

연속 위성화상자료상의 향상된 형태추적법을 이용한 유속추정기법

김 응 · 노영재

충남대학교 해양학과

Improved Method for Feature Tracking Method in estimating Ocean Current Vectors from Sequential Satellite Imageries

Eung Kim and Young-Jae Ro

Department of Oceanography, Chungnam National University, Taejeon, Korea

Abstract : This study improves the feature tracking method (FTM) in estimating the ocean current vectors from the sequential AVHRR satellite imageries by adding the objective algorithm in defining the edges and boundaries of the oceanic eddies and fronts. It was implemented by using the Sobel operator. The Sobel operator has been proved to be in effective filter in detecting the edges of any object on the image. In estimating the current vectors on the edges defined by the Sobel operator, center coordinates of the Pattern and Search tiles need to be determined by the investigator.

The objective feature tracking method combined with maximum cross correlation method (MCC) is turned out to be very efficient and fast, since it uses only parts of the image containing the objects instead of searching the entire image. In the validation with the in situ ADCP measurements of currents in the East Sea, the estimated current speed values are around 35% lower than and current directions are deviated by 34° from ADCP current vectors. The results are regarded as improved ones compared to the previous investigators'.

Key Words : Sobel Operator, Feature Tracking Method, Maximum Cross Correlation Method, Current Vector

요약 : 본 연구에서는 기존의 형태추적법을 이용한 해양의 연속 AVHRR 위성화상자료 상의 유속추정 방법을 해양의 전선이나 소용돌이의 경계부플 정의하는데 있어 객관적 알고리즘을 이용하여 개선하였다. 그것을 위하여 Sobel 필터를 사용하였다. 이 Sobel 필터는 화상상의 객체의 가장자리를 추정하는데 대단히 효과적인 필터로서 판명되었다. Sobel 방법을 이용하여 가장자리를 정의한 후 그 가장자리 상에서 유속 벡터를 추정하기 위하여 Pattern tile 과 Search tile 의 중심좌표를 선정할 필요가 있다. 본 연구에서 개발한 최대상관법을 이용한 형태추적법은 화상 전체를 이용할 필요 없이 객체가 정의된 부분화상을 이용하여 유속 벡터를 추정하기 때문에 훨씬 빠르고 효과적이었다. 동해에서 ADCP를 이용한 현장 관측자료와 비교하여 본 연구에서 개발한 방법의 타당성을 분석한 바로는 유속치에서 약 35% 이하 감소, 해류방향에서 약 34° 이하의 오차가 발생한 결과를 얻었다. 이는 기존의 결과와 비교할 때 향상된 결과로 평가된다.

1. 서론

NOAA 위성의 SST(Sea Surface Temperature) 화상자료를 이용한 해양의 소용돌이나 전선의 분포구조에 대한 많은 연구가 현재까지 이루어져 왔다(Huh, 1982; Cornillon, 1986; Cayula and Cornillon, 1992; Toda, 1993). 최근 외국의 연구에서는 화상자료의 SST 분석으로부터 다양한 역학적인 정보를 얻는 새로운 기법의 연구가 시도되고 있다. 이 시도들 중에는 위성화상자료로부터 해양의 표층 유속을 추정하는 연구들이 있으며, 표층 유속을 추정하기 위하여 널리 사용되고 있는 방법중의 하나가 형태추적법(Feature Tracking Method: FTM)이다.

이 방법을 사용한 연구로서는 Hatakeyama *et al.*(1985)이 정확한 지형보정을 거친 위성 화상자료를 사용하여 화상자료상의 특징적인 형태(Sea Mark)의 이동을 해수의 움직임으로 가정하고 유속을 추정한 연구가 있었고, Svejksky(1988)는 화상자료를 동일한 회색 칼라표를 사용하여 화상내에서 공통적으로 존재하는 특징을 인지하고 표층 유속을 추정하였다. Cornillon *et al.*(1989)은 화상자료쌍을 보면서 전통적인 형태추적법을 사용하여 Gulf Stream 내의 Ring에서 표층 유속을 추정하였다. Ro *et al.*(1997)은 연속 위성 화상자료를 사용하여 특정 개체(Object)를 육안 식별에 의존한 형태추적법을 적용하여 동해 중부해역에서의 유속 벡터 추정과 동시에 주변해역의 유동장을 종합적으로 분석하였다.

기존의 형태추적법은 형태의 인식과정에서 분석자의 육안에 의존하여 수행되기 때문에 확실한 오류 발생원(구름, 육지)을 피할 수 있는 장점이 있다. 그러나 형태의 선정과 특정 개체의 추적에 화상 분석자의 주관적 판단에 의존하므로서 동일한 자료로부터 같은 결과를 얻을 수 없는 문제점의 개연성이 본질적으로 내포되어 있다고 할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 형태의 선정과 추적에

다른 인위적인 오류를 줄이는 기법을 다음의 과정을 통해 향상시켰다. 첫째, 표층수온의 특징적인 형태 선정을 위하여 해양 표층수온의 급격한 구배가 발생하는 소용돌이나 전선의 경계부를 찾아내는 객관적인 알고리즘을 응용하며 특징적인 소용돌이나 전선을 기준으로 형태를 추적(tracking)하였다. 둘째, 특징적인 형태로부터 유속 계산시 발생하는 주관적인 문제점을 줄이기 위하여 일정한 격자로 구성된 SST 화상으로부터 시간 연속인 다음 화상의 SST 사이의 상관계수를 계산하여 유속을 추정하는 최대상관계수법을 적용시켜 유속 추정법을 향상시켰다. 그리고 화상자료로부터 추정된 유속벡터와 동해에서 ADCP 관측 유속벡터(KIOS, 1997)를 비교 분석하여 그 결과를 검증하였다.

2. 자료 및 방법

1) 위성화상자료 및 현장관측자료

본 연구에서 사용한 위성화상자료는 NOAA-AVHRR/SST 자료이며, 1996년 11월과 1997년 4월의 자료중에서 구름의 영향이 비교적 적은 1996년 11월 3일 9시 31분과 동일의 17시 31분 자료 그리고 1997년 4월 12일의 4시 29분과 동일의 9시 31분 자료를 사용하였다(Fig. 1). 비교 자료로서 부경대학교 해양과학공동연구소(KIOS)의 관측선 탐양호를 이용하여 극전선역에서 1996년 11월 5일부터 11월 12일 사이에 3개 정선의 41개 정점과 1997년 4월 8일부터 1997년 4월 14일까지 5개 정선의 65정점에서 항해법(ship tracking)에 의해 관측된 ADCP 현장관측 자료를 이용하였다(KIOS, 1997). 항해법에 의해 관측된 유속의 정확성은 자이로 오차, GPS 오차 및 선박의 속도 등의 항해 조건에 의해 결정되므로 일반적으로 해저면 추적법(bottom tracking)에 의한 유속관측 결과보다 정확성이 떨어진다. 따라서 본 연구에서는 이러한 오차만을 감안하여 CTD 관측을 위하여 탐사선이

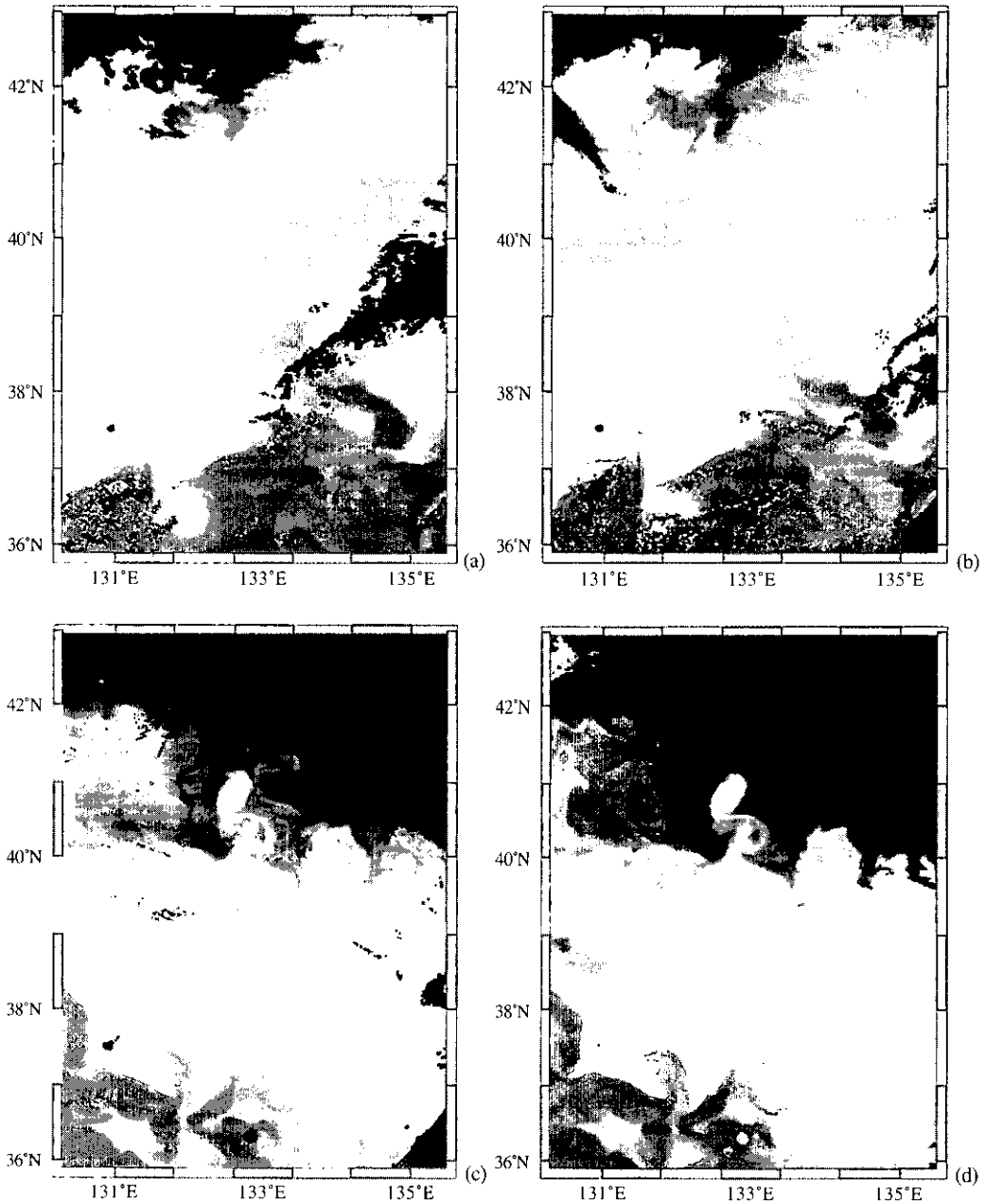


Fig. 1. Satellite images from NOAA AVHRR/SST.

(a) November 3, 1996, 09:31, (b) November 3, 1996, 17:31, (c) April 12, 1997, 04:29, (d) April 12, 1997, 09:31.

정점에 정지해 있는 동안의 유속관측 자료를 평균하여 사용하였다.

NOAA-AVHRR 화상자료는 시스템공학연구소

와 한국해양연구소에서 Sea Space사의 Terascan 시스템을 이용하여 수신된 자료이다. 본 연구에서 사용한 화상자료는 위도 35.889~42.939°N, 경도

130.090~136.617°E 해역이며, 화상의 크기는 500×700 화소로 구성되어 있고 화소 하나의 크기는 약 1.1 km 이다.

화상자료에서 구름 및 안개의 영향은 표층수온 계산에 큰 영향을 준다. 따라서 구름의 영향을 받은 화소를 제거하기 위하여 Terascan 시스템에 채택된 전처리 알고리즘을 사용하였다. 또한 표층유속 계산을 위해 사용되는 화상자료가 위치정보를 정확히 가지고 있지 않을 때에는 유속 추정시 오차가 발생한다. 1.1 km 해상도의 화상에서 화소 1개의 전체적인 변형이 6, 12, 24 시간의 화상내에서 발생하면 각각 5, 2.5, 1.3 cm/sec의 유속 추정 오차가 발생한다(Svejkovsky, 1988). 따라서 본 연구에서는 화상자료의 전처리 작업으로 화상간의 지리적인 오차를 보정하기 위하여 연구해역내에서 정확한 위치정보를 알고 있는 해안선 및 섬을 기준으로 화상의 위치보정 작업을 실시하였다.

2) 소용돌이 및 전선 분석 알고리즘

형태추적법은 해수의 움직임에 확산을 고려하지 않고 이류효과만을 가정하여 AVHRR/SST의 특징적인 형태를 인식하여 이동거리와 경과시간으로부터 시간연속 화상에서 유속을 추정하는 것이다. 형태추적법에 있어서 특징적인 패턴의 인식과 추적 작업은 가장 중요한 부분이다. 그러나 분석자가 초기 Pattern tile (PT)의 중심 좌표를 선정하면서 주관성이 개입되게 된다. 이 주관성의 개입을 최소화하고 소용돌이나 해류와 같은 특징적인 형태에 대해서만 유속벡터를 계산하기 위해서는 객관적인 선정 기준이 있어야 한다.

영상내의 대부분의 정보는 영역사이의 경계부에 존재하고, 대강의 경계선 추출만으로도 대상물체에 대한 인식이 가능하다(Vallard and Brown, 1982). 따라서 본 연구에서 사용한 객관적인 알고리즘으로는 소용돌이 경계부 및 전선위치를 분석하여 위성화상자료의 중요한 형태들을 추출하는 경계부 추출법을 사용하였다.

SST의 화상자료로부터 경계부를 추출하는 가장 간단한 방법은 화상내의 수온 구배를 이용하는

것이다(Holyer and Peckinpaugh, 1989). 수온 구배를 이용하는 방법중 Sobel 법과 Prewitt 법은 필터의 가중치가 크기 때문에 화상자료의 흐린 부분에 대해서도 좋은 결과를 얻을 수 있고 자료의 오류가 적다. Laplacian 법은 자료의 오류(noise)를 강조하기 쉽고 경계부 추출보다는 점 형태의 추출과 화상을 강조하는 특징이 있다(허수진, 1995; 김수겸, 장유정, 1996; 이문호, 염재훈, 1996). 그러나 경계부를 추출하는 성능면에서는 복잡한 연산자들이 특별한 효과를 내는 것이 아니므로 간단한 Sobel 법을 사용하여 항공 영상의 경계부를 추출할 수 있다(강민석 외, 1992). 경계부를 추출한 후에는 분석 목적에 맞는 적절한 임계값을 결과에 적용하여 분석영역내의 자료의 오류가 제거된 정확한 특징을 추출해 낼 수 있다(강민석 외, 1992; 허수진, 1995; 정재훈, 박영태, 1998).

본 연구에서는 Sobel 법을 사용하였으며 일차적인 경계부 추출시의 자료의 오류를 최소화시킨 후, 특징적인 경계부 추적을 용이하게 하기 위하여 임계 하한값을 적용하여 이차적인 자료의 오류를 제거하였다. 화상자료로부터 추출된 SST의 경계부는 현장 관측(KIOS, 1997)에 의해 확인된 수온전선 및 소용돌이를 잘 나타내 주었다(Fig. 2).

3) 표층유속 추정을 위한 최대상관계수법

형태추적법은 육안 분석을 통하여 화상자료중 적당하다고 판단되는 영역에 대해서만 적용되므로 확실한 오류원을 피할 수 있는 장점이 있다. 그러나 특징적인 장소 이외에서는 적용이 불가능하며, 육안에 의존하기 때문에 작은 공간 규모의 유속계산에만 한정되고 적용할 때마다 오류가 발생하게 된다. 따라서 분석자에 따라 변화하는 초기 PT의 중심 좌표가 해류의 주축을 벗어나지 않고 선택될 수 있는 객관적인 알고리즘이 필요하다.

영상내에서 가장 큰 특징이 나타내는 경계부 지역은 영상 화소의 분산 통계값이 큰 지역으로서 임의의 지역에서 영상을 정합하는 것보다는 더 좋은 결과를 얻을 수 있다(강민석 외, 1992). 따라서 Sobel 법으로 해수면상의 특징적인 소용돌이와 전

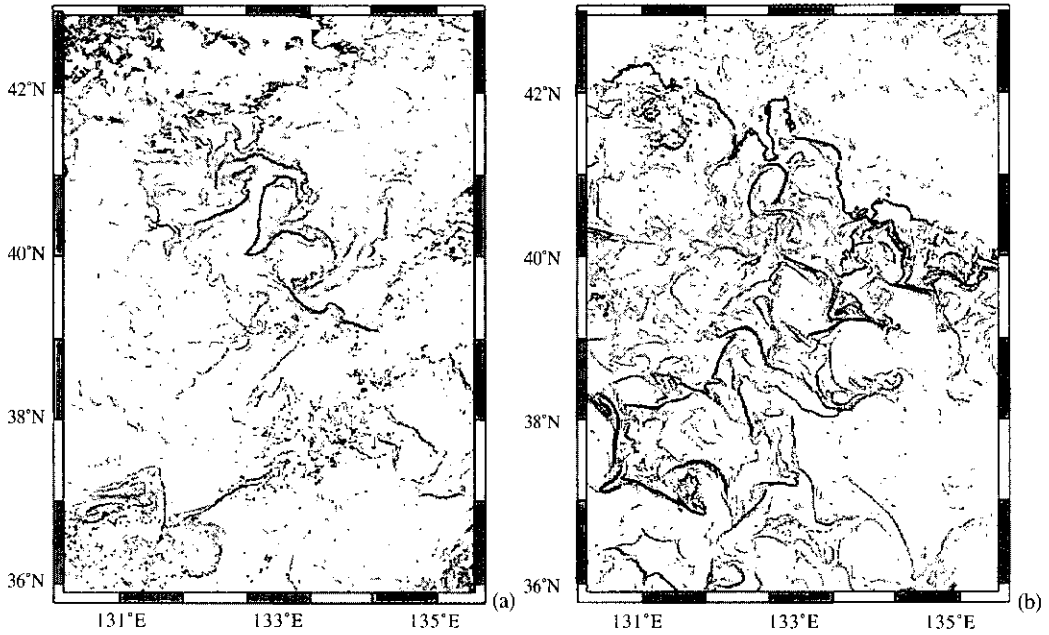


Fig. 2. Boundaries of the eddies detected by Sobel edge operator applied to Fig. 1.
(a) November 3, 1996, 09:31, (b) April 12, 1997, 04:29.

선 및 해류의 위치를 정의한 후, 이 정보를 기준으로 특징적인 형태에 대한 유속벡터를 계산하기 위하여 중심좌표 위치를 분석자가 선정하였다. 유속계산을 위한 중심좌표 위치가 선정되면 분석자의 육안으로 유속을 추정하지 않고, 최대상관계수법 (MCC; Maximum Cross Correlation method)을 이용하여 계산하였다.

이때 사용한 최대상관계수법은 SST 화상 사이의 상관계수를 계산하여 상관계수가 최대인 방향으로 유속을 추정하는 것이다. 이러한 최대상관계수법은 같은 해상도를 가진 2개의 연속화상을 이용하여 두 번째 화상에서 부분화상 $S(m,n)$ 를 뽑아 그 화상 속의 소영역 (sS)과 첫 번째의 화상에서 얻은 더 작은 $P(i,j)$ 와 유사 영역이 있는 곳을 결정하는 것이다. 아래 식 (1)에서 $P(i,j)$ 는 PT, $S(m,n)$ 는 Search tile (ST) 이라고 한다. PT은 첫 번째의 화상 속에서 ST과 같은 영역의 중심에 포함되어 있다. 이때 PT과 ST 사이의 상관행렬은 다음의 식으로 계산된다.

$$r_{sp}(k,l) = \frac{\sum_i \sum_j [sS(i+k, j+l) - \eta_{ss}(k,l)] [P(i,j) - \eta_p]}{\sqrt{[\sum_i \sum_j [sS(i+k, j+l) - \eta_{ss}(k,l)]^2 \sum_i \sum_j [P(i,j) - \eta_p]^2]}} \quad (1)$$

단, $\eta_{ss}(k,l)$ 은 $P(i,j)$ 와 같은 크기의 배열을 갖는 ST 내의 소영역 (sS)의 평균값이다. 계산은 ST 내의 모든 소영역 (sS)들에 대해서 PT과의 상관계수를 계산하게 된다. η_p 값은 PT 상에서의 평균치이다. k 와 l 의 값은 $P(i,j)$ 가 포함되어 있는 상관계수 계산영역 $S(m,n)$ 내에서 변화하는 값들이다 (Fig. 3).

상관계수가 최대가 되는 PT과 ST의 위치관계에서 공간 이동을 결정하고 두개의 화상간의 시간차에서 PT 속의 평균속도를 산출할 수 있게 된다. 이 방법에 있어서의 기본적 가정은 특징적인 온도 경로의 변위와 형태는 변화하지 않는다는 것이다 (Kubota and Shirota, 1993). 상관계수로부터 유속을 추정하기 때문에 허용할 수 있는 최소의 상관계수 값, 즉 상관계수의 임계값을 정할 필요가 있다. 형태 추적에 의해서 얻어지는 유속벡터는 이 임계값

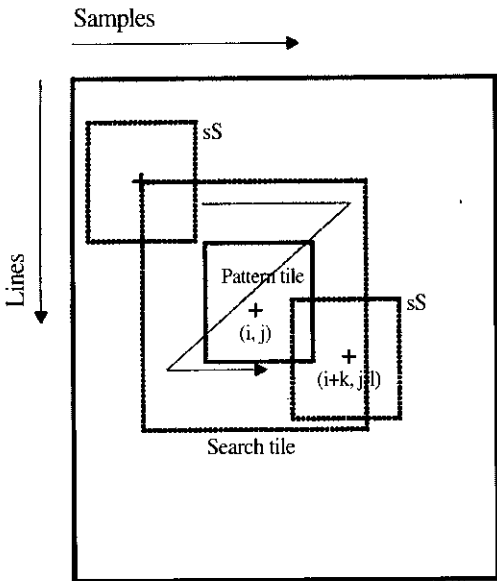


Fig. 3. Pattern-matching correlation geometry. Pattern tile is shifted by lag (k,l) and correlated with corresponding section of search tile (sS) to produce correlation value $r(k,l)$. Search tile to produce correlation value $r(k,l)$.

에 대해 매우 민감하다. 임계값을 낮게 하면 많은 유속 벡터를 결과적으로는 얻을 수 있지만 그 통계적인 신뢰성에는 문제가 발생하게 된다.

MCC 알고리즘에서는 PT와 ST의 크기를 결정하는 것이 중요하다. 소용돌이의 크기보다 ST의 크기가 큰 경우에는 소용돌이가 하나의 물체로 인식이 되기 때문에 소용돌이내의 유속의 회전성을 계산할 수 없다(Kamachi, 1989). 그러므로 소용돌이의 회전성을 추정할 수 있기 위하여 소용돌이보다 ST의 크기를 작게 선택할 필요가 있다. 본 연구해역의 중심 위치인 대화퇴(Yamato Rise)에서 수심 50 m 층의 유속이 50 cm/sec (Isoda *et al.*, 1992) 이하이기 때문에 이 유속으로 12 시간 동안 움직일 수 있는 최대 이동거리는 약 22 km 가 된다. 따라서 ST의 크기는 41×41보다 작으면 안 된다. 본 연구에서는 ST의 크기를 61×61로 정의하여 화상간의 시간간격이 12 시간일 때 최대 0.78 m/sec 까지의 유속이 계산 가능하도록 하였다.

Table 1. Variation of maximum cross correlation and estimated velocity by the size of pattern tile.

Station.	Velocity (m/sec)	Size of Pattern tile				ADCP
		9×9	15×15	21×21	25×25	
133.693 40.481	u-vel.	0.62	-0.31	-0.23	-0.23	-0.27
	v-vel.	-0.15	-0.08	-0.08	-0.08	0.02
	Vel.	0.64	0.32	0.24	0.24	0.27
	MCC	0.78	0.82	0.87	0.87	
133.667 40.219	u-vel.	0.31	0.31	0.23	0.23	0.24
	v-vel.	0.15	0.08	0.08	0.08	0.29
	Vel.	0.35	0.32	0.24	0.24	0.38
	MCC	0.87	0.96	0.98	0.98	
133.667 39.696	u-vel.	-0.23	-0.15	-0.15	-0.15	-0.34
	v-vel.	0.08	0.00	0.00	0.00	-0.05
	Vel.	0.24	0.15	0.15	0.15	0.34
	MCC	0.87	0.89	0.93	0.94	
133.627 39.535	u-vel.	0.08	0.00	-0.08	-0.08	-0.25
	v-vel.	-0.23	-0.15	-0.08	-0.08	-0.27
	Vel.	0.24	0.15	0.11	0.11	0.37
	MCC	0.96	0.97	0.97	0.97	
133.614 38.699	u-vel.	-0.31	0.15	0.23	0.00	0.06
	v-vel.	0.15	0.23	0.31	0.08	0.37
	Vel.	0.35	0.28	0.39	0.08	0.37
	MCC	0.71	0.85	0.90	0.91	
133.680 38.367	u-vel.	0.62	0.62	-0.23	-0.23	-0.25
	v-vel.	-0.77	-0.77	0.08	0.08	0.33
	Vel.	0.99	0.99	0.24	0.24	0.41
	MCC	0.88	0.88	0.88	0.88	

최대상관계수법에서 ST의 소영역에 대하여 상관계수를 계산하는 PT의 크기를 결정하기 위해 임의의 인공위성화상 (November 3, 1996, 09:31, and November 3, 1996, 17:31)에 PT의 크기를 각각 9×9, 15×15, 21×21, 25×25로 하고 유속 값을 계산하였다(Table 1). PT의 크기에 의해서 결정되는 표층유속과 최대상관계수는 PT의 크기가 21×21을 기준으로 다르게 나타났다. PT의 크기가 21×21보다 작을 때에는 유속값과 최대상관계수의 변화가 크게 나타났으며, 21×21과 25×25에서는 유속값과 최대상관계수가 거의 같게 분석되어졌다. PT의 크기가 21×21과 25×25에서는 유속값이 같게 나타나면서 단지 최대상관계수의 차이만 보이고 있다. 해수면의 유속과 유향이 현장 관측치인 ADCP 결과와 비교하여 PT의 크기가 21×21일 때 가장 잘 일치하는 것으로 나타났다.

PT와 ST에서 유속을 계산하면서 구름이나 관측오차를 배제하기 위하여 순수한 SST 화상에서만 유속 계산을 수행하였다. 그리고 유속 계산과정에서 유속의 정확성을 나타내는 상관계수의 변화에 따라 유속장이 어떻게 나타나는지 조사하기 위하여 상관계수값의 임계 하한값에 변화를 주고 그 결과를 분석하였다. 이 결과 상관계수가 약 0.85 이상일 때 현장상황을 비교적 잘 재현해 주

었고 통계적으로도 신뢰성이 있었다. 또한 대량의 정보를 자동으로 계산할 수 있고 계산된 유속 벡터는 항상 같다는 특징이 있다.

3. 화상자료를 이용한 표층유속계산 결과

1996년 11월 위성화상자료에 MCC 법을 적용해 추정된 유속장은 경도 133.5°E 지역의 1996년 11월 ADCP 현장 관측과 일치하고 있다(Fig. 4(a)). 현장관측 ADCP 자료와 거의 동일한 위치에서 추정된 유속벡터를 총 6개 지점에서 비교 분석하였다. MCC 법을 적용한 형태추적법의 유속은 ADCP 관측 유속에 비하여 평균 35% 정도 작게 추정되고 있으며, ADCP에 의한 유향과 형태추적법에 의한 유향의 오차는 평균 18.7°로 추정되었다(Table 2).

1996년 11월 3일의 소용돌이를 형성한 해류의 유속뿐 아니라 소용돌이 경계부에서의 해류 속도를 추정하기 위하여 Sobel 법을 이용해 소용돌이를 찾아내고 이 소용돌이의 경계부에서 MCC 법을 적용해 경계부에서의 이동방향과 이동속도를 계산하였다. 소용돌이 경계부에서 추정된 유속과 유향을 통하여 냉수괴가 난수로 유입되고 있는 경

Table 2. Comparison between ADCP measured current vectors and satellite derived current vectors on November 3, 1996.

	Long.(E) Lat. (N)		Speed (m/sec)		FTM/ADCP %	ADCP-FTM Angle (Δθ)
	ADCP	FTM ^a	ADCP	FTM		
1	133.667 40.500	133.693 40.481	0.27	0.24	90	23
2	133.667 40.165	133.667 40.219	0.38	0.24	65	-32
3	133.667 39.668	133.667 39.696	0.34	0.15	45	-8
4	133.662 39.500	133.628 39.535	0.37	0.11	30	-2
5	133.667 38.660	133.680 38.699	0.37	0.39	103	-28
6	133.667 38.336	133.680 38.367	0.41	0.24	59	19

^a Feature Tracking Method

향을 분석할 수 있었다. 또한 소용돌이의 회전방향과 경계부의 이동속도를 알 수 있었다(Fig. 4(a)). Sobel 법으로 추정된 경계부를 기준으로 하여 특정한 소용돌이나 해류의 축에서 형태추적법을 적용하였다. 이 때 추정된 Fig. 4(a)의 전체 유속장의 평균은 0.25 cm/sec 이었으며, 소용돌이 경계부에서만 추정한 유속 평균은 전체 유속장의 평균 크기와 비슷한 0.24 m/sec 이었다.

1997년 4월 12일 유속 계산에서 상관계수의 하한 임계값을 0.85로 하였을 때 추정 유속값의 평균 유속은 0.26 m/sec 이었다. 이 결과는 1996년 11월 3일의 평균 유속값과 같은 크기였다. 총 8개의 정점에서 ADCP 관측 유속값과 추정 유속값을 비교검증 하였다(Table 3). 화상자료를 이용한 추정 유속값은 ADCP 관측 유속에 비하여 평균적으로 34% 정도 작게 추정되어졌으며 ADCP 유향과 추정 유속벡터간의 유향의 상대적인 평균 오차는 34°로 추정되었다. 이 결과에 의해 계산된 유속장

을 ADCP 관측 유속과 함께 도식하였다(Fig. 4(b)).

MCC 법에 의한 유속추정법을 연구지역에서 적용하여 추정되어진 유속장은 위성화상내의 소용돌이의 형태를 잘 보여주고 있다. ADCP 관측치와 형태추적법에 의한 유속장의 결과로부터 1996년 11월 자료에서는 시계방향의 회전 경향을 지닌 소용돌이가 위도 40°N, 경도 134°E 지역에서 나타났으며, 1997년 4월 자료에서는 시계방향의 회전을 하는 소용돌이뿐만 아니라 반시계 방향의 소용돌이도 존재하였다. 1996년 11월 유속장과 비교하여 1997년 4월 유속장에서는 소용돌이의 개수가 증가하였으며 유속장도 복잡해졌다. 1996년 11월의 해류 형태는 북향하는 해류의 주축으로부터 위도 38°N, 경도 134°E 부근에서 분기되는 모습을 보여주고 있다. 1996년 11월과 1997년 4월의 유속장을 통하여 경도 134°E를 따라서 냉수가 남하하면서 난수역으로 관입하는 모습을 볼 수 있다(Fig. 5).

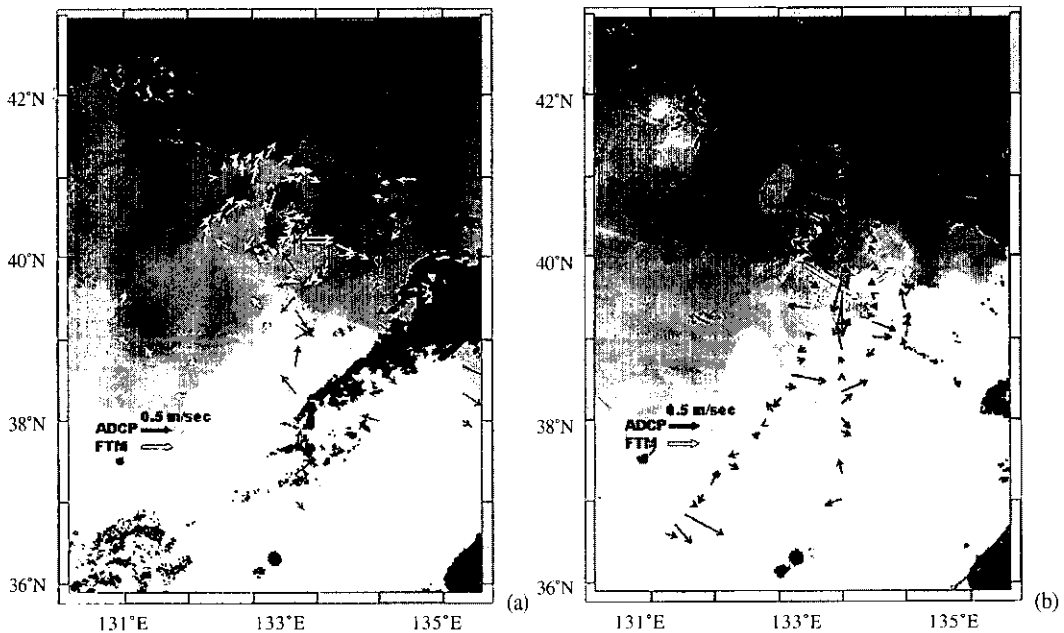


Fig. 4. Horizontal distributions of satellite derived current vectors (FTM) and ADCP current velocity on 15m depth on (a) November 5-12, 1996, (b) April 8-14, 1997.

Table 3. Comparison between ADCP measured current vectors and satellite derived current vectors on April 4, 1997.

	Long.(E) Lat. (N)		Speed (m/sec)		FTM/ADCP %	ADCP-FTM Angle ($\Delta\theta$)
	ADCP	FTM ^a	ADCP	FTM		
1	133.124 38.390	133.092 38.336	0.17	0.25	144	-83
2	133.217 38.533	133.275 38.487	0.64	0.45	69	-45
3	134.002 38.668	134.045 38.638	0.12	0.17	145	21
4	133.993 39.334	133.928 39.333	0.52	0.25	48	15
5	133.993 39.660	134.045 39.585	0.59	0.37	63	-67
6	134.493 39.834	134.489 39.817	0.11	0.12	115	22
7	133.493 40.000	133.484 40.008	0.39	0.28	71	68
8	133.500 40.334	133.575 40.340	0.23	0.17	75	20

^a Feature Tracking Method

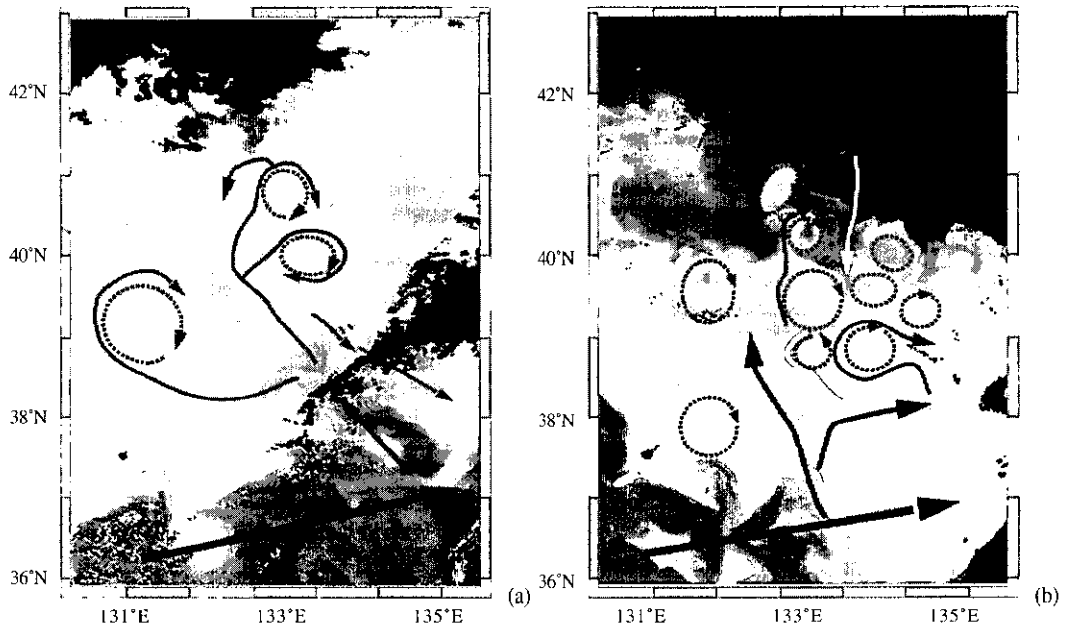


Fig. 5. Schematic interpretation of the flow field based on ADCP and FTM-estimated currents vectors. Dotted circle is rotational eddies, gray arrow is warm current and white arrow is cold current. (a) November 5-12, 1996, (b) April 8-14, 1997.

4. 토의 및 결론

Sobel 법에 의한 객관적인 알고리즘으로 소용돌이나 전선의 위치를 분석한 후 유속계산의 대상으로 사용할 수 있는 특징적인 소용돌이나 전선을 정의하였다. 따라서 형태추적법에서 분석자의 육안에 의해 단순히 화상내의 특징이 결정되는 문제점을 해결하였다.

형태추적법에 최대상관계수법을 결합한 본 방법은 전 화상 필드에서 유속을 계산하는 것이 아니므로 시간이 매우 단축된다. 그리고 자료로 인한 오류를 분석자의 판단으로 피할 수 있기 때문에 정확한 결과를 얻을 수 있었고 소용돌이나 전선 같은 특정한 대상을 효과적으로 추적할 수 있는 장점이 있었다.

ST에서 유속을 추정하기 위한 PT의 크기를 21×21 화소 크기로 정하고 유속을 추정하였을 때, 본 연구에서는 좋은 결과가 나왔다. 형태추적법에서 사용되는 PT 창의 크기를 일반화시키기 위해서는 향후 해양현상의 특성 규모(해류, 수온경도, 소용돌이), 화소의 크기등을 고려하여 더 많은 분석을 해야할 것으로 사료된다.

Kelly and Strub(1992)의 기존 연구에서는 ADCP에 비해 MCC 법과 역행렬법의 유속은 약 35% 적은 유속 값이 추정되었고 유향의 오차는 약 60~70° 발생하였으며, Lee *et al.*(1995)이 역행렬법을 동해 및 대한해협에 적용해 얻은 결과에서는 추정된 유속의 크기가 ADCP 관측 유속값에 비교해 약 1.5배 정도 크게 추정되었고 유향의 차이는 평균적으로 약 56°의 차이가 발생하였다. 그러나 본 연구의 MCC 법을 응용한 형태추적법에서는 ADCP 관측에 비교해서 추정치 유속이 평균 35%와 34% 정도 적게 나타났으며 ADCP의 유향과 비교해서는 평균 18.7°와 34°의 오차를 보였다. 이것은 상대적으로는 기존의 연구에 비교하여 향상된 결과를 보여주었다. 그러나 동일한 표층수온 영상에 대한 기존 연구 방법의 적용 결과와 비교하는 연구 수행되지 않았기 때문에 정확한 비교 연구를 위한 검증이 앞으로 수행해야할 과제이다.

표층의 유속벡터를 추정하기 위하여 분석자가 초기 PT의 중심 좌표를 선정하게 된다. 중심 좌표 선정시 해류의 주축을 벗어나서 선택되어지는 문제를 해결하기 위하여 Sobel 법의 적용 결과로 얻어진 소용돌이나 해류의 경계부를 이용하였다. 따라서 추정된 유속이 현장 관측유속과 잘 일치하는 것으로 판단된다.

위성 화상을 이용한 본 연구 결과에서 유속벡터가 적게 추정되고 유향의 오차가 발생하는 것은 화상내의 특정한 현상을 각각의 화상 사이에서 직선적으로만 분석하였기 때문이다. 이러한 문제점으로 인해서 유속 벡터의 추정시 유속값의 저하(underestimation)가 수반되는 단점은 있으나, 넓은 지리적인 공간에서 현장의 유속장을 재현하는데는 큰 장점이 있다. 유속값의 저하 문제점을 해결할 수 있는 방안으로는 소용돌이에서 유속을 추정하기 위한 특징적인 형태를 형태추적법으로 추적을 하고 이 형태간의 이동거리를 타원모델로부터 곡선거리로 추정해내는 것이다. 그리고 유속을 계산할 때 이 화상내의 곡선거리를 사용함으로써 유속값의 저하를 해결할 수 있을 것이다. 이에 대한 연구를 현재 진행중이다.

참고문헌

- 강민석, 김준식, 박래홍, 이쾌희, 1992, 연속 항공영상에서의 Image registration, 대한전자공학회 논문지, 29(B4): 48-57.
- 김수겸, 장유정, 1996, 에지의 구조적 정보를 이용한 에지추출, 한국정보처리학회논문지, 3(5): 1337-1345.
- 이문호, 염재훈, 1996, 영상신호처리, 대영사, 69-113.
- 정재훈, 박영태, 1998, 선형특징을 사용한 항공영상의 정합, 1998년도 대한전자공학회 하계종합학술대회 논문집, 21(1): 689-692.
- 허수진, 1995, 최적 문턱치 설정을 이용한 포탈영상에서의 자동 에지탐지 기법에 관한 연

- 구, 의공학회지, 16(3): 337-343.
- Cayula J. F. and P. Cornillon, 1992, Edge detection algorithm for SST images, *J. of Atmospheric and Oceanic Technology*, 9(1): 67-80.
- Cornillon P., 1986, The effect of the New England Seamounts on Gulf Stream meandering as observed from satellite IR imagery, *J. Physical Oceanography* 16: 386-389.
- Cornillon P., R. Weyer, G. Flierl, 1989, Translational velocity of warm core rings relative to the slope water, *J. Physical Oceanography* 19: 1317-1321.
- Hatakeyama Y., S. Tanaka, T. Sugimura and T. Nishimura, 1985, Surface currents around Hokkaido in the late fall of 1981 obtained from analysis of satellite images, *J. Oceanogr. Society of Japan*, 41: 327-338.
- Holyer R. J. and S. H. Peckinpaugh, 1989, Edge detection applied to satellite imagery of the oceans, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 27(1): 46-56.
- Huh O. K., 1982, Spring season flow of the Tsushima current and its separation from the Kuroshio: Satellite evidence, *J. Geophys. Res.*, 87(C12): 9687-9693.
- Isoda Y., M. Naganobu, H. Watanabe and K. Nukata, 1992, Horizontal and vertical structure of a warm eddy above the Yamato Rise, *Research of the Ocean (in Japanese)*, 1(4): 141-151.
- Kamachi, M., 1989, Advective surface velocities derived from sequential images for rotational flow: Limitation and applications of maximum cross-correlation method with rotational registration, *J. Geophys. Res.*, 94(C12): 18227-18233.
- Kelly K. A. and P. T. Strub, 1992, Comparison of velocity estimates from advanced very high resolution radiometer in the coastal transition zone, *J. Geophys. Res.*, 97(C6): 9653-9668.
- Korea Inter-University Institute of Ocean Science in Pukyong National University, 1997, *Oceanographic characteristics of the Polar frontal regions in the East Sea*, Ministry of Education, 1-67.
- Kubota M, and M. Shirota, 1993, Methods for estimating sea surface velocity from NOAA/AVHRR images, *Res. Oceanogr. Works Japan*, 2(3): 169-187.
- Lee T. S., J. Y. Chung and H. W. Kang, 1995, Determination of weighting factor in the inverse model for estimating surface velocity from AVHRR/SST data, *J. of the Korean Society of Oceanogr.*, 30(6): 543-549.
- Ro Y. J., A. Alexanin and A. Kazansky, 1997, Synoptic approach to estimation of sea surface current fields from sequential satellite image : Improved technique and validation study, *J. of the Korean Soc. of Remote Sensing*, 13(3): 203-222.
- Svejkovsky J., 1988, Sea surface flow estimation from advanced very high resolution radiometer and coastal zone color scanner satellite imagery: a verification study, *J. Geophys. Res.*, 93(C6): 6735-6743.
- Toda T., 1993, Movement of the surface front induced by Kuroshio frontal eddy, *J. Geophys. Res.*, 98(C9): 16331-16339.
- Vallard D. H. and C. M. Brown, 1982, *Computer vision*, Prentice-Hall.