

技術論文

고해상도 위성 SAR 영상품질 성능 분석 툴 개발

오태봉*, 정철호*, 송선호**, 신재민*, 곽영길**

Development of SAR Image Quality Performance Analysis Tool for High Resolution Spaceborne Synthetic Aperture Radar

Tae-Bong Oh*, Chul-Ho Jung*, Sun-Ho Song**, Jae-Min Shin* and Young-Kil Kwag**

ABSTRACT

In this paper, the typical Synthetic Aperture Radar (SAR) image quality parameters and analysis method are defined, and the SAR image analysis tool is presented for SAR image evaluation. The structure of the developed SAR image analysis tool consists of four key modules; point target analysis (PTA) module, distributed target analysis (DTA) module, ambiguity analysis (AMA) module, and NESZ analysis (NESZA) module. The developed tool is able to extract the various SAR system parameters from standard SAR product format files. Based on these extracted system parameters, typical SAR image quality parameters are derived from SAR image data.

초 록

본 연구에서는 영상레이다 (SAR)의 영상품질 분석 변수 및 확장 보간법, 배경레벨 제거 기법 등의 분석 기법을 정의하고 이를 바탕으로 SAR 영상품질 분석 툴을 개발하였다. 개발된 SAR 영상품질 분석 툴은 크게 점 표적 분석 (PTA) 모듈, 분산 표적 분석 (DTA) 모듈, 모호성 분석 (AMA) 모듈, NESZ 분석 (NESZA) 모듈, 총 4개의 주요 모듈로 구성된다. 개발 툴은 SAR 제품 파일 포맷에서 다양한 시스템 파라미터 추출하고, 이를 바탕으로 임펄스 응답 특성, 방사 성능, 모호성 등의 SAR 영상 품질 변수를 계산한다.

Key Words : SAR(영상레이다), Image quality parameter(영상 품질 변수), Image quality analysis(영상 품질 분석)

1. 서 론

영상 레이다(SAR)는 전자파를 이용하여 전천후로 넓은 지역의 영상정보를 얻을 수 있는 센서로서 광대역 영상에서 고해상도의 영상에 이르기까지 다양한 운용모드로 사용이 가능하므로, 국토관리, 해양감시, 재해감시 등의 민수, 과학 분

야 뿐만 아니라 군사용으로 정밀 표적 감시 및 식별용으로 활용되고 있다[1,2]. 해외에서는 기술 선진국을 중심으로 SAR 영상의 활용을 위해 영상처리 툴과 품질분석 툴을 개발, 운용하고 있다 [3~5]. 국내에서는 SAR 영상의 품질분석 기준을 설정하고 개발/운용중인 SAR 시스템의 성능 검증이나 운용 초기의 SAR 영상 검보정 과정에서 필요한 영상품질 분석 연구 진행은 미비하다.

본 연구에서는 영상 제품 포맷에서 파라미터와 영상 정보를 추출하여, 다양한 SAR 영상 품질변수들을 추출하는 영상품질 분석 툴을 개발하였다. 우선 SAR 영상품질을 나타내는 변수에 대

† 2009년 10월 16일 접수 ~ 2010년 1월 26일 심사완료

* 정희원, 한국항공우주연구원

** 정희원, 한국항공대학교 항공전자 및 정보통신공학부
교신저자, E-mail : ykwag@kau.ac.kr
경기도 고양시 덕양구 화전동 200-1

하여 정의하고, 이를 추출하기 위한 분석기법과 개발된 분석 틀을 소개한다.

II. 본 론

2.1. 영상품질 변수

SAR의 궁극적인 목표인 영상을 구현함에 있어 원하는 품질의 영상을 얻기 위해서는 탑재체 및 플랫폼의 설계 변수를 분석하고 영상 품질에 대한 성능 평가를 할 수 있는 변수들에 대한 정립이 필요하다. SAR 시스템에서 고려해야 할 분석에는 여러 종류가 있으며, 변수는 사용자의 요구조건을 만족시키기 위하여 설계 및 하드웨어 구현 과정 중 지속적인 성능평가를 통해 규정된 결과를 얻는다. SAR를 특성화하기 위한 성능 변수로는 임펄스 응답 특성, 방사 성능, 모호성 특성 등이 포함된다[6,7].

2.1.1. 임펄스 응답 특성

SAR 시스템을 선형 시스템으로 가정함으로써 그 성능을 임펄스 응답을 통하여 특성화 시킬 수 있다. 임펄스 응답이란 시스템에 입력으로 임펄스를 가함으로서 얻을 수 있는 응답으로, SAR 시스템에서는 이 임펄스 입력을 지상의 코너리플렉터 또는 트랜스폰더를 통하여 얻을 수 있으며 이 응답을 통하여 시스템 응답을 측정할 수 있다. 공간 해상도, 최대 부엽레벨, 누적 부엽레벨 등의 많은 SAR 영상 품질 파라미터를 이런 점표적(point target) 응답으로부터 측정할 수 있다.

- 공간해상도 (spatial resolution)

공간해상도는 영상의 공간 해상도를 나타내는 성능 파라미터로 SAR 영상의 임펄스 응답에서 주엽의 최대치 3 dB 낮은 지점의 폭으로 정의되며, IRW(impulse response width)로 표현된다.

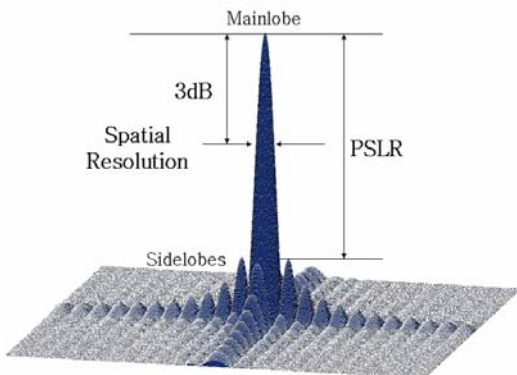


그림 1. 임펄스 응답 함수 (IRF)

- 최대 부엽레벨 (PSLR)

PSLR(peak sidelobe ratio)은 주엽의 최대치와 부엽의 최대치 비로 정의되며, PSLR이 낮으면 인접한 표적에 의해 영향을 받지 않는다. 윈도우 처리를 통해 PSLR 성능을 높일 수 있지만 공간 해상도의 성능 저하를 감수해야한다.

- 누적 부엽레벨 (ISLR)

PSLR의 경우 최대치를 갖는 부엽에 대한 성능 지표로 부엽들의 전체적인 특성이 높은 경우 PSLR만으로 영상 성능을 대표하기 부족하다. 따라서 임의의 구간 내에 있는 부엽레벨의 누적된 값인 ISLR(integrated sidelobe ratio)을 통하여 성능을 평가할 필요가 있다. ISLR은 주엽의 에너지 누적값과 부엽의 에너지 누적값 비로 정의된다.

2.1.2 방사 성능

- 방사해상도(radiometric resolution)

방사 해상도는 표적들을 픽셀 밝기레벨로 얼마나 명확히 구별할 수 있는지를 나타내는 척도로서 여러 종류의 후방산란체를 구분하는 중요 파라미터이다. 특히 편파특성을 이용하거나 표적 분류와 같은 표적탐사에 대한 응용분야에서 중요한 의미를 가지며, 우수한 방사 해상도는 영상의 분석 정밀도 향상을 의미한다[8].

- 방사정확도(radiometric accuracy)

방사정확도란 지상에서 반사된 신호를 영상화할 때 SAR 서브시스템 장비(instrument)의 특성에 의해 본래 가지고 있는 값이 변화하게 되는데 변화되는 값이 얼마나 정확하게 유지되는가의 정도를 나타내는 성능지수이다. 이는 균질하고 방대한 지역 내에서 임의의 두 부분영역을 추출하고, 추출된 부분영역의 후방산란계수에 대한 평균치와 표준편차를 비교함으로써 방사정확도를 측정한다. 절대(absolute) 방사정확도와 상대(relative) 방사정확도로 구분된다.

- 방사안정도(radiometric stability)

방사안정도란 방사정확도와 유사하게 정의되며 측정 또한 유사한 방식으로 얻어진다. 다른 시간대에 획득한 균질한 동일 지역에 대해 후방산란계수의 평균치와 표준편차를 통해 결정되며, 일정한 특성을 유지함은 플랫폼의 방사성능이 안정적임을 의미한다.

- 잡음등가 산란계수 (NESZ)

NESZ는 영상의 화질을 결정하는 중요한 시스템 변수로서 주어진 관측폭에서 반사되는 신호의 크기가 수신기의 잡음과 동등하게 되는 표적의 반사도로 정의된다. NESZ가 낮은 값일수록 잡음에 대한 민감도 성능이 우수하여 반사도가 작은

표적을 탐지할 수 있음을 의미하며 송신출력, 수신감도, 대역폭, 표적의 거리 등의 전체 체계변수와 연관되어 있다. NESZ는 수식적으로 시스템 성능 파라미터로부터 예측하거나, 아주 낮은 반사계수를 가지는 지역의 RCS를 측정함으로써 NESZ를 추정할 수 있다[9].

2.1.3. 모호성 (ambiguity) 분석

거리신호는 시간에 대해 연속적인 신호로 저대역으로 복조된 후 아날로그-디지털 컨버터(ADC, analog-to-digital converter)를 통해 샘플링되어 대역 제한을 제어할 수 있다. 반면에 방위신호는 플랫폼이 이동함에 따라 PRI의 시간 간격을 가지고 신호를 수신하게 된다. 실제 안테나의 경우 방위 방향으로의 빔 패턴이 부엽성분을 가지기 때문에 도플러 스펙트럼의 대역제한이 없다. 그러므로 방위 샘플링 율, 즉 PRF에 대해 엘리어싱(aliasing) 현상이 발생한다. 엘리어싱된 신호는 실제 신호와 동일한 위상패턴을 유발하고 영상에서 모호성이라는 성능저하를 발생시킨다.

2.2 영상품질 성능분석 기법

SAR 영상의 품질을 계량화하는 작업은 결코 단순한 작업이 아니며 특히 점표적에 대한 분석은 효과적인 분석을 위해 체계적인 절차를 필요로 한다. 점표적 영상의 분석을 위해서는 우선, 점표적 인근 지역의 일부 영상을 추출하여 분석함으로써 분석에 필요한 데이터 량을 줄일 뿐만 아니라 점표적 주변지역에 확산되어있는 불필요한 영향을 줄일 수가 있다. 대표적인 방식으로는 확장보간법과 배경레벨 제거 기법이 있으며 이는 좀 더 명확한 점표적 분석을 가능하게 한다.

2.2.1 확장보간법

트랜스폰더나 코너반사기의 응답영상에 대하여 그림 2와 같이 점표적 지역의 영상을 추출하고 추출된 영상은 hamming 필터를 통하여 추출 지역의 외각영역의 영향을 줄이게 된다. 필터링된 추출영상은 확장보간법이 수행되며 이는 보간법이 수행되지 않은 영상보다 명확한 분석 위해 필요하다. 확장보간법은 주파수 영역에서 수행하며 FFT를 통해 변환 과정을 수행하고 변환한 영상은 중심을 기준으로 4등분하여 분류하여 모서리에 위치하고 가운데 남은 지역에는 0을 삽입(zero padding)하여 전체적인 영상의 크기를 확장시킨다. 확장된 주파수 영역의 데이터를 분석을 위해 다시 IFFT를 수행하여 시간도메인으로 변환하고 마지막으로 역 hamming 필터를 통하여 hamming 필터의 영향을 제거한다[10].

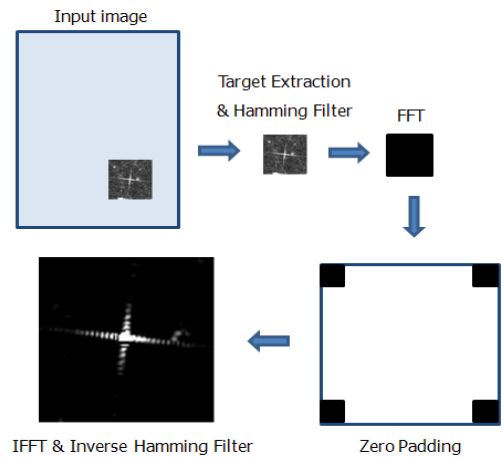


그림 2. 확장보간법 수행 순서

2.2.2 배경레벨 제거 기법

배경레벨 제거 기법은 IRF 주변 후방 산란체의 영향을 줄이기 위한 기법으로 지상의 코너반사기가 존재하는 지역이 균일한 RCS를 가지는 것으로 가정한 대표적인 분석기법으로 그림 3과 같이 표현 된다[11].

추출한 점표적의 부엽레벨 범위를 포함하지 않는 임의의 4지역을 선택하여 평균레벨을 추출한 점표적 응답 영상 전체에서 제거한다. 필요에 따라 추출된 점표적 응답에 배경레벨을 제거한 후에 확장보간법을 수행할 수 있으며 반대로 보간법을 수행한 다음 배경레벨을 제거할 수 있으나 일반적으로 전자의 방법을 선호한다.

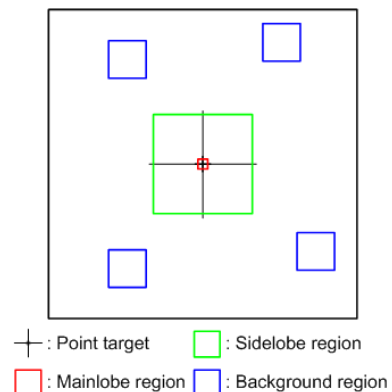


그림 3. 배경레벨 제거 기법

2.2.3. 후방 산란계수 (backscatter coefficient)

이차원 전파영상을 생성하는 SAR는 일반 광학영상과는 달리 조명에 의한 밝기정보를 표현하

는 것이 아니라 전파에 의한 반사특성을 영상화 하는 센서이다. 따라서 SAR 영상은 단지 크기정보의 디지털 영상을 표현할 뿐만 아니라 지표면의 반사특성을 동시에 나타내야하기 때문에 상호 변환이 가능하도록 영상제품에 따라 각기 고유의 변환방식을 제공하고 있다.

2.3 영상품질 성능분석 틀

SAR 영상품질 분석 틀은 크게 점 표적 분석 (PTA) 모듈, 분산 표적 분석 (DTA) 모듈, 모호성 분석 (AMA) 모듈, NESZ(Noise equivalent sigma zero) 분석 (NESZA) 모듈로 4개의 주요 모듈로 구성되어 있으며, 그림 4의 구성으로 순서대로 수행된다.

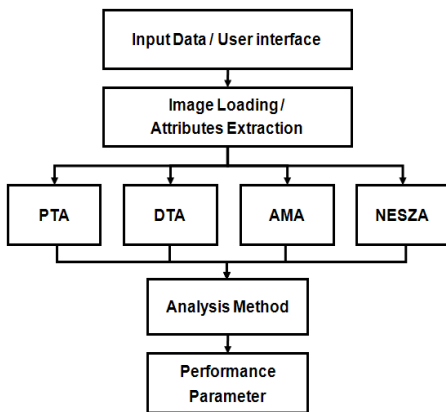


그림 4. 영상품질 성능분석 틀 순서도

2.3.1 PTA (point target analysis)

각 모듈은 우선 영상 포맷을 읽어 영상데이터에서 원하는 영역을 추출하도록 quicklook 포맷을 읽어 화면에 표시한다. 그림 5는 영상에서 점 표적을 추출하는 과정을 나타내며, 그림 6은 추출한 점표적에 대하여 확장보간법과 배경레벨 제거기법을 수행하여 점표적 영상품질 파라미터를 도출한 그림이다. 본 논문에서는 바다에 있는 유사 점표적 영상을 이용하여 점표적 분석을 수행하였으며, 지상에 코너 리플렉터나 트랜스폰더를 설치하여 얻어진 점표적 영상을 추출하여 분석하면 정확한 영상품질 파라미터를 추출할 수 있다. 실제 SAR 영상의 검보정 수행을 위해서는 지상 사이트에 코너 리플렉터와 트랜스폰더를 설치하고 점표적 분석하여 영향을 확인하는 과정이 필요하다.

표 1에서는 거리방향에 대한 공간 해상도, PSLR, ISLR을 분석한 결과 값을 나타낸다. 유사 점표적을 추출하여 분석하였기 때문에 점표적에 대한 실제 값이 없고, 틀에 대한 검증을 위하여 비교 분석이 용이하지 않다.

표 1. 점표적 영상품질 분석 파라미터

파라미터	요구 성능	분석 결과
거리 해상도	1 m	1.319 m
거리 PSLR	-20 dB	-31.3715 dB
거리 ISLR	-13 dB	-6.6615 dB

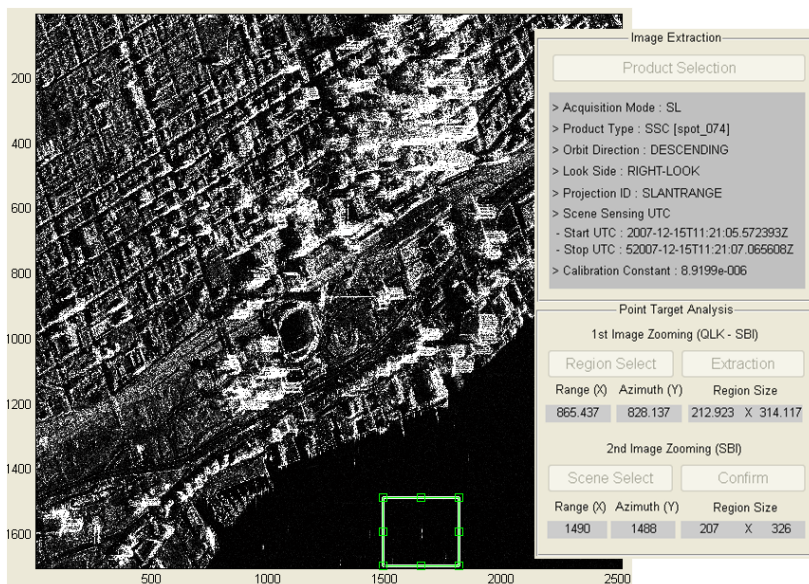


그림 5. PTA - 점표적 추출

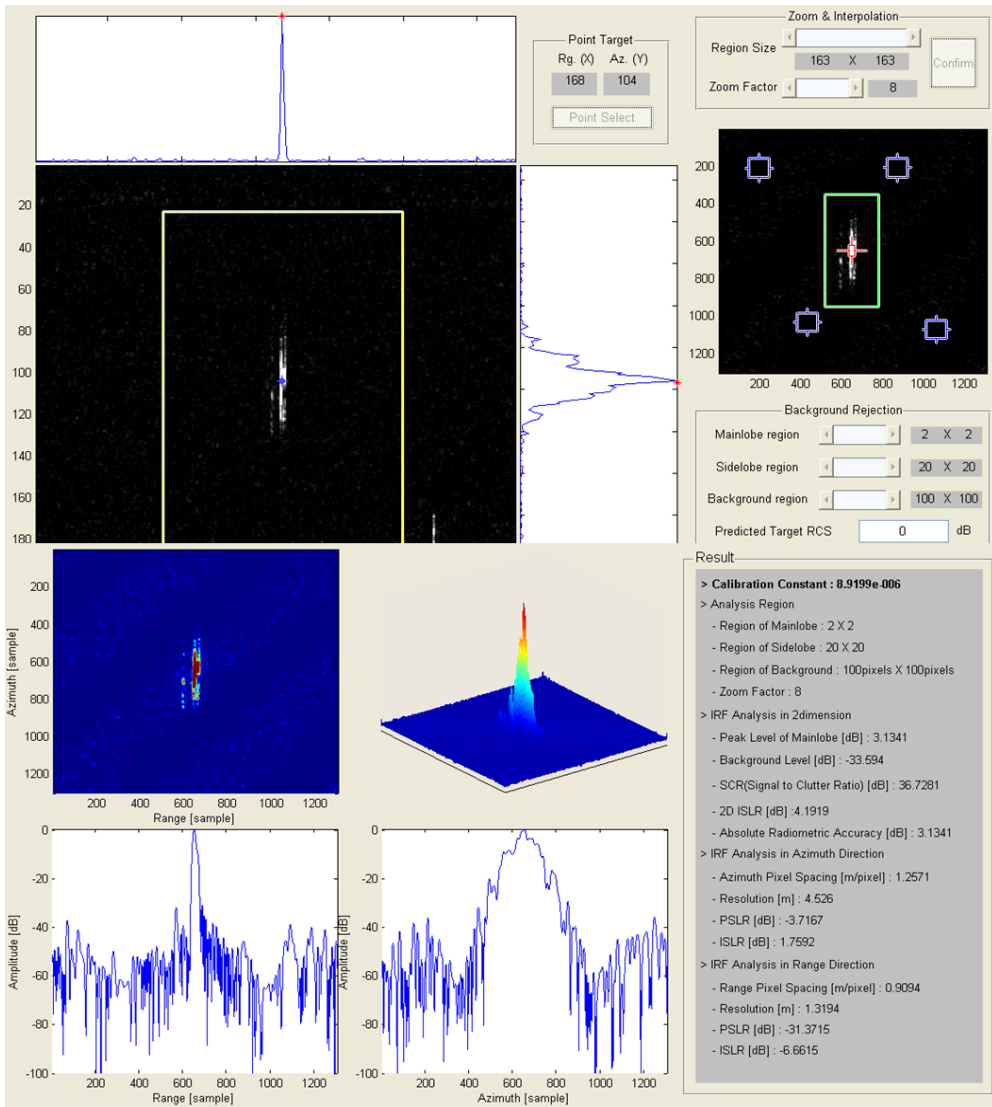


그림 6. PTA - 점표적 분석 결과

2.3.2 DTA (distributed target analysis)

분산 표적 분석 모듈은 두 영역에서 영상을 추출하여 각 영상의 평균과 편차를 구하고 이를 비교, 분석함으로써 방사해상도, 상대 방사 정확도 등의 영상품질 파라미터를 도출한다. 그림 7은 DTA 모듈로 두 영역을 분석한 결과를 나타낸다. 실제 동일한 분포 특성을 갖는 지역이라도 안테나 패턴의 영향이나 영상처리 과정에서 발생할 수 있는 오차로 인해 SAR 영상에 영향이 나타나는 경우, 그림과 같이 두 영역을 추출하여 분포와 평균, 편차를 비교함으로써 방사 정확도를 계산하여 영향을 분석할 수 있다.

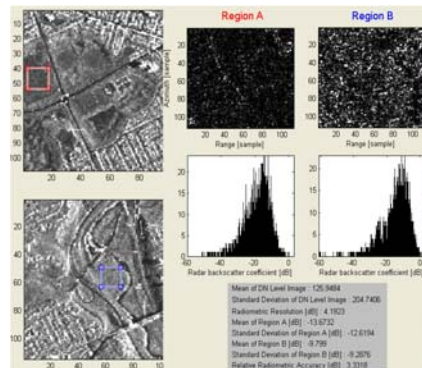


그림 7. DTA - 분산표적 분석 결과

2.3.3 AMA (ambiguity analysis)

영상 내 발생하는 모호성을 측정하는 모듈로 강한 점표적에 의해 발생하거나, 영상 강도가 약한 바다에서 나타나는 모호성을 측정한다.

그림 8은 강한 점표적에 의해 발생하는 방위 방향 모호성을 측정한 결과로, 포맷 파일에서 추출한 속성 파라미터로부터 표적과 모호성간의 거리를 계산하고, 계산된 위치상에 존재하는 모호성의 영상 강도를 비교함으로써 그 영향을 분석한다. 그림 8의 좌측 중앙의 점표적에서 상하로 모호성 성분이 나타나고 중앙 그림의 영상 크기 레벨에서 보는 바와 같이 크기값을 확인할 수 있다. 이 크기값을 계산하여 방위방향 모호성을 측정하게 된다. 그림의 강한 점표적에 의한 영향 뿐만 아니라 바닷가나 호숫가에 존재하는 강한 반사표적에 의해 바다나 호수에 그 영향이 나타날 수 있으며 동일한 방법으로 측정한다.

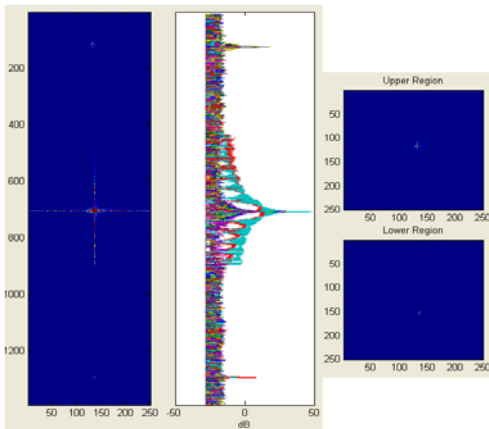


그림 8. AMA - 모호성 분석 결과

2.3.4 NESZA (NESZ analysis)

추출한 영상 내에서 잔잔한 호수와 같이 아주 낮은 반사계수를 갖는 지역의 RCS를 측정함으로

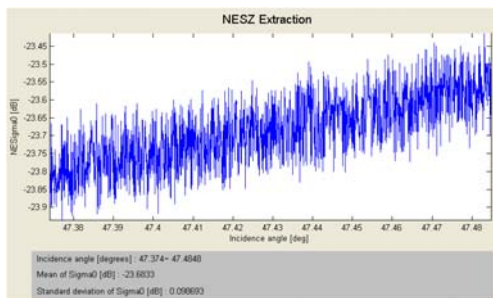


그림 9. NESZA - NESZ 분석 결과

써 NESZ를 추정할 수 있다. 그림 9는 바다지역을 선택하여 입사각에 따른 영상 내 NESZ 변화를 측정한 그림이다.

정확한 품질분석을 위해서는 각각의 분석 모듈별로 정확한 분석영역 선정되어야 한다. PTA와 AMA의 경우에는 점표적을 중심으로 영역을 선정하고, DTA는 거리가 떨어진 동일한 분포 특성을 갖는 두 지역의 영상을 추출하며, NESZA의 경우는 거리방향으로 넓게 잔잔한 호수, 바다 지역을 선정함으로써 정확성을 확보한다.

III. 결 론

본 연구에서는 고해상도 위성 SAR 영상 포맷 파일에서 SAR 속성 파라미터와 영상을 추출하여 이로부터 영상품질 파라미터를 계산하는 SAR 영상품질 성능 분석 툴을 개발하였다. 개발 툴은 CosmoSkyMed, TerraSAR-X 등의 고해상도 위성 SAR 포맷을 분석할 수 있으며, RADARSAT-1, TerraSAR-X 포맷으로부터 영상을 추출하여 성능을 확인하였다.

연구에서 개발된 영상품질 분석툴은 SAR 영상을 활용하거나, 개발/운용중인 SAR 시스템의 성능 검증 및 운용 초기의 SAR 영상 검토정 과정에서 영상품질 분석, 검증에 활용할 수 있을 것으로 본다.

후 기

본 연구는 항공우주연구원의 다목적 실용위성 5호 개발사업의 위탁연구과제의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

- 1) Henderson, F. & Lewis, A., *Principles & Applications of Imaging Radar - Manual of Remote Sensing* 3rd Ed, vol. 2, J. Wiley & Sons, 1998.
- 2) C. Elachi, *Spaceborne Radar Remote Sensing: Applications and Techniques*, New York: IEEE Press, 1988.
- 3) M. Schwerdt, B. Brutigam, M. Bachmann, B. Dring, "TerraSAR-X calibration - first results", Proc. of International Geoscience and Remote Sensing Symposium, IGARSS '07.
- 4) P. J. Meadows, D. Haunam, A. J. Rye, B. Rosich, T. Borner, J. Closa, B. Schattler, P. J.

Smith, M. Zink, "SAR product control software", Proc. of CEOS working group on calibration/validation SAR workshop, Sept. 2002.

5) A. Reigber, O. Hellwich, "RAT(radar tools): a free SAR image analysis software package", Proc. of European conference on synthetic aperture radar, pp.997-1000, 2004.

6) J. C. Curlander and R. N. McDonough, Synthetic Aperture Radar: Systems and Signal Processing, New York : Jon Wiley & Sons, 1991.

7) I. G. Cumming, F. H. Wong, 2002, Digital processing of synthetic aperture radar data, Artech House, Norwood, MA, USA.

8) J. M. Martinez, J. Mittermayer, M. R. Cassol, "Radiometric resolution optimization for future SAR system", Proc. of International Geoscience and Remote Sensing Symposium, IGARSS '04, Vol. 3, pp. 1738-1741, 2004.

9) P. J. Meadows, P. A. Wright, "ASAR IMP Image Quality (VV Polarisation)", Proc. of the Envisat Calibration Review, ESTEC, ESA publication SP-520, Sept. 2002.

10) A. Martinez, J. L. Marchand, "SAR image quality assessment", Revista de Teledeteccion, 1993.

11) C. Buck, "ASAR External calibration", Proc. of the Envisat Calibration Review, ESTEC, ESA publication SP-520, Sept. 2002.