

# 레이더 강우 자료와 분포형 모형을 이용한 흥수 유출량 산정

## Assessment of flood runoff using radar rainfall and distributed model

김병식\*, 홍준범\*\*, 김원\*\*\*, 윤석영\*\*\*\*  
Byung Sik Kim, Jun Bum Hong, Won Kim, Seok Young Yoon

### Abstract

In this paper we applied radar rainfall for assessment that radar can be used for flood forecasting. The radar data observed at Imjin-River radar site was adjusted using conditional merging method to estimate simulated runoff in Anseon-cheon basin. Also we use two dimensional physical and grid based model call Vflo™. As a result we could find simulated hydrologic curve shows good fitting with observed hydrologic curve even parameters of the model were not calibrated. If we calibrate the parameters, we can expect better hydrologic curve. And radar rainfall can be used for water resources fields and flood forecasting in Korea.

**Keywords :** Radar rainfall, Conditional Merging, Vflo™

### 요    지

본 연구에는 최근 그 활용도가 증가하고 있는 레이더 강우의 국내 적용성을 판단해 보고자 하였다. 이에 따라 전교부에서 운영 중인 임진강 강우레이더의 관측 자료를 사용하여 조건부 합성 기법을 통해 보정된 레이더 강우를 사용하였으며, 대상유역은 안성천 유역으로 결정하였다. 2차원분포형 모형인 Vflo™ 모형에 레이더 강우를 적용한 결과 모형의 매개변수에 대한 보정이 이루어지지 않았음에도 불구하고 관측 결과와 유사한 결과를 얻을 수 있었다. 따라서 강우레이더에 의해 관측된 강우량 자료 또한 흥수예보 업무 및 기타 수자원 분야에서 국내에 충분한 적용성을 갖고 있음을 확인할 수 있었다.

**핵심용어 :** 레이더 강우, 조건부 합성, Vflo™

### 1. 서 론

강우-유출 모형의 가장 기본적이며 중요한 입력 자료는 강우량 자료이다. 그리고 오랫동안 강우량 자료를 얻기 위해 지상에서 관측된 강우량 자료를 적절한 기법을 사용하여 공간분포 시켜 정확한 면적강우량을 산정하기 위해 많은 노력이 있어왔다. 그러나 우량관측망은 우량계와 우량계 사이의 공간적 강우분포에 대한 정확한 정보를 제공할 수 없다는 약점이 있다. 따라서 기존의 많은 방법으로 분포시킨 강우장(rainfall field) 또한 정확하게 실제 강우장을 반영한다고 할 수 없을 것이다. 이에 따라 정확한 강우장을 측정하고자 위성영상 및 강우레이더를 통한 강우 관측 기법이

\* 정회원 · 공학박사 · 한국건설기술연구원 수자원연구부 선임연구원, hydrokbs@kict.re.kr

\*\* 정회원 · 공학석사 · 한국수자원공사 수자원개발처, hongjb@kwater.or.kr

\*\*\* 정회원 · 공학박사 · 한국건설기술연구원 수자원연구부 수석연구원, wonkim@kict.re.kr

\*\*\*\* 정회원 · 공학박사 · 한국건설기술연구원 수자원연구부 연구위원, syyoon@kict.re.kr

등장하였다. 우리나라 또한 수문분야에 레이더를 통해 관측된 강우량을 적용하기 위한 많은 연구가 진행되어 왔다. 또한 건교부에서 기상청과 별동의 강우 관측 레이더망의 구축을 계획하고 있어 레이더를 이용한 강우의 관측 및 레이더 강우의 수문학적 활용방안에 대한 연구에 대한 중요성은 점차 높아지고 있는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 레이더 강우량 및 분포형 모형을 이용하여 흥수량을 산정하여 레이더 강우 및 분포형 모형의 국내 적용성을 판단해 보고자 하였다. 레이더 강우량은 건교부에서 운영하고 있는 임진강 강우레이더 관측자료를 사용하였으며, 레이더의 관측 반경내에 위치한 안성천 유역을 대상유역으로 선정하였다. 또한 흥수량 산정을 위한 분포형 모형으로는 2차원 물리학 기반의 격자 모형은 Vflo™ 모형을 사용하였다. 또한 레이더 관측 강우량의 경우 일반적인 Z-R 관계식만을 이용하여 강우량으로 전환 시킬 경우 수문학적으로 적용 가능한 정확도를 산정하기 위하여 조건부합성(Conditional Merging) 방법을 사용하여 지상강우량과 합성을 통한 레이더 강우량의 보정(adjustment)을 실시하였다.

## 2. 조건부 합성 기법

레이더 강우의 보정은 종종 레이더 보정(radar calibration)과 혼돈되어 인식되어 왔다. 그러나 레이더 보정이란 레이더 관측의 장기적인 안정화와 복원성을 확보하는 것으로 전자기적 처리 과정이며, 보통은 레이더 관측 시스템 자체에서 이루어진다. 반면에 레이더 강우보정은 통계적 처리 과정이며 해당되는 지상 강우와 레이더 강우를 비교함으로써 더 정확한 레이더 강우를 추정하는 데 그 목적이 있다.

레이더는 미지의 강우장의 관측치를 생산하며 이 관측치는 여러 원인에 의한 기지의 오차를 내재하고 있으나(Austin, 1987; Habib와 Krajewski, 2002) 참 강우장의 공분산은 유지하고 있다. 레이더로 부터 얻은 자료는 지점 강우관측소 사이의 공간을 내삽함으로써 얻어지는 제한적인 공간정보의 경계조건으로 사용되며, 이를 이용하여 지점강우를 유지하면서 강우장의 공간구조를 유지하는 강우장을 추정할 수 있다. 조건부 합성기법은 Ehret(2002)과 Pegram(2002)에 의해 처음 제안되었다. 강우장의 공간적 구조는 레이더 자료로부터 얻어지는 반면에 강우량은 참 강우장에 지점 강우를 합성함으로서 얻어진다. 이 방법은 Chiles와 Delfiner(1999)에 의해 제안된 Ordinary Kriging 기법과 유사한 것 같지만, 가장 큰 차이점은 레이더 강우의 절대값을 이용하는 것이 아니라, 미지의 강우장으로만 이용한다는 점이다. 이 중요한 연결은 레이더는 정확한 강우량 보다는 정확한 공간적인 상태 강우, 즉, 공간적 구조를 갖는다는 점에서 시작된다. 그럼 1에 조건부합성의 개념을 정리하여 표현하였다.

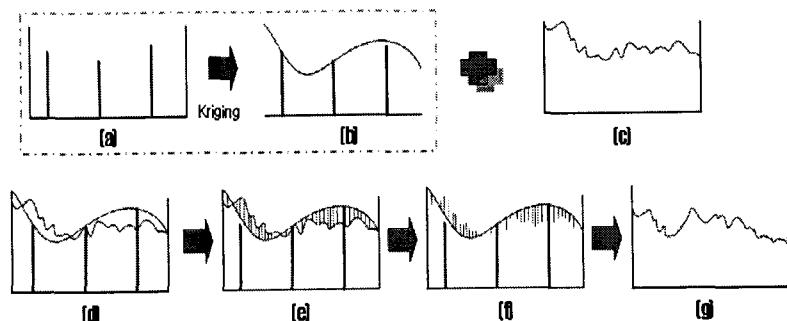


그림 1. 합성기법의 개념도

지상 우량계의 경우 그림 1(a)와 같이 관측소 지점에서 점강우량을 관측한다. 그림 1(b)는 그림 1(a)에서 관측된 지점 강우량을 kriging 기법을 사용하여 공간 분포시킨 결과( $G_k(s)$ )를 의미한다. 그림 1(c)는 레이더(임진강 강우레이더 관측소)에서 관측된 공간 강우량의 결과이다. 조건부 합성법의 기본 개념은 그림 1(b)의 kriging을 사용한 공간분포에 그림 1(c)의 레이더에 의해 얻어진 강우의 공간적 변동성을 결합시키는 것이다. 이를 위하여 그림 1(d)에서와 같이 레이더 관측값 중 지상 관측소와 같은 위치에 있는 관측값들을 사용하여 kriging을 사용하여 공간분포 시킨다( $R_k(s)$ ). Kriging 기법의 경우 점 자료를 이용해 미지의 공간의 값을 산정하는 내삽 기법이기 때문에 실제 레이더에 의해 측정된 공간분포인 그림 1(c)와 kriging 기법을 사용하여 산정한 공간분포인 그림 1(d)의 값은 차이를 보이게 된다(그림 1(e)). 이때 강우의 실제 분포를 그림 1(c)라고 하면 그림 1(e)의 결과는 kriging에 의해 공간 본포 시 발생한 오차라고 할 수 있다. 따라서 이 오차를 앞서 지상 강우량과 kriging을 이용한 강우량(그림 1(b))에 적용하여 제거하면 지점의 값을 유지하면서 공간 분포의 오차를 상쇄시킨 합성 강우량(그림 1(g))이 생성된다.

### 3. 적용

#### 3.1 대상유역의 선정과 레이더 자료

본 연구에서는 현재 건설교통부에서 홍수예보를 목적으로 운영하고 있는 임진강 강우레이더 자료를 이용하여 레이더 강우를 산정하였다. 임진강 강우레이더는 북쪽의 임진강 유역을 관측대상으로 하지만, 북한강 일부 및 한강 유역의 안성천, 안양천, 경안천, 탄천 등 일부 지천에 대한 관측도 가능하다. 따라서 본 연구에서는 레이더 강우의 적용성을 평가하기 위하여 임진강 강우레이더의 관측반경에 포함되며 차폐가 거의 일어나지 않으며 현재 홍수예보를 운영하고 있는 안성천 유역을 대상 유역으로 선정하여 레이더 강우를 산정하였다. 그림 2에서 안성천 유역(사각형 박스 내)의 경우 유역 전체에 걸쳐 음영이 거의 나타나지 않아 레이더 차폐율(유역 면적 중 음영으로 표시된 면적의 비율)이 매우 적음을 확인 할 수 있다.

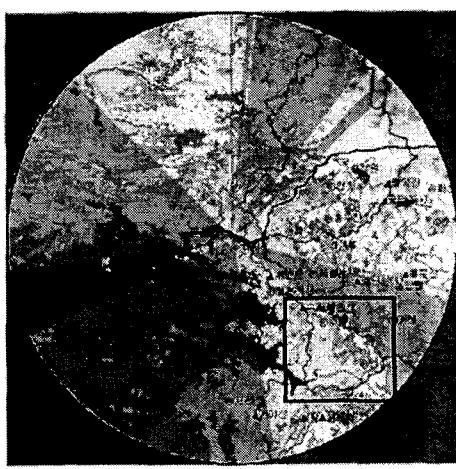


그림 2. 임진강 강우레이더의 차폐  
분석

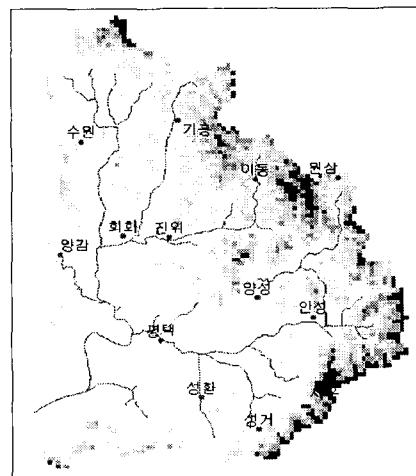


그림 3. 안성천 유역도 및 관측소  
현황

안성천 유역은 북위  $36^{\circ}50' \sim 37^{\circ}20'$ , 동경  $126^{\circ}50' \sim 127^{\circ}00'$ 에 걸쳐 한반도 중서부에 위치하고 있으며, 유역면적은  $1,699.6\text{km}^2$ , 유로연장  $66.4\text{km}$ 인 하천으로서 북동쪽으로 한강 유역, 남동쪽으로는 금강 유역, 남서쪽으로는 삽교천 유역과 접하고 있다. 그럼 3체 안성천 유역의 DEM 및 관측소 현황을 나타내었다.

### 3.2 Vflo<sup>TM</sup> 모형의 개요

Vflo<sup>TM</sup> 모형은 미국 Oklahoma 대학에서 개발한 분포형 모형으로 지표면 유출에 운동파 방정식을 사용하며, 수치해를 구하기 위하여 공간적으로는 유한요소법과 시간적으로는 유한차분 음해법을 사용한다. 하도망은 지형정보로부터 유도한 유하방향도로부터 형성되며 하도망의 지형학적 특성은 유역과 수문곡선의 형태와 반응특성을 결정한다. 지표, 하도, 저수지, 천수격자의 수리특성이 강우와 함께 수문모형의 입력을 구성한다. 환경사의 하도 및 하천 외 저류는 수정 Puls 및 Jones 방정식을 이용하며, 흥준범 등(2006)은 Vflo<sup>TM</sup> 모형이 충분한 적용성이 있음을 보여주었다.

### 3.3 홍수량 산정

안성천 유역에 대하여 레이더 강우의 적용성을 판단하기 위하여 안성천 유역에 발생한 2003년 7월 22일과 2002년 7월 15일에 발생한 강우에 대한 홍수량 산정을 하여 실제 관측 수문곡선과의 비교를 실시하였다. 그림 4는 안성천 유역의 일부 수위 관측소 지점에 대한 홍수량 산정 결과를 나타낸 것이다.

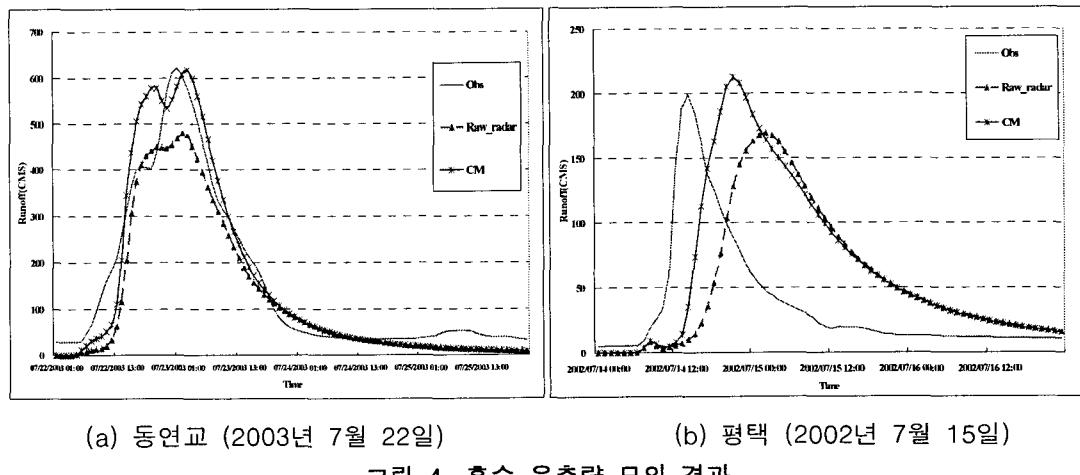


그림 4. 홍수 유출량 모의 결과

안성천 유역의 경우 크게 안성천과 황구지천 및 진위천 등의 합류부인 두 개의 수계로 구분할 수 있다. 동연교 수위관측소는 황구지천, 진위천, 오산천의 하류에 위치해 있으며, 평택 지점은 안성천의 하류에 위치해 있다. 따라서 본 연구에서는 그림 4에 각 사상 중 일부의 홍수량 산정 결과를 동연교와 평택 지점에 대하여 나타내었다. 모의 결과 Vflo<sup>TM</sup> 모형에 대한 보정을 실시하지 않았음에도 첨두 홍수량에 대해서 두 지점 모두에서 관측치와 유사하게 모의된 것을 확인 할 수 있었다. 다만 동연교 지점에서 수문곡선의 형태가 다르며, 평택 지점에서 도달시간에 어느정도 차이를 나타내고 있지만 이는 모형의 보정을 통하여 충분히 해결될 수 있을 것으로 판단된다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 레이더 강우의 국내 적용성을 판단해 보고자 안성천 유역에 발생한 호우 사상에 대하여 레이더 강우량을 산정한 후 분포형 모형인 Vflo™ 모형에 적용하였다. 레이더 강우의 경우 지상강우량에 비해 강우의 공간분포는 정확히 측정할 수 있지만, 강우의 절대적인 양(depth)의 관측에 약점을 가지고 있으므로 이를 해결하기 위하여 조건부 합성 기법을 적용하여 레이더 강우를 보정한 후 강우-유출 모의에 적용하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

- (1) 강우레이더에 의해 산정된 레이더 강우의 적용 결과 조건부 합성 기법을 적용하여 보정한 레이더 강우가 실제 유출곡선에 더 유사하게 나타남을 확인 할 수 있었다. 이는 레이더 강우의 적용 시 적절한 Z-R 관계식의 수립도 중요하지만, 지상 관측치를 사용한 보정이 필요함을 보여준다고 할 수 있다.
- (2) 동연교 및 평택 지점에 대해 유출량 모의를 실시한 결과 모형내 매개변수에 대한 보정(calibration)을 실시하지 않았음에도 불구하고 관측 수문곡선과 매우 유사하게 나타남을 확인 할 수 있었다. 다만 수문곡선의 형태나 도달시간의 차이는 모형의 매개변수 보정을 통해 충분히 해결할 수 있을 것으로 판단된다.
- (3) 이상의 결론으로 볼 때 레이더를 통해 관측된 레이더 강우의 경우 지상강우량을 이용한 보정 및 강우의 공간분포를 정확히 반영할 수 있는 격자형 수문 모형을 사용한다면 국내 유역에 대한 충분한 적용성 및 홍수예보 업무 활용성을 가질 것으로 판단된다.

#### 참 고 문 헌

- 건설교통부 (2003), 전국 강우레이더 설치 및 홍수예보시스템 개선 기본계획 수립 (3차년도)  
홍준범, 김병식, 윤석영 (2006) “VfloTM 모형을 이용한 물리기반의 분포형 수문모형의 정확성 평가”, 대한토목학회논문집, 제 26권 6B호 pp. 613-622  
Austin, P. M. (1987), “Relation between measured radar reflectivity and surface rainfall” *Mon. Wea. Rev.*, Vol. 115, pp. 1053-1070  
Chiles, J. P., and Delfiner, P. (1999), *Geostatistics : Modelling spatial uncertainty*, Wiley  
Ehet, U. (2002), *Rainfall and flood nowcasting in small catchments using weather radar*, Ph. D thesis, University of Stuttgart  
Habib, E. and Krajewski, W. F. (2002), “Uncertainty Analysis of the TRMM Ground validation Radar Rainfall Products : Application to the TEFLUN-B Field Campaign.”, *Journal of Applied Meteorology*, Vol. 41, pp. 9571-9580  
Pegram, G. G. S (2002), *Spatial interpolation and mapping of rainfall : 3 Progress report to the Water Research Commission*, for the period April 2001 to March 2002