

인공위성 레이더(SAR) 영상자료에 있어서 지형효과 저감을 위한 방사보정

이 규 성

인하대학교 지리정보공학과

Topographic Normalization of Satellite Synthetic Aperture Radar (SAR) Imagery

Kyu-Sung Lee

Department of Geoinformatic Engineering, Inha University

Abstract

This paper is related to the correction of radiometric distortions induced by topographic relief. RADARSAT SAR image data were obtained over the mountainous area near the southern part of Seoul. Initially, the SAR data was geometrically corrected and registered to plane rectangular coordinates so that each pixel of the SAR image has known topographic parameters. The topographic parameters (slope and aspect) at each pixel position were calculated from the digital elevation model (DEM) data having a comparable spatial resolution with the SAR data. Local incidence angle between the incoming microwave and the surface normal to terrain slope was selected as a primary geometric factor to analyze and to correct the radiometric distortions. Using digital maps of forest stands, several fields of rather homogeneous forest stands were delineated over the SAR image. Once the effects of local incidence angle on the radar backscatter were defined, the radiometric correction was performed by an empirical function that was derived from the relationship between the geometric parameters and mean radar backscatter. The correction effects were examined by ground truth data.

Keywords : SAR, terrain/topographic effects, radiometric correction, radar backscatter.

요 약

본 연구는 산악 지형의 레이더(SAR) 영상자료에서 흔히 볼 수 있는 지형의 기복에 의한 畫素값의 왜곡 보정과 관련된 것이다. 연구 자료로는 RADARSAT 위성에서 얻어진 서울 남쪽 관악산과 안양 지역의 SAR 영상자료를 이용하였고, 영상자료의 보정을 위하여 SAR 영상과 유사한 해상력을 갖춘 數值高度資料(digital elevation model)를 제작하였다. 레이더 영상자료는 먼저 각 화소가 가지고 있는 기하학적 왜곡을 보정하여 정확한 지도좌표에 등록함으로써, 수치고도자료로부터 각 화소 지점의 구체적인 지형적 특성에 관한 자료를 산출하였다. 영상의 각 화소값에 미치는 지형적 영향을 분석하기 위한 기하학적 인자로서 각 지점에 入射되는 레이더파와 경사면의 연직선이 이루는 有效入射角(local incidence angle)을 산출하였다. 수치지도로 제작된 林相圖를 이용하여 동일한 林分특성을 가지고 있는 산림내에서 얻어지는 레이더 반사치와 유효입사각의 관계를 분석하였다. 영상자료의 지형효과 보정은 실험적인 방법에 의하여 수행되었는데, 유효입사각과 레이더 반사치와의 관계에서 도출된 지형에 의한 영향을 나타내는 수식을 적용하였다. 보정 결과는 육안에 의한 영상의 비교와 함께 현지자료를 이용하여 검증하였다.

I. 서 론

태양을 에너지원으로 하는 기존의 光學的영상자료와 달리 레이더(Synthetic Aperture Radar - SAR) 영상은 영상획득에 필요한 에너지를 센서에서 직접 지표면에 발사하여 반사되어 오는 신호를 기록한 능동적 시스템에 의한 자료이다. 레이더 센서는 광학적 센서와는 상이한 과정을 통하여 영상자료를 획득하기 때문에 Landsat이나 SPOT 등에서 얻어지는 영상자료와는 특성이 다른 정보를 포함하고 있고, 능동적 시스템으로서 구름이 덮여 있는 경우나 야간에도 영상자료를 획득할 수 있다. SAR 영상자료가 가지고 있는 이러한 이점 때문에 그 동안 실험단계에 머물고 있던 우주 궤도에서의 레이더 원격탐사는 최근 지구자원탐사, 환경관리, 지도제작 등 실질적인 활용을 목적으로 한 인공위성들이 발사됨으로써 이제 본격적인 SAR 영상자료의 이용이 전개되고 있다.

SAR 영상자료를 통한 지구 표면에 관한 정보의 추출은 레이더파가 지표물과 접촉하는 특성에 따라 작용되는 반사신호를 분석함으로써, 다양한 분야에서의 활용 기술이 연구되고 있다. 특히 영상 레이더센서는 항공사진이나 광학적 위성자료와는 달리 지구 표면의 연직선 상에서 관측하지 않고 측면에서 레이더파 투사하여 반사되는 신호를 기록하게 되는 斜面觀測(side-looking)이기 때문에 지형의 굴곡을 보다 뚜렷하게 보여준다. 즉 영상에서 기록되는 각각의 畫素(pixel)값은 그 지점에 투영되는 레이더파의 방향에 따른 경사면의 굴곡에 따라 크게 좌우되

고 따라서 지형적 특성을 잘 나타낼 수 있기 때문에, SAR 영상은 지형분석, 지질구조해석, 3차원 수치지형자료 추출, 波浪 및 水河관측 등에 효과적으로 사용되고 있다 (한국해양연구소, 1994; Bruckstein, 1988; Moon et al., 1994; Desilets et al., 1996; Leberl, 1990).

레이더 영상자료를 지형분석 및 지형정보획득과 연관된 목적이 아닌, 지표물 자체에 관한 정보를 추출하는데 사용할 경우 지형의 굴곡에 따라 발생하는 화소값의 변이는 지표물의 정확한 특성을 파악하는데 장애가 될 수 있다. 가령, 레이더 영상자료를 통하여 기록이 심한 산악지형의 산림을 분류하고자 할 경우, 산림내 立木에 의하여 반사되는 직접적인 신호에 추가하여 그 지점에서의 지형 효과에 의하여 발생하는 영향 때문에 직접적인 분석 대상인 산림에 관한 정보를 해석하는데에는 많은 제한을 받게 된다. 산악지형에서 레이더 영상자료를 이용하여 지표층에 관한 정확한 특성을 해석하기 위해서는, 우선 레이더영상에 포함된 지형에 의한 효과를 최소화하여 각각의 화소값이 가급적 지표층의 목표물에서 반사된 신호만을 대표할 수 있도록 처리되어야 한다. 한반도의 지형적, 기후적 여건을 고려한다면 레이더 원격탐사자료의 활용을 위한 보정 기법의 개발은 정확한 관측과 분석을 뒷받침할 수 있는 중요한 요소라 할 수 있다.

SAR 영상에서 지형효과에 대한 방사보정은 대개 數值高度資料(Digital Elevation Model-DEM)를 이용하여 실시된다. 영상자료의 각 화소점에 해당하는 지형 인자를 DEM으로부터 산출한 뒤 그 지점에 入射되는 레이더파와의 기하학적 관계를 이용하는 cosine보정 방법이 보편적으로 사용되고 있다 (Teillet et al., 1985; Freeman et al., 1992). 이러한 방법 이외에도 레이더 센서의 기본적인 위치인자(궤도높이, 입사각, 위성의 위치 등)를 이용하여 DEM 자료로부터 레이더 반사의 지형적 효과를 나타내는 모의레이더(simulated SAR)영상자료를 제작한 후 원래 영상과 모의레이더영상의 차이점을 분석하여 보정해주는 방법이 있다 (Domik et al., 1988). 이러한 지형효과 보정에 관한 연구는 대부분 보정 과정에 많은 비중을 두어 진행된 반면에 보정 결과에 대한 객관적이고 정량적인 비교 검토가 다소 결여되어 있다.

본 연구의 목적은 인공위성 레이더 영상자료에서 화소값의 변이에 큰 영향을 미치는 지형효과를 분석하고, 이러한 지형효과에 대한 방사보정(radiometric correction) 기법을 제시함으로써 지표물의 특성을 보다 정확하게 분석하기 기반을 마련하기 위함이다. 年中 상당 기간이 구름에 덮여 있고 따라서 항공사진이나 광학적 영상자료의 획득에 어려움이 많은 한반도의 기후 특성을 감안한다면 레이더 영상자료의 활용은 날로 증가될 전망이다. 레이더 영상자료를 이용하여 토지피복분류 및 지표물의 정량적 해석 등과 같은 활용 분야에 있어서, 지형의 기록에 따라 발생하는 영향을 최소화하는 보정처리가 선행되어야 한다. 평야지대의 비율이 상대적으로 적은 한반도의 지형적 특성에 따라 레이더 영상자료에서의 지형에 의한 영향을 최소화할 수 있는 보정기법의 제시는 자료획득 및 정보특성에 있어서 새로운 형태의 원격탐사자료인 SAR 영상의 활용 범위를 넓힐 수 있을 것이다.

II. 연구 방법

1. 연구지역 및 자료

연구 지역의 선정은 現地 검증 및 자료획득의 용이성을 고려하여, 산악지형을 포함하고 있는 서울 남쪽의 관악산, 삼성산과 경기도 안양시와 광명시에 걸쳐있는 산림지역을 주 대상으로 하였다(그림 1). 이 지역의 산림은 대도시 주변에 위치하여 주로 도시인들을 위한 휴양자원으로서 이용되고 있으며, 지난 20여년 동안 산림 훼손 방지를 위한 꾸준한 노력에 의하여 비교적 어린 나무들로 구성된 건강한 林相을 유지하고 있다. 해발 681m의 관악산을 정점으로 하여 주변의 삼성산은 비교적 경사가 급한 산악지형을 보이고 있으며, 광명과 안양의 산림지역은 비교적 경사가 완만한 구릉지의 특성을 보여주고 있다. 본 연구지역은 산림을 비롯하여 도심지, 주거지역, 농경지 등 비교적 다양한 형태의 피복형을 포함하고 있으며, 주요 연구 대상인 산림지역은 활엽수림, 혼효림, 침엽수인공림 등으로 구성되어 있다.

연구에 사용된 영상은 1995년 12월 26일 RADARSAT위성에서 얻어진 C-밴드 SAR 영상자료이다. RADARSAT의 SAR 영상자료는 走査幅(swath width) 및 解像度の 차이에 따라 7개의 다른 형태로 얻어지는데, 본 연구에서 사용된 영상자료는 약 50km의 주사폭과 약 9m의 해상도



Figure 1. Raw image of RADARSAT SAR data over the study area near Seoul.

Table 1. Characteristics of RADARSAT SAR data used for this study.

Data acquisition date	December 26, 1995
Data acquisition time	18:34 in local time (09:34 GMT)
Orbit	Ascending
Orbit altitude	793 ~ 821 km
Wavelength	C-band (5.6 cm wavelength, 5.3GHz)
Polarization	HH
Incidence angle	42.5°
SAR Mode	Fine resolution beams
Number of looks	1
Pixel spacing	6.25 m

를 가지는 高解像度(fine resolution mode)에서 얻어진 자료이다. RADARSAT SAR영상자료는 인공위성에서 수신된 레이더 반사신호를 처리하여 영상자료를 만드는 과정에서 사용자의 용도에 따라 여러 종류의 보정 단계로 구분되는 데, 일체의 보정과정을 거치지 않고 斜面距離(slant range)에 따라 기록된 原資料(raw data)에서부터 모든 기하학적 왜곡을 보정한 뒤 지도좌표에 정확하게 등록된 자료에 이르기까지 다양한 형태로 공급되고 있다. 연구에 사용된 영상자료는 원자료를 인공위성의 궤도 기록을 이용하여 사면거리를 지상거리(ground range)로 변환하여 기록된 자료이며, 이 디지털 영상자료에서 각 畫素값은 16bit의 범위를 가진다. 고해상도의 SAR 영상자료는 원래 하나의 화소가 6.25m의 간격을 갖도록 기록되어있는데, 영상처리를 위한 자료의 양을 줄이고 중첩되어 분석될 수치고도자료(DEM)의 해상도를 고려하여 하나의 화소가 12.5m의 간격을 갖도록 재배열되었다. 표 1은 본 연구에서 사용된 RADARSAT SAR 영상자료의 기본적인 특성을 보여주고 있다.

영상자료 이외에 지형효과와 방사보정과 보정 후의 결과를 검증하기 위한 참고자료로서, 樹種구성, 齡級(age class), 直徑級(stem diameter class), 密度(crown density)에 따라 산림을 분류한 林相圖를 사용하였다. 임상도는 산림청 임업연구원에서 지난 1971년부터 약 10년 주기로 실시하고 있는 전국산림자원조사사업에 의하여 제작되어, 산림자원관리뿐 아니라 자연환경 및 녹지관리, 생태계조사 등 광범위한 분야에 널리 사용되고 있는 자료이다. 임상도의 제작은 1:15,000 축척의 항공사진을 이용하여 대상지역의 산림을 판독하고 현지조사를 통한 검증과 오류 수정 등을 통하여 1:25,000 기본도를 바탕으로 제작하고 있으며, 3차 조사사업 결과로 제작된 임상도는 산림자원정보시스템 구축사업을 위하여 수치지도화 되었다(임업연구원, 1993; 이승호, 1995). 본 연구지역에 해당하는 도엽의 임상도 수치지도를 임업연구원으로부터 획득하여 도면 접합에 따른 오류를 보정한 뒤 SAR 영상자료와 중첩하여 사용하였다.

2. 수치고도자료(DEM) 자료 구축

SAR 영상의 화소값에서 지형에 의한 영향을 보정하기 위해서는 각각의 화소에 해당하는 지점의 지형적 특성(고도, 방위, 경사 등)을 알아야 한다. SAR 영상의 각 화소 면적에 대응하는 수치고도자료(DEM)는 입체시가 가능한 항공사진이나 위성자료를 영상처리하여 직접 구축하는 방법과 기존의 해석식 항공사진측량에 의하여 제작된 지형도를 디지털화하여 제작하는 방법으로 나뉜다. 본 연구에서는 국가지리정보체계사업에 의하여 제작된 국가기본도 수치지도를 이용하여 수치고도자료를 제작하였다. 국가기본도 수치지도자료로부터 등고선 자료를 추출하였고, 등고선 간격이 넓은 지역의 고도 자료를 보충하고자 표고점 자료가 추가로 추출되었다. 도면접합에 따른 오류 등을 수정한 뒤, 등고선 및 표고점 자료를 이용하여 영상자료와 같은 格子形(grid/raster) 방식의 수치고도자료가 제작되었다. 격자형 수치고도자료의 산출은 補間法(interpolation)을 이용하여 제작하게 되는데, 각 격자점에서의 해발고도값은 주변의 등고선 및 표고점 자료에 의하여 알려진 고도값을 이용하여 추정된다. 補間法의 가장 일반적인 알고리즘인 거리반비례평균법(inverse distance weighted averaging)을 이용하여 격자점 j 에서의 고도값 Z_j 의 추정은 다음 식에 의하여 계산되는데,

$$\hat{Z}_j = \frac{\sum_{i=1}^n Z_i d_{ij}^{-2}}{\sum_{i=1}^n d_{ij}^{-2}} \quad \dots \dots \dots (1)$$

여기서 Z_i 는 추정하고자 하는 격자점 j 주변에 분포하는 등고선과 표고점으로부터의 고도값을 말하며, d_{ij} 는 격자점 j 에서 주변의 i 까지의 거리이다. 격자형 DEM자료는 SAR 영상자료와 동일한 해상도를 갖도록 $12.5 \times 12.5 \text{ m}^2$ 면적의 격자로 배열되어 각 지점마다 해발고도값이 부여되었다. 해발고도값 이외에 지형 특성을 나타내는 인자로서는 경사도와 경사면의 방위각 등이 있는데 이러한 인자는 수치고도자료를 처리를 통하여 산출되었다.

3. SAR 영상의 기하학적 보정 및 좌표등록

각 화소값에 포함된 지형에 의한 영향을 최소화하기 위하여 먼저 레이더영상의 각 화소가 대표하는 정확한 지점을 밝히고 그 지점의 지형적 특성을 알아야 한다. 광학적 위성영상자료의 기하학적 보정은 일반적으로 영상과 지도에서 함께 확인될 수 있는 지상기준점(ground control points)을 선정하여 기준점들의 영상좌표와 지도좌표 사이의 좌표변환식을 산출한 뒤, 이 식을 통하여 영상의 각 화소점을 지도좌표에 맞게 재배열함으로써 영상자료가 가지고 있는 기하학적 왜곡을 보정하는 동시에 지도좌표에 등록한다. SAR 영상에서 나타나는 기하학적 왜곡은 斜面觀測(side-looking)에 의하여 레이더파의 입사각도와 지표면의 경사도 및 방위각에 따라 발생하는 foreshortening, layover, shadow 등의 왜곡 현상이 발생하는데, 이러한 왜곡 현상은 평지가 아

년 산악지형에서는 기준점을 이용한 좌표변환만으로는 제거될 수 없다(Leberl, 1990). Foreshortening은 입사된 레이더파의 반사에 있어서 경사면의 꼭대기와 바닥에서의 반사 간격이 두 지점의 지상거리보다 훨씬 짧게 기록되는 현상인데, 영상에서 레이더 안테나를 향하고 있는 경사면이 정사투영된 지상거리보다 단축되어 짧게 나타나는 현상이다. Layover는 foreshortening에 비하여 사면의 경사도가 급할 경우 경사면의 꼭대기에서 반사된 레이더파가 바닥에서 반사된 것보다 먼저 기록되어짐으로써, 영상에서 경사면의 위아래 위치가 바뀌어 보이게 된다. Shadow는 SAR 안테나의 반대 방향에 위치한 경사면에서 나타나는 현상으로, 이 사면에 도달하는 레이더파가 없기 때문에 이 지점에서는 반사되는 신호가 없이 검게 보이고, 이러한 shadow 현상은 원칙적으로 보정될 수 없는 성격의 왜곡이라 할 수 있다 (Trevett, 1986).

이와 같이 SAR 영상이 가지고 있는 기하학적 특성을 고려하여 개발된 여러 가지 보정방법들은 공통적으로 수치고도자료(DEM)를 이용하는 방식을 채택하고 있다(Guindon and Adair, 1992; Domik et al., 1986). 수치고도자료를 이용한 레이더 영상의 기하학적 보정 방법 중 비교적 적용이 간단한 하나의 방법을 채택하였는데, 그 처리 과정은 크게 두 단계로 구성되어 있다 (그림 2).

수치고도자료와 SAR영상을 동일한 좌표에 등록하는 가장 이상적인 방법은 SAR영상을 직접 DEM자료의 좌표에 맞도록 보정하는 방안이나, SAR영상과 DEM영상에서 함께 인식될 수 있는 기준점을 찾는다는 것은 매우 어려운 일이다. 따라서 평면직각좌표체계에 등록된 수치고도자료로부터 모의SAR영상(simulated SAR image)을 제작하여 이 영상에 SAR영상을 맞추는 형태로 기하학적 보정이 진행되었다. 모의SAR영상은 연구지역의 영상자료를 얻을 당시의

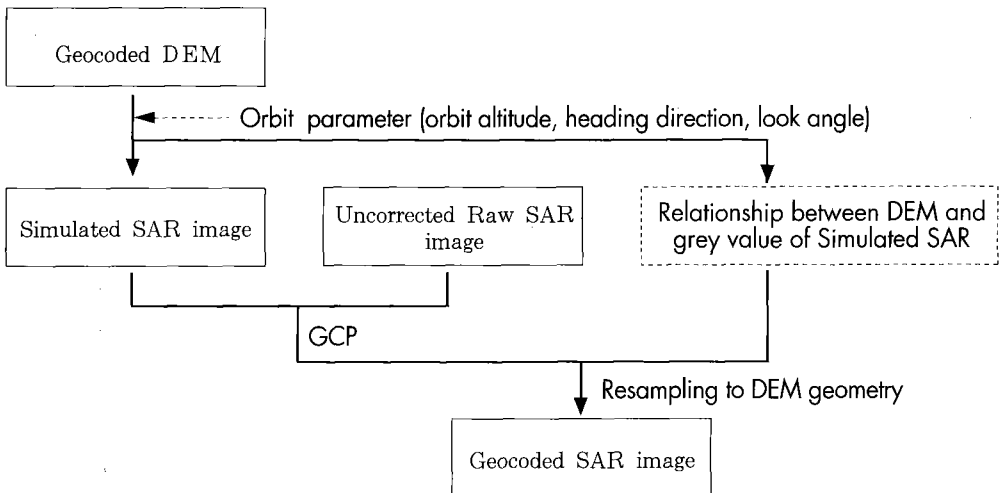


Figure 2. Geocoding of SAR imagery with terrain correction using DEM data.

RADARSAT 위성의 정확한 궤도위치(궤도높이, 궤도방향, 안테나의 입사각 등)와 수치고도자료에 의하여 표현되는 지표면과의 기하학적 관계에 따라 예상되는 레이더반사치를 모델화한 것이다. 이 과정에서 DEM자료의 각 좌표값과 모의SAR영상의 화소값간의 관계가 정립되어 후에 레이더영상을 DEM이 등록된 지리좌표에 맞도록 재배열하는 과정에서 사용된다. 모의SAR영상은 실지 SAR영상에서 볼 수 있는 지형에 따른 화소값의 명암정도를 매우 흡사하게 보여주며, 따라서 두 영상을 접합시킬 수 있는 약 15개의 기준점(GCP)을 찾을 수 있었다. 두 영상의 등록을 위한 기준점은 보통 화소값의 명암이 확연히 구분되는 산줄기 및 산정부에서 쉽게 찾을 수 있었다. 기준점에 의한 좌표 변환을 통하여 원래의 SAR영상을 모의SAR영상의 좌표(DEM 자료의 좌표와 동일)에 맞게 배열하게 되는데, 이 재배열과정에서 앞에서 정립되었던 DEM자료와 모의SAR영상과의 관계를 이용하여 foreshortening과 같은 지형에 의하여 발생된 기하학적 왜곡현상이 보정되게 된다.

그림 3은 연구 지역의 일부분인 관악산 지역의 원래 영상과 DEM을 이용하여 제작된 모의 SAR영상, 그리고 기하학적 왜곡이 보정되고 지도좌표에 등록된 SAR영상을 보여주고 있다. 먼저 원래의 영상에서 밝게 나타나는, 즉 위성의 안테나 방향을 향하고 있는 경사면은 항공사진이나 위성영상 등과 비교하여 경사면의 폭이 실거리보다 많이 단축된 foreshortening 현상이 두드러짐을 관찰 할 수 있다. 그림 3-b 영상은 수치고도자료로부터 제작된 모의SAR영상인데 원

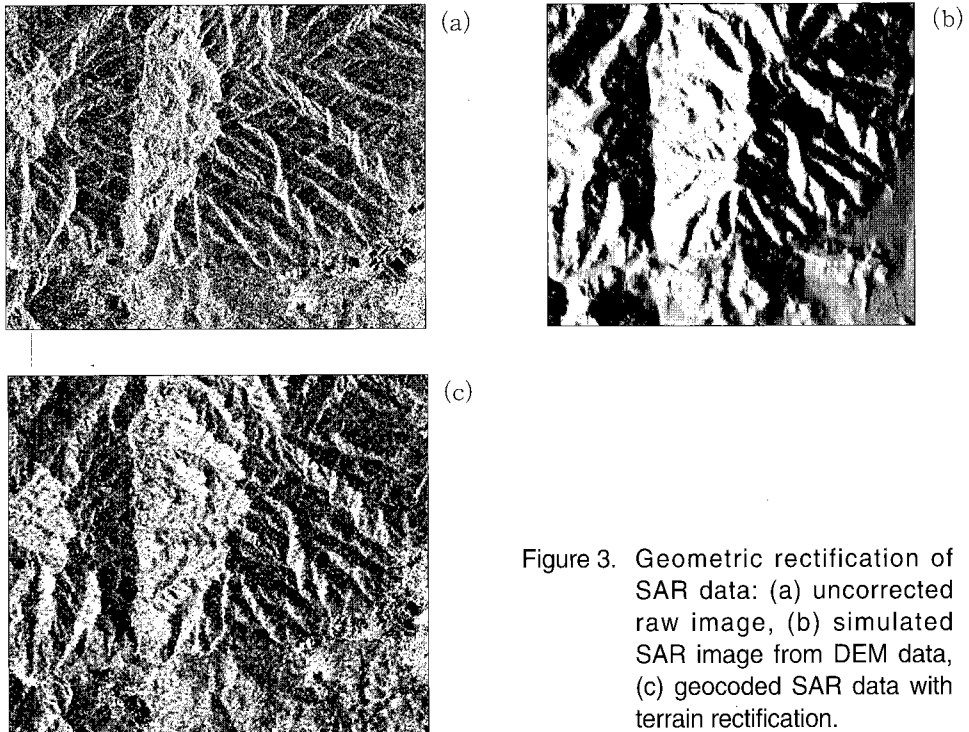


Figure 3. Geometric rectification of SAR data: (a) uncorrected raw image, (b) simulated SAR image from DEM data, (c) geocoded SAR data with terrain rectification.

레이더 영상이 촬영될 당시의 위성궤도와 관련된 인자값을 DEM자료에 적용하여 제작되었다. 다만 이 영상은 지표면에 아무것도 없는 균일한 상태의 裸地를 가정하여 지형에 의하여 발생하는 레이더 반사치만을 모델화한 영상이므로 SAR영상의 하단에 나타나는 도시 지역의 특성은 제대로 표현되지 않았다. 모의 SAR영상과 원래의 SAR영상을 비교하면 경사면의 폭에서는 차이가 있지만, 경사면의 방향에 따라 나타나는 명확한 명암의 차이로 구분되는 능선 등의 지형적 특성을 두 영상에서 모두 관찰할 수 있으며, 이러한 지점들을 선택하여 SAR 영상을 보정하기 위한 기준점들이 선정되었다. 그림 3-c는 기하학적인 왜곡이 보정되고 DEM자료와 같은 평면직각 좌표에 등록된 영상이다. 기하학적 왜곡이 보정된 SAR영상은 원래의 영상과 비교하여 영상의 선명도가 다소 떨어졌음을 관찰할 수 있는데, 이는 foreshortening이 발생한 경사면 부분에서 특히 그 차이가 명확하다. 경사면의 실제 지상거리보다 짧게 보였던 foreshortening의 부분은 기하학적 보정 과정에 의하여 실제 지상거리만큼 늘어나기 때문에 원래 영상에서 몇 개의 화소로 표현되었던 부분이 보정 후에는 더욱 넓은 폭으로 나타나게 된다. 따라서 보정된 영상에서는 원래 영상에서 좁은 폭으로 밝게 보였던 경사면이 인공위성의 안테나 방향을 따라서 실제 지상거리만큼 확장되어 나타나는 것을 볼 수 있다. 이와 같은 기하학적 보정에서도 안테나와 반대 방향에 위치하여 레이더파가 도달하지 못한 급한 경사후면에서 볼 수 있는 그늘현상(shadow)은 수정되지 못하였다.

4. 지형효과에 대한 방사보정

레이더 영상자료의 기하학적 왜곡을 보정하여 수치고도자료와 동일한 좌표계로 등록한 후, 레이더영상의 각 화소점마다 사면의 경사도와 방위각 그리고 위성으로부터 레이더파의 입사각도와 입사방향을 산출하였다. 각 화소점에서의 지형에 의한 영향을 정량화하기 위한 인자로서 그 지점의 경사면과 레이더파의 기하학적 관계를 나타내는 有效入射角(local incidence angle)을 이용하였다. 유효입사각은 레이더파와 경사면의 연직선 사이의 각으로서, 레이더파와 경사면의 연직선이 일치하게 되면 유효입사각은 0이 되며 상대적으로 가장 강한 레이더반사 신호가 예상된다. 유효입사각 θ 는 地球曲面을 고려하지 않는다면 평지에서는 레이더파의 투사각(look angle) Ω 와 거의 같게 되지만, 경사면에서의 유효입사각 θ 는 투사각 Ω 에서 사면의 경사각 α 를 뺀 각도가 된다 (그림 4-a,b). SAR 영상의 각 화소에 해당하는 정확한 유효입사각의 산출은 수치고도자료에 의하여 계산된 각 지점별 사면의 경사도와 경사면의 연직선 방향, 그리고 인공위성의 위치와 레이더파의 입사방향에 의하여 계산되었다. 삼차원 공간에서 두 직선 사이의 각도 θ 는 두 직선의 벡터값에 의하여 계산될 수 있는데, 인공위성의 안테나에서 화소점에 이르는 레이더파가 이루는 벡터 \vec{M} 과 경사면에 수직인 선이 이루는 벡터 \vec{N} 이 이루는 각이 유효입사각이다 (그림 4-c). 여기서 유효입사각 θ 는 다음 식에 의하여 계산된다.

$$\theta = \cos^{-1} \left[\frac{\vec{M} \cdot \vec{N}}{|\vec{M}| |\vec{N}|} \right] \quad \dots\dots\dots (2)$$

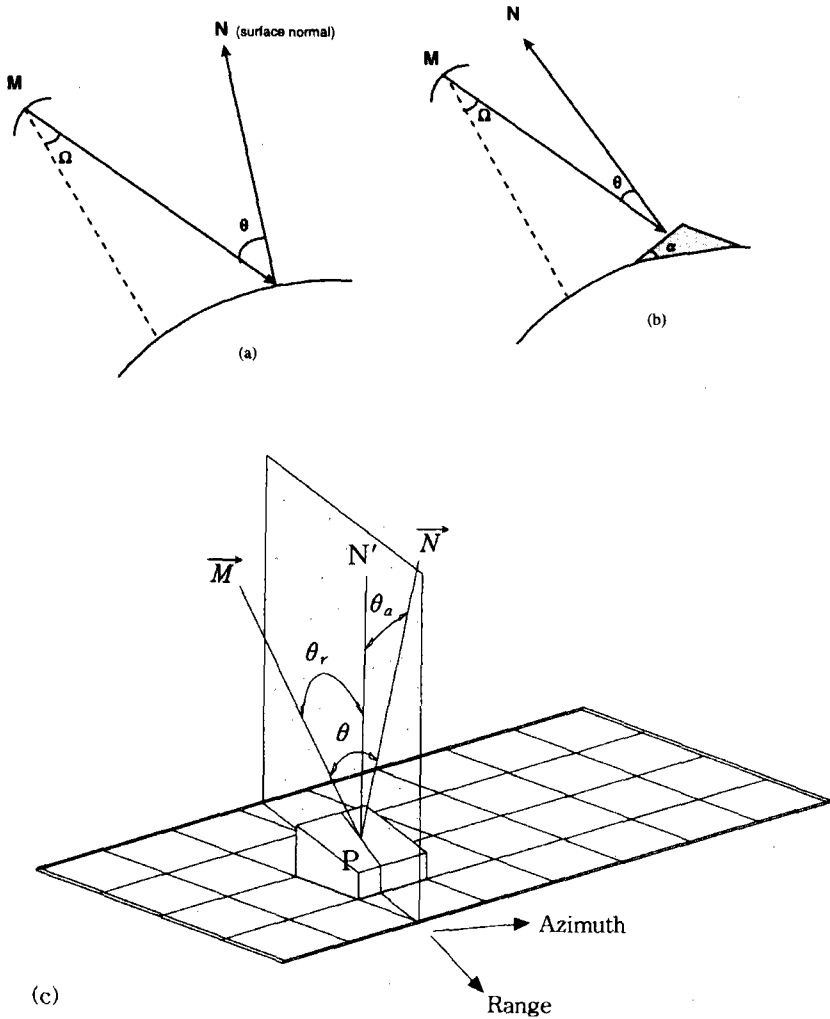


Figure 4. Geometry of local incidence angle(θ) on flat area(a), slope terrain(b), and a DEM grid on slope terrain(c). M=look vector from SAR antenna to a grid point P, N=surface normal vector at point P.

레이더 영상에 기록된 화소값(digital number value)은 지표물에서 반사된 신호와 지형에 의한 영향 등이 혼합된 형태로 생각할 수 있다.

$$DN_{\theta} = Z \cdot T_{\theta} \cdot N \quad \dots\dots\dots (3)$$

여기에서 Z는 투사된 레이더파와의 접촉에 의하여 지표물에서 반사되는 순수한 신호로 우리

가 구하고자 하는 값이며, T_{θ} 는 유효입사각(θ)에 의하여 발생된 지형에 의한 영향, 그리고 N 은 레이더 영상이 가지고 있는 그리고 불규칙적인 잡음(random noise)이다. 레이더파의 상호간섭현상에 의하여 발생하는 잡음 N 은 순수신호 Z 와 독립적으로 발생한다는 일반적인 가정을 받아들이면(Lee, 1986), 그 평균값이 1이 되므로 위의 식 (3)은 $DN_{\theta} = Z \cdot T_{\theta}$ 가 된다.

본 연구에서는 지형 효과를 최소화하기 위한 시도로서 현지 조사자료를 이용한 실험적인 접근 방법을 취하였다. 화소값에 나타나는 지형효과 보정을 위한 전 단계로 먼저 각 화소위치에서 지형적 특성에 따라 화소값이 갖게 되는 변이를 분석하고, 이 결과에 따라 보정식을 도출하고자 하였다. 화소값에 영향을 미치는 지형 효과를 정량화하기 위하여 우선 항공사진과 현지조사자료에 의하여 제작된 임상도를 기하학적 보정이 완료된 SAR영상 위에 중첩하였다(그림 5). 임상도는 임목의 수종, 직경, 수고, 밀도 등에 따라 산림을 구분한 것으로서, 하나의 임분 단위에 대하여 동일한 속성을 갖도록 고유값을 가지고 있다. 연구지역에서 가장 넓은 면적으로 분포하는 2영급(11-20년생)의 활엽수림에 해당하는 지역의 SAR 영상자료를 발췌하였다. 이와 같이 동일한 상태의 임분일지라도 산악지형에 있어서는 사면의 경사도와 방향에 따라 레이더반사치는 매우 다양하게 나타날 것이다. 지형특성에 따른 레이더반사의 관계를 분석하기 위하여, 발췌된 SAR 영상의 각 화소지점에 해당하는 유효입사각(local incidence angle) θ 를 위의 식(2)에 의하여 계산한 뒤, 각각의 θ 에 따라서 나타나는 모든 화소값들의 평균을 구하였다.

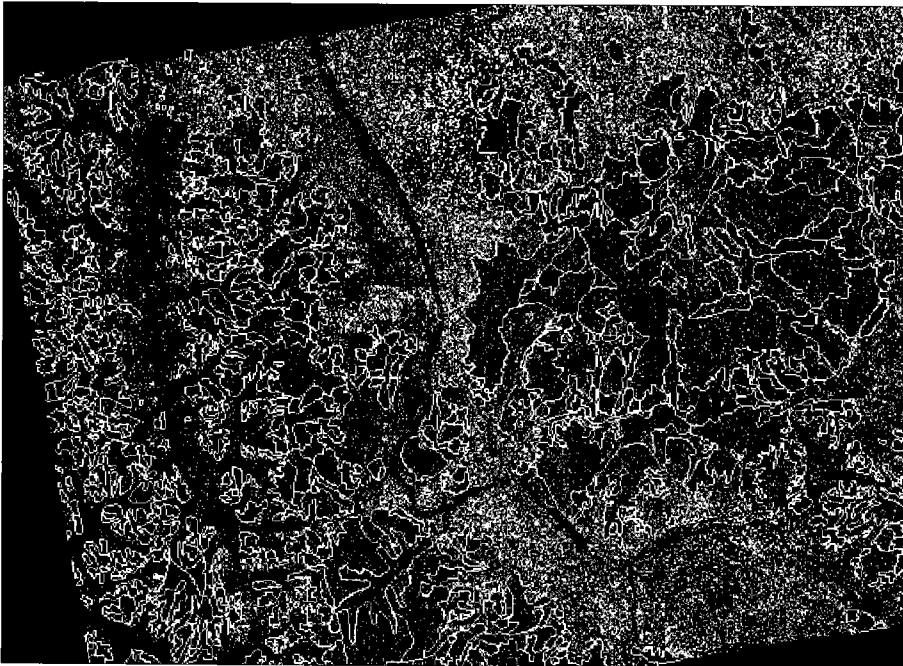


Figure 5. Geocoded SAR imagery overlaid by forest stand map.

그림 6은 유효입사각 θ 와 평균레이더반사치의 관계를 보여주는 데, 예상했던 바와 같이 유효 입사각 θ 가 증가함에 따라 레이더반사치가 감소함을 관찰할 수 있다. 유효입사각 θ 가 0에 가까울수록 경사면의 방향이 투사되는 레이더파에 직각으로 마주하게 되는데 이 경우 반사되는 레이더신호가 상대적으로 강하게 된다. 동일한 임분 특성을 고려했을 때 만약 레이더반사치가 지형에 영향을 받지 않는다면, 유효입사각과 무관하게 일정한 레이더반사치를 갖게 될 것이다. 여기에서 지형의 효과를 최소화한 레이더반사치를 도출하기 위한 접근으로, 위의 임분이 평지에 위치하였을 경우에 예상되는 레이더반사치에 기준하여 보정하였다. 평지(유효입사각이 대략 45도)에 위치한 임분에서 예상되는 평균 레이더반사치를 추정된 관계식에 따라 계산한 뒤, 각각의 화소값에 대한 보정은 다음과 같이 수치고도자료로부터 산출된 화소점별 유효입사각(θ)에 의하여 실시되었다.

$$\hat{Z}_c = DN \cdot (\overline{DN_r} / \overline{DN_\theta}) \quad \dots\dots\dots (4)$$

여기에서 \hat{Z}_c 는 평지를 기준으로 하여 보정된 화소값, DN은 보정될 화소값, 그리고 $\overline{DN_r}$ 과 $\overline{DN_\theta}$ 는 지형효과가 없을 경우 예상되는 기준화소값과 보정될 화소가 위치한 지점에서의 유효입사각 θ 에 따른 평균화소값이다. 이러한 과정을 통하여 각각의 화소에서 나타나는 지형효과를 평지의 상태로 정규화한 영상이 도출되었고, 보정결과에 대한 분석은 위의 보정식 도출을 위하여 사용되었던 임분과는 별도의 지역을 선정하여 실시하였다.

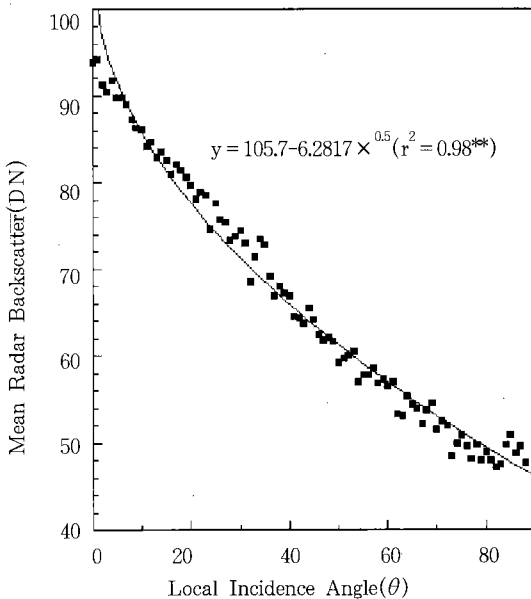


Figure 6. The relationship between mean radar backscatter and local incidence angle, observed from the uncorrected image.

III. 결과 및 고찰

수치고도자료를 이용하여 각 화소마다 지형에 의한 영향을 방사보정한 결과에 대한 검증은 현지자료가 구비된 산림지역에 국한하였다. 특히 건물이 밀집된 도시지역의 경우 대개 평지에 위치하고 있고, 이 경우 레이더반사는 지피물의 특성보다는 건물과 지면사이에서 이루어지는 모서리반사(corner reflection)에 의하여 결정되기 때문에 도시지역에 대한 지형효과보정은 무의미하다고 할 수 있다. 그림 7은 연구지역내 두 곳을 선정하여 방사보정 전과 후의 영상을 보여주고 있는데 영상 (a) (b)는 주로 농경지와 산림으로 이루어진 광명시 구릉지역을 나타내고 있으며, 영상 (c) (d)는 관악산 지역을 보여주고 있다. 두 곳에서 모두 보정전의 영상에서 뚜렷하게 구별되었던 경사면의 방향에 따른 명암의 차이가 보정후의 영상에서는 상당히 감소하였음을 관찰할 수 있다. 안테나를 향하여 밝게 보였던 경사면이 보정 후의 영상에서는 그 밝기가 떨어졌고, 반면에 안테나 반대방향에 위치해 상대적으로 낮은 레이더반사치를 보였던 경사면은 보정후 밝게 변했음을 볼 수 있다. 이러한 현상은 비교적 지형 기복이 덜한 광명시의 영상에서 보다 뚜렷하게 관찰되고 있다. 광명시에 비하여 지형의 기복이 심한 관악산지역의 영상에서도 지형에 따른 명암의 대비가 보정 후에 많이 감소하였음을 볼 수 있지만, 주로 능선부를 따라서 보정전과 다음없이 비교적 높은 화소값을 유지하고 있는 화소들이 남아있다.

지형효과 보정을 위한 자료로서 활엽수림에서 얻어진 레이더반사치를 이용하였으나, 관악산 지역의 상당부분은 바위로 덮혀있음을 고려할 때 암석이 노출된 지점에서의 레이더반사치에 대한 지형효과 보정 여부에 대해서는 별도의 분석이 필요할 것이다. 이와 유사한 현상으로 산림 지역이 아닌 도시지역(광명 영상의 오른쪽부분, 관악산 영상의 아래 부분)이 보정 전과 후의 영상에서 커다란 차이점이 없이 나타나고 있는데, 따라서 관악산에서 보정 전이나 보정 후에 모두 밝게 나타나는 부분은 나무가 없이 암석이 그대로 드러난 지역으로 유추해 볼 수 있다.

위의 그림 6에서 관찰되었듯이 동일한 임분구조를 가진 산림이라 할지라도 투사되는 레이더 파에 대한 사면의 상대적 기복을 나타내는 유효입사각에 따라서 레이더반사치는 매우 다르게 나타났다. 지형효과와 방사보정 처리 결과를 검증하기 위하여 동일한 지피물이 보정 전과 보정 후에 어떠한 차이점을 보이는가를 정량적으로 비교하고자 하였다. 레이더 영상과 같은 좌표계에 등록된 임상도를 이용하여 동일한 임분구조(수종구성, 직경, 높이, 밀도)를 가지고 있는 활엽수림, 침활혼효림, 침엽수림의 산림지역을 추출하였고, 추출된 영상에서 유효입사각(θ)에 따라 보정 후의 평균 레이더반사치를 계산하였다. 물론 보정 결과를 검증하기 위하여 사용된 산림지역은 보정을 위하여 사용되었던 것과는 별도의 임분자료이다. 그림 8은 세 곳의 산림에서 유효입사각(θ)에 따라 계산된 평균화소값을 보여 주고 있다. 지형효과 저감을 위한 방사보정 처리를 거친 영상에서 얻어진 평균화소값은 유효입사각(θ)와 관계없이 일정한 값을 유지하고 있으며, 이러한 결과는 세 종류의 산림에서 공통적으로 찾아볼 수 있다.

방사보정 결과의 검증에 사용된 세 종류의 임분은 수종구성에 있어서 활엽수, 침활혼효, 침엽

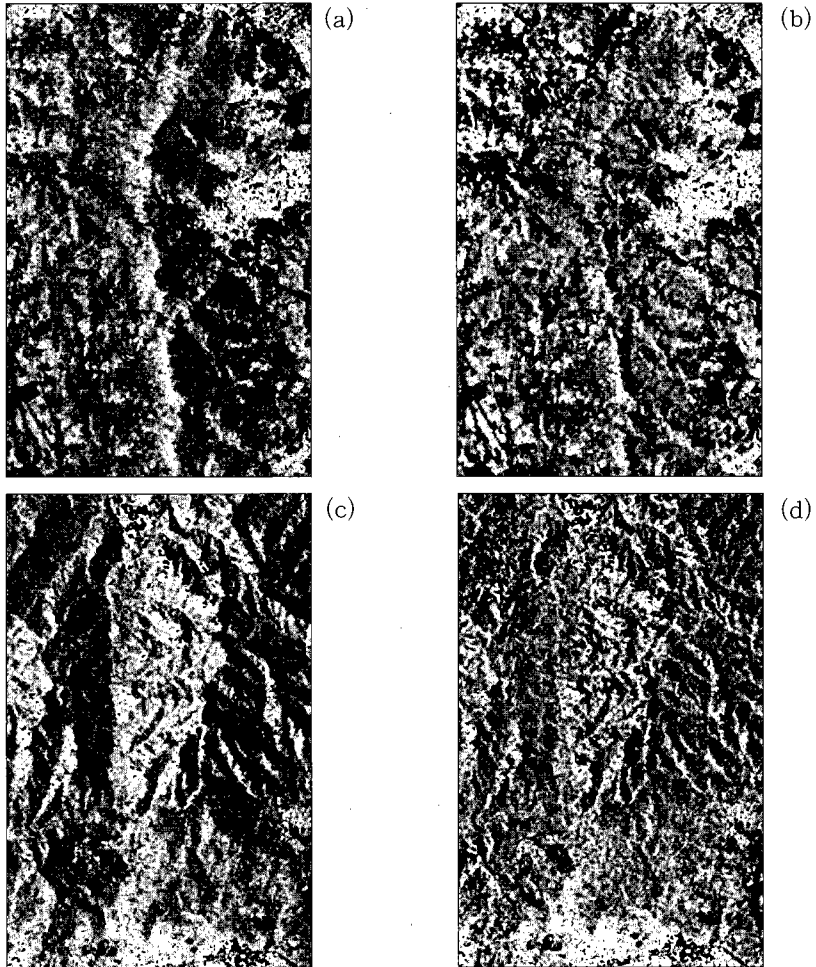


Figure 7. Effects of topographic normalization of SAR data over Kwangmyung (a,b) and Mt. Kwanak(c,d). (a) and (c): uncorrected images, (b) and (d): radiometrically corrected images.

수로 구별될 뿐 임목의 직경, 높이, 밀도는 모두 유사한 특성을 가지고 있다. 그림 8에서 관찰된 이들 임분에 있어서 활엽수림에서의 평균 레이더반사치가 침엽수림이나 침활혼효림에 비하여 약간 높을 뿐 거의 차이가 없는 것으로 나타났다. 연구에 사용된 영상자료의 획득시기가 겨울 임을 감안한다면, 잎이 이미 떨어진 활엽수림과 다른 임분과의 차이점은 쉽게 설명될 수 있을 것이다. 임분 구조에 따른 레이더 반사특성에 관한 분석은 SAR 시스템의 파장, 입사각, 편광성 (polarization) 등을 복합적으로 고려하여 실시되어야 하며, 산림을 대상으로 한 SAR 원격탐사에 관한 연구는 꾸준히 진행되고 있다(이, 1992).

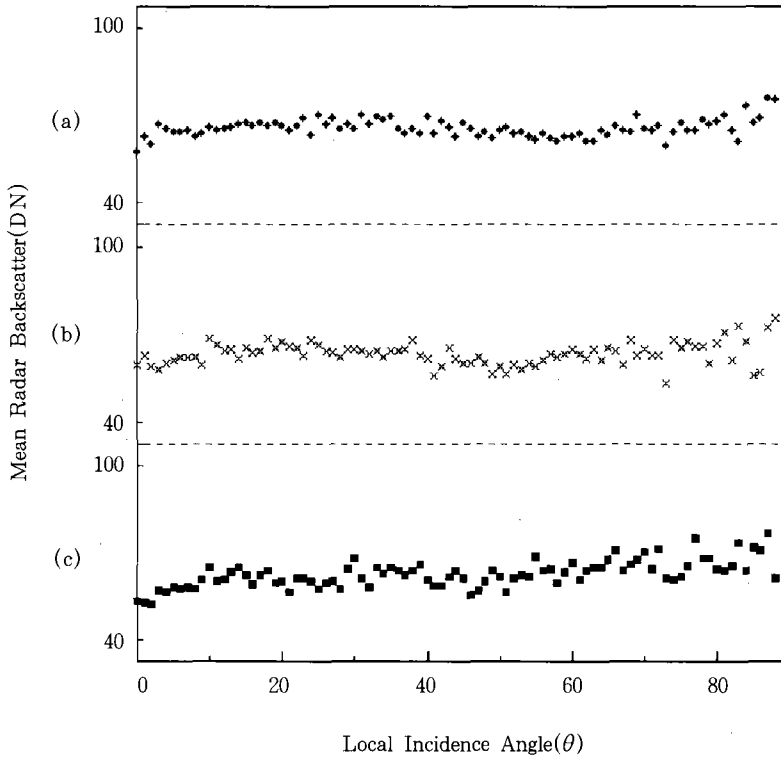


Figure 8. The relationship between mean radar backscatter and local incidence angle, observed on the radiometrically corrected data. These sample data were obtained from three homogeneous stands of (a) deciduous, (b) mixed, and (c) coniferous forests.

본 연구에서 사용된 지형효과에 대한 방사보정 방법은 현지자료를 기반으로 하여, 동일한 특성을 가지고 있는 지피물에서 반사되는 레이더 신호값에 나타나는 지형효과를 분석하여 이를 그대로 이용하는 실험적 접근 방법을 취하였다. SAR 영상에서 지형효과에 대한 방사보정의 다른 방법으로는 앞 절의 기하학적 보정과정에서 언급된 모의SAR영상을 이용한 경우가 있다 (Domik et al., 1988). 모의SAR영상을 구성하는 각각의 화소값을 그 지점에서의 지형특성에 따라 생성된 영향이라 가정하고, 이를 실제 레이더 영상의 화소값에서 감해줌으로써 지형 효과를 제거하고자 하였다. 그러나, 모의SAR영상 제작을 위하여 적용된 알고리즘은 지피물이 없이 동일한 상태의 裸地로 가정하여 각 지점의 경사에 따른 레이더파의 투사 정도를 일정 범위의 숫자로 표현하는 것으로 (Muhleman, 1964), 여기서 얻어진 값과 실제 SAR영상에서 기록된 레이더반사치와 직접적인 비교 연산이 가능한가 하는 문제와 아울러 두 자료값의 표준화 등 해결해야 할 단계가 많이 있다.

IV. 결 론

레이더 영상자료에서 지형효과를 보정하고자 하는 목적은 영상의 화소값에서 지형에 의한 영향으로 발생된 방사왜곡(radiometric distortions)을 최소화하여 분석하고자 하는 지표물에 관한 정보를 최대화하는데 있다. 지형효과 보정을 위해서는 무엇보다 먼저 SAR 영상이 가지고 있는 기하학적 특성을 명확히 이해하고, 영상의 각 화소에 해당하는 지형적 인자를 산출해야 한다. 이러한 지형인자의 도출을 위해서는 SAR 영상자료와 유사한 해상력을 갖고 있는 良質의 수치 고도자료(DEM)가 필요하고, 더 나아가 수치고도자료와 SAR 영상자료가 부합되도록 정확한 기하학적 보정이 선결되어야 한다. 영상의 각 화소에 해당하는 지형인자에 의하여 방사보정이 이루어지게 되므로, SAR 영상의 기하학적 보정은 지형효과에 대한 방사보정의 성패를 좌우할 수 있는 아주 중요한 과정이라 할 수 있다. 본 연구에서 적용된 방사보정 처리는 현지에서 조사된 자료를 토대로 이루어진 실험적인 접근방법이었다. 즉 지형에 의한 영향이 없다면 유사한 레이더반사값이 예상되는 동일한 임분구조를 가진 산림지역을 대상으로 지형인자에 따른 평균 레이더반사치를 분석하여 지형에 의한 방사왜곡을 모델화 하였고, 이를 기반으로 평지에서 예상되는 레이더반사값으로 전체 영상을 정규화 하였다.

산림지역에서의 지형효과에 대한 방사보정 처리를 비교 분석한 결과, 보정 전에 유효입사각에 반비례하여 감소하던 레이더반사치의 값이 보정 후에는 유효입사각에 상관없이 일정하게 나타났다. 본 연구에서 적용된 실험적인 방사보정 방법은 사용된 영상자료에 국한하여 적용되는 제한을 가지고 있지만, 접근 방법이 비교적 용이하고 연구 결과에 나타난 보정 효과 또한 우수하다고 할 수 있다. 레이더 영상자료의 획득 과정에 기반을 둔 지형효과와 보정을 위한 이론적 모델 개발이 진행되고 있으나, 실질적인 적용을 위한 검증과정이 필요한 상태임을 감안한다면 실험적인 접근 방법이 이용 측면에서 효과적이라 할 수 있다. 지형효과와 보정 기법 개발에 있어서 고려되어야 할 또 다른 중요한 사항으로는 SAR 시스템의 파장, 입사각, 편광성(polarization) 등이 있다. 이와 같은 시스템 인자들은 레이더반사치의 강약을 좌우하는데 중요한 요소이며, 또한 이러한 시스템 인자들이 지형에 의하여 발생하는 방사왜곡에 미치는 영향 등에 대한 지속적인 연구가 선행되어야 한다.

사 사

본 연구는 1996년 한국학술진흥재단 공모과제 지원에 의하여 수행되었음을 밝히며, 본 연구를 위하여 임상도 수치지도자료를 제공해 주신 입업연구원에 감사드립니다.

참고문헌

- 한국해양연구소, 1994. 한반도 해안지형 및 구조분석을 위한 SAR 영상의 활용성 연구, 한국해양연구소 연구보고서 BSPE 00432-664-5, 80p.
- 이규성, 1992. 인공위성 레이더 영상자료를 이용한 임분구조의 물리적 특성파악, 대한원격탐사학회지, 8(2):93-104.
- 이승호, 1995. 임상도전산화, 월간임업정보 제53호, pp. 29-31.
- 임업연구원, 1993. 산림자원조사보고서, 임업연구원 연구자료 제76호, 983 p.
- Bruckstein, A.M., 1988. On the shape-from-shaping, *Computer Vision, Graphics and Image Processing*, 44:139-154.
- Desilets, Y., M. Farfard, M. Lasserre, S. Lebaeau, M. Manore, and B. Ramsay, 1996. RADARSAT helps high-tech track to the Magnetic North Pole, *Photogrammetric Engr. and Remote Sensing*, 62(12):1327-1333.
- Domik, G., F. Leberl, and J. Cimino, 1988. Dependence of image gray values on topography in SIR-B images, *International Journal of Remote Sensing*, 9(5):1013-1022.
- Domik, G., F. Leberl, and J. Cimino, 1986. Multiple incidence angle SIR-B experiment over Argentina: generation of secondary image products, *IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing*, GE-24(4):492-497.
- Freeman, A., M. Moghaddam, M. Zink, and H. Zebker, 1992. Radiometric correction of SAR images of varying terrain, Proc. of '92 IGARSS, IEEE Vol. 1, pp. 271-273.
- Guindon, B., M. Adair, 1992. Analytic formulation of spaceborne SAR image geocoding and value-added product generation procedure using DEM, *Canadian Journal of Remote Sensing*, Vol. 18, pp 2-11.
- Leberl, F.W., 1990. "Radargrammetric Image Processing", Artech House, Inc., Norwood, MA., U.S.A.
- Lee, J.S., 1986. Speckle suppression and analysis for synthetic aperture radar images, *Optical Engineering*, 25(5):636-643.
- Moon, W.M., B. Li, J.S. Won, H.W. Yoo, V. Singhroy, Y. Yamaguchi, 1994. JERS-1 SAR data characteristics for geological applications, *Journal of the Korean Society of Remote Sensing*, 10(2):161-170.
- Muhleman, D.O., 1964. Radar scattering from Venus and the Moon, *Astronomical Journal*, Vol 24, p. 34
- Teillet, P.M., B. Guindon, J.F. Meunier, and D.G. Goodenough, 1985. Slope-aspect effects in synthetic aperture radar imagery, *Canadian Journal of Remote Sensing*, 11(1):39-50.
- Trevett, J.W., 1986. Imaging Radar for Resources Surveys, Chapman and Hall Ltd., New York, USA, pp. 29-42.