

## 인공위성 적외선 영상으로부터 구한 한국 동해의 와동류 분포

민덕홍 · 이재철 · 심태보\* · 이형선\*\*

부산수산대학교 해양학과

\*국방과학연구소

\*\*해군사관학교

### Eddy Distribution off the East Coast of Korea Derived from Satellite Infrared Imagery

Dug-Hong MIN, Jae Chul LEE, Tae-Bo SHIM\* and Hyong-Sun LEE

Department of Oceanography, National Fisheries University of Pusan, Pusan 608-737, Korea

\*Agency for Defence Development, Chinhae 645-016, Korea

\*\*Korea Naval Academy, Chinhae 645-797, Korea

Satellite infrared images were analyzed to study the distribution of eddies off the east coast of Korea from 1987 to 1991. Most of the eddies were filament-type and were generated near the fringe of the East Korea Warm Current (EKWC) flowing northward. Eddies having length of 20~40km and width of 10~20km were most abundant. The meso-scale eddies of 100~200km in diameter were found between Mukho and Wonsan Bay in almost all the images. There was no evidence for the consistent movement of eddies to a definite direction. The Ulleung Warm Eddy, although reported previously by the hydrographic data, could not be identified by the limited amount of infrared imagery.

Key words : infrared images, eddy, filament-type, East Korea Warm Current

### 서 론

한국 동해 연안해역의 와동류에 대한 연구는 1980년대 후반부터 활발해졌는데 울릉도 부근의 난수와에 대한 것이 대부분이었다(Na, 1988; Seung et al., 1990; Cho et al., 1990; Kang and Kang, 1990; Kim, 1991; Kim et al., 1991a; Kim et al., 1991b). 이러한 연구에 가장 많이 사용된 해양자료는 국립수산진흥원의 격월 정선관측자료인데 특히 An et al. (1994)은 1967년부터 1986년까지의 국립수산진흥원 자료를 이용하여 이 난수성 소용돌이의 구조, 분포 및 이동 특성에 대하여 연구하였다. 수산진흥원의 관측은 일정한 위치에서 정기적으로 이루어졌다는 장점이 있으나 38°12.6' 이북해역의 자료가 없으므로 극전선 및 그 이북해역의 와동류를 연구하기가 어렵다. 그리고 2개월보다 수명이 짧은 와동류의 시간적 변화를 알 수가 없고 관측

점 사이의 거리보다 작은 소규모 와동류의 분포를 파악할 수 없다. 그러므로 와동류 연구에 있어서 가장 기본적이고 우선적인 와동류의 분포에 대한 통계적인 연구를 위해서는 공간적인 제약을 덜 받는 인공위성 영상자료를 이용하는 것이 유리하다. Tameishi (1987)는 인공위성 자료를 통하여 대마도 부근 및 동해에서의 와동류의 형태를 분류하고 변화과정을 연구하였고 Isoda and Saitoh (1993)는 적외선 영상자료와 수산진흥원의 해양관측자료를 이용하여 와동류의 이동에 대하여 연구하였다. 와동류의 수평·수직 구조, 시간적 변화, 운동 등에 관한 연구는 매우 중요하지만 보다 체계적인 연구를 위해서는 풍부한 영상자료로부터 와동류의 형태별 및 크기별 분포특성에 대한 통계적인 연구가 선행될 필요가 있다.

따라서 본 연구에서는 과거의 인공위성 적외선 영상자료 중에서 구름이 적고 해상도가 양호한 자료를

수집·통계 처리하여 한국 동해연안에서 발생하는 와동류의 크기별 분포를 살펴보았다. 특히 이 자료분석에 의하면 울릉도 난수와의 식별하기가 어려운데 비해서 묵호에서 원산만에 이르는 해역에 직경 100km 이상의 와동류가 매우 빈번하게 발생하므로, 이것을 본 연구에서는 속초 와동류 (Sogcho Eddy)라 부르기로 하고 영상자료의 분석을 통해 이 와동류의 시간적인 변화 과정을 상세히 추적하였다.

### 자료 및 분석방법

1987년 부터 1991년까지 5년간의 인공위성 적외선 AVHRR 영상자료를 국방과학연구소로부터 제공받아 분석을 하였는데, 본 연구에 사용된 영상자료의 수가 Table 1에 월별로 요약되어있다. 총 264개의 자료 중에서 해상도가 나빠 분석이 어려운 것은 제외하고 상태가 비교적 양호한 107개의 영상자료가 선택되었다. 1987년의 자료는 충분히 제공받지 못한다다 상태도 좋지 않았으므로 실제로는 1988년도 자료부터 분석되었고 1991년 자료중에 양호한 것이 비교적 많았다. 자료의 월별분포를 보면 대체로 구름과 대기중의 수증기량이 적은 10월에서 다음 해 4월까지가 많으나 1988년에는 8월에도 분석 가능한 자료의 수가 많은 편이었다. 이와 같이 기상상태에 따라 사용 가능한

자료가 여름 이외의 계절에 집중되는 양상을 보이는데, 그렇다고 와동류가 여름철에 적은 것은 아닐 것이므로 다른 계절에 준해서 판단을 해야할 것이다.

와동류 분석을 위해서는 우선 영상자료에서 와동류를 확인한 후에 그 크기를 측정하여야 한다. 전선분석에 있어서는 일반적으로 수온구배가 어느 기준보다 큰 경우를 수온전선으로 규정하지만 와동류의 경우에는 같은 방법을 적용할때 곤란한 점이 있다. 왜냐하면 와동류는 발생으로부터 발달과정을 거쳐 쇠퇴 및 소멸과정을 거치게 되는데 수온구배는 매우 작지만 형태상으로는 와동류임을 확실히 식별할 수 있는 경우가 많은데도 불구하고 수온구배를 기준으로 할때 제외되어야 하기 때문이다. 그리고 와동류는 수평적인 구조뿐만 아니라 수직구조도 가지며 특히 여름철에는 표층수에 가려져서 내부의 구조가 드러나지 않는 경우도 많이 있으므로 본 연구에서는 적외선 영상자료에 나타나는 표면의 와동류만을 분석 대상으로 삼았다.

영상자료를 커다란 사진으로 만들 경우, 기술적인 어려움도 있고 선명도도 감소하므로 먼저 영상 자료의 슬라이드 필름과 사진을 준비하여 슬라이드 필름을 일정한 규격의 지도가 그려져 있는 종이에 투사시켜 종이 위에 색채 혹은 명암의 대비가 비교적 큰 경계선의 모양을 사진과 비교해 가면서 와동류의 형태를 그렸으며 이렇게 만들어진 도면 상에서 와동류의

**Table 1. Number of the satellite IR imagery for the analysis of eddies (analyzed data/total data)**

	1987	1988	1989	1990	1991	Total
January		2/12	0/2		3/7	5/11
February		2/14	1/2		5/6	8/12
March		8/13	3/10	3/6	4/10	18/39
April		8/10	9/15	2/5	12/16	31/46
May	0/1		5/16	1/2	5/10	11/29
June		3/4	0/12			3/16
July			0/1			0/1
August		5/13	1/8			6/21
September	0/1	3/4	1/7			4/12
October	0/1	7/17	3/6			10/14
November		11/36	0/2			11/38
December		0/5				0/5
Total	0/3	49/118	23/81	6/13	29/49	107/264

크기를 측정하였다. 이와 유사한 방법으로 미국 해군에서는 전선분석을 하여 Oceanographic analysis chart를 만들고 있으며, Vukovich et al. (1979)도 와동류의 통계분석을 한바 있다. 또한 Watson and Robinson (1991)도 내부파의 굴절에 관한 연구를 위하여 X-band radar의 슬라이드 필름을 투사하는 방법을 사용하였다.

Tameishi (1987)는 원형 혹은 타원형으로 분리되는 와동류를 대상으로 난수의 보급이 적을때 중심부에 냉수괴가 들어있는 경우와 난수의 보급이 많을때 중심부까지 난수로 덮이는 경우로 분류하였다. 반면에 타원형으로 분리되지 않고 전선의 사행운동이 커지거나 해류의 좁은 지류가 길게 돌출하는 경우도 와동류에 포함시킨다 (Vukovich et al., 1979). 그러므로 전자의 경우를 ring-type으로, 후자의 경우를 filament-type으로 분류할 수 있다. 와동류의 크기 측정에 있어서 ring-type으로 분리된 와동류는 측정에 어려움이 적으나 filament-type eddy의 측정에는 일정한 기준이 요구된다. Vukovich et al. (1979)은 미국 Florida 동해안에서 멕시코만류가 만드는 필라멘트형 와동류를 측정함에 있어서 와동류를 둘러싸는 가상적인 타원을 그린 후에 장축과 단축의 반경을 재었는데 단축의 반경은 와동류 폭의 반에 해당되지만 와동류의 길이를 장축의 반경으로 정하였기 때문에 두배 가량 과장된 결과를 얻었으므로 본 연구에서는 Fig. 1에 제시된 바와 같이 와동류의 길이와 폭에 해당하는 장축과 단축의 길이를 측정하였다. 단, 필라멘트의 폭에 비해서 길이가 긴 경우에만 와동류로 인정하였다. 와동류의 장단축 측정 결과는 매 영상자료마다 도표로 만든 다음 연도별로 와동류의 크기에 따른 분포를 통계적으로 분석하였다. 또한 이 분석자료를 이용하여 목호와 원산만 사이에서 나타나는 와동류에 대해 와동류의 시간적인 변화 양상을 연도별로 추적하였다. 본 연구에 있어서 와동류의 크기별 발생빈도가 대상이므로 수운의 정확한 값이나 그 변화율의 측정은 제외하였다.

본 연구의 영상 자료 분석은 영상자료의 상태에 따라 주관성이 게재될 수 있고 와동류의 장 단축의 직경 측정에도 어느 정도의 오차는 피할 수 없다. 그러나 대체적인 와동류 분포의 특성을 파악하는 것이 와동류 연구에 있어서 우선적으로 수행되어야 하므로 개괄적이거나 와동류의 크기에 따른 빈도분포를 알아보

고자 하는 본 연구는 의의가 있다고 할 수 있다.

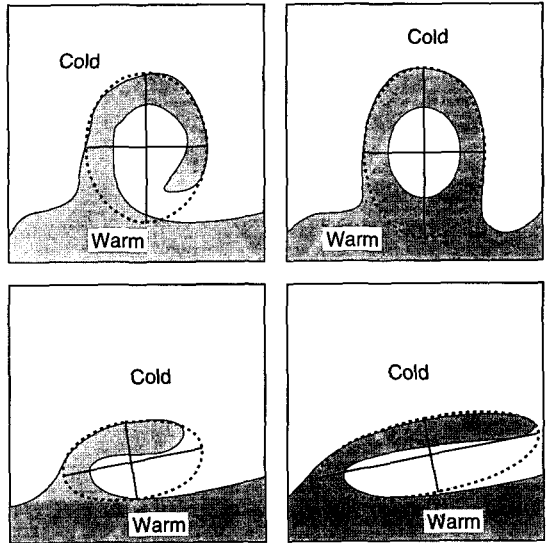


Fig. 1. Criteria for measuring the size of eddies.

## 결 과

### 1. 와동류의 크기별 발생 빈도

Fig. 2는 분석된 영상자료 중에서 상태가 비교적 양호한 것들의 예를 보여준다. 1988년 4월 (Fig. 2a)과 11월 (Fig. 2b)의 사진은 선명도가 양호하며 복잡하는 동한난류와 인접하는 다른 수괴와의 사이에 전선대가 심하게 굴곡되면서 돌출하는 filament-type의 수많은 와동류를 뚜렷하게 보여준다. 특히 1988년 4월 (Fig. 2a)과 1991년 4월 (Fig. 4d)에는 북쪽 해역에 형성된 ring-type으로 중심부에 냉수괴를 갖는 속초 와동류가 인상적이며 1988년 11월 (Fig. 2b)과 1991년 2월 (Fig. 2c)에는 같은 위치에서 유사한 와동류가 형성되고 있는 것처럼 보였다. 1991년 2월 (Fig. 2c)과 4월 (Fig. 2d)의 것은 다소 희미하지만 와동류들이 비교적 잘 나타나 있으며 1988년에 비해서 남쪽 연안에 와동류가 형성되었고 4월에는 울릉도를 둘러싸는 커다란 와동류도 눈에 띈다. 자료분석의 한 예로서 선명도가 가장 양호한 1988년 4월의 결과를 Fig. 3에 나타내었다.

같은 방법으로 107개의 자료에 대해서 분석된 와동류의 크기별 출현 빈도수가 연도별로 Fig. 4에 나타나 있다. 위성사진의 시간간격에 상관없이 판정기준을

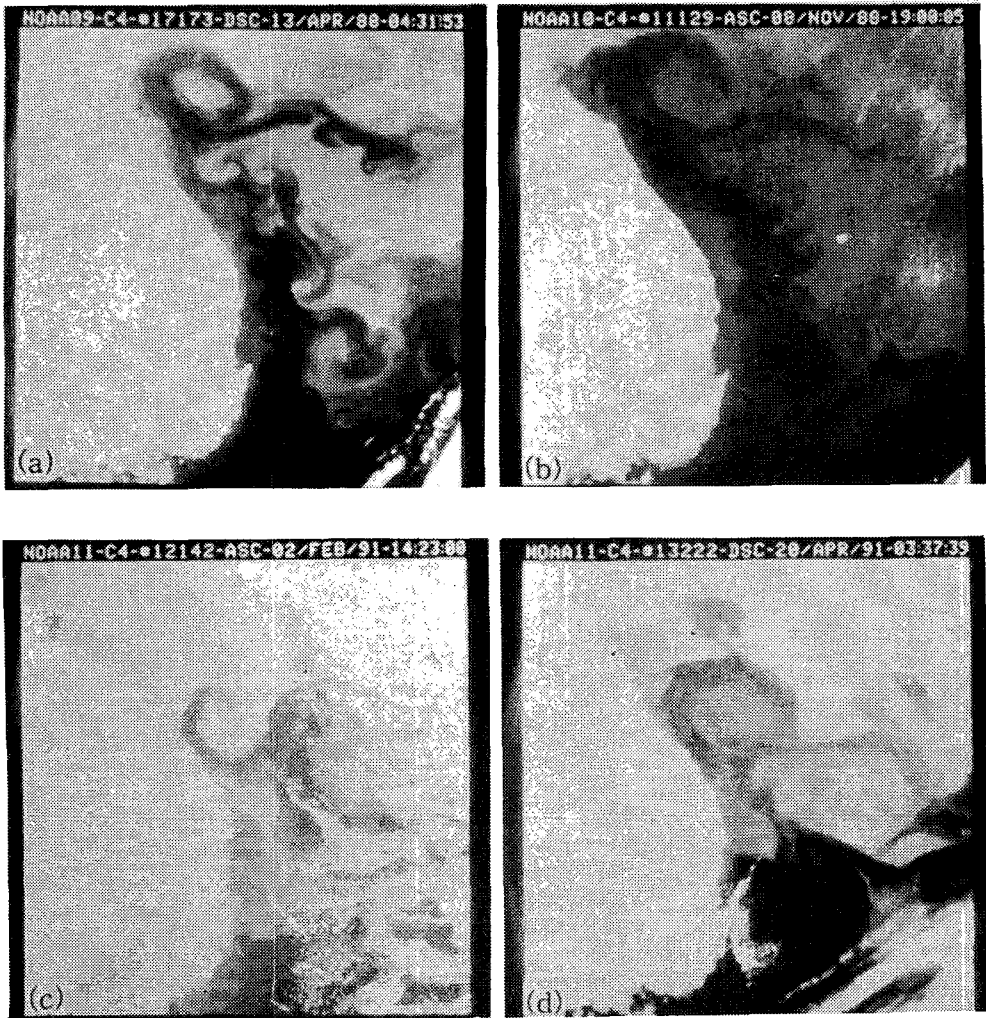


Fig. 2. Typical satellite IR imagery on 13 April 1988 (a), 8 November 1988 (b), 2 February 1991 (c) and 20 April 1991 (d) showing the eddies off the east coast of Korea.

만족하는 와동류는 무조건 빈도 수에 가산하였기 때문에 비교적 변화가 빠른 소규모 와동류의 경우에는 중복 가산되는 일이 적은 반면에 수명이 비교적 긴 중규모 와동류에 있어서는 중복 계산 되어 어느 정도 과장된 출현 빈도를 나타낼 수가 있지만 이는 또한 중규모 와동류의 존속정도를 나타내는 것으로 해석할 수 있다. 1988년과 1991년에 전반적으로 와동류의 발생빈도가 높았던 것은 실제로 와동류가 많이 발생하였다기 보다는 Table 1에서 알 수 있듯이 상태가 양호한 위성사진이 다른 해보다 많았기 때문이라고 생

각된다. 그러나 이 자료분석의 결과에 의하면 동해에서 식별 가능한 와동류 중에서는 장축 20~40km, 단축 20km 이하의 크기를 갖는 소규모 와동류가 가장 많이 발생한 것으로 나타났다. 와동류의 규모가 커질수록 발생빈도는 현저하게 줄어들어서 100km 이상의 직경을 갖는 와동류는 각 위성사진에서 1개 이상은 나타나고 있으나, 그 발생빈도는 매우 낮았다. 다만 특징적인 것은 1988년과 1989년의 도표에서 장축 200 km 이상인 것 중에는 300km 보다 큰 것이 각각 한 차례씩 포함되어 있다.

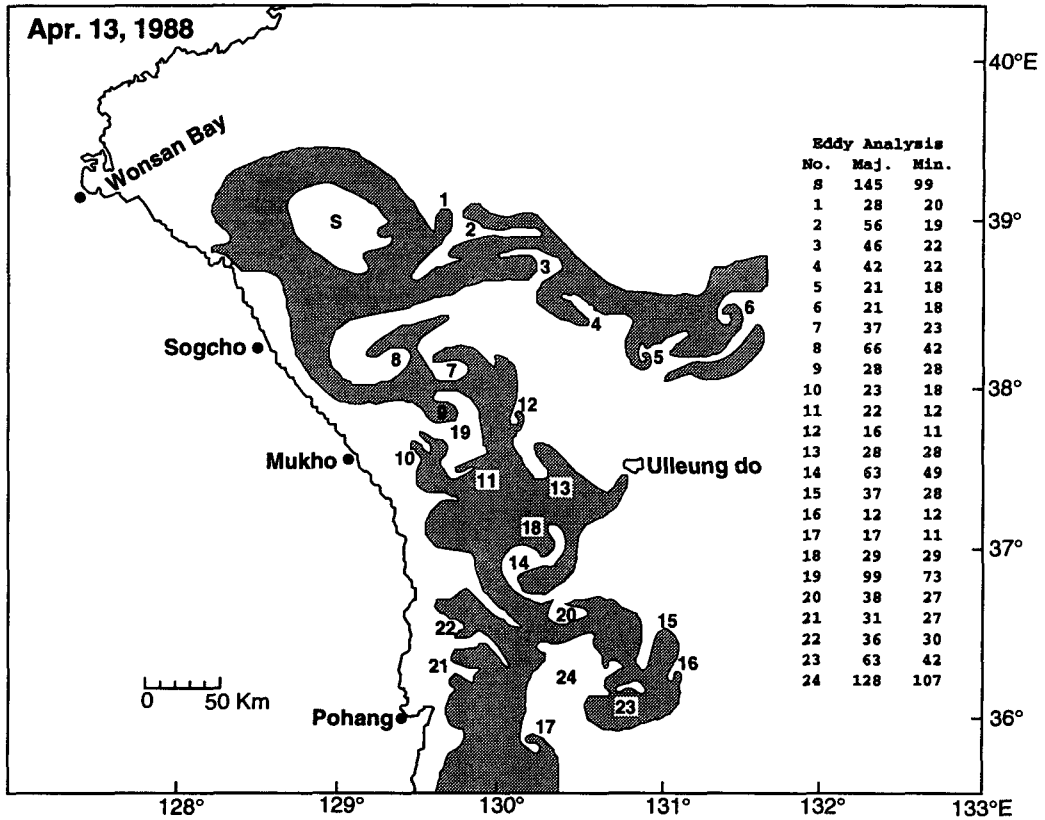


Fig. 3. An example of the eddy analysis from an IR imagery on 13 April, 1988.

2. 속초 와동류의 시간별 변화

동해에서 형성되는 와동류 중에서 소규모의 filament-type은 한국 연안을 따라 북상하는 동한난류의 가장자리에서 그 경계가 심하게 굴곡된 형태로 가장 많이 발견된다. 따라서 동한난류가 통과하는 모든 해역에서 나타나므로 변화가 심하고 수명이 매우 짧아 연속 추적이 어렵다. 그러나 직경 100km 이상의 중규모 와동류는 대체로 묵호와 원산만 사이 해역에서 자주 나타나며 수명도 비교적 길기 때문에 변화과정을 추적하기가 보다 용이하다. 울릉도 부근의 와동류는 구름에 가리는 날이 많고 위성사진의 동쪽 경계부근에 위치하여 단절되는 부분이 많아서 확인하기 어려웠다. 또한 An et al. (1994)의 연구에서와 같이 해양 관측의 결과로 확인되는 동해안과 울릉도 사이의 Ulleung Warm Eddy는 거의 발견되지 않았는데 이 와동류는 표면에 잘 나타나지는 않고 주로 내부에 존재함을 시사한다. 본 연구에서 특기할 점은 묵호와 원산만 사이에서 대부분 속초 와동류가 발견된다는 것

인데, 특정 지역에서 와동류를 계속 발생시키는 일관된 원인이 존재할 것으로 생각된다. 여기서는 이 와동류의 변천 과정을 집중적으로 분석한다.

a. 1888년

Fig. 5는 1988년에 출현한 속초와동류의 변화과정을 보여준다. 3월 3일에 (Fig. 5a), 속초 북방에 시계방향으로 회전하는 약 15km 폭의 난류에 의해 와동류가 형성되었는데 장축 110km, 단축 100km 정도의 크기였다. 4월 27일에 (Fig. 5b) 이 와동류의 중심위치가 북동쪽으로 약 40km 정도 이동하였다. 또한 중앙부에 냉수괴를 포위하여 폐쇄된 원형으로 발전하여 장축 160km, 단축 150km 정도로 커졌으며 난류의 폭도 증가했는데 이것은 많은 동한난류의 공급에 기인했을 것이다. 6월 5일경 (Fig. 5c) 난류의 폭도 좁아지고 폐쇄되었던 와동류의 동쪽 일부가 열려져 어느 정도 쇠퇴된 형태로 나타났다. 6월초 이후에는 표층수온이 전반적으로 높아진 관계로 7월, 8월 (Fig. 5d), 9월 (Fig. 5e)에는 선명도가 양호하지는 않았으나 와동류

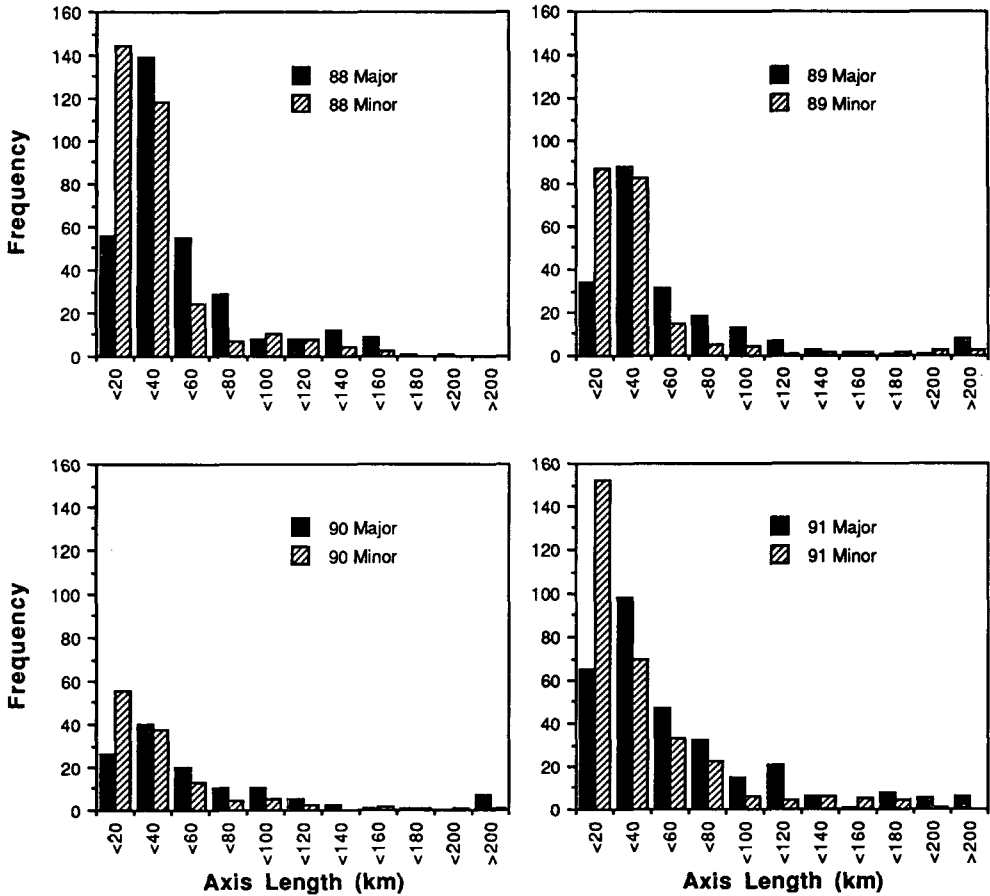


Fig. 4. Frequency distributions of major and minor axes of eddies.

가 그대로 있음을 보여준다. 10월 22일경 (Fig. 5f)에는 새로운 형태로 와동류가 나타난 것으로 보이는데, 하층에 기존의 와동류가 유지되고 있다가 표층류에 의해서 강화된 것인지는 영상자료만으로는 판단할 수 없다. 와동류의 중심은 4월 27일보다 약 60km 정도 북서쪽에 위치하였으며, 크기는 장축 130km, 단축 80 km 정도이다. 11월 12일경에는 (Fig. 5g) 10월 22일 (Fig. 5f) 보다 중심위치가 35km 정도 남서쪽에 있으며, 와동류의 크기도 장축 140km, 단축 120km 정도로 다소 증가하였다. 12월 13일경의 경우 (Fig. 5h) 와동류의 형태는 표면에 나타나지 않는데, 이후에는 자료가 없어 더 이상 추적이 불가능하였다. 이상과 같이 속초 와동류는 조금씩 위치가 변하기는 하지만 특정한 방향으로 일관성 있게 운동하는 것은 아니고 연중 계속 존재하는 와동류가 냉각으로 약해지기도 하고 새로운 난류의 공급으로 강해지기도 하는 것으로 보

인다.

b. 1889년

1989년에는 1988년에 비해 속초 와동류의 형성위치가 다소 남하한 반면 크기는 전반적으로 증가하였다. 참고로 Fig. 6a에 속초와 묵호의 위치를 표시하였다. 3월 10일에 (Fig. 6a) 동한난류는 북상하다가 속초연안에서 북동쪽으로 뺏어나가며 또한 묵호 남쪽에서 울릉도 남쪽으로 뺏어나가는 분지가 형성되었다. 북동쪽으로 뺏어나가던 폭 45km 정도의 동한난류는 4월 18일에는 (Fig. 6b) 1988년과 마찬가지로 냉수괴를 둘러싸는 장축 280km, 단축 220km의 폐쇄된 형태로 발전하였다. 이후 와동류는 쇠퇴과정에 접어들어 5월 27일에 (Fig. 6c) 장축 280km, 단축 160km의 복잡한 나선형으로 변화하였으며 5월 30일에는 (Fig. 6d) 나선형이 더욱 발달되었다. 이 이후부터 9월초까지 자료가 없어 더 이상 추적이 불가능하였으나, 9월 25일

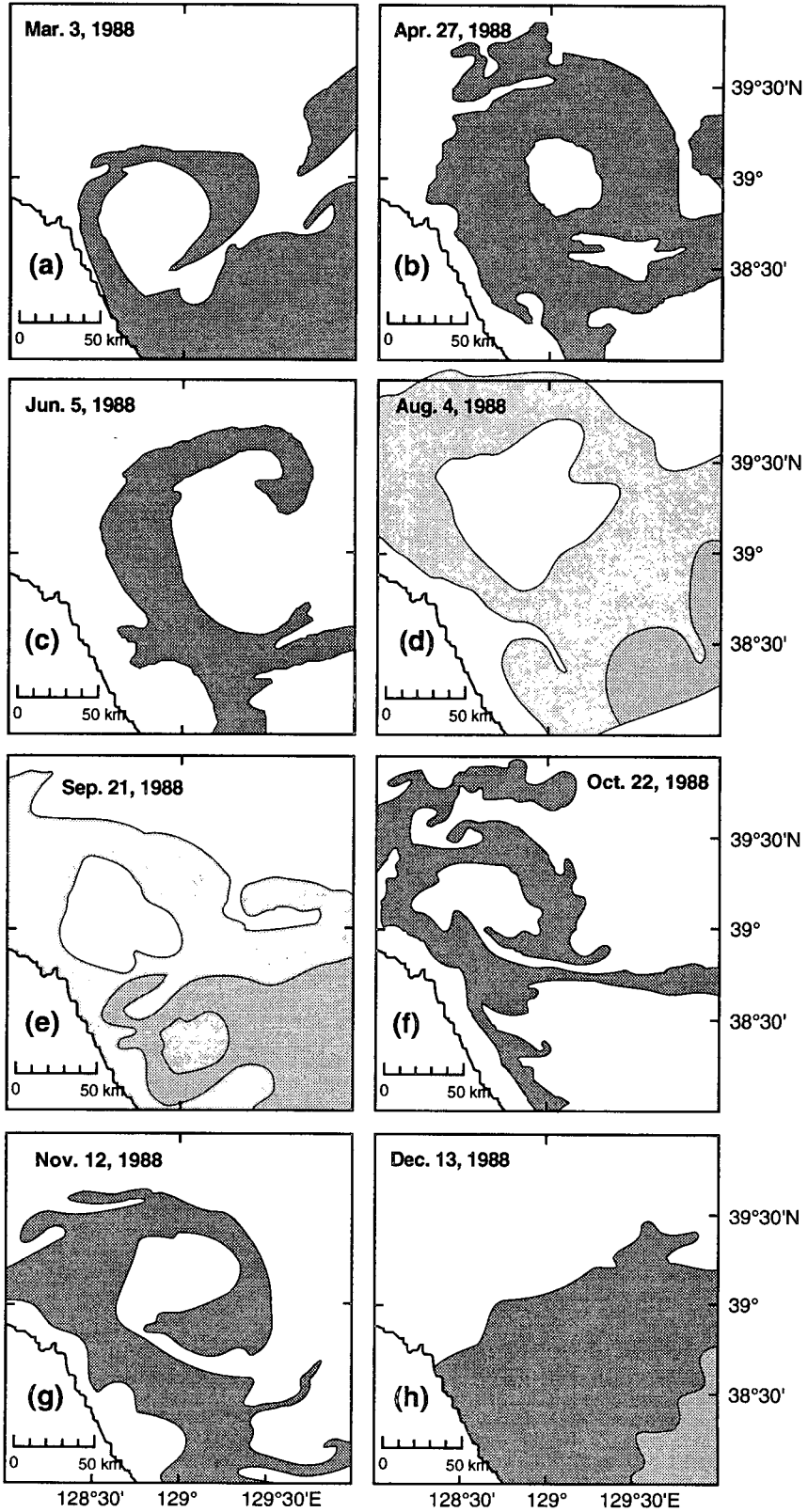


Fig. 5. Temporal change of the major eddy in 1988. Darker area depicts warmer water.

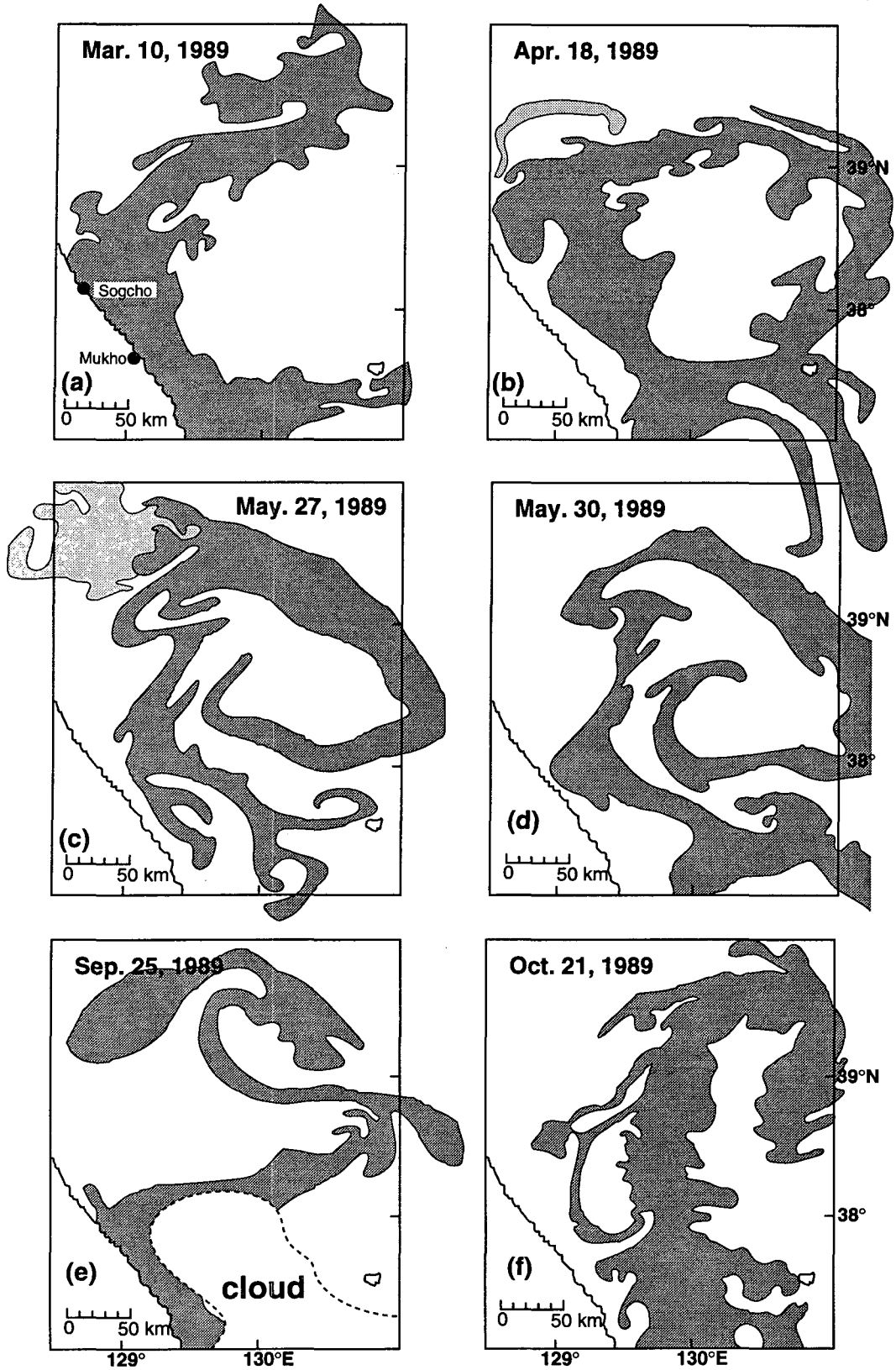


Fig. 6. Temporal change of the major eddy in 1989. Darker area depicts warmer water.



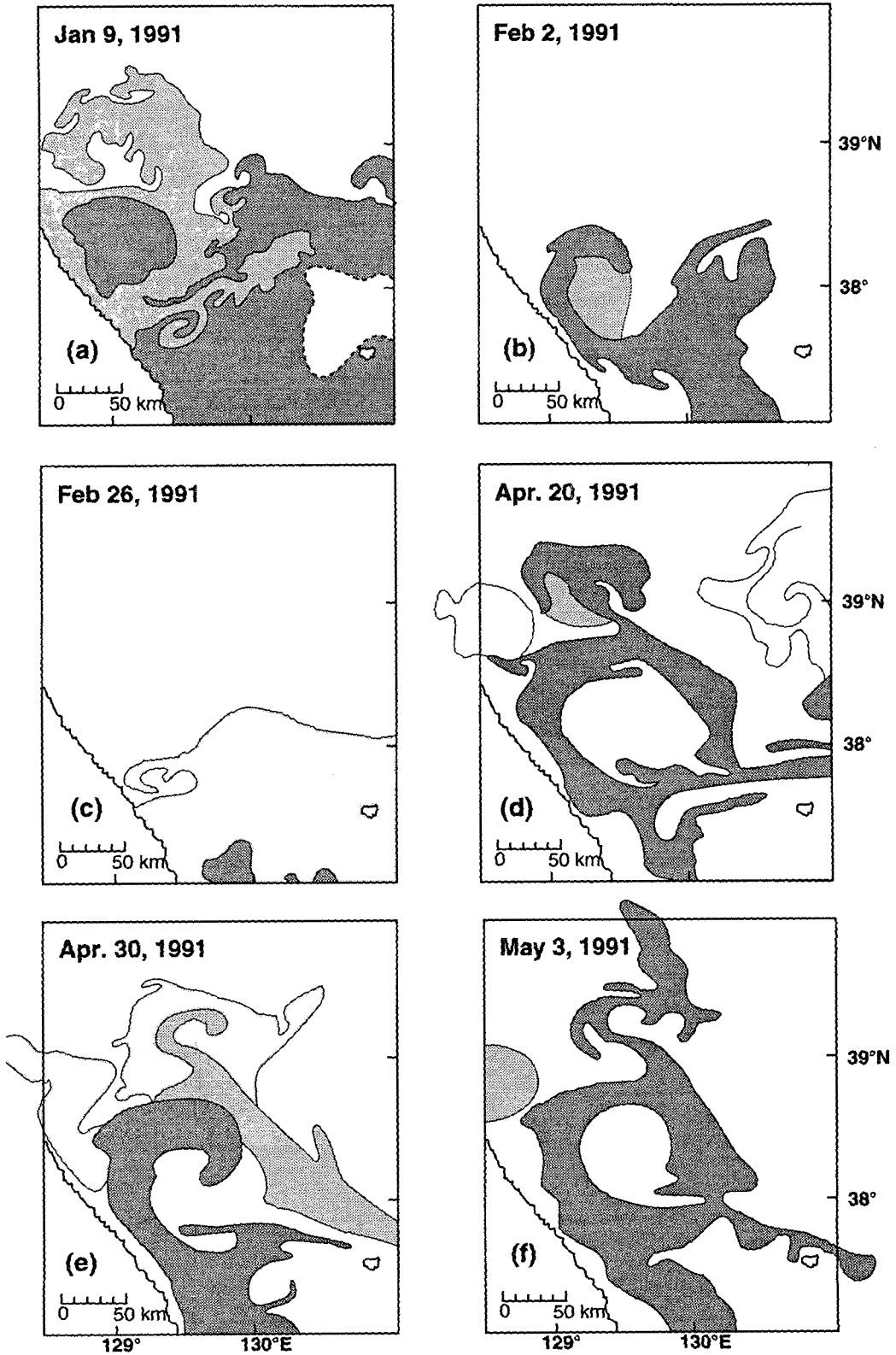


Fig. 7. Temporal change of the major eddy in 1991. Darker area depicts warmer water.

의 (Fig. 6e) 위성사진으로 보아 이 와동류의 형태는 계속 유지되었으리라 생각된다.

폭이 좁은 동한난류가 외해쪽으로 뺏어나갔던 9월에 비해 10월 21일에는 동한난류의 세력이 매우 강해졌으며 (Fig. 6f), 와동류도 장축 220km, 단축 140km 정도로 북쪽으로 길게 뺏은 타원형에 가깝다. 이것은 아마도 새로이 강하게 북상하는 동한난류에 의한 발생한 것으로 판단된다. 그러나 이후에 어떠한 발달과정을 갖는지는 1988년과 마찬가지로 영상자료가 없기 때문에 추적이 불가능하였다. 그리고 1990년에는 예년과 비슷한 위치에서 비교적 큰 와동류가 형성되었으나 위성자료가 시간적인 변화를 알아 볼 수 있을 정도로 충분하지 못해서 분석에서 제외하였다.

### c. 1991년

1991년에는 몇 차례의 와동류의 생성, 소멸이 반복되었는데 1월 9일경 (Fig. 7a) 속초 부근에 주위보다 따뜻한 중심부를 가지는 장축 140km, 단축 100km의 와동류가 형성되어 있고, 이 와동류의 북쪽에 반시계 방향으로 회전하는 것으로 보이는 장축 120km, 단축 80km의 와동류가 나타나 있으며 남쪽에는 나선형 구조를 비롯한 복잡한 소규모 와동류들이 발견된다. 2월 2일에는 (Fig. 7b) 1월의 복잡한 분포가 없어지고 장축 100km, 단축 70km의 새로운 와동류가 발생하기 시작한다. 2월 26일의 경우 (Fig. 7c) 전에 있던 와동류는 완전히 소멸되었으며, 대신에 이 와동류가 있던 자리에는 반시계방향의 소규모 와동류가 다시 생성되었다. 4월 이후 이 부근에서 큰 와동류가 형성되었는데 4월 20일에 (Fig. 7d) 폭이 30km 이내인 동한난류가 냉수괴를 완전히 포위한 형태로 장축 170km, 단축 140km 정도의 와동류를 형성하였다. 이 와동류의 북쪽으로 동한난류가 더욱 북상하여 두개의 소규모 와동류를 형성하였는데 동쪽에 장축 100km, 단축 70km 그리고 서쪽에 장축 70km, 단축 60km로 나타났다. 4월 30일에 (Fig. 7e) 비교적 큰 와동류는 어느 정도 쇠퇴하여 장축 120km, 단축 100km 정도로 되었다. 그리고 북쪽에 형성되어 있던 두 와동류의 형태는 상당히 변화하였으며, 크기는 증가하였다. 5월 3일에는 (Fig. 7f) 다시 폐쇄된 형태로 발전하였는데 와동류의 중심은 4월 30일보다 동쪽으로 약 40km 정도 이동하였으며, 크기 또한 장축 140km, 단축 130km로 증가하였다. 이후의 변화 역시 위성자료가 없어 더 이상 추적이 불가능하였다.

## 고 찰

위성자료의 분석 결과 가장 많은 분포를 하는 것은 20~40km 크기의 소규모 와동류이며 모든 와동류가 대양의 와동류와 같이 일정한 방향으로 이동하는 경향을 보여주지 않는다. 미국 Florida 동해안에서 형성되는 필라멘트형의 와동류는 대륙사면을 따라 북상하는 Gulf Stream과 연안수 사이의 전선대의 사행에 의해 생기는 것으로서 약 9일간의 주기로 변화하고 30 km/day의 속도로 북상하는 것으로 알려져 있다 (Leggeckis, 1975; Vukovich et al., 1978; Lee et al., 1985). 또한 미국 북동부 외해에서 생기는 warm core ring이나 cold core ring은 Gulf Stream의 사행운동이 증폭된 결과 발생하고 대개 서쪽이나 남서쪽으로 3~5km/day 속도로 이동하며 수명은 2~3년 정도로 매우 길지만 (Lai and Richardson, 1975) 우리 나라 동해에서는 이러한 ring의 형성은 발견되지 않았다. 다만 동한난류가 동쪽으로 돌아 나가기 시작하는 극전선 부근에 생기는 고리 모양의 폐쇄된 속초 와동류가 비슷하지만 생성원인이나 역학적 면에서는 같다고 보기 어렵다. 한국동해 연안에서 발생하는 직경 50km 이하의 소규모 와동류는 북상하는 동한난류의 가장자리에서 형성되어 동한난류가 통과하는 모든 해역에서 나타나며 필라멘트형에 속한다. 이러한 와동류의 이동에 대해서 연구하기 위해서는 보다 선명한 영상자료가 짧은 시간 간격으로 준비되어야 한다.

반면 직경 100km 이상의 중규모 와동류는 대체로 울릉도 주위와 목호-원산만 근해의 두 지역에서 발견된다. 울릉도 주변에서 형성되는 커다란 와동류 (cf. Fig. 2d)의 시간적 변화에 대한 연구는 위성사진에서 울릉도 부근 자료의 상태가 불량하여 본 연구에서는 제외되었으며 한국 동해안과 울릉도 사이에서 관측된 보다 크기가 작은 Ulleung Warm Eddy와는 다른 것으로 보인다. Kim (1991)과 Isoda et al. (1992)은 동해에서 형성되는 와동류의 시간적인 변화를 현장관측 자료를 이용하여 연구하였는데, 와동류는 겨울철에 형성되어 여름철로 접어들면서 태양복사로 인한 표층수의 가열로 와동류는 중층에서부터 나타나고, 겨울에는 해면냉각에 의한 연직혼합이 와동류를 주위해수와 혼합시키게 되므로 그 형태는 불분명해지고 규모도 작아진다고 하였다. 본 연구의 영상자료 분석을 통해서 볼 때, 1988년의 경우, 형성시기를 확인할 수

없는 3월 초순 이후에 나타난 와동류는 8월 이후에 표층에서 그 형태가 거의 사라지고 10월 이후에 와동류가 다시 나타났다가 12월 중순에 적어도 표면에서는 소멸하는 것 처럼 보인다. 따라서 Kim (1991)과 Isoda et al. (1992)이 제시한 것과 어느 정도 일치한다고 볼 수 있으나 10월 이후에 발생한 와동류가 이전에 존재하였던 와동류와 동일한 것인지는 알 수 없었다.

본 연구에 있어서 가장 특징적인 것은 목호-원산만 사이에서 거의 항상 발견되는 속초 와동류의 존재인데 그 발생원인, 변화과정, 그리고 내부의 구조에 대해서 더욱 연구할 필요가 있다. 특히 동일한 해역에서 와동류의 생성이 반복되는 것은 어떤 일관성 있는 발생기작이 지배적으로 작용하고 있다고 생각하게 한다. An et al. (1994)이 밝힌 바와 같이 Ulleung Warm Eddy가 해류가 강해지는 8월에 발생한다면 그것은 baroclinic instability의 영향이 더욱 커졌다고 볼 수 있다. 그러나 본 연구에 있어서 속초 와동류의 경우는 여름철에 발생한 증거는 발견할 수 없는 반면에 겨울 혹은 봄철에 주로 발생하는 것으로 나타나므로 더 중요한 다른 원인이 있을 것이다. Lagerloef (1992)는 미국 서해안의 Point Arena에서 여름철에 시계방향의 사행운동과 관련된 필라멘트형 와동류의 발생이 반복되는 원인을 Narimousa and Maxworthy (1987)의 회전수조실험 결과를 적용하여 설명하였다. 즉, Point Arena의 돌출된 갑 (cape)의 후면에 정상파가 생김으로 해서 이곳에 지속적으로 와동류를 발생시킨다는 이론이다. 북상하는 동한난류에 있어서 목호 부근의 구부러진 해안선은 커다란 갑과 같은 역할을 하며 그 후면인 속초 근해에 와동류를 발생시킬 가능성도 있을 것이다. 그러나 해류가 강해지는 여름철에 발생에 더 유리할 것인데 이를 뒷받침할 자료는 현재 갖고 있지 않다. 겨울철에 주로 발생한다면 갑의 후면에 생기는 정상파의 효과 이외에 육지 지형의 영향을 받는 계절풍의 영향을 고려해 볼 수도 있을 것이나, 이들에 대해서는 가까운 장래에 국지적인 바람자료의 분석과 수치모델을 통하여 더욱 깊게 연구할 것이다. 본 연구에서는 인공위성의 영상자료를 통하여 표면에 나타난 형태만을 가지고 분석하였으므로 내부에서는 와동류가 어떠한 구조를 가지고 있는지 알 수 없으며 이에 대해서는 해양관측을 통하여 연구되어야만 한다.

## 결 론

본 연구에서는 과거의 위성사진을 분석한 결과를 토대로 하여 동해에서 형성되는 와동류의 크기별 분포빈도, 시간적인 변화를 분석하였다.

1988년 부터 1991년 까지의 영상자료 분석 결과를 보면, 동해에서 형성되는 와동류는 거의 모두가 필라멘트형이며, 최대 출현빈도를 나타내는 와동류의 크기는 장축이 20~40km, 단축 20km이하의 것들이었다. 이 와동류들은 한국연안을 따라 북상하는 동한난류가 사행하면서 형성되는데 소규모 와동류는 동한난류의 가장자리 전선대에서 발생하여 동한난류가 진행하는 모든 곳에서 나타난다. 반면에 직경 100km 이상의 중규모 와동류는 목호와 원산만 사이 해역에서 동한난류가 시계방향으로 회전하면서 거의 매년 형성되었다. 따라서 이 속초 와동류의 시간변화에 대해서 영상자료가 비교적 많은 1988년, 1989년, 1991년에 추적하였다. 속초 근해에서는 동한난류가 시계방향으로 회전하면서 냉수괴를 둘러싸는 거의 폐쇄된 형태로 와동류가 발전하는 경우가 빈번히 발견되었으며, 여름에는 이 와동류가 동한난류로 부터 완전히 분리되지 않고 표층수의 가열로 인하여 표면에서 잘 식별되지 않는 것으로 추측되었다. 그리고 이 와동류는 가끔 위치가 불규칙하게 변동하지만 일정한 방향으로 이동하는 경향은 보여주지 않는다. 한편 기존의 해양관측자료에 의해서 빈번히 연구되었던 Ulleung Warm Eddy는 적어도 제한된 위성자료로써는 충분히 발견할 수 없었다.

## 사 사

본 연구는 1992년도 교육부 기초과학 연구비 및 국방과학 연구소의 지원으로 이루어진 것이다.

## 참 고 문 헌

- An, H., K. Shim, and H.-R. Shin. 1994. On the warm eddies in the southwestern part of the East Sea (the Japan Sea). J. Korean Soc. Oceanogr., 29,

- 152~163.
- Cho, K. D., T. J. Bang and H. S. Yu. 1990. Three dimensional structure of the Ullung Warm Lens. *Bull. Korean Fish. Soc.*, 23, 323~333.
- Isoda, Y., M. Naganobu, H. Watanabe and K. Nukata. 1992. Horizontal and vertical structures of a warm eddy above the Yamato Rise. *Research of the Ocean*, 1, 141~151 (in Japanese).
- Isoda, Y. and S. Saitoh. 1993. The northward intruding eddy along the east coast of Korea. *J. Oceanogr.*, 49, 443~458.
- Kang, H. E. and Yong Q. Kang. 1990. Spatio-temporal characteristics of Ullung Warm Lens. *Bull. Korean Fish. Soc.*, 23, 407~415.
- Kim, H. R. 1991. The vertical structure and temporal variations of the intermediate homogeneous water near Ulleung Island. Master thesis, Seoul National University, 84 pp (in Korean).
- Kim, K., K. R. Kim, J. Y. Chung, H. S. Yoo and S. G. Park. 1991a. Characteristics of physical properties in the Ulleung Basin. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 26, 83~100.
- Kim, K. R., T. S. Rhee, K. Kim and J. Y. Chung. 1991 b. Chemical characteristics of the East Sea Intermediate Water in the Ulleung Basin. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 26, 278~290 (in Korean).
- Lagerloef, G. S. E. 1992. The Point Arena Eddy: A recurring summer anticyclone in the California Current. *J. Geophys. Res.*, 97, 12557~12568.
- Lai, D. Y. and P. L. Richardson. 1977. Distribution and movement of Gulf-Stream Rings. *J. Phys. Oceanogr.*, 7, 670~683.
- Lee, T. N., V. Kourafalou, J. D. Wang, W. J. Ho, J. O. Blanton, L. P. Atkinson and L. J. Pietrafesa. 1985. Shelf circulation from Cape Canaveral to Cape Fear during winter. *Oceanography of the southeastern U.S. continental shelf*, 33~62, in American Geophysical Union, 156 p.
- Legeckis, R. 1975. Application of synchronous meteorological satellite data to the study of time dependent sea surface temperature changes along the boundary of the Gulf Stream. *Geophys. Res. Lett.*, 2, 435~438.
- Na, J. Y. 1988. Wind stress distribution and its application to the upper-layer structure in the East Sea of Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 23, 97~109.
- Narimousa, S., and T. Maxworthy. 1987. On the effects of coastline perturbations on coastal currents and fronts. *J. Phys. Oceanogr.*, 17, 1296~1303.
- Seung, Y. H., S. Y. Nam and S. Y. Lee. 1990. A combined effect of differential cooling and topography on the formation of Ullung Warm Eddy. *Bull. Kor. Fish. Soc.*, 22, 375~384.
- Tameishi, H. 1987. Application of satellite NOAA image for fisheries. *Bull. Japan Soc. Sci. Fish.*, 51, 238~244 (in Japanese).
- Vukovich, P. M., B. W. Crissman, B. Mark and W. J. King. 1979. Gulf-Stream boundary eddies off the east coast of Florida. *J. Phys. Oceanogr.*, 9, 1214~1222.
- Watson, G. and I. S. Robinson. 1991. A numerical model of internal wave refraction in the Strait of Gibraltar. *J. Phys. Oceanogr.*, 21, 185~204.

1994년 12월 13일 접수

1995년 3월 4일 수리