

## 지표면 별 영상잡음과 영상질감을 이용한 SAR 클러터 영상 생성

권순구<sup>†</sup> · 오이석

홍익대학교 전자정보통신공학과

### SAR Clutter Image Generation Based on Measured Speckles and Textures

Soon-Gu Kwon<sup>†</sup> and Yisok Oh

Department of Electronic Information and Communication Engineering, Hongik University

**Abstract :** In this paper, synthetic aperture radar (SAR) clutter images are simulated based on the extensive analyses for radar backscatter characteristics of various earth surfaces, and the simulated images are compared with measured SAR images. At first, the surface parameters including soil moisture content and surface roughness parameters and other parameters for vegetation canopies are measured for various surfaces. The backscattering coefficients for the surfaces are computed using theoretical and empirical models for surface scattering and the radiative transfer for vegetation-canopy scattering. Then, the digital elevation map (DEM) and land cover map (LCM) are used for the SAR image generation. The SAR impulse response (correlation function) is also employed to simulated reliable SAR images. Finally, the appropriate speckle and texture parameters for various earth surfaces are used for generating the SAR clutter images.

**Key Words :** SAR image, DEM, LCM, Texture, Speckle, Correlation.

**요약 :** 본 논문에서는 다양한 종류의 지표면에 대하여 분석하여 산란 특성을 연구하고 SAR 클러터 영상을 제작하고 실제 SAR 클러터 영상과 비교한다. 먼저 지표면의 특성을 분석하기 위해 각각의 지표면에 대해서 입력변수를 측정한다. 측정된 데이터를 이용하여 Oh 모델, PO 모델, radiative transfer model (RTM)을 이용하여 각도 별 산란계수를 구하였다. SAR 영상 생성을 위해 먼저 측정 지역의 DEM (digital elevation map)과 LCM (land cover map)데이터를 제작한다. DEM 데이터의 단일 픽셀(pixel)의 높이 정보를 이용하여 픽셀의 입사각을 계산하고 입사각에 따른 해당 지표면의 산란 계수를 대입한다. LCM 데이터는 해당 지역의 답사를 통해 논, 밭, 산, 길, 인공물 등을 1:5000 지도에 기입하여 SAR 영상 생성에 사용한다. DEM 데이터와 LCM 데이터를 사용하여 입사각과 지표면 종류에 따른 계수를 계산하고 영상잡음 (speckle)과 영상질감(texture)을 이용하여 SAR 클러터 영상을 생성하고 실제 영상과 비교한다.

접수일(2009년 8월 12일), 수정일(1차 : 2009년 9월 1일), 게재확정일(2009년 9월 1일).

<sup>†</sup> 교신저자: 권순구(soongu-kwon@mail.hongik.ac.kr)

## 1. 서론

합성 개구 레이더(SAR: Synthetic aperture radar)를 이용한 원격 탐사를 통해 지표면의 수분함유량, 물 순환 상태 등과 같은 지표면의 정보를 파악하여 기상예측의 정확도를 높이고, 홍수, 가뭄과 같은 자연재해를 미리 예측하는 노력이 계속되고 있다(Entekhabi *et al.*, 2004). 이러한 노력으로 후방 산란 특성을 통해서 숲, 논, 밭 등 식물 층의 다양한 정보를 알아내는 것이 가능해졌다(Sarabandi, 1993).

이러한 정보는 측정된 SAR 데이터와 산란 모델을 이용한 시뮬레이션 데이터를 비교하여 일치하는 값의 입력변수들을 역산을 통해 알아낼 수 있다. 산란 모델에는 표면에 대한 이론 산란 모델인 physical optics(PO) 모델, geometrical optics(GO) 모델과(Ulaby *et al.*, 1982), integral equation method(IEM)와(Fung, 1994; Fung *et al.*, 1992), 실험에 의한 산란 모델인 Oh 모델 등이 있으며(Oh *et al.*, 2002), 식물 층과 같이 수많은 매체들로 이루어진 지표면을 계산하는 radiative transfer method(RTM) 등이 있다(Ulaby and Elachi, 1990; Ulaby *et al.*, 1990).

SAR 영상을 이용하여 지표면 상태 정보를 추출하기 위해서 SAR 클러터 영상을 예측하는 것은 빠질 수 없는 부분이다. 하지만 현재까지 SAR 클러터 영상을 예측, 즉 영상 생성에 관한 연구가 활발하지 못한 실정이다. 기존의 연구 중 AirSAR로 실시한 Pacific-Rim Experiment-2 (RACRIM2)에서 얻은 논산 지역의 영상을 이용하여 SAR 측정값과 산란모델 계산 결과를 비교하고 DEM(digital elevation map), LCM(land cover map)을 이용하여 20m×30m 해상도의 SAR 영상 생성에 적용하여 영상을 예측하였다(정구준 외, 2005). 하지만 radar impulse response를 이용하지 않고, 영상잡음을 임의의 값으로 사용하였으며, 영상질감을 이용하지 않았다.

본 논문에서는 SAR 영상 생성을 위해 먼저 측정 지역의 DEM, LCM 데이터를 생성하였다. DEM 데이터의 단일 픽셀의 높이 정보를 이용하여 픽셀의 입사각을 계산하였고 입사각에 따른 해당 지표면의 산란 값을 대입하였다. LCM 데이터는 해당 지역의 답사를 통해 논, 밭, 산, 길, 인공물 등을 1:5000 지도에 기입하였고 지

도를 스캔, 프로그래밍 하여 원하는 해상도의 텍스트 파일로 저장하여 SAR 클러터 영상 생성에 사용하였다. DEM 데이터와 LCM 데이터를 사용하여 입사각과 지표면 종류에 따른 산란 값이 적용된 SAR 영상을 생성하였다. 그 다음 SAR impulse response를 적용하고 각각의 지표면에 따라 측정된 영상잡음과 영상질감 정보를 이용하여 실제 영상과 유사한 영상을 제작하였다.

입력변수의 측정은 2007년 8월 한 달 동안 김포지역에서 길, 밭, 논, 산 등을 측정하였다. 입력변수로는 지표면의 상태와 식물의 특성으로 크게 나눌 수 있다. 지표면의 상태로는 지표면의 수분함유량, 표면 거칠기가 있고 수분함유량을 통해서 후방 산란 특성의 중요한 성분인 유전율을 계산할 수 있다. 표면 거칠기의 변수로는 유효 높이(rms height), 표면 상관 길이(correlation length)와 상관 함수(correlation function)가 있다(Ulaby *et al.*, 1982; Fung, 1994). 그리고 식물의 특성을 나타내는 입력변수로는 크게 줄기, 가지, 잎으로 나누어 각각의 길이, 지름, 두께, 그리고 밀도와 모양, 기울어진 각도와 이들의 분포 상태 등이 있다. 위의 입력변수를 이용하여 Oh 모델, PO 모델, RTM 모델 등을 이용하여 산란계수 값을 계산하였다.

## 2. 산란계수 정보 수집

중심주파수가 1.27GHz인 JAXA(Japan Aerospace Exploration Agency) ALOS(Advanced Land Observing Satellite) 위성의 PALSAR(Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar) FBD(Fine Beam Double) mode 영상을 사용하여 각각의 지표면의 후방산란계수를 계산하였다. 촬영날짜는 2008년 6월 22일이고 HH-편파, 픽셀 해상도 12.5m인 1.5레벨 영상이다. 영상에서 맨땅, 물, 논, 산, 강, 마을, 늪을 각각 50×50 픽셀로 선정하여 각 영역의 후방산란계수와 영상잡음, 영상질감을 계산하였다. PALSAR 영상 데이터는 공간좌표 왜곡이 보정된 1.5 레벨 영상을 사용하였으며, 1.5 레벨 영상의 데이터는 각 픽셀의 값이 크기를 나타내고, 그 값과 후방산란계수와의 관계는 다음과 같다(Rosenqvist and Shimada, 2007).

$$\sigma = 10 \times \log_{10}[A^2] + CF \quad (1)$$

식 1에서 A는 1.5 레벨 영상 데이터의 픽셀의 값이고, CF는 상수 값으로 -83.0dB이고 이 상수의 표준편차는 0.64dB이다. 영상잡음은 해당 지역 산란계수 분포의 표준편차를 이용하여 계산하였다. 영상질감은 산란계수로 부터 다음처럼 상관 함수를 이용하여 계산하였다.

$$p(r) = \frac{\sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N z_i z_j + 1}{\sum_{i=1}^N z_i^2} \quad (2)$$

영상질감은 상관 함수의 크기가 1/e가 되는 변위 r의 길이를 말한다(오이석, 홍진영, 2006). 계산된 산란계수 평균과 영상잡음, 영상질감을 Table 1에 정리하였다. 그 결과 후방산란계수는 마을이 가장 높게 나왔으며 영상잡음 역시 가장 높은 값을 보였다. 산의 경우 두 번째로 높은 후방산란계수를 보였으며 영상질감은 가장 높은 값을 보였다. 강의 특성상 후방산란계수가 가장 낮고 영상잡음과 영상질감도 낮은 값을 보였다. 논은 경우 6월 22일 현장에서의 논에 물을 채워 넣은 상태이기 때문에 강과 비슷하거나 논 주변 길, 전봇대의 영향으로 강보다 조금 더 높은 후방산란계수, 영상잡음, 영상질감을 보였다. 맨땅은 밭 지역을 이용하였고 6월 22일 작물이 자라기 시작하는 시기이므로 작물의 영향을 고려하지 않고 맨땅으로 가정하였다. 늪 지역은 물 댄 논과 유사한 후방산란계수, 영상잡음을 보였으며 영상질감은 상대적으로 높은 값을 보였다.

SAR 클러터 영상에서 계산된 후방산란계수는 해당 영상의 입사각에서의 후방산란계수만을 계산할 수 있다. 그러나 산과 같은 지역에서는 픽셀마다 입사각이 달라서 모든 각도에 대한 후방산란계수를 알아야 한다. 각도 별 후방산란계수는 산란모델로 계산한다. 실제 측정 지역에서 수집한 입력변수를 이용하여 각도 별 후방산

란계수를 계산하고 SAR 클러터 영상에서 계산된 후방산란계수와 해당 각도에서 비교하여 검증하였다.

### 3. SAR 영상 생성

앞 장에서 계산하였던 각각의 지표면에 대한 산란계수와 PALSAR 영상에서 추출한 산란계수, 영상잡음, 영상질감을 이용하여 SAR 영상을 제작하였다. Fig. 1은 SAR 영상 제작의 순서도이다.

Fig. 2는 측정 지역인 김포지역의 광학 영상이다. 영상의 크기는 1km×1km이고 다양한 관측물들이 모여 있어 시뮬레이션에 용이하다.

Fig. 2 지역의 1:5000 실측 지도를 이용하여 DEM, LCM을 제작하였다. SAR 영상 생성을 위해서는 기본적

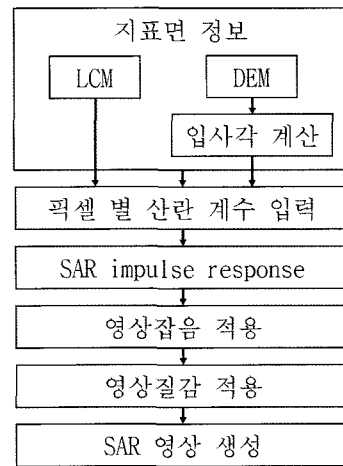


Fig. 1. Flow chart of SAR clutter image generation.



Fig. 2. Optical image of Kimpo area.

Table 1. Backscattering coefficient, speckle and texture of PALSAR image (2008.6.22)

	후방산란 계수(dB)	영상잡음(dB)	영상질감(pixel)
맨땅	-10.20	2.19	1.45
물 댄 논	-12.43	2.12	1.26
산	-6.48	2.46	2.01
강	-12.82	1.64	0.92
마을	-4.03	3.09	1.93
늪	-12.34	1.93	1.46

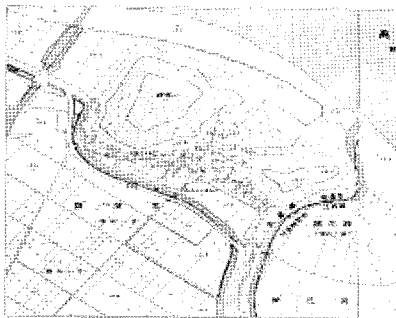
으로 DEM과 LCM이 필요하다. DEM은 측정 지역의 높이 정보로써 산, 언덕과 같이 경사가 있는 지표면에서는 입사각이 변하여 산란계수가 변하게 되기 때문에 중요한 정보이다. 입사각 외에도 높이의 차이는 여러 지형적인 왜곡을 일으킨다. Fig. 3(a)은 등고선 지도이고 Fig. 3(b)는 DEM 정보이다. 실제 지도의 등고선 높이 별로 높이 정보를 주고 해상도와 면적을 고려하여 실제 영상과 같은 크기의 픽셀로 조정한다. 여기서는 측정하고자 하는 지역의 면적 1km×1km에서 해상도가 12.5m인 PALSAR 영상을 이용하여 80×80픽셀의 영상을 제작하였다. 실제 지도를 이용하여 제작하였으므로 높이 해상도는 실제 지도와 같은 5m이다.

Fig. 3(b)의 등고선 정보를 이용하여 입사각을 계산한다. 한 픽셀의 입사각을 계산하기 위해서 근처 픽셀들을 이용하여 근사적으로 해당 픽셀 표면의 수직 방향 벡터  $\hat{n}_1$ 을 얻고, 위성으로부터 입사각 방향 벡터  $\hat{n}_2$ 와의 내적을 통해 두 벡터의 사이 각을 계산할 수 있고, 사이 각 만큼 보정된 입사각  $\theta_i$ 와  $\phi_i$ 를 픽셀 별로 계산할 수 있

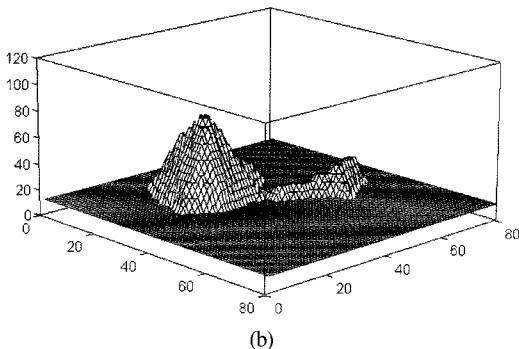
다. 여기서  $\theta_i$ 는 PALSAR에서 제공한 6월 22일 영상의 off-nadir 각인 에서 해당 지역에서 지구의 곡률 반지름 만큼 더해져서 38°이다.  $\phi_i$ 는 PALSAR의 inclination각을 이용하였다. Inclination각은 영상에서  $\phi$ 방향에 해당하는 각으로 위성마다 정해진 각으로 거의 일정하다. ALOS의 경우 98.16°이다. 이 각은 북서 축에서 에 해당하는 각이다. Fig. 4는 6월 22일 PALSAR영상에 대하여 계산된 국지 입사각이다.

LCM은 측정 지역의 지형 정보로써 눈, 밭, 산, 길, 강 등의 지표면을 구분 짓는 지도와 같은 역할을 한다. 지도상의 정보와 실제 지역의 정보가 다를 수 있으므로 현장조사를 통해 사실적인 LCM 정보를 만들었다. Fig. 5는 제작된 LCM 정보이다

제작한 DEM, LCM 데이터에서 각각의 지표면에 해당하는 국지 입사각의 산란계수 값을 대입하여 Fig. 6의 산란계수 데이터를 제작하였다.



(a)



(b)

Fig. 3. Generation of DEM data; (a) surveyed map of Kimpo area, (b) generated height information by contour.

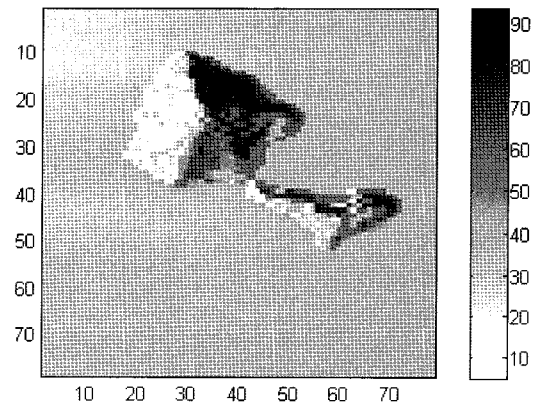


Fig. 4. Local incidence angle information.

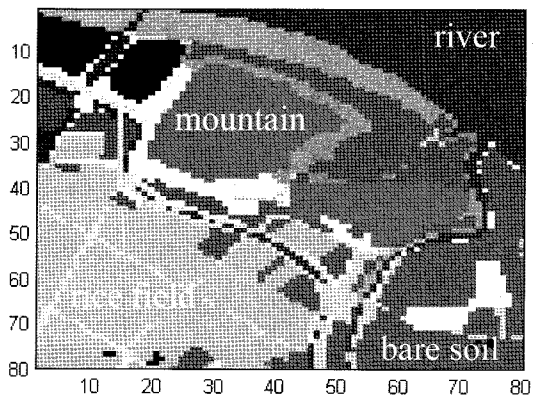


Fig. 5. LCM information.

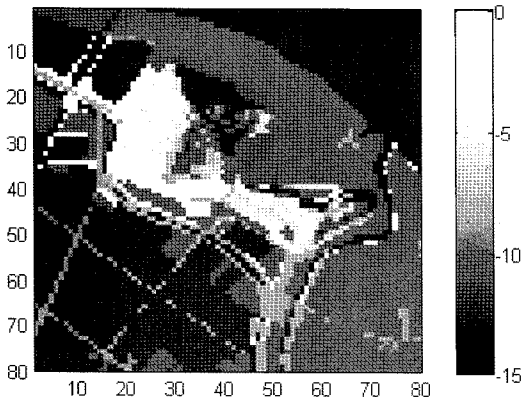
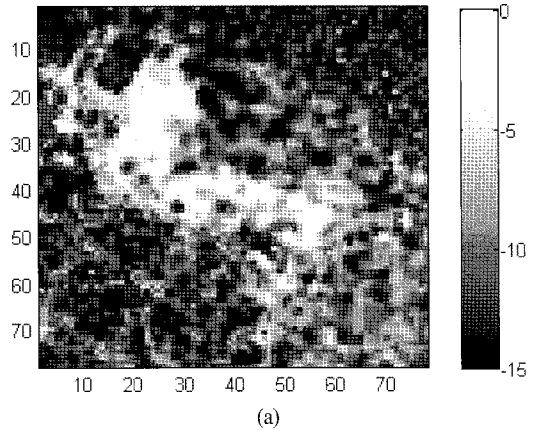


Fig. 6. Scattering coefficient information.



(a)

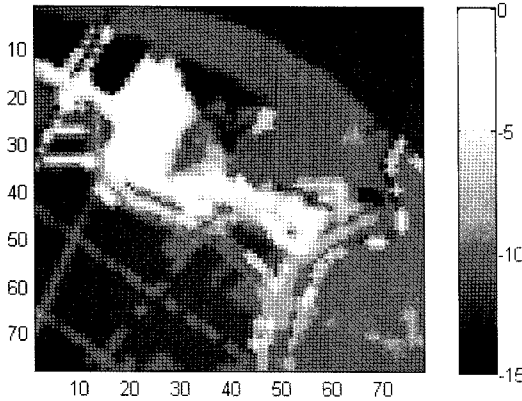
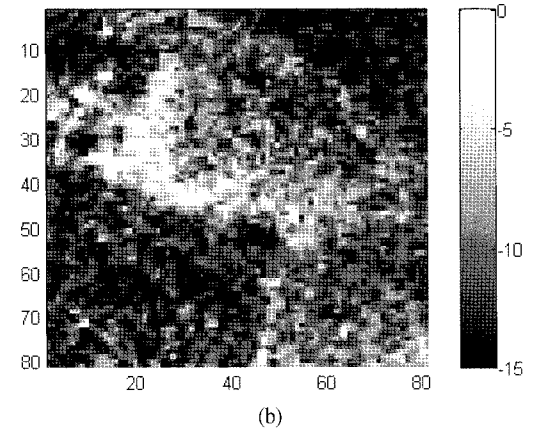


Fig. 7. Applied SAR impulse response.



(b)

Fig. 8. Comparison of generated image and ALOS PALSAR image; (a) Applied speckle and texture, (b) ALOS PALSAR image.

SAR 영상은 단일 픽셀의 산란계수 값이 시스템 특성에 따라 주변 픽셀에도 영향을 준다. Fig. 7은 Fig. 6에 SAR impulse response를 적용시킨 영상으로 특정 레이더 시스템에 대한 radar impulse response를 사용해야 하지만, 본 연구에서는 sinc 함수를 사용하였다.

Fig. 7에서 단일 지표면에 대해 단일 산란계수 값을 대입하였는데, 실제 SAR 영상에서는 단일 지표면이더라도 레이더 시스템 특성과 지표면 특성에 따라 영상잡음과 영상질감이 나타난다. 그러므로 Fig. 8에서 생성된 SAR 영상에 영상잡음과 영상질감을 적용하기 위해 Table 1에서 추출한 영상잡음과 영상질감을 이용하였다.

Fig. 8(a)는 최종적으로 생성된 영상이고 Fig. 8(b)는 공간좌표 왜곡 현상을 보정한 6월22일의 실제 PALSAR 영상이다. 두 그림을 비교한 결과 생성된 영상의 전체 평균 후방산란계수는  $-10.26\text{dB}$ 이고 영상잡음은  $3.06\text{dB}$  영상질감은  $2.95\text{픽셀}$ 이고 SAR 클러터 영

상의 평균은  $-10.62\text{dB}$ 이고 영상잡음은  $2.74\text{dB}$ , 영상질감은  $3.44\text{픽셀}$ 이다. 평균 후방산란계수는  $0.36\text{dB}$ 의 차이를 보였으며, 영상잡음은  $0.32\text{dB}$ , 영상질감은  $0.49\text{픽셀}$ 의 차이로 생성된 영상은 실제 SAR 클러터 영상과 유사한 값을 보였다.

Fig. 9(a)-(d)는 Fig. 8(a)에서 사용한 강, 물, 댐, 논, 맨땅, 산에 대한 생성된 지표면과 PALSAR 영상과 비교한 그림들이다. Fig. 9(a)는 강의 표면으로 영상질감이 상당히 낮아 영상 전체의 상관도가 낮은 것을 확인할 수 있다. 산의 경우 실제 영상은 산의 줄기의 영향으로 특정 부분의 상관도가 높지만 생성된 지표면 같은 경우는 random하게 생성되어서 전반적인 상관도가 높게 보이는 것을 확인할 수 있었다.

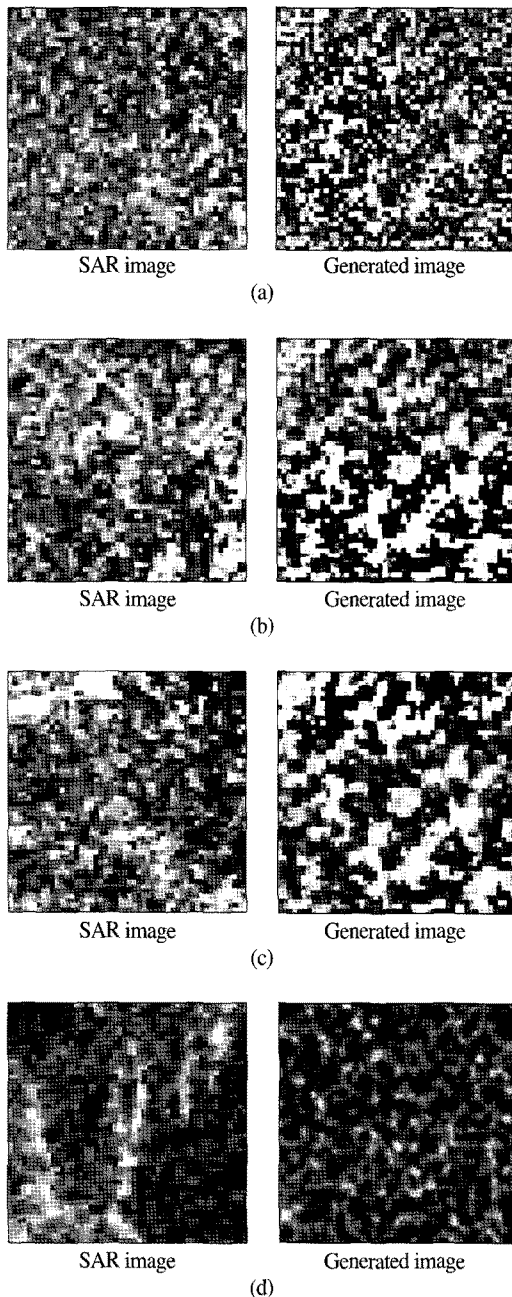


Fig. 9. Random number generation of surface image; (a) river, (b) irrigated rice field, (c) bare surface, (d) mountain.

#### 4. 결론

본 논문에서는 다양한 종류의 지표면에 대하여 분석하여 산란 특성을 연구하고 SAR 클러터 영상을 제작하고 실제 SAR 영상과 비교하였다. 산란모델을 이용하여

계산한 후방산란계수와 실제 SAR 영상에서의 후방산란계수를 비교하고 각도 별 후방산란계수를 얻기 위해서 실제 지표면의 입력변수를 측정하였다. SAR 클러터 영상 생성을 위해 측정 지역인 김포의 1km×1km 영역에서 PALSAR FBD 모드의 해상도인 12.5m를 적용하여 80×80 픽셀의 LCM과 DEM 데이터를 제작하였다. 제작된 데이터에 각각의 픽셀마다 해당하는 산란계수를 적용하였다. SAR impulse response와 실제 SAR 영상에서 추출한 영상잡음과 영상질감을 제작된 데이터에 적용시켰고 실제 SAR 영상과 비교하고 두 영상의 유사성을 확인하였다.

이러한 SAR 영상 생성 모델을 이용하여 SAR 클러터 영상을 미리 예측하여 실제 SAR 클러터 영상에서 지표면의 종류를 분류할 수 있고, 특정 지표면의 가뭄, 홍수, 식물의 건강상태 등 변화를 파악하는 것이 가능할 것으로 기대된다.

#### 감사의 글

SAR 데이터를 해석해준 홍익대학교 전파응용연구소의 이경엽과 SAR 데이터를 제공해준 일본 JAXA에 감사한다.

본 연구는 국방과학연구소 지원을 받는 KAIST 전파탐지연구센터와 한국과학재단의 2009년도 중견연구자 지원사업(No. 2009-0078929)의 도움으로 수행되었다.

#### 참고문헌

- 오이석, 홍진영, 2006. 토양 표면에서의 레이더 산란 계수와 표면 거칠기 측정 길이의 관계에 대한 이론 모델과 측정 데이터의 비교, 한국전자파학회, 17(12): 1181-1188.
- 정구준, 이성화, 김인섭, 오이석, 2005. 지표면의 SAR 영상 시뮬레이션 모델, 한국전자파학회, 16(6): 615-621.
- Sarabandi, K., 1993. Monte Carlo simulation of scattering from a layer of vertical cylinders, *IEEE Trans. antennas propag*, 41(4): 465-475.

- Fung, A. K., 1994. *Microwave Scattering and Emission Models and Their Applications*, Artech House, MA, Boston.
- Ulaby, F. T. and C. Elachi, 1990. *Radar Polarimetry for Geoscience Applications*, Artech House, Norwood, MA, USA.
- A. Rosenqvist and M. Shimada, 2007. ALOS PALSAR: A pathfinder mission for global-scale monitoring of the environment, *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, 45(11): 3307-3316.
- Ulaby, F. T., R. K. Moore, and A. K. Fung, 1982. *Microwave Remote Sensing*, Artech House, Norwood, MA, USA.
- Fung, A. K., Aongqian Li, and K. S. Chen, 1992. Backscattering from a randomly rough dielectric surface, *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, 30(2): 356-369.
- Oh, Y., K. Sarabandi, and F. T. Ulaby, 2002, Semi-empirical model of the ensemble-averaged differential mueller matrix for microwave backscattering from bare soil surfaces, *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, 35(11): 1348-1355.
- Ulaby, F. T., K. Sarabandi, K. McDonald, M. Whitt, and M. C. Dobson, 1990. Michigan microwave canopy scattering model, *Int. J. Remote Sensing*, 11(7): 1223-1253.
- D. Entekhabi, EG. Njoku, P. Houser, M. Spencer, T. Doiron, Kim, Y., J. Smith, R. Girard, S. Belair, W. Crow, T. J. Jackson, Y. H. Kerr, J.S. Kimball, R. Koster, K.C. McDonald, P.E. O'Neil, T. Pultz, S.W. Running, Shi, J., E. Wood, J. van Zyl, 2004, The hydrosphere state (hydros) satellite mission: An earth system pathfinder for global mapping of soil moisture and land freeze/thaw, *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, 42(10): 2185-2195.