

하계 한국동해안 냉수대 발생의 시공간적 분포특성

서 영 상 · 황 재 동
국립수산과학원 동해수산연구소
(2005년 10월 5일 접수; 2005년 10월 27일 채택)

Study on the Cold Mass Occurrence in the Eastern Coast of the Korean Peninsula in Summer

Young-Sang Suh and Jae-Dong Hwang

Marine Environment Team, East Sea Fisheries Research Institute, NFRDI, Gangneung 210-861, Korea
(Manuscript received 5 October, 2005; accepted 27 October, 2005)

Daily time series of longshore sea surface temperature (SST) data at 3 stations, sea surface SST data at 58 stations in the eastern coast of the Korean Peninsula from 2001 to 2005 were used in order to study the temporal and spatial variations of the upwelling coastal cold water occurred in summer season.

When the cold water occurred, SST has been decreased more than -5°C in a day. The cold water occurred frequently in the eastern coastal areas of Korea such as Ulgi, Kampo, Jukbyun. Daily variations of cold water temperature were quantified using remote control buoy system at Kijang in the southeastern coastal water from July to August in 2004. Hourly variations of SST occurred around $\pm 3^{\circ}\text{C}$ when cold water disappeared at Kijang.

There were close relationship between the strength of East Korean Warm Current, North Korean Cold Water and the scale of spatio-temporal cold water variations in summer season.

Key Words : Upwelling, SST, NOAA satellite, Cold Water, Temporal and Spatial Variations

1. 서 론

한국 동해남부 연안에서 거의 매년 세력의 차이는 있으나 6~8월에 주변역보다 수온이 낮은 냉수역이 발생한다. 냉수대는 몇일 내 $3\sim 5^{\circ}\text{C}$ 의 급격한 수온변화를 가져와 주변 양식장에서 대량폐사를 일으키기도 하며, 냉수역에서 형성되는 해무로 인해 선박운항에 영향을 미치기도 한다¹⁾.

이런 냉수역의 기원은 북한한류수의 용승에 의한 것이라 알려져 있으며^{2,3)}, 용승을 유발시키는 요인으로 한국 동해남부해역에서 대마난류(Tsushima current)의 cyclonic circulation⁴⁾, 울기-감포 해역에 발달한 동한난류로 인한 등온선의 Baroclinic tilting⁵⁾, 한국 동해남부 연안 주변 해역의 지형적 특징⁵⁾ 및

남서풍의 지속⁶⁻⁹⁾ 등으로 보고되고 있다. 냉수대 형성에 주된 요인으로 바람을 들고 있는 연구가 많으며, 평균 3m/sec의 남서풍이 7일간 지속하거나⁶⁾, 4m/sec의 남서풍이 3일 이상 지속될 때 냉수대가 출현⁷⁾ 한다고 보고되었다. 최근 들어 동해연안에 위치한 연안정지관측점에서 장기간 관측한 일일표면수온자료뿐만 아니라 원격탐사기술의 발달로 인공위성에 의한 원격탐사로 한국 동해남부 연안에서 발생한 냉수역의 공간분포 특성을 알 수 있게 되었다¹⁰⁾.

최근 국립수산과학원 동해수산연구소에서 관측한 동해해양조사자료를 분석하면 북한한류수의 시공간적 분포도 매년 다르게 나타남을 알 수 있다. 이러한 북한한류수가 냉수대 발생과 그 세력변동에 미치는 영향에 대한 연구는 명확히 규명되지 못한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 북한한류수의 세기와 연관하여 냉수대의 세기 및 공간변동을 구명하고자 한다.

Corresponding Author : Young-Sang Suh, Marine Environment Team, East Sea Fisheries Research Institute, NFRDI, Gangneung 210-861, Korea
Phone: +82-33-660-8530
E-mail: yssuh@nfrdi.re.kr

2. 자료 및 방법

국립수산과학원 동해수산연구소 9개 연안정지관측점에서 매일 오전 10시에 관측하고 있는 표면 수온자료 중 냉수대의 출현빈도가 높은 대표적인 3개 정점인 울기, 감포, 죽변 연안에서 최근 5년간 (2001~2005년) 관측한 자료를 이용하여 연안에 발생하는 냉수대의 발생시기 및 강도를 분석하였다. 그리고 국립수산과학원 동해수산연구소의 동해해양조사 정점에서 (Fig. 1) 격월 간격으로 관측한 수층별 수온자료 중 냉수대의 형성 전후 시기인 6월과 8월 50m 층의 수온자료를 이용하여 북한한류수의 공간적 분포를 분석하였다. 또한 부산 기장에 설치한 계류식 부이에서 관측한 시간별 수온자료를 이용하여 냉수대가 소멸될 때 수온의 시간별 변화를 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 연안에 나타나는 냉수대 현상

연안정지관측점인 울기, 감포 및 죽변에서 최근 5년간 (2001~2005년) 관측한 표면수온을 각각 Fig. 2, Fig. 3 및 Fig. 4에 나타내었다. 또한 국립수산과학원 동해수산연구소 9개 연안정지관측점에서 매일 오전 10시에 관측한 수온자료와 격월별로 관측하는 동해중남부해역의 해양조사에서 측정된 수온자료를 해어황 정보지로 발간하고 있으며¹¹⁻¹⁵⁾, 이들 정보지

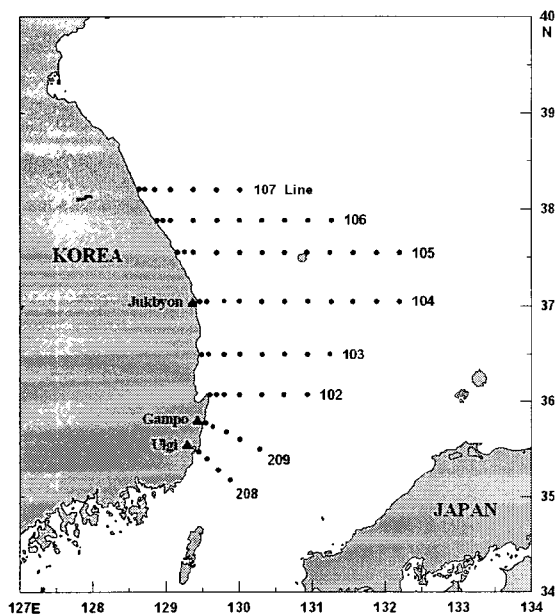


Fig. 1. Study areas with the three coastal stations and serial oceanographic stations of National Fisheries Research and Development Institute.

에 수록한 6, 8월 평년편차도와 수온수평분포도를 보면 2001년, 2004년 및 2005년에는 동해남부 연안 (울기, 감포)에 냉수대가 강하게 형성되었음을 알 수 있었다. 냉수대가 형성될 당시 연안의 표면 수온은 15°C 이하로 나타났으며, 특히 감포가 울기보다 수온이 더 낮게 나타나 2005년 감포의 경우 표면수온이 11.5°C까지 나타났다. 강한 냉수대가 형성될 경우 냉수대 발생 전과 발생시의 수온차이가 약 10°C 정도로 시기적으로 큰 수온 변동을 보였다. 또한 강한 냉수대가 형성될 경우 냉수대의 지속기간은 20일 이상으로 길게 나타났다. 반면 2002년과 2003년에는 냉수대가 약하게 형성되었다¹¹⁻¹⁵⁾. 약한 냉수대가 형성될 경우 표면수온은 17°C 정도로 나타났으며, 냉수대 발생 전과 발생시의 수온차이가 5°C 정도 나타났다. 냉수대의 지속기간은 10일 이하로 나타났으며, 강한 냉수대가 형성된 연도와 비교해볼 때 그 지속기간은 상대적으로 짧게 나타났다 (Fig. 2 및 3).

동해중부연안인 죽변의 경우 2001년도를 제외하고 2002~2005년에 냉수대가 형성되었음을 알 수 있었다 (Fig. 4). 특히 동해남부 연안과 달리 2002년 6월 초순과 2003년 7월 하순에도 냉수대가 형성되었다. 냉수대가 형성될 당시 표면 수온은 15°C 내외로 나타났다. 냉수대의 지속기간은 2004년에 30일(6월 하순~7월 하순) 정도를 제외하고 대부분 10일 정도로 나타나 동해남부 연안보다 지속기간이 비교적 짧았다.

3.2. 냉수대 관련 동해 연근해 수온분포

동해해양조사에서 관측한 수온자료 중 50m 층 6월 및 8월의 수온 수평분포도를 각각 Fig. 5 및 Fig. 6에 나타내었다. 본 연구에서는 냉수대 발생시 가장 빈번하게 나타난 표면 수온이 15°C 이기 때문에 (Fig. 2-4), 50m 층에서 15°C 이하를 냉수대 형성에 미치는 수온대로 보았다.

동해남부 연안에서 냉수대가 발생하기 전인 6월의 경우 50m 층에서 15°C 이하를 보이는 수온 분포의 면적이 2002년과 2003년에 작게 나타난 반면, 2001년, 2004년, 2005년의 경우 면적이 넓게 나타났다. 또한 15°C 이하의 등온선 수평분포 면적이 작게 나타날 경우 15°C 등온선의 북상 정도는 크게 나타났다 (Fig. 5). 따라서 6월에 15°C 등온선이 북상하는 정도로써 동해남부 연안의 냉수대 발생 강도를 추정할 수 있으리라 생각된다.

동해중부연안인 죽변의 경우 2002년과 2003년에 냉수대가 발생하였기 때문에 동해남부 연안과는 달리 15°C 등온선의 북상정도에 영향을 받지 않음을

하계 한국동해안 냉수대 발생의 시공간적 분포특성

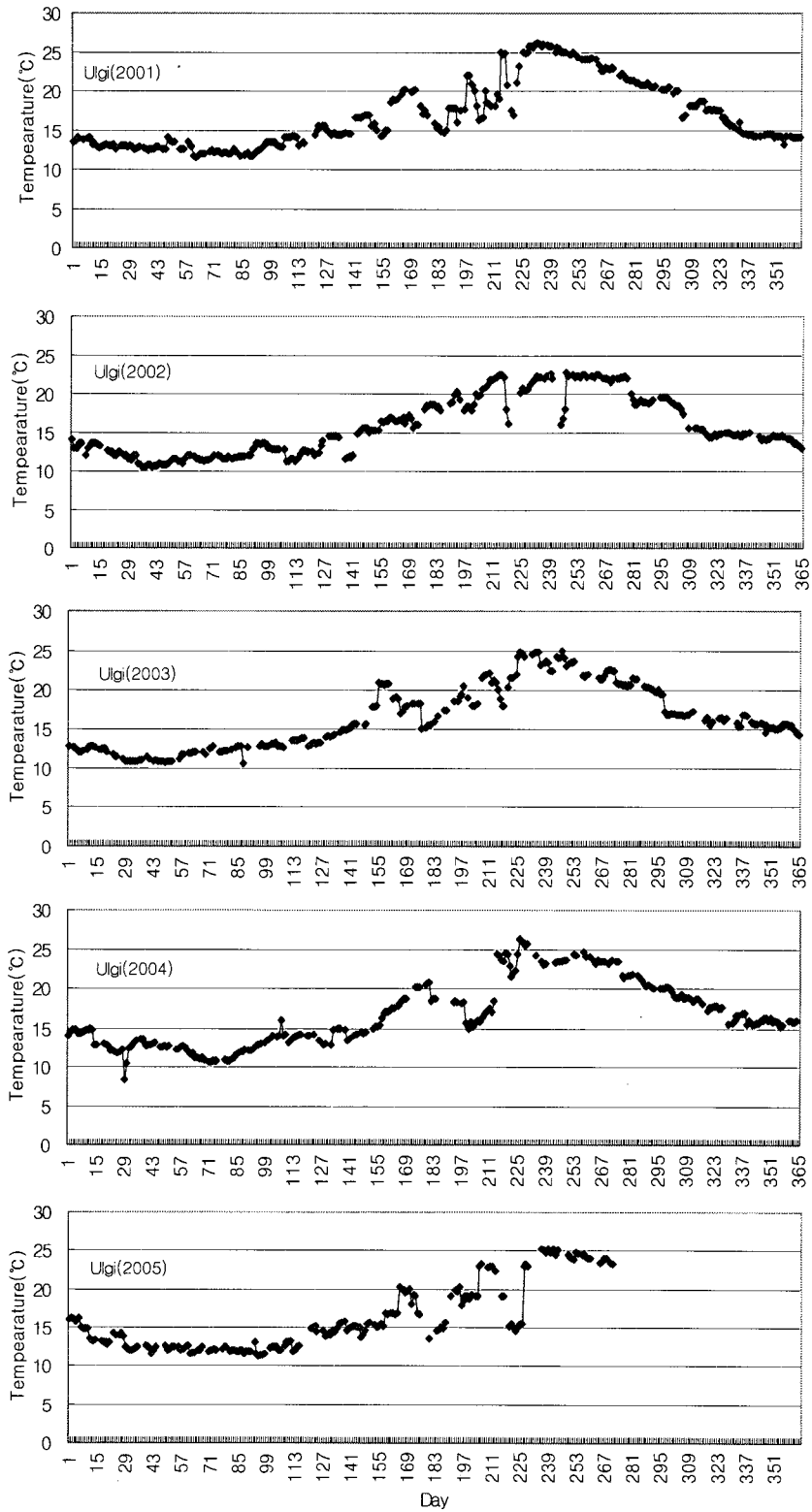


Fig. 2. Daily SST plot diagram in Ulgi from 2001 to 2005.

서영상·황재동

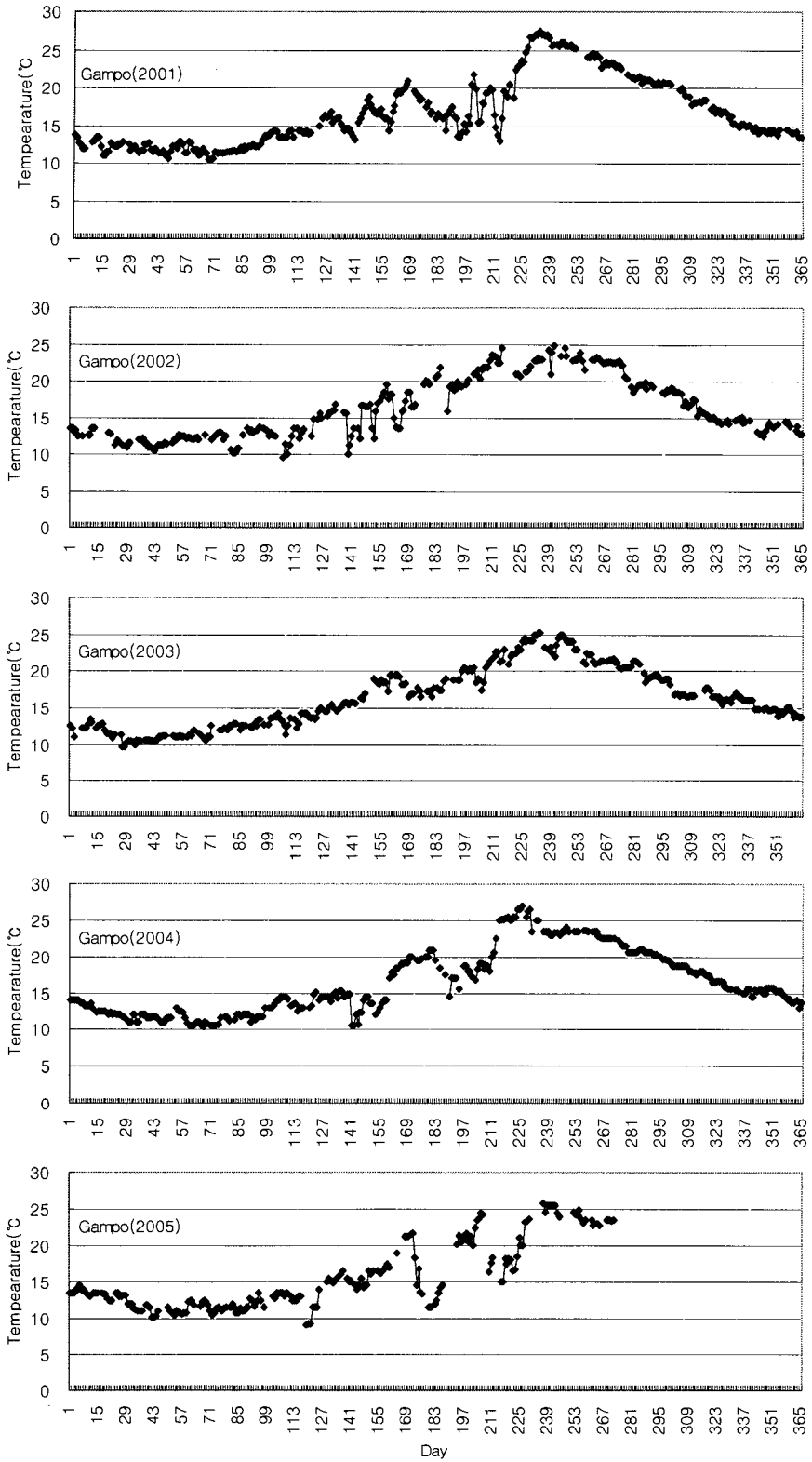


Fig. 3. Daily SST plot diagram in Gampo from 2001 to 2005.

하계 한국동해안 냉수대 발생의 시공간적 분포특성

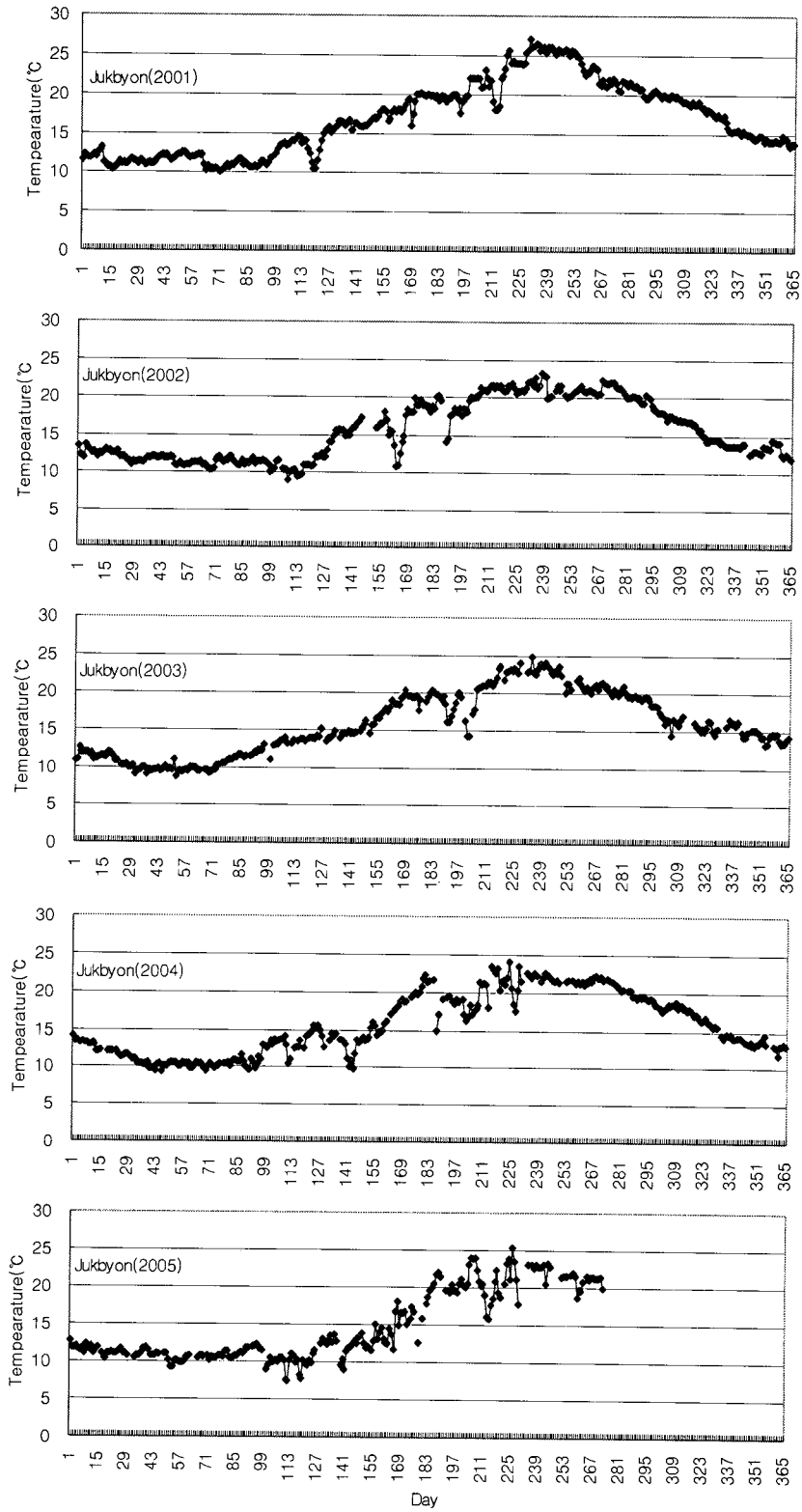


Fig. 4. Daily SST plot diagram in Jukbyon from 2001 to 2005.

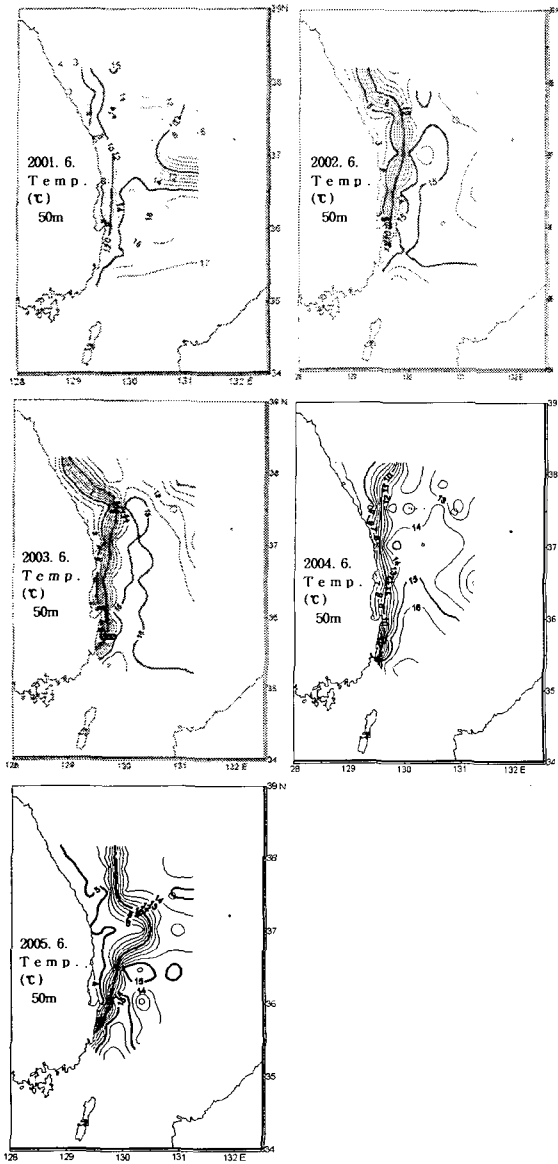


Fig. 5. Horizontal distribution of temperature at 50m in June from 2001 to 2005.

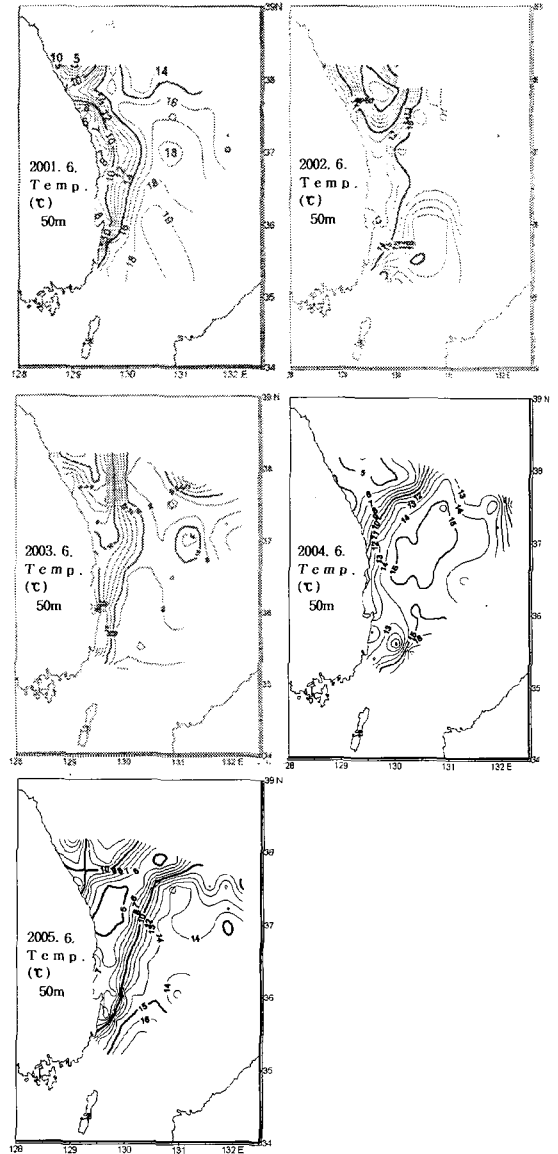


Fig. 6. The same as Figure 5, except for August.

알 수 있다. 그러나 2001년의 경우 6~8°C 정도로 예년에 비해 비교적 따뜻한 수괴가 죽변 연안에 접안을 했으며 (Fig. 5), 이로 인해 죽변 연안에서는 냉수대가 발생하지 않았음을 알 수 있다. 동해중부의 경우 비교적 따뜻한 수온을 유지하며 북상하는 동한난류가 죽변 이북에서는 진행방향으로 점점 깊은 수심 위로 지나가게 된다. 따라서 포텐셜 와도 (식 1)의 보존을 만족시키기 위해 연안에서 외해역으로 벗어났던 동한난류가 다시 육지 쪽으로 회전

을 하게 된다. 이 경우 동한난류가 연안과 접하는 지역이 생겨나게 되며, 이 곳에서는 냉수대가 나타나지 않게 된다. 따라서 동해중부연안은 북한한류수보다는 수심변화에 기인한 동한난류의 회전에 영향을 받음을 알 수 있다.

$$\Phi = \frac{\zeta + f}{H} \quad (1)$$

여기서 Φ 는 포텐셜 와도이며, ζ 는 상대와도로써

$(\frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y})$ 로 나타내며, f 는 전향력이며, H 는 수심을 나타낸다. 즉, 포텐셜 와도는 위도가 크게 변화되지 않는 동해연안의 단거리에서 상대적으로 전향력은 일정한 값을 가지므로, 수심이 깊어지는 정도에 따라 반시계 방향으로 연안 접안형의 동한난류를 발생하게 한다.

50m 층 8월의 경우 동해남부해역에서는 13°C 이상의 수온분포를 보여 (Fig. 6) 6월 보다 3°C 높게 나타났다. 이는 동한난류의 수온이 상승하여 6월보다 8월에 수온이 더 높게 나타나며 50m 층에서도 동한난류의 영향을 받아 6월보다 8월의 수온이 더 높게 나타났다고 생각된다. 따라서 50m 층의 수온 상승에 의해 동해남부 연안에서 8월의 경우 6월보다 냉수대의 발생 정도가 낮게 나타났다. 그러나 2001년과 2005년의 경우에는 동해남부해역 50m 층에 10°C 이상의 수온분포를 보여 2002~2004년 보다 2°C 낮게 나타났다 (Fig. 6). 따라서 2°C 정도 수온이 낮게 나타남에 의해 2001년과 2005년에는 8월에 동해남부 연안에서 냉수대가 상대적으로 강하게 발생하였다. 이 결과로부터 8월 냉수대 발생은 북한한류수의 세기에 많은 영향을 받는 것으로 생각된다.

동해중부해역에 수온의 분포를 보면 동해중부 연안역에 10°C 이상의 수온이 분포하는 경우가 있는 반면 (2002년, 2003년), 10°C 이하의 수온이 분포하는 경우도 있다 (2001년, 2004년 및 2005년). 따라서 2002년과 2003년의 경우 동해중부 연안역에 북한한류수의 세력이 다른 해에 비해 약했다는 것을 알 수 있으며, 이 결과로부터 다른 해와 달리 죽변 연안에서 냉수대가 발생하지 않았음을 알 수 있었다.

특히, 2005년 6월의 경우 50m 층에 다른 해에 비해 북한한류수의 세력이 강하게 나타났다. 따라서 거의 대부분의 동해연안 표층에 냉수대가 발생하였다. 냉수대 발생에 의해 형성된 표층 저수온역은 주변의 해류에 의해 이동하게 된다. 이 결과로 연안역의 표층 저수온역은 연안에서 연근해역으로 이동하며 확장하게 된다. 최근에는 위성원격탐사의 자료 분석을 통해 저수온역의 이동을 실시간으로 감시할 수 있게 되었다. 2005년 6월에 발생한 냉수대로 인해 형성된 저수온역과 해류에 따른 저수온역의 공간적 이동에 대해 NOAA 위성관측 수온영상자료를 Fig. 7에 나타내었다.

3.3. 시간별 냉수대 변동

동해남부 연안인 기장에 설치한 부이에서 관측한 2004년 7월 14일~8월 3일까지 (20일간)의 시간별 표층수온자료를 Fig. 8에 나타내었다. 관측시기 중 7월 18일경에 수온이 14°C까지 내려가던 냉수대가

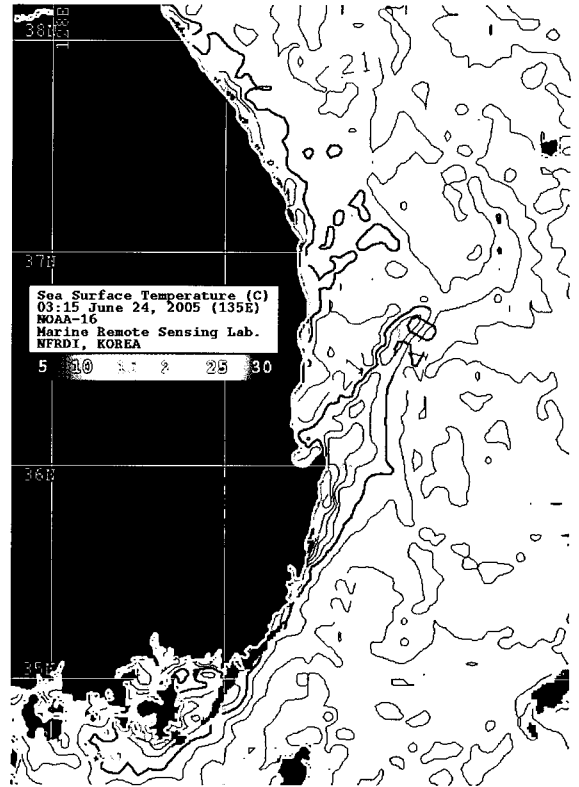


Fig. 7. Cold waters lower than 20°C captured by distribution of sea surface temperature derived from NOAA satellite on June 24, 2005.

형성되었으며, 이 후 표층수온이 상승하여 8월 3일에는 26°C까지 올라가 냉수대가 소멸 되었다. 일별 연안정지관측 표면수온자료와는 달리 시간별 자료에서 냉수대가 소멸되는 기간 중에는 시간당 2°C 수온 상승을 보이는 등 하루 단위 내에서도 5°C 정도의 급상승 또는 급하강으로 인한 수온의 변동 폭이 크게 나타났다.

4. 결 론

동해남부 연안에서 냉수대가 형성될 경우 표면수온은 대부분의 경우 15°C 이하로 나타났다. 따라서 50m 층에서 15°C 이하의 수괴가 냉수대의 형성에 영향을 주는 수온대로 가정해 볼 수 있었다. 이러한 조건을 기반으로, 냉수대가 약하게 형성된 2002년도와 강하게 형성된 2005년의 경우에 대해 살펴보았다.

6월 50m 층에서 15°C 이하의 수괴면적을 비교해보면, 2002년도에 면적이 가장 작게 나타났으며, 냉수대 발생도 소규모로 나타났다. 이와 연관된 15°C 등온선의 위도별 분포 위치는 2002년이 2005년보다

2004. 7. 14 11:00 - 8.3 09:00

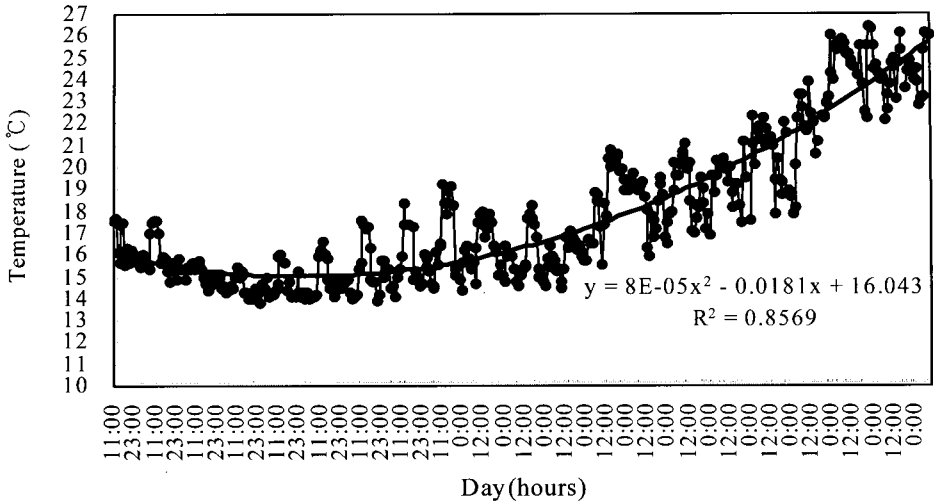


Fig. 8. Hourly variations of sea surface temperature measured from the Seabird CTD on the deployed buoy system at Kijang in the southeastern coastal water from July 14 to August 3 in 2004.

좁은 면적이지만 많이 복잡함을 보였다. 그러나 동해중부연안에서 냉수대의 발생 정도는 북한한류의 영향뿐만 아니라 동한난류의 회전에 의한 연안접안 위치에 따라 영향을 더 많이 받는 것으로 추정된다.

8월의 경우 동해중부 해역의 냉수대 출현은 수심 50m 층을 중심으로 10°C 이하의 수괴가 연안에 형성되는 유무에 따라 좌우될 수 있다. 실제 연안 50m 층에서 10°C 이하의 수괴가 형성되는 해에는 동해 중부연안의 해수표면에 냉수대가 나타났다. 이렇게 표면으로 노출된 냉수대는 주변해류에 의해 연안에서 연근해역으로 이동 확산되었다.

현장원격관측부이에서 관측한 시간별 표층 수온 자료에 의하면 냉수대의 발생과 소멸과정에 있어 수온의 변화는 점진적으로 변하는 것이 아니라 하루정도의 시간스케일을 가지며 최대 4~5°C 정도의 진동폭을 가지며 급격하게 상승하는 것으로 나타났다. 따라서 냉수대가 연안 양식장에 발생할 경우 하루의 시간범위 이내라도 수온이 급 변동하게 됨으로 양식장에서 대량폐사를 유발될 수 있다. 따라서 향후 양식장에 실시간 수온자료를 측정 제공할 수 있는 냉수대 모니터링 원격탐사 시스템의 설치가 대량폐사를 막을 수 있으리라 기대한다.

감사의 글

본 연구는 국립수산과학원 동해수산연구소에서 수행 중인 사업과제(동해해양환경연구, RP-2005-ME-032)의 일부 결과입니다. 또한 힘든 환경임에도 불구하고 열심히 연안수온을 관측해주시는 분들과 동

해수산연구소 해양환경팀에게 지면을 빌려 감사드립니다.

참 고 문 헌

- 1) Hahn, S. D., Y. S. Suh and Y. H. Ahn, 1995, Mapping cold water zone and warning service for aquaculture groups at the southeastern coast of Korean peninsula, In Proceeding of International Symposium on Remote Sensing, 11th Fall Symposium of KSRS, pp. 67-74.
- 2) 김철호, 김구, 1983, 한국 동해안에 출현하는 냉수괴의 특성과 기원, 한국해양학회지, 18(1), 73-83.
- 3) Lim, D. B. and S. Chang, 1969, On the cold water mass in the Korea strait, J. Oceanol. Soc. Korea, 4, 71-82.
- 4) Lee, K. B., 1978, Study on the coastal cold water near Ulsan, J. Oceanol. Soc. Korea, 13, 5-10.
- 5) Lee, J. C. and J. Y. Na, 1985, Structure of upwelling off the southeast coast of Korea, J. Oceanol. Soc. Korea, 20(3), 6-19.
- 6) Seung, Y. H., 1974, A dynamic consideration on the temperature distribution in the east coast of Korea in August, J. Oceanol. Soc. Korea, 9, 52-58(in Korean).
- 7) Lee, J. C., 1983, Variations of sea level and sea surface temperature associated with wind

- induced upwelling in the southeast coast of Korea in summer, J. Oceanol. Soc. Korea, 18(2), 149-160.
- 8) Byun, S. K., 1989, Sea surface cold water near the southeastern coast of Korea: Wind effect, J. Oceanol. Soc. Korea, 24(3), 121-131.
- 9) 이동규, 권재열, 한상복, 1998, 감포-울기 연안해역에서 발생하는 냉수대 현상과 해상풍과의 관계, 한국수산학회지, 31(3), 359-371.
- 10) 서영상, 장이현, 황재동, 2001, 하계 동해연안역에서 발생하는 냉수역의 시공간적 변동 특성, 한국수산학회지, 35(5), 435-444.
- 11) 동해수산연구소, 2001, 2001년 춘계 한국동해 해양정보, 동해수연 해양자원조사보고, 41.
- 12) 동해수산연구소, 2002, 동해 해어황 정보, 동해수연 해어황 정보지, 49.
- 13) 동해수산연구소, 2003, 동해 해어황 정보, 동해수연 해어황 정보지, 55.
- 14) 동해수산연구소, 2004, 동해 해어황 정보, 동해수연 해어황 정보지, 63.
- 15) 동해수산연구소, 2005, 동해 해어황 정보, 동해수연 해어황 정보지, 72.