

레이더 반사강도와 강우강도 관계상수 평가에 관한 연구

이재형* 정재성** 유양규***

1. 서론

현재 강우량의 공간분포 평가는 우량계에 의한 관측 강우량 자료들로부터 티센평균에 의한 면적우량 산정 또는 선형 보간법을 이용한 등우선도 작성의 형태를 위주로 실시되고 있다. 우량계는 지상 강우량을 직접 측정하므로 실제값에 근접하는 장점이 있으나 매우 조밀한 우량계 망이 없이는 강우량의 공간분포를 정확히 평가하기가 어려운 단점이 있다. 반면에 레이더 강우자료는 특정지점에서의 강우량 관측치의 신뢰도가 지상강우량계보다 떨어지기는 하지만 대상 관측지역의 공간 연속적인 강우분포 자료를 제공하여 주는 장점이 있다. 이러한 문제점을 보완하기 위한 방법으로 원격 탐측 장비 중의 하나인 기상레이더(RADAR)자료의 활용을 들 수 있다. 우리나라에서는 기상현업을 위해 기상레이더에 대한 연구는 상당수 진행되었으나 수문현업을 위한 연구는 극히 미미한 실정으로 기상현업과 수문현업이 갖는 특성의 차이로 수문현업에 유용한 정량적 우량 추정 및 단시간 강우 예측에 많은 개발의 여지가 있다. 본 연구의 목적은 수문현업에 레이더 자료를 이용하기 위하여 레이더 반사강도와 강우강도사이의 관계를 설정하는 것이다. 레이더 관측자료인 반사강도와 강우강도 사이에는 밀접한 관계가 있으나 이들 관계는 시간 및 지역에 따라 변동이 심하므로 평균적인 관계식은 실용성이 떨어진다. 따라서 본 연구에서는 홍수를 유발하는 강우에 대하여 소규모 시험유역에서 강우강도와 레이더 반사강도사이의 관계를 설정하여 제시하므로써 홍수시 강우강도의 공간분포 평가에 기여하고자한다.

2. 레이더반사강도와 강우강도 관계식 평가

기상 레이더는 강우현상의 탐지뿐 아니라 다음의 두 가정으로부터 수신신호의 강도를 강우강도로 변환할 수 있다. 첫째는 강우입자는 구형이고 그 크기는 파장에 비하여

* 전북대학교 토목공학과 교수

** 한국수자원공사 수자원연구소 연구원

*** 전북대학교 토목공학과 석사과정

작다(Rayleigh산란). 둘째 강수입자는 빔내에 균일하게 분포되어 있다. 이로부터 유도된 레이더 방정식은 다음과 같다.(기상연구소,1987.)

$$\overline{P_r} = \left(\frac{\pi^3 P_t G^2 \theta \phi h}{1024 \lambda^2 \ln 2} \right) \frac{|K|^2}{r^2} \sum_{vol} D_i^6 \quad (1)$$

여기서, $\overline{P_r}$ 는 평균 수신전력, P_t 는 송신출력, h 는 펄스의 폭, λ 는 파장, G 는 레이더 이득, θ 와 ϕ 는 빔의 폭, 그리고 r 은 레이더에서의 거리이다. 위 식을 정리하여 레이더 특성 상수 C 로 표현하면 다음과 같다.

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

여기서 $Z = \sum_{vol} D_i^6$ 로 Z 를 반사강도라 한다. 식(2)에 상용대수를 취하여 정리하면,

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

식(3)에서 $10 \log Z$ 를 dBZ라 한다. 레이더 관측 자료인 원시자료는 dBZ단위로서 전파의 반사강도인 $Z(\text{mm}^6/\text{m}^3)$ 에 상용 대수를 취한 값($\text{dBZ} = 10 \log Z$)이다. 반사강도 $Z(\text{mm}^6/\text{m}^3)$ 는 레이더에 의한 우량추정을 가능하게 하는 변수로서 빗방울 직경과 개수의 함수인 $N(D)$ 를 써서 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$Z = \sum_{vol} D_i^6 = \int_0^\infty N(D) D^6 dD \quad (4)$$

여기서 \sum_{vol} 은 1m^3 의 대기 중에 존재하는 모든 산란입자를 포함한다.

한편 지상에서의 강우강도 $R(\text{mm}/\text{h})$ 는 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$R = \int_0^\infty N(D) \frac{\pi D^3}{6} v_i dD \quad (5)$$

여기서 $v_i(D)$ 는 빗방울의 최종낙하속도이며 빗방울의 직경에 따라 변하기 때문에 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$v_i = c_1 D^{c_2} \quad (6)$$

여기서 $c_1 = 3.87\text{m}/\text{s}$ 이고 $c_2 = 0.67$ 이다(Smith,1993)

식(4)에서 Z 는 빗방울 직경의 6차 모멘트에 해당하고 강우강도 R 은 식(5)와 식(6)에 의하여 빗방울 직경의 약 3.5차 모멘트에 해당하여 양자간에는 서로 밀접한 관계가 있다. 따라서 통상 레이더 강우강도를 추정할 때는 Z - R 관계라 불리는 아래와 같은 지수함수형태의 경험식이 이용된다.

$$Z = \alpha \cdot R^\beta \quad (7)$$

Smith[1993]은 강우강도와 레이더 반사강도식을 다음과 같이 제안하였다.

$$R(t) = [6\pi \times 10^{-4}] \delta(t) \exp\{3\mu(t) + 4.5\omega(t)^2\} \quad (8)$$

$$Z(t) = \frac{\delta(t)}{c_1} \exp\left\{(6-c_2)\mu(t) + \frac{1}{2}(6-c_2)^2\omega(t)^2\right\} \quad (9)$$

여기서 $\delta(t)$ (drops/m²/s)는 표본체적내의 빗방울 평균수이며 $\mu(t)$ 는 빗방울 직경의 자연대수값 평균이고 $\omega(t)$ 는 빗방울 지름의 대수 표준편차이다.

식(7)에 식(8)과 식(9)를 대입하면 β 에 관한 연립방정식을 얻을 수 있다. 이 방정식으로부터 β 의 해를 구할 수 있으며 β 값은 1, 1.78, 3.15이다.

레이더 반사강도와 강우강도사이의 관계는 단순하지 않고 일반적으로 확률적이다. Smith[1993]는 식(7)과 유사한 추계학적 지수함수 모형을 제안하였다.

$$Z(t) = \alpha R(t)^\beta \varepsilon(t) \quad (10)$$

여기서, $\varepsilon(t)$ 확률함수이며 (α 와 β)는 미지상수이다. 확률함수 $\varepsilon(t)$ 의 표준편차 s 는 다음으로 주어진다.

$$s = \text{Var}(\varepsilon(t))^{\frac{1}{2}} \quad (11)$$

빗방울 크기자료는 통상 강우강도와 레이더 반사강도 관측에서 시간 연속적이라기 이산시간형으로 취해진다. n 개 빗방울 크기로부터 얻어진 강우강도와 레이더 반사강도는 (R_i, Z_i)로 재현하면 연속형 지수함수모형 식(7)은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$Z_i = \alpha R_i^\beta \varepsilon_i \quad (12)$$

여기서, 확률변수 ε_i 의 확률분포는 $N(0, w^2)$ 이다. 즉 확률변수 $\ln \varepsilon_i$ 의 평균은 평균이 0이고 분산이 w^2 이다. 분산 w^2 은 표준편차 s 의 함으로 다음과 같이 표시된다.

$$w^2 = \ln \left[\frac{1 + [1 + 4s^2]^{\frac{1}{2}}}{2} \right] \quad (13)$$

강우강도와 레이더 반사강도 값이 $i = 1, \dots, n$ 에 대응하는 값이면 지수함수모형의 계수는 선형회귀분석에 의해 추정된다.

$$\hat{\beta} = \frac{\sum_{i=1}^n (\ln R_i - \overline{\ln R})(\ln Z_i - \overline{\ln Z})}{\sum_{i=1}^n (\ln R_i - \overline{\ln R})^2} \quad (14)$$

$$\hat{\alpha} = \exp\{\overline{\ln Z} - \hat{\beta} \overline{\ln R}\} \quad (15)$$

여기서, $\overline{\ln Z} = n^{-1} \sum_{i=1}^n \ln Z_i$ $\overline{\ln R} = n^{-1} \sum_{i=1}^n \ln R_i$

식(14), 식(15)로부터 지수함수모형 계수 α, β 의 값을 추정할 수 있다.

3. 분석대상자료 및 좌표변환

본 연구는 자료의 수집이 용이한점으로 93년 7월중 1일 연속 100mm이상인 호우를 분석대상으로 선정하였다. 7월의 기상 상황을 살펴보면 7월 중순초반(7월 11일-13일)에는 장마전선이 활성을 띠면서 서쪽에서 다가오는 저기압과 연결되어 12일 호남일부지방에 100-140mm, 13일 경기도와 강원도, 충북과 경기일부 지방에 100-160mm의 호우현상을 보였다(기상청, 1993.7.). 본 연구에서 dBZ자료는 수집이 용이한 관계로 관악산 레이더의 5분간격 관측 원시자료를 사용하였다. 관악산 레이더의 관측영역은 레이더를 중심으로 하는 극평사도법상의 등거리 격자 자료로 800km x 800km 영역이다. 레이더자료는 4km x 4km 간격으로 1개의 자료는 1byte이며 관악산 레이더 위치가 (100,100)으로 조정되어 있고 전체 200 x 200개의 등격자자료 이다. 1개의 자료는 0-127단계로 dBZ자료를 양의 정수화하기 위하여 dBZ에 32가 더해진 것이다. 지상 강우량자료는 레이더의 관측범위 안에 들며 수도권 일원의 홍수관리에 가장 크게 기여하는 충주댐 유역의 수자원공사 관할 T/M우량국자료를 이용하였다. 우량관측소 위치와 대응되는 반사강도 자료를 찾기 위하여는 관악산 레이더와 충주댐 유역의 수자원공사 우량관측소간의 거리환산이 필요하다. 이를 위해 횡메르카토르 투영법(T.M.:Transverse Mercator)을 이용하여 우량관측소의 경위도좌표를 관악산 레이더를 원점으로한 직각좌표로 변환하여 축척계수 ($m=0.9999$)를 곱한 MTM(Modified Transverse Mercator Projection)로 계산하였다. 계산결과 충주댐유역의 우량관측소들은 관악산 레이더로부터 89km에서 175km까지였다.

4. 레이더 오자료의 추출

기상청 레이더의 관측자료에는 지형반사강도와 오자료가 포함될 수 있다. 오자료는 크게 3가지로 분류될 수 있다. 첫째는 일정강도를 가진 반사강도가 정상반사강도 유무에 관계없이 전체에 나타나는 현상이며, 둘째는 반사강도 처리기의 일시적 오동작으로 반사강도의 전자료 혹은 일정간격으로 물결무늬 형태로 강도가 한 단계 높게 생산되는 경우, 셋째는 실제 강우 반사강도 없이 부챗살 모양의 오자료만 나타나는 경우로 구분된다. 이밖에 지형반사강도 상존 지점에서 강도 0dBZ의 자료라든가 혹은 강도의 이상 증폭현상으로 5분 전후의 자료와 비교할때 불연속적으로 강도가 커진 경우로 어느 한 지점의 시계열자료를 주의 깊게 분석해 보면 추출 할 수 있다.(기상연구소, 1990)

5. 결 론

본 연구는 레이더 강우관측 자료를 수문현업에 이용하기 위하여 충주댐 유역에서 레이

더 반사강도와 강우강도 관계식의 계수를 평가하는 것이다. 레이더 반사강도와 강우강도 관계는 경험적인 지수함수식 $Z = \alpha \cdot R^\beta$ 로 알려져 있다. 본 연구에서는 종래에 사용해 온 결정론적 방법은 지수함수식의 계수의 범위가 광범위하게 변하여 활용하는데 어려움이 있다. 따라서 본 연구에서는 추계학적 지수함수모형을 택하였다. 동시동점의 레이더 반사강도자료와 우량계자료는 기상청 관악산 레이더와 수자원공사 관할 충주댐유역의 T/M으로부터 계측된 값을 이용하였다. 레이더 자료를 분석하여 오자료가 있는 경우는 이를 사용하지 않았으며 MTM투영계산된 우량국지점에서 지형반사 강도가 존재할 경우는 모형에 미칠 영향을 고려 사용하지 않았다. 지상 우량관측자료중 지형반사강도의 존재지점과 강우량자료의 양호성을 고려한 결과 8개소의 강우량자료를 사용하였다. 강우량자료는 레이더 탐측 시간 전후 3-5분사이의 평균 강우강도로 계산하여 이용하였다. 이들 자료를 활용하여 제2절에서 언급한바와 같이 선형회귀분석을 실시하여 α 값과 β 값을 추정하였다. 본 연구결과 $\hat{\alpha} = -4.66$, $\hat{\beta} = 1.49$ 로서 $\alpha = 0.0095$, $\beta = 1.49$ 로 추정되었다. β 값 1.49는 결정론적 방법에 의하여 얻어진 β 값 1~3.15범위 내의 값이다. 선형회귀분석의 오차추정은 자료의 한계로 인하여 실시하지 못하였다. 장차 보다 많은 자료에 대한 분석과 검증이 필요하며 이를 통한 β 값의 추정으로 레이더 자료를 레이더 강우강도로 환산하여야 한다.

6. 참 고 문 헌

1. 과학기술처, 위성 및 레이더자료를 이용한 단시간 강우예보시스템 개발연구(III), 1993.11.
2. 기상연구소, 단시간 강우예보를 위한 디지털 강우예코의 분석, 1988.
3. 기상연구소, 레이다를 이용한 단시간 강우예측 결과의 정성 및 정량적인 평가(I), 1990.
4. 기상연구소, 레이다 예코로 계산된 강우량의 정확도 평가 연구, 1989.
5. 기상연구소, 이동식 기상레이더 영상 특성분석을 통한 강우량산정, 1987.
6. 기상청, 기상월보, 1993.7.
7. 한국과학기술연구원 시스템공학연구소, 레이더와 우량계를 이용한 우량 추정(I), 1992.12
8. Ustin, P.M., Relation between measured radar reflectivity and surface rainfall, Mon. Weather Rev., 115, 1053-1070, 1987.
9. Henri Sauvageot, Radar Meteorology, Artech House, 1992.
10. Louis J. B., Radar Observation of the Atmosphere, University of Chicago, 1981.
11. Ronald E. Rinehart, Radar for Meteorologists, University of North Dakota, 1992
12. Smith, J.A., Marked point process models of raindrop size distributions, J. Appl. Meteorol., 32, 284-296, 1993.
13. Smith, J.A. and W.F. Krajewski, A Modeling Study of Rainfall Rate-Reflectivity Relationships, Water Resources Research, Vol. 29, No. 8, 2505-2514, 1993.