

원격탐사기법을 이용한 방조제 축조 전후의 간석지 면적 추정

○ 강문성* · 박승우** · 허용구***

1. 서 론

간석지(tidal flat)는 조간대(inter tidal zone)에서 조류로 운반된 점토, 실트, 모래가 퇴적되어 만들어진 넓고 평탄한 퇴적지형으로 만조때에는 바닷물에 잠기고 간조때는 노출된다 (조명희 · 조화룡, 1997). 이러한 간석지의 바다쪽에 방조제를 만들어 간척하며 농경지, 도시용지로 이용될 수 있기 때문에 경지가 부족한 지역에서는 주요한 토지 자원이 된다 (Wagle and Hashmi, 1990).

최근까지는 조간대 지형과 면적을 파악하기 위해 수준측량이나 배를 이용한 음파 탐사 등이 이용되어 왔다. 그러나 이러한 현장조사는 넓은 지역, 제한된 시간과 운송수단 이용 등의 어려움으로 인하여 많은 시간과 노동력이 필요하다는 것과 조간대의 시공간적 변화를 준실시간으로 관찰할 수 없다는 단점을 지니고 있다. 또한, 조간대의 변화는 광범위한 공간범위에서 일어나고 있어서 전통적인 조사선 관측만으로는 적절한 관측이 어렵다.

최근, 해양환경의 물리적 환경요인인 수온분포, 연안의 수질과 부영양화 파악, 연안 적조발생, 부유사 분포, 해양생태 및 수산환경 등의 해양환경관측을 위한 원격탐사의 활용이 이루어지고 있다. 특히, 다시기 위성영상을 이용한 원격탐사기법은 간석지면적의 변화와 양식시설물 등의 현황 파악을 보다 광범위한 범위에서 관측할 수 있으며, 연안지형의 변화를 주기적으로 관측함으로써 해안개발과 해안매립에 따른 환경영향의 평가가 가능하다.

따라서, 광범위한 시공간적 변화에 대한 고찰이 가능한 원격탐사기법의 활용은 기존의 관측방법의 단점을 보완하는 동시에 조간대의 변화 특성을 효과적으로 반영할 수 있을 것이다. 위성영상의 이용은 정보의 최신성이나 분류의 자동화 및 결과의 수치화 등의 측면에서의 이점을 가지고 있으며, 시간과 비용면에서 뿐만 아니라 광대한 면적을 차지하는 간석지 퇴적현황 조사에 효과적이다.

본 연구에서는 다시기 위성영상을 이용한 방조제 축조 전후의 간석지 면적을 정량적으로 평가하기 위하여, 대상지구를 선정하고, 방조제 축조 전후의 지형도, 해도, 위성영상 자료를 구득하여 대상지구의 간석지 미지형 분류 및 지형적 특성을 추출하여 시기별 간석지 면적의 증감을 분석하고, 그 결과를 고찰하도록 한다.

2. 연구방법

2. 1. 대상지구 선정

방조제 축조 전후의 간석지 면적의 정량적인 분석을 위해 선정된 시범지구는 1992년에 농업기

*서울대학교 대학원 박사수료, **서울대학교 농공학과 교수, ***서울대학교 대학원 석사과정

반공사에서 조사한 바 있는 조사지구 중 대표지구인 아산만과 천수만을 포함하는 아산·삼교천지구 (아산만 지구)와 서산A·B지구 (천수만 지구)를 선정하였다.

본 연구에서는 아산·삼교천지구를 아산만 지구, 서산A·B지구를 천수만 지구로 명명하여 2개의 지구에 대하여 간석지면적을 추정하였다.

아산만 지구는 아산지구와 삼교천지구를 포함하고 있다. 아산지구는 경기도 평택시와 충남 아산시를 포함하고 있는 지구이다. 아산지구의 아산방조제는 1973년에 준공하였으며, 매립면적은 6,282ha이고 방조제의 연장은 2,564m이다. 삼교천지구는 충남 당진군에 위치하고 있는 지구로서, 1979년에 준공되었으며, 매립면적은 5,109ha, 방조제의 연장은 3,360m이다.

천수만 지구는 서산A·B 지구의 서산A·B 방조제를 포함하고 있는 지역으로서 충남 서산시와 태안군, 그리고 홍성군에 위치하고 있는 지역이다. 서산A·B 방조제의 준공년도는 각각 1982년과 1983년이고, 매립면적은 15,593ha이며, 방조제의 연장은 7,686m이다.

2. 2. 지형도, 해도 및 위성영상 자료 현황

1) 지형도 및 해도

대상지구의 지형도는 국립지리연구원에서 현재까지 발행한 1/50,000 도엽을 수집하여 사용하였다. 지형도는 아산만과 천수만 지구 모두 현재까지 총 5회에 걸쳐 발행되었다. 지형도 자료는 지구별 제작년도에 따라 코드명을 부여하고 구분하였다. 천수만 지구와 같이 도엽이 2개 이상인 경우에는 제작년도에 따라 코드명을 하나로 통일하여 적용하였다.

대상지구의 해도 자료는 국립해양조사원에서 발행한 도엽을 자료로 사용하였다. 각각의 해도는 지구별 제작년도에 따라 코드명을 부여하였다. 아산만 지구의 해도는 1/50,000 축척으로 되어 있었으며, 1983년에 제작되어 총 5회에 걸쳐 발간되었다. 천수만 지구는 1960년에 발행된 이후 총 6회에 걸쳐서 편집되어 발간되었다. 천수만 부근의 해도는 1970년대까지는 1/74,040의 축척으로 제작되었으나, 1980년대부터는 1/70,000 축척으로 제작되었다.

2) RGIS 및 위성영상

대상지구의 영상을 이용한 토지피복분류시에 지상통제점 (ground control points, GCP) 추출과 토지피복분류의 정확도를 향상시키기 위하여 RGIS (rural geographical information system) 자료를 사용하였다. RGIS 자료는 농업기반공사에서 구축한 자료로서 RGIS 표준코드를 사용하며, 1/50,000의 지형도, 1/25,000의 농업토지이용도, 그리고 1/50,000의 수계도로 구성되어 있다.

위성 영상의 자료는 Landsat-5의 Thematic Mapper Sensor에 의하여 관측된 것으로서 아산만 지구에 해당되는 Path 116/Row 34와 천수만 지구를 포함하는 Path 116/Row 35의 영상을 사용하였다. 영상자료는 1984년 Landsat-5 TM 영상이 처음 촬영된 이후부터 2000년까지 모든 영상에 대하여 조위를 고려한 영상촬영시간과 구름의 영향, 영상의 화질 등을 고려하여 선정하였다.

위성영상을 이용한 간석지 면적의 추정은 위성영상시의 조위에 따라 영향을 받는다. 본 연구에서는 위성영상 촬영시 대상지구의 실제 조위를 계산함으로써 위성영상에 의한 간석지 면적 추정이 가능한 영상을 선정하고, 피복 분류의 오차 가능성을 간접적으로 고려하도록 하였다.

표 1과 표 2는 아산만 지구와 천수만 지구에 대해 취득한 위성영상의 촬영시간과 같은 시간의 조위자료를 비교한 결과이다. 위성영상 촬영시간에서의 조위는 아산만 지구는 A_000320이 69.75cm로서 가장 간조위에 가까운 값을 보였으며, 천수만 지구는 C_000320이 63cm의 값을 나타냈으며, 영상상에서도 간석지의 형상이 선명하게 나타나고 있었다.

본 연구에서는 위성영상 촬영시기의 조위를 고려하여 아산만 지구는 A_880927, A_901019, A_969001, A_000320, 천수만 지구는 C_840730, C_880927, C_901019, C_920922, C_960901, C_000320의 영상을 선정하여 간석지 면적을 추정하였다.

표 1. 위성영상 촬영시간과 조위자료 비교

지구명	Code Name	L. W. /H. W.		Remote Sensing		Ports of Survey
		Time	Tidal Level (cm)	Time	Tidal Level (cm)	
아산만 지구	A_003020	11:00 / 5:00	43 / 862	10:45	69.75	평택항
	A_990521	16:00 / 9:00	222 / 844	10:49	712.53	평택항
	A_981110	14:57 / 8:57	145 / 686	10:50	566.85	인천항
	A_970616	6:57 / 12:57	274 / 666	10:40	539.08	인천항
	A_960901	13:57 / 6:57	35 / 916	10:27	450.50	인천항
	A_940912	14:57 / 8:57	122 / 749	10:27	665.50	인천항
	A_920922	6:57 / 12:57	318 / 636	10:33	534	인천항
	A_901019	10:57 / 4:57	18 / 811	10:30	66.15	인천항
	A_900410	11:57 / 5:57	75 / 828	10:31	160.93	인천항
	A_880927	11:57 / 5:57	-40 / 919	10:41	106.20	인천항
	A_861211	6:57 / 13:57	193 / 685	10:29	444.07	인천항
	A_850514	6:57 / 13:57	251 / 673	10:41	522.87	인천항
	A_840730	12:57 / 5:57	92 / 916	10:40	322.28	인천항
	천수만 지구	C_003020	10:00 / 16:00	54 / 735	10:45	63
C_990521		15:00 / 8:00	199 / 683	10:49	462.9	보령항
C_981110		14:00 / 7:00	148 / 557	10:50	326.67	보령항
C_960901		12:00 / 6:00	52 / 760	10:28	191	보령항
C_940912		14:00 / 8:00	121 / 624	10:28	406.4	보령항
C_920922		16:00 / 9:00	216 / 532	10:33	490.5	보령항
C_901019		8:00 / 14:00	54 / 714	10:30	298	보령항
C_900410		8:00 / 14:00	104 / 670	10:31	302.73	보령항
C_880927		9:00 / 14:00	3 / 770	10:42	199.6	보령항
C_861211		17:00 / 10:00	238 / 567	10:30	561.5	보령항
C_840730		11:30 / 5:30	116 / 744	10:40	162.67	군산의항

2. 3. 간석지 면적 산정 방법

1) 지형도와 해도를 이용한 면적 산정 방법

지형도와 해도를 이용하여 간석지 면적을 산정하기 위하여 수집된 지형도와 해도 자료를 연도 별로 분석하였다. 취득한 지형도 및 해도로부터 대상지구인 아산만과 천수만 지구에 대해 Tic, 만 경계, 간석지, 그리고 기타 등을 트레이싱을 통하여 추출하였다. 트레이싱된 자료는 스캐닝을 수행하여 ArcView에서 래스터(raster)자료로 변환시켰다. 래스터 자료로 변환시에 해상력(resolution)은 1m로 하였다. 래스터 자료는 ARC/INFO에서 벡터 커버리지(vector coverage)로 변환시키고, 원도인 지형도 및 해도와 비교하여 polygon으로 수정 보완하였다. 수정된 벡터 커버리지는 설정된 Tic을 이용하여 투영(projection)과 정치(fixing)를 수행하였다. ARC/INFO를 사용하여 투영된 feature의 위상(topology)을 정립하였다. 이상의 수행된 결과를 바탕으로 ArcView상에서 해수, 간석지, 기타 등으로 각각의 세부 feature를 분류하여 각각의 속성에 따라 그룹화(grouping)를 수행하였다. 마지막으로 대상지구 내에서의 각 feature 들간의 전용된 면적을 산정하였고, 간석지 면적의 순수한 증감을 파악하기 위하여 가장 최근의 도엽을 기준으로 각각의 도엽에 대하여 매스킹(masking)을 수행하였으며, 이 결과를 속성자료를 갖는 데이터베이스 파일(database file)로 변환하여 분석하였다.

2) 위성영상을 이용한 간석지 면적 추정

영상분석을 위한 하드웨어 시스템은 Sun Spark™(Axil 320)과 PC, 입력자료의 생성을 위한 스

캐너, 출력장치로서 컬러 프린터 등을 이용하였다. 영상분석을 위한 소프트웨어는 워스테이션을 기반으로 ARC/INFO™와 ERDAS IMAGINE을 사용하였고, PC 기반으로 IDRISI와 ArcView를 활용하였다. ARC/INFO는 상용 GIS와 DB 소프트웨어로 널리 이용되고 있는 것으로, 본 연구에서는 RGIS 자료의 입력 및 구축 등에 활용하도록 하였다. ERDAS IMAGINE은 영상의 전처리 및 피복분류에 주로 사용하였다.

다시기의 영상을 이용하여 장기간의 간석지 면적을 연도별로 추정해야 하기 때문에 같은 지역이라 할지라도 토지피복상태의 변화가 나타남으로 감독분류를 수행하기란 어려움이 따른다. 따라서, 장기간에 걸쳐 다시기 영상의 분석이 효과적인 무감독분류인 군집화기법을 채택하였으며, 여러 가지 군집화 알고리즘 중 가장 널리 사용되고 있는 비계층적 클러스터링 방법인 ISODATA (iterative self organizing data analysis technique)기법을 적용하였다 (Tao and Gonzalez, 1974).

3. 결과 및 고찰

3. 1. 지형도에 의한 간석지 면적 산정

아산만 지구는 일제시대에 제작된 TA_1914의 간석지 면적인 1,533.9ha 보다는 TA_1977을 제외하고는 연도의 경과에 따라 증가하는 것으로 나타났으나, 전체적으로 일정한 경향성을 보이지는 않았다. 특히, TA_1977의 경우에는 1914년보다도 간석지가 줄어드는 결과를 보여주고 있다. 이는 지형도를 제작하기 위한 항공사진 촬영시의 조위가 높았던 것으로 추정된다. 아산만 지구의 지형도가 제작되기 시작한 1914년부터 1987년까지의 총 간석지 면적은 1,971.2ha가 증가한 것으로 나타났으며, 연평균 26.6ha/yr가 증가하는 것으로 나타났다. 지형도에 의한 천수만 지구의 연도 경과에 따른 간석지 면적은 전체적으로 감소하는 경향을 보였다. TC_1964 지형도와 TC_1996 지형도의 총 간석지면적은 962.6ha가 감소한 것으로 나타났으며, 연평균 30.1ha가 감소한 것으로 나타났다.

3. 2. 해도에 의한 간석지 면적 산정

아산만 지구의 해도 분석 결과는 제작연도에 따라 지속적으로 간석지 면적이 증가하는 경향을 보였다. 아산만 지구의 1998년 현재 간석지면적이 3739.7ha이고, 해도가 발행된 1983년에서 1998년 동안의 총 간석지면적은 332.2ha가 증가하였으며, 연평균 증가율은 22.2ha인 것으로 나타났다. 해도와 지형도가 같은 연도에 발행된 1987년의 간석지 면적은 해도가 3,521.9ha, 지형도가 3,505.1ha로서 유사한 값을 보였다.

천수만 지구의 해도를 분석한 결과는 전체적으로 증가하는 추세를 보이고 있으나, SC_1977과 SC_1984는 531.1ha가 감소한 것으로 나타났다. 이는 천수만 지구의 서산 A·B 방조제가 1982년과 1983년에 각각 준공된 것을 고려할 때, 방조제의 건설로 인해 상당량의 간석지가 준설되었거나 다른 형태의 토지이용으로 전용된 것으로 보인다. 천수만 지구의 간석지 추정 면적은 1997년 현재 4664.4 ha였고, 1960년에서 1997년까지 총 571.6ha가 증가한 것으로 나타났으며, 연평균 증감율은 15.4ha/yr가 증가한 것으로 나타났다. 천수만 지구의 경우 같은 연도에 발행된 SC_1977과 TC_1977을 비교해볼 때, 각각 4,459.3ha, 3,444.9ha로서 약 1000ha 정도의 큰 차이를 보이고 있다. 천수만 지구의 서산 A·B 방조제의 건설전인 SC_1977 이전과 건설후인 SC_1984 이후의 간석지 면적변화는 건설전이 17년에 걸쳐 총 367ha가 증가하여 연평균 21.6ha/yr가 증가한 것으로 나타났으며, 방조제 건설후인 1984년에서 1997년 동안에는 총 736.3ha가 증가하여 연평균 증감율이 56.6ha/yr 증가한 것으로 나타났다.

3. 3. 위성영상에 의한 면적 추정

위성영상의 기하학적인 보정은 다시기 영상좌표와 지도에서 선정된 30여개의 지상통제점인

GCP (Ground Control Point)를 이용하여 최소자승법에 의해 좌표변환식을 도출하였다. 좌표변환 결과, 아산만지구의 경우, RMSE의 값은 A_940912 영상과 A_861211 영상이 0.096pixel로서 가장 작은 값을 보였고, A_920922가 0.1749pixel로서 가장 큰 값을 나타냈으며, 평균값은 0.1525pixel이었다. 천수만 지구는 C_880927 영상이 0.1569pixel로서 가장 작았고, C_900410 영상이 0.1849pixel로서 가장 큰 값을 나타내었으며, 대부분 유사한 범위를 보였다. 천수만 지구의 RMSE 평균값은 0.1691pixel로서 아산만 지구의 평균값인 0.1525pixel보다는 큰 값을 보였으나, 모두 0.5pixel의 오차내에 포함되는 양호한 결과를 보였다.

아산만 지구의 아산방조제와 삼교방조제가 각각 1973년과 1979년에 준공된 것을 고려할 때, 영상에 의해 분석된 간석지 면적은 방조제 축조후의 변화임을 알 수 있다. 아산만 지구의 방조제 축조후 간석지 면적은 A_880927 영상이 3737.3ha에서 A000320 영상의 3983.2ha로 꾸준히 증가하였으며, 12년간 총 간석지 증가량은 255.9ha였고, 이 기간동안의 연평균 증가량은 21.3ha로 나타났다. 이것은 해도분석에 의한 아산만 지구의 1983년부터 1998년까지 15년 동안의 연평균 증가량 22.2ha와 유사한 결과를 보이는 것이다.

천수만 지구에 포함된 서산 A·B 방조제는 각각 1982년과 1983년에 준공되었다. 따라서, 본 연구에서 이용된 다시기 영상인 1984년 영상에서부터 시작되므로 간석지 면적의 추정 결과는 방조제 축조 후의 간석지 면적의 변화를 나타내고 있다. 방조제 축조 직후인 C_840730 영상 분석에 의한 간석지의 총 면적은 4552.7ha였고, C_000320 영상이 5309.7ha로서 꾸준한 증가 추세를 보이고 있었으며, 총 증가량은 16년에 걸쳐 757ha였고, 연평균 증가량은 47.3ha인 것으로 나타났다.

3. 4. 아산만 및 천수만 지구 간석지 면적 증가율

대상지구의 해도와 위성영상에 의한 간석지 면적의 추정 결과는 그림 1과 2에서 보는 바와 같다. 아산만 지구에서의 방조제 축조 후인 1983년 이후의 연대별 간석지 면적의 추세는 해도 분석 결과와 영상을 이용한 분석의 결과가 거의 유사한 경향으로 증가하고 있음을 알 수 있다. 천수만 지구의 해도 분석 결과는 방조제 축조 전후를 구분하여 도시하였다. 대상지구의 방조제 축조 후 간석지면적의 변화는 연대별 총간석지면적에서 차이를 보이고 있는데, 이는 해도와 위성영상에 의한 경계 추출에 차이가 있고, 해도의 제작 당시 공사구간의 간석지는 무시하여 도시하였기 때문인 것으로 보인다.

해도의 분석 결과, 아산만 지구의 아산·삼교 방조제와 천수만 지구의 서산 A·B 방조제의 준공후 연평균 간석지면적의 증가율은 각각 22.2ha/yr, 56.6ha/yr인 것으로 나타났으며, 영상분석 결과는 21.33ha/yr, 47.6ha/yr가 연간 증가하는 것으로 나타났다. 아산만 지구에 대한 천수만 지구의 연평균 간석지 면적의 생성비는 영상분석에 의한 결과가 2.22, 해도 추정 결과에 의한 값이 2.55로 유사하게 나타났으며, 천수만 지구가 간석지 생성이 더 많이 되고 있음을 알 수 있다.

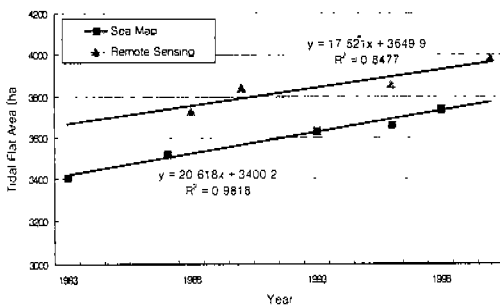


그림 1. 아산만 지구 간석지 면적 변화

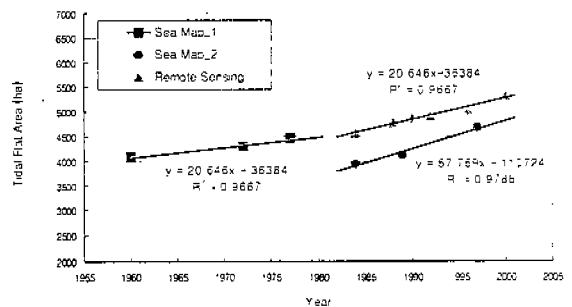


그림 2. 천수만 지구 간석지 면적 변화

4. 요약 및 결론

방조제 축조 전후의 간석지 면적을 정량적으로 평가하기 위하여, 아산만과 천수만 지구를 대상 지구로 선정하였고, 대상지구의 지형도, 해도 및 위성영상 자료를 구득하여 대상지구의 시기별 간석지 면적을 산정하였으며, 이를 바탕으로 간석지 면적의 변화를 고찰하도록 한다.

본 연구의 결과를 정리하면 다음과 같다.

- 1) 지형도에 의한 간석지면적 추정 결과 아산만 지구는 1914년부터 1987년까지 총 1971.2ha의 간석지가 증가하여 연평균 26.6ha/yr가 증가하는 것으로 나타났다.
- 2) 지형도를 이용한 방조제 축조 전후의 간석지 면적의 산정 결과는 아산만 지구와 천수만 지구 모두 일정한 경향이 없었으며, 이는 지형도의 제작시 항공사진 촬영시간의 조위를 감안하지 않은 결과로 평가된다.
- 3) 해도의 분석 결과, 아산만 지구의 아산·삼교 방조제와 천수만 지구의 서산 A·B 방조제의 준공후 연평균 간석지면적의 증감율은 각각 22.2ha/yr, 56.6ha/yr인 것으로 나타났으며, 이는 천수만 지구가 아산만 지구에 비해 2.55배 더 많은 간석지가 생성된 것으로 추정되었다.
- 4) 다시기 Landsat-5 TM 영상을 이용한 간석지 면적의 추정 결과, 방조제 축조후 간석지 면적은 아산만 지구가 1988년부터 2000년까지 12년 동안 총 255.9ha가 증가하여 연평균 21.33ha/yr만큼 증가하였고, 천수만 지구의 경우는 1884년부터 2000년까지 16년 동안 총 757ha/yr가 증가하여 연평균 47.3ha/yr의 면적 증가를 보였다.
- 5) 영상분석 결과, 방조제 축조후 아산만 지구와 천수만 지구의 연평균 증가량은 각각 21.33ha/yr, 47.3ha/yr로서 천수만 지구가 2.22배 더 많이 생성되는 것으로 나타남으로서 해도의 분석 결과인 연평균 증가량 22.2ha/yr, 56.6ha/yr과 아산만 지구에 대한 천수만 지구의 간석지면적의 생성비인 2.55배와 유사한 경향을 보였다.
- 6) 해도 분석에 의한 간석지 면적의 증가 양상은 방조제 축조 후의 증가 비율이 축조 전의 증가 비율보다 크게 나타났으며, 방조제 축조 후의 해도에 의한 간석지 면적의 증가 추세는 위성영상 자료에 의한 경향과 유사하게 나타났다.

참고문헌

1. 류주형의 6명, 2000. 원격탐사 자료로부터 해안선 추출에 의한 조간대 DEM 생성, 한국원격탐사학회지, Vol. 16, No. 3, pp. 221-233.
2. 유신재, 정종철, 1999. 해양환경관측을 위한 원격탐사의 활용과 전망, Vol. 15, No. 3, pp. 277-288.
3. 조명희, 조화룡, 1997. 한국의 간석지 분포, 한국지역지리학회지, 제3권 제2호, pp. 195-208.
4. 조명희, 조화룡, 1999. 위성영상을 이용한 줄포만 간석지의 미지형 분류와 지형적 특성, 대한원격탐사학회지, Vol. 15, No. 3, pp. 217-225.
5. Adinarayana, J., and N Rama Krishna, 1996. Integration of multi-seasonal remotely-sensed images landuse classification of a hilly watershed using geographical information systems, Int. J. Remote Sensing 17 (9) : 1679-1688.
6. ERDAS Inc., 1991. ERDAS Field Guide, Atlanta, Georgia.
7. Lillesand, Thomas M. and Ralph W. Kiefer, 1994. Remote Sensing and Image Interpretation, New York: John Wiley and Sons.
8. Wagle, B. G. and N. H. Hashimi, 1990. Coastal geomorphology of Mahe Island, Sey-chelles, International Journal of Remote Sensing, 11(2):281-188.