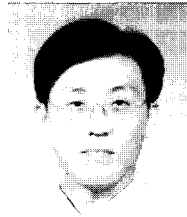


선진국 강우레이더 관측망 및 시스템 특성 소개 (II)



윤 강 훈 | 한국건설기술연구원 수석연구원

현재 세계적으로 다양한 강우레이더들이 사용되고 있으며, 제조회사나 사용기관에 따라 여러 형태를 보이고 있다. 일반적으로 강우레이더는 운영하는 기관에서 요청한 규격에 의거하여 레이더 제조회사들이 장비를 조립하고 테스트 하여 납품한다. 따라서 정형화된 레이더 시스템이 있기도 하지만 대부분의 레이더들은 조금씩의 차이를 가지고 있다.

본 기사는 전회의 미국의 시스템 소개에 이어 일본에서 현재 사용되고 있는 강우레이더 시스템 및 레이더 네트워크를 소개한다.

2. 일본 국토교통성

2.1 강우 레이더의 역사

일본은 1955년 최초로 기상레이더를 제작한 이래 현재까지 활발하게 기상레이더 및 강우레이더를 제작 및 활용하고 있다. 특히, 국토교통성(구 건설성)은 1960년부터 관동지방의 도네가와(利根川) 최상류에 건설된 건설성 후지하라(藤原)댐 관리소에서 전파의 선형 빔에 의한 레이더 우량계의 실험을 실행하였다.

1966년부터 건설성에서는 과학기술청과 기상청과의 공동연구에 의해서 하천, 댐, 도로관리를 위해 필요한 강우 정보를 광역, 또한 실시간으로 관측하기 위해서 평면주사 강우 레이더의 연구개발에 착수하였다. 1970년부터는 건설성 관동지방건설국이 단독으로 실용화를 위한 기술개발을 개시하고 1976년 아카기야마(赤城山)에 최초의 실용 강우레이더를 설치하였다. 2000년에는 사국 지방건설국에서의 타카시로야마(高城山)에 강우레이더를 완성함으로써 25년 만에 국토교통성은 26개의 강우레이더를 확보하게 되었다. 그림 4에는 일본 국토 건설성의 강우레이더 설치 위치를 나타내었으며, 표 3에는 연도별 일본의 주요 강우레이더 역사, 표 4에는 현재 일본에서 운영 중인 강우레이더의 현황을 수록하였다.

당초의 일본 강우 레이더는 에코의 위치를 방위와 거리에 의한 극좌표로서 그 강도를 휘도(intensity)의 명암으로 나타내는 한 개의 고도각각에 의한 PPI 주사방식뿐이었다. 아카기야마(赤城山)에서는 강우레이더로서의 정확도 향상을 위해 레이더 에코에서 지상의 산악이나 건물로부터의 반사파를 제거하기 위한 기술이 연구되어 강우강도를 산출하는 시스템이 확립되고 순차적으로 일본내의 각 레이더 사이트에 구축

되었다. 또한, 레이더의 기기 개발과 레이더 데이터 처리 등의 기술분야는 눈부신 진전을 했으며, 미야마(深山)에서는 레이더에 의한 강우역의 주사방식도 다중 고도각에 의한 PPI 주사를 하는 CAPPI 주사방식이 채용되어 3차원적인 강우역 자료를 관측할 수 있

게 되었으며, 단시간으로 수직방향까지 광범위한 영역을 측정하는 시스템도 구축하고 있다.

1986(소화 61)년 건설성 토목연구소가 이중편파 도플러 레이더의 연구개발을 개시해서 1992(평성 4)년 즈음에는 기초적 연구단계에서 실용화 단계가 되었

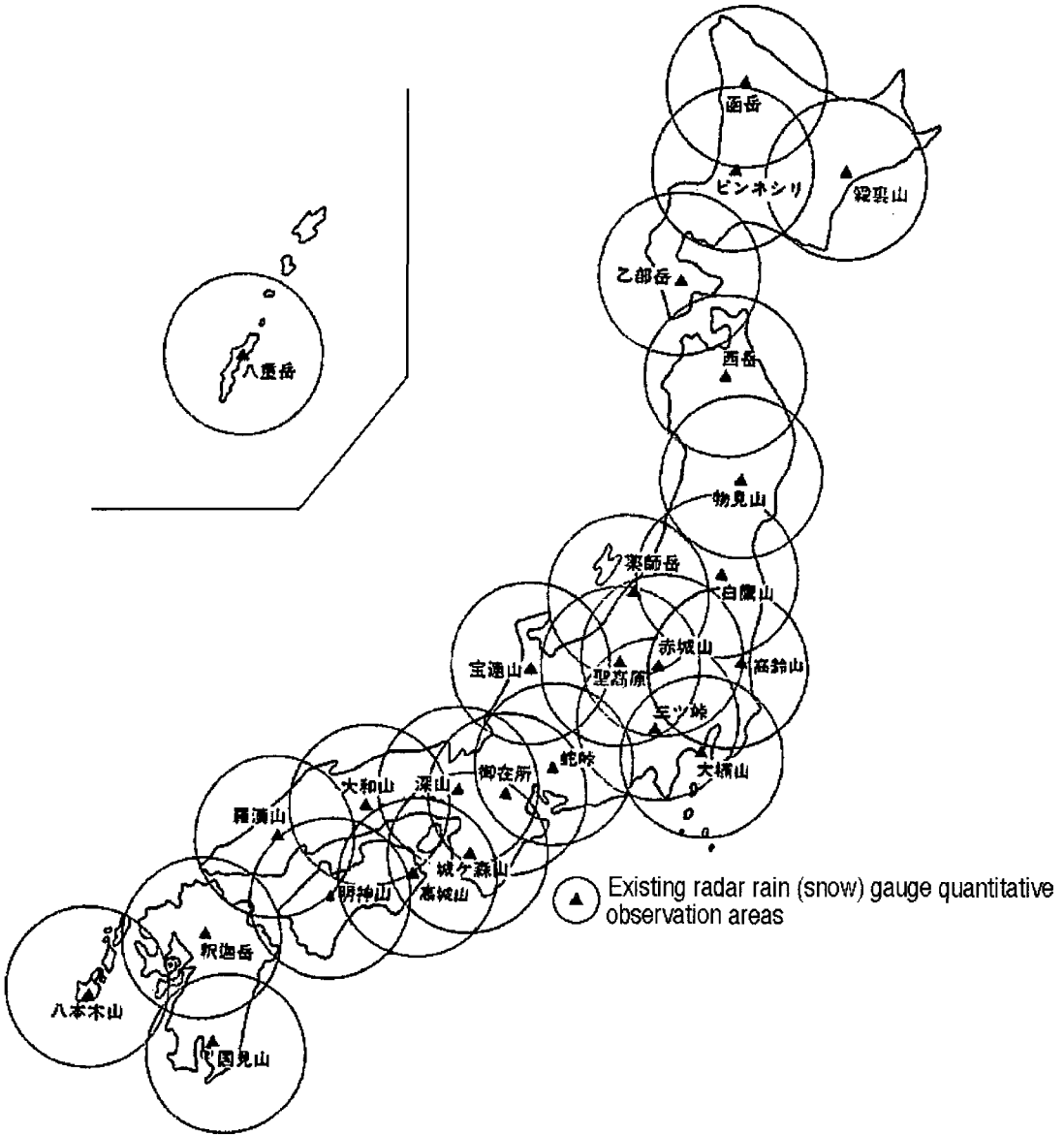


그림 4. 일본 국토건설성 강우레이더 설치 위치

표 3. 일본 강우레이더 관련 주요 역사

연 도	특 징
1960	건설성 후지하라(藤原)담 관리소에서 선(線) 강우레이더 실험
1966	건설성 아카기야마(赤城山) 강우레이더에 의한 평면우량측정의 실험개시
1967	아카기야마(赤城山) 강우레이더에서 과학기술청의 특별연구조사비(3개년)로 조사 개시(과학기술청·기상청·건설성·강우레이더 제작회사)
1970	건설성이 단독으로 아카기야마(赤城山) 강우레이더의 실용화를 위한 기술개발을 계속
1976	아카기야마(赤城山) 강우레이더를 완성해서 실용화운용을 개시
1979	큐슈(九州)지방으로는 처음으로 샤카타케(釋迦岳)에 강우레이더 설치
1981	킨키(近畿)지방으로는 처음으로 미야마(深山) 강우레이더를 설치
1983	중부지방의 고자이소(御在所), 사국지방의 묘진야마(明神山)에 처음으로 강우레이더를 설치
1985	오키나와(沖縄)지방으로는 처음으로 야에티케(八重岳) 강우레이더를 설치
1986	동북지방의 모노미야마(物見山), 북륙지방의 호다츠야마(穗達山) 및 중국지방의 라칸야마(羅漢山)의 각지방에서 처음으로 강우레이더를 설치
1986	건설성 토목연구소에서 이중편파 도플러 레이더 실험개시
1987	홋카이도(北海道)지방에서는 처음으로 핀네시리에 강우레이더를 설치
1991	큐슈(九州)서부국에서 강우레이더를 오도열도 八本木山에 설치
1994	샤카타케(釋迦岳)이중편파 레이더를 완성해서 관측개시
2000	미야마(深山)레이더 우량관측소에서 도플러 레이더를 완성해서 관측개시
2000	사국의 타카시로야마(高城山)에 강우레이더가 완성해서 건설성 레이더 우실량계 관측망이 완성(전 26기)

다. 1995(평성 7)년에는 샤카타케(釋迦岳)에 세계 최초로 이중편파 레이더가 도입되었으며, 미야마(深山)에는 2000(평성 12)년 도플러 레이더가 도입되었다.

2.2 강우레이더 시스템 개요

일본 국토 건설성에서 사용하고 있는 강우 레이더의 시스템은 구조상 강우관측을 위해 최적화된 시스템이며 대부분의 경우 도플러 기능이 없는 일반 기상

레이더이다. 전국 26기의 강우 레이더 중 2곳은 도플러 기능(미야마 레이더)과 이중편파 기능(샤카타케 레이더)을 갖추고 있다.

송신기는 모두 C 밴드 마그네트론 출력관을 사용하고 있으며 출력은 약 250KW의 침투출력을 가지고 있다. 안테나 이득은 약 42dB, 빔폭은 약 1.1°이다. 표 5에는 현재 일본 국토건설성에서 운영되고 있는 레이더 시스템의 하드웨어적인 일반 특성을 정리하였다.

표 4. 현재 운영 중인 일본의 강우레이더 현황

번호	지역	사이트명	제조회사	밴드	운영 개시년도	비고
1	Hokkaido	Pinneshiri	JRC	C	1987	-
2		Otobedake		C	1990	-
3		Muriyama		C	1992	-
4		Hakodake		C	1994	-
5	Tohoku	Monomiyama	MITSUBISHI	C	1987	-
6		Shiratakayama		C	1988	-
7		Nishidake		C	1989	-
8	Hokuriku	Houdatusan	TOSHIBA	C	1986	-
9		Yakushidake		C	1987	-
10		Hijirikougen		C	1996	-
11	Kanto	Akagisan	TOSHIBA	C	1976	-
12		Mitsutouge		C	1979	-
13		Ogusuyama		C	1994	-
14		Takasuzusan		C	2000	-
15	Chubu	Gozaisho	JRC	C	1983	-
16		Jyatouge		C	1986	-
17	Kinki	Miyama	MITSUBISHI	C	1981	도플러
18		Jyogamoriyama		C	1986	-
19	Chugoku	Rakanzan	TOSHIBA	C	1986	-
20		Owasan		C	1993	-
21	Shikoku	Myoginsan	JRC	C	1983	-
22		Takashiroyama		C	2000	-
23	Kyushu	Shakadake	TOSHIBA	C	1979	이중편파
24		Kunimiyama		C	1983	-
25		Hachihongiyama		C	1985	-
26	Okinawa	Yaedake	TOSHIBA	C	1985	-

표 5. 일본 국토건설성 강우레이더 시스템의 일반 특성

항목	특성	비고
송신기 유형	마그네트론	-
송신출력	첨두 출력 250KW	-
안테나 크기	4.2m	-
안테나 이득	43dB	-
안테나 회전속도	최대 6rpm	평상시 5rpm으로 운영
수신기 유형	수퍼 헤테로다인(아날로그 수신기)	I/Q 비디오 없음
비디오 프로세서	아날로그 신호 처리기	Intensity 만 처리
지형에코 제거	MTI 방식	-
펄스반복주파수	200~500PRF	-
샘플링 수	30~60	-
펄스 폭	0.5~1.2μsec	-
관측범위	200~300km	-
관측주기	5분, 24시간 연속	-

현재 일본의 레이더를 이용한 강우관측 활동 및 강우레이더 운영 현황을 조사하여 다음과 같이 정리하였다.

(1) 온라인 캘리브레이션

강우레이더는 상공의 우적을 대상으로 하고 있기 때문에 지상우량과의 사이에 관측오차가 생긴다. 이것을 해결하는 캘리브레이션은 지상의 기준 텔레미터 우량관측소마다 강우레이더와 지상우량과의 비를 구해서 레이더 우량을 축차 보정해 가는 것으로서 격자단 위에서 정확한 면적우량의 해석, 산출하는 것이다. 온라인 캘리브레이션은 우량 환산 정수인 B, β 등을 유역내의 다수 지상우량계 자료를 사용한 실시간 축차보정을 통해 정확한 면적우량을 추정하는 것으로 각 레이더 우량 관측소에서 정도향상을 위해 채택되고있다.

(2) 레이더의 정도검증 - 강우레이더의 관측정도 평가

- 지상 격자 우량에 의한 방법 : 강우레이더의 강우강도 관측정도를 평가할 경우 지상우량계와 레이더 격자 우량을 비교해서 통계적으로 해석하는 방법으로 현재 가장 많이 활용되고 있다.
- 유역 평균우량에 의한 방법 : 유역 평균우량은 통상적으로 유역을 100~200km²로 분할하여 티센법으로 구한다. 지상우량계에서 구한 유역 평균우량과 강우레이더에서 구한 유역 평균우량을 비교하여 통계적으로 해석하는 방법으로 실용적인 면에서 많이 활용되고 있다.
- 지상 우량계와의 상호 비교 : 강우레이더는 비에 의한 방재정보로서 지상우량계와 같은 취급을 할 수 있는 것이라는 것, 그리고 지상우량계와의 캘리브레이션 등을 통해 이용방법도 일원화하는 것이 필요하다. 레이더우량과 지상우량의 사이에 차가 발생한 경우에는 상호 비교를 통해 이상 원인을 발견하여 이를 수정하고 있다.

(3) 온라인에 의한 데이터베이스화

자료의 데이터베이스화에 대한 필요성은 점점 더 증가하고 있다. 관측된 레이더 우량관측 데이터는 각종 관측 조건, 레이더 정수와 기상정보, 하천에 관한 정보 등과 함께 온라인에 의한 데이터베이스화를 통해 데이터의 손실을 막고 앞으로의 데이터 해석, 현상의 재현 표시 등에 대응한다. 귀중한 레이더 우량 데이터를 영구적으로 보존하여 활용하기 위해서 데이터베이스화는 기록매체를 CD-R이나 DVD 처럼 변화가 거의 없는 범용성이 높은 것을 이용해야 한다.

데이터 제공 요청이 앞으로는 점점 더 늘어가므로 보존된 데이터 중에서 언제라도 온라인에 의한 검색 기능으로 필요한 기간의 데이터를 추출하는 등 검색을 간단하게 할 수 있는 시스템이 요구되며 인터넷 등을 통한 검색과 이용 기능을 추진하고 있다.

(4) 레이더 정보의 공유화와 공개

현재 국토건설성의 강우레이더는 거의 국내 전역을 관측 범위로 하고있다. 이러한 정보는 하천관리 정보, 댐 관리정보, 그리고 도로관리정보로써 5분 간격으로 최신정보가 전송되어 일상의 관리나 수방체제의 조기확립 등 강우정보의 파악에 의한 업무수행에 대단한 성과를 얻고 있다. 각 강우레이더의 안정적인 운용에 의해 레이더 우량관측정보는 국토교통성 뿐만 아니라 지방자치체와 함께 공유화하며 일반국민에게도 인터넷, 휴대전화에 의해서 일반 공개되고 하천, 댐, 도로 및 급경사지대 등에서의 관리나 레저에 큰 공헌을 하고 있다.

(5) 소형 강우레이더의 활용

관측반경 120km의 표준 강우 관측용 레이더는 넓은 영역을 효율적으로 관측할 수 있지만 차폐물이 큰 지역이나 레이더 관측범위의 경계부근에서는 레이더 빔의 상승에 따라서 정확도가 극단적으로 저하하는 지역도 존재한다. 이 때문에 한정된 소지역에서는 안

테나의 지름을 작게 하여 관측범위를 좁게한 관측반경 60km의 소형 레이더가 유효하다. 지고도에서 발생하는 지형성 강우 등 좁은 범위에서 조밀한 격자관측이 필요한 지역에 대하여 소형 레이더는 특히 유용하다. 큐슈(九州) 관내에서는 사쿠라지마(櫻島)와 후겐다케(普賢岳)의 토사류 재해에 대한 방재수단으로써 소형 강우레이더가 국지적 강우의 관측 및 감시에 이용되고 있다.

2.4 소형(안테나 직경 1.5m 이하) 레이더를 이용한 강우관측 활용 예

일본에서는 풍수해 즉 강우에 의한 재해가 굉장히 빈번히 일어나고 그 피해도 막대하다. 이러한 이유로 전 국가적인 차원에서 강우관련 측정 장비 및 강우예측에 큰 투자를 하고 있다. 국토건설성에서 운영하고 있는 레이더는 강우관측 전용 레이더로 홍수예경보 업무에 지대한 역할을 하고 있다. 그러나 전국적으로 설치된 26대의 강우레이더 관측망이 강한 강우 관측에 큰 역할을 하고는 있으나 가끔 국지적으로 발생하는 아주 작은 규모의 강한 강우를 놓칠 때도 있다. 이것은 복잡한 산악지역의 작은 계곡에서 자주 발생하는 것으로 이것을 사전에 감지하고 예방하기 위하여 소형 레이더를 적극적으로 활용하고 있다.

소형레이더는 관측범위가 좁고 강한 강우에 의한 감쇄가 강하지만 대형 강우 레이더로 관측이 되지 않는 소규모 사각지역을 관측하는 데는 매우 유용하다. 또한, 강우량 정확도 향상이나 레이더 관측망 캘리브레이션에 있어서도 매우 중요한 역할을 하고 있다.

(1) 강우에 의한 감쇄현상 연구

일반적으로 X, C, S 밴드 레이더의 강우에 의한 감쇄 특성은 X 밴드가 가장 심한 감쇄를 겪는다. 이는 X 밴드의 파장이 3cm 정도로 짧아 강한 강우에서는 큰 강우 입자에 의해 흡수가 많이 되기 때문이다.

동일한 강우에 대하여 C 밴드와 X 밴드로 관측을 하면 이러한 감쇄 특성 차이로 인한 관측값의 차이를 볼 수 있다. 이러한 관측값의 차이와 레이더 방정식에 의한 산란 이론을 적용하면 강우강도 및 강우특성을 분석할 수 있다. 밴드, 안테나의 크기, 출력의 크기에 의한 감쇄 분석은 현재 세계적으로 활발히 이루어지고 있으며 강우량 관측 및 강우발달 구조의 연구에 매우 중요한 역할을 한다.

(2) Z-R 관계식의 계수 조정 연구

레이더로 관측한 반사도와 지상강우량과는 수학적으로 유일한 관계식이 존재하지 않는다. 따라서, 이 두 물리량을 경험적으로 관련 짓기 위해 시도해 왔고, 현재도 그 형태 개선에 활발한 연구 투자를 하고 있다. 이 경험식은 일반적으로 Z-R 관계식이라 부르는 지수형태의 관계식이다. Z-R 관계식은 강우 입자의 크기 분포에 민감한데, 강우 입자의 크기 분포를 설명하는 파라메타가 Z-R 관계식의 계수와 이다(일본에서는,로 명명한다). 이 두 계수는 레이더로 관측한 반사도와 지상관측 강우량을 비교하여 통계적으로 산정되는 계수이다. 동일한 강우에 대해서도 X 밴드와 C 밴드로 관측한 반사도 값이 다를 수 있으며 이러한 차이를 여러 강우에 대하여 통계적으로 분석하면 Z-R 관계식의 두 계수와에 대한 이해를 높일 수 있고, 더 정확한 Z-R 관계식을 도출해 낼 수 있다. 다르게 표현하자면 더 정확한 레이더 강우량을 산출해 낼 수 있다는 것이다.

(3) 레이더 관측망 캘리브레이션 연구

여러 대의 레이더가 하나의 관측망으로 묶여 전국적인 강우관측망을 구성할 때 지역적으로 레이더 강우량을 계산하기 위한 Z-R 관계식의 설정이 중요하다. Z-R 관계식은 지역, 계절에 따라 큰 변동을 가지므로 레이더 관측망이 다소 넓은 위도지역에 걸쳐 있으면 각 레이더 사이트마다 다른 Z-R 관계식을 사용

하여야 한다. 이러한 관측망에서 각각의 레이더 사이트에 사용할 적정 Z-R 관계식을 설정할 때 소형 레이더로 관측한 자료와 비교에 의해 산정된 Z-R 관계식을 사용하면 매우 효율적이다. 이러한 방법을 사용하면 전국적인 레이더 관측망의 강우량 측정 캘리브레이션이 효율적으로 이루어 질 수 있다.

(4) 강우구름의 발달 연구

소형 레이더는 대형 레이더에 비해 감쇄가 심한 단점이 있지만 한편으로는 강우발달 과정에 있는 강우구름의 발달 특성을 연구하는데 매우 유용하다. 현재 전 세계적으로 볼 때 대부분의 기상 수문관련 연구소 및 실무부서에서는 소형 레이더를 이용한 강우발달 연구를 활발하게 추진하고 있다. 또한, 이러한 강우구름의 발달 연구는 단시간 강우예측과 관련되는 중요한 연구이다.

전술한 바와 같이 일본에서는 소형 레이더를 강우 관측, 강우연구 및 레이더 관측망 캘리브레이션 등에 매우 유용하게 활용하고 있다. 우리나라에서도 향후 홍수예경보 업무를 위한 레이더 관측망 구성을 위해 이와 같은 소형 레이더를 적극 활용하면 좋은 성과를 얻을 수 있으리라 판단된다.

호우, 악성 스톰 등은 그 발생 주기가 매우 빠르고 규모도 적어 기존의 종관 관측망으로는 관측하기가 어렵다. 그러나 레이더로는 이러한 국지성이 강한 강우 현상을 관측하기가 매우 용이하고, 또한 관측 자료로부터 강우 및 바람 자료등과 같은 유용한 자료를 쉽게 추출할 수 있다.

강우레이더가 실용화된 이래 세계 여러 나라에서는 앞 다투어 그 활용 기술을 개발하고 기상예보 및 수문업무에 이를 이용하고 있다. 특히, 기상학이 발달한 유럽에서 레이더를 수문업무에 활용하는 연구 및 실무화가 활발하게 추진되었고, 현재 효율적인 관측망이 구성되어 활용되고 있다. 특히, 유럽에서는 1973년 유럽 연합 국가들이 COST-73 프로젝트를 수행하여 유럽 내의 모든 가용한 레이더를 네트워크로 묶어 활용하고 있으며 공동 투자로 새로운 레이더 네트워크를 확충해 나가고 있다. 현재 유럽 내에서 레이더를 활발히 활용하고 있는 나라로는 영국, 독일, 프랑스, 이탈리아, 스위스, 네델란드 등을 들 수 있고 근래에는 베네주엘라, 터키, 그리스 등지에서도 레이더 관측망을 구성하고 있으며 대부분의 나라에서 레이더를 이용한 중규모 악기상 연구 및 예보에 적극성을 보이고 있다.

감사의 글

본 기사는 건설교통부 수자원국의 학술연구용역인 “전국강우레이더 설치 및 홍수예경보시스템개선 기본계획 수립”을 통하여 이루어졌으며, 지원에 감사합니다.

3. 기타 선진국의 강우레이더 활용

강우레이더는 한 지점에서 넓은 지역의 강우상황을 매우 높은 시공간 해상도로 관측한다. 특히 집중

참고문헌

1. 건설교통부(2002), 전국강우레이더 설치 및 홍수예경보시스템개선 기본계획 수립, pp 386 -394