

KOMPSAT-2 전장품의 Magnetic Moment 해석

이나영*, 이진호**, 이상률***, 이주진****

초 록

KOMPSAT-2 위성에서 사용되는 TAM의 정상적인 작동을 위해 각 유닛에서 생성되는 자기장(magnetic field) 값은 일정한 양 이하가 되도록 관리되고 있다. 자기장은 그 특성상 전장품 간의 거리에 반비례하며 전장품의 자기 모멘트에 비례하므로 위성체 유닛의 자기장 값을 관리하기 위해 우선 유닛의 magnetic moment 값을 구해야한다. KOMPSAT-2의 각 전장품들의 자기 모멘트 값은 기존 KOMPSAT-1의 값을 근거로 설정되었다. 이것은 KOMPSAT-2가 KOMPSAT-1의 heritage를 따라 설계되었으며 각 전장품 역시 KOMPSAT-1 전장품 설계를 대부분 따르고 있기 때문이다. 그리고 최근 EMC 해석 S/W 중 magnetic moment를 전문적으로 해석해주는 tool이 출시되었다. 이 tool은 해석하고자 하는 유닛의 geometric 정보와 전류 패스를 설정하면 자기 모멘트 값을 구할 수 있는 수식을 풀어내 그 값을 알려준다. 본 논문에서는 magnetic moment 값을 구할 수 있는 수식이 이 tool에 어떻게 구현되었는지 살펴보고 실제 KOMPSAT-2의 전장품의 자기 모멘트 해석 결과를 보여준다.

키워드 : KOMPSAT-2, magnetic moment

1. 서 론

KOMPSAT-2 위성에서 사용되는 TAM의 정상적인 작동을 위해 각 유닛에서 생성되는 magnetic field 값을 일정한 규격 이내로 관리해야하며 이를 위해 우선 유닛의 자기 모멘트 값을 구해야한다. 최근 EMC 해석 S/W 중 magnetic moment를 전문적으로 해석해주는 tool이 출시되었다. 이 tool은 해석하고자 하는 유닛의 geometric 정보와 전류 패스를 설정하면 자기 모멘트 값을 구할 수 있는 수식을 풀어내 그 값을 알려준다. 본 논문에서는 magnetic moment 값을 구할 수 있는 수식이 이 tool에 어떻게 구현되었는지 살펴보고 실제 KOMPSAT-2의 전장품의 자기 모멘트 해석 결과를 보여준다.

2. 본 론

2.1 EMC2000MOM

자기모멘트를 위성체 각 부품의 geometric 정보와 전류 loop를 입력하여 계산해내는 프로그램이 EMC2000MOM이다. EMC2000MOM의 원리는 Method of Moment (MoM)를 자기모멘트를 계산하는 데 이용되는 수식 계산에 적용한다는 것이다. MoM이란 미적분의 수식을 컴퓨터 계산이 가능하도록 변환해주는 수학적 도구이다.

2.1.1 MoM

$$\vec{E}_s = -\vec{\nabla}\Phi - j\omega\vec{A} \quad (1)$$

식 (1)과 같은 Maxwell 방정식에서 각각의 파

* 아리랑위성3호체계그룹/nylee@kari.re.kr

*** 아리랑위성3호사업단/leesr@kari.re.kr

** 아리랑위성3호체계그룹/ ljh@kari.re.kr

**** 위성총괄사업단/jjlee@kari.re.kr

라미터는 아래 식 (2)와 (3) 그리고 그림 1과 같이 정의된다.

$$\begin{aligned} \Phi(r, r') &= \frac{1}{4\pi\epsilon} \int_S \sigma \frac{e^{-jkR}}{R} d \\ &= \frac{-1}{4\pi\epsilon} \int_S \vec{\nabla} \cdot \vec{J} \frac{e^{-jkR}}{R} ds \end{aligned} \quad (2)$$

$$\vec{A}(r, r') = \frac{\mu}{4\pi} \int_S \vec{J} \frac{e^{-jkR}}{R} ds \quad (3)$$

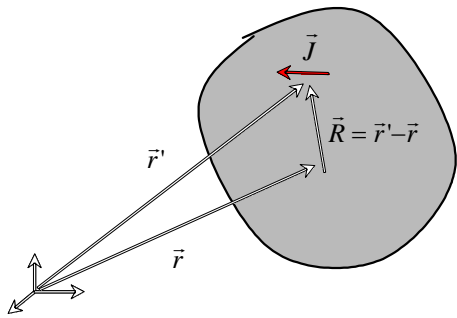


그림 1. 벡터와 벡터'의 정의

식(1)의 유도전류를 구하기 위하여 경계 조건 (boundary condition)을 적용해야한다. 금속 재질의 경우 경계 조건을 식 (4)로 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} \vec{E}_T &= \vec{E}_S + \vec{E}_i \\ &= 0 \quad (\quad) \end{aligned} \quad (4)$$

$$\vec{E}_S(r, r, \vec{J}) = -\vec{E}_i(r) \quad (5)$$

$$\begin{aligned} &\frac{+\vec{\nabla}}{4\pi\epsilon j\omega} \iint_S \vec{\nabla} \cdot \vec{J}(r) \frac{e^{-jkR}}{R} ds \\ &- \frac{j\omega\mu}{4\pi} \iint_S \vec{J}(r) \frac{e^{-jkR}}{R} ds = -\vec{E}_i(r) \end{aligned} \quad (6)$$

식 (4)는 다시 식 (5)로 표현되며 이는 식(6)과 같다. 식 (6)은 아래와 같이 선형방정식으로 표현된다.

$$\begin{bmatrix} \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & Z_{m \times n} & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \dots \\ \dots \\ J_n \\ \dots \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dots \\ \dots \\ V_m \\ \dots \end{bmatrix} \quad (7)$$

이때 $Z_{m \times n}$ 은 3축에 의해 정의되는 위치정보, 주파수, 경계 조건 등에 의한 함수이고, J_n 항이 물체에 유도된 전류이며 V_m 항이 전류원 또는 휠이나 자성 물질 등 잔류자기모멘트 등에 의해 유도되는 전압이다. 즉 미적분으로 표현되는 Maxwell 방정식을 식 (7)과 같이 선형시스템으로 변환하는 것을 MoM이라고 한다.

3축의 구조 체에서 자기모멘트를 구할 경우 MoM은 저주파 대역에서 적용 가능하다. EMC2000MOM 프로그램의 알고리즘은 그림 2와 같다.

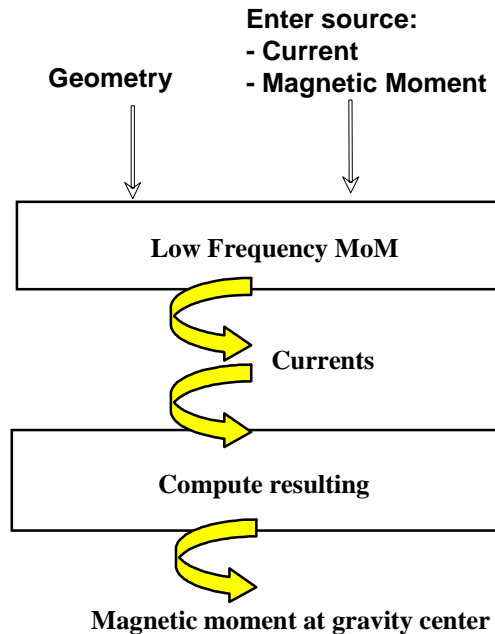


그림 2. EMC2000MOM 알고리즘

이제 자기 모멘트를 계산하는 두 가지 방식에 대해 설명한다.

2.2 자기 모멘트 계산 - Naive 방식

Naive 방식은 그림3에서와 같이 간단하게 전류의 loop로 형성되는 면적과 전류의 곱으로 자기 모멘트를 구하는 것이다. 이 방식의 한계점은 단순하게 표현할 수 없는 복잡한 도선의 경우, 3차원의 물체와 개구면이 존재하는 경우 등 전류 Loop를 정확하게 알 수 없을 때 단순한 등가 모델로는 정확한 자기 모멘트를 구할 수 없다는 것이다.

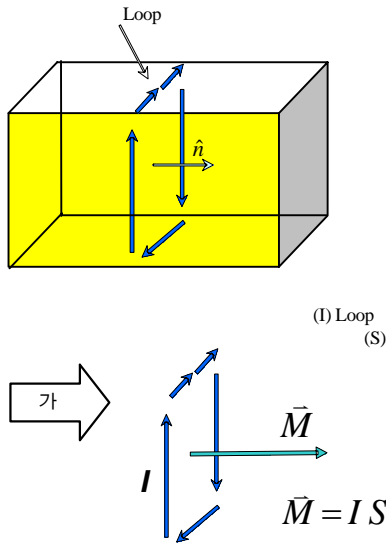


그림 3. Naive 방식에 의한 자기모멘트

2.3 자기모멘트 계산 - 수식 이용

전류 분포에 의해 결정되는 자기 모멘트는 아래와 같이 표현된다.

$$\vec{M} (A/m^2) = \frac{1}{2} \iint_S \vec{r}' \times \vec{J}(r') ds + \frac{1}{2} \iint_V \vec{r}' \times \vec{I}(r') dc \quad (8)$$

식 (8)을 계산하기 위해서는 3차원 축의 전류 loop를 2차원으로 변환하고 전류에 대한 아래의 선형방정식을 이용해야한다. Rad & Wilton 수식을 이용하여 표면에 흐르는 전류에 대해 아래와 같이 풀어 쓸 수 있다.

$$\iint_S \vec{r}' \times \vec{J}(r') ds = \sum_{n-Edge} \iint_{T_n^+ \cup T_n^-} \vec{r}' \times \vec{J}(r') ds = \sum_{n-Edge} J_n \cdot \sum_{\pm} \frac{2 \cdot A_n^{\pm}}{h_n^{\pm}} \int_0^1 d\xi \int_0^{1-\xi} \vec{r}' \times \pm \vec{\rho}_n^{\pm} d\eta \quad (9)$$

이때 각 파라미터는 그림4와 같이 정의된다.

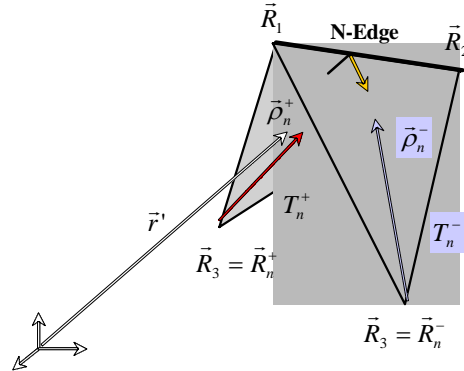


그림 4. R1, R2, R3 벡터의 정의

실제 EMC2000MOM에서 계산되는 값은 다음 파라미터들이다.

$$\left. \begin{aligned} & \int_0^1 \int_0^{1-\xi} \xi^2 d\xi d\eta \\ & \int_0^1 \int_0^{1-\xi} \eta^2 d\xi d\eta \\ & \int_0^1 \int_0^{1-\xi} \xi \eta d\xi d\eta \end{aligned} \right\} \vec{R}_{i=1\dots3} \times \vec{R}_{j=1\dots3, i \neq j}$$

자기모멘트는 시스템이 정의되는 축에 따라 달라진다. 중력 중심(gravity center, GC)에서 정의된 자기모멘트는 만일 GC가 (0, 0, 0)과 다를 경우 아래 식(10)에서 식 (11)과 같이 그 자기 모멘트가 정의된다.

$$\vec{M} / O = \frac{1}{2} \iint_S \vec{r}' \times \vec{J}(r') ds \quad (10)$$

$$\begin{aligned} \vec{M} / G_c &= \frac{1}{2} \iint_S \vec{r}'' \times \vec{J}(r') ds \\ &= \frac{1}{2} \iint_S (\vec{r}' - \vec{G}_c) \times \vec{J}(r') ds \\ \vec{M} / G_c &= \vec{M} / O - \frac{1}{2} \vec{G}_c \times \iint_S \vec{J}(r') ds \quad (11) \end{aligned}$$

이는 EMC2000 S/W에서 그림 5와 같이 Gc 벡터를 정의함으로써 자동으로 변환된다.

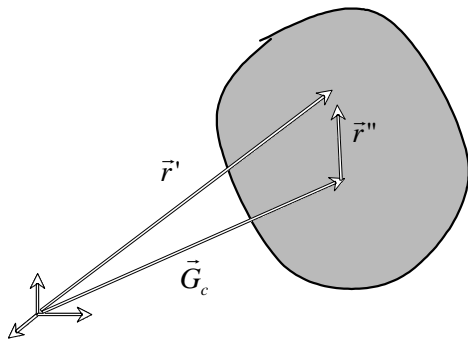


그림 5. Gc 벡터의 정의

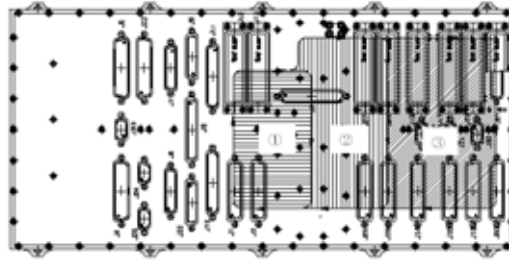


그림 6. Z 방향에서 본 각 모드별 PCU의 전류 loop

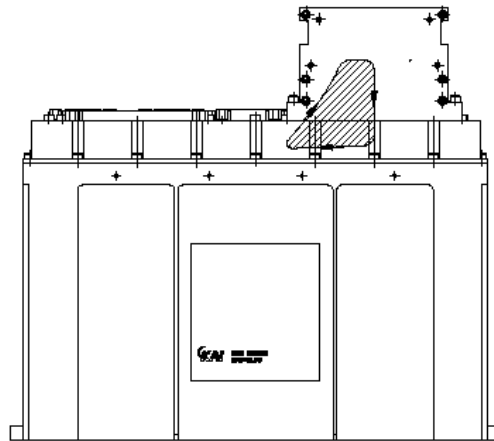


그림 7. 배터리 충전모드에서 Y축에서의 전류 loop

3. KOMPSAT2 전장품의 자기 모멘트 해석

3.1 기존 해석

참고문헌1에서 Naive 방식을 이용하여 PCU의 자기 모멘트를 해석한 결과를 보여주고 있다.

PCU의 경우 배터리 충전 모드(battery charging mode), 동작 모드(operational mode), 식기간 모드(eclipse mode)에 따라 전류 loop가 달라진다. 그림 6에서 배터리 충전 모드의 경우 1번 전류 loop를 형성한다. 동작 모드에서는 1번과 2번을 합한 것이 전류 loop가 된다. 식기간의 모드에서는 2번에서 1번을 뺀 것이 전류 loop이다.

각각 모드별 수식 계산 결과는 아래와 같다.

표 1. Naive 방식에 의한 PCU 자기모멘트결과

모드	면적 (m ²)	전류 (A)	자기모멘트 (Am ²)
배터리 충전 모드 - Z 방향	8.8×10 ⁻³	30	264×10 ⁻³
배터리 충전 모드 - Y 방향	1.1×10 ⁻³	30	33×10 ⁻³
배터리 충전 모드 - X방향	매우 작음		

표 1. Naive 방식에 의한 PCU 자기모멘트결과 (계속)

모드	면적 (m ²)	전류 (A)	자기모멘트 (Am ²)
배터리 충전 모드 - Z 방향	8.8×10^{-3}	30	264×10^{-3}
배터리 충전 모드 - Y 방향	1.1×10^{-3}	30	33×10^{-3}
배터리 충전 모드 - X 방향	매우 작음		
동작 모드-Z 방향	20×10^{-3}	30	600×10^{-3}
동작 모드-Y 방향	1.1×10^{-3}	30	33×10^{-3}
동작 모드-X 방향	매우 작음		
식기간 모드 - Z 방향	11×10^{-3}	37	407×10^{-3}
식기간 모드 - Y 방향	매우 작음		
식기간 모드 - X 방향	매우 작음		

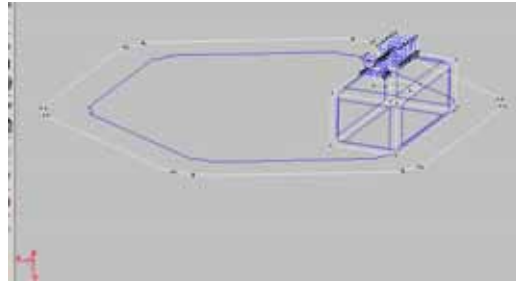


그림 8. EMC2000MAGMOM에 그려진 PCU

그림 9와 그림 11에는 각각 충전 모드와 동작 모드에서의 전류 path가 나타나 있다. 식기간 모드에서 전류 path는 그림 10의 붉은 색 선으로 표시되어 있다.

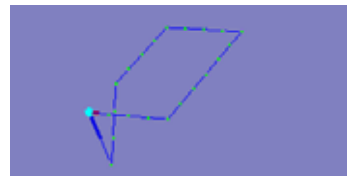


그림 9. Battery Mode에서 전류 Path

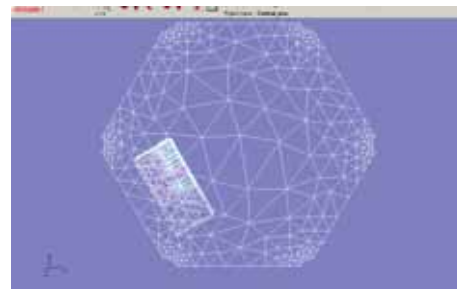


그림 10. Eclipse Mode에서 전류 Path

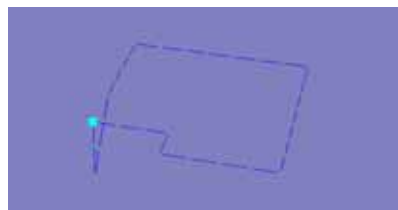


그림 11. Operation Mode에서 전류 Path

3.2 Method of Moment를 이용한 자기모멘트 해석

EMC2000MAGMOM에 그려진 실제 위성의 PCU 및 PCU가 위치한 Central Platform은 그림 8과 같다. EMC2000MAGMOM에서는 GID 프로그램을 통해 유닛 등의 위치 정보를 입력받으며 이때 CATIA 등의 출력 파일을 호환하여 읽어들이기 때문에 이미 CATIA를 통해 설계가 완료된 유닛의 정확한 3차원 위치 정보를 쉽게 입력할 수 있다.

표 2. EMC2000MAGMOM의 결과

모드	위치	자기모멘트 (Am ²)
배터리 충전 모드	Mx	0.0473
	My	-0.0171
	Mz	0.0488
동작 모드	Mx	0.0059
	My	0.1026
	Mz	0.0856
식기간 모드	Mx	-0.0218
	My	0.1377
	Mz	0.0478

참 고 문 헌

1. J.J.Jang, KAI, "KOMPSAT-2 Power Control Unit(PCU) DC Magnetic Moment Analysis", S2D1440PCU(MMA)R0.DOC, 2002.
2. EADS, "EMC2000-From Maxwell's equations to the linear system", EMC2000 Lecture Doc., 2002.
3. EADS, "EMC2000-Loop Magnetic Moment (MAGMOM)", EMC2000 Lecture Doc., 2002.

4. 결 론

Naive 방식으로 계산된 PCU의 자기 모멘트와 EMC2000MAGMOM으로 계산된 PCU의 자기 모멘트 값은 비교적 큰 차이를 보이고 있다. 일반적으로 Naive 방식으로 계산된 자기 모멘트의 값 역시 유닛의 실제 자기 모멘트 값보다 클 것이라고 생각된다. 즉 EMC2000MAGMOM으로 유닛의 자기 모멘트를 계산하게 될 경우 실제 값보다 상당히 많은 여유분을 가진 값을 얻게 된다. Naive 방식에서는 X축에 대하여 매우 작은 값을 가지게 될 것이라는 유추만 있었지만 시뮬레이션에서는 X축에서도 상당한 값이 존재함을 알 수 있었다. 즉 EMC2000MAGMOM 프로그램에 전류 path를 정확히 입력한다면 Naive 방식보다 많은 정보를 알 수 있을 것이다.