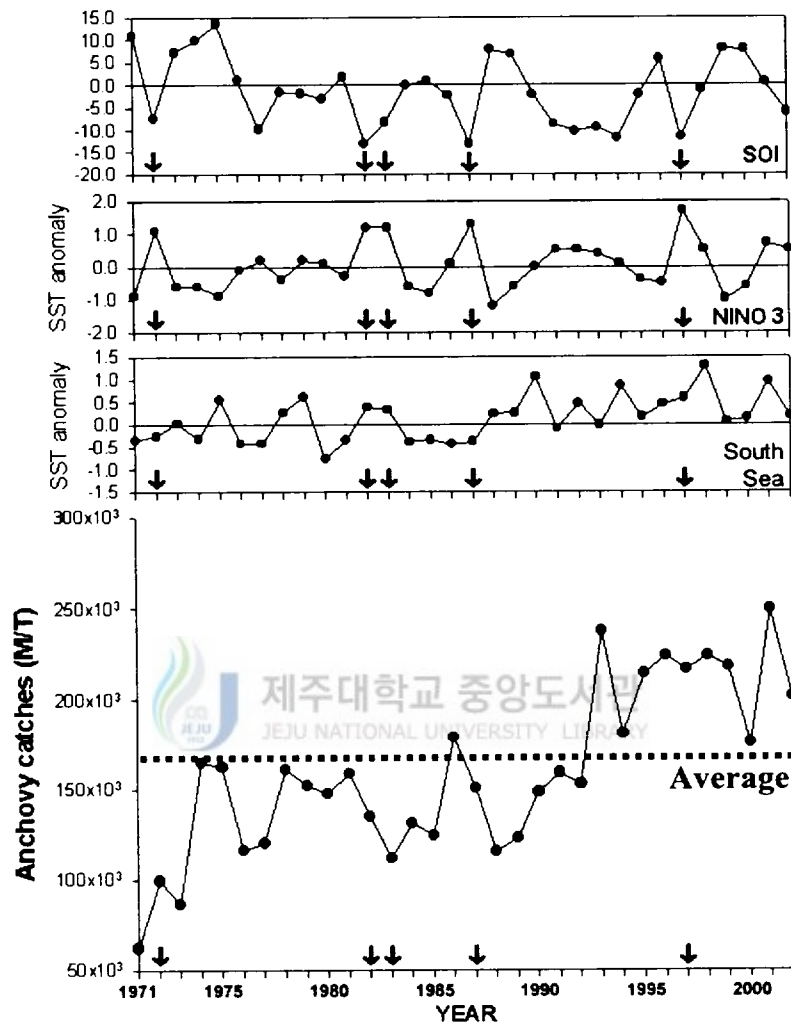


Fig.59. Interannual variations of the annual SOI anomaly, the annual SST anomaly in NINO 3 and South Sea, and the annual catch of anchovy from South Sea. The arrows indicate the El Niño years.

2.4.2 계절별 생산량과 환경요인과의 관계

기선권현망 어업과 유자망 어업에 의한 멸치 생산량을 계절별로 구분하고 각 계절의 생산량에 대해 해당 계절 및 그 이전 계절들의 환경요인들과의 관계를 조사하기 위해 상관분석을 실시하였으며 그 결과를 Table 16과 17에 각각 나타냈다.

2.4.2.1 기선권현망 어업

기선권현망 어업에 대한 상관분석에 있어서는 계절별 멸치 유자망 생산량을 친어 자원량으로 간주하여 분석항목에 포함시켰다(Table 16).

겨울철 생산량은 겨울철 유자망 생산량과 $r=0.504(P<0.01)$ 의 유의한 양의 상관관계를 보였다. 기온은 겨울철 기온과는 $r=0.392(P<0.05)$, 그 이전해 봄철은 $r=0.564(P<0.01)$ 그리고 그 이전해 가을철과 $r=0.407(P<0.05)$ 로 모두 유의한 양의 관계를 보였다. 풍속은 겨울철 풍속과 $r=-0.661(P<0.01)$ 의 관계가 나타난 것을 비롯하여 이전해 봄철, 여름철, 가을철 풍속과 각각 $r=0.590(P<0.01)$, $r=-0.364(P<0.05)$, $r=-0.559(P<0.01)$ 를 보여줌으로서 모든 계절에 걸쳐 유의한 음의 관계를 보였다. 상대습도와도 겨울철 상대습도와 $r=-0.704(P<0.01)$, 이전해 봄철, 여름철, 가을철 상대습도와는 각각 $r=-0.667(P<0.01)$, $r=-0.579(P<0.01)$, $r=-0.656(P<0.01)$ 을 나타내고 있어 전반적으로 상관성이 높은 음의 관계가 나타났다. 또한 겨울철 생산량은 겨울철 수온과도 $r=0.517(P<0.01)$ 의 유의한 양의 관계를 보였다. 여름철 생산량은 봄철의 SOI와 $r=-0.377(P<0.05)$ 로 유의한 음의 관계를 나타냈다. 또한 봄철의 풍속과는 $r=-0.351(P<0.05)$ 그리고 이전해 가을철 상대습도와 $r=-0.429(P<0.05)$ 의 유의한 음의

Table 16. Correlation coefficients between the environmental factors and the catches of anchovy by drag net in the South Sea from 1971 to 2002

Factors		Catches of anchovy by drag net (M/T)		
		Winter	Summer	Autumn
Catch by drift gill net (M/T)	Winter	0.504**	- 0.067	- 0.278
	Spring	- 0.150	- 0.161	0.337
	Summer	- 0.209	- 0.287	- 0.286
	Autumn	0.124	0.052	- 0.238
Southern Oscillation Index	Winter	- 0.008	- 0.269	- 0.215
	Spring	- 0.328	- 0.377*	- 0.270
	Summer	- 0.053	- 0.161	0.044
	Autumn	- 0.171	- 0.247	- 0.264
Air temperature (°C)	Winter	0.392*	0.256	- 0.408*
	Spring	0.564**	0.166	- 0.188
	Summer	0.281	- 0.057	- 0.101
	Autumn	0.407*	- 0.155	- 0.187
Precipitation (mm)	Winter	- 0.079	0.128	- 0.161
	Spring	- 0.227	0.034	- 0.184
	Summer	- 0.004	0.216	0.075
	Autumn	- 0.096	- 0.296	0.096
Wind speed (m/s)	Winter	- 0.661**	- 0.239	0.112
	Spring	- 0.590**	- 0.351*	- 0.342
	Summer	- 0.364*	- 0.242	- 0.292
	Autumn	- 0.559**	- 0.212	- 0.208
Relative humidity (%)	Winter	- 0.704**	- 0.212	- 0.064
	Spring	- 0.667**	- 0.228	- 0.062
	Summer	- 0.579**	- 0.163	0.067
	Autumn	- 0.656**	- 0.429*	- 0.188
SST (°C)	Winter	0.517**	0.387*	- 0.071
	Spring	0.177	0.233	- 0.314
	Summer	0.173	0.089	- 0.072
	Autumn	0.299	- 0.104	0.155
SSS (‰)	Winter	- 0.208	0.211	0.265
	Spring	0.026	0.188	0.351*
	Summer	- 0.036	- 0.118	0.025
	Autumn	- 0.195	0.063	0.197

*, $P < 0.05$; **, $P < 0.01$

관계를 보였다. 반면에 겨울철 수온과는 $r=0.387(P<0.05)$ 의 유의한 양의 관계가 나타났다.

가을철 생산량은 겨울철 기온과 $r=-0.408(P<0.05)$ 의 유의한 음의 상관관계를 나타낸 반면에 봄철 염분과는 $r=0.351(P<0.05)$ 의 유의한 양의 관계를 보였다.

2.4.2.2 유자망 어업

유자망 어업에 대한 상관분석에 있어서는 남해에서 생산되는 정어리의 계절별 생산량을 멸치와 생태적으로 경쟁하는 어종으로 간주하여 분석항목에 포함시켰다(Table 17).

겨울철 생산량은 겨울철과 그 이전해 봄철의 기온과 각각 $r=0.350(P<0.05)$, $r=0.578(P<0.01)$ 의 유의한 양의 관계가 나타났다. 풍속은 겨울철 풍속과 $r=-0.424(P<0.05)$ 로 유의한 음의 관계를 보였고 상대습도와는 겨울철과 그 이전해 여름철 상대습도와 각각 $r=-0.492(P<0.01)$, $r=-0.422(P<0.05)$ 의 유의한 음의 상관관계가 나타났다. 염분은 겨울철 및 그 이전해 봄철, 가을철 염분과 각각 $r=-0.616(P<0.01)$, $r=-0.598(P<0.01)$, $r=-0.454(P<0.01)$ 의 비교적 상관성이 높은 음의 상관관계를 보였다.

봄철 생산량은 겨울철 풍속과는 $r=0.414(P<0.05)$, 그 이전해 봄철 상대습도와는 $r=0.388(P<0.05)$ 로 각각 유의한 양의 관계를 보였고 그 이외의 요인들과는 뚜렷한 상관성이 보이지 않았다.

여름철 생산량은 봄철과 여름철 그리고 그 이전해 가을철에 남해 정어리 생산량과 각각 $r=-0.424(P<0.05)$, $r=-0.385(P<0.05)$, $r=-0.361(P<0.05)$ 로 유의한 음의 관계가 나타났다. 여름철 생산량은 겨울철과 봄철 그리고 그 이전해 가을철 SOI와도 각각 $r=0.433(P<0.05)$, $r=0.363(P<0.05)$, $r=0.516(P<0.01)$ 의 유의한 양의

Table 17. Correlation coefficients between the environmental factors and the catches of anchovy by drift gill net in the South Sea from 1971 to 2002

Factors		Catches of anchovy by drift gill net (M/T)			
		Winter	Spring	Summer	Autumn
Catch of sardine (M/T)	Winter	-0.226	-0.158	-0.265	-0.151
	Spring	-0.257	-0.130	-0.424*	-0.301
	Summer	-0.343	-0.077	-0.385*	-0.388*
	Autumn	-0.219	-0.266	-0.361*	-0.298
Southern Oscillation Index	Winter	0.257	0.072	0.433*	0.114
	Spring	-0.076	0.198	0.363*	0.056
	Summer	0.184	0.126	0.104	-0.082
	Autumn	0.195	0.089	0.516**	0.014
Air temperature (°C)	Winter	0.350*	-0.257	-0.049	-0.013
	Spring	0.578**	-0.253	-0.013	0.290
	Summer	0.203	-0.158	-0.196	0.088
	Autumn	0.328	-0.084	-0.069	0.059
Precipitation (mm)	Winter	-0.077	-0.113	0.063	-0.109
	Spring	-0.083	0.076	0.346	0.011
	Summer	0.234	-0.053	0.191	0.131
	Autumn	0.347	0.156	0.043	-0.148
Wind speed (m/s)	Winter	-0.424*	0.414*	0.238	-0.046
	Spring	-0.348	0.231	0.361*	0.012
	Summer	-0.147	0.152	0.200	-0.184
	Autumn	-0.287	0.295	0.216	-0.206
Relative humidity (%)	Winter	-0.492**	0.288	0.109	-0.290
	Spring	-0.248	0.388*	0.349	-0.116
	Summer	-0.422*	0.287	0.225	-0.068
	Autumn	-0.290	0.230	0.093	-0.226
SST (°C)	Winter	0.027	-0.337	-0.253	-0.180
	Spring	0.268	0.038	0.289	0.051
	Summer	0.064	-0.139	-0.013	0.027
	Autumn	0.027	-0.115	-0.089	-0.344
SSS (%)	Winter	-0.616**	-0.107	-0.209	-0.416*
	Spring	-0.598**	0.040	-0.341	-0.562**
	Summer	-0.307	-0.317	-0.042	-0.328
	Autumn	-0.454**	-0.139	-0.338	-0.497**

*, $P < 0.05$; **, $P < 0.01$

관계를 보였으며 또한 풍속은 봄철 풍속과 $r=0.361(P<0.05)$ 의 유의한 양의 관계를 보였다.

가을철 생산량은 여름철 정어리 생산량과 $r=-0.388(P<0.05)$ 유의한 음의 관계가 나타났으며 또한 겨울철과 봄철 그리고 가을철의 염분과도 각각 $r=-0.416(P<0.05)$, $r=-0.562(P<0.01)$, $r=-0.497(P<0.01)$ 의 비교적 상관성이 높은 음의 관계를 보였다.

2.4.3 겨울철 생산량 증가와 환경특성

각 어업별, 계절별 멸치 생산량 변동 중에서 특히 겨울철 멸치 생산량이 시기가 지날수록 다른 계절들에 비해 뚜렷한 증가경향을 보이고 있어서 이에 대해 자세하게 분석하였다.

2.4.3.1 불황과 호황 시의 환경특성

1971년부터 2002년까지의 지난 32년간 한국 남해에 있어서 겨울철 멸치 기선권현망 어업과 유자망 어업이 공통적으로 불황이던 해(1974년, 1977년, 1984년, 1988년)와 호황이던 해(1979년, 1995년, 1999년, 2002년)의 환경특징들을 서로 비교하였다(Table 18).

전체 기간의 겨울철 동안 기선권현망 어업에 의한 평균 생산량은 19,722M/T를 기록하였는데 불황을 보인 4개의 해의 평균은 10,491M/T인 반면에 호황인 해들의 평균 생산량은 34,857M/T로 두 기간의 생산량 차이가 상당히 심하였다. 유자망 어업에 의한 생산량은 전체 겨울철 동안 평균 3,747M/T 정도가 생산되었는데 불황이던 해들과 호황이던 해들의 평균 생산량은 각각 2,162M/T, 7,979M/T

로서 유자망 어업에 의한 불·호황 시기의 멸치 생산량도 기선권현 망 어업과 마찬가지로 차이가 컸다.

이와 같이 불·호황을 보인 해들에 있어 환경특성들을 살펴보면 기온은 불황인 해들의 겨울철 기온이 평균 3.0℃를 기록하였고 평년과의 편차에서도 1.4℃ 정도가 낮았다. 반면에 호황인 해들의 겨울철 기온은 평균 5.5℃로 전체 기간 평균 4.3℃ 보다 높았으며 평년과의 편차에서도 약 1.2℃ 정도 높은 것으로 나타나는 등 호황인 모든 해에서가 평년 보다 기온이 높았다.

강수량은 불황을 보인 해들의 겨울철 강수량 평균 22.2 mm로서 전체 기간의 평균 39.8 mm와 비교하여 적었고 평년과의 편차에서도 17.6 mm 정도가 적어 평년에 비해 상당히 적은 강수량을 기록하였다. 이에 반해 호황을 보인 해들의 겨울철 평균 강수량은 41.3 mm로 불황인 시기 보다 많았으며 평년에 비해서도 1.7 mm 정도 많은 강수량을 기록하였다.

풍속은 불황을 보인 해들의 겨울철 평균 풍속이 4.7 m/s로서 평년에 비해 0.1 m/s 정도 높았다. 이에 반해 호황을 보인 해들의 겨울철 평균 풍속은 4.3 m/s를 기록하였으며 평년과의 편차에서도 약 0.3 m/s가 더 낮아 호황인 때가 불황인 때 보다 상대적으로 바람의 세기가 더 약화되었다.

상대습도는 불황을 보인 해들과 호황을 보인 해들의 겨울철 평균 상대습도가 각각 61.8%, 59.8%로 전체 겨울철 동안의 평균인 62.6% 보다는 모두 낮았다. 하지만 평년과의 편차는 불황을 보인 시기는 평년에 비해 0.8% 낮은 반면에 호황을 보인 시기는 2.8%가 더 낮아 불황인 때 보다 날씨가 더 건조하였다.

표층 수온은 불황을 보인 해들이 평균 13.7℃인 반면에 호황을 보인 해들은 평균 15.1℃로 수온이 더 높았다. 또한 평년과의 편차도 불황인 시기는 0.8℃ 낮은 반면에 호황인 시기는 평년에 비해 0.8℃

높게 수온이 형성되었다.

염분은 불황을 보인 해들이 평균 34.3‰인데 비해 호황을 보인 해들은 34.1‰을 기록하여 염분이 약간 낮았다. 평년과 비교해 보더라도 불황인 때는 거의 평년 수준을 유지하는 반면에 호황인 때는 평년 보다 0.1‰ 낮게 염분이 형성되었다.

이상의 결과들을 종합해 볼 때, 한국 남해의 겨울철 멸치 생산량이 호황인 시기의 환경특징들은 불황인 시기보다 상대적으로 기온과 수온의 상승, 날씨의 건조, 풍속의 약화, 염분의 저하 등과 같은 특징들이 나타났고 반면 불황인 시기는 호황인 시기에 비해 상대적으로 강수량이 적게 나타나고 있음을 확인할 수 있었다.

한편, 기선권현망과 유자망 어업에 의한 겨울철·멸치 생산량이 공통적으로 불황인 해와 호황인 해에 있어 겨울철 남해의 수온분포 상황을 알아보기 위해 각각의 시기에 표층 수온편차 수평분포를 Fig.60과 Fig.61에 나타내었다.

불황인 시기에 있어 남해 전체의 수온편차 수평분포 상황은 (Fig.60) 1974년에는 전 해역에 걸쳐 $-2.3\sim 0.8^{\circ}\text{C}$ 의 수온편차 분포범위를 보였으며 대부분 해역에서 평년과 비슷하거나 평년 보다 낮은 수온대의 수괴가 분포하였다. 특히 남해 중부와 동부 연안역에서는 평년 보다 1°C 이상으로 낮은 저수온의 수괴들이 출현하였다.

1977년에는 $-3.8\sim 0.1^{\circ}\text{C}$ 의 수온편차 분포범위를 보였으며 남해 전 해역에 걸쳐 평년 보다 1°C 이상 낮은 수괴들이 골고루 분포하였다. 특히 남해 고흥반도 이남과 남해 동부 외양역에서는 평년 보다 3°C 이상으로 상당히 낮은 수온의 수괴가 출현하는 것이 특징적이었다.

1984년의 수온편차는 $-1.8\sim 0.4^{\circ}\text{C}$ 의 분포범위였으며 남해 서부의 제주해협 부근, 남해 중부의 여수와 남해도 이남해역 그리고 남해 동부의 부산과 울산 부근 해역에서 평년 보다 1°C 이상 낮은 저수온의 수괴들이 분포하였다.

1988년의 수온편차는 $-2.2\sim 2.0^{\circ}\text{C}$ 의 분포범위였고 남해 서부의 거문도 부근해역과 남해 중부의 여수 이남해역 그리고 거제도 남동해역 등에서 평년 보다 1°C 이상 낮은 저수온의 수괴들이 출현하였다.

따라서 전체적으로 겨울철 기선권현망 어업과 유자망 어업이 불황을 보인 해의 남해는 공통적으로 평년 보다 $1\sim 2^{\circ}\text{C}$ 정도 낮은 저수온의 수괴들이 광범위하게 분포하는 특징을 나타내고 있었다.

이에 대하여 호황인 시기에 있어 남해 전체의 수온편차 수평분포 상황을 보면(Fig.61) 1979년에는 전 해역에 걸쳐 수온편차는 $-1.1\sim 2.3^{\circ}\text{C}$ 의 분포범위를 보였으며 대부분 해역에서 평년에 비해 높은 수온대의 수괴들이 분포하였다. 특히 평년 보다 1°C 이상 높은 고수온의 수괴들은 제주해협과 고흥반도 이남해역 그리고 부산과 울산 부근해역에서 출현하였다.

1995년의 수온편차는 $-0.1\sim 3.3^{\circ}\text{C}$ 의 분포범위였으며 대부분의 해역에서 평년 보다 1°C 이상의 고수온의 수괴가 출현하였고 특히 남해 동부 외양역에서는 2°C 이상 수온이 높은 수괴들도 분포하였다.

1999년은 $-1.5\sim 3.0^{\circ}\text{C}$ 의 수온편차 분포범위를 보였으며 남해 서부와 중부 연안역 부근에서 평년 보다 1°C 이상 낮은 저수온의 수괴들이 출현하였다. 그러나 남해 동부해역에서는 1°C 이상 높은 고수온의 수괴들이 분포하였고 동부 외양역에서는 2°C 이상 높은 수괴들이 출현하였다.

2002년에는 $-0.8\sim 1.9^{\circ}\text{C}$ 의 수온편차 분포범위를 나타냈으며 특히 남해 중부와 동부 외양역에서 평년 보다 1°C 이상 높은 고수온의 수괴들이 출현하였다.

결과적으로 겨울철 기선권현망 어업과 유자망 어업이 호황인 해는 불황인 해와는 달리 평년에 비해 $1\sim 2^{\circ}\text{C}$ 정도 높은 고수온의 수괴들이 남해 대부분의 해역에 걸쳐 광범위하게 분포하는 특징을 보이고 있었다.

Table 18. Comparison of environmental factors between the cases of the years with bad catch and the years with good catch by anchovy drag net and drift gill net fishery in winter on the South Sea, Korea

	Years with bad catch					Years with good catch					Average for 32years
	1974	1977	1984	1988	Mean	1979	1995	1999	2002	Mean	
Catch by drag net (M/T)	7,012	11,054	14,531	9,366	10,491	26,824	35,932	40,438	36,235	34,857	19,722
Catch by drift gill net (M/T)	1,154	2,493	1,250	3,749	2,162	4,064	5,169	14,046	8,635	7,979	3,747
Air temperature (°C)	mean 3.1 anomaly - 1.3	2.3 - 2.1	2.2 - 2.2	4.4 0.0	3.0 - 1.4	5.8 1.5	5.2 0.9	5.6 1.2	5.5 1.2	5.5 1.2	4.3 1.2
Precipitation (mm)	mean 36.6 anomaly - 3.1	23.3 - 16.3	14.1 - 25.5	14.7 - 25.5	22.2 - 17.6	58.5 18.9	31.1 - 8.5	33.6 - 6.0	41.9 2.3	41.3 1.7	39.8
Wind speed (m/s)	mean 4.9 anomaly 0.4	4.8 0.2	4.6 0.0	4.4 - 0.1	4.7 0.1	4.4 - 0.1	4.3 - 0.3	4.1 - 0.5	4.3 - 0.2	4.3 - 0.3	4.6
Relative humidity (%)	mean 64.1 anomaly 1.5	63.5 1.0	57.6 4.9	61.9 0.7	61.8 - 0.8	65.5 3.0	59.3 - 3.3	57.5 - 5.1	56.7 - 5.9	59.8 - 2.8	62.6
SST (°C)	mean 14.1 anomaly - 0.5	12.9 - 1.5	13.7 - 0.8	14.2 - 0.4	13.7 - 0.8	15.2 0.7	15.8 1.3	14.8 0.6	14.7 0.6	15.1 0.8	14.6
SSS (%)	mean 34.4 anomaly - 0.1	34.1 - 0.1	34.3 0.0	34.3 0.0	34.3 0.0	34.4 0.2	34.2 - 0.1	33.7 - 0.5	34.0 - 0.1	34.1 - 0.1	34.2

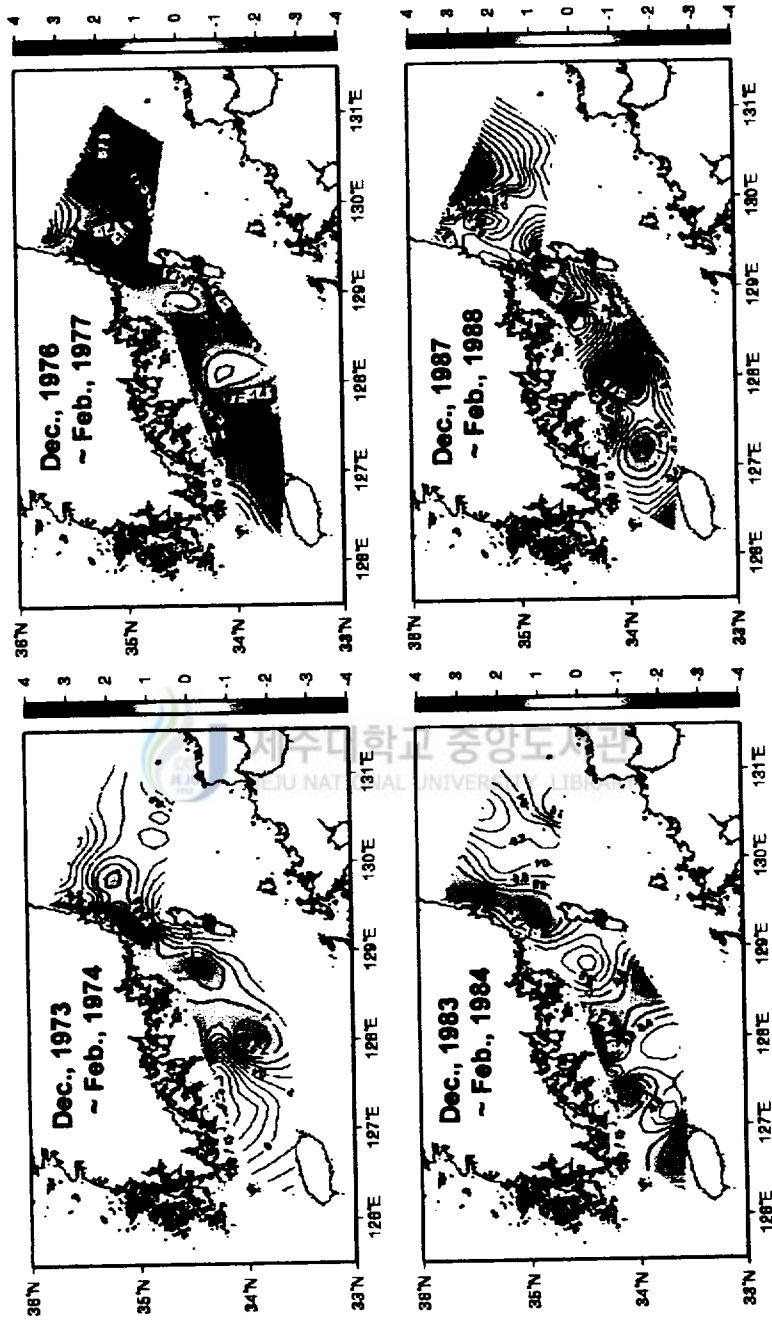


Fig.60. Horizontal distribution of SST anomalies in the cases of the years with bad catch by drag net and drift gill net in the South Sea during winter.

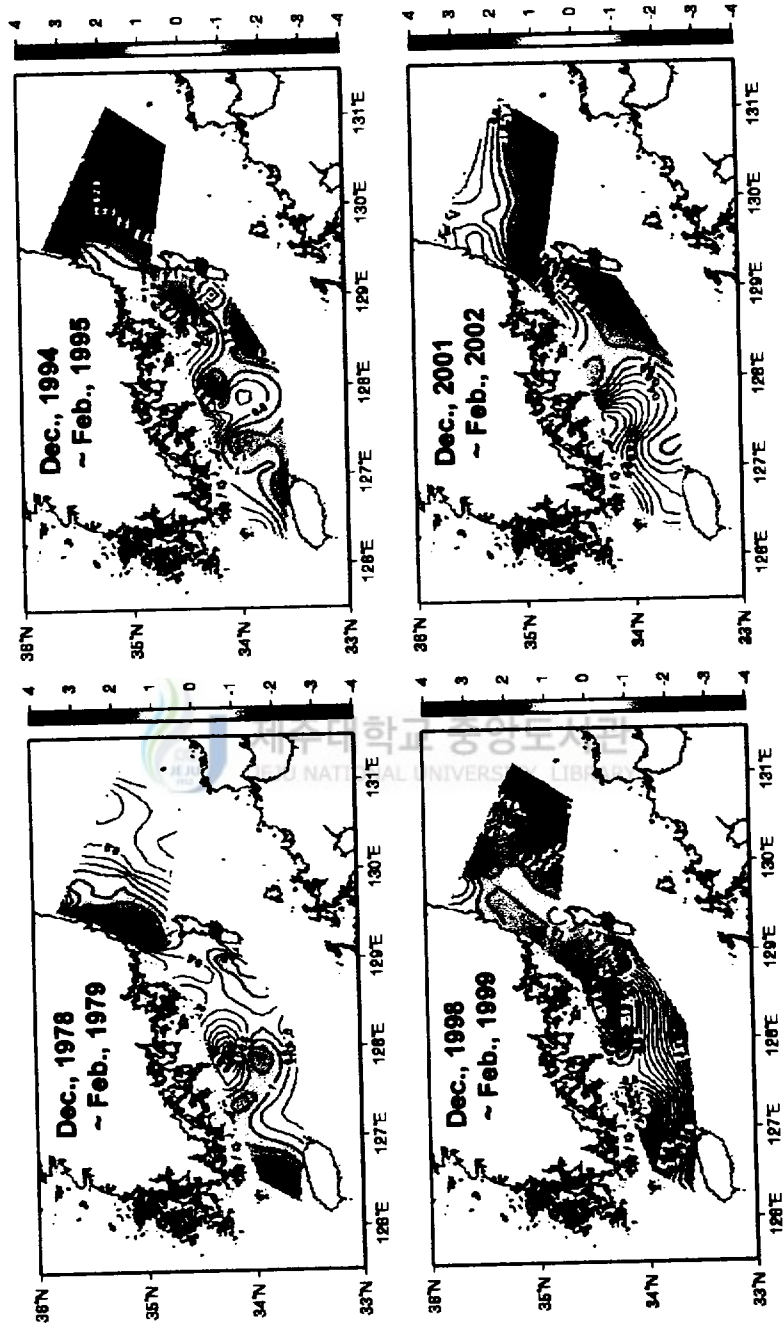


Fig.61. Horizontal distribution of SST anomalies in the cases of the years with good catch by drag net and drift gill net in the South Sea during winter.

2.4.3.2 생산량에 대한 다중회귀분석

겨울철 멸치 생산량 변동에 영향을 주는 환경요인을 알아보기 위해 단계입력식 다중회귀분석을 실시하였다. 분석시에는 겨울철 기선권현망 어업(Y_1)과 유자망 어업(Y_2)에 의한 생산량을 종속변수로 놓고 각각의 환경요인들(X)을 독립변수로 사용하였으며 그 결과를 Table 19와 Table 20에 각각 나타냈다.

겨울철 기선권현망 어업에 의한 생산량에 대해 다중회귀분석을 실시한 결과 총 두 개의 회귀방정식이 산출되었다(Table 19). 그 중 최종 회귀방정식을 살펴보면 겨울철 기선권현망 생산량 변동(Y_1)에 영향을 주는 변수들로는 겨울철 상대습도(X_1 , -0.631)와 겨울철 수온(X_2 , 0.408)이었으며 수정결정계수 $R^2_{(adj)}$ 은 0.631로 나타나 이 두 가지 변수에 의해 겨울철 기선권현망 생산량 총 변동의 약 63%를 설명할 수 있었다. 이것을 식으로 표현하면 아래와 같다.

$$Y_1 = -0.001 - 0.625X_1 + 0.408X_2$$

따라서 겨울철 기선권현망에 의한 멸치 생산량은 증가는 겨울철 상대습도의 감소와 겨울철 수온의 증가가 유효하게 작용하고 있음을 확인할 수 있었다.

한편, 겨울철 유자망 어업에 의한 멸치 생산량에 대해 다중회귀분석을 실시한 결과 총 다섯 개의 회귀방정식이 산출되었다(Table 20). 그 중 최종 회귀방정식에 있어서 겨울철 유자망 생산량 변동(Y_2)에 영향을 주는 변수들로는 겨울철 염분(X_1 , -0.460), 이전해 봄철 기온(X_2 , 0.461), 겨울철 SOI(X_3 , 0.397), 이전해 가을철 상대습도(X_4 , -0.326) 그리고 이전해 여름철 강수량(X_5 , 0.261) 등 다섯 가지 변수들이었으며 이에 대한 수정결정계수 $R^2_{(adj)}$ 은 0.753으로서 겨울

철 유자망 생산량의 총 변동의 약 75%를 이 변수들에 의해 설명할 수 있었다. 이를 식으로 표현하면 아래와 같다.

$$Y_2=0.009-0.460X_1+0.461X_2+0.397X_3-0.326X_4+0.261X_5$$

이러한 결과로부터 겨울철 유자망에 의한 멸치 생산량 증가는 겨울철 염분의 감소, 이전해 봄철 기온의 상승, 겨울철 SOI의 증가, 이전해 가을철 상대습도의 감소 그리고 이전해 여름철 강수량의 증가 등 여러 가지 환경변수들이 복합적으로 작용하고 있음을 알 수 있었고 또한 ENSO의 지표인 SOI와 멸치 생산량 사이에 어떤 관계가 있음을 암시해 주는 것도 특징적이었다.

이상과 같이 다중회귀분석으로부터 산출된 각각의 최종회귀방정식을 이용하여 실제 환경변수들의 값을 방정식에 대입한 후 계산된 생산량과 실제 생산량을 서로 비교하여 Fig.62에 나타냈다. 기선권 현망 어업에 있어서 회귀방정식에 의해 계산된 생산량과 실제 남해에서 생산된 양을 비교한 결과 각 년도마다 다소 심한 오차를 보이며 변화하였으나 유자망 어업은 몇몇 해를 제외하고는 비교적 비슷한 양상을 보이며 변화하고 있었다.

Table 19. Multiple regression analysis to determine the component effects on the catch of anchovy(Y_1) by drag net in winter in the South Sea from 1971 to 2002

Steps	a_0	X_1		$R^2_{(adj)}$	F	P -ratio
		b_1	b_2			
1	-0.001	-0.698		0.479	29.54	0.001
2	-0.002	-0.625	+0.408	0.631	27.51	0.001

X_1 , relative humidity in winter; X_2 , sea surface temperature in winter

Table 20. Multiple regression analysis to determine the component effects on the catch of anchovy(Y_2) by drift gill net in winter in the South. Sea from 1971 to 2002

Steps	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	R^2 (adj)	F	P-ratio
	a_0	b_1	b_2	b_3	b_4			
1	+0.144	-0.616				0.361	18.54	0.001
2	+0.010	-0.489	+0.479			0.534	18.75	0.001
3	+0.008	-0.436	+0.567	+0.325		0.626	18.27	0.001
4	+0.010	-0.498	+0.451	+0.359	-0.285	0.689	18.14	0.001
5	+0.009	-0.460	+0.461	+0.397	-0.326	+0.261	19.91	0.001

X_1 , salinity in winter; X_2 , air temperature in spring in the preceding year; X_3 , SOI in winter;

X_4 , relative humidity in autumn in the preceding year; X_5 , precipitation in summer in the preceding year

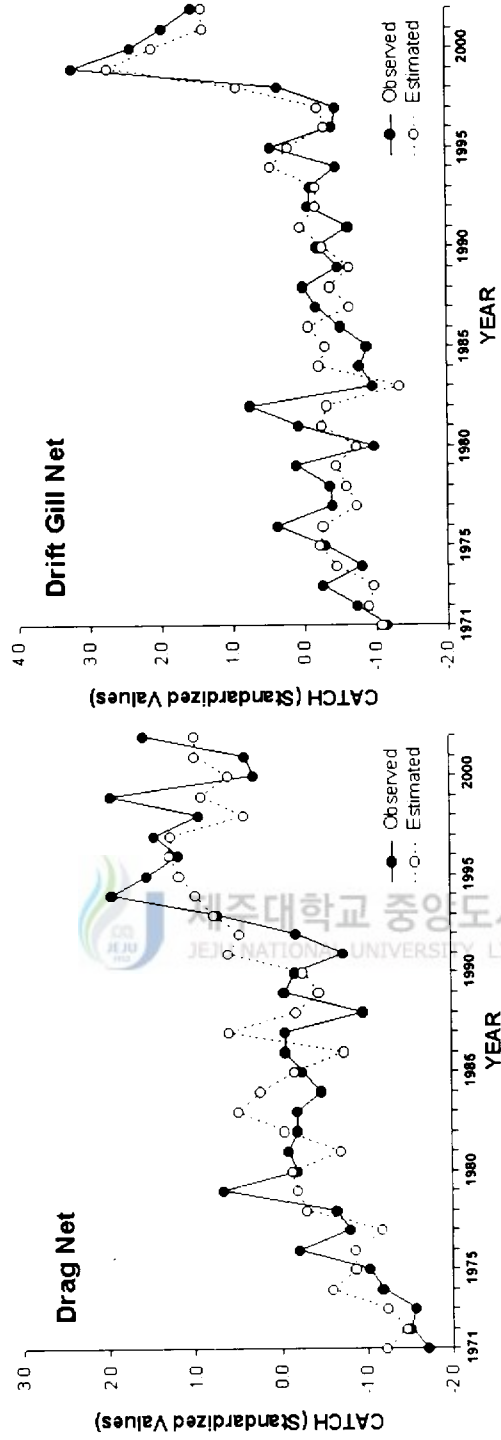


Fig.62. Interannual variations in the observed values and the estimated catch of standardized values of drag net fishery and drift gill net fishery in the South Sea of Korea in winter by the regression equations shown in Table 20 and Table 21, respectively.

제4장 고찰

1. 제주해협 및 그 주변해역에서의 환경특성

본 조사기간 동안 제주해협 및 그 주변해역에서의 해역별 수온의 분포패턴은 조사해역의 남부에 비해 북부가 저수온의 경향을 보였으며, 염분의 분포패턴은 조사해역의 서부가 동부에 비해 저염분의 경향을 나타내고 있었다. 이와 같은 수온, 염분의 분포패턴에 대해서는 조사해역 북부의 한국대륙연안수와 남부의 대마난류 그리고 서부의 중국대륙연안수의 영향이 크다고 판단된다(盧, 1985; 고 등, 1998; 조와 고, 2000). 한편 제주해협 북부해역과 동부해역에서의 월별 수온과 염분의 분포패턴에 있어서는 두 해역 모두 전반적으로 7~9월에 20℃이상의 고수온, 32‰ 이하의 저염분을 나타내고 있어서 우리나라 주변해역에서 주로 발생하는 여름철 고수온·저염분 현상이 두드러지게 나타나고 있음을 알 수 있었다.

지금까지 남해의 몇몇 연안역 및 제주도 주변 해역에서 측정된 엽록소 a 농도범위와 이번 제주해협 및 그 주변해역에서 측정된 농도범위를 서로 비교하여 Table 21에 나타냈다. 이번에 측정된 엽록소 a 농도는 전체 조사기간을 통해 0.603~2.015 $\mu\text{g}/\ell$ 의 범위를 나타냈는데 이러한 결과는 목포주변 연안의 2.41~2.90 $\mu\text{g}/\ell$, 여수주변 연안의 0.37~2.73 $\mu\text{g}/\ell$ 과 매우 유사한 범위였으며 또한 남해 중부해역이나 제주도 주변해역들과도 비교적 유사한 범위를 보여주고 있었다. 그리고 이번 조사에서는 특히 A, I, J, G해역과 같이 멀치 난들이 집중적으로 분포하는 연안역 부근에서 엽록소 a 농도가 높은 것이 특징적이라 할 수 있다.

Table 21. Comparison of chlorophyll *a* concentration in South Sea, Korea

Sampling site	Sampling period	Measurement method	Chlorophyll <i>a</i> ($\mu\text{g}/\ell$)	Reference
Coastal water of Mokpo	Feb.-Nov., 2000	Parsons <i>et al.</i> (1984)	2.41 ~2.90	NFRDI, 2000
Coastal water of Yosu	Feb.-Nov., 2000	Parsons <i>et al.</i> (1984)	0.37 ~2.73	NFRDI, 2000
Middle part of South Sea	Apr., 1994	Fluorometer(10-AU)	0.467 ~0.698	Kang and Jeon, 1999
Northern part of East China Sea	1995-1997 (Feb.-Nov.)	Fluorometer(10-AU)	0.372 ~0.512	Oh <i>et al.</i> , 1999
Eastern part of Jeju Island (Udo Island)	Sep., 1991 Jun., 1992	Parsons <i>et al.</i> (1984)	0.21 ~2.12	Lee <i>et al.</i> , 1993
Western part of Jeju Island (Hanlim harbor)	Aug., 1989- May, 1990	"	0.02 ~2.59	Lee and Choa, 1990
Southern part of Jeju Island (Moon Island)	Sep., 1995- Jul., 1996	"	0.12 ~1.51	Choa and Lee, 2000
Northern part of Jeju Island (Jeju harbor)	Mar.-Dec., 2000	"	0.10 ~2.49	Lee and Shin, 2000
Jeju Strait and its adjacent water	Jul., Nov., 2001 Jun., Nov., 2002 Oct., 2003	Fluorometer(10-AU) Parsons <i>et al.</i> (1984)	0.603 ~2.015	Present study

이번 조사해역에서 채집된 요각류와 화살벌레류의 현존량과 기존의 남해 및 일부 해역에서 보고된 요각류와 화살벌레류 현존량 결과를 서로 비교하여 Table 22에 나타냈다. 이번 연구결과 제주해협 및 그 주변해역에서 요각류 현존량의 전체 범위는 30.8~212.3개체/m³으로 이는 내만역인 진해만의 191.4~451.0개체/m³(강 등, 1996) 보다는 현존량이 적지만 대한해협의 21.2~176.2개체/m³(이 등, 1999), 제주도 서부해역의 46.5~98.2개체/m³(고 등, 1996) 보다는 많게 출현하고 있음을 알 수 있었다. 화살벌레류는 이번 연구에서 해역별로 2.2~8.0 개체/m³의 출현범위를 보이고 있어 기존 박(1970)의 여름철 남해 전체의 출현량 4.8~22.5개체/m³ 보다는 다소 적었으나 제주도 서부해역에서의 2.3~12.5개체/m³(고 등, 1996)와는 비슷한 수준으로 화살벌레류가 출현하고 있었다. 또한 이번 연구해역에서 해역별 이들의 현존량 차이를 살펴보면 멀치 난이 다량으로 출현한 I, J, G해역과 같은 연안역 부근에서는 상대적으로 요각류와 화살벌레류 현존량이 낮은 특징을 보여주고 있었다.

제주해협 북부와 동부해역에서의 기상상황에 있어서는 두 해역 모두 유사한 양상으로 변화하고 있었는데 강수량은 전체 강수량 중 약 47% 정도가 7~8월에 집중되고 있어 여름철에 많은 강수량을 기록하고 있었다. 이러한 현상은 여름철 해역내 염분의 저하에도 영향을 끼쳤으리라 사료된다. 풍계변화에 있어서도 두 해역 모두 유사하게 5월부터 북서풍 계열의 강한 바람이 차차 잦아들면서 9월까지의 대부분 평균 풍속 10 m/s 미만의 약화된 바람이 우세하였고 이후부터는 다시 강한 북서풍 계열의 바람이 불고 있었다. 따라서 연구해역내에는 상대적으로 여름철에 잔잔한 날이 많이 나타나고 있음을 짐작할 수 있었다.

Table 22. Comparison of copepod and sagitta abundance in South Sea, Korea

Sampling site	Sampling period	No. of Station	Sampling gear		Sampling method		Range of mean abundance		Reference
			Gear name*	Mesh size(μm)	Depth	Towing Method**	Copepod (ind./m ³)	Sagitta (ind./m ³)	
Entire of South Sea	1966-1970	246	N	330	Surface ~ bottom	V		4.8~22.5	Park, 1970
Korea Strait	May-Aug., 1996 Feb., 1997	6	C	330	Surface ~ bottom	V		21.2~176.2	Lee <i>et al.</i> , 1999
Chinhae Bay	Feb.-Sep., 1993	7	N	330	Surface ~ bottom	V		191.4~451.0	Kang <i>et al.</i> , 1996
Western part of Jeju Island	Apr., 1993- Mar., 1994	6	M	330	Surface	H		46.5~98.2	Go <i>et al.</i> , 1996
Jeju Strait and its adjacent water	Jul., Nov., 2001 Jun., Nov., 2002 Oct., 2003	37 ~ 46	M B	333 333	Surface ~ 30 m	H		30.8~212.3	2.2~8.0 Present study

*, B, Bongo net; C, Conical type net; M, MTD net; N, NORPAC net

** , H, Horizontal haul; V, Vertical haul

2. 망목에 따른 출현량 변화

본 연구에서 333 μm 과 505 μm 두 가지 망목의 봉고네트를 가지고 동시에 채집한 결과 멸치 자치어의 출현량에 있어서는 전 수층을 통틀어 유의한 차이가 없는 반면 멸치 난은 333 μm 네트에서가 전체 출현량의 99.2%를 차지하고 있어서 505 μm 네트에서는 멸치 어란의 채집이 거의 이루지지 않고 있음을 알 수 있었다.

일반적으로 해양에서 중·대형 동물플랑크톤을 채집할 때에는 망목 330 μm 의 네트가 그리고 중·소형 플랑크톤은 망목 100~200 μm 의 네트가 널리 이용되고 있으며(大森·池田, 1976) 채집에 사용하는 망목의 크기에 따라 채집대상 플랑크톤들의 개체수나 분류군수 등에 영향을 주고 있음이 여러 연구들을 통해 보고되고 있다 (Chipps and Bennett, 1996; 강과 강, 2002; 이와 박, 2004). 어류의 난·자치어 채집시에는 전형적으로 망목 333 μm 과 505 μm 의 네트로 채집하는데(森, 1981) 어떠한 망목의 네트를 선택하느냐에 따라서 어종별로 그 출현량이 달라지는 것으로 알려져 있다(Lenarz, 1972; Weinstein *et al.*, 1980; 中谷, 1987). 이에 대한 원인으로서는 난의 형태나 크기, 난막이 지니는 장력 그리고 자치어의 체형이나 체고 또는 체장 등을 들 수 있다. 기존 연구결과에 의하면 망목 333 μm 와 505 μm 두 개의 네트를 가지고 난·자치어를 동시에 채집할 경우에는 333 μm 쪽에서가 출현량이 유의하게 많았다(Barnett *et al.*, 1984; 차, 2002). 이번 연구결과와 관련하여 차(2002)도 천수만에서 금강하구에 이르는 해역에서 멸치 난을 채집한 결과 난의 약 96.6%가 333 μm 네트에서 출현하였다고 보고한 바 있다. 이러한 현상에 대한 가장 주요한 원인으로서는 멸치 난의 형태 및 크기를 들 수 있는데 멸치 난은 타원형으로 장경과 단경 중 단경은 0.60~0.75 mm정도이므로 505 μm 네트로 예망시 수압에 의해 망목을 쉽게 빠져나가는 것으로

추정된다.

이상의 사실들을 바탕으로 하여 앞으로 멸치 난·자치어를 채집할 시 망목크기의 선택에 있어서는 505 μm 네트보다 333 μm 네트를 사용하는 것이 바람직하다고 판단된다. 이와 더불어 금후에 망목이 333 μm 보다 더 작은 중·소형 플랑크톤 채집용 네트를 이용한 멸치 난·자치어 채집도 실시해 봄으로써 망목에 따른 출현량에 어떠한 변화가 있는지 그리고 그 원인은 무엇인지에 대해서도 자세히 논의할 가치가 있다고 생각된다.

3. 난·자치어의 출현변화

지금까지 남해 연안역에 있어서 멸치 난·자치어의 출현상황에 대해 기존에 보고되었던 월별 멸치 난·자치어 출현량 결과와 이번 연구에서의 결과를 비교하여 Table 23에 나타냈다. 이전의 연구들에서 실시한 채집방법을 살펴보면 사용된 채집망의 망목 크기는 250~340 μm 범위이며 모두 수평예인에 의한 채집으로서 본 연구에서 행한 방법과 거의 유사하므로 서로간의 출현량을 비교를 하는데 있어서 큰 무리는 없으리라 판단된다. 또한 난·자치어의 출현량 비교 시에는 이전의 연구들이 대부분 표층부근을 채집한 결과들이기 때문에 이번 연구결과 중에서도 표층의 출현량에 대해서 비교를 행하였고 표층채집을 실시하지 않았던 2001년에는 표층과 가장 가까운 10 m 수층의 결과를 가지고 비교하였다. 이번 제주해협 및 주변해역에 있어서 6월에 표층에서 출현한 멸치 난은 평균 1,431개/ $1,000\text{m}^3$ 으로서 낙동강 하구역의 3.7개/ $1,000\text{m}^3$ (차와 허, 1988) 보다는 월등히 많았고 광양만의 89,158개/ $1,000\text{m}^3$ (차와 박, 1994) 보다는 적게 출현하고 있었다. 7월에는 이번 조사의 10m 수층에서 평균

1,102개/1,000m³이 출현하여 고흥반도 부근해역에서의 1,798개/1,000m³(한 등, 2002) 보다는 적었으나 낙동강 하구역의 1개/1,000m³, 보다 훨씬 풍부하게 출현하고 있음을 알 수 있었다. 따라서 이와 같은 결과는 이번 조사해역에서도 멸치들의 산란이 활발히 이루어지고 있음을 시사하는 것이라 하겠다.

멸치 자치어는 이번 조사에서 7월이 평균 49개체/1,000m³으로 가장 많았고 그 다음 6월 2개체/1,000m³순으로 나타난 반면 10월과 11월에는 모두 평균 1개체/1,000m³ 미만으로 낮은 출현량을 보이고 있었다. 이에 대해 본 조사해역보다 동쪽에 위치한 고흥반도 부근해역에서는 10월에 평균 25개체/1,000m³(한 등, 2002), 여수 부근해역에서는 11월 평균 6개체/1,000m³(유 등, 1999)로 이번의 결과보다 자치어 출현량이 많았다. 또한 전수층 평균 출현량에 있어서 이번 연구에서는 7월이 37개체/1,000m³로 가장 많았고 이후로 갈수록 자치어 출현량이 급격히 줄어드는 반면에 대한해협내에서는 10월에도 평균 2,125개체/1,000m³(이 등, 1996)로 멸치 자치어들이 풍부하게 출현하고 있어서 전반적으로 이번 조사해역보다 동쪽에 위치한 해역에서는 여름철 이후에도 자치어의 출현량이 많았다. 이러한 사실은 여름철에 본 연구해역에서 부화한 멸치 자치어들이 시간이 흐를수록 점차 본 해역을 벗어나고 있음을 시사하는 것으로서 이에 대해서는 기존의 표층부표나 인공위성 추적부표 실험 등에 의해 나타나고 있는 여름철 본 조사해역내 탁월한 북동방향의 해류패턴(김, 1982; 김, 1987; 김과 노, 1997)의 영향이 크게 작용하고 있는 것이라 사료된다.

통상적으로 우리나라 남해안에서 멸치 난·자치어들은 3~11월의 비교적 장기간에 걸쳐 출현하고 있으며 이 중 4~8월에 집중적으로 출현하고 있는 것으로 알려지고 있다(임과 옥, 1977; 최와 김, 1988; 김과 강, 1992). 이번 조사에서 전체적인 멸치 난과 자치어들의 출현

시기를 살펴보면 난은 5~10월, 자치어는 5~11월에 걸쳐 출현하고 있어서 연구해역내에서 멸치들은 비교적 긴 산란기를 갖고 있음을 보여주었다. 그러나 제주해협 북부해역과 동부해역 두 해역 모두 전체 멸치 난 출현량의 80%, 자치어 출현량의 90% 이상이 여름철인 7~8월의 2개월에 걸쳐 집중적으로 출현하고 있었는데 이러한 결과는 기존 남해의 다른 해역에서의 결과와도 유사한 것으로서(Table 23) 본 연구해역을 포함한 남해에서의 멸치 주산란 시기는 주로 고수온기인 여름철에 해당하고 있음을 보여주는 것이라 하겠다.

4. 난의 분포양상

멸치는 산란시기나 서식해역내의 해양환경에 따라서도 산란장소가 달라지는 어종으로 잘 알려져 있다(船本·青木, 1999; Aoki and Miyashita, 2000). 이번 연구기간 동안 멸치 난들이 출현한 해역들을 살펴보면 제주해협 및 그 주변해역은 전체 조사기간 동안 거차군도 주변역(I해역), 청산도 주변역(J해역), 거문도 부근의 제주해협 북동부 외양역(G해역), 추자도 중심의 제주해협 북서부역(A해역) 그리고 제주도 북서부연안에 인접한 제주해협 남서부역(C해역) 등 외양역 보다는 주로 연안역에서 풍부하게 출현하고 있었고 이들 대부분 해역에서는 산란된 지 얼마 지나지 않은 I 단계 난들의 출현비율도 높게 나타났다. 또한 제주해협 북부해역 보다 조사범위가 더 넓은 동부해역에서도 멸치 난은 최초로 남해안 연안에 인접한 청산도, 초도 남부에서 발생하였고 산란성기에도 거문도 주변이나 제주도 우도 부근에서 풍부하게 출현하고 있을 뿐 조사해역 중앙부분에서는 거의 발견되지 않았다. 이와 같은 현상은 남해안 일대에서 멸치 난들이 외양보다 연안측에서 대부분 높은 밀도로 분포하고 있다는 기

Table 23. Comparison of anchovy egg and larvae abundance in South Sea, Korea

Sampling site	Sampling period	No. of Station	Sampling gear			Sampling method	Mean abundance			Reference
			Gear name (*)	Mouth size (cm)	Mesh size (µm)		Towing Method (**)	Depth	Egg (No./1,000m ³)	
Nakdong River estuary	Feb., 1987- Jan., 1988	8	S	100	333	H	Surface	Apr.-0.9	Apr.-1.4	Cha and Huh, 1988
								May-54	May-96.6	
								Jun.-3.7	Jun.-2.3	
								Jul.-1.0	Jul.-3.3	
								Aug.-3.8	Aug.-71.9	
Oct.-188.4	Oct.-2.2									
Korea Strait	Apr., 1992 Jan. Oct., 1993	10	B W	60 100	335 250	H	Stand- ard depth	(***) Apr.-23,665	Jan.-4	Lee <i>et al.</i> , 1996
								Jul.-27,617		
								Oct.-2,125		
Kwangyang Bay	Feb.-Dec., 1990	8	S	60	333	H	1 m	Jun.-89,158	Jun.-1,108	Cha and Park, 1994
								Aug.-4,152	Aug.-142 Oct.-5	
Off Yosu	Aug., Nov., 1996 Jan., Apr., 1997	13	B	60	303	H	Surface	Aug.-7,712	Aug.-31	Yoo <i>et al.</i> , 1999
								Nov.-9 Apr.-690	Nov.-6 Apr.-1	

Table 23. (Continued)

Sampling site	Sampling period	No. of Station	Sampling gear			Sampling method	Mean abundance				Reference					
			Gear name (*)	Mouth size (cm)	Mesh size (µm)		Towing Method (**)	Depth (m)	Egg (No./1,000m ³)	Larvae (ind./1,000m ³)						
Sunchon Bay	Jan. Nov., 1998	6	C	80	330	H	1 m	May-827 Jul.-124,469.3	May-3410.2 Sep.-21.5		Han <i>et al.</i> , 2001					
Kohung Peninsula	Jan. Oct., 2000	9	R	80	340	H	1 m	Apr.-22 Jul.-1,798 Oct.-34	Apr.-31 Jul.-7,232 Oct.-25		Han <i>et al.</i> , 2002					
Jeju Strait and its adjacent water	Jul., Nov., 2001 Jun., Nov., 2002 Oct., 2003	37~46	M B	45 60	333 333	H	0 m	'01 Jul. 1,431	'01 Jul. 49	'01 Nov. 2	'02 Jun. 1	'02 Nov. 0.4	Present study			
							10 m	1,102	2,673	49	0.4	13		0.2	0.1	
							20 m	593	1,097	40	0.3	3		0.3		
							30 m	430	12	21	0.2	0.2		1	0.3	
							mean	708	1303	37	0.3	5		1	0.3	

*, B, Bongo net; C, Conical type net; M, MTD net; R, RN-80 net; S, Standard net; W, WP-2 net

**, H, Horizontal haul

***, Mean value for the all depths

존의 보고(김, 1983; 김과 김, 1991)와도 유사한 결과라 볼 수 있다. 따라서 이번의 연구결과들을 통하여 제주해협 및 그 주변해역에서의 멸치들의 산란은 주로 남해안 연안이나 일부 섬 주변 연안역에서 집중적으로 이루어지고 있어 이러한 곳들이 멸치의 주산란장이 되고 있다고 생각된다.

제주해협 및 주변해역에 있어서 멸치 난이 가장 많이 출현한 2001년 7월에 발생단계별 분포현황을 보면 부화직전의 III단계 난은 연구해역내에서도 가장 동쪽인 초도와 거문도 주변해역(G해역)에서 가장 많이 분포하는 등 전반적으로 연구해역의 동쪽방향으로 갈수록 발생단계가 진행된 난의 출현율이 증가하는 경향을 보였다. 또한 제주해협 북부와 동부해역에 있어서도 모든 월에 걸쳐 대부분 모든 발달단계의 멸치 난들이 출현하고 있지만 구성비율 변화에 있어서는 제주해협 북부해역은 조사해역의 남쪽과 동쪽 그리고 동부 해역은 조사해역의 동쪽에서 발달단계가 진행된 난의 출현비율이 다소 증가하고 있음을 알 수 있었다. 따라서 이러한 경향은 앞서 언급한 본 해역에서의 해류패턴을 함께 고려하여 생각해 본다면 이는 곧 연구해역내에서 산란된 멸치 난들이 난내 발생이 진행되면서 시간이 경과함에 따라 해류의 흐름에 의해 점차 동쪽방향으로 수송되고 있음을 시사하는 것이라 판단된다.

한편, 비교적 조사범위가 좁은 제주해협 북부해역에 있어서 멸치 난들은 최초 조사해역의 북부해역인 보길도 부근에서 출현하기 시작하여 산란성기인 7, 8월이 되면 조사해역 전체로 확대되고 산란이 거의 끝나가는 9, 10월에는 조사해역의 남부쪽에서만 산란이 이루어져 전체적으로 난의 분포중심이 점차 남쪽으로 이동하는 경향을 보여주었다. 일반적으로 제주해협내에는 다양한 수괴들이 연중을 통해 출현하고 있는데(Park, 1985; Kim and Lee, 1991) 특히 고온의 성격이 강한 대마난류수는 제주해협내에서 여름에 동중국해의 남동방향

으로 수축했다가 여름이 지나면서부터는 황해부근으로 확장하며 동쪽으로 흐르는 것으로 알려져 있다(Pang *et al.*, 1992; Pang and Hyun, 1998). 이에 대해 이번 제주해협 북부해역에 있어서 수온의 수평분포 패턴을 보면 상대적으로 9, 10월경에는 조사해역의 남쪽에 고수온의 수괴(Fig.25)가 존재하고 있었는데 이 수괴는 이시기에 확장하는 대마난류의 영향이라 사료된다. 따라서 제주해협 북부해역에서 멸치들의 산란도 고수온의 수괴분포를 따라 점차 남쪽으로 이동하고 있는 것이라고 추측된다.

5. 자치어의 유영력 형성

어류의 체측근은 포유류나 조류와는 달리 각 근섬유의 분포역이 다르게 나타나는 특징을 갖고 있는데, 초기에는 백색근과 적색근의 두가지 형태로 구별되고 이후에 어체가 성장하면서 중간근이 더해지는 형태를 취한다. 이러한 근육들은 어류의 유영행동과 관련하여 백색근은 적으로부터의 도피와 같은 돌발적인 유영시에, 적색근은 색이, 회유와 같은 느리고 지속적인 유영시에 기능하고 있으며 중간근은 중간적인 속도로 기능하는 것으로 알려지고 있다. 특히 어류의 초기생활사 시기에는 백색근과 적색근 두 가지 타입의 근육이 자치어의 유영행동에 실질적으로 관여하고 있다고 보고 있다(Bone, 1978; Johnston, 1981; 松岡, 1991).

본 연구에서 멸치 자치어의 체측근 발달과정을 조사한 결과 최초 전장 3.3 mm의 멸치에서는 백색근들만이 존재하였고, 백색근 총 섬유개수의 발달 양상은 6.5 mm 이전까지는 증가가 완만하다가 26.1 mm까지 급격한 증가를 보인 후에 다시 완만한 증가로 바뀌는 단계적인 과정을 보여주고 있었다. 이와 관련하여 Matsuoka(1984)에 따

르면 정상적으로 먹이를 투여한 참돔 자어들은 먹이를 취했을 때부터 백색근 섬유개수가 급격히 증가하였고, 기아상태의 개체들은 오히려 그 수가 감소하였다고 한다. 결국 초기 백색근 섬유개수의 급격한 증가는 활발히 먹이 섭취를 시작했을 때부터 나타나는 현상이라고 볼 수 있다. 따라서 이번 멸치도 6.5 mm 이후부터는 자연 상태에서 적극적인 섭이활동으로 인해 많은 백색근섬유들이 생성되고 있다고 볼 수 있으며 이를 통해 유평할 수 있는 에너지 획득이 계속적으로 향상되고 있으리라 추측된다. 이러한 사실은 자치어의 유평능력 향상에 있어서 먹이생물이 하나의 제한요인으로 작용할 수 있음을 보여주고 있다고 사료된다.

이번 멸치 자치어의 백색근 총 횡단면적의 변화를 조사한 결과 8.2 mm과 17.3 mm에서 두 번의 증가율 변화를 보여주고 있었다. 특히 17.3 mm 이후의 개체에서는 조직학적으로 보았을 때 대형의 백색근섬유세포들이 다량으로 출현하고 있어서 이는 근섬유세포 각각의 비대성장에 따른 총 횡단면적의 두드러진 증가로 이어진 것이라 생각할 수 있다. 이에 대해 일반적으로 자치어 시기의 백색근섬유 발달 과정은 소형의 근섬유들이 활발한 분열에 의해 생성되면서 그 수가 증가하는 동시에 각각의 근섬유세포는 어느 일정 크기까지 비대성장을 행하며 발달하게 된다(Greer-Walker *et al.*, 1980; O'Connell, 1981; Matsuoka and Iwai, 1984). 이러한 근섬유세포의 비대성장은 근섬유 횡단면적의 증가로 나타나게 되고 이는 곧 백색근에 의한 에너지 산출의 주체가 되어 유평능력이 비약적으로 증가하게 됨을 의미하는 것이다(塚本, 1983). 福田(1990)의 청어에 대한 실험에서도 실제 백색근 횡단면적이 증가하는 시기에 맞춰 청어 자치어의 유평속도도 급격히 증가하고 있어서 이러한 사실들을 잘 뒷받침 해주고 있다. 따라서 멸치 자치어는 17.3 mm 이후부터는 자연 상태에서 일어날 수도 있는 돌발적인 사태에 대응하는 유평능력이

크게 향상되고 있다고 판단된다.

본 연구 결과 멸치 자치어의 적색근은 백색근과는 달리 6.2 mm부터 체표를 따라 일렬로 배열되어 있는 것이 관찰되었는데 북미산 멸치(O'Connell, 1981)도 약 6 mm SL부터 단일층의 표층 적색근섬유들이 출현하고 있어, 멸치류들은 부화시기에는 적색근이 존재하지 않다가 약 6~7 mm부터 적색근섬유들이 출현하고 있음을 알 수 있다. 멸치와 같이 무리를 지으며 먼 거리를 회유하는 어종들에게 있어서는 타어종들에 비해 적색근의 비율이 높은 경향이 있다 (Greer-Walker and Pull, 1975; Greer Walker *et al.*, 1980; Blaxter and Hunter, 1982). 이는 장거리 지속유영을 행하는 어종에게서 잘 나타나는 특징으로서 적색근의 계층형질들이 그 어류의 지속유영 여부를 추측하는데 유의하게 사용되기도 한다(Batty, 1984). 따라서 멸치 자치어의 초보적인 지속유영은 이번 연구에서 적색근이 나타나기 시작하는 6.2 mm 이후부터 시작된다고 생각할 수 있다.

멸치 자치어의 적색근 계층형질의 변화에 있어서도 백색근과 마찬가지로 모두 2개의 변곡점을 보이며 단계적으로 증가하고 있었다. 특히 여기서 주목할 만한 것은 적색근 각 형질들의 증가 중 첫 번째 변곡 시기로서 적색근의 총 섬유개수는 14.2 mm부터, 총 횡단면적은 14.9 mm부터 급격한 증가율을 나타내고 있다는 점이다. 조직학적인 관찰 결과 이 시기부터는 수평격벽(horizontal septum) 부근을 중심으로 적색근 섬유세포들이 비대해지고 2~3개의 성층구조를 보이면서 V자 형태를 취하고 있다(Fig.36 B). 대서양산 청어(Batty, 1984)나 일본산 참돔(福原·岸田, 1980)의 경우 체표에 단일층으로 분포하던 적색근섬유들이 수평격벽을 중심으로 성층화를 이루기 시작하는 시기에 이들의 실제 지속유영능력이 비약적으로 증가하였다고 보고되고 있다. 이러한 사실들을 통해 볼 때 이번 연구에서의 멸치 자치어들도 적색근섬유들이 성층구조를 보이기 시작하는 약 1

4~15 mm 이후부터는 제주해협 주변에서 지속적인 유영능력이 증대하고 있으리라 판단된다.

한편, 멸치 성어의 지느러미 줄기 정수는 등지느러미에서 14~16개, 뒷지느러미에서 15~18개, 배지느러미에서 7개를 형성하고 있다(정, 1977; Nakabo, 1993). 이번 연구에서 멸치 자치어의 체급별 지느러미 원기 형성시기 및 지느러미 줄기수를 조사한 결과 대부분 15.0 mm 이후의 체급에서 모든 지느러미의 줄기수가 확인되었고, 19.0 mm 이후부터는 모든 줄기수가 이미 성어에 해당하는 정수에 이르고 있었다. 일반적으로 자치어의 유영능력 발달에 있어서는 지느러미의 분화도 깊이 관여하고 있는데, 앞에서 지적한 지느러미들은 유영의 주체가 된다고보다는 방향 전환이나 일정한 수심에서의 유지와 같은 유영의 조정성을 높이는 기능이 더 강하다고 볼 수 있다(Gosline, 1971; 松岡, 1991). 따라서 이번의 결과를 통해 보여진 지느러미 줄기가 관찰되는 15.0 mm 이후부터는 지느러미들이 멸치 자치어들의 유영활동에 보조적인 기능을 담당하기 시작할 것이며, 성어의 정수에 달하는 19.0 mm 이후부터는 이러한 지느러미의 기능이 확실히 수행되고 있으리라 생각된다.

본 연구에서 멸치 자치어의 꼬리지느러미 외부형태 변화를 관찰한 결과, 최초 둥근 형태를 나타내다가 6.0~6.9 mm 체급부터는 끝부분이 약간 직선형으로 바뀌고 있었는데 이 시기는 등지느러미와 뒷지느러미의 줄기수가 최초로 출현하는 시기와 일치하고 있었다. 이후 꼬리지느러미는 9.0~9.9 mm 체급부터 끝의 가운데 부분이 약간 오목하게 들어가는 등 단계적인 형태를 취하다가 13.0~13.9 mm 체급부터는 성어와 유사한 분기형으로 발달하고 있었다. 일반적으로 꼬리지느러미는 다른 지느러미들과는 달리 어류의 유영행동시 추진력을 일으키는데 주요한 역할을 담당하고 있다(Gosline, 1971; 井上, 1978; 福原, 1984). 특히 꼬리지느러미의 형태 변화가 자치어 시기의

발육단계에 있어 중요한 형질로 사용되기도 하는데, 福原(1984)에 따르면 참돔은 자어기에서 치어기로 발육단계가 이행되는 시기에 꼬리지느러미의 형태가 성어의 것으로 바뀌면서 유영능력의 측면에서 현저한 변화가 관찰되었다고 하였다. 따라서 멸치 자치어는 분기형을 나타내는 13.0 mm 이후부터는 꼬리지느러미가 담당하고 있는 추진력의 기능이 서서히 증대하고 있으리라 추정된다.

이번 멸치 자치어의 체측근과 지느러미 발달 상황을 모두 종합해 보면, 제주해협에서의 멸치 자치어는 모든 지느러미 줄기수가 확인되고 분기형의 꼬리지느러미를 가지며 적색근 섬유세포들이 성층구조를 보이기 시작하는 14~15 mm 이후의 개체부터는 지속적인 유영능력이 비약적으로 증대하고 있으리라 사료된다. 또한 비대성장을 통하여 대형화된 백색근 섬유세포들이 출현하기 시작하는 17~19 mm 이후부터는 돌발적인 상황에 대처하는 유영능력도 더욱 향상되어 자연 상태에서 더욱 적극적으로 유영활동을 행하고 있으리라 판단된다. 따라서 유영능력이 향상되는 이러한 체급 이후부터는 먹이 섭취 범위의 확대 또는 먹이생물의 추적이나 포식자로부터의 도피 능력이 증대될 것이며 나아가 해양에서의 생존 가능성도 훨씬 높아지게 될 것이다.

6. 자치어의 분포양상

멸치 자치어는 남해와 황해의 연안역에서 여름과 가을철에 우점하며 특히 남해에서는 거의 연중 출현하고 있는 것으로 알려져 있다(임과 옥, 1977; 김, 1983; 차 등, 1990). 이번 제주해협 및 주변해역에서의 5회의 조사기간 동안에도 멸치 자치어는 난과 달리 모두 출현하고 있으며 대부분 10 m, 20 m 수층에서 고밀도로 출현하였다.

이번 연구에서 나타난 멸치 자치어의 분포특징 중 하나는 난이 비교적 연안역(I, J해역)에 집중적으로 출현하는데 비해 자치어는 상대적으로 연안역의 남부에 해당하는 외해역(A, B해역) 쪽에 많이 출현한다는 것이다. 이러한 경향은 제주해협 동부해역에서의 월별 분포 경향에서도 잘 나타나고 있었는데 조사해역에서도 자치어들의 최초 발생은 난과 같이 섬 주변에서 시작하다가 시간이 지나 고수온기가 되면서부터는 조사해역의 중앙부로 그 분포범위가 훨씬 확장되고 있음을 알 수 있었다. 그런데 이렇게 멸치 자치어들이 집중적으로 분포한 연안역 바깥의 외해역 내에는 대부분 수온 전선대가 강하게 형성되고 있다는 공통점을 보이고 있었다(Fig.6과 Fig.31). 일반적으로 전선근방의 해표면에서는 전선으로 향하는 흐름이 있어 이것이 전선에서 수렴하므로 부유성의 성질을 갖는 것들은 전선의 표층에 물리적으로 집적하는 경향이 강하게 나타난다(Pingree *et al.*, 1974; Iles and Sinclair, 1982; 柳, 1992). 또한 전선역을 중심으로 한 그 부근역에는 영양염의 공급에 따라 동식물 플랑크톤들의 생산속도 증가가 자주 나타나는 등 호적인 환경조건을 보임으로서 일부 연안성 어류들의 성육장으로 활용되고 있기도 하다(上·柳, 1995; 上, 1995; 松田 等, 1995). 기존의 남해안 일대에서도 멸치 자치어의 분포는 해역내 형성된 전선을 중심으로 양분되어 분포하거나 전선상에 집중적으로 분포하는 등 해역내 전선의 형성 유무와 강약에 따라 그 분포가 크게 달라지고 있음을 보고한 바 있다(김, 1983; 김과 최, 1988; 추와 김, 1998). 따라서 이번의 연안역 근처 산란장에서 부화한 멸치 자어들은 계속 산란장에 머무르는 것이 아니고 점차 성장하면서 부근 해역에 형성된 전선에 의한 해수장벽 효과나 수렴현상 등과 같은 물리적 해수유동에 의해 외해쪽으로 이동되었거나 혹은 전선역에 형성되는 호적인 생물환경을 통하여 이곳을 성육장으로 활용하기 위해 능동적으로 외해의 전선역 쪽으로 이

동했을 가능성이 있다고 추측된다.

멸치 자치어들의 해역별 체급조성을 살펴본 결과, 제주해협 및 주변해역에 있어서 특히 멸치 자치어가 가장 풍부하게 출현한 2001년 7월 제주해협내의 서부역(A, C해역)에 비해 동부역(B, D해역)에서 전장 10.0 mm 이상 개체들의 출현율이 높게 나타나고 있어 동쪽으로 갈수록 크기가 큰 개체의 출현비율이 증가하고 있음을 확인할 수 있었다. 또한 제주해협 북부와 동부해역에 있어서도 시기가 지날수록 두 해역 모두 전반적으로 조사해역의 남쪽과 동쪽에서 크기가 큰 개체의 출현비율이 증가하고 있었다. 이러한 현상은 앞서 언급한 난의 분포와 유사하게 제주해협내에서의 탁월한 북동방향의 해류 패턴에 의해 멸치 자치어들이 성장함에 따라 점차 동쪽으로 수송되고 있음을 시사하는 것이라 생각된다. 한편 조사해역의 동쪽에 위치하는 제주해협 북동부 외양역(G해역)과 청산도 주변역(J해역)은 조사해역의 동쪽에 위치함에도 불구하고 10.0 mm 미만의 개체들이 높은 비율(90%이상)인 반면 큰 개체의 출현비율이 매우 낮게 나타나고 있었다. 이는 이들 해역이 부화 직전의 III단계 난들이 대량으로 출현한 해역들로서 이들 해역내에는 갓 부화해서 유영력이 미약할 것이라 판단되는 10.0 mm 이하의 자치어들이 집중적으로 분포하였을 것이며 반면에 10.0 mm 이상의 개체들은 조사 당시 이미 해류 등에 의해 이동되었기 때문에 해역내 출현율이 매우 낮았던 것이라 판단된다.

일반적으로 멸치 자치어들은 주간에는 하층에 분포하고, 야간에는 표층으로 부상하는 전형적인 주야 일주수직이동을 하는 어종으로 알려져 있으며(Ids, 1972; Blaxter and Hunter, 1982; 魚谷, 1988), 남해안 일부 해역에서도 멸치의 주야 일주수직이동 현상이 보고된 바 있다(김과 최, 1988; 이 등, 1996). 이번 제주해협 및 주변해역에 있어서는 멸치 자치어가 가장 많이 채집된 2001년 7월의 개체들을 대

상으로 이전의 체측근과 지느러미 발달 관찰결과를 토대로 자치어를 크게 전장 15.0 mm 미만과 15.0 mm 이상으로 구분한 후 두 그룹에 대한 시간대별 수직분포양상을 조사하였다. 그 결과 특히 15.0 mm 이상의 그룹들은 야간에 30 m수심 이천에서 꾸준히 출현하였으나 주간에는 모든 채집수층에서 전혀 출현하지 않고 있어서 멸치 자치어들의 주야 일주수직이동 현상은 유영력이 향상된 개체일수록 더욱 뚜렷하게 나타나고 있음을 확인할 수 있었다. 그런데 이러한 현상이 주간에 네트의 접근에 따른 도피의 결과로서 15 mm 이상의 유영능력이 향상된 개체들이 주간에는 채집되지 않았을 가능성도 생각해 볼 수 있다. Webb and Corolla(1981)는 북미산 멸치 자치어를 대상으로 실내수조에서 자극에 의해 반응하는 이들의 돌발적 유영속도를 계산한 바 있는데 그 결과 $U_{max}=20.8L+1.95(U_{max}$, 돌발적 유영속도; L , 전장)의 식으로 돌발적 유영속도는 전장에 따라 선형적으로 증가하고 있음을 보여 주었다. 이에 대해 이번에 조사된 멸치 자치어의 체급범위는 3.2~26.5 mm로서 자치어들의 유영속도가 서식지의 해황변화 등 상황에 따라 다를 수는 있겠지만 위의 식을 이용하여 이번 채급에 대한 돌발적 유영속도를 구해 보면 약 0.09~0.57 % 정도가 된다. 이러한 유영속도는 본 연구에서 실시한 약 2~3kt(1~1.5 %)의 네트 예인속도와 비교했을 때 이들의 돌발적 유영속도가 네트의 접근속도에는 크게 못 미치고 있음을 알 수 있었다. 따라서 이번에 15.0 mm 이상의 유영능력이 향상된 개체라 할 지라도 주간에 네트가 접근했을 때 네트를 피하여 도피할 수 있는 시간적인 여유가 그리 많지는 않았으리라 사료된다.

이밖에 자치어들의 망구도피 현상은 네트의 여수율 저하에 따른 망목막힘에 의해서도 발생할 수 있다(Smith, 1980). 차(2002)의 보고에 따르면 연안역에서 봉고네트를 이용하여 난·자치어를 채집할 시 최소 100 m' 이상의 여수량을 필요로 한다고 보고한 바 있다. 이

번 2001년 7월의 조사시 측정된 10 m, 20 m, 30 m 수층의 전체 평균 여수량은 각각 229 m³, 265 m³, 309 m³으로서 따라서 이번의 채집기간 동안 여수율 저하에 따른 뚜렷한 망목막힘 현상은 발생하지 않았다고 볼 수 있을 것이다.

7. 난·자치어 분포와 수온·염분과의 관계

본 연구에서는 2001년 7월에 제주해협 및 주변해역에 있어 멸치 난 및 자치어의 분포밀도에 대한 수온의 구분포 범위대를 조사하였다. 우선 멸치 난의 분포와 수온과의 관계에 대해서 살펴보면, 난들은 전 수층을 통틀어 10.8~26.3℃로 매우 광범위한 수온대에서 분포하고 있었다. 하지만 난들이 다량으로 채집된 10 m와 20 m 수층의 15℃이하에서는 난들이 거의 분포하지 않았고 15.1~21.8℃ 범위에서 고밀도(10³개/1,000m³ 이상)로 출현하였다. 또한 이번 조사에서 거차군도 주변역(I해역)은 2002년 6월에 조사당시 평균 수온이 16.4℃고 멸치 난도 풍부하게 출현하였으나 그 전해인 2001년 7월에는 평균 수온이 13.1℃로 해역들 중에서 가장 낮았고 멸치 난도 전혀 출현하지 않았다. 이와 더불어 제주해협 북부해역은 평균 수온이 11.0℃를 보인 4월에는 멸치 난이 출현하지 않았고 평균수온이 15.1℃인 5월에 최초로 출현하기 시작하였다. 일반적으로 멸치는 먼 외양역에서 산란장이 형성될 시에는 10℃ 이하의 수온환경에서도 산란할 정도로(船本·靑木, 1999; 三原, 2000) 물리적 환경요인에 대해 비교적 넓은 적응력을 지니고 있는 어종이지만 일반적으로 연안역에서 멸치가 산란에 필요한 임계수온은 14~15℃로 알려져 있으며 그 이하의 수온환경에서는 멸치 자치어의 성육이 부적합하다고 보고되고 있다(Kawaguchi *et al.*, 1990; 富永, 1996). 이에 대해서 임과

옥(1977), 차(1986)는 국내에서 멸치의 산란 적수온에 대해 약 15~25℃로 추정한 바 있으며 또 김 등(1994)은 남해안에서 봄철에 해당하는 3~4월경에도 멸치 난의 주 분포 수온범위대를 14~15℃라고 보고한 바 있다. 따라서 이상의 사실들을 모두 고려해 볼 때 연중을 통해 제주해협을 포함한 남해 일대에서 일어나는 멸치들의 산란은 수온 14℃ 이하에서는 거의 이루어지지 않고 있음이 밝혀졌고 산란을 하기 위한 임계수온은 약 15℃ 부근으로 추정된다.

다음으로 체급에 따른 멸치 자치어들의 분포밀도와 수온과의 관계에 대해 조사한 결과 특히 자치어들이 다량으로 채집된 10 m와 20 m 수층을 보면 유영능력이 향상되었다고 판단되는 전장 15.0 mm 이상 개체들이 고밀도(25개체/1,000m³)로 출현하는 해역의 수온분포 범위는 21.4~25.7℃로 나타나고 있었다. 이는 상대적으로 유영능력이 미약한 15.0 mm 미만 개체들의 14.3~24.5℃보다 더 수온이 높은 곳에서 분포밀도가 높게 나타나고 있는 것으로 볼 수 있다. 상관관계 분석결과에서도 10 m 수층에서 15.0 mm 이상의 개체의 분포밀도는 수온이 높아질수록 증가하는 양의 상관관계가 나타났다. 이러한 결과로부터 멸치 자치어들은 유영능력이 향상될수록 능동적으로 성육에 적합한 20℃ 이상의 고수온 해역으로 이동하고 있는 것이라 사료된다.

이번의 멸치 난 분포밀도와 염분과의 관계에서는 난들의 고밀도 분포 범위대는 31.4~33.6‰로 나타나 비교적 범위가 넓었다. 또한 양자의 상관관계 분석결과에서도 2001년 7월의 20 m 수층을 제외하고 그다지 뚜렷한 상관성은 나타나지 않았으며 제주해협 북부해역에서 월별 자료에 대한 다중회귀분석 결과에서도 멸치 난의 밀도에 염분의 영향은 거의 발견되지 않았다. 中井 等(1955)에 따르면 멸치는 33.2~34.9‰의 염분대에서 주로 산란한다고 보고한 바 있다. 따라서 이러한 결과들로부터 조사기간 동안 연구 해역내에서 멸치의

산란은 대부분 31.0% 이상의 해역에서 이루어지고 있다고 생각되며 산란을 했을 당시 해역내 염분농도의 변화가 이들의 산란에 그다지 큰 영향을 끼치지 않는 것으로 추정된다.

자치어의 체급에 따른 분포밀도와 염분에 대한 조사결과에서는 모든 개체들이 29.9~34.0‰ 범위의 비교적 폭넓은 염분 범위대내에서 분포하고 있음을 알 수 있었다. 하지만 상관분석 결과 특히 15.0 mm 이상 개체의 분포밀도와 염분과는 뚜렷한 음의 상관관계를 보여주었다. 또한 다중회귀분석 결과에서도 자치어의 밀도 증가에 염분의 감소가 영향을 주는 것으로 나타났다. 이는 상대적으로 유영력을 갖춘 멸치 자치어들이 저염분의 해역에 많이 분포하고 있는 것으로 볼 수 있다. 이와 관련하여 三谷·長谷川(1988)에 따르면 멸치 자치어들은 28‰ 이하의 염분에서는 대부분 분포하지 않으며 29~32‰의 염분대에서 주로 분포한다고 밝힌 바 있고, 中村(1982)과 魚谷 等(1993)은 멸치 치어 어장은 주로 저염분 수괴가 발달하는 곳에 형성된다고 하였다. 이렇듯 유영력이 향상된 개체들이 저염분인 수괴에 많이 분포하는 원인과 관련하여 기존 魚谷 等(1993)의 염분농도에 대한 멸치 자치어의 반응실험 결과에서는 염분의 농도 차이만으로는 멸치 자치어들을 유인하는 요인이 되지 않았다고 밝힌 바 있으며 이것에 대해 저염분에만 서식하는 이료생물의 크기를 가지고 고찰한 예(三谷·長谷川, 1988)도 있지만 아직까지 뚜렷한 원인은 구체적으로 밝혀지지 않고 있다. 앞으로 이를 밝히기 위해서는 저염분 수괴가 지니고 있는 이료생물 환경을 포함한 생물학적 특성들과 더불어 이화학적 특성들을 모두 고려한 조사가 필요할 것이다.

8. 난·자치어 분포와 엽록소 a 농도

본 연구에서는 엽록소 a 의 농도가 증가할수록 멸치 난의 분포밀도도 증가하는 경향을 보임으로서 제주해협을 포함한 그 주변해역에서도 멸치 성어들이 엽록소 a 의 농도가 상대적으로 높은 해역에서 집중적으로 산란하고 있음을 간접적으로 시사하고 있었다. 이에 대해 일반적으로 일정한 수층내에 형성되는 엽록소 a 의 극대층과 요각류 노플리우스 유생의 극대층은 서로 일치하는 경향이 있으며, 엽록소 a 의 농도가 증가할수록 요각류알 생산율이 두배에 이르는 경우가 자연해역에서 자주 관찰되고 있다(Funakoshi, 1984; 船越, 1984; Nakata *et al.*, 2000). 또한 일본산 정어리는 엽록소 a 의 농도가 상대적으로 높은 해역에서 주로 산란을 하는 경향이 있으며 이와 같은 해역에서 멸치 난이 다량으로 채집된 예도 있다(Nagata *et al.*, 1986; 長田 等, 1986; 中田·岡崎, 1999). 이러한 현상을 船越·柳橋(1983)는 이료생물 환경 차원에서 해석하였는데 그들에 따르면 정어리 산란 성어들은 식물플랑크톤의 대증식에 이어 수반되어 발생하는 요각류의 대증식을 통해 이 해역에서 부화한 자어들이 보다 유리한 이료환경 조건을 맞이하게 하여 초기감모를 최소화시키는 재생산전략을 취하는 것으로 생각하였으며 이에 대해 Lasker(1981)도 캘리포니아산 멸치를 예로 엽록소 a 극대층의 형성으로 나타난 먹이생물의 집중분포가 자어의 생존에 중요한 역할을 하고 있다고 지적한 바 있다. 따라서 이번의 결과를 통해 본 연구 해역내에서 산란하는 멸치 성어들도 이료환경 차원에서 앞에 서술한 일본산 정어리와 유사한 재생산 전략을 취하고 있다고 추측되며, 이러한 해역들이 후에 부화한 멸치 자어들에게 있어 적합한 색이장으로 충분히 이용될 가능성이 있다고 생각된다. 특히 이번 조사에서도 제주해협 북동부 외양역(G해역)과 청산도 주변역(J해역)에서 엽록소 a 농도가 높게 나

타나고 있고 멸치 난이 대량으로 채집되고 있어 이러한 가능성이 대단히 높은 장소라 예상된다.

한편, 멸치 자치어는 특히 15.0 mm 이상의 개체의 분포밀도와 엽록소 a 의 농도사이에 강한 음의 상관관계가 나타났다. 이러한 결과는 어느 정도 유영력을 갖춘 멸치 자치어들이 상대적으로 엽록소 a 농도가 높은 해역을 벗어나고 있음을 보여주는 것으로서 이는 부화 후 어느 일정시기까지는 색이를 하며 산란장내에 머물러 있다가 성장하면서 점차 유영능력이 향상되게 되면 산란장을 벗어나 성육에 적합한 해역으로 이동하고 있는 것으로 판단된다.

9. 난·자치어의 분포와 동물플랑크톤

본 연구에서 멸치 난과 요각류 간의 상관분석 결과 대부분의 수층에서 요각류의 현존량이 감소할수록 난의 분포밀도는 증가하는 경향을 보이고 있었다. 요각류를 포함하여 요각류 알, 노플리우스 유생 등은 멸치의 전체 생활사에 걸쳐 주요 먹이생물이 되고 있다는 것은 여러 연구결과에서도 잘 알려진 사실이다(Arthur, 1976; Ochiai and Tanaka, 1986; 魚谷, 1988; 박과 차, 1995; Uotani *et al.*, 1996; Hirakawa *et al.*, 1997). 이와 더불어 船越·柳橋(1983)에 따르면 산란해역내에서 산란 전후의 멸치나 정어리 산란성어군에 의한 포식압이 수괴중의 동물플랑크톤 현존량을 변화시킬 정도로 강하여 이들의 포식압이 해역내 동물플랑크톤 현존량 변화에 무시할 수 없는 요인이 될 수도 있다고 밝힌 바 있다. 따라서 이번의 결과에 대한 원인의 하나로 멸치들의 산란이 집중될 당시 해역내 성어군들에 의한 요각류 포식압(船越·柳橋, 1983)의 가능성을 생각해 볼 수 있을 것이다. 다른 한편으로는 김(2003)이 밝힌 바와 같이 유영력이 거의

없는 알이나 전기자어 시기에는 오히려 요각류와 같은 동물플랑크톤들이 이들에게 포식압을 가할 수 있으므로 멸치 성어들이 산란해역을 결정할 시 상대적으로 요각류 현존량이 적은 해역을 선택함으로써 산란된 알이나 후에 부화할 멸치 자어들이 요각류들에게 포식당할 위험을 줄이게 하기 위한 재생산전략의 하나일 수도 있다고 사료된다. 한편 멸치 자치어와 요각류와의 관계에 있어서는 15.0 mm 이상의 개체들이 15.0 mm 미만의 개체들에 비해 요각류 현존량이 상대적으로 높은 해역에 고밀도로 분포하고 있었다. 이것은 곧 멸치 자치어들이 어느 정도 성장하여 섭이활동이 왕성해지기 시작하면 요각류 유생들을 섭이하기 위해 적극적으로 요각류가 많이 있는 곳으로 이동하고 있음을 보여주는 것이라 생각된다.

멸치 난, 자치어와 화살벌레류 현존량과의 대응관계에 있어서는 자치어에 비해 난이 10 m 수층에서 화살벌레류가 증가할수록 밀도는 감소하고 30 m 수층에서는 그 반대의 경향이 뚜렷하게 나타나고 있었다. 이와 관련하여 일본 연안에서는 난이나 작은 크기의 자어들이 집중된 해역에 화살벌레류가 집중적으로 분포하여 이들에게 강한 포식압을 주고 있다고 보고된 바 있다(浜田, 1965; 船越·柳橋, 1983; Funakoshi, 1992; Nakata *et al.*, 2000). 이러한 사실은 곧 멸치 성어들이 상대적으로 화살벌레류가 빈약한 해역을 택하여 산란을 행하고 있거나 혹은 화살벌레류들이 멸치 난을 포식하기 위해 난이 많은 곳으로 모여들고 있다는 것으로 해석할 수 있을 것이다. 앞으로 이 부분에 대해서는 화살벌레류의 섭이물 검사 등을 통해 구체적으로 밝혀나가야 할 것이다.

10. 난·자치어 분포와 기상과의 관계

멸치는 기상의 영향을 크게 받는 해양의 표층부근에 주로 서식하는 표층성 어류이기 때문에 기상의 변동은 이들의 산란, 이동과 같은 생활패턴에도 영향을 주는 것으로 알려져 있다(김, 2003). 본 연구에서는 제주해협 북부와 동부해역을 대상으로 연구기간 동안의 조사해역내 기상상황을 조사한 결과 두 해역 모두 난·자치어가 집중적으로 출현하는 시기에는 상대적으로 강수량이 많았고 풍속 10% 미만의 약화된 바람이 주로 불고 있었다. 이러한 특징과 관련하여 상관분석과 다중회귀분석을 통해 검사해 본 결과, 난의 밀도 증가에는 수온의 상승과 더불어 특히 풍속의 감소가 중요하게 영향을 끼치고 있는 것으로 나타났다. 이에 대해서 Lasker(1975, 1981)는 해역내의 강한 바람은 먹이생물 패치(불균질 분포)의 붕괴를 가져오고 이는 곧 섭이개시기의 자어들에게 있어 높은 사망률을 초래할 수 있다고 제안한 바 있다. 또한 Peterman and Bradford(1987)는 실제로 해역내에서 북미산 멸치(*Engraulis mordax*)의 산란기간 동안에 강한 풍속의 바람이 지속될수록 멸치 자어들의 높은 사망률을 초래하였다고 보고한 바 있다. 이에 더하여 Nakata *et al.*(2000)는 엽록소 *a*가 고농도를 보이는 해역은 요각류 생산에 직접적으로 영향을 미치고 이후 잠재적으로는 멸치 자어들에게도 좋은 먹이 환경을 제공할 가능성도 시사한 바 있다. 따라서 이번 결과에서도 바람이 약한 시기에 멸치들이 집중적으로 산란하는 것은 곧 해양의 성층구조가 붕괴되지 않는 즉 바람이 영향을 덜 받는 시기에 멸치들이 최대한 산란을 행하여 부화한 자어들의 먹이 이용률을 높이는 재생산 전략의 하나라 볼 수 있을 것이다. 그러므로 산란해역내 바람의 세기는 멸치들의 산란시기 등을 결정하는데 있어 중요한 열쇠로 작용하고 있다고 사료된다.

한편 자치어의 밀도 증가에는 수온의 상승과 더불어 염분의 감소, 강수량의 증가가 유효하게 작용하고 있었다. 강수량의 증가와 염분의 감소라는 두 가지 변수는 서로 밀접하게 관련하고 있는 것으로서 이에 대해 Lee *et al.*(1990)은 멸치 자치어의 무리가 해수와 하천수가 혼합이 일어나는 해역에 주로 서식하고 있다고 보고한 바 있고 또한 멸치 자치어의 생산량은 그 해역의 강수량에 대해 정의 관계(Uehara, 1962) 혹은 역의 관계(Nojima and Nakamura, 1988; Mitani, 1990)를 보일 때도 있었다. 앞절에서도 상대적으로 유영력을 갖춘 멸치 자치어들이 저염분 해역에 많이 출현하듯이 산란해역내 강수량 증가는 결과적으로 멸치 자치어의 군집 및 분포에 유효하게 영향 끼치고 있음을 시사하는 것이라 하겠다. 멸치 성어들이 강수량이 많은 시기에 산란을 행한다는 것은 곧 이에 수반되어 일어날 수 있는 염분의 저하 및 영양염 증가로 인해 산란해역내 식물플랑크톤들이 증가로 이어질 가능성이 있으며 실제로 제주해협 북부해역에서는 7월에는 해역내 엽록소 a 농도가 낮으나 8월부터 급격히 증가하고 있음을 보여주기도 하였다(Fig.12). 따라서 강수량이 많은 시기에 멸치들의 산란이 활발히 진행된다는 것은 궁극적으로 산란 후에 부화할 자어들에게 먹이생물과 조우할 기회를 더 많이 제공케 하기 위한 멸치 성어들의 재생산전략의 하나로 볼 수 있을 것이며 강수량과 같은 기상요인도 멸치 성어들의 산란을 결정하는데 있어 하나의 열쇠로 작용하고 있다고 추측된다.

11. 난·자치어 분포특성에 따른 멸치의 재생산 전략 및 자치어 생존 전략

본 연구를 통해 남해의 제주해협 및 그 주변해역에서 3년 간에 걸쳐 조사된 멸치 난·자치어들의 분포특성들을 조사한 결과 멸치 난의 분포밀도 변화에는 해역별, 시기별로 여러 환경요인들이 영향을 끼치고 있음을 알 수 있었다. 이번의 멸치 난과 환경요인들 간에 나타난 대응관계들을 바탕으로 본 해역에서 멸치 성어들이 행하는 산란형태에 있어서는 다음과 같은 특징들이 나타나고 있었다.

첫째, 멸치 성어들은 산란해역내 평균 수온이 약 15℃ 이상이 될 때부터 산란을 시작하고 있었다.

둘째, 멸치 성어들은 엽록소 a 농도가 높고 상대적으로 요각류와 화살벌레류의 현존량이 빈약한 연안역 부근을 산란장으로 선택하고 있었다.

셋째, 멸치 성어들은 비교적 바람이 약하고 강수량이 많은 시기에 집중적으로 산란을 실시하고 있었다.

이와 같은 멸치 성어들의 산란형태 특징들을 재생산 전략 차원에서 해석해 보면 우선 제주해협 및 그 주변해역에서는 멸치의 산란해역 평균 수온이 적어도 15℃ 이상이 될 때부터 멸치의 산란이 시작되고 있음을 알 수 있으며 이 후 고수온을 보이는 여름철을 택하여 집중적으로 산란하고 있는 것으로 보인다. 다음으로 이번 결과에서 나타난 멸치 성어들의 연안역 중심의 산란형태는 곧 멸치 초기 개체들의 감모를 줄이기 위한 재생산 전략의 하나로서 기초생산력이 상대적으로 높은 연안역에 산란하게 되면 갯 부화한 초기 자어들에게는 좋은 먹이환경이 제공될 것으로 보인다. 또한 유영능력이 거의 없는 이들에게 있어서는 요각류와 화살벌레류들이 오히려 포식자로서 위협요소가 될 수 있기 때문에 이러한 중형 동물플랑크톤

들이 비교적 적은 곳에 산란하게 되면 이들에 의한 포식위협이 그만큼 줄어들어 난이나 부화자어들의 포식에 의한 사망률이 감소하는 효과를 가져오게 되리라 예상된다. 산란시기를 선택함에 있어서도 상대적으로 바람이 약한 시기에 산란하게 되면 수층혼합의 약화로 해양의 성층구조가 안정을 이루게 될 것이며 이에 따라 그 내부에 존재하는 각종 소형생물들의 패치구조는 더욱 견고해지므로 부화한 멸치 자어들이 먹이생물과 조우할 수 있는 기회는 그만큼 많아질 것이다. 또한 강수량이 많게 되면 영양염 공급으로 인해 식물플랑크톤 현존량은 증가할 것이며 이는 곧 해역내 기초생산력 증가로 이어져 멸치 자어들에게 유리한 먹이환경이 제공될 수 있을 것이다.

한편, 멸치 자치어들도 여러 환경요인들과 대응관계를 보이면서 그 분포밀도가 변화하고 있음을 알 수 있다. 이번 연구에서 밝혀진 멸치 자치어들과 환경요인들 사이에서 나타나는 특징들을 살펴보면 다음과 같다.

첫째, 멸치 자치어는 유영능력이 향상된 개체일수록 20℃ 이상의 고수온, 32‰ 이하의 저염분 해역에 많이 분포하고 있었다.

둘째, 엽록소 a 농도가 낮고 상대적으로 요각류가 풍부한 해역에서 유영능력이 향상된 개체들이 많이 분포하고 있었다.

이와 같이 자치어들과 환경요인 사이에서 나타나는 관계들을 이들의 생존전략 차원에서 해석해 보면 우선 유영능력이 향상된 개체들이 상대적으로 고수온, 저염분 해역에 많이 분포하고 있다는 것은 곧 멸치 자어들이 부화한 후 일정시기 동안 산란장내에서 생활하다가 어느 정도 성장을 하여 유영능력을 갖추게 되면 자신들의 성육에 적합한 고수온 해역으로 능동적으로 이동하고 있음을 가리키는 것이라 볼 수 있다. 이에 더하여 유영능력이 향상된 멸치 자치어들이 유영능력이 덜한 개체들 보다 상대적으로 엽록소 a 농도가 낮고

요각류 현존량이 많은 곳에 주로 분포하고 있었는데 이러한 사실은 곧 유영능력이 갖추어지기 전까지는 엽록소 a 농도가 비교적 높은 연안역의 산란장 내에서 생활하다가 유영능력이 향상되고 점차 먹이생물이 요각류의 알이나 유생등으로 전환됨에 따라 능동적으로 이 해역을 벗어나 요각류가 풍부한 해역으로 이동하고 있음을 보여주는 것이라 하겠다.

이상의 결과들을 기초로 하여 제주해협 및 그 주변해역에서 멸치의 산란상황 및 자치어들의 이동경로를 추측해 보면 주로 여름철 남해안측 연안역이나 섬 주변역에서 산란되어 부화한 멸치 자치어들은 일정 기간동안 산란장내에서 색이활동을 하며 머무르다가 성장하면서 차츰 산란장 외해측으로 이동하여 이곳을 성육장으로 활용하고 있다고 추정된다(Fig.63). 결론적으로 본 연구해역내에서 이상과 같은 산란과 관련된 멸치 성어들의 재생산 전략과 자치어들의 환경요인에 따른 생존 전략들에 의하여 초기 멸치 개체들의 자연사망률은 최소화되고 있으며 본 해역내에 항상 존재하는 탁월한 북동방향의 흐름패턴에 의해 점차 멸치의 주요어장이 형성되고 있는 남해 중부해역 쪽으로 수송되면서 신규가입군으로 새롭게 가입되고 있음을 예상할 수 있다.

12. 우리나라 남부 기상의 장기변동

본 연구를 통해 우리나라 남부에 있어서 1971년부터 2002년까지 32년간 주요 기상요인들의 변동을 살펴본 결과 대부분의 기상요인들이 유의하게 변화하고 있음이 드러났다. 우선 연평균 기온은 1970년대에 14.3℃이던 것이 1980년대 14.1℃, 1990년대 이후에는 14.9℃

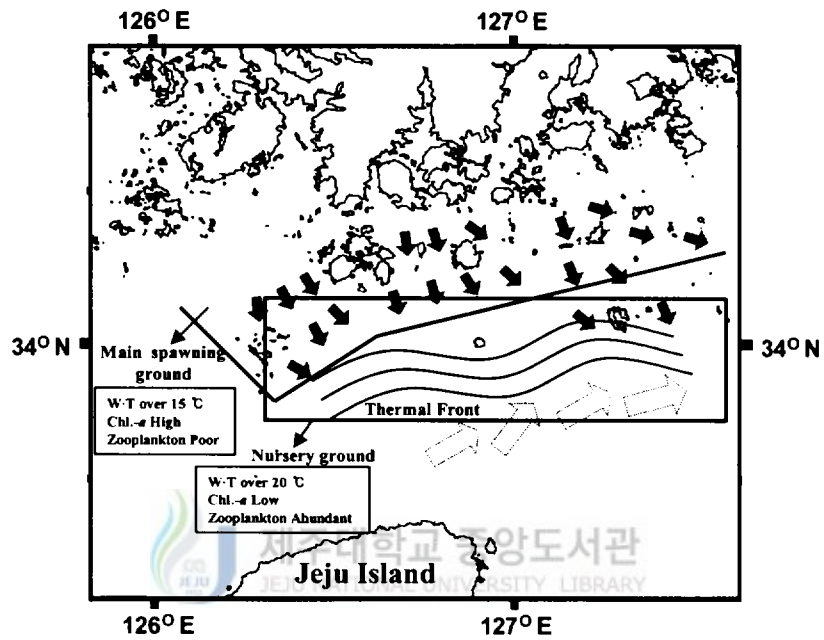


Fig.63. Schematic figure showing the expectational movement of anchovy larvae in the Jeju strait and its adjacent water in summer.

로 큰 폭으로 상승하고 있었다. 반면에 연평균 바람의 세기는 1970년대 4.2 %이던 것이 1980년대 4.0 %, 1990년대 이후 3.9 %로 약화되고 있었고 연평균 상대습도 역시 1970년대에 평균 72.7%를 기록하던 것이 1980년대 70.3%, 1990년대 이후 최근까지는 68.0%로 낮아지는 등 우리나라 남부에 있어서도 온난화 경향이 뚜렷하게 나타나고 있었다. 다만 강수량은 1990년대 후반에 들어 여름철에 집중적으로 내리는 날의 빈도가 많았지만 평균 강수량은 과거와 크게 다르지 않았다. 이와 관련하여 최근 엘니뇨와 같은 자연적인 대규모 기상변동 현상과 더불어 산업화에 따른 온실가스의 증가로 인하여 전 지구적으로 기후가 급변하고 있다. 이러한 기후변화에 대응하기 위해 1988년에 유엔 산하 기후변화에 관한 정부간 협의회(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)가 설립되었는데 이 IPCC의 보고서에 따르면 지구의 평균 기온이 1860년 이래 약 0.6℃ 증가하는 등 지구온난화가 가속화되고 있음을 알 수 있다. 우리나라도 20세기 들어 연평균 기온이 약 1.5℃ 증가하였으며 최근 20년간 여름철 집중강수현상의 빈도가 증가하는 등 전반적으로 기후가 변화하는 양상을 띠고 있고 특히 1990년대에 들어 온난화가 더욱 가속화되고 있다(강과 정, 2000; Choi *et al.*, 2003; Kwon *et al.*, 2003). 따라서 이번 연구결과를 통해 우리나라 남부에서도 1990년대에 들어 온난화 현상이 뚜렷하게 나타나고 있다고 판단된다.

이와 더불어 본 연구에서는 연대별로 각 기상요인들의 평년값에 대한 편차를 계절별로 살펴본 결과 1970년대와 1980년대의 기온편차는 모두 평년값 보다 낮은 반면 1990년대에 들어서부터는 전 계절에 걸쳐 모두 평년 보다 높았다. 특히 겨울철은 평년에 비해 0.7℃로 가장 높았으며 또한 바람의 세기와 상대습도도 겨울철이 타 계절에 비해 평년 보다 가장 낮은 값을 보이는 등 1990년대부터 겨울철 온난화 현상이 심하게 나타나고 있음을 알 수 있었다. 결국 우

리나라 남부에서 발생하고 있는 온난화 현상은 특히 겨울철 온난화가 크게 영향을 끼치고 있는 것이라 사료된다.

13. 남해 해황의 장기변동

본 연구에서 우리나라 남해 전체 해역을 대상으로 장기간 수온, 염분 변동을 조사한 결과 여름철을 제외한 대부분의 계절에 있어서 1990년대 전반 혹은 중반에 들어서면서부터 평년 보다 고수온, 저염분 현상이 강하게 나타나고 있음을 알 수 있었다. 수온은 1990년대에 들어서 고수온의 경향이 강하게 나타나고 있었는데 특히 겨울철 수온은 평년과 비교하여 0.6℃로 가장 높아 겨울철 수온상승 현상이 뚜렷하게 나타나는 특징을 보여주고 있었다.

우리나라 연근해에서도 최근에 발생하고 있는 전 지구적인 기후체제 변화들에 의해 해황이 변화하고 있다는 증거들이 나타나고 있으며 이에 대해 장기적 측면에서 여러 가지 활발한 연구가 이루어지고 있다. 먼저 Hong *et al.*(2001)은 1950년부터 최근까지 우리나라 동해에 있어서 표층 수온편차 변동과 ENSO와 같은 기상현상과의 관계를 연구한 결과 엘니뇨가 발생했던 해의 여름은 그 이전해의 여름보다 더 차가워졌고 반면에 엘니뇨가 발생한 해의 겨울은 그 이전의 겨울 보다 더 따뜻해졌다고 보고하였다. Kang(2000)에 따르면 1936~1995년의 지난 60년간 우리나라 전체 연안역에서 표층 수온변동을 관찰한 결과 겨울철 표층수온편차의 증가율은 전체 계절의 평균 증가율 보다 높았고 그 증가율도 지난 60년간은 0.019℃/yr이었으나 최근 30년간은 0.035℃/yr로 나타나 최근에 연안역의 겨울철 온난화가 가속화되고 있다고 밝힌 바 있다. 또한 Park and Oh(2000)는 동해 남부 해역에서 장기간 수온 변화를 분석한 결과

겨울철 평균 표층수온은 1960년대이래 감소하였고 이후 1980년대 후반부터 최근까지에 이르러 증가하는 양상으로 변화하고 있다고 보고한 바 있다. 따라서 이와 같은 사실들은 이번 우리나라 남부지역의 겨울철 기상변화와 겨울철 남해 해황 변화 사이에 밀접한 관계가 있다는 것을 보여주는 것으로서 1990년대부터 우리나라 남부지방에서 발생하기 시작한 겨울철 대기온도의 상승, 계절풍의 약화에 따른 수층혼합의 둔화, 상대습도 감소에 따른 건조한 날 지속 등이 겨울철 남해의 수온상승에 크게 영향을 끼쳤으리라 판단된다. 한편 1990년대 중반부터 겨울철 남해에서 지속적으로 발생하고 있는 저염분 현상에 대해서는 남해의 염분농도 분포에 유효하게 영향을 끼치는 중국대륙 연안수나 쿠로시오 해류와 같은 수괴들에 대한 장기적인 유량 변화자료 등을 통해 앞으로 구체적으로 조사해 나가야 할 것이다.

14. 멸치 생산량의 장기변동과 환경과의 관계

본 연구를 통해 1971년부터 2002년까지의 지난 32년간 국내 연근해에서 생산되는 어류의 생산량 변동을 조사한 결과 우리나라에서 생산되는 멸치의 대부분이 주로 남해에서 생산되고 있었으며 그 생산량도 매년 꾸준히 증가하였다. 또한 우리나라 전체 일반해면어업 대상 어류들 중에서 멸치가 차지하는 점유비율도 1990년대에 들어 대부분 20% 이상의 높은 비율을 차지하며 증가함으로써 최근 들어 남해의 어업자원에 있어서 멸치가 차지하는 비중이 점점 높아지고 있음을 시사하고 있었다. 이에 더하여 이번의 연구결과를 통해 국내에서의 멸치 생산은 주로 기선권현망 어업과 유자망 어업에 의한 생산이 전체 멸치 생산량의 70% 이상을 차지하고 있어 이 두 가지

어업형태가 멸치 생산의 주된 수단이 되고 있다는 사실도 재확인할 수 있었다.

본 연구에서는 지난 32년간 남해에서 생산된 멸치 생산량 변동양상을 어업별, 계절별로 세분화시켜 조사한 결과 기선권현망 어업과 유자망 어업은 모두 타 계절에 비해 특히 겨울철 생산량이 각각 1990년대 전반과 후반에 들어 뚜렷하게 증가하는 경향을 보이고 있었다. 또한 겨울철 두 어업간의 상관관계를 분석한 결과 특히 겨울철 두 어업에 의한 생산량 사이에 유의한 정의 상관성이 나타나고 있었다. 일반적으로 멸치는 치어부터 성어에 이르기까지 모든 단계의 개체들이 어획대상이 되고 있기 때문에 어업종류에 따라 멸치 어획물의 크기가 확연히 다른 특징을 나타내고 있는데 어업 특성상 기선권현망 어업에 의해 생산되는 멸치들은 주로 2~6 cm의 만 1세어 미만의 소형어 비율이 높으며 이에 반해 유자망 어업에 의해 생산되는 멸치들은 10~12 cm의 만 1세어 이상의 대형어들이 대부분을 차지하고 있어 기선권현망 어업으로 생산되는 멸치들은 대부분 신규 가입군, 유자망 어업에 의한 멸치들은 성어군에 해당하는 것으로 알려져 있다(국립수산진흥원, 1987; 박과 이, 1991; 김, 1992). 따라서 이번에 두 어업에 의한 겨울철 생산량이 모두 증가하고 있다는 것은 겨울철 성어군 증가와 겨울철 가입군 증가 사이에 서로 밀접한 관계가 있음을 시사하는 것이라 하겠다.

본 연구결과를 통해 우리나라 남부의 여러 가지 기후요소들이 겨울철 멸치 생산량 변화에 복합적으로 관계하고 있다는 것이 통계분석 결과를 통해 나타나고 있었고 특히 기선권현망 어업과 유자망 어업이 모두 호황을 보인 해의 겨울철은 불황을 보인 해에 비해 상대적으로 기온이 높고 상대습도는 낮으며 풍속이 많이 약화되는 등 뚜렷한 온난화의 특징들을 보이고 있었다. 이와 관련하여 1980년대 후반 혹은 1990년대 전반에 걸쳐 우리나라의 대부분 해역에서는 기

후의 온난화로 인해 동해에서는 주요 상업성 어종들이 꽁치, 명태 등에서 오징어로 교체되었고(Kang *et al.*, 2002; Kang and Kim, 2002), 남해에서도 이와 비슷한 시기에 정어리에서 멸치로 교체되는 현상이 두드러지게 발생하고 있다(Kim and Kang, 2000; Zhang *et al.*, 2000). 꽁치, 대구, 정어리는 모두 평균 수명이 3세어 이상으로 수명이 긴 반면에 멸치와 오징어는 평균 수명이 모두 2~3세어 미만의 수명이 짧은 생물에 속하는 어종들로서(국립수산진흥원, 1998) 따라서 우리나라 주변 해역에서 발생하고 있는 주요 수산어종들의 어종교체 현상들은 대체적으로 수명이 긴 어종에서 짧은 어종으로 바뀌는 경향이 두드러지게 나타나고 있음을 알 수 있다. 이처럼 수명이 짧아 연령구조가 단순한 어종들은 초기성장이 빨라 단기간에 어획가능체장에 도달하기 때문에 이들의 가입량 및 성어 자원량 변동은 여러 환경요인 변화에 크게 영향을 받게 된다(Kawasaki, 1993; Watanabe *et al.*, 1995). 따라서 1990년대에 들어 남해 겨울철 멸치의 생산량 증가에는 이와 비슷한 시기에 우리나라 남부의 기후체제가 온난화로 전환된 것이 크게 작용하였음을 짐작할 수 있다.

이와 같이 1990년대에 들어 우리나라 남부에서 발생한 겨울철 온난화에 따른 남해의 겨울철 수온상승이 멸치 생산량 증가에 직접적으로 어떠한 영향을 끼치고 있는지를 살펴보면 크게 생물적으로는 먹이생물의 증가 그리고 물리적으로는 서식처의 안정을 제공하였을 가능성이 크다. 우선 먹이생물의 증가와 관련하여 기존 연구들에 따르면 기후 온난화에 따른 수온상승의 영향으로 우리나라 대부분의 해역에서는 1980년대 후반 혹은 1990년대 전반부터 동물플랑크톤 현존량이 급격히 증가하고 있다(Kim and Kang, 2000; 강과 정, 2000; Kang *et al.*, 2002). Kang *et al.*(2002)은 동해에서 1980년대 후반에 들어서부터 겨울철 동물플랑크톤 현존량의 급격한 증가가 따뜻한 겨울철에 의해 유도되었음을 시사한 바 있으며 Nakata *et*

al.(2001)은 쿠로시오 해류 주변 해역에서 겨울철 요각류의 현존량과 종조성 등이 풍속, 일사량과 같은 지역적 기후요소에 영향을 받고 있음을 발견하기도 하였다. 따라서 이번 우리나라 남부의 겨울철 기후체제가 온난화 양상으로 변화함에 따라 남해의 동물플랑크톤 종조성 중에서 80% 이상으로 우점하고 있는 요각류(Ginger and Kang, 2003)의 재생산에 호조건을 제공하였을 것이며 요각류를 주 먹이원으로 이용하고 있는 멸치에게 유리한 쪽으로 작용하였으리라 사료된다.

다음으로 서식처의 안정과 관련하여 이번 남해에서의 장기간 계절별 수온 평년편차 변동을 살펴본 결과 겨울철 남해의 수온이 1990년대 전반에 들어서면서부터 평년에 비해 뚜렷하게 상승하는 경향을 보이고 있었고 특히 겨울철 멸치 어황이 호황을 보인 대부분의 해에는 평년에 비해 고수온의 수괴들이 남해 전역에 광범위하게 분포하고 있음을 알 수 있었다. 기존 우리나라 주변해역에서 멸치 어장형성에 관한 연구결과에 따르면 손 등(1984)은 지난 1962~1982년 사이 우리나라 남해와 동해에서 멸치 자망 어장의 분포현황을 계절별로 살펴본 결과 여름철이 지나면서 수온이 하강할수록 멸치 어장은 점차 남해 동부 해역의 일부 연안역으로 축소되고 특히 겨울철인 2월에 가장 심하게 축소되는 것으로 보고하고 있어 멸치 어장의 형성에는 수온의 영향이 아주 크게 작용하고 있음을 알 수 있다. 또한 멸치와 같이 수명이 짧고 전체 생활사 기간 동안 해양의 환경변화에 민감하게 반응하는 오징어인 경우는 과거에 산란이 일어나지 않았던 대마해협과 고토섬 부근 해역에서 1981~1991년 사이에 해수가 온난화로 전환되면서부터 산란이 발생하기 시작하여 가을철 오징어 전기자어의 풍도가 증가하였고(Kiyofuji *et al.*,1998) 또한 해역내 온난화 체제로의 전환이 오징어의 산란장 확대에 이어져 오징어 자원증가에 중요한 요소로 작용하고 있었다(Sakurai *et al.*,

2000). 그리고 錢谷·木村(1997)은 쿠로시오 흐름변동에 따른 수온변동과 관련하여 멸치의 자원량이 고수준을 보이는 시기에는 저수준 시기보다 상대적으로 산란장이 확대되었고 2~3월의 산란량도 증가하였다고 보고한 바 있다. 따라서 1990년대 전반부터 남해 전역에 걸친 겨울철 수온의 상승은 기존 겨울철에 축소되는 멸치들의 이동 범위를 점차 확장시키는 효과를 가져왔으리라 판단된다.

지금까지 ENSO 현상과 같은 지구규모적 기후요소들에 의해 지구 전체의 기후가 큰 영향을 받고 이로 인해 해양 생태계가 변화하고 있다는 것이 여러 연구들을 통해 밝혀지고 있지만 아직까지 이들 사이에 나타나는 역학적 관계에 대해 구체적으로 밝혀지지 않고 있는 실정이다(Trenberth and Paolino, 1981; Stone *et al.*, 1996; Limakul *et al.*, 2001; Minobe, 2002). 본 연구에서는 주로 ENSO의 지표로 이용되는 남방진동지수(SOI)와 열대 동부태평양에 위치하는 엘니뇨 감시해역(NINO 3)의 표층 수온편차 연변동 상황을 조사한 결과 특히 1972년, 1982년, 1983년, 1987년, 1997년에 강력한 엘니뇨가 발생하고 있음을 알 수 있었다. 이러한 엘니뇨 발생시기와 관련하여 남해의 수온편차 연변동을 살펴본 결과 둘 사이의 뚜렷한 연관성은 발견되지 않고 있었다. 이와 관련하여 남해는 대체적으로 수심이 낮은 해역에 속하므로 남해의 수온변동은 엘니뇨와 같은 지구 규모적인 기상현상에 직접적으로 영향을 받기보다는 오히려 우리나라 남부의 기온변화에 더 많은 영향을 받고 있는 것이라 사료된다. 그런데 이번 연구에서 계절별 상관분석을 실시한 결과 여름철 SOI와 멸치 생산량 사이에 어떠한 형태로든 상관성이 나타나고 있었으며 더군다나 강력한 엘니뇨가 발생했던 년도와 그 다음 년도에는 남해의 멸치 생산량이 대부분 저조하였다가 그 다음 년도에 다시 회복되는 특징적인 경향을 보였다. 그러나 이러한 경향도 ENSO 현상이 남해의 멸치 자원량 변동에 직접적으로 영향을 주고 있는 것

으로 보기는 어려우며 ENSO와 같은 지구규모적 기후요소와 우리나라의 기후체계 사이에 어떠한 teleconnection이 존재하고 있고 이로 인해 멸치를 포함하여 남해의 전체 생태계가 어느 정도의 기간을 두면서 반응하고 있다는 것을 암시하는 것이라 여겨진다. 앞으로 ENSO 현상을 비롯하여 북태평양 고기압 시스템 또는 알류산 저기압 시스템의 변화와 같이 우리나라의 기후체계에 직접적으로 영향을 끼칠 수 있는 지구규모적 기후요소들과 우리나라의 기후 사이의 역학적 관계를 더욱 명확히 밝혀 나가야 할 것이며 이를 통해 생태계내 저차생물들을 포함하여 이를 이용하는 어류자원에 이르기까지 우리나라 연근해의 생태계가 이에 대해 어떻게 반응하고 있는지를 장기간의 축적된 해양 자료를 통해 파악하는 것이 앞으로 우리나라 수산자원의 변동을 예측하고 체계적으로 관리하는데 있어 필수 불가결한 사항이 될 것이다.

15. 우리나라 남부의 온난화 현상과 겨울철 멸치 생산량 증가



본 연구에서 지난 1971~2002년 사이의 32년간 장기간 자료들을 통하여 우리나라 남부의 기상상황 및 남해의 해황 그리고 남해에서의 멸치 생산량이 과거부터 현재에 이르기까지 어떠한 양상으로 변화하고 있는지를 연도별, 계절별로 상세히 조사한 결과 특히 타 계절에 비해 겨울철에 다음과 같은 두드러진 특징들이 나타나고 있었다.

첫째, 1990년대 전반에 들어서부터 겨울철 기온이 평년과 비교하여 0.7℃로 가장 높았고 또한 풍속과 상대습도도 겨울철이 타 계절에

비해 평년 보다 가장 낮은 값을 보이는 등 이 시기부터 뚜렷하게 우리나라 남부의 겨울철 기후체제가 온난화 양상으로 전환되고 있었다.

둘째, 1990년대 전반에 들어서부터 겨울철 평균 수온이 평년과 비교하여 0.9℃로 가장 높게 나타나는 등 이 시기부터 최근에 이르기 까지 겨울철 남해의 수온상승 현상이 지속적으로 나타나고 있었다.

셋째, 기선권현망 어업과 유자망 어업에 의한 계절별 멸치 생산량 중에서 두 어업 모두 타 계절에 비해 겨울철 생산량이 각각 1990년대 전반과 후반에 들어 뚜렷하게 증가하고 있는 경향을 보여주었다.

이와 같이 1990년대에 들어서면서부터 특히 겨울철에 공통적으로 우리나라 남부의 기후체제 및 남해의 해황이 급격히 온난화 양상으로 전환되고 있었으며 이에 따라 남해의 겨울철 멸치 생산량도 증가하는 특징을 보이고 있었다. 이러한 특징적인 현상은 결국 겨울철 남부의 기후체제와 남해의 해황 사이에 밀접한 관계가 있음을 보여주는 것이라 할 수 있으며 기후체제 변화에 따른 겨울철 남해의 수온상승이 멸치 생산량 증가에 유효하게 작용하고 있음을 짐작할 수 있다. 이와 관련하여 1세어 이상의 큰 크기의 멸치들이 주로 어획되는 유자망 어업 생산량의 증가에 있어서는 우선 겨울철 수온의 상승으로 인해 해역내 기초생산력의 증가가 예상되며 나아가 멸치의 주 먹이원이 되는 요각류의 재생산에 호조건으로 작용할 가능성이 크다. 따라서 1990년대부터 우리나라 남부에서 발생하고 있는 뚜렷한 온난화 양상은 결과적으로 남해에서 멸치들이 서식하는데 있어서 유리한 생물적 환경을 제공하는 계기가 되었을 것이다. 또한 겨울철 수온상승은 온수성 어종인 멸치들의 이동범위를 확장시킴으로써 멸치 어장의 확대로 이어지는 등 유리한 물리적 환경도 조성되었을 것이라 판단되며 이러한 환경의 변화들로 인해 겨울철 유자망 어업에 의한 멸치 생산량이 1990년대에 들어서부터 크게 증가하고

있는 것이라 사료된다.

이와 더불어 1세어 미만의 작은 크기의 멸치들이 주로 어획되는 기선권현망 어업에 의한 겨울철 생산량 증가에 있어서는 우선 1990년대에 들어 남해에서의 겨울철 수온상승은 멸치 성어들의 산란장 확대 및 이전해 가을철이나 당해 겨울철에 부화한 멸치 초기 개체들에게 있어 성육장의 범위가 더 확대되는 효과가 발생하였을 것이다. 또한 평년에 비해 높게 형성된 수온은 멸치 자치어들의 성장을 촉진시키는데 유효하게 작용함으로써 결국 겨울철 수온상승은 남해에서 멸치 초기 개체들의 서식환경이 점차 생존 및 서식에 유리한 쪽으로 바뀌는 계기가 되었으리라 판단된다. 이러한 서식환경의 변화는 해역내에서 멸치 초기 개체들의 자연사망률의 감소로 이어지고 나아가 신규 가입군으로의 가입량이 증가하는 결과를 낳았을 것이며 따라서 이와 같은 환경의 변화들로 인해 겨울철 기선권현망 어업에 의한 멸치 생산량도 증가하였던 것으로 보여진다.

결론적으로 1990년대에 들어서부터 특히 겨울철에 우리나라 남부에서 발생한 온난화 양상으로의 기후체제 전환은 수온상승과 같은 물리적 환경과 먹이생물 증가와 같은 생물적 환경의 변화로 이어졌고 이러한 해양내 서식환경의 변화는 궁극적으로 모든 크기의 멸치 개체군 증가에 유리한 쪽으로 작용하였으리라 판단된다(Fig.64).

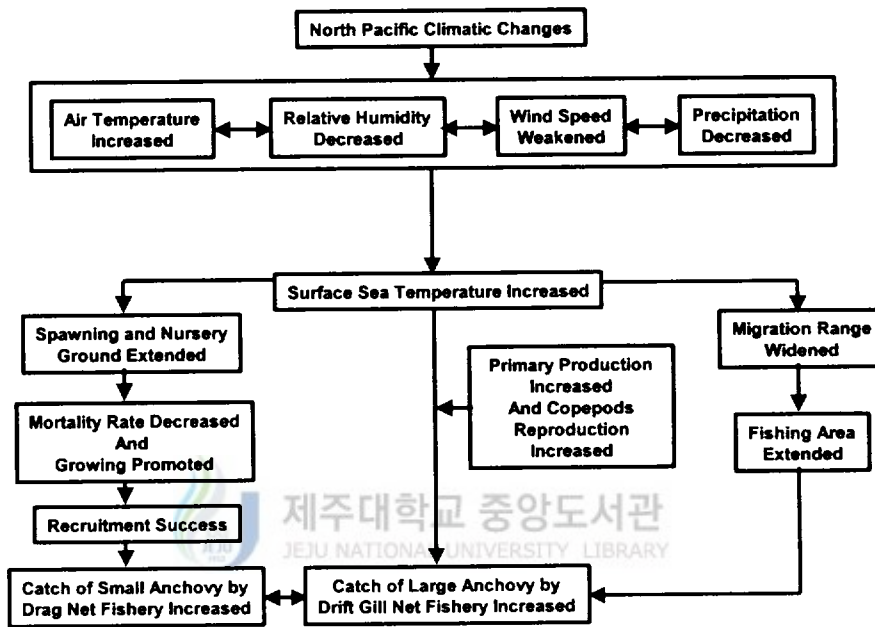


Fig.64. Schematic diagram showing the effects of the early 1990s climatic changes on Pacific anchovy population in South Sea of Korea during winter.

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, Fish. Res., 49 : 155~164.
- Arthur, D.K. 1976. Food and feeding of larvae of three fishes occurring in the California Current, *Sardinops sagax*, *Engraulis mordax*, and *Trachurus symmetricus*. Fish. Bull. U.S., 74(3) : 517~530.
- Asahina, K. and I. Hanyu. 1983. Role of temperature and photoperiod in annual reproductive cycle of the rose bitterling *Rhodeus ocellatus ocellatus*. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., 52(6) : 965~969.
- Barnett, A., A. E. Jahn, P. D. Sertic and W. Watson. 1984. Distribution of ichthyoplankton off San Onofre, California and methods for sampling very shallow coastal waters. Fish. Bull., 82(1) : 97~111.
- Bakun, A. and R. Parrish. 1991. Comparative studies of coastal pelagic fish reproductive habitats: the anchovy (*Engraulis anchoita*) of the southeastern Atlantic. ICES J. Mar. Sci., 48 : 343~361.

- Batty, R. S. 1984. Development of swimming movements and musculature of larval herring (*Clupea harengus*). J. Exp. Biol., 110 : 217~229.
- Blaxter, J. H. S. and J. R. Hunter. 1982. The Biology of Clupeoid Fishes. In: J. D. H. Blaxter, S. F. S. Russell and S. M. Yonge (ed.), Advanced in Marine Biology. Academic Press, London, Vol. 20, pp. 1~223.
- Bone, Q. 1978. Locomotor muscle. In: W. S. Hoar and D. J. Randall (ed.), Fish Physiology. Academic Press, London, pp. 361~424.
- Brodeur, R. D. and D. M. Ware. 1992. Interannual and interdecadal changes in zooplankton biomass in the subarctic Pacific Ocean, Fish. Oceanogr., 1 : 32~38.
- Brodeur, R. D., C. E. Mills, J. E. Overland, G. E. Walters and J. D. Schumacher. 1999. Evidence for a substantial increase in gelatinous zooplankton in the Bering Sea, with possible links to climate change. Fish. Oceanogr., 8 : 296~306.
- Cha, S. S. and S. H. Huh. 1988. Variation in abundances of ichthyoplankton in the Nakdong River Estuary, Bull. Kor. Soc. Fish. Tech., 24(4) : 135~143. (in Korean)

- Cha, S. S. and K. J. Park. 1994. Distribution of the ichthyoplankton in Kwangyang Bay, Kor. J. Ichthy., 6(1) : 60~70. (in Korean)
- Chipps, S. R. and D. H. Bannett. 1996. Comparison of net mesh sizes for estimating abundance of the opossum shrimp *Mysis relicta* from vertical hauls. N. Am. J. Fish. Manage., 16 : 689~692.
- Choa, J. H. and J. B. Lee. 2000. Bioecological characteristics of coral habitats around Moonsom, Cheju Island, Korea I, Environment properties and community structures of phytoplankton, *The Sea*, J. Kor. Soc. Oceanogr., 5(1) : 59~69. (in Korean)
- Choi, Y. 2002. Trends in daily precipitation events and their extremes in the southern region of Korea, Korea Soc. Environmental Impact Assessment, 11 : 189~203.
- Choi, Y., K. Y. Nam, H. S. Jung and W. T. Kwon. 2003. Estimating and correcting urban bias in surface temperature time series of Korea. Inter. J. Climato., 23 : 577~591.
- FAO, 2000. FAO Yearbook of Fishery statistics, 91, 189~191.
- Funakoshi, S. 1984. Food and survival of the early postlarvae of

the Japanese anchovy, *Engraulis japonica* (Houttuyn)-
Distribution of anchovy larvae as related to occurrence of
the maximum layers of chlorophyll-a concentration and
copepod nauplius densities. Bull. Jap. Soc. Fish. Oceanogr.,
45 : 21 ~ 30.

Funakoshi, S. 1992. Relationship between stock levels and the
population structure of the Japanese anchovy. Mar. Behav.
Phys., 21 : 1 ~ 84.

Ginger A. R. and Y. S. Kang. 2003. A comparison of three
marine ecosystems surrounding the Korean peninsula:
Responses to climate change. Pro. Oceanogr., 59 : 357 ~ 379.

Gong, Y. and C. I. Zhang. 1999. Effect of ocean climate changes
on the Korean stock of Pacific saury, *Cololabis
saira*(BREVOORT). In T. Sugimoto, S. Kim, C. I. Zhang,
H. Nakada and S. H. Huh, Proceedings of Korean-Japan
GLOBEC Symposium "Long-term variations in the
northwestern Pacific ecosystems", August 23-25, 2000,
Pusan, Korea.

Gosline, W. A. 1971. Functional morphology and classification of
teleostean fishes. Univ. Press Hawaii, Honolulu, ix + 208 pp.

Goto, T. and M. Hirai (1999): Horizontal distribution of Clupeoid
eggs in relation to the distribution of water masses in the

- vicinity of Noto Peninsula in the Japan Sea, May 1989-1993. Bull. Jap. Sea Natl. Fish. Res. Inst., 49 : 81~96.
- Go, Y. B., B. C. Oh and Y. C. Choi. 1996. Bioecological studies in the upwelling area of Cheju Island, J. Kor. Fish. Soc., 29(3) : 271~278. (in Korean)
- Graham, N. E. 1995. Simulation of recent global temperature trend. Sci., 267 : 666~671.
- Greer-Walker, M. and G. A. Pull. 1975. A survey of red and white muscle in marine fish. J. Fish Biol., 7 : 295~300.
- Greer-Walker, M., J. Horwood and L. Emerson. 1980. On the morphology and function of red and white skeletal muscle in the anchovies *Engraulis encrasicolus* L. and *E. mordax* Girard. J. Mar. Biol. Ass. U. K., 60 : 31~37.
- Han, K. H., D. Y. Kim, D. S. Jin, S. S. Shin, S. R. Baik and S. H. Oh. 2001. Seasonal variation and species composition of ichthyoplankton in Suncheon Bay, Korea, Kor. J. Ichthy., 13(2) : 136~142. (in Korean)
- Han, K. H., Y. H. Shin and D. S. Hwang. 2002. Seasonal variations in species composition of ichthyoplankton off Kohung Peninsula, Korea, Kor. J. Ichthy., 14(1) : 45~52.

(in Korean)

- Hahn, S. D. 1994. SST warming of Korea coastal waters during 1881-1990. KODC Newsletter, 24 : 29~38.
- Hare, S. R. and N. J. Mantua. 2000. Empirical evidence for North Pacific regime shifts in 1977 and 1989. *Pro. Oceanogr.*, 47 : 103~146.
- Hayashi, S. 1966. A note on the biology and fishery of the japanese anchovy *Engraulis japonica*(Houttuyn). *CalCOFI Rep.*, 11 : 44~57.
- Hayashi, S. and K. Kondo. 1957. Growth of Japanese anchovy-IV. Age determination with the use of scales. *Bull. Tokai Reg. Fish. Res. Lab.*, 17 : 31~64.
- Hirakawa, K., T. Goto and M. Hirai. 1997. Diet composition and prey size of larval anchovy, *Engraulis japonicus*, in Toyama bay, Southern Japan Sea. *Bull. Japan Sea Natl. Fish. Res. Inst.*, 47 : 67~78.
- Hong, C. H., K. D. Cho and H. J. Kim. 2001. The relationship between ENSO events and sea surface temperature in the East(Japan) Sea. *Pro. Oceanogr.*, 49 : 21~40.
- Hunter, J. R. 1972. Swimming and feeding behaviour of larval

anchovy, *Engraulis mordax*. Fish. Bull. U. S., 70 : 821~838.

Ida, H. 1972. Some ecological aspects of larval fishes in waters off central Japan. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., 38(9) : 981~994.

Iles, T. D. and M. Sinclair. 1982. Atlantic herring: stock discreteness and abundance. Sci., 215 : 627~633.

Iseki, K. and Y. Kiyomoto. 1997. Distribution and settling of Japanese anchovy (*Engraulis japonicus*) eggs at the spawning ground off Changjiang River in the East China Sea. Fish. Oceanogr., 6 : 205~210.

Johnson, R. A. and D. W. Wichern (1988): Applied multivariate statistical analysis, Prentice Hall, London, 594pp.

Johnston, I.A. 1981. Structure and function of fish muscles. In: M.H. Day (ed.), Vertebrate Locomotion. Academic Press, London, pp. 71~113.

Kang, Y. S. and K. A. Jeon. 1999. Biological and chemical characteristics and trophodynamics in the frontal zone in the Southern Waters of Korea. J. Kor. Fish. Soc., 32(1) : 22~29. (in Korean)

- Kang, Y. S., J. Y. Kim, H. G. Kim and J. H. Park. 2002. Long-term changes in zooplankton and its relationship with squid, *Todarodes pacificus*, catch in Japan/East Sea. Fish. Oceanogr., 11 : 337~346.
- Kang, Y. S., S. A. Kim and S. W. Bae. 2000. Changes in ecosystem components induced by climate variability off the eastern coast of the Korean Peninsula during 1960-1990. Pro. Oceanogr., 47 : 205~222.
- Kang, Y. S., J. S. Park, S. S. Lee, H. G. Kim, and P. Y. Lee. 1996. Zooplankton community and distributions of copepods in relation to eutrophic evaluation in Chinhae Bay, J. Kor. Fish. Soc., 29(4) : 415~430. (in Korean)
- Kang, Y. Q. 2000. Warming trend of coastal waters of Korea during Recent 60 Years(1936~1995). J. Fish. Sci. Tech., 3 : 173~179.
- Kang, Y. S. and S. A. Kim. 2002. Zooplankton in the Korean waters. In D. Lee (Ed), Ecology of Korea. Seoul: Bumwoo Publishing Co., pp.331~343.
- 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. Jap. Soc. Fish.

- Oceanogr., 54 : 364~372.
- Kawasaki, T. 1993. Recovery and collapse of the far eastern sardine. Fish. Oceanogr., 2 : 244~253.
- Kim, J. Y. and N. C. H. Lo. 2001. Temporal variation of seasonality of egg production and the spawning biomass of Pacific anchovy, *Engraulis japonicus*, in the southern waters of Korea in 1983-1994. Fish. Oceanogr., 10(3) : 297~310.
- Kim, J. Y. 1992. Relationship between anchovy, *Engraulis japonica*, egg and larval density and environmental factors in the eastern waters of Korea. Bull. Kor. Fish. Soc., 25(6) : 495~500.
- Kim, J. Y. 2003. Changes in the anchovy population habitat from a global warming. In : The First Symposium On Climate Change, Oceanography and Fisheries, Nat. Fish. Res. & Dev. Ins., Busan, 37pp.
- Kim K. and S. H. Lee, 1991. Vertical homogeneous water along the west coast of Jeju Island. J. Kor. Soc. Oceanogr., 17 : 59~68.
- Kim, S. A. and S. Y. Kang. 2000. Ecological variation and El Niño effects off the southern coast of the Korean Peninsula

during the last three decades. Fish. Oceanogr., 9 : 239~247.

Kim, S. A. 2003. Changes in climate and marine ecosystems in Korea. In H. D. Jeong and Y. Sakurai, Proceedings of "The first symposium on climate changes, oceanography and fisheries"(pp. 28~31), December 18~19, 2003, NFRDI, Busan, Korea.

Kiyofuji, H., S. Saitoh and Y. Sakurai. 1998. A visualization of the variability of spawning ground distribution of Japanese common squid (*Todarodes pacificus*) using marine-GIS and satellite data sets. In: Proceedings of international symposium real-time imaging and dynamics analysis, International Society of Photogrammetry and Remote Sensing Commission V. pp.882~887.

Kwon, W. T., Y. Choi, J. H. Oh and H. J. Baek. 2003. Understanding of regional climate change in Korea. In : The first symposium on climate change, oceanography and fisheries, Nat. Fish. Res. & Dev. Ins., Busan, pp.17~20.

Lasker, R. 1975. Field criteria for survival of anchovy larvae: the relation between inshore chlorophyll maximum layers and successful first feeding. Fish. Bull. U. S., 73 : 453~462.

Lasker, R. 1981. Factors contributing to variable recruitments of

the northern anchovy (*Engraulis mordax*) in the California current. Contrasting years, 1975 through 1978. Rapp. P.-v. Reun. Cons. int. Explor. Mer, 178 : 375~388.

Lee, C. R., P. G. Lee and C. Park. 1999. Seasonal and vertical distribution of planktonic copepods in the Korea Strait, J. Kor. Fish. Soc., 32(4) : 525~533. (in Korean)

Lee, E. K., J. M. Yoo, S. Kim and Y. C. Lee. 1996. Vertical distribution of anchovy, *Engraulis japonicus* larvae in the Korea Strait, Kor. J. Ichth., 8(2) : 47~56. (in Korean)

Lee, J. B. and J. H. Choa. 1990. The dynamics of phytoplankton communities at Hanrim and Songsan harbor of Cheju Island, Korea, Bull. Mar. Res. Inst. Cheju Nat., Univ., 14 : 9~24. (in Korean)

Lee, J. B., J. H. Choa, Y. B. Go and Y. C. Choi. 1993. Bioecological studies of the Eastern Coastal Area in Cheju Island (II). Phytoplankton dynamics and primary productivity around U-do, J. Kor. Ear. Sci. Soc., 14(4) : 458~466. (in Korean)

Lee, J. B. and B. Shin. 2000. Seasonal variation of phytoplankton around Jeju Harbor, Bull. Mar. Res. Inst. Cheju Nat. Univ., 24 : 79~85. (in Korean)

- Lee, M. A., K. T. Lee and H. C. Ou (1990): The larval anchovy fishing ground formation in relation to osmotic pressure changes of the coastal waters along southern Taiwan. J. Fish. Soc. Taiwan, 17 : 233~245.
- Lenarz, W. H. 1972. Mesh retention of larvae of *Sardinops caerulea* and *Engraulis mordax* by plankton nets. Fish. Bull. U. S., 70(3) : 839~848.
- Limsakul, A., T. Saino, T. Midorikawa and J. I. Goes. 2001. Temporal variations in lower trophic level biological environments in the northwestern North Pacific Subtropical Gyre from 1950 to 1997. Pro. Oceanogr., 49 : 129~149.
- Lluch-Belda, D., D. B. Lluch-Cota., S. Hernandez-Vazquez, C. Salinas-Zavala, and R. A. Schwartzlos. 1991. Sardine and anchovy spawning as related to temperature and upwelling in the California Current System. CalCOFI Rep., 32 : 105~111.
- McFarlane, G. A., J. R. King and R. J. Beamish. 2000. Have there been recent change in climate? Ask the fish. Pro. Oceanogr., 47 : 147~169.
- Matsuoka, M. 1984. Morphometry of the myotomal muscle fibers in larvae and juveniles of the red sea bream. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., 50(11) : 1811~1816.

- Matsuoka, M. and T. Iwai. 1984. Development of the myotomal musculature in the red sea bream. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., 50(1) : 29~35.
- Minobe, S. 2002. Interannual to interdecadal changes of water temperature, sea-level displacement, and sea-ice distribution in the Bering Sea and associated atmospheric circulation changes. Pro. Oceanogr., 55 : 45~64.
- Mio, S. and K. Tsujino (1995): Effects of hydrographic condition on fishing condition of sardine and anchovy in the Osaka Bay. Bull. Jap. Soc. Fish. Oceanogr., 59 : 115~122.
- Mitani, I. (1990): Biological studies on the larvae of Japanese anchovy, *Engraulis japonica* Houttuyn, in Sagami Bay. Ph. D. Thesis, University of Hokkaido, 213pp.
- Montevecchi, W. A. and R. A. Myers. 1997. Centurial and decadal oceanographic influences on changes in northern gannet populations and diets in the north-west Atlantic: Implications for climate change. ICES J. Mar. Sci., 54 : 608~614.
- Muck, P., B. Rojas de Mendiola and E. Antonietti. 1989. Comparative studies on feeding in larval anchoveta (*Engraulis ringens*) and sardine (*Sardinops sagax*), pp.86~

96. In The Peruvian upwelling ecosystem: Dynamics and interactions. eds., D. Pauly, P. Muck, J. Mendo, and I. Tsukayama. ICLARM.

Murphy, E. J., A. Clarke, C. Symon and J. Priddle. 1995. Temporal variation in Antarctic sea-ice : analysis of a long term fast-ice record from the South Orkney Islands. *Dee. Sea Res.*, I, 42 : 1045~1062.

Nakabo, T. 1993. Fishes of Japan with pictorial keys to the species. Tokai Univ. Press, Tokyo, 1474pp.

Nagata, H., K. Kitani and K. Watanabe. 1986. Environmental features in the coastal water off the San-in district, especially with reference to the spawning ground of the Japanese sardine, *Sardinops melanostictus* in April, 1984. *Bull. Jap. Soc. Fish. Oceanogr.*, 50 : 298~303.

Nakata, H., S. Kimura, Y. Okazaki and A. Kasai. 2000. Implications of meso-scale eddies caused by frontal disturbances of the Kuroshio current for anchovy recruitment. *ICES J. Mar. Sci.*, 57 : 143~152.

Nakata, K., S. Koyama and Y. Matsukawa. 2001. Interannual variation in spring biomass and gut content composition of copepods in the Kuroshio current, 1971-89. *Fish. Oceanogr.*, 10 : 329~341.

- Nojima, M. and Y. Nakamura. 1988. Biological study on the shirasu in the adjacent waters to Satsunan sea region. Bull. Jap. Soc. Fish. Oceanogr., 52 : 248-252.
- Ochiai, A. and M. Tanaka. 1986. Ichthyology(Ⅱ). Koseisha, Tokyo. 1140pp.
- O'Connell, C. P. 1972. The interrelation of biting and filtering in the feeding activity of the northern anchovy (*Engraulis mordax*). J. Fish. Res. Bd. Canada, 29 : 285~293.
- O'Connell, C. P. 1981. Development of organ systems in the northern anchovy, *Engraulis mordax*, and other teleosts. Amer. Zool., 21 : 429~446.
- Odate, S. 1957. Studies on the larval fish of the Japanese anchovy, *Engraulis japonica*, in the northeastern sea area of Japan. Bull. Tohoku Reg. Fish. Res. Lab., 9 : 111~128.
- Oh, H. J., Y. S. Kang and J. H. Park. 1999. Distributional characteristics of chlorophyll-a and oceanographic conditions in the Northern Part of East China Sea, J. Kor. Fish. Soc., 32(1) : 88~97. (in Korean)
- Pang, I. C. and K. H. Hyun. 1998. Seasonal variation of water mass distributions in the Eastern Yellow Sea and the

Yellow Sea Warm Current. J. Kor. Soc. Oceanogr., 33 :
41~52.

Pang, I. C., H. K. Rho and T. H. Kim. 1992. Seasonal variations of water mass distribution and their causes in the Yellow Sea, the East China Sea and the adjacent seas of Cheju Island. Bull. Kor. Fish. Soc., 25(2) : 151~163.

Park, J. S. 1970. The Chaetognaths of Korean Waters, Bull. Fish. Res. & Dev. Age., 6 : 1~174. (in Korean)

Park, W. S. and I. S. Oh. 2000. Interannual and interdecadal variations of sea surface temperature in the east Asian marginal seas. Pro. Oceanogr., 47 : 191~204.

Park Y. H. 1985. Some important summer oceanographic phenomena in the East China Sea. J. Kor. Soc. Oceanogr., 20 : 12~21.

Parsons, T. R., Y. Maita and C. M. Lalli. 1984. A manual of chemical and biological methods for seawater analysis. Pergamon Press, Oxford, 173pp.

Pershing, A. J., C. H. Greene, C. Hannah, D. Sameoto, E. Head, D. G. Mountain, J. W. Jossi, M. C. Benifield, P. C. Reid and T. G. Durbin. 2001. Oceanographic responses to climate in the northwest Atlantic. Oceanogr., 14 : 76~82.

- Peterman, I. and M. J. Bradford. 1987. Wind speed and mortality rate of a marine fish, the northern anchovy, *Engraulis mordax*. *Sci.*, 235 : 354~356.
- Pingree, R. D., G. R. Foster and G. K. Morrison. 1974. Turbulent convergent tidal fronts. *J. Mar., Biol., Ass. U. K.*, 54 : 469~479.
- Planque, B. and A. H. Taylor. 1998. Long-term changes in zooplankton and the climate of the North Atlantic. *ICES J. Mar. Sci.*, 55 : 644~654.
- Polovina, J. J., G. T. Mitchum and G. T. Evans. 1995. Decadal and basin-scale variation in mixed layer depth and the impact on biological production in the Central and North Pacific, 1960-88. *Dec. Sea Res.*, 42 : 1701~1716.
- Proctor, C., P. R. L. Mosse and R. C. L. Hudson. 1980. A histochemical and ultrastructural study of the development of the propulsive musculature of the brown trout, *Salmo trutta* L., in relation to its swimming behaviour. *J. Fish Biol.*, 16 : 309~329.
- Razani, H., and I. Hanyu. 1986. Annual reproductive cycle of 2-3 years old female goldfish and its artificial modification by manipulations of water temperature and photoperiod. *Bull.*

Jap. Soc. Sci. Fish., 52(6) : 965~969.

Reid, P. C., M. Edwards, H. G. Hunt and A. J. Warner. 1998. Phytoplankton change in the North Atlantic. Nat. (London), 391 : 546~564.

Ri, J. W. 1986. For the condition of seawater temperature determining the fishing ground of walleye pollock in the North Korean waters. Collection of Fish. Sci. Tech., 1 : 17~24.

Sakurai, Y., H. Kiyofuji, S. Saitoh, T. Goto and Y. Hiyama. 2000. Changes in inferred spawning waters of *Todarodes pacificus* (Cephalopoda: Ommastrephidae) due to changing environmental conditions. ICES J. Mar Sci., 57 : 24~30.

Smith, P. E. 1980. Sampling to determine anchovy larval mortality in the sea. In: R. Lasker (ed.), Marine Fish Larvae. Univ. Washington Press, U.S., pp.12~21.

Smith, P. E. and R. Lasker. 1978. Position of larval fish in an ecosystem. Rapp. P. -V. Reun. Cons. Int. Explor. Mer., 173 : 77~84.

Stephen, T. and Jr. Kucas. 1988. Species profiles : Life histories and environmental requirements of coastal fishes and invertebrates (Pacific Southwest)-Northern anchovy. Bio.

Rep., 82, 21pp.

Stone, R. C., G. L. Hammer and T. Marcussen. 1996. Prediction of global rainfall probabilities using phases of the Southern Oscillation Index. *Nat.*, 384 : 252~255.

Strickland, J. D. H and T. R. Parsons. 1972. A practical handbook of sea water analysis, 2nd ed. *Bull. Fish. Res. Boa. Can.*, 167, 310pp.

Sugimoto, T. and K. Tadokoro. 1997. Interannual-interdecadal variations in zooplankton biomass, chlorophyll concentration and physical environment in the subarctic Pacific and Bering Sea. *Fish. Oceanogr.*, 6(2) : 74~93.

Theilacker, G. H. and K. Dorsey. 1980. Larval fish diversity. In "Workshop on the effects of environmental variation on the survival of larval pelagic fishes". *IOC Workshop Rep.*, 28 : 105~142.

Trenberth, K. E. and E. A. Paolino. 1981. Characteristic patterns of variability of sea level pressure in the Northern Hemisphere. *Monthly Weather Review*, 109 : 1169~1189.

Tsuji, S. and T. Aoyama. 1984. Daily growth increments in otoliths of Japanese anchovy larvae *Engraulis japonica*. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 50(7) : 1105~1108.

- Uehara, S. 1962. Fishery Oceanography around Enshu Nada off the Central Pacific Coast of Honshu-I. Oceanographic condition for skipjack and *Shirasu* fisheries. Bull. Tokai Reg. Fish. Res. Lab., 34 : 55~66.
- Uotani, I., T. Mizushima, M. Aoki and S. Hayasi. 1996. Feeding habits of anchovy larvae in the planktonic period. Bull. Inst. Oceanic Res. & Develop., Tokai Univ., 17 : 1~11.
- Watanabe, Y., H. Zeromu and R. Kimura. 1995. Population decline of the Japanese sardine, *Sardinops melanostictus*, owing to recruitment failures. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 52 : 1609~1616.
- Webb, P. W. and R. T. Corolla. 1981. Burst swimming performance of northern anchovy, *Engraulis mordax*, larvae. Fish. Bull. U. S., 79(1) : 143~150.
- Weinstein, M. P., S. L. Weiss, R. G. Hodson and L. R. Gerry. 1980. Retention of three taxa of postlarval fishes in an intensively flushed tidal estuary, Cape Fear River, North Carolina. Fish. Bull., 78(2) : 419~436.
- White, W. B. and R. G. Peterson. 1996. An antarctic circumpolar wave in surface pressure, wind, temperature and sea-ice extent, Nat., 380 : 699~702.

- Yoo, J. M., E. K. Lee and S. Kim. 1999. Distribution of ichthyoplankton in the adjacent waters of Yousu, J. Kor. Fish. Soc., 3 : 295~302. (in Korean)
- Zhang, C. I., J. B. Lee, S. A. Kim and J. H. Oh. 2000. Climatic regime shifts and their impacts on marine ecosystem and fisheries resources in Korean waters. Pro. Oceanogr., 47 : 171~190.
- 岡田行親・和田時夫. 2000. カタクチイワシ本州太平洋系群の再生産関係. 日水誌, 66(1) : 80~87.
- 高尾龜次・岸田達・上田和夫. 1983. 飼育実験によるカタクチイワシの雌1尾当り年間産卵数の推定. 南西水研研報, 15 : 1~11.
- 高尾龜次. 1987. 飼育実験によるカタクチイワシの産卵生態. 水産海洋研究會報, 51(1) : 59~61.
- 今井千文. 1987. マイワシ再生産の諸過程と資源の動向 - 6. 初期減耗變動に關わる諸要因-カタクチイワシの飼育実験例から. 水産海洋研究會報, 51(1) : 55~58.
- 今井千文・楫取和明. 2000. 山口縣日本海におけるカタクチイワシの1回当たり産卵数の變動. 水産大學校研究業績, 48(4) : 289~291.
- 近藤惠一. 1971. カタクチイワシの生態と資源. 水産研究業書, 20 :

1~57.

近藤恵一. 1969. カタクチイワシの資源學的研究. 東海水研報, 60 :
29~81.

盧洪吉. 1985. 濟州道周邊海域の漁場海洋環境に関する研究. 東京大學
博士學位論文, 215pp.

大森信・池田勉. 1976. 動物プランクトン生態研究法. 生態學研究法講
座 5, 共立出版, 229pp.

畔田正格. 1981. 初期減耗研究のについて-カタクチイワシの初期生態
の研究から-. 漁業資源研究會議報, 22 : 7~28.

福原修. 1984. マダイ仔稚魚期の器官形成と生態の關係. 海洋と生物
32, 6(3) : 184~190.

福原修・岸田達. 1980. マダイ仔稚魚期における二, 三の行動. 南西水
研報, 12 : 9~20.

福田雅明. 1990. ニシン仔稚魚の体側筋の發達と遊泳速度の變化. 日本
誌, 56(1) : 11~17.

富永敦. 1996. 第11回 水産海洋地域研究集會, 3.鹿島灘に來遊するカ
タクチシラスの耳石日周輪. 水産海洋研究, 60(4) : 418~419.

浜田尚雄. 1965. マントヤムシ *Sagitta crassa* Tokioka とイカナゴ親魚

- および稚仔の食餌関係(豫報). 兵庫水試報, 別冊 No.3 : 1~6.
- 三谷勇. 2001. カタクチイワシ資源の今を考える. カタクチイワシの成長履歴. 日水誌, 67(6) : 1131~1132.
- 三谷勇. 1987. マイワシ再生産の諸過程と資源の動向 - 4. シラス漁場内における魚群及び餌料生物の分布と環境対応. 水産海洋研究會報, 51(1) : 46~51.
- 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, 52(4) : 297~303.
- 三原行雄. 2000. 道東太平洋およびその周邊海域におけるカタクチイワシの成熟. 水産海洋研究, 64(1) : 10~17.
- 桑原昭彦・鈴木 中喜. 1984. 若狭灣西部海域におけるカタクチイワシ卵・稚仔魚の鉛直分布の晝夜變化. 日水誌, 50 : 1258~1292.
- 森慶一郎. 1981. 魚類プランクトンの定量的採集方法. 漁業資源研究會議報, 22 : 29~52.
- 上眞一. 1995. 沿岸フロントと動物プランクトン. 沿岸海洋研究, 33(1) : 39~48.
- 上眞一・柳哲雄. 1995. シンポジウム「沿岸フロントと生物生産」のまとめ. 沿岸海洋研究, 33(1) : 1~2.

- 船本銑一郎・青木 一郎. 1999. 本州東方沖合域におけるカタクチイワシの産卵生態. 月刊 海洋, 31(4) : 222~226.
- 船本銑一郎. 2001. カタクチイワシ資源の今を考える. カタクチイワシの成熟・産卵. 日水誌, 67(6) : 1129~1130.
- 船越茂雄. 1984. カタクチイワシの初期餌料環境と生残りⅡ. クロロフィル-aおよび橈脚類ノープリウス幼生の極大層と仔魚の分布. 水産海洋研究會報, 45 : 21~30.
- 船越茂雄・柳橋茂昭. 1983. 遠州灘沿岸の渥美外海域におけるマイワシ産卵場および産卵期の環境特性. 水産海洋研究會報, 44 : 29~43.
- 松岡正信. 1991. 2. 運動器官. 田中 克 編. 魚類の初期發育. 恒星社厚生閣, 東京, pp. 21~35.
- 松岡正信・宮地邦明・中村保昭・吳蓉・劉紅斌. 1998. 薩南海域における連続ネット採集結果からみたマイワシおよびカタクチイワシの産卵時刻と卵發生. 西水研研報, 76 : 1~10.
- 松岡正信・宮地邦明・加藤修. 2002. 薩南海域におけるマイワシとカタクチイワシの産卵水深に関する觀察例. 水研センター-研究, 2 : 15~23.
- 松田治・山本民次・橋本俊也. 1995. 沿岸フロントと栄養鹽の供給機構. 沿岸海洋研究, 33(1) : 9~18.

- 松浦康修. 1992. 南西大西洋のカタクチイワシ及びマイワシの再生産戦略と海洋過程. 水産海洋研究, 56(4) : 526~536.
- 辻祥子. 1985. シラス漁業で漁獲されるカタクチイワシ仔魚の生態. 海洋と生物, 40 : 353~358.
- 宇佐美修造・杉山久治. 1962. カタクチイワシ *Engraulis japonica* (Houttuyn)の再生産力について-I. 陸奥灣におけるカタクチイワシ卵巣卵の卵径組成からみた成熟と卵数. 東海水研報, 34 : 19~37.
- 魚谷逸朗. 1985a. カタクチイワシの攝餌器官の發達と攝餌方法. 日水誌, 51(2) : 197~204.
- 魚谷逸朗. 1985b. カタクチイワシの攝餌方法と食性. 日水誌, 51(7) : 1057~1065.
- 魚谷逸朗. 1988. カタクチシラスの生態, 特に攝餌生態について. 水産海洋研究會報, 52(3) : 244~248.
- 魚谷逸朗・岩川敬樹・川口弘一. 1993. イワシシラス漁場形成機構に果たす濁度の重要性. 日水誌, 60(1) : 73~78.
- 柳哲雄. 1992. 沿岸フロント近傍の流動構造. 沿岸海洋研究ノート, 29 : 215~228.

- 長田宏・木谷浩三・渡辺和春. 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, 50(4) : 298~
303.
- 中谷敏邦. 1987. 魚卵・稚仔魚および餌生物の採集法. 海洋と生物 49,
9(2) : 108~110.
- 中田尚宏・今井千文. 1981. 神奈川縣城ヶ島沖における魚卵・仔魚の
垂直分布について. 神奈川縣水試研報, 3 : 19~27.
- 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.
- 中井甚二郎・宇佐美修造・服部茂昌・本城康至・林繁 . 1955. 昭和
24年~26年鱧資源共同研究經過報告. 東海區水産研究所, 東京,
84pp.
- 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.
- 錢谷弘・木村量. 1997. 太平洋岸域のカタクチイワシの資源回復に伴
う2~3月産卵量の増加. 日水誌, 63(5) : 665~671.
- 井口直樹・和田洋藏・平川和正. 1999. 若狭灣西部水域におけるカタ
クチイワシ仔魚餌料としてのカイアシ類群集の季節變化. 日水
研報告, 49 : 69~80.

- 井上實. 1978. 4. 遊泳行動. 魚の行動と漁法. 恒星社厚生閣, 東京, pp.148~174.
- 川口弘一・森慶一郎・山下洋. 1988. 日本におけるSARP(Sardine Anchovy Recruitment Program)推進の展望 - SARPシンポジウムの總括から. 水産海洋研究會報, 52(3) : 260~264.
- 塚本勝巳. 1983. 遊泳速度と筋活動. 月刊 海洋科學, 15(4) : 189~194.
- 沖山宗雄. 1965. 佐渡海峽に出現する魚卵・稚仔に関する豫察的研究. 日水研報告, 15 : 13~37.
- 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.
- 강영실・강용주. 2002. 네트 망목 크기가 *Acartia steueri*(Copepoda: Calanoida)의 생체량 추정에 미치는 영향. 한수지, 35 : 445~450.
- 강영실・정규귀. 2000. 지구 온난화와 바다. 국립수산진흥원, 수산탐구, 제2호 : 65~69.
- 고유봉・노홍길・방익찬・오봉철・윤석훈・윤정수・이준백・최영찬. 1998. 제주의 바다. 제주도수산해양개발협의회, pp.11~42.
- 고유봉・고경민・김종만. 1991. 제주도 북방 함덕 연안역의 자치어

출현. 한어지, 3(1) : 24~35.

국립수산진흥원. 1987. 생물통계자료 -1981~1986 체장조성자료-. 수
산자원조사보고, 9 : 292~295.

국립수산진흥원. 1998. 연근해 주요 어종의 생태와 어장, pp.96~102.

국립수산진흥원. 1997a. 한국근해 30년 평균수온 및 변동범위(1966~
1995).

국립수산진흥원. 1997b. 한국근해 30년 평균염분 및 변동범위(196
6~1995).

김 구. 1982. 한국 남서해의 해류분포와 그 영향에 관한 연구. 서울
대학교 연구보고서, 89pp.

김 구. 1987. 제주도 주변 해류에 관한 연구의 현재와 미래. 제주도
연구, 4 : 83~97.

김병직 · 고유봉. 2003. 제주도 연안어류 현황. 2003 한국어류학회
추계학술대회 요약집, 23~27.

김상현 · 노홍길. 1997. 제주해협 해수유동특성에 관한 연구. 한수
지, 30(5) : 759~770.

김 성 · 유재명. 1999. 여름철 대한해협 전선구조에 따른 자치어의
분포 특성. 한어지, 11(1) : 72~85.

- 김수암. 2003. 어류자원의 변동에 미치는 해양환경의 영향. 한국수산 자원학회지, 6(1) : 11~20.
- 김수암·장창익. 1994. 어류 생태학-산란 및 초기 생활사를 중심으로-. 서울프레스, 서울, 273pp.
- 김용익·한경호·강충배·고정락. 1994. 고리 주변 해역의 부유성 난과 자치어의 분포. 한수지, 27(5) : 633~642.
- 김 윤. 2000. 남해안 수산업의 어제와 오늘. 국립수산진흥원 수산탐 구, 4 : 6~11.
- 김익수·이완옥. 1994. 제주도의 어류상. 한국의 어류상 연구, 1, 52pp.
- 김종만·유재명·허형택·차성식. 1985. 울산만 및 그 주변해역의 치자어 분포. 해양연구, 7(2) : 15~22.
- 김장근·최영민·황강석·윤갑동. 1998. 어군의 음향학적 형태 및 분포 특성과 어종식별에 관한 연구-1. 한국 연근해 멸치 어군의 형태 및 분포특성과 종식별 실험. 한국어업기술학회지, 34(1) : 52~61.
- 김진영. 1983. 한국남해 및 서해 연안해역에서의 멸치 난·치어의 분포. 한수지, 16(4) : 401~409.

- 김진영. 1992. 한국 남해 멸치, *Engraulis japonica*의 초기생활사와 가입. 부산수산대, 박사학위논문, 139pp.
- 김진영 · 강용주. 1992. 한국 남해 멸치의 산란 생태. 한수지, 25(5) : 331~340.
- 김진영 · 김용문. 1986. 멸치의 초기성장에 관한 연구-이석에 나타나는 일련의 관찰에 의하여. 수진연구보고, 37 : 151~156.
- 김진영 · 김주일 · 최광호. 1994. 봄철의 한국 남해 멸치와 정어리란 분포 및 감소율의 비교. 한수지, 27(3) : 299~305.
- 김진영 · 김주일. 1991. 한국 남해안 멸치의 난·자어 밀도와 가입. 수진연구보고, 45 : 101~107.
- 김진영 · 김주일. 1993. 한국 남해 연안의 멸치 난·자어 분포와 사망률의 변동. 한어지, 5(2) : 217~225.
- 김진영 · 최영민. 1988. 멸치, *Engraulis japonicus* 난·치어의 연직 분포. 한수지, 21(3) : 139~144.
- 문창호 · 최혜지. 1991. 낙동강 하구 환경특성 및 식물플랑크톤의 군집구조에 관한 연구. 한해지, 26 : 144~154.
- 박광재 · 차성식. 1995. 광양만 멸치(*Engraulis japonica*) 후기자어의 먹이생물. 한수지, 28(3) : 247~252.

- 박경수 · 한경남. 1997. 한강 하구역 및 경기만에서 어류 자치어의 역학에 관한 연구. 한해지, 32(4) : 202~207.
- 박병하 · 임주열. 1965. 멸치의 자원생물학적 연구-1. 남해안 멸치의 생태에 관하여. 수산자원조사보고, 6 : 37~50.
- 박종규 · 허성희 · 정해진. 2001. 진해만의 식물플랑크톤: I. 광환경에 따른 광합성 특성과 일차생산력. 한국조류학회지, 16 : 189~196.
- 박종화 · 이주희. 1991. 멸치 기선권현망의 어장형성과 어황변동에 관하여. 한국어업기술학회지, 27(4) : 238~246.
- 박종화 · 황강석 · 강영실. 2000. 한국 근해 겨울철 온난화와 주요 어종의 어황 변화. 한국수산자원학회지, 3 : 77~87.
- 박해훈 · 윤갑동. 1996. 한국 멸치 어업의 어획량 분석과 예측 ARIMA 모델 및 스펙트럼 해석. 한수지, 29(2) : 143~149.
- 백문하. 1982. 제주도 연근해의 어류상. 제주대학논문집, 14 : 93~108.
- 백철인 · 이동우. 2000. 남해안 주요 어업자원. 국립수산진흥원 수산탐구, 4 : 6~11.
- 서영준 · 김동수. 1999. 가막만에서의 멸치 들망 어장의 분포, 이동과 환경요인과의 관계-1. 수온 · 염분과 어군의 분포. 한국어업기

술학회지, 35(3) : 267~276.

손태준 · 이병기 · 장호영. 1984. 멸치 자망 어획량의 계절변동 및 어장형성. 한수지, 17(2) : 92~100.

유재명. 1991. 한국 남해 치자어에 관한 생태학적 연구. 한국해양연구소 보고서 BEPE00190-323-3, 230pp.

유재명 · 김 성 · 이은경 · 김용억. 1998. 제주도 주변 해역의 치자어 군집에 관한 연구-가을철. 한해지, 바다, 3(2) : 71~79.

유재명 · 김종만 · 김용억 · 차성식. 1990. 여름철 제주도 연안역의 치자어 분포. 해양연구, 12(2) : 73~85.

유재명 · 이은경 · 김 성. 1999. 여수주변해역의 치자어 분포. 한수지, 32(3) : 295~302.

이은경 · 유재명 · 김성 · 이영철. 1996. 대한해협 멸치 치자어의 수직 분포. 한어지, 8(2) : 47~56.

이인원 · 김동수. 1998. 가막만 멸치 들망 어장의 해역별 특성. 한국어업기술학회지, 34(1) : 67~73.

이충렬. 2004. 한국 서해 어류상의 재검토. 한어지, 16(1) : 60~74.

이평강 · 박 철. 2004. 망목 크기가 동물플랑크톤 분포 자료 및 군집 해석에 미치는 영향. 한해지 바다, 9(1) : 13~19.

- 임주열·옥인숙. 1977. 한국근해에 있어서 멸치란 치자어의 출현분포에 관한 연구. 수진연구보고, 16 : 73~80.
- 장선덕·홍성윤·박청길·진평·이병기·이택열·강용주·공영. 1980. 멸치자원의 회유에 관한 연구. 부산수대 해연보, 12 : 1~38.
- 전송미·차성식. 2001. 여름철 남해의 수과와 자치어 분포. 2001년도 춘계 수산관련학회 공동 학술대회 발표요지집, pp.563~564.
- 정문기. 1977. 한국어도보. 일지사. 서울, 727pp.
- 조영조·고우진. 2000. 한국 남해의 해양 특성. 국립수산진흥원 수산탐구, 4 : 20~27.
- 차성식. 1986. 황해 중동부 연안역의 부유성 난 자치어의 군집에 관한 연구, 서울대학교 이학박사학위 논문, 144pp.
- 차성식. 1990. 전남 연안해역 멸치(*Engraulis japonica*)의 연령과 초기 성장. 한수지, 23(5) : 385~393.
- 차성식. 2002. 우리 나라의 어류 초기 생태 연구 현황과 향후 과제. 한어지, 14(1) : 76~82.
- 차성식·박광재. 1991. 만경동진강 하구의 부유성 난 자치어의 분포. 한어지, 6(1) : 60~70.

- 차성식·박광재. 1994. 광양만 부유성 난 자치어의 분포. 한어지, 6(1) : 60~70.
- 차성식·박광재·유재명·김용억. 1991. 월성 주변 해역 부유성 난 자치어의 분포. 한어지, 3(1) : 11~23.
- 차성식·심재형. 1988. 황해 중동부 연안역의 부유성 어란 군집의 계절 변동. 한해지, 23(4) : 184~193.
- 차성식·유재명·김종만. 1990. 황해 중동부 연안역의 자치어 군집의 계절 변동. 한해지, 25(2) : 96~105.
- 차성식·허성희. 1988. 낙동강 하구 부근의 부유성 난 자치어의 출현량 변동. 한국어업기술학회지, 24(4) : 135~143.
- 최영민·김진영. 1988. 한국 남해안산 멸치, *Engraulis japonica*(Houttuyn)의 재생산력. 수진연구보고, 41 : 27~34.
- 추효상·김동수. 1998. 한국 남해의 대만난류 변동이 멸치 난·자치어의 연안역 수송에 미치는 영향. 한수지, 31(2) : 226~244.
- 한경호·김두용·진동수·신상수·백승록·오성현. 2001. 순천만에 분포하는 부유성 난과 자치어의 종조성 및 양적변동. 한어지, 13(2) : 136~142.
- 한경호·신영호·황동식. 2002. 고흥반도 연안에 분포하는 부유성

난·자치어 종조성의 계절변동. 한어지, 14(1) : 45~52.

해양수산부. 1971~2002. 어업생산량통계.

허성범·유재명. 1984. 한국 서해안의 어류 난치어 분포. 한수지,
17(6) : 536~542.

황 찬·김원수. 1977. 멸치 정치망어획고와 환경과의 관계. 한해지,
12(1) : 1~6.



감사의 글

제가 학문의 길로 접어든 이후 지금까지 정말 너무 많은 분들의 아낌없는 격려와 성원이 있었기에 이 작은 결실을 이루지 않았나 생각합니다.

먼저 이 논문이 완성되기까지 항상 저에게 올바른 연구자의 길과 방향을 일깨워 주시며 때로는 엄하게, 때로는 자상하게 저를 지도해 주신 저의 은사님 고유봉 교수님께 진심으로 머리 숙여 감사 드립니다. 제 논문의 심사위원으로서 바쁘신데도 내려오셔서 날카로운 비평과 조언으로 논문을 세심히 다듬어 주신 충남대학교 이태원 교수님과 한국해양연구원 명정구 박사님 그리고 이준백 교수님, 방익찬 교수님께도 진심으로 감사의 마음을 전해드립니다. 그리고 제가 학위과정에 있는 동안 항상 옆에서 관심과 성원을 보내주신 윤정수 교수님, 최영찬 교수님 그리고 윤석훈 교수님께도 깊이 감사 드립니다. 또 어류조직학이란 분야에 눈을 뜨게 해 주시었고 멀리서 늘 저를 지지해 주신 해양과환경 연구소 이영돈 교수님께도 감사 드립니다.

이번 논문결과의 일부분에 해당하는 난·자치어 연구과제의 총괄 책임자이시며 수은, 염분자료를 제공해 주신 해양산업공학부 어장환경학연구실의 노홍길 교수님과 김상현 박사님께 진심으로 감사 드리며 2년간의 연구과제를 수행함에 있어 저와 함께 현장에서 호흡을 맞추며 생사고락을 같이 한 친구 고준철에게도 감사의 마음을 전합니다.

이번에 논문을 마치기까지 여러 연구실 선배님들과 후배들의 격려와 도움이 없었다면 저는 무사히 논문을 마칠 수 없었을 것입니다. 저를 처음 학문의 길로 인도해 주신 고경민 선배님과 항상 저를 지켜보며 용기를 주시고 자상한 조언을 아끼지 않으신 좌종헌 선배님, 문상욱 선배님, 양희범 선배님, 이기우 선배님을 비롯하여 우리 '해사랑' 선배님 모두에게 마음으로나마 깊은 감사를 드립니다. 또한 저와 함께 학문의 길에 입문하여 언제나 친형처럼 저를 걱정해 주고 용기를 북돋아 준 강경표, 윤충환 선배님 그리고 연구실에서 대학원 시절 실험실의 유일한 동기이자 서로의 속마음을 털어놓으며 나에게 큰 힘이 되 준 고진필에게 고마운 마음을 전합니다. 짧지

않은 연구실 생활 동안 정말 많은 후배들이 저와 함께 채집현장에서 생사고락을 같이 하며 저를 도와주었습니다. 정말 이들이 없었다면 지금의 결실을 맺기 어려웠을 것입니다. 지금은 모두 졸업하여 사회의 구성원으로서 열심히 일하고 있는 강지형, 홍현식, 김우석, 강명희, 문승록, 오승준, 김영훈, 강보경, 부현민, 김봉수, 조준, 김상현, 김희진, 홍경실, 한유진, 김현지 그리고 현재 연구실에서 저와 함께 생활하고 있는 신윤식, 곽재환, 고혜웅, 양두혁, 부훈식, 강기창 연구실원에게 고마운 마음을 전합니다.

힘든 대학원 생활 동안 저와 함께 동고동락하며 학문의 길을 걸어갔던 강동우 선배님과 이무형, 김보영, 김동현 그리고 지금도 열심히 자신의 연구에 매진하고 있는 고희중, 이승철, 홍창수, 김수강, 문재홍을 비롯한 모든 대학원 선후배들에게 감사의 마음을 전합니다. 또 저와과는 다르지만 항상 저의 일을 자신들의 일처럼 걱정해 준 김병호, 나오수, 강도형, 송영보 선배님과 이치훈 후배에게도 고마운 마음을 전합니다.

이번 연구를 수행함에 있어 채집을 실시하는데 많은 도움을 주신 아라호와 아라2호 선장님 및 직원 여러분들에게도 이 자리를 빌어 감사의 마음을 전해드립니다. 그리고 멀리서 가족과 함께 내려오셔서 이제 저의 연구실 일원이 되신 김병직 박사님께도 감사의 말을 전합니다.

끝으로 힘든 학위과정 동안 옆에서 한결같이 성원을 보내준 형님과 누님들 그리고 공부를 한다는 핑계로 효도 한번 제대로 못해 드렸지만 아무 내색 없으시며 이 막둥이를 믿고 묵묵히 뒷바라지 해주셨던 부모님께 이 작은 결실을 바칩니다.

뒤돌아보면 결코 짧지 않은 시간이 흘러왔습니다. 하지만 아직도 연구해 나가야 할 과제가 너무나도 많기에 이제 끝이 아니라 다시 시작하는 마음으로 더욱 연구에 정진하려 합니다. 다시 한번 그 동안 저에게 많은 관심과 성원을 아끼지 않으신 모든 분들에게 감사 드리며 앞으로 올바른 연구자의 길을 걸어나가도록 더욱 열심히 노력하겠습니다.