

# 수문레이더를 이용한 임진강유역 홍수예경보시스템 구축

이 명 섭 (한국수자원공사 품질관리실장)

## I. 머리말

임진강유역을 비롯한 경기북부 지역은 매년 홍수때마다 막대한 피해를 입고 있는 수해상습지역으로 '96년, '98년에 이어 올해에도 어김없이 피해를 입었다.

이 지역에 홍수피해가 빈번히 발생하는 이유는 예기치 않은 집중호우와 더불어 임진강 유역면적 8,175km<sup>2</sup>중 군사분계선(DMZ) 이남지역이 3,008.7km<sup>2</sup>이고 북한지역이 전체의 63%를 차지하고 있는데 북한지역인 상류측에 홍수조절용 댐이 없기 때문이라 할 수 있다. 더욱더 답답한 것은 북한지역의 강수량 등과 같은 수문관측자료를 실시간으로 취득·이용하기가 불가능하여, 상류에 위치한 북한지역 유출량의 사전 파악이 어려운 관계로 피해가 늘어났다고 할 수 있다.

이러한 유역의 특성을 반영하여 정부에서는 선진 외국에서 수문관측 및 홍수예경보에 활용되고 있는 레이더를 설치하여 북한에 위치한 유역의 강수량을 실시간으로 관측하고, 기존의 수문 관측 시설과 연계한 최적의 홍수예경보 시스템을 구축하기 위하여 수문레이더 설치를 추진하고 있어, 본 기고를 통해 이를 소개하고자 한다.

## II. 레이더를 이용한 수문 관측

### 가. 레이더 관측의 원리

레이더가 고출력의 초단파 에너지(High-power microwave energy)를 안테나로부터 대기중에 있는

강우, 강설과 구름 등에 발사하여 목표물에 부딪혀 되돌아오는 반사파(echo pulse)를 안테나로 수신한다. 이러한 이유로 레이더는 관측하려는 방향으로 산, 건물 등과 같은 장애물이 없는 열린 공간에 설치하여야 한다.

레이더 방정식에 의하면 수신된 에코 시그널의 강도는 강우강도와 비례적인 관계가 있는데, 이 관계를 이용하여 수신된 에코 시그널은 전처리과정을 거쳐 강우강도 데이터로 처리되어 이해하기 쉽게 지도와 그래프 등으로 스크린에 표시하거나 유출량 예측을 위한 입력자료로 이용된다.

### 나. 기상레이더와 수문레이더

기상레이더는 관측범위 내의 강수 구름을 포착, 이 강수구름의 동태를 추적하여 게릴라성 집중호우 등과 같은 단시간 기상예측에 활용하는 반면, 수문레이더는 강수구름 자체보다는 지상에 직접 떨어지는 강수 입자를 포착, 하천유역의 면적강수량 산정 및 단시간 강우를 예측하여 홍수예경보 업무에 활용하는 것으로서 기상레이더와 수문레이더는 관측하는 방식이 서로 상이할 뿐만 아니라 관측자료를 처리하는 S/W도 근본적으로 다르다.

구분	기상 레이더	수문 레이더	비고
목적	· 기상예보 보조자료 제공	· 단기간 강우예보 · 유역강수량 산정	
출력자료	· 상층풍, 구름높이 등 예보 보조자료	· 유역강수량자료 · 단시간 강우량 예측 자료	

## 다. 국내외 기상레이더 운영 현황

### ① 한국

현재 우리 나라에 기설치되어 운영 중인 수문레이더는 전무한 실정이며, 기상청에서 단시간 집중호우 등 기상예보에 활용하기 위해 운영중인 5기와 비행장 부근의 단시간 기상예보를 위해 공군에서 설치·운영하고 있는 7기의 기상레이더가 전부이다. 기상 레이더는 발사된 전자파가 강우 입자에 부딪쳐 되돌아오는 반사파를 수신함으로써 강우 구역, 강우 강도, 상층 풍계의 탐지, 집중호우 관측은 물론 태풍의 이동까지도 추적할 수 있다. 우리 나라는 1968년 관악산에 S-Band 레이더가 설치되면서 레이더 관측이 시작되었다. 그후 기상청에서는 1988년 기상 장비 현대화 사업의 일환으로 관악산 기상 레이더를 신형(DWSR88C)으로 교체하고 연차적으로 제주, 부산, 동해, 군산에 도플러 레이더를 설치하여 1992년부터 5기의 C-Band 레이더로 그림 1.과 같이 전국적인 레이더 관측망을 갖추게되었으며, 백령도에 2000년 완공을 목표로 기상레이더 1기를 설치할 계획으로 있다.

기상청의 레이더는 강우 예코의 수평 분포와 수직 구조의 영상 표시, 도플러 기능에 의한 풍계 탐지, 실시간 영상 전송 등의 기능을 갖추고 있다. 그러나 기상청 현업 레이더 시스템의 주요 목적은 강우역의 위치와 이동상황을 파악하여 단시간 강우 예보를 하는 것이므로 홍수예경보시스템 구축을 위하여 필수적인

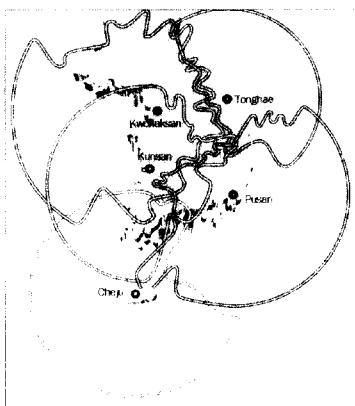


그림 1. 기상청 레이더 관측망

누적 강우량 산출 등 정량적인 강우량 산정은 하지 않고 있다.

### ② 미국

#### □ 미국 기상청 (National Weather Service)

미국 기상청은 기상업무 외에도 홍수예경보를 담당하고 있다. 일반적으로 각 주의 지방기상청(National Weather Service Forecast Office)에서 홍수예경보를 하고 있으며, 하천예보센터 역시 홍수예경보를 하고 있다.

홍수예경보 등 수문 예보에 필요한 강우량 및 수위 관측자료는 다양한 방법에 의해 수집되고 있는데 기상청 수문관측의 대부분은 자원 봉사자들에 의해 수행되고 있다. 자원봉사자들은 하천의 상태와 강우량에 대한 관측 결과를 매일 지방 기상청(Weather Service and Forecast Office)과 지방기상대(Weather Service Office)에 보고한다. 이러한 관측 자료들은 지역 하천예보센터에 전달되어 수문 예보의 기초자료로 이용된다.

미국은 유역이 넓어 관측 범위 등을 고려, 기상레이더를 활용하여 홍수예경보를 수행하고 있으며, 최근 기상청은 미국 전역에 130기 이상 설치되어 운영중인 차세대 레이더 시스템(NEXRAD)에 의해 시공간적으로 높은 해상도를 가진 강우량 자료를 하천예보센터에 제공하고 있으며, 이러한 강우량 자료를 이용한 새로운 홍수유출모형을 개발하여 홍수예경보에 활용하

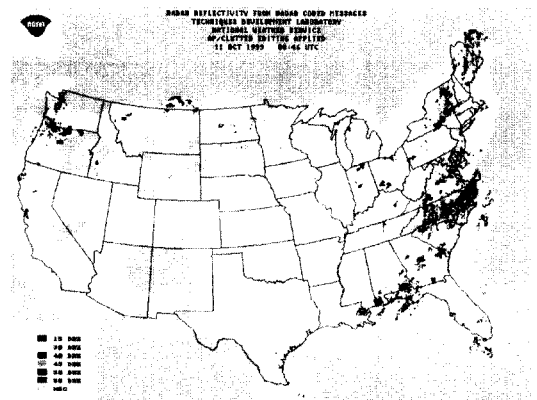


그림 2. 미국의 기상레이더 분포도

고 있다.

③ 일본

일본은 1947년 도쿄를 가로지르는 도네가와(利根川) 유역의 홍수로 인하여 1100여명이 사망하는 등 큰 피해를 입은 것이 원인이 되어 댐 건설을 추진하는 한편, 홍수 피해를 최소화하기 위하여 1985년 9개의 지방 센터와 함께 도쿄에 하천정보센터를 설립하여 운영하여 왔다.

일본의 수문관측 시스템은 모든 것을 건설성에서 주관하고 있으며, 기상청의 예보를 이용하고 있을 뿐이고 기상청과는 직접적으로 관련되어 있지 않다. 건설성은 기상청에서 운영하고 있는 기상레이더 20기와는 별도로 하천관리를 위한 26개의 강우관측용 레이더와 2,535개의 우량관측소, 2,149개의 수위 관측소를 운영하고 있는데 여기에서 생산되는 모든 자료의 유통을 하천정보센터에 넘겨주고 있다. 우량 및 수위 관측소의 94% 정도가 무선으로 자료 송수신이 이루어지고 있다. 하천정보센터에서는 건설성에서 넘겨받은 자료를 정리하여 정보를 원하는 고객에게 단말기를 설치해주고 약 50여 종류의 각종 정보를 제공한다. 이 정보에는 5분 간격의 26개 레이더들의 합성 자료가 포함되어 있으며 관측 범위는 그림 3.과 같다.

Ⅲ. 임진강 유역 수문레이더 설치 공사

가. 개요 및 필요성

지난 '96.7.28~30까지 임진강유역을 비롯한 경기 북부지역에 기상청 관측으로 일평균 268.1mm(철원기상대)의 기록적인 집중호우가 발생하여 산사태, 홍수 등으로 89명의 인명과 5,383억원이라는 막대한 피해가 발생하였다. 3일 동안의 총강우량이 527.2mm로서 우리나라 연평균 강우량의 42%에 해당하는 엄청난 양이었다.

이는 최근의 기상이변과 돌발적인 국지성 집중호우의 영향이기도 하겠으나 임진강유역의 2/3가 북한지역에 위치하여 북한지역의 강우량 관측이 불가능함에 따라 사전예측이 이루어지지 못한 것이 한 원인이었

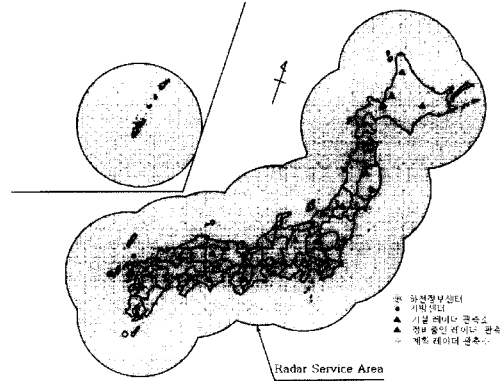


그림 3. 건설성 산하의 레이더 분포도

다. 따라서 수문레이더의 운영은 임진강 유역에서의 유역 관리 측면에서 필수 불가결한 방안이라고 할 수 있다. 수문레이더를 이용한 수문 관측의 필요성을 간단히 정리해 보면 다음과 같다.

첫째, 유역면적의 2/3인 북한지역의 강우관측 공백을 보완할 수 있을 뿐만 아니라 임진강 유역 전체의 강우량 관측 가능

둘째, 1회 관측 소요시간이 5분 정도이고, 연속적인 실시간 관측이 가능하므로 집중호우와 같은 단시간에 발생하는 악천후시의 예·경보에 매우 유용

셋째, 실시간 자료를 이용한 홍수예경보체계 구축으로 현행 지상 수문관측망이 갖고 있는 시·공간적인 문제 해결

넷째, 정확한 강우량 산정으로 강우예측모형 및 강우-유출모형의 정확도 개선

이에 따라 북한지역의 실시간 강우관측이 가능한 레이더를 활용한 새로운 홍수예경보 시스템 구축을 위하여 기상청에서 기본계획 및 타당성조사를 '97년 6월에 완료한바 있으며, 우리공사에서는 국내최초의 수문레이더 설치공사를 위한 제반 조사와 설계를 완료하여 '98년 12월에 본 사업을 착수하고 2000년 준공을 목표로 추진 중에 있다.

나. 임진강 유역 수문관측시설 현황

현재 임진강 남한지역에는 63개소의 강우관측소

및 12개 수위관측소가 설치되어 운영중이며, 행정자치부, 기상청, 건설교통부, 한국수자원공사, 농업진흥원에서 관리하고 있다.

구 분	계	해 당 기 관					비 고
		행자부	기상청	건교부	수 공	농진원	
계	75	53	11	6	1	4	
우량관측소	63	47	11	1		4	
수위관측소	12	6		5	1		

#### 다. 사업현황

- 위치 : 인천광역시 강화군 송해면 상도리(군사보호구역)

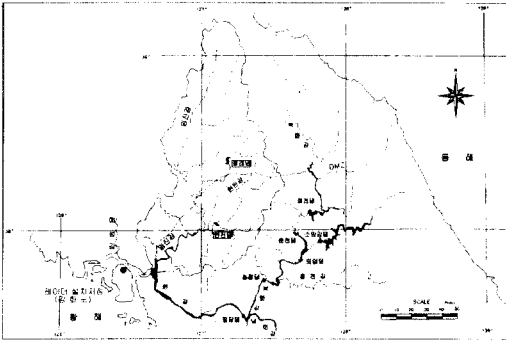


그림 4. 임진강유역 수문레이더 위치도

- 주요시설

#### ▶ 수문레이더 및 주변기기 설치

- 수문레이더 장비

구 분	사 양	비 고
모델명	TDR-4384C Doppler	
제작사	미국 KAVOURAS	
유효 탐지거리(km)	200	
주파수 형식	C-band Doppler	
송신출력관	Klystron 발진방식	
주파수(MHz)	5,300~5,350	
송신최대출력(kW)	250	
안테나 직경(m)	4.3	
Radome(m)	6.7	

- 수문분석용 워크스테이션, 강우량 보정 및 산정 S/W

- 강우-유출 모형 개발
- 레이더 자료 송수신용 통신망 구축(관측소-한강홍수통제소-수공)
- 건축 및 부대공사 : 건축면적 200m<sup>2</sup>, 도로 514m
- 사업기간 : 1998.12 ~ 2000.12

#### 라. 임진강 홍수예경보 시스템의 구성

본 시스템은 수문관측망을 이용한 자료 수집, 수집된 자료를 처리 및 분석, 처리된 관측자료 및 홍수예보 결과를 관련기관에 제공하는 체계이며 자료수집체계는 수문레이더 관측소, 지상우량계 및 수위계로 구성되어 있고, 자료처리 과정은 다음과 같다.

- 수문레이더의 구성 및 처리과정
  - 레이더 전파를 생성하는 송신기
  - 송신기에서 생성된 전파를 발사하고 구름에서 반사된 파를 수신하는 안테나
  - 비구름에서 반사되어오는 수신전파를 증폭 및 잡음을 제거하여 자료를 처리하는 수신처리기

이상의 레이더 강우 전처리과정을 거쳐 원시자료를 생산하게 되며, 전처리 과정을 거친 강우자료는 유역의 지상 강우관측소 자료를 이용하여 보정과정을 거치게 된다.

- 관측자료 보정과정
  - AWS와 TM으로부터 수신된 지상우량자료를 이용하여 레이더 관측소에서 수신된 원시자료(5분 간격)를 보정하는 과정을 거쳐 임진강 유역강우량(4km × 4km격자형태) 산정
  - 개발된 강우예보모형(3시간 단기강우예측)을 이용하여 예측강우량을 산정

이와 같이 자료들을 처리하고 분석하여 임진강 주요지점별 홍수예경보상황을 우선적으로 파악한 후 행정자치부 재해대책본부 등 관련기관에 수문자료와 홍수예경보 결과를 배분해 주는 역할을 한다.

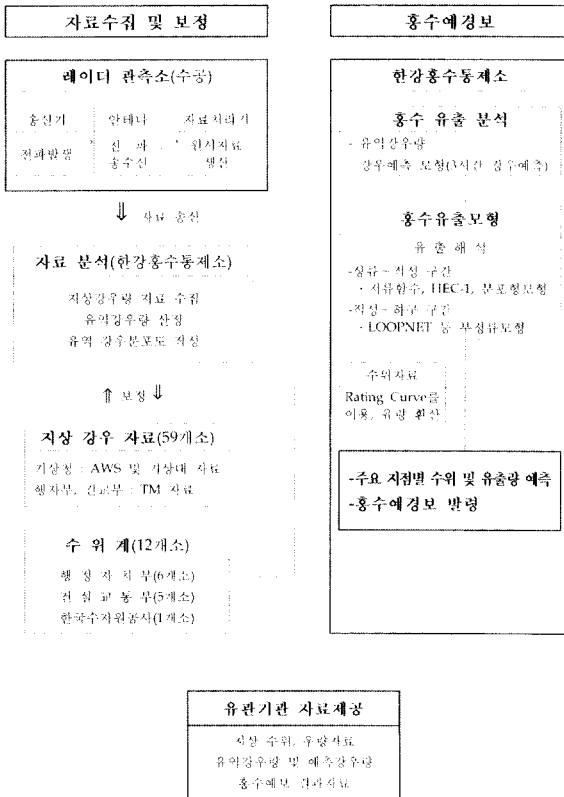


그림 5. 임진강유역 홍수예경보 시스템

- 홍수예경보 과정
  - 수문레이더 관측소로부터 전송된 유역 강우자료 및 수위자료를 이용하여 홍수유출모형을 보정
  - 예상강우를 입력자료로 한 홍수예보모형으로부터 임진강 주요예측지점별 홍수위를 추정
  - 정리된 레이더 유역강우량, 지상 강우량, 수위자료 및 추정된 홍수예보 결과를 통신망을 통하여 관련기관에 제공

## V. 맺음말

임진강유역을 비롯한 경기북부 지역은 '96년, '98년에 이어 올해에도 어김없이 막대한 홍수 피해를 입은 수해상습 지역이다. 이는 최근의 기상이변과 돌발적인 국지성 집중호우의 영향이기도 하겠으나 임진강유역의 2/3가 북한지역에 위치하여 북한지역의 강우량 관측이 불가능함에 따라 사전예측이 이루어지지 못한 것이 한 원인이었다.

이에 따라 북한지역의 실시간 강우관측이 가능한 국내최초의 수문레이더를 활용한 새로운 홍수예경보 시스템을 구축하기 위하여 추진중에 있다. 그러나, 임진강유역 홍수예경보 시스템은 상당기간 동안 운영을 통하여 관측시스템의 성능을 개선하고 수문, 홍수유출모형을 개발·보정하는 등의 지속적인 연구작업이 병행되어야 할 것이다. 또한 수문레이더를 이용한 강우 예측과 홍수유출 분석은 우리나라에서 처음으로 시도되는 수문관측 시스템으로 레이더 설치 후 상당기간 동안 강우 및 홍수유출분석 자료의 신뢰성 확보를 위하여 홍수예경보 업무 주관부서와 운영·관리기관 등이 공동으로 참여하여 시스템의 안정성 확보를 위해 제반 시스템의 수정·보완 및 자료의 공유 등이 이루어져야 할 것이다.

앞으로, 우리나라도 임진강유역 수문레이더와 같이 수문레이더를 다목적담 및 하천유역에 설치 운영하여 신속·정확한 담유역 강우 분포 파악과 단시간 강우예측을 하여 홍수관리를 효율적으로 수행할 수 있도록 노력해야 할 것이다. 또한 수문레이더 시설의 운영·관리를 위해서는 전담조직 및 전문인력을 조속히 구성·배치하고 지속적으로 전문가를 양성하는 일이 시급한 실정이다. 🙏