

## 곰소만 조간대 퇴적물의 Landsat ETM+ 자료 특성

류주형 · 최종국 · 나영호 · 원중선

연세대학교 지구시스템과학과

### Characteristics of Landsat ETM+ Image for Gomso Bay Tidal Flat Sediments

Joo-Hyung Ryu, Jong-Kook Choi, Young-Ho Na, and Joong-Sun Won

Department of Earth System Sciences, Yonsei University

**Abstract :** A field survey and Landsat ETM+ image acquisition carried out simultaneously. Using these data, we attempted to establish relationships between tidal flat environmental factors and reflectance observed by ETM+, and to set up a new critical grain size useful for optical remote sensing. Although the grain size of 4  $\phi$  has been conventionally used as a critical size by sedimentologists, the correlation with optical reflectance was very low. Instead, the grain size of 2  $\phi$  showed a relatively high correlation coefficient, 0.699, with ETM+ band 4, except near tidal channels in upper tidal flat. We concluded that the grain size of 2  $\phi$  would be better to use for a critical grain size in Gomso Bay. The grain size also correlated well with moisture content having a correlation coefficient of -0.811 when the 2  $\phi$  criterion was used. The results of factor analysis showed moisture content was more important parameter than topographic relief, and they were different from German tidal flats in which topographic relief was the prior factor. This can be explained by finer grain composition of the Gomso bay tidal flat. In short, moisture content and topography as well as grain size should be considered in tidal flat remote sensing.

**Key Words :** Tidal Flat, Sediments, Gomso Bay, Landsat ETM+, Remote Sensing.

**요약 :** 이 연구에서는 곰소만 조간대에서 현장 시료채취와 동시에 얻어진 Landsat ETM+ 자료를 이용하여 조간대 환경요인들이 ETM+에 의해 관측된 반사도와 어떤 관계를 가지고 있는 지 밝히고, 광학위성영상을 이용한 조간대 표층퇴적물의 분류의 적용 가능한 기준입도를 제시하고자 하였다. 일반적인 퇴적학적 분류 기준이 되는 4  $\phi$  입도를 기준으로 했을 때 입도와 영상의 반사도 간의 상관관계는 매우 낮은 것으로 나타났으나, 2  $\phi$  이상의 입자를 기준으로 하였을 때는 상부조간대의 천주변에 작은 입자로 구성된 지역의 자료들을 제외하면 ETM+ 밴드 4번과 0.699의 높은 상관계수를 보인다. 즉, 입도 2  $\phi$ 를 곰소만 조간대에서의 광학위성 자료에 의한 표층퇴적물 분류를 위한 기준입도로 사용하는 것이 타당하다. 입도와 함수율은 비교적 높은 음의 상관관계를 보이며 특히 입도 2  $\phi$  기준과는 -0.811로서 뚜렷하게 음의 상관관계를 보인다. 위성자료의 Factor analysis 결과는 지형요소에 의해 크게 영향을 받는 독일의 조간대와는 다른 특성을 보이며, 이는 곰소만의 경우는 입자가 세립하여 지형보다는 함수율에 더 큰 영향을 받는 것으로 나타났다. 결국 조간대 원격탐사에서는 입도뿐만 아니라 함수율과 지형 등의 환경요소가 함께 고려하여야만 한다.

## 1. 서론

조간대의 퇴적환경은 다양한 환경 인자에 의해 지속적으로 변화하고 있으며, 이러한 조간대 지형 특성과 함께 환경 변화에 영향을 미치는 주요 요소 중 하나는 표층 퇴적물의 특성 및 분포이다. 조간대의 퇴적물 특성과 분포는 특히 최근 국제적 관심사 중 하나인 해안선 침식과 밀접한 관계를 갖고 있다. 전 세계 해안선 후퇴의 90%는 침식에 의한 것으로 연안침식 비율은 해수면 상승의 100배에 이른다(Douglas 등, 2001). 조간대에서 표층퇴적물의 특성 및 분포에 영향을 주는 인자로는 조류나 조석 등의 해양 에너지, 인접 하천에 의한 퇴적물의 공급 정도 등 자연적인 요인과 대규모의 매립이나 제방 건설에 의한 퇴적환경의 변화 같은 인공적인 요인이 있다. 일반적으로 에너지가 큰 지역은 사질(sand)이 우세한 지역으로 나타나고 퇴적 및 침식 작용이 활발히 일어나는 반면, 니질(mud)이 우세한 지역은 매우 안정적이며 퇴적환경의 변화가 적다. 그러므로 조간대에서의 퇴적 및 침식량을 파악하거나 예측하기 위해서는 조간대 지형과 함께 표층퇴적물의 분포를 아는 것이 중요하다. 이러한 자료는 순수 퇴적학적 분야는 물론 양식장 관리와 연안관리 등에도 활용되고 있다.

단기간에 넓고 접근이 용이치 않은 조간대를 현장조사에만 의존하기는 어렵기 때문에 최소한의 야외조사와 원격탐사를 이용하여 조간대에서의 표층퇴적물 분포를 연구하려는 시도들이 국내외에서 이루어져 왔다. 조명희 등(1999)은 줄포만(곰소만) 조간대에 대해 Landsat TM 영상을 무감독 분류에 의해 미지형 분류와 지형적 특성을 파악하였다. 조간대 지역을 3개의 지역으로 분류한 후, 이들 지역을 현장 조사하여 각각 니질(mud flat), 혼합(mixed flat)과 사질 지역(sand flat)으로 지정하였다. 그러나 이 연구는 위성자료에 영향을 줄 수 있는 함수율이나 지형 등에 대한 고려는 없었으며, 위성자료 값의 차이만을 이용하여 무감독 분류하고 정량적인 검증 없이 분류된 클래스를 할당하였다. 정중철(2002)은 함평만 갯벌에 대해

1999년 5월의 Landsat TM 자료를 이용하여 Isodata와 K-means 방법에 의한 표층퇴적물 분류도의 정확도가 84.3%와 85.7% 라고 보고한 바 있다. 그러나 이와 같은 결과에 대한 자세한 검증은 없었으며 212개의 현장조사 정점 중 비교 가능한 85 개 정점을 이용하였다고만 언급하고 있다. 또한 6개의 다중 시기 영상을 무감독 분류하여 앞에서 분류했던 1999년 영상의 분류도를 참고자료(reference data)로 하여 에러매트릭스(error matrix)를 구하고 분류 정확도를 언급하였지만 이는 분포도의 정확도라기보다는 1999년 무감독 분류 결과와 다른 시기의 무감독 분류 결과간의 변화만을 의미하는 것이다. 즉 기존의 국내 연구들은 조간대의 환경 특성과 위성자료의 상관관계를 고려하지 않고 단순히 위성자료 값의 무감독 분류를 시도하였다. 류주형(2001)은 곰소만의 모래톱 주변을 대상으로 현장조사에 의해 입도, 함수율 시료를 채취하여 Landsat TM 및 EOS-Terra ASTER 영상과의 상관관계를 구하였다. 이를 통해 위성자료 이용시 퇴적학에서 일반적인 사용되는 Folk(1968)의 분류 기준보다는 조간대 특성에 맞는 새로운 분류기준이 적용되어야 함을 제시하였으나, 현장조사 자료가 일부 지역에 한정되고 샘플의 개수가 적었다는 단점이 있다.

Doerffer와 Murphy(1989)는 Landsat TM 영상을 이용하여 조간대 표층 퇴적물 분류에 영향을 주는 인자들을 연구한 바 있다. 이들은 독일의 Wadden Sea를 대상으로, 조간대에서의 영상의 반사도 특성에 영향을 주는 환경요인을 분석하였다. 주성분분석에 근거하여, 밴드별 반사도와 변수들 간의 공분산매트릭스로부터 일련의 요인들을 추출하여 각 변수와 요인 사이의 상관관계를 설명하는 factor loading을 구하였다. 그 결과, 7개의 밴드에서 총 변이의 82%를 갖는 3개의 주성분을 얻었는데, 첫 번째 주성분은 조간대 지형과 상관성이 높음을 수준측량 자료와 비교하여 제시하였다. 두 번째 주성분은 함수율과 세 번째 주성분은 표면 온도와 상관성이 있는 것으로 유추하였다. Bartholdy와 Folving(1986)은 Danish Wadden Sea에 대해 Landsat-2 영상을

이용하여 7개의 항목으로 표층퇴적물을 분류하였는데, 사질 지역에 대해서는 함수율을 고려하여 3개 항목으로 자세히 분류하였다. NASA에서는 미시시피강의 사주에 대해 오전 5시와 10시에 촬영된 ATLAS(Airborne Terrestrial Applications Sensor)의 열적외선 파장대역을 이용하여 표층의 모래와 자갈을 구분한 바 있다(Luders, 1999).

기존의 연구들은 대부분 원격탐사 자료를 이용한 표층의 특성 분류에 초점을 맞추었으며 분류된 영상의 클래스를 지정하거나 정확도를 검증하기 위하여 현장조사 자료를 사용하였다. 그러나 조간대의 표층퇴적물의 입도는 수  $\mu\text{m}$  단위로 매우 작고 점이적으로 변하므로 위성자료의 공간해상도내에 여러 가지 입도의 특성이 혼재되어 나타난다. 또한 가장 문제가 되는 것은 Fig. 1의 모식도에서와 같이 조간대 표면에서의 광학반사도는 입도 외의 다양한 환경요소 즉 함수율, 지형, 표면기복, 유기물 및 저서 구조류(algal mat) 등의 함수라는 점이다. 따라서 단순한 위성영상 자료의 분류결과가 표층의 입도를 대표한다고 단정하기는 매우 어렵다. 그러므로 광학반사도와 표층퇴적물과 관련 있는 현장 자료의 관계에 대한 연구가 먼저 수행된 후 위성자료를 분류하는 것이 효과적일 것으로 생각된다.

이 연구에서는 현장조사 자료와 위성 자료와의 상관관계를 구하고 Landsat ETM+ 자료를 이용

하여 조간대 표층퇴적물 분류를 시도할 때 효과적인 입도 기준을 제시하고자 한다. 원격탐사를 이용한 조간대 표층퇴적물의 분포에 대한 연구는 위성자료에서 받는 표층의 반사도 특성이 입도, 함수율, 지형 등의 다양한 요인들에 의해 좌우되며 이들 사이의 관계가 명확히 밝혀지지 않아 정량적인 분석은 어려운 실정이다. 이를 위하여 입도, 함수율, 지형 등의 조간대 환경인자와 Landsat ETM+ 자료의 밴드별 반사도와의 상관관계를 규명하고, 분류 가능한 입도 기준을 설정하여 향후 기준의 광학 및 초다분광 위성자료를 이용하여 조간대 표층퇴적물을 분류하는데 필요한 기초결과 제공을 주요 목적으로 하고 있다.

## 2. 연구지역

### 1) 퇴적물 특성

곰소만은 서해안의 중남부에 위치하고 있으며 서쪽으로 열린 반폐쇄적 만(폭: 7~9 km, 길이: 20 km)으로 만의 북쪽 40 km 지점의 해안으로 금강이 유입하며, 만의 안쪽의 남측 해안 중앙부로는 소규모 준용하천인 주진천이 유입한다(Fig. 2(a); 장진호, 1995). 곰소만의 조석은 일조부등이 거의 없는 1일 2회조로서 평균조차는 433.8 cm이고, 최대조차는 717.4 cm에 달한다. 조류의 유속은 곰소만 내의 주 조류로서 창조류가 115 cm/sec, 낙조류 150 cm/sec로서 낙조류가 우세한 편이다. 평균해면은 7~8월에 최고, 1~2월에 최저로서 연교차는 약 40 cm에 달한다(국립지리원, 1981).

곰소만 조간대의 표층퇴적물은 조립사(coarse sand)에서 세립니(fine silt)까지 매우 다양한 입도의 퇴적상들이 분포되어 있다. Fig. 2(b)는 장진호(1995)에 의해 조사된 표층퇴적물 분포를 나타낸 것으로 90년대 초에 조사된 것이다. Folk(1968)의 삼각다이아그램에 의해 기준한 퇴적물의 분류시 곰소만의 내만과 외만에서 다른 특징을 보이는데, 내만역은 대부분 니질 모래와 사질 실트로 구성되

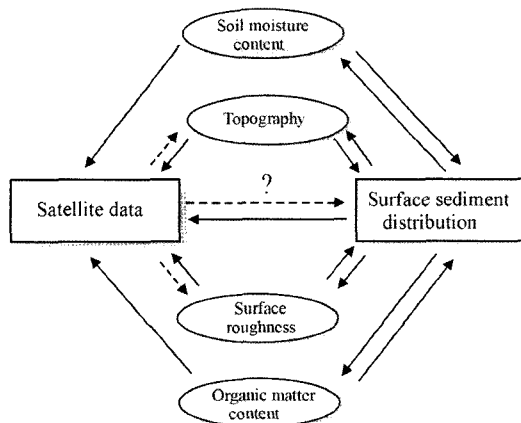


Fig. 1. Schematic diagram showing relation between satellite data and tidal flat environments.

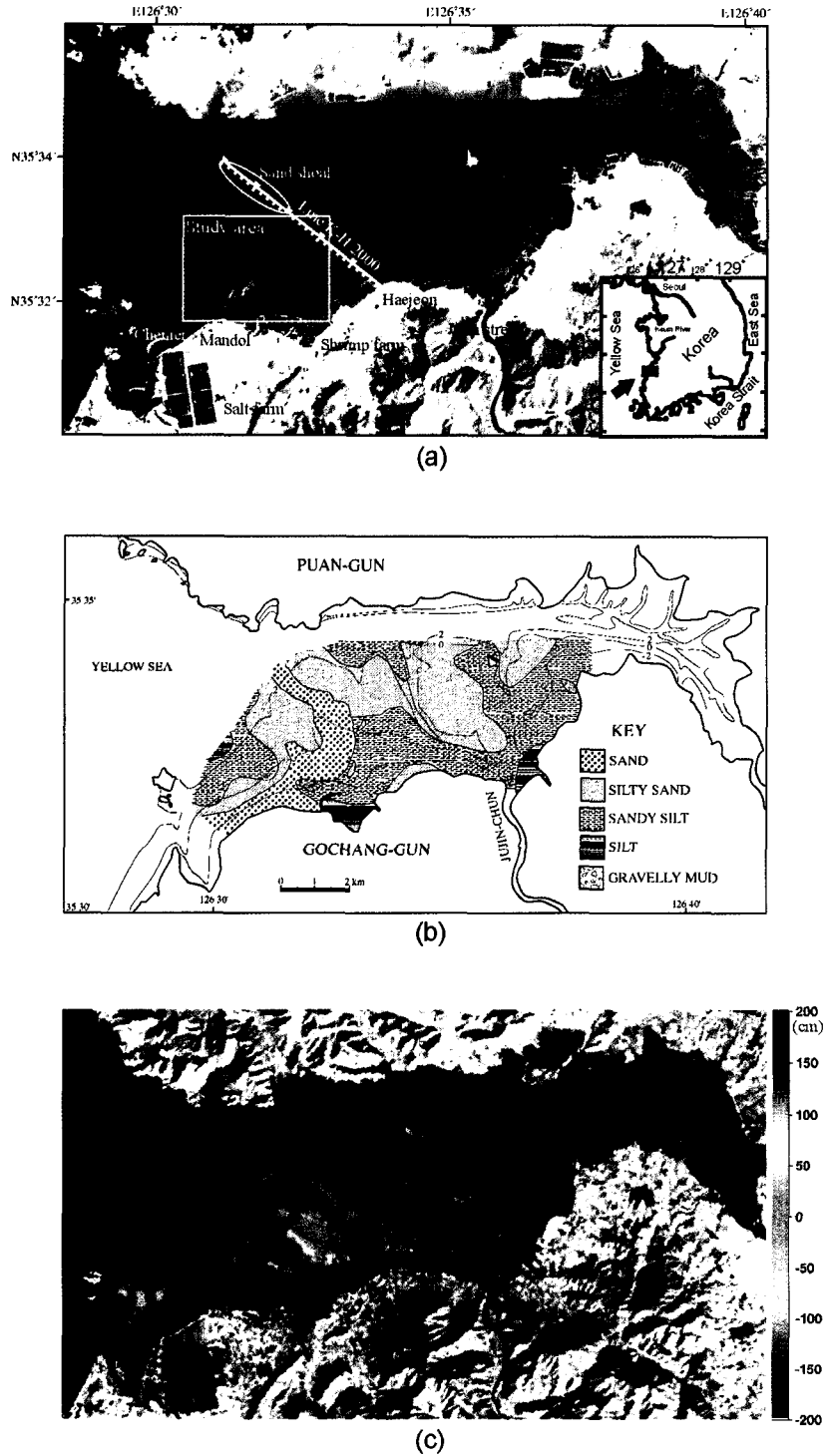


Fig. 2. (a) Location map and the Landsat ETM+ band 4 image of Gomso Bay showing typical tidal-flat features. Line K-H represents leveling points with an interval of 100 m. (b) Surface sediment distribution map(Chang, 1995). (c) Colordraped DEM.

어 세립한 편이다. 모래 함량 50~90 % 범위인 니질 모래는 조류로와 인접한 하부조간대와 중부조간대 하부에 넓게 분포한다. 조류로와 주조류로가 만나는 하부조간대에는 비교적 작은 규모의 모래 질실트가 분포하며, 주진천 하구와 쉼니어 후면의 상부조간대에는 모래 함량 10 % 미만의 세립한 실트가 분포한다. 모래 함량 90 % 이상의 사질퇴적상은 곰소만의 남서 해안에서 저조선 부근까지 길게 대상으로 분포하고, 이를 따라 주변보다 지형이 높고 입자들이 조립한 모래톱들이 발달하고 있다(장진호, 1995).

2) 지형적 특성

곰소만 조간대의 지형은 평균 경사 0.1°미만의 범위를 갖는 아주 평탄한 지역으로 바다 방향으로 3~5 km까지 연장된다. 상부조간대와 중부조간대에서는 모래톱이 발달되어 높은 지형을 나타내어 모래톱과 육지 사이에는 오목한 지형이 형성된다. 또한, 만들리 남부 지역에 사주 형태의 퇴적체인 쉼니어(chenier)가 부메랑 모양으로 발달하였는데, 4년 동안 최대 100 m 가량 이동한 것을 위성자료를 통해 관측되었다. 곰소만에는 입구 쪽에 다양한 규모의 조간대 모래톱들이 분포하며(Kim 등, 1999), 가장 두드러진 것은 주수로 근처에 북서-남동 방향으로 약 1,300 m 길이와 400 m의 폭을 갖고 있다. 이 모래톱은 외해에서 발생한 파랑 및 조류의 진입방향과 거의 직각을 이루고 주변보다 1 m 이상 높다. 또 표층퇴적물의 분포도 이 모래

톱을 기준으로 서쪽이 사질, 동쪽이 니질 퇴적물로 명확히 구분된다(이인태 등, 2001). 내만역은 표층이 주로 니질로만 이루어졌기 때문에 니질에서 사질까지 다양한 분포를 보이며 고도의 차이도 크지 않아 간조 시 일정하게 물이 빠져나가는 외만역 지역을 연구지역으로 선정하였다. Fig. 2(c)는 waterline 방법으로 류주형(2001)에 의해 만들어진 조간대 DEM(Digital Elevation Model) 영상이다. 위에서 설명한 바와 같이 주진천 동쪽은 서쪽에 비해 지형이 높게 나타남을 알 수 있고 모래톱과 같이 지역적으로 높은 고도를 갖는 구조도 잘 나타남을 알 수 있다.

3. 위성자료 및 현장 시료

조간대는 조석주기에 따라 간조시의 노출과 만조 시의 수몰이 반복되는 지역이므로 위성영상 획득시기의 조석에 따라 노출 면적이 다른 영상이 얻어진다. 위성영상이 얻어지는 시기의 현장조사 자료를 이용하여 보다 정확한 연구를 수행하기 위하여 2001년 9월 5일부터 7일까지 현장조사를 실시하였으며, 2001년 9월 7일 11시 정각에 얻어진 Landsat ETM+ 자료를 이용하였다. 위성자료는 1:5,000과 1:25,000 지형도를 이용하여 0.3 픽셀 이내의 오차로 지형보정을 실시하였다. 현장조사시 정확한 샘플 위치를 위하여 1 m 미만의 정밀도를 갖는 Differential GPS(Sokkia Co., AXIS 3)를 이용

Table 1. Grain-size scale for sediments, showing Wentworth size classes, equivalent phi( $\phi$ ) units, and sieve numbers of U.S. sieves corresponding to various millimeter and  $\phi$  sizes.

	U.S. standard mesh sieve	Grain size(mm)	Phi( $\phi$ ) units	Wentworthsize class
Gravel	10	2.0	-1.0	Granule
	18	1.0	0.0	Very coarse sand
Sand	35	0.5	1.0	Coarse sand
	60	0.25	2.0	Medium sand
	120	0.125	3.0	Fine sand
	230	0.0625	4.0	Very fine sand
Mud	Silt	0.0039	8.0	Coarse silt
	Clay	0.00006	14.0	Clay

하였다. ETM+ 자료의 대기보정은 흑체(dark objects)를 이용한 Teillet와 Fedosejevs(1995) 및 Liang(1997)이 제시한 방법과 Vermote 등(1997)이 제시한 6S 모델을 적용하여 실시하였으나, 각 픽셀간의 상대적 반사도에는 큰 영향을 주지 않았다. 이에 따라 이 연구의 결과에서는 단순히 영상의 DN 값을 이용하여 관계를 도시하였다.

입도 시료는 표층에서 1 cm 미만의 표층에서 측정 별로 1개의 시료를 채취하였으며, 함수율 시료는 측정 별로 표면에 물이 차 있지 않은 1 m 반경 내 세 군데에서 시료를 채취하였다. 입도 분석용 시료는 Marivern 사의 Mastersizer 자동입도분석기를 이용하여 입도 분석을 실시하고 그 결과를 Table 1의 기준에 의해 4  $\phi$  이하(coarse silt), 3~4  $\phi$ (very fine sand), 2~3  $\phi$ (fine sand), 1~2  $\phi$ (medium sand), 0~1  $\phi$ (coarse sand), -1~0  $\phi$ (very coarse sand), -1  $\phi$  이상(granule)의 여섯 가지 입도 단계별 백분율을 구하였다. 분석 결과 자료는 다시 4, 3, 2와 1  $\phi$  이상의 네 단계 백분율로 분류하였다.

함수율 측정을 위해서는 한 지점에서 특정 시각에 시료를 채취하는 단일시료 채취와 동일한 지점에서 대기에 노출된 후 경과된 시간에 따른 함수율의 변화를 관측하기 위하여 약 30분 간격으로 채취하는 연속채취의 두 가지 방법을 이용하였다. 연속시료채취는 기존의 위성자료에서 현격한 반사도의 차이를 보이는 세 지점을 선정하여 일정한 시간 간격으로 시료를 채취하였다. 2000년 9월에 4개 지점에서 20~30 분 간격으로 총 4~5 시간 동안 시료를 채취하였으며, 한 지점에서 매번 5개의 시료를 채취하여 측정된 뒤 평균을 이용하였다. 단일시료채취는 2001년 9월 6일부터 7일까지 이틀에 걸쳐 무작위로 선정된 29개의 측정 별로 한 지점 당 세 개 씩 시료를 채취하였다. 함수율 시료 채취는 한 측정에서 반경 1 m 이내의 지역에서 표면에 물이 차 있지 않은 세 곳의 시료를 채취하였다. 각 시료별로 할로겐 건조방식을 사용하는 수분함량측정기(Ohaus Co., MB45)를 이용하여 함수율을 측정하였다. 함수율 측정은 1개의 시료에서 2개의 부분시료를 채취하여 측정하였다. 즉, 한

측점에서 세 개의 시료를 채취하였으므로, 한 측점에 대해 여섯 번 측정하여 가장 큰 값과 가장 작은 값을 버리고 나머지 네 개의 측정값을 평균하여 그 지점의 함수율로 정하였다.

#### 4. 퇴적환경인자와 광학반사도

원격탐사를 이용한 조간대에서의 표층퇴적물의 분포에 대한 연구는 조간대 표층의 광학반사도 특성이 여러 가지 요인들에 의해 좌우되며 이들 사이의 관계가 명확하게 밝혀지지 않아 정량적인 분석은 어려운 실정이다. 일반적으로 표층퇴적물의 입도에 따라 함수율이나 표면기복 등이 결정되는데 예를 들면 모래 성분의 조간대는 니질 조간대보다 함수율이 낮고 표면기복이 연흔에 의해 거칠게 되는 경우 등이다. 그러나 조간대에서는 이들 변수 이외에도 쉘니어(chenier), 모래톱(sand shoal)과 조류로(tidal channel) 같은 지역적 퇴적구조에 따른 지형적 영향이 배수상태에 많은 영향을 미치기 때문에 이들 변수들은 상호 복합적으로 변하게 된다. 또한 조간대의 지형경사에 의해 물이 먼저 빠져 노출 시간이 긴 상부조간대와 물이 늦게 빠지고 빨리 들어오는 바다쪽 조간대와는 입도에 상관없이 함수율의 차이가 나게 된다. 따라서 위성영상을 이용하여 지형이나 퇴적구조의 영향을 고려하지 않고 위성자료의 반사도에 의존한 분류는 많은 에러를 시킬 수 있다. 그러므로 이 연구에서는 Landsat ETM+ 자료를 이용한 표층퇴적물의 분류에 앞서 현장 및 실내에서 분석한 퇴적환경인자와 위성자료를 비교함으로써 각 인자와 위성자료간의 상관관계를 분석코자 한다.

##### 1) 입도와 광학반사도

입도와 위성자료의 광학반사도와의 관계를 알아보기 위하여 Fig. 3과 같이 다양한 반사도의 변화를 보이는 약 3 km×3 km의 지역에 대하여 대략 200 m 등 간격 형태로 2001년 9월 5일부터 7일까지 182개 지점에서 입도 시료를 채취하였다.

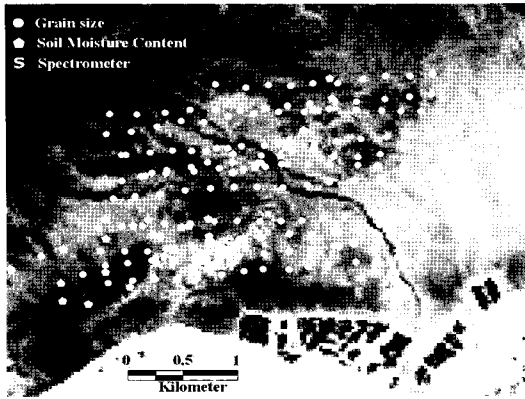


Fig. 3. Sampling points for grain size, moisture content, and field spectrometer measurements.

Mastersizer로 분석된 시료로부터 입도의 히스토그램을 구하고 Folk(1968)와 Ward의 도해적 추정치를 이용하여 평균 입도, 분산(sorting), 왜도(skewness)와 첨도(kurtosis) 등을 계산하였다. Table 2는 입도의 통계적 특성과 위성자료의 광학 반사도와의 상관관계수에 나타내고 있다.

대부분의 자료에서 매우 낮은 상관관계를 나타내며, 평균입도와 ETM+ 밴드 1과 7은 0.1 정도의 값으로 분석되었고, 밴드 2, 3과 4에서는 0의 값으로 나타나 전혀 상관관계가 없는 것으로 분석되었다. 분산 값도 밴드 1과 7에서 다소 높았으나 큰 의미는 없는 것으로 생각된다. 그 외의 값들도 매우 낮은 상관관계를 보이므로 조간대의 표층 입도의 통계적 특성과 위성자료의 광학 반사도와의 상관관이 거의 없는 것으로 나타난다. 즉 평균입도는 광학반사도를 좌우하는 중요한 기준값으로 사용하기 어렵다는 것을 알 수 있다.

시료별로 분석된 결과를 4  $\phi$  이상, 3  $\phi$  이상, 2  $\phi$  이상의 세 단계로 분류하여 각각의 크기별 백분율을 구하였다. Folk(1968)는 조간대 표층퇴적상을 모래 성분(4  $\phi$  이상)의 비율에 따라 4가지 종류로 구분하였다. 즉, 4  $\phi$  이상의 입자가 70 % 이상이면 사질(sand flat)이고 30~70 % 이상이면 혼합질(mixed flat)이며 30 % 이하이면 니질(mud flat)로 구분된다. 이러한 기준을 적용한 Table 2의 결과에서는 4  $\phi$  이상의 퍼센트와 밴드별 반사도는 음의 상관관계를 보이는 것으로 나타났다. 이는 입도가 크면 함수율이 낮고 따라서 광학반사도가 큰 값을 나타낸다는 일반적인 논리에 맞지 않는 결과이다. 그러나 2  $\phi$  이상 입자의 퍼센트와 위성자료 값과의 상관관계는 밴드 2, 3과 4에서 양의 상관관계로 나타나 어느 정도 가능성을 보여준다. 입도 기준에 따른 광학반사도와의 상관관계는 4.3절에서 다시 토의하겠다.

## 2) 함수율과 광학반사도

조간대는 조석에 의해 함수율의 변화가 매우 심하게 일어나기 때문에 위성자료 값이 함수율에 의해 많은 영향을 받게 된다. 토양의 함수율이 증가하면 입사되는 에너지가 흡수되어 광학반사도가 작아지게 된다. Fig. 4는 연속시료채취에 의한 입도별 노출시간 증가에 따른 함수율의 변화를 나타낸 것이다. 가장 입도가 크고 분급이 좋은 셰너어 지역은 공기에 노출되면 5 % 정도의 매우 낮은 함수율을 나타내고 4시간이 지난 후에는 거의 수분이 없는 상태를 갖는다. 그 외의 지역에서는 시간이 지나도 함수율의 변화가 뚜렷하게 나타나

Table 2. Statistics and correlation between grain size and Landsat ETM+ spectral bands.

Satellite Data	Statistics				Correlation Coef.(R <sup>2</sup> )			
	Mean	S.D.	Skewness	Kurtosis	> 4 $\phi$ (%)	> 3 $\phi$ (%)	> 2 $\phi$ (%)	
Landsat ETM+ bands	1	0.13	0.09	0.01	0.05	-0.49	-0.38	-0.10
	2	0	0	0.01	0.08	-0.17	0.00	0.30
	3	0	0	0	0.06	-0.17	0.02	0.35
	4	0	0	0.01	0.05	-0.12	0.08	0.39
	5	0.04	0.03	0.02	0	-0.31	-0.20	0.00
	6	0.04	0.03	0.02	0	-0.31	-0.20	0.00
	7	0.12	0.06	0.06	0	-0.41	-0.33	-0.16

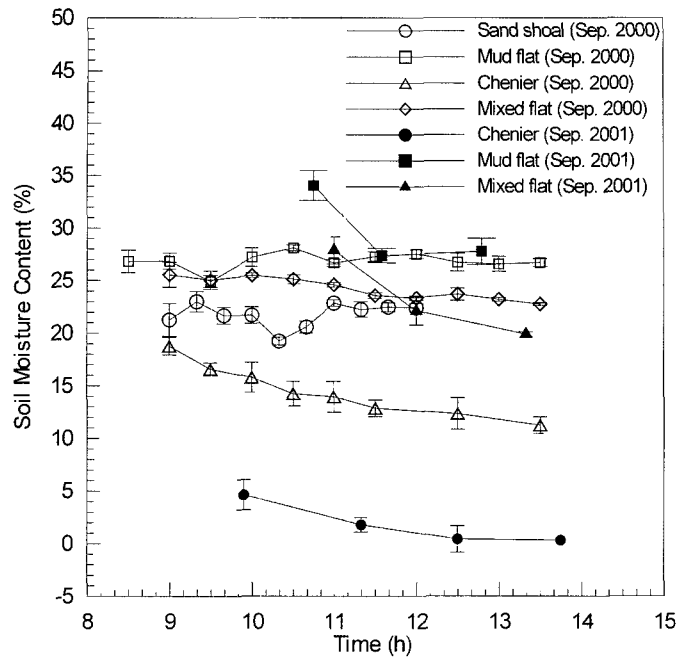


Fig. 4. Variation of moisture content in mud-, mixed-, and sand-flat with respect to exposure time.

지 않았다. 특히 니질 지역은 함수율의 변화가 거의 없는 것으로 나타났다. 이는 표면에 남아 있는 해수가 상당 시간 동안 잔존해 있으며, 또한 배수나 증발에 의한 효과가 일반적으로 예상한 것보다 크지 않다는 것을 보여준다. 이와 같은 현상은 인공위성 관측에 긍정적인 효과를 나타낼 수 있다. 즉 조간대가 노출시간에 따른 수분함량의 변화가 매우 크다면 노출된 시각과 관측시각의 차이가 영상에 큰 영향을 미칠 수 있으나, 반대로 노출에 따른 수분함량의 변화가 적다면 관측시각에 따른 민감도는 적어지는 관계로 입도에 관한 정보를 획득

할 수 있는 가능성이 높아진다. 함수율과 광학 반사도와의 상관관계는 Table 3과 같다. 모두 예상대로 음의 상관관계로 나타내며 ETM+ 밴드 2~7에서 모두 0.45~0.53 정도의 상관관계를 보였다. 즉, 함수율은 광학반사도에 영향을 주는 매우 중요한 요소임을 알 수 있으며, 따라서 입도에 관한 정보를 얻기 위해서는 함수율 효과에 대한 고려가 필수적이다.

조간대에서 한 가지 더 고려할 사항은 퇴적물의 수분함량뿐만 아니라 표면에 1~2 cm 깊이의 잔존하는 해수의 존재이다. 비록 조간대의 저면이 노출이 되더라도 표면의 굴곡 정도에 따라 표면에 해수가 잔존하며, 이는 한 여름이 아닌 경우에 상당한 시간동안 지속된다. 이와 같은 표면의 해수는 가시광선 대역에는 큰 영향이 없으나, 근적외선에는 매우 심각한 영향을 주며, 위성자료의 한 픽셀 내에서 이러한 잔존 해수가 차지하는 면적의 비율이 위성영상에 나타나는 광학반사도에 큰 영향을 미친다. 이와 같은 것을 고려하여 Ryu 등 (2002)은 효과노출면적(Effective Exposed Area)의

Table 3. Correlation between moisture content(%) and Landsat ETM+ spectral bands.

Satellite	Bands	Correlation coefficient
Landsat ETM+	1	-0.357
	2	-0.501
	3	-0.528
	4	-0.456
	5	-0.471
	7	-0.451



개념을 제시한 바 있다.

### 3) 입도와 함수율의 상관관계

토양 입자 사이의 공극에 의해 입자가 작은 나질 성분의 경우 많은 양의 물이 입자 주변을 둘러싸는 관계로 투수율이 낮으며, 반면 사질 성분의 토양은 입자 크기와 공극이 크기 때문에 빠르게 투수율이 높고 건조가 빠르다. 그러므로 토양의 함수율은 입자의 크기와 매우 관계가 높을 것이다. Table 4는 2~4  $\phi$  기준의 입도크기(기준입도 이상 입도들의 퍼센트)와 함수율과의 상관관계를 나타낸 것이다. Table 4에서 "Total data"는 전체자료와 함수의 상관관계를 나타낸 것이다. 그러나 입도가 작은 경우는(4, 3  $\phi$ ) 구성입자의 입도가 모두 3 혹은 4  $\phi$  이상으로 100 %인 값을 갖으며, 이 경우는 결과의 신뢰도를 낮추므로 이를 제거한 경우가 표에서 세 번째 컬럼이다. Table 4에서 보듯이, 함수율과 4  $\phi$  이상인 입자 백분율 자료의 상관관계수는 -0.588(100 %인 자료 제외 시 -0.792), 3  $\phi$  이상 자료와는 -0.622(100 %인 자료 제외 시 -0.754), 2  $\phi$  이상 자료와는 -0.811(100 %인 자료 없음)로서 뚜렷하게 음의 상관관계를 보인다. 즉, 토양입자의 크기가 클수록 함수율과의 상관관계가 낮게 나타나며, 특히 2  $\phi$  입도 기준으로 비교하였을 때, 그 관계는 더욱 뚜렷하게 나타난다.

즉 입도 자체는 비록 광학반사도와 매우 낮은 상관관계를 갖으나, 입도에 따라 함수율의 변화를 갖으며 이 경우 광학반사도와 일정한 관계를 가질 수 있는 가능성을 제시한다. 따라서 광학위성자료를 이용하여 조간대 퇴적물 입도에 관한 정보를 추출하기 위해서는 입도에 따른 수분함량의 변화

를 관측하는 간접적인 전략이 필요하다. 그러나 문제는 어떤 기준입도를 사용할 것인가 하는 것과 다른 환경인자에 의한 수분함량의 변화 효과를 어떻게 제거할 것인가 하는 것으로 요약된다.

### 4) 지형

조간대 지형은 크게 두 가지로 나누어 생각할 수 있다. 즉, 조간대의 전체적인 지형은 경사도 0.1° 이하로 육지에서 바다 쪽으로 갈수록 낮아지는 지형형태를 이루고 있다. 비록 매우 낮은 지형경사를 보이지만 조간대 면적이 수 km에 달하므로 노출시간은 위치에 따라 몇 시간의 차이를 보인다. 조석에 따라 노출시간이 다르므로 같은 입도로 이루어진 지역도 상부와 하부 조간대에 따라 광학반사도는 달라질 수 있다. 또한, 조간대는 매우 평평한 지역이지만 지역적으로 모래톱이나 쉼터 등의 구조가 발달함에 따라 일부 지역들의 고도가 갑자기 높아지고 조립한 입자들로 이루어져 있다. 이러한 지형의 영향은 주변 지역의 에너지에 영향을 주고 표층퇴적물에도 영향을 준다. 따라서 지역적으로 높은 곳은 비슷한 조위에 비해 상대적으로 배수가 좋고, 주로 큰 입자로 구성되어 있기 때문에 조간대에서의 지형의 고도와 경사도는 입도 및 함수율과 관계가 있을 것으로 생각된다.

지형고도 및 경사와 입도, 광학반사도와 수치상의 상관관계는 매우 낮게 나타나지만 위성자료와 DEM과의 2차원적인 상관관계는 지역적으로 매우 잘 일치한다. 특히 상관관계가 높은 지역의 시료는 대부분 2  $\phi$  이상의 입도를 가지는 입자가 80% 이상을 차지하였으며, 상관관계가 높지 않은 지역에서는 50~60 % 정도이다. 또한, 두 지역 간의 함수율을 비교해 보면, 지형과 상관관계가 높은 지역의 시료들은 그렇지 않은 지역의 시료들에 비해 함수율이 현저히 낮음을 알 수 있다. 즉, 지형과 위성자료 간의 상관관계는 2  $\phi$  이상의 입도를 가지는 입자의 비율이 높고 함수율이 낮은 사질 지역에서 높게 나타난다. 따라서 조간대의 지형은 배수와 입도에 따른 낮은 함수율을 갖게 함으로써 일반적으로 높은 광학반사도를 갖게 한다.

Table 4. Correlation between moisture content(%) and grain size.

Grain size	Correlation coefficient with moisture content	
	Total data	100% sample removed
> 4 $\phi$ (%)	-0.588	-0.792
> 3 $\phi$ (%)	-0.622	-0.754
> 2 $\phi$ (%)	-0.811	-0.811

### 5) 요인 분석

Doerffer와 Murphy(1989)는 독일 Wadden Sea에 대해서 Landsat 자료를 이용하여 주성분 분석(Principal Component Analysis)을 통해 PC1, 2, 3 세 개의 주성분에 대한 각 밴드별 factor loading을 구하였다. 여기서 PC1은 band 1, 2, 3에 가장 큰 영향을 받는 것으로 나타났으며, PC2는 band 5와 7에 가장 큰 영향을 받는 것으로 나타났다. 이들은 첫 번째 성분인 PC1이 지형과 많은 관련이 있고, PC2는 함수율, PC3는 표면온도와 높은 관련이 있다고 밝혔다.

곰소만에서의 위성자료와 퇴적환경 요인과의 관계를 알아보기 위해 Landsat ETM+ 영상의 각 밴드별로 조간대 부분만 추출하여 위의 동일한 방법에 의해 factor loading을 구하고, 그 결과를 독일 조간대의 결과와 비교하였다. Table 5는 각 밴드별 factor loading 결과를 요약한 것으로, 곰소만 조간대의 요인 분석 결과는 독일의 경우와는 다른 결과를 보여주고 있다. 즉, Table 5에서 보듯이 PC1에 큰 영향을 주는 것은 밴드 5와 7이고, PC2에 영향을 주는 것은 밴드 1, 2, 3으로 나타났다. 실제로 이 연구에서 제시한 Landsat ETM+ 영상 외에 다른 시기에 얻어진 영상들의 분석 결과도 비슷한 양상을 보인다. 이러한 결과를 보이는 것은, 독일의 조간대는 입자가 매우 굵고 해안을 따라 sand barrier가 존재하여 배수가 매우 빠른 편인 반면, 곰소만의 경우는 입자가 상대적으로 세립하여 노출된 후에도 잔존하는 해수가 많기 때문인 것으로 사료된다.

### 6) 야외 스펙트로미터 측정 결과

야외 스펙트로미터의 분광 특성에 의해 표층이 사질과 니질 표층퇴적물의 구분 가능성을 알아보기 위해, 사질 지역 한 곳과 니질 지역 한 곳을 선정하여 한 지점에서 3~4회씩 시간을 달리하여 분광특성을 측정하였다. 사질퇴적물과 니질퇴적물을 구분할 수 있는 파장영역대나 스펙트럼 강도의 차이를 이해하는 것이 가능하다면, 앞으로의 연구에서 초다분광 위성자료를 이용하여 조간대 표층을 광학분광 특성에 의해 구분하는 것이 가능할 것이다. Table 6은 스펙트로미터 측정 지점에서의 관측시각과 함수율 그리고 입도 분포를 나타낸다. 이는 노출 경과시간에 따라 입도는 변화하지 않으나 함수율은 어떤 변화를 갖으며, 함수율 변화에 따른 반사도의 변화를 관측하기 위한 것이다.

Fig. 5는 야외 스펙트로미터 측정 결과를 보여주는 것으로, 가로축은 파장을 세로축은 반사도를 나타내고 있다. Fig. 5(a)에서 푸른색 계열과 붉은색 계열은 각각 사질과 니질 표층퇴적물에서의 야외 스펙트로미터 결과이다. Fig. 5(b)는 시간과 입도에 따른 반사도의 차이를 나타낸다. 즉, Fig. 5(a)에서 녹색은 13시 45분 사질 조간대 지역에서 얻어진 반사도로부터 12시 47분에 얻어진 니질 조간대의 반사도를 뺀 그래프이다. 파란색 선과 붉은색 선은 각각 사질과 니질 표층퇴적물의 시간에 따른 반사도 값을 나타낸다. 그림에서 알 수 있듯이 니질퇴적물에서는 시간에 따른 변화가 매우 적게 나타나는데 이는 함수율의 노출시간에 따른 변화에 대한 분석 결과와도 잘 일치한다. 반면 사질 퇴적물의

Table 5. Factor loadings of Landsat-7 ETM+ acquired on September 7, 2001, over Gomso Bay.

Factor Loading	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7
Band 1	0.586	0.613	0.390	0.168	0.012	0.436	-0.011
Band 2	0.684	0.621	0.089	-0.019	0.019	-0.819	-0.017
Band 3	0.986	0.838	-0.16	-0.163	-0.048	0.191	0.021
Band 4	0.776	0.351	-0.353	0.017	0.063	0.268	-0.011
Band 5	3.762	-0.258	-0.113	0.235	-0.022	-0.106	0.003
Band 6	-0.078	-0.028	-0.062	-0.033	-0.023	0.099	-0.101
Band 7	2.754	-0.337	0.202	-0.296	0.021	0.113	-0.004

Table 6. Grain size and moisture content with respect to observation time at spectrometer measuring points.

	Time (hh:mm)	Moiture content(%)	Grain size					
			$> 4 \phi$	$4-3 \phi$	$3-2 \phi$	$2-1 \phi$	$1-0 \phi$	$0 \phi <$
Sand flat	9:55	4.59						
	11:19	1.77						
	12:31	0.40	0	0	10.6	58.2	30.9	0.3
	13:45	0.33						
Mud flat	10:43	34.61						
	11:35	27.42	70.0	11.3	11.1	7.7	0.2	0
	12:47	27.81						

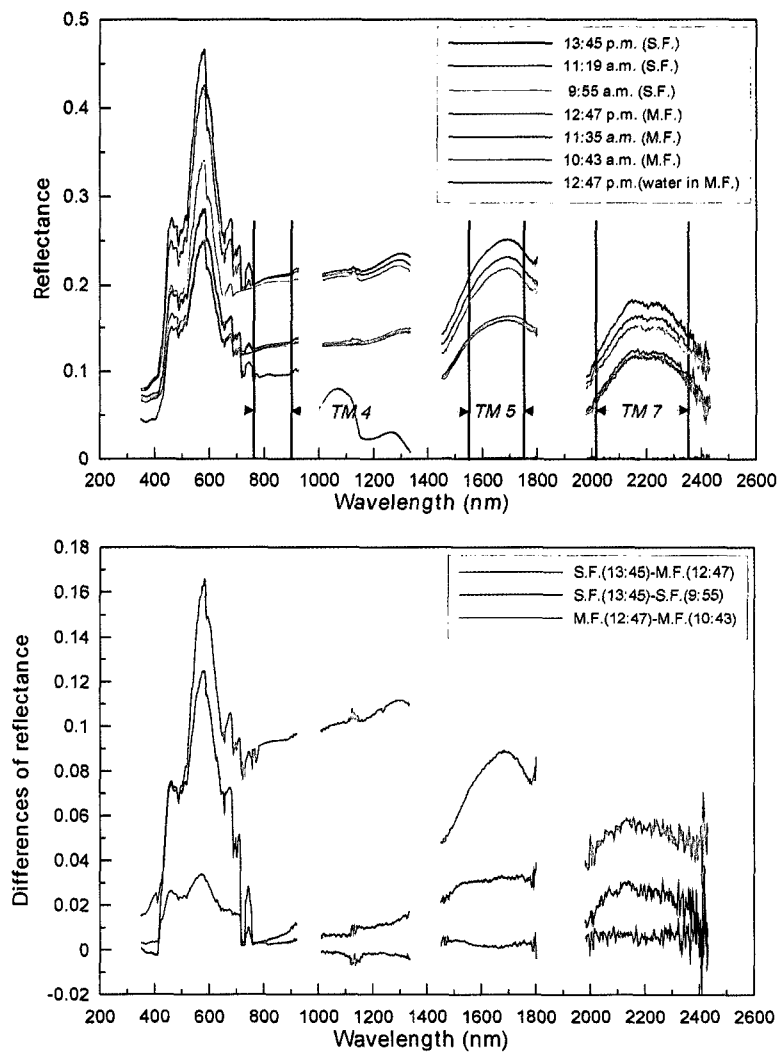


Fig. 5. (a) Optical reflectance of field spectrometer in sand and mud flat according to exposure time. (b) Differences of reflectance according to time and grain size.

경우는 시간에 따른 변화가 비교적 크게 나타나며, 특히 ETM+ 밴드 5나 7에 해당되는 중파장 적외선에서 그 변화가 더 뚜렷하다. 사질과 니질의 차이는 비교적 큰 변화를 보이고 있어 앞으로 이 분야에 대한 연구 가능성을 제시하고 있다.

### 5. 기준입도의 설정

조간대 퇴적물의 퇴적상(sedimentary facies)은 일반적으로  $4\phi$  이상의 퍼센트에 따라 Folk(1968)의 분류를 기준으로 하고 있다. 그러나 이러한 기

준은 퇴적학적 의미를 갖는 기준이나, 위성자료와의 상관관계 분석 결과 매우 낮은 상관관계를 보였다. 따라서 퇴적환경 요인과 광학 반사도와의 관계를 이해함으로써 원격탐사에서 활용 가능한 기준입도의 새로운 설정이 요구된다.

우선 입도 샘플이 중점적으로 이루어졌던  $3 \times 3$  km 지역(Fig. 1(a) 내의 사각형 지역)의 입도 분포를 파악하였다. 만일 샘플 지역의 대부분이 특정 기준의 입도로 구성되어 있다면 이와 같은 연구를 하기에 적합하지 않기 때문이다. Fig. 6의 가로축은 2001년 9월의 현장조사 자료를 각각 1, 2, 3과  $4\phi$  기준의 퍼센트를 나타내고 세로축은 이들

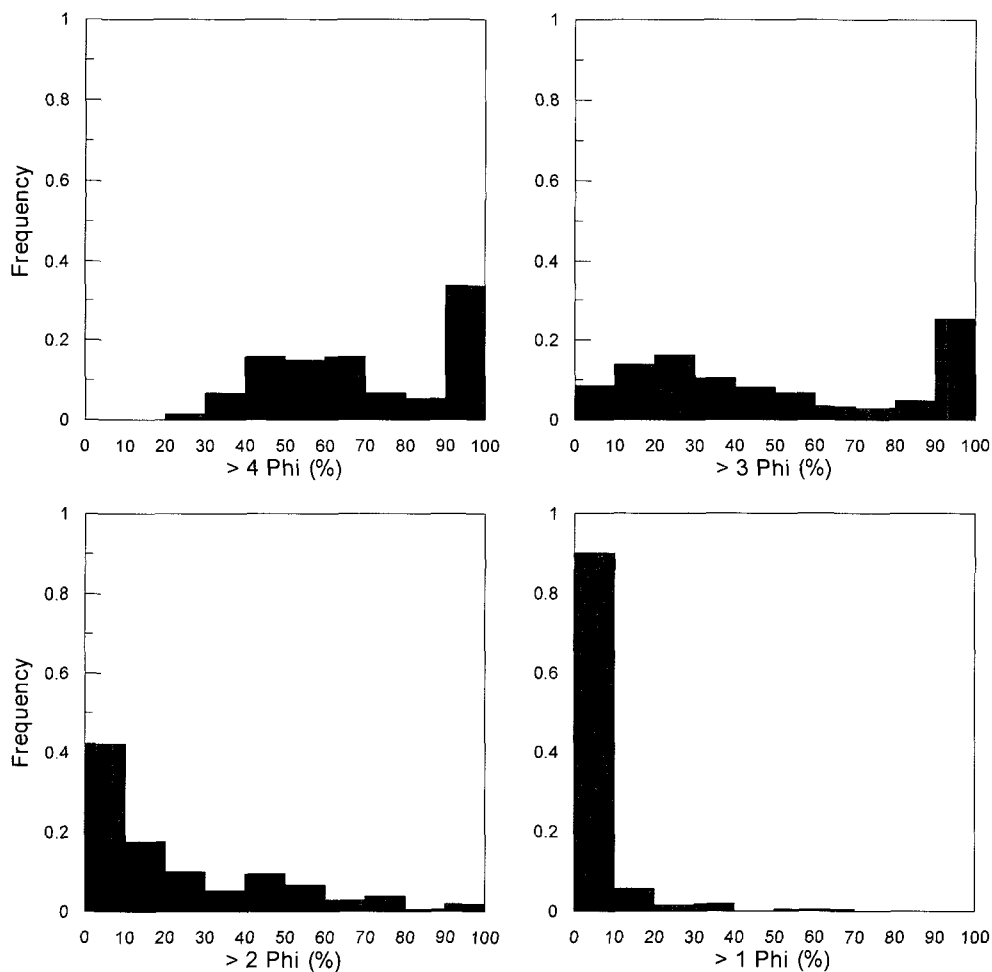


Fig. 6. Frequency of samples versus percentages of grain size.

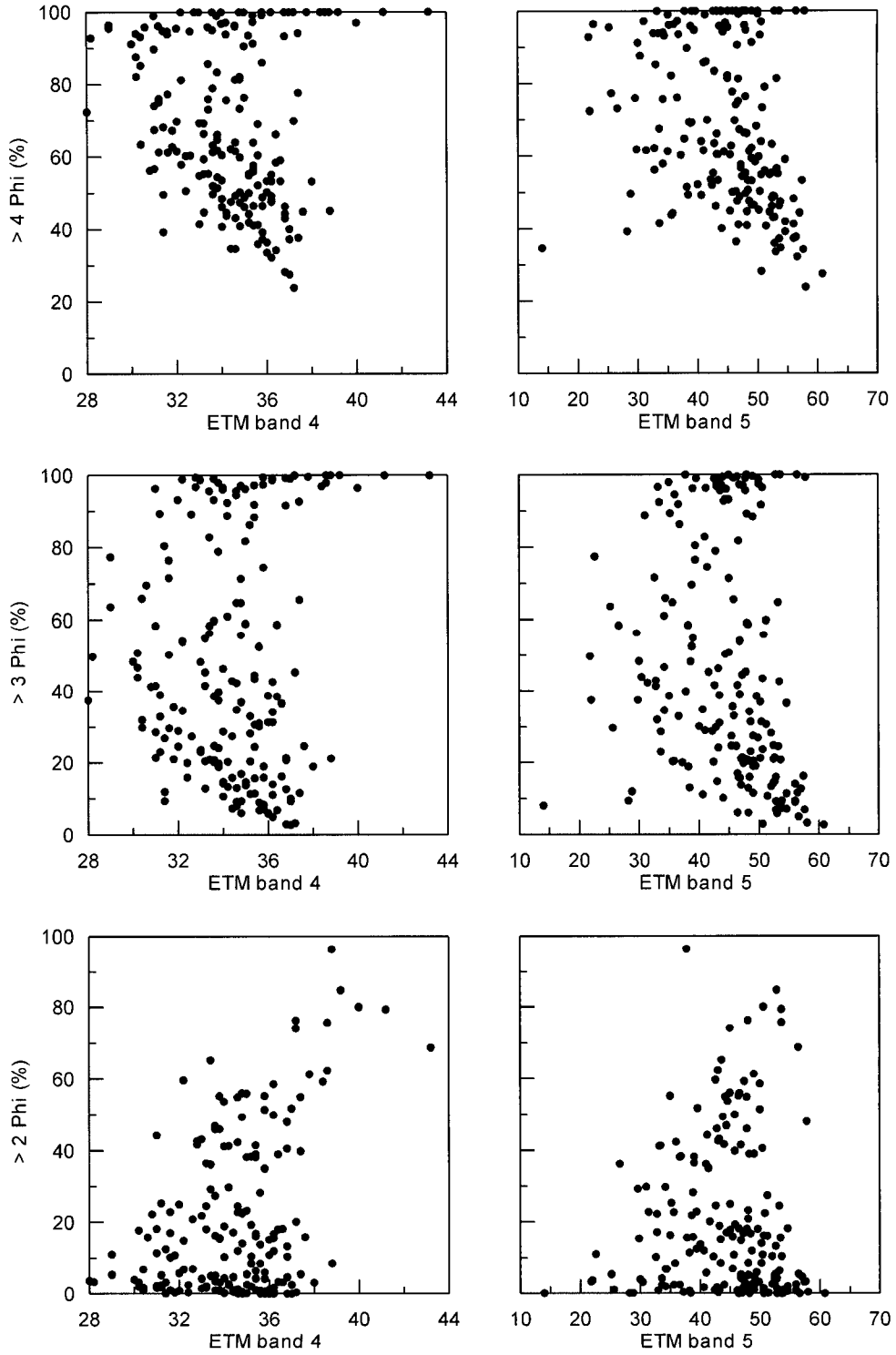


Fig. 7. Grain size(4, 3, 2 phi in %) versus optic reflectance of Landsat ETM+ bands 4 and 5.

의 상대적 시료 빈도를 나타낸 것이다. 1  $\phi$ 에 대해서는 0~10 % 사이가 전체 자료의 85 %를 차지하므로 분석에서 제외하였다. 2  $\phi$  기준에서는 0~10 %가 전체의 40 % 정도를 차지하고 점점 줄어드는 양상을 보인다. 3  $\phi$ 에서는 다른 기준에 비해 고루 분포함을 알 수 있고 4  $\phi$ 에서는 0~20% 사이의 자료는 없고 90~100% 이상의 자료가 전체의 3분의 1 정도를 차지하고 있다.

Table 2에서와 같이 4와 3  $\phi$  기준에서는 ETM 밴드 1, 5와 7이 0.3 이상의 상관관계를 보이고, 2  $\phi$  기준은 밴드 2, 3과 4는 양의 상관관계를 보인다. Fig. 7는 ETM+ 밴드 4와 5의 각 기준입도에 대한 그래프이다. 4와 3  $\phi$  기준의 그래프는 음의

상관관계 형태로 유사한 경향을 나타내지만 2  $\phi$  기준에서는 양의 관계를 보인다. 2  $\phi$  이상이 20 % 이하인 경우를 제외하면 다른 영역에서는 상관관계가 매우 높은 상관관계를 보인다. 이들의 관계를 보다 정량적으로 알아보기 위하여 Fig. 8과 같이 주성분 분석을 실시하였다. Fig. 8(a)는 2  $\phi$  이상이 20 % 이하이고 DN(Digital Number) 값이 31 이상인 자료를 분리한 그림으로 상관계수가 0.85의 높은 값으로 나타났다. Fig. 8(b)는 문제되는 시료를 분리해내고 남은 자료에 대해 상관관계를 구하고 주성분 분석 의해 성분분석을 실시하였다. 남은 자료에 대해 고유값(eigen value)과 고유벡터(eigen vector)를 구해 주성분에 대해 주축과 부축

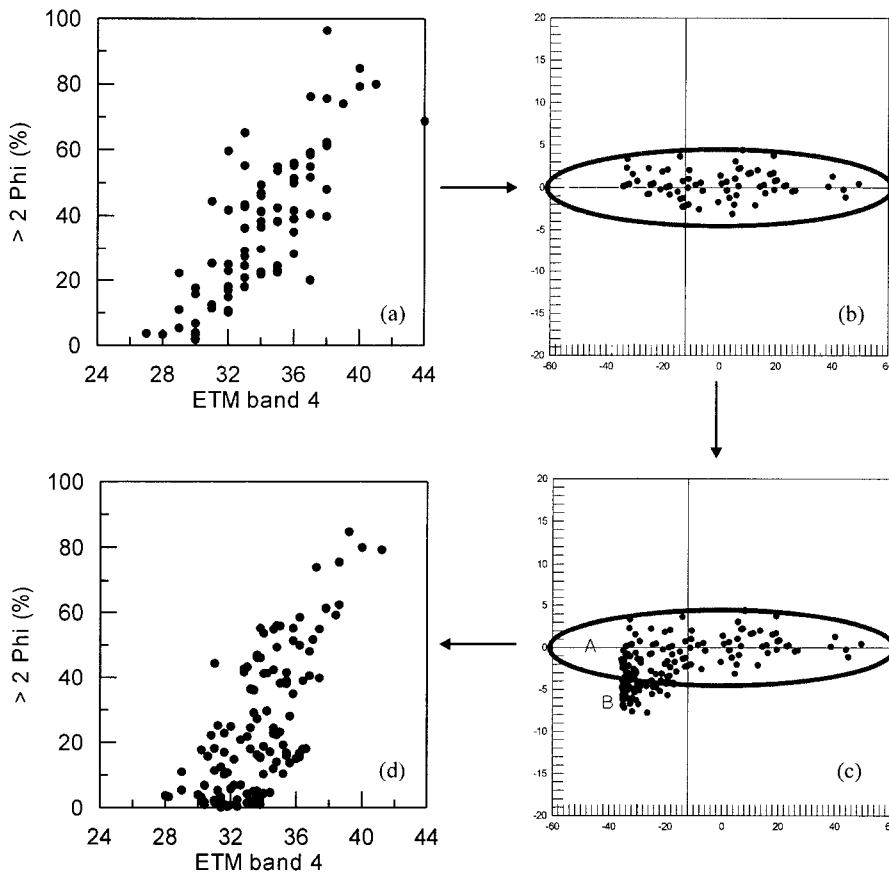


Fig. 8. (a) Plot of Landsat ETM+ band 4 versus grain size percentage in 2 phi criterion. (b) Eigen vector projection showing main trend and (c) all data in transformed coordinate with a variance ellipse. (d) Graph showing correlation between band 4 and grain size inside of the ellipse.

을 구하고 새로운 기준으로 분석을 실시하였다. 여기서 장축의 길이는 122이고 단축의 길이는 9인 타원체를 얻었으며, 고유 벡터에 의해 새로운 축을 구하였다. Fig. 8(c)는 이렇게 얻어진 타원체에 모든 자료를 다시 도시한 것이며, Fig. 8(d)는 구해진 타원체 내의 부분과 바깥 부분을 설정하고 바깥부분을 제하고 다시 원래의 그래프로 나타낸 것이다. 이와 같이 전체적인 경향에서 벗어나는 점들의 특성을 분석하기 위해 주성분에서 제외된 시료들이 채취된 지점들을 Fig. 9와 같이 DEM 위에 표시하였다. 분석결과 문제의 시료들은 대부분 육지 쪽에 가까운 조류로(tidal channel) 주변과 경사도가 비교적 큰 변화를 보이는 모래톱 근처에 위치하고 있다.

현장 시료 분석결과와 위성자료의 상관관계를 2차원적으로 분석하기 위하여, 3km×3km의 격자 모양으로 샘플링한 지역에 대해 각 입도 자료를 내삽 하였다. 내삽된 결과 영상에서는 각 기준 입도 이상의 입자들의 퍼센트가 높을수록 밝게 표현되어 있다. Fig. 10(a)는 2 φ 이상 입도 퍼센트의 분포도를 나타내며, Fig. 10(b)는 Landsat ETM+ Band 4 영상을 비교한 것이다. 그림에서와 같이 비교적 2 φ 이상의 입도 퍼센트가 높은 지역은 영상에서 밝게 나타나는 것을 알 수 있다. 특히 모래톱 지역이 집중적으로 밝게 나타나고 있다. 이

것은 모래톱 지역의 반사도는 입도 크기와 상관관계가 있으며, 특히 2 φ 기준으로 했을 때 매우 높은 상관관계를 보인다는 것을 말해 준다. 입도 분포 영상에서 붉은색에서 노란색 및 푸른색으로 갈수록 2 φ 이상 입도의 입자가 적은 지역이며, ETM+ 밴드 4에서는 붉은색에서 노란색 및 푸른색으로 갈수록 영상에서 어둡게 나타나는 지역이다. 두 그림을 비교해 볼 때, 모래톱 지역에서는 입도 분포도와 영상 간에 높은 상관관계를 보이지만, 오른쪽 하단부는 영상에서 밝게 나타나는 반면 입도 분포도 상에는 입도가 상당히 작은 것으로 나타난다. 이것은 하천 주변지역은 배수가 좋은 편이어서 간조 시 물이 빠진 후, 표면이 빨리 건조되기 때문에 영상에서 밝게 나타나는 것으로 앞의 생각된다.

곰소만 조간대의 표층 퇴적물은 일반적인 퇴적상의 분류 기준이 되는 4 φ 이상의 퍼센트를 기준

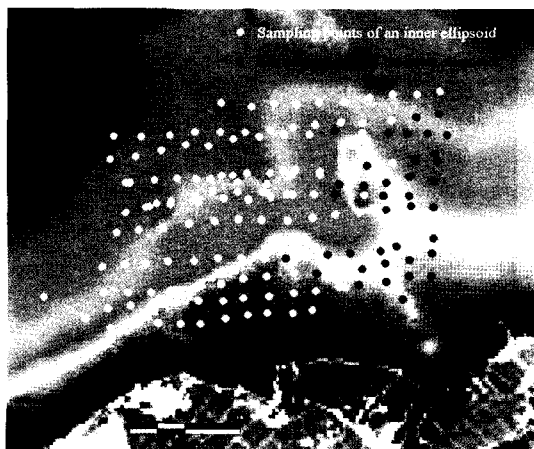


Fig. 9. Location of grain size samples and tidal flat topography.

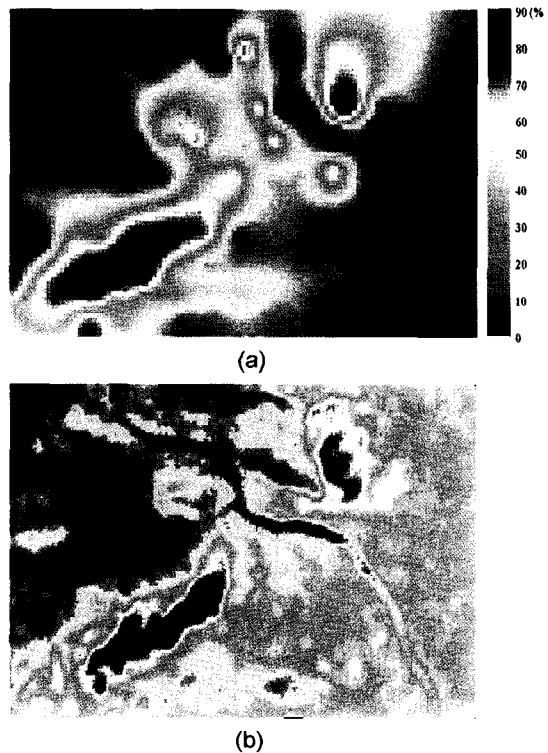


Fig. 10. (a) Distribution of grain size(> 2 phi) and(b) Landsat ETM+ band 4 image.

으로 했을 때 입도와 영상의 반사도 간의 상관관계가 매우 낮은 것으로 나타났다. 그러나, 2  $\phi$  이상의 퍼센트를 기준으로 하였을 때는 20 % 이하인 지역을 제외하면 매우 높은 상관관계가 있음을 알 수 있다. 우리나라 조간대에서는 함수율이 매우 높기 때문에 광학 반사도가 함수율의 영향을 많이 받으며, 함수율과 입도와와의 상관관계를 분석한 결과 2  $\phi$  기준의 입도와 함수율의 관계가 다른 기준에 비해 상관관계가 높게 나타난다. 결론적으로 우리나라 조간대에서 적용 가능한 원격탐사의 기준입도는 기존의 4  $\phi$  보다는 2  $\phi$ 가 표층퇴적물 분류에 더 타당할 것이다.

## 6. 결 론

원격탐사를 이용하여 조간대의 표층퇴적물을 분류하기 위해서는 광학반사도와 입도, 함수율, 지형 등의 퇴적환경과의 관계를 규명하는 것이 중요하다. 이 연구에서는 입도, 함수율, 지형 등의 요인들이 광학위성자료와 어떤 상관관계를 가지고 있는 지 밝히고, 광학위성자료를 이용하여 분류 가능한 입도 기준을 설정함으로써 광학위성영상을 이용한 조간대 표층퇴적물의 분류의 기초자료를 제공하고자 하였다. 이 연구에서 얻어진 결론은 다음과 같다.

입도와 위성영상의 상관관계를 보면, 곰소만 조간대의 표층 퇴적물은 일반적인 퇴적학적 분류 기준이 되는 4  $\phi$  입도를 기준으로 했을 때 입도와 영상의 반사도 간의 상관관계는 매우 낮은 것으로 나타났다. 그러나 2  $\phi$  이상의 입자를 기준으로 하였을 때는 상부조간대의 천주변에 작은 입자로 구성된 지역의 자료들을 제외하면 ETM+ 밴드 4번과 0.699의 높은 상관계수를 보인다. 상부조간대의 천주변은 비록 입자들의 크기는 작아도 배수가 좋은 편이어서 간조 시 물이 빠진 후, 표면이 빨리 건조되기 때문에 영상에서 밝게 나타나는 것으로 생각된다. 그러므로, 입자크기 2  $\phi$ 는 곰소만 조간대에서 광학위성 자료에 의한 표층퇴적물 분류의

기준입도로 사용 될 수 있다.

입도와 함수율의 상관관계를 보면, 함수율과 4  $\phi$  이상인 입자 백분율자료의 상관계수는 -0.588(입자 백분율이 100%인 자료 제외 시 -0.792), 0.125 mm 이상 자료와는 -0.622(입자 백분율이 100%인 자료 제외 시 -0.754), 0.25 mm 이상 자료와는 -0.811로서 뚜렷하게 음의 상관관계를 보인다. 즉, 토양 입자의 크기가 클수록 함수율이 낮게 나타나며, 특히 2  $\phi$  입도 기준으로 비교하였을 때, 그 관계는 더욱 뚜렷하게 나타난다. 따라서 광학 반사도에 큰 영향을 미치는 함수율도 2  $\phi$  기준의 입도와 상관관계가 높게 나타났다.

지형자료와 위성영상의 상관관계를 보면, Landsat ETM+와 모래톱 지역을 중심으로 DEM과 상관관계가 높은 것으로 나타났다. 이 지역의 시료는 대부분 2  $\phi$  이상의 입도를 가지는 입자가 80 % 이상을 차지하고, 상관관계가 높지 않은 지역의 샘플링 자료는 모두 50~60 % 미만이었다. 또한, 두 지역간의 함수율을 비교해 보면, 지형과 상관관계가 높은 지역의 시료들은 그렇지 않은 지역의 시료들에 비해 함수율이 낮게 나타난다. 위성영상과 경사도 자료와는 별다른 상관관계를 보이지 않는다. 즉, DEM과 위성자료 간의 상관관계는 2  $\phi$  이상의 입도를 가지는 입자의 비율이 높고 함수율이 낮은 사질 표층퇴적물 지역에서 높게 나타난다.

위성자료의 Factor Analysis 결과를 독일의 자료와 비교한 결과, 독일의 조간대는 지형요소에 의해 크게 영향을 받지만, 곰소만의 경우는 입자가 세립자로 구성되어 간조 시에도 물이 표면에 차 있는 경우가 많기 때문에, 지형보다는 함수율에 더 큰 영향을 받는 것으로 나타났다.

이를 요약하면 Landsat ETM+ 영상을 이용한 조간대 표층퇴적물 분류를 위한 기준입도는 전통적으로 퇴적학에서 사용되어진 4  $\phi$ 를 곰소만을 포함한 서해안 조간대 퇴적물에 적용하는데 어려움이 있으며, 대신 2  $\phi$ 가 이용되어야 한다. 그러나 입도뿐만 아니라 함수율과 지형 등의 환경요소가 함께 고려하여야만 가능한 결과를 얻을 수 있다.



## 사 사

이 연구는 과학기술부 원격탐사기술개발사업 연구비 지원에 의해 수행되었다. 이 연구에 사용된 Landsat EMT+ 자료는 일본 NASDA의 ALOS PALSAR 기술개발 프로그램에 의하여 제공되었다. 이 연구에 사용된 야외 스펙트로미터는 ETRI에서 제공되었으며, 이에 감사드린다.

## 참고문헌

- 국립지리원, 1981. 연안해역 기본조사 보고서(석포 지구), 국립지리원, 56p.
- 류주형, 2001. 원격탐사를 이용한 곰소만 조간대의 지형변화 및 퇴적물 특성연구, 연세대학교 박사학위 논문, 127p.
- 이인태, 전승수, 2001. 서해 곰소만 조간대 퇴적작용에서 모래톱의 역할, 한국지구과학회지, 22(2): 120-129.
- 장진호, 1995. 한국 서해안 곰소만 조간대의 퇴적작용, 서울대학교 박사학위 논문, p. 192.
- 정종철, 2002. 다중시기 위성영상의 무감독 분류에 의한 갯벌의 입자 분포도, 대한원격탐사학회지, 18(2): 71-79.
- 조명희, 1999. 위성영상을 이용한 줄포만 간석지의 미지형분류와 지형적 특성, 대한원격탐사학회지, 15(3): 217-225.
- Bartholdy, J. and S. Folving, 1986. Sediment classification and surface type mapping in the Danish Wadden Sea by remote sensing, *Neth. J. Sea Res.*, 20: 337-345.
- Doerffer, R., and D. Murphy, 1989. Factor Analysis and Classification of remotely sensed data for monitoring tidal flats, *Helgolander Meeresunters.*, 43: 275-293.
- Douglas, B. C., 1997. Global sea rise: a redetermination, *Surveys Geophys.*, 18: 279-292.
- Folk, R. L., 1968. A review of grain size parameters, *Sedimentology*, 6: 73-93.
- Kim, Y. H., H. J. Lee, S. S. Chun, S. J. Han, and S. K. Chough, 1999. Holocene transgressive stratigraphy of a macrotidal flat in the southeastern Yellow sea: Gomso Bay, Korea, *J. Sedimentary Res.*, 69(2): 328-337.
- Liang, S., H. Fallah-Adl, S. Kalluri, J. Jaja, Y. Kaufman, and J. Townsend, 1997. Development of an operational atmospheric correction algorithm for TM imagery, *J. Geophys. Res.*, 102: 17173-17186.
- Luders, J., S. chill, J. R. Jensen, and G. Olson, 1999. Sand and gravel particle size discrimination using airborne terrestrial applications sensor(ATLAS), SSC, MS: NASA Stennis Space Center, *Commercial Remote Sensing Report*, 45p.
- Ryu, J-H., J-S. Won, and K.D. Min, 2002. Waterline extraction from Landsat TM data in a tidal flat: A case study in Gomso Bay, Korea, *Remote Sensing Environ.*, 83(3): 442-456.
- Teillet, P. M., and G. Fedosejevs, 1995. On the dark target approach to atmospheric correction of remotely sensed data, *Can. J. Remote Sensing*, 21: 374-387.
- Vermote, E. F., D. Tanre, J. L. Deuze, M. Herman, and J. J. Morcrette, 1997. Second simulation of the satellite signal in the solar spectrum, 6S: An overview, *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, 35(3): 675-686.