

SPACE DEBRIS의 전파방해

(우주 쓰레기 종량제 입박)

김 광 영

한국통신·대구통신망 운용국장

I. 서 언

1957년 인공위성의 효시가 되는 스푸트니크 1호 발사 이래 1994년 현재까지 약 4,000회로 추정되는 각종 통신 측지 첩보 및 실험 위성 등의 발사로 지구 적도 상공 36,000Km의 정지궤도 이하의 공간에는 수많은 퇴역위성, 소아마비위성(부분기능고장위성)과 더불어 발사로켓트 상단의 위성 격납용기인 내연성의 웨어링(Fairing)의 탈락파편(Fragment)등으로 혼재된 부유물은 약 4,000톤으로 예상되며 이중 95%가 쓸모없는 우주 쓰레기에 해당된다고 보고 있다.

여기서, 우주쓰레기의 정의는 「현재와 장래에도 유용한 목적에 이용되지 못하는 인공물체」로서 크기로는 10여미터로 부터 산화된 연료 분사개스의 수 마이크로톤의 분진으로까지 광범위하다.

그러나, 본고에서는 우주 활동에 악영향을 끼칠 수 있는 대량으로 산재된 밀리미터에서 센티미터의 크기의 고속 운동 에너지를 지닌 쓰레기 조각(Debris)을 고찰해 보고자 한다.

이 쓰레기들은 만유인력의 법칙에 의하여 정지 궤도에서 지구핵을 중심으로 타원궤도, 중궤도, 저궤도 등의 수순으로 15년 이내로 하강될 것인 바, 이러한 과정의 고속 테브리스(debris)들로 능동위성(active Satellite)의 전파를 차단시키거나 충돌될 확률은 점점증한다고 예견하는 것이다.

목전에 둔 저궤도의 대형우주정거장이 피폭될 확률은 더욱 가중될 것이며 저궤도(LEO)의 이동통신 위성의 태양전지판 같은 BUS와 연약한 안테나에

치명상을 주므로서 대안을 모색하여야 할 것이다.

쏟아지는 우주쓰레기의 범인은 각종 인공위성을 발사하는 선진국들이지만 이 모두가 자국 영공이 아닌 주로 적도상공의 황금궤도에 발사되고 있어 흡사 님비(NIMBY)현상과 같은 사건이 자행되고 있다.

발사회수에 비례하여 결국 쓰레기량은 종량이 되므로 우주 환경보호 차원에서 세계화의 기준이 당연히 체결되어야 한다.

Free space 환경에서만 전파 간섭이 없는 우주전파 통신이 보장될 것이다. ITU에서 그간 많은 연구가 있었다.

위성 수명의 95% 경과시 GEO에서 deep space로 향할 소위 Super-synchronous orbit에 해당되는 위성공동 묘지(Satellite grave yard)를 지정하여 당사국이 실행토록 권장한 바 있다.

인공위성을 발사할 때마다 규모와 회수에 따른 우주환경 정화료를 부담시키자는 주장이 있으나 오염 당사자가 강대국이므로 쉽게 응하지는 않지만 세계화(Globalization)속에서 우주쓰레기 종량제는 피할 수 없는 현실로 임박했다고 본다.

많은 문헌에 의하면 현재 우주쓰레기는 약 350만 개로 추정되고 있다.

II. 우주 쓰레기 총동사례

옛날부터 우리는 많은 별뿔(운석)을 목격하고 피해에 관한 이야기를 들어 왔다. 1960년대 아폴로 우주 계획은 이점을 감안하여 메테오로이드(자연운석)에

파괴될 확율을 우주선의 임무기간 8.3일 중 0.996으로 설계한 바 있으며 그 이후 1970년대 실제로 스카이랩(우주연구선) 프로젝트의 궤환된 아폴로 지령선에서 인공물체와의 충돌 흔적을 발견하고 나서부터 관심이 고조되었다.

이후 스페이스셔틀(우주왕복선)의 조종석 투명창문만해도 1991년까지 25회 교환한 사례가 있다.

1984년 쉘러저 우주왕복선은 고장난 Solar Max 위성을 수리한바 있는데 4년간의 우주유영에 노출된 불과 1.5m² bus에 충돌흔적이 1,000여개가 확인되었다.

이 자료는 20m미크론 이상의 미세한 것까지 포함되고 있으나 여기서 귀중하게 얻은 교훈은 전자파 망원경으로도 포착되지 않는 미세 데브리시들의 단위 시간당 통계적 수량을 관리하는데 성과를 거양한 것이다.

최근 1990년 콜롬비아호가 회수한 Solar Max 수리당시 부설했었던 LDEF(Long Duration Exposure Facility)라는 장기노출설비(4.27m ϕ ×9.15m)를 5년 9개월 만에 회수 조사한 결과 약 34,000개 충돌흔적이 목격 되었다.

현재는 대형 파편의 접근실수(near miss)를 사전 예방할 수 있는 자동제어기술 기준이 마련되었다. 비행진행 방향으로 5Km, 좌, 우 또는 상, 하 간격은 2Km를 일계치로 하고 있다. 파편이 10Cm 이상이면 완전파괴, 1Cm이상이면 치명적손상, 1mm이상이면 부분적 기능 상실, 수미크론 이상이면 표면 손상으로 장시간 경과후 악영향을 주는 것으로 연구 보고 되고 있다.

우주공간에서 인공물체의 공간 분해총량을 백분율로 볼때 운반층에서 20%, 추진체 관련에서 40%, 나머지 40%는 확인 미상이다.

1mm이상의 데브리시를 약 350만개로 기준할때 60%는 LEO에서 로켓트자체에서 생성된 것이고 37%는 LEO에서의 페이로드 구성품이고 나머지 3%는 GEO보다 오히려 타원궤도(ICO)에서의 페이로드(payload)로 보고 있다.

저궤도에서만 본다면 관측자료는 10Cm이상 파편은 7,000개 1Cm이상 데브리시는 70,000개 정도로 헤아리고 있다.

특히 저궤도에서 발생된 파편(Fragment)들은 4년 경과후면 고도는 당초와 동일하게 유지하지만 궤궤도를 이탈하여 지구를 균등 분포로 감싸게 된다.

Ⅲ. 데브리시의 관측과 분포

데브리시 실제 관측은 극히 어렵다.

한번 관측 했던 것이 다시 다른 공간에서 관측될 것인지 또는 어느 방향으로 이동중인지 파악하기 어렵다.

그나마 신뢰성 자료는 미국우주 사령부(US-SPACECOM)에서 나오며 냉전시대 우주발사물체의 위험을 관측 예보하기 위하여 북미 방공사령부(NORAD)가 세계적망을 가동하면서 물체 관측은 고유번호를 부여하여 나름대로 7,000개에 대한 생성국적을 분류하고 있다.

아래표는 1992. 6. 30. 현재 등재된 위성 상황이다.

이러한 자료는 레이더장치가 우주물체의 반향(에코)을 수시 포착 기록관리 한 것이다.

레이더망의 한계치는 LEO는 10Cm까지 포착되나 GEO는 1m이상만 가능하다.

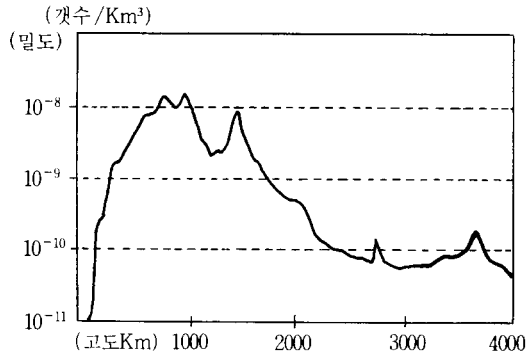
데브리시 밀도(Debris Flux)는 시간당 통과 분진수를 정의하는데 예를들어 MIT의 링컨 연구소에서 는 고감도 장거리 영상레이더(image radar)를 사용

국 가 명	PAYLOAD	DEBRIS	소 계	낙하된물체
미 국	594	2,616	3,210	3,429
구 소 련	1,222	2,080	3,302	10,839
일 본	46	49	95	74
계(ESA포함)	2,045	4,979	7,024	14,996

하며 이는 X-BAND의 도플러 레이더를 최대전력 400KW 출력으로 반사경 직경은 무려 36M의 극히 좁은 빔을 일정 방향에 고정하여 그곳을 단위 시간 당 통과되는 물체를 검출한다.

현재 검출 빈도는 1시간당 최소크기 0.5mm 물체가 수십개 관측되고 있다.

공식 등재된 물체의 분포도를 아래 그림과 같이 고도 대 밀도 분포를 보고 있다.



캐더로그 물체의 분포 밀도

그림에서 보면 첩보위성(예: 러시아 COSMOS 위성)이 비행하는 800Km부근과 과학실험위성(예: 우리별2호)이 부유하는 1400Km부근이 밀집된 상태이다.

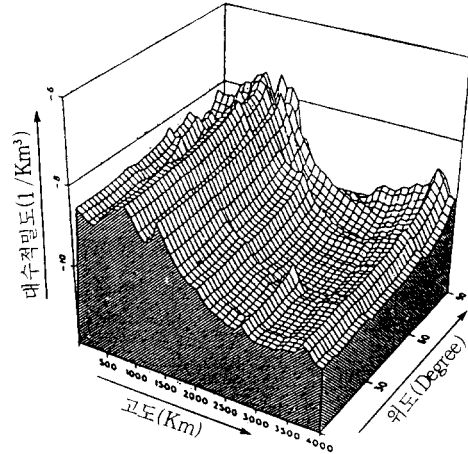
마치 핵분열의 중성자 증배 현상과 같이 「궤도상 물체 밀도가 임계치를 일단 초과하면 새로운 물체가 추가로 투입되지 않더라도 기존 부유 물체간의 상호 연쇄충돌 효과로 어느 시기에는 밀도가 저절로 급상승한다」라는 이론에 근거하여 불때 현재의 우주쓰레기보다 3배정도 누적될때 이 시점이 바로 임계치 수준이라고 본다.

따라서, 발사 기술과 신소재 도입과 수명처리 요령등을 개발하여 오염을 경감시키는 연구가 계속되어야 할 것이다.

예를들어 위성 연료 탱크에 잔류추진제가 있다면 외부환경(주기적인 진공중의 태양 직사광선의 피

폭)으로 소재의 피로도가 겹쳐 폭발이 되는 경우가 있으므로 잔여 추진제를 인위적으로 사전에 방류시켜야하는 운용의 묘도 필요한 것이다.

또 위성과 로켓과의 분리시 잠금장치의 강력한 크램프, 볼트 등의 강철소재들이 모두 카본소재 등으로 대체할 것도 고려할 대상이다.



저궤도(LEO)데브리스 분포 입체도(위도 및 고도별)

IV. 파편의 파괴력

고궤도에서 4Km/sec, 저궤도에서 8Km/sec의 등가속 위성체가 파편을 발생시킬 순간에는 초속도의 약 1.3배로 가속되므로 그 운동에너지는 대단한 위력을 갖게 된다.

태양전지판의 관통은 물론 안테나 휘더시스템과의 조우로 인한 비틀림 현상은 지향성을 파괴하는 주범이 될 것이 분명하다.

파편 단면적이 작아질수록 평균속도는 증대되고, 한편 파편질량이 작게 될수록 파편 조각 갯수는 대수(LOG)적으로 증가됨을 모의 실험으로 얻어냈다.

GEO에서는 상대적으로 저속도 이므로 충돌 확률이 있어도 별관심이 없다라고 흔히 생각하는 그 자체가 가장 큰 문제이다.

특히, GEO에서는 1m이하 물체들은 지상에서 관

축이 안되고 있어 더욱 방심하게 되는 원인때문에 통신방송위성(예: 무궁화호 위성) 궤도 부근의 전파 간섭 물체는 누증되고 있다고 본다.

그러나, 밀집된 황금궤도인 GEO(정지궤도)상에서 원격조정이 상실된 수백개의 표류위성 때문에 2002년도에는 충돌확율이 0.02%로 계산되고 있다.

GEO는 LEO환경과는 달리 대기 밀도가 없고 진공, 무중력 상태에 가깝기 때문에 이탈궤도 반경은 태양, 달, 지구의 기우는 각도 유지 영향을 고려하여도 $\pm 56\text{Km}$ 범위에 머물게 되므로 ITU특별연구 4반에서는 GEO에서 약 300Km목표로 보다 높은 고궤도인 슈퍼동기 궤도에 우주 공동 묘지를 설정한 것이다.

고궤도 이하에서 부유하는 쓰레기는 전파경로를 간헐적으로 blockage화 하기 때문이다. 21세기 입문에서 운용될 이리디움, 글러벌스타, 오딧세이, 인말셋트 21사업의 이동통신의 다수위성이 고, 중, 저궤도에 산재할때 현존의 데브리스를 여하히 능동적으로 피하고 보호할 수 있느냐도 지금의 EMI /EMC 같은 환경 여건임을 전파환경에 종사하는 선각자는 이점을 간과해서는 않될 것이다.

V. 향후 대책

데브리스는 가까운 장래에는 인위적인 통제가 불가능할 정도로 밀도가 증대된다. 따라서, 기존의 3배에 도달하는 임계밀도를 초과되지 않도록 하는 인간의 지혜가 절실한 것이다.

이미 미국 NASA, 유럽 ESA 그리고 일본 항공우주 학회 등에서는 국제연합 우주공간 평화이용 위원회를 구성할 시점에서 활발한 움직임이 일고 있다.

일본의 경우 10대 목표 중 주요내용을 발췌해보면 다음과 같다.

10cm물체정도의 관측 광학망원경설치, GEO의 데브리스 관측용 카메라 탑재위성 발사, 아포지 포터의 탈락 원지점의 상향궤도 계획, 국가차원의 재정확보 등이 골자이다.

IAA(국제천문아카데미)협회의 단계적 개발 요점들을 소개하면,

첫째, 상단로켓트와 위성추진제, 가압제의고갈 기법 개발,

둘째, 아포지포터의 GEO 보다 300km고도에서 분리 운용규제화,

셋째, 평균고도가 2,000km저궤도 이하에서 운용되다 정지된 위성은 10년경과후면 3개월이내 제거 의무화,

넷째, 2,000km이상 각종 궤도 위성은 슈퍼 고궤도인 우주공동 묘지로 원격 이동폐기,

다섯째, 데브리스 포착 로봇트 또는 레이저를 응용한 제거 실행을 위한 기술 개발 등이다.

VI. 결 어

에덴동산과 같은 유토피아 지구촌도 인류의 활동에 따라 환경파괴가 되었듯이 지구를 감싸고 있는 우주 환경도 인류의 우주 개척 활동에 따라 극도로 오염되기 시작했다. 우주공간의 무수한 파편으로 손상을 입었다고 느낄때 그때는 이미 인위적으로 통제할 수 없는 심각한 오염 임계치 초과 상태에 이른 것이 될 것이다.

인류가 우주 환경보호를 위한 우주연구에 투자되는 비용이 다시 우리 지구촌의 복지에 되돌아 온다는 것을 생각하지 않으면 안된다.

필자도 한국초유의 GEO위성 KOREASAT발사를 목전에 두고 92년도 방콕에서 개최된 국제 위성합동 세미나에서 우리나라의 「고려장제도」와 「우주 쓰레기 종량제」 분담금을 발표한 바 있다. 전자는 궤도상의 station-keeping이 상실된 live satellite는 설계수명 종료 이전이라도 super-synchronous orbit에 강제로 이격시키라는 내용이었고 후자는 위성발사 당사국이 우주오염 원인제공자이므로 space tax를 발사시 규모에 따라 분담시켜 통신환경의 Teletopia 뿐만 아니라 인류가 우주를 배경으로 더불어사는 이상향의 Utopia를 건설하는데 공헌하자

는 요지였음을 부기하면서 본고가 우주환경의 오염도를 이해하는데 다소라도 도움을 주었다면 지면을 할애 해주신 학회지에 보답하였다고 자위하겠습니다. 끝.

참고문헌

1. 일본 위성통신 연구지(1993. NO.41)
2. INMARSAT-P 비저네스(1993. 3.)
3. ITU CCIR STUDY GROUP NO4 보고서 1004 (1988. 5.)
4. INTELSAT-APT JOINT세미나(1992 방콕)