

# 정지궤도위성의 휠모멘텀 제어에 의해 발생하는 3축 궤도병진 속도에 관한 분석

박영웅\*, 박근주\*\*, 김대관\*\*\*, 양군호\*\*\*\*

## Analysis on Triaxial Velocity induced by Wheel Off-loading of Geostationary Satellite

Young-Woong Park\*, Keun-Joo Park\*\*, Dae-Kwan Kim\*\*\*, Koon-Ho Yang\*\*\*\*

### Abstract

In this study, triaxial velocity is analyzed for COMS(Communication, Ocean and Meteorological Satellite) configuration, which is generated when thrusters are used to dump wheel momentum. Since COMS is designed to periodically change the thruster set in order to uniformly decrease the performance of thrusters, triaxial velocity would be different during the change of thruster set. So, the triaxial velocity generated due to the change of thruster set is optimized.

### 초 록

본 연구에서는 통신해양기상위성 형상을 갖고 휠모멘텀 제어를 위해 추력기를 사용할 때 발생하는 3축 궤도병진 운동에 관하여 분석하였다. 또한, 통신해양기상위성은 톨/요 휠모멘텀 제어를 위해 사용되는 추력기의 성능 감소를 균일하게 하기 위해 주기적으로 조합군을 변경하도록 설계하였기 때문에 조합군 변경시에 발생하는 3축 궤도병진 속도 차이가 발생하게 된다. 따라서 본 연구에서는 COMS 추력기 조합군 변경시 발생하는 3축 궤도병진 속도를 최적화하였다.

키워드 : 3축 궤도병진 속도 (triaxial velocity), 휠모멘텀 제어 (wheel off-loading), 추력기 세트 최적 전환 (optimal sequence of thruster set)

## 1. 서 론

인공위성은 태양전지판을 항상 태양과 수직이 되도록 제어하여 최대의 전력을 생성하도록 설계하고 있다. 그러므로 태양전지판의 면적이 넓을수록 그리고 위성 무게중심점에 대해 태양복사압

에 의한 태양전지판 압력중심이 멀리 떨어져 있을수록 태양복사압에 의한 외란크기가 크게 작용하게 된다. 이를 방지하기 위해 거의 모든 인공 위성은 태양전지판을 항상 대칭으로 배치하는데 특이한 임무수행이나 탑재체 성능 향상을 위해 태양전지판을 대칭으로 배치하지 못할 경우에는 태양복사압에 의한 외란토크를 최소화하기 위해

---

접수일(2007년12월7일), 수정일(1차 : 2008년 10월 23일, 2차 : 2008년 10월 27일, 게재 확정일 : 2008년 11월 1일)

\* 통해기체계팀/ywpark@kari.re.kr

\*\* 통해기체계팀/kjp@kari.re.kr

\*\*\* 통해기체계팀/dkk@kari.re.kr

\*\*\*\* 통해기체계팀/khyang@kari.re.kr

태양전지판과 대칭으로 균형추(Solar Sail)를 장착하고 있다.[1]

그런데, 2009년도에 발사될 정지궤도 통신해양기상위성(COMS: Communication, Ocean and Meteorological Satellite)은 탑재체의 성능을 극대화하기 위해 탑재체가 놓이는 북쪽으로 태양전지판이나 균형추를 배치하지 않은 비대칭 구조를 채택하였다. 이러한 경우, 앞에서 언급한 태양복사압에 의한 외란토크가 발생하고 이를 제어하면서 월모멘텀이 크게 누적되게 된다. 이러한 위성은 월모멘텀 포화를 막기 위해 주기적으로 월모멘텀 제어를 수행해야 하는데 이때 추력기를 사용하게 된다.[2]

정지궤도위성에서 남북위치유지 및 월모멘텀 제어를 위해 사용하게 되는 추력기들은 모두 남쪽이나 북쪽 패널에 놓여 있어서 롤/요축의 월모멘텀 제어를 위한 적절한 토크를 발생시킬 수 있다. 그러나, 이 경우 항상 추력벡터가 남이나 북으로만 향해 있지 않고 중심축으로부터 일정한 각을 갖고 틀어져 있기 때문에 3축 궤도병진 운동이 발생하게 된다.[3]

본 연구에서는 COMS 형상을 갖고 이러한 3축 궤도병진 운동에 관하여 분석하였다. 특히, COMS는 롤/요 월모멘텀 제어를 위해 사용되는 추력기의 성능 감소를 균일하게 하기 위해 4개월마다 조합군을 변경하도록 설계하였기 때문에 조합군 변경시에 발생하는 3축 궤도병진 속도 차이가 발생하게 된다. 따라서 본 연구에서는 COMS 추력기 조합군 변경시 발생하는 3축 궤도병진 속도를 최적화하였다.

## 2. 월모멘텀 제어

### 2.1 위성체 구조에 따른 누적 모멘텀

그림 1.은 COMS의 비대칭 태양전지판 배치 및 추력기 배치 외형도를 보여준다. X축은 위성 진행방향으로 정지궤도에서는 지구 동쪽이고, Y축은 남쪽, Z축은 지구를 향하는 방향이 된다. 남북위치유지 및 롤/요축 자세제어를 수행하기 위한 추력기는 북쪽에 탑재체가 놓이게 되므로

남쪽 패널에 장착되어 있다.

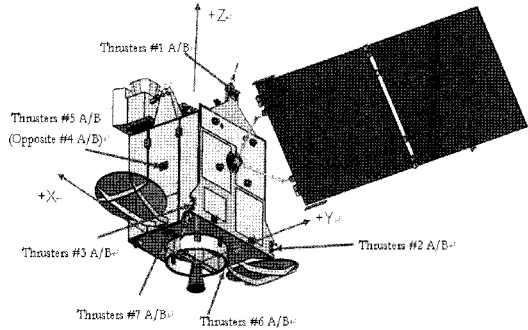


그림 1. 통신해양기상위성 외형도

그림 1.과 같은 형상에 대해 정지궤도에서의 태양복사압에 의한 외란토크를 1년에 대해 계산하면 그림 2.와 같은 결과를 얻을 수 있다. 정지궤도위성은 춘추분에서 태양 입사각이 수직이 되고, 하지와 동지에서는 23.5도만큼 경사각이 존재하여 외란토크 크기가 계절에 따라 달라진다.

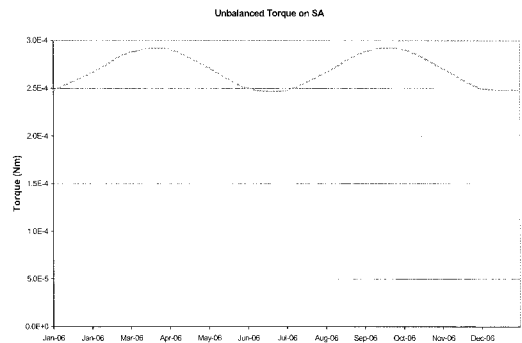


그림 2. 태양복사압에 의한 비대칭 외란토크

앞에서 얻어진 비대칭 외란토크를 갖고 위성에 축적되는 모멘텀을 계산할 때, 춘추분에서 최대가 될 것 같지만 이 기간에는 식시간(Eclipse)이 존재해서 외란토크가 발생하지 않게 된다. 따라서 최대 외란토크가 발생할 수 있는 춘추분에서 식시간 시간을 고려하여 모멘텀을 계산하면 봄철의 경우 2월 26일경과 4월 13일경에 24.64 Nms(가을철도 동일) 정도가 하루 최대 누적모멘텀이 된다. 하지와 동지에서의 하루 누적모멘텀은 21.25 Nms 정도가 된다.

## 2.2 휠모멘텀 제어를 위한 최적 전략

비대칭 외란토크에 의해 발생된 모멘텀은 태양전지판이 항상 태양을 향하면서 누적되는 것이기 때문에 하루를 기준으로 하면 관성좌표계에 고정된 벡터가 된다. 이것은 위성 몸체좌표계에서 보면 롤/요축으로 주기적인 변화가 생기게 되는 것이다. (그림 3. 참조)

그림 3은 누적된 모멘텀으로 인해 휠이 포화되는 것을 방지하기 위해 추력기를 사용하여 제어(Off-loading)할 때 최적의 시간을 보여준다. 즉, 자정에서는 추력기 1번, 오전 9시에서는 추력기 3번, 오후 3시에서는 추력기 2번을 사용하는 것이 하나의 추력기를 사용하여 최대의 토크를 얻게 된다. 이 최적 시간대는 COMS의 추력기 위치와 벡터 성분을 근거로 도출된 값이다.[3]

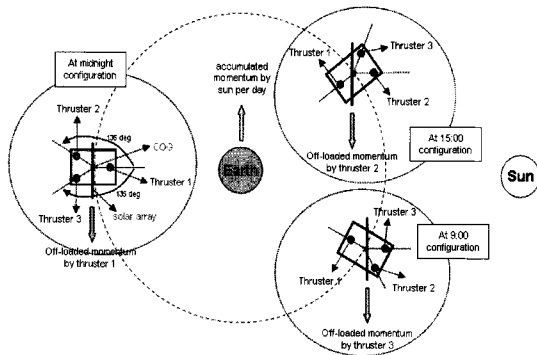


그림 3. 휠모멘텀 제어를 위한 최적 시간대

휠모멘텀 제어는 누적된 모멘텀을 최단시간에 최대한으로 감소시키는 전략을 사용해야 한다. 그리고, 휠모멘텀 제어를 수행하는 동안에 다른 요인에 의해 위성의 자세가 틀어지는 것을 제어하기 위한 여유가 존재해야 한다. 그림 3은 이러한 조건들을 고려하여 COMS에 적용한 구동기 제어구조를 보여주고 있다. 즉, 휠모멘텀 제어 동안에 선택된 구동기는 추력기이고, 휠은 최대의 토크를 갖고 감소하는 방향으로 주어진 시간동안 지속적으로 구동하면, 위성은 휠에 의한 외란과 다른 외란요인들을 모두 고려한 추력 제어명령을 생성하고 그 값을 추력기에 전달하게 된다.

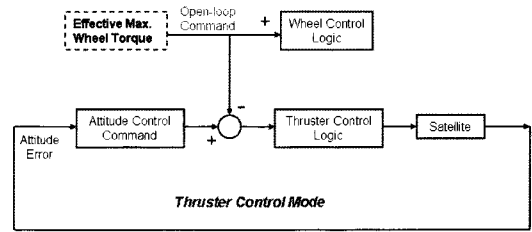


그림 4. 휠모멘텀 제어를 위한 구동기 제어구조

그림 4와 같은 제어구조를 갖고 최대로 누적된 휠모멘텀의 제어임무 수행을 하루 중 임의의 시간에서 수행하게 될 경우 위성에서 생성하게 되는 추력기 제어명령 시간(ON time)은 그림 5와 같이 얻을 수 있다. 이 그림을 통해 앞에서 제시한 최적 시간대가 추력기 제어명령 시간이 최소가 되는 것을 알 수 있다. 즉, 연료사용량이 최소가 된다는 것을 의미한다. 만약 오전 3시나 오후 9시에 휠모멘텀 제어를 수행하게 되면, 추력기 1, 2, 3번이 모두 동작해야 하고 각각의 제어명령 시간을 합한 것과 비례하여 연료가 소모되므로 최적 시간대의 연료사용량과 상당한 차이를 보이게 된다.

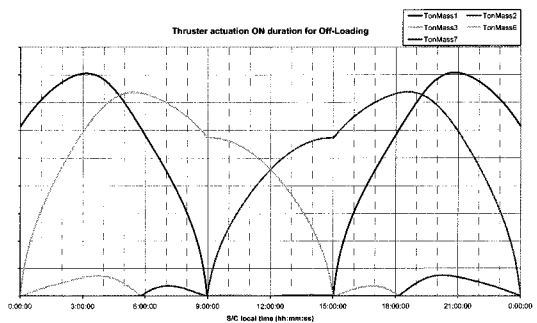


그림 5. 휠모멘텀 제어를 위한 추력기 제어명령 시간

## 2.3 휠모멘텀 제어를 위한 추력기 조합

COMS의 휠모멘텀 제어를 위해 주어진 조건은 1회 수행시간이 10분이며 하루에 2회 수행하도록 제한되어 있기 때문에, 하루에 누적된 휠모멘텀을 2회에 나누어서 제어를 수행해야 한다. 즉, 3개의 추력기를 갖고 수행할 수 있는 최적의

시간대가 3개이므로 이 중 2개의 시간을 선정하여 월모멘텀 제어를 수행하게 된다. 그런데, 선정된 추력이 조합만을 갖고 위성임무기간동안 월모멘텀 제어를 수행하게 되면 추력기 성능이 갖고 있는 On-Off 허용횟수에 매우 근접한 값을 얻게 된다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 4개월마다 추력기 조합을 바꾸면, 추력기 On-Off 허용 성능에 대한 마진을 최대로 얻을 수 있다.

그림 6.은 추력기 조합에 따라 2회의 월모멘텀 제어를 수행하게 되는 모든 조건을 보여주고 있다. 여기에서 SLT는 Satellite Local Time으로 태양을 기준으로 한 위성시간이다. 즉, 위성-지구-태양이 일직선이 되는 시간이 SLT로 자정이 되는 것이다.

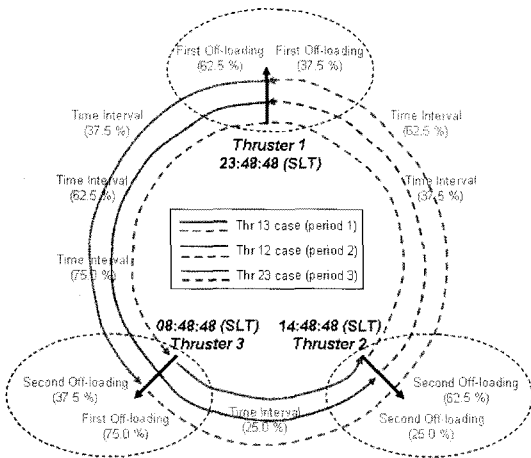


그림 6. 추력기 조합에 따른 월모멘텀 제어 조건

그림 6.에서 붉은 색으로 표시된 바깥쪽 원은 자정에서 추력기 1번을 이용해서 첫 번째 월모멘텀 제어를 수행한 후, 오전 9시에 추력기 3번을 이용해서 두 번째 월모멘텀 제어를 수행하는 경우를 보여주고 있다. 이때, 모멘텀이 시간에 따라 누적되기 때문에 두 번째 월모멘텀 제어는 첫 번째 월모멘텀 이후에 발생된 모멘텀(24.64 Nms의 37.5%)만 제어하고, 다시 돌아오게 되는 자정에서의 월모멘텀 제어는 나머지 모멘텀을 제어하면 하루에 누적되는 월모멘텀을 항상 제어할 수 있다. 물론, 다른 외란요인으로 인해 월이 담당하게 되는 모멘텀은 본 연구에서 고려하지 않았다.

또한, 그림 6.에서 가장 최악조건은 안쪽 원으로 구성된 월모멘텀 수행 방식으로 추력기 2번과 3번이 상대적으로 가깝게 놓여 있기 때문에 오전 9시에 첫 번째 월모멘텀 제어를 수행한 후 6시간 뒤인 오후 3시에 바로 두 번째 월모멘텀 제어를 수행하게 되어, 다음에 다시 수행하게 되는 오전 9시의 월모멘텀 제어를 위해 누적된 모멘텀이 최대 75%가 된다. COMS에서는 이 값을 갖고 10분 안에 월모멘텀 제어와 자세안정화를 마치고 바로 탑재체 영상촬영 임무를 수행할 수 있음을 설계 검증을 통해 확인하였다.

### 3. 3축 궤도병진 속도 분석

#### 3.1 추력기 조합 최적 전환 순서 분석

그림 6.과 같은 추력기 조합(1-3, 1-2, 2-3)을 갖고 주기적으로 변경하게 되는 조합 순서는 추력기 사용빈도를 최소화하는 방법을 통해 1-3 추력기 조합 다음에 1-2 추력기 조합 그다음에 2-3 추력기 조합 순서로 변경하도록 결정하였다. 이렇게 결정된 순서를 갖고 월모멘텀 제어를 위한 추력기 조합 전환시에 발생하는 3축 궤도병진 속도 변화를 분석하였다.

분석 결과를 통해 최적의 전환과 최악의 전환은 각각 그림 7.과 그림 8.과 같은 결과를 통해 얻게 되었다. 그림 7.이 의미하는 것은 추력기 1번을 갖고 첫 번째 월모멘텀 제어를 수행한 후 추력기 3번을 갖고 두 번째 월모멘텀 제어를 수행하는 단계에서, 다음 추력기 조합으로 변경할 경우 첫 번째 월모멘텀 제어는 동일하게 추력기 1번을 사용하지만 두 번째 월모멘텀 제어에는 6시간이 더 지난 후 추력기 2번을 사용하는 순서와, 그다음 추력기 조합으로의 변경에서는 9시간이 더 긴 18시간만에 추력기 3번을 갖고 첫 번째 월모멘텀 제어를 수행하고 두 번째 월모멘텀 제어를 위해 추력기 2번을 사용하는 순서로 전환하는 것이 최적의 조건이 되는 것이다. 이것은 그림 8.과 비교해 보면 추력기 조합을 변경할 때마다 발생하는 3축 궤도병진 속도 변화가 안정적이며 그 크기도 작음을 알 수 있다.

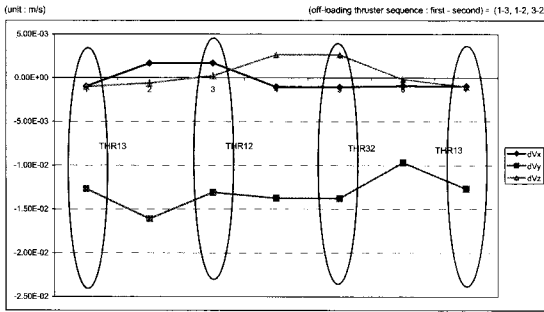


그림 7. 추력기 조합 최적 전환 결과

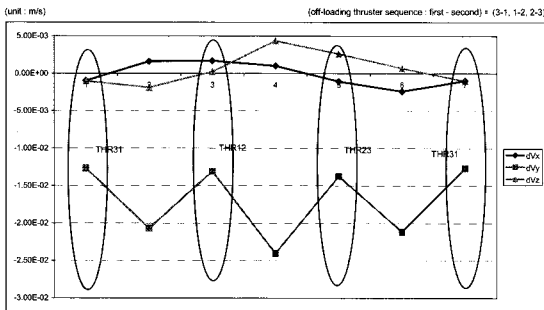


그림 8. 추력기 조합 최악 전환 결과

### 3.2 3축 궤도병진 속도 분석

앞에서 분석한 최적의 추력기 전환 순서를 적용해서 COMS의 예상 변동사항을 고려한 모든 3축 궤도병진 속도에 대해서 분석해야 궤도결정이나 궤도제어를 수행할 때 예측할 수 있는 범위를 제공하게 된다.

본 절에서 예상 변동사항으로 고려한 것은 위성임무수명, COMS가 위치할 궤도, 추력기 세트 로 구분하였다. 위성임무수명은 임무초기(BOL: Beginning Of Life), 임무중기(MOL: Middle Of Life), 임무말기(EOL: End Of Life)로 구분하였는데 이 구분은 무게중심의 이동과 연관되어 있다. COMS가 위치할 궤도는 이론적으로는 3축 궤도병진 속도 분석에 무관해야 하지만 COMS의 경우는 탑재체 관측임무 시간이 정해져 있기 때문에 휠모멘텀 제어는 이 시간을 고려해서 변경되는데, UT(Universal Time)로 정해진 관측시간과 SLT로 결정된 휠모멘텀 최적 시간과의 관계가 궤도위치에 따라 달라지게 된다. 그러면, 첫 번째

와 두 번째 상하간 누적되는 휠모멘텀이 조금씩 달라지기 때문에 추력기 동작시간이 달라지고 이에 따라 3축 궤도병진 속도에 차이가 생기게 된다. 또 하나의 변동사항으로 고려된 추력기 세트는 COMS에 자세제어 및 궤도제어를 위해 사용되는 세트가 2개 있고, 그 중 하나는 만일을 대비하여 보조적으로 구성되어 있다. 각 세트는 그림 1.에서와 같이 7개로 구성되어 있고 A, B로 구분하되 거의 비슷한 위치와 벡터방향을 갖고 있어서 유사시 전환을 해서 사용하는데 문제가 최소화 되도록 설계되었다.

이와 같은 COMS의 예상 변동사항을 고려하여 최종적으로 구해진 값을 표 1.에 정리하였다. 추력기들이 남쪽 편에 부착되어 있기 때문에 Y방향으로의 궤도병진 속도가 가장 크게 나타나는 것을 볼 수 있다.

표 1. COMS 변동사항을 고려한 3축 궤도병진 속도

	Thruster Set =A	BOL			MOL			EOL		
		THR13	THR12	THR23	THR13	THR12	THR23	THR13	THR12	THR23
First Orbit (116.2 deg)	DV_X (m/s)	-8.11E-4	1.43E-3	-1.24E-3	-9.00E-4	1.69E-3	-1.38E-3	-1.01E-3	1.79E-3	-1.55E-3
	DV_Y (m/s)	-1.7E-2	-1.22E-2	-1.16E-2	-1.31E-2	-1.33E-2	-1.25E-2	-1.51E-2	-1.48E-2	-1.41E-2
	DV_Z (m/s)	-9.72E-4	4.31E-4	2.32E-3	-1.18E-3	3.76E-4	2.48E-3	-1.44E-3	3.11E-4	2.69E-3
Second Orbit (128.2 deg)	DV_X (m/s)	-8.82E-4	1.52E-3	-9.57E-4	-9.79E-4	1.69E-3	-1.08E-3	-1.10E-3	1.90E-3	-1.19E-3
	DV_Y (m/s)	-1.14E-2	-1.15E-2	-1.27E-2	-1.27E-2	-1.31E-2	-1.38E-2	-1.43E-2	-1.51E-2	-1.52E-2
	DV_Z (m/s)	-8.34E-4	2.82E-4	2.47E-3	-1.02E-3	2.19E-4	2.63E-3	-1.26E-3	1.96E-4	2.85E-3
Third Orbit (138 deg)	DV_X (m/s)	-7.99E-4	1.43E-3	-1.27E-3	-8.82E-4	1.59E-3	-1.41E-3	-9.89E-4	1.79E-3	-1.58E-3
	DV_Y (m/s)	-1.18E-2	-1.24E-2	-1.16E-2	-1.34E-2	-1.35E-2	-1.27E-2	-1.55E-2	-1.50E-2	-1.44E-2
	DV_Z (m/s)	-9.79E-4	4.51E-4	2.30E-3	-1.19E-3	3.97E-4	2.46E-3	-1.45E-3	3.32E-4	2.67E-3

	Thruster Set =B	BOL			MOL			EOL		
		THR13	THR12	THR23	THR13	THR12	THR23	THR13	THR12	THR23
First Orbit (116.2 deg)	DV_X (m/s)	-7.98E-4	1.41E-3	-1.20E-3	-8.65E-4	1.57E-3	-1.33E-3	-9.94E-4	1.78E-3	-1.43E-3
	DV_Y (m/s)	-1.09E-2	-1.11E-2	-1.12E-2	-1.23E-2	-1.21E-2	-1.26E-2	-1.42E-2	-1.35E-2	-1.43E-2
	DV_Z (m/s)	-1.00E-3	4.13E-4	2.28E-3	-1.21E-3	3.66E-4	2.44E-3	-1.46E-3	3.10E-4	2.64E-3
Second Orbit (128.2 deg)	DV_X (m/s)	-8.67E-4	1.59E-3	-9.16E-4	-9.63E-4	1.66E-3	-1.02E-3	-1.08E-3	1.87E-3	-1.14E-3
	DV_Y (m/s)	-1.18E-2	-1.22E-2	-1.20E-2	-1.32E-2	-1.30E-2	-1.31E-2	-1.49E-2	-1.61E-2	-1.44E-2
	DV_Z (m/s)	-8.47E-4	2.91E-4	2.43E-3	-1.04E-3	2.24E-4	2.59E-3	-1.28E-3	1.34E-4	2.81E-3
Third Orbit (138 deg)	DV_X (m/s)	-7.82E-4	1.41E-3	-1.22E-3	-8.68E-4	1.56E-3	-1.30E-3	-9.73E-4	1.76E-3	-1.52E-3
	DV_Y (m/s)	-1.11E-2	-1.13E-2	-1.15E-2	-1.27E-2	-1.24E-2	-1.29E-2	-1.46E-2	-1.37E-2	-1.45E-2
	DV_Z (m/s)	-1.01E-3	4.33E-4	2.27E-3	-1.21E-3	3.66E-4	2.42E-3	-1.47E-3	3.31E-4	2.62E-3

설계단계에서 2장에서 도출한 휠모멘텀 최적 시간대에 대해 탑재체 관측임무 시간을 고려하여 실제 휠모멘텀 제어를 수행하는 시간을 결정해야 하는데, 탑재체 관측임무 시간이 최종 확정되기 전에 휠모멘텀 제어를 위해 사용되는 연료량 및 추력기 동작횟수 허용 조건을 고려하여 최적 시간대로부터 이동이 가능한 시간 범위를 +/- 30분으로 가정하였다. 앞의 예상 변동사항에서 고려한 궤도와 최적 시간대와의 관계는 실제 휠모멘텀 제어를 수행하는 시간이 아닌 최적의 시간대를 의미하며 지금부터 설명하고자 하는 것은 궤

도에 따라 정해지게 되는 최적 시간대에 대해서 탑재체 관측에 영향을 최소화하면서 월모멘텀 제어를 수행할 수 있는 시간 범위를 고려하는 것이다. 이 경우에도 앞에서 고려한 예상 변동사항들을 그대로 적용하였고, 단지 실제 월모멘텀 제어 수행시간을 최적 시간대에 비해 전후 30분까지 변동한 경우를 고려하여 3축 궤도병진 속도를 분석하였다.

이 경우 분석 결과가 너무 다양하고 많아서 대표적으로 첫 번째 궤도(동경 116.2도)와 A 추력기 세트를 고정하여 얻어진 결과만을 그림 9.와 같이 제시하였다. 위쪽 결과는 롤/요축 궤도병진 속도 변화를 보여주고, 아래쪽 결과는 피치축 궤도병진 속도 변화를 보여주고 있다.

흑백으로 출력된 경우에 대비하여 그림 9.의 위쪽 결과에서 'Black'은 최고 위쪽 3개 점선과 최고 아래쪽 3개 실선이고, 'Blue'는 검정색 위로 있는 실선 3개와 점선 3개이며, 중간에 있는 실선 3개와 점선 3개는 'Red'이다. 그림 9.의 아래쪽 결과에서는 좌측의 수직축 위치에서 최고 아래쪽부터 'Blue', 'Red', 'Black' 순서로 놓여 있다.

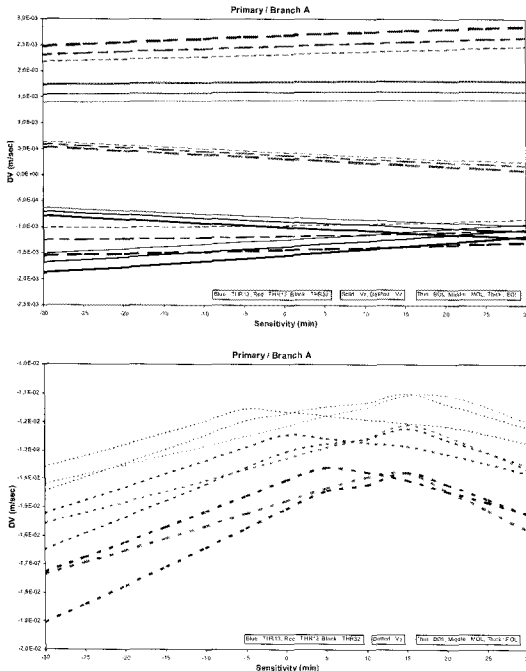


그림 9. 월모멘텀 제어시간 변동 분석 결과

궤도병진 속도 측면에서 보면 그림 9.의 아래쪽 결과를 통해 알 수 있듯이 월모멘텀 제어 최적 시간대보다 약간 늦게 월모멘텀 제어를 수행하는 것이 롤/요 궤도병진 속도 변화량에 비해 피치축 궤도병진 속도 변화량이 극대화되어 남북위치유지기를 할 때 연료를 상대적으로 줄일 수 있는 것처럼 보이지만, 실제로는 그림 5.의 결과로부터 월모멘텀 제어를 위해 사용되어지는 연료가 증가하기 때문에 그 효과를 얻을 수 없다. 따라서, 최적 시간대에서 월모멘텀 제어를 수행하는 것이 가장 좋은 방법이지만 탑재체 관측이 보다 우선되어야 하므로 이를 고려하여 월모멘텀 제어를 수행하게 되면 3.2절에서 수행한 분석 결과들을 통해 최종적인 설계 만족도를 확인해야 한다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 COMS 형상을 갖고 하루에 누적되는 월모멘텀 양을 계산하였고, 월모멘텀 제어를 위해 주어진 추력기 위치로부터 최적의 시간대를 얻었으며, 월모멘텀 제어를 위해 추력기를 사용하면서 발생하는 3축 궤도병진 운동에 관하여 분석하였다. 그 결과는 주기적으로 수행하게 되는 궤도제어 임무 중 남북위치유지 수행의 최적 시간대를 도출하는데 사용하게 되며, 지상 관제소에서 정지궤도위성의 궤도결정을 수행할 때 궤도외란 요인으로 적용하게 된다.[5] 또한, 탑재체 관측임무 시간을 회피하여 월모멘텀 제어를 수행하게 되는 경우에서 3축 궤도병진 속도 변화 범위를 확보하게 되었다.

#### 후 기

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

## 참 고 문 헌

1. ---, GOES I-M Databook, U.S.A., NASA  
Goddard Space Flight Center, 1996
2. 박봉규, 박영웅, 이상철, “통신해양기상위성  
(COMS)의 모넨텀 덤핑 최적 추력기 선택”,  
한국항공우주학회지, 제34권, 제11호, 2006,  
pp.54-60
3. 박영웅, “COMS의 추력기 형상 최적화 및  
예비성능 분석”, 항공우주기술지, 제5권,  
제2호, 2006, pp.114-118
4. 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,  
BEXCO Busan, 2006, pp.290-293
5. 이상철, 박봉규, 김방엽, 주광혁, 박영웅,  
“월오프로딩을 고려한 동서 위치유지 기동  
계획 연구”, 한국항공우주학회지, 제34권,  
제9호, 2006, pp.60-66