

적외채널 기본 복사보정 결과를 이용한 기하보정 처리의 정확도 분석

서석배*, 권은주**, 진경욱***

Analysis of Geometric Calibration Accuracy using
the Results from IR Channel Nominal Radiometric Calibration

Seok-Bae SEO*, Eun-Joo KWON**, and Kyoung-Wook JIN***

Abstract

The nominal radiometric calibration equation and additional five algorithms are applied in the infrared channel radiometric calibration for the COMS (Communication, Ocean, Meteorological Satellite) MI (Meteorological Imager). The processing end time of the radiometric calibration is directly related with the start time of geometric calibration processing since the geometric calibration processing is followed by that of the radiometric calibration. This paper describes comparison and analysis results for geometric calibration processing using two types of the radiometric calibration results, outputs from only the nominal radiometric calibration equation and outputs from the complete one (the nominal radiometric calibration equation with additional five algorithms), to propose a method with the earlier start time of the geometric calibration processing. Experimental results show that both of radiometric calibration results, from the nominal radiometric calibration equation with a fast processing speed and from the complete one with accurate radiometric values, can be used in the geometric calibration as the appropriate inputs because those processing results satisfied the requirements of geometric calibration processing accuracy. Thus the radiometric calibration results from the nominal radiometric calibration equation can be used to improve geometric calibration processing time.

초 록

천리안위성 기상탐재체 적외채널의 복사보정에서는 기본 복사보정식을 기반으로 다섯 개의 알고리즘이 추가되어 있다. 일반적으로 기하보정은 복사보정 이후 수행하므로, 복사보정 완료시각은 기하보정 처리의 시작시각을 결정한다. 본 논문에서는 기하보정 처리의 시작시각을 앞당기는 방법을 제안하기 위해서, 기본 복사보정 및 정밀 복사보정(기본 복사보정에 다섯 개의 알고리즘 추가) 결과를 입력으로 수행한 기하보정 처리의 정확도를 비교 분석한 내용을 정리하였다. 처리 속도가 빠른 기본 복사보정의 결과와 정확한 복사보정 값을 포함하는 정밀복사보정의 결과를 입력으로 각각의 기하보정 처리의 정확도를 분석하는 실험을 수행하였고, 두 경우 모두 기하보정 정확도 요구사항을 만족시킴을 검증하였다. 따라서 기하보정 처리 속도를 향상시키기 위해서, 기본 복사보정식으로 생성된 결과를 기하보정 처리의 입력으로 사용할 수 있음을 확인하였다.

키워드 : 기하보정(geometric calibration), 복사보정(radiometric calibration), 적외채널(infrared channel), 기본 복사보정식(nominal radiometric calibration equation), 기상탐재체(meteorological imager), 영상전처리(image pre-processing), 리샘플링(re-sampling)

접수일(2013년 9월 3일),

수정일(1차 2013년 10월 18일),

게재 확정일(2013년 11월 1일)

* 탑재체전자팀/sbseo@kari.re.kr

** 정지케도위성관제팀/keunjoo@kari.re.kr

*** 정복위성체제팀/kwjjin@kari.re.kr

1. 서 론

천리안위성(COMS: Communication, Ocean, and Meteorological Satellite)은 2010년 6월 27일에 발사하여 궤도상시험 및 시험운동을 완료하고, 2011년 4월 1일부터 2013년 10월 현재까지 정상운영 중에 있다^{[1][2]}. 천리안위성의 기상탑재체(MI, Meteorological Imager)는 하나의 가시채널과 네 개의 적외채널로 지구를 관측하는데, 적외채널 복사보정이 가시채널에 비해 상대적으로 복잡하다^[3]. 천리안위성에서 기상탑재체 데이터의 경우 관측 종료 후 15분 이내에 복사 및 기하보정이 완료된 모든 채널의 데이터를 HRIT (High Rate Information Transmission) 전송해야 하며, 현재 설계 및 개발 중인 정지궤도 복합위성(천리안위성 후속) 기상탑재체 (AMI: Advanced MI)의 경우에도 HRIT 전송 요구사항이 5배 이상 향상될 예정이다.

현재의 천리안위성 기상탑재체 영상전처리시스템(이하, 영상전처리시스템)에서는 위성으로부터 기상탑재체 데이터를 CADU (Channel Access Data Unit) 형태로 수신하여 Level 0 및 Level 1A 파일을 생성한다^{[4][5]}. 이 중에서 Level 1A 파일은 복사보정 처리결과로, INRSM (Image Navigation and Registration Software Module)의 입력으로 전달되어 기하보정을 수행한다. 즉, 천리안위성에서 복사보정 이후 기하보정을 수행하므로, 복사 및 기하보정된 기상탑재체 데이터에 대한 HRIT 전송을 요구 시간 내에 수행하기 위해서는 Level 1A 파일의 신속한 전달 및 고속의 기하보정이 필요하다.

기존의 논문에서는 복사보정 결과와 RSG (Re-Sampling Grid) 파일을 HRIT 전송하는 방법을 제안하였다^[6]. 논문의 내용은 Level 1A 파일이 생성되면 HRIT 전송을 시작하는 동시에 기하보정 처리를 위하여 INRSM으로 전달하며, INRSM에서 기하보정이 완료되면 RSG 파일을 (Level 1A 파일에 이어서) HRIT로 배포하는 것이다. 제안된 방법의 장점은 배포시간이 증가되며, 복수의 시스템 구성이 용이하여 가용성을

증가시킴으로써 저가의 PC를 실시간시스템에 사용할 수 있다는 점이다. 또한 HRIT를 수신한 사용자가 복사보정 결과와 RSG 파일을 이용하여 기하보정영상을 생성하는 방법을 이용하여 데이터를 처리하면^[7], 기존의 기하보정 및 복사보정 결과를 HRIT로 수신한 것과 동일한 효과를 얻을 수 있다.

본 논문은 간략히 계산한 적외채널 복사보정 결과와 정밀하게 계산한 적외채널 복사보정을 이용한 결과를 입력하여 기하보정 처리를 수행한 두 결과의 정확도를 비교분석하는 것으로, 이를 이용하여 ‘일반적인 복사보정 결과(Level 1A 파일)와 RSG 파일을 HRIT로 전송’하는 기존의 설계에서 기하보정의 시작시각을 단축하는 방법을 제안하는데 목적이 있다. 가시채널 복사보정의 경우에는 발사 전 미리 결정된 기울기(slope)를 이용해서 간단하게 계산할 수 있으므로^[3], 본 논문에서는 논의하지 않는다.

이후 천리안위성 기상탑재체 적외채널 복사보정식에 대해서 설명하고(2장), 복사보정 결과를 이용하여 기하보정 처리를 수행하는 방법(3장) 및 처리 결과를 비교분석한 내용(4장)을 기술한다.

2. 천리안위성 기상탑재체 적외채널 복사보정식

천리안위성 기상탑재체 적외채널 복사보정은 기본 복사보정식(nominal radiometric calibration equation)을 바탕으로, 다섯 개의 보정 알고리즘이 추가로 이용된다^{[3][8]}: ①스캔미러 방사율 보정 (SMEC : Scan Mirror Emissivity Compensation, 이하 SMEC)^[9], ②자정 부근의 흑체관측 보정(MBCC : Midnight Blackbody Calibration Correction, 이하 MBCC)^[10], ③기울기 평균(slope averaging, 이하 SlopeAvg)^[3], ④검출기 특성 정규화(normalization)^[10], ⑤1/f 잡음 보정(1 over f noise compensation, pink noise compensation). 이후, 다섯 개의 추가 알고리즘이 적용되지 않

은 복사보정식을 ‘기본 복사보정식(nominal radiometric calibration equation)’으로, 다섯 개의 알고리즘을 모두 적용한 복사보정식을 ‘완전 복사보정식(complete radiometric calibration equation)’으로 정의한다.

추가된 다섯 개의 알고리즘 중에서, ②MBCC와 ③SlopeAvg는 흑체관측에서 계산하는 기울기에 대한 보정이고, 나머지 세 개의 알고리즘(①SMEC, ④검출기 특성 정규화, ⑤1/f 잡음 보정)은 기울기 보정과 직접 관계되지 않는다. 하지만 ①SMEC의 경우 해당 알고리즘 적용 유무에 따라서, 기울기식(m_N vs. m_G) 및 복사보정식이 달라짐에 유의해야한다. 이상을 정리하면, ①SMEC, ②MBCC, ③SlopeAvg 알고리즘 적용 유무에 따라서 표 1과 같이 네 가지 종류로 기울기 계산이 수행된다. (m_N : nominal slope, m_G : generalized slope, m_M : MBCC slope, m_C : complete slope)

표 1. 추가 알고리즘 적용에 따른 기울기의 종류

Algorithm Slope	SMEC	MBCC	SlopeAvg
m_N			
m_G	○		
m_M	○	○	
m_C	○	○	○

이후 기본 복사보정식과 완전 복사보정식에 대해서 상세히 설명한다.

2.1 기본 복사보정식

지구 영역에 대한 복사보정을 수행하기 위해서, 지구뿐만 아니라 기상탑재체 내부의 흑체관측(blackbody calibration, 매 30분) 및 우주보기 관측(space-look observation, 매 36.6 또는 9.2 초)도 병행하여 수행된다.

Nominal Slope (m_N)를 적용하는 기본 복사보정식은 식 (1)과 같다.

$$R = qX^2 + m_N X + b_N \quad (1)$$

식 (1)에서 R ($Wm^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1}$)은 복사보정 결과이며, q 는 위성 발사 전에 결정되는 상수, X 는 기상탑재체에서 취득한 지구관측값, m_N 은 매 흑체관측마다 계산되는 기울기(nominal slope)^[8], 그리고 b_N 은 m_N 과 우주보기관측 평균 등을 이용해서 계산하는 값이다. 즉, 식 (1)은 다섯 개의 추가 알고리즘이 전혀 적용되지 않은 복사보정식으로, 이 때 m_N 은 식 (2)로, b_N 은 식 (3)으로 계산한다.

$$m_N = \frac{R_{BB} - q(\overline{X_{BB}^2} - \overline{X_{SP-BB}}^2)}{\overline{X_{BB}} - \overline{X_{SP-BB}}} \quad (2)$$

$$b_N = -m_N \overline{X_{SP}} - q \overline{X_{SP}^2} \quad (3)$$

식 (2) 및 (3)에서, R_{BB} 는 흑체관측 온도로부터 계산한 결과, q 는 위성 발사 전에 결정되는 상수, $\overline{X_{BB}}$ 는 흑체관측값의 평균, $\overline{X_{SP-BB}}$ 는 흑체관측 시 우주보기관측값의 평균, $\overline{X_{SP}}$ 는 지구 관측 시 우주보기관측값의 평균이다. 식 (2)에서 R_{BB} 를 계산하는 방법은 식 (4)와 같다^[8].

$$R_{BB} = \sum_{i=0}^3 a_i T_{BB} \quad (4)$$

식 (4)에서, a_i (a_0, a_1, a_2, a_3)는 위성 발사 전 결정된 계수이고, T_{BB} 는 흑체관측에서 측정하는 온도이다.

2.2 완전 복사보정식

완전 복사보정식 설명에 앞서서, m_C 계산에 기본이 되는 m_G 를 적용하는 복사보정식은 식 (5)와 같다.

$$R = \frac{qX^2 + m_G X + b_G - \varepsilon(\theta) R_M}{1 - \varepsilon(\theta)} \quad (5)$$

식 (5)에서 R ($Wm^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1}$)은 복사보정

결과이며, q 는 위성 발사 전에 결정되는 상수, X 는 기상탑재체에서 취득한 지구관측값, m_G 는 매 흑체관측마다 계산되는 기울기^[8], b_G 는 m_G 와 우주보기관측 평균 등을 이용해서 계산하는 값, $\varepsilon(\theta)$ 는 스캔미러 각도(θ)에 따른 스캔미러 방사율, R_M 은 스캔미러의 온도값에 미리 결정된 계수를 곱해서 계산하는 값이다. 즉, 식 (5)는 SMEC가 적용될 경우의 복사보정식으로, 이때 m_G 은 식 (6)으로 b_G 는 식 (7)로 계산한다.

$$m_G = \frac{r_{BB} - q(\overline{X_{BB}^2} - \overline{X_{SP-BB}^2})}{\overline{X_{BB}} - \overline{X_{SP-BB}}} \quad (6)$$

$$b_G = -m_G \overline{X_{SP}} - q \overline{X_{SP}^2} + \varepsilon(\theta_{SP}) R_{M-SP} \quad (7)$$

식 (6)과 (7)에서, r_{BB} 는 흑체관측 및 스캔미러의 온도 등으로 계산되는 값, q 는 위성 발사 전에 결정되는 상수, $\overline{X_{BB}}$ 는 흑체관측에서 취득한 값의 평균, $\overline{X_{SP-BB}}$ 는 흑체관측 시 우주보기관측에서 취득한 값의 평균, $\overline{X_{SP}}$ 는 지구관측 시 우주보기관측에서 취득한 값의 평균, $\varepsilon(\theta_{SP})$ 는 우주보기관측(θ_{SP})에서 스캔미러 방사율, R_{M-SP} 는 우주보기관측에서 스캔미러 온도값에 미리 결정된 계수를 곱해서 계산하는 결과이다. 식 (6)에서 r_{BB} 의 계산방법은 식 (8)과 같다.

$$r_{BB} = [1 - \varepsilon(45)]R_{BB} + [\varepsilon(45) - \varepsilon(\theta_{SP})]R_{M-BB} \quad (8)$$

식 (8)에서 $\varepsilon(45)$ 는 위성 발사 전 결정된 상수이며, 나머지 세 값 (R_{BB} , $\varepsilon(\theta_{SP})$, R_{M-BB})은 매번 계산하여 적용한다. 여기에서 R_{M-BB} 는 흑체관측 시 스캔미러 온도값에 미리 결정된 계수를 곱해서 계산하는 결과값이다.

완전 복사보정 : 먼저 식 (8)로 r_{BB} 를, 식 (6)으로 기울기인 m_G 를 계산한 다음, MBCC 및 SlopeAvg 알고리즘을 적용하여 m_G 를 계산한다. 이후 식 (7)로 b_G (b_G 계산식에서 m_G 대신 m_G 를 대입해서 계산)를, 식 (5)로 R 을 계산한

다음, 검출기 특성 정규화 및 1/f 잡음 보정 알고리즘을 R 에 적용하면 완전 복사보정식 결과를 생성할 수 있다.

3. 제안 및 실험방법

천리안위성 영상전처리시스템에서는 완전 복사보정 결과(Level 1A 파일)가 기하보정 처리의 입력이 된다. 복사보정 결과는 파일 형태로 기하보정 시스템인 INRSM으로 전달되므로, 파일이 완전히 전달될 때까지 INRSM에서 해당 파일에 접근할 수 없으며, 또한 완전 복사보정의 계산식이 복잡하므로 복사보정 결과 생성에 오랜 처리시간이 필요하다. 이로 인하여 기하보정 처리의 시작시간이 늦어지게 된다.

본 논문에서는 완전 복사보정 결과를 입력으로 수신하여 기하보정을 수행하는 대신, 기본 복사보정식을 이용하는 복사보정 기능을 INRSM에서 직접 구현 및 수행하여 기하보정의 시작시간을 단축시킬 수 있는 방법을 제안한다. 즉 INRSM이 탑재체 데이터를 수신하여 복사보정 결과를 직접 생성한 다음 기하보정을 수행하는 것이다.

제안하는 방법의 타당성을 확보하기 위해서는 기본 복사보정식으로 처리한 기하보정 처리의 결과가 (완전 복사보정식으로 처리를 수행한 결과와 마찬가지로) 정확도 요구사항을 만족함을 검증해야한다. 따라서 본 장에서는 제안하는 방법을 검증하기 위한 실험 및 분석 방법을 기술한다.

3.1 복사보정 설정: 기본 복사보정식

실시간 영상전처리시스템은 완전 복사보정식(2.2절)이 적용되도록 설정되어 있다. 이를 기본 복사보정식(2.1절)으로 변경하기 위해서는 영상전처리시스템 옵션에서 다음의 설정을 수행해야 한다.

- A. MBCC, SlopeAvg, 검출기 특성 정규화, 1/f 잡음 보정 계산을 수행하지 않도록 설정한다.

- B. 식 (1)과 식 (5)가 동일해 지도록, ' $\epsilon(\theta) = 0$ '로 설정한다.
- C. 식 (3)과 식 (7)이 동일해 지도록, ' $\epsilon(\theta_{SP}) = 0$ '로 설정한다.
- D. 식 (4)와 식 (8)이 동일해 지도록, ' $\epsilon(45) = 0$ '로 설정한다. ($\epsilon(\theta_{SP})$ 는 C에서 0으로 설정하였음)

영상전처리시스템의 설정으로 그 기능을 선택할 수 있는 네 가지 알고리즘은 A에서 비활성화 하였고, SMEC 알고리즘은 설정 기능이 없으므로 B, C, D로 비활성화 하였다.

3.2 기하보정 처리 및 분석

복사보정의 결과를 이용해서 기하보정 처리를 하는 방법을 정리하면 다음과 같다.

1. 현재 실시간 운영 중인 영상전처리시스템(완전 복사보정식 적용)과 별개의 연구개발용 영상전처리시스템에 기본 복사보정식이 적용되도록 설정한다(3.1절).
2. 생성된 두 종류의 복사보정 결과(완전 복사보정 결과 및 기본 복사보정 결과)를 INRSM의 입력으로 하여 기하보정을 수행하고 각각의 Level 1B 헤더파일을 저장한다.
3. 동일한 관측에 대해서, 실시간 처리 시스템에서 처리되어 생성된 Level 1B 헤더파일과 연구개발용 영상전처리시스템에서 생성된 Level 1B 헤더파일을 비교분석한다.

Level 1B 파일은 헤더파일 및 픽셀파일(영상)로 구성되는데, Level 1B 헤더파일에는 기하보정의 정확도 계산결과에 대한 정보가 포함되어 있다^{[2][11]}. Level 1B 헤더파일에 포함된 기하보정 정확도에 대한 분석은 Astrium사가 개발한 MI Performance Evaluation Tool 및 한국항공우주연구원에서 개발한 Check Landmark를 사용하였다. 두 소프트웨어 모두 IDL 기반으로 개발되었으며, MI Performance Evaluation Tool의 경우 별도의 GUI 없이 IDL의 커맨드 라인(command line)에서 실행하여 CSV (Comma Separated Value) 파일로 결과를 생성하고, Check Landmark의 경우는 그림 1과 같은 GUI

가 구현되어 있으며 각 관측별로 기하보정 정확도를 표출 및 분석할 수 있다. (그림 1의 항목에 대한 설명은 표 2, 그림 4, 그림 5 참고)

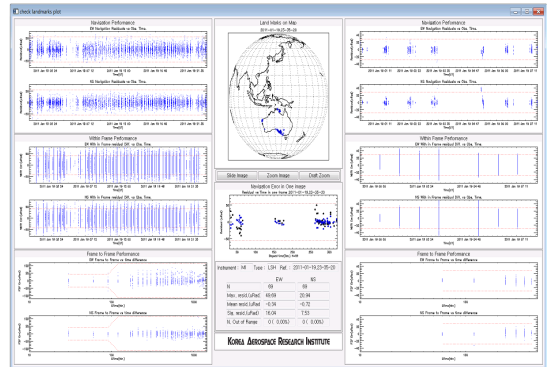


그림 1. Check Landmark 소프트웨어의 GUI

4. 실험결과 및 비교 분석

본 장에서는 기본 복사보정식을 이용하여 생성한 복사보정 결과와 완전 복사보정식을 생성한 결과를 입력으로 기하보정 처리를 수행한 다음, 두 처리결과에 대한 기하보정 정확도를 비교분석한 내용을 기술한다. 입력데이터는 2013년 5월 30일 11시 15분부터 5월 31일 20시 15분 사이의 총 33시간의 흑체관측 및 지구관측이다.

먼저 복사보정에서 네 가지 기울기 값 (표 1: m_N, m_G, m_M, m_C)의 비교분석 결과(4.1절)를, 이후 기하보정 정확도의 비교분석 결과(4.2절)를 설명한다.

4.1 적외채널 복사보정 기울기

천리안위성 기상탑재체의 각 적외채널(SWIR: Short Wave IR, WV: Water Vapor, WIN1: Window 1, WIN2: Window 2)은 각각 2개의 검출기(검출기A, 검출기B)로 구성되어 있으며, 각 검출기는 $4km \times 4km$ 영역을 관측한다. 그림 2와 3은 각각 SWIR 검출기A와 WIN2 검출기B에 대한 기울기 계산결과를 비교하여 나타낸 것이다.

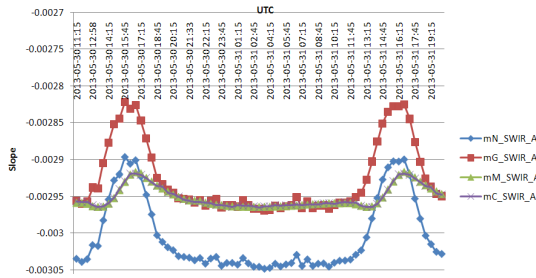


그림 2. SWIR 검출기A의 기울기 변화
(2013.05.30 11:15 ~ 2013.05.31 20:15)

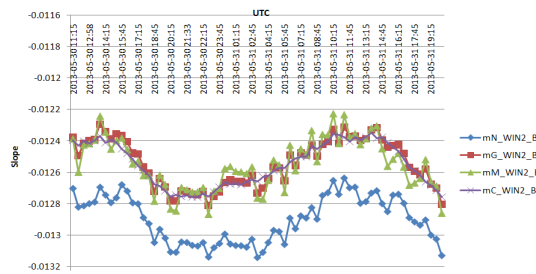


그림 3. WIN2 검출기B의 기울기 변화
(2013.05.30 11:15 ~ 2013.05.31 20:15)

그림 2와 3에서 mN은 m_N , mG는 m_G , mM은 m_M , mC는 m_C 를 의미한다. SWIR 검출기A와 WIN2 검출기B 모두, 추가 다섯 개의 알고리즘이 적용되지 않은 m_N 이 나머지 기울기(m_G , m_M , m_C) 보다 전체적으로 값이 작음을 알 수 있으며, SWIR 검출기A의 경우 MBCC를 적용한 두 개의 기울기(m_M , m_C)는 자정(그림 2 및 3에서 UTC 15시) 부근에 급격한 기울기 변화가 두드러지게 감소했음을 볼 수 있다. 기울기를 포함한 복사보정식의 차이가 기하보정 정확도에 미치는 영향은 4.2절에서 설명한다.

4.2 적외채널 기하보정 정확도

표 2는 완전 복사보정식(m_C)과 기본 복사보정식(m_N)으로 처리한 복사보정 결과를 입력으로 수행한 기하보정 결과(Level 1B 헤더파일)를 MI Performance Evaluation Tool로 분석한 것이다.

표 2. 복사보정처리 결과에 대한 기하보정 정확도 분석
: 완전 복사보정식 (m_C) vs. 기본 복사보정식 (m_N)
(2013.05.30 11:15 ~ 2013.5.31 20:15)

Items	Results	Acc.Req. [μRad]	Accuracy [μRad]	
			m_C	m_N
Navigation	EW	87.5	52.98	53.25
	NS	87.5	47.20	47.32
Within Frame	EW	103.9	62.53	63.40
	NS	103.9	63.31	63.36
Registration 15min	EW	99.1	31.97	30.99
	NS	99.1	30.68	31.06
Registration 90min	EW	103.9	36.33	35.96
	NS	103.9	35.74	36.03

표 2에서 Navigation은 기하보정을 위한 랜드마크(landmark)와 기하보정 후의 영상의 위경도의 차이, Within Fame은 한 영상 내의 위치 유지 정확도, Reisgration은 각각 15분 90분 내의 기하보정 결과에 대한 위치유지 정확도를 각각 지칭한다. 모든 항목은 동서(EW: East & West) 및 남북(NS: North & South)으로 나누어 측정하며 단위는 μRad 이다.

기본 복사보정식으로 처리한 결과를 입력으로 수행한 기하보정 처리의 경우(m_N), 대부분 완전 복사보정식에 의한 결과(m_C)보다 정확도가 다소 떨어지지만, 정확도 요구사항(Acc. Req.)은 모두 만족시킴을 확인하였다. 그림 4와 5는 각각 완전 복사보정식 및 기본 복사보정식의 결과를 이용한 기하보정 정확도를 Check Landmark를 이용해 분석한 결과이다. 그림 4 및 5에서 각 그래프 내의 직선은 기하보정 정확도 요구사항 값을 나타낸 것으로 대부분 관측이 요구사항을 만족하며, 두 결과가 유사함을 확인하였다.

5. 결 론

본 논문에서는 기본 복사보정 결과를 입력으로 기하보정을 수행하여, 기하보정의 시작시각을 단축시킬 수 있는 방법을 제안하고 실험을 통하여 타당성을 입증하였다.

총 33시간 관측에 대해서 기본 복사보정식의 결과 및 완전 복사보정식의 결과를 입력으로 수행한 기하보정 결과에 대한 정확도 분석을 통하여, 두 경우 모두 기하보정 정확도를 만족함을 확인하였다. 따라서 기하보정 처리의 시작시각을 앞당기는 목적으로 기본 복사보정 결과를 기하보정 처리의 입력으로 사용할 수 있다. 즉, INRSM에서 탑재체 데이터(CADU)를 직접 수신하여 적외채널의 기본 복사보정 처리 후 기하보정을 수행하는 것이 가능하며, 이는 기하보정 처리의 시작시각을 앞당김으로써 현재 설계중인 정지궤도복합위성 기상탑재체의 HRIT 전송 요구사항을 만족시키는데 도움을 줄 수 있을 것으로 기대한다.

참 고 문 헌

1. Kyung-Wook JIN and Seok-Bae SEO, "In Orbit Radiometric Calibration Tests of COMS MI Infrared Channels", Korean Journal of Remote Sensing, Vol.27 No.3, pp.369-377, 2011.
2. 진경욱, 서석배, 김한돌, 주광혁, 양군호, "천리안위성 기하보정 시스템의 궤도상 시험", 대한원격탐사학회지, Vol.27 No.4, pp.495-506, 2011.
3. 서석배, 강치호, 안상일, "통신해양기상위성 기상탑재체의 복사보정 알고리즘 설계", 한국항공우주연구원 기술논문, KARI-GST-TM-2007-002, pp.1-9, 2007.
4. 서석배, "COMS CADU 수신/분석/저장 소프트웨어 개발", 한국항공우주연구원 기술논문, KARI-GDT-TM-2010-027, pp.1-8, 2010.
5. Seok-Bae SEO, Chi-Ho KANG, In-Hoi KOO,

- Sang-Il AHN, and Eun-Kyou KIM, "Design of MI Decomposition Module for the COMS IMPS", International Symposium on Remote Sensing, ISSN 1226-9743, 2006.
6. Seok-Bae SEO and Sang-Il AHN, "A Proposal of AMI HRIT Service Method: Dissemination of Radiometric Corrected Image and Re-sampling Grid File", The 3rd Asia/Oceania Meteorological Satellite Users' Conference, p.29, 2012.
7. Seok-Bae SEO, "A Distance Weighted Calculation Method of COMS MI Geometric Correction using Re-sampling Grid Files", International Symposium on Remote Sensing, ISSN 1226-9743, 2012.
8. 서석배, 진경욱, "COMS MI 적외밴드 기울기 계산", 한국항공우주연구원 기술논문, KARI-GDT-TM-2010-023, pp.1-20, 2010.
9. 서석배, 진경욱, 안상일, "천리안위성 기상탑재체의 스캔미러 방사를 보정", 항공우주기술, 제10권 제1호, pp. 156-166, 2011.
10. 서석배, 안상일, "통신해양기상위성 기상탑재체의 복사보정 알고리즘 설계2: MBCC and Normalization", 한국항공우주연구원 기술논문, KARI-GST-TM-2007-015, pp.1-8, 2007.
11. 서석배, "COMS Data Format Definition", KARI Ground Segment Document, C1-DDD-810-001, 2007.

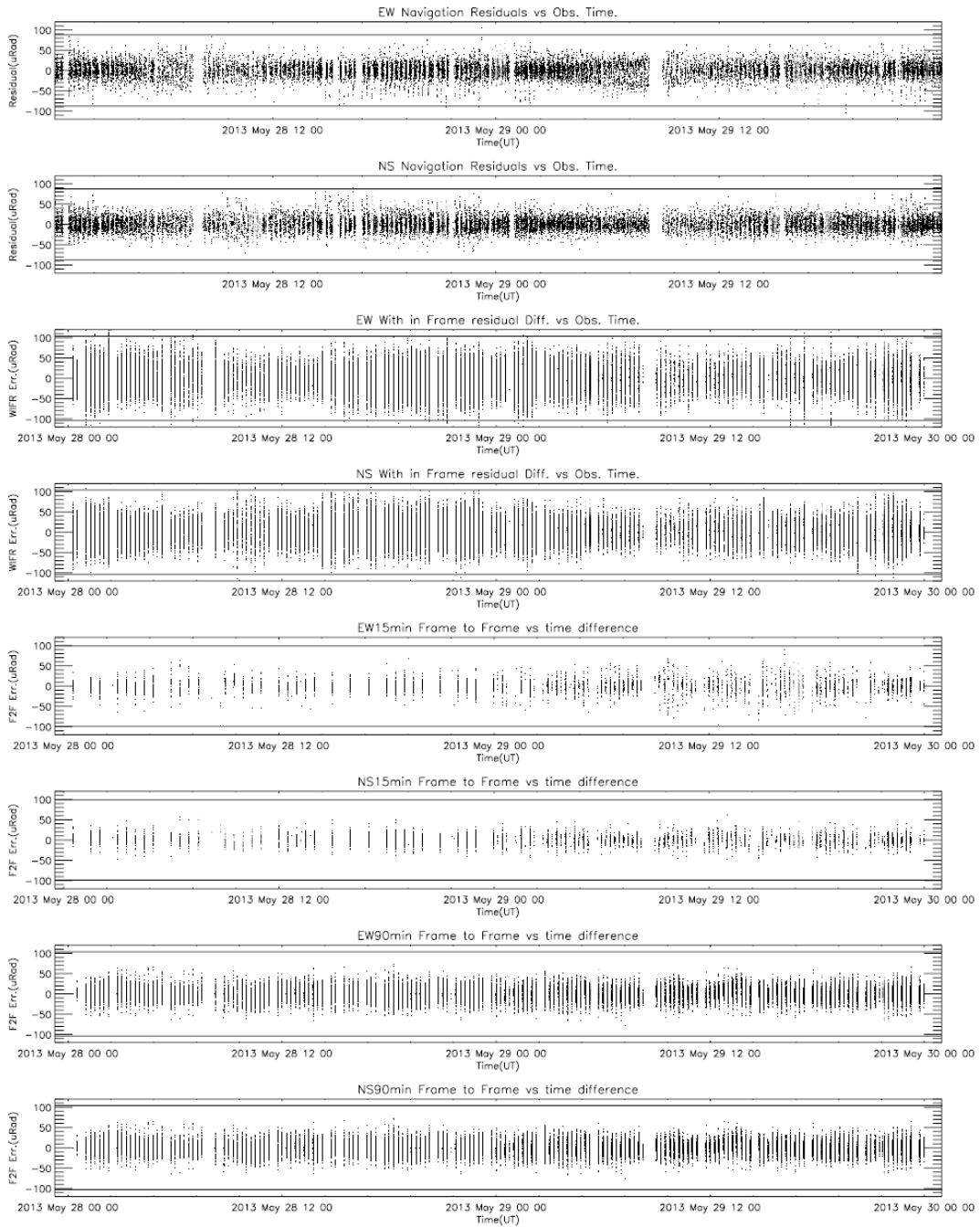


그림 4. 완전 복사보정 결과를 이용한 기하보정 처리 정확도 분석
(2013.05.30. 11:15 ~ 2013.05.31. 20:15)

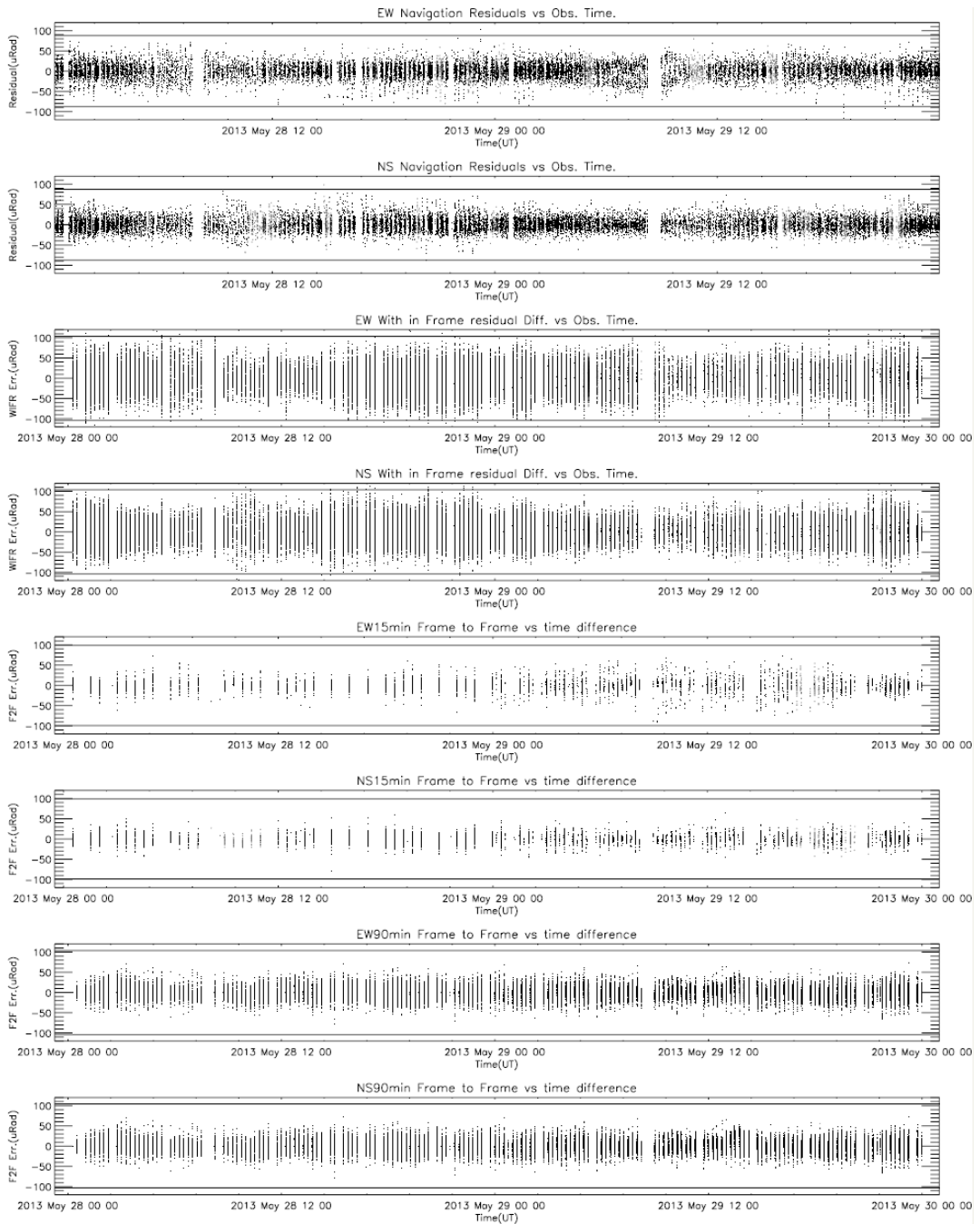


그림 5. 기본 복사보정 결과를 이용한 기하보정 처리 정확도 분석
(2013.05.30. 11:15 ~ 2013.05.31. 20:15)