‘지구온난화’ 주범 찾는다

고도 200~700㎞ 대기 관측
지구·우주 환경 변화 예측

4

글 _ **원영인** 한국해양연구원 극지연구소 선임연구원 yiwon@kordi.re.kr

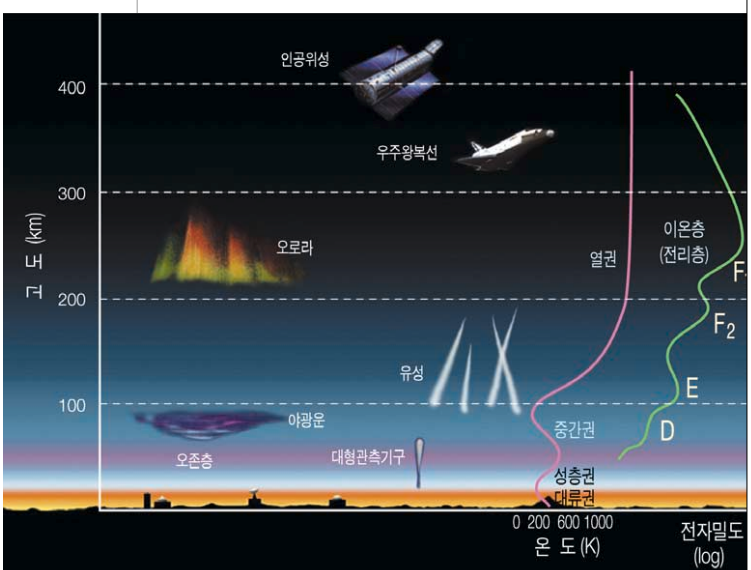
고층대기에 대한 정의는 학자들마다 의견이 일치하지 않지만 하층대기와 확연히 구분되는 몇 가지 특징, 즉 이온화된 물질(이온, 전자)이 존재하여 전자기장과 전류의 흐름이 중요시되는 지역으로 구분을 한다면 중간권의 일부를 포함하는 열권이 소위 말하는 고층대기영역이라 할 수 있을 것이다. 지구의 대기는 온도의 수직분포에 따라 몇 개의 층으로 나뉘어 진다. 가능 낮은 곳에 위치한 대류권은 일기현상이 발생하는 지역으로 대부분의 수증기가 이곳에 존재한다.

태양활동따라 대기 변화 무쌍

그 위로부터 약 50㎞ 까지의 영역은 성층권이라고 하며 이곳에 존재하는 다량의 오존은 태양으로부터 입사되는 자외선을 흡수하여 지상의 생태계를 보호하는 역할을 한다. 중간권 은 50㎞에서 약 90㎞ 까지의 영역으로, 그 위의 열권과 경계를 이루는 중간권 최상부는 지구상에서 가장 낮은 온도를 유지하는 곳이기도 하다. 이곳의 온도가 낮은 이유는 특별한 에너지원이 없을 뿐 아니라 이산화탄소에 의한 복사방출로 열을 빼앗기기 때문인 것으로 알려져 있다.

지구대기권의 최상층에 위치한 열권의 범위는 대략 600~700㎞의 부근까지이며 그 이상의 영역은 외기권이라 불린다. 열권에서는 산소와 질소기체들이 강력한 자외선영역의 태양에너지를 효과적으로 흡수하여 온도가 급격히 상승하게 되는데 태양활동의 정도에 따라 500~2,000K 정도로 큰 폭의 변화를 보인다. 태양에서 방출되는 복사에너지 중 (태양활동에 따라) 자외선영역의 에너지가 가장 큰 폭으로 변화하며 이러한 에너지가 대부분 열권에서 흡수되기 때문이다.

한편, 강력한 태양자외선에 의하여 중성의 대기입자들은 이온과 전자로 분리되기도 하는데 이렇게 해서 이온층이 형성되며 이온층은 그 특성에 따라 D, E, F층으로 구분되기도 한다. 이온층은 전파를 반사, 굴절시키는 특성이 있으며 무선통신의 시작과 더불어 수많은 연구가 수행되어 왔다.



지구대기의 수직구조 및 고도별 특징. 지구의 대기는 온도의 수직분포에 따라 대류권, 성층권, 중간권, 열권 등으로 나뉘며, 50~60km 부근에서는 대기입자가 이온과 전자로 분리되는 이온층이 형성되기 시작된다.

알래스카 상공에 나타난 오로라의 모습

신비의 오로라는 우주환경 피해의 척도

인류는 오랜 동안 오로라라는 신비로운 현상을 통해 막연하게나마 고층대기를 인지해 왔다. 오로라는 태양으로부터 방출된 대전입자들이 지구 자기장을 따라 흘러 들어오다 고층대기 입자와 충돌하여 발생하는 현상이며 지구의 자기장이 극지역으로 수렴하기 때문에 양극지방에서 주로 발생하게 된다. 오로라는 아름다운 모습과 달리 수백만Kw의 전력과 비교되는 어마어마한 에너지가 유입되는 현상으로 100~수백㎞ 고도에서 발생하며 이로 인해 고층대기의 온도나 밀도를 급격히 변화시킨다.

고층대기공간의 밀도는 지구표면의 대기밀도에 비교하면 상당히 희박하여 진공상태에 가깝다고도 할 수 있지만 한편으론 이 지역을 비행하는 인공위성의 궤도변이를 일으킬 만큼 충분한 양을 지닌다. 특히 11년 주기로 변화하는 태양활동이 활발할 때는 지자기장의 교란과 오로라발생의 증가 등으로 고층대기 환경의 변화도 커져서 인공위성의 궤도변이와 수명단축 뿐만 아니라 무선통신의 두절, 우주방사선 피폭증가, 지상전력계의 이상 등 인간의 사회, 문화, 경제생활에 상당한 영향을 미치게 된다.

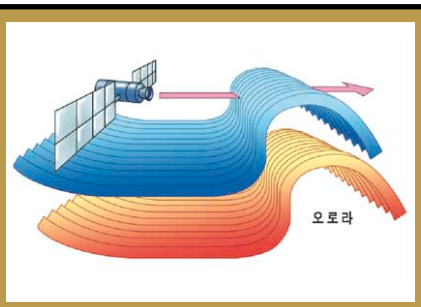
태양활동이 극에 달했던 1989년 3월 이온층으로부터 유도된 전류가 지상의 송전선을 타고 캐나다 퀘벡발전소의 발전기를 손상시킨 일이 있었는데 이로 인해 수천만 달러의 손해와 더불어 수백만 명이 암흑속에 방치되는 사건이 발생하였다. 이는 고층대기환경이 우리와 얼마나 밀접한 관련이 있는지를 명확히 보여주는 단적인 예가 되고 있다.

또한 작년 10월말 강력한 태양폭발 후 극지역에서만 나타나던 오로라가 한반도를 포함한 중·저위도 지방에서도 관측되어 전세계의 뉴스거리가 되었으며 많은 인공위성의 오작동 사례가 보고 되기도 하였다. 위성의 기능저하와 보험배상액 등을 포함한 우주환경변화에 따른 피해액은 전 세계적으로 1년에 25억 달러 이상일 것으로 추정되고 있다.

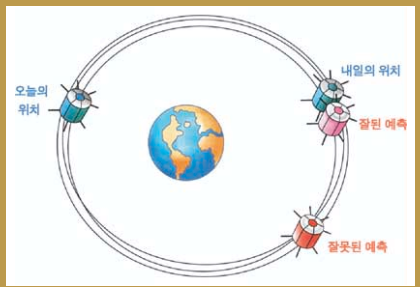
이러한 피해를 예방하기 위해 지상의 날씨를 예보하듯이 고층대기를 포함하는 우주환경의 변화를 예측하려는 우주환경연구가 미국과 일본 등 우주개발의 선진국들을 중심으로 이미 시작되었으며, 인공위성의 보유와 함께 우주시대를 맞이하고 있는 우리 나라도 우주환경연구 그룹이 형성되고 있다.

고층대기 냉각화 발견 : 지구환경 변화 우려

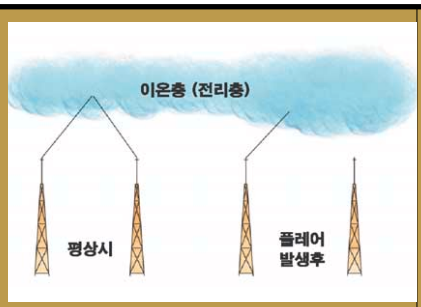
최근의 고층대기연구에서 빼놓을 수 없는 주제 중의 하나가 고층대기의 냉각화 현상이다. 고층대기, 특히 중간권과 열권의 하부지역은 예상과는 달리 인류문명의 영향에 민감하게 반응하는 것으로 알려지



오로라와 같은 현상이 발생하면 고층대기가 가열되어 밀도가 급격히 증가하고 증가된 대기입자로 인해 인공위성은 항해에 많은 저항을 받게 된다.



인공위성이 급격한 궤도변이를 일으키면 추정위치의 예측에 오차가 발생하며 정도가 심한 경우 추적에 실패하여 인공위성을 잃게 되는 경우가 발생하기도 한다



지구의 고층대기에서 일어나는 급격한 변화는 이온층(전리층) 밀도를 증가시켜 고주파 무선통신의 두절 및 인공위성과의 통신에 심각한 영향을 미치기도 한다

고 있다. 1980년부터 약 10년간 인공위성과 지상의 라이더로 관측, 분석한 고층대기의 온도변화 모습을 보면 장기적인 온도감소 현상이 나타나고 있다. 발표된 결과에 따르면 10년에 걸쳐 약 3K 정도 온도가 감소한 것을 알 수가 있으며 이러한 경향은 고도가 높은 중간권 상부로 갈수록 더욱 심화되어 나타나는 것으로 알려지고 있다.

고층대기가 냉각화되는 데에는 여러 가지 이유가 있으나 대체로 다음과 같은 설명이 정설로 받아들여지고 있다. 이산화탄소나 메탄은 인간활동의 영향으로 꾸준히 증가하고 있으며 이로 인해 지상에서는 온실효과로 인한 온난화가 문제가 되고 있지만 고층대기에서의 온실가스의 증가는 외부로 방출하는 복사량을 증가시켜 오히려 온도를 감소시키는 역할을 한다.

이론적인 계산에 의하면 이산화탄소의 양이 두 배 정도 증가할 때 지상에서의 온도는 기껏해야 1도 정도(혹은 그 이하) 상승할 수 있지만, 고층대기에서는 10도 이상 하강할 수 있다는 연구결과가 나오고 있다. 메탄의 증가 역시 고층대기 환경변화에 무시할 수 없는 요인이 되고 있는데 매년 약 1~2%의 속도로 증가하고 있는 메탄의 밀도는 여러 화학반응을 거쳐 궁극적으로는 오존을 감소시키는 역할을 하고 있다. 오존은 태양자외선을 효과적으로 흡수하는 기체이며, 따라서 오존의 감소는 고층대기에서의 태양에너지 흡수를 줄여 냉각화를 부추기는 역할을 하게 된다.

지구온난화라고 하여 세간의 관심이 증폭되고 있는 기후변화는 100년에 1번 정도의 낮은 변화량에 대한 우려이며 그나마도 이에 대한 논쟁이 적지 않다. 이에 반해 고층대기의 온도변화는 지구온난화와 반대로, 그리고 분명하고 빠른 속도로 진행되고 있으며 전지구적 환경변화가 어떻게 진행되고 있으며 또한 미래의 기후가 어떻게 바뀔지 예측케 하는데 중요한 단서가 될 것이다.

태양 · 지자기 폭풍 피해 최소화에 노력

남극을 비롯한 고위도지방은 지구자기장이 지표면과 거의 수직으로 향하기 때문에 우주로부터 고에너지 입자들이 쉽게

세종기지에 위치한 고층대기관측실의 모습. 건물지붕에 설치된 투명돔을 통해 고층대기에서 방출하는 복사선 (대기광, 오로라)을 관측한다.

유입되며 결과적으로 고층대기 변화의 폭이 커서 다른 저위도지역보다 많은 관심의 대상이 되고 있다. 이러한 이유로 해양연구원 극지연구소에서는 남극세종기지를 중심으로 고층대기의 특성을 이해하기 위한 연구를 수행해 오고 있다.

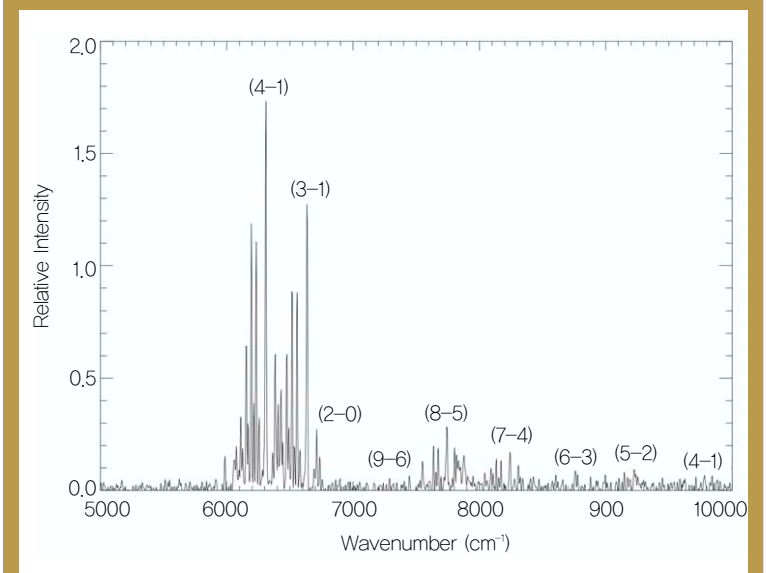
세종기지가 설립된 초창기에는 페브리-페로 간섭계 (Fabry-Perot Interferometer)라는 고분해능의 광학기기를 설치하여 열권에서 방출하는 산소원자의 복사선(OI 630.0㎚)을 주로 관측하였으며 도플러 효과를 이용하여 입자의 온도 및 속도를 도출하는 연구를 수행하였다.

최근에는 푸리에 분광계(FT-IR)라는 기기를 이용하여 고층대기에서 발산되는 적외선영역의 복사선을 관측하고 있으며, 관측된 스펙트럼의 정밀분석을 통해 고층대기의 온도를 모니터링하고 있다. 이러한 결과들은 우주환경의 급격한 변화를 초래하는 태양폭풍이나 지자기폭풍에 의한 피해를 최소화하고 또 지구온난화라는 커다란 주제와 관련하여 지구의 기후변화현상을 이해하는 데 활용하고 있다.

최근에는 남극뿐만 아니라 북극에서도 관측을 시작하여 양극지방의 차이점을 밝히는데 주력하고 있다. 지구의 양극지방은 대륙과 바다라는 지형적인 차이 외에도 자기장의 형태에서도 다른 점이 많아 종종 비교연구의 대상이 되고 있다.

근거리 우주환경으로 일컬어지는 고층대기공간은 우주시대의 도래와 더불어 경제 · 사회적으로 매우 밀접한 관련을 맺고 있으며 그 연구의 중요성 또한 더욱 부각되고 있다. ST

남극세종기지에서 운영중인 푸리에 분광계 (FT-IR)



푸리에 분광계로 관측된 적외선영역의 대기복사 스펙트럼. 고층대기입자에서 방출되는 강한 복사선들이 나타나 있다(1999년 4월 세종기지에서 관측).

글쓴이는 서울대학교 대기과학과 졸업 후 미국 미시간 대학교 대기 · 우주과학과에서 박사학위를 취득했다.