

## 영상레이더 위성을 위한 검보정 시스템

신재민\*, 정호령\*\*, 이광재\*\*\*

# Calibration and Validation System for Synthetic Aperture Radar Satellite

SHIN Jae-Min\*, JEONG Ho-Ryung\*\*, LEE Kwang-Jae\*\*\*

### ABSTRACT

The demand for Satellite Images is continuously increasing owing to the various applications of optical satellite images. However, the acquisition of optical images has a limitation due to problems of weather and day & night, because an optical satellite makes images with reflections of sunlight. Therefore, SAR Satellite, which uses electromagnetic waves to make an image, gives increased demand to various applications. It also makes increased interest. In this paper, a calibration and validation system, which is an essential element for high quality Radar images, is studied.

### 초 록

광학위성영상의 다양한 활용성을 바탕으로 위성영상에 대한 다양하고 많은 수요가 지속적으로 증대되고 있다. 그러나, 태양광에 의한 영상획득을 기반으로 하는 광학영상의 획득은 기상상황 및 밤낮에 대한 제약을 가지고 있을 수 밖에 없다. 이에 따라 전파를 이용한 영상레이더(Synthetic Aperture Radar; SAR)를 통한 영상획득은 위성영상 수요 활성화 및 다양한 활용분야에 수요를 증가시키고 있다. 본 논문에서는 고품질의 레이더영상을 획득하기 위해 반드시 필요한 영상레이더의 검보정을 위한 시스템을 논의하고자 한다.

**Key Words** : Synthetic Aperture Radar(합성개구레이더, 영상레이더), Calibration & Validation(CALVAL; 검보정), Corner Reflector(각면판반사기), CALVAL Processor(검보정 프로세서), CALVAL Site(검보정 사이트)

\* 신재민, 한국항공우주연구원 위성연구본부 다목적5호사업단 다목적5호체계팀  
jimshin@kari.re.kr

\*\* 정호령, 한국항공우주연구원 위성정보연구소 위성운용실 영상검보정기술팀  
sar@kari.re.kr

\*\*\* 이광재, 한국항공우주연구원 위성정보연구소 위성운용실 영상활용기술팀  
kjlee@kari.re.kr

# 1. 서론

Google Earth와 같은 위성영상 활용들이 세계적인 반향을 일으키면서, 위성영상 수요에 상당한 영향을 미치고 있다. 현재까지 일반인들에게 친숙한 사진은 광학위성영상임에 틀림없다. 그러나, 광학위성을 통한 영상획득은 시간과 기상 및 환경상황에 매우 의존적이라[4], 광범위한 지역을 짧은 시간동안 영상 촬영을 하여 실제 활용에 적합한 영상들을 구축하기란 쉽지 않은 것이 사실이다.

태양광에 의존적이지 않은 능동형 탑재체인 영상레이더(Synthetic Aperture Radar; SAR)의 경우는 광학과 다르다.[4] 이는 시간 및 기상상황에 독립적이라 짧은 시간에 광범위한 영역에 대한 영상획득이 가능하다는 크나큰 이점이 있다. 그럼에도 불구하고 일반인들에게 친숙하지 못한 것은 레이더영상 자체가 광학사진과 달리 레이더 특성에 의해 지상물체들이 반사하는 전자파를 획득하며, 이것은 점형태가 되며 그것들이 조합되어 하나의 물체를 표현하게 된다는 것이다. 이런 특성은 레이더위성이 적절히 지상물체의 반사정도를 고르게 표현하지 못하고, 후처리를 통한 특유의 잡음(Speckle)이 완화되지 못하면 더욱 크게 사용자에게 비친숙성을 가지게 만든다.

그러나, 영상레이더 위성처럼 태양광과 상관없이 위성영상정보를 획득할 수 있는 이점은 위성영상자료의 활용측면에서 매우 유익하며, 광학과 다른 정보를 제공하기 때문에 다양한 위성영상정보의 복합적 활용 기회를 활성화 시킬 수 있다.[4]

검보정은 실제 획득된 영상의 품질이 위성설계에 부합하는 값들을 가지는지 확인하며, 부적절할 경우 궤도상의 위성에 적절한 조정을 통하여 최상의 영상 품질을 확보하고자 하는 일련의 작업이다. 물론 영상 품질만으로 사용자에게 광학과 같은 친숙성을 제공할 수는 없으나, 레이더위성이 가능한 최선의 상황으로 영상을 표현할 수 있도록 도와준다.

또한 광학영상은 태양광과 같이 열화(degradation)가 없는 외부 소스(source)를 이용하나, 능동형인 영상레이더위성은 위성탑재체가 태양광과 같은 역할을 하는 소스이며, 이는 인간이 제작한 장치로 시간에 따른 열화가 발생하는 것은 필연적이다. 결국 이런 열화는 위성의 수명연한동안 꾸준히 지속적으로 진행되며,

최종출력인 레이더영상에 품질저하를 야기하게 된다.

요약적으로 말하면, 검보정작업이란 위성의 초기 궤도 안착시에 여러 원인으로 불균형이 있는 위성을 설계대로의 안정한 상태로 조정을 하며, 시간적 열화에 따르는 불균형 및 오류들을 가능한 한 복원하거나 가능한 최선의 상태로 재조정하는 작업인 것이다. 이런 작업들이 영상의 친숙성과 직접적인 관련이 없애도, 후처리 및 다양한 작업들을 통해 좀 더 사용자에게 유용한 형태로 제공하기 위한 첫 단계인 것은 틀림이 없다.

일련의 위성 검보정작업을 수행하기 위해서는 특화된 시스템이 필요하다. 영상레이더 검보정을 위해서 크게 방사보정(Radiometric CAL), 지향보정(Pointing CAL)이 있으며, 방사보정의 경우에는 상대방사보정(Relative Radiometric CAL)과 절대방사보정(Absolute CAL)이 있다. 상기의 작업을 위해서는 방사보정 및 지향보정을 위한 레이더영상을 분석하는 CVP(CALVAL Processor)가 필요하며, 이를 이용해 CALVAL System이 구성된다. 구성된 시스템에 입력된 레이더 영상은 정확한 위성변수의 조정을 위해 면밀히 조사된 지역과 거기에 설계사양에 맞게 제작된 반사기를 포함하고 있어야 한다. 이런 모든 부분들이 이루어져 지상국(Ground Segment)의 하나의 요소인 검보정 엘리먼트(CALVAL Element)가 구성된다.

# 2. CALVAL Activity

레이더위성의 검보정 활동은 자료의 속성으로 크게 내부보정(Internal Calibration) 및 외부보정(External Calibration)으로 구분할 수 있다.

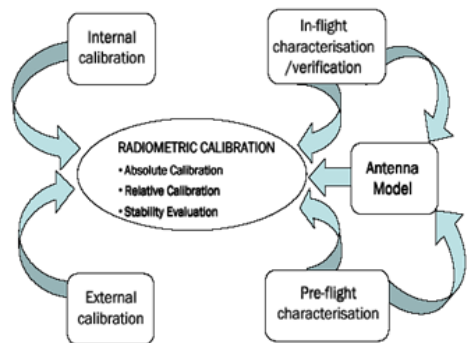


그림 1. 방사보정을 위한 활동

이는 검보정활동에서 가장 중요한 방사보정을 위한 기초자료가 된다. 그림 1은 내/외부 보정자료가 방사보정에 관련된 상황을 보여준다.

내/외부보정자료를 기반으로 레도상 영상레이더의 안테나빔 패턴을 분석하고 구성하며, 위성발사전 시험결과와의 비교를 통해 안테나 패턴이 어떻게 변화되었는지를 확인하게 된다. 분포표적에 대한 레이더영상으로 획득되는 외부보정자료가 설계치와 다를 경우 추가적인 안테나빔 패턴 재합성을 통해 재조정하게 된다. 이런 경우는 위성의 수명이 다해감에 따라 나타날 확률이 크며, 이는 영상레이더를 위한 안테나의 T/R 모듈(Transmit and Receive Modules)의 성능 및 수명과 밀접한 관계가 있다.

그림 2는 영상레이더위성을 위한 검보정 활동을 시간적 순서를 고려하여 활동을 정리한 것이다. 그림 1에서 보여준 활동들이 실제 시간상에서 일어나는 아래의 그림에 모두 포함되어 있어야 한다. 지상에서 발사전 검보정활동은 위성을 위한 기초자료를 확보하는 단계와 위성 발사후 IOT(In-Orbit Test) 기간에 이루어지는 핵심적인 검보정작업이 있다. 추가적으로 고려해야 할 것은 앞서 언급하였지만, 능동형인 레이더의 특성상 부품의 열화에 따른 성능변동은 필연적이므로, 위성수명연한 동안 지속적인 검보정을 통해 열화를 확인하고, 재조정하는 업무가 이루어져야 한다.

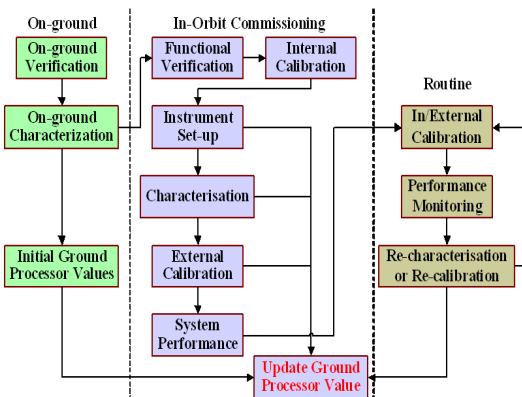


그림 2. 방사보정을 위한 활동

상기 검보정활동을 위한 재조정은 안테나빔 패턴의 재합성을 통한 작업도 있으나, 이는 탑재체의 분석과 해석을 통한 재합성이 이루어져야 하는 부분이

있고, 따라서 영상품질에 지대한 영향이 존재하지 않는 한 조심스럽게 이루어져야 하는 부분이다. 설계된 영상품질을 맞추기 위한 미세조정은 그림 2에서 보이는 지상프로세서를 위한 값조정(Update Ground Processor Value)을 통해 간편하게 레이더영상처리 소프트웨어(SAR Processor)가 적절히 처리할 수 있도록 한다.

### 3. CALVAL System

CALVAL 시스템은 핵심인 CALVAL Processor를 포함하는 CVS(CALVAL Subsystem)과 ECS(Extended Calibration Subsystem)으로 구성된다. CVS는 검보정작업을 수행하기 위해 필요한 다른 지상 엘레먼트-IRPE(Image Reception and Processing Element) & MCE(Mission Control Element)-와의 인터페이스 및 내부 ECS, CVP 및 BCVP(Bus CVP)들을 통제하는 시스템이다. 그림 3은 상기에 대한 CALVAL 시스템의 구성도를 보여주고 있다.

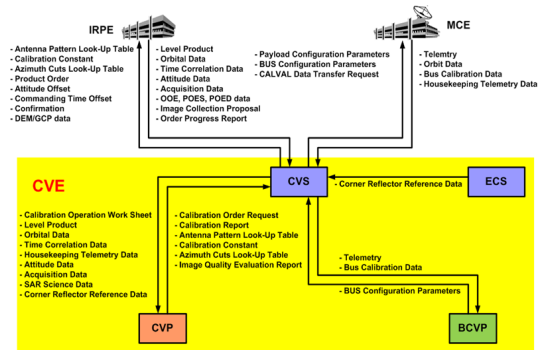


그림 3. CALVAL 시스템 구성도

#### 3.1 CALVAL Processor

CVP는 검보정작업인 상대방사보정, 절대방사보정 및 지향보정에 대한 자료처리 및 분석을 담당한다. 내부적으로 크게 방사보정과 지향보정 기능으로 구성된다. 따라서, 아래의 설명에 적합한 소프트웨어 모듈이 구성되고, 레이더영상자료를 입력을 위한 전 처리부로 구성된다.

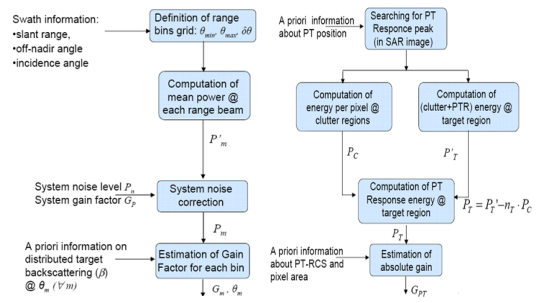
상대방사보정은 SAR 탑재체 시스템을 설계하여 개발한 후 임무궤도에 올려서 레이더영상정보를 얻기 위한 빔을 방사할 때, 그 빔의 패턴이 어떻게 되는

지를 예측하기 위한 활동이다. 이 활동을 위해서는 자연계에서 존재하는 광범위한 지역으로 균일한 Backscattering Characterization을 얻을 수 있는 지역이어야 한다.

그림 4 a)는 지상의 분포표적(Distributed Target)에서 획득된 보정자료를 처리하기 위한 일련의 과정을 나타낸다. Off-nadir(Elevation) Pattern은 레이더영상정보를 획득하여 고정밀 지상처리를 통하여 레이더영상을 생성하여 분포표적 안에서 고도각(Elevation Angle)에 따라 특정 화소들을 선택하고 종합하여 예측한다. 여기에서 특정 화소들을 일반적으로 Range Bins라 부른다. Range Bin들은 분포표적의 속성상 동일한 고도각을 가진 경우에는 균일한 값을 가진다. 이로 인해 레이더영상 안에서 매우 균일한 값을 가질 수 있는 모든 고도각에 대해 안정된 화소수를 선정한다. 그리고, 정해진 Range Bin들에 대한 평균 파워를 계산한다. 그 값에서 위성시스템에 의해 야기되는 잡음성분에 의한 파워분량을 제거하게 된다. 이 결과에서 고도각별로 파워레벨을 계산하게 되면, 각 고도각에 대한 시스템이득(System Gain) 값에 대한 관계를 추정하고, 고도각 빔패턴을 추정할 수 있게 된다.

절대방사보정은 위성설계시 정의된 절대방사정확도(Absolute Radiometric Accuracy)를 맞추기 위한 적절한 보정값(Calibration Factor)을 산출하기 위한 활동이다.

그림 4 b)는 지상 점표적(Point Target; Corner Reflector)에서 획득된 보정자료를 처리하기 위한 일련의 과정을 나타낸다. 상기의 방법은 수동형 점표적(Passive Corner Reflector)나 능동형 점표적(Active Transponder)이 설치된 지역의 레이더영상을 획득하는 과정에서부터 시작된다. 위성에 의해서 획득된 점표적에 대한 반향신호가 지상에서 고정밀도의 신호처리과정을 통해 이루진다. 이런 일련의 작업들은 PTR(Point Target Response)의 최고치 값을 가지는 지점 주변을 오버샘플링하고 내삽(Interpolating) 함으로서 이루어진다.



a) 상대방사보정                      b) 절대방사보정  
그림 4. 영상레이더 방사보정 과정

위성 버스(Bus)에서는 위성의 자세제어 기능을 갖추고 있다. 하지만 버스의 자세제어 결과와 실제 위성의 자세 정보가 거의 근접할지라도 실제 안테나 빔이 향하는 방향과 위성의 자세 정보는 안테나의 기계적, 전자적 왜곡 현상으로 인하여 차이가 발생할 수 있다. 이 문제를 해결하기 위하여 자세제어 기능으로부터 얻어진 위성의 자세정보와 안테나의 기계적, 전자적 왜곡 현상의 영향까지 포함한 실제 안테나 빔 방향과의 차이를 측정하는 지향보정 과정이 필요하게 된다.

위성의 자세정보와 안테나 빔 방향과의 차이는 크게 Off-Nadir 방향 차이와 Azimuth 방향 Pointing Offset으로 나눌 수 있다. Off-Nadir 방향 차이로 인한 영향은 위성 영상 픽셀의 DN값 크기의 변화이기 때문에 상대방사보정 영역에서 다루어지게 된다. Azimuth 방향 Pointing Offset은 영상의 위치에 영향을 미치게 되고, 상대방사보정 영역이 아닌 지향보정 영역에서 다루어지게 된다. 그림 5는 지향보정에 대한 간략한 흐름을 보여준다.

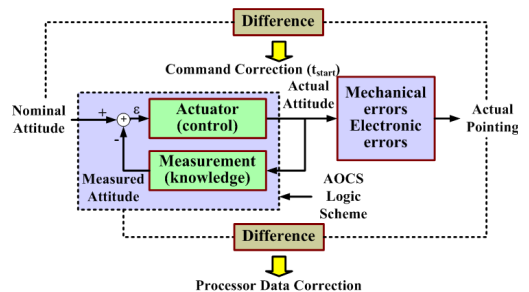


그림 5. 영상레이더 지향보정 과정

### 3.2 CALVAL Site

#### 1) 상대방사보정용 검보정사이트

위성은 발사시 극심한 환경변화에 노출되므로, 이에 의해 개발시 설계된 성능을 위한 내부변수들의 변동이 있을 수 밖에 없다.

이런 변수들을 위성이 궤도에 안착한 후 어느정도 변화되었는지를 확인하고, 설계시 구성된 변수값들로 재조정하기 위해서는 특히 초기 검보정시에 안테나패턴을 검증하는 것이 필수적이다.

안테나패턴은 가장 균일하고 안정적인 레이더신호를 반사할 수 있는 지역을 통해서 확인하여야 한다. 안테나패턴은 가장 균일하고 안정적인 레이더신호를 반사할 수 있는 지역을 통해서 확인하여야 한다.

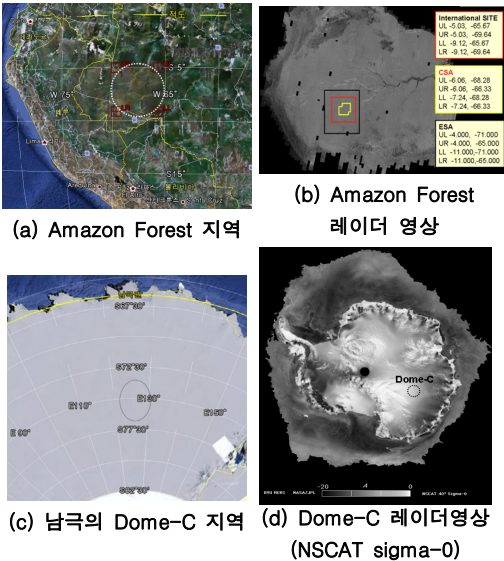


그림 6. 레이더위성용 상대방사보정 사이트[2]

이런 기준은 여러 SAR 위성마다 운용주파수 및 운영목적에 따라 다르지만, 일반적으로 아마존 밀림지역(Amazon Forest)를 이용한다. 이는 현재까지의 SAR 위성(특히, Radarsat)들이 아마존지역에 대해 매우 많은 자료를 구축하고 있으며, 그 자료들을 기반으로 매우 균일한 특성을 나타낸다는 것을 검증하였기 때문이다.[2] 그림 6은 방사보정용 사이트로 유용한 지역을 보여준다.

#### 2) 절대방사보정용 검보정사이트

상대방사보정을 위해 안테나패턴 분석이 이루어지고 문제가 없는 경우, 영상레이더의 절대방사 정확도(Absolute Radiometric Accuracy)를 검증하여야 한다. 이것은 영상레이더가 반사된 전파를 얼마나 실제물체가 나타내는 반사값과 동일한 값으로 획득할 수 있는지를 나타낸다. 이런 문제는 영상 품질의 향상이란 측면에서, SAR 영상자료를 실제 영상으로 재구성할 때 요구되는 동적범위(Dynamic Range)를 위한 자료로도 활용된다.

절대방사보정을 위한 사이트는 상대방사보정용 사이트와는 달리 인공적으로 제작된 반사기를 설치하여야 한다. 이 반사기는 SAR 영상획득을 통해서 시스템 응답특성을 나타내는 IRF(Impluse Response Function)를 구성할 수 있도록 한다. 이를 위해서는 상대방사보정용 사이트와 유사하게 가능하면 배경의 역산란계수가 낮아야하며, 반사기에 의한 RCS(Radar Cross Section) 값보다 낮도록 구성하여야 한다. 이는 시스템응답인 IRF를 구성할 때 포함될 수 있는 오차를 줄이기 위해서이다.[2]

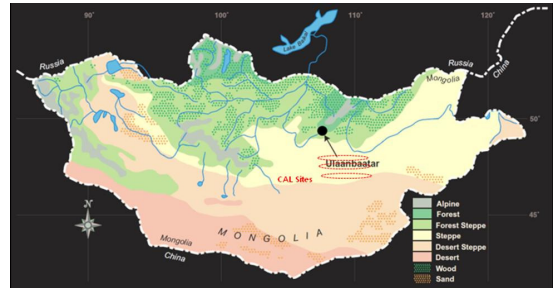


그림 7. 영상레이더위성을 위한 검보정사이트(Mongolia)

그림 8은 중국내륙 고비(Gobi) 사막위쪽인 스텝(Steppe)기후 지역으로, NDVI(Normalized Diiference Vegetation Index)가 거의 0인 연중 식생의 변화도가 매우 낮다. 또한 매우 넓은 면적에 나무나 기타 인공구조물이 없고 평탄한 지역이므로 반사기와 같은 구조물이 있을 경우 레이더영상에 그 응답이 명확할 수 있다.



그림 8. 몽골 검보정사이트

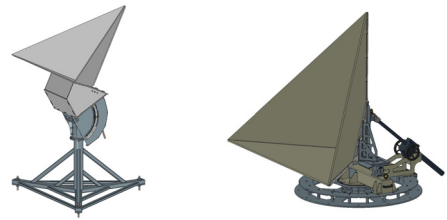
### 3.3 Corner Reflector

정확한 검보정을 위해서는 반드시 탑재체가 방사한 레이더신호의 안테나패턴(Antenna Pattern) 및 절대이득(Absolute Gain)을 확인하고 분석해야 한다[5]. 이 작업은 반사기라(Reflector)라고 불리는 보정체(Calibrator)를 사용하며, 레이더위성을 위한 검보정에서 점표적이라 칭하는 각면판반사기가 주류를 이룬다. 반사기는 다르게 재귀반사기(Retro-Reflector)라고도 하며, 이는 반사기에 입사된 신호가 가능한 최소의 산란(Scattering) 상태로 신호를 송신한 물체에 정확하게 반사하도록 한다는 의미이다.

상기의 관점을 고려하면 일반적으로 영상에서의 지형 또는 배경에 해당하는 산란체(Scatterer)와 어떤 물체에 의해 나타나는 RCS를 오차를 가능한 배제하고 분석하기 용이하게 구성하는 것이 필요하다. 이것은 크게 수동반사기(Passive Reflector)와 신호를 직접 생성하여 송신하는 능동반사기(Active Reflector)로 나누며, 능동반사기는 수신한 신호를 확인하여 동일한 특성의 신호를 직접 생성하여 방사하는 것이며, 수동반사기는 물리적으로 입사된 신호가 반사되도록 하는 것이다. 수동반사기는 여러 가지 형태가 있으나 구형반사기(Spherical Reflector)와 각면판반사기(Corner Reflector)가 주류를 이룬다.[5]

일반적으로 레이더위성 검보정에는 각면판반사기가 주류를 이루며, 특히 삼면판반사기(Tri-hedral Corner Reflector)가 활용된다. 이는 RCS 설계 및 제작의 용이함 등의 이유에서이다. 그림 9는 삼면판 반사기를 보여준다.

삼면판 반사기의 실제 측정시험을 위해 CALVAL Site인 몽골(Mongolia) 울란바타르(Ulanbataar) 남동쪽에 설치하였다.

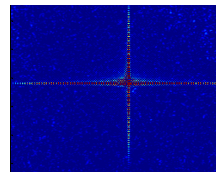


a) 고해상도모드용      b) 표준해상도모드용  
그림 9 레이더위성 영상모드별 삼면판반사기(1)

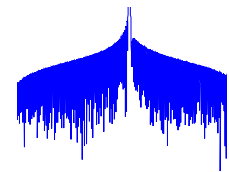
설치된 점표적을 이용하여 획득된 레이더영상은 아래 그림 10에 나타나 있다. 설치된 점표적은 설계 RCS가 35.76dBm<sup>2</sup>이며, 획득된 영상에서 분석된 RCS는 34.69dBm<sup>2</sup>로 높은 절대방사정확도를 가진다는 것을 확인할 수 있다.



a) 고해상도모드용 반사기의 레이더영상



b) 점표적의 과표분화



c) Range 프로파일

그림 10. 몽골 점표적에 대한 TerraSAR 영상(1)

## 4. 결론

지금까지 레이더위성을 위한 검보정 시스템의 개괄적인 내용을 언급하였다. 다른 광학이나 적외선 영상을 위한 위성들도 거기에 적합한 검보정 시스템이 존재한다. 그리고 그 검보정 시스템은 위성탑재체를 얼마나 잘 이해하고, 그 자료들을 분석할 수 있으며, 핵심변수나 세부변수들을 조정할 수 있는가가 검보정 시스템의 성능을 좌우 할 수 있을 것이다.

논의된 레이더위성 검보정 시스템은 아직까지는

국내에 운영이 되어 본적이 없다. 그러나, 본 논문에 언급된 그리고 수행된 내용들은 향후 국내 위성 레이다 위성의 검보정을 위한 이해를 돕고, 미흡한 부분이 있는지에 대한 고찰을 할 수 있도록 도움이 되었으면 한다.

## 참고문헌

1. J.-M. Shin, K.-J. Lee, and J.-H. Kim, "Field Test of KOMPSAT-5 Calibration Equipment." IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Honolulu, Hawaii USA, 2010.
2. 신재민, 이동한, 이광재, 이상률, "SAR 위성의 방사보정을 위한 검보정사이트" KSAS 추계학술발표회, 2009, Nov. pp. 1098~1101
3. H.-R. Jeong, D.-H. Lee, T.-B. Oh, J.-M. Shin, H.-S. Lim, "The final deployment of the corner reflector from the simulation results for KOMPSAT-5 Calibration and Validation." International Symposium on Remote Sensing(ISRS), 2010
4. 신재민, 윤재철, 문홍열, 이진호, 천용식, 최해진, "차세대 위성탐재체 합성개구면레이더(SAR: Synthetic Aperture Radar)," 항공우주산업기술동향, Vol. 3, No. 1, pp. 65-71, 2005.
5. 신재민, 금정훈, 김진희, "SAR 위성 검보정: 점표적을 위한 각면판반사기 고찰," 항공우주연구원 기술문서, KARI-K5T-TM-2009-011, 2009, Dec.
6. 신재민, 이동한, 김진희, "SAR 위성 검보정: K-5 몽골 검보정사이트 ST-mode CR 설치," 항공우주연구원 기술문서, KARI-K5T-TM-2009-012, 2009, Dec.