

Argo 자료를 이용한 해외어장 실시간 해황정보시스템 개발연구

양준용 · 석문식* · 서영상 · 정희동** · 허 승***

국립수산과학원 환경연구부 해양연구과, *한국해양연구원 해양기후변화연구사업단,
국립수산과학원 남해수산연구소 환경연구과, *국립수산과학원 서해수산연구소 환경연구과
(2008년 2월 4일 접수; 2008년 3월 4일 채택)

Development of Real-time Oceanographic Information System for Pelagic Fishery Based on Argo Data

Joon-Yong Yang, Moon-Sik Suk*, Young-Sang Suh,
Hee-Dong Jeong** and Seung Heo***

*Ocean Research Division, Environment Research Department, National Fisheries
Research and Development Institute, Busan 619-705, Korea*

**Ocean Climate Change Research Division, Korea Ocean Research and
Development Institute, Ansan 426-744, Korea*

***Environment Research Division, South Sea Fisheries Research Institute, National Fisheries
Research and Development Institute, Yeosu 556-823, Korea*

****Environment Research Division, West Sea Fisheries Research Institute, National Fisheries
Research and Development Institute, Incheon 400-420, Korea*

(Manuscript received 4 February, 2008; accepted 4 March, 2008)

Abstract

Competitive power of pelagic fishery in Korea has been weakened by the domestic and international problems such as wage increase and exclusive economic zone. To make it worse, fishing fleet spends more than 80% of fishing time on searching fishing grounds. Real-time information on oceanographic data, temperature in particular, are likely to contribute to raise efficiency of fishing. However, available data obtained by satellite remote sensing, fixed buoy and drifting buoy, limited to sea surface or fixed positions. ARGO (Array for Real-time Geostrophic Oceanography), an international program, has delivered vertical profiles of temperature and salinity in the upper 2000 m of the world ocean every 10 days using freely moving floats. We have developed real-time oceanographic information system for pelagic fishery based on the Argo data which has the contents of vertical profile, horizontal distribution and vertical section of temperature around fishing grounds and searched data can be download unrestrictedly. Comparison of skipjack catch with sea surface temperature and depth of 20°C derived from Argo data in the West Equatorial Pacific revealed that Argo data are able to help fishing fleet to find fishing grounds and to increase catch.

Key Words : Argo, Real-time, Information system, Pelagic fishery, Fishing ground

1. 서 론

우리나라의 해외어장 진출은 1957년 인도양의 다랑어 연승어업으로 시작하여 1970-80년대 신장기 및 재편기를 거친 후 유엔해양법 협약 발효에 따른 구조조정기를 맞고 있으며¹⁾, 원양어업의 경쟁력은 배타적 경제수역 선포에 따른 어장축소의 심화, 공해어업 통제, 주요 연안국의 어업관리 강화 및 조업 경쟁국의 세력 확장과 같은 외부여건의 변화와 아울러 원양어업의 경영규모의 영세성, 어선의 노후화 및 임금 상승 등 내부여건의 악화 등으로 약화되었다²⁾. 더욱이 어획대상 어군은 주변의 수온과 플랑크톤과 같은 변동성이 큰 해양환경에 의하여 분포와 밀도를 달리하므로 어선들이 어업활동의 80% 이상의 시간을 어장을 찾는 데 소모하고 있어³⁾ 경쟁력을 높이기 위하여 어장탐색효율의 제고가 요구되고 있다. 따라서 해양의 표층 및 수심별 수온 분포와 플랑크톤의 분포 등의 실시간 정보는 어군의 분포 및 이동 등과 연계할 수 있으며 특히 대양을 대상으로 하는 원양어업의 조업효율 극대화에 결정적으로 기여할 수 있다⁴⁾. 그런데 해양 생물은 대부분 수온에 민감하여 0.03°C에서 0.06°C의 수온 차이에도 반응하는 것으로 알려져 있으므로³⁾ 여러 정보 중에서 수온이 어군의 분포 및 이동에 가장 밀접한 관계가 있는 것으로 여겨지며, 이에 관련된 연구가 많이 이루어졌다⁵⁻⁹⁾.

원양어업에 활용할 수 있는 실시간 수온자료는 적외선 원격탐사를 활용한 해양표면수온(NOAA/AVHRR), 적도태평양에 위치한 고정식 해양부이인 TAO/TRITON, 표층 표류부이가 관측한 표층 수온 등이 있다⁴⁾. NOAA/AVHRR는 광범위한 해역의 표면수온자료를 제공하고, 표층 표류부이는 해수와 같이 이동하면서 표층 수온자료를 제공하지만 모두 자료가 표층에 국한되는 있는 단점이 있다. 반면에 수심별 수층자료를 제공하는 TAO/TRITON은 반대로 적도태평양 해역에 국한되어 있어 자료제공해역이 제한적이라는 단점을 가지고 있다. Argo 프로그램은 3차원적으로 수온, 염분 및 해류를 관측하여 실시간으로 제공하는 국제공동 해양관측사업이다¹⁰⁾. Argo 플로트는 해양표면만 관측하는 적외선 원격탐사와 표층 표류부이와는 달리 수온의 수층별 자료

를 생산하고 있고, TAO/TRITON 부이와는 달리 이동하면서 관측하므로 관측해역이 적도태평양에만 국한되지 않는다.

본 개발연구에서는 전 세계 대양에서 작동하고 있는 Argo 플로트가 주기적으로 생산하고 있는 자료를 토대로 해외어장 실시간 해양정보시스템의 개발연구를 수행하였으며, 태평양 선망어업의 주 어획어종인 가다랑어 어획량과 Argo 자료로부터 구한 수온 분포를 비교하여 Argo 자료를 원양어업의 어장탐색에 활용하는 연구를 수행하였다.

2. Argo 프로그램

2.1. 국제 Argo 프로그램

세계기상기구(WMO)와 유네스코 산하 국가간해양과학위원회(IOC)가 공동으로 기후변동예측과 관련된 해양의 역할을 구명하기 위하여 전 세계 대양을 대상으로 한 Argo 프로그램을 2000년부터 추진하고 있다¹⁰⁾. Argo 프로그램은 자체적으로 밀도를 조절하여 침강과 상승을 주기적으로 반복하는 Argo 플로트(Fig. 1(a))를 이용하여 결빙되지 않은 전 세계 해양의 특정 수심과 해수면사이의 수온, 염분과 해류를 관측하여 실시간으로 제공하는 프로그램이다(Fig. 1(b)). Argo 플로트는 10일에 한번씩 수심 2000 m으로부터 표층까지 상승하면서 수온과 염분을 관측한 후 표층에 머물면서 인공위성을 통해 관측한 자료를 송신하고 다시 침강하여 수심 2000 m로 복귀한다(Fig. 1(b)). 이 프로그램의 목적은 해양 상층부의 물리적 상태를 체계적으로 관측하고 해양예보 및 해양과 대기의 상호작용에 의한 기후변화의 예측 가능성을 증진시키기는 것이며, 전 세계 대양에 약 3,000여개의 Argo 플로트가 작동하는 것을 1차적인 목표로 하였으며, 2007년 11월에 이 목표를 달성하였다(Fig. 2). 이러한 3,000여개의 Argo 플로트는 전 세계 해양에 평균적으로 3° 간격으로 분포하게 되며, 연간 100,000개의 수온과 염분의 수직구조와 해류 관측치를 제공할 것으로 예상된다.

2.2. 국내 Argo 프로그램

한국은 한국해양연구원과 기상청 국립기상연구소가 동해, 태평양과 남극해에 2006년까지 180개의 Argo 플로트를 투하하였다. 관측된 Argo 자료는 국

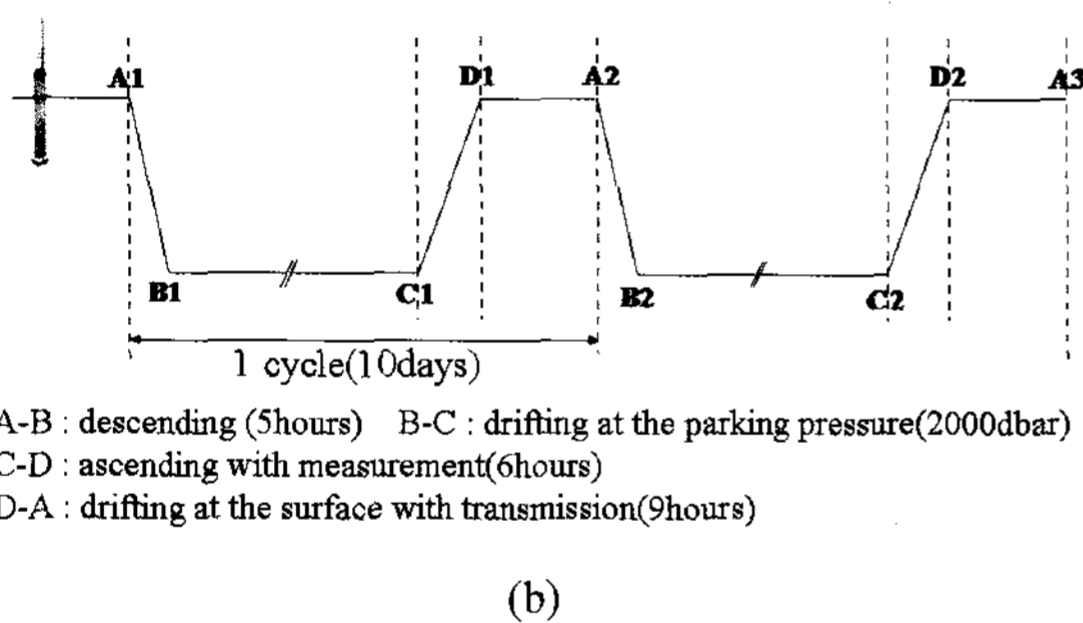
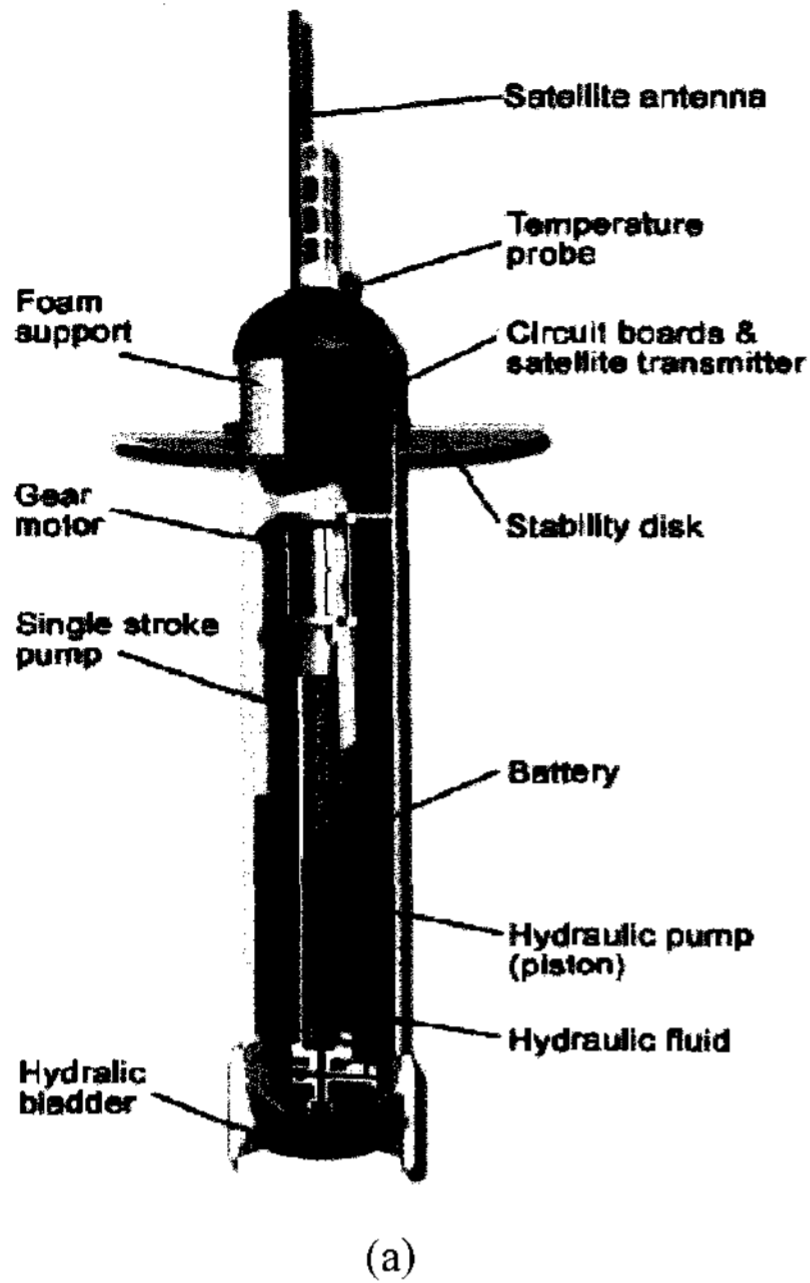


Fig. 1. Cross-section of a typical Argo float⁽⁴⁾(a) and schematic diagram of Argo float in operation (b).

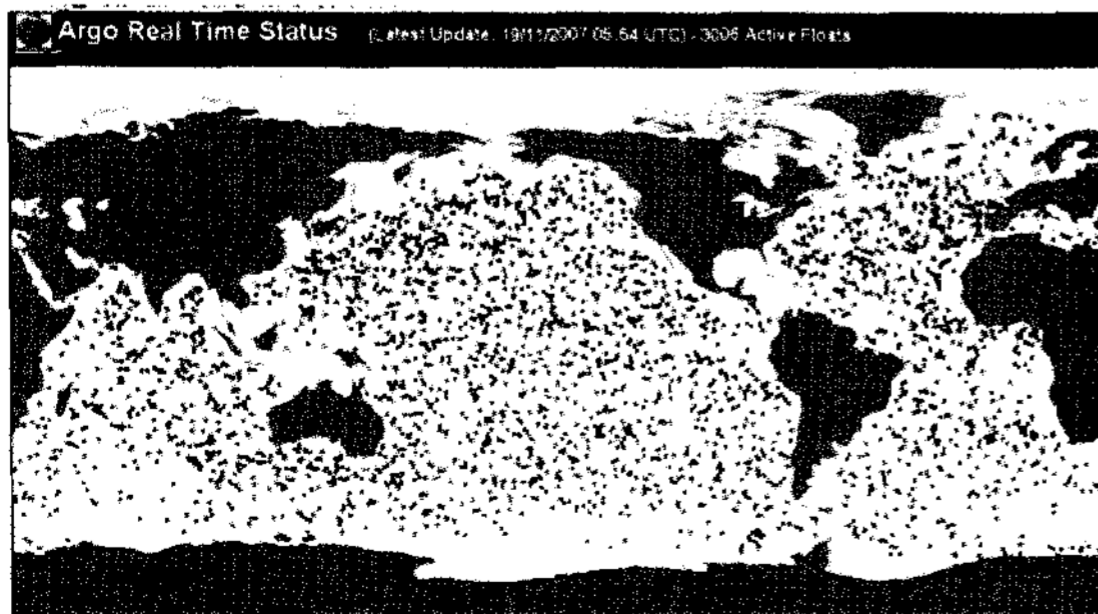


Fig. 2. Positions of active Argo floats as of November 2007⁽¹⁵⁾.

가별로 실시간 모드(Real-time mode)와 지연 모드(Delayed mode)로 나누어 관리하고 있으며, 실시간 모드 파일은 날짜, 위치 테스트 등 19개의 자동품질 관리과정을 거친 것으로 24시간 내에 미국과 프랑스가 운영하고 있는 세계 Argo 자료센터(GDAC)를 통하여 배포되고 있다⁽¹¹⁾. 한국의 지연모드 품질관리는 국립수산과학원 한국해양자료센터가 담당하고 있으며, 지연모드 품질관리는 실시간모드의 자동품질관리와 다른 품질관리기법을 적용하여 전문가의 검토를 거친 후 6개월에서 1년 이내에 GDAC에 지연모드 자료를 보고하는 것이다.

3. 시스템 구성 및 정보제공

3.1. 시스템 개발

Argo 프로그램에 의해 관측된 자료는 실시간모드 자료품질관리를 거친 후 NetCDF 형태의 파일로 변환되어 24시간 이내에 미국과 프랑스의 GDAC에 모이게 된다. Fig. 3은 GDAC으로부터 자료를 다운로드받아 인터넷으로 제공하기까지 자료의 흐름을 도시한 것으로 FTP 다운로드, NetCDF 업로더 등을 포함하고 있는 사각형안의 각 요소들을 개발하였다. FTP 다운로더는 두 GDAC에 하루에 한 번 순차적으로 접속하여 전 세계 대양의 Argo 자료를 다운로드 받는다. 자료의 시간의 유효성과 육지 여부를 검토하고 수온과 염분의 허용 최대값과 최소값을 이용한 자료의 유효성을 검사를 수행한다. NetCDF 업로더를 처리된 Argo 자료를 DB에 입력한다. 이렇게 입력된 Argo DB의 자료는 국립수산과학원 한국해양자료센터 홈페이지⁽¹²⁾내에 해외어장 실시간 해황정보시스템 웹페이지를 통하여 세 가지의 형태로 검색 및 출력할 수 있도록 개발하였다(Fig. 4).

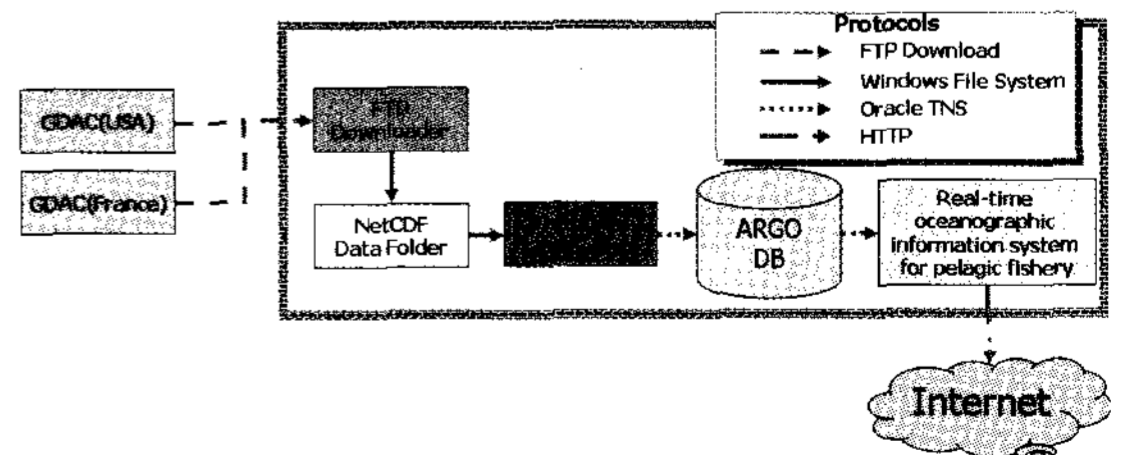


Fig. 3. Schematic diagram of Argo data flow at the Korea Oceanographic Data Center.

3.2. 정보제공

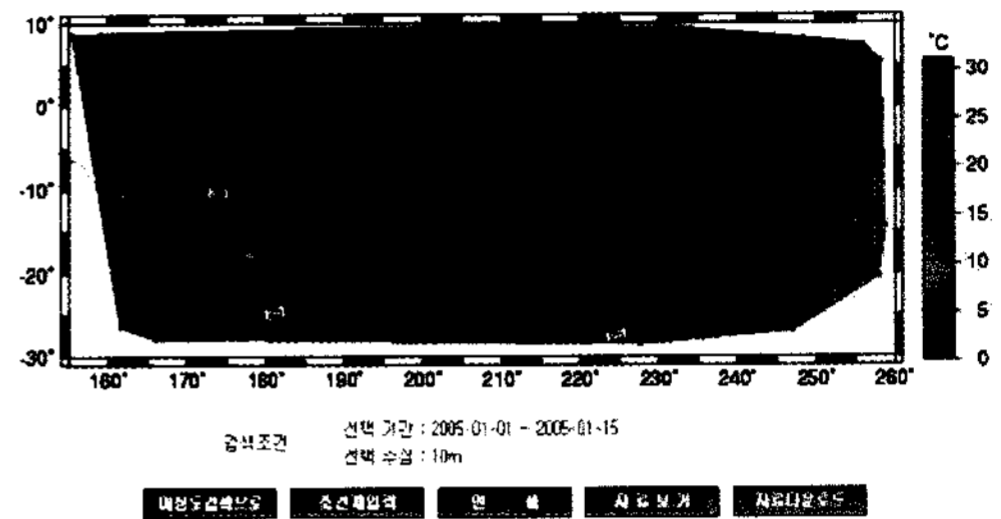
수평분포도는 각각의 수심에서 수온 분포를 도시하여 나타내며, 연직단면도는 연직 횡단면상에서의 수온 분포를 도시하여 나타내도록 하였다. 또한 수직구조도는 한 관측지점의 수심에 따른 수온의 분포를 그래프로 도시하도록 하였다. 수평분포도의 경우 사용자가 표준수심 중에서 선택할 수 있게 하였다. 그런데 입력한 수심과 일치하는 수심의 자료가 드물기 때문에 입력받은 수심과 가장 근접한 두 개의 자료로부터 내삽하여 선택한 수심의 수온을 계산한 후 그래프를 도시한다(Fig. 5a). 검색된 자료가 5개 미만인 경우 자료의 유효하지 않으므로 수평분포도를 출력하지 않게 하였다. 연직단면도는 위도, 경도 혹은 임의의 점 연장선상에서의 단면도에 나타나는 수온 분포를 도시하도록 하였으므로 사용자가 위도나 경도, 혹은 임의의 점을 입력해야한다(Fig. 5b). 그러나 일반적으로 위도와 경도 상에 자료가 정확하게 존재하지 않으므로 선택한 위도와 경도로부터 일정범위의 자료를 추출하도록 하였다. 일정범위 또한 사용자가 선택할 수 있으며, 연직단면도도 검색된 자료가 5개 미만이면 출력하지 않도록 하였다. 수직구조도는 한 지점에서 수심에 따른 수온의 분포를 확인할 수 있으므로(Fig. 5c) 이것을 통하여 수온약층의 깊이를 알 수 있다. 사용자가 지도에서 자료가 있는 지점을 선택할 수 있으며, 선택된 항목의 플롯 ID와 날짜를 함께 표시하여 참고가 되도록 하였다. 그래프의 세로축인 수심은 자료의 최대수심을 고려하여 자동으로 조절되며, 실제

자료를 텍스트 파일로 다운로드가 가능하도록 개발하였다.



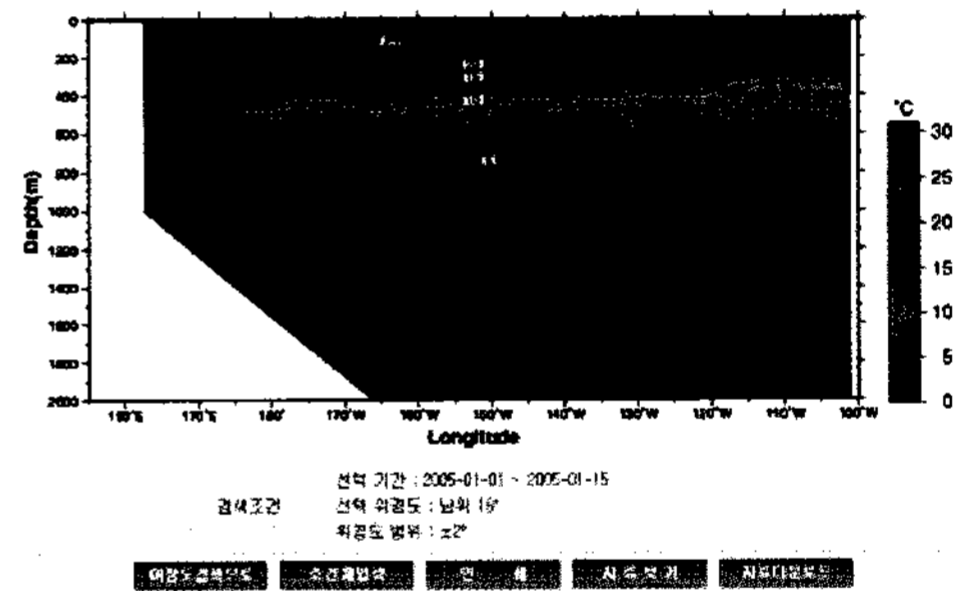
Fig. 4. Webpage of real-time oceanographic information system for pelagic fishery.

● 실시간해양정보 검색 대평양 다량어업용(수평분포도)



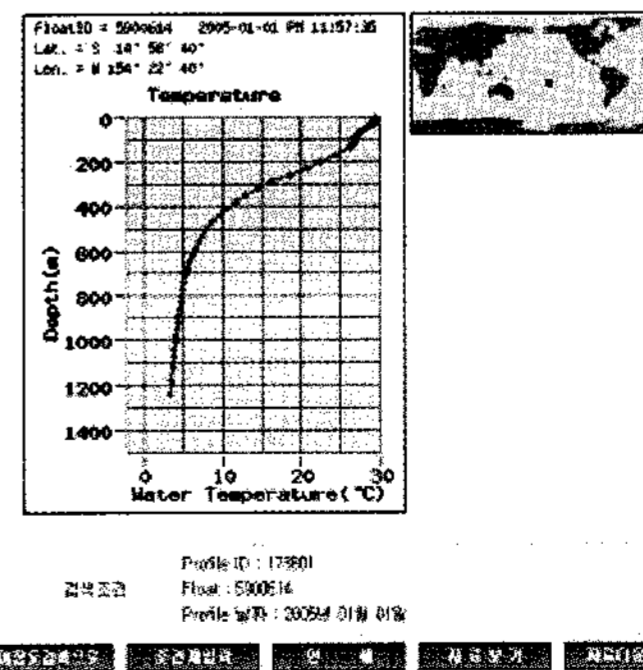
(a)

● 실시간해양정보 검색 대평양 다량어업용(연직단면도)



(b)

● 실시간해양정보 검색 대평양 다량어업용(수직구조도)



(c)

Fig. 5. Search examples of horizontal distribution (a), vertical section (b) and vertical profile (c) of the real-time oceanographic information system for pelagic fishery.

4. 활용연구

4.1. 선망어업 어획량 및 수온자료 분석

해외어장 해황정보 제공시스템에서 제공하는 Argo 수온 자료를 이용하여 어장 탐색과 어획량 증대에 활용하는 연구를 수행하였다. 다랑어류는 다른 어종에 비해 생산량에 있어 중요한 위치를 차지하고 있고, 경제적으로도 통조림 혹은 횡감용으로 국제적인 거래가 활발히 이루어지는 종으로 대부분이 선망, 연승 및 채낚기 어업 등으로 어획된다^{7,13}. 최근에는 채낚기와 연승어업은 감소하는 반면에 선망어업이 급격히 증가하고 있으며, 선망어업의 어장은 적도 서부태평양인 파푸아 뉴기니 북부해역에 형성된다. 선망어업의 주 대상어종은 표층원양성, 대양성으로 표면수온이 최소 25°C 이상의 전 세계

의 열대 및 온대성 해양에 분포하는 가다랑어 (skipjack)이다¹³. 가다랑어 어획량은 원양 다랑어 선망어업 선박이 조업할 때에 기록한 해구별(1°×1°) 가다랑어 어획량 및 노력량 자료를 근거로 한 2003년도 단위 노력당 어획량(CPUE) 자료를 이용하였다¹³. 선망어구의 깊이가 대략 180-220 m이므로⁶ 수온약층을 고려하면 다랑어 어획량과 수온 20°C의 수심과 상관관계가 높은 것으로 판단된다⁸. 따라서 수온 20°C에 해당하는 수심(D20)을 Argo 자료로부터 계산하여 표층수온(SST)과 어획량 자료와 함께 비교 분석하였다(Fig. 6).

월별로 어획량이 많은 위치의 SST와 D20 평균값을 구하여 기준값(rSST, rD20)으로 정의하였다(Fig. 7). 1-3월, 12월의 기준값의 SST는 높고 D20은 얇은

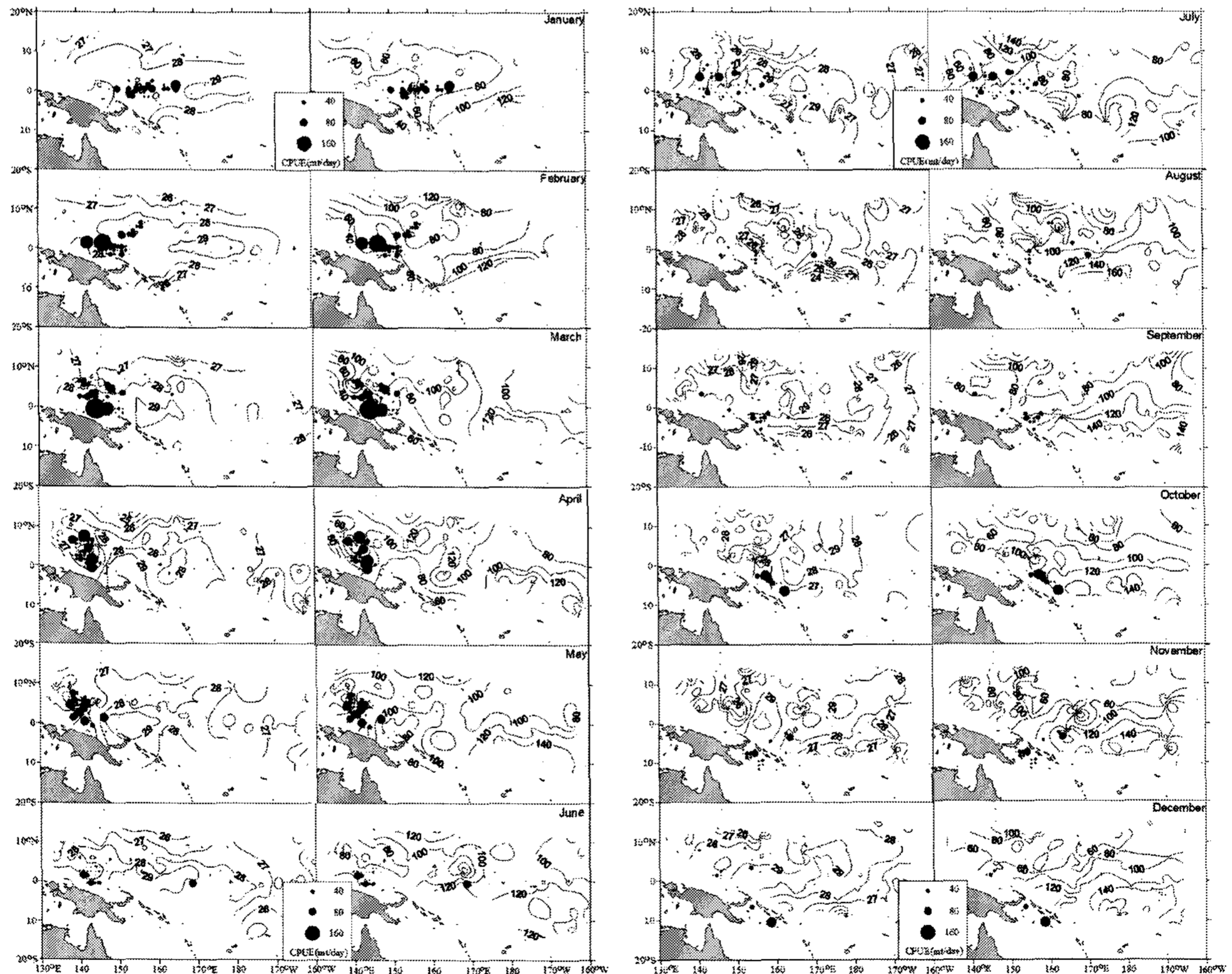


Fig. 6. Sea Surface Temperature (left, °C) and depth of 20°C (right, meter) with monthly catch per unit effort of skipjack (filled circle) from January to December in the West Equatorial Pacific in 2003.

반면에, 4월은 SST가 낮고 D20은 깊었으며 11월의 D20이 제일 깊었다. 따라서 연속하는 월중에서 3월

과 4월, 11월과 12월의 기준값 차이가 크게 나타났다. 이렇게 정의한 기준값과 각각의 자료와의 차 (SST-rSST, D20-rD20)를 구한 뒤, 최대값(mSST, mD20)으로 식 (1)과 같이 표준화한 표준화편차 (Normalized deviation, ND)를 구하였다. 즉, ND가 0에 가까우면 SST와 D20이 기준값에 가깝고, 1에 가까울수록 기준값과 차이가 큰 것을 의미한다.

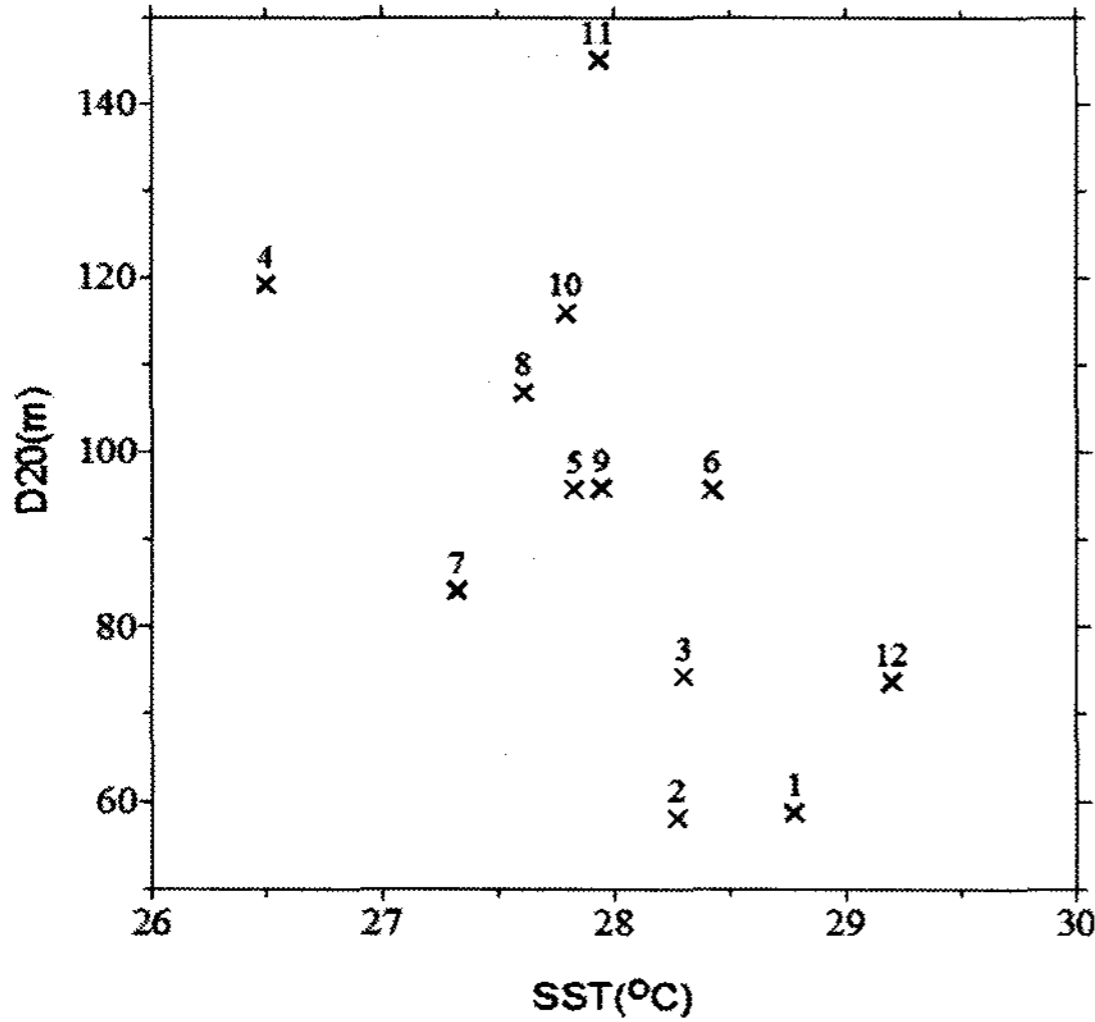


Fig. 7. Reference values of Sea Surface Temperature (SST) and depth of 20°C (D20) which were means of ones at the area of high CPUE of skipjack (>80mt/day). Numerals represent months.

$$ND_n = \sqrt{\left(\frac{SST_n - rSST_{n-1}}{mSST}\right)^2 + \left(\frac{D20_n - rD20_{n-1}}{mD20}\right)^2} \quad (1)$$

$$mSST = \text{Max}(SST_n - rSST_{n-1}),$$

$$mD20 = \text{Max}(D20_n - rD20_{n-1}), \quad n = 2, 3, \dots, 12(\text{월})$$

4.2. 어장탐색

이미 형성되어 있는 어장의 어획량 정보와 실시간 수온정보를 이용하여 어획 가능성이 높은 해역을 예측하기 위하여 앞선 달의 기준값을 이용하여 2월부터 12월의 ND 분포를 구하였다(Fig. 8). 즉, 2월의 경우 1월의 기준값을 2월의 SST와 D20에 적용하여 ND를 구하였다. 대체로 ND가 0.3 이하인 해역

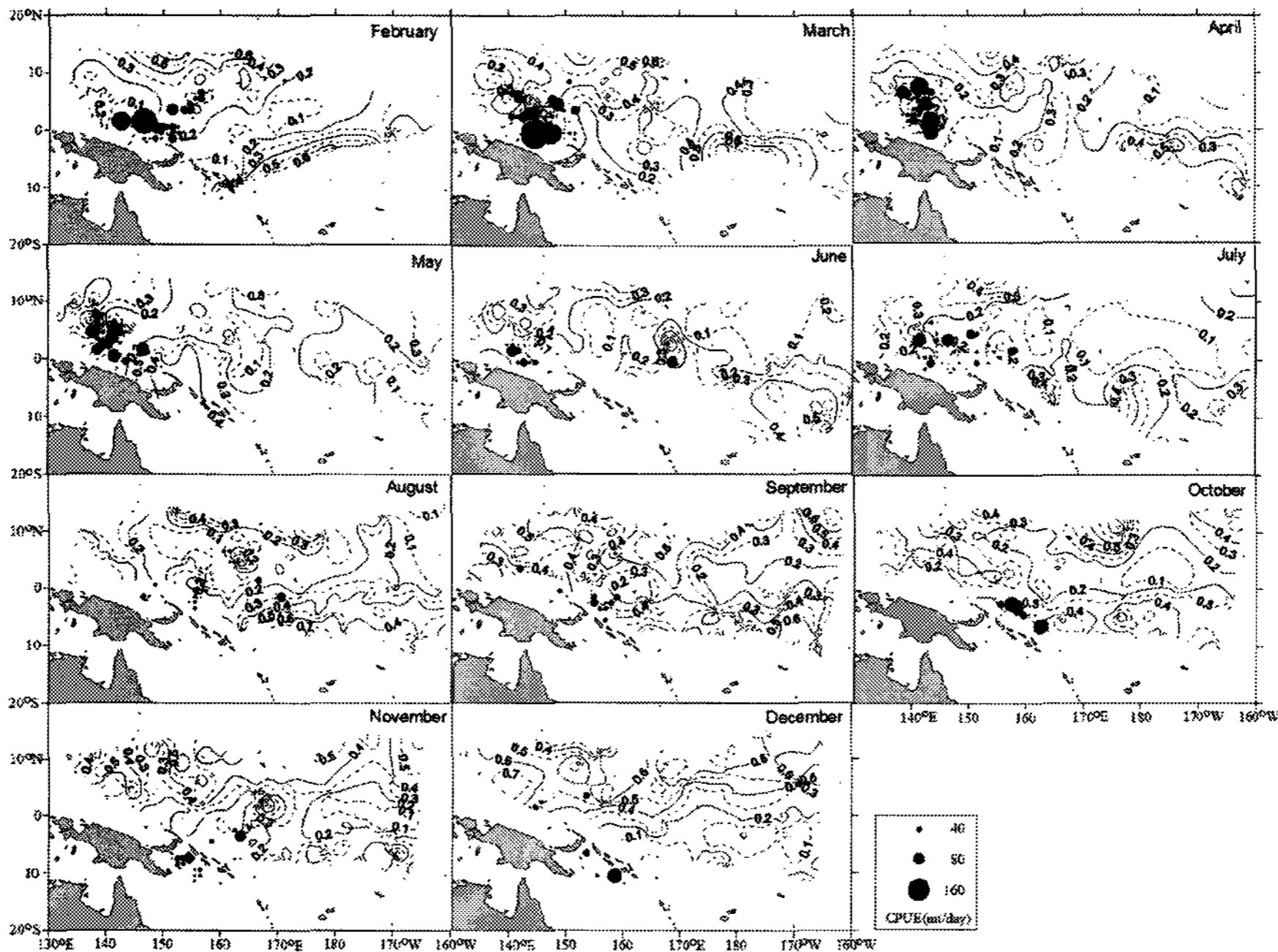


Fig. 8. Distribution of normalized deviation from reference values of SST and D20 in previous month with CPUE of skipjack (filled circle).

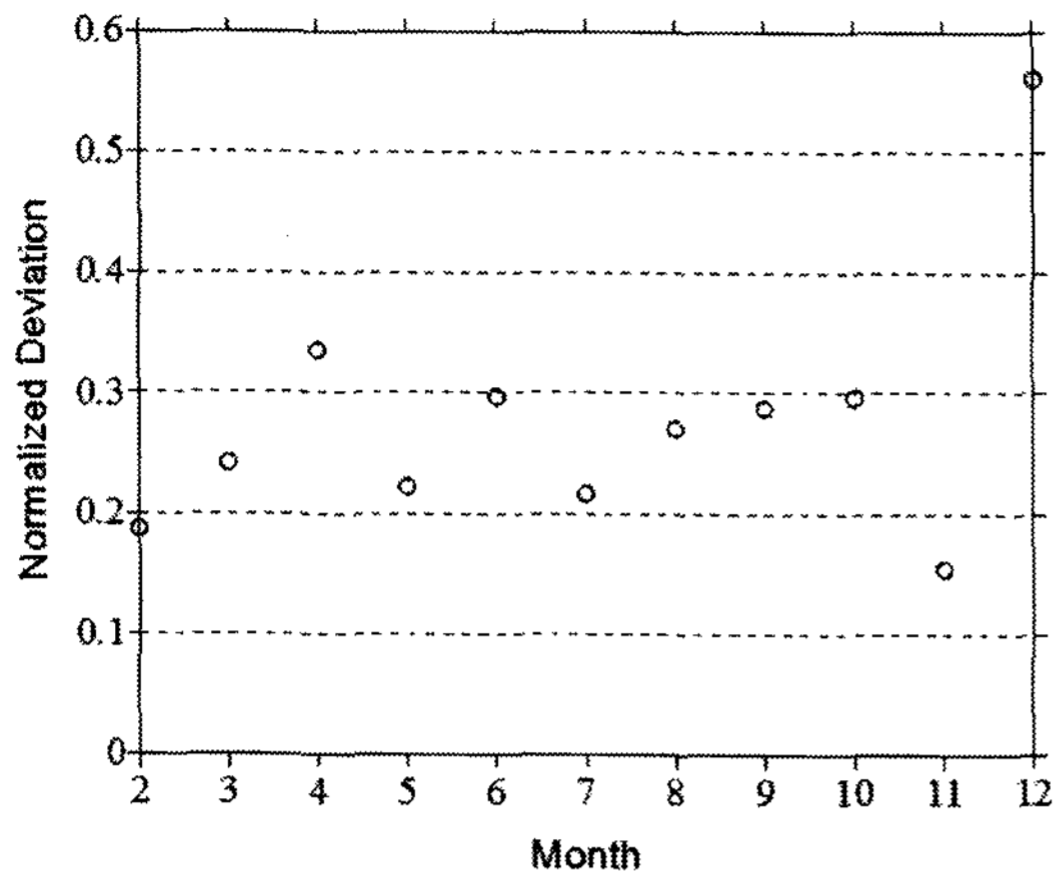


Fig. 9. Monthly mean of normalized deviation at the area of high CPUE of skipjack (>80mt/day).

에 어획이 이루어졌으므로 ND가 0.3 이상인 해역은 어장의 가능성이 낮은 것으로 보인다. 즉 직전의 어획자료와 지속적으로 입수하고 있는 Argo 자료로부터 구한 ND 분포를 어장탐색에 활용하여 어장탐색 효율을 올릴 수 있을 것으로 여겨진다. Fig. 9는 어획이 많이 이루어진 곳의 평균 ND를 도시한 것으로 대체로 평균 ND가 0.2와 0.3 사이에 위치하고 있다. 4월과 11월의 0.3 이상의 높은 평균 ND는 SST와 D20의 기준값 변화가 큰 것에 기인한 반면에 2월과 10월의 0.2 이하의 낮은 평균 ND는 그 전월의 많은 어획량과 SST와 D20의 기준값 변화가 작은 것에 기인한 것으로 판단된다.

5. 결 론

1957년에 시작된 우리나라 원양어업의 경쟁력은 배타적 경제수역 선포에 따른 외부여건의 변화와 경영규모의 영세성, 어선의 노후화 및 임금 상승 등 내부여건의 악화 등으로 약화되었고, 더욱이 변동성이 큰 해양환경에 의하여 어선들이 어업활동의 80% 이상의 시간을 어장을 찾는데 소모하고 있는 실정이다. 실시간 해양환경 정보, 특히 수온자료는 어군의 분포 및 이동 등과 연계할 수 있으므로 원양어업의 조업효율의 극대화에 결정적으로 기여할 수 있다. 원양어업에 활용할 수 있는 실시간 수온자료는 적외선 원격탐사를 활용한 해양표면수온(NOAA/AVHRR), 적도태평양에 위치한 고정식 해양부이인

TAO/TRITON, 표층 표류부이가 관측한 표층 수온 등이 있으나, 자료가 표층에 국한되어 있거나 적도태평양의 고정점이라는 단점을 가지고 있다.

Argo 프로그램은 전 세계 대양의 수온, 염분 및 해류를 관측하여 실시간으로 제공하는 국제공동 해양관측 프로그램으로 표층으로부터 수심 2000 m의 자료를 제공하고 있다. Argo 프로그램은 해양표면만 관측하는 적외선 원격탐사와 표층 표류부이와는 달리 수온의 수층별 자료를 생산하고 있으며, TAO/TRITON 부이와는 달리 해류와 함께 이동하면서 관측하므로 관측해역이 적도태평양에만 국한되지 않는다. 이러한 Argo 자료를 이용하여 해외어장 실시간 해양정보시스템을 개발하였으며, 인터넷을 통하여 수평분포도, 연직단면도와 수직구조도를 그래프로 도시하도록 하였고 실제 자료를 텍스트 파일로 다운로드가 가능하도록 개발하였다.

급격히 증가하고 있는 선망어업의 주 대상어종인 가다랑어 어획량과 Argo 자료로부터 구한 SST와 D20과의 관계를 비교하여 Argo 플롯이 관측한 실시간 수온 자료의 원양어업 활용가능성에 대하여 연구하였다. 월별로 어획량이 많은 위치의 SST와 D20 평균값을 구하여 기준값으로 정의하였고, 이미 형성되어 있는 어장의 어획량 정보와 Argo 자료를 이용하여 어획 가능성이 높은 해역을 예측하기 위하여 앞선 달의 기준값을 이용하여 ND 분포를 구하였다. ND가 0.3 이하인 해역에 어획이 대체로 이루어졌으므로 직전의 어획자료와 지속적으로 입수하고 있는 Argo 자료로부터 구한 ND 분포에서 0.3 이하인 해역에 대하여 우선적으로 어장탐색을 한다면 관련된 비용을 절감할 수 있을 것으로 생각된다. 향후 영향이 큰 인자에게 가중치를 준다거나 생물자료와 같은 다른 자료를 추가하여 ND를 개선하면 어장 탐색의 정확성을 증진시켜 어획량 증대에 기여할 것으로 생각된다.

감사의 글

이 연구는 국립수산물과학원의 한국해양자료센터의 운영(RP-2008-ME-015)과 한국해양연구원의 국제공동해양조사연구(PE98010) 과제의 일환으로 수행하였습니다.

참 고 문 헌

- 1) 국립수산과학원, 2007, 원양어장개발 50년(어구개발 및 자원조사를 중심으로), 785pp.
- 2) 이상고, 2005, 새로운 국제해양질서에 부응한 원양어업 경쟁력 강화 방안, 한국수산경영학회 학술대회지.
- 3) 이병기, 1989, 연근해 어업개론, 태평출판사, pp. 5-11.
- 4) 강현선, 송무석, 홍기용, 2002, 태평양 원양어업의 효율제고를 위한 원격해양자료 활용기술 연구, 한국원격탐사학회지, 5(4), 19-26.
- 5) 김재철, 1986, 태평양의 다랑어(참치) 어획량과 수온 분포와의 관계, 어업기술, 22(4), 21-31.
- 6) 김형석, 1999, 서부태평양해역에서의 다랑어 선망어업의 어군성상과 연직수온, 한국어업기술학회지, 35(3), 237-242.
- 7) 안두해, 문대연, 고정락, 조규대, 박영철, 2003, 태평양 ENSO 현상에 따른 다랑어 이용도 변화, 한국수산학회지, 36(4), 430-436.
- 8) 문대연, 양원석, 김순송, 고정락, 김은정, 2005, 중서부태평양 한국 다랑어 선망어업의 조업 특성, 한국어업기술학회지, 41(4), 263-270.
- 9) 조규대, 김윤애, 박성우, 김재철, 박민식, 1987, 남동태평양의 참치 어획량과 해양환경과의 관계, 한국수산학회지, 20(4), 360-369.
- 10) Argo Science Team, 2000, Report of the Argo Science Team 2nd Meeting, 7-9 March 2000, Southampton Oceanography Center, Southampton, U.K.
- 11) Argo Science Team, 2001, Report of the Argo Science Team 3rd Meeting, 20-22 March 2001, Institute of Ocean Science, Sydney, B.C., Canada.
- 12) <http://kodc.nfrdi.re.kr>.
- 13) 국립수산과학원, 2004, 한국 원양 다랑어 선망어업 어장 및 자원동향, 예문사, 211pp.
- 14) Argo project office, 2003, Argonautics, newsletter of the international Argo project, 7pp.
- 15) <http://argo.jcommops.org>.