

《特別寄稿》

# 우주전파 환경예보를 위한 S/W 개발 연구

민경욱\*, 최용석\*\*, 위규진\*\*\*,  
배석희\*\*\*, 표유선\*\*\*

(\* 한국과학기술원, \*\* 전자통신연구소, \*\*\* 전파연구소)

□ 차 례 □

- I. 서 론
- II. 우주환경의 영향
- III. 외국의 우주환경 감시
- IV. 국내 자료 이용방안
- V. 결 론

## I. 서 론

실험위성인 우리별 1, 2호의 제작과 운용을 거쳐 통신위성인 무궁화 위성의 보유, 및 다목적 실용위성의 제작으로 우리나라는 점차 본격적인 위성 이용 국가가 될 것이다. 현재까지 우리의 위성관련 사업은 위성을 보유하는 일에만 국한되어 왔으나 앞으로는 이 위성들을 효율적으로 운용하는 일에 신경을 써야 할 것이며, 특히 실이용이 많은 통신위성의 경우 안정적인 서비스를 제공할 수 있도록 하여야 할 것이다.

위성체의 운용 및 위성을 이용한 통신에 있어서 가장 큰 영향을 미치는 요인은 위성체가 위치하고 있는 곳의 가혹한 우주환경이다. 이 우주환경은 단순한 진공상태가 아니고 고에너지 및 저에너지 하전입자들로 구성되어 있어 위성체의 기계와 전자 부품에 영향을 미쳐 손상을 입히게 된다. 따라서 위성체의 효율적 운용과 위성 통신의 안정적 이용을 위해서는 태양-지구간의 우주 환경에서 일어나는 물리적 현상을 이해하고 태양활동에 따른 우주환경 변화를 예측할 수 있어야 하며 변화가 심한 태양활동을 항상 감시함으로써 위성체에 일어날 수 있는 만일의 사태를 사전 대비하고 또 사후 그 영향을 규명하는 연구가 필요하다.

전파연구소에서는 이러한 우주환경의 감시와 예보를 위하여 준비하고 있는 바, 본 연구에서는 이 준비

의 일환으로 수행되고 있는 우주 환경 관련 지상 및 위성 관측 자료의 데이터베이스화와 예보에 필요한 관련 소프트웨어 개발에 대하여 논하기로 한다. 우선 우주 이용과 관련된 우주 환경의 영향에 대해서 설명하고 우주 환경 관측에 관한 외국의 연구 동향을 소개한 다음, 국내에서 관측하거나 활용할 수 있는 자료의 이용 방안을 제시하는 순서를 따르도록 한다.

## II. 우주환경의 영향

우주에서의 위성체는 온도와 밀도가 여러 종류인 플라즈마내에 존재하게 되며 플라즈마 내의 이온과 전자는 서로 다른 열속도를 가진다. 이 플라즈마는 위성체 표면에 전하를 발생시켜 위성체가 주위 플라즈마와 전기적 평형상태를 이루게 된다. 여기서 전기적 평형상태라함은 전류가 0이 됨을 말한다. 따라서 이러한 평형상태를 유지하고 있을때 위성체와 주변 플라즈마 사이에는 전압 차이가 형성된다. 한편, 위성체 표면의 두 지점이 외부로 부터 받는 영향이 다른 데서 기인하는 차등전압도 중요하게 취급되어야 한다. 부품을 구성하는 재료의 차이, 표면의 기하학적인 구조의 차이, 및 비등방적인 플라즈마 선속 등이 이러한 차등 전압의 원인이 될 수 있다.

플라즈마 외에 위성체에 중요한 영향을 미치는 또 다른 하전 입자는 고에너지 우주 입자들로 이것은 주

로 메모리 등 반도체 소자에 영향을 미친다. 반도체 소자 내에서 고에너지 입자는 자신의 에너지를 잃으면서 전하쌍을 발생시키게 된다. 이때 외부로부터 전달되는 에너지가 충분히 크게되면 디지털 정보의 상태를 결정짓는 저장된 전하의 양을 많이 변화시킬 수도 있게 된다. SEU(Single Event Upset)란 바로 이러한 집적회로에 고에너지 입자의 영향으로 정보의 상태가 바뀌는 현상을 말한다. 고에너지 하전 입자의 영향에는 이 외에도 Single Event Latchup (SEL)과 Single Event Burnout (SEB)이 있다. SEU가 일시적으로 저장된 정보의 상태를 바꾸는 것이라면 SEL은 부품이 영향을 받은 그 상태로 그대로 유지되며 전류를 계속 소모하는 현상으로 부품에 공급하는 전원을 끄기 전에는 원상태로 회복되지 않는 것을 말하고, SEB는 부품에 항구적인 고장을 일으키는 현상을 말한다.

한편 고층 대기가 저궤도 위성에 미치는 가장 큰 영향은 공기 저항이다. 공기 저항은 고층대기 밀도에 비례하는데, 저궤도 위성이 존재하는 120km와 600km 사이 고도의 지점은 지구의 열권에 속하며 태양에서 오는 극자외선의 가열효과에 의해 열권의 대기밀도는 큰 변화를 갖는다. 실제로 태양활동 주기에 따라 이 열권의 밀도는 10배 이상 차이가 나기도 하며 이는 바로 위성궤도에 큰 영향을 미친다. 한편 고층대기의 또다른 효과는 산소원자에 의한 산화 현상이다. 이들 산소원자는 복합재료 등과 반응하여 그 성능을 저하시킨다. 산소원자는 태양의 자외선에 의해 산소분자의 해리현상으로 발생되어지므로, 산소원자 역시 태양의 활동정도에 따라 그 밀도가 변하게 된다.

위성체에 미치는 우주환경은 그 위치에 따라서 다르게 나타나므로 우주환경의 영향을 결정할때 위성체의 궤도요소가 중요한 입력요인이 된다. 예를 들면, 극자외선과 우주선은 모든 궤도에서 영향을 주나, 저궤도 위성의 경우 지구 자기장에 의해 우주선의 일부가 차폐된다. 태양의 양성자는 고위도와 극지방에서 영향을 주며, 우주플라즈마의 영향은 특히 고궤도 및 고위도에서, 산소원자는 500km 정도의 고도에서 전 지구적으로 영향을 미친다. 각 궤도별로 특히 중요한 우주환경의 영향을 생각하면, 정지궤도 위성은 (1) 위성 표면 대전 (특히 자정부근과 지구 그림자에 들어갈 때와 나올 때), (2) 유전체 대전, (3) 태양 양성자 폭발시 SEU, 및 (4) 오래된 위성의 경우 축적된 방사선 입자에 의한 영향 등을 생각할 수 있다. GPS는 정지궤도의 약 반 되는 정도에서 궤도를 가지며,

우주환경의 영향은 궤도가 바깥 전자 방사선대의 위치에 존재하는 경우에 심각하다. 예를 들면, (1) 적도 부근 또는 자기폭풍 뒤의 유전체 대전, (2) 축적된 방사선의 영향, 및 (3) 고위도에서의 표면 대전 등이 있다. 저고도 극궤도인 경우, 대체로 우주환경의 영향은 심각하지 않으나 태양 양성자 폭발시 또는 남대서양 변이 지역에서의 SEU와 축적된 방사선의 영향 등을 생각할 수 있다.

### III. 외국의 우주환경 감시

우주환경 변화의 근원은 태양활동이므로 우주환경 감시도 태양에 대한 관측에서 시작되며, 또한 태양활동이 지구에 미치는 영향의 물리적 이해를 위하여 지구 자기권에 대한 관측도 병행하여 수행된다. 그 방법으로는 태양의 지상 관측으로 광학 및 전파의 영역에서 실시되며 위성을 이용하여 X-선 관측도 수행하고 있다. 태양에서 방출되는 태양풍 및 우주선 입자들도 역시 위성 관측의 대상이다. 한편 지구 자기권의 관측은 주로 플라즈마 관측 장비를 탑재한 위성에서 이루어진다. 우주시대 초기로부터 계속된 관측에도 불구하고 지구 자기권의 변화에 대한 기작은 아직도 많은 부분이 이해가 덜 된 상태로 있다. 우주환경의 변화를 지상에서 직접 경험할 수 있는 것은 전리층의 변화와 지구 자기장에 나타나는 섭동이다. 따라서 이들 관측은 역사가 깊으며 현재까지도 꾸준히 실시되어 오고 있는 분야이다.

우주환경 관측 위성은 크게 두 부류로 나눌 수 있다. 하나는 보다 세련된 장비를 탑재한 학문적 목적의 위성이고, 다른 하나는 기본적 상비를 탑재한 위성을 계속 발사하여 꾸준히 우주환경을 감시하는 것이다. 학문적 목적의 위성으로는 태양관측 X-선 위성인 Yohkoh, 저고도 극궤도 위성인 HILAT, 극지방 관측을 위한 타원궤도의 Akebono, 자기권 꼬리 부분 탐사를 위한 Geotail 등이 있으며 우주환경 측정과 동시에 그 영향을 평가하기 위한 CRRES 위성 등이 있다. 이 외에도 SOHO, WIND 등 최근의 위성과 가까운 시일 내에 발사 예정인 위성들이 많이 있다. 한편 우주환경 감시 목적으로 운용중인 위성으로는 미국의 정지궤도 위성인 GOES, 극궤도 위성인 TIROS/NOAA, 일본의 정지궤도 위성인 GMS 등이 있으며 이들 위성에 탑재된 관측 장비들은 극히 제한된 입부만을 수행한다.

지상관측 및 우주관측의 결과 얻어진 자료들은 우

주환경 감시 및 예보 전문기관으로 보내져 분석된다. 이러한 전문기관의 대표적인 예가 미국 NOAA 소속의 SEC(Space Environment Center)이며, 이 외에도 일본의 CRL(Communications Research Laboratory)을 비롯하여 호주 등 많은 나라에서 자료 정리 및 분석을 담당하고 있다.

정리된 자료는 Ursigram이라는 코드화 된 전문의 형태로, 또는 internet을 통하여 서로 교환되며 우리나라에서도 이 자료를 받아보고 있다.

#### IV. 국내 자료 이용방안

많은 종류의 우주환경 관측자료 중 현재 또는 가까운 장래에 국내에서 획득 가능한 것은 지상 관측자료인 태양광학 관측 자료, 태양전파 관측자료, 전리층 자료, 및 지자기 관측자료이며, 위성 자료로서는 TIROS/NOAA 관측자료를 근 실시간으로 받아볼 수 있고, 이 외에 Ursigram과 internet을 이용하여 외국의 관측 자료를 참고할 수 있다. 또한 우리별 3호와 다목적 실용위성 1호기에도 우주환경 감시를 위한 일부 탑재체가 준비되고 있다. 본 연구에서는 이들 자료 중 태양전파, TIROS/NOAA 위성, 및 Ursigram 자료의 이용방안에 관하여 논하기로 한다.

전파연구소 이천분소에 설치된 전파 망원경은 안테나 시스템과 부대장비인 GPS 수신기, 및 데이터 처리를 위한 workstation으로 구성되어 있다. 이 중 핵심이 되는 안테나 시스템은 직경 6 m인 parabolic 안테나, log periodic 안테나, 및 직경 10 m인 parabolic 안테나와 이의 부대장비인 hybrid (polarizer), low noise amplifier, band pass filter, 및 spectrum analyzer 등으로 구성되어 있다. 이들 안테나로부터 측정되는 주파수 대역은 log periodic antenna가 30 MHz에서 100 MHz, 10 m parabolic antenna가 100 MHz에서 500 MHz, 6 m parabolic antenna가 500 MHz에서 2900 MHz로 총 30 MHz에서 2900 MHz (파장으로는 10 m에서 10 cm)에 이르는 영역의 전파를 관측할 수 있어 태양전파의 중요한 파장대를 포함하게 된다. 이 전파 망원경은 태양에서 방출되는 전파의 선속을 주파수를 변화시켜 가면서 측정하는 전파분광기로서 우주환경 변화에 직접적인 영향을 미치는 플레어 및 태양폭발 (Burst)의 관측을 목적으로 한다.

수신된 전파 신호에는 인공 잡음이 중요한 문제로 대두되며 Burst 관측시 태양전파 배경잡음의 제거도 필요하다. 한편 평온시의 태양전파 관측을 위해서는

은하전파의 영향도 무시할 수 없다. 수신된 데이터를 살펴보면 실제 태양에서 오는 것은 연속적으로 나타나는 곡선이고 인공잡음과의 간섭으로 생기는 것은 불연속적으로 나타나는 돌출된 부분들이다. 이러한 외부적인 영향을 제거하기 위해서는 약간의 주파수 분해능의 희생을 감수한다면 원 자료의 연속한 세 주파수로부터 최소값을 선택하여 사용하는 방법을 취할 수 있다. 한편 Burst의 경우 다른 자연잡음에 비하여 강도가 상당히 높으나 S/N 비를 향상시키기 위해서는 태양과 은하에서 오는 배경잡음을 제거할 필요가 있다. 그중 평온시 태양의 배경잡음은 1 m보다 짧은 파장대에서 중요하고 은하잡음은 1 m 이상의 파장에서 더욱 중요하다. 은하 잡음의 경우 천구 면에서 그 위치에 따라 크기가 다르므로 이를 고려하여야 한다.

태양전파에 나타나는 많은 현상들은 플레어의 발생과 관계가 깊다. 예를 들어 플레어에 의해 방출된 전자들이 주위의 코로나를 통과해 진행할 때 자기유체 충격파가 형성된다. 이 충격파는 지구에 도달해 자기 폭풍을 일으키기도 한다. 채층의 자기장을 끌고 나온 채층 가스들이 지구까지 도달하면 지구 자기장 및 대기와의 상호작용을 통해 자기 폭풍, 오로라, 이온층 흡수 효과(Ionospheric Absorption Effect) 등의 현상을 일으킨다. Burst 발생시 때로는 고에너지 입자들이 함께 방출되어 그 중 일부가 지구까지 도달해 극지방에서 Polar Cap Absorption 현상을 유발하고 위성체 부품에 손상을 입히기도 한다.

위성관측 자료는 우주 현상의 환경을 측정한다는 점에서 중요한 위치를 차지하나 현재는 우리나라가 보유하고 있는 우주환경 관측 위성이 없으므로 외국의 위성을 이용하는 수 밖에 없다. 외국의 위성 관측 자료 중 근 실시간으로 국내에서 수신 가능한 것이 TIROS/NOAA 인공위성에서 보내오는 자료들이다. TIROS/NOAA 위성들은 태양 및 지구 자기권의 활동에 의해 고층 대기로 유입되는 이온과 전자의 선속을 측정할 수 있는 장치를 탑재하고 있다. 이를 SEM (Space Environment Monitor)이라고 하며 이 SEM 데이터는 미국의 SEC(Space Environment Center)에서 실시간으로 분석되어 우주환경 예보에 사용되는 한편 자기 테잎에 저장된다. SEM 장치는 MEPED (Medium Energy Proton and Electron Detector), HEPAD (High Energy Proton and Alpha Particle Detector), 및 TED (Total Energy Detector)로 구성되어 있는데 이중 HEPAD는 NOAA-8 이후의 위성에는 탑재되지 않았다. 현재 운용중인 위성은 1991년에

발사된 NOAA-12와 1994년에 발사된 NOAA-14이다.

MEPED는 지구 자기장에 차폐되어 있거나 고위도 지역에서 고층 대기로 유입되는 이온(양성자)과 전자를 측정하는 장치로, 단방향 입자검출기와 전방향 양성자 검출기로 구성된다. 이 검출기에서 측정되는 입자의 에너지 범위는 수 십 keV에서 수 백 keV 또는 양성자의 경우 수 MeV 정도에 이른다. MEPED의 목적은 태양활동의 결과 발생하는 고에너지 입자의 선속과 스펙트럼을 결정하기 위한 것이다. TED는 오토라 지역에서 하전 입자에 의해 대기층에 전달되는 총 에너지속을 측정하는 장치이다. TED에는 4개의 정전 분석기가 2개씩 쌍으로 설치되어 있는데 한 쌍은 지구로부터 바깥방향으로 천정을 향하고 다른 한 쌍은 이와 30° 방향을 이루고 있다. 각 TED 쌍은 전자 측정을 위한 분석기와 양성자 측정을 위한 분석기로 구성되어 있는데 실제 측정에서는 1초씩 교대로 측정을 수행하여 총 2초에 걸쳐 한번의 측정이 이루어지며 에너지 범위는 300 eV부터 20,000 eV까지이다. HEPAD는 NOAA-8 이후의 위성에는 실리지 않았으나 1982년 이전까지의 데이터는 저장되어 있으며 Cerenkov 방사선을 이용하여 370MeV 이상의 양성자와 640 MeV/nucleon 이상의 alpha 입자를 관측한다. HEPAD의 에너지 영역에서 관측되는 입자의 수는 매우 작으나 이들 에너지의 입자는 비행기의 고도 또는 지상에 까지 이르러 방사선 영향을 미칠 수 있다.

우주환경 예보의 신속하고 정확한 수행을 위하여는 태양 및 우주환경의 지속적인 관측과 이를 바탕으로 한 일관성 있는 분석이 필수적이다. 관측 및 있어서 태양-우주환경의 종합적인 관측시스템 구축은 장기적인 시일을 요하고 또 일부의 장비가 갖추어지더라도 태양의 경우 그 변화를 연속하여 관측하는 것이 불가능하며 다른 우주 환경 요인도 지속적인 관측이 불가능할 경우가 생긴다. 따라서 종합적인 우주환경의 정보는 국제적으로 구성된 전산망을 통하여 자료를 상호 교환하는 것이 유익하다. 그 예로서 Ursigram은 우주환경 자료 및 예보에 관한 정보를 교환하는 코드화 된 전문으로 이를 활용하면 우주환경 분석에 효과적이고 체계적인 정보를 얻을 수 있다.

Ursigram code는 각 분야별로 태양, 위성관측 등 각각의 관측에 대하여 자세한 정보를 담고 있는 code와 이들을 정리한 예보 code로 구분할 수 있다. 이 중 UGEOI code는 전날의 중요한 우주환경 자료를 정리한 것으로 이 자료를 장기적으로 보관 처리하여

두면 태양활동의 변화를 예측하는데 도움이 된다. 이를 위하여 개발된 프로그램의 이름은 SEIS (Space Environment Information System)이며, 이 프로그램은 (1) 개개 code의 이해를 돕고, (2) 중요 정보에 대한 장기간(90일)의 자료를 파일로 저장하고 이를 출력할 수 있으며, (3) 이 장기간 축적된 자료를 그대로, 또는 태양 자전 주기에 따른 그림으로 나타내는 기능을 가지고 있다.

### V. 결 론

본 연구에서는 위성통신 및 위성체 자체의 운용에 중요한 요인이 되는 우주환경을 감시하고 예보하는 시스템을 구축하기 위한 작업의 일환으로 기초적인 분석을 수행하였다. 그 내용으로는 우선 우주환경의 영향에 대하여 논하였고, 자료 수집에 있어서는 외국 연구동향 조사와 국내에서 관측이 가능하거나 입수 가능한 자료를 조사하였다. 여기서 활용방안이 강구된 국내 자료로는 태양전파 분야에 국한되었으나, 태양 광학 관측, 전리층 및 지자기 관측자료도 국내에서 수집 가능한 자료이다. 한편 위성 관측자료로는 NOAA 위성의 SEM data를 대상으로 연구하였으나 이는 800 Km 상공의 저궤도 환경의 정보만 주게 되어 지구 정지궤도의 자료를 입수할 수 있는 방안이 강구되어야 하겠다. 국제 관측 자료의 활용은 Ursigram 이외에도 internet을 이용하여 얻을 수 있는 많은 자료가 참고가 되어야 할 것이다.

이와 같은 자료들을 이용하여 우주환경 감시 및 예보를 위한 시스템을 다음과 같이 생각해 볼 수 있다. 우선 internet에 연결되어 있는 workstation을 주 컴퓨터로 사용하여 ursigram 등 필요한 외국자료를 여기에서 입수하여 저장해 두고 이 workstation에 연결된 PC 상에서 필요한 자료를 가져와 분석을 한다. 이 PC에서는 예보의 결과도 같이 볼 수 있도록 한다. 한편 국내에서 관측하고 있는 전리층 관측기, 지자기 관측기, 태양 광학 관측기, 태양 전파 망원경 등에는 모두 독자적인 컴퓨터가 있어서 이 관측기들을 통제하고 관측자료를 저장할 수 있어야 한다. 이 관측기들에서 얻어진 자료 중 우주환경 예보에 가장 핵심이 되는 자료들만 골라 앞에서 언급된 workstation급의 컴퓨터에 network를 이용하여 보관하여 둔다. 실시간 예보를 위해서는 이들 자료를 각각 화면상에 전시할 수 있는 모니터가 필요하다. 한편 수집된 자료를 이용하여 예보를 하기 위해서는 컴퓨터를 이용한 모델

계산이 필요하다. 여기에 필요한 컴퓨터로는 모델의 방법에 따라 차이가 있을 수 있으나 많은 계산을 요하는 경우 앞서 언급한 자료처리 및 저장용 컴퓨터 외에 독립된 것을 사용하거나 Cray 등 외부 컴퓨터를 이용하는 것이 바람직하며 이 계산의 결과는 역시 network으로 연결된 workstation에 보관되고 Ursigram 분석용 PC에서 핵심 자료만 전시할 수 있도록 한다.

마지막으로, 본 연구는 전파연구소의 공동연구 과제에 의해 수행되었음을 밝혀둔다.

민 경 욱

- 1978년 : 서울대학교 물리학과 졸업
- 1986년 : 미국 Princeton대학 천체물리학 박사
- 1987년 ~ 현재 : 한국과학기술원 물리학과 교수