

기상레이더 반사강도와 강우강도의 상관계수 산정

The Estimation of Radar Reflectivity Factor-Rainfall Rate Relation Coefficients

안상진* · ○김진국** · 함창학***

1. 서 론

현재 우리나라에서 강우량의 공간분포 평가는 지상 우량계자료를 이용하여 티센평균에 의한 면적우량 산정 또는 선형보간법을 사용한 등우선도 작성의 형태를 위주로 실시되고 있다. 그러나 우량계자료가 공간연속적이지 못한 단점으로 인하여 정확한 강우량의 공간분포 추정에 어려움이 있다. 이러한 단점을 보완하기 위하여 공간 연속적인 우량 자료를 제공하는 기상레이더의 활용이 수자원 현업의 주요 관심사항 중의 하나이다. 본 연구에서는 T/M 우량국의 지상관측자료와 관악산 레이더 자료를 이용하여 레이더 반사강도와 강우강도의 지수함수관계를 산정함으로써 수자원 현업에서의 기상레이더 자료의 활용에 기여하고자 하는데 그 목적이 있다.

2. 레이더 반사강도와 강우강도의 지수함수 계수 추정

통상레이더 강우강도를 추정할 Z-R 관계라 불리는 식(2.1)과 같은 경험식이 이용된다.

$$Z = AR^\beta \quad (2.1)$$

여기서 A와 β 는 강우 유형에 따라 결정되는 경험적 상수로 통상 A=200, $\beta=1.6$ 정도가 이용되고 있다. 그러나 레이더 반사강도와 강우강도사이의 관계는 여러 가지 오차 및 강우형태를 고려하여 지점별 계수를 산정함으로써 레이더 관측 영역 전체에 단일 계수를 적용하는 경우 보다 신뢰할 수 있는 레이더에 의한 강우량 자료를 얻을 수 있다.

레이더 반사강도와 강우강도사이의 관계를 분석하기 위해 식(2.1)을 식(2.2)와 같이 표현할 수 있다.

$$Z = \alpha R^\beta \quad (2.2)$$

여기서, α 는 dBZ값이 의미를 파악하기 위하여 일반적으로 사용되는 A와 다르게 표현하였다. 강우시간 t에 대한 추계학적 과정은 다음과 같다. 표본체적의 최상에서 도착하는 강우입자의 평균 수를 $\delta(t)$ (drops/m³/s), 강우입자 직경의 자연대수 평균 $\mu(t)$, 강우입자 지름의 대수 정규표준편차를 $\omega(t)$ 라할 때 Smith(1993)는 강우강도와 레이더 반사강도를 식(2.3)와 식(2.4)과 같이 유도하였다.

$$R(t) = [6\pi \times 10^{-4}] \delta(t) \exp\{3\mu(t) + 4.5\omega(t)^2\} \quad (2.3)$$

$$Z(t) = \frac{\delta(t)}{c_1} \exp\left\{(6 - c_2)\mu(t) + \frac{1}{2}(6 - c_2)^2\omega(t)^2\right\} \quad (2.4)$$

식(2.2)에서 지수함수의 계수추정방법에는 결정론적 방법과 추계학적 방법이 있다. 먼저 결정론적 방법을 고찰하며, 식(2.2)의 지수함수모형에 식(2.3)과 식(2.4)을 대입하면 식(2.5)와 같이 표현된다.

* 정회원, 충북대학교 공과대학 교수

** 정회원, 충북대학교 대학원 토목공학과 박사과정 수료

*** 정회원, 인하공업전문대학 항공측량과 교수

$$\begin{aligned} \frac{\delta(t)}{c_1} \exp\left\{(6-c_2)\mu(t) + \frac{1}{2}(6-c_2)^2\omega(t)^2\right\} \\ = \alpha[6\pi \times 10^{-4}]\delta(t)^\beta \exp\{3\beta\mu(t) + 4.5\beta\omega(t)^2\} \end{aligned} \quad (2.5)$$

식(2.5)로부터 $\delta(t)$, $\mu(t)$, $\omega(t)$ 에 관련 항들을 분리하여 정리하면 식(2.6), 식(2.7), 식(2.8)과 같다.

$$\delta(t) = \delta(t)^\beta \quad (2.6)$$

$$(6-c_2)\mu(t) = 3\beta\mu(t) \quad (2.7)$$

$$\frac{1}{2}(6-c_2)^2\omega(t)^2 = 4.5\beta\omega(t)^2 \quad (2.8)$$

식(2.6)에 의해서 $\beta=1.00$ 이면, 식(2.7)에서 ($c_2=0.67$)이면 $\beta=1.78$, 식(2.8)에서 ($c_2=0.67$)이면 $\beta=3.15$ 로 지수 함수의 계수는 1.0에서 3.15까지의 범위이다. 이와 같이 레이더 반사강도와 강우강도의 관계는 일정치 않은 추계학적 특성을 가진 것으로 판단되기 때문에 추계학적 방법에 의한 함수 설정이 요구된다. 추계학적 지수함수식은 식(2.9)와 같다.

$$Z(t) = \alpha R(t)^\beta \varepsilon(t) \quad (2.9)$$

여기서, $\varepsilon(t)$ 는 가적 오차항이며, α 와 β 는 미지의 계수이다. 오차항의 표준편차는 s 는 식(2.10)과 같다.

$$s = \text{Var}(\varepsilon(t))^{1/2} \quad (2.10)$$

강우입자 크기자료는 강우강도와 레이더 반사강도 관측에서 시간연속적이기 보다는 시간 이산형이다.

N 개 강우입자 크기로부터 얻어진 강우강도와 레이더 반사강도는 (R_i, Z_i) 로 재 표현될 수 있다. $i = 1, \dots, n$ 일 때 지수함수식은 식(2.11)과 같다.

$$Z_i = \alpha R_i^\beta \varepsilon_i \quad (2.11)$$

여기서, 오차항의 대수정규분포는 $\ln \varepsilon_i \sim N(0, w^2)$ 이다. 즉 오차항은 평균이 0이고 분산이 w^2 이다. 대수정규분포의 분산 w^2 은 변수 s 의 함으로 식(2.12)와 같다

$$w^2 = \ln \left[\frac{1 + [1 + 4s^2]^{\frac{1}{2}}}{2} \right] \quad (2.12)$$

강우강도와 레이더 반사강도 값이 (R_i, Z_i) $i = 1, \dots, n$ 서로 대응하는 수치로 주어지면 지수 함수의 계수는 각 지점의 강우량 값과 레이더 반사강도의 값에 자연로그를 취함으로써 $\ln(R_i)$ 와 $\ln(Z_i)$ 의 선형회귀분석에 의해 추정된다.

$$\hat{\beta} = \frac{\sum_{i=1}^n (\ln R_i - \overline{\ln R}) (\ln Z_i - \overline{\ln Z})}{\sum_{i=1}^n (\ln R_i - \overline{\ln R})^2} \quad (2.13)$$

$$\hat{\alpha} = \overline{\ln Z} - \hat{\beta} \overline{\ln R} \quad (2.14)$$

여기서,

$$\overline{\ln Z} = n^{-1} \sum_{i=1}^n \ln Z_i \quad (2.15)$$

$$\overline{\ln R} = n^{-1} \sum_{i=1}^n \ln R_i \quad (2.16)$$

따라서 식(2.13)과 식(2.14)로부터 지수함수식(Z-R관계)의 계수 α , β 와 값을 추정할 수 있다. Smith 등(1993)은 양의 정수화된 dBZ값과 강우강도를 사용하여 선형회귀분석을 통하여 지수함수 계수 A와 β 를 추정한 바 있다.

3. 대상지점의 레이더반사강도와 기상관측소 강우량 산출

레이더 반사강도와 강우강도의 관계를 산정하기 위하여 5개 지점의 강우관측자료와 관악산 기상레이더(위도 37 °26' 31" , 경도 126 °57' 58") 원시자료를 이용하여 동시 동점의 자료를 추출하였다. 관측반경은 240km로 레이더 반사도를 이용하여 강수량을 추정하는 경우 거리에 따른 감쇠 효과가 크므로 레이더 지점을 중심으로 반경 180km 이내의 자료만을 이용하였고, 최저 고도각(0 °)의 반사도를 통해 레이더 강수량을 산출하였다. Fig.3.1은 레이더 반사강도와 강우강도 산정 흐름도를 나타내고 있다.

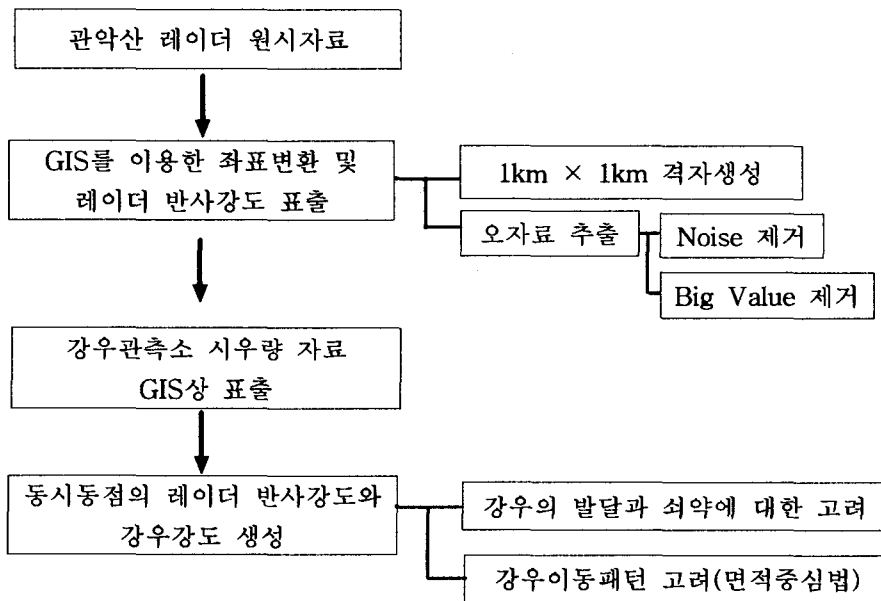


Fig. 3.1 레이더 반사강도와 강우강도 산정 흐름도

기상레이더 반사강도와 지상강우관측소의 강우강도를 비교하기 위해 충주댐 유역내 충주, 안흥, 봉양, 임계, 미탄지점이 포함될 수 있게, GIS 기법을 이용 1km×1km의 영역으로 6596개의 격자를 형성하였다. 레이더 위치로부터 각 격자 중심까지의 거리를 계산하여 레이더의 반사도를 표출한 후 강우관측소의 강우강도를 표출하는 방식으로 강우의 이동 사항을 고려하여 동시 동점의 자료를 추출하였다. 본 연구에서 이용된 자료는 2000년 9월 14일 ~ 15일(48시간) 발생한 장마전선형 호우에 대한 레이더 관측자료와 강우량 자료이다.

3.1 관측자료의 오자료 추출 및 처리

기상청 레이더의 관측자료에 포함 될 수 있는 오자료는 크게 3가지로 분류될 수 있다(기상관측소 1990). 첫째 일정강도를 가진 반사강도(보통 0 ~ 10dBZ 사이인 경우)가 정상반사강도 유무에 관계없이 전체에 나타나는 현상이며, 둘째는 반사강도 처리기의 일시적인 오동작으로 반사강도의 전자료 혹은 일정간격으로 물결무늬 형태로 일정한 단계로 높게 생산되는 경우 셋째는 실제강우 반사강도 없이 부채살 모양의 오자료만 나타나는 경우이다. 이외에 주변값보다 10dBZ이상 큰 경우 오자료로 판단하여 그 값을 제거하였다. 대상지점의 수치지도를 반사강도의 범위를 1에서 30로 표시하여 GIS 상에서 표출되는 특성 값을 읽어 분석하였으며, Fig.3.2와 Fig.3.3은 대상 호우사상의 강우강도와 반사강도를 나타내고 있다.

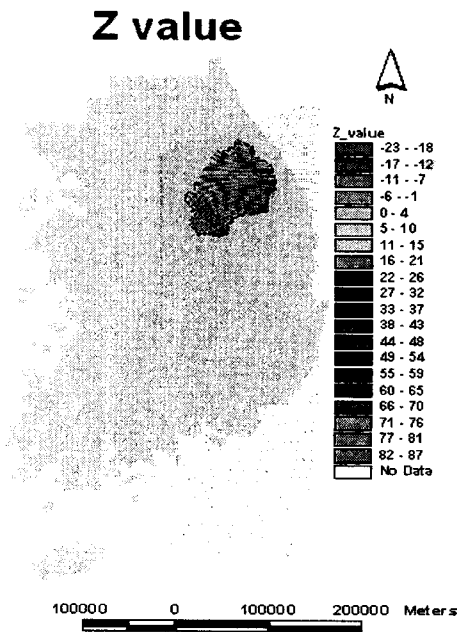


Fig.3.2 대상유역의 레이더 반사강도

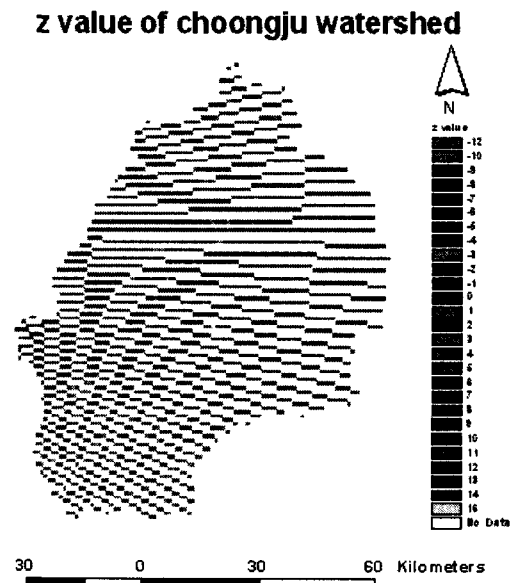


Fig.3.3 레이더 반사강도(2000.9.14~15(48시간))

4. Z-R 관계 분석 및 계수 추정

레이더 반사강도 자료와 우량계 강우강도 자료를 이용하여 Z-R 관계식의 지수함수 계수를 선형회귀분석을 통해 추정하였으며, 수자원 현업에서 사용하고 있는 양의 정수화된 dBZ값으로 변화하여 각 지점의 Z-R 관계식을 추정하였다. Table4.1은 각 지점의 강우강도와 레이더 반사도의 관계를 나타내고 있다.

Table 4.1 지점별 지수함수 계수 추정치

지점	관측사상(2000년 9월14~15일)		대상지점의 총강수량(mm)
	α	β	
충주	0.136	1.969	95
안흥	0.097	1.772	98
봉양	0.338	1.293	89
임계	0.512	0.842	114
미탄	0.263	1.644	96

5. 결론

본 연구에서는 GIS 기법을 이용하여 레이더 자료를 좌표변환후 반사강도값을 1km×1km의 격자 상에 표출하여 지상강우관측소의 자료와 일치시켜 반사강도와 강우강도의 지수함수계수를 추정하고자 하였다.

잠마전선형 호우에 대한 관측자료를 선형회귀분석으로 추정한 지점별 지수함수 계수는 α 값이 0.09~0.51과 β 값이 0.84~1.96로 추정되었다. 이상의 연구 결과는 지점별 레이더 반사강도와 강우강도관계를 설정하므로써 신뢰성 높은 레이더 강우강도를 계산하는데 도움이 될 것으로 기대된다. 추후 연구 과제는 정수화된 dBZ값을 추출하여 각 지점별 정수화된 Z-R 식을 유도하고 레이더의 반사강도와 지점별 강우량값을 보정계수를 통해 보정후 미세측 유역의 공간적인 강수분포를 추출하는 과제를 안고 있다.

6. 참고문헌

Smith, J.A. and W.F.Krajewski,(1993) "A Modeling Study of Rainfall Rate-Reflectivity Relationship," Water Resources Research, Vol. 29, No. 8, pp. 2505-2514.

유양규, "레이더 반사강도와 강우강도 관계계수 평가에 관한 연구", 전북대학교 석사학위논문, 1995

이정환, "레이다를 이용한 시간 강수량에 대한 연구", 서울대학교 석사학위논문, 1994

기상연구소, 1988: "단시간 강우예보를 위한 디지털 강수에코의 분석", MR88-3, 129pp.

기상연구소, 1989: "레이다에코로 계산된 강우량의 정확도 평가연구", MR89-3, 126pp.

기상연구소, 1990: "레이다를 이용한 단시간 강수예측 결과의 정성 및 정량적인 평가(I)", MR90-2, 90pp.

기상연구소, 1991: "레이다를 이용한 단시간 강수예측 결과의 정성 및 정량적인 평가(II)", MR91-2, 101pp.

기상연구소, 1992: "레이다를 이용한 단시간 강수예측 결과의 정성 및 정량적인 평가(III)", MR92-3, 101pp.