

레이더를 이용한 유역강우량 산정

엄원근¹⁾ · 오미림²⁾ · 정재성³⁾

1. 서 론

하천유역에서의 유역강우량을 계산하기 위해서 지금까지는 지상의 강우량 자료만을 이용하였다. 강우계 자료는 지점에 대한 정확한 강우량을 나타낼 수 있지만 강우계의 설치밀도가 조밀하지 못한 경우에는 강수의 수평 분포를 정확하게 파악하기 어렵기 때문에 계산된 유역강우량도 그만큼 오차가 따르게 마련이다. 그러나 기상레이더 자료를 활용하면 레이더 상당 강우량(레이더강우량)을 계산할 수 있기 때문에 조밀한 격자 간격의 레이더강우량을 수문분야에 활용할 수 있다. 레이더강우량은 지점 개념에서 보면 강우계 보다는 정확성이 다소 떨어지지만 그대신 공간 분포를 잘 나타낼수 있어서 수문 목적으로 외국에서는 많이 활용되고 있다.

본 연구에서는 관악산 기상레이더로 관측된 dBZ 자료로 계산된 레이더강우량과 한국수자원공사의 T/M 및 기상청의 AWS 강우량 자료를 함께 사용하여 레이더 강우량에 의한 충주댐 유역에서의 유역강우량을 산정하고 T/M 단독 또는 AWS 강우량만으로 계산된 유역강우량과 비교하여 레이더가 유역강우량 산정에 기여할 수 있는 유용성을 제시하고자 한다.

2. 레이더에 의한 유역강우량의 계산

2.1 레이더 자료의 오차 제거와 평활화

레이더 관측자료에는 산이나 지상의 인공 구조물에 의한 지형에코(ground clutter)를 클러터맵(clutter map) 기법으로 제거하였고, 그밖에 레이더의 기계적인 문제로 생기는 각종 비정상 에코 자료를 데이터 QC를 통해 검출하여 제거하였다. 즉, 레이더 관측영역에서 에코가 있는 격자점 총수의 dots 분포를 분석한 후 정상적인 경우 에코가 전체 레이더 영역에서 1/4 이상을 차지하는 경우가 없는 것을 이용, 에코 격자점의 수가 전체 격자수의 1/2 이상 차지하면 비정상 에코로 간

1) 기상연구소 수문기상연구실장
2) 기상연구소 수문기상연구실 연구원
3) 한국수자원공사 수자원연구소 연구원

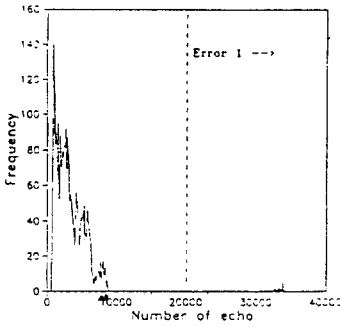


그림 1 레이더 관측영역에서 레이더 에코가 존재하는 격자점數에 대한 돛수분포(이,1994)

주하여 분석에서 제외하였다.

이와같이 레이더 자료에서 지형에코와 비정상 에코를 제거한 후에도 아직 제거되지 않은 고립된 지형에코와 다른 원인에 의하여 주위 격자점의 데이터에 비해 지나치게 큰 값을 가진 에코값을 제거하기 위하여 다음과 같이 두 단계의 추가적인 처리를 하였다. 첫째, 각 격자점에서 해당 격자점을 제외한 주위 5 X 5 격자 영역의 에코 평균을 계산한 후 해당 격자점과 평균과의 차이를 계산하였다. 이때 이 차이가 15 dBZ 이상인 격자점은 비정상적인 값으로 간주하여 주위의 평균값으로 격자점값을 대체하였다. 두번째는 자료의 평활화 단계이다. 그림 1은 자료의 평활화의 정도를 나타낸 그림으로써 격자 영역에 대한

레이더 자료와 관측소 자료와의 상관 계수를 나타냈다 (이정환, 1994). 그림에서와 같이 격자 영역이 3 x 3, 5 x 5 영역에서 상관계수가 급격히 향상되었으며 그 이상에서는 큰 증가가 없었다. 본 연구에서는 5 x 5 격자 영역에서 평활화를 실시하였다.

2.2 레이더 에코 (Z) 와 강우량 (R) 과의 관계

레이더는 마이크로파가 강수 입자에 의해 산란되어 돌아오는 양으로부터 강수 강도를 측정한다. 레이더 반사 계수, Z_e 는 레이더의 평균 수신 전력 P_r 과 아래와 같은 관계식을 갖는다 (Probert-Jones, 1962).

$$\overline{P_r} = \frac{\pi^3}{2^{10} \ln 2} \frac{P_t h}{\lambda^2} G^2 \theta \phi |K_w|^2 \frac{Z_e}{r^2} \quad (1)$$

여기서 P_t 는 레이더 송신 전력, h 는 펄스폭, λ 는 레이더 파장, G 는 레이더 이득, θ 와 ϕ 는 빔 폭이며, r 은 레이더에서 강수 목표물까지의 거리이다. 위의 식은 아래와 같이 정리될 수 있다.

$$\overline{P_r} = C \frac{Z_e}{r^2} \quad (2)$$

이때,

$$10 \log \overline{P_r} = 10 \log C + 10 \log Z_e - 20 \log r \quad (3)$$

이다. 위의 식에서 레이더 반사 계수에 상용 로그를 취하여 10 을 곱한 값 ($10 \log Z_e$)을 dBZ 라 하면 관측한 레이더에 의해 관측되는 레이더 자료는 아래의 식에 의해 계산된 것이다.

$$dBZ = dBm - 10 \log C + 20 \log r \quad (4)$$

이러한 레이더 자료로부터 강우량 값을 얻기 위하여 아래의 경험적인 식을 이용한다. 그동안 많은 연구에 의하여 레이더 반사도와 강우 강도는 다음과 같은 관계가 있는 것으로 나타났다

(Battan, 1973).

$$Z_e = AR^\beta \quad (5)$$

그러나 A와 β 는 강수 형태, 강수 강도 및 강수 지역에 따라 달라진다. Wexler and Atlas (1963)은 Marshall-Palmer의 빗방울 크기 분포에 대한 Mie 산란을 고려하여 $A = 280$, $\beta = 1.45$ 의 값을 사용하기도 하였다. 본 연구에서는 Rayleigh 산란일 때 적용 가능한 값인 $A = 200$ 과 $\beta = 1.6$ 을 사용하였다 (Marshall et al., 1947; Marshall and Palmer, 1948).

2.3 1시간 누적 강수량 계산

관악산 레이더는 5분 간격으로 1시간에 12번의 관측을 한다. 따라서 매 5분마다 관측된 자료를 Z-R 관계식을 이용하여 계산한 레이더 강수량은 실측 강수량과 차이가 있다. 즉, 매 5분마다의 레이더 예코 강도는 순간의 강수 강도를 1시간 동안의 강수 강도로 환산한 값이라 할 수 있다. 또한 레이더 예코는 1시간 동안 많은 변화가 있으므로 5분 마다 관측된 자료를 평균하므로써 이와 같은 변화를 완화시키는 과정도 필요하다. 결과적으로 레이더 강수량을 실측 강수량과 비교하여 보정하기 위하여는 1시간 누적 레이더 강수량을 계산하여야 한다. 즉, 매 5분 간격의 레이더 자료의 전처리 과정을 실시한다. 그 다음, Z-R 관계식을 이용하여 매 5분 간격으로 레이더 강수량을 산출한다.

$$R = \left(\frac{Z}{A}\right)^{1/\beta} \quad (6)$$

5분 간격의 레이더 강수량이 산출되면 1시간동안 12개의 레이더 강수량들을 1시간 동안 관측 가능한 레이더 자료의 수로 나누고 이 값들 중 각 격자점에서 0.0 mm 이상의 값을 갖은 레이더 자료수를 세어서 레이더 강수량을 합한다.

$$\bar{R} = \sum_{i=1}^M R_i \Delta t = \sum_{i=1}^M \left(\frac{Z_i}{A}\right)^{1/\beta} \Delta t \quad (7)$$

Δt 는 1시간을 1시간 동안 관측 가능한 레이더 자료의 수로 나눈 값으로 관악산 레이더의 경우 N은 12가 되므로 $\Delta t = 1/12$ 가 된다. 그리고 M은 각 격자점에서 0.0 mm 이상의 값을 갖은 레이더 자료의 수를 뜻한다.

2.4 레이더 강수량 보정

레이더 강수량을 실측 강수량으로 보정하는 방법에는 여러가지가 있다. 실측 강수량과 레이더 강수량의 비(G/R)를 계산한 후 이것을 객관 분석한 보정 계수장 (calibration field)으로 레이더 강수량을 보정하는 방법 (Brandes, 1975)과 실측 강수량과 레이더 강수량을 통계적 객관 분석 방법으로 합성하는 방법 및 Cokriging을 이용하는 방법 (Seo et al., 1990) 등이 있다. 본 연구에서는 직접 실측 강수량으로 레이더 강수량을 보정할 수 있는 Brandes의 방법을 이용하였다.

보정 과정을 보면, 우선 실측 강수량 관측소별 보정 계수를 산출한다.

$$F_s = G/R \quad (8)$$

여기서 G는 실측 강우량이고, R은 실측 강우량 관측 지점에서 1시간 동안 누적된 레이더 강우량이다. 이때 보정 계수의 값은 10.0 을 넘지 않도록 하였다. 위의 보정 계수를 레이더 관측 자료의 격자 간격으로 객관 분석하여 격자점별 보정 계수장 (F_{grid})을 구한다. 최종적으로 보정 계수장을 이용하여 각 격자점에서 계산된 레이더 강우량을 보정한다.

$$R_{cor} = R_{grid} * F_{grid} \quad (9)$$

여기서 R_{cor} 은 보정된 레이더 강우량이고, R_{grid} 는 보정되기 전의 레이더 강우량이다. 그리고 F_{grid} 는 각 격자점에서의 보정 계수값이다. 위의 보정 방법에 의해 레이더 강우량을 보정하여 보정된 레이더 누적 강우량 분포를 산출한다.

3. 사례 적용 및 결과

3.1 사례와 자료

레이더 강우량을 계산하기 위하여 1990년 9월 10일에 발생한 중부 지방의 강우 현상에서 16LST를 계산 사례로 선택하였다. 레이더강우량을 계산하기 위하여 5분 간격의 PPI (Plan Position Indicator) 자료를 사용하였고 비교 대상의 실측강우량으로는 기상청의 자동기상관측망 (AWS) 자료 (202개 지점)와 지상관측소의 매시 강우량 자료 (71개 지점) 및 한국수자원공사의 T/M 우량국 자료중 충주댐 영역의 매시 강우량 자료 (34개 지점)를 활용하였다. 관악산 레이더 자료는 dBZ 단위로 되었으며 자료 저장시의 편의를 위하여 모두 양수화되어 있으므로 실제 계산을 위하여는 일정한 값을 감해 주어야 한다.

3.2 분석 결과

1990년 9월은 중부 지방에 집중 호우가 내려 댐과 강, 하천을 범람의 위험 수위에 도달케 하였으며 실제로 12일 오전 3시 30분 경에는 경기도 고양군 행주 대교 하류 1 km 지점 한강 북쪽 제방이 무너지면서 고양군 일대가 물바다로 변하는 엄청난 피해를 냈다. 10일의 일 강우량은 수원 276.3 mm, 양평 216.4 mm, 철원 149.7 mm 이었으며 이천, 수원, 홍천, 양평등은 1시간 최대 강우량이 관측 개시 이래 최고치를 기록하기도 하였다.

그림 2는 강우 사례에 대한 강우량 분포를 나타낸 것이다. 그림의 (a)는 레이더 누적 강우량을 계산할 때의 12개의 레이더 강우 강도 분포중의 하나로써 단위는 dBZ 이다. (b)는 레이더 강우 강도 분포에서 지형 에코를 제거하고 주위의 값과 지나치게 차이가 나는 지점의 값을 제거하기 위하여 평활화하여 계산된 1시간 누적 강우량 분포이다. 위의 과정을 초기화 과정이라 하며, 이렇게 계산된 레이더 강우량은 실측 강우량과는 많은 차이가 난다. 그러므로 좀 더 타당한 레이더 강우량 분포를 얻기 위하여 같은 시간에 관측된 실측 강우량으로 보정해야 한다. (c)는 16시 레이더 누적 강우량과 같은 시간에 관측된 기상청 지상 관측소의 매시 강우량 분포이며, (d)는 이

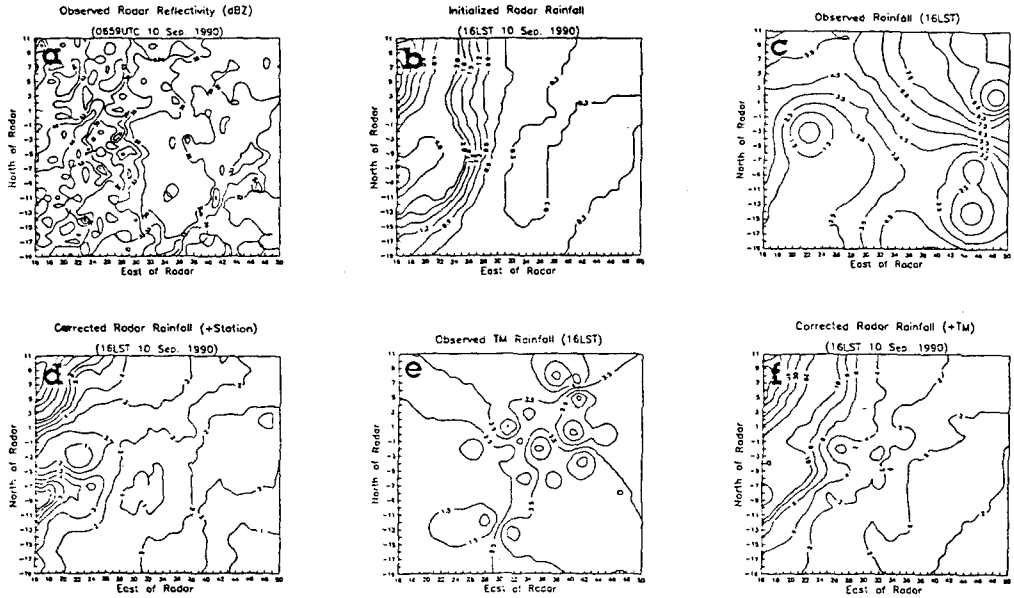


그림 2. 사례의 강우현상에 대한 레이더, 지상 강우계 및 이들을 혼합한 강우량 분포

실측 강우량으로 보정된 레이더 강우량 분포이다. (e)는 수자원 연구소의 TM 강우량 분포이고, (f)는 TM 강우량으로 보정된 레이더 강우량 분포이다.

초기화된 레이더 강우량을 기상청의 지상 관측소 자료와 수자원 연구소의 TM 강우량 자료로 각각 보정한 레이더 강우량 분포를 비교하면 두 분포 모두 북서쪽에 최대 강우량이 나타나며 전체적인 흐름은 유사하나 TM 자료로 보정한 경우에 최대치가 보다 크게 나타남을 알 수 있다. 또한 보정된 레이더 강우량이 실측 강우량보다 강하게 나타남을 알 수 있다. 그 이유는 충주댐 영역이 관악산 레이더로부터 비교적 먼 거리(약 100 - 200 km)에 위치하고 이에 따라 관측 고도도 높으므로 레이더 에코가 상대적으로 약하게 탐지되기 때문이다. 레이더 강우량이 약하게 계산되고 상대적으로 실측 강우량은 강하므로 레이더 강우량 보정시 G/R 계수가 커지므로 레이더 강우량이 비교적 강하게 보정되는 것이다.

표 1은 충주댐 담수유역을 4개의 지역으로 구분하여 평균 유역강우량을 나타낸 것으로 레이더 자료만을 이용했을 때와 레이더 강우량에 기상청의 AWS 강우량 또는 TM 자료를 혼합했을 때의 것으로 평균 유역 강우량의 개선 정도를 알 수 있다.

4. 요약 및 결론

공간적으로 조밀하지 못한 강우계 자료만을 이용하여 하천이나 댐의 집수유역에서의 유역 강우량을 산정하면 강우량의 공간적인 변화성 때문에 정확한 결과를 기대하기가 어렵다. 그렇지만 지상의 강우계를 무작정 증설한다는 것은 경제성의 문제와 유지 보수상의 난점에 부딪히게 된다.

표 1. 충주댐 유역 강우량 산정 (1990년 9월 1일)

	TIME (LST)	TOTAL BASIN	SUB(1) BASIN	SUB(2) BASIN	SUB(3) BASIN	SUB(4) BASIN
레이더	16	0.5	0.3	0.6	0.3	0.7
	17	0.6	0.2	0.9	0.3	1.2
	18	1.0	0.6	1.3	0.6	1.5
	19	0.8	0.4	1.2	0.3	1.3
	20	0.4	0.2	0.7	0.1	0.5
레이더 + AWS	16	2.0	2.2	2.1	1.6	1.8
	17	2.4	1.8	3.0	1.9	3.1
	18	4.1	4.9	4.9	3.7	2.7
	19	3.5	3.3	4.7	2.4	3.2
	20	1.9	1.5	3.1	1.0	1.8
레이더 + T/M	16	2.4	2.1	3.3	2.4	2.0
	17	3.6	1.9	6.2	2.5	4.1
	18	4.5	4.0	7.8	3.2	2.9
	19	4.7	3.1	9.3	2.1	4.1
	20	2.5	1.5	5.0	1.0	2.4

결과적으로 레이더 강우량은 강수의 공간 패턴이 잘 반영된 것을 알 수 있으며, 반면에 실측강우량은 그 지점에서의 정확한 강우량을 나타내므로 이들 두 강우자료를 혼합한 f가 이 유역에서의 강우량 분포를 가장 잘 나타내고 있다는 것을 알 수 있다. 따라서 수문 목적의 유역강우량의 산정에서는 현재의 우량자료에 기상레이더 자료를 혼합하여 사용하는 것이 바람직 할 것이다.

5. 참고문헌

- 수자원연구소/기상연구소(1995), "홍수시 유역강우 산정을 위한 기상자료의 효율적 활용방안 연구(1차), 수자원 WRR1-WR-95-4, pp105.
- 기상연구소(1992), "레이더를 이용한 단시간 강우예측 결과의 정성 및 정량적 평가(III)", MR92-3, pp101.
- 기상연구소(1988), "레이더 에코로 계산된 강우량의 정확도 평가연구", MR89-3, 129pp.
- 이정환(1994), "레이더를 이용한 시간 강수량에 대한 연구", 서울대 대기과학과 이학석사학위논문, pp95.
- 한국수자원공사(1992), "충주댐 및 소양강댐 유역 1990년 대홍수의 수문학적 분석", 수자원 92-WR-1, pp3-5.