

인공위성 레이다 영상자료를 이용한 林分구조의 물리적 특성파악*

이 규 성

임업연구원

(1992년 11월 5일 받음 ; 1992년 11월 15일 수리)

Analysis of Forest Stand Structure Using Spaceborne Synthetic Aperture Radar(SAR) Data

Kyu-Sung Lee

Forestry Research Institute

(Received November 5, 1992 ; Accepted November 15, 1992)

Abstract

With recent development in spaceborne imaging radar systems, there are growing interests using satellite synthetic aperture radar(SAR) data in various applications. This study attempted to identify the relationships between several forest stand characteristics and radar backscatter, measured from space altitude at three incidence angles. Shuttle Imaging Radar-B(SIR-B) data were collected over a forested area in northern Florida in October, 1984. By using various sources of reference data(forest type maps, inventory records, aerial photographs, and Landsat Thematic Mapper data), about 400 forest stands of known characteristics were carefully located in the radar data. Relative radar backscatter for the three incidence angles of SIR-B data were compared with known forest stand parameters such as mean tree height, diameter at breast height(DBH), stand density, biomass, and relative amount of understory vegetation. The results show that these stand parameters have statistically significant correlations with the radar backscatter. In addition, the SIR-B radar backscatter from a certain stand parameter turned out differ-

* 본 논문의 주요 결과는 1990년 미국사진측량 및 원격탐사학회 정기총회에서 발표되었습니다(Lee and Hoffer, 1990).

ently at the three different incidence angles. Finally, the types and characteristics of currently available satellite SAR data are discussed.

요 약

최근 지구궤도상 영상레이다 시스템의 발전과 더불어 여러 응용분야에서 레이다 원격탐사자료를 이용하려는 관심이 높아지고 있다. 본 연구는 우주상공에서 얻은 레이다 영상자료로부터 얻은 레이다반사치와 산림의 특성과의 상관관계를 밝히고자 하였다. 미국 플로리다 북부 산림지대의 연구지역을 대상으로 하여 1984년 10월 우주왕복선 비행에서 Shuttle Imaging Radar B(SIR-B) 자료를 얻었다. 여러 종류의 참고자료(임분 조사자료, 林相圖, 항공사진, Landsat Thematic Mapper 자료)를 이용하여 약 400여개의 표본임분을 선정하였다. 각 임분의 물리적 특성(평균수고, 흉고직경, 수간밀도, 생체량, 하층식생량)과 그에 따른 레이다반사치와를 비교하였고 그들간에 통계학적으로 유의성이 있는 상관관계를 볼 수 있었다. 또한, 동일한 임분특성에서도 레이다반사치가 세 개의 走査각도별로 다르게 나타나고 있었다. 끝으로 최근 우리에게 이용가능한 인공위성 레이다영상자료의 종류와 특성 및 전망 등을 살펴보았다.

1. 서 론

지난 20여년 동안 다중파장주사기(multispectral scanner)를 중심으로 光學的 센서들을 이용한 지구궤도상의 인공위성 원격탐사 기법은 산림의 자원조사 및 자연자원의 여러 경영분야에 널리 응용되어 왔다. 산림을 대상으로 이러한 광학적 원격탐사자료들은 산림植生분류(Fox et al., 1983; Hopkins et al., 1988)와 산림의 여러 가지 피해를 탐지하는 데 주로 이용되어 왔다(Dottavio and Williams, 1983; Mukai et al., 1987). 그러나 광학적 센서들이 산림에서 탐지하는 신호는 대개 나무의 상층부 앞에서 얻어지므로, 그 정보의 범위는 樹冠층과 관련하여 한정된다. 그간 광학적 원격탐사를 이용하여 보다 세부적이고 실용적 정보인 임분의 물리적 특성(樹高, 수간직경, 임분재적 등)을 파악하고자 하는 시도가 계속 추진되어 왔으나 그 성공여부는 아직 불투명한 실정이다(Spanner et al., 1984; Peterson et al., 1986; Oza et al., 1989).

근년에 들어 레이다 영상자료는 광학적 영상자료의 단점을 補完해 줄 수 있는 또 다른 형태의 원격탐사자료로서 그 가치가 새롭게 인식되고 있다. 레이다 센서는 기존의 광학적 센서들과는 달리, 능동적으로 영상자료 획득에 필요한 에너지를 발생함으로써 구름층을 투과하는 능력과 야간에도 자료를 획득할 수 있다는 장점을 가지고 있어 비교적 오래 전부터 연구되어 왔으나, 센서 구조의 복잡성과 자료 분석의 어려움 등으로 그 동안 실질적인 응용에는 많은

제한이 있어 왔다. 지구궤도상의 영상레이다 원격탐사는 1978년 SEASAT에서 시작하여 1981년 Shuttle Imaging Radar-A(SIR-A)와 1984년 SIR-B 등의 연구 단계를 거치면서 급속한 기술적 진전을 보이고 있다. 이러한 기술 축적을 바탕으로 근년에 들어 영상레이다센서를 탑재한 보다 실질적인 목적의 원격탐사위성들이 여러 나라에 의해 발사되어 운영 중이다.

레이다 원격탐사는 그 자료획득의 장점 외에도 레이다센서의 구조적 특이성으로 기존의 광학적 센서에서 얻는 자료와는 상이한 정보의 추출이 가능하다. 레이다 원격탐사는 안테나에서 지구표면에 전파를 발생하여 반사되어 오는 각 지점의 신호를 기록함으로써 영상자료를 기록하는 능動的 시스템이다. 안테나에서 방사되는 레이다파가 林分의 수관층을 어느 정도 투과할 수 있다는 능력을 보임으로써, 산림에서 반사되어 오는 신호에는 수관층을 투과한 레이다파가 樹幹, 가지, 그리고 표피층과의 상호접촉에 따른 임분의 구조적 특성에 관한 정보가 포함될 여지가 많다. 다각적인 방법으로 임분의 레이다반사파를 측정할 실험 결과에서 임분의 물리적 특성을 나타내는 여러 가지 인자들과 높은 상관관계를 보여주고 있다(Kasischke and Larson, 1986; Wu and Sadar, 1987).

이 논문의 목적은 지구궤도상에서 얻은 영상레이다 자료를 이용하여 임분구조의 물리적 특성을 파악할 수 있는 여러 인자들을 비교분석하여 레이다 반사파와의 관계를 규명하는 데 있다. 또한, 이 연구를 토대로 현재 우리에게 이용 가능한 새로운 인공위성 레이다영상자료들의 특성과 응용범위를 파악하고, 그 응용에 선결되어야 할 여러 가지 문제점들을 살펴보고자 한다.

2. 연구지역 및 영상자료의 특성

연구지역은 미국 플로리다 북부지역에 위치한 약 2,000평방 킬로미터의 남부소나무림 지역을 포함하고 있다. 이 남부소나무림은 펄프생산을 주 목적으로하여 약 30년을 벌채주기로 집약적으로 경영되어 온 산림지역이다. 이러한 소나무림은 대규모 林産회사들과 국유림 관리소에 의해 소유·경영되고 있기에 각 임분에 관한 자원조사자료들이 상세하게 기록되어 있는 편이다. 인공적으로 조성된 소나무림 외에도 천연침활엽수와 아열대수종들로 구성된 늪지대 숲이 산발적으로 분포되어 있다.

이 지역의 레이다영상자료는 1984년 우주왕복선 챌린저號 비행에서 수행되었던 Shuttle Imaging Radar B(SIR-B) 실험의 일환으로 얻어졌다. SIR-B 영상자료는 10월 9일부터 11일까지 하루에 한 번씩 走査각도(incidence angle)를 달리하여 세 번 획득되었다. 그림 1은 연구지역 내 일부분 지역의 SIR-B 영상을 각 주사각도별로 보여주고 있다. 세계 각국의 여러 응용분야에서 참여한 SIR-B 실험지역 중 이 지역은 특히 산림식생에 관한 연구지역으로 선정되었다. 이 지역의 지형은 굴곡이 거의 없는 평지인데, 이는 레이다영상자료에서 지형적



(a)



(b)



(c)

Fig. 1. Three incidence angles of the SIR-B imagery covering a portion of forested area in Northern Florida : (a) 28 degree incidence angle, (b) 45 degree incidence angle, and (c) 58 degree incidence angle.

영향을 최소화함으로써 산림식생 및 임분구조에 관한 분석 및 정보추출에 중점을 두기 위함이었다.

표 1은 이 지역에서 얻어진 SIR-B 레이다 영상자료의 특성을 나열하고 있다. 그리고 참고 자료로서는 거의 같은 시기에 얻어진 적외선 항공사진, Landsat Thematic Mapper(TM) 자료와 각 林産회사 및 국유림 관리소에서 얻어진 林相圖와 자원조사자료들이 있다.

Table 1. Characteristics of SIR-B data used

Data Acquisition			
Date	Oct. 9, 1984	Oct. 10, 1984	Oct. 11, 1984
Time(EDT)	05:34 AM	05:17 AM	05:00 AM
System			
Incidence angle	58.4°	45.3°	28.4°
Frequency	1.282 GHz	1.282 GHz	1.282 GHz
Wavelength	23.4 cm(L-band)	23.4 cm	23.4 cm
Polarization	HH	HH	HH
Orbit altitude	229.45 km	230.12 km	225.67 km
Image			
Scene ID	AK-64.2	AK-80.2	AK-96.2
Number of looks	4	4	4
Swath width	40 km	40 km	40 km
Center resolution	16.5 × 31.5m ²	19.8 × 34.1m ²	29.6 × 25.5m ²
Pixel resolution	28.5 × 28.5m ²	28.5 × 28.5m ²	28.5 × 28.5m ²
Grey level	8bit	8bit	8bit

3. 연구방법

접근방법은 크게 영상 前처리과정으로 반점(speckle) 제거, 현지에서 수집된 산림자원조사 자료의 정리, 표본임분의 선정, 선정된 임분의 레이다 반사신호 정량화, 레이다 반사신호와 임분인자들과의 상관관계 분석 등으로 나눌 수 있다.

3-1. 반점(speckle noise) 감소

레이다 영상자료의 공통적 특징이고 또한 자료분석 및 판독시 장애가 되는 반점을 감소하기 위하여 여과처리(spatial filtering)를 실시하였다. 이미 발표된 여러 가지 다른 filtering 방법을 비교한 결과 1983년 Lee에 의해 발표된 Sigma filter가 반점제거에 가장 효과적인 것으로 판정되어, 이를 채택하여 연구지역의 SIR-B 자료를 처리하였다(Lee and Hoffer, 1989).

3-2. 표본임분선정

이 지역 산림소유는 크게 세 개의 회사와 하나의 국유림으로 나눌 수 있는데, 각 소유주별로 경영목적과 산림자원 조사방법이 상이하기 때문에 그들이 가지고 있는 임분에 관한 자료들 또한 공통적으로 적용할 수 없었다. 따라서 레이다 반사특성을 비교하기 위한 표본임분의 선정은 개개의 산림소유주별로 구분하여 실시되었다. 최종적으로 林木들의 외형적 특성 파악을 위한 표본임분은 1년에서 30년의 林齡을 가진 소나무 단순림을 대상으로 343개의 임분이 선정되었다. 선정된 각 임분별로 平均樹高, 胸高直徑, 密度, 그리고 地上生體量(above ground biomass) 등의 인자들이 레이다반사치와의 비교를 위해 산출되었다. 또한, 林木하층부 지표면의 식생(관목 및 초본류의 상대적 피복도)과의 비교를 위해 71개의 표본임분이 선정되었다. 선정된 71개의 임분에서 지표면에 분포되어 있는 관목 및 초본류의 평균높이와 피복도를 고려하여 하층부식생(understory vegetation)의 상대적 생체량을 4등급으로 분류하였다.

3-3. 레이다 반사신호의 정량화

모니터에 출력된 SIR-B 영상에서 각 표본임분의 위치를 정확히 찾아내는 데에는 어려움이 있기 때문에 SIR-B 자료와 함께 지리적으로 보정된 Landsat TM 자료를 이용하였고, 보다 정확한 위치를 파악하기 위하여 적외선 항공사진과 林相圖를 併用하였다. 각 표본임분의 경계선 안에 위치한 평균 畫素值(pixel DN value)는 여러 임분구성인자들과 비교를 위하여 상대적 레이다반사치로 전환되었다. 이상적인 접근방법으로는 각 畫素值가 절대적 레이다반사치(radar backscattering coefficient)로 전환되어야 하나, SIR-B 영상자료 획득시 레이다 전원 장치의 기계적 문제점 등으로 보정에 필요한 자료들이 결여되었기에 차선택으로 상대적 레이다반사치를 이용하게 되었다.

상대적 레이다반사치는 각 화소치를 기준 화소치로 나누는 아래와 같은 방법으로 구했다.

$$\text{Relative SIR-B Backscatter} = \text{DN}/\text{DNref} \dots\dots\dots(1)$$

SIR-B 영상에서 각 화소치는 지상에서 반사되어 오는 레이다신호의 절대치와 선형관계를 가지고 있기 때문에, 표적 A의 DN값과 기준표적의 DN값과의 비는 표적 A의 절대적 레이다 반사치와 기준표적의 절대적 레이다반사치의 비와 같다고 할 수 있다(Cimino et al., 1986). 이 연구에서 기준표적으로는 지역 내 변화가 적고, 따라서 레이다반사치가 지역 내에서 비교적 균일한 草地를 선택하여 이용했다.

3-4. 임분인자와 레이더반사치의 관계분석

평균수고, 흉고직경, 수간밀도, 생체량 등 수치로 표현된 임분자인들은 相關係數(correlation coefficient)를 이용하여 상대적 레이더반사치와의 관계를 분석하였다. 지표면의 하층부 생체량은 각 등급별로 나타나는 레이더반사치의 평균 반응을 산출하여 그 관계를 관찰하였다. 또한, 레이더파의 走査각도에 따라 임분에서의 반사파가 어떻게 작용하는가를 관찰하고 각 走査각도별로 분석하였다.

4. 결과 및 고찰

4-1. 林木의 물리적 인자와의 관계

343개의 표본임분에서 얻어진 임목의 물리적 인자(수고, 흉고직경, 수간밀도, 생체량)들과 그에 따른 레이더반사치와의 상관관계 분석 결과는 표 2와 같이 나타났다.

Table 2. Correlation coefficients between stand parameters and relative SIR-B backscatter(all r values are statistically significant at the $\alpha = 0.01$)

	Height	DBH	Trees/acre	Biomass
28° SIR-B	0.692	0.643	-0.508	0.594
45° SIR-B	0.733	0.673	-0.554	0.618
58° SIR-B	0.689	0.625	-0.571	0.540

세 개의 다른 주사각도에서 SIR-B 레이더반사치는 수고, 흉고직경, 생체량과 비례하여 높아지는 관계를 나타내었고 상관계수는 $r = 0.54$ 에서 $r = 0.73$ 의 분포를 보이고 있다. 즉, 일정임분에서 나무가 크고 전체적인 임분재적이 높아지면 그에 따라 레이더반사치도 높아짐을 알 수 있다. 상관계수 크기에 큰 차이는 없으나, 전반적으로 樹高가 다른 인자들에 비하여 다소 높은 상관관계를 보여주고 있다. 수간밀도(단위면적당 나무의 본수)와 비교했을 때 레이더반사치는 반비례해서 높아지고 있다($r = -0.51$ 에서 $r = -0.57$). 그러나 앞에서 언급되었듯이 표본임분들은 밀식된 소나무 단순림이기에 처음 식재된 묘목들이 자라면서 경쟁에 의해 그 본수가 줄어들기 때문에 나무가 크고 임분재적이 증가할수록 레이더반사파가 높게 나오는 전반적인 결과와 부합된다고 할 수 있다.

走査각도별 임분의 레이더반사치 차이를 보면 주로 天頂과 지상의 중간각도인 45°에서 가장 높은 상관관계를 볼 수 있다. 주사각도는 레이더파의 수관층 투과정도와 임목과 지표층 사

이의 접촉정도에 관계가 있기 때문에 어느 주사각도에서 어느 임분특성을 가장 잘 관찰할 수 있는가 하는 문제는 충분히 고려되어야 한다.

상관계수는 단지 두 개의 변수 사이의 1차적인 선형관계를 나타내는 척도이다. 임분인자와 레이다반사치와의 보다 정확한 상관관계를 관찰하기 위하여 그림 2와 같이 도표를 이용하였다.

그림 2에서 보는 것과 같이 임목인자들과 45° 주사각도에서 얻은 레이다반사치와의 관계는 일차적 선형관계보다는 로그-선형에 가깝다. 여기서 개개의 임목인자들을 로그변수로 변환시킨다면 표 2에서 얻었던 상관계수치가 보다 높게 나타날 수 있다. 그림 2는 또한 선형관계가 임목의 크기가 비교적 작을 때 높게 나타나고 나무가 자라면서 커지게 되면 선형관계가 낮아짐을 보여준다.

위의 분석에서는 이 연구에서 사용된 L-band HH-polarization의 레이다반사파가 임목의 외형적 특성과 관계가 있음을 명확히 보여주고 있다. 결국 레이다영상자료가 임목의 특성을 나타낼 수 있는 기본원리는 주사된 레이다파가 어느 정도 수관층을 투과하고 임목과의 접촉상태를 얼마만큼 잘 기록할 수 있는 데 달려 있다. 비록 23cm의 長波인 L-band 레이다가 수관층 투과에 효과적이지만, 수관이 밀집된 특히 활엽수림에서는 수관층에서 많은 양의 레이다파가 차단되리라 생각된다. 따라서 파장을 달리하여 L-band보다 파장이 긴 P-band(30~100 cm)와 파장이 짧은 다른 band 등을 함께 사용한다면 전체적인 임분특성 파악에 보다 효과적이라 생각된다.

4-2. 하층 식생과의 관계

수관층을 통과한 레이다파의 지표면과 임목간의 반사접촉작용을 고려하여, 지표면에 분포한 하층부식생의 양에 따른 레이다반사치의 변화를 살펴보았다. 임분 내 하층부 식생의 밀도 및 피복도에 따라 상대적인 생체량을 1등급은 최소치로, 그리고 4등급은 최대치로 하여 각 주사각도별 SIR-B 레이다반사치와 비교하였다(그림 3).

하층식생 1등급과 2등급에서는 차이가 없으나, 일반적으로 레이다 반사치는 하층식생의 양이 많은 3등급 4등급으로 갈수록 감소하는 현상을 보인다. 하층식생의 양이 많을수록 레이다 반사치가 감소하는 경향은 天頂에 가까운 주사각도일수록 잘 나타난다. 수직에 가까운 주사각도에서는 그 차이가 잘 나타나는 반면 천정에서 떨어진 완만한 58° 주사각도에서는 하층식생등급별 차이가 거의 나타나지 않고 있다.

임분 내에서는 레이다파의 접촉작용 중 지표면과 수간간의 상호반사가 레이다반사치의 주요부분을 차지한다는 이론(Ulaby et al., 1990; Sun and Simonett, 1988)에서 볼 때, 그림 3에서 보는 현상은 그 이론에 부합된다고 할 수 있다. 즉, 지표면 식생이 밀집되어있고 그 층이 두꺼울 경우 상당량의 레이다파가 지표식생층에서 소멸되고 따라서 그만큼 반사량이 감소됨을 추정할 수 있다.

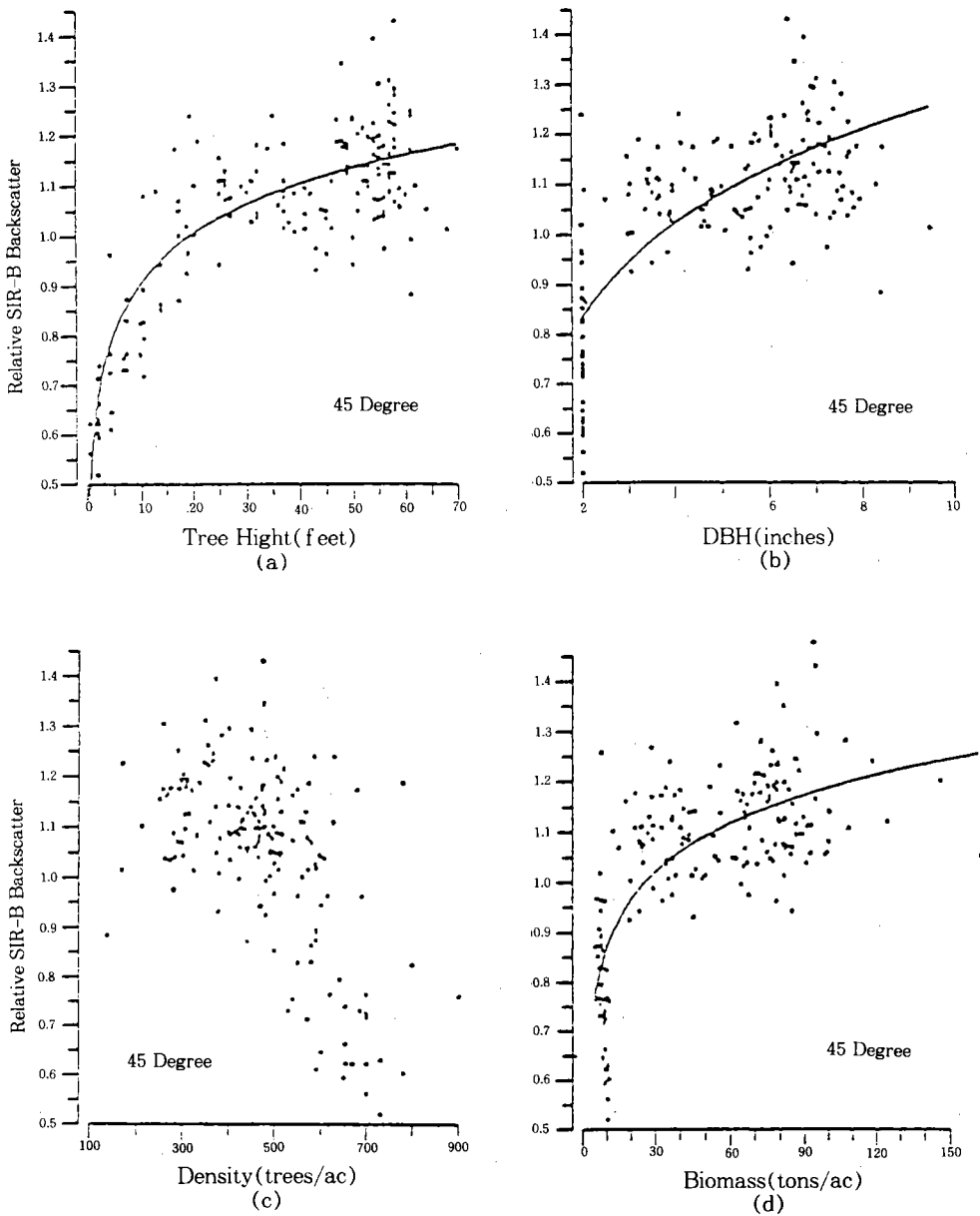


Fig. 2. The relationship between forest stand parameters and the 45° incidence angles of SIR-B backscatter, (a) mean tree height, (b) diameter at breast height, (c) stand density, and (d) total above ground forest biomass.

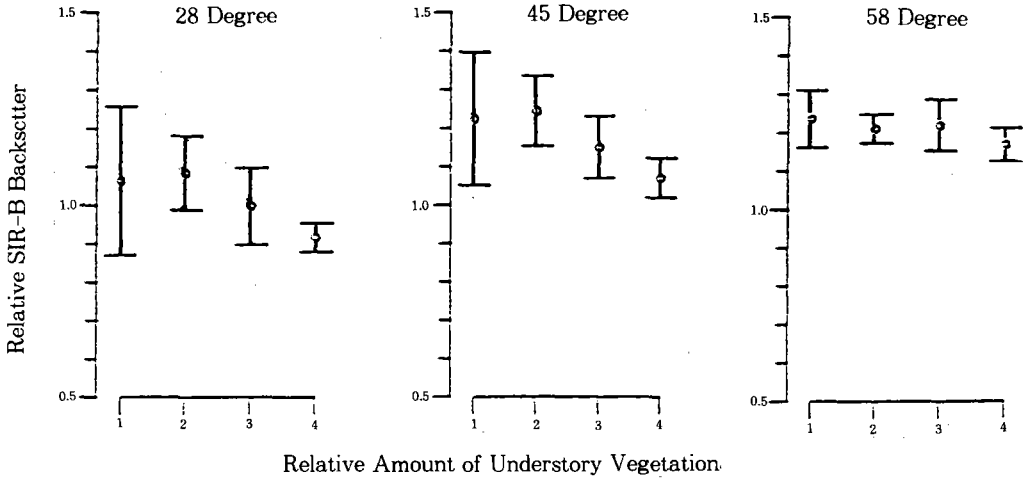


Fig. 3. Mean relative backscatter ± 1 standard deviation for the three incidence angles of SIR-B data for each of the understory vegetation classes(class 1 indicates relatively little understory vegetation, whereas class 4 indicates a very dense understory vegetation canopy).

4-3. 문제점 및 전망

본 연구는 그간 지구궤도상에서 얻은 몇 안되는 레이다 영상자료를 이용하여 임분의 물리적 특성을 파악하고자 했던 초기의 시도 중 하나였다. 영상자료에서 얻은 레이다 반사치와 임목의 특성인자들과의 단순한 상관관계를 분석하는 데 그쳤으나, 얻어진 결과는 산림의 특성을 이해하는 시작단계로서 중요한 의미를 부여할 수 있다. 그러나 연구지역의 지형적 단조로움과 樹種 및 齡級분포에서 소나무 단순림이라는 특성을 고려한다면, 지형적으로 굴곡이 심하고 수종과 수령의 분포가 복잡산 천연림 지역에서 동일한 결과를 얻을지는 미지수이다. 특히 한반도와 같이 지형의 변화가 심한 지역에서는 레이다 반사파가 지표면의 경사 및 방위에 따라 많은 영향을 받게 되기 때문에, 레이다 영상자료를 이용하여 임분의 특성을 파악하고자 한다면 그에 앞서 레이다 반사파에 내포된 지형적 영향을 먼저 제거하는 전처리가 우선되어야 한다.

광범위한 지역을 대상으로 한 식물生體量(biomass)의 측정은 원격탐사기법이 개발된 이래 꾸준히 추구되어 온 중요한 관심분야 중 하나였다. 식물생체량 추정은 임목材積을 추구하는 임업분야의 실질적 목적과 함께, 자연생태계에서 식물의 총생산량을 파악하고 그에 따르는

생태계 전반적인 구조와 기능을 이해하는 주요한 도구로서 인식되고있다. 산림이 지구표면의 육지 중 상당부분을 차지하는 현실을 감안하면, 산림에서 임목의 총생산량 추정은 지구 전체의 환경과 생태문제를 파악하는 측면에서 그 중요성이 날로 증가하고 있는 형편이다. 레이다 영상자료를 이용한 임분의 특성과악은 이제 그 상관관계를 파악하는 단계와 함께, 직접 레이다 영상자료로부터 임목생체량을 추정할 수 있는 모델링 작업이 활발하게 진행되고 있다. 그리고 레이다 영상자료와 함께 종래의 광학적 영상자료를 병행하여 사용함으로써 추정의 정도를 높이는 방법 또한 개발되어야 할 것이다.

5. 새로운 인공위성 SAR 자료의 특성과 전망

본 연구에서 사용된 SIR-B 자료를 비롯하여 그간의 SEASAT과 SIR-A 등은 단기간에 지구표면의 부분지역만을 대상으로 한 실험적 단계였으나, 최근 들어 세계 여러 나라에서 運用 목적의 영상레이다 위성을 발사하여 이미 자료를 공급하고 있거나 계획 중이다. 이미 지난 1991년 3월 러시아의 ALMAZ-1, 1991년 7월 유럽 우주국의 ERS-1을 비롯하여, 1992년 2월 일본의 JERS-1 위성이 발사되어 레이다 영상자료를 공급하고 있다. 또한, 1995년 캐나다의 Radarsat과 1998년 미국의 EOS 등 자원탐사 및 환경조사를 위한 지구궤도상의 레이다원격탐사의 이용이 급속히 확대될 것으로 전망된다. 현재 運用 中이거나 곧 발사에정인 영상레이다 인공위성 및 SAR 자료의 종류와 특성을 표 3에 나타내었다.

Table 3. Characteristics of satellite SAR systems that are currently operating(except for Radarsat)

	ERS-1	ALMAZ	JERS-1	Radarsat
Launch	July 17, 1991	March 31, 1991	Feb. 11, 1992	1995
Altitude	785 km	300 km	568 km	793~892 km
Orbit Period	100 min	90 min	96 min	101 min
Orbits/days	14	16	14	14
Wavelength	C-band/5.6 cm	S-band/9.6 cm	L-band/23.5 cm	C-band/5.6 cm
Incidence angle	23°	38~58°	35°	23~55°
Polarization	VV	HH	—	HH
Resolution	12~20 m	15~30 m	18~24 m	10~100 m
Swath width	100 km	40~320 km	75 km	50~500 km

이제 우리에게 이용가능한 레이다 원격탐사자료는 위와 같이 증가하고 있고 그 응용범위 또한 산림에서 뿐 아니라 해양, 지질, 농업 등 여러 분야로 확대될 수 있다. 특히 年中 평균 맑은 날 수(雲量이 25% 혹은 그 이하)가 고작 90여일 정도에 머물고 있는 한반도의 기상조

건을 고려할 때, 그 자료획득의 신속성으로 더욱 많은 관심을 가지고 연구되어야 할 자료가 아닌가 한다. 효과적인 정보 추출을 위한 레이다 영상자료의 이용에는 레이다 영상자료 특성을 감안한 고유의 분석기법에 관한 연구와 그에 따른 활용기술의 축적이 시급한 실정이다.

6. 결 론

표본입분의 물리적 특성인자들과 그에 따른 L-band SIR-B 영상자료의 레이다 반사치와의 관계를 분석한 결과 다음과 같은 결론을 도출할 수 있다. 첫째로, 입분내에서 임목의 크기와 전체 입분재적에 비례하여 레이다반사치가 높아짐을 알 수 있었다. 즉 평균수고, 수간직경, 입분생체량 등이 높아 질수록 레이다반사치가 높아졌다. 둘째로, 입분 내 지표층의 관목류나 초본류의 층이 두껍고 피복도가 높으면 레이다 반사치는 감소하는 경향을 보였다. 셋째로, 세 개의 레이다 走査각도별 차이를 보면 임목의 외형적 특성을 나타내는 인자들과의 상관관계는 45°에서 가장 높게 나타났고, 하층부식생량별 레이다반사치의 차이는 천정에 가까운 28°에서 잘 볼 수 있었다.

지난 10여년간 실험적인 단계에서 얻어졌던 지구궤도상 레이다영상자료는 근년에 들어 실질적인 운용목적의 레이다센서를 탑재한 지구자원탐사위성들이 발사됨으로써 그 이용의 폭이 확대될 전망이다. 레이다 영상자료에서의 효과적인 정보추출을 위한 분석기법과 응용기술에 관한 연구와 개발이 선결되어야 할 과제이다.

참고문헌

- Cimono, J. B., A. Brandani, D. Casey, J. Rabassa, and S. D. Wall, 1986. Multiple incidence angle SIR-B experiment over Argentina : Mapping forest units. *IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing*, GE-24(4) : 445~452.
- Dottavio, C. L. and D. L. Williams, 1983. Satellite technology : An improved means monitoring forest insect defoliation. *Journal of Forestry*, 81(1) : 30~34.
- Fox III, L., K. E. Mayer, and A. R. Forbes, 1983. Classification of forest resources with Landsat data. *Journal of Forestry*, 81(5) : 283~287.
- Hopkins, P. F., A. L. Maclean, and T. M. Lillesand, 1988. Assessment of Thematic Mapper imagery for forestry applications under Lake States conditions. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 54(1) : 61~68.
- Kasischke, E. S. and R. W. Larson, 1986. Calibrated X- and L-band scattering coefficients from

- a southern U. S. forest. *Proc. of IGARSS '86, IEEE*, pp. 895~900.
- Lee, K. S. and R. M. Hoffer, 1989. Speckle noise filtering of satellite radar data. *Proc. of '89 Image Processing Conference, ASPRS*, pp. 213~222.
- Lee, K. S. and R. M. Hoffer, 1990. Shuttle Imaging Radar B(SIR-B) backscatter relationships with forest stand characteristics. *1990 ASPRS Annual Convention Tech. Pap., ASPRS*, Vol. 4, 270~282 pp.
- Lee, J. S., 1983. Digital image smoothing and the sigma filter. *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*, 24 : 255~269.
- Mukai, Y., T. Sugimura, H. Watanabe, and K. Wakamori, 1987. Extraction of areas infested by pine bark beetle using Landsat MSS data. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 53(1) : 77~81.
- Oza, M. P., V. K. Srivastava, B. S. Pariswad, and K. R. V. Setty, 1989. Relationship between Landsat MSS data and forest tree parameters. *International Journal of Remote Sensing*, 10 (11) : 1813~1819.
- Peterson, D. L., W. E. Westman, N. J. Stephenson, V. G. Ambrosia, J. A. Brass, and M. A. Spanner, 1986. Analysis of forest structure using Thematic Mapper Simulator data. *IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing*, GE-24(1) : 113~121.
- Spanner, M. A., J. A. Brass, and D. L. Peterson, 1984. Feature selection and the information content of Thematic Mapper Simulator data for forest structural assessment. *IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing*, GE-22(6) : 482~489.
- Sun, Q. and D. S. Simonett, 1988. A composite L-band HH radar backscattering model for coniferous forest stands. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 54(8) : 1195~1201.
- Ulaby, F. T., K. Sarabandi, K. McDonald, M. Whitt and M. C. Dodon, 1990. Michigan microwave canopy scattering model. *International Journal of Remote Sensing*, 11(7) : 1223~1254.
- Wu, S. T. and S. A. Sadar, 1987. Multipolarization SAR data for surface feature delineation and forest vegetation characterization, *IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing*, GE-25(1) : 67~76.