

SAR 영상의 모의제작에 의한 기하학적 복사왜곡의 보정 Correction of Radiometric Distortion Caused by Geometric Property in SAR image using SAR Simulation

정 수* · 유복모**

Jeong, Soo · Yeu, Bock-Mo

要 旨

SAR 영상은 기상이나 일조량에 관계없이 자료를 취득할 수 있으므로 종래의 전자광학적 감지기가 갖는 제약을 극복할 수 있다. 또한, SAR 영상으로 취득할 수 있는 정보는 종래의 광학적 감지기에 의한 것과는 다른 형태이므로 영상에 의한 정보취득의 범위를 확대시킬 수 있다. 그러나, SAR 영상에는 레이더의 특성과 대상물의 기하학적 특성에 따라 다양한 왜곡이 포함되므로, SAR 영상으로부터 정보를 취득하는 데 있어서 소요 정확도가 확보되기 위해서는 SAR 자료에 포함되어 있는 왜곡을 보정하여야 한다. 본 연구에서는 SAR 영상 취득시 대상물과 안테나의 기하학적 구성에 따른 반사파의 변화를 모형화하여 SAR 영상을 모의제작하고, 이를 이용해 대상물의 경사에 따른 밝기값의 왜곡을 실제 영상에서 제거함으로써 SAR 영상의 기하학적 복사 왜곡을 보정하고자 하였다. 그 결과, SAR 영상으로부터 대상물의 반사특성에 따른 정성적 정보를 취득함에 있어서 기하학적 복사왜곡에 의한 영향을 최소화하여 지형공간정보 관련 분야에서 SAR 영상을 원활히 활용할 수 있도록 기여하고자 하였다.

ABSTRACT

SAR data can be achieved independently of weather conditions or sun illumination which is main limitation of electro-optical sensor to get image. The information from imagery can be more enlarged using SAR data because SAR data offers different information from electro-optical sensor. SAR data contains various distortions caused by the radar specification and geometric properties of data acquisition. These distortions should be removed to get the information with acceptable accuracy. In this study, we aimed to correct the radiometric distortion in SAR image caused by the geometric property of the object. For this purpose, we simulated the SAR image by modelling of the power of return beam which is variable according to the geometric configuration between SAR antenna and ground object. Dividing the SAR image by the simulation image, then, we can get the radiometrically corrected image. As a result of this study, we could minimize the effect of radiometric distortion in achieving some qualitative information from SAR image for the related field, such as Geospatial Information System.

1. 서 론

SAR(Synthetic Aperture Radar) 영상은 레이더의 원리를 이용하여 능동적 방식에 의해 취득된 신호자료를 처리하여 생성된 영상으로서 기존의 광학적 감지기(Optical sensor)에 의해 취득된 영상에 비해 영상의 기

하학적 구성이 복잡할 뿐만 아니라, 영상의 시각적 효과도 양호하지 못하다. 그러나 안테나에서 극초단파를 지상에 발사하고 그 반사파를 수신하는 능동적 방식에 의해 영상을 취득하므로 기상이나 일조량의 영향을 받지 않고 영상을 취득할 수 있다는 장점으로 인하여, 최근에 사진측정학 및 원격탐측(Photogrammetry and Remote Sensing) 분야에서 이를 활용하기 위한 연구가 새로운 관심사로 부각되고 있다.¹⁾

*연세대학교 공과대학 산업기술연구소 전문연구원

**연세대학교 공과대학 토목공학과 교수

SAR는 기상이나 시간대의 제약을 받지 않고 영상을 취득할 수 있으므로 지속적인 반복관측에 의한 대상물의 시계열 분석 자료로서 활용성이 높으며, 재해상황이나 돌발사태 등의 경우에 있어서도 즉각적이고 신속하게 영상을 취득할 수 있다.²⁾

레이다파의 지표면에 대한 반응특성은 가시광선이나 적외선을 이용해서는 취득할 수 없는 별도의 정보를 취득할 수 있게 하므로, 광학적 센서(optical sensor)에 의해 취득할 수 없었던 새로운 유형의 정보를 SAR 영상을 통해 수집할 수 있다.¹⁾ 따라서, SAR 영상과 광학적 센서에 의한 영상을 결합하면 상호 보완에 의해 보다 수준 높은 영상정보취득 수단으로서 활용될 수 있다. 이를 위해서는 SAR 영상과 광학적 영상간의 정합을 위한 기하학적 보정이 필요하다.^{3,4)}

SAR 영상에는 기하학적 왜곡뿐만 아니라 대상물과 안테나의 기하학적 관계에 따른 복사왜곡이 존재한다. 즉, 전면부 단축현상(foreshortening) 등에 의해, 동일한 산란특성을 갖는 지역일지라도 안테나의 위치와 대상 지역의 경사방향에 따른 기하학적 구성에 의해 영상 내에서 매우 상이한 밝기값의 분포를 나타내게 되는 “기하학적 복사왜곡”이 발생할 수 있다. 따라서, SAR 영상으로부터 대상물에 대한 정성적 정보를 취득함에 있어서, 동일한 지역을 서로 다른 지역으로 오판할 가능성이 있으며, 서로 다른 산란특성을 갖는 대상물을 동일한 것으로 인식할 수도 있다. 특히, 영상처리에 의한 분류기법(classification)을 통해 대상물의 분류를 자동화할 경우에 이는 매우 큰 문제가 될 수 있다.

본 연구에서는 SAR 영상 취득시 대상물과 안테나의 기하학적 구성에 따른 반사파의 변화를 안테나의 특성에 따라 모형화하고, 수치표고모형을 입력자료로 이용하여 SAR 영상을 모의제작 하였다. 모의제작된 SAR 영상은 안테나의 특성 및 안테나의 위치와 대상물의 기하학적 구성에 따른 레이더 반사파의 변화를 나타내므로, 이를 이용해 대상물의 경사에 따른 SAR 영상에서의 영상소 값의 변화성분을 제거함으로써 SAR 영상의 기하학적 복사왜곡을 보정하였다.

그 결과, SAR 영상으로부터 대상물의 산란특성에 따른 정성적 정보를 취득함에 있어서 기하학적 복사왜곡에 의한 영향을 최소화함으로써 지형공간정보 관련 분야에서 SAR 영상을 원활히 활용할 수 있도록 기여하고자 하였다.

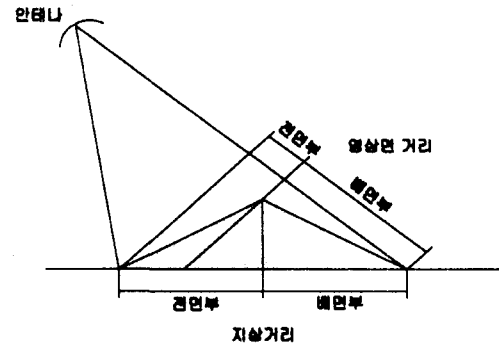


그림 1. 전면부 단축현상

2. SAR 영상의 기하학적 복사왜곡

SAR는 안테나에서 자체 레이더를 대상물에 발사하고 그 반사파를 수집하여 반사파의 세기에 의해 대상물에 대한 영상을 생성한다. 반사파는 대상물의 산란특성과 함께, 안테나와 반사면의 기하학적 관계에 의해서도 변화하게 된다. 따라서, SAR 영상의 영상소 값은 대상물의 기하학적 형태에 따른 기하학적 복사왜곡을 갖게 된다.¹⁾

특히, 그림 1과 같은 전면부 단축현상(foreshortening)의 경우에 있어서는 대상물의 경사가 안테나를 마주보는 방향인 경우에 넓은 지역의 산란체에 의한 반사파가 영상 내에서 좁은 영역에 집중되므로 매우 밝게 나타나는 데 비하여 반대의 경우에 있어서는 반사파가 영상면에서 상대적으로 매우 넓은 영역에 분포하게 되므로 어둡게 나타나게 된다.⁵⁾

3. SAR 영상의 기하학적 복사왜곡 보정

본 연구에서는 SAR 영상의 기하학적 복사왜곡을 안테나의 특성과 대상물의 기하학적 형태에 따른 반사파의 변화에 의해 모형화하고, 이를 이용하여 수치표고모형으로부터 반사파의 변화에 따른 SAR 영상을 모의 제작하였다. 모의제작된 SAR 영상을 이용하여 실제 SAR 영상에서의 기하학적 복사왜곡 성분을 제거함으로써 기하학적 복사왜곡을 보정하고자 하였다.

3.1 반사파의 출력

SAR 영상은 경사거리와 도플러 주파수 변화로 구분되는 지상의 특정 영역에 대한 레이더 반사파의 출력(power) 또는 전압(voltage)을 자료값으로 하여 2 차원

으로 표현한 것이다.

반사파의 출력은 레이더 방정식에 의해 산정할 수 있다. 레이더 방정식을 간략히 나타내면 다음과 같다.⁹⁾

$$P_r = \frac{P_t G^2 \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 r^4} \quad (1)$$

여기서, P_r 은 레이더 반사파의 출력, P_t 는 전송파의 최대 출력(peak power), G 는 안테나 이득(gain), λ 는 전송파의 파장, σ 는 레이더산란단면(radar scattering cross section), r 은 안테나와 대상물간의 거리를 나타낸다.

반사파의 전압 V_r 은 반사파의 출력 P_r 의 제곱근으로 계산된다.

$$V_r = \sqrt{P_r} \quad (2)$$

식 (1)의 레이더 방정식은 레이더 안테나에 관련된 매개변수 K 와 지형에 관련된 매개변수인 레이더산란단면 σ 로 분해하여 다음과 같이 간략하게 표현할 수 있다.

$$P_r = K \cdot \sigma \quad (3)$$

여기서,

$$K = \frac{P_t G^2 \lambda^2}{(4\pi)^3 r^4} \quad (4)$$

이다. SAR의 경우, 레이더 안테나 매개변수 K 는 경사거리의 변화와 그에 따른 합성안테나 길이의 변화를 제외하고는 모든 자료값에서 동일한 값을 갖게 된다. SAR 경사거리영상 상에서 거리방향의 자료값은 일정한 경사거리차 Δr 에 의해 할당되므로 매개변수 K 는 SAR 영상 상의 모든 라인에서 일정한 변화를 갖게 된다.

레이더산란단면 σ 는 지형의 형태에 따라 변화하게 되며, 반사파의 출력에 미치는 영향은 대상지의 특성에 따른 반사파의 변화를 나타내는 레이더 역산란계수(radar backscatter coefficient) σ_0 와 반사면의 기하학적 형태에 따른 지면효과(area effect) A 로 다음과 같이 분해할 수 있다.

$$\sigma = A \cdot \sigma_0 \quad (5)$$

따라서, SAR 반사파의 출력은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_r = K \cdot A \cdot \sigma_0 \quad (6)$$

식 (6)의 레이더 안테나 매개변수 K 와 지면효과 A 를

산정하여 모의제작 SAR 영상에서의 자료값으로 설정하고 실제 SAR 영상에서 나타나 있는 반사파의 출력 P_r 값을 해당 위치의 모의제작 SAR 영상의 자료값으로 각각 나누면 대상물의 고유반사특성을 나타내는 레이더 역산란계수 σ_0 를 구할 수 있으며, 따라서 SAR 영상의 복사보정을 수행할 수 있다.

3.2 지면효과

SAR 반사파의 출력에 대한 지면효과는 안테나와 반사면의 기하학적 관계에 의해 나타난다. 즉, 그림 2와 같이 레이더의 조사벡터(illumination vector)와 반사면의 법선벡터의 관계에 의해 지면효과가 발생하게 된다.

대상지의 지면효과를 모의하기 위해서는 지형의 특성을 알 수 있어야 하며, 격자형 수치표고모형이 기본 자료로서 활용될 수 있다. 수치표고모형 상의 한 격자점에서의 지면에 대한 법선벡터는 종방향과 횡방향에 대한 높이값의 차이를 이용하여 구할 수 있다.

수치표고모형 상의 위치 i, j 에서의 점 $P_{i,j}$ 는 그림 2에서와 같이 타원체의 지심좌표계 상의 위치벡터 $\vec{P}_{i,j}$ 로 나타낼 수 있다. 또한, i 방향과 j 방향에서의 인접점 $P_{i+1,j}$ 와 $P_{i,j+1}$ 에 대한 지심좌표계 상의 위치벡터는 각각 $\vec{P}_{i+1,j}$ 와 $\vec{P}_{i,j+1}$ 로 나타내면, i 방향과 j 방향에 대한 경사벡터 \vec{S}_i 와 \vec{S}_j 는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \vec{S}_i &= \vec{P}_{i+1,j} - \vec{P}_{i,j} \\ \vec{S}_j &= \vec{P}_{i,j+1} - \vec{P}_{i,j} \end{aligned} \quad (7)$$

따라서, 점 $P_{i,j}$ 에서의 지표면에 대한 법선벡터 $\vec{n}_{i,j}$ 는 다음과 같다.

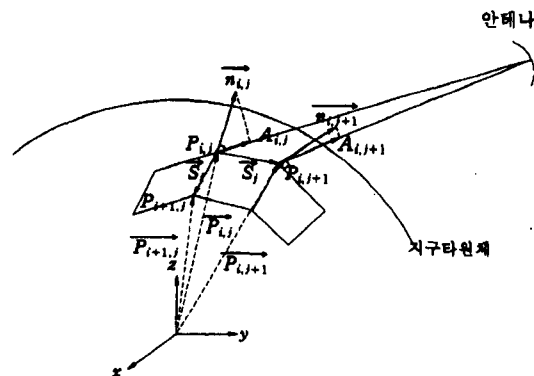


그림 2. 지면효과에 의한 반사파의 세기

$$\vec{n}_{ij} = \frac{\vec{S}_i \times \vec{S}_j}{|\vec{S}_i \cdot \vec{S}_j|} \quad (8)$$

여기서, 법선벡터 \vec{n}_{ij} 는 단위벡터가 된다.

레이다의 반사 에너지는 대상점에 대한 레이다 조사 벡터(illumination vector) \vec{m}_{ij} 와 지표면에 대한 법선벡터 \vec{n}_{ij} 의 내적(dot product)에 따라 변화한다. 따라서, 지면효과 A_{ij} 는 다음과 표현된다.

$$A_{ij} = \vec{n}_{ij} \cdot \vec{m}_{ij} \quad (9)$$

여기서, \vec{m}_{ij} 는 위성의 위치벡터가 \vec{S} 라면 다음과 같다.

$$\vec{m}_{ij} = \vec{P}_{ij} - \vec{s} \quad (10)$$

조사벡터와 법선벡터 사이의 각을 국부입사각(local incidence angle)이라고 한다. 수치표고모형 상의 한 점 P_{ij} 에서, 반사파의 출력에 미치는 지면효과 A_{ij} 는 국부 입사각의 코사인값에 따라 변화하게 되므로, 이를 이용하여 지면효과를 모형화할 수 있다.

3.3 SAR 영상의 기하학적 복사왜곡 보정 프로그램

본 연구에서는 앞 절에 기술된 이론을 바탕으로 지형 보정된 SAR 영상에 포함된 기하학적 복사왜곡을 보정하기 위한 프로그램을 작성하였다. 작성된 프로그램은 수치미분편위수정에 의해 지형보정이 수행된 SAR 영상을 입력자료로 설정하였으며 그림 3에 프로그램의 흐름도를 나타냈다.

4. 관측값 처리

4.1 관측자료와 수치표고모형

본 연구에서 이용한 SAR 영상은 1996년 10월 13일에 취득된 Radarsat 위성 SAR 영상으로서 1:50,000 국가 기본도를 기준으로 수원과 이천을 포함하고 있다. 이용된 자료의 특성은 표 1과 같다.

이용된 자료는 복소수값으로 저장되어 있으므로 이를 영상화하기 위해서는 복소수값으로부터 전압의 크기를 계산한 후 영상처리체계에서 운용될 수 있도록 적절히 밝기단계를 재배열하여야 한다. Radarsat 자료에서 각 복소수 자료값은 실수부와 허수부가 각각 2 byte로 저장되어 있으므로 한 자료는 4 byte의 크기로 저장된다. 복소수 전압의 크기는 실수형태로 계산되는데 반하여, 일반적인 영상처리체계에서는 밝기단계를 1

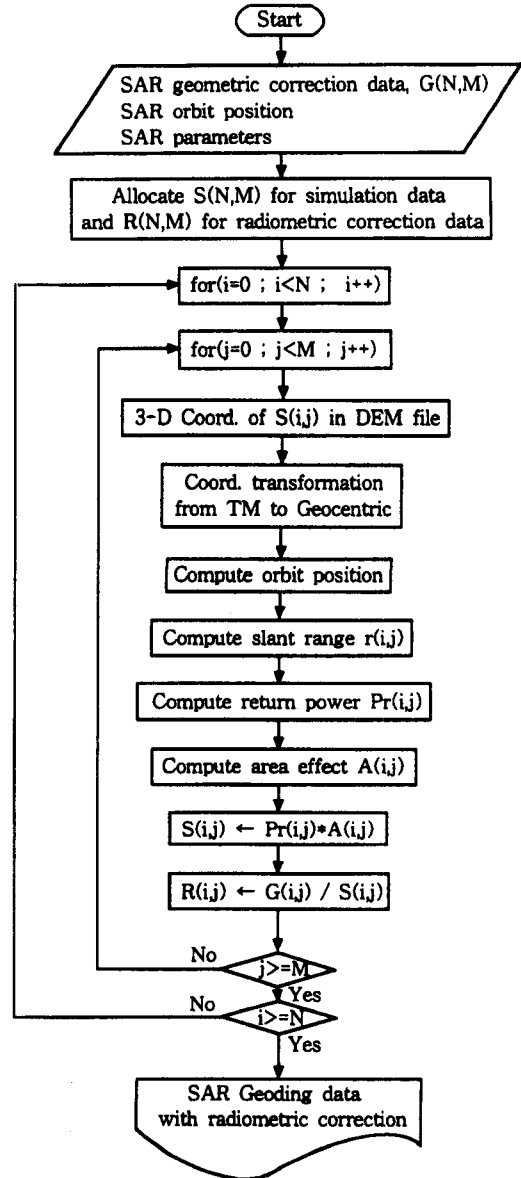


그림 3. SAR 영상의 기하학적 복사왜곡 보정 프로그램 흐름도

byte로 표시하므로 계산된 복소수 전압값의 최대값과 최소값을 탐색하여 그 범위를 256 단계로 재배열하므로서 영상화할 수 있다.

본 연구의 대상지는 성남시 부근으로서 도심지와 산악 및 도로가 골고루 분포된 9.2 km × 12.5 km 지역을 선정하였다. 대상지의 범위는 TM 좌표상 X 방향으로 431,000 m~443,500 m, Y 방향으로 212,000 m~221,200 m이다. 대

표 1. 관측에 이용한 Radarsat SAR 영상

내용	특성	비고
처리단계	단일관측 복소수 자료	
관측일	1996년 10월 13일	
샘플링 간격	영상소 간격: 4.6482980 m 라인 간격: 5.1305609 m	
공칭해상도	방위방향: 9 m 거리방향: 15 m	
대상지역	중심부: 37.59N, 127.28E 좌상부: 37.08N, 127.08E 우상부: 37.52N, 127.57E 좌하부: 37.16N, 126.99E 우하부: 37.09N, 127.47E	International 타원체 기준
궤도 방향	Descending	우측방향관측
궤도 경사	10.23°	
빔모드	SAR FINE 1	입사각: 37°~40°

상지에 해당하는 SAR 영상은 그림 4에 나타나 있다.

대상지에 대한 수치표고모형은 25도엽의 1:5,000 국가기본도를 이용하여 20×20 m 간격으로 제작하였으며 높낮이를 밝기값으로 변환하여 영상으로 나타내면 그림 5와 같다. 제작된 수치표고모형의 높낮이는 최소 24.43 m로부터 최대 525.37 m까지 분포되어 있다.

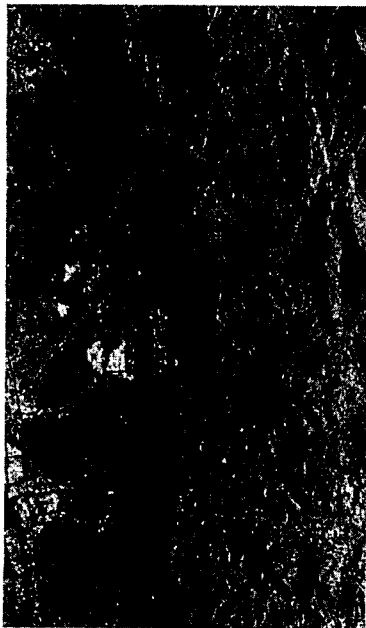


그림 4. 대상지역의 SAR 영상

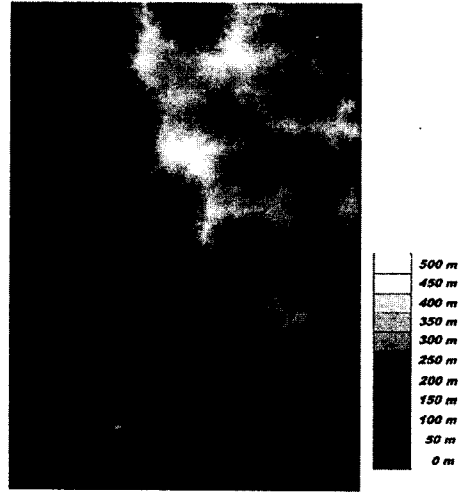


그림 5. 대상지역의 수치표고모형

4.2 SAR 영상의 지형보정

SAR 영상의 지형보정을 위해서는 대상을 관측한 순간의 위성의 위치를 알 수 있어야 한다.^{4,7,8)} 본 연구에서는 Radarsat 궤도위치 해석 프로그램을 작성하여 연구에 이용하였다.⁹⁾ 지상기준점은 1:50,000 국가기본도 중 수원 지역 내에서 총 15 개를 취득하였다. 또한, 위성궤도위치 해석결과를 검증하기 위해 9점의 검사점을 대상지역 내에서 선정하였다.

해석 결과, 관측시간에 대한 다항식의 형태로 국내 기준타원체인 Bessel 타원체 상의 지심좌표계를 기준으로 하는 위성의 궤도위치를 결정할 수 있었다. 이 결과를 이용하여 검사점의 지상좌표로부터 SAR 영상 상의 위치를 결정한 후 실제 육안관측된 위치와 비교한 결과, 검사점에 대한 영상소 위치결정의 평균제곱근 오차는 i 방향의 경우는 0 영상소, j 방향의 경우는 0.31 영상소로서 일반적인 허용정확도인 0.5 영상소 이내로 나타났다으므로 Radarsat 위성의 궤도위치 결정이 양호하게 수행되었다고 판단할 수 있다.

산정된 Radarsat 위성의 궤도위치값과 수치표고모형을 이용하여 수치미분편위수정을 수행하므로써 그림 6과 같은 SAR 지형보정영상을 제작하였다. 제작된 SAR 지형보정영상은 이용된 수치표고모형과 동일하게 20×20 m의 해상도를 갖도록 하였다. 자료값의 재배열은 공1차 보간법을 적용하였다.

그림 4에 나타나 있는 원래의 SAR 영상과 그림 6의 지형보정영상을 비교해 보면 원래의 SAR 영상에 상당

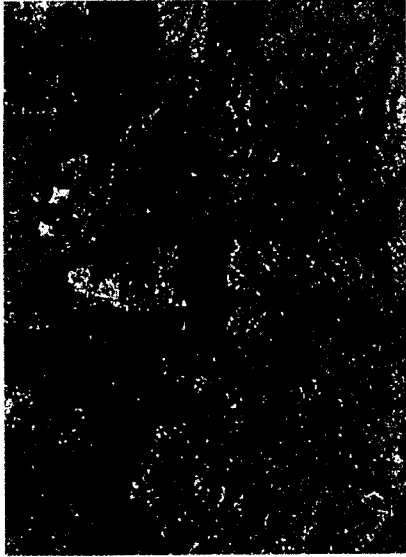


그림 6. SAR 지형보정영상

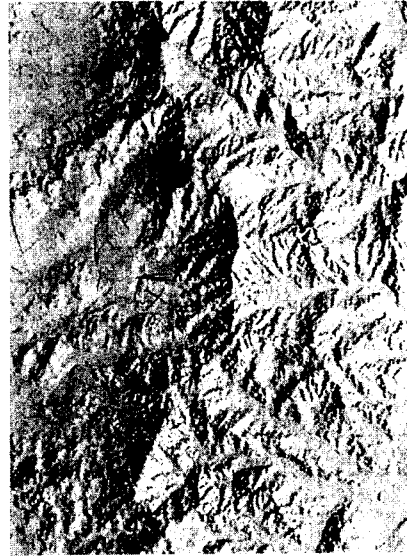


그림 7. 안테나 특성과 지형효과에 의한 모의제작 SAR 영상
(크기 : 461×626 영상소, 해상도 : 20×20 m)

히 큰 기하학적 왜곡이 포함되어 있었음을 알 수 있다.

4.3 기하학적 복사왜곡 보정

SAR 영상은 자료취득의 기하학적 특성으로 인하여 복사왜곡을 갖는다. 그림 6의 SAR 지형보정영상의 경우에 있어서도, 중앙의 산림부가 레이더파의 조사(illumination)방향과 지표면의 경사에 따라 서로 다른 밝기값으로 분포되는 것을 볼 수 있다. 이러한 기하학적 복사왜곡은 지형보정된 SAR 영상을 활용하는 데 있어서 대상물의 식별에 장애가 될 수 있다.

SAR 영상의 기하학적 복사왜곡은 3장에 제시된 바와 같이 레이더의 특성과 지형효과에 따른 반사파의 변화로서 SAR 영상을 모의제작하고 이를 지형보정된 영상에서 제거하여 대상지의 특성에 따른 자료값만을 취하므로써 보정이 가능하였다.

그림 7에는 본 연구의 입력자료로 활용된 수치표고모형을 이용하여 제작한 모의제작 SAR 영상을 나타내었다. 그림 6의 기하학적 보정영상과 그림 7을 비교하므로써 전체적인 밝기값의 분포형태가 유사하다는 것을 알 수 있었다.

그림 6의 기하학적 보정영상의 자료값으로부터 그림 7의 모의제작 SAR 영상의 자료값을 나눔으로써 대상지의 반사특성에 따른 자료값만을 추출한 결과는 그림 8과 같다.



그림 8. 기하학적 복사왜곡 보정 SAR 영상(크기 : 461×626 영상소, 해상도 : 20×20 m)

5. 결과고찰

그림 6과 그림 8을 비교해 보면, 지형의 형태에 따른 복사왜곡이 상당히 감소되었음을 알 수 있었다. 따라서, 그림 8에서는 영상의 좌상부, 중우부, 하부에 위치한 골프장들이 주변 산지와 반사특성의 차로 인해 보다

선명히 나타나는 것을 볼 수 있었다.

그림 6과 그림 8의 영상에 무감독분류기법(unsupervised classification)을 적용한 결과는 그림 9와 그림 10에 나타나 있다. 본 연구에서의 무감독분류는 지형공간정보체계 및 영상처리 전문 프로그램인 IDRISI의 무감독 분류 모듈 중 CLUSTER 항목을 이용하여 수행하였다. IDRISI 프로그램의 CLUSTER 모듈은 단일 밴드의 영상의 무감독 분류에 가장 적절한 것으로 평가되는 군집분석기법을 수행한다.⁹⁾

그림에서 알 수 있듯이 복사보정을 수행한 경우에는 무감독 분류에 의해 골프장과 호수가 분류되었다. 복사보정을 수행하지 않을 경우에는 기하학적 복사왜곡 성분들로 인해 지형의 영향이 무감독분류에 영향을 미쳤



그림 9. 복사보정을 수행하지 않은 영상에 대한 무감독 분류

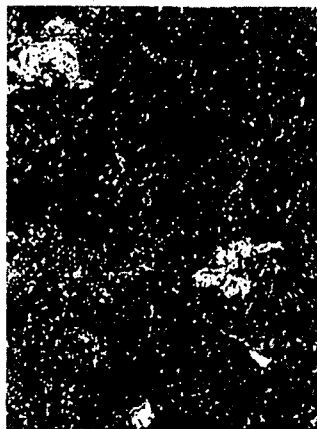


그림 10. 기하학적 복사보정 영상에 대한 무감독 부류

다. 따라서 기하학적 복사보정을 수행함으로써 정성적 정보 취득의 정확도를 높일 수 있다는 것을 알 수 있다.

6. 결 론

본 연구의 결론은 다음과 같다.

- 1) SAR 영상 취득시 대상물과 안테나의 기하학적 구성에 따른 반사파의 변화를 모형화하므로써 SAR 영상을 모의제작하기 위한 방법을 제시할 수 있었다.
- 2) 모의제작 SAR 영상을 이용해 대상물의 경사에 따른 밝기값의 왜곡을 실제 영상에서 제거하므로써 SAR 영상의 기하학적 복사왜곡을 보정할 수 있었다.
- 3) 기하학적 복사왜곡이 보정된 SAR 영상과 그렇지 않은 SAR 영상에 대해 무감독분류기법을 적용한 결과 복사왜곡이 보정된 SAR 영상의 경우에 분류정확도가 높음을 알 수 있었다.

참고문헌

1. Leberl, F. Radiogrammetric Image Processing, Artech House, 1990, 1-19.
2. 국방과학연구소, 위성영상을 이용한 3차원 정사투영영상 생성법에 관한 연구, 기초연구과제 2단계 중간보고서, 1996, 10-12.
3. 손흥규, 정 수, 유복모, "헤더파일에 포함된 위치추산자료를 이용한 ERS-1 지상거리 SAR 영상의 지형보정," 대한토목학회논문집, 제17권, 제III-1호, 1997, 81-90.
4. 정 수, 손흥규, 유복모, "Radarsat 위성 SAR 자료의 엄밀 지형보정에 관한 연구," 대한토목학회논문집, 제17권, 제III-3호, 1997. 239-247.
5. Radarsat International, Radarsat Illuminated : Your Guide to Product & Service, Preliminary version 07195, 1996.
6. Leberl, F. Radiogrammetric Image Processing, Artech House, 1990, 165-187.
7. Kwok, R., J. C. Curlander, S.S. Pang, "Rectification of Terrain Induced Distortion in Radar Imagery," P.E. & R. S., 53(5), 1987, 507-513.
8. Leberl, F., G. Domik, J. Raggam, M. Kobrick, "Radar Stereomapping Techniques and Application to SIR-B Images of Mt. Shasta," IEEE Trans. Geoscience and Remote Sensing, GE-24, 473-481.
9. J. Ronald Eastman, Idrish for Windows User's Guide Version 2.0, Clark Labs for Cartographic Technology and Geographic Analysis, Clark University, 1997, 11_20-11_23.