

# 강우레이더와 지상우량계 자료를 이용한 실시간 강우강도 추정

## Real Time Rainfall Intensity Estimation Using Rainfall Radar and Rain Gauges

최규현\*, 김병식\*\*, 정재욱\*\*\*, 현명숙\*\*\*\*

Kyu Hyun Choi, Byung Sik Kim, Jae Wook Jung, Myung Suk Hyun

### 요 지

본 연구에서는 현재 건설교통부에서 설치 및 운영 중에 있는 소형강우레이더의 최적화를 위해서 지상의 강우관측소 자료와 레이더 측정 자료의 실시간 보정방법을 이용하여 강우강도를 추정하였다. 본 연구에서 이용된 실시간  $Z-R$  관계식 적용으로 인한 강우강도 개선 정도를 파악하기 위해서 통상 일률적으로 적용되고 있는  $Z = 200R^{1.6}$ 에 의한 강우강도 결과와 비교·분석하였으며, 지상의 강우관측소 실측 강우량과 비교함으로써 적용성을 보였다. 본 연구에서 이용된 보정방법은 강우보정에 소요되는 시간이 짧아 실시간 적용이 가능하며, 레이더 강우량의 정확한 추정으로 유역에서의 향상된 면적강우량 산출이 가능할 것으로 판단된다.

**핵심용어 : 실시간 강우 보정, 레이더 강우강도, 소형강우레이더**

### 1. 서 론

우리나라는 지형적으로 하천의 유로가 짧고 경사가 급하며, 연강수량의 2/3가 여름철에 집중하는 지형학적, 기상학적 특성 때문에 홍수피해가 많은 지역에 속한다. 근년에 발생한 대규모 홍수만 개략적으로 살펴봐도 '95년 북한 서부지역, '96년 임진강 주변 지역, '98년 여름 지리산과 강화도 및 경기도 북부 지역에 발생한 홍수로 인해 많은 인명과 재산피해를 초래하였다. 공식적으로 집계된 지난 10여 년 동안의 홍수피해는 약 2,400명의 인명과 5조원이라는 막대한 재산 손실을 기록하고 있다.

레이더를 이용한 강우량 추정에 관한 연구는 많은 연구자들에 의해서 연구되어 왔다. 레이더를 이용한 강우량 산정 과정에서 레이더에 의해 측정된 반사도 자료(dBZ)는 실제 강우량 자료와 깊은 관계가 있지만 지표에 떨어지는 강수와는 동일하지 않는 간접 측정치로서 레이더 빔의 강우에 의한 감쇠는 레이더 강우관측의 정확도를 낮추는 결과를 초래함을 여러 문헌을 통해 확인할 수 있다. Battan(1973), Smith(1993), 그리고 Smith and Krajewski(1993)는 레이더를 이용한 강우량 추정에서 많이 이용되는  $Z-R$  관계는 비록 강한 상관도를 가진다 할지라도 항상 고정된 값을 가지지 않음을 연구하였다.

본 연구는 현재 건설교통부에서 설치 및 운영 중에 있는 소형강우레이더의 최적화를 위해서 시간적·공간적으로 변화하는 강우 특성을 충분히 고려하기 위해서 기존의 일률적으로 적용되던  $Z-R$  관계식의 사용을 개선하기 위해서 지상 우량계자료를 이용하여 레이더 강우강도를 실시간으로 보정하는 방법(Kotauou et al., 1995)을 사용하여 지상 강우강도를 추정하고, 추정된 값을 기존의 방법에 의해 산출된 값과 비교하였으며, 또한 실측 강우량과의 비교를 통한 적용성을 입증하고자 한다.

\* 정회원.건설교통부 한강홍수통제소 하천정보센터 토목연구사공학박사E-mail : khchoi@moct.go.kr  
\*\* 정회원.한국건설기술연구원 수자원연구부 선임연구원.공학박사E-mail : hydrokbs@kict.re.kr  
\*\*\* 정회원.건설교통부 한강홍수통제소 하천정보센터 토목연구관공학박사E-mail : jwjung@moct.go.kr  
\*\*\*\* 정회원.건설교통부 한강홍수통제소 하천정보센터 기상연구사E-mail : mshyun@moct.go.kr

## 2. 실시간 강우강도 추정

### 2.1 레이더 반사도 자료

레이더 반사도 자료는 Mohr and Vaughan의 Bilinear 방법으로 보간된 Constant Altitude Plan Position Indicator(CAPPI) 자료를 이용하였는데, 수평 및 수직 분해능이 각각 1.0km, 0.5km를 가지며 고도 5km까지 10개의 층으로 계산될 수 있도록 구성하였다. 식 (1) ~ 식 (4)는 본 연구에서 이용된 CAPPI 산출을 위한 보간식을 나타내고 있는데, 먼저 식 (1)을 이용해서 두 개의 고도에 대한 방위각 상의 4개의 자료에 대한 대표값을 구한 후 이들 두 고도값을 식 (2)를 이용하여 최종 결과값으로 결정하였다. 본 연구에서는 정확한 레이더 반사도 자료를 산출하기 위해서 밝은띠(bright band)가 형성되는 고도인 3.5 ~ 5.5km 보다 낮고 지형 클러터의 영향이 적은 고도 1.5km의 CAPPI 자료를 이용하였다.

$$Z_e(R, \theta) = \frac{1}{\Delta R \Delta \theta} [(R - R_i) A_1 - (R - R_{i+1}) A_2] \quad (1)$$

$$Z_e(R, \theta, \phi) = \frac{1}{\Delta \phi} [(\phi - \phi_k) Z_e(R, \theta, \phi_{k+1}) - (\phi - \phi_{k+1}) Z_e(R, \theta, \phi_k)] \quad (2)$$

$$A_1 = (\theta - \theta_j) Z_e(i+1, j+1) - (\theta - \theta_{j+1}) Z_e(i+1, j) \quad (3)$$

$$A_2 = (\theta - \theta_j) Z_e(i, j+1) - (\theta - \theta_{j+1}) Z_e(i, j) \quad (4)$$

여기서,  $i$  = 각 ray에 대한 bin의 순번,  $j$  = 각 sweep에 대한 방위각의 순번,  $k$  = 레이더 반사도자료의 sweep 순번,  $R$  = 레이더 위치로부터 격자점까지의 거리,  $\theta$  = 레이더 위치로부터 격자점까지의 방위각,  $\phi$  = 레이더 위치로부터 격자점까지의 고도각,  $\Delta R$  = 방위각에서의 해당 격자점 인접 반사도값 사이의 거리,  $\Delta \theta$  = 방위각  $\theta_j$  와  $\theta_{j+1}$  사이의 각도,  $\Delta \phi$  = 고도각  $\phi_k$  와  $\phi_{k+1}$  사이의 각도를 나타내고 있다.

### 2.2 실시간 강우강도 추정

본 연구에서 이용한 실시간 Z-R 보정 방법은 지상우량계와 레이더 강우강도의 비율을 산출하여 다음 시간 관측 레이더 강우량 자료에 적용하여 레이더 강우량을 개선하는 방법(정성화 등, 2005; Kotarou et al, 1995)이다. 그림 1은 본 연구에서 이용된 실시간 강우강도 추정에 대한 흐름도를 나타내고 있다.

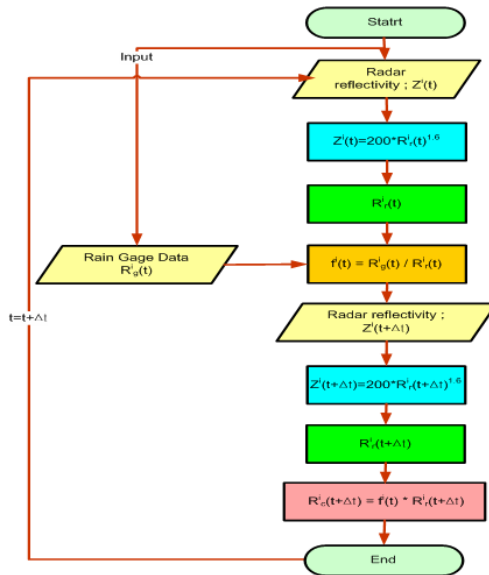


그림 1. 실시간 강우보정 흐름도

여기서,  $R_g^i(t)$ 는 시간  $t$ 에서  $i$ 지점의 지상우량계  $t$ 분 강우강도,  $R_r^i(t)$ 는 시간  $t$ 에서  $i$ 지점의 레이더  $t$ 분 강우강도,  $f^i(t)$ 는 시간  $t$ 에서  $i$ 지점의 보정인자,  $R_r^i(t+\Delta t)$ 는 시간  $t+\Delta t$ 에서  $i$ 지점의 레이더  $\Delta t$ 분 강우강도,  $Z^i(t)$ 는 시간  $t$ 에서  $i$ 지점의 레이더 반사도,  $Z^i(t+\Delta t)$ 는 시간  $t+\Delta t$ 에서  $i$ 지점의 레이더  $\Delta t$ 분 반사도,  $R_c^i(t+\Delta t)$ 는 시간  $t+\Delta t$ 에서  $i$ 지점의 레이더 보정  $\Delta t$ 분 강우강도를 나타내고 있다.

### 3. 적용 및 분석

본 연구에서는 소형강우레이더 반경 60km 이내 14개소의 기상청 AWS 1분 강우량 자료를 활용하였다. 1분 강우량 자료를 이용하여 10분 강우강도 자료로 변환하여 수행하였다. 실시간 비올법에 의한 적용을 위해서 최대 10분 단위의 실측 강우자료가 필요하며, 그림 2는 본 연구에서 이용된 14개 AWS 지점과 적용기간에 대한 강우분포도를 보여주고 있다.

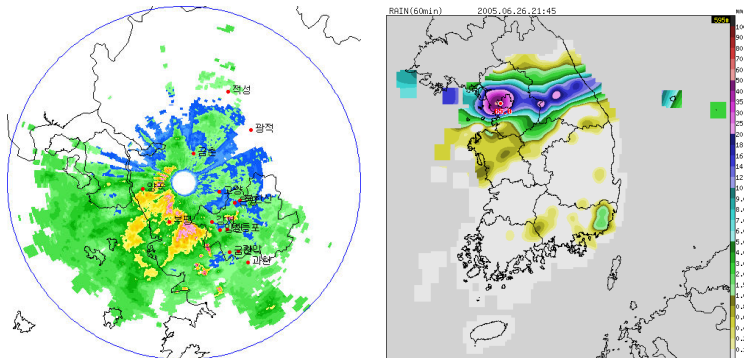
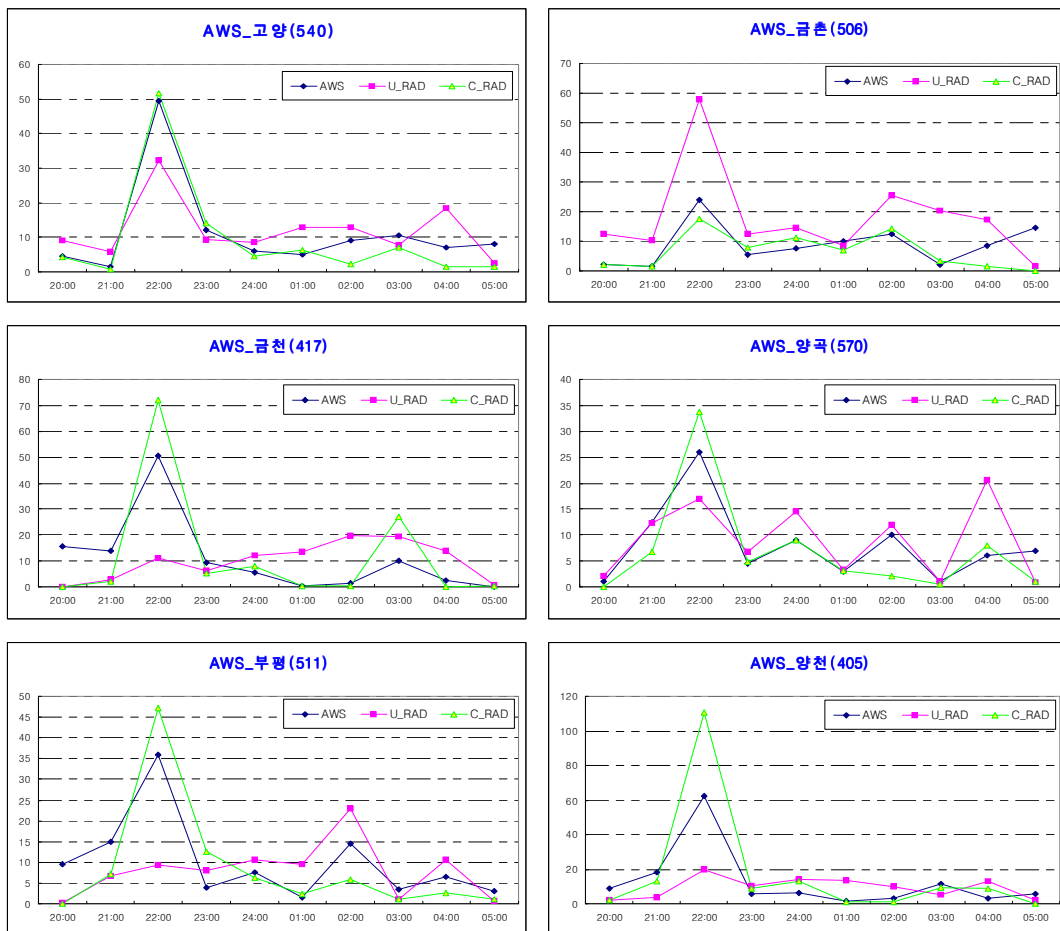


그림 2. 지상 우량관측소 및 강우분포

실시간  $Z-R$  관계식 적용으로 인한 강우강도 개선 정도를 파악하기 위해서 통상 적용되고 있는  $Z = 200R^{1.6}$ 에 의한 강우강도 결과와 비교·분석하였다. 적용기간은 2005년 6월 26일 20시 ~ 27일 05시이며, 이 기간 동안  $Z = 200R^{1.6}$ 과 실시간  $Z-R$  관계식을 이용한 강우강도를 실측 강우강도와 같이 시계열로 비교함으로써 그 정확도를 분석하였다. 그림 3은 고양, 금촌, 금천, 양곡, 부평, 양천, 영등포, 은평 등에 대한 비교 결과를 나타내고 있는데, 그림 3에서 확인할 수 있듯이 본 연구에서 적용된 실시간  $Z-R$  관계식에 의한 강우강도 추정이  $Z = 200R^{1.6}$ 에 의한 강우강도 보다 실측치를 훨씬 더 잘 반영하는 것으로 나타났다.



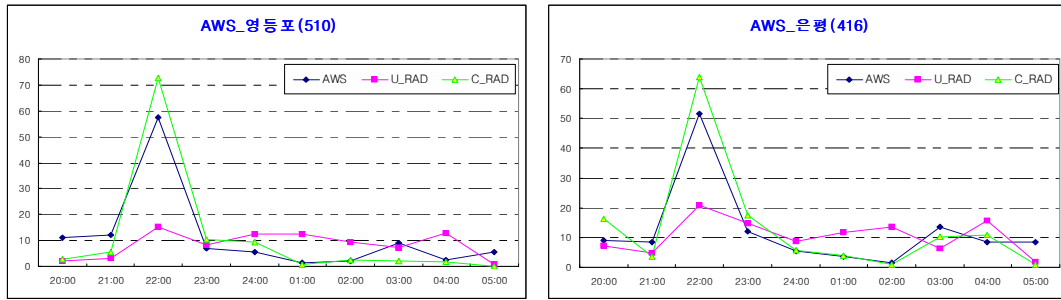


그림 3. 결과 비교·분석

#### 4. 결론

본 연구에서는 강우패턴이나 강우의 특성을 고려하지 않고 일률적인  $Z=200R^{1.6}$ 식을 적용함으로 인해 나타나는 강우추정의 정확성 문제를 해결하기 위해서 실시간으로 강우강도를 추정하는 실시간 보정방법을 적용하고 이를 기존 방법 및 실측 강우량과 비교·검토함으로써 본 연구에서 이용된 방법의 적용성을 입증하였다. 본 연구에서 이용된 보정방법은 강우보정에 소요되는 시간이 짧아 실시간 적용이 가능하며, 레이더 강우량의 정확한 추정으로 유역에서의 향상된 면적강우량 산출이 가능할 것으로 판단된다.

#### 참 고 문 헌

1. 정성화, 김경익, 하경자(2005). 지상 우량계의 강우강도를 이용한 개선된 레이더 강우강도의 실시간 추정, 한국기상학회지, 제41권 제5호, pp. 751-762.
2. 최규현, 한건연, 김경익, 이창희(2005). 레이더 정량강우와 연계한 홍수유출 및 범람해석 시스템 확립(I), 한국수자원학회 논문집, 제39권 제4호, pp. 321-334.
3. Battan, L.J. (1973). Radar Observation of the Atmosphere, The University of Chicago Press, p. 324.
4. Kotarou T., N. Takumi, and Y. Takaaki(1995). Operational calibration of raingauge radar by 10-minute telemeter rainfall. *3rd Int. Sympos. on Wea. Radars*. Sao Paulo, Brazil, pp. 75-81.
5. Smith, J.A. (1993). "Marked point process models of raindrop-size distributions." *Journal of Applied Meteorology*, Vol. 32, pp. 284-296.
6. Smith, J.A. and Krajewski, W.F. (1993). "A modeling study of rainfall rate-reflectivity relationships." *Water Resources Research*, Vol. 29, pp. 2505-2514.