

## 통신해양기상위성의 휠오프로딩 지상국 소프트웨어 검증시험

박영웅\*, 양군호\*\*

### Ground Software Validation Test for Wheel Off-loading of COMS

Young-Woong Park\*, Koon-Ho Yang\*\*

#### Abstract

There are two main software in COMS ground station at the normal mode operation - stationkeeping and wheel off-loading. In this paper, ground software validation test for wheel off-loading is summarized and described. The wheel off-loading was performed the design change from E3000 heritage and analyzed. The wheel off-loading of ground software has two part; one is wheel off-loading management for parameters change at the thruster set switching time and the other is wheel off-loading set-point being sent to satellite for the reference momentum.

#### 초 록

통신해양기상위성의 정상업무 수행시 자세제어에 대한 중요한 지상국 소프트웨어에는 궤도위치 유지와 휠오프로딩이 있는데, 본 논문에서는 외팔보 태양전지판 형상으로 인해 E3000 heritage로부터 설계 변경을 수행하여 해석을 수행한 휠오프로딩 임무에 대한 지상국 소프트웨어 검증시험을 정리하여 기술하였다. 휠오프로딩 지상국 소프트웨어는 크게 2가지로 구분되는데, 하나는 휠오프로딩을 위한 추력기 조합 변경 시기에서의 변수 변경이고 다른 하나는 위성으로 전달해야 하는 모멘텀 기준값 변경이다.

키워드 : 통신해양기상위성 (COMS: Communication, Ocean and Meteorological Satellite), 지상국 소프트웨어 (ground software), 휠오프로딩 (wheel off-loading), 휠오프로딩 변경 관리 (wheel off-loading management), 휠오프로딩 기준값 (wheel off-loading set-point)

#### 1. 서 론

통신해양기상위성은 탑재체 성능을 극대화하기 위해 북쪽으로 태양전지판을 배치하지 않은 외팔보 형상의 정지궤도위성이다. 이러한 특이한

형상으로 인해 태양복사압에 의한 모멘텀이 하루에 약 25 Nms 씩 누적되어 매일 휠오프로딩이라는 모멘텀 제어 임무를 수행해야 한다. 이와 같이 매일 수행해야 하는 휠오프로딩으로 인해 추력기의 사용횟수 제한조건이 설계변수가 되어 10년의 설계수명 동안 허용된 횟수를 만족하도록

접수일(2010년 1월 13일), 수정일(1차 : 2010년 4월 16일, 2차 : 2010년 6월 18일, 게재 확정일 : 2010년 10월 1일)

\* 위성제어팀/ywpark@kari.re.kr

\*\* 통제기체계팀/khyang@kari.re.kr

4개월마다 주사용 추력기 조합을 변경하도록 설계하였다.[1,2]

월오프로딩이 항상 일정한 제어 알고리즘을 갖고 수행되면 지상에서 특별한 명령을 생성하여 위성으로 전달하는 과정이 꼭 필요하지 않지만 [3], 통신해양기상위성의 경우 특별한 제한조건들로 인해 지상국 소프트웨어에서 월오프로딩을 위한 변수들을 생성하여 운영하는 과정이 필요하게 되었다.

본 논문에서는 월오프로딩 관련 지상국 소프트웨어의 검증시험을 위한 과정 중에서 위성을 개발한 엔지니어에 의해 제시된 요구사항, 시험 항목 및 결과들을 정리하여 기술하였다. (2장 참조)

## 2. 자세제어계 지상국 소프트웨어

일반적인 소프트웨어 개발체계는 사용자에게 요구사항이 제시되고 소프트웨어 개발자에게 개발규격이 작성되어 개발된 후 최종 사용자에게 검증시험을 보여주거나 결과를 제출하게 되지만, 통신해양기상위성 지상국 소프트웨어 개발체계는 위성을 설계하고 해석한 엔지니어에 의해 요구사항과 검증시험 항목 및 결과가 제시되었고, 소프트웨어 개발자에게 의해 개발된 후 최종 사용자인 지상국 운영자에게 의해 검증시험이 수행되어 제시된 최종 시험결과와 동일한 지를 확인하도록 구성되었다. (그림 1. 참조)

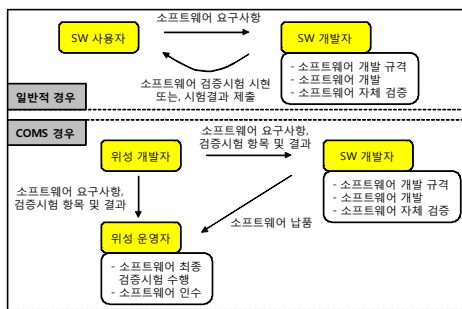


그림 1. 소프트웨어 개발체계

통신해양기상위성 자세제어계에 관련하여 지상국 소프트웨어로 개발된 것 중에 정지궤도에서 정상임무를 수행할 때 사용되는 중요한 소프트웨어는 남북방향 및 동서방향 궤도위치유지와 월오프로딩 소프트웨어가 있다.

여기에서 월오프로딩을 위한 지상국 소프트웨어는 크게 2가지로 구분되는데, 하나는 4개월마다 변경되어지는 주사용 추력기 조합 변경과 이에 따른 월오프로딩의 시간 변경 그리고 예상 추력의 변경을 위성 운영자들에게 알려주는 월오프로딩 관리 소프트웨어(WOL\_MAN)가 있고, 다른 하나는 월오프로딩 시간 변경에 따라 위성에서 월오프로딩을 수행하여 도달해야 하는 월오멘텀의 기준값을 생성하는 소프트웨어(WOL\_SET)가 있다.

월오프로딩 관리 소프트웨어를 통해 얻게 되는 예상 추력의 변경은 정밀 궤도결정에 사용되고, 월오프로딩 기준값 생성 소프트웨어를 통해 얻게 되는 기준값은 월오프로딩이 수행되기 전에 위성으로 전달되어 탑재소프트웨어에 의해 월오프로딩을 하는 과정에서 전달된 기준값으로 모멘텀이 도달하게 된다.

자세제어계에 관련된 지상국 소프트웨어의 요구사항은 입력, 출력 그리고 알고리즘 형태로 구성되어 있다. 또한 입력은 운영자에 의해, 지상국 소프트웨어의 다른 모듈에 의해, 지상국 데이터베이스에 의해 그리고 위성의 텔레메트리에 의해 제공되는 것으로 분류되고, 출력은 운영자에게, 지상국 소프트웨어의 다른 모듈로 그리고 위성으로 전달되는 것으로 분류되어 있다.

## 3. 월오프로딩 관리 소프트웨어

### 3.1 입출력 요구사항

통신해양기상위성은 매일 월오프로딩을 하지만 소프트웨어적으로 예상되는 날짜에 대한 예측을 하기 위해서는 해당 날짜가 운영자에 의해 입력으로 제공될 필요가 있다. 다른 소프트웨어 모

들과 위성 텔레메트리로부터 입력되어지는 것은 없고, 데이터베이스로부터는 월오프로딩은 위해 설계된 표 1.과 같은 설정값들(월오프로딩 구간, 주사용 추력기 조합, 각각의 월오프로딩 시간, 월오프로딩에 의한 속도변화)이 주어지게 된다. 추력기 조합 변경에 대한 순서는 참고문헌 [1]에 기술되어 있다.

표 1. WOL\_MAN DB 입력 예 (UT: universal Time)

	Period 1	Trans1-2	Period 2	Trans 2-3	Period 3	Trans 3-1
Period start	3-Mar	1-Jul	2-Jul	1-Nov	2-Nov	2-Mar
Period end	30-Jun	1-Jul	31-Oct	1-Nov	1-Mar	2-Mar
Used Thrusters	THR13	THR12	THR12	THR23	THR23	THR13
1st WOL (UT)	15:00:00	15:00:00	15:00:00	0:00:00	0:00:00	15:00:00
2nd WOL (UT)	0:00:00	6:00:00	6:00:00	6:00:00	6:00:00	0:00:00
1st WOL DVx (m/s)	-7.0E-05	-7.0E-05	-4.0E-05	-1.0E-03	-1.0E-03	-4.0E-05
1st WOL DVy (m/s)	-6.0E-03	-6.0E-03	-3.0E-03	-9.0E-03	-9.0E-03	-3.0E-03
1st WOL DVz (m/s)	-1.0E-03	-1.0E-03	-1.0E-03	1.0E-03	1.0E-03	-1.0E-03
2nd WOL DVx (m/s)	-8.0E-04	1.0E-03	1.0E-03	6.0E-04	6.0E-04	-8.0E-04
2nd WOL DVy (m/s)	-4.0E-03	-7.0E-03	-7.0E-03	-3.0E-03	-3.0E-03	-4.0E-03
2nd WOL DVz (m/s)	9.0E-04	1.0E-03	1.0E-03	5.0E-04	5.0E-04	9.0E-04

월오프로딩 관리 소프트웨어의 출력은 운영자들에게 입력된 내용들을 재확인하는 것을 포함하여 다음과 같은 항목을 요구한다.

- 추력기조합 변경시 경고메시지 화면 출력
- 각각의 월오프로딩 날짜와 시간
- 월오프로딩에 의해 발생하는 속도변화

추력기조합에 대한 출력값은 월오프로딩 기준 값 소프트웨어(WOL\_SET) 입력으로 사용된다. 출력 항목들에 대한 예시는 '3.3 검증시험 항목 및 기준 결과'에 정리하였다.

### 3.2 알고리즘 요구사항

다음의 순서에 따라 소프트웨어 알고리즘을 구성한다.

- 2회의 월오프로딩 날짜를 동일하게 설정 (date1=date2=date)

- 표 1.의 start/end 날짜에 해당하는 회색셀 내용을 title(n)로 설정
- title(n)의 각 항목 값들을 선정
- If(time2<time1), then date2=date+1
- 월오프로딩 전날의 title(n-1) 산출
- If(title(n)=title(n-1)), then 이전과 동일한 월오프로딩 변수 출력
- If(title(n)≠title(n-1)), then 날짜와 시간을 고려한 Toff-1/2(n), Toff-1/2(n-1) 정의 후 다음의 알고리즘 진행
  - If(Toff-2(n-1)>Toff-1(n)), then 해당 일의 월오프로딩 취소
  - If(Toff-1(n)-Toff-2(n-1)>24hours), then 이전의 월오프로딩 2회 추가 실행
  - Else 정해진 시간에 월오프로딩 실행
  - 주사용 추력기조합이 변경될 경우, 경고 메시지 출력

### 3.3 검증시험 항목 및 기준 결과

앞 절에서 정의한 알고리즘을 이용해서 월오프로딩 관리 소프트웨어를 개발할 경우 그 결과를 검증하기 위해 시험 항목과 기준 결과를 본 절에 설명한다. 이 결과들은 표 1.에 정리된 값들을 기준으로 작성되었다.

먼저 검증시험 항목을 정의하기 위해 월오프로딩에 변화가 있는 부분(Trans)과 변화가 없는 부분(Period)을 모두 고려해서 빠지는 영역이 없도록 해야 한다. 변화가 있는 날짜를 중심으로 전후 날짜까지 고려하면 변화가 없는 부분도 같이 검증될 수 있다. 이렇게 항목을 정의하면 표 2.와 같이 9개의 항목으로 구분할 수 있다. 그림 2.는 9개의 검증항목을 일정에 따라 보기 쉽게

구분한 스케줄이다.

표 2. 검증시험 항목 정의 (WOL\_MAN)

검증항목	검증항목별 설명
OFFLO_MAN #1	추력기 조합 불변 (in period 3)
OFFLO_MAN #2	추력기 조합 변경 (월오프로딩 추가)
OFFLO_MAN #3	추력기 조합 불변 (in period 1)
OFFLO_MAN #4	추력기 조합 불변 (in period 1)
OFFLO_MAN #5	추력기 조합 변경
OFFLO_MAN #6	추력기 조합 불변 (in period 2)
OFFLO_MAN #7	추력기 조합 불변 (in period 2)
OFFLO_MAN #8	추력기 조합 변경 (월오프로딩 취소)
OFFLO_MAN #9	추력기 조합 불변 (in period 3)

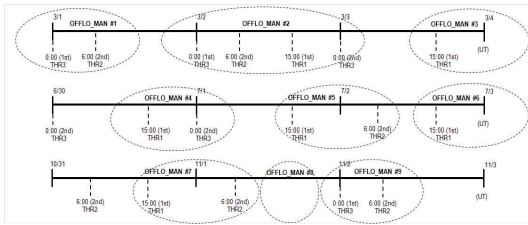


그림 2. 검증시험을 위한 스케줄 (WOL\_MAN)

다음은 정의된 항목을 중심으로 검증시험을 위한 입력과 기준 결과를 표 3.과 표 4.로 정리하였다. 검증시험시 표 3.의 입력에 따라 표 4.와 같은 결과가 나오는지 확인하면 된다.

표 3. 검증시험을 위한 입력 (WOL\_MAN)

검증항목	Date		
	year	month	day
OFFLO_MAN #1	2009	3	1
OFFLO_MAN #2	2009	3	2
OFFLO_MAN #3	2009	3	3
OFFLO_MAN #4	2009	6	30
OFFLO_MAN #5	2009	7	1
OFFLO_MAN #6	2009	7	2
OFFLO_MAN #7	2009	10	31
OFFLO_MAN #8	2009	11	1
OFFLO_MAN #9	2009	11	2

표 4. 검증시험 기준 결과 (WOL\_MAN)

# of Scenario	THRConf_Change	Date	Time (UT)	THR_Conf	DVx (m/s)	DVy (m/s)	DVz (m/s)
OFFLO_MAN #1	no change	2009-03-01	0:00:00	THR23	-1.0E-03	-9.0E-03	1.0E-03
	no change	2009-03-01	6:00:00	THR23	6.0E-04	-3.0E-03	5.0E-04
OFFLO_MAN #2	no change	2009-03-02	0:00:00	THR23	-1.0E-03	-9.0E-03	1.0E-03
	no change	2009-03-02	6:00:00	THR23	6.0E-04	-3.0E-03	5.0E-04
	change	2009-03-02	15:00:00	THR13	-4.0E-05	-3.0E-03	-1.0E-03
	change	2009-03-03	0:00:00	THR13	-8.0E-04	-4.0E-03	9.0E-04
OFFLO_MAN #3	no change	2009-03-03	15:00:00	THR13	-7.0E-05	-6.0E-03	-1.0E-03
	no change	2009-03-04	0:00:00	THR13	-8.0E-04	-4.0E-03	9.0E-04
OFFLO_MAN #4	no change	2009-06-30	15:00:00	THR13	-7.0E-05	-6.0E-03	-1.0E-03
	no change	2009-07-01	0:00:00	THR13	-8.0E-04	-4.0E-03	9.0E-04
OFFLO_MAN #5	change	2009-07-01	15:00:00	THR12	-7.0E-05	-6.0E-03	-1.0E-03
	change	2009-07-02	6:00:00	THR12	1.0E-03	-7.0E-03	1.0E-03
OFFLO_MAN #6	no change	2009-07-02	15:00:00	THR12	-4.0E-05	-3.0E-03	-1.0E-03
	no change	2009-07-03	6:00:00	THR12	1.0E-03	-7.0E-03	1.0E-03
OFFLO_MAN #7	no change	2009-10-31	15:00:00	THR12	-4.0E-05	-3.0E-03	-1.0E-03
	no change	2009-11-01	6:00:00	THR12	1.0E-03	-7.0E-03	1.0E-03
OFFLO_MAN #8							
OFFLO_MAN #9	change	2009-11-02	0:00:00	THR23	-1.0E-03	-9.0E-03	1.0E-03
	change	2009-11-02	6:00:00	THR23	6.0E-04	-3.0E-03	5.0E-04

## 4. 월오프로딩 기준값 소프트웨어

### 4.1 입출력 요구사항

운영자에 의한 입력으로는 월오프로딩을 하기 위해 날짜와 위성에서 사용되고 있는 월조합이 주어져야 한다. 월조합의 경우는 텔레메트리로부터 운영자가 현재 위성에서 사용되는 월조합을 확인해야 한다. 그리고 월오프로딩 관리 소프트웨어(WOL\_MAN)으로부터 추력기조합 결과가 주어져야 하고, 천체력을 계산하는 소프트웨어로부터 태양이 관성좌표 X축과 이루는 각(Tropical angle,  $\alpha_T$ )이 제공되어야 한다.(그림 3. 참조) 또한, 월조합과 추력기조합에 대한 최적의 월모멘텀 기준값을 데이터베이스로부터는 얻어야 한다. 이때 월모멘텀 기준값은 표 5.와 같이 톨로축 모멘텀 크기( $H_c$ )와 각도( $\alpha_c$ )로 설정되어 있고 피치

축 모멘텀( $H_p$ )은 고정된 하나의 값으로 제공된다.[4] 텔레메트리로부터 제공되는 입력은 없다.

표 5. WOL\_MAN DB 입력 예

$H_c$	THR12	THR13	THR23
RDR12	10.0 Nms	10.5 Nms	11.0 Nms
RDR13	11.5 Nms	12.0 Nms	12.5 Nms
RDR23	13.0 Nms	13.5 Nms	14.0 Nms

$\alpha_c$	THR12	THR13	THR23
RDR12	36.0 deg	36.5 deg	37.0 deg
RDR13	37.5 deg	38.0 deg	38.5 deg
RDR23	39.0 deg	39.5 deg	40.0 deg

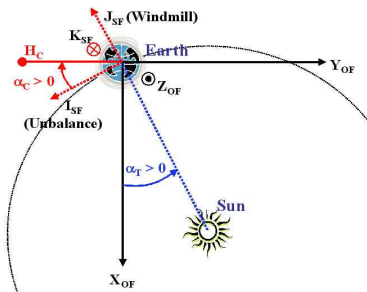


그림 3. WOL\_SET에 사용되는 각

출력으로는 운영자의 선택을 확인하기 위해 롤요축 모멘텀 크기( $H_c$ )와 각도( $\alpha_c$ )를 제공하고, 휠오프로딩시 수립해야 하는 기준값을 모멘텀 크기( $H_{consign}$ )와 관성좌표계에 대한 단위방향벡터( $H_{direction}$ )로 생성하여 위성으로 전달해야 한다. 다른 지상국 소프트웨어로 제공되는 값은 없다. 출력 항목들에 대한 예시는 '4.3 검증시험 항목 및 기준 결과'에 정리하였다.

## 4.2 알고리즘 요구사항

다음의 순서에 따라 소프트웨어 알고리즘을 구성한다.

- 모든 입력으로부터 다음의 변수값 설정 ( $H_c, \alpha_c, H_p$ )

$$b. H_{consign} = -\sqrt{H_p^2 + H_c^2}$$

$$c. \delta = \sin^{-1}\left(\frac{|H_c|}{|H_{consign}|}\right), \beta = \frac{\pi}{2} + (\alpha_T - \alpha_c) * \frac{\pi}{180}$$

$$d. H_{direction} = \begin{bmatrix} \sin\delta\cos\beta \\ \sin\delta\sin\beta \\ -\cos\delta \end{bmatrix}$$

- 입력된 모멘텀의 크기에 제한을 두고, 그 제한값을 벗어날 경우 경고메시지 출력 ( $10Nms < H_p < 50Nms, 0Nms < H_c < 20Nms$ )

## 4.3 검증시험 항목 및 기준 결과

앞 절에서 정의한 알고리즘을 이용해서 휠오프로딩 기준값 소프트웨어를 개발할 경우 그 결과를 검증하기 위해 시험 항목과 기준 결과를 본 절에 설명한다. 이 결과들은 표 5.에 정리된 값들을 기준으로 작성되었다.

먼저 검증시험 항목을 정의하기 위해 모든 조합을 살펴보면  $H_c$  9개,  $\alpha_c$  9개로 최대 81 항목이 고려되어야 하는데 본 소프트웨어는 데이터베이스에서 특정 위치의 값을 이용해서 계산을 하는 단순한 것이므로 표 6.과 같이 4개의 항목만을 정의한다.

표 6. 검증시험 항목 정의 (WOL\_SET)

검증항목	검증항목별 설명
OFFLO_SET #1	휠조합 (RDR13), 추력기조합 (THR23)
OFFLO_SET #2	휠조합 (RDR23), 추력기조합 (THR13)
OFFLO_SET #3	휠조합 (RDR12), 추력기조합 (THR12)
OFFLO_SET #4	제한범위 경고메시지 (OFFLO_SET #3 조합)

다음은 정의된 항목을 중심으로 검증시험을 위한 입력과 기준 결과를 표 7.과 표 8.로 정리하였다. 검증시험시 표 7.의 입력에 따라 표 8.과 같은 결과가 나오는지 확인하면 된다.

표 7. 검증시험을 위한 입력 (WOL\_SET)

검증항목	Input from Operator			Input from Operator			
	Date_Off-Loading			CONF_wheel	CONF_thruster	Alpha_T [deg]	Hp [Nms]
	Year	Month	Day				
OFFLO_SET #1	2009	1	1	RDR13	THR23	281	21
OFFLO_SET #2	2009	3	31	RDR23	THR13	9	21
OFFLO_SET #3	2009	8	15	RDR12	THR12	144	21
OFFLO_SET #4	2009	8	15	RDR12	THR12	144	55

표 8. 검증시험 기준 결과 (WOL\_SET)

검증항목	H_consign [Nms]	H_direction		
		X	Y	Z
OFFLO_SET #1	-24.4	0.4537	-0.2362	-0.8593
OFFLO_SET #2	-25.0	0.2745	0.4659	-0.8412
OFFLO_SET #3	-23.3	-0.4089	-0.1329	-0.9029
OFFLO_SET #4	(Warning Message)	(Warning Message)	(Warning Message)	(Warning Message)

## 5. 결 론

본 논문에서는 통신해양기상위성이 매일 2회씩 정해진 시간에 수행하게 될 휠오프로딩과 관련된 지상국 소프트웨어를 개발하는 과정에서, 최종 검증시험을 수행하기 위해 위성 개발자에 의해 예측된 검증시험 항목과 해당 입력 및 기준 결과를 제시하였다. 다만, 사용된 수치들은 통신해양기상위성에 사용될 값들과 일치하지 않는 예제 형태로 제시되었지만 프로그램 알고리즘을 통해 휠오프로딩 관리 소프트웨어와 기준값 생성 소프트웨어의 최종 검증을 수행하기에는 전혀 문제가 없을 것으로 판단된다.

자세제어계에 관련한 지상국 소프트웨어의 입출력 형태와 휠오프로딩 검증시험을 하기 위해 최소한의 시험으로 모든 가능한 경우를 검증할 수 있는 항목을 정의하는 과정도 소개하였다.

## 후 기

본 논문은 교육과학기술부에서 지원하는 특정연구개발 사업의 일환인 '통신해양기상위성 개발사업'의 연구 결과입니다.

## 참 고 문 헌

1. 박영웅, 박근주, 김대관, 양군호, "정지궤도 위성의 휠모멘텀 제어에 의해 발생하는 3축 궤도병진 속도에 관한 분석," 항공우주기술지, 제7권, 제2호, 2008, pp.88-94
2. Y.W. Park, K.J. Park, H.H. Lee, G.H. Ju, B.K. Park, "Preliminary COMS AOCS Design for Optimal Optical Payloads Operations," International Symposium on Remote Sensing, BEX CO Busan, 2006, pp.290-293
3. 박영웅, 남문경, 방효충, "정지궤도위성의 휠 모멘텀 관리 로직 연구," 한국항공우주학회지, 제31권, 제3호, 2003, pp.85-94
4. Y.W. Park, *Wheel Off-loading Set-point Optimisation and Associated Transverse Wheels Budgets*, COMS CDR documents, 2007