

## 강한 태양 및 지자기 활동 기간 중에 아리랑 위성 1호(KOMPSAT-1)의 궤도 변화

박진영<sup>1,2</sup>, 문용재<sup>1†</sup>, 김관혁<sup>1</sup>, 조경석<sup>1</sup>, 김해동<sup>3</sup>, 김연한<sup>1</sup>, 박영득<sup>1</sup>, 이 유<sup>2</sup>

<sup>1</sup>한국천문연구원

<sup>2</sup>충남대학교 천문우주과학과

<sup>3</sup>한국항공우주연구원

### DRAG EFFECT OF KOMPSAT-1 DURING STRONG SOLAR AND GEOMAGNETIC ACTIVITY

J. Park<sup>1,2</sup>, Y.-J. Moon<sup>1†</sup>, K.-H. Kim<sup>1</sup>, K.-S. Cho<sup>1</sup>, H.-D. Kim<sup>3</sup>,  
Y.-H. Kim<sup>1</sup>, Y.-D. Park<sup>1</sup>, and Y. Yi<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Korea Astronomy and Space science Institute, Hwaam-dong, Yuseong-gu, Daejeon 305-348, Korea

<sup>2</sup>Dept. of Astronomy and Space Science, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

<sup>3</sup>Korea Aerospace Research Institute, Daejeon 305-333, Korea

E-mail: jypark@kasi.re.kr, yjmoon@kasi.re.kr

(Received May 4, 2007; Accepted May 17, 2007)

#### 요 약

이 연구에서는 태양 및 지자기 활동에 의해 발생한 우주환경변화가 우리나라 위성인 아리랑 위성 1호(KOMPSAT-1)의 궤도에 미치는 영향을 분석하였다. 인공위성의 궤도변화는 정상적인 상태에서 자연적인 섭동에 의해 지속적으로 발생하지만, 거대한 태양폭발에 의한 지구 주변 우주환경이 급격히 변화할 때 고층대기의 밀도변화로 인해 크게 발생한다. 특히 이러한 현상은 아리랑 위성 1호와 같이 저궤도 상에서 운영되는 위성에 직접적인 영향을 미친다. 이 때, 태양활동에 의한 지구 주변 우주환경의 변화는 크게 두 가지로 구분할 수 있다. 하나는 태양 플레어(Flare)가 폭발했을 때 고에너지 복사(Radiation)로 인해 지구 고층대기가 가열되어 팽창하고 이런 결과로 고층대기에 있는 중성입자밀도가 급격히 증가하는 것이다. 다른 하나는 코로나 물질 방출(Coronal Mass Ejections) 등에 의해 발생한 지자기폭풍기간 동안 플라스마 대류와 입자들의 하강으로 전기장이 강해져 상당량의 줄가열(Joule heating)과 하강입자가열(Precipitating particle heating)이 발생하고 이로 인해 중성입자밀도가 증가하는 것이다. 두 가지 원인에 대한 영향을 구분하여 알아보기 위해, 우리는 태양 및 지자기 자료를 면밀히 분석하여 2001년에서 2002년동안 5개의 기간을 선정하였다. 그 결과 위성의 대기저항가속도는 태양의 극자외선(Extreme Ultra-Violet)의 증가와 함께 약 하루 정도의 시간 지연을 가지고 유사하게 변화하고 있음을 확인하였다( $R=0.92$ ). 그리고 지자기폭풍이 발생한 기간동안 대기저항가속도는 지자기폭풍에 의한 Dst 변화와 상당히 유사하게 그리고 거의 동시에 급격히 변화하는 것을 확인하였다. 마지막으로 우리는 위성의 대기저항가속도의 변화는 전반적으로는 오랜 기간 동안 고에너지 복사에 의한 효과로 나타나고 있으나 짧은 기간(하루 미만) 동안 크게 발생하는 대기저항가속도의 변화는 지자기폭풍에 의한 효과로 보고 있다.

---

†corresponding author

### ABSTRACT

In this paper, we analyze the orbital variation of the KOrea Multi-Purpose SATellite-1(KOMPSAT-1) in a strong space environment due to satellite drag by solar and geomagnetic activities. The satellite drag usually occurs slowly, but becomes serious satellite drag when the space environment suddenly changes via strong solar activity like a big flare eruption or coronal mass ejections(CMEs). Especially, KOMPSAT-1 as a low earth orbit satellite has a distinct increase of the drag acceleration by the variations of atmospheric friction. We consider factors of solar activity to have serious effects on the satellite drag from two points of view. One is an effect of high energy radiation when the flare occurs in the Sun. This radiation heats and expands the upper atmosphere of the Earth as the number of neutral particles is suddenly increased. The other is an effect of Joule and precipitating particle heating caused by current of plasma and precipitation of particles during geomagnetic storms by CMEs. It also affects the density of neutral particles by heating the upper atmosphere. We investigate the satellite drag acceleration associated with the two factors for five events selected based on solar and geomagnetic data from 2001 to 2002. The major results can be summarized as follows. First, the drag acceleration started to increase with solar EUV radiation with the best cross-correlation ( $r = 0.92$ ) for 1 day delayed F10.7. Second, the drag acceleration and Dst index have similar patterns when the geomagnetic storm is dominant and the drag acceleration abruptly increases during the strong geomagnetic storm. Third, the background variation of the drag accelerations is governed by the solar radiation, while their short term (less than a day) variations is governed by geomagnetic storms.

*Key words:* satellite drag, flare, CMEs, geomagnetic storms

### 1. 서론

우주환경이 인공위성에 미치는 영향은 궤도와 위치에 따라 다르며 근본적으로는 태양에서 일어나는 각종 변화들로 인한 것이다. 따라서 극심한 태양 활동이 일어날 때 이러한 인공위성의 궤도 변화를 연구하여 미리 조치를 마련해야 한다. 그림 1에서 볼 수 있듯이 우주환경의 변화는 다양한 경로를 통해 위성에 영향을 주고 있다. 이러한 우주환경의 변화는 바로 태양의 활동에 의해서 나타나고 있는데 태양에서 발생하는 여러 활동들 예를 들어, 고층대기를 가열시키는 극자외선(Extreme Ultra-Violet: EUV), 지구의 이온층에 영향을 주는 X선 복사, High Speed Stream을 발생시키는 코로나 홀, 지구의 자기장에 영향을 주는 코로나 물질 방출(Corona Mass Ejections: CMEs) 그리고 위성의 부품에 손상을 줄 수 있는 고에너지 입자들이 그 원인이 된다. 지구 주변의 우주환경이 태양의 예기치 않은 활동에 의해 급격하게 변화하게 되면 운행 중인 위성체에도 영향을 미치게 된다. 이 논문에서는 위성에 미치는 우주환경의 여러 가지 영향 중에서 위성의 궤도변화와 관련된 대기저항

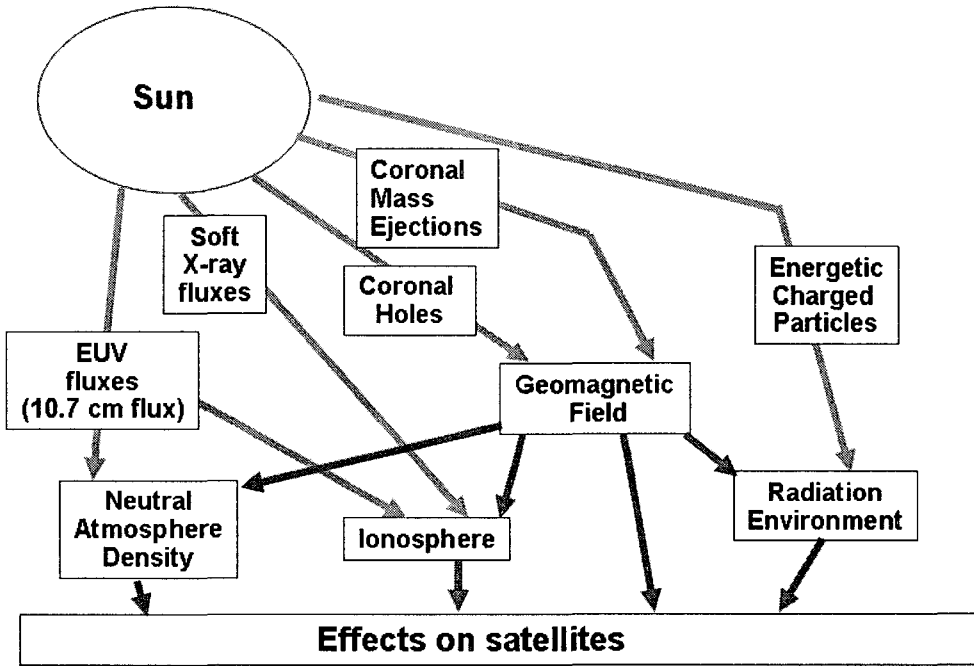


그림 1. 위성에 영향을 미치는 태양 및 우주환경 변화 개념도.

력(Drag force)에 의한 영향을 알아보기 위해 고층대기에 존재하는 중성입자의 밀도변화에 대해서만 고려하기로 했다. 그림 1에서 볼 수 있듯이 중성입자밀도에 영향을 미치는 우주환경의 요인은 크게 두 가지로 나눌 수 있다. 하나는 태양 플레어가 폭발했을 때 고에너지 복사(Radiation)에 의해 지구의 고층대기가 가열되어 팽창하고 이로 인해 중성입자가 급격히 증가하는 것이며, 일반적으로 2.8GHz 전파 플럭스인 F10.7 지수에 의해 정량화 될 수 있다. 다른 하나는 코로나 물질 방출 등에 의해 발생한 지자기폭풍 기간동안 플라즈마 대류와 입자들의 하강으로 인해 전기장이 강해져 상당량의 줄가열(Joule heating)과 하강입자가열(Precipitating particle heating)로 인해 고층대기가 가열되는 것이다. 이러한 지자기폭풍의 변화는 지자기폭풍 지수인 Disturbance Storm Time(Dst) 지수로 표현될 수 있다(Knipp et al. 2005).

위성의 궤도변화를 유발하는 섭동력 중 대기저항력 현상이란, 아리랑 위성 1호와 같은 저궤도 위성이 지구의 고층대기에서 중성입자의 밀도증가로 인해 위성에 가해지는 대기의 저항이 커지게 되고, 이로 인해 위성의 궤도변화가 발생하는 것을 의미한다. 이러한 저항력에서의 가속도(Drag acceleration)는 다음과 같은 식으로 표현할 수 있다.

$$a_D = \frac{1}{2} C_D \frac{A}{M} \rho V_r^2 \tag{1}$$

여기서  $a_D$ 는 속도 방향 벡터의 반대 방향으로 가해지는 가속도 양이고,  $C_D$ 는 저항 계수이며 일반적으로 1.5 ~ 3.0 사이의 값을 가진다(Montenbruck & Gill 2000).  $A$ 는 위성의 운동 방향에 수직인 면의 표면적이며,  $M$ 은 위성의 질량이고  $\rho$ 는 위성이 지나가는 고도에서의 대기 밀도이며 마지막으로

표 1. 선정한 5개 기간동안의 태양 및 지자기 활동 내용.

EVENT NAME	EVENT DATE	EVENT TIME	SOLAR		$V_{CME}$ (km/s)	F10.7	GEOMAG.	
			FLARE SITE	ACT. (x-ray)			DATE & TIME (yyyymmddhh)	ACT. Dst (nT)
A	20010329	10h26m	N20W19	X1.7	942	274	2001033108	-387
B	20011121	14h06m	S14W19	C4.7	518	184	2001112416	-221
C	20011228	20h30m	S26E90	X3.4	2216	263	2001123005	-58
D	20020720	22h06m	SE limb	X3.3	1941	185	2002072209	-36
E	-	-	-	-	-	-	2002090405	-109

$V_r$ 은 위성이 지나가는 방향에 대한 속도 성분이다(Knowles et al. 2001, Montenbruck & Gill 2000, Marcos & Wise 2002). 만약 위성의 대기저항속도와 위성체의 표면적 및 질량 그리고 속도를 알 수 있다면 식 1을 이용하여 위성이 지나는 고층대기의 밀도변화를 알 수 있게 된다. 지구의 고층대기의 밀도나 온도 등과 같은 물리적인 양은 직접 측정할 수 없고 이 고도를 지나는 위성의 궤도변화를 분석하여 간접적으로 알 수 있다(Jacchia 1961, 1964, Jacchia et al. 1973, Sehnal 1983, Hedin 1984). 따라서 이러한 저궤도 위성의 궤도변화의 분석과 고층대기의 물리적 환경에 영향을 미치는 우주환경에 대한 연구는 서로 상호 보완적이며 앞으로의 우주개발계획 시 중요한 고려 요인이 될 것이다.

## 2. 자료 선정 및 처리

그림 1에서 보듯이 중성입자밀도에 영향을 미치는 경로는 크게 두 가지이다. 하나는 태양 플레어가 폭발할 때 나오는 EUV 복사가 화학적 과정을 통해 고층대기의 밀도변화를 야기하는 것이고, 다른 하나는 지자기장의 변화로 주로 태양에서 CME가 터졌을 때 나오는 고에너지 입자들이 지구 자기장과 상호작용하여 전기장의 세기를 증가시켰을 때 발생하는 줄가열에 의해 고층대기의 밀도변화에 영향을 미치는 경우이다. 이 논문에서는 다양한 경우를 고려하기 위해 태양 복사가 우세한 기간, 그리고 지자기활동이 우세한 기간, 마지막으로 두 가지 영향이 모두 미치는 기간을 선정하였다. 선정한 5개의 기간 동안의 태양 및 지자기 활동 내용은 날짜 순으로 이름을 붙여 표 1에 정리하였다. 기간 A는 2001년 3월 29일에 X급의 강한 플레어 현상이 나타난 기간으로 이 때 발생한 CME에 의해서 2001년 3월 31일에는 -387nT의 강력한 지자기폭풍을 야기시켰다. 기간 B는 태양 복사 효과는 강하지 않지만 2001년 11월 24일에 -221nT 정도의 강한 지자기 폭풍이 발생하였다. 기간 C는 5개 기간 중 가장 강한 X급 플레어가 발생했으나 발생위치가 태양의 동쪽 방향이라 지구에 큰 영향은 미치지 않았고 2001년 12월 30일에 -58nT 정도의 약한 지자기 폭풍이 발생한 기간이다. 기간 D 역시 태양 동쪽 방향에서 강한 X급 플레어가 발생한 기간이며 지자기 활동은 약했던 기간이다. 마지막으로 기간 E 동안에는 플레어나 CME에 의한 효과와는 달리 태양에서 발생한 High speed stream에 의한 Corotating interaction regions(CIRs)의 효과로 2002년 9월 4일에 -109nT의 지자기 폭풍이 발생하였다.

이 논문에서 관심을 가지는 저궤도 위성의 실례로서 우리나라 최초의 실용위성인 아리랑 위성 1호를 대상으로 태양 및 지자기 활동의 영향을 분석하였다. 아리랑 1호는 임무 고도가 약 685km인 극궤도 상에서 운영되고 있으며, 항상 비슷한 조건의 영상 촬영을 위해 태양동기궤도를 유지하도록

되어있다. 아리랑 1호의 궤도변화는 한국항공우주연구원 위성운영센터에서 수행하는 궤도결정 결과를 이용하였다. 일상적으로는 하루에 한 번씩 위성으로부터 전송받은 약 24시간 동안의 GPS 데이터를 이용하여 궤도결정을 수행하고 있으며, 대기저항계수 추정을 고려할 경우 약 5m, 일반가속도 추정까지 고려할 경우 최대 1.6m 수준의 궤도결정 정밀도를 얻을 수 있다(김해동 외 2003, Kim et al. 2004).

이 논문에서는 복사에 의해 발생하는 태양의 EUV값의 변화를 살펴보기 위해 일반적으로 상호관계를 가지는 2.8GHz 전파 플러스인 F10.7를 미국 국립 해양 대기청 NOAA 산하의 우주환경센터(Space Environment Center: SEC)<sup>1</sup>에서 제공하는 자료를 바탕으로 비교하였고, CME에 의해서 발생하는 지자기장의 변화 정도는 자기 폭풍시 발달하는 Ring current를 추정하기 위해 사용하는 매시간의 Dst 지수를 World Data Center for Geomagnetism<sup>2</sup>에서 제공하는 자료를 고려하여 비교하였다. 그리고 위성의 궤도결정을 1일 2회 즉, 12시간 데이터를 이용하여 추정된 대기저항가속도(drag acceleration)의 변화를 분석하였다. 여기서 대기저항가속도의 단위는  $m/day^2$ 이며, 1일 동안 대기저항력에 의해 유발되는 위성 진행방향 위치오차의 변화율을 의미한다. 따라서, 우주환경변화에 의해 대기밀도가 영향을 받고, 이에 따라 대기저항력이 커지게 되면, 대기저항가속도는 이에 비례하여 증가하게 되고, 이로 인해 미래 시점에 대한 궤도예측 오차가 커질 수 있음을 의미한다.

### 3. 아리랑 위성 1호의 궤도변화 분석

위에서 선정한 기간 동안의 아리랑 1호의 대기저항가속도 데이터는 각각 하루 평균한 F10.7의 자료와 12시간 단위로 평균한 Dst자료를 Y축으로, Day of Year(DOY)를 X축으로 두고 비교하였다. 이 때 Dst 지수는 대기저항가속도의 변화와 용이하게 비교하기 위해 (-)값을 취하였다.

먼저 그림 2와 3은 2001년 3월 29일에 X급의 강한 플레어 현상과 이 때 발생한 CME에 의해서 2001년 3월 31일에는 -241nT의 강력한 지자기폭풍이 발생한 기간 A동안에 위성의 대기저항가속도를 F10.7(그림 2)과 Dst 지수(그림 3)로 각각 비교한 그림이다. 그림 2에서 보면 84-85일에 증가하기 시작한 F10.7은 86일에 최고 263에 달하였고 이러한 변화에 대해 대기저항가속도 역시 1-2일 정도의 지연 시간을 두고 서서히 증가하는 것을 볼 수 있다. 하지만 90일에 약  $7000m/day^2$ 까지 높은 대기저항가속도를 보이는 것은 그림 3에서 Dst 지수의 변화를 통해 볼 수 있듯이 강력한 지자기 폭풍에 의해 발생한 것으로 보인다. 이 그림에서 대기저항가속도는 Dst 지수의 변화와 매우 유사한 모습으로 변하는 것을 알 수 있다. 이 때 Dst 지수와 대기저항가속도의 상관관계는 0.86으로 높은 값을 가짐을 확인하였다. 그림 2와 3을 통해 보편적인 대기저항가속도의 변화는 태양의 복사에 의해서, 그리고 일시적이고 급격한 대기저항가속도의 변화는 강한 지자기폭풍에 의한 영향으로 해석할 수 있다.

태양 복사에 의한 효과보다는 지자기 폭풍에 의한 효과(-177nT)가 우세했던 기간 B에서 각각 지수들에 대한 대기저항가속도 변화는 그림 4와 5에서 나타내고 있다. 그림 4에서 보면 328일에 대기저항가속도가 약  $4000m/day^2$ 까지 급격히 증가하는데 이는 F10.7의 변화와는 어떠한 상관관계를 찾아볼 수 없었으며 대신 그림 5에서 볼 수 있듯이 Dst 지수와 뚜렷한 상관관계가 있는 것처럼 보인다( $R=0.77$ ). 이 그림에서 Dst 지수와 대기저항가속도의 변화가 거의 동시에 일어남을 알 수 있었고

<sup>1</sup>[http://www.sec.noaa.gov/ftpmenu/indices/old\\_indices.html](http://www.sec.noaa.gov/ftpmenu/indices/old_indices.html)

<sup>2</sup><http://swdcwww.kugi.kyoto-u.ac.jp>

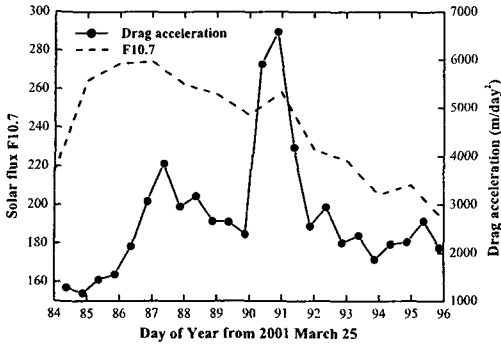


그림 2. 기간 A 동안에 발생한 F10.7의 변화와 대기저항 가속도의 변화 비교.

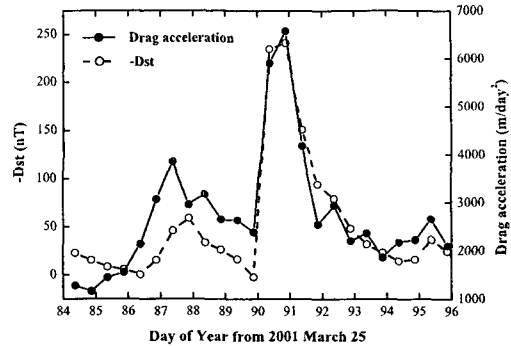


그림 3. 기간 A 동안에 발생한 Dst의 변화와 대기저항 가속도의 변화 비교.

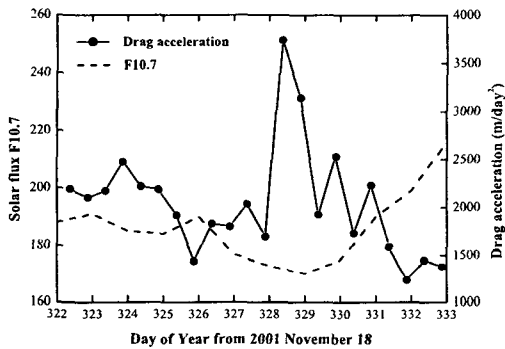


그림 4. 기간 B 동안에 발생한 F10.7의 변화와 대기저항 가속도의 변화 비교.

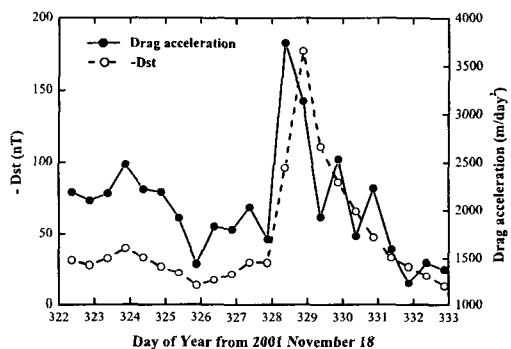


그림 5. 기간 B 동안에 발생한 Dst의 변화와 대기저항 가속도의 변화 비교.

유사한 패턴으로 증감하는 것을 확인하였다. 이는 기간 A에서처럼 단기간에 급격히 변하는 대기저항 가속도는 강한 지자기폭풍에 의해 발생한다는 사실을 뒷받침하고 있다. 그림 4에서는 F10.7이 후에 증가하고 있으나 궤도의 변화를 알 수 없으므로 대기저항 가속도와 어떤 상호작용을 가지고 있는지는 확실히 알 수 없었다.

다음 그림 6과 7은 2001년 12월 28일 태양의 동쪽 방향에서 X급의 강력한 플레어가 터졌던 기간 C 동안에 대기저항 가속도의 변화를 나타낸 그림이다. 실제로 태양의 동쪽 방향으로 60도 이상의 위치에서 발생한 CME는 거의 지구에 영향을 주지 않은 것으로 추정된다. Wang et al.(2002)에 따르면 대부분 지구에 영향을 미치는 CME는 태양의 중심에서  $\pm 30$ 도 내의 위치에서 발생하는 것들이다. 따라서 기간 C 동안에 복사에 의한 효과는 있을 수 있지만, CME에 의해서 발생하는 지자기폭풍의 효과는 크지 않을 것으로 보았다. 그림 6에서 알 수 있듯이 이미 F10.7이 260까지 크게 증가한 상태이고 이로 인해 대기저항 가속도 역시 상대적으로 같은 해, 다른 기간이  $1000 - 2000 \text{ m/day}^2$  인 것에 비해서 이미  $2500 - 2700 \text{ m/day}^2$  정도 높은 상태였다. 하지만 364일에 대기저항 가속도가 약  $3500 \text{ m/day}^2$  가

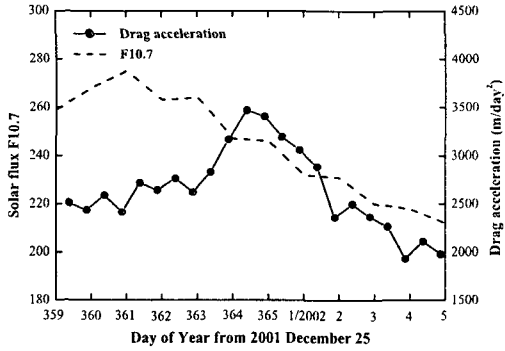


그림 6. 기간 C동안에 발생한 F10.7의 변화와 대기저항 가속도의 변화 비교.

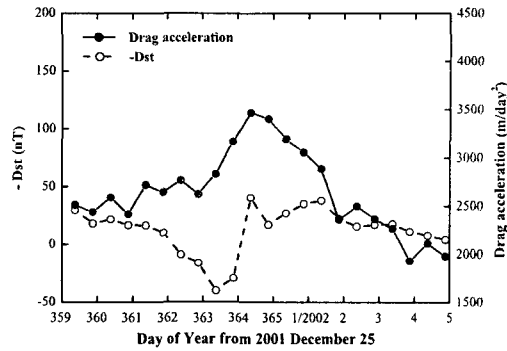


그림 7. 기간 C동안에 발생한 Dst의 변화와 대기저항 가속도의 변화 비교.

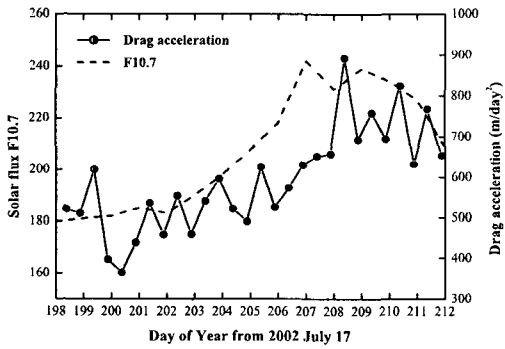


그림 8. 기간 D동안에 발생한 F10.7의 변화와 대기저항 가속도의 변화 비교.

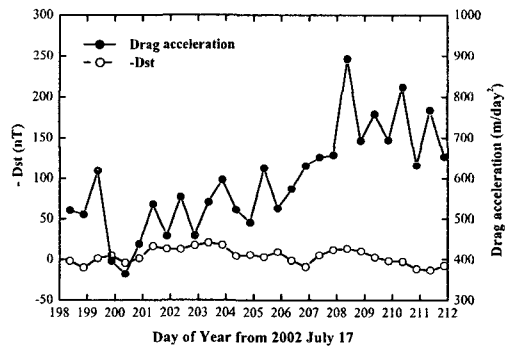


그림 9. 기간 D동안에 발생한 Dst의 변화와 대기저항 가속도의 변화 비교.

지 증가한 이유는 이전에 고층대기가 지속적으로 태양 복사에 의해 가열된 상태에서 그림 7에서 보여지는 약한 지자기폭풍(-40nT)의 영향까지 부가되어 발생한 것으로 보인다.

앞서 설명한 기간 B와는 달리 태양 복사에 의한 효과가 지자기폭풍에 의한 효과보다 우세했던 기간 D동안에 발생한 대기저항가속도의 변화는 그림 8과 9에서 볼 수 있다. 그림 8에서 F10.7의 변화와 대기저항가속도의 변화가 상당히 비슷한 모양으로 서서히 변하는 것을 볼 수 있다. 앞서 말한 기간 C처럼 2002년 7월 20일에 태양의 동쪽 방향에서 발생한 X급 플레어는 기간 D동안에 아무런 지자기활동을 야기시키지 않아서 이 기간 동안의 Dst 변화는 거의 없었던 것으로 볼 수 있다(그림 9). 그림 8에서 F10.7과 대기저항가속도 사이에 상관관계가 있음을 인지하고 그 값을 구해본 결과(그림 10) 약 하루 정도의 지연 시간을 가지고 태양 복사가 영향을 미치고 있는 것을 확인하였다( $r=0.92$ ). 이는 태양 활동과 추론된 대기 밀도와는 최소 0.9에서 최고 1.6일 정도의 지연 시간을 가지고 있다고 보고한 Jacchia et al.(1973)의 연구 결과와도 일치하였다.

마지막으로 기간 E는 2002년 9월 4일에 발생한 지자기폭풍의 영향으로 Dst가 -90nT까지 감소한

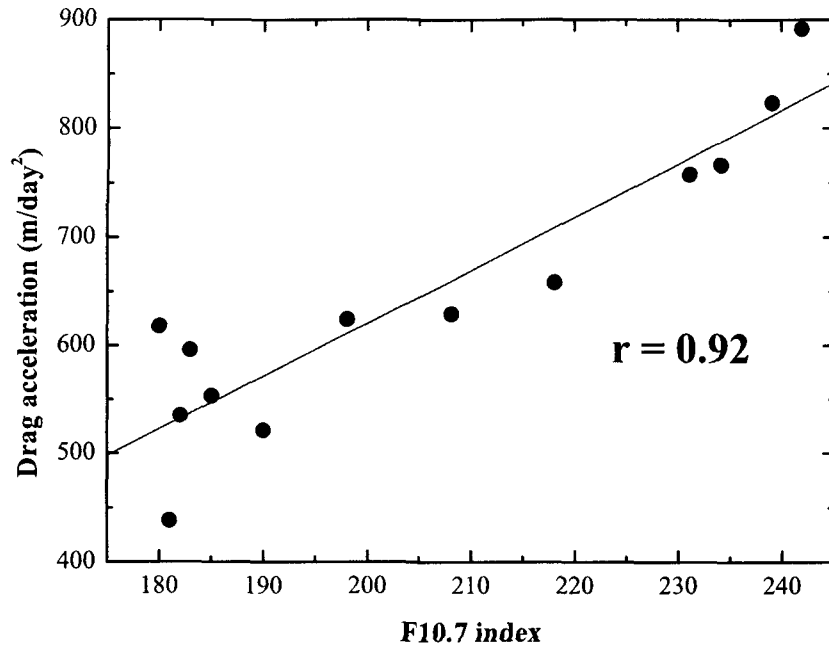


그림 10. 기간 D 동안에 하루 지연한 F10.7와 대기저항가속도의 상관관계.

기간이다. 이 때 발생한 지자기폭풍은 태양에서 나오는 High speed stream에 의한 CIRs때문에 야기된 것으로 백지혜 외(2005) 연구결과에 따르면 104개의 지자기폭풍 중에 7개 정도가 이 CIRs에 의한 것으로 나타났다. 그림 11과 12는 기간 E 동안에 대기저항가속도의 변화를 각각 F10.7과 Dst의 변화와 비교한 그림이다. 그림 1에서 알 수 있듯이 F10.7의 변화는 거의 없으며 247일에 약 1600m/day<sup>2</sup>까지 대기저항가속도가 증가한 이유는 Dst 지수변화로 충분히 설명할 수 있다(그림 12). 이는 기간 A와 B에서처럼 급격히 증가하는 대기저항가속도는 지자기폭풍에 의해 발생하는 것으로 Dst와 동시에 유사한 모양으로 변하는 것을 확인하였다( $R=0.69$ ). 그림 5에서 대기저항가속도의 증가가 Dst 지수의 변화보다 앞서는 것처럼 보이는데 이는 그래프 작성 시 각각의 데이터를 12시간 평균값으로 사용했기 때문에 생기는 오차로 추정된다.

#### 4. 결론 및 토의

이 논문에서는 태양 및 지자기 활동이 컸던 5개의 사건을 선정하여 그 기간 동안의 위성의 궤도 변화를 살펴보고 그 결과를 다음과 같이 정리하였다.

1. 위성의 대기저항가속도는 태양의 극자외선의 증가와 함께 약 하루 정도의 시간 지연을 가지고 유사하게 변화하고 있음을 확인하였고(그림 8), 상관계수는 0.92였다. 이는 Jacchia et al.(1973) 논문에서 언급한 결과와 일치하였다. 이 결과는 향후에 지속적인 태양활동을 관찰하여 우주환경 변화를 예측하게 되면 위성의 Drag 변화를 예보할 수 있게 된다는 걸 의미한다.



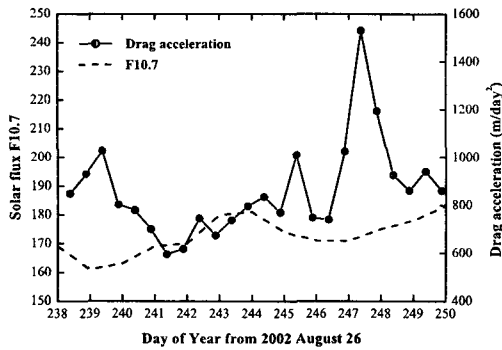


그림 11. 기간 E동안에 발생한 F10.7의 변화와 대기 저항가속도의 변화 비교.

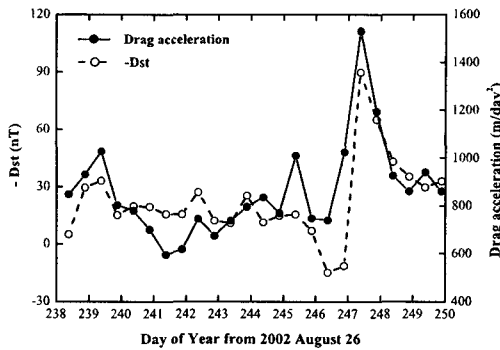


그림 12. 기간 E동안에 발생한 Dst의 변화와 대기저항 가속도의 변화 비교.

2. 기간 D를 제외한 나머지 기간 중에 대기저항가속도는 지자기폭풍에 의한 Dst 변화와 상당히 유사하게 그리고 동시에 급격히 변화하는 것을 확인하였다. 이는 지자기폭풍이 컸던 기간 A, B, E 동안 Dst 변화와 대기저항가속도의 상관관계를 구해 각각 0.86, 0.77, 0.69 값을 가짐을 확인하였다.

3. 이 논문에서는 기간 A와 C에서 볼 수 있듯이, 복사에 의한 효과와 지자기폭풍에 의한 효과가 동시에 발생한 기간을 연구하였다. 연구 결과 위성의 대기저항가속도의 변화는 전반적으로는 오랜 기간 동안 복사의 의한 효과로 나타나고 있으나 짧은 기간(약 하루 동안) 크게 발생하는 대기저항가속도의 변화는 우선적으로 지자기폭풍에 기인하는 것으로 추정된다.

이 논문에서는 짧은 기간 동안의(10-12일) 아리랑 1호의 궤도변화를 우주환경과 연관하여 연구하였다. 이 연구에서는 5개의 사건을 선정하여 당시의 우주환경 변화와 위성의 궤도 변화를 연구하였지만, 향후에는 좀 더 장기간의 위성 자료와 그리고 다양한 우주환경의 변화를 선정하여 분석할 계획이다. 결론적으로 이 연구를 통한 우주환경 변화와 위성궤도 변화 사이의 연관성은 안정된 위성운용에 도움을 줄 수 있을 것으로 기대된다.

**감사의 글:** 두 분 심사위원들의 긍정적이고 세심한 제안에 감사드립니다. 이 연구는 과학기술부의 기술료 사업(M1-0407-00-0001)과 한국천문연구원 정부출연금 사업의 지원으로 수행되었습니다.

**참고문헌**

김해동, 최해진, 김은규 2003, 한국항공우주학회지, 31, 40  
 백지혜, 이대영, 김경찬, 최정립, 문용재, 조경석, 박영득 2005, 한국우주과학회지, 22, 419  
 Hedin, A. E. 1984, JGR, 89, 9828  
 Jacchia, L. G. 1961, SAO Special Report, 62  
 Jacchia, L. G. 1964, PSS, 12, 355  
 Jacchia, L. G., Slowley, J. W., & Campbell, I. G. 1973, PSS, 21, 1835  
 Kim, H. D., Kim, E. K., & Choi, H. J. 2004, KSAS International Journal, 6, 71  
 Knipp, D. J., Welliver, T., McHarg, M. G., Chun, F. K., Tobiska, W. K., & Evans, D. 2005, Adv.

Space Res., 36, 2506

Knowles, S. H., Picone, J. M., Thonnard, S. E., & Nicholas, A. C. 2001, *Solar Physics*, 204, 387

Marcos, F. A. & Wise, J. O. 2002, AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit, 40th, Reno, NV, Jan. 14-17, AIAA-2002-92

Montenbruck, O. & Gill, E. 2000, *Satellite drag: Models, Methods, and Applications* (Berlin: Springer-Verlag), pp.83-84

Sehna, L. 1983, *Astronomical Institutes of Czechoslovakia*, 34, 54

Wang, Y. M., Ye, P. Z., Wang, S., Zhou, G. P., & Wang, J. X. 2002, *JGR*, 107, 1340