

# C-밴드 다편파 지상 SAR 영상의 분류 결과

강문경<sup>1\*</sup>, 김광은<sup>1</sup>, 조성준<sup>1</sup>, 이훈열<sup>2</sup>, 이재희<sup>1</sup>

<sup>1</sup>한국지질자원연구원 광물자원연구본부

<sup>2</sup>강원대학교 지구물리학과

## 1. 서론

지상 SAR (Ground Based Synthetic Aperture Radar, GB-SAR) 시스템은 인공 위성 SAR와 달리 원하는 대상지역에 대한 신속한 이동 및 편리성이라는 장점을 갖는다. 이와 같은 특성으로 인해 SAR interferometry 기술을 적용하여 산사면, 눈 사태, 지반침하 지역 등 재해지역에 대한 변위 측정과 같은 활용연구들이 활발히 진행되고 있다. 또한 최근에는 SAR polarimetry 기술을 응용한 활용연구들에 관심이 높아지고 있다.

다편파 SAR (polarimetric synthetic aperture radar, POLSAR) 자료를 활용한 영상분류기술은 지표면의 정보 추출을 목적으로 하며, SAR polarimetry 기술 분야에서 매우 중요한 관심분야이다. 분류법은 감독 분류와 무감독 분류로 나누어지며, 감독 분류법은 현장참조자료를 확보하거나 영상 내 특성을 고려하여 수행되어진다. 무감독 분류법은 세 가지 범주로 나눌 수 있으며, 1) 물리적 산란특성의 고려 없이 통계적 특성에 기반 한 분류법, 2) 통계적 특성을 활용하지 않고 고유한 물리적 산란특성에 기반 한 분류법, 3) 통계적 특성과 물리적 산란특성 모두 고려한 분류법으로 구분된다.

POLSAR 영상 분류를 위한 대부분의 기법들은 특성벡터(feature vector)를 추출하기 위해  $3 \times 3$  다편파 공분산 행렬( $3 \times 3$  polarimetric covariance matrix)을 활용한다. 이때 특성벡터는 결합 가우시안 분포(joint

Gaussian distribution)를 나타내는 것으로 간주된다. 일반적으로 샘플 지역과 가우시안 분포의 클래스 중심 간의 거리를 측정 한 후 감독이나 무감독 분류기법을 적용 하게 된다. 초기 POLSAR 영상의 감독 분류 기법은 서로 다른 매체간의 선형 편파 성분의 강도, HH와 VV의 위상차나 비, 계수와 같은 편파대비에 기초하여 수행되어 졌으나 이후 다편파 영상의 모든 편파 정보(complete polarimetric information)를 활용하기 위한 연구기법들이 제안되어 활용 되고 있다.

Kong *et al.* (1988)은 원룩(single look) POLSAR 자료에 적용 가능한 다변량 복소수 가우시안 분포(multivariate complex Gaussian distribution)를 이용한 Bayes 분류기법을 제안하였으며, Lee *et al.* (1994)은 멀티룩(multilook) POLSAR 자료의 분류를 위한 Wishart 분류기법을 개발하였다. 일반적으로 POLSAR 자료는 스펙클 잡음(speckle noise)을 감소시키기 위해 멀티룩 과정을 수행하게 되는데 멀티룩 POLSAR 자료는 다편파 공분산 행렬로 표현되며, 이는 복소수 Wishart 분포(complex Wishart distribution) 특성을 갖는다.

이 연구에서는 한국지질자원연구원과 강원대학교에서 개발한 지상 SAR 시스템에서 취득된 C-밴드 POLSAR 영상을 활용한 영상분류 결과분석에 초점을 맞추었다. 분류법으로는 POLSAR 자료에 널리 활용 되는 주요 무감독 분류법 중 엔트로피 분해법(entropy based decomposition)에 기반 한 Wishart-H/alpha 무감독 분류법(Lee *et*

al., 1999a)과 Wishart 감독 분류법(Lee *et al.*, 1994)을 적용하였으며, 추출된 무감독 및 감독 분류 결과를 비교 고찰하였다.

## 2. 연구 방법

한국지질자원연구원과 강원대학교에서 개발한 지상 SAR 시스템은 C-밴드(5.3 GHz)와 X-밴드(9.65 GHz)에서 다편파 SAR 영상자료 취득이 가능하며, 이 연구에서는 2008년 11월 3일부터 5일 사이에 관측된 C-밴드 POLSAR 자료를 활용하였다. 취득된 영상자료의 해상도는 지상(range) 방향으로 0.75 m, 방위(azimuth) 방향으로 100 m 위치에서 0.5 m, 600 m 위치에서 3.4 m의 해상도를 갖는다. 사용된 영상자료는 한국지질자원연구원 내에서 시스템 성능평가를 위한 시험관측 자료로, 연구지역 내의 자연지물 및 인공지물의 분류 가능성 및 범위, 효율적 분석 기법 등을 검토하고자 하였다.

연구지역은 한국지질자원연구원 내의 작은 동산을 포함한 잔디밭 지역으로 동산 위에 식수된 나무들과 동산 주변의 지자기 관측함을 포함한 인공지물이 위치하고 있다. 또한 강한 산란 특성을 갖는 RCS (radar cross section) 참조용으로 한 변의 길이가 50 cm 인 삼면체(trihedral corner reflector) 형태의 고정산란체(permanent scatterer) 5개를 잔디밭 내에 설치하였다. 관측지점은 4층 건물 옥상으로, 지상 SAR 관측위치와 잔디밭 사이에 위치한 화단, 나무, 찻길에 영상지역에 포함되어 있다.

취득된 원시자료(raw data)는 강원대학교에서 개발한 'gbsar' 프로세서를 이용하여 SAR focusing 과정을 수행한 후 POLSAR 자료 분석용 소프트웨어인 'PolSARpro' 프로그램을 이용하여 일련의 다편파 영상분석 및 분류 과정을 수행하였다. SAR focusing 과정은 Deramp-FFT 알고리즘에 기초하여 처리되었다.

## 3. 연구 결과

Fig. 1은 POLSAR 자료의 색합성 방법 중 하나인 파울리(Pauli) 방식을 적용한 결과이다. 파울리 방식은 HH-VV 성분을 빨강(red), HH+VV 성분을 파랑(blue), HV 성분을 초록(green)에 대응시킨다. 색합성 영상에서 잔디밭 지역은 초록과 자홍(magenta)으로 나타나며, 주된 색상은 초록으로 표현되고 있는데, 이는 일반적으로 식생지역에서 표현되는 특성과 일치한다. Ps1에서 Ps5로 표기한 고정산란체는 백색(white)과 자홍색으로 표현되고 있으며, 이는 강한 산란 특성을 갖는 대상체에서 나타나는 특성과 부합된다. 백색으로 표현되는 지역은 편파 성분 모두에서 동일한 산란 값을 갖는 대상체를 의미한다. 자홍색으로 표현되는 지역은 빨강과 파랑의 혼합색으로, 이중반사(double bounce reflection) 특성과 연관된 HH-VV 성분과 표면산란(surface scattering) 특성과 연관된 HH+VV 성분을 모두 나타내는 지역으로 판단된다.

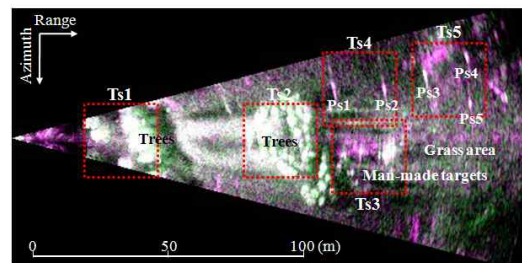


Fig. 1. The polarimetric Pauli color coded image of 1×4 multilook image (Red: HH-VV, Green: HV, Blue: HH+VV).

1×4 멀티룩 영상자료를 스펙클 필터링 과정 전후에 대해 무감독 및 감독 분류 과정을 수행한 후 분류 결과를 고찰하였다. 또한 스펙클 필터링 방법은 boxcar와 refined Lee 필터(Lee *et al.*, 1999b) 기법을 적용한 결과에 대해 고찰하였다. Boxcar 필터링은 전통적인 평균 필터 기법이며, refined Lee 필터는 기존의 필터링 방법들

이 갖는 퍼짐 현상(burring effect), 해상도 저하(resolution degradation)와 같은 단점을 보완하기 위해 제안된 방법이다.

Fig. 2는 Wishart-H/alpha 무감독 분류 결과이다. 이 연구에서 활용된 무감독 분류법은 H/A/alpha 분해법에 기초하며, H와 alpha에 기반하여 Wishart 분류 과정을 수행하게 된다. 활용된 무감독 분류법은 처리과정에서 사용되는 입력변수인 pixels switching class의 백분율 값, 반복횟수, 사용된 이동창 크기에 따라 분류 결과가 민감하게 변화되었다. 또한 H/A/alpha 분해 과정과 필터링 과정에서 사용되는 이동창의 크기가 매우 중요한 입력변수로 작용함을 알 수 있었다. 스펙클 필터링 과정과 H/A/alpha decomposition 과정의 이동창 크기는 7×7이 적합한 것으로 판단되었다. 이동창 크기가 3×3과 5×5인 경우는 영상 내의 세밀한 정보를 파악하는데 도움이 되나, 실제 무감독 분류 시 분류 정확도가 낮은 결과를 보였는데 이는 화소 간의 정보를 추출하기에 충분한 이동창 크기가 아닌 것으로 여겨진다.

Fig. 2(a)는 필터링 전 멀티룩 영상, (b)는 boxcar 필터, (c)는 refined Lee 필터를 적용한 후 처리된 무감독 분류 결과이다. Fig. 2(b)와 (c)에 도시된 필터링 후 분류 결과는 인공지물과 자연지물 간의 구별이 가능한 결과를 보이나, Fig. 2(a)의 필터링을 수행하지 않은 경우의 분류 결과는 인공지물과 자연지물의 분류가 이루어지지 않음을 볼 수 있다. 영상분류 처리 시 다양한 입력변수를 사용한 결과도 같은 특성을 보였으며, 무감독 분류 과정은 필터링을 수행 후 처리되어야 함을 알 수 있다. Fig. 2(b)와 (c)의 결과를 비교할 때 기존의 boxcar 필터를 적용한 경우보다 refined Lee 필터를 적용한 후 처리된 영상분류 결과가 상대적으로 퍼짐 현상의 감소와 해상도 향상과 같은 보다 나은 영상분류 특성을 나타냄을 볼 수 있다.

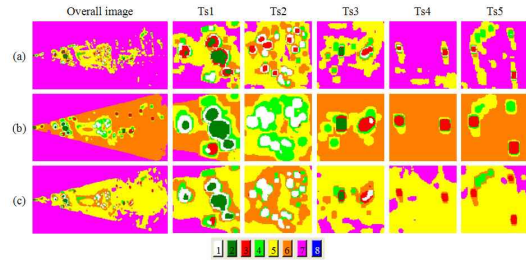


Fig. 2. Wishart-H/alpha unsupervised classification results: (a) 1×4 multilook image without speckle filtering, (b) 7×7 boxcar filter, (c) 7×7 refined Lee filter.

감독 분류는 컬러합성영상의 특성과 연구 지역 내 대상체 위치를 참고로 4개 클래스와 6개 클래스로 구분하여 수행되었다. 4개 클래스는 고정산란체(클래스 1), 인공지물(클래스 2), 나무(클래스 3), 잔디(클래스 4)로 구분하였으며, 6개 클래스는 나무 클래스를 활엽수(클래스 3), 관목(클래스 4), 침엽수(클래스 5)로 세분화하여 분류과정을 수행하였다. Fig. 3은 6개 클래스로 구분한 training set (Fig. 3(a))과 각 분류 클래스에 해당되는 실제 대상체의 사진을 도시한 그림이다.

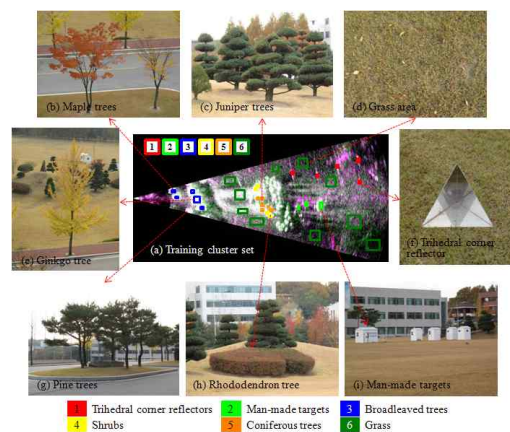


Fig. 3. The 6 training cluster set for Wishart supervised classification.

Fig. 4는 클래스를 4개와 6개로 나눈 감독 분류 결과이며, (a)는 1×4 멀티룩 영상자료의 스펙클 필터링을 적용하지 않은 분류결과이다. (b)는 boxcar 필터를 적용한

결과이고, (c)는 refined Lee 필터를 적용한 후 감독 분류를 수행한 결과이다. Fig. 5는 6개 클래스로 분류된 결과의 확대 영상이다. Fig. 4와 Fig. 5의 결과에서 보듯이, 스펙클 필터링을 수행한 후 영상분류를 처리한 결과가 필터링 처리 전 결과에 비해 대상체나 대상지역의 분류 정확도가 향상된 것을 볼 수 있다. Fig. 5(a)의 Ts2 지역에서 보듯이 필터링 전 영상 분류 결과에서는 대상체 경계에서 분류 정확도가 떨어짐을 확인할 수 있다. 또한 boxcar 필터보다 refined Lee 필터를 적용한 분류 영상이 무감독 분류 결과에서와 같이 퍼짐 현상의 감소, 해상도 향상 등의 특성을 보이고 있다.

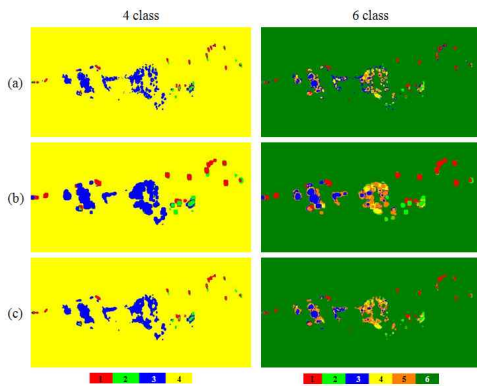


Fig. 4. Wishart supervised classification results: (a)  $1 \times 4$  multilook image without speckle filtering, (b)  $7 \times 7$  boxcar filter, (c)  $7 \times 7$  refined Lee filter.

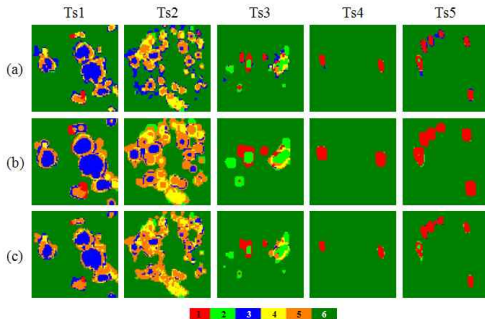


Fig. 5. The enlarged images of 6 class results.

무감독 분류와 감독 분류 결과를 비교해 볼 때, 무감독 분류는 처리과정 상의 입력 변수에 민감한 결과를 보였으며, 대상체의 분류 가능 범위는 인공지물과 자연지물의 구별 정도로 나타났다. 이 연구에서 활용한 엔트로피 기반의 분해법과 Wishart 분류법을 조합한 Wishart-H/alpha 무감독 분류법은 대상체의 물리적 산란 특성에 기초하나 영상의 세세한 분류 기법으로는 다소 한계를 보였다. 동일한 Wishart 분류법을 적용하는 Wishart 감독 분류 결과는 무감독 분류 결과에 비해 대상지역의 세밀한 분류 작업이 가능하였으며, 고정산란체와 다른 인공지물과의 구별이 가능하였고, 침엽수, 활엽수, 관목과 같은 수종의 분류 가능성을 보여 주었다.

#### 4. 결론

이 연구는 한국지질자원연구원과 강원대학교에서 개발한 지상 SAR 시스템의 성능평가 시 취득된 다편파 지상 SAR 영상자료의 활용 및 분석을 목적으로 연구되었다. 취득된 C-밴드 다편파 SAR 영상은 다편파 SAR 영상 분류 연구 시 많이 응용되고 있는 Wishart-H/alpha 무감독 분류법과 Wishart 감독 분류법을 적용하여 분류 결과를 고찰하였으며, 연구지역에 포함되어 있는 인공지물과 자연지물의 구별 가능성 및 범위를 파악하고자 하였다.

무감독 분류의 경우는 필터링, 분류과정에서 사용된 입력변수의 영향이 크게 나타났으며, 적합한 입력변수를 적용하여 처리된 무감독 분류 결과는 인공지물과 자연지물 간의 분류 가능성을 보였으나 세분류는 한계를 나타냈다. 이와 반면 Wishart 감독 분류 결과는 고정산란체와 지자기 관측함의 구별, 침엽수, 활엽수, 관목의 구별과 같은 대상체의 세분류 가능성을 보였으며, boxcar 필터보다 refined Lee 필터를 적용한 결과가 퍼짐 현상 감소, 해상도 향상과 같은 특성을 나타냈다.

## 사사

본 연구는 국토해양부 첨단도시기술개발 사업 - 지능형국토정보기술혁신 사업과제의 연구비지원(07국토정보C03)에 의해 수행되었습니다.

## 참고문헌

- Kong, J. A., A. A. Swartz, H. A. Yueh, L. M. Novak, and R. T. Shin, 1988. Identification of Terrain Cover Using the Optimum Polarimetric Classifier, *Journal of Electromagnetic Waves and Applications*, 2(2): 171-194.
- Lee, J. S., M. R. Grunes, and R. Kwok, 1994. Classification of Multi-Look Polarimetric SAR Imagery Based on Complex Wishart Distribution, *International Journal of Remote Sensing*, 15(11): 2299-2311.
- Lee, J. S., M. R. Grunes, T. L. Ainsworth, L. J. Du, D. L. Schuler, and S. R. Cloude, 1999a. Unsupervised Classification Using Polarimetric Decomposition and the Complex Wishart Classifier, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 37(5): 2249-2258.
- Lee, J. S., M. R. Grunes, and G. de Granay, 1999b. Polarimetric SAR Speckle Filtering and Its Implication for Classification, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 37(5): 2363-2373.