

인공위성이 우주 및 지구환경에 미치는 영향 - 우주폐기물(Space Debris) 중심으로 -

Effect on the Space and Global Environments by the Space Debris

김 원 규*

Won-Kyu Kim*

요 약

최근, NORAD(북미방공사령부)의 발표에 따르면 10cm 이상의 우주물체로서 목록화 되어 관리가 되는 것 중의 단지 10%만이 임무와 관련된 것이고 나머지는 보조연료탱크, 그리고 인공위성의 잔해들로서 임무와는 상관이 없는 우주폐기물인 것으로 분석되었다.

우주폐기물의 대표적인 경우는 우주물체간의 충돌이나 폭발로 인해 발생된다. 그리고 임무 중인 인공위성에 큰 피해를 초래하게 된다. 현재 몇몇 국가에서는 지구 및 우주환경을 보호하고 인류의 안전을 위해 새로운 위성 모델의 개발을 추진 중이다.

Abstract

Recently, NORAD reported that only 6% of the total space objects cataloged in the table as above 10cm objects were being operated for the space missions and the others were just non-operated objects, such as rocket body, useless satellites which were finished their missions, and other fragments of space debris.

A major contributor to the orbital debris background has been object breakup. Breakups generally are caused by explosions and collisions. Several international research groups and big countries' governments are trying to develop advanced technology for de-orbiting and to design new future satellites' modeling. The future need to be considered continuously that kind of technology and designing to preserve space and global environmental safety and to maintain welfare of mankind forever.

I. 개 요

1957년 소련이 역사상 처음으로 인공위성 스푸트니크 1호를 우주 공간으로 쏘아 올림으로써 우주 무한 경쟁시대의 서막은 시작되었고 세계 열강들에 의

한 우주 개발은 날로 발전이 거듭되어 왔다. 오늘날에는 군사위성뿐만 아니라 인간의 생활을 윤택하게 해 주는 과학위성, 기상위성, 통신위성 등 실로 인공위성의 활약상이 눈부시게 변천을 거듭해 오고 있는 것이 사실이다.

최근 보도에 의하면 인류의 초기 탐험가들이 범

* 경희대학교 전자정보공학부 우주과학과(Department of Astronomy and Space Science, School of Electronics and Information, Kyung Hee University)

· 논문번호 : 2000-2-9

· 접수일자 : 2000년 12월 11일



그림 1. 우주환경이 날로 심각해져 가고 있다.
Fig. 1. Severe space environment.

선을 타고 신대륙에 도착했던 것과 같이 지구의 우주 여행객들이 가까운 장래에 우주선을 타고 태양계로 항해를 하게 된다고 하고 또한 우주에 호텔을 만들겠다는 야심 가득 찬 사업가도 등장하게 되었다. 이처럼 우주 영역은 우리에게 크나큰 혜택을 선사하기도 하지만 우주로의 영역권 확대 경쟁이 열강국들에 의해 날로 심각해져 가고 있는 점을 미루어 볼 때 우주환경 및 지구환경에 미치는 인공위성의 수명 후 거취도 간과할 수 없는 문제로 대두가 됨직하다.

인류는 40년간 3,700여 번의 우주발사로 23,000여 개의 인공위성(10 cm 이상)을 궤도에 올렸으나 현재 겨우 6%만이 운용 중에 있고 나머지는 이미 임무가 끝났거나 우주 파편으로 존재하며 이것들은 다른 위성의 활동이나 임무수행에 큰 제한을 주며 지구 근접시나 대기권 진입시에는 지구의 안전에 치명적인 위협을 줄 수도 있다. 이 논문에서는 인공위성이 어떠한 이유로 인해 그 역할을 더 이상 수행할 수 없거나 수명을 다한 후 우주폐기물(Space Debris)로서 우주 및 지구환경에 미치는 영향을 분석하고 그 대책을 제시하고자 한다.

II. 개 념

2-1 인공위성(Man-made Satellites, Satellites)

흔히 인공위성이라 하면 인간이 제작하여 어떠한 목적을 가지고 우주로 발사되어(설령 그것이 지구궤도이건 지구궤도를 벗어난 궤도를 돌고 있건

간에) 현재 임무를 수행하고 있는 우주물체만을 말하게 된다.

그러나 미우주사령부(USSPACECOM)의 정의에 따르면 인공위성은 그 물체가 인간에 의해 만들어져서 우주공간에서 현재 운용 중에 있든지 아니면 이미 그 역할을 다하고 일정 궤도를 그냥 돌고 있든지 간에 지구궤도를 돌고 있는 우주물체를 통틀어서 말한다. 원래 위성(Satellite)이란 의미도 따지고 보면 행성 주위를 돌고 있는 물체를 의미하고 인공위성(man-made satellite)도 인간이 만든 위성이란 의미 외에 그것의 작동 여부가 따져지는 것은 아니다.

Satellites와 상반되는 것으로 Space Probes는 지구궤도가 아닌 기타 위성궤도를 돌고 있는 전 위성들을 총칭해서 일컫는 말이다.

2-2 우주폐기물(Space Debris, Space Junk)

지구궤도권 안에서 돌고 있는 인간이 만들어낸(man-made objects) 인공위성의 각종 부산물들을 일컫는 말로서 더 이상 그 기능이나 역할을 수행할 수 없는 상태의 인공위성들을 의미한다. 여기에는 인공위성의 발사시 사용된 마지막 연료 추진체인 3단계 로켓 몸체와 그 잔해, 수명이 다 한 인공위성, 임무 중인 탑재체(payload, 우주발사체에 실린 인공위성을 의미함)에서 떨어져 나온 보호용 덮개, 보조용 모터, 분리형 볼트(explosive bolts)들이 해당된



그림 2. 지구주위를 돌고 있는 인공위성과 우주폐기물들
Fig. 2. Man-made satellites and space debris surrounding the earth.

다. 다시 말해서 현재 임무를 수행하고 있지 않은 모든 인공적으로 만들어진 위성들을 우주폐기물이라 한다.

1957년부터 1997년까지 25,000여기의 10cm 이상 인공위성이 NORAD에 의해 목록화 작업이 되었고, 이 중 8,600여기의 목록화된 위성이 아직 남아 있다. 나머지 16,000여기의 위성들은 그 동안 지구 대기권으로 재 진입시 타 버렸거나 타다가 남은 작은 알갱이들은 지구 어딘가에 떨어졌을 것이다. 아직도 너무 크기가 작아서 현대의 레이더나 광학기술로 찾지 못한 10cm 이하의 우주폐기물들은 수도 셀 수 없을 만큼 존재할 것이고 그 영향은 우주여행을 목전에 둔 지구인에게 심각한 우주교통 장애로 다가 올 것이다.

Ⅲ. 우주폐기물의 통계적 자료

해마다 우주폐기물의 통계치가 조금씩 차이를 보이고 있지만 어마 어마한 숫자의 폐기물이 우주공간을 자유로이 또는 일정 궤도를 따라 움직이고 있는 것은 사실이다. 1996년의 미우주사령부 통계자료에 따르면 약 3,500만개의 우주폐기물이 크기에 상관없이 형체를 가지고 지구궤도 내에 머무르고 있는 것으로 추정하고 있다. 1cm 이상이 되는 인공위성의 잔해들만 해도 그 수가 약 70,000기에서 120,000기로 추정하고 있다. NORAD에서 유지하고 있는 10cm 이상의 우주폐기물 Catalog Table에서도 약 58%에 해당하는 것이 우주폐기물이라고 한다.

최근 NORAD의 발표에 따르면(표 2 참고), Catalog Table에 수록된 목록들 중에 단지 6%가 현재 운용 중인 인공위성 Catalog 이고 50%는 임무가 끝난 인공위성이나 3단계 로켓 몸체이고 임무와 관련하여 떨어져 나온 부산물(즉, Launch adapters, Lens covers, Kick motors 등)등이 나머지 44%를 차지하고, 현재 궤도상에서 돌고 있는 10cm 이상의 우주폐기물들만이 목록화 작업이 되어 있다.

또한, 약 850km에서 1,000km 사이에는 2cm 이상의 우주폐기물들이 약 70,000개가 넘게 분포되어 있다고 한다. 이 대부분은 인공위성의 임무 수행을 위한 기동에서 비롯된 원자로 냉각제의 부산물들이다.

표 1. 주요 국가별 우주물체의 현황, 2000년 6월 현재
Table 1. Present condition of space objects, as of June, 2000.

Country	Satellites	Space probes	Debris	Total
USA	726	46	3,014	3,786
ESA	24	2	234	260
JAPAN	65	4	51	120
IRIDIUM	88	0	0	88
FRANCE	31	0	17	48
GLOBALSTAR	48	0	0	48
INDIA	19	0	4	23
UNITED KINGDOM	17	0	1	18
CANADA	16	0	0	16
GERMANY	13	2	1	16
ITALY	8	0	3	11
AUSTRALIA	7	0	2	9
INDONESIA	9	0	0	9
BRAZIL	9	0	0	9
NATO	8	0	0	8
SWEDEN	8	0	0	8
MEXICO	6	0	0	6
SOUTH KOREA	7	0	0	7
SPAIN	5	0	0	5
THAILAND	4	0	0	4
NORWAY	3	0	0	3
ISRAEL	3	0	0	3
TURKEY	2	0	0	2

표 2. NORAD에서 발표한 10cm 이상의 우주물체들의 분류, 2000년 6월 자료

Table 2. Space objects above 10cm by NORAD, as of June 2000.

Satellites	Space probes	Debris	Total
2,671기	90기	6,096기	8,927기

표 1은 각국의 우주물체 현황을 나타낸 것이다.

다음 그림 3은 해마다 지구 대기권으로 재 진입하는 테니스 공 이상의 우주 폐기물량을 나타낸 것으로 주로 그 크기로 주목되는 탑재체, 플랫폼(탑재체를 궤도상에 올리기 위해 사용된 각종 위성 제어장치), 로켓 몸체(Delta 로켓처럼)들에 대한 조사이다. 해마다 100에서 200기 정도의 이런 물체들이 지구 대기권으로 재 진입하게 된다.

그림 4는 1999년에 지구 대기권으로 재 진입하는 우주폐기물(R/Bs, paltforms (PLATs), satellites)의 총 질량(193,268 kg)을 나타낸 것이다.

알려진 데이터의 분석자료에 의하면 총 지구 대기권 재 진입량의 10~30%의 우주폐기물이 지구 대기권을 성공적으로 통과한다고 하며 이를 약 20%로 계산했을 때 약 38,000 kg의 폐기물량이 된다. 지구 표면 중 25%를 육지라고 계산했을 때 38,000 kg 중에 9,500kg이 지구의 어느 육지 지역으로 낙하한다는 계산이 나온다. 다시 말하면 총 지구 대기권 재진입량의 5% 정도가 매년 우리 머리 위 어딘가에 떨어진다. 그러나 신기하게도 아직까지 재산이나 인명에 피해를 입었다는 공식적인 보고는 없다.

IV. 우주폐기물의 생산 단계

4-1 버려진 Hardwares : 로켓 추진체, 인공위성

많은 우주발사체(위성 발사용 추진체인 로켓과 인공위성을 총칭)들은 인공위성의 임무를 위해 우주공간의 임무궤도 상에서 인공위성을 분리하지만 그 전에 3단계 로켓이나 위성분리 추진체 등 많은 부산물들을 어쩔 수 없이 우주공간 궤도상에 남겨 두게 된다. 또한 인공위성 그 자체도 도중에 임무수행이 불가할 경우, 또는 임무 수행이 끝나면 회수를 하지 않는 이상 궤도상에 그대로 남아 마찬가지로 우주폐기물이 되어 다음 인공위성의 임무를 방해하게 될 것이다.

4-2 임무 수행 중의 잔해

우주선이나 인공위성은 다양한 임무를 수행하기 위해 때때로 여러 동체들간의 상호 분리가 필수적이다. 이때 떨어져 나오는 분리형 볼트, 렌즈 뚜껑, 보

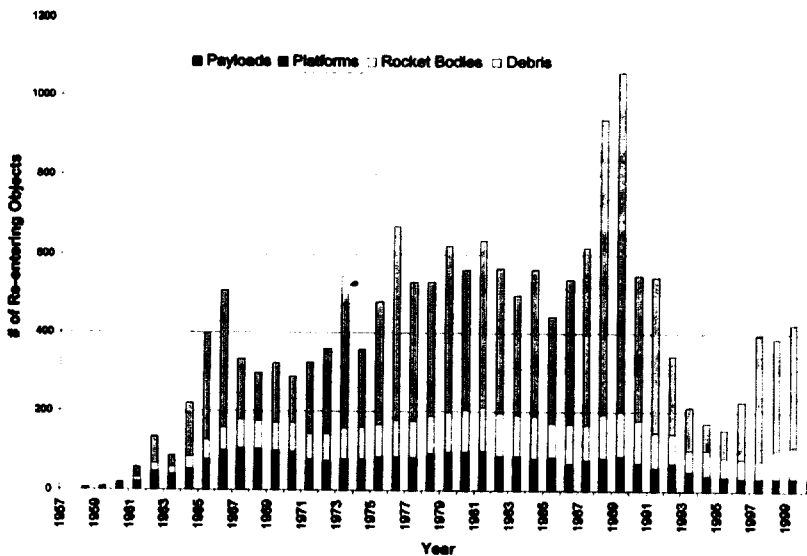


그림 3. 연도별 지구 대기권 재 진입하는 우주 폐기물의 숫자
(U.S. Space Command의 위성목록 자료를 이용한 NASA 발표 자료, 1999)
Fig. 3. Re-entering space debris by NASA, 1999.

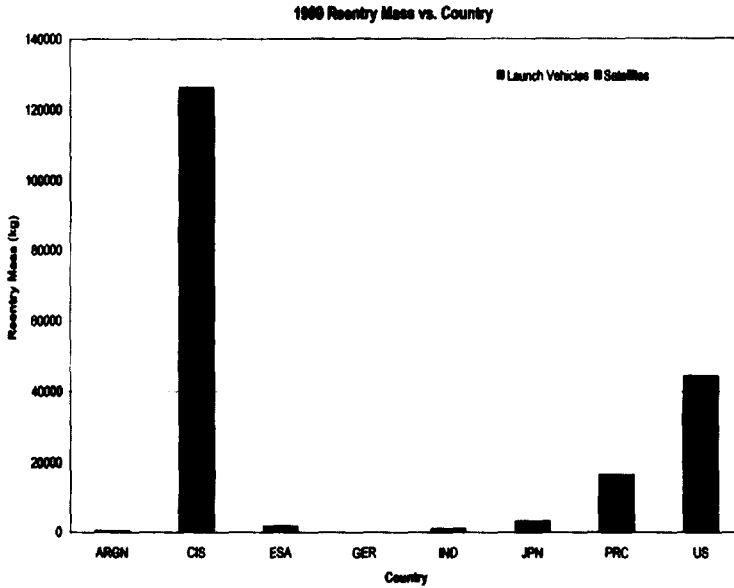


그림 4. 1999년의 우주폐기물의 통계
Fig. 4. Statistical space debris.

조용 모터, 외부를 감싸고 있던 덮개(fairings), 어댑터(adapter), 각종 밴드, 회전속도 조절용 휠(wheel), 연료 소모시 배기통의 부식으로 인한 구조물의 부분 이탈 등은 인공위성 본래의 임무를 더 이상 지원할 수 없는 우주물체의 대표적인 잔해들이다. 한 우주물체의 발사와 운영에도 수십 가지의 잔해들이 떨어져 나오는 현실 앞에 우주공간이 무작정 넓다고 생각되어지지는 않는다.

비록 우주폐기물이 레이더로 감지가 안될 정도로 그 크기가 작다고 할지라도 우주 공간에서의 임무중인 위성체(인공위성과 우주선, 우주정거장 등)에는 심각한 손상을 입힐 수 있다.

4-3 우주환경에 의한 잔해

위성체의 우주궤도환경은 공기가 전혀 없는 고진공 환경이며 태양복사열에 의한 고온환경 및 극저온환경(-270°C; 지구의 그림자에 위치할 경우)이 반복되는 가혹한 환경으로 특성지어진다. 위성체는 지상에서 발사되어 우주궤도에 진입한 순간부터는 계속해서 우주환경에 노출되며 이런 가혹한 우주환

경 때문에 위성체의 주요 부품에 기능장애가 초래되기도 하고, 이는 결국 임무수행의 실패로 이어지기도 한다. 즉, 우주환경은 지상환경과는 판이하게 다르기 때문에 지상에서는 제대로 작동하는 것으로 관찰되는 위성체가 우주환경에서는 예상하지 못한 기능장애를 보이기도 하고 이는 때때로 임무성공에 치명적인 영향을 미치기도 하는 것이다.

설령 그 지경까지 가지 않는다고 하더라도 우주 공간상의 원자들, 태양열 복사와 방사능 때문에 위성표면 재질의 피로도가 증가하여 표면 페인트의 이탈, 모터 케이스의 부식으로 인한 이탈은 위성들의 임무에 치명적인 손상이나 방해를 일으킨다.

4-4 기타 잔해

가장 큰 우주에서의 위성체 운용상 위협은 산화추진제의 부적절한 혼합에 의해 위성체 자신의 폭발로 인한 파편들의 대규모 분산이다. 이 폭발은 다시 수 많은 위성체 및 잔해들간의 충돌로 이어지며 건잡을 수 없는 연쇄 폭발현상을 일으켜 우주 잔해들을 또 다시 우주공간상에 뿌리게 된다.

폭발로 인한 우주폐기물의 생성은 과학기술의 발달로 어느 정도 줄어들어 가고 있지만 그보다 더 큰 문제는 인접한 물체들간의 충돌이다. 유도제어가 가능한 위성체는 우주폐기물을 성공적으로 피할 수 있지만 기본임무를 떠나 마냥 회피기동만 하고 있을 수만은 없다. 더 중요한 임무수행에 사용되어야 할 연료를 항상 저장하여야 하기 때문이다. 크고 작은 우주폐기물간의 충돌은 수시로 일어나지만 속수무책일 수 밖에 없다. 수 많은 우주폐기물의 우주공간상의 분포로 볼 때 충돌은 또 다른 충돌을 불러일으키는 이른바 Kessler효과가 발생한다.

현재까지 보고된 우주물체들간의 충돌사례는 3건이 있으며 우주에서 발생하는 폭발의 22%는 아직까지 그 원인을 알 수 없을 만큼 심각한 지경에 있다.

V. 우주폐기물이 우주환경에 미치는 영향

1996년 일본의 천문학자를 태운 Endeavour Space Shuttle의 우주발사를 5분 동안 연기한 적이 있었다. 발사될 우주선의 궤도상에 미국 군사위성이 접근하고 있어 충돌의 위험이 있었기 때문이다. 또한 같은 해에 프랑스의 인공위성인 Selene이 가방 크기의 우주 폐기물과 충돌하여 위성의 한 부분이 심하게 손상을 입은 적이 있었다. 이런 일들로 인해 사람들은 우주 폐기물이 우주 환경에 심각한 피해를 끼칠 수 있다는 생각을 가지게 되었다.

사실 그보다 훨씬 이전에 인공위성에 충돌한 우주폐기물의 사례가 있었다. 1996년 7월말에 발생한 프랑스 군사위성인 Cerise(International Designation 95-033B/ satellites Catalog Number 23606)에 Ariane booster(보조연료탱크)가 충돌하여 stabilization boom이 망가진 것이다.

우주공간에서의 물체의 이동속도는 초당 수 킬로미터에 달하며 지구에서의 유사한 크기와의 속도와는 상대가 되지 않는다. 시간당 22,000 마일의 속도로 지구 주위를 빠르게 움직이고 있는 알루미늄 BB알갱이 크기의 조각은 볼링 공이 시간당 60 마일로 움직이는 것과 같은 정도로 많은 운동 에너지를 가지고 있다. 바꾸어 말하면, 만일 알루미늄의 BB알

갱이 크기의 조각이 우주 연락선을 옆 방향에서 부딪칠 때는 볼링공이 높이 약 100 피트에서 우주 연락선에 떨어뜨려질 때와 같은 힘을 가진다. 그렇게 되면 인공위성의 표면 열처리 막이 파손될 정도의 피해를 입게될 것이다. 만일 알루미늄의 BB 크기의 조각이 정면에서 우주 연락선과 충돌하면 그보다는 훨씬 많은 운동에너지가 작용할 것이고 상황은 더욱 심각할 것이다.

하물며 우주폐기물 중에는 이 보다 훨씬 더 크고 위험한 조각들이 많다. 이것들이 우주 정거장이나 우주선에 부딪친다면 얼마나 막대한 자산의 손실을 초래할 것인가 상상이 갈 것이다. 1cm 이상의 우주 폐기물은 위성 탑재체에 치명적인 손상을 입힐 수 있다. 그보다 작은 것도 지구 대기권 재 진입시는 타 버릴 수 있지만 우주공간에서는 심각한 문제를 초래할 수 있다. 허블망원경의 경우 인공위성에서 떨어진 작은 페인트 조각이 망원경의 일부를 파손시킨 경우가 바로 그것이다.

500 km 이상의 고도에서는 대기의 영향으로 인한 우주폐기물의 부식이나 소산이 현저하게 감소하기 때문에 그 위험이 더욱 심각하다. 반면에 그 이하의 고도에서는 대기 재 진입시 또는 대류권 비행시 항공역학적인 Drag 때문에 쉽게 분해 및 소산이 가능한 것이다. 500km 이상에서는 우주폐기물의 부식이 수백년에서 수천년이 걸린다.

현재 운용 중인 위성은 지구궤도권 안에서만 약 2,000기 정도이다. 반면에 호시탐탐 임무수행 중인 위성에 위협을 가할 수 있는 우주의 부랑아들은 NORAD에서 10cm 이상을 목록화 한것만 해도 그 수가 운용중인 위성체의 4배를 넘고 10cm 이하로 기록 유지가 되지 않은 것들을 모두 합친다면 수십 만개가 된다. 막대한 비용을 투자해서 띄어 올린 위성의 생존에 직접적인 위협이 되고 있는 것이다. 그렇다고 위성의 제어 시스템 중의 하나인 연료 추진체를 이들을 회피하는 데만 모두 사용을 하면 임무수행에 필요한 추진력을 더 장착을 해야 하고 그 늘어난 무게를 우주공간으로 쏘아 올리려면 그 만큼 더 강한 추진체를 사용해야 하고... 악 순환의 연속을 자초하게 될 것이다.

우주폐기물은 현재도 심각한 우주환경의 저해 요

소가 될 뿐만 아니라 점점 더 우주탐사에 막대한 영향을 초래할 것이다.

5-1 우주폐기물이 지구환경에 미치는 영향

궤도가 높은 대부분의 우주폐기물들은 수백년 또는 수천년 동안 계속 우주를 뱅 돌뿐 거의 떨어지지 않는다고 알려져 있다. 그러나 지구의 대기권은 고도가 증가함에 따라 중력이 약해질 뿐 완전히 없는 것은 아니다. 그러므로 언젠가는 지구 대기권으로 재 진입을 하거나 그래도 남은 잔해는 우리 머리위로 떨어질지도 모른다. 고궤도 위성들의 경우는 물론 중력의 영향을 미세하게 받아 대기권으로 재 진입이 오랜 시간을 두고 진행이 되겠지만 수 백 km의 저궤도의 경우는 수 년에서 수 십년 정도면 대기권으로의 재 진입이 가능하다. 또한 지구대기를 통과시 위성체와 대기 사이의 마찰로 다량의 열이 발생(마찰열)하여 그 물체는 결국 타서 재로 변할 것이다.

그러나 불행하게도 우주폐기물의 잔해는 지구 대기권을 통과하면서 완전히 타 버리지 않고 그 크기나 재질의 강도에 따라 어느 정도의 크기로 끝까지 살아 남아서 지상으로 추락하여 인명과 재산에 막대한 피해를 끼칠 수 있다.

실제로 지구 대기권을 통과하는 동안 우주폐기물은 초기에는 떨어지는 속도와 비례해서 마찰열이 생겨 물체를 녹이지만 어느 순간부터는 물체가 충분한 속력을 잃게 되고 그에 따라 가열비율도 줄어들게 되고 온도도 감소한다. 이때부터 그 물체들은 서늘해지기 시작한다.

이렇게 해서 지구상에 근접한 대기를 통과시에는 어느 정도 체적을 가진(비록 그 무게와 부피는 매우 작을지라도) 상당한 무기가 되어 지상으로 떨어지게 된다.

우주폐기물이 어디로 떨어질지는 정확히 예측이 불가능한 실정이다. 지구의 대기밀도는 우주폐기물의 항력에 비례하고 대기밀도는 또한 고도에 따라 급변하기 때문에 쉽게 떨어지는 위치를 예측하기에는 한계가 존재한다. 우주폐기물이 수명을 다하고 마지막 궤도를 돈 후 지구 대기권 재 진입시 그 시

간을 예측하는 것은 약 10%의 부정확성을 가지고 있다. 또한 불행히도 재 진입한 물체의 궤적은 워낙 빨라서 9분의 시간 에러는 7,000km의 지상궤적의 에러 발생을 낸다.

한편, 지상에 떨어지는 우주폐기물의 유도제어는 그 물체가 자체 추진력을 갖춘 것이라면 가능하지만 그 실패 사례는 이를 못 미덥게 한다.

1979년 미국의 Skylab 로켓이 지구 대기권으로 재 진입시 NASA는 되도록 인구 밀집지역을 회피하기 위해 유도제어를 실시하였으나 실패하여 오스트레일리아 남부 해안가에 그 잔해들이 떨어졌다. 다행히 인명 피해는 없었다.

1991년 러시아의 코스모스 위성은 대서양으로의 유도제어 실패로 아르헨티나의 어느 도시에 떨어진 적이 있다. 다행히 인명피해는 없었다.

몇 년 전에 우리나라의 어느 초등학교 운동장에 수십개의 작은 쇠볼들이 떨어졌다고 한다. 다행히 방학 중이라 피해자는 없었지만 사방을 조심하라던 말은 옛말이 되고 마는 이제는 머리 위를 조심해야만 하는 시대가 왔다. 조사결과 이 물체들의 물질들은 인공위성의 파편들이 밝혀졌고 최근에 지구 대기권으로 재 진입한 인공위성이 동아시아 어느 국가로 떨어진 궤적정보를 미국이 가지고 있었다. 왜 하필 우리나라에 떨어졌어야만 하느냐 라는 불평보다는 날로 급증하고 있는 우주 환경을 미리 이해하고 이에 대한 대책이 시급한 실정임을 인식해야만 하겠다.

설령 유도제어 장치가 가능한 우주폐기물(보조 연료탱크, 3단 로켓, 인공위성 등 대체로 큰 물체에 장착된 것이 있음)에 대한 처리는 100% 가능한 수준까지 그 기술이 다다른다 하더라도 유도제어 장치가 장착되지 않은 것이나 그보다 훨씬 많은 머리위로 떨어질 10cm 이하의 알려지지 않은 폭탄들에 대해서는 막대한 재정적 투자가 현실적으로는 불가능한 상태이다. 그저 지구 대기권 재 진입시 다 타버려 주기만을 기다리는 수 밖에는 현재 도리가 없다.

5-2 대책

만약 우주폐기물의 지구 대기권 재 진입이 어느

일정수위를 넘게 되면 더 이상의 인공위성의 재 발사는 이런 상태에서는 불가능하다는 판단이다.

최근 우주폐기물에 대한 세계적인 경각심이 고취됨에 따라 그 피해를 최소화하는 각종 프로그램이 진행 중에 있다. 또한 새로운 개념의 인공위성과 우주발사체의 디자인 및 모델링 작업이 계획 중에 있다.

5-2-1 현 운용체제

최선의 방책은 우주 물체의 감지, 감시 및 추적을 통한 지속적인 목록화 작업을 수행하는 것이 치명적인 궤도상의 충돌을 피하는 것이다. 또한 지구 대기권으로 재 진입시 안전하게 낙하예상 지역을 회피할 수 있는 예보능력을 갖추기 위해 최첨단 장비를 이용한 우주폐기물의 탐사시설의 구축은 지구의 생명과 재산을 보호하기 위해 필수적인 요구사항이다. 1997년에 캘리포니아에 세워진 CORDS(Center for Orbital and Reentry Debris Studies)는 우주폐기물 처리에 대한 기술적인 연구를 담당하고 있으며 우주폐기물의 위치 파악, 충돌 회피, 대기 재 진입시 궤도 파악 및 우주 항행 위성체들에게 사전에 정보를 제공해 주는 역할을 수행해 오고 있다. 하지만 아직 그 크기에 따라 제한적인 정보만을 제공할 뿐 고차원적인 방어대책은 연구 중에 있다.

또한, 미 우주사령부와 NASA에서도 우주감시망(Space Surveillance System)을 통해서 다소 위험도가 큰 10cm 이상의 우주폐기물에 대한 감시, 추적을 위해 목록화 작업을 수행 중에 있으며 전 세계와의 Networking으로 정보를 상호 교환하고 있다.

지상에서 레이더를 이용한 우주폐기물의 감시는 감지할 수 있는 물체의 크기에 제한을 갖기 때문에 미 공군에서는 1999년 2월에 ARGOS 위성을 우주공간에 띄어 0.01cm까지의 물체도 감지 가능한 계기들을 이용하여 우주폐기물의 상황을 분석하려고 시도 중이며 상호충돌 영향도 파악하고 있다.

또한 미국 및 러시아 등 열강들은 각국들의 인공위성에 관한 데이터를 교환하여 상호 충돌의 위험성을 최소화하고 있으며, 1996년 4월에 쏘아 올린 MSX(Midcourse Space Experiment) 위성은 900km

상공에서 광학기기를 이용하여 잘 알려진 궤도상에서의 Debris 영역을 조사하여 알려지지 않은 미식별 우주물체를 찾는 임무를 하고 있다.

미국의 Haystack 지상 Radar는 1,000km 상에서 1cm 이상의 우주물체를 감지할 수 있는 능력을 갖추고 보스톤에서 운용, 시도 중에 있다.

5-2-2 우주폐기물의 회수

우주폐기물은 어느 특정된 공간에 분포되어 있지 않고 전 영역에 걸쳐 분포되어 있으며 아직도 알려지지 않은 수 많은 폐기물들이 골고루 존재하고 있다는 점을 감안할 때 근본적으로 우주폐기물을 완전히 배제 가능한 임무는 현재 우주공간에서 거의 불가능하다. 그러므로 인공위성이나 기타 우주선들이 해당 임무를 성공적으로 수행하기 위해서는 가장 효과적인 방법인 우주폐기물의 회수를 선택해야 할 것이다.

우주폐기물의 회수는 우주선이 직접 우주공간에서 기동을 하여 우주폐기물을 회수하는 방법이 있고 또 하나는 궤도를 들고 있는 우주폐기물의 잔여연료를 이용하여 위성체의 기동을 실시하고 지구 대기권 재 진입을 하는 순간을 조절함으로써 원하는 지점으로 낙하를 유도하는 기술을 적용한다. 만약 연료가 충분히 남아 있는 아무런 용도 없이 배회하는 우주폐기물의 경우는 도심지역을 회피한 안전한 장소로 낙착이 가능하도록 대기권 진입 시기 및 위치를 기동을 하여 강제 유도하고 연료가 충분하지 않을 경우에는 지구 대기권 진입이 용이한 지점까지 유도를 하게 된다.

1995년 NASA는 지구로부터 1,250mile 내에 위치한 인공위성의 우주공간 잔류 수명을 25년으로 제한해야 한다는 가이드라인을 내놓았으나 그 회수에 드는 막대한 비용 및 획기적인 기술적 제한사항으로 아직도 많은 위성들이 우주공간에 버려진 채 방치되고 있거나 지구 대기권에 의한 자연적인 지구로의 낙착에 맡기는 실정이다. 오히려 이런 우주폐기물의 회수에 드는 비용은 우주폐기물의 추진체에 더 많은 연료를 실어 계속 우주 궤도를 돌게 하는 것보다 더 비싼 비용이 들 뿐만 아니라 비용 측면을 떠나 스타

위즈의 레이저 무기를 이용한 획기적인 기술 확보가 없이는 어려운 일일것이다.

VI. 결 론

5-2-3 위성체의 새로운 모델링

우선 우주공간으로 띄워질 인공위성의 시스템 및 구성요소의 재질을 대폭 개선해야만 극심한 우주 공간상의 위협물에 대해 방어를 할 수 있을 것이다.

마냥 우주공간은 진공이기 때문에 외부적으로 큰 충격이 없던, 다시 말해 깨끗했던 지난날의 우주환경을 생각해서는 안될 것이다. 지금은 거의 80%이상의 우주물체들이 인공위성의 임무를 방해하는 우주폐기물로 등록이 되어 있으며 아직까지 알려지지 않은 폐기물은 비록 그 크기가 작을지라도 치명적이지만 현대 기술로는 아직 감지가 불가능한 어쩔 수 없는 일이다.

여기에 앞으로의 위성체도 똑 같이 그 부산물들을 우주공간에 뿌리면 점점 우주환경은 쓰레기로 가득 차서 결국은 더 이상 우주공간에서의 임무가 불가능할 것이다.

1970년대의 우주선이나 우주정거장의 구조는 외부압력에 매우 취약해서 매 임무완료 후 부품의 교체가 불가피 했었다. 요즘은 외부압력을 잘 흡수할 수 있는 재질을 사용하고 취약부분은 커버로 보충을 하며 부품의 교체가 좀더 용이하도록 설계를 하고 있다.

또한, 지구 대기권으로 재 진입시 마찰열에 쉽게 녹아 타 버릴 수 있는 녹는점이 낮은 재질로 표면 처리를 해야 한다. 물론 임무 수행 중에는 지장이 없는 범위 내에서.

통계에 따르면, 우주폐기물 구성물질의 약 10%에서 30%에 해당하는 질량이 지구 대기권 진입 후에도 살아 남는다고 한다. 이는 물체의 구조와 형태, 크기, 무게에 따라 틀려진다. 예를 들어 만약 우주폐기물 중 연료탱크를 가진 물체가 떨어질 때 그것이 스테인레스 강철이나 타이타늄으로 만들어졌다면 높은 녹는점을 가져서 쉽게 녹지 않을 것이고 만약 알루미늄으로 만들어졌다면 낮은 녹는점을 가지고 있어서 쉽게 녹아 타 버릴 것이다.

우주폐기물의 가장 큰 문제점은 자체 폭발뿐만 아니라 임무중인 위성과의 상호 충돌로 인한 막대한 자산 손실 및 지구로 근접해 올 경우에 닥칠 인류의 재앙이다.

또한, 지구 근접궤도를 벗어나 다른 행성을 탐사할 때 이 우주폐기물은 크나큰 위협요소로 대두가 될 것이다.

우주폐기물의 지구 대기권 진입 후 지상으로 떨어질 때 개인이 맞을 확률은 약 1조분의 1미만이라는 계산이 나와 있다. 이는 개인이 벼락을 맞을 확률인 1백4십만분의 1 보다는 작은 확률이지만 벼락이 칠 때는 미리 알고 피할 수가 있지만 갑자기 예고 없이 떨어지는 우주의 좋지 않은 선물을 그 누가 좋아 하겠는가.

향후 10년 이내에 1,000기 이상의 위성체가 새로이 우주로 발사될 것으로 추정하고 있다. 하나의 위성을 발사하기 위해서는 우주공간에 버려야 할 3단 로켓 몸체와 각종 로켓 모터, 위성보호용 커버, 분리형 볼트 등 몇 배가 넘는 악세사리들이 존재하게 된다. 이 많은 악세사리들이 현재 존재하는 우주폐기물과 합쳐진다면 진정 위성들이 그 임무를 성실히 수행할 수 있을지가 의문이다.

쉽게 생각해 보면 우주공간은 상당히 체계적이고 능동적으로 운용이 가능한 고급 영역이라고 생각될 수도 있지만 실제로는 지상보다도 매우 심각한 위협들이 뿔뿔이 들어 서 있고 만약 우리의 이상적인 생각처럼 우주를 제대로 운영하기 위해서는 상당한 재정적 부담을 안아야만 한다. 그것이 인류의 안전을 위한 일이기 때문에 이의가 없지만 현실은 그럴 수 만도 없는 것이다.

장차 우주로의 여행을 준비해야 한다면 한번쯤은 수 많은 우주폐기물의 홍수 속을 헤엄쳐 가야함을 인지할 필요가 있을 것이다. 인류 생활의 윤택함을 위해 우주로 보낸 우리의 부산물들이 우주환경을 잘 정돈하지 못하고 운용한 우리의 실수로 인해, 혹은 운용상의 우리의 부주의로 인해서 이제 다시 우리에게 게로 비수가 되어 돌아오고 있다.

참 고 문 헌

[1] 홍용식, "인공위성과 우주발사체", 청문각, 1998.
 [2] Bruno Pattan, "Satellite System : Principles and Technologies", Van Nostrand Reinhold, 1993.
 [3] NORAD, "NORAD Research Report", NORAD, 1999.
 [5] 박성동, "Satellite Technology", SaTRec, 1997.
 [6] Jeff Hunt et. al., "Visual Satellite Observation", 2000.

김 원 규(金元圭)



1963년 2월 : 공군사관학교 졸업 (이학사)
 1967년 2월 : 서울공대 전기과 졸업(공학사)
 1973년 2월 : 서울대학원 전기과 (공학석사)
 1986년 2월 : 경희대학교 대학원

전자과(공학박사)
 1967년 3월~1973년 12월 : 공군사관학교 교수부 교수
 1973년 12월~1986년 3월 : 국방과학연구소 책임연구원, 연구개발실장
 1974년 1월~1975년 11월 : 독일 국방연구원 파견연구관
 1986년 3월~2000년 현재 : 경희대학교 우주과학과 교수
 1999년 1월~2000년 현재 : 한국항행학회 회장
 관심분야 : 항행우주장치, 전자응용