

Landsat TM에 의한 안면도 산림자원 변화경향 분석

송 무 영¹ · 신 광 수¹

¹충남대학교 지질학과, 305-764 대전광역시 궁동 220

Variation Analysis of Forest Resources in Anmyundo Using Landsat TM

Moo-Young Song¹ · Kwang-Soo Sin¹

¹Department of Geology, Chungnam National University, Taejeon 305-764, Korea

Abstract: On the basis of the Landsat TM scenes with 15 year's time differences, the topographic maps with 50 years differences, and the air photos with 25 years differences, we carried out the field survey for geology and forestry and analyzed the topographical change and the variation of the forest resource in Anmyundo. In terms of the discrimination of forest trees in Anmyundo, the NDVI with larger than 0.5 in the winter season is the indicator of the surface of the pine tree land-cover. The peak values of NDVI appear on the surface of the pine aging 30 through 50 years and decrease a little and grossly stabilized over the more aging trees. The distinction of the deciduous forest and grass land from the pine tree was capable with the correlation with the abrupt seasonal variation of NDVI and the surface aspect.

The great change of topography is detected in the region Changgiri due to the continuous tidal erosion since the canal construction about 370 years ago and along the all around coast of Anmyundo due to the reclamation for the paddy field. The surface area of the pine tree land-cover in Anmyundo was estimated 35.91 km² in 1986 and 33.15 km² in 1993, which is originated from the grassland development in the southeastern part of Anmyundo where the pine tree dominated by 1986. In the northern part of Anmyundo the surface area of the pine land-cover increased a little in 1993 comparing to 1986.

Key word: Anmyundo, Forest resource, NDVI, Landsat TM, Tasseled cap, topographic change, surface area change

요 약: 15년간의 안면도의 Landsat TM 영상과 50여 년의 지형도 및 25년 사이의 항공사진을 토대로, 지형, 지질답사와 산림조사를 실시하고 이들로부터 지질특성, 지형변화 및 산림자원의 변화경향을 파악하였다. 소나무 숲만을 대상으로 볼 때, 겨울철의 식생지수가 0.5 이상인 지역이 소나무 숲과 일치하며 대체적으로 30년 내지 50년 연령의 숲에서 최대의 식생지수를 보이며 고령으로 가면서 약간 감소할 뿐, 별 차이를 보이지 않는다. 활엽수 및 초지와 침엽수의 구분은 계절별 식생지수의 급격한 변화 및 지형과의 대비로서 가능하였다.

지형변화는 창기리 부근에서 약 370년 전 운하를 건설한 이후, 조석에 의해 지속적인 침식이 진행 중이며 해안선에 발달해 있던 만곡부는 방조제의 축조로 간척사업이 특히 과거 30여 년 동안에 진행되어 논 경작지가 크게 증가되었다. 소나무 숲의 면적을 해석하면, 1986년에는 소나무 삼림면적이 35.91km², 1993년에는 33.15km²이며, 안면도 남동부의 장곡리, 누동리에서는 1986년에는 넓게 분포했던 소나무 숲이 93년에는 초지로 바뀌어 있음이 나타나고, 중북부에서는 대체로 소나무 숲의 면적이 1986년에 비하여 1993년에 증가한 것으로 해석된다.

주요어: 안면도, 산림자원, 식생지수, Landsat TM, Tasseled cap, 지형변화, 면적변화

서 론

인공위성의 영상 취득과 엽록소의 근적외선 분광반응의 특징은 넓은 지역에서 지표피복의 분류 및 녹지분석에 활용할 수 있게 되었고, 더 나아가 산림자원의 모니터링 모색도 가능하여 이를 확장하려는 것이 최근의

세계적인 연구 경향이다. 대부분의 연구는 동질성 지표특징을 갖는 넓은 지역에서 균일한 식생 피복에 대한 규칙적 자료획득에 활용되고 있으나(Ardo, 1992; Macomber and Woodcock, 1994; Derrien *et al.*, 1992), 국내에서는 소규모 지표피복 특성상 쉽게 적용하기는 어렵다. 외국의 사막이나 광활한 초원, 혹은 대

연구자료

Landsat TM 영상 자료

안면도 일대의 산림자원 변화 특성을 파악하기 위하여 Landsat 5호 위성자료를 사용하였다. 본 연구에 사용된 지구자원 관측위성은 미국에 의해서 발사된 Landsat TM(Thematic Mapper) 센서로 측정된 영상자료이다. Landsat TM 자료는 프랑스의 SPOT 인공위성 자료에 비해 지상분해능은 약 30m로 떨어지나 분광분해능은 7개의 파장대를 갖고 있는 특징이 있다. 그러므로 각각 센서의 반응에 따라 지표피복을 해석하는 데에는 보다 효과적이다.

본 연구의 Landsat 인공위성 자료는 1984년 6월 30일부터 1997년 6월 16일까지 서로 다른 시기의 11개 영상자료를 사용하였다. 위성궤도는 path / row, 116 / 35이며 이를 다시 연구지역에 맞게 좌표체계를 부여한 후 470 X 920 화소로 구성하였다(Fig. 1).

Landsat TM은 전자파의 파장별 분류범위에서 가시-근적외 및 열적외선 영역에 이르는 7개의 밴드를 갖춘 센서로서 각 밴드의 분광 파장대, 지표 공간분해능 및 적용대상 등은 Table 1과 같다. 사용된 Landsat TM 자료의 형태는 CCT(Computer Compatible Tape)이며, 자료형식은 BSQ(band sequential)이다.

이 자료형식은 세계적 표준으로서 1982년부터 사용되기 시작하여 이후 발사되는 지구자원 관측위성인 본 Landsat TM 뿐만 아니라 프랑스의 SPOT, 일본의 MOS

평원과 달리 국내의 지형은 소규모의 굴곡표면을 갖고 있으며 따라서 지표피복 역시 몇 곳의 평야를 제외하고는 수 km²의 면적 이하의 단일 지표피복을 나타내기 때문이다.

세계적 녹지분포의 연구에 활용되는 AVHRR의 NDVI는 1km²의 화소 분해능을 갖고 있으며 다중분광 인공위성 영상인 Landsat TM도 30m×30m의 공간분해능에 그치고 있으므로 균일한 소규모 지표피복의 해석연구에는 근본적으로 제한점이 존재한다. 또한 인공위성의 회귀주기, 기상조건 변화에 의한 유용한 영상취득 시간 간격 및 위성영상과 지표조사의 시간차들이 완벽한 연구성과를 얻기에는 어려운 점들이다. 그럼에도 불구하고 자료취득의 동시성, 광역성, 반복성 등의 장점을 갖는 인공위성의 자료는 아직 비록 불완전할지라도 그 효용성에서의 가치는 결코 작은 것이 아니다(Eklundg, 1995).

본 연구는 완벽한 조건을 구비하지 못하는 제한성의 자료 범위 내에서 안면도 전역에 펼쳐져 있는 소나무 숲에 대한 Landsat TM 영상을 분석하여, 지형변화, 지표피복의 변화경향과 아울러 소나무 자원의 변화경향을 파악하려는 데 그 목적이 있다. 안면도 지형이 비교적 완만한 지표면을 갖고 있는 점, 약 15년간에 걸친 인공위성 영상자료로부터 계절적, 지속적인 차이점을 알 수 있는 점, 그리고 비교적 용이하게 현장에 접근하여 수종, 피복밀도, 수고, 수관을 측정할 수 있는 점등을 활용할 수 있다는 유리한 조건을 갖추고 있다.

엽록소는 물, 토양 등과는 아주 색다른 근적외선 분광특성을 갖고 있음이 오래 전부터 알려져 왔으며(Lillesand and Kiefer, 1994), Landsat TM의 분광밴드는 AVHRR, MSS등처럼 가시광선, 근적외선의 파장대를 구분하여 측정할 수 있게 하였고, 각 분광밴드의 반사강도를 비교하여 식생지수(NDVI)를 구하여 지표상의 녹지를 구분할 수 있게 되었다(Gamon et al., 1992). 본 연구에서는 엽록소에 대한 hyperspectral 반응을 측정 비교하고, Landsat TM 영상으로 침엽수림과 활엽수림 범위를 정량화 시키도록 하였다. 아울러 침엽수림의 면적 감소와 목장의 초지 개간의 관계를 파악하였으며 이러한 연구의 결과를 안면도의 지역개발에 활용할 수 있는 자료로 제공할 수 있게 하려한다.

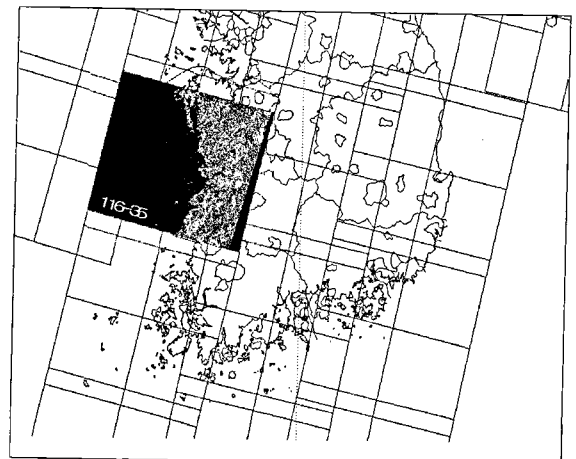


Fig. 1. Landsat-TM orbit in study area.

에도 세계표준 자료형식으로 기록되어지고 있다. 세계 표준 자료형식에는 superstructure record라 불리는 3종류의 record, 즉 volume descriptor record, file pointer record, file descriptor record 가 있고 이들 내에 자료를 기록하는 방법이 기술되어져 있다. superstructure에는 복수의 record로 구성되어져 있다.

또한 본 연구에 사용된 BSQ 자료형식의 특징은 Table 2와 같다. BSQ 형식은 한 개 밴드의 전체 영상을 한 개의 파일로 구성하고 있는데, 이는 광역적인 지역에 대해 어떤 특정 밴드만을 사용할 때 가장 적합하다. 본 연구에서 사용된 인공위성 자료는 Table 3에 정리되었다.

항공사진과 지형도

항공사진과 지형도를 이용하여 고지리 변화경향을 파악하였으며, 변화에 사용된 자료는 각기 다른 3개 년도의 안면도 일대에 대한 항공사진과 일제시대에 발행된 지형도 및 국립지리원 발행 지형도이며 다음 Table 4 와 같다.

연구방법

지상기준점

수신된 초기의 위성 데이터는 지구의 자전, 위성의

속도, 고도변화, 지형의 기복 등으로 실제 영상좌표와 지리적 좌표에 편차가 생겨나는 기하학적 왜곡이 생긴다. 이러한 왜곡을 보정하는 방법으로 지상기준점(GCP; Ground Control Point)보정이 있는데, 이를 위하여 인공위성의 영상에서 구분이 뚜렷한 도로의 교차점, 다리, 활주로 등을 이용하는 것이 좋다. 위성 데이터는 각각의 영상자료들과 연관시키거나 지리정보시스템(GIS)의 자료층 들과 중첩시키기 위해서는 이들 영상에 대한 기하학적 보정이 필수적이다.

기하학적 보정은 다음과 같은 몇 개의 주요 과정으로 나누어 작성된다. 첫째, 좌표변환으로 디지털이져(digitizer)평면상의 좌표에 입력된 각 기준점(GCP)의 위치를 영상상의 좌표 또는 지질도상의 좌표로 변환시킨다. 영상의 직각좌표가 지도상에 옮겨지면 직각이 유지되지 않는 경우가 많아 경사좌표로서의 변환도 가능하도록 작성하였다. 둘째, 좌표비교 영상자료상의 기준점들의 좌표와 이에 대응하는 지도상의 좌표와의 상관관계를 구하는 과정으로서 최소자승법을 이용하며 경우에 따라 대수상관식의 추출도 가능하다. 셋째, 재구성(resampling)으로서 기준점 대비를 통하여 얻어진 영상과 출력배열상 대응하는 점의 값을 취하는 과정으로 여기에는 계산된 좌표치와 가장 가까운 화소의 값을 취하는 방법(nearest neighbor), 중첩되는 화소들의 값의 평

Table 1. Wave length, spectral field and major potential.

Band	Wave Length(μm)	Spectral Field	Major Potential Application
1	0.45~0.52	Blue	Mapping of coastal water, differentiating of soil and vegetation seperating coniferous and decicuous species
2	0.52~0.60	Green	Measurement of visible green reflectance peaks to assess vigour of vegetation
3	0.63~0.69	Red	Discrimination of plant species through measuring chlorophyll absorption
4	0.76~0.90	Near-IR	Delineation of water body, determination of biomass content
5	1.55~1.75	Mid-IR	Measurement of vegetation and soil moisture, differentiation of cloud and snow
6	10.4~12.5	Thermal IR	Thermal imaging and mapping, plant stress analysis, determination of soil moisture
7	2.08~2.35	Mid-IR	Discrimination of rock types, hydrothermal altered minerals mapping

Table 2. CCT data format.

File name	Descriptions	Record name
Volume directory file	각 CCT의 선두에 위치하며 CCT의 volume 및 file관리 정보를 포함한다.	① Volume descriptor ② File pointer ③ Text
Recorder file	Image file의 앞에 위치하여, image file내의 화상 data와 관련 있는 annotation data, ancillary data 등의 정보를 포함한다.	① File descriptor ② Scene header ③ Ancillary
Image file	data 등의 정보를 포함한다. Recorder file의 다음에 위치하여 화상 data에 관한 최종 정보를 포함한다.	① File descriptor ② Image
Trailer file	Image file의 다음에 위치하여 화상 data에 관한 최종정보를 포함한다.	① File descriptor ② Trailer
Null volume directory file	CCT format의 최종 file로, logical volume의 증거를 표시한다.	① Volume descriptor(null)
Supplemental file	기하학적 왜곡보정계수, PCD (Payload Correction Data) data 등을 포함한다.	① File descriptor ② Head

Table 3. Specification of Landsat TM satellite image for this study.

Acquisition Date	Path/Row	Resample size(pixel)	Quality	Descri.
1984. 07. 30	116/35	750/650	G · M	cloudy
1985. 10. 21	116/35	750/650	G	-
1986. 04. 15	116/35	750/650	G	-
1986. 12. 11	116/35	750/650	M	cloudy
1987. 04. 18	116/35	750/650	G	-
1987. 05. 20	116/35	750/650	G	-
1987. 10. 27	116/35	750/650	G	-
1988. 08. 10	116/35	750/650	M	cloudy
1988. 09. 27	116/35	750/650	G	-
1993. 03. 17	116/35	750/650	G	-
1997. 06. 16	116/35	750/650	G	-
11Data	116/35	750/650	-	-

균치를 취하는 방법(bilinear interpolation), 그리고 그 주위의 화소값까지 고려하여 값을 얻는 방법(cubic convolution) 등으로 구분할 수 있다(Bernstein, 1983).

본 연구에서는 ENVI 3.0의 재배열(resampling) 방법

Table 4. Specification airphoto and map.

	Acquisition Date	Scale	Published
Air photo	1974, 1980, 1991	1:50,000	국립지리원
Map	1945, 1971, 1990	1:50,000	국립지리원 발행 일제시대 발행

중 최접근 주변치(nearest neighbor)를 이용하여 영상에서 구분이 뚜렷한 도로교차점이나 제방 말단부 등을 기준으로 전 지역에 골고루 15점을 잡고 아래의 Affine 변환식을 이용하여 보정된 출력좌표들을 계산했다.

$$X_0 = A_1 + A_2X_i + A_3Y_i$$

$$Y_0 = B_1 + B_2X_i + B_3Y_i$$

여기서 X_i 와 Y_i 는 입력좌표이고, X_0 와 Y_0 는 기하학적 보정으로 출력된 좌표들이다. 연산과정에서 RMS(Root Mean Square)오차가 계산되는데 이는 지상 기준점(GCP)의 입력위치와 같은 지상기준점(GCP)에 대해 재변환된 위치 사이의 거리이다. 사용된 영상에서 RMS 오차를 0.5(단위: 영상화소)로 하나의 영상화소의 크기보다 작게 선정하였다.

Tasseled Cap 변환

Tasseled cap 변환은 Kauth and Thomas(1976)에 의해 Landsat MSS 자료를 이용하여 식생지수를 구하기 위해 개발되었고 대체적 개념은 주성분변환과 유사하다. Tasseled cap 변환을 Landsat TM 자료에 적용하여 얻을 수 있는 성분 중 첫 번째 성분은 토양의 휘도(brightness)와 같은 전체반사도(total reflectance)를 나타내며, 두 번째 성분은 녹지지수(green vegetation index; greenness)를 나타낸다. Crist and Cicone(1984)이 제안한 Tasseled cap 변환의 세 번째 성분은 토양의 수분함량과 관련된 습윤지수(wetness)를 나타낸다. Fig. 3은 가로축을 Tasseled cap 변환의 첫 번째 성분인 휘도(brightness)로 하고 세로축을 두 번째 성분인 녹지지수(greenness)로 하여 나타낼 때 지표특성에 따른 영역을 도시화한 것이다. Fig. 3에서 볼 때 자연 숲에서는 녹색지수가 특히 높아지며 해수의 경우는 녹색지수는 거의 큰 차이가 없으나 탁도에 따라 휘도가 변하는 것을 알 수 있다. 도심 지역의 경우는 특히 휘도가 높게 나타난다(Crist and Cicone, 1984).

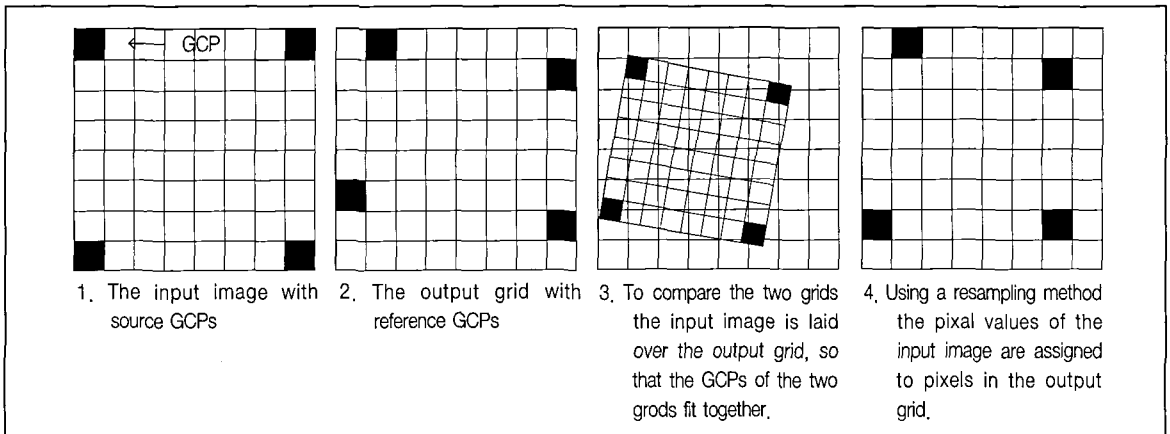


Fig. 2. Resampling process(Lewonski, 1997).

식생지수

식생지수(NDVI; Normalized Difference Vegetation Index)는 Rouse *et al.*(1973)가 최초로 Landsat MSS의 밴드 7과 밴드 5를 사용하여 식생을 관찰한 후 Landsat TM, AVHRR(Advanced Very High Resolution Radiometer) 등 다중분광자료에서 모두 이용되기 시작하였다(Marsh *et al.*, 1992; Larsson, 1993; Eastman and Fulk, 1993).

식생지수는 주로 농작물의 경작 상태에 대한 정확한 정보를 수집하기 위해 사용되며(Groten, 1993), 식물의 총생체량(biomass)이나 녹지지수(greenness)를 상대적으로 정량화하는데 적용되어 왔다(Lillesand *et al.*, 1998).

본 연구에서는 천수만 주위의 계절간 NDVI의 변화와 기존 간척지의 식생여부를 판단하기 위해 March(1992)의 방법에 따라 밴드 4와 밴드 3으로 다음과 같은 NDVI 계산식을 적용하여 영상처리 하였다.

$$NDVI = \frac{(DN_4 - DN_3)}{(DN_4 + DN_3)}$$

여기서 DN4는 밴드 4의 화소값(Digital Number)이고 DN3는 밴드 3의 화소값(Digital Number)이다.

안면도의 지리변화특성

안면도는 충청남도의 서북단 해안에 위치하고 태안군의 서남단에 자리잡고 있으면서 안면읍과 고남면으로 이루어진 아름다운 자연경관을 갖춘 섬이다. 이는 동경 126°27', 북위 36°30'으로 중부 서해안에 위치하고 있으며 면적은 113.36km²인데 그 중 안면읍이 89.39km²로 78%를 차지하고 있고, 21.2%에 해당하는 24.08km²는 고남면이 차지하고 있다(전재진, 1993). 안면도는 본래는 태안반도의 끝머리에 길게 뻗어나와 천수만을 이루었으므로 섬이 아닌 안만곶이었으나 인조 16년 경에 영의정 김류와 충청감사 김육이 한양행 뱃길을 줄이려고 창기리를 끊어 운하를 만들었으므로 섬이 되었다. 따라서 이 운하를 통하여 지난 350여 년간, 밀물과 썰물의 침식작용으로 창기리 부근의 지형변화가 심하게 일어났다(Fig. 4).

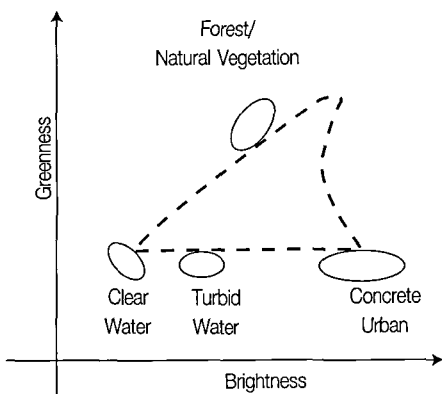


Fig. 3. Typical Tasseled cap transform of Landsat TM data(Crist and Ciccone, 1984).

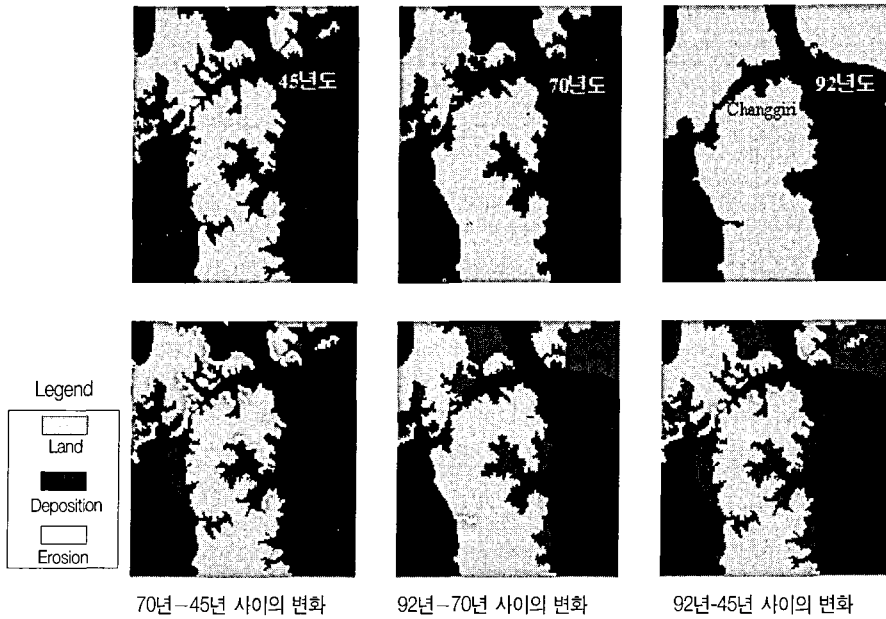


Fig. 4. Geographical change around canal near Changgiri.

현대적인 측량성공에 의해 제작된 자료를 바탕으로 1945년, 1973년, 1992년 사이에 창기리 부근의 침식지역과 퇴적지역의 상태와 규모를 정확히 파악할 수 있다.

안면도는 또한 야산의 능선배열이 나무가지 형태로 분포하고 곳곳에 해수의 만곡부가 형성되어 해수가 드나드는 소위 야산과 나루터로 구성된 섬이었으나 이제는 거의 모든 만곡부가 간척사업으로 방조제가 축조되고 더 넓은 논 농지가 발달되어 있다. 따라서 저지의 논에는 벼농사, 비교적 높은 산지는 소나무로 덮여 있고 중간의 경사지는 밭으로 구성되어 있다(Fig. 5). 안면도의 소나무 숲은 조선시대부터 일제 및 현재에 이르기까지 잘 육성되어 있어서 '도끼하나로 생업을 이룬다'는 전설이 있던 곳이다(林省三, 1933).

안면도는 또한 곳곳에 해수욕장이 발달되어 있다. 이는 지형을 지배하는 지질구조적 특징에 의해 나타난 결과이다. 안면도의 지질도는 아직 종합적 지질도가 발간되지 않았으나 그 개략적 분포는 그림(Fig. 6)과 같다. 대부분의 안면도를 점유하는 태안층은 선캄브리아 시대의 변성 퇴적암으로서, 그 중의 사질층이 해안선 가운데에 돌출부로 남아 해수욕장의 경계를 형성한다. 다만 안면도의 해수욕장들은 다른 지역 대부분의 해수욕장이 모래가 많은 것과는 달리, 비교적 모래가 적고 자

갈을 포함하는 해수욕장 특성을 갖는다(송무영, 1999).

안면도 식생 분포변화

산림 분포 특징

안면도 전역에 걸쳐 비교적 대표성을 갖는다고 판단되는 23개 지역에서 주요 수종, 교목들의 평균수고, 평균피복도, 평균수령, 그리고 흉고직경(Diameter of

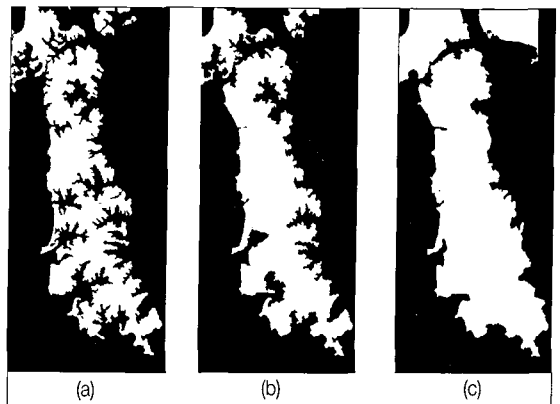


Fig. 5. Geographical change in Anmyundo, geography boundary in 1945(a), 1971(b), 1990(c).

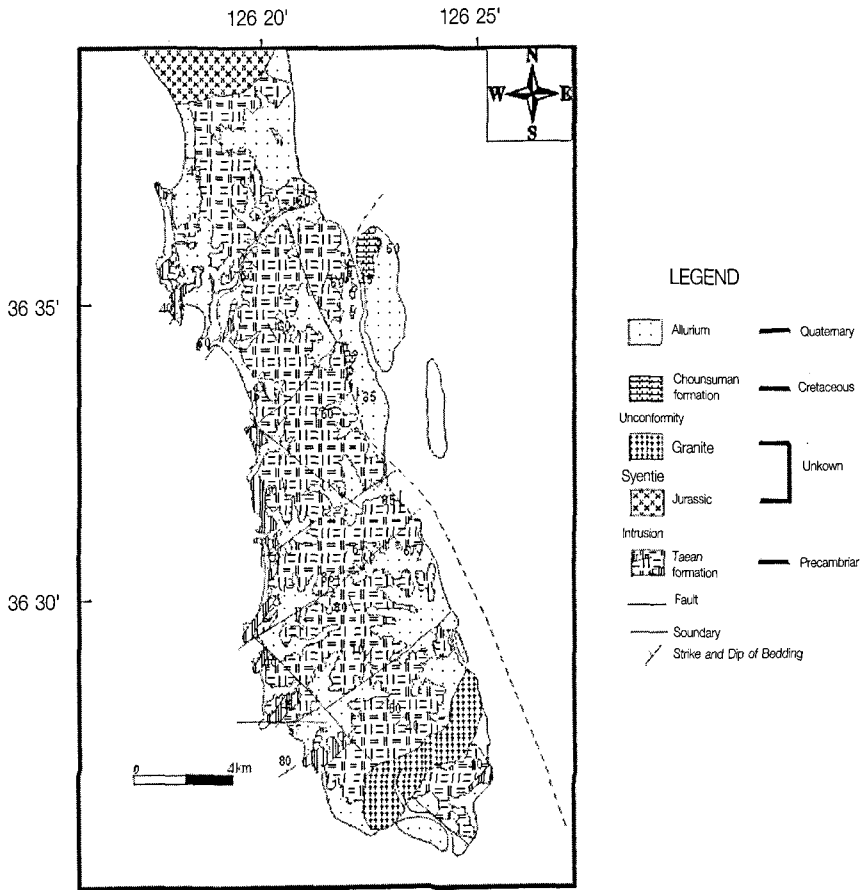


Fig. 6. Geological map of study area(Song and Go, 1999).

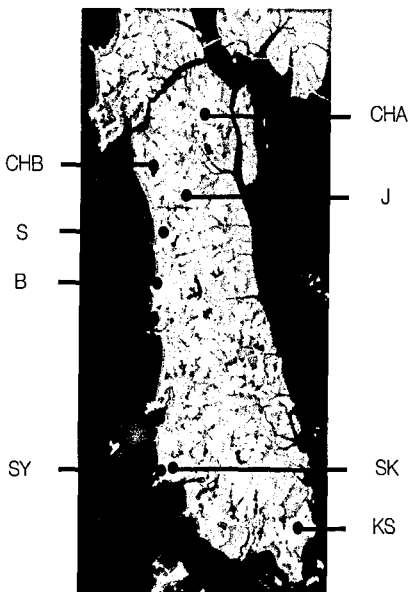


Fig. 7. Field survey sites of study area.

Breast Height)을 조사하였다. 조사지점은 Fig. 7 지도에 표시되었으며 대략 1개 구역에서 2개 내지 5개 지점을 선정하여 산림분포 특성을 조사하였다. 그 조사내용의 중요한 사항은 Table 5와 같다.

대부분이 4령급(40년 정도) 내지 8령급의 소나무가 많고 신야리 국사봉 부근에서 활엽수가 분포하고 있다. Table 5를 보면 활엽수가 많이 분포하고 있는 국사봉(SK)과 신야리(SY) 부근에서는 활엽수가 침엽수에 비하여 대체로 크지 않으면서도 땅을 피복하고 있는 면적이 월등히 높게 나타나고 있다. 상봉해수욕장(S) 부근에서 가장 높은 연령층의 침엽수들이 측정되었으나 이들의 피복 정도 또한 국사봉(SK) 근처의 활엽수보다 낮게 나타나고 있다. 대체적으로 침엽수들은 나무의 높이와 둘레에 따라서 그 수령을 예측할 수 있었다.

Table 4 Tree species and their status in the survey sites of Anmyundo.

Survey sites	Tree species	Mean Tree Height (m)	Cover degree		Age (10Y)	DBH(cm)
			A(%)	Sa(%)		
CH A1 (창기리 북동쪽)	곰솔소나무	14	70	70	4	10-22
CH A2	곰솔소나무	16	80	90	4	15-20
CH B1 (창기리 중서부)	곰솔소나무	12	70	60	4	8-14
CH B2	곰솔소나무	10	70	90	4	10-15
J1 (정당리)	곰솔소나무	18	60	90	6	40-55
J2	소나무	18	70	90	6	30-40
J3	소나무	17	40	95	6	30-45
S1 (상봉해수욕장)	소나무	18	70	65	7	30-40
S2	소나무	17	50	70	7	30-40
S3	소나무	15	70	80	7	15-40
B1 (방포 북쪽)	소나무	9	20	80	4	10-20
B2	소나무	7		70	4	10-20
B3	소나무	11	60	90	4	10-22
B4	소나무 활엽수	10	60	85	4	10-20
SY1 (신아리 서쪽)	곰솔소나무	12	65	20	3	10-20
SY2	곰솔소나무	9	40	60	3	10-20
SK1	졸참나무 굴참나무 굴피나무 물푸레	11	70	90	3-4	10-20
SK2	졸참나무 굴참나무 소나무	11	85	70	3-4	10-20
SK3	졸참나무 굴참나무 굴피나무	10	90	65	3-4	10-20
SK4	졸참나무 굴참나무 곰솔소나무 밤나무	9	50	90	3-4	10-20
KS1 (고남리산)	소나무	12	35	70	3	8-15
KS2	곰솔소나무	10	30	30	3	8-20

* CH, Changiri; J, Jeongdangri, S

토양과 식생의 분광반사도 반응

초다중 분광측정기(Hyperspectral reflectance; image spectrometer)로 분광파장별 물질에 따른 반사도를 측정하면 물 표면은 파랑, 초록, 붉은색으로 파장이 길어질수록 약화되며 적외선 영역에서는 거의 미약하게 소멸된다. 토양은 파랑색 파장쪽의 파장으로부터 중간세기이지만 파장이 길어질수록 완만하게 증가한다. 반면에 식생의 대표적인 잎에서는 가시광선 영역에서는 초록이 파랑과 붉은색보다 약간 강한 상태이지만 적외선 영역에서는 급격히 증가하였다가 2.5μm 범위까지 서서히 감소하며 1.4μm, 1.9μm 부근에서는 물 분자의 영향으로 에너지가 흡수된 형태를 보여준다 (Fig. 8)(Gemmell, 1999; Stoms, 1993).

MSS나 TM 및 AVHRR 등의 센서에서는 위의 각 물질에 따른 파장별 반사도 차이를 파악하기 위하여 파장에 따른 센서로 그 강도를 측정하여 NDVI를 산출할 수 있다. 이러한 녹지지수(NDVI)는 엽록소량, 질소량, 입면적지수, 총생체량, 그리고 표면온도에 따라서 차이점이 있음이 Gamon *et al.*(1993)에 의해 밝혀졌으며 그의 변화경향이 Fig. 9와 같다. 대체로 겨울철 영상에서 식생지수가 큰 곳은 소나무 숲의 분포지역과 일치하며 녹지지수의 크기가 연령의 차이와는 상관성이 거의 없다. 오히려 30년 내지 50년 생의 소나무 숲에서 가장 높은 NDVI를 보이는 경향이 있다. 실제로 6등급 이상 9등급으로 갈수록 지표면에 가까운 하부층에는 나뭇잎이 없고 실제 나무의 평균거리, 즉 면적당 빈도수도 저하되는 경향이 있다.

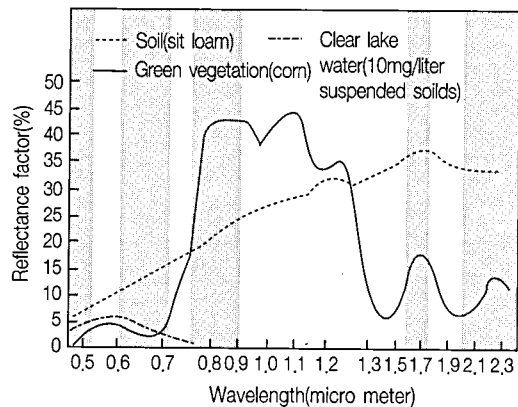


Fig. 8. Spectral reflectance characteristics of green vegetation, soil and clear water

산림분포 특징의 조사를 실시한 여러 지역 중 소나무 4등급의 창리 북동부(site 1), 소나무 7등급의 정당리(site 2), 그리고 활엽수와 소나무가 혼합되어 있는 신야리 국사봉(site 3), 등 3곳의 계절별 NDVI 값의 변화를 년 변화를 무시하고 하나의 계절변화로 작성하면 Fig. 10(계절별 NDVI, site 3개)과 같다. site 1과 site 2는 소나무로 피복되어 있는 지역으로서 겨울철에는 0.5~0.6, 6월~10월 동안에는 0.7 내외를 보이는데 비하여, 혼합림 지역 site 3에서는 겨울철 0.45 미만, 6월에서 10월 사이에는 0.8 이상을 나타낸다. 이로서 소나무 피복지역과 혼합림 지역은 겨울철의 NDVI치 0.5 정도를 기준으로 그 이상은 소나무, 그 이하는 혼합림 혹은 초지, 나대지 등으로 구분할 수 있다.

활엽수 피복지역과 초지의 차이

NDVI 값의 동계절 대비 하계절에서의 급격한 증가

는 활엽수와 초지, 혹은 논과 밭 들의 사이에서 차이점을 찾기는 어렵다. 다만 지형분포 특성으로부터 논과 밭의 경작지는 저지대 혹은 평탄한 지형에 분포하므로 산지에서의 활엽수 지역으로부터 분리할 수 있다. 다만 안면도 중부 이남, 특히 동부지역의 산지는 1980년대까지 삼림지역이 많았으나, 1980년대 말, 목축을 위한 초지로 개발되었다. 삼림은 여러 층의 잎사귀 분포에 의한 높은 NDVI 값이 특징적인데 비하여, 초지는 얇은 두께의 풀이 넓은 지역 범위에 영향을 미치므로 갑작스런 NDVI 증가 후 일정 수준에서 거의 정체되는 양상을 보이므로 활엽수 지역의 반응과는 차이를 나타낸다. 실제로 장곡리, 누동리 등의 산지는 1987년 4월의 영상에서는 소나무 숲의 특징을 보이다가 1993년 3월에는 나대지 비슷한 현상을 나타낸다. 이 부근에서 소나무 숲의 면적 감소가 크게 발생한 것이다.

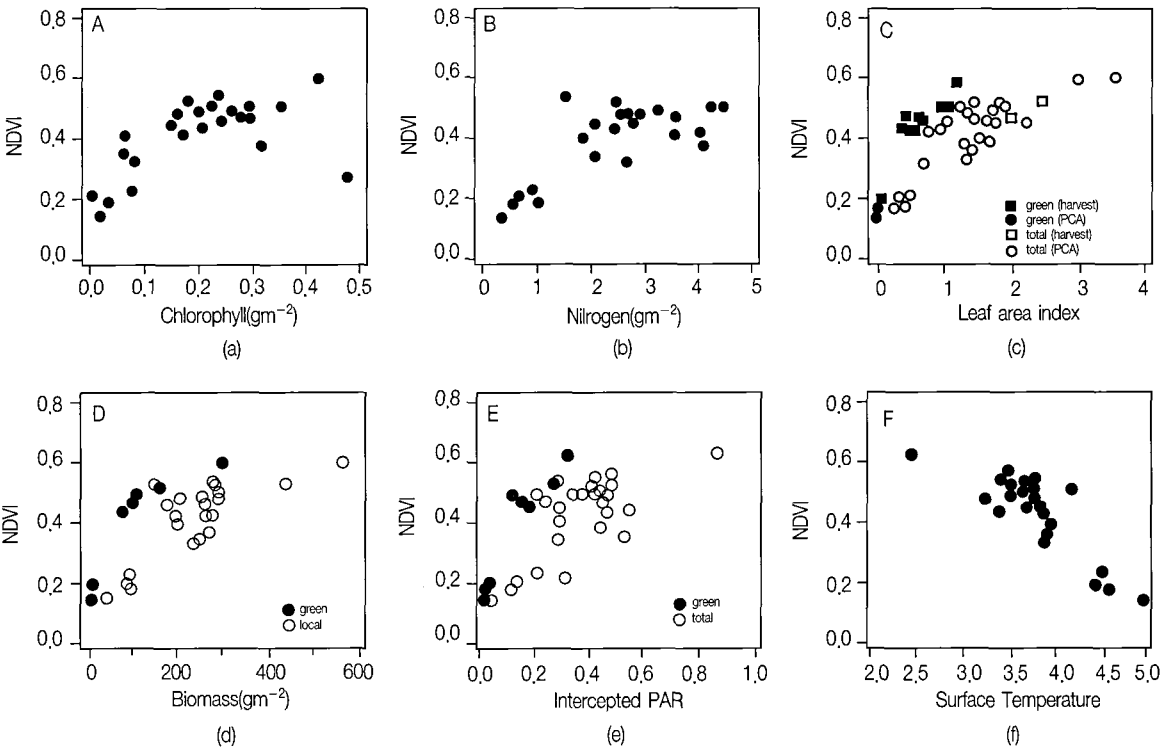


Fig. 9 Correlations between ground-based NDVI and foliar chlorophyll (a), foliar nitrogen (b), green and total LAI measured either by harvest or with the LAI-2000 plant canopy analyzer, PCA (c), green and total biomass (d), total fractional IPAR and fractional PAR intercepted by green leaf area (e), and surface temperature (f)(Gamon *et al.*, 1993).

안면도 소나무 자원의 변화추정

1933년 경의 안면도 상황

林省三(1933)에 의하면, 3.1 독립운동 이후 조선 총독부가 새로운 문화정책을 추진하여 내선일체 운동이라 하여 일본인과 한국인의 융화운동을 펼친 듯 하다. 이 중에서 洗足 운동이라는 이름으로 林省三은 안면도 삼림정책에 직접 관여하고(Fig. 10) 그 과정과 결과를 책으로 남겼다. 이에 의하면 조선조부터 삼림자원을 육성하던 황장봉산(黃腸封山)이 1927년에 일본회사인 (株) 麻生商店에 경매로 낙찰되어 안면도 임업소를 개설하고 관리하게 되었다 한다.

황장봉산의 유래는 조선조 초기로 거슬러 올라간다. 중종 시대에 화전의 악습으로 국토의 삼림이 황폐화되자 조선왕조의 충실이 나서서 안면도를 황장봉산으로 지정하고 보호기관을 설치 운영하였다. 그 후 천수만 건너편인 보령군 오천에 수군절도사를 설치하여 안면도를 주찰시켜 삼림자원을 보호 육성하였다. 그러나 조선조 말엽에 행정의 이완됨에 따라 목재들을 비교적 반출하기 쉬운 남부와 북부지역에서 도벌이 심하였으니, 이때가 바로 “도끼 하나만 가지면 잘 살 수 있다”는 전설이 유래한 시대이다.

총독부 시대에 다시 산림자원의 중요성을 인정하여 관리를 개선하려 하다가 위의 황장봉산이 경매에 붙여진 것이다. 결국 1927 3월 23일에 82만 3천원(圓)으로 (株) 麻生商店에 낙찰된 것이다.

당시의 안면도 면적은 약 9천 정보(약 87km²)이며는 1천 정보, 밭 1천 정보, 임지 7천 정보이었다. 임지 중에 면유림(6백정보) 과 기타(4백정보)를 제외하면 모두 麻生商店이 관할하는 안면도 임업소림인 6천정보이고 그 중에서 완전한 소나무 숲이 5천 7백정보(55km²)로 기록되었다. 이 때의 안면도 거주호수는 1600호, 인구 1만명에 일본인 50명이 포함되어 있었다.

조선조 말엽에 경복궁 축조를 위해 노령수 우랑목이 대거 벌채되었으며 1930년 경에는 노령수가 적게 남겨있었고, 그들은 70~80년 생들이었다. 대부분의 수령은 30년 정도의 장령형이고 토공용(土工用)의 목재로서는 최상품이었다고 한다. 이들의 일부가 남아 있는 곳이 자연휴양림 부근의 8등급 이상의 소나무 숲인 듯하다.

당시의 총 목재는 1백만 척체(尺締, 33만 m³)로 추정

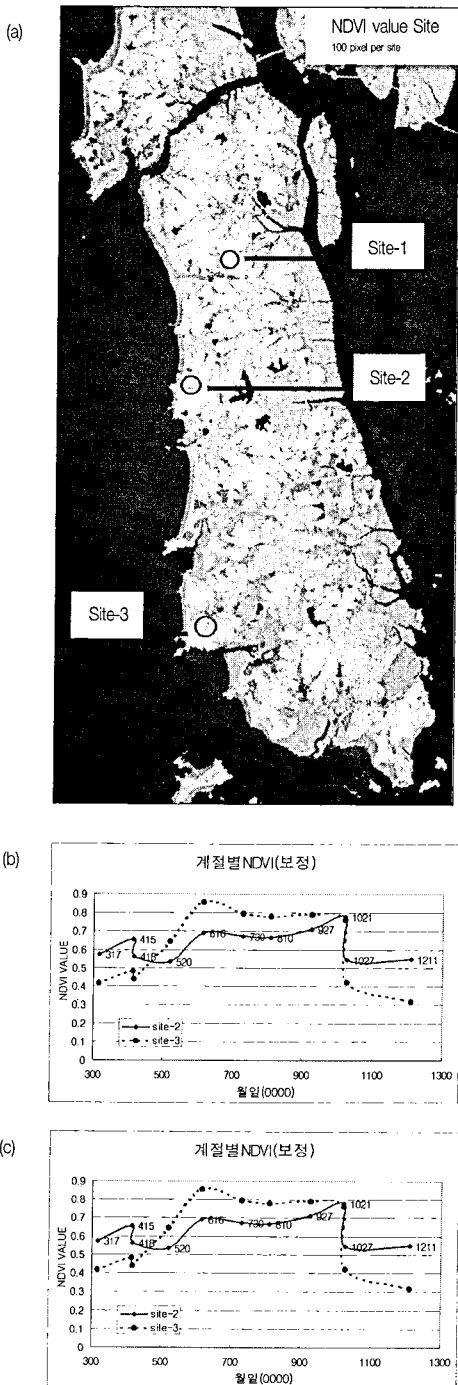


Fig. 10. Ground truth sites for NDVI by Landsat TM (a), Corrected NDVI value graph (b), Uncorrected NDVI value graph (c).

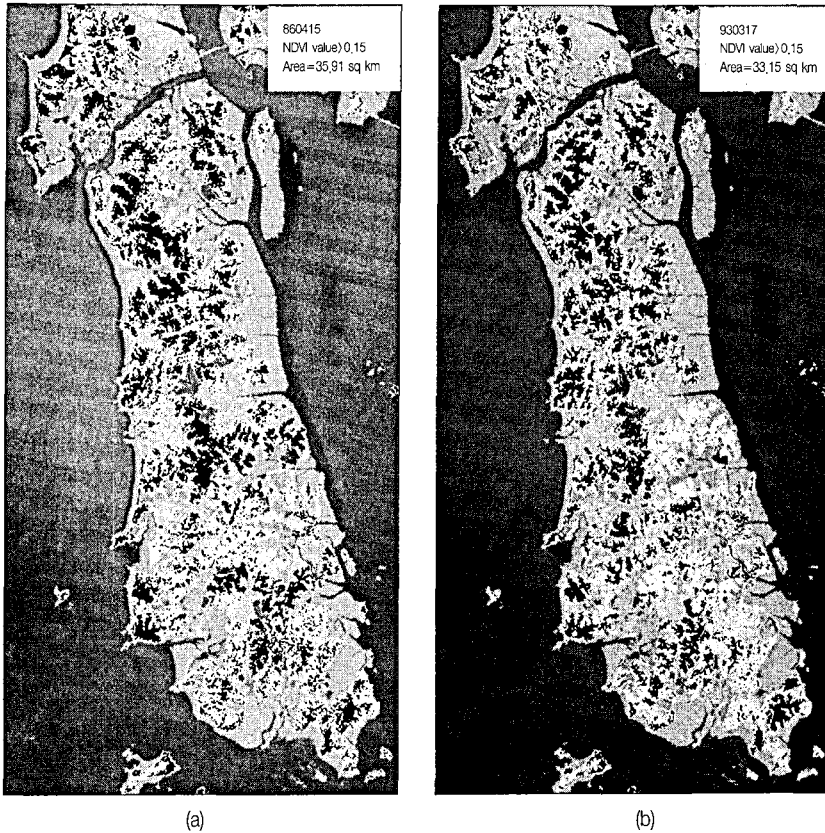


Fig. 11 Changed NDVI distribution area, black region indicate area over 0.15 NDVI value in 1986(a), 1993(b).

되었고 매년 성장량은 약 8만 척체(2만 6천 4백 m³)로서 약 30년의 운벌 계획을 세웠던 듯 하다. 따라서 1개년 벌채계획은 1백 5십 정보, 1년 간벌 면적을 약 8백 정보, 1개년 벌채총량을 약 8만 척체(2만 6천 4백 m³)로서 균형을 맞추려 했던 것이다.

1986년, 1993년 경의 소나무 숲의 면적과 그 변동추이

1986년 4월 15일 영상에서의 NDVI를 중심으로 개략적 소나무 분포지를 산출하고 그 면적을 구하였다(Fig. 11a). 동일한 방법으로 1993년 3월 15일의 영상에서 NDVI 값을 산출하여 소나무 분포지를 산출하였으며 새로운 면적을 산출하였다(Fig. 11b). 실제로 영상취득의 시기가 다르면 태양광 방사조건, 기상조건, 때로는 기기의 여러 조건도 달라질 수 있으므로 NDVI 값이 같은 지역, 같은 지표피복이라 할지라도 동일할 수는 없다. 역시 생물의 성장에 따라 입면적 지수나 엽록소 농도에도 차이가 있을 수 있다.

이러한 변동요인이 있는 점을 감안하여 상대적 표준치로 비교할 기준은 넓은 면적에 비슷한 조건을 유지 하리라고 추정되는 해수면 반응을 들 수 있다. 즉, 동일 해수면의 NDVI치가 두 시기의 영상에서 다른 점을 가장 큰 차이점으로 간주하고 이들을 동일 기준으로 환산시켜 NDVI 분포에 의한 소나무 면적 변동을 추정하였다.

실제 소나무의 성장에 따라 수고가 증가하지만 50년 정도 이상이면 수관의 폭과 높이는 크게 변하지 않는 것으로 추정되므로 삼림면적의 변동추이가 가장 중요한 관심대상이 된다.

1986년에는 소나무 삼림면적이 35.91km², 1993년에는 33.15km²이며 안면도남동부의 장곡리, 누동리에서는 1986년에는 넓게 분포했던 소나무 숲이 1993년에는 초지로 바뀌어 있음이 나타나고 중북부에서는 대체로 소나무 숲의 면적이 1993년에 증가한 것으로 해석된다.

이들 전체를 1993년대에 비교하면 소나무 숲은 크게

사 사

본 연구는 한국학술진흥재단의 1998년도 대학연구소 지원연구비의 일환으로 연구가 이루어 졌으며 이에 대하여 한국학술진흥재단에 감사드린다. 아울러 산림자원의 현장답사에 여러 가지로 협조해 주신 송호경 교수, 이선 박사, 그리고 지질학과 박사과정의 유영철 및 학사 과정을 졸업한 박현숙 제위에게 심심한 감사를 드린다.

참고문헌

감소한 것으로 보인다. 비록 당시의 면적 계산의 정확성에 의문이 제기되더라도, 밭, 거주지의 증가가 숲의 감소 원인일 것으로 인정할 수 있다.

결 론

물질의 화학성분에 따라 전자파의 파장대별로 분광 반사도가 차이를 나타내는 특성을 이용하여 원격탐사에 의한 지표환경 연구가 효과적임이 지난 수 년간 크게 인정받게 되었다.

본 연구에서는 안면도를 대상지역으로 Landsat TM 영상과 고지도 및 항공사진 자료를 바탕으로 현지에서의 지형, 지질조사 및 삼림 자원 조사를 실시하여 다음과 같은 몇 가지 사실을 파악 할 수 있었다.

안면도는 1638년 경 창기리 부근에 운하를 건설함으로써 섬이 되었고 이 부근에서 조석 유수의 침식 작용으로 지표 면적이 감소하였으며 원래 농선과 해수의 만으로 이루어진 지형이 지난 수 십년간 방조제 축조로 간척 활동이 활발하여 논의 면적이 크게 증가하였다.

조선조 초기부터 삼림육성의 중요지역으로 지정하여 관리되던 안면도의 소나무는 경복궁의 축조에도 목재가 공급되었으며 행정이 이완될 때는 많은 벌채를 당하기도 하고 일본으로부터의 해방 후에는 도시화, 밭 경작 등의 증가로 숲의 면적이 감소하였다.

지난 30여 년간에는 전국 어디와 마찬가지로 삼림보호가 잘 지켜지게 되면서 현재 30년 이상의 소나무가 대부분의 숲을 차지하며 남부 일부 지역에 활엽수가 분포한다.

1986년과 1993년을 비교해 볼 때 장곡리와 누동일 일대에 조성된 대규모 목장지역의 초지 개발로 인하여 소나무 숲의 면적은 중동부 지역을 중심으로 감소하였으며 다른 지역에서는 약간 증가된 양상을 보인다. 1986년에는 소나무 삼림면적이 35.91km², 1993년에는 33.15km²이며 안면도 남동부의 장곡리, 누동리에서는 1986년에는 넓게 분포했던 소나무 숲이 1993년에는 초지로 바뀌어 있음이 나타나고 중북부에서는 대체로 소나무 숲의 면적이 1986년에 비하여 1993년에 증가한 것으로 해석된다.

- 송무영, 고희재, 1999, 안면의 지형변화 추이와 지질특성, 한국지구과학회 학술 발표 회, 99정기학술발표회, 73 p.
- 전제진, 1993, 핵 그리고 안면도 항쟁 : 안면도 주민 반핵운동 백서, 충남저널 출판사업부, 230 p.
- Ardo, J, 1992, Volume quantification of coniferous forest compartments using spectral radiance recorded by Landsat Thematic Mapper, *Int. J. Remote Sensing*, 13 1779-1786.
- Bernstein, R., 1983, Image Geometry and rectification, Chapter 21 in the manual of remote sensing, R.N. Colwell, Ed, American Society of Photogrammetry, 1, 875-881.
- 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*, 22, 256-263.
- Derrien, M. Farki, B., Legeau, H., and Saisouni, A., 1992, Vegetation cover mapping over France using NOAA-II/AVHRR, *Int. J. Remote Sensing*, 13, 1787-1795.
- Eastman, J. R. and Fulk M., 1993, Long sequence time series evaluation using standardized principal components, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 59, 991-996.
- Eklundg, L. R., 1995, Noise estimation in NOAA AVHRR maximum-value composite NDVI images, *Int. J. Remote Sensing*, 16, 2955-2962.
- Gamon, J. A., Field, C. B., Robert, D. A., Usrin, S. L., and Valentini, R., 1993, Functional Patterns in an annual Grassland during an AVIRIS overflight, *Remote Sens. Environ.* 44, 239-253.
- Gamon, J. A., Penueals, J., and Field, C. B., 1992, A waveband Spectral Index that diurnal changes in photosynthetic Efficiency, *Remote Sens. Environ.* 41, 35-44.
- Gemmell, F., 1999, Estimation conifer forest cover with Thematic Mapper data using Reflectance Model Inversion

- and two spectral Indian in a site with variable background characteristics, *Remote Sens. Environ.* 69, 105-121.
- Goten, S. M., 1993, NDVI-crop monitoring and early warning yield assessment of Burkina Faso, *International Journal of Remote Sensing*, 14, 1495-1515.
- Larsson, H., 1993, Regression for Canopy Cover Estimation in Acacia Woodlands using Landsat TM, MSS and SPOT HRV XS data, *International Journal of Remote Sensing*, 14, 2129-2136.
- Lillesand, T. M., and Kiefer, R. W., 1994, *Remote sensing and image interpretation*, third edition, John Wiley & Sons, 610-705 p.
- Macomber, S. A. and Woodcock, C. E., 1994, Mapping and monitoring conifer mortality using Remote Sensing in the Lake Tahoe Basin, *Remote Sens. Environ.*, 50, 255-266.
- Marsh, S. E., Walsh, J. L., Lee, C. T., Beck, L. R., and Hutchison, C. F., 1992, Comparison of multi-temporal NOAA-AVHRR and SPOT-XS satellite data for mapping land-cover dynamics in the West African Sahel, *International Journal of Remote Sensing*, 13, 2997-3016.
- Rouse, J. W., Hass, R. H., Schell, J. A. and Deering, D. W., 1973, Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS, *Proceeding, 3rd ERTS symposium*, 1, 48-62.
- Stoms, S.M and Estes, J. E, 1993, A Remote Sensing research agenda for mapping and monitoring bio-diversity, *Int. J. Remote sensing*, 14, 1839-1860
- 林省三, 1993, 安眠島, 帝國地方行政學院 朝鮮本部 發行, 175 p. 日本語.

2000년 3월 7일 원고 접수

2000년 4월 14일 원고 채택