

레이더의 특성 및 활용현황



배덕호 >>
세종대학교 토목환경공학과 부교수
dhbae@sejong.ac.kr



윤성심 >>
세종대학교 토목환경공학과 박사과정
lapisis@nate.com

1. 머리말

레이더는 10분 이내의 신속한 관측능력과 관측반경이 약 240km에 이르는 우수한 시·공간적 탐지 성능으로 인하여 군사·항공·기상 분야에서 폭넓게 활용되고 있다. 특히 기상레이더는 국내외적으로 이러한 레이더의 장점을 이용하여 국지성 강우 및 집중호우를 예측하고, 이를 이용하여 홍수피해를 저감하기 위한 홍수 예경보에 널리 이용되고 있는 실정이다. 선진외국에서는 레이더 자료를 이용하여 실시간 돌발홍수예보 시스템, 하천관리 시스템을 운영하고 있다. 이제 국내에서도 레이더 자료를 활용하여 홍수예보에 활용하려는 다양한 노력이 시도되고 있다. 이에 부응하여 레이더의 특성 및 국내·외 활용현황을 간략히 소개하고자 한다.

2. 레이더의 발달사

레이더(RADAR)는 RAdio Detection And

Ranging의 약자로 목표물을 향해 전파를 발사한 후 되돌아온 전파(echo)를 분석하여 그 목표물의 여러 가지 특성을 조사하는 전파장치(electronic device)를 의미한다.

레이더는 항공기나 선박을 탐지하여 추적할 목적으로 제2차 세계대전 직전에 개발되었다. 제2차 세계대전 중에 개발된 레이더에 의해 폭풍이 포착되었으나 실제로 기상레이더의 발달은 1946년 New Jersey주의 Severe Thunderstorm 연구에서 시작되었다. 제2차 세계대전 후 전시에 사용되었던 기존 radar를 기상예보 및 연구를 위해 임시방편으로 U. S. Weather Bureau에 제공하였고 AN/CPS-9 X band radar(군사용)를 기상학적 사용 목적으로 개조하였다. 1957년에는 최초의 기상레이더인 WSR-57 S-band radar(Weather Surveillance Radar, Commissioned in 1957)가 개발되었다. 후에 WSR-88라는 도플러 레이더(Doppler radar)가 NEXRAD를 통해 개발되어 Signal processor를 통한 우박, 토네이도, microburst 등의 감지를 시작하였다. 최근의 레이더는 지속적으로 개발되어 악기상을 자동으로 탐지하여 추적할 수 있는 레이더 시스템이 개발되어 활용되고 있다.

3. 레이더의 종류

레이더의 종류는 안테나의 수에 따라 Monostatic, Bistatic 및 Mutistatic radar로 구분된다. Monostatic radar는 전파의 발신 및 수신을 담당하는 안테나가 동일한 레이더를 말하며, Bistatic radar는 전파의 발신 및 수신이 두 개의 radar로 분리되어 바람장 분석을 수행할 수 있는 레이더를 말한다.

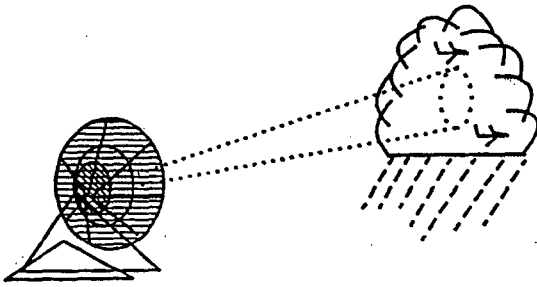


그림 1. Monostatic radar

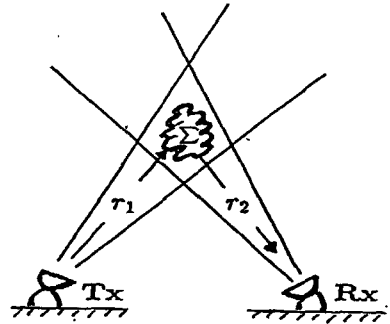


그림 2. Bistatic radar

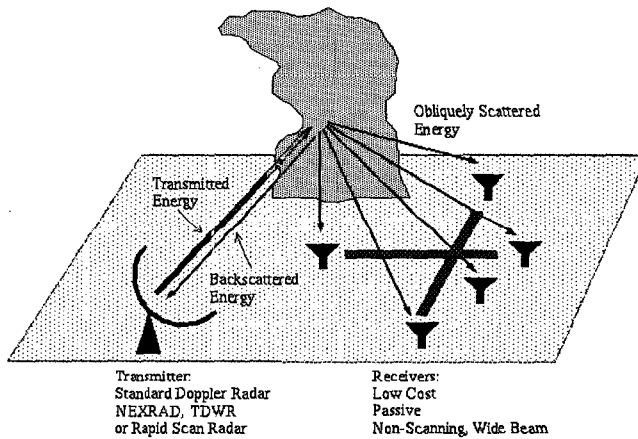


그림 3. Mutistatic radar

Multistatic radar는 여러 개의 수신기를 가지며 바람 장 분석, 기상현상의 입체적 감시, 비용절감, 지형에 의한 차폐현상이 있는 곳에 유리한 특징을 가지고 있다.

레이더의 또 다른 분류로는 CW radar(Continuous Wave radar), FM-CW radar(Frequency-Modulate Continuous Wave radar), Pulsed radar로 구분되는데 가장 간단한 형태의 레이더로 주파수의 변조없이 계속 전파를 발사하는 CW radar는 도플러 기능을 통해 이동 속도의 측정이 가능하다. FM-CW radar는 주파수 변조를 통해 물체의 이동속도와 거리의 측정이 가능하다. 기상레이더의 대부분인 Pulsed radar는 Wave pulse 이용하여 물체를 탐지하며 pulse가 짧으면서 진동수는 큰 것이 탐지에 좋다. 일반적으로 사용되는 진동수는 300MHz~3GHz 이다. 또한, 레

이더 송신 신호의 주파수와 수신 신호의 주파수를 비교하여 주파수 차이로 target의 속도를 구하고 거리를 측정하는 Pulsed Doppler radar, 파장이 서로 다른 S-band, C-band, X-band를 결합하여 연구용으로 사용되는 Dual-wavelength radar, 발신된 파와 수신된 파의 위상을 측정하여 도플러 속도를 계산하는 Coherent radar(Pulsed Doppler radar)와 Doppler shift 측정이 불가능한 Noncoherent radar(Conventional radar) 등이 있다.

4. 기상레이더

기상레이더는 발사된 전자파가 비, 눈, 우박 등의

기상 목표물에 부딪혀 되돌아오는 반사파의 신호를 분석하여, 강수구름의 위치와 이동상태, 강수강도 등을 감시, 추적하는 원격탐사 장비를 말한다. 그림 4는 기상레이더가 강수입자를 탐지하고 그 결과를 수신하여 Processor를 통해 처리한 결과를 표출하는 기본 과정을 나타내고 있다.

기상레이더는 특성에 따라 일반적으로 Conventional Radar, Doppler Radar, Polarimetric Radar, Parametric Radar로 구분되며 각 레이더 별 특성과 활용성을 다음 표 1에 정리하였다. 일반적으로 레이더에 이용되는 밴드(band)는 S, C, X, K 밴드이다. S 밴드(10cm 파장)는 강수에 의해 레이더 전파의 감쇠가 문제가 되는, 즉 호우가 자주 발생하는 지역에 사용되는 레이더에 적합하다. 따라서 S 밴드 레이더는

열대지역과 태풍, 토네이도 및 저기압이 자주 발생하는 곳에 특히 권장할 만하다. C 밴드(5.6cm 파장)는 1939~1945년 전쟁기간 동안 극소수 사용되었으나 최근에는 기상현상의 탐지 목적에 가장 적합한 것으로 판단되어 열대 지역을 제외한 지역에 설치되는 대부분 신형 레이더에 이 파장이 사용되게 되었다. X 밴드(3cm 파장)는 항공용과 해상용 레이더에서는 매우 일반적으로 이용되고 있다.

5. 기상레이더의 국외 활용현황

현재 미국의 기상레이더 활용은 전 세계를 통틀어서 가장 광범위하게 운용되고 있는 기상 레이더 시스템

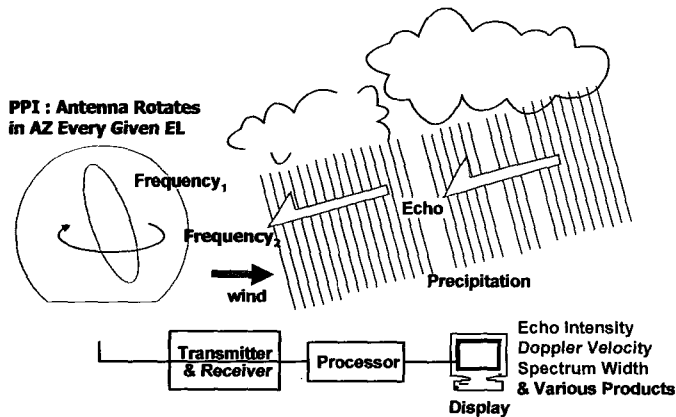


그림 4. 기상레이더의 기본개념

표 1. 기상레이더의 종류

	레이더 구분	특성	활용
1	Conventional Radar (일반 레이더)	Intensity 처리	물체의 존재 및 상대적 위치 파악
2	Doppler Radar (도플러 레이더)	Intensity 처리	Doppler 처리물체의 존재 및 상대적 위치, 물체의 운동 탐지
3	Polarimetric Radar (편파레이더)	Doppler 레이더 및 편파기능 (Polarization)	물체의 존재, 물체의 종류(특성), 물체의 위치 및 운동 탐지
4	Parametric Radar (다중파장 레이더)	파장에 따른 전파의 흡수차이 활용 C+S, S+X, C+X, C+K, X+Lidar 등	강수량 측정, 구름물리 연구 등
5	기타	SAR, TRMM 등과 같은 위성탐재 레이더	지질탐사, 열대강수관측 등

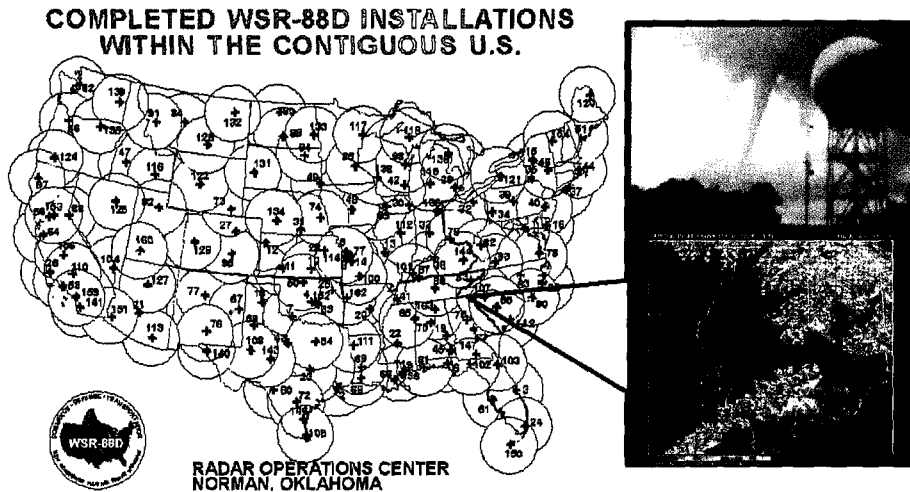


그림 5. 미국 WSR-88D 레이더 관측망 및 관측영상

템인 차세대 기상레이더 시스템(Next Generation Weather Radar System, NEXRAD)을 통해 이루어진다. NEXRAD는 미국 전역 및 세계 곳곳의 일부 선택된 지점에 약 160개의 WSR-88D(Weather Surveillance Radar 1988) 도플러 기상레이더가 운용되고 있으며 레이더의 운영 및 관리는 미국 국립기상청(National Weather Service, NWS)에서 담당하고 있다(그림 5). 또한, 레이더 자료를 활용한 하천 예보센터(RFC; River Forecast Center), 일리노이주 물조사국(Illinois State Water Survey), 캘리포니아 홍수통제센터에서 수문과 기상을 통합한 단시간 강수예보 시스템을 운영하고 있다.

캐나다, 일본, 영국 등에서는 레이더 자료를 활용하여 단시간 강수예보 및 홍수 예경보 시스템을 구축·운영하고 있다(배덕효 등, 2004). 특히 캐나다에서는 SHARP(Short-term Automated Radar Prediction) 방법과 RAINSAT 방법을 이용하여 레이더 강수를 예측하여 단시간 강수예보를 하고 있다. SHARP는 맥길 대학내에 설치되어 있는 3차원 주사 디지털 CAPPI(Constant Altitude Plane Position) 레이더 자료만을 이용하여 선형 외삽법에 의해 0~3시간 후까지의 강수를 예상하는 방법이다. 이에 비해 RAINSAT은 레이더 자료와 레이더 탐지영역 밖의 강

수정보 획득을 위해 위성자료도 함께 이용하는 단시간 강수예보 방법이다. 단시간 강수관측을 위한 레이더 관측망은 캐나다 전국에 14개소로 구성되어 있다. 각 레이더 사이트에서 관측된 5~10분 간격의 레이더 자료는 전용회선을 통해 캐나다 기상청으로 전송되어 위성자료와 지상기상 관측망(AWS)의 자료와 결합되어 활용된다.

일본의 경우 일본기상청(JMA: Japan Meteorological Agency)에서 1983년부터 생산하는 시강수량 단시간 강수예보자료(VSRF: Very-Short-Range-Forecast of precipitation)를 이용하여 집중호우, 산사태, 돌발홍수 그리고 빙하에 의한 재해 방지에 활용하고 있다. VSRF의 예보시간은 현재 3시간에서 6시간으로 개선되어 활용되고 있다. 또한 영국의 단시간 강수예보는 FRONTIERS(Forecasting Rain Optimized using New Techniques of Interactively Enhanced Radar and Satellite) 계획사업으로 추진되어 왔다. FRONTIERS는 위성, 레이더, 지상관측 자료를 이용하여 0~6시간까지의 강수 예보업무를 수행하는 것이다. 영국의 레이더 관측망은 전국에 15개의 C 밴드 레이더로 구성되어 있다. 그림 6은 영국의 주요 레이더 사이트 및 강수예보 현황을 보여 주고 있다.

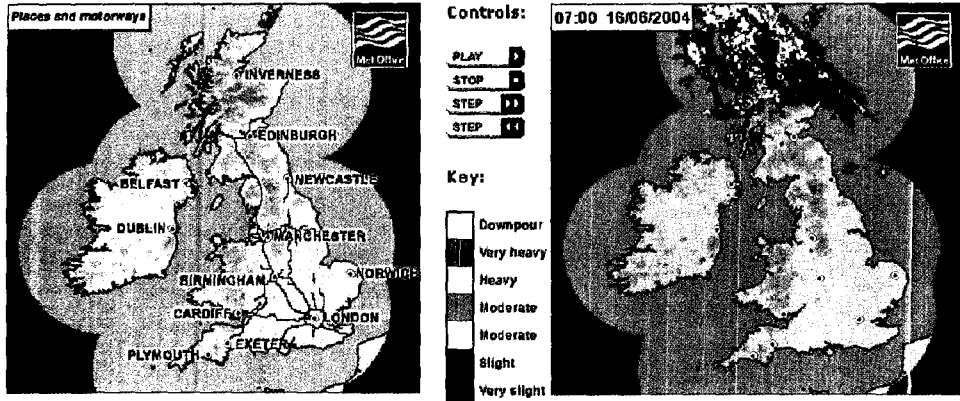


그림 6. 영국의 주요 레이더 사이트 및 레이더 강수 예보 현황

6. 기상레이더의 국내 활용현황

국내의 기상레이더 운영은 1968년 기상청에서 서울 관악산에 아날로그 타입의 S 밴드 기상레이더를 설치하여 운영한 것으로 시작되었다. 현대적인 도플러(doppler) 기상레이더의 운영은 기상청이 기상정비 현대화 사업의 일환으로 1988년 관악산의 아날로그 타입의 S 밴드 기상레이더를 신형인 미국 EEC사의 'DWSR88C'로 교체하면서 시작되었는데 1992년까지 연차적으로 제주, 부산, 동해, 군산 등에 C 밴드 도플러 기상레이더를 설치하여 총 5대의 기상레이더를 운영하면서 본격적인 도플러 기상레이더 관측망 운영이 시작되었다. 1992년부터는 5대의 레이더 관측 자료를 한 화면에 합성하여 전국적인 강우 분포상태를 표출하는 레이더 영상 합성시스템이 운영되었다. 또한, 1998년에는 기존 레이더 운영 시스템 및 소프트웨어를 현대적인 워크스테이션 및 윈도우 환경의 운영프로그램으로 교체하고 전국적인 자료합성의 품질도 향상 시켰다.

기상청은 장비 현대화 및 관측능력 향상의 일환으로 계속 기상레이더 추가 설치사업을 추진하고 있다. 2000년도에는 백령도에 최신형 클라이스트론(klystron) 증폭 방식의 C 밴드 도플러 레이더를 설치하여 중국으로부터 우리나라로 접근하는 기상현상을 감시하고 있으며, 2001년도에는 전남 진도에 S

밴드 도플러 레이더를 설치하여 우리나라로 이동하는 태풍 및 기상현상을 감시하고 있다. 그리고 2000년도에 인천국제공항이 개항됨에 따라 공항내의 악기상 감시 및 경보를 목적으로 최첨단 공항용 도플러 기상레이더(Terminal Doppler Weather Radar, TDWR)를 설치 운영 중에 있다. 또한 광덕산과 면봉산에 S 밴드 레이더를 신규로 설치하여 운영 중에 있으며 기존의 관악산 C 밴드를 S 밴드로 교체하였다.

우리나라에서 레이더의 활용은 그림 7에서 볼 수 있듯이 기상청에서 고유의 레이더 관측망을 운영하여 실시간으로 자료를 수집하고 있으며, 그림 8과 같이 레이더 원자료를 이용하여 강수를 산정하고 있다. 그러나 홍수예警보를 위한 강수량 예측보다는 바람장생산 등 타 예보기법의 보조 수단으로 활용되고 있는 실정이다. 기상청 외에도 건설교통부 등에서 홍수예警보를 위한 레이더 관측 장비를 설치·운영하고 있으나 그 성과 또한 현재로서는 미미할 실정이다.

7. 맺음말

레이더 자료는 점차 신속한 대응 능력을 요구하는 홍수예보나 수문관리 시스템의 운영에 필수적인 요소가 되고 있다. 이미 선진국에서는 레이더 자료를 이

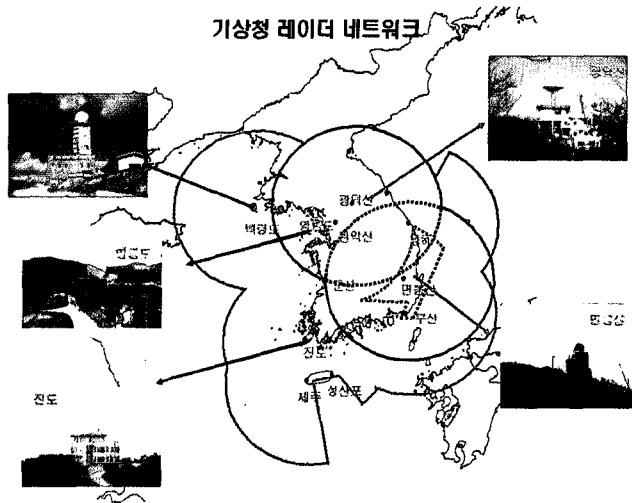


그림 7. 기상청 레이더 관측망

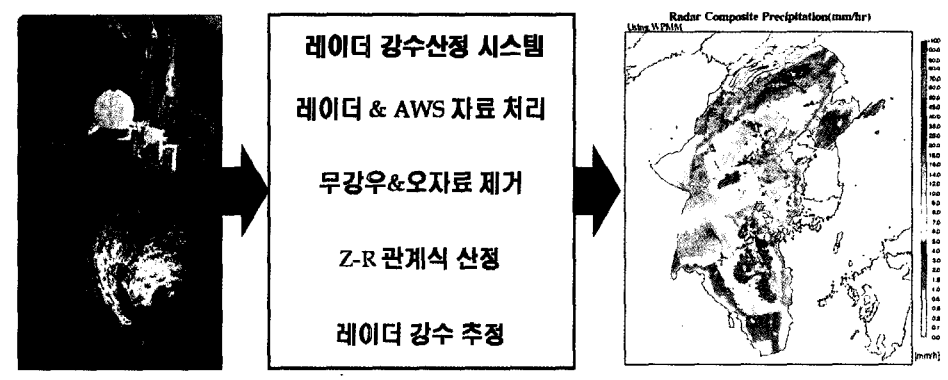


그림 8. 레이더 자료를 이용한 강수추정

용하여 강수량을 추정하고 이를 실시간 홍수예보 목적으로 활용하여 많은 인명과 재산피해를 절감하고 있다. 국내에서도 기상청에서는 지속적인 레이더 관측망 구축 및 개선사업을 통해 강수유무 및 강수량예보의 질적 향상을 가져왔으며, 건설교통부에서도 수문레이더 구축을 통해 홍수예보에 활용하고자 하는 노력을 하고 있다. 하지만 지속적으로 추진 및 개선해야 될 사항도 많다. 수자원의 제반분야에 레이더 자료 활용을 향상하기 위해서 시급히 추진되어야 할 사항들을 요약하면 레이더 하드웨어 장비의 현대화, 레이더 운영 인력 양성, 레이더 강수산정 및 홍수예보 활용을 위한 지속적인 연구개발 사업의 추진, 개

발된 기술의 현업활용 등을 들 수 있다.

참고문헌

1. 배덕효, 이정식 (2004). 도시 강우특성 조사 및 지상 강우관측 수집체계 구축, 도시홍수 재해관리 기술보고서 FFC03-06.
2. 엄원근 (1995). 레이더 기상학, 영재사.
3. 이경도 (2003). "기상 레이더 강수 추정을 통한 수문학적 해석", 석사학위논문, 세종대학교.
4. 기상청 (<http://www.kma.go.kr>).