

우주 잔재물에 대한 궤도 진화<sup>1</sup>

최규홍 · 박종욱 · 서영수 · 경재만 · 이현주

연세대학교 천문대기학과

(1991년 9월 2일 받음; 1991년 12월 10일 수리)

## ORBITAL EVOLUTION OF SPACE DEBRIS

K.-H. CHOI, J. U. PARK, Y. S. SEO, J. M. KYEONG and H. J. YI

Department of Astronomy and Atmosphere Science

Yonsei University, Seoul 120-749

(Received September 2, 1991; Accepted December 10, 1991)

## 요약

360개의 우주 잔재물에 대한 궤도진화를 고찰하기 위해 IODS(천문 우주 과학 연구소의 궤도 결정 S/W)를 사용하였고, 섭동은 지구의 비대칭 포텐셜, 태양, 달, 공기 저항, 그리고 태양 복사압을 고려하였다. 계산 결과로부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

- i) J<sub>2</sub> 항 때문에 우주 잔재물의 궤도는  $0.5^\circ/\text{day} < \frac{d\Omega}{dt} < 1.4^\circ/\text{day}$  씩 세차운동을 한다.
- ii) 기타의 다른 섭동은 아주 작은 영향을 미친다.

## ABSTRACT

In order to obtain a complete picture of the time dependent dynamic of 360 fragments in space, the program IODS(ISSA Orbit Determination System) has been set up. Using The program IODS, all fragments orbits of one break-up event can be generated. Perturbations due to the Earth's asymmetrical potential, the Sun, moon, air drag, and solar radiation force are considered. We summarize our results as follows:

- i) Due to J<sub>2</sub> term, precessional motion of all fragment orbits are  $0.5^\circ/\text{day} < \frac{d\Omega}{dt} < 1.4^\circ/\text{day}$ .
- ii) The other perturbations have very small effect.

## I. 서론

1989년 6월 현재 지구 주위를 돌고있는 위성으로서 작동하고 있는 위성은 약 350개, 작동하지 않는 위성은 약 400여개, 상단 로켓으로서 지구에 떨어지지 않으면서 지구 주위를 돌고 있는 로켓 트가 약 1750여개가 있고, 아울러 로켓트의 우연한 폭발이나 군사적인 실험에 의해 폭발 되었을 때 로켓트의 잔재물이 생기게 되는데 이때 직경 1cm보다 큰 로켓트의 잔재물이 약 6,000여개가 지구 주위를 돌고 있다 (Rex *et al.* 1989, Johnson 1989).

이러한 로켓트의 잔재물이 기하급수적으로 계속 증가하게 되는데 앞으로 위성궤도 진입시 우주 잔재물과 충돌할 사태가 일어날뿐만 아니라 우주 잔재물 때문에 우주관측에 영향을 미치게 된다.

<sup>1</sup> 이 연구는 1990년도 연세대학교 학술연구비 (연세학술 90-44)로 수행된 것임.

본 연구에서는 우주 잔재물의 궤도 진화를 특수 섭동력으로 수치적분 하여 시간에 따라 우주 잔재물의 궤도가 어떻게 변화하는가를 고찰해 보기로 하자.

## II. 운동 방정식

우주의 잔재물이 받는 섭동력은 지구의 비대칭에 의한 섭동력, 달, 태양에 의한 중력, 지구의 대기에 의한 저항, 태양의 복사압 등이다.

우주 잔재물에 대한 가속도는

$$\vec{r}_i = \vec{r}_{CB} + \vec{r}_H + \vec{r}_M + \vec{r}_S + \vec{r}_D + \vec{r}_{SR} \quad (1)$$

이다. 여기서  $\vec{r}_{CB}$ 는 우주 잔재물에 미치는 점 질량으로 본 지구 중력에 의한 가속도이고,  $\vec{r}_H$ 는 지구의 비대칭 포텐셜에 의해서 영향을 받는 가속도이고,  $\vec{r}_M$ ,  $\vec{r}_S$ 는 달과 태양의 각각에 대한 섭동 가속도이고,  $\vec{r}_D$ 는 지구의 대기에 의해서 받는 저항에 의한 가속도이고,  $\vec{r}_{SR}$ 은 태양 복사압에 의해서 생기는 가속도이다. 인공위성의 고도가 약 1,600 Km 이상이 되면 태양과 달의 중력에 의한 섭동을 무시할 수 없다. 지구의 대기는 고도가 낮은 인공위성에 저항력을 미치는데 고도가 200 KM 이하에서는 가장 중요한 섭동력으로 작용하며, 고도가 1,000 Km 이하인 경우에도 인공위성의 궤도에 영향을 미친다. 위성의 궤도는 태양의 복사압에 의해서도 영향을 받게 된다.

위성에 미치는 섭동력을 수치 적분하는 Cowell 방법용 사용하였다. (1) 식은 시간에 대하여 4차 Runge-Kutta 방법으로 수치 적분하므로써 관성 좌표계에서 임의의 시각에 대한 속도 벡터와 위치 벡터를 산출할 수 있다.

본 논문에서 사용하는 위성궤도를 예보할 수 있는 소프트웨어 시스템 (IODS: ISSA Orbit Determination System)은 천문 우주 과학 연구소의 박필호 등 (1991)에 의해 개발된 것이다. IODS에서 사용한 지구 중력장 모델은 GEM T1 모델 (Marsh *et al.* 1977)이고, Zonal 항과 tesseral, sectorial 항은 각각 12개 항씩 포함시켰다.

## III. 모 델

우주 잔재물의 진화에 사용된 가상적인 모델은 기상위성 NOAA-10 호의 궤도를 사용하였다. 다시 말하면 NOAA-10 호가 표1의 초기값에서 승교점을 통과할 때 등방형으로 폭발하였다고 가정 하였다.

폭발에 의한 우주 잔재물의 등방형 속도 증가량은 다음과 같다고 가정 하였다.

$$\begin{aligned}
 \Delta \dot{X}_{ijk} &= \Delta V_i \times \sin \theta_j \times \cos \phi_k \\
 \Delta \dot{Y}_{ijk} &= \Delta V_i \times \sin \theta_j \times \sin \phi_k \\
 \Delta \dot{Z}_{ijk} &= \Delta V_i \times \cos \theta_j.
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

여기서  $\Delta V_i = 0.1 \sim 0.5 \text{ Km/s}$  ( $0.1 \text{ Km/s}$  간격)이므로  $i = 1, \dots, 5$ , 천정각  $\theta_j = 0 \sim 180^\circ$  ( $30^\circ$  간격  $j = 1, \dots, 6$ ), 방위각  $\phi_k = 0 \sim 360^\circ$  ( $30^\circ$  간격  $k = 1, \dots, 12$ ) 이다. 우주 잔재물의 속도 벡터는 각각 다음과 같이 된다.

$$\begin{aligned}
 \dot{X}_{ijk} &= \dot{X}_o + \Delta \dot{X}_{ijk} \\
 \dot{Y}_{ijk} &= \dot{Y}_o + \Delta \dot{Y}_{ijk} \\
 \dot{Z}_{ijk} &= \dot{Z}_o + \Delta \dot{Z}_{ijk}
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

우주 잔재물의 갯수는  $\sum ijk = 5 \times 6 \times 12 = 360$  개 이다. 360개의 우주 잔재 물에 대한 궤도를 시간에 따라 계산 하였다.

표 1. NOAA 10호의 평균 궤도요소와 거리, 속도벡터

요소	값
기산점 시각 $T_0$	1988.1.21. 0.51.30.836 U.T.
궤도 장반경 $a$	7192.093 Km
이심률 $e$	0.00132574
궤도 경사각 $i$	$98^\circ 69269$
승교점 궤경 $\Omega$	$53^\circ 93313$
근지점 인수 $\omega$	$297^\circ 22918$
평균근점이라 $M$	$62^\circ 76139$
$X_o$	4235.0222 Km
$Y_o$	5814.7259 Km
$Z_o$	0.0000 Km
$\dot{X}_o$	0.909658 Km/s
$\dot{Y}_o$	-0.661782 Km/s
$\dot{Z}_o$	7.362345 Km/s

#### IV. 계산 결과와 논의

360개의 우주 잔재물의 궤도에 대한 진화를 알기 위하여 천문우주과학 연구소에서 개발한 IODS 소프트웨어를 사용하여 계산하여 보았다. 그림1은 NOAA 10호 위성이 1988년 1월 21일 0시 51분 30.836초 U.T. 에 승교점을 통과할 때 위성이 등방형으로 대 폭발이 일어나서 360개의 파편이 생겼다고 가정된 지점을 보이고 있다.

Elapsed time = 0 day;



그림1. 승교점을 통과할때 위성이 동방향으로 대 폭팔이 일어났다고 가정된 지점(화살표).

Elapsed time = 1 days;



그림2. 하루가 지난 후의 가상적인 우주잔해물의 위치

Elapsed time = 5 days;



그림3. 5일 후의 가상적인 우주잔해물의 위치

Elapsed time = 10 days;



그림4. 10일 후의 가상적인 우주잔해물의 위치

Elapsed time = 20 days;



그림5. 20일 후의 가상적인 우주간해물의 위치

Elapsed time = 30 days;

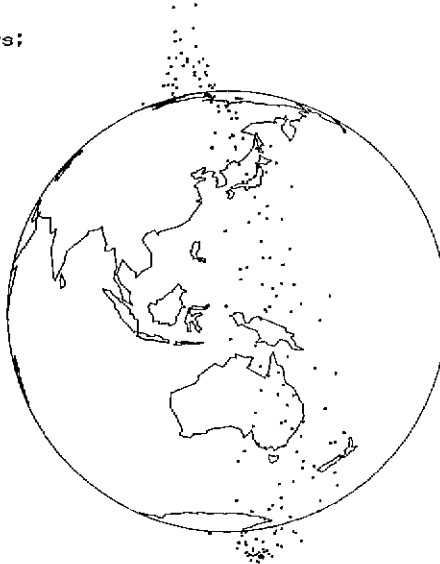


그림6. 30일 후의 가상적인 우주간해물의 위치

그림 2는 하루가 지난후의 가상적인 위성 잔재 물에 대한 관성계에서의 위치를 보이고 있다. 360개의 위성 잔재물이 지구 주위에 고루게 분포되어 있다. 그림 3은 5일후의 위성 잔재물에 대한 위치 를 보이고 있는데 동쪽으로 약 5°의 세차운동을 하고 있는것을 보이고 있다. 그림 4는 10일후의 위성 잔재물의 위치를 나타내고 있는데 5일 후보다 더 큰 세차운동과 분산분포를 보이고 있다. 그림 5와 그림 6은 각각 20일 후와 30일후의 위성 잔재물에 대한 관성계에서의 위치를 나타내고 있는데 20°와 30°정도의 세차운동과 더 큰 분산분포를 보이고 있다. 이러한 세차운동은 지구 편평율  $J_2$ 에 의한 승교점 변화율 (Taff 1984)

$$\frac{d\Omega}{dt} = \frac{3nJ_2}{2a^2(1-e^2)} \cos i \quad (4)$$

에 의해서 생긴다. 여기서  $n$ 은 평균 각속도,  $a$ 는 궤도 장반경,  $e$ 는 이심율,  $i$ 는 궤도 경사각 이다.

위성 궤도가 분산분포를 보인 이유는 위성이 등방형으로 폭발할 때 속도의 변화가 다르게 증가함에 따라 위성 잔재물의 궤도 경사각이  $i=98.69^\circ$ 에서  $94.8^\circ < i < 102.4^\circ$ 로 변화하기 때문이다.

(4)식으로 부터 궤도의 세차운동은  $0.54^\circ/day < \frac{d\Omega}{dt} < 1.4^\circ/day$ 가 된다. 다시 말하면 1일후의 세차운동은  $0.54^\circ < \Delta\Omega < 1.4^\circ$ 이고, 5일후는  $2.7^\circ < \Delta\Omega < 7^\circ$ 이고, 10일후는  $5.4^\circ < \Delta\Omega < 14^\circ$ 이고, 20일후는  $10.8^\circ < \Delta\Omega < 28^\circ$ 이고, 30일후는  $16.2^\circ < \Delta\Omega < 42^\circ$ 이다. 지구 편평율  $J_2$ 에 의한 위성 궤도의 세차 운동량과 그림 1에서부터 그림 6까지에서 볼 수 있는 위성 잔재물에 대한 세차운동과는 잘 일치하고 있다.

## V. 결 론

천문우주과학 연구소에서 개발한 IODS 소프트웨어를 사용하여 우주 잔재물의 진화를 계산해 본 결과 주된 섭동의 원인은 지구의 편평율  $J_2$ 에 의한 섭동이다.

궤도 평면의 세차운동은  $0.54^\circ/day < \frac{d\Omega}{dt} < 1.4^\circ/day$  이므로, 10일후에는  $5.4^\circ < \Delta\Omega < 14^\circ$ 이고, 20일후에는  $10.8^\circ < \Delta\Omega < 28^\circ$ 이고, 30일후에는  $16.2^\circ < \Delta\Omega < 42^\circ$ 의 궤도면 이동을 보이고 있고, 다른 섭동량은 아주 적게 나타났다.

## 참 고 문 헌

- 박필호, 김천휘, 신중섭, 이정숙, 최규홍, 박재우 1991, 한국우주과학회지, 8(1), 99.  
 Johnson, N. L. 1989, *Orbital Debris from Upper-Stage Breakup*, ed. J. D. Loftus (AIAA ; Washington, D.C.), pp.41-106.  
 Marsh, J. G., Lerch, F. J., Putney, B. H., Christodoulidis, D. C., Smith, D. E., Felsentreger, T. L., Sanchez, B. V., Klosko, S. M., Pavlis, E. C., Martin, T. V., Robbins, J. W., Chandler, N. L., Rachlin, K. E., Patel, G. B., Bhati, S., and Chinn, D. S. 1988, *J. Geophy. Res.*, 93, 61.

Rex, D., Eichler, D., Soppa, U., Zuschlag, J., and Bade, A. 1989, *Acta Astronautica*, 20, 209.

Taff, L. G. 1985, *Celestial Mechanics* (Johnson Wiley & Sons ; New York).