

완전편파 SAR영상의 새로운 영상 분해 기법

이경엽 · 오이석[†]

홍익대학교 전자정보통신공학과

New Simple Decomposition Technique for Polarimetric SAR Images

Kyung-Yup Lee and Yisok Oh[†]

Department of Electronic Information and Communication Engineering, Hongik University, Seoul, Korea

Abstract : This paper proposes a new decomposition technique for polarimetric synthetic aperture radar (SAR) images. This new decomposition technique is based on the degree of polarization (DoP) and co-polarized phase-difference (CPD) of the measured polarimetric backscattering coefficients. This decomposition technique is compared with the existing three- and four-component decomposition techniques with the ALOS PALSAR full polarimetric L-band data acquired in 2009. It is shown that the new decomposition technique is better or comparable to the existing techniques for the study areas such as sea, bare soil, forest, and urban area.

Key Words : decomposition, SAR image classification technique, degree of polarization, co-polarized phase difference.

요약 : 이 논문은 편파화 정도(degree of polarization: DoP)와 동일편파 위상차이(co-polarized phase-difference: CPD)를 이용하여 완전편파 SAR 영상을 분해하는 새로운 기법을 제안한다. 이 영상 분해 기법을 검증하기 위해 2009년에 춘천 지역에서 얻은 ALOS PALSAR 완전편파 L-밴드 영상데이터를 이용하여 이 새로운 영상 분해 기법의 결과와 기존의 3-성분 분해방법과 4-성분 분해방법의 결과들과 비교한다. ALOS PALSAR 영상 자료의 바다, 맨땅, 산림 그리고 도심지역을 선정하여 새로운 DoP-CPD 영상 분해 기법을 적용한 결과, 제안된 영상 분해 기법의 정확도가 기존의 분해기법보다 높거나 유사함을 보인다.

1. 서론

SAR(Synthetic Aperture Radar) 영상에서 산란 성분을 분해하여 산란 특성을 알아내는 것은 SAR영상의 물리적인 해석에 있어서 중요한 요소가 된다. 특별히 SAR 시스템의 발전으로 인해, 최근에 이용 되는 SAR 위성 시스템은 기존에 단일 편파만을 측정하던 범주를

벗어나 완전 편파(HH, VH, HV, VV)를 모두 측정하고 이 정보를 제공하고 있다(Borner, 2003). 이러한 완전 편파로 구성 된 SAR 영상 자료는 단일 편파 자료보다 더욱 많은 정보를 제공하고 있어서 최근 연구에 더욱 활발하게 이용되고 있다(Ulaby and Elachi, 1990). 특히 영상 분해는 SAR 영상에서 산란 특성을 추출하는 것으로서, 기존의 단일 편파로는 알 수 없었던 산란 특성을

접수일(2009년 11월 14일), 수정일(1차 : 2010년 2월 19일), 게재확정일(2010년 2월 24일).

[†] 교신저자: 오이석(yisokoh@hongik.ac.kr)

완전 편파 자료를 이용하면 세 가지의 성분인 표면, 이중, 체적 산란으로 영상을 분해할 수 있고, 더욱 정확한 산란특성을 알 수 있게 된다(Cloude and Pottier, 1996).

산란행렬요소에서 얻은 coherency 행렬에 수학적 방법인 Eigen 해석법을 적용하여 엔트로피(H), 알파각(α), Anisotropy(A)를 계산하고, 이 변수들을 이용하여 영상 분해하는 방식들이 이용되어왔다(Cloude and Pottier, 1996; Lee *et al.*, 2008). 물리적인 산란모델 특성을 이용하여 완전편파 SAR 영상을 3-성분으로 해석하는 방식이 (van Zyl, 1989)와 (Freeman and Durden, 1998)에 소개된 이후로 이 방식이 많이 사용되어 왔고, 최근에는 (Yamaguchi *et al.*, 2005)에 의해 3-성분 분해방식의 단점을 보완하여 4-성분으로 분해하는 기법이 소개되기도 했다. Eigen분해방식은 수학적 해석과정을 거치는 과정에서 물리적인 현상과의 연결이 난해하고, 산란모델 특성 이용 방식들은 유도과정에서 다중산란 특성들을 무시하는 등의 많은 가정들을 포함하고 있어서 정확성에 의문이 있다.

물리적으로 직관적이고, 산란 특성에서 쉽게 얻을 수 있는 편파화 정도 (degree of polarization: DoP)와 동일편파 위상차이(co-polarized phase-difference: CPD)를 이용하여 완전편파 SAR 영상을 분석(classification)하는 방식이 최근에 소개되었고 (Oh, Lee, Jang, 2009), 본 논문에서는 이 편파화 정도와 동일편파 위상차이를 이용하여 완전편파 SAR 영상을 식별하는 방법을 소개한다. 완전편파 SAR 영상 데이터를 해석하여 실험적으로 얻은 이 방식은 적용이 쉽고, 정확성을 갖고 있다.

먼저 2장에서는 우선 DoP와 CPD를 소개하고, 이 변수들을 이용한 영상 분해 방식을 제안한다. 3장에서는 춘천 지역에서 얻은 Advanced Land Observing Satellite (ALOS) phased-array L-band SAR (PALSAR) 완전편파 영상데이터에 이 새로운 분해방식을 적용하여 그 정확성을 검증하고, 기존의 분해 방식과 비교한다. 4장에서는 본 연구의 결론을 기술한다.

2. DoP-CPD영상 분해 기법

완전편파 SAR에서 수신된 신호는 개별적으로 산란

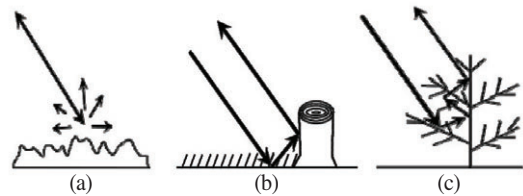


Fig. 1. Three scattering-mechanism model: (a) surface scatter, (b) double-bounce scatter (c) volume scatter.

된 마이크로파의 벡터 합으로 표현되고, 이 산란 전계를 이용하여 얻은 산란 행렬을 통해 직접 산란 특성을 규명하는 것에는 어려움이 있다. 따라서 coherency 행렬 T , covariance 행렬 C , 또는 Mueller 행렬 M 등의 신호전력(intensity)의 크기를 계산하고, SAR 영상 분해방식으로 산란 특성(scattering mechanism) 별로 수신신호 전력을 분해하여 SAR 영상의 pixel별 산란 매체 형태를 예측하게 된다. 이러한 영상 분해를 통해서 pixel 당 SAR 영상데이터를 여러 개의 산란성분에 대한 가중의 합으로 표현하여 SAR 영상에 대한 물리적인 특성을 해석하고, 지표면 상태를 추출하는데 용이하게 된다.

가장 대표적인 레이더 산란 특성을 Fig. 1에서 보인 것처럼 (1) 표면 산란(single-bounce scattering), (2) 이중반사 산란(double-bounce scattering), 과 (3) 체적 산란(volume scattering)으로 나눌 수 있다. 즉, 전체 전파세기를 다음처럼 나타낼 수 있다.

$$P_t = P_s + P_d + P_v \quad (1)$$

여기서 P_t , P_s , P_d , P_v 는 각각 전체 세기, 표면산란 세기, 이중반사 산란세기, 체적산란 세기를 나타낸다. 표면 산란은 강, 바다, 갯벌 등에서의 전파산란에서 대표적 산란특성이고, 이중반사 산란은 빌딩이나 나무 기둥처럼 dihedral reflector같은 반사가 이루어지는 전파산란이 있을 경우에 대표적인 전파산란 형태이며, 체적 산란은 숲처럼 잎과 줄기 등이 흩어져 무리를 이루는 경우의 대표적인 전파산란 형태이다.

전파의 편파화 정도(DoP)는 산란형태의 복잡도와 관련이 있다. 산란 형태가 간단한, 표면 산란이나 이중 산란에서 큰 값을 가지게 되어 '1'에 가까운 값을 가지고, 반대로 산란 형태가 복잡한 체적 산란에서는 낮은 값을 갖게 된다. 따라서 DoP는 표면 산란, 이중 반사 산란(single-bounce, double-bounce scattering)와 체적 산란을 선명하게 구분 짓는데 사용될 수 있다.

편파화 정도는 Stokes 변수들을 이용하여 다음처럼 계산할 수 있다 (Ulaby, Elachi, 1990).

$$DoP = \frac{\sqrt{Q^2 + U^2 + V^2}}{F} \quad (1)$$

여기서 산란전파의 Stokes 변수들인 F , Q^s , U^s , V^s 는 다음으로 정의된다.

$$\bar{F}^s = \begin{bmatrix} F^s \\ Q^s \\ U^s \\ V^s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \langle |E_h^s|^2 \rangle + \langle |E_v^s|^2 \rangle \\ \langle |E_h^s|^2 \rangle - \langle |E_v^s|^2 \rangle \\ \langle 2\text{Re}(E_h^s E_v^{s*}) \rangle \\ \langle 2\text{Im}(E_h^s E_v^{s*}) \rangle \end{bmatrix} \quad (2)$$

위 식에서 E_h^s 와 E_v^s 는 각각 수평편파와 수직편파의 산란 전계(electric fields)를 의미하며 다음과 같이 입사 전계와 산란행렬로부터 얻을 수 있다.

$$\begin{bmatrix} E_h^s \\ E_v^s \end{bmatrix} = \frac{e^{-jk_0 r}}{r} \begin{bmatrix} S_{hh} & S_{hv} \\ S_{vh} & S_{vv} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_h^i \\ E_v^i \end{bmatrix} \quad (3)$$

동일편파 위상차이(CPD)는 HH와 VV의 편파 위상차이로 산란체의 물리적인 형태를 설명 할 수 있다. 왜냐 하면, 표면 산란에서의 CPD는 0° 가까이 분포하게 되고, 이중 산란에서는 동일편파(HH와 VV-편파) 사이에 180° 의 값을 갖게 된다. 개별 산란체들의 CPD는 0° 에 가까운 값을 갖지만, 이 산란체들이 지면 위에 있을 경우에는 (예를 들어, 숲) 지면과의 이중반사 산란도 존재하므로 체적산란의 경우에는 주로 0° 와 180° 사이에 CPD 값이 존재하게 된다. 이러한 특성을 고려하면 이 CPD 값도 영상 분해에 이용하기에 적합함을 알 수 있다. CPD는 $\Phi_c = \Phi_{hh} - \Phi_{vv}$ 로 정의되고 다음과 같이 계산할 수 있다 (Oh, Lee, Jang, 2009).

$$\phi_c = \tan^{-1} \frac{\langle \text{Im}(S_{hh} S_{vv}^*) \rangle}{\langle \text{Re}(S_{hh} S_{vv}^*) \rangle} \quad (4)$$

앞에서 설명한 것처럼 표면산란과 이중반사 산란은 multiple scattering 현상이 적고, 시간에 따라 산란 형태가 변하지 않으므로 depolarization 현상이 적어서 '1'에 가까운 높은 DoP 값을 갖게 된다. 반면에 무성한 나무 숲과 같은 경우에는 체적산란으로 분류될 수 있고, 난반사가 많고, 바람의 영향 등으로 시간에 따른 전파산란 특성 변화에 의해 depolarization이 심해져서 DoP

가 '1'보다 작은 값에서 분포하는 것을 알 수 있다. 따라서 체적 성분 P_v 는 전체 파워 P_t 에서 DoP를 이용하여 분해할 수 있다. DoP-CPD 영상 식별(Oh, Lee, Jang, 2009)을 통해 DoP 값이 0.4 이하의 값은 거의 나타나지 않는 것을 확인 할 수 있고, 존재 하는 0.4 이하의 값들은 복잡한 산림 층 지역에서만 나타나기 때문에, 완벽히 체적 성분이 대표 값이 된다. 그래서 DoP를 통해 P_v 를 분해 하기 위해 $Dop \leq 0.4$ 이면 $\alpha=0$, $Dop > 0.4$ 이면 $\alpha = (Dop - 0.4) \cdot (1/1 - 0.4)$ 로 표현한다. 이 식을 통해 α 는 DoP가 0.4와 1 사이의 값을 가질 때 0부터 1까지의 선형적인 값을 가지게 된다. 그래서 P_v 는 P_t 에 $(1 - \alpha)$ 를 곱해주어 다음과 같은 식으로 표현 할 수 있다.

$$P_v = P_t \cdot (1 - \alpha) \quad (5)$$

표면산란이나 이중반사 산란의 경우 DoP 값이 '1'에 가깝게 존재하기 때문에 α 도 '1'에 가까운 값을 가지게 되어 체적 성분의 값이 거의 나타나지 않지만, 반대로 산림 지역과 같이 DoP 값이 낮게 되면 α 가 '0'에 가까운 값을 가지기 때문에 체적 성분인 P_v 가 크게 나타나게 된다. 이러한 방식으로 P_v 를 구하고 나면, P_v 를 제외한 산란세기 P_{sd} 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_{sd} = P_s + P_d = P_t \cdot \alpha \quad (6)$$

앞서 설명했듯이 표면 산란과 이중반사 산란 사이에는 CPD의 값에서 180° 차이가 있게 된다. CPD 크기의 범위가 $0^\circ \leq |\phi_c| \leq 180^\circ$ 이고, 이중반사 산란의 경우에는 CPD 크기($|\phi_c|$)가 180° 임을 고려하여 이중반사 산란의 성분 P_d 은 P_{sd} 에 $|\phi_c|/180$ 를 곱해줌으로써 대략적으로 다음처럼 구할 수 있다.

$$P_d = P_t \cdot \alpha \cdot \frac{|CPD|}{180} \quad (7)$$

예를 들어, P_{sd} 에서 이중반사 산란만 존재할 때에는 $|CPD|=180$ 이 되어 $|\phi_c|/180$ 항이 1이 되고, P_{sd} 에서 이중반사 산란이 없을 때에는 $|\phi_c|/180$ 항이 '0'이므로, 선형적 대략을 이용한 것이다. 따라서 표면산란 경우의 전파산란 세기는 다음 식으로 표현 할 수 있다.

$$P_s = P_t \cdot \alpha \cdot \frac{180 - |CPD|}{180} \quad (8)$$

레이더 산란 모델의 특성을 분석한 후에 DoP와 CPD만을 이용하여 직관적이고 선형적인 방식으로 전파산란

세기를 분해하였고, 위 식들 (5), (7)과 (8)은 각각 체적 산란 세기 (P_v) 이중반사 산란 세기 (P_d), 표면 산란 세기 (P_s)를 표현하고 있으며, 합하면 전체 산란세기인 세기 P_t 가 됨을 알 수 있다.

3. 정확성 검증과 비교 분석

이 논문에서 제안된 SAR영상 분해 기법을 적용하고 검증하기 위해 2009년 4월에 춘천 지역에서 촬영된 ALOS PALSAR의 SLC(Single Look Compression) 완전 편파 자료를 활용하였다(Rosenqvist and Shimada 2007). SLC 자료는 range 방향보다 azimuth방향에서 더 높은 해상도의 영상을 가지게 되므로 영상 분해 알고리즘을 적용하기 전에 speckle 잡음을 제거하고 range 방향과 azimuth방향의 해상도를 대략적으로 맞추기 위해 azimuth 방향 1x8 픽셀의 윈도우로 multilooking을 적용하였다. 이 완전편파 SAR 영상에 본 논문에서 제안한 새로운 DoP-CPD 영상분해법을 적용했을 뿐만 아니라 이 방법의 정확도를 검증하기 위해 기존의 3-성분과 4-성분 영상분해 법들(Lee and Pottier, 2009)을 같은 영상에 적용하여 그 결과들을 비교하였다.

3-성분 분해 기법에서는 우선 표면산란에 대해 다중 산란을 무시하고 동일편파 항만 존재한다고 가정하여 다음처럼 가정하고(Freeman and Duren 1998),

$$[S_s] = \begin{pmatrix} R_H & 0 \\ 0 & R_V \end{pmatrix} \quad (9)$$

표면 산란에 대해 다음과 같은 covariance 행렬 형태로 표현한다(Lee and Pottier, 2009).

$$[C_s] = f_s \begin{pmatrix} \beta^2 & 0 & \beta \\ 0 & 0 & 0 \\ \beta & 0 & 1 \end{pmatrix}, f_s = |R_V|^2, \beta = \frac{R_H}{R_V} \quad (10)$$

여기서 R_H 와 R_V 는 수평, 수직에 대한 반사계수이다. 그리고 이중 산란에 대해서도 유사하게 다음과 같은 산란 행렬로 표시한 후에,

$$[S_d] = \begin{pmatrix} R_{GH}R_{TH} & 0 \\ 0 & -R_{GV}R_{TV} \end{pmatrix} \quad (11)$$

다음과 같은 covariance 행렬 형태로 표현한다.

$$[C_d] = f_d \begin{pmatrix} \alpha^2 & 0 & -\alpha \\ 0 & 0 & 0 \\ -\alpha & 0 & 1 \end{pmatrix}, f_d = |R_{GV}R_{TV}|^2, \alpha = \frac{R_{GH}R_{TH}}{R_{GV}R_{TV}} \quad (12)$$

여기서 R_{GH} 와 R_{GV} 는 수평면에 의한 수평과 수직의 반사 계수이고, 반대로 R_{TH} 와 R_{TV} 는 수직면에 의한 수평과 수직의 반사 계수이다. 3-성분 분해 방식에서 체적 산란에 대해서는 작은 실린더들이 분포된 층에서의 산란되는 형태를 가정하여, 실린더 각도에 대해 적분을 수행하여 다음과 같은 covariance 행렬로 표현한다.

$$[C_v] = f_v \begin{pmatrix} 1 & 0 & 1/3 \\ 0 & 2/3 & 0 \\ 1/3 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (13)$$

앞에서 표현한 세 개의 행렬 식 (10), (12), (13)을 합하여 정의된 covariance 식에 대입하여 변수 5개($f_s, f_d, f_v, \alpha, \beta$)에 대해 4개의 관계식을 얻는다. 관계식보다 변수가 하나 더 많은 관계로 정확한 답을 얻지 못하고, 한 개의 변수를 1로 가정한 후에 나머지 변수를 얻게 된다(Lee and Pottier, 2009). 그 결과로 전체의 산란 파워를 각각의 산란 성분으로 다음처럼 분해 할 수 있다.

$$P = f_s(1 + |\beta|^2) + f_d(1 + |\alpha|^2) + 8f_v/3 = P_s + P_d + P_v \quad (14)$$

위에서 소개한 3-성분 영상 분해 기법은 유용하고 효과적으로 영상을 분해 할 수 있고, 좋은 결과를 선보인다. 그러나 이 영상 분해 기법은 $\langle S_{HH}^* S_{HV}^* \rangle \approx \langle S_{VV}^* S_{HV}^* \rangle \approx 0$ 의 조건에서만 해석이 가능하다. 최근에 Yamaguchi, et al. (2005)에 의해 $\langle S_{HH}^* S_{HV}^* \rangle \approx \langle S_{VV}^* S_{HV}^* \rangle \neq 0$ 의 조건에서도 영상을 분해 할 수 있는 알고리즘을 제안하였다. 이 영상 분해 기법은 기존의 세 성분에 helix 성분을 추가하여 4-성분을 이용하기 때문에 4-성분 영상 분해 기법이라고 한다. Helix 성분은 다음과 같은 산란 행렬로 표현되어 교차편파 성분을 추가하게 되어 3-성분 분해방식보다 적용범위를 넓혀준다(Yamaguchi, 2005).

$$[S_{LH}] = \frac{1}{2} \begin{pmatrix} 1 & j \\ j & -1 \end{pmatrix} \text{ and } [S_{RH}] = \frac{1}{2} \begin{pmatrix} 1 & -j \\ -j & -1 \end{pmatrix} \quad (15)$$

그림 2(a)는 PALSAR 영상을 얻은 실험지역의 항공 사진을 보여주고 있고 (오른쪽 방향이 북쪽임), 그림 2(b)는 이 지역에 대한 완전편파 영상에 DoP-CPD 영상분해 알고리즘을 적용하여 P_s 에 청색(blue)을, P_d 에

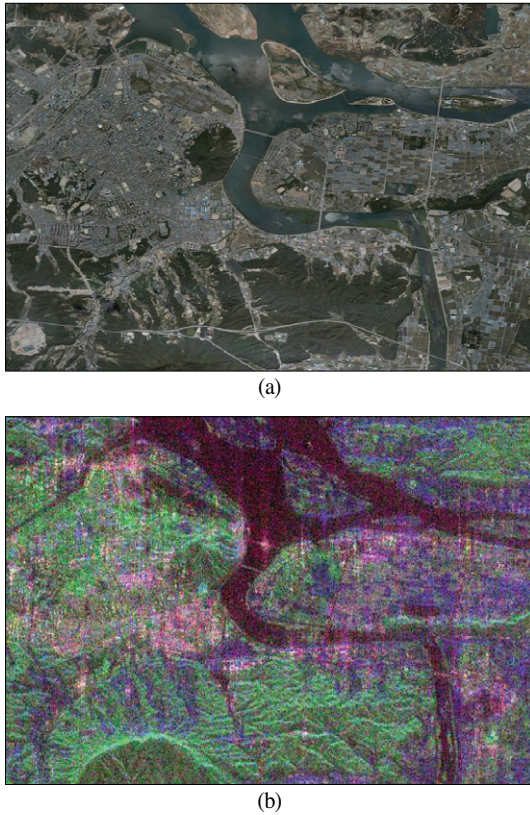


Fig. 2. Application of the new algorithm to the PALSAR image of Choon-chun area; (a) Aerial photo and (b) DoP-CPD decomposition with Ps (blue), Pd (red), Pv (green).

는 적색(red)을, Pv에는 녹색(green)을 부여하여 칼라-코드화한 영상분해 사진을 보여주고 있다. 그림 2(b)에서도 도시 지역에는 이중반사 산란이 많기 때문에 적색이 보이며, 하단(동쪽)의 산림지역은 녹색 쪽임을 볼 수 있다.

표 1은 새롭게 제안된 DoP-CPD 영상분해 알고리즘을 앞서 설명한 ALOS PALSAR 자료에 적용하고, 강, 맨땅, 산림, 도심지역에 대해 각 지역의 수신전파 세기 Pt를 Pv, Ps 와 Pd로 분해한 정량적 결과를 보여준 것이다. 이 특정 지역에서 도심지역의 후방산란계수

Table 1. Average Backscatter Values Results of The New DOP-CPD Decomposition Technique

	CPDI [deg.]	DoP	Pt [dB]	DoP-CPD Decom. [dB]		
				Pv	Ps	Pd
River	15.6	0.93	-4.8	-17.5	-5.6	-17.9
Bare soil	17.7	0.91	-2.5	-14.8	-3.4	-15.4
Forest	83.9	0.64	0.52	-3.2	-5.7	-11.8
Village	160.7	0.89	4.7	-6.4	-0.3	-0.2

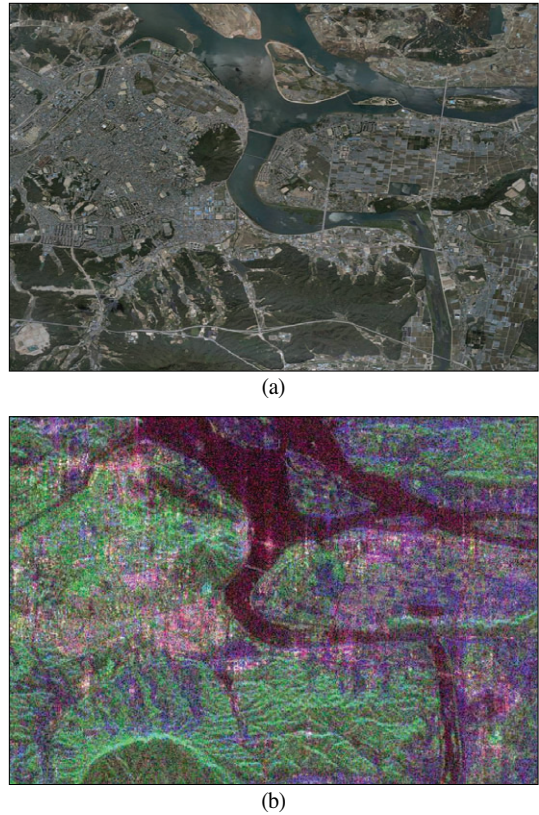


Fig. 3. SAR image decomposition with (a) 3-component and (b) 4-component decomposition techniques with Ps (blue), Pd (red), Pv (green).

(Pt=4.7 dB)가 제일 높고, 산림과 맨땅의 순서이며, 강이 제일 낮은 것(Pt=-4.8dB)을 볼 수 있다. 표 1은 또한 |CPDI|와 DoP 값을 보여주고 있으며, 강과 맨땅의 표면 산란은 0° 쪽인 반면에 도심지역은 180° 쪽이고, 산림지역은 그 중간 정도의 값을 갖고 있다. 한편 DoP 값은 산림지역만 낮은 값을 가지고 다른 지역은 유사하게 1에 가까운 것을 알 수 있다.

그림 3과 표 2는 기존의 3-성분 4-성분 영상 분해법들(Lee and Pottier, 2009)을 이용하여 SAR 영상을 분

Table 2. Average Backscatter Values Results of The Existing Decomposition Techniques for The Same Areas

	3-com. decom. [dB]			4-com. decom. [dB]			
	Pv	Ps	Pd	Pv	Ps	Pd	Pc
River	-13.2	-6.1	-15.3	-12.4	-6.0	-20.3	-17.8
Bare soil	-10.3	-4.0	-12.9	-10.0	-3.7	-17.3	-15.2
Forest	-0.26	-4.4	-6.38	-0.28	-2.77	-7.42	-6.76
Village	-2.6	-0.6	0.2	0.2	0.2	-0.5	-3.9

해한 결과를 보여주고 있다.

표 1, 2를 통하여 세 개의 영상분해 기법 모두 비교적 정확하게 영상을 분해 하는 것을 확인 할 수 있다. 4개의 각 영역에서 가장 주요한 산란 성분의 파워가 전체 파워 $P(\text{total})$ 와 근접한 값을 나타내는 것을 알 수 있다. 바다 지역에서 가장 주요한 성분인 표면 산란의 파워가 3-성분 영상분해기법은 -6.05dB , 4-성분 영상 분해 기법은 -5.97 , DoP-CPD 영상 분해는 -5.58 로서 전체 파워가 -4.84 dB 임을 보았을 때 상당히 유사함을 알 수 있다. 그리고 주요 성분이 아닌 이중과 체적 산란의 파워는 상대적으로 훨씬 낮은 값을 보이고 있음을 알 수 있다. 바다와 동일하게 표면 산란이 대표적인 맨땅에서도 비슷한 결과를 확인 할 수 있다. 그래서 표면 산란이 주요한 지역에 대한 영상 분해에서는 DoP-CPD 영상 분해 기법이 다른 두 개의 영상 분해보다 P_s 가 P_d , P_v 와 더 확실한 차이를 보임으로서 보다 좋은 영상 분해 결과가 나타남을 볼 수 있다. 그리고 산림지역을 적용하면 가장 주요한 성분인 체적 성분인 P_v 가 가장 크게 나타남을 모든 영상 분해에서 확인 할 수 있다. 특히 체적 산란 분해에는 3-성분 영상 분해 기법이 가장 효과적으로 나타나는 것을 확인 할 수 있다. 마지막으로 도심 지역에서는 이중 산란인 P_d 의 값이 주요하게 되는데 그래서 3- 성분 분해와 DoP-CPD 분해에서 역시 가장 큰 성분이 P_d 임을 알 수 있다. 하지만 이중산란 파워인 P_d 와 더불어 표면 산란 P_s 와 체적 산란 P_v 의 파워도 상당히 큼을 알 수 있다. 이는 도심 지역에서 이중 산란뿐만 아니라 표면, 체적 산란들이 많이 나타나기 때문이고, 더 나아가 실제 건물들의 방향과 SAR의 비행 방향에 따라 주요한 산란 성분이 달라 질 수 있게 된다. 그래서 이러한 도심 지역에 대한 연구가 더 필요하다.

그리고 도심 지역에서의 4-성분 영상 분해에서는 P_d 의 값이 P_v 나 P_s 보다 적게 나오는 것을 확인 할 수 있다. 하지만 4-성분 영상 분해는 원래 한가지 또 다른 성분인 helix 성분이 존재하고 이 성분이 도심지역이나, 건물의 모서리에서 생기는 성분이라고 설명하고 있기 때문에 이 helix 성분인 P_c 를 이용함으로써 적은 파워를 나타내는 이중산란 P_d 에 대한 보정이 가능하게 된다. 표 1에서 확인 할 수 있듯이 helix 성분인 P_c 가 다른 지역보다 도심 지역에서 훨씬 크게 나타남을 알 수 있다.

4. 결론

DoP-CPD 를 이용한 새로운 영상 분해 알고리즘을 기존의 다른 영상 분해에 비해 상대적으로 아주 간단한 방법으로 영상을 분해할 수 있음을 보였고, ALOS PALSAR 자료에 적용하여 본 결과도 기존 분해법과 비교해 떨어지지 않고, 표면 산란의 경우 더욱 효과적임을 알 수 있다. 이번 연구에서는 L-band를 사용한 SAR 영상 자료를 사용하였는데 추후에 L-band뿐 아니라 다른 band를 사용하는 SAR 영상에도 적용하여 검증하도록 하고, 해도심 지역에 대한 산란 특성을 연구하여 도심 지역에 대한 영상 분해를 보완 하도록 한다.

사 사

저자들은 PALSAR 영상을 제공해 준 일본 Niigata 대학의 Yoshio Yamaguchi 교수와 JAXA에게 감사한다. 이 논문은 2007년도 한국학술진흥재단의 기초연구 지원 기초과학 (단독연구) 지원을 받아 연구 되었음 (KRF-2007-313-D00617).

참고문헌

- Boerner, W.-M, 2003. Recent advances in extra-wide-band polarimetry, interferometry and polarimetric interferometry in synthetic aperture remote sensing and its applications, *IEE Proceedings - Radar, Sonar and Navigation*, 150(3): 113-124
- Cloude S. R., and E. Pottier, 1996. A Review of Target Decomposition Theorems in Radar Polarimetry, *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, 34(2): 498-518.
- Elies P., B. Le Jeune, P. Olivard, J. Cariou, and J. Lotrian, 1997. The application of de-polarization analysis to polarimetric characterization and classification of metallic and dielectric samples, *J. Phys. D: Appl. Phys.* 30.

- Freeman A., and S. L. Durden, 1998. A Three-Component Scattering Model for Polarimetric SAR Data, *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, 36(3).
- Lee, J. S., en, Ainsworth, T. L., Kelly, J. P., and Lopez-Martinez, C., 2008. Evaluation and Bias Removal of Multilook Effect on Entropy/Alpha/Anisotropy in Polarimetric SAR Decomposition, *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, 46(10): 3039-3052.
- Lee, J. S., and E. Pottier, 2009, *Polarimetric Radar Imaging; From Basics to Applications*, CRC Press.
- Oh, Y., Lee, K. Y., Jang, G., 2009. New Unsupervised Classification Technique for Polarimetric SAR Images, *Korean Journal of Remote Sensing*, 25(3): 255-261.
- Rio V. S., J. M. Mosquera, M. V. Isasa, and M. E. Lorenzo, 2006. Statistics of the degree of polarization, *IEEE Trans. Antennas Propag.*, 54(7): 2173-2175.
- Rosenqvist, A., Shimada, M., Ito, N., and Watanabe, M., 2007. ALOS PALSAR: A Pathfinder Mission for Global-Scale Monitoring of the Environment, *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, 45(11): 3307-3316.
- Sinclair G., "The transmission and reception of elliptically polarized waves" *Proc. IRE*, 1950, pp.148-151.
- Ulaby F. T., and C. Elachi, 1990. *Radar Polarimetry for Geoscience Applications*, Artech House Remote Sensing Library.
- Ulaby F. T., K. Sarabandi, and A. Nashashibi, 1992. Statistical properties of the Mueller matrix of distributed targets, *IEE Proceedings-F*, 139(2): 136-146.
- Van zyl, 1989. Unsupervised classification of scattering behavior using radar polarimetry data, *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing.*, 27(1): 36-45.
- Yamaguchi, Y., Moriyama, T., Ishido, M., and Yamada, H., 2005. Four-component scattering model for polarimetric SAR image decomposition, *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, 43(8): 1699 - 1706.