

원격탐사 자료를 이용한 지형변화 관측을 위한 변화벡터법 적용연구

원중선* · 유흥룡*

Application of Change Vector Analysis for Monitoring Geomorphological Change Using Remote Sensing Data

Joong-Sun Won* and Hong-Rhyong Yoo*

ABSTRACT: An algorithm for monitoring geomorphological change using remote sensing data is investigated and tested using two LANDSAT TM data sets acquired over the Kyunggi Bay on April 15 1986 and September 22 1992, respectively. The algorithm exploits change vector analysis and tasseled cap transform. Although change vector analysis is effective for change detection, efficiency is decreased as the number of variables are increased. In this algorithm, we overcome the problem by utilizing the tasseled cap transform which can reduce six bands of LANDSAT TM data into only two components called Brightness and Greenness. The test results demonstrate that the algorithm is very effective in monitoring small-scaled changes over coastal area as well as significant changes in geomorphology. The resulting change vector image, however, is more sensitive to the changes occurred by human activities than by pure geological processes mainly because of relatively short time interval between two LANDSAT TM data sets.

서 론

원격탐사자료를 이용한 지형변화의 관측은 원격탐사의 여러 응용분야 중 중요한 한 분야이다. 특히 본 연구에서는 지형변화가 심한 해안일대 지형변화 관측을 위한 LANDSAT TM 자료의 활용을 원격탐사 기술 개발에 중점을 두고 있다. 즉 해안선 및 해안 인접 지역의 지형은 자연적인 침식 및 퇴적 작용에 의한 비교적 변화속도는 늦으나 장기적이며 지속적인 변화와 간척이나 건설 등 인간의 활동에 의한 급속한 변화가 꾸준히 일어나고 있다. 그러나 이러한 해안선 및 연안 일대 지형의 장기적이며 지속적인 변화관측은 현장조사에만 의존할 경우 경제적이지 못하다. 이에 반면 원격탐사 자료를 이용하면 해안선 및 연안지역 지형의 변화에 대한 주기적이며 장기적인 관측을 경제적이며 효과적으로 수행할 수 있는 장점을 갖는다.

원격탐사자료를 이용한 해안선 변화관측을 원격탐사 자료의 육안 분석에만 의존할 경우 비효율적이며 또한 미세한 변화를 관측 못할 가능성이 높다. 따라서 원격탐사자료를 이용한 좀더 효율적이며 자동화된 지형변화 관측기술의 개발 및 활용이 필요하다. 일반적으로 널리 사용되는 변화관측 방법은 픽셀간의 DN값의 차(differencing), 비율(ratioing), 분

류비교, 및 변화벡터분석법(change vector analysis) 등이 있다 (Jensen, 1986). 이외에도 주성분 분석법도 널리 사용되고 있는 방법중의 하나이다.

본 연구에서는 변화벡터분석법의 해안선 변화관측에 대한 적용 가능성 검토 및 이에 알맞은 알고리즘의 개발을 주목적으로 하였으며, 이를 1986년 4월 15일과 1992년 9월 22일 경기만에서 얻어진 LANDSAT TM 자료에 시험 적용하여 변화관측을 실시하였다. 변화벡터분석법은 그 처리 과정이 비교적 복잡하다는 단점이 있으나 일반적으로 그 신뢰도가 높고 다른 방법들보다 뛰어난 결과를 보여 그 동안 산림연구 등에 특히 널리 활용되어 왔다. 그러나 변화벡터분석법의 해안선 변화를 위한 적용연구는 매우 미비한 상태로 본 연구는 지형변화 연구에 알맞은 변화벡터분석법의 알고리즘 개발을 시도하였으며, 이를 비교적 해안선 변화가 단기에 걸쳐 급격히 이뤄진 경기만에서 얻어진 자료를 이용하여 분석을 실시하였다. 경기만의 경우는 특히 조수간만의 차가 매우 크며 이에 따라 자연적인 침식과 퇴적작용에 의한 해안지형의 변화가 클 뿐만 아니라, 특히 최근 수십년 동안 간척사업 등 활발한 인공적인 해안선 및 지형의 변화가 매우 심한 곳이다. 따라서 이 지역에 대한 주기적이고 지속적인 해안선 및 해안지형 변화에 대한 관측이 요구된다. 그러나 본 연구에서는 자료획득의 제약으로 인해 약 6년간의 간격을 갖는 두개의 LANDSAT TM 자료를 이용한 변화관측을 시

*한국해양연구소 해양지질부(Marine Geol. & Geophy. Division, KORDI, Kyunggi-do, Ansan, P.O.Box 29, Korea)

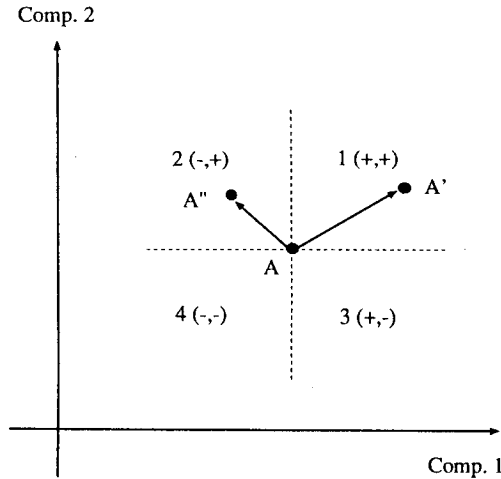


Fig. 1. Schematic diagram of change vector analysis.

도함에 따라 지질학적 요인에 의한 변화를 관측하는데는 두 자료간의 시간적 간격이 비교적 짧으며, 이에 따라 지질학적 요인에 의한 변화보다는 인공적 요인에 의한 지형변화를 관측하는데 주력하였다.

이론적 고찰

변화벡터분석법

변화벡터분석법은 Malia(1980)에 의해 개발되었으며, Virag and Colwell(1987)이 좀더 개선된 방법을 제안하였다. 변화벡터분석법은 여러 밴드의 정보를 함께 이용하는 다변수 방법이므로, 어떤 특정한 한개의 밴드에서 나타난 변화를 분석하는 것 보다 효과적이다. 그러나 변수가 많아지면 계산이 복잡해지며, 변화의 종류가 많아져 해석상 어려움을 겪게 된다. 따라서 본 연구에서는 LANDSAT 데이터에 일반적으로 그 응용성이 널리 알려진 tasseled cap 변환을 먼저 취한 후 그중 첫 번째 벡터인 Brightness와 두 번째 벡터인 Greenness만을 이용하여 변화벡터분석을 실시하였다. 이와 같은 방법은 Malia(1980)가 미국 아이다호 지역에서의 산림의 변화분석을 위해 채택했던 방법과 유사하다. 본 연구의 대상지역은 연안 지역으로 Malina(1980)나 Johnson(1994)의 경우와 같이 그동안 변화벡터가 일반적으로 많이 적용되었던 도심지역이나 산림지역과는 다른 LANDSAT TM자료의 분광특성을 갖는다. 즉 영상자료간의 해석(ocean color)의 차이가 전반적인 변화의 배경값으로 작용한다. 그러나 두 데이터셋 간의 해석 차이는 실제 본 연구의 초점이 아니며, 따라서 일종의 노이즈에 해당된다. 이러한 점에서 tasseled cap 변환을 이용한 변화벡

Table 1. Coefficients of tasseled cap transform for LANDSAT TM data (Crist and Cicone 1984).

Feature	Landsat TM Band					
	1	2	3	4	5	7
Brightness	0.3037	0.2793	0.4743	0.5585	0.5082	0.1863
Greenness	-0.2848	-0.2435	-0.5436	0.7243	0.0840	-0.1800
Third Comp (Wetness)	0.1509	0.1973	0.3279	0.4306	-0.7112	-0.4572
Fourth	-0.8242	0.0849	0.4392	-0.0580	0.2012	-0.2768
Fifth	-0.3280	0.0549	0.1075	0.1855	-0.4357	0.8085
Sixth	0.1084	-0.9022	0.4120	0.0573	-0.0251	-0.0238

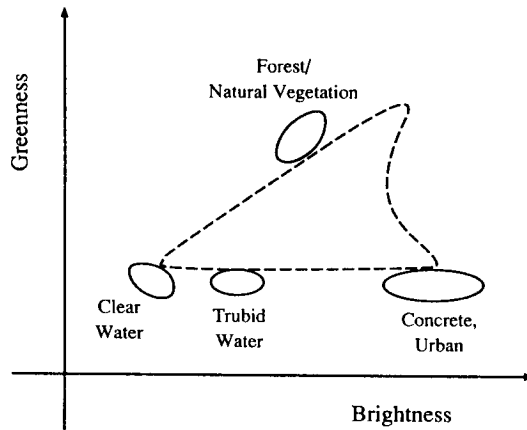


Fig. 2. Typical tasseled cap transform of LANDSAT TM data (after Crist and Cicone 1984).

터분석은 해안지역을 연구대상지역으로 한 변화벡터 분석시 두 영상자료의 해석 차이에 의한 영향을 줄일 수 있다는 장점이 있는 것으로 본 연구에서 나타났다.

변화벡터분석법은 Fig. 1에서와 같이 그 변화의 방향성 개념을 도입함으로써 변화의 종류와 크기를 함께 분석할 수 있게 된다. 즉 Fig. 1에서 기준 데이터의 성분 1과 2에 의한 좌표가 A라고 하고 변화된 데이터의 성분 1과 2에 의한 좌표가 A'이라고 하면 그 변화 방향과 크기는 벡터 AA'에 의해 정의될 수 있다. 그러나 실제 경우에 있어서는 계산 편의상 정확한 방향보다는 그 변화를 Fig. 1에서 나타낸 것과 같이 네개의 상한으로 구분하여 변화방향이 속하는 상한의 값으로 대표되어 나타낸다. 즉 벡터 AA'의 변화는 성분 1과 2 모두 증가한 경우이나, 벡터 AA'의 경우는 성분 1은 감소하는 반면 성분 2는 증가한 경우이다.

이와 같이 만약 LANDSAT TM의 열 적외선 밴드인 밴드 6을 제외한 6개의 밴드를 이용하여 변화벡터를 계산할 경우 최대 64개의 변화 방향을 얻을 수 있다. 그러나 64개의 변

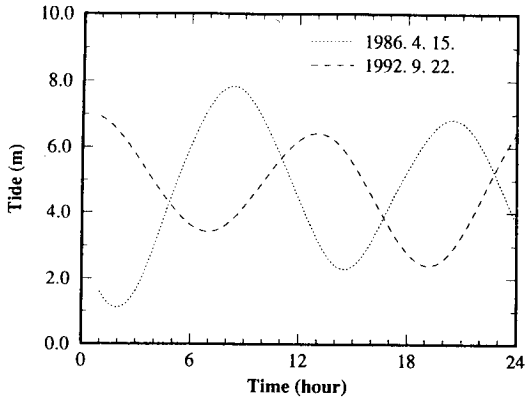


Fig. 3. Tidal condition on April 15 1986 and September 22 1992 at Inchon harbor.

화벡터를 모두 사용할 경우 각 밴드간의 변화관계를 이해하는데 매우 복잡하며 해석시 어려움이 따르게 된다. 따라서 변화벡터의 수를 줄이면서도 개념적으로 입증된 결과를 얻기 위해서는 원래의 6개 밴드를 그대로 이용하기보다는 주성분변환(Principal Component Analysis)이나 tasseled cap 변환을 먼저 실시한 후 이로부터 얻어진 새로운 벡터에 변화벡터분석법을 적용하는 것이 일반적으로 효과적이다. 변화측정을 위한 주성분변환의 이용에 대한 연구는 Byrne *et al.* (1980)이 실시하였으며, 이 결과 3에서 5에 이르는 주성분영상이 특히 변화관측에 효과적인 것으로 기술한 바 있다. 이와 유사하게 tasseled cap 변환을 실시한 후 변화벡터분석법의 적용에 대해서는 Johnson(1994)이 플로리다주의 태풍피해 산장을 위해 도심 및 농경지역에 대해 시도한 바 있다. 또한 일반적으로 변화관측을 위한 대부분의 방법들은 전처리 과정이 필요시 되며 LANDSAT TM 자료에 대한 일반적인 전처리 과정에 대해서는 Howarth and Boasson(1983)이 기술한 바 있다.

Tasseled cap 변환

Tasseled cap 변환은 Kauth and Thomas(1976)에 의해 LANDSAT MSS 자료를 이용하여 식생지수를 구하기 위해 개발되었으며, 개념적으로 주성분변환과 유사하다. 이후 Crist and Cicone(1984)가 LANDSAT TM 자료를 이용한 tasseled cap 변환의 계수를 제시하였으며 그 값은 Table 1에서 보는 바와 같다.

즉 LANDSAT TM 자료의 7개 밴드 중 열적외선 밴드인 밴드 6을 제외한 6개의 밴드를 Table 1에서의 상수를 이용하여 tasseled cap 변환을 실시하면 6개의 성분을 얻을 수 있다.

이 6개의 성분 중 특히 첫 번째 성분은 토양의 brightness와 같은 전반사량을 나타내며, 두 번째 성분은 green vegetation index를 나타낸다.

Crist and Cicone(1984)이 제안한 LANDSAT TM 자료에 대한 tasseled cap 변환의 세 번째 성분은 Kauth, Thomas (1976)가 개발한 LANDSAT MSS 자료를 이용하여 얻을 수 있는 세 번째 성분과는 차이가 있다. 즉 Kauth and Thomas (1984)는 원래 LANDSAT MSS 자료를 이용하여 tasseled cap 변환의 세 번째 성분을 해수 표면에 나타나는 yellow substance를 구하는데 사용하였으나, Crist and Cicone(1984)는 LANDSAT TM의 경우 장파장 적외선 밴드는 토양의 수분에 더 민감하다는 점에 착안하여 Wetness를 구하고자 하였다. 6개의 tasseled cap 변환 성분 중 상기에서 설명한 3개의 성분들이 대부분의 정보를 나타내며 나머지 세개의 성분이 갖고 있는 정보는 매우 적어 일반적으로 특별히 활용하지는 않고 있다. Fig. 2는 세로축을 tasseled cap 변환의 첫 번째 성분인 Brightness로 하고 세로축을 두 번째 성분인 Greenness로 하여 나타낼 때 지표특성에 따른 영역을 도식화한 것이다. Fig. 2에서 볼 때 자연 숲에서는 Greenness가 특히 높아지며 해수의 경우는 Greenness는 거의 큰 차이가 없으나 탁도에 따라 Brightness가 변하는 것을 알 수 있다. 도심지역 경우는 특히 Brightness가 높게 나타난다.

경기만에서의 해안선 변화 적용결과

자료분석

경기만의 경우는 인공적인 간척 및 건설에 따른 급속한 지형변화가 심한 지역이므로 타 지역에 비해 단기간의 자료에 의해서도 뚜렷한 변화가 관측될 가능성이 높은 지역으로 새로운 알고리즘의 실험적 적용에 적합한 지역이다. 경기만에서의 원격탐사 자료를 이용한 해안선 변화의 분석을 위해서 1986년 4월 15일 10시 30분 경에 얻어진 LANDSAT TM 자료와 1992년 9월 22일 10시 30분 경에 얻어진 같은 종류의 자료를 사용하였다. 일반적으로 원격탐사 자료를 이용한 특정지역의 변화 관측을 위해서는 가능하면 같은 계절이나 자연적 조건하에서 얻어진 두개의 자료를 비교하는 것이 원칙이나 본 연구지역에서 구름이 없는 상황에서 유사 계절에 얻어진 자료를 구하지 못했다. 또한 경기만에서는 조수간만의 차이가 매우 커 조석에 따른 조간대 지역의 노출 면적이 큰 차이를 나타낸다. Fig. 3은 1984년 4월 15일(점선)과 1992년 9월 22일(사선) 24시간 동안의 인천항에서의 조석변화를 저조선으로 부터의 높이로 나타낸 것이다. LANDSAT TM 자료가 얻어진 1984년 4월 15일 10시 30분 경의 조석 상태는



Fig. 4. Landsat TM image acquired on April 15 1986 over the Kyunggi Bay area.

그림에서와 같이 약 6.5 m를 나타내며, 1992년 9월 22일 10시 30분 경에 같은 지역에서의 조석 상태는 약 5.3 m 이다. 따라서 1992년 9월 22일 영상자료에서 1984년 4월 15일 영상에서 보다 조간대가 좀 더 노출되어 있을 것으로 예상된다.

Fig. 4와 5는 각 각 1984년 4월 15일과 1992년 9월 22일 경기만에서 얻어진 LANDSAT TM 자료 중 (Path/Row=116/34) 780×880 픽셀을 취하여 가시광선 분광대에 속하는 밴드 1, 2, 및 3을 각각 청, 녹, 적색의 색 조합을 이용하여 나타낸 것이다. Fig. 4와 5에서 1984년 4월과 1992년 9월 사이에 일어난 경기만에서의 변화는 우선 소래포구 주변의 남동공단의 형성 및 시화공업단지 조성을 위한 매립에 의한

변화가 뚜렷하게 나타난다. 또한 시화방조제의 건설도 이 기간 중에 일어났음을 알 수 있다. 그러나 인천항 항만시설이나 안산 시내에서의 변화 등 좀 더 자세한 변화를 알기 위해서는 세심한 육안분석이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 변화벡터분석법을 적용하여 이와 같이 육안분석이 가능한 해안선의 변화뿐만 아니라 좀 더 정밀한 분석이 필요한 미세한 지형변화를 효과적으로 분석하는 방법의 개발에 중점을 두고있다.

해안선 변화관측을 위한 변화벡터분석법의 적용방법 및 결과



Fig. 5. Landsat TM image acquired on September 22 1992 over the Kyunggi Bay area.

본 연구에 사용된 1986년 4월 15일 및 1992년 9월 22일 경기만에서 얻어진 LANDSAT TM 자료의 통계학적 특성은 각각 Table 2와 3에 나타난 것과 같다. Table 2와 3에서 보는 바와 같이 일반적으로 1986년 4월에 얻어진 LANDSAT TM 자료는 1992년 9월에 얻어진 자료보다 대응되는 각 밴드의 평균값이 높고 특히 표준편차가 큰 것을 알 수 있다. 이는 일반적으로 1986년 4월 LANDSAT TM 자료가 1992년 9월 자료보다 더 많은 지표면의 정보를 보유하고 있음을 암시한다. 그러나 1986년 4월 자료는 6개의 밴드가 비교적 서로 높은 상관관계를 갖는다. 특히 밴드 1, 2, 및 3은 서로 공히 0.94 이상의 매우 상관관계를 나타내고 있다. 이밖에도 밴드

3과 4 (0.939), 밴드 4와 6 (0.974), 및 밴드 5와 6 (0.920) 등으로 비교적 높은 상관관계를 갖는다. 이는 각 밴드간의 정보가 독립적이지 못하고 유사한 정보를 공유하는 경우가 많다는 것이다. 이에 반해 1992년 9월 자료는 비록 각 밴드의 표준편차는 작지만 밴드간의 상관계수가 밴드 2와 3 (0.953) 및 밴드 5와 6 (0.931) 외에는 비교적 낮은 값을 보인다. 따라서 1992년 9월 자료의 경우 각 밴드는 서로 독립적인 정보를 보유하고 있음을 시사한다.

본 연구에서 실시한 변화벡터분석법의 처리 과정은 Fig. 6에 있는 계통도와 같은 방법을 사용하였다. Fig. 6의 계통도에서 “IVAS command”로 표시된 부분은 IVAS System

Table 2. Statistics of LANDSAT TM data acquired on April 15 1986 over the Kyunggi Bay area.

Statistic Parameter	Landsat TM Band					
	1	2	3	4	5	6
Minimum	68	24	21	6	1	0
Maximum	255	255	255	255	255	255
Mean	98.4	46.9	53.1	44.1	65.2	35.7
Standard Deviation	24.7	31.1	32.2	36.8	52.7	39.8
Covariance Matrix	1	609.8				
	2	751.0	969.1			
	3	753.1	971.4	1036.2		
	4	734.5	996.2	1110.5	1350.6	
	5	695.9	968.5	1261.7	1704.8	2272.7
	6	790.5	1055.4	1195.5	1426.8	1930.9
Correlation Coef.	1	1.000				
	2	.977	1.000			
	3	.947	.969	1.000		
	4	.809	.871	.939	1.000	
	5	.535	.591	.744	.881	1.000
	6	.803	.851	.932	.974	.920

Table 3. Statistics of LANDSAT TM data acquired on September 22 1992 over the Kyunggi Bay area.

Statistic Parameter	Landsat TM Band					
	1	2	3	4	5	6
Minimum	53	19	15	4	0	0
Maximum	216	119	172	138	251	255
Mean	73.6	32.6	33.4	42.9	45.5	20.9
Standard Deviation	9.5	6.9	13.0	28.8	34.3	18.2
Covariance Matrix	1	89.7				
	2	57.9	46.9			
	3	103.3	85.0	169.2		
	4	-11.7	60.3	142.7	829.7	
	5	108.7	140.8	320.1	831.8	1177.3
	6	100.2	94.1	203.8	328.6	581.3
Correlation Coef.	1	1.000				
	2	.893	1.000			
	3	.838	.953	1.000		
	4	-.043	.305	.381	1.000	
	5	.334	.599	.717	.842	1.000
	6	.581	.755	.861	.627	.931

600에 내장되어 있는 상용 프로그램을 나타내며, 나머지 프로그램들은 본 연구 수행을 위해 C-language를 사용하여 작성된 프로그램들이다.

계통도에서 보는 것과 같이 우선 6개의 LANDSAT TM 자료에 대해 tasseled cap 변환을 취하게 되며 그 결과는 Fig. 7에 나타난 것과 같다. Fig. 7은 1986년 4월 15일 자료의 tasseled cap 변환(십자)은 Fig. 2에 나타난 전형적인 tasseled

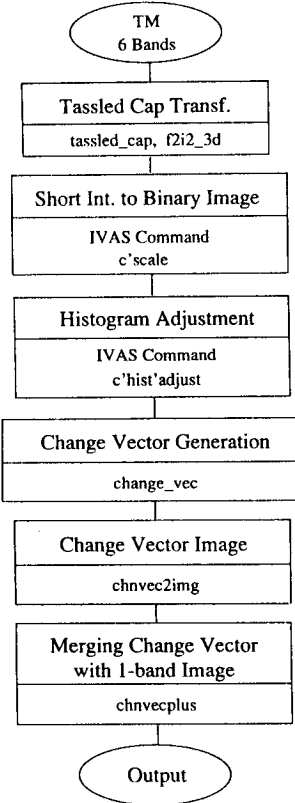


Fig. 6. Flow chart of the change vector processing adopted in this study.

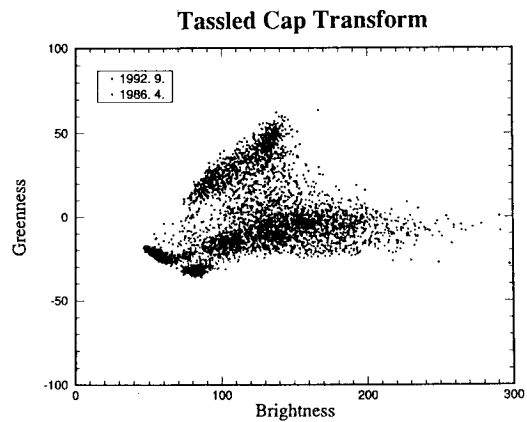


Fig. 7. Tasseled cap transform of combined results of TM data acquired on April 15 1986(cross) and September 22 1992 (dark circle).

cap 변환의 결과와 비교해 볼 때 Greenness가 매우 낮으며 수목부분의 발달이 매우 미약한 것을 알 수 있다. 이는 Fig.

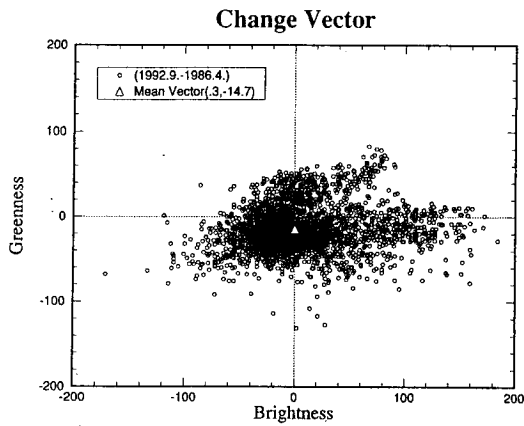


Fig. 8. Change vector obtained from the TM data used in the study.

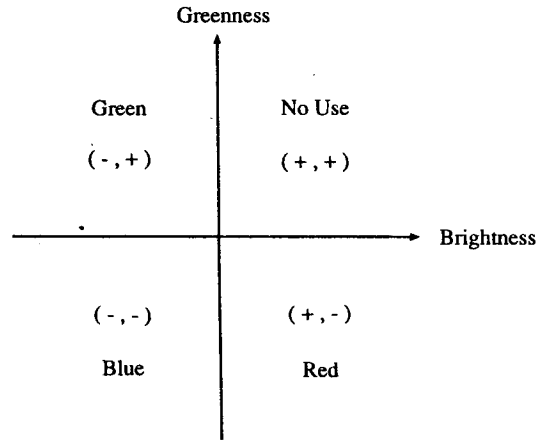


Fig. 9. Color composite convention for generating change vector image in.

Table 4. Statistics of change vectors generated from Brightness and Greenness.

Statistic Parameter		Value
Mean Vector	Brightness	0.30
	Greenness	-14.70
Standard Deviation	Brightness	33.23
	Greenness	19.84
Linear Regression	Slope	0.15
	Intercept	-14.70
Correlation Coef.		0.09

4에서 볼 수 있듯이 본 연구지역이 자료가 얻어지는 당시 초목으로 아직 초목들이 충분히 자라지 못한 상태이기 때문으로 생각된다. 그러나 해수의 영향으로 Fig. 2에서 나타내고 있는 청정수 구역은 매우 잘 발달하고 있음을 알 수 있다. Fig. 7에 도시한 1992년 9월 22일 자료의 tasseled cap 변환(검은 원) 결과는 Fig. 2와 같은 전형적인 tasseled cap 변환의 결과를 보여주고 있다. 1984년 4월 결과에 비해 1992년 9월 자료에 의한 결과에서는 산림지역이 잘 발달하고 있음을 알 수 있으며 해수에서는 청정수역과 탁도가 높은 수역이 함께 잘 나타나고 있음을 알 수 있다.

변화벡터분석법을 적용하기 위해서는 두 데이터셋의 통계학적 분포가 거의 일치하여야 실제 변화를 효과적으로 분석할 수 있으며, 이에 따라 두 자료의 보정이 필요하게 된다. 본 연구에서는 두 자료간의 히스토그램을 이용하여 보정을 실시하였다. 이는 매우 초보적인 대기보정에 해당된다. 즉 1986년 4월 자료에서 구해진 Brightness의 평균값은 57.0이며 표준편차는 37.5를 갖는 분포를 나타내며, 1992년 9월 자료로부터 얻어진 Brightness의 평균값 56.7과 표준편차 43.2를

갖는다. 따라서 이 두 자료의 평균값과 표준편차가 서로 가장 근접한 값들을 가질 수 있도록 히스토그램을 조정해 주면 된다. 마찬가지로 두 번째 성분인 Greenness도 같은 방법으로 히스토그램을 조정해 준다. 1986년 4월 자료의 Greenness의 평균값은 99.8, 표준편차는 22.7이며, 1992년 9월 자료에서 구해진 Greenness의 평균값은 112.9, 표준편차 35.1을 갖는다. 여기서 우선 1992년 9월 자료의 tasseled cap 변환을 통해 얻어진 첫 번째 성분 Brightness와 두 번째 성분 Greenness의 표준편차가 이에 대응하는 1986년 4월 자료에서 얻어진 Brightness와 Greenness의 표준편차보다 큰 값을 갖는다는 점을 주목할 만하다. 이러한 결과는 앞서 설명한 바와 같이 1986년 4월 자료는 비록 각 밴드의 표준편차는 크지만 각 밴드간의 상관관계가 매우 높아 tasseled cap 변환을 실시한 후에는 서로 독립적인 정보만을 갖는 각 성분의 표준편차는 낮은 값을 갖게 된다.

이와 같이 두 데이터셋의 tasseled cap 변환을 취하여 얻어진 Brightness와 Greenness를 평균값과 표준편차를 이용한 히스토그램 보정을 실시한 후 얻어진 자료를 이용하여 변화벡터를 구한다. 원래 변화벡터는 Fig.1에서 보는 것과 같이 두 점간의 변화를 나타내는 크기와 방향을 갖는 벡터로 표시된다. 즉,

$$\text{Change Vector} = (B_b - B_a, G_b - G_a) \tag{1}$$

B_a, G_a = Brightness and Greenness of the first data

B_b, G_b = Brightness and Greenness of the second data

1986년 4월 자료를 변화의 기준자료로 하고 1992년 9월 자료를 변화된 자료로 하여 변화벡터를 구한 결과 Fig. 8과



Fig. 10. Color composite image of the resulting change vector; the background image represents band 3 of LANDSAT TM data acquired on September 22, 1995.

같은 분포를 보였다. Fig. 8에서 변화는 주로 세 번째 성분 즉 Brightness는 증가하고 Greenness는 감소하는 경우와 네 번째 성분 즉 Brightness와 Greenness가 모두 감소하는 경우가 특히 우세하게 나타났다. 평균변화벡터(Fig. 8에서 삼각형)는 Brightness는 0.3 이고 Greenness는 -14.7로서 예상과는 약간 다른 결과를 나타냈다. 즉 Table 4에서 알 수 있듯이 평균변화벡터의 Brightness는 거의 0에 가까우므로 적절한 보정이 실시되었지만 Greenness는 오히려 음의 변화를 갖는데 이는 과보정 때문이라고 사료된다. Brightness의 표준편차는 33.23이며 Greenness 방향의 표준편차는 19.84로서 그림에서와 같이 Brightness의 변화 폭이 더 크다는 것을

알려 준다. Brightness와 Greenness의 상관계수는 0.09로서 매우 낮은 관계를 나타내며 따라서 Brightness의 변화와 Greenness의 변화가 거의 서로 독립적임을 알 수 있다.

실제 경우에 있어서는 앞서 설명한 좌와 같이 원래의 변화벡터의 방향에 대한 모든 정보를 이용하는 데는 어려움이 따른다. 이에 따라 방향에 대한 정보는 벡터의 정확한 방향보다는 가능한 네 종류의 방향 중 하나로 대표되고 다만 크기에 관한 정보만을 이용한다.

본 연구에서는 변화벡터의 방향은 Fig. 1에 나타낸 좌표계를 사용하여 실시하였다. 즉 예로서 첫 번째 상한에 속하는 변화는 Brightness와 Greenness가 모두 증가된 경우이며, 세

번째 상한은 Brightness는 증가했으나 Greenness는 감소한 경우이다. 또한 변화벡터의 크기는 다음과 같은 식 (2)에 의해 Euclidean distance로 계산된다.

$$|\text{Change Vector}| = \sqrt{(B_b - B_a)^2 + (G_b - G_a)^2} \quad (2)$$

그러나 모든 변화벡터를 실제의 변화로 볼 수 없으며 실제 변화를 알기 위해서는 변화벡터의 각 성분의 임계치(threshold)를 결정하여 그 임계치 이상의 변화에 대해서만 정밀 분석을 실시하게 된다. 실제로 현재 그 임계치를 결정하는 특별한 방법은 없으며 경험 및 결과 영상의 분석에 의해 결정하는 것이 일반적이다. 각 성분의 임계치를 결정하기 위해 본 연구에서는 변화벡터의 각 성분의 누적백분율 히스토그램을 분석해서 결정하는 방법을 이용하였다. 즉 누적백분율 히스토그램에서 급격한 변화를 이루는 곳은 실제적인 변화보다는 앞서 설명한 히스토그램 보정시의 오차로 사료되며 따라서 점진적인 변화가 시작되는 벡터의 크기를 각 성분의 변화시작 임계치라고 여겨진다. 이와 같이 얻어진 변화벡터를 영상화하기 위해 각 벡터성분을 Fig. 9에 나타난 색 조합을 이용하였으며 이는 1992년 9월 22일 LANDSAT TM 자료 중 밴드 3을 배경 영상으로 하여 합성시키는 방법으로 Fig. 10의 변화벡터 영상을 얻었다. Fig. 10의 변화벡터 영상은 첫 번째 성분은 50 퍼센트(벡터크기 29), 두 번째 성분은 50 퍼센트(벡터크기 33)으로 하고 세 번째 성분은 90 퍼센트(벡터크기 49) 이상의 변화만을 이용하여 나타낸 것이다.

결과 해석

Fig. 10의 변화벡터 영상에서 청색은 Fig. 9에서 알 수 있듯이 Brightness와 Greenness가 모두 감소한 경우이다. 즉 청색이 많은 지역은 자연적인 현상으로는 계절적인 영향에 의한 지표면의 산림이 줄어드는 경우이다. 그러나 본 연구지역에서는 이보다는 인공적인 영향에 의해 나타나는 경우가 더욱 두드러진다. 즉 간척사업이 끝나거나 새로운 건설을 위해 경지정리 등을 수행한 곳에 차후 다른 건물들이나 표면에 아스팔트 등으로 포장한 경우에 이와 같이 나타나고 있다. 녹색은 Brightness는 감소하고 Greenness는 증가한 경우이다. 즉 이는 녹지가 증가한 경우에 해당된다. 본 연구 결과에서 가장 핵심이 되는 부분은 변화벡터 영상에서 적색으로 표현된 Brightness는 증가하고 Greenness는 감소한 경우이다. 이러한 경우는 표면의 식물들이 파헤쳐져 토양 등이 표면에 나타난 경우이다. 특히 본 연구 지역에서는 간척사업으로 새로운 경지가 생긴 경우나 새로운 구조물 등이 건설된 경우이다. 또한 조건대에서 조석상태에 따라 두 자료간에 노출이 증가된 부분도 이에 해당된다. Fig. 10의 변

화벡터 영상은 1986년 4월과 1992년 9월 사이에 본 지역에서 일어난 변화를 잘 나타내고 있다. 우선 새로 건설된 시화방조제, 간척사업으로 생겨난 시화공단과 남동공단 및 서해안고속도로 건설지역이 적색으로 뚜렷이 나타나고 있다. 이와 같이 육안으로 쉽게 구별할 수 있는 대규모 변화뿐만 아니라 인천항 내부 및 주변의 소규모 지형변화도 매우 효과적으로 관찰될 수 있음을 알 수 있다. 즉 이기간 동안 변화된 인천항의 항만시설은 세심한 관찰 없이는 구별이 어려웠으나 Fig. 10의 변화벡터 영상을 통해 매우 뚜렷하게 나타나고 있다. 조건대의 노출 정도에 따른 변화도 쉽게 알 수 있어 실제로 이 방법을 장기간에 걸쳐 느리게 일어나는 지질작용에 의한 퇴적구조의 변화연구에도 본 연구에서 개발된 방법의 적용이 가능하다는 것을 시사한다. 한가지 더 주목할 점은 도심지 내에서 청색으로 표현되는 변화이다. Fig. 10에서 안산시와 인천시 및 남동공단 북부 등 도심지 내에서 청색으로 나타나는 지역을 중심으로 세심한 관찰을 실시한 결과 이러한 지역은 대부분 1984년 4월 당시 경지정리만 되어있던 지역에 1992년 9월 현재 새로운 구조물로 채워진 지역으로 나타났다. 따라서 이 변화벡터분석법은 육상에서의 건설에 따른 변화를 관찰하는 데도 매우 효과적임이 증명되었다.

결론

본 연구에서는 tasseled cap 변환을 활용한 변화벡터분석법의 적용은 LANDSAT TM 자료를 이용한 해안선 변화 및 연안지역의 지형변화를 관측하는데 매우 효과적이며, 1986년 4월 15일과 1992년 9월 22일 경기만 일대에서 얻어진 LANDSAT TM에 시험 적용한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, tasseled cap 변환을 이용한 변화벡터분석법은 해안선 변화 및 주변 연안지역에서의 지형적 변화를 관측하는데 매우 효과적이다. 특히 본 시험 연구지역에서 1984년 4월과 1992년 9월 사이에 수행된 간척사업이나 방조제 건설등 대규모 변화뿐만 아니라 항만시설의 변화등 비교적 세심한 주의 없이는 육안으로 관찰이 어려운 변화까지도 잘 관측된다는 장점을 나타냈다. 이와 같은 변화는 tasseled cap 변환성분 중 Brightness는 증가하며 Greenness는 감소하는 특징을 갖는 것으로 나타났다.

둘째, 이 방법은 도심지 내에서 경지정리된 지역에 새로운 건물이나 도로포장이 이뤄진 경우 tasseled cap 변환성분 중 Brightness와 Greenness가 모두 감소하는 특징을 갖은 변환벡터로 표현되어 관측이 가능하다.

셋째, 관측시의 조수간만 차에 의한 조건대의 노출 변화도 상기 첫 번째 경우와 마찬가지로 tasseled cap 변환의 Brightness는 증가하며 Greenness는 감소하는 특징으로 구분

되어 관측이 가능하며, 이에 따라 순수 지질작용에 의한 자연적인 퇴적물의 이동 및 변화에 대한 관측의 가능성을 시사한다. 그러나 순수 퇴적물의 변화 관측을 위해서는 무엇보다도 장기간에 걸친 자료의 축적이 필요하나 본 연구에서는 두 자료간의 시간적 간격이 약 6년으로 비교적 짧아 이러한 목적을 달성하는데는 충분하지 못하였다.

넷째, tasseled cap 변환의 히스토그램 보정을 위해 본 연구에서 사용된 평균값과 표준편차에 의한 보정방법의 개선이 필요하며 이와 함께 대기보정에 대한 연구가 필요한 것으로 사료된다.

다섯째, 본 연구에 사용된 방법은 변화벡터를 적용하기에 앞서 tasseled cap 변환을 적용한 자료를 이용하였다. 그러나 주성분 분석법도 tasseled cap 변환과 마찬가지로 원격탐사 자료의 양을 줄이기 위해 흔히 사용되는 방법으로 앞으로 주성분 분석법을 이용한 변화벡터 분석법의 적용 가능성에 대한 고찰 및 비교 연구가 필요 할 것으로 사료된다.

요 약

LANDSAT TM 자료를 이용한 지형변화를 관측하는데 알맞은 알고리즘에 대한 고찰과 이 알고리즘을 1986년 4월 15일과 1992년 9월 22일 경기만에서 얻어진 LANDSAT TM 자료에 적용하여 타당성을 시험하였다. 이 알고리즘은 변화벡터분석법과 tasseled cap 변환을 이용한 방법이다. 변화벡터분석법은 영상자료간의 변화를 관측하는데는 우수하지만 그 변화벡터의 수가 증가함에 따라 효율이 감소하는 단점이 있다. 이와 같은 단점을 보완하기 위해 tasseled cap 변환을 이용함으로써 원래 6개 밴드의 LANDSAT TM 자료를 두 개의 밴드 즉 Brightness와 Greenness로 줄일 수 있게 된다. 시험 적용 결과 이 알고리즘은 해안선 일대에서의 대규모 지형 변화뿐만 아니라 육안관측으로는 어려운 미세한 변화까지도 관측 가능한 것으로 나타났다. 그러나 본 연구결과의 변화벡터 영상에서는 인공적인 변화에 더 민감한 것으로 나타

났는데 이는 본 연구에 사용된 두 LANDSAT TM 자료가 얻어진 시간 간격이 지질학적 작용에 의한 변화가 나타나기에는 비교적 짧기 때문인 것으로 사료된다.

사 사

본 연구는 한국해양연구소에 제공된 과학기술처 기본연구비(BSPE 00437-778-5)에 의해 수행된 연구결과의 일부임.

참고문헌

- Byrne, G.F., Crapper, P.F., and Mayo, K.K.(1980), Monitoring land-cover change by principal component analysis of multitemporal LANDSAT data. *Remote Sensing Environ.*, v.10, p.175-184.
- Crist, E.P., and Cicone, R.C.(1984), A physically-based transformation of Thematic Mapper data--the TM tasseled cap. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, v.22, no.3, p. 256-263.
- Howarth, P.J, and Boasson, E.(1983), LANDSAT digital enhancements for change detection in urban environments. *Remote Sensing Environ.*, v.13, p. 149-160.
- Jensen, J.R.(1986), *Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective*. Prentice-Hall, p. 236-253.
- Johnson, R.D.(1994), Change vector analysis for disaster assessment: a case study of hurricane Andrew. *Geocarto International*, v.9, no.1, p. 41-45.
- Kauth, R.J, and Thomas, G.S.(1976), The tasseled cap -a graphic description of the spectral-temporal development of agricultural crops as seen by LANDSAT. *Proc. Symp. Machine Process. Remotely Sensed Data*, Purdue University, West Lafayette, IN, p. 41-51.
- Malia, W.A.(1980), Change vector analysis: an approach for detecting forest changes with Landsat. *Proc. Machine Processing of Remotely Sensed Data Symp.*, LARS/Purdue University, West Lafayette, IN.
- Varag, L.A., and Colwell, J.E.(1987), An improved procedure for analysis of change in Thematic Mapper image pairs. *Proc. 21st Int. Symp. Remote Sensing Environ.*, Ann Arbor, MI, Vol.2, p. 1001-1110.

1995년 8월 11일 원고접수