



기상분야 전파탐재체 활용

I. 서론

기상현상은 국민의 생활, 안전, 건강 등 모든 일상과 관련되어 있으며, 국가안보, 산업 경제 등 사회경제적 파급효과도 상당하다. 날씨예보 정확도에 대한 국민들의 관심뿐만 아니라 기후변화로 인해 생활패턴도 바뀌고, 농업, 어업, 산림 등 분야에서 작물, 어종, 식생들도 빠르게 변화하고 있는 실정이다. 또한 태풍, 집중호우로 인한 홍수, 대설, 폭염, 한파, 가뭄, 산불, 지진 및 산사태 등 자연재해로 인해 전 세계적으로 약 15만 명 이상의 인명피해가 발생하고 있다. 특히, 집중호우는 지난 35년간 그 빈도가 2배 상승한 것으로 나타나고 있고, 하이엔과 같은 초강풍과 폭우를 동반한 슈퍼 태풍도 빈번히 출현하고 있다. 최근 들어 중국에서 발생하여 오는 미세먼지 및 스모그 등 환경기상의 중요성도 커지고 있으며, 가뭄 및 폭우 등 수문기상의 중요성 역시 커지고 있다.

인공위성은 이러한 날씨예보, 기상, 기후, 자연재해 감시 등에 매우 효율적이며, 특히 마이크로파 라디오미터, 산란계, 레이더 등은 파장특성으로 인해 주야간에 관계없이 연속관측이 가능하고, 구름 등 기상조건에 덜 민감하기에 태풍, 집중호우와 같은 자연재해 감시에 매우 유용하다. 또한 지구 대기의 연직 온도와 습도 정보 산출에 매우 효과적이어서 수치예보모델의 입력 자료로서 제일 중요한 정보이기도 하다. 아울러, 지구대기에 영향을 주는 지표면이나 해수면 정보 획득에도 장점이 있다. 최초로 기상분야에 마이크로파 라디오미터가 활용된 것은 NASA에서 개발하여 1972년 12월 발사된 Nimbus-5의 ESMR (Electrically Scanning Microwave Radiometer)이며, 19GHz 단일 파장을 이용해 대기온도의 수직분포를 추정하는데 활용되었다.

본고에서는 인공위성 전파탐재체 중에서 수동형 마이크로파 라디오미터의 특징과 기상분야 활용에 대해 집중적으로 설명하고자한다.



홍성욱
세종대학교



원재광
기상청 국가기상위성센터



유상진
기상청 국가기상위성센터

II. 수동형 마이크로파 라디오미터 영상기와 탐측기

기상분야에서 주로 활용되는 마이크로파 라디오미터는 크게 영상기와 탐측기로 구별된다. 마이크로파 라디오미터 영상기와 탐측기의 관측 원리는 동일하지만, 관측 목표에 따라 구별될 수 있다.

영상기는 균일한 2차원 정보를 획득하기 위한 것이다. 주로 원뿔 모양으로 회전하면서 관측하는 conical scanning 기법을 이용하며, 공간해상도는 수 km에서 약 100km 범위에 있다. 편광효과를 잘 활용할 수 있는 회전 각도를 유지한다. 주요 활용 마이크로파 주파수는 1~200GHz 정도이다. 대표적으로 기상분야에서 활용중인 인공위성 탑재 마이크로파 영상기로는 DMSP 위성의 SSM/I, TRMM 위성의 TMI, AQUA 위성의 AMSR-E, GCOM-W1위성의 AMSR-2 및 GPM core위성의 GMI 등이다. 토양수분, 지표면 온도 등 지표정보, 해수면 온도, 해상풍, 염분 등 해수면 정보, 구름 및 강수 등 대기

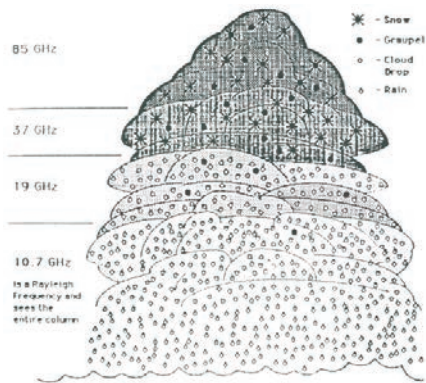
정보, 해빙 등 극지정보를 관측하는데 사용되고 있다. <그림 1>은 주파수별로 민감한 기상 요소들을 나타내고 있다. 저주파일수록 강한 강수에 민감하며, 고주파일수록 빙정 및 구름입자 탐지에 유용하다.

탐측기는 대기의 수직 온습도 정보를 산출하는 것이 주요 목적이며, 이를 위해서 인공위성의 진행방향과 수직방향으로 스캔하는 cross-track 방식으로 관측을 한다. 영상기와 유사한 공간해상도를 가지고 있고, 주요 주파수대는 20~200GHz대 이다. 대표적으로 기상분야에서 활용중인 마이크로파 탐측기로는 Suomi-NPP위성의 ATMS, NOAA위성의 AMSU, MSU 등이 있다. <그림 2>는 영상기와 탐측기의 스캔방식을 보여주고 있다.

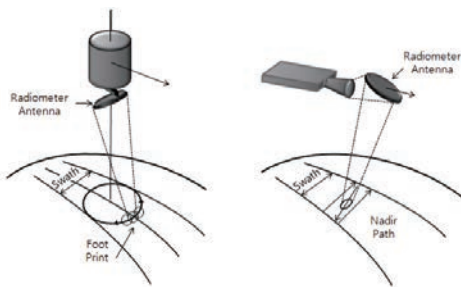
III. 수동형 마이크로파 라디오미터 활용기술

3.1. 기상예보

비선형적인 기상현상에 대해 보다 정확한 예보를 위해서는 수치예보모델의 성능, 관측자료, 예보관의 분석 능력이 중요한 요소들이다. 특히 수치예보모델 자체와 슈퍼컴퓨터 등 성능이 매우 향상되어서 입력 자료로 활용되는 관측 자료에 대한 의존성이 커지고 있으며, 매우 한정된 지상관측에 비해 인공위성은 해양, 극지, 사막 등을 포함하는 전 지구적인 공간을 준 실시간으로 관측하는 장점 때문에 수치예보모델 입력 자료의 대부분을 차지한다. 마이크로파 전파탐재체는 그 특성으로 인해 구름이 있는 기상조건에서도 대기의 온도와 습도 정보, 지표면 정보를 제공할 수 있기에 그 중요성은 매우 크다.



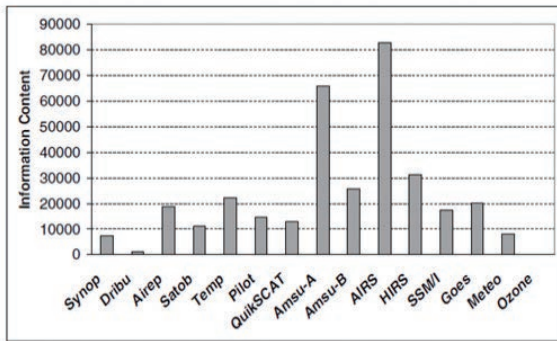
<그림 1> 구름, 빙정, 강수 특성에 민감한 주파수의 분포



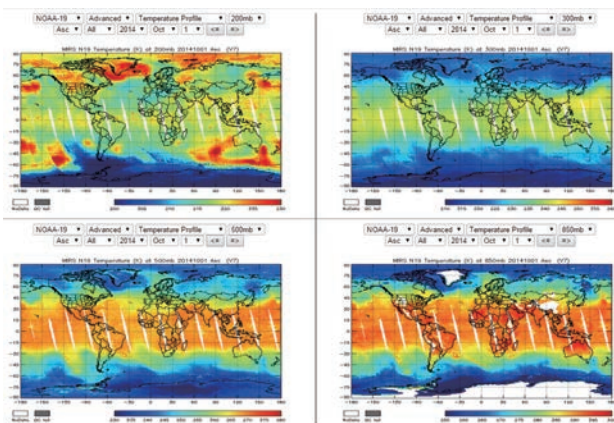
<그림 2> (a) conical scanning (b) cross-track scanning

온습도 정보

최근에는 이러한 마이크로파탐측기의 장점을 살리고 보다 개선된 전파탐재체인 ATMS가 NPP위성에 탑재되어 활용되고 있다. ATMS는 AMSU-A와 AMSU-B 센서의 장점을 융합한 마이크로파 탐측기로서, 마이크로파 파장대에서 22개의 특정 파장대(채널)을 이용하여 대기 연직 구조를 관측하고 있다. <그림 3>은 위성 전파탐재체별 수치예보모델 기여도를 나타내며, AMSU 자료 등 마이크



〈그림 3〉 관측자료별 수치분석에서의 정보량으로 관측자료가 분석에 미치는 영향에 대한 평가결과



〈그림 4〉 NOAA 19호 위성에서 산출된 200mb, 300mb, 500mb, 850mb 고도에서의 온도 (단위:Kelvin)

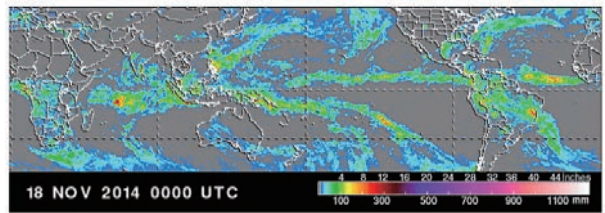
로파 탑재체와 AIRS 등 초분광 센서들이 매우 중요하다는 것을 보여준다. 〈그림 4〉는 AMSU 자료에서 산출된 대기층의 고도별 온도분포를 보여준다.

가강수량

가강수량 (total precipitation water, TPW)이란 지표면의 단위면적을 밑면으로 하는 연직 공기 기둥에 존재하는 모든 수증기가 응결되었을 때 응결된 물의 깊이를 의미한다. 가강수량 정보는 대기 중 수분의 수송 및 생성량을 정량화하는데 적합한 기상요소이다. 주로 수증기에 민감한 19GHz와 같은 주변 주파수와 30~35GHz 영역의 주파수를 활용하여 가강수량을 산출한다.

구름 정보

마이크로파 라디오미터를 이용해서 연직 공기 기둥 안



〈그림 5〉 TRMM위성에서 관측한 강수정보의 예

에 있는 구름이 포함하고 있는 총 물의 양인 구름수액량을 관측한다. 구름 물량은 가강수량과 더불어 물 순환에 있어서 매우 중요한 요소이다. 주로 18GHz와 37GHz를 이용하며, SSM/I, SSMIS, TMI, AMSR-E, AMSR-2 등이 대표적으로 기상분야에 활용되는 전파탐재체이다.

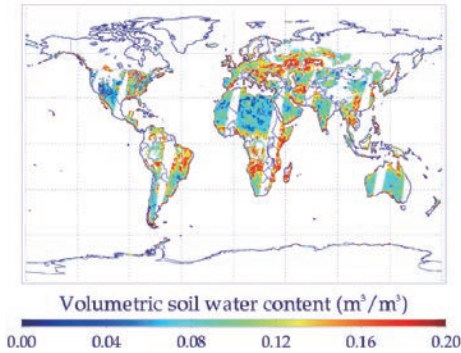
강수 정보

강수 정보는 수문, 기후, 방재 등 매우 중요한데, 마이크로파 특성상 관측시 가장 적합한 기상요소이기도 하다. 10~90 GHz 주파수대가 활용되며, 이 주파수대에서 고주파일수록 강수를 유발하는 구름 빙정에 민감하고, 저주파일수록 그 아래에 있는 강수입자에 민감하다. 강수 정보 산출을 위해 전세계적으로 SSM/I, SSMIS, TMI, AMSR-E, AMSR-2 등이 대표적으로 기상분야에 활용되고 있다. 〈그림 5〉는 TRMM위성에서 관측한 7일 누적 강수량이다.

3.2. 지표면 정보

토양수분

지표면에서의 밝기온도는 지표면의 물리적 온도와 지표 방출율로 결정되어 진다. 지표 방출율은 지표의 구성 성분의 유전상수 또는 굴절지수에 따라서 그 값이 달라진다. 주로 1~ 5GHz 장파장대 마이크로파를 이용하며, 대표적인 위성으로는 유럽의 SMOS, 미국의 SMAP 등이 있다. 마이크로파 영역에서 물은 약 80 정도의 유전상수 값을 가지며, 건조한 모래나 흙은 약 4 정도의 유전상수 값을 가지게 된다. 따라서 산출되는 유전상수 값의 비율이 토양수분량이 된다. 〈그림 6〉은 AQUA위성의 AMSR-E 센서관측을 이용하여 국내 활용기술로 산출된

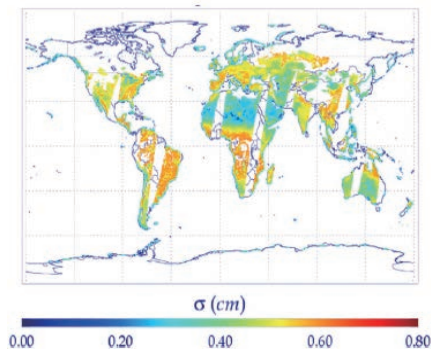


〈그림 6〉 전지구 토양수분 산출의 예

토양수분 정보의 예이다. 사막 등은 낮고, 열대우림 지역 등은 높게 나타나고 있음을 알 수 있다.

지표면 거칠기

지표면 거칠기 정보는 토양수분량과 매우 밀접한 관계를 가지고 있고, 수치예보모델의 입력 자료로도 중요하나 현재는 관측값이 부재한 상황이다. 최근에 지표 거칠기(surface roughness)를 산출하는 방법이 새롭게 개발되었다. 기본원리는 거친 표면과 정반사성(Specular) 표면 반사도사이의 관계식과 편광(Polarization)의 성질을 이용한다. 여기서도 대기조건에 덜 민감한 마이크로파 주파수대를 이용하며, 대표적으로 활용되는 전파탐재체는 GCOM-W1 위성의 AMSR-2 센서, TRMM 위성의 TMI 센서 등이다. 〈그림 7〉은 AMSR-E 센서를 이용하여 산출된 전 지구 지표면 거칠기를 보여준다. 사막지역이나 황무지 같은 지역은 식생이 풍부한 지역에 비해 상대적으로 낮은 지표 거칠기 값을 가진다.



〈그림 7〉 전지구 지표면 거칠기 산출의 예

3.3. 해양 정보

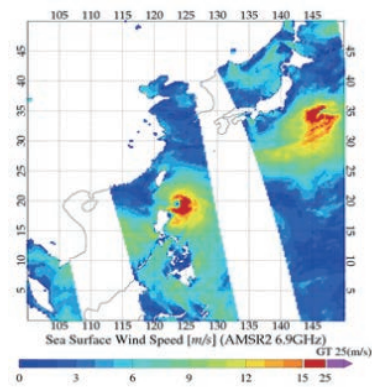
해상풍

해상풍은 해수면에서 10m 상공에서 부는 바람을 의미하며, 태풍 등 재해, 풍력 등 에너지, 수치예보모델 입력 자료로도 매우 중요한 요소이다. 특히 넓은 해양에서 직접관측이 어려우므로, 위성의 역할은 대단히 중요하다. 물리적으로 해상에서 순간 바람이 불면 해수면 위에서 잔물결이 발생하게 된다. 이로 인해 해수면에서의 반사도가 바뀌고 결국 위성에서 관측하는 마이크로파 밝기온도가 변하게 된다. 이러한 성질을 이용하여 풍속으로 인한 해수면 반사도 변화와 위성관측 밝기온도값의 선형 관계를 통해 역으로 해상풍정보를 얻게 된다. 이때 주로 마이크로파 저주파수 영역이 유용하다. 국내에서도 자체기술을 개발하여 정확한 해상풍 정보를 이용하여 태풍 분석 등에 현업적으로 활용중이다. 〈그림 8〉은 태풍분석에 GCOM-W 위성의 AMSR-2 센서를 활용한 예로써, 2014년도 태풍 콩레이에 대한 해상풍 분석 예이다. 15m/s이상의 강풍과 25m/s이상의 폭풍 영역 및 태풍의 눈도 잘 관측된다.

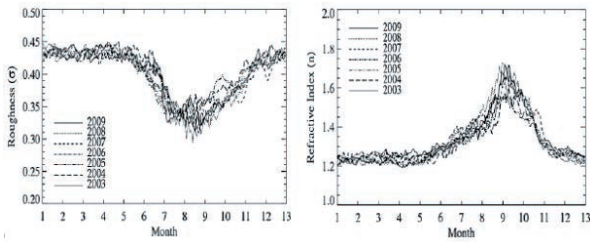
3.4. 극지 정보

해빙 관측

지구 북극은 바다이며 대부분 해빙(Sea ice)로 구성되어 있고, 남극은 육지위에 얼음과 눈으로 덮여 있다. 특히



〈그림 8〉 AMSR-2 센서에서 도출한 2014년 태풍 콩레이의 사례



〈그림 9〉 북극 해빙 표면 거칠기(위)와 굴절지수(아래)의 연도별 계절별 변화

북극 해빙의 면적 변화는 기후변화에 대한 직접적인 증거로써 많이 인식되고 있으며, 북극항로 개발 등 군사 및 경제적으로도 매우 중요한 지역이기도 하다. 마이크로파 라디오미터는 이러한 해빙의 변화를 감시하는데 매우 유용하다. 현재는 해빙의 면적의 변화뿐만 아니라 표면이 녹고 있는 현상과 더불어 해빙의 두께 변화까지 마이크로파 탐재체를 활용하고 있다.

국내에서도 해빙의 특성을 관측할 수 있는 활용기술을 개발하여 기후변화 모니터링에 활용 중에 있다. 〈그림 9〉는 해빙 표면의 거칠기 변화와 굴절지수 값을 산출하여 그 변화 경향을 분석하여, 해빙표면 역시 얼음에서 물로 녹고 있음을 보여준다. 거칠기는 7~8월에 최소화이며, 실제 표면이 녹는 것과는 1달 정도의 시간차가 있다.

IV. 결론

본고에서 기술된 활용기술은 위성에 탑재된 마이크로파 라디오미터의 다양한 활용의 일부에 지나지 않는다. 많은 경우 국내에서는 광학 영상 또는 레이더 영상 활용 기술과 같이 위성활용이 편향되어 있는 편이다. 기상예보, 기후변화, 방재감시, 수문기상 등 마이크로파 라디오미터의 활용성은 매우 중요하다. 기상청에서는 국내최초의 기상위성인 천리안 기상위성에 이어 저궤도 기상위성을 기획중이다. 수동형 마이크로파 라디오미터가 중요한 탐재체 후보 중 하나이며, 지구 대기 탐측과 자연재해 감시 등에 활용될 것으로 기대된다.

따라서 마이크로파 전파탐재체 기술의 국산화를 위한 단계적 개발이 절실하고, 보다 중요한 것은 마이크로파 전파탐재체의 활용기술 개발이라고 할 수 있다. 특히 국

내에서는 활용전문가의 수가 매우 부족한 반면에 필요성 및 활용성은 다른 전파탐재체 분야에 비해서도 훨씬 크다고 할 수 있다.

끝으로 본고에서 기술된 기상분야에서 마이크로파 라디오미터의 활용 현황은 국내에서는 아직 초기 단계라 할 수 있다. 강수, 수문, 방재, 기후변화 등 현실적으로 매우 중요한 기상 정보를 보다 정확히 제공할 수 있고, 국제적으로도 선진국가들과 함께 자료를 공유할 수 있는 마이크로파 라디오미터 및 활용 기술 분야는 국가적으로 선택과 집중을 해야 하는 우주개발사업에서도 우리나라만의 특성을 살리고 향후 국제적으로도 선도해갈 수 있는 분야라고 판단된다. 또한 관련 전문 인력이 좀 더 다양하게 양성되고 꾸준히 연구가 진행된다면, 보다 국민의 만족도를 높이고 국가과학기술 위상을 높일 수 있을 것으로 기대된다.

참고 문헌

- [1] 신동빈, 최예지, 서담원, 이종혁, 김지섭, 마이크로파 위성자료 활용 기술서, 국가기상위성센터/연세대학교, 2014
- [2] S. Hong, H.-J. Seo, N. Kim, and I. Shin, 2015, Physical retrieval of tropical ocean surface wind speed under rain-free conditions using spaceborne microwave radiometers, DOI=10.1080/2150704X.2015.1037466.
- [3] S. Hong, I. Shin, Y. Byun, H.-J. Seo, and Y. Kim, 2014, Analysis of sea ice surface properties using ASH and Hong approximations in passive satellite microwave remote sensing, Remote Sensing Letters, 5(2), 139-147.
- [4] S. Hong and I. Shin, 2013, Wind speed retrieval based on sea surface roughness measurements from spaceborne microwave radiometers, Journal of Applied Meteorology and Climatology, 52(2), 507-516.
- [5] S. Hong and I. Shin, 2011, A physically-based inversion algorithm for retrieving soil moisture in passive microwave remote sensing, Journal of Hydrology, 405(1-2), 24-30.
- [6] S. Hong and I. Shin, 2010, Global trends of sea ice: small-scale roughness and refractive index, Journal of Climate, 23(17), 4669-4676

[7] S. Hong, 2010, Global retrieval of small-scale roughness over land surfaces at microwave frequency, *Journal of Hydrology*, 389(1-2), 121-126.

[8] S. Hong, 2010, Detection of small-scale roughness and refractive index of sea ice in passive satellite microwave remote sensing, *Remote Sensing of Environment*, 114(5), 1136-1140.



홍성욱

- 2006년 Texas A&M University 대기과학과 박사
- 2009년 기상청 국가기상위성센터 연구관
- 2015년 세종대학교 환경에너지공간융합과 조교수

〈관심분야〉
위성원격 탐사 활용



원재광

- 2003년 서울대학교 대기과학과 박사
- 2013년 기상청 국가기상위성센터 위성기획과장

〈관심분야〉
기상위성 정책 및 개발



유상진

- 1997년 서울대학교 해양학과 학사
- 1999년 서울대학교 해양학과 석사
- 2003년 서울대학교 물리해양학 박사
- 2005년 미국 M.I.T. 박사후 연구원
- 2015년 기상청 위성분석과장

〈관심분야〉
위성자료 분석 및 활용, 물리해양학