

## 위성원격탐사를 이용한 동해 원산연안의 재발생 와동류 연구

서영상 · 장이현 · 김정희\*

국립수산진흥원 원격탐사실, 기상청 원격탐사과\*

### Study of a Recurring Anticyclonic Eddy off Wonsan Coast in Northern Korea Using Satellite Tracking Drifter, Satellite Ocean Color and Sea Surface Temperature Imagery

Young-Sang Suh, Lee-Hyun Jang and Jeong-Hee Kim\*

Marine Remote Sensing Laboratory, National Fisheries Research and Development Institute

Remote Sensing Division, Korea Meteorological Administration\*

**Abstract :** Even though recurring eddies at the terminal end of the East Korean Warm Current have been identified in the thermal infrared imagery from the NOAA/AVHRR sensor and ocean color data from Orbview-2/SeaWiFS sensor, it is difficult to make observation in the field regarding recurring eddies located around the Wonsan coastal area in North Korea. But we could get in situ data related to an eddy from an ARGOS satellite tracking drifter trapped in the eddy on January 4th, 1999.

An ARGOS drifter, a NOAA satellite tracked buoy was trapped by the eddy during January 4th - March 18, 1999. The ARGOS drifter rotated 10 times per 72 days on the edge of the eddy located at 39°N, 129°E. The diameter of the eddy was about 100 km. The horizontal rotation velocity of the recurring cold-core anti-cyclonic eddy was 1.53 km/h (42 cm/sec). The sea surface temperatures of the eddy varied from 14.7°C on January 5, 1999 to 9.6°C on March 18, 1999.

To study the mechanism of the recurring eddy, we tried to find out the relationship between the vector of the drifter moving in the eddy and the wind vector in Sokcho and Ulleung Island located near the eddy in southern Korea, and the difference in sea level between Ulleung Island and Mukho.

We hope the results of this study would be useful for calibration and validation data of simulation and numerical modeling studies of the recurring eddy.

**Key Words :** Recurring Eddy, ARGOS Drifter, NOAA/AVHRR, Orbview-2/SeaWiFS, Satellite Remote Sensing

**요약 :** 위성자료를 이용하여 동해북부 원산 연근해역의 재발생 와동류에 대한 형태변동, 유속, 발생기작 등을 연구하였다. 1999년 1월 4일부터 3월 18일까지의 기간에 대한 ARGOS의 표류부이 자료(위치정보 및 수온), NOAA 위성의 AVHRR 자료(표면수온) 그리고 Orbview-2 위성의 SeaWiFS 자료(클로로필 a)를 이용하여 재발생 와동류의 수평공간 규모를 파악하였다. 또한 재발생 와동류의 기작과 변동원인을 규명하고자 속초와 울릉도에서의 풍향, 풍속자료, 목호-울릉도간 해수면 차 값 및

해저지형과 와동류에 포획되어 있는 표류부이의 시·공간적 위치변동간의 상관정도를 파악하였다.

원산 연안해역에서의 와동류의 72일간 평균유속은 1.53 km/h (42 cm/sec)로 분석되었다. 이 와동류는 cold core, 시계방향의 회전, 직경 110 km의 수평공간을 가진 재발생 와동류로서 와동류의 중심은 위도 39°N, 경도 129°E로 분석되었다.

## 1. 서론

동해에는 다양한 형태의 와동류가 형성, 변동 및 소멸되고 있다 (An *et al.*, 1994; Ichiye and Takano, 1988; Shin *et al.*, 1995). 이 중 매년 동일 해역에서 거의 같은 규모로 재발생하는 와동류 (recurring eddy)도 있다. 위성 원격탐사기법을 활용하여 최근 이러한 재발생 와동류의 존재와 개략적 계절변동 양상, 형성 요인이 일부 연구되었다 (Suh *et al.*, 1999). 그러나 북한 의 원산 인근해역에서 발생하는 와동류는 지리적인 여건으로 인해 실제로 현장 해양관측조사를 통한 정보의 취득은 어렵다. 그러므로 북한 인접 해역 및 동해중북부 해역에서 발생하여 변동하는 와동류 및 해류순환에 대해서 여러 가지의 수치모델링에 의존한 연구만이 진행되었다 (Lim and Kim, 1995; Kim and Chung, 1989).

따라서, 본 연구에서는 위성관측 영상에 의한 재발생 와동류의 형태변동과 위성추적 ARGOS 표류부이 자료에 의한 정확한 실측 유속의 정량화 및 와동류 발생기작의 주요 요인들을 규명하는데 목적을 두었다.

## 2. 자료 및 방법

본 연구에 이용한 ARGOS 표류부이 궤적자료는 수산진흥원이 1998년 12월 9일에서 1999년 7월 4일까지 위성 추적하여 구한 자료 중 연구대상 지역인 동해북부의 와동류 발생지에서 추적된 1999년 1월 4일에서 3월 18일까지 기간의 자료이다. 이

기간의 자료를 이용하여 와동류를 따라 표류되었던 표류부이의 위치 및 표면수온에 대한 각각의 정보를 구하였다(Fig. 1). 위성관측 표류부이의 위치와 시간차를 이용해 와동류의 회전유속을 산정하였으며, 표류부이의 일별 수온 측정자료를 조사하여 와동류내의 표면수온 구조 특성을 재구현하였다.

NOAA/AVHRR 자료(표면수온)와 Orbview-2/SeaWiFS 자료(클로로필 a)를 Terascan S/W로 처리하여(SeaSpace, 1993; McClain *et al.*, 1995) 재발생 와동류의 수평공간 규모를 파악하였으며, NOAA 위성이 관측한 와동류의 표면수온과 ARGOS 표류부이가 관측한 와동류의 표면수온을 비교 및 검증하였다.

표류부이 이동에 대한 취송류의 간접적인 영향을 파악하기 위해 원산 인근해와 비교적 근접한 속초 및 울릉도의 일별 풍향, 풍속자료를 이용하였다. 이때 표류부이의 유속과 울릉도 및 속초의 풍속을 북향 또는 동향성분으로 나누어 동일 시점에서의 표류부이에 대한 바람의 기여도를 조사하였다(Fig. 6).

표류부이 위치의 수평적 공간변동에 대한 영향을 파악하고자 울릉도와 묵호간의 일별 해수면 차와 표류부이 흐름 성분간의 상관관계를 알아보았다(Fig. 7). 지역적으로 지형의 불규칙적 특성을 가지는 해중산(seamount) 또는 기요(guyot) 등은 일반적으로 해류를 편향시키는 요소의 하나로 작용한다 (Smith, 1986). 따라서 Terascan S/W 내에 Data base화 되어있는 Central Intelligence Agency (CIA) 해저지형 정보를 사용하여 재발생 와동류와 해저지형간의 관계성을 조사하였다.

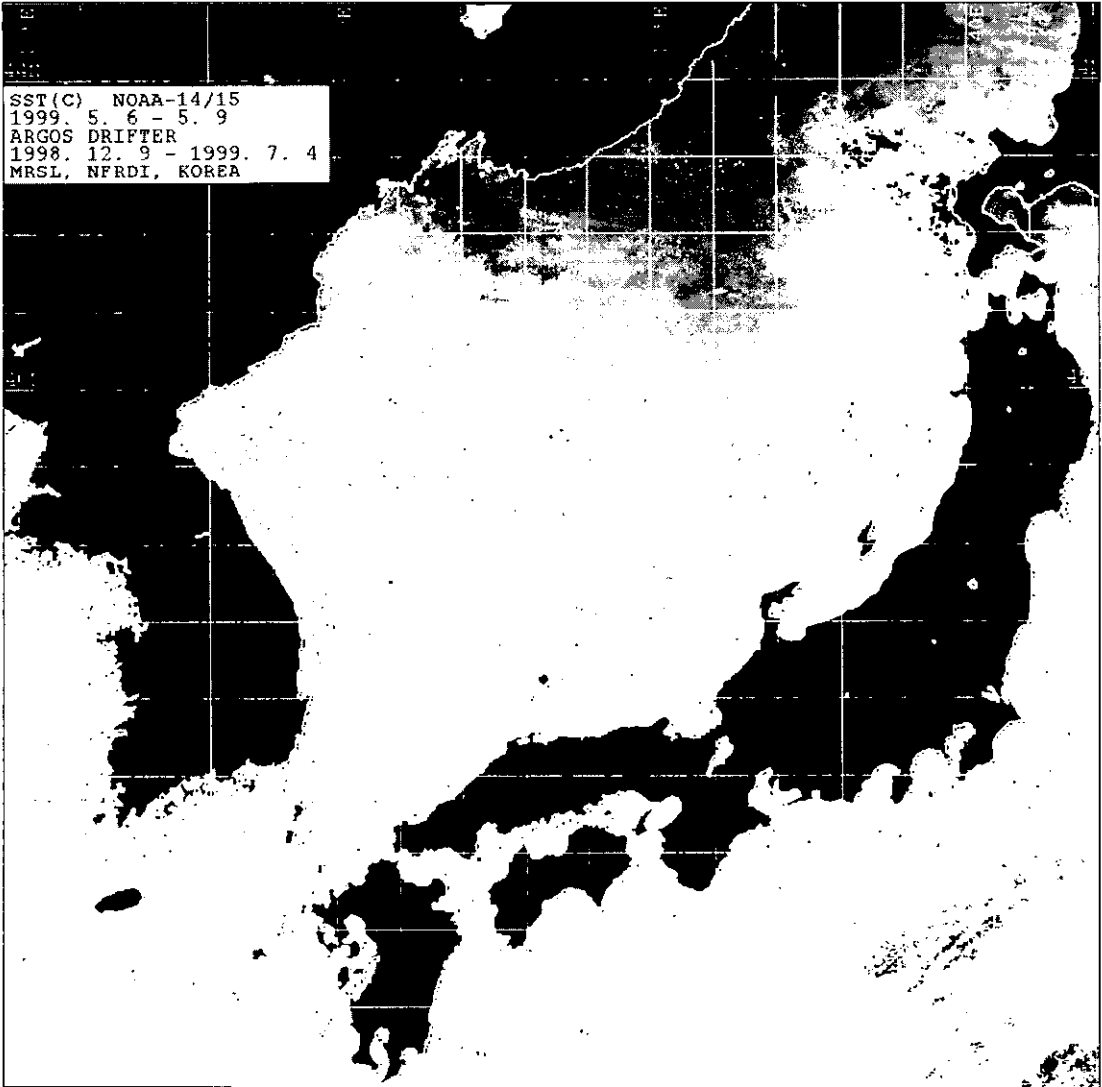


Fig. 1. NOAA-14 and NOAA-15 composite SST during 6th May - 9th May in 1999 for the East Sea. Trajectory of the ARGOS-tracked drift buoy is shown during December 9, 1998 - July 4, 1999.

### 3. 결과 및 고찰

Fig. 2는 한국동해에 대한 NOAA/AVHRR의 표면수온 영상 및 Orbview-2/SeaWiFS의 클로로필  $\alpha$  영상을 나타낸다. 위성 영상자료로 확인되는 중 규모 소용돌이는 해마다 규칙적으로 재발생하는 와동류(recurring eddy)이다. 이러한 재발생 와동류의 중심은 대략 위도  $39^{\circ}\text{N}$ , 경도  $129^{\circ}\text{E}$ 이며, 주변보다 차가운 물로 형성되어 있고(Fig. 2a), 비교적

고농도의 클로로필 a량이 시계방향으로 회전하는 와동류의 가장자리 물흐름에 의해 집중되고 있다(Fig. 2b). 시계방향으로 회전하는 와동류의 가장자리는 동한난류(East Korea Warm Current)의 끝부분으로 더운물의 환류 형태로 나타나고 있다.

와동류의 회전유속 및 수평 유속분포를 파악하고자 ARGOS 표류부이 위치자료를 분석하여 와동류에 포획된 시기동안의 표류부이 이동 궤적(Fig. 3)과 표류부이 1회전당 흐름정보(Table 1)를 구하

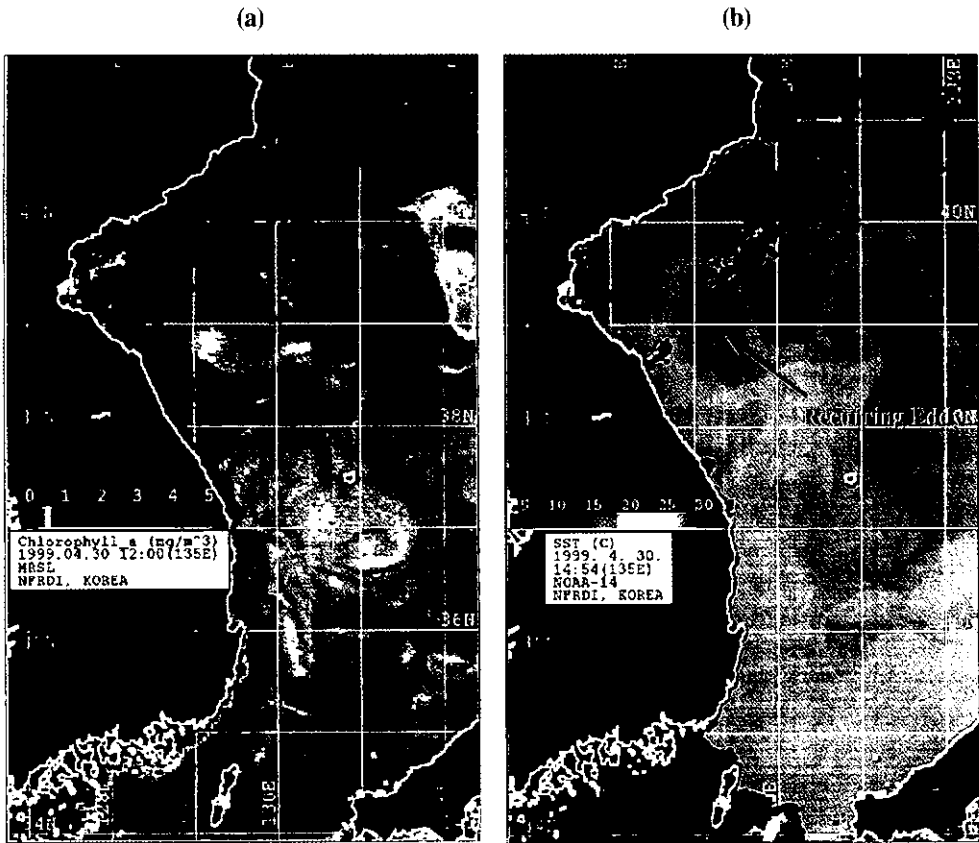


Fig. 2. Surface chlorophyll a distribution (a) from SeaWiFS sensor and NOAA AVHRR SST distribution (b) off the east coast of Korea on April 30, 1999.

Table 1. Period, moving distance, duration and mean velocity of the ARGOS drifter in the recurring eddy.

	Period (month/day)	Moving Distance(km)	Time (hour) [Days]	Mean Velocity (km/hour)
a	1/ 4~1/21	460.33	408.20 [17]	1.13
b	1/21~1/27	217.50	142.87 [ 6]	1.52
c	1/27~2/ 1	147.31	119.08 [ 5]	1.24
d	2/ 1~2/ 6	126.64	122.84 [ 5]	1.03
e	2/ 6~2/12	179.26	142.44 [ 6]	1.26
f	2/12~2/18	235.21	142.90 [ 6]	1.65
g	2/18~2/25	337.14	170.37 [ 7]	1.98
h	2/25~3/ 4	324.77	166.38 [ 7]	1.95
i	3/ 4~3/13	372.77	216.00 [ 9]	1.73
j	3/13~3/18	223.51	120.77 [ 4]	1.85
mean		262.44	175.18 [7.2]	1.53

었다. 표류부이는 와동류내에서 시계방향으로 총 10회 회전하였으며, 이때 표류속도로 추정된 와동류의 평균유속은 1.53 km/h(42 cm/sec)였다. 표류부이가 와동류에 포획되거나 벗어나는 시기의 유속은 표류부이가 와동류 중심부근에서 회전하는 시기의 유속에(Fig. 3c, d, e) 비해 상대적으로 크게 나타났다. 또한 경도 129°E를 중심으로 서편 와동류 가장자리의 북향성분 유속과 동편 와동류 가장자리의 남향성분의 유속 세기는 1.54 km/h로 비슷하였으며(Fig. 4). 이로 인해 재발생 와동류의 위치 변동이 거의 없는 것으로 판단된다.

와동류의 표면수온 및 수평분포 변동을 보다 면밀히 알아보고자 표류부이가 관측한 표면수온 자료를 분석하였다(Fig. 5a). 재발생 와동류의 가

Study of a Recurring Anticyclonic Eddy off Wonsan Coast in Northern Korea Using Satellite Tracking Drifter, Satellite Ocean Color and Sea Surface Temperature Imagery

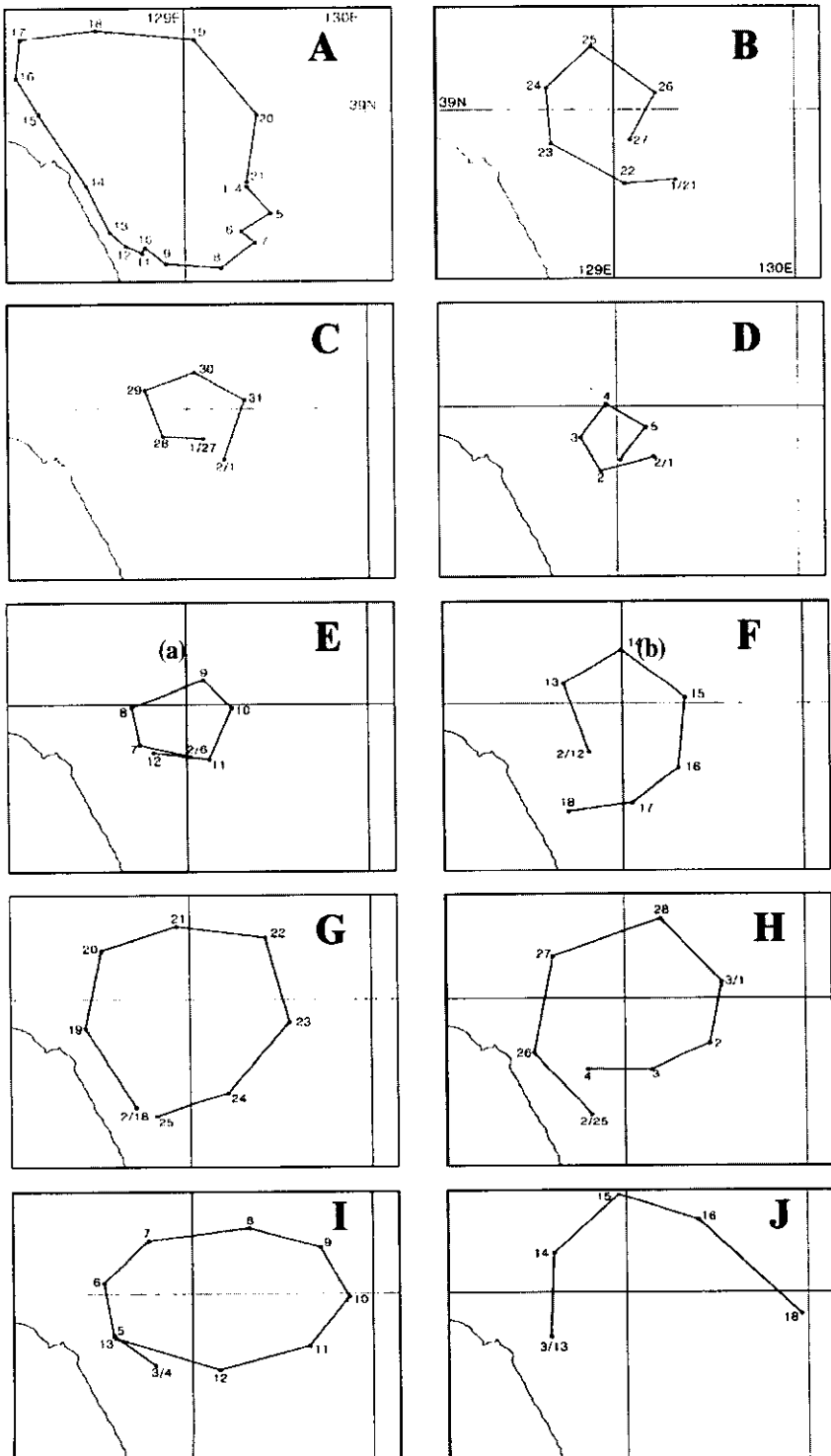


Fig. 3. Tracks of ARGOS drifter during the January 4, - March 18, 1999 revealed how the buoy follows the recurring eddy.

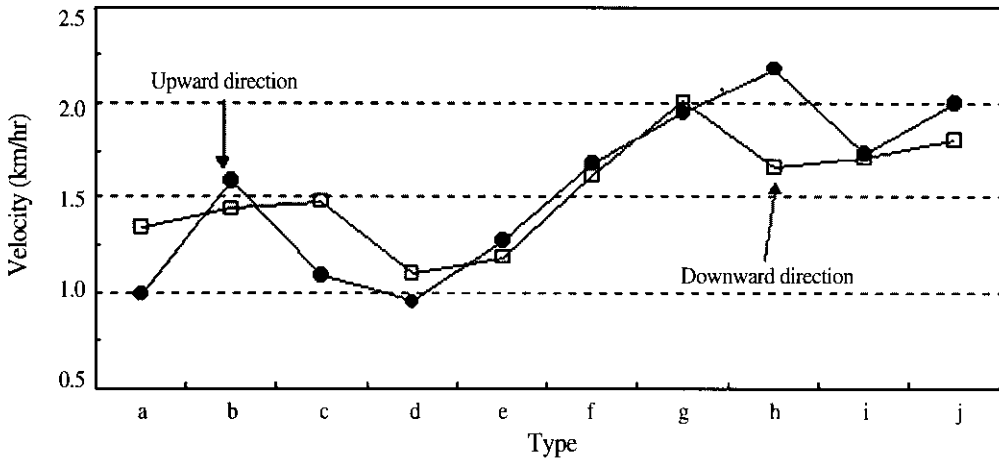


Fig. 4. Velocity of the upward direction (from south to north) and downward direction movement (from north to south) of the ARGOS buoy moving in the recurring eddy.

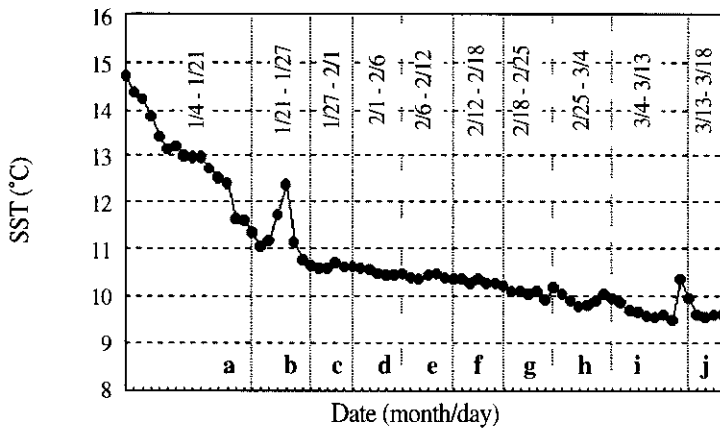


Fig. 5a. SST measured from the ARGOS drifter which was trapped in the recurring eddy around the offshore of Wonsan bay in the East Sea from January 4 - March 18, 1999.

장 자리에 해당하는 환형의 더운물 표면수온은 1999년 1월초에 15°C였으나 1999년 3월 중순에는 9.5°C로 낮아지는 시간적 변화를 보였다. 또한 표류부이가 와동류의 가장자리로 포획되기 시작한 시점(1월 4일)의 표면수온은 약 15°C였으나, 와동류의 중심으로 갈수록 수온이 급격히 감소하여 와동류 중심이 와동류의 가장자리에 비해 차가운 것을 알 수 있었다. 또한 와동류의 b type과 i type에서 수온의 급상은 동해 연안에서 와동류의 서편 가장자리를 따라 북상하여 시계방향으로 완전히

회전 후 재출발하는 시점(b type의 1월 21~22일)과 북상하는 동한난류의 주류를 만나는 시점(i type의 3월 12~13일)에서 발생하였다(Fig. 5a). Fig. 5b는 1월에서 3월 중순까지 표류부이가 관측한 표면수온의 수평분포를 나타내는데, 와동류가 시간의 경과에도 불구하고 일정한 형태를 유지하였다. 즉, 이 와동류는 일시적인 성장과 소멸의 양상을 보이는 것(filament type)과는 달리 장축과 단축의 규모가 거의 동일한 형태(complete type)로 나타났다 (Tameishi, 1997).

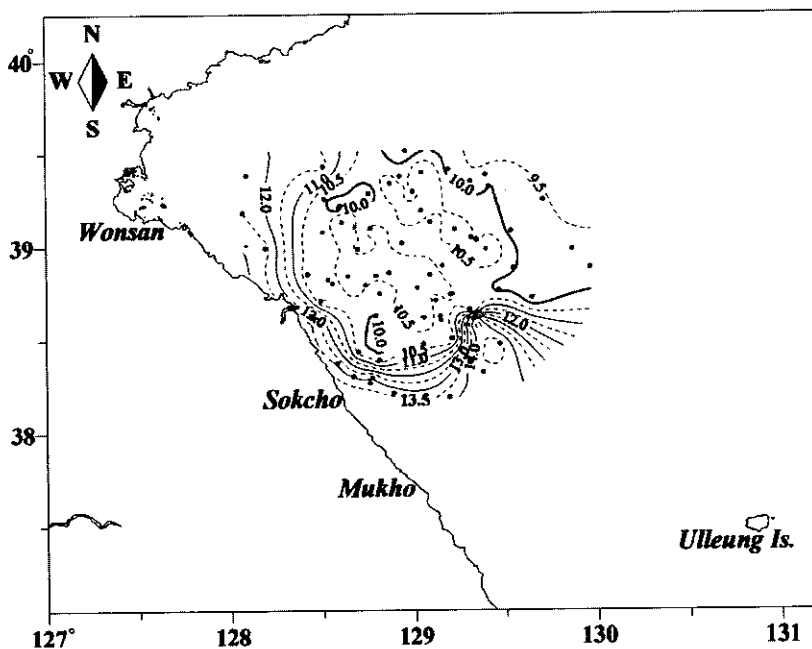


Fig. 5b. Distribution of sea surface temperature from the measurement of the ARGOS drifter off the Wonsan bay in the East Sea from January 4 - March 18, 1999.

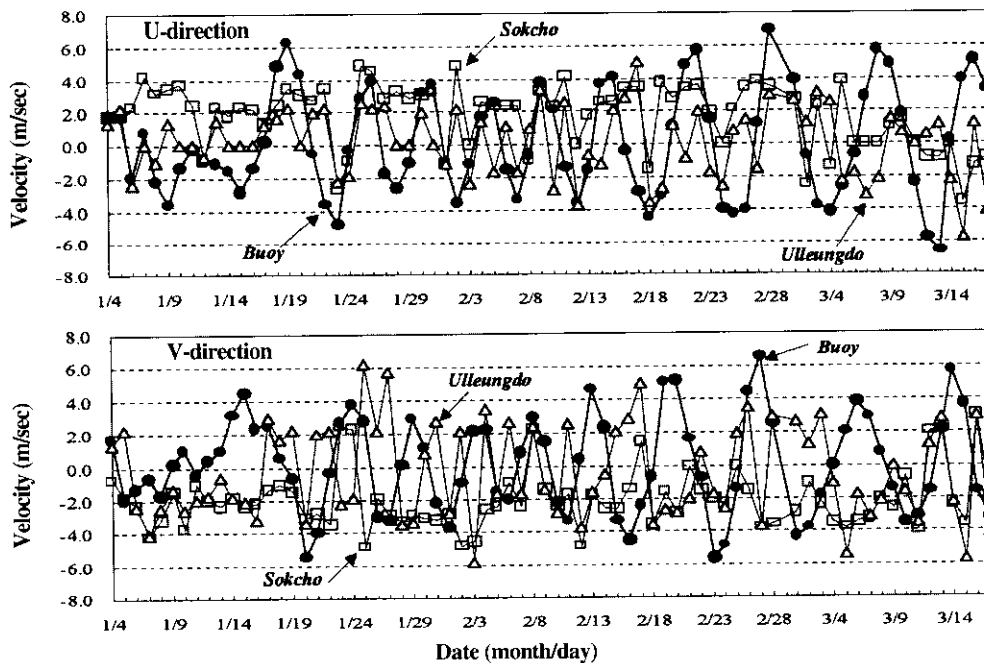


Fig. 6. Relationship between the U and V components of wind at Ulleungdo, Sokcho city and the velocity of ARGOS drifter trapped in the recurring eddy from January 4 - March 18, 1999.

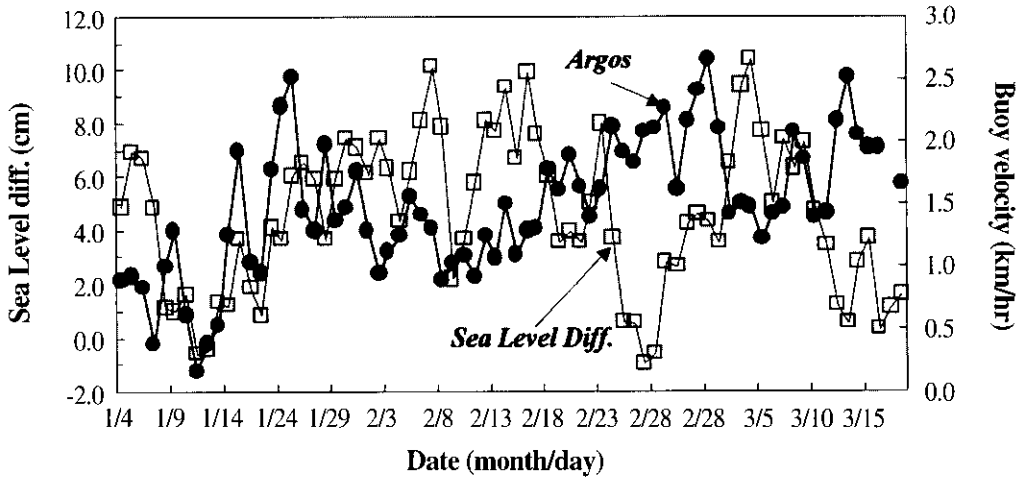


Fig. 7. Relationship between the sea level difference of Mukho-Ulleungdo and the velocity of ARGOS drifter in the recurring eddy for January 4 - March 18, 1999.

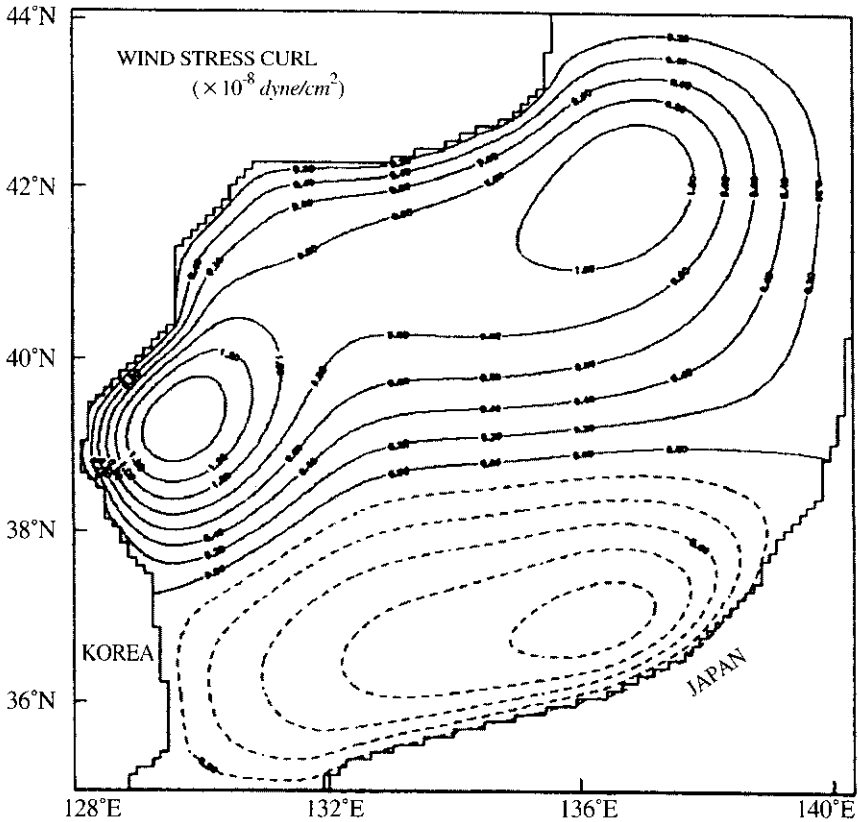


Fig. 8. Annual average wind stress curl used in the model. This structure approximates with two positive maxima in the northern part and near the Wonsan Bay, and negative curl in the southern part of the East Sea (Na, et al., 1992).



재발생 와동류의 기작 및 변동원인을 파악하기 위하여 속초 및 울릉도의 바람성분과 표류부이의 계절성분간의 상관성을 Fig. 6에 나타내었다. 묵호의 해수면이 울릉도의 해수면보다 낮으면 울릉도-묵호간 해역을 지나는 동한난류의 세력이 강하고, 반대로 해수면이 높으면 북상하는 동한난류의 세기가 약해져서 재발생 와동류의 회전력에 영향을 미칠 것으로 가정하고 묵호와 울릉도간의 해수면차와 표류부이 이동성분간의 상관성을 분석하였다(Fig. 7).

재발생 와동류의 중심위치와 크기는 Na et al (1992)에 의한 중규모적 연평균 바람응력의 크기(Fig. 8)와 잘 일치하였으나, 속초와 울릉도의 국

지적인 바람성분과는 상관이 낮음( $r=0.2$  이하)을 확인할 수 있었다.

재발생 와동류의 유속 및 공간적 크기 변동과 관련이 있을 것으로 사료된 묵호-울릉도간 해수면차 성분 역시 와동류의 발생해역과의 공간적 불일치 및 와동류 발생을 고려하기에는 제한된 국지적인 공간 규모로 매우 낮은 상관관계를 보였다. 그러므로 와동류의 기작은 중규모 이상의 바람응력의 형성과는 관계가 있으나 중규모 이하의 해수위 및 바람의 변동과는 상관이 낮다는 결론을 얻었다.

와동류와 해저지형과의 상호작용에 관한 연구에 의하면 와동류의 기작 및 운동과정에 해저지형이 중요한 역할을 했다(Lim and Kim, 1995). 동해북부의 와동류와 해저지형간의 관계를 살펴본 결과, 해저지형의 1000m~1500m 등수심의 분포형태와 재발생 와동류의 수평 공간분포가 매우 유사한 형태를 보였다(Fig. 9).

#### 4. 결론

본 연구에서는 위성추적 ARGOS 표류부이 및 위성 원격탐사 자료 등을 이용하여 동해북부 원산 연근해역에서 매년 재발생하는 와동류의 실재 존재와 명확한 변동상황을 규명하였다.

원산 연안의 재발생 와동류는 첫째, 시계방향으로 회전하며 평균유속이 1.53km/h(42cm/sec)이다. 둘째, 그 중심은 대략 위도 39°N, 경도 129°E이다. 셋째, 와동류의 발생은 중규모 스케일 이상의 해양 및 대기운동이나 와동류 발생해역의 지형적인 특성에 밀접한 관련이 있는 것으로 사료된다.

본 연구의 재발생 와동류는 일시적인 성장과 소멸의 양상을 보이는 것과는 달리 장축과 단축의 규모가 거의 동일한 형태로 나타나는 와동류의 공간변동 특성을 가지고 있음을 확인할 수 있었다.

수치모델링 등 유추적 기법으로만 추측할 수 있었던 동해북부 해역의 와동류 및 수평흐름의 연구에 본 연구결과가 중요한 검·보정의 기준 자료로 활용되었으면 한다.

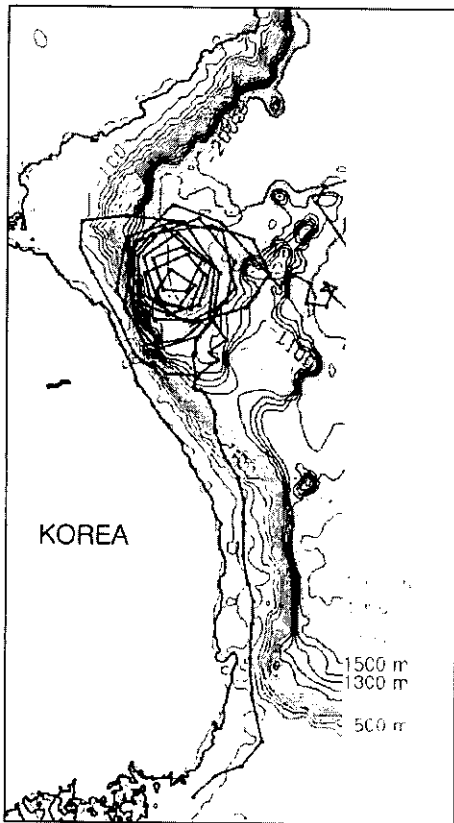


Fig. 9. Interaction of the recurring eddy with the bottom topography near the Wonsan bay of the East Sea. A basin of approximately 1500m depth is centered at 39° 15' N and 129° 15' E.

## 참고문헌

- An, H. S., K. S. Shim and H. R. Shin, 1994, On the warm eddies in the southwestern part of the East Sea, *J. Oceanol. Soc. Korea*, 29: 152-163.
- Ichiye, T. and K. Takano, 1988, Mesoscale eddies in the Japan sea, *La mer*, 26: 69-75.
- Kim, Y. E. and J. Y. Chung, 1989, Numerical study of the circulation in the Japan Sea, I. Case of closed basin, *J. Oceanol. Soc. Korea*, 24(2): 96-108.
- Lim, K. S. and K. Kim, 1995, A numerical study on the interaction of Ulleung Warm Eddy with topography and lateral boundary, *J. Oceanol. Soc. Korea*, 30(6): 565-582.
- McClain, C. R., H. Evans, J. W. Brown and M. Darzi, 1995, SeaWiFS quality control masks and flags: initial algorithms and implementation strategy, 28: SeaWiFS Algorithms, Part 1, SeaWiFS Technical Report Series, NASA TM 104566.
- Na, J. Y., J. W. Seo and S. K. Han, 1992, Monthly-mean sea surface winds over the adjacent seas of the Korea peninsular, *J. Oceanol. Soc. Korea*, 27: 1-10.
- SeaSpace, 1993, Terascan Packang Manual, 2.4, 388pp.
- Shin, H. R., S. K. Byun, C. S. Kim, S. C. Hwang and C. W. Shin, 1995, The characteristics of structure of warm eddy observed to the Northwest Ulleungdo in 1992, *J. Oceanol. Soc. Korea*, 30: 39-56.
- Smith, D. C. 1986, A numerical study of Loop current eddy interaction with topography in the western Gulf of Mexico, *J. Phys. Oceanogr.* 16: 1260-1272.
- Suh, Y. S., B. G. Mitchell and K. S. Lim, 1999, A recurring eddy off the Korean Northeast coast captured on satellite ocean color and sea surface temperature imagery, *J. Kor. Soc. Remote Sensing*, 15(2): 175-181.
- Tameishi, H., 1987, Application of satellite NOAA image for fisheries, *Bull. Japan Soc. Sci. Fish.*, 51: 238-244 (In Japanese).