

우리나라의 해양 기상/환경 모니터링 분야 기술현황 및 전망

윤 강 훈

한국방재학회 부회장 · 한국건설기술연구원 수문연구실

The Present and Future State of National Disaster Prevention System in Korea

Kanghoon Yoon

Hydrology Research Division, Korea Institute of Construction Technology

1. 서론

우리나라는 2007년 12월 7일 충남 태안 앞바다에서 발생한 유조선 허베이스피리트호의 1만5천톤 원유유출사고에서 나타난 바와 같이 대형 해양 원유유출사고에 대한 체계적인 해양방재탐사 시스템을 갖추고 있지 못하고 있으며, 우리나라는 아직까지 전국적인 방재시스템 구축보다는 부처별로, 지자체별로 독자적인 방재시스템을 구축하려는 경향이 있다. 이에 본고에서는 주로 해양에서의 해양오염을 포함한 각종 대형 재난에 대비하는 해양 기상/환경 모니터링 분야에서의 우리나라 기술현황과 향후 전망을 논하고자 한다.

2. 해양 기상/환경 모니터링 분야 국내 기술현황 및 여건 전망

해양은 육지와 달리 관측에 있어서 원격탐사기법에 의지하는 것이 일반적이다. 원격탐사 기법 중 최근에 급격히 대두하고 있는 기술로는 레이더가 있으며, 레이더 시스템의 일반적인 특성은 다음과 같다.

레이더는 공간을 향해 전자기파를 방사하여 물체에 의해 반사되어 돌아오는 파를 측정하여 물체를 탐지한다. 기상 관측용으로 쓰이는 레이더는 물체의 반사도, 시선속도, 스펙트럼을 측정하며, 최근에는 전자기파의 편파 성질을 이용하여 물체의 종류 등을 구별하기도 한다. 이러한 레이더

Table 1. 기상청 현업용 기상레이더 특성

| 구분 | 제각역사 | 미국 (EEC) | | | 독일 (GEMATRONX) | | 미국 (KAVOURAS) | 일본 (MITSUBISHI) | 중국 (METSTAR) |
|-------|----------------|----------------------|---------------------|--------------|----------------------|----------------------|------------------------|----------------------|----------------------|
| | | 군산(모성산), 동해, 제주 (고신) | 서울(관악산), 부산(구덕산) | 부산 (만구동) | 진도 (칠발산) | 광덕산 (동천) | 백령도 | 인천공항 (영종도) | 면봉산 (청송) |
| 관측 개시 | | 아래·참조 | 2005 | 1987.12 | 2001.8 | 2003 | 2000.7 | 2001.3 | 2004.7 |
| 송신기 | 송신관 대역 | 미그네트론 C | 클리이스트론 S | 미그네트론 X | 클리이스트론 S | 클리이스트론 S | 클리이스트론 C | 클리이스트론 C | 클리이스트론 C |
| | 전송수(MHz) | 5,340 | 2,719/2 | 9,300 | 2,880 | 2,887 | 5,637 | 5,637 | 5,637 |
| | 감응전력(W) | 250 | 850 | 200 | 750 | 750 | 250 | 250 | 250 |
| | PW [μs] | SP 0.83 LP 2.0 | 1.0 4.5 | 0.5 1.0 | 1.0 2.5 | 1.0 4.5 | 1.0 2.0 | 1 2 | 0.83 2.5 |
| 수신기 | PRF (수신) | SP 1,180 LP 250 | 250-1200 250-550 | 2,000 500 | 250-1,200 250-550 | 250-1,200 250-350 | 250-3,000 250-3,000 | 250-1,120 250-450 | 322/1,282 322/446 |
| | 감응전력수 대역폭(MHz) | 약 10.75 | 8 | 약 12.0 | 8 | 8 | 8 | 7.58 | 4.5 3.167 |
| 안테나 | 다이아미터(인자) (m) | 80 | 100 | 78 | 95 | 95 | 80 | 93 | 93 |
| | 중요전력(인자) (MHz) | 30 | 60 | 30 | 10 | 10 | 20 | 30 | 57.549 |
| 안테나 | 안테나 직경(m) | 3.6 | 8.5 | 2.0 | 8.5 | 8.5 | 4.3 | 7.0 | 4.5 |
| | 반경(°) | 1.2° | 1° | 1.2° | 1° | 1° | 1° | 0.7° | 0.99° |
| | 이득(dB) | 43 | 44 | 42 | 44.5 | 44.5 | 44 | 47.3 | 45 |

E-mail: khyoon@kict.re.kr

Tel: 031-910-0279

Fax: 031-910-0251

의 분류는 방사되는 전자기파의 파장에 따라 일반적으로 S-band(10 cm), C-band(5 cm), X-band(3 cm)로 나누게 되지만, 연구용 목적으로 구름 물리를 탐지하기 위해서는 파장이 훨씬 적은 Ka-band, W-band를 이용하기도 하고, 파장에 따른 전파 흡수 차이를 이용한 다중 파장 레이더를 사용하기도 한다.

한반도에서 운영하는 레이더는 기상청, 공군, 건설교통부에서 각각의 목적에 맞게 운영되고 있으며, 그 중 Table 1은 현재 기상청에서 운영하는 기상레이더의 종류 및 특성을 나타내고 있다.

무안기상대에 있는 연구용 X-band 레이더를 제외하고는 Table 1에서 볼 수 있듯이 주파수 대역이 S/C-band 로 주로 강우 측정을 위해 활용되고 있다. 공군의 경우 C-band 시스템을 중심으로 임무에 맞게 레이더 수기를 운영하고 있으며, 건설교통부도 한국건설기술연구원을 중심으로 강우레이더를 이용한 홍수 예경보 시스템에 대한 연구를 하고 있다. 이들 모든 레이더는 현재 국내 자체 개발 실적이 전무하여 미국, 독일, 일본, 중국에서 전량 수입되어 운영되고 있다.

Fig. 1의 무안 기상대에는 현재 미국 EEC 사로부터 X-band 이중 편파기능을 탑재한 도플러 레이더를 설치하여 연구용으로 사용하고 있는데, 폭설 등 탐지에 유리함을 연구결과로 보여주고 있고, 다만 이중 편파기술이 성숙되지 않은 상태에서 도입되어 현재로도 이 분야에 대한 연구는 계속 필요한 사항이다.

세계적 독과점 품목인 방재목적의 레이더는 국민의 생명과 재산을 보호하는 국가의 기본 시스템으로서 국방 장비와 같이 200~300%의 비용을 지불하더라도 자국 기술로 시스템을 구축하는 것을 원칙으로 하는 핵심요소 기술이다. 기본적으로 기술 자립을 원칙으로 하고 있으나, 외국 기술의 도입 시에도 기술제공 국가는 원천 기술 제공을 꺼려하기 때문에 기술적 자립화가 시급한 분야이다.

기상관측용 레이더에 대한 국내 학계 및 연구소의 연구개발 현황을 보면, 주로 레이더 시스템에 산출된 자료의 처리, 활용 등에 국한이 되어 연구되어 왔고, 표준화 되지 않은 시스템에 따른 연구개발의 한계에 따라 원천적으로

국내 레이더 시스템 개발의 필요성을 지속적으로 제기하고 있는 상태이다.

기상관측이 아닌 타 목적의 레이더 시스템 분야의 국내 현황을 살펴보면, 거의 국방과학연구소와 LIG 넥스원, 삼성탈레스, STX 엔진 등 몇몇 대기업 방위산업체를 중심으로 방위 시스템 기술에 국한된 레이더 연구개발이 행하여져 왔다. 따라서 기상/환경 모니터링을 위한 레이더 개발 현황은 거의 전무하다고 할 수 있다. 업체에서는 코엠 정보통신, 제아정보통신 등 현재 운용중인 레이더의 유지보수를 담당하는 국내 중소기업 및 해외 업체의 수입을 담당하는 국내 대리점들 만 존재하고 있다.

X-band 이상의 주파수를 갖은 일종의 기상레이더로 Fig. 2의 MRR(Micro Rain Radar)이 있는데, 운용 주파수는 24.1 GHz로, 소 출력(50 mW)의 Gunn 다이오드 발진기를 이용한 FMCW(Frequency Modulated Continuous Wave) 방식을 이용하고 있으며, 독일 METEK사에서 수입하여 운용되고 있다. MRR은 강우 입자의 도플러 스펙트라 값으로부터 입자의 크기와 개수로부터 입자의 낙하속도, 반사도, 강우 강도를 추출하는데, 스캐닝이 되지 않아 고정지점을 관측하는 용도로 쓰인다.

한편, 한국항공우주연구원 주관으로 개발한 Ka-band 레이더는 주목적이 전력선 탐지 등 충돌 방지 기능에 있으나, 부 기능으로 근거리 기상상태를 관측할 수 있는 기상모드를 탑재하게 개발 되었다. 주파수는 35 GHz를 사용하였고 마그네트론을 이용하여 최대출력 2.5 kW이다.

레이더는 현재까지 기상연구소와 함께 연구용 목적으로 강우탐지 실험을 하고 있으며, Fig. 3에서와 같이 4개의 안테나를 스위칭 하여 강우현상을 탐지할 수 있는 기능을 보유하고 있다.

기상/환경 모니터링용 레이더의 국내 개발은 기술적 측면에서 충분히 가능성이 있으며, 다만 국내수요만 고려하면 시장성이 적어 초기단계의 투자가 이루어지지 못하고 있는 실정이다. GPM에 쓰이는 Ku-band, Ka-band 레이더는 또한 세계적 독과점 기업에서도 상품으로 출시하고 있지 않기 때문에 같은 주파수 레이더를 사용하고자 할 경우,



Fig. 1. 무안 기상대 X-band 레이더.



Fig. 2. 강우 레이더(MRR).



Fig. 3. Ka-band 다목적 레이더.

반드시 개발을 하여야 하는 분야이기도 하다. Fig. 4는 Ka-band 다목적 레이더를 이용한 강우 측정 결과를 보여주고 있다.

마이크로파 라디오미터란 레이더처럼 전자파를 방사하여 목표물에서 반사되는 반사파를 측정하는 것이 아닌, 물체에서 바로 방사되는 마이크로파 대역의 자연 에너지(잡음 신호)를 초 광대역, 저잡음, 고감도 수신기를 이용하여 물체의 밝기 온도(Brightness Temperature)를 검출하는 장치이다.

다채널 고감도의 마이크로파 라디오미터를 이용하면, 대기 중의 밝기온도를 측정하여 cloud liquid water 측정, total integrated water vapor 측정을 통해 강우를 예측하여 기상예보의 정확성을 향상시킬 수 있고, 해양 밝기 온도를 측정하여 sea surface wind speed, sea surface temperature,

sea ice and snow cover detection을 통해 해수 온도 변화 특정을 통한 해양 측정이 가능하다. 또한 땅의 밝기온도를 통해 soil moisture, rain rate over land로 농작물의 작황을 예측하고 측정함으로써 연간 강수를 예측 할 수 있다.

선진국에서 이미 기상예측, 해양연구, 환경 감시 등에 폭넓게 사용되고 있는 것에 비해 국내의 연구개발실적은 많지 않다. 국방용 지능탄 센서 및 이미징 라디오미터 기법을 응용하여 국방과학연구소를 중심으로 조금씩 연구되고 있다.

광주과학기술원에서는 수년간 영상, 의료 등 응용을 위한 마이크로파, 밀리미터와 대역의 라디오미터 시스템을 연구해 오고 있다. Fig. 5는 94 GHz 대역의 이미징을 위해 개발한 영상라디오 미터의 모습을 보여주고 있다.

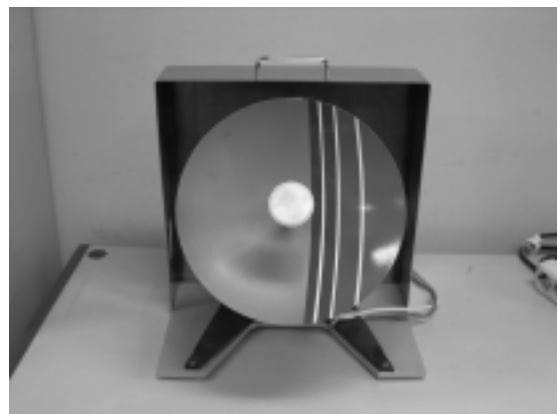


Fig. 5. W-band 영상 라디오미터.

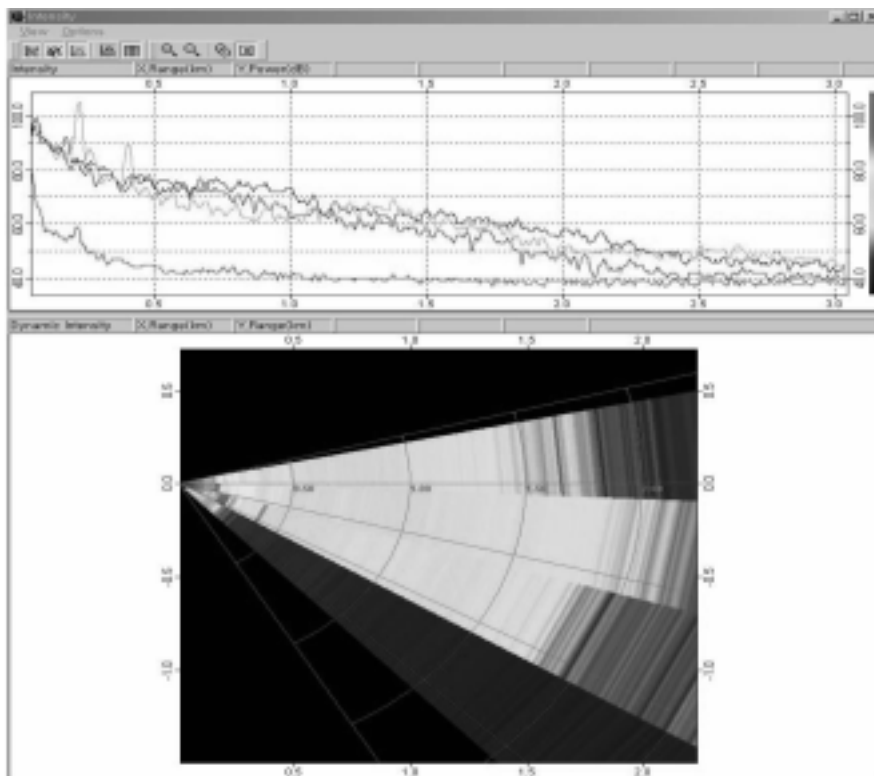


Fig. 4. Ka-band 다목적 레이더의 강우 측정.



Fig. 6. 라디오미터, DREAM.

특히 내년 발사를 목표로 하는 과학기술위성 2호(STSAT-2)에는 광주과학기술원에서 주관으로 개발한 대기 및 지구 복사에너지 관측용 마이크로파 라디오미터(DREAM: Dual-channel Radiometer for Earth and Atmosphere Monitoring)가 탑재되게 되어 개발이 완료되었다.

제작된 라디오미터는 23.8 GHz, 37 GHz의 이중 채널로 구성되어 있으며 Hot, Cold Source를 이용한 On-board Calibration 기능을 갖추고 있다. 현재 열, 진동 등 환경시험을 마치고 발사를 기다리고 있으며, 지구와 대기권의 수증기 양극과 구름속의 물 함유량 등 수치를 측정함으로써 과학기술위성 2호의 주 임무인 기상관측 수행에 핵심적인 기능을 담당하게 된다. 그 중 Table 2는 DREAM의 기본 구성 및 주요 사양이다.

따라서 라디오미터의 분야의 시스템 기술은 확보하고 있다고 볼 수 있으며, DREAM과 W-band 대역의 라디오미터 기술 등을 활용하면 레이더와 함께 강수량 산정에 있어서 좋은 데이터를 산출할 수 있을 것이다.

해양기상관측부이는 해양에서 기상 및 해상상황을 자동 관측하기 위한 장비로 부이(buoy)에 각종 기상관측센서를 설치하여 무선통신으로 육상에 실시간으로 송수신하는 기능을 가진 해상기상관측장비이다. 또한 과거에 널리 이용

Table 2. DREAM 기본 구성 및 주요 사양

| Parameter | Specification |
|-------------------------|--|
| Altitude | 300 ~ 1500 Km |
| Operation Frequency | 23.8 GHz, 37.0 GHz |
| Bandwidth | 500 MHz |
| Antenna Diameter | 115 mm(23.8 GHz) 58 mm(37.0 GHz) |
| Beamwidth | 10 degree(23.8 GHz) 10 degree(37.0 GHz) |
| Dynamic Range | 3 ~ 300 K |
| Radiometric Accuracy | < 2.0 K |
| Radiometric Sensitivity | < 0.5 K |
| Antenna Polarization | Linear Polarization |
| Look Angle | Down looking |
| Swath Width | 52.5 Km(variable) |



Fig. 7. 해양기상관측부이.

되었던 선박에 의한 해상 기상관측을 보완하기 위한 무인 해양기상관측장비이다. 실시간으로 수집되는 해상기상관측 자료는 국지적인 해상예보, 기상예보 모델 및 특보발표 기반추측업무에 기여하고 있다. 기상청에서는 현재 인천, 목포, 여수, 통영, 동해 부근에 해상에 고정 부이를 설치하여 자료를 수집하고 있다.

3. 해양 기상/환경 모니터링 분야 국외 기술현황 및 여건 전망

해양 기상/환경을 관측하기 위한 센서는 종류나 목적에 따라 방대하다고 할 수 있다. 하지만, 앞선 배경에서와 같이 최근의 GPM 프로젝트는 세계적 연구추세를 가장 잘 반영하고 있다. GPM의 핵심관측기기는 GPM Microwave Imager(GMI) 라디오미터와 Dual-frequency Precipitation Radar(DPR) 레이더로 구성되어 있다. Fig. 8은 GPM의 Swath 측정에 대한 도식이며, Fig. 9는 위성에서 DPR의 위치이다.

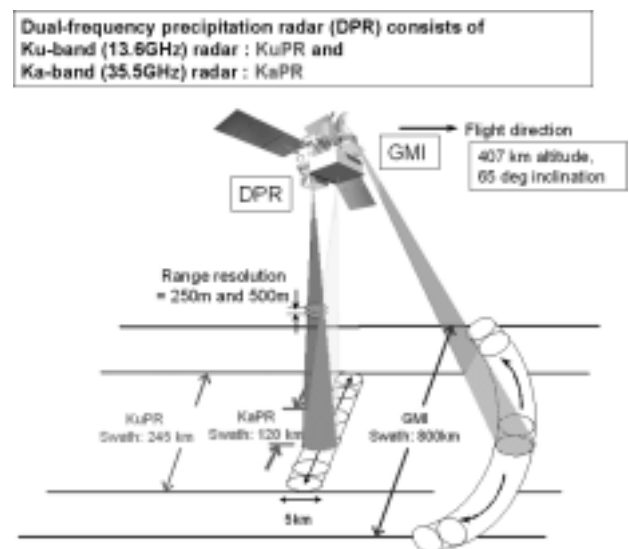


Fig. 8. GPM Swath 측정.

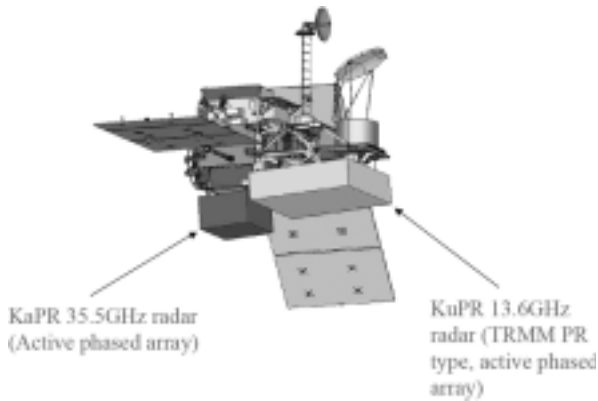


Fig. 9. DPR(Dual frequency Precipitation Radar).

DPR은 기존 TRMM의 PR(Precipitation Radar)의 업그레이드 모델로 위성에서 정확한 강우측정을 할 수 있는 레이더로 Ka-band 레이더를 추가로 삽입시켜 높은 고도에서 적은 비와 눈의 탐지에 유리하다. 또한 Fig. 10에서 보는 바와 같이 Ku-band와 Ka-band 사이에서 차등 감쇄 값(differential attenuation)에 의해 비와 눈을 구별할 수 있다. DPR의 주요 사양은 Table 3과 같다.

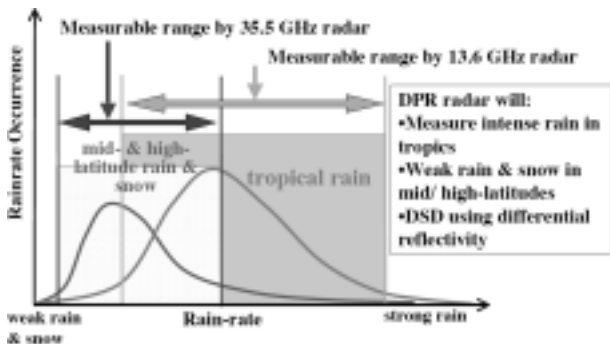


Fig. 10. DPR의 주파수와 강우탐지 범위.

Table 3. DPR의 주요 사양

| Item | KuPR | KaPR |
|------------------------|-------------------------------|--|
| Swath Width | 245 kilometers(km) | 120 kilometers(km) |
| Range Resolution | 250 meters(m) | 250/500 meters(m) |
| Spatial Resolution | 5 km(Nadir) | 5 km(Nadir) |
| Beam Width | 0.71 degrees | 0.71 degrees |
| Transmitter | 128 Solid State Amplifiers | 128 Solid State Amplifiers |
| Peak Transmit Power | 1000 Watts(W) | 140 Watts(W) |
| Pulse Repetition Freq. | 4100 to 4400 Hertz | 4100 to 4400 Hertz |
| Pulse Width | two 1.667 microseconds pulses | two 1.667 microseconds pulses in matched beams two 3.234 microseconds pulses in interlaced scans |
| Beam Number | 49 | 49(25 in matched beams and 24 in interlaced scans) |



Fig. 11. DPR Airborne 프로토타입 실험.

DPR은 위성용으로 JAXA 주관으로 개발되고 있지만, 효율성 검증을 위해 NASA에서는 California Institute of Technology의 Jet Propulsion Lab. 등과 같이 airborne prototype을 개발하였다. Fig. 11은 신호처리장치, 안테나, 그리고 실험에 쓰인 항공기를 보여준다.

Massachusetts 대학에서는 TRMM, GPM 과의 연계를 고려한 AMFR(Advanced Multi-Frequency Radar)를 개발하고 있다(Fig. 12, Table 4 참조). DPR의 주파수 외에 W-band 레이더를 포함시켜 보다 정확한 강수 연구를 위해 W-band 사양까지 포함하고 있다.

대기 해양 환경모니터링을 위해 인공위성에서 쓰이는 라디오미터는 Fig. 13과 같이 여러 주파수대역을 쓰며 종류도 다양하다.

Fig. 14와 Table 5는 GPM에 탑재되는 GMI 라디오미터의 각 채널 및 쓰이는 주파수대역 및 주요 사양을 보여준다. Fig. 15~18은 TRMM에 탑재된 라디오미터로 측정된 다양한 지구관측 모습이다.

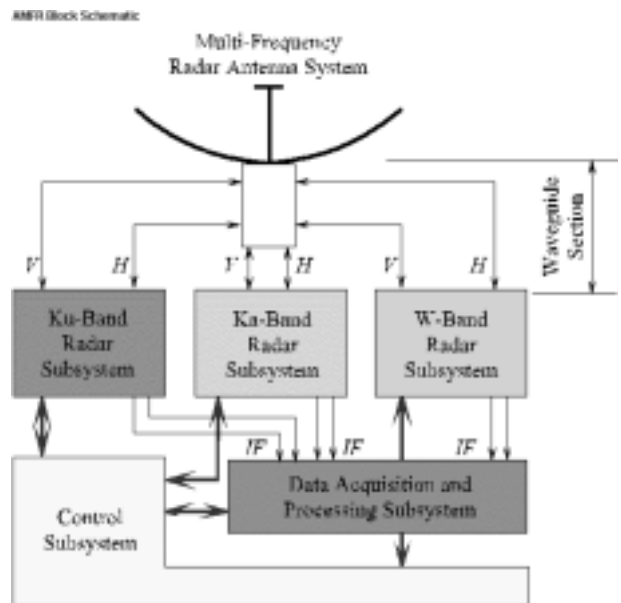


Fig. 12. AMFR 블록 다이어그램.

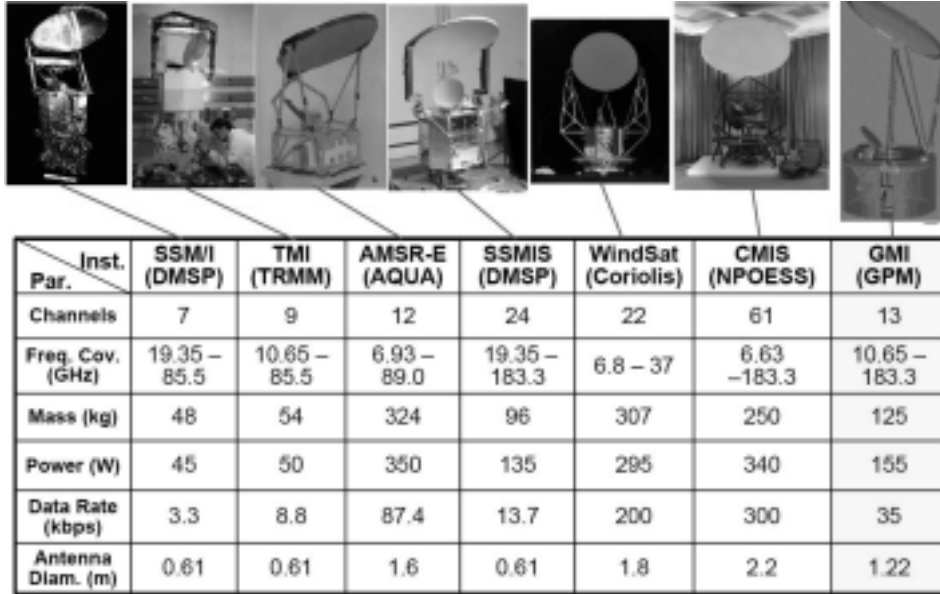


Fig. 13. 위성 탑재 라디오미터 주요 사양.

Table 4. AMFR의 주요 사양

| Parameter | Ku-band | Ka-band | W-band |
|---|----------|----------|----------|
| Frequency (GHz) | 13.4 | 35.6 | 94.92 |
| Transmitted Polarization | V or H | V or H | V or H |
| Received Polarization | V and H | V and H | V and H |
| Peak Power (kW) | 5.0 | 1.5 | 1.8 |
| Pulse Compression Gain (dB) | 19 (max) | 19 (max) | 19 (max) |
| Average Power (W) | 250 | 75 | 90 |
| Antenna | 1.8 m | 0.91 m | 0.35 m |
| Antenna Gain (dB) | 48 | 48 | 48 |
| Antenna Half Power Beamwidth | 0.75 | 0.7 | 0.7 |
| Range Resolution (m) | 30-120 | 30-120 | 30-120 |
| Minimum Detectable dBZe(R=1km, 1sec avg, 150m) | -54 | -57 | -52.5 |
| Minimum Detectable dBZe(R=10km, 1sec avg, 150m) | -47 | -50 | -47 |

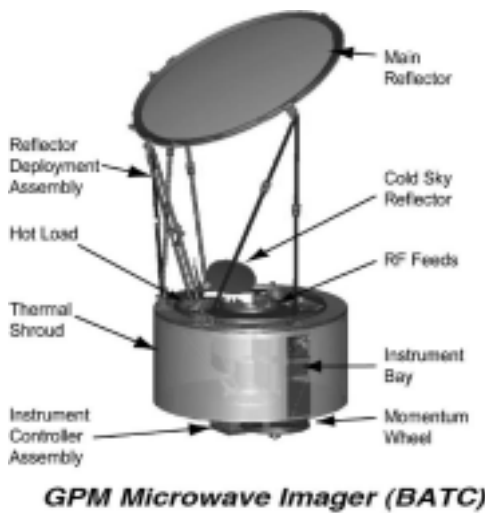


Fig. 14. GMI(GPM Microwave Imager).

Table 5. GMI의 주요 사양

| CH # | 1,2 | 3,4 | 5 | 6,7 | 8,9 | 10-13 |
|-------------------------|--|-----------------------------|----------------|----------------|----------------|---------------------------------------|
| F(c), (GHz) | 10.65 ¹ 10.65 ² | 18.7 19.35 | 23.80 21.30 | 36.50 37.00 | 89.00 85.50 | 165.5-183.31 (+/-)A,B ⁴ |
| BW (MHz) | 100 100 | 200 500 | 200 200 | 1000 2000 | 6000 3000 | |
| Int. ti (ms) | 9.7 29.8 | 5.3 14.8 | 5.0 14.8 | 2.2 7.4 | 2.2 3.7 | 2.2 |
| NEΔT (K)(per beam) | 0.60 (0.97) | 0.70 (2.06) ³ | 0.90 (1.53) | 0.55 (1.32) | 0.70 (1.02) | 1.9 |
| I FOV (km) ² | 19.6 x 32.4 | 11.2 x 18.5 | 10.0 x 16.7 | 10.7 x 16.7 | 4.4 x 7.3 | 4.4 x 7.3 |
| | 38.3 x 63.2 | 18.4 x 30.4 | 15.5 x 22.6 | 9.7 x 16.0 | 4.4 x 7.2 | |

Remarks: 1. 10.65=GM, 2. 19.35=TMI, 3. (20.0)=TRMM scaled to GM, 4. A=3, B=9

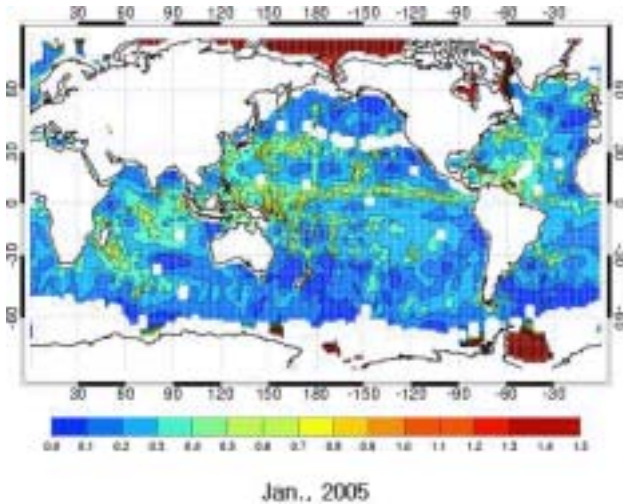


Fig. 15. Radiometer 지구관측 모습 A.
<Radiometer로 측정된 Global Liquid Water>

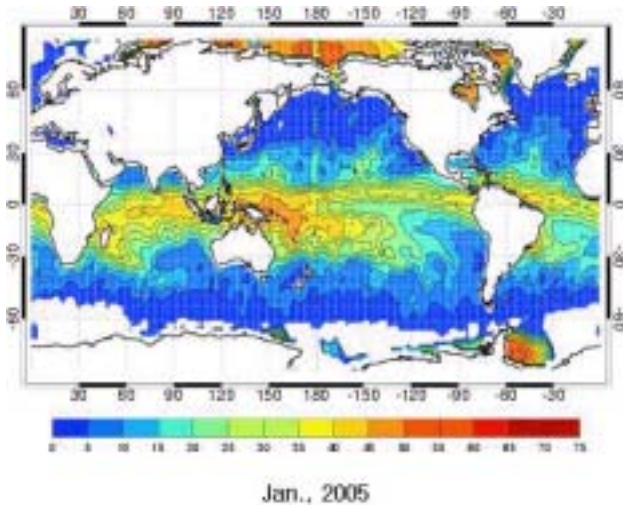


Fig. 16. Radiometer 지구관측 모습 B.
<Radiometer 로 측정된 Global Precipitation>

4. 해양 기상/환경 모니터링 분야 정부지원정책 현황

해양 기상/환경 모니터링 분야의 정부지원정책 현황은 현재 임진강유역 홍수예보를 위한 강우관측용 수문레이더 1기를 Radtec사로부터 도입하여 2000년부터 운영하고 있으며, 한국건설기술연구원에는 EEC사의 연구용 강우레이더 1기가 2004년 설치되었으며, 2004년 전국강우레이더 설치 및 홍수 예경보시스템 개선 기본계획이 수립에 관한 연구사업이 시행되어 전국 11개소에 수문레이더를 설치하여 홍수 예경보 업무를 개선하는 기본계획안이 도출되어 있으나, 해양 기상/분야에서의 레이더 활용에 관한 체계적인 연구는 현재 과학기술부, 기상청 등이 중심이 되어 통신해양기성위성을 발사 계획하고 있으며, 해양수산부를 중심으로 통합 해양방재시스템 기획연구를 완료하고 사업 추진 단계에 있다.

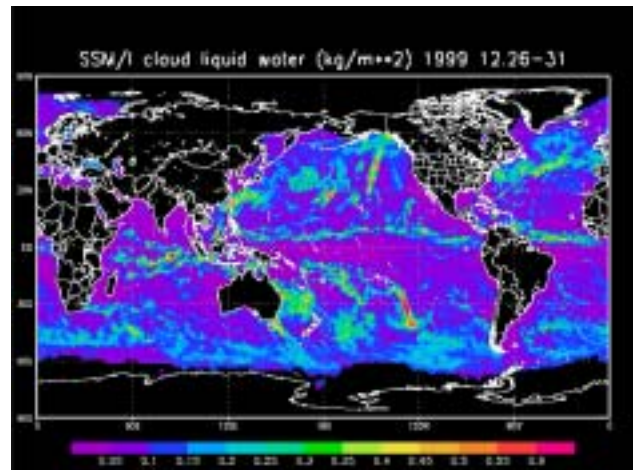


Fig. 17. Radiometer 지구관측 모습 C.
<SSM/I Radiometer로 측정된 Global Cloud Liquid Water in 1999>

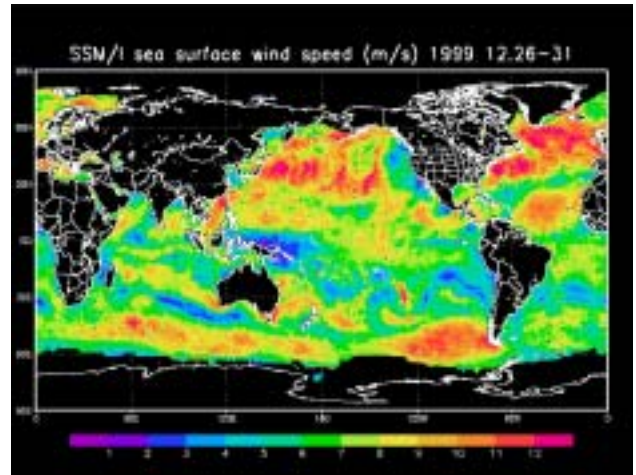


Fig. 18. Radiometer 지구관측 모습 D.
<SSM/I Radiometer로 측정된 Sea Surface Wind Speed in 1999>

5. 결론 및 제언

국내의 레이더, 라디오미터 분야에서 기본 시스템 기술은 확보되어 있기 때문에 기상/환경 모니터링 어플리케이션에 맞는 시스템 기술이 습득될 경우 세계시장에서 기존 소수국가와 독과점 지위의 경쟁력을 갖출 수 있으며, IT, 통신 기술은 이미 세계적인 기술수준에 올라와 있기 때문에 콘텐츠와 서비스에 대한 새로운 수요를 창출하는 것도 경쟁력을 가질 수 있는 기회 요인으로 작용할 수 있다.

모니터링 장치개발 시 하드웨어와 소프트웨어에 대한 Calibration 등의 영역에서는 기술력경험과 노하우가 필요한 분야이기 때문에 단기간 기술 확보를 위해서는 해외협력 절실 요구되는 분야이며, 상대적으로 높은 주파수 대역인 Ku-band, Ka-band에 대한 소재 및 부품은 가격이 높지만, 기술의 발전추이에 따라 점점 가격인하 추세여서 낮은 주파수 대역에 비해 경쟁력이 많이 떨어지지 않는

고 오히려 안테나의 크기를 줄여 전체적인 가격 경쟁력을 우위에 둘 수 있다.

끝으로 시스템 기술과 함께 필요한 소재, 부품 기술의 핵심기술 기반은 통신시스템 등 타 파급효과를 크게 가져올 수 있는 분야이므로, 환경방재 한 분야뿐만 아니라 국가 전체의 첨단 방재 시스템 구축 차원에서 적극적인 관심과 투자가 필요할 것으로 사료된다.

참 고 자 료

1. 해양수산부, 통합 해양방재시스템 개발사업 기획연구, 11, pp. 57~74(2007).