

◇상부대기층연구위성이 보내온 데이터를 이용하여 과학자들은 해상과 표면관계를 그림으로 보여주고 있다.

**첨단  
과학  
현장**

# 새로운 시대의 원격탐사기술

玄 源 福 <과학저널리스트/본지 편집위원>

1993년 12월 국제원자력기구 당국이 핵무기개발계획을 둘러싸고 북한과 외교적인 갈등을 빚고 있을 때 정보사회에서는 한반도상공 높은 궤도를 돌고 있던 미국의 군사위성에 눈을 돌렸다. 이 위성은 당시 평양 근처에 있던 5메가와트 실험용 원자로를 감시하고 있었다. 미국당국은 이 위성이 원자로에서 열이 계속 발산되고 있다는 사실을 탐지하는 한 이 시설이 전기를 생산하고 있고 북한은 폭탄을 만들고 있지 않다는 것을 비교적 자신있게 추측할 수 있었다. 그런데 사용한 후 연료를 추출하여 핵무기용 플루토늄을 만들기 위한 처리를 하자면 우선 이 원자로를 폐쇄할 필요가 있을 것이며 만약 원자로가 열을 발산하지 않고 냉각중이라는 사실이 탐지된다면 이것은 원자로의

폐쇄를 알리는 첫번째 신호가 된다.

## 냉전기술의 새모습

이 위성은 현재 세계평화유지를 위해 사용되고 있는 냉전기술의 한 보기가 되고 있다. 그래서 지난 2년간 추진중인 미에너지부(DOE)의 이와 관련된 주요연구사업이 성공을 거둔다면 전혀 새로운 세대의 원격탐사위성이 일부국가들의 핵무기생산 감시용으로 등장하게 될 것이다. 핵실험의 감시는 지난 수십년간 위성에 의존해 왔다. 그러나 현재 미국 에너지부 산하 국립연구소 과학자들이 개발중인 위성의 개념은 어떤 국가든지 핵무기를 만들기 위해 우선 핵물질을 저장하기 시작하는 시기부터 시작하여 종전보다 훨씬 이른 단계에 핵확산을 탐지하려고

시도하고 있다.

이 새로운 조기경보기술은 카메라와 단순한 센서의 영역을 훨씬 넘어선다. 95년에는 연간 1억달러의 비용이 들게 될 이 사업의 일부에서는 연구자들이 핵물질이 제거되기 전에 플루토늄 처리과정에서 방출된 화학찌꺼기에서 무기재료의 생산사이클중 원자로에서 발산되는 열의 흔적에 이르기까지 무엇이든 탐지할 수 있는 다(多)스펙트럼 감응성 센서를 개발하고 있다. 한편 다른 연구자들은 동위원소분리용 원심분리기가 발산하는 전자기신호와 무기생산폐기물의 저장탱크 근처에서 발생하는 식물의 특수한 피해상과 같은 보다 민감한 징조를 탐지할 가능성을 모색하고 있다.

이 사업에 참여한 과학자들은 한결

같이 이것은 엄청난 도전이라는 것을 시인하고 있다. 실상 무기생산과정에 서 발산되는 가스를 찾으려고 의심나는 시설근처의 대기를 조사하기 위해 고출력의 레이저를 사용하는 일을 포함하여 당초 기대를 걸었던 6~7건의 접근방법은 이미 실현성이 없다는 것이 밝혀졌다. 그러나 원격탐사기술은 군사정보는 물론 지구변환연구를 위해서도 필요하다는 인식에서 광범위한 영역에 걸쳐 발전을 하고 있기 때문에 우주를 무대로 하는 비확산위성망이 구성될 가능성은 매우 커졌다.

91년 이라크가 많은 전문가들이 믿던 것보다도 훨씬 핵무기 생산을 앞당기고 있다는 사실이 발견되면서 이 사업은 부쩍 활기를 띠기 시작했다. 로스알라모스국립연구소의 비확산 및 군축사업담당자인 제임스 테이프에 따르면 이라크의 교훈이 사람들의 주목을 끌면서 정부기관들이 자진해서 이 사업의 지원을 요청해 왔을 때는 오히려 놀랐다고 말하고 있다. 아무튼 92년에는 당시 대통령이던 조지 부시가 에너지부에서 새로운 비확산사업을 착수하자고 제의했다.

### 정치적인 설득력

이리하여 이라크 그리고 최근에는 북한이 결국 핵비확산탐지사업에 높은 우선권을 두게 만들었다고 백악관 과학기술정책국의 군축정책담당관인 프랭크 폰히펠은 밝히고 있다. 예컨대 93년 7월 빌 클린턴대통령이 로스알라모스국립연구소를 방문하여 행한 연설에서 무기연구소의 과학적인 전문성을 보다 많이 핵확산 탐지로 전환하기로

약속한 사실을 들 수 있다. 연구소는 물론 의회지지자들도 이 약속을 환영했으나 따지고 보면 원격탐사기술은 환경감시용으로도 사용할 수 있어 정치적으로도 설득력이 매우 크다는 평가를 받고 있다.

한편 과학자들은 2중의 도전과 맞서게 되었다. 핵실험을 할 때 번뜩이는 섬광(閃光)과 같은 분명한 확산의 징조나 또는 원자로가 가동을 중단할 때 나타나는 증거처럼 간접적인 단서를 넘어서서 탐지기술을 더욱 발전시키자면 사소한 화학 및 열이 빚어내는 징조를 탐지할 능력을 가져야 한다. 이 밖에도 위성의 센서가 수집한 자료는 방대한 양에 이르기 때문에 탑재한 전자장비가 이 정보를 걸러서 확산의 징조를 찾아내어 의심나는 장소의 목록을 지상 정보전문가에게 보내야 한다. 과학자들이 어떤 징조에 초점을 맞추고 필요한 민감도를 어떤 방법으로 성취하는가 하는 것은 물론 비밀에 붙여져 있다. 그러나 국립연구소들이 서로 보완적인 역할을 하면서 이 야심적인 사업을 추진하고 있다는 것은 이미 알려진 사실이다.

예컨대 로스알라모스연구소와 샌디아연구소에서는 거의가 다스펙트럼 감응성 분석장치인 '패시브' (수동식) 센서에 노력을 기울이고 있다. 92년 당시 대통령이던 조지 부시가 1억6천8백만 달러의 에너지부 예산을 새로운 비확산 탐지사업으로 전용하자고 제의했을 때 이 두 연구소는 공동으로 '우주확산탐지사업인'이라는 것을 내놓았다. 그 목표는 '패시브' 센서를 탑재한 탐지용 위성합대를 개발하는 것이었다. 그뒤

약속된 예산의 반만 통과되면서 당초의 안은 축소되었으나 2년내에는 새로운 세대의 원격탐사장치를 탑재한 위성이 운용될 것으로 기대된다.

위성에 탑재될 첫번째 기술은 핵실험장을 탐지하기 위해 중전에 이용하던 기술을 개량한 것이다. 95년 미에너지부는 번개의 전자기흔적과 핵폭발의 흔적을 가려내기 위해 신경망전자장치를 사용하게 되는 '포테'(FORTE:단기사건의 신속한 궤도기록이라는 뜻의 머리글자)로 알려진 위성 한개를 발사할 계획이다.

### 신세대 탐지기술

그러나 새로운 핵확산탐지위성세대는 96년 MTT(다스펙트럼 열영상기라는 뜻의 머리글자)로 알려진 실험용 우주기의 발사로 개막된다. 한개에 7천만달러나 되는 이 위성은 18밴드의 다스펙트럼 감응용 센서를 탑재하는데 이것은 0.04에서 12미크론에 이르는 파장을 가진 적외선을 탐지할 수 있다. 이런 자료를 분석하면 심지어 구름을 뚫고 원자로의 냉각탑과 폐수에서 나오는 열의 변동까지 탐지할 수 있다.

첫번째 실험에서 지상의 연구자들은 무기재료를 생산할 수 있는 여러 개의 원자로를 가진 미에너지부소속 사반나강무기생산시설에서 발생하는 열의 양을 직접 측정하는 한편 위성도 동시에 우주에서 같은 열을 측정한다. 이리하여 지상측정값을 우주측정가와 비교하면 우주탐지의 민감도를 가능하고 센서의 정확성을 알 수 있다.

한편 샌디아와 로스알라모스그룹은 핵물질처리공장 근처의 식물의 변화를

탐지하기 위해 환경의 원격탐지에서 사용되는 것과 비슷한 기술을 사용할 다른 다스펙트럼센서를 설계하여 우주로 띄워올릴 생각이다. 우리나라의 농축과 플루토늄의 재처리에서는 유기화합물, 산·불소를 포함한 대량의 화학폐기물이 발생한다. 연구소의 과학자들은 위성들이 핵처리와 관련된 화학물질이 토양이나 지하수를 오염시켜 식물을 죽이는 폐기물탱크 주변의 '살인지대'를 탐지할 수 있을 것이라고 말하고 있다.

그러나 이런 '패시브' 센서를 가지고는 플루토늄 생산이나 또는 우리나라정련을 하는 동안 공기중에 방출된 가스의 흔적을 탐지할 수는 없다. 또 무기생산을 하고 있다는 이런 화학적인 단서를 감추는 일도 더욱 어려울 것 같다. 이

런 단서를 탐지하자면 위성에는 레이저를 이용하는 '액티브' (능동식) 감응기술을 탑재해야 할 것 같다. 이론상으로는 레이저센서가 형광을 통해 분산, 흡수 또는 흡수 및 재분산된 레이저광의 파장을 측정하여 가스의 성분을 밝혀낼 수 있다. 한가지 전략은 약간 다른 파장을 가진 두개의 펄스를 내보내는데 그중의 하나는 핵물질생산에서 발산된 화학물질의 이미 알고 있는 흡수공명과 같게 하여 반사된 신호와 비교할 수 있다. 공명진동수의 반사율이 떨어진다면 이것은 이런 화학물질이 존재한다는 사실을 드러내는 것이다.

그런데 이 기술은 전혀 새로운 것은 아니다. 이런 원리에 바탕을 둔 레이저 감응기술은 라이다(LAIDAR:광탐지 및 분류라는 뜻에서 딴 머리글자)로 알

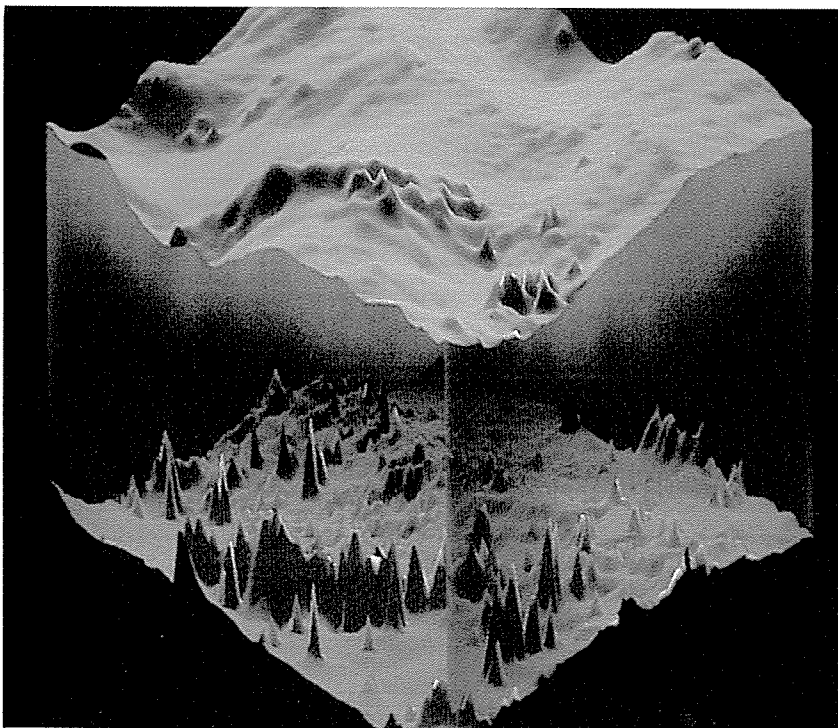
려져 있는데 벌써 로스알라모스연구소에서 개발되어 뉴멕시코시티의 오염측정과 스커드와 같은 미사일의 배출증표를 탐지하는데 사용되어 왔다.

한편 80년대에 적의 미사일을 격추하는 이색적인 '별들의 전쟁'에서 레이저 프로그램의 중심지였던 로렌스리버모어국립연구소에서는 지난날의 이런 전문성을 핵확산탐지에 이용할 생각이다. 그런데 93년초 미에너지부는 레이저를 이용하는 핵확산탐사업에 막대한 투자를 하기 전에 우주에서 레이저가 탐사장치로서 잠재성이 있는가의 평가를 미국방당국에 자문을 제공하는 민간과학자들의 독립된 패널인 제이슨(JASON)에게 의뢰했다. 제이슨 패널의 견해는 비판적이었다. 제이슨 패널을 이끄는 스탠퍼드대학의 물리학자 시드니 드렐은 무기생산시설 근처에서 발견될 만한 화학적인 증거는 너무나 희미해서 우주에서는 탐지할 수 없을 것 같다고 말하고 있다. 그래서 제이슨 패널은 우주에서 이런 증거를 탐지하는 첨단장비를 개발하는데 투자하기에 앞서 그런 증거의 특성에 관한 연구부터 할 것을 권장하고 있다.

이무튼 이 사업에 낙관적인 전망을 갖고 있는 사람들도 새로운 핵확산탐지기술이 실제로 쓰이자면 10년 이상을 더 기다려야 할 것으로 내다보고 있다. 우주에서 핵확산을 탐지하는 기술은 고도로 복잡한 기술이기는 하지만 결국 해결의 길을 찾게 될 것이라고 과학자들은 믿고 있다.

## 새로운 세대의 오염감시망

98년부터 새로운 세대의 위성들이



◇유럽의 해양감시위성이 보내온 데이터를 이용하여 과학자들은 해상과 표면관계를 그림으로 보여주고 있다.

매우 상세하게 지구를 탐사하기 시작함으로써 과학자들은 지구온난, 오존층의 파괴, 그리고 그밖의 환경 '질환'을 예측할 수 있게 된다. 이 새로운 세대의 위성을 선도하는 것은 일련의 위성들인 미항공우주국(NASA)의 지구관측시스템(EOS)인데 1998~2017년간 지구환경의 변화를 추적하게 된다. 그런데 단편적으로 지구환경을 측정하던 종전의 방법과는 달리 EOS는 해양, 육지, 대기에서 한꺼번에 거의 모든 것을 측정하기 때문에 과학자들은 온실효과나 오존층의 상실에 관한 예측을 훨씬 정확하게 할 수 있게 된다.

우리는 온실효과를 가져오는 기체가 축적되면 기상에 변화를 가져온다는 것은 알고 있으나 어떤 규모로 얼마나 빨리 그리고 어떤 곳에서 발생하며 이 문제를 해결하자면 어떻게 해야 한다는 것을 알 필요가 있다. 예컨대 지구온난현상이 해류를 어떻게 바꿀 것인가? 만약 방법이 있다면 이산화탄소의 배출량을 얼마나 줄여야 할까? 북반구 상공의 황산가스의 증가가 지구의 온난현상에 어떤 영향을 줄 것인가? 불행히도 오늘날 우리가 갖고 있는 최신 기상모델을 가지고도 이런 평가를 자신있게 할 수 없다.

총 17종의 과학측정장치를 탑재하는 EOS의 6개의 위성은 이런 복잡한 질문에 대해 해답을 제공하기 시작할 것이다. 98년 중반에 시작하여 4년간 발사될 이 위성들은 지구에 만물들이 발산하고 흡수하는 방사선의 홍수를 가려내게 된다. 이 위성들은 적어도 15년간에 걸쳐 계속해서 온실기체의 수준에서 해양의 플랑크톤의 양에 이르기 까지 8

백종 이상의 항목을 작도하게 된다. 이 위성의 수명은 5년이지만 두번 교체된다. 8년간에 걸쳐 모두 1백10억달러의 예산이 소요되는 이 사업은 NASA 최대규모의 환경사업이다.

온갖 첨단센서를 갖춘 EOS는 지구환경연구의 모든 분야에 걸쳐 놀라운 결과를 가져올 것으로 보인다. 과학자들이 EOS가 중대한 영향을 미칠 것으로 생각하고 있는 분야중의 하나는 구름의 측정이다. 여러 형태의 물로 가득 찬 구름은 태양에서 오는 열을 반사하면서 대기중의 열을 우선 걸러 내기는 하지만 열이 아래쪽 대기층을 벗어나는 것을 막는 역할도 한다. 구름이 낀 날은 해가 내려쬐는 날보다 더 춥고 맑은 겨울밤은 구름이 낀 밤보다 더 춥다는 것을 통해 우리는 구름의 이중역할을 이미 체험하고 있다.

구름은 유별나게 복잡한 모양을 하고 있기 때문에 기상모델은 조잡하게 표현할 수밖에 없다. 예컨대 대부분의 컴퓨터 시뮬레이션은 구름패턴의 변화는 온실효과에 큰 영향을 주지 않는다고 예측하고 있다. 그러나 그 반대의 효과가 일어날 수 있는 것이다. 낮게 깔린 구름이 지구적인 규모로 3~4%만 증가해도 온실기체를 배로 늘릴 수 있다고 미국립대기연구센터의 대기전문가 케빈 트랜버스는 주장하고 있다.

그러나 불행히도 오늘날 구름을 감시하고 있는 기상위성들은 이런 사소한 변화를 탐지하게 제작되어 있지 않다. EOS의 장비들은 구름의 두께, 높이 그리고 분포를 종전보다 6~7배나 더 정확하게 작성할 것이다. 그래서

과학자들은 구름이 기상에 미치는 양적인 효과를 이해하기 시작한다.

## 지구관측기술위성

한편 일본도 96년 2월 첨단지구관측 위성 아데오스(ADEOS)를 발사한다. 일본우주개발사업단이 발사할 이 '지구를 관측하는 기술위성'은 약 8백 km 상공의 궤도를 돌면서 탑재한 8개의 센서로 지구의 육·해양과 대기를 관측한다. 그중에는 바다의 색깔과 표면온도를 측정하는 OCTS가 있고 육지나 연안해역에서 반사되는 가시광이나 근적외선의 태양광선을 관측하여 열대림의 파괴, 사막화, 수질오염 등의 환경문제와 토지이용, 자원탐사의 도움을 줄 고성능 가시근적외방사계(AVNIR)가 있다. 이밖에 온실효과기체센서(IMG)개량형 대기주연분광계(ILAS), 지상·위성간레이저 장광로흡수측정용 리트로리플렉터(RIS), NASA산란계(NSCAT), 오존전량분광계(TOMS) 그리고 지표반사광관측장치를 싣고 간다.

이중에서 ILAS는 아데오스위성이 남극이나 북극상공을 통과할 때 극궤도를 통과하기 때문에 해가 지거나 해가 뜰 때의 태양광이 대기층을 통과하는 것을 측정하여 오존층의 상태를 관측할 수 있을 것으로 기대하고 있다. 또 AVNIR의 자료는 협정에 따라 외국수신국에도 송신하게 될 것으로 보인다. 한편 OCTS의 데이터는 해양의 어장상태를 알려주는 것이므로 일부는 어선이나 조사선에게 직접 송신할 계획이다. 이것은 그대로 '어군탐사센서' 역할을 하기 때문이다. **57**