

레이더 반사강도와 강우강도의 Z-R 관계식 산정 Estimation of Z-R Relationships between Radar Reflectivity and Rainfall rate

안 상 진* / 김 진 극**
Ahn, Sang Jin / Kim, Jin Geuk

Abstract

The purpose of this study is to estimate Z-R relationships of between radar reflectivity and rainfall rate.

The Z-R relationships estimated that rainfall events are selected at Yeongchun water level station where the discharge recorded from 1,000cms to 8,519cms in chungju dam basin.

The result of Z-R relationship distributed at thirty two raingage sites, the constant values of A and β are distributed between 26.4 and 7.4, 0.9 and 1.56 respectively. The correlation coefficients of standard Z-R relationships($Z=200R^{1.6}$) shows that 0.63 lower than each other raingage sites(0.65~0.748).

Keywords : Radar, Z-R relationship

요 지

본 연구는 목적은 레이더 자료의 활용을 위해 레이더 반사강도와 강우강도 사이의 레이더 관계식을 산정하는 것이다.

Z-R 관계식을 산정하기 위해 충주댐 유역의 수위표지점중 영춘 수위표 지점의 유출량이 1,000~8,519m³/sec 인 강우사상을 선정하여 Z-R 방정식을 산정하였다. 32개의 강우량 관측소에서 A= 26.4~37.4, $\beta=0.97\sim1.56$ 의 범위내에 분포함을 알 수 있었다. 산정된 Z-R 방정식의 상관계수는 0.63~0.748범위이며, Z=200R^{1.6}식의 상관계수는 0.63로 지점별 Z-R 방정식의 상관계수보다 낮은 상관성을 보이고 있다.

핵심용어 : 레이더, 레이더 방정식(Z-R)

* 충북대학교 토목공학과 교수

Professor., Dept. of Civil Engineering, Chungbuk National University, Cheongju, Chungbuk 361-763, Korea
(E-mail : hydrosys@trut.chungbuk.ac.kr)

** 충북대학교 대학원 토목공학과 박사과정 수료

Doctoral Candidate, Dept. of Civil Engineering, Chungbuk National University, Cheongju, Chungbuk 361-763, Korea
(E-mail : jinwon3@netian.com)

1. 서론

강우의 공간분포 평가는 지상 우량계 자료로부터 티센평균에 의한 면적강우량 산정 또는 선형 보간법을 사용한 등우선도 작성의 형태로 실시되고 있다. 우량계는 강우량을 직접 측정하므로 실제값에 근접하다는 장점이 있으나, 매우 조밀한 우량계측망이 없으므로 정확한 강우량의 공간분포 산정이 어렵다는 단점을 내포하고 있다.

이러한 문제점을 보완하기 위한 방법으로 레이더 반사강도 자료의 활용을 들 수 있다. 레이더 반사강도 자료를 이용하기 위한 선결 과제의 하나는 대상유역별로 지역특성과 호우 형태에 맞는 레이더 반사강도와 강우강도 사이의 관계 설정하는 것이다. 대기중에 존재하는 빗방울의 크기의 분포에는 어떤 규칙성이 있어 뇌우의 경우 $A-\beta$ 는 450-1.5, 소나기의 경우 $A-\beta$ 는 300-1.4, 일정한 비는 $A-\beta$ 는 200-1.5 정도의 값을 취하는 경향을 보이고 있다(기상청 1990). 현재 우리나라에서는 이와 같이 강우 유형별로 $A-\beta$ 값을 적용하여 강우강도를 산출하는 것이 바람직하지만 작업상 어려움으로 통상 $A=200$, $\beta=1.6$ 으로 레이더 반사강도 강우강도 사이의 관계를 설정하고 있으며, 우리나라에서 관측된 레이더 반사강도를 이용해 강우량을 산출하며 실제 강우량에 비해 과소 평가되고 있는 특성을 보이고 있다(기상연구소 1989).

기상레이더에 대한 연구는 대부분 기상청 산하에 기상연구소를 통해 이루어지고 있다. 기상연구소(1996) 레이더를 이용한 유역강우 산정기법 연구를 통해 레이더 반사강도의 정량적 분석을 통해 실측강우량과 레이더 강우량을 관측소별 보정계수를 산출하여 유역에 대한 강우량 산출을 연구하였고, 김효경(2002) 등은 Z-R 관계식을 산출하고 먹급수 형태의 관계식과 비교 분석하는 WPMM 방법을 이용하여 Z-R 관계를 연구하였다. 외국의 경우 Marshall(1948) 등이 강우입자의 크기를 규명하는 연구를 시작으로, Austin(1960), Calherios(1987), Rosenfeld(1993) 등은 먹급수 형태의 Z-R 관계식으로부터 레이더 관측영역 내에서 두 변수의 발생 확률에 대한 관계식을 분석하여 관계식을 추정하였다. 그러나 지점별, 호우별 레이더 반사강도와 강우강도 사이의 관계 설정은 레이더 관측 지역 전체에 걸쳐 하나의 관계계수를 산정하므로써 대상유역에 대한 신뢰성이 높은 레이더 강우강도 관계를 계산할 수 없었다. 따라서 본 연구에서는 강우관측소가 설치된 지점별 레이더

반사강도와 강우강도 관계(Z-R)를 지수함수관계를 이용하여 산정하였다.

2. 레이더 반사강도와 강우강도의 지수함수 산정

레이더는 기상 목표물을 탐지하여 강우량을 정량적으로 계산하는데 레이더 수신기 내부에서는 레이더 방정식이 사용된다. 레이더 방정식을 유도하는데는 목표물의 입자는 구형이고, 그 크기가 레이더 파장에 비하여 아주 작으므로 Rayleigh 산란을 하고 강수 입자는 레이더 빔(beam)내에 균일하게 분포되어 있다는 가정을 바탕으로 레이더 강우강도를 추정할 때는 Z-R관계라 불리는 식(1)와 같은 경험식이 이용된다.

$$Z = A \cdot R^\beta \quad (1)$$

여기서, A와 β 는 강우 유형에 따라 결정되는 경험적 상수로 통상 $A=200$, $\beta=1.6$ mm⁶으로 Marshall and Palmer(1948)의 직경 분포를 가지는 총상운을 가정할 때 적용되는 계수이다.

레이더 반사강도와 강우강도사이의 지수함수적 관계를 구하기 위해 식(2)와 같이 표현할 수 있다.

$$Z = \alpha R^\beta \quad (2)$$

여기서, α 는 dBZ값의 의미를 파악하기 위하여 일반적으로 사용되는 A와 다르게 표현하였다.

강우시간 t에 대한 추계학적 과정은 다음과 같다. 표본체적의 최상에서 도착하는 강우입자의 평균수를 δ (t) ($drops/m^2/s$), 강우입자 직경의 자연대수 평균 μ (t), 강우입자 지름의 대수 정규표준편차를 ω (t)라할 때 Smith(1993)는 강우강도와 레이더 반사강도를 식(3)과 식(4)와 같이 유도했다.

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

$$Z(t) = \frac{\delta(t)}{c_1} \exp\left\{(6-c_2)\mu(t) + \frac{1}{2}(6-c_2)^2\omega(t)^2\right\} \quad (4)$$

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

$$\frac{\delta(t)}{c_1} \exp\left\{(6-c_2)\mu(t) + \frac{1}{2}(6-c_2)^2\omega(t)^2\right\} \\ = \alpha[6\pi \times 10^{-4}]\delta(t)^\beta \exp\{3\beta\mu(t) + 4.5\beta\omega(t)^2\} \quad (5)$$

식(5)로부터 $\delta(t)$, $\mu(t)$, $\omega(t)$ 에 관한 항들을 분리하여 정리하면 식(2.6)과 같다.

$$\delta(t) = \delta(t)^\beta \quad (6)$$

$$(6-c_2)\mu(t) = 3\beta\mu(t) \quad (7)$$

$$\frac{1}{2}(6-c_2)^2\omega(t)^2 = 4.5\beta\omega(t)^2 \quad (8)$$

식(6)에서 $\beta=1.00$, 식(7)에서 $c_2=0.67$ 이면 $\beta=1.78$, 식(8)에서 $c_2=0.67$ 이면 $\beta=3.15$ 이다. 따라서 결정론적 방법에 의한 지수함수의 계수는 1.0에서 3.15까지의 범위이다. 이와 같이 레이더 반사강도와 강우강도의 관계는 일정치 않은 추계학적 특성을 가진 것으로 판단되기 때문에 추계학적 함수 설정이 요구된다. 추계학적 지수함식은 식(2.9)과 같다.

$$Z(t) = \alpha R(t)^\beta \varepsilon(t) \quad (9)$$

여기서, $\varepsilon(t)$ 는 가적 오차항이며, α 와 β 는 미지의 계수이다.

오차항의 표준편차는 s 는 식(2.10)와 같다.

$$s = \text{Var}(\varepsilon(t))^{1/2} \quad (10)$$

강우입자 크기자료는 강우강도와 레이더 반사강도 관측에서 시간 연속적이라기 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.

$$Z_i = \alpha R_i^\beta \varepsilon_i \quad (11)$$

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 식(2.12)로 표현된다.

$$w^2 = \ln \left[\frac{1 + [1 + 4s^2]^{1/2}}{2} \right] \quad (12)$$

강우강도와 레이더 반사강도 값이 (R_i, Z_i) $i=1, \dots, n$ 서로 대응하는 값으로 주어지면 지수함수의 계수는 $\ln(R_i)$ 와 $\ln(Z_i)$ 의 선형회귀분석에 의해 추정된다.

$$\hat{\beta} = \frac{\sum_{i=1}^n (\ln R_i - \overline{\ln R})(\ln Z_i - \overline{\ln Z})}{\sum_{i=1}^n (\ln R_i - \overline{\ln R})^2} \quad (13)$$

$$\hat{\alpha} = \overline{\ln Z} - \hat{\beta} \overline{\ln R} \quad (14)$$

여기서,

$$\overline{\ln Z} = n^{-1} \sum_{i=1}^n \ln Z, \quad \overline{\ln R} = n^{-1} \sum_{i=1}^n \ln R_i \quad (15)$$

식(13)과 식(14)로부터 지수함수식(Z-R관계)의 계수 α , β 와 값을 추정할 수 있다.

3. 대상구역 및 관측자료

3.1 대상구역

레이더 반사강도를 이용하여 강우량을 산정할 경우 거리에 따른 감쇄효과가 크므로 관악산 레이더 지점을 기준으로 유효 탐지 범위 240km 반경이내의 지역으로 비교적 TM우량관측소의 밀도가 높은 충주댐 유역내 38개 지점을 선택하여 시우량자료를 이용하였다. 남한강에 위치한 충주댐 유역은 충주댐 지점으로 6,648.0km²로 유역평균강우량은 1,093mm 정도이다. 수자원공사에서 영월 1, 영월2, 영춘, 관운 등 수위-유량 관측지점을 운영하고 있어, 충주댐 유역 강우-유출에 대한 연구가 오랜 기간 이루어지고 있다.

3.2 관측자료

본 연구에서는 관악산레이더 자료를 이용하였으며, 위치는 위도 37° 26' 31", 경도 126° 57' 58", DWSR-88C모델로 레이더자료는 UF(Universal Format)형태로 이루어져 있다. 관측고도각(SWEEP)은 0~7도까지 변화 가능하며, 관측방향각(RAY)은 0~359°로 파일크기는 5,815,936byte로 구성되어 있다. DWSR-88C모델의 파일은 DZ(uncorrected dBZ), CZ(corrected dBZ), VR(velocity), SW(spectral width)의 4개 저장항목으로 이루어져 있으며, 레이더 반사강도를 나타내는 CZ 항목은 반사강도가 관측되지 않은

Table 1. The characteristics of radar at Kwanak Mt

Parameters	Characteristics
Radar type	DWSR-88C
Antenna diameter(m)	3.6
Wavelength (cm)	5.6
Pulse repetition frequency(Hz)	250
Range(km)	240
Pulse width(μs)	2.0

경우 -32768로 표현되어 있다. 모든 관측값은 반사강도의 값이 매우 작으므로 그 값에 100을 더한 수치로 표현되어 있다. 30분마다 RSL 1.1로 변환된 파일을 이용하였으며, 대상구역이 관악산 지점과 먼 거리에 위치하고 있으므로 관측고도각은 0°, 관측 방위각은 0~180도 사이의 데이터를 선택하여, GIS상에서 충주댐 유역을 경계로 하여 레이더 반사강도 자료를 획득하였다. 획득한 자료중 일정강도를 가진 반사강도가 정상반사강도 유무에 관계없이 전체에 나타나는 경우와, 반사강도가 일정 간격으로 물결무늬 형태로 강도가 한 단계 높게 생산되는 경우를 오자료로 분류하여 하여 제거하였다.(기상연구소 1990) 또한 대상구역에서 우량계에 강우가 관측되지 않은 시간에 0dBZ이 아닌 값을 가지는 레이더 자료와 주위 8개 격자에 나타난 dBZ보다 10dBZ 이상 큰 값을 갖는 경우 오자료로 판단하여 레이더 반사강도 자료를 사용하지 않았다. Table 1.은 DWSR-88C에 특성 제원을 나타내고 있다.

레이더 방정식은 호우의 패턴에 따라 매 시간 변화하므로 오랜 기간 대상 유역을 선정하여 레이더 반사강도 자료와 강우강도와와의 관계를 산정하여야 하나, '98년 이후 관악산 레이더 시스템의 변화와 축적된 자료의 부족으로 연구가 어려운 실정이다. 따라서 본 연구에서는 충주댐 유역의 수위표지점중 영춘 수위표 지점을 선정하여 호우패턴에 따라 변화하는 레이더 방정식을 호우패턴이 아닌 대상구역의 유출 수문곡선을 이용하여 영춘 수위표 지점의 유출량이 1,000~8,519m³/sec 범위에 분포한 1998년 7월 3일 03:00~7월 4일 05:00까지, 1999년 8월 2일 20:00~8월 3일 24:00(제7호 태풍 OLGA), 2000년 9월 14일 09:00~9월 17일 21:00(제14호 태풍 사오마이)의 사상을 선정 각 지점별 Z-R 방정식을 산정하였다.

4. 적용 및 고찰

강우량관측소 위치와 레이더 반사강도 자료를 대응

시키기 위해 GIS을 이용하여 관측소의 경위도 좌표를 직교좌표로 변환 후 관악산 레이더 지점에서부터의 거리를 산출하였다. 충주댐 유역을 1km×1km의 격자형으로 나누어 가로 804개, 세로 642개의 격자망을 형성하였다. Fig. 1는 레이더 반사강도와 강우강도의 지수 함수 산정 순서를 나타내고 있다.

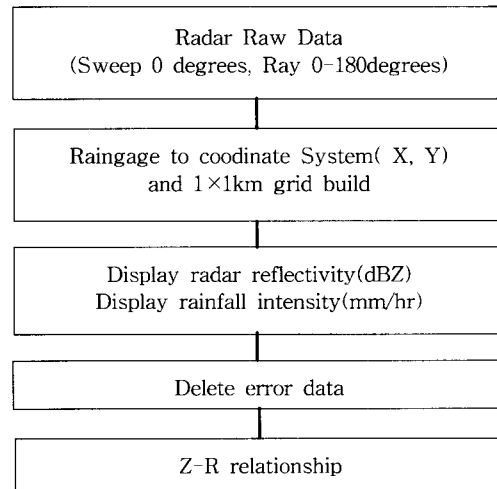


Fig. 1 The schematic flow chart for calculation between radar reflectivity and rainfall intensity

적용강우 사상에 대하여 관악산 레이더 반사강도와 강우 관측소 강우강도가 동시에 존재하는 시간대만의 강수량을 추출하여 38개 지점에 대하여 지수함수 관계를 산정하였다.

Fig. 2은 충주댐 유역 강우 관측소의 위치 및 1×1km 격자를 나타내고 있다. Fig. 3은 2000년 9월14일 16:00 레이더 반사강도가 같은 존재하는 영역을 나타내고 있다.

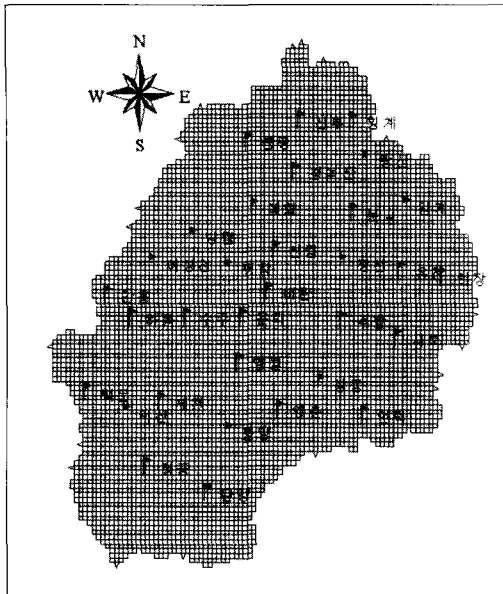


Fig. 2 The study area with rain gauge network and 1×1km grid map

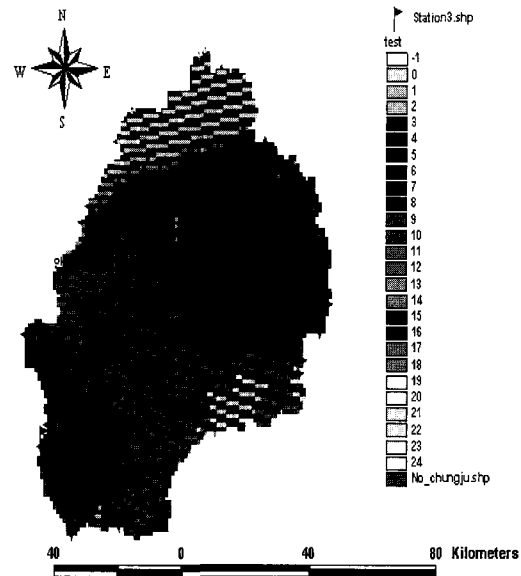


Fig. 3 Radar reflectivity factor (2000. 9. 14 16: 00)

4.2 레이더 반사강도와 강우 강도의 지수함수 산정

레이더 반사강도와 강우 강도의 지수함수 관계를 산정하기 위해 강우강도와 레이더 반사강도가 동시에 존재하는 자료를 이용하여 먼저 결정론적 방법으로 산정된 β 값의 범위(1~3.15)안에 포함되는지 계산하였다.

결정론적 방법으로 산정된 β 값은 임계($\beta=4.10$), 하장($\beta=3.75$), 사북($\beta=3.91$), 문곡($\beta=4.27$), 유천($\beta=3.81$), 덕암($\beta=4.71$)이 결정론적 방법에 의해 산정된 범위에 들지 않는 값이었다. 이는 자료수의 부족과 강우강도가 높게 나타나는 자료의 수가 강우강도가 적은 경우보다 상대적으로 적었기 때문으로 판단된다.

지점별 β 값이 허용범위내에 있는 지점에 대하여 지점별 자료를 모두 이용하여 식(13), (14)식에 적용 α , β 값을 산정하였다. 산정 결과 α 값은 0.001~0.195의 범위에 분포하고 있으며, Z-R관계식에 A 값을 알기 위하여 반사강도(dBZ)를 정수화하기 위해 32를 더한 값을 이용하였다. β 값은 dBZ 값이나 양의 정수화된 dBZ 값에서나 같았으나 A 값은 큰 차이를 보였다. 레이더 반사강도와 강우강도관계의 지수함수적 관계는 양의 정수화된 dBZ를 사용하여도 β 값은 변하지 않는 것으로 판단된다. 각 지점별 상관계수는 0.65~0.748범위

이며, $Z=200R^{1.6}$ 식의 상관계수는 0.63로 지점별 Z-R 방정식의 상관계수보다 낮은 상관성을 보이고 있다. 각 지점별 Z-R 방정식의 산정 결과는 Table 2와 같다

4.3 레이더 방정식의 정량적 평가

레이더 방정식의 정량적 평가를 위해 산출된 강우강도와 레이더 반사강도(dBZ)의 관계를 그래프로 그려 보면 A- β 값을 어떻게 주어 주는가에 따라 현저한 차이를 볼 수 있다.

Fig. 4는 강우사상 중 레이더 반사강도의 발생빈도를 나타내고 있으며, 대부분 5~15dBZ 사이로 나타났다.

Fig. 5는 대상 강우사상의 빈도분포를 나타낸 것으로 평균 18.4mm/hr로 나타났다. Fig.4.6는 평창과 수주지점 그리고 Marshall에 의한 Z-R 관계식을 나타내고 있으며, 레이더 반사강도가 40dBZ 일 때 평창 지점은 $R=64.7\text{mm/hr}$, 수주지점은 $R=230.9\text{mm/hr}$, $Z=200R^{1.6}$ 식에서는 $R=11.53\text{mm/hr}$ 로 산정되었다. 강수형태에 따라 변화하는 A 값과 β 값의 범위는 $A=26.4\sim37.4$, $\beta=0.97\sim1.56$ 의 범위로 A 값이 가장 큰 평창지점의 경우 40dBZ에서 급상승하여 64mm/hr 이상의 강우강도를 나타냈고, A 값이 가장 작은 수주지점은 34dBZ에서 67.28mm/hr이상의 강우강도를 나타내

Table 2. The result of calculation A and β value in each station

Raingage	Latitude	Longitude	Coordinate System(X)	Coordinate System(Y)	Distance (km)	Z = AR ^{β}	Correlation Coefficients
Baegun	37-08-34	128-01-31	290833.065	404556.312	100	Z=34.12R ^{1.34}	0.733
Sangdong	37-08-09	128-37-02	343426.403	405317.861	162	Z=31.21R ^{1.25}	0.715
Jengseon	37-22-40	128-39-50	347101.463	432241.192	152	Z=29.4R ^{0.97}	0.733
Bongpyeong	37-37-18	128-21-33	319723.023	458877.285	132	Z=30.0R ^{1.24}	0.650
Cheongpung	36-59-34	128-10-17	304009.416	388861.637	123	Z=31.31R ^{1.30}	0.725
Suju	37-16-56	128-16-50	313294.380	421107.836	130	Z=22.53R ^{1.12}	0.733
Danyang	36-56-09	128-19-39	317993.561	382724.265	132	Z=33.4R ^{1.24}	0.713
Imgye	37-29-40	128-49-15	360752.140	445446.141	176	-	-
Yeongweol	37-11-30	128-24-42	325070.547	411223.182	131	Z=32.1R ^{1.25}	0.717
Yeongchun	37-04-31	128-29-03	331709.080	398404.679	142	Z=35.4R ^{1.35}	0.761
Pyeongchang	37-22-30	128-23-21	322774.640	431540.024	138	Z=37.41R ^{1.34}	0.687
Jinbu	37-39-29	128-34-43	339027.434	463218.680	156	Z=27.41R ^{1.24}	0.713
Bangrim	37-26-29	128-17-55	314653.033	438793.956	130	Z=29.7R ^{1.34}	0.733
Daeha	37-29-21	128-27-27	328631.308	444301.719	132	Z=30.2R ^{1.27}	0.711
Hoenggye	37-39-34	128-42-33	350544.514	463574.465	156	Z=32.9R ^{1.12}	0.687
Sabug	37-13-58	128-49-13	361262.241	416403.476	166	-	-
Chungju	37-00-15	127-59-49	288468.245	389949.118	115	Z=28.41R ^{1.35}	0.721
Anheung	37-19-43	128-05-05	295869.732	426039.302	112	Z=32.16R ^{1.25}	0.721
Jecheon	37-06-56	128-12-44	307470.872	402532.124	116	Z=34.1R ^{1.35}	0.771
Mitan	37-19-34	128-29-55	332554.029	426262.236	136	Z=35.4R ^{1.35}	0.755
Hajang	37-21-01	128-56-13	371348.641	429649.742	175	-	-
Wangsan	37-34-27	128-44-07	353023.205	454151.703	158	Z=33.4R ^{1.25}	0.717
Deogsan	36-53-54	128-09-49	303440.965	378680.810	116	Z=31.4R ^{1.32}	0.729
Bongyang	37-05-26	128-07-17	299431.081	399658.819	109	Z=33.7R ^{1.33}	0.731
Eosangcheon	37-03-25	128-23-01	322797.151	396235.460	133	Z=35.7R ^{1.21}	0.707
Unhag	37-24-28	128-11-25	305113.667	434937.485	109	Z=30.5R ^{1.18}	0.700
Undeog	37-16-47	128-25-17	325787.304	421008.411	130	Z=28.4R ^{1.23}	0.711
Hadong	37-04-57	128-43-34	353208.920	399569.011	161	Z=38.4R ^{1.37}	0.739
Sinrim	37-14-54	128-08-42	301319.212	417193.179	106	Z=27.6R ^{1.21}	0.707
Cheonggosan	37-22-18	128-29-32	331908.051	431309.152	137	Z=26.4R ^{1.28}	0.721
Suhang	37-33-41	128-33-51	337931.367	452468.534	142	Z=37.4R ^{1.37}	0.739
Mungog	37-16-10	128-40-46	348692.574	420242.233	153	-	-
Yucheon	37-29-11	128-43-09	351777.817	444383.236	154	-	-
Deogaam	37-21-26	128-49-55	362030.307	430235.068	165	-	-
Gwisan	36-49-53	127-44-26	265798.165	370568.951	107	Z=29.6R ^{1.4}	0.744
Jangyeon	36-48-28	127-57-14	284853.547	368117.018	113	Z=24.8R ^{1.24}	0.713
Dalcheon	36-55-20	127-55-36	282301.713	380792.804	103	Z=26.7R ^{1.28}	0.721
Judeog	36-57-53	127-45-55	267885.163	385381.811	89	Z=31.4R ^{1.34}	0.733

※ ' - ' 자료의 부족으로 산정하지 못함

고 있다. β 값이 가장 큰 제천지점($\beta=1.56$)은 44dBZ에서 68.9mm/hr, 가장 작은 정선($\beta=0.92$)로 40dBZ에서 69.3mm/hr의 강우 강도를 나타내고 있다. 따라서 산정된 Z-R 관계식은 40dBZ이상의 반사강도에서는 적용시 고려를 요한다. $Z=200R^{1.6}$ 식을 적용할 경우 모든 지점에서 실제 강수량에 비해 과소 평가되고 있는 것을 알 수 있다.

이와 같이 레이더 반사강도를 강우강도로 환산할 경

우 A- β 값을 어떻게 주어 주는가에 따라 큰 차이를 보이며 그에 따른 오차는 레이더 반사강도가 강한 경우 해석에 심각한 영향을 주게 될 것으로 사료된다.

본 연구에서 사용된 원시 레이더 반사강도 범위는 대부분 5~15dBZ 정도이며 최대 35dBZ 값으로 분포하고 있어, 영춘 수위표 지점의 유출량이 1,000m³/sec ~8,519m³/sec 경우 Table 4.2의 Z-R 관계식을 이용하여 공간 분포된 강우량을 산정할 수 있을 것으로

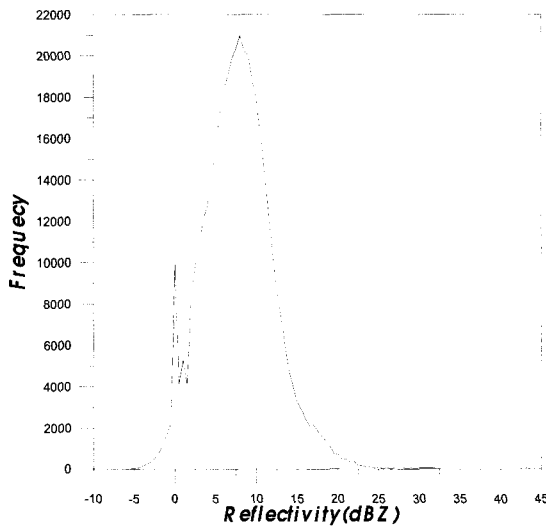


Fig. 4 The frequency distribution of radar reflectivity

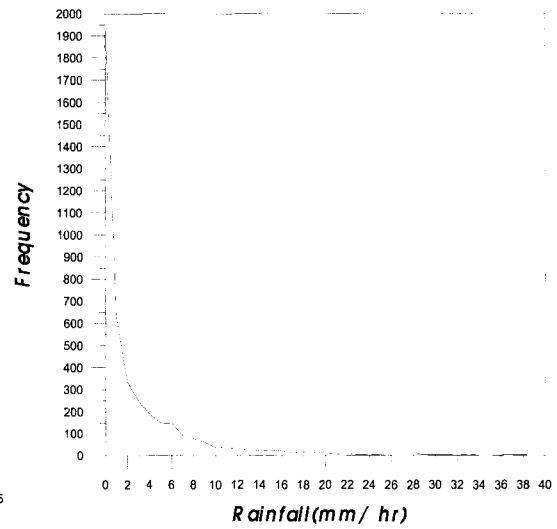


Fig. 5 The frequency distribution of rainfall intensity

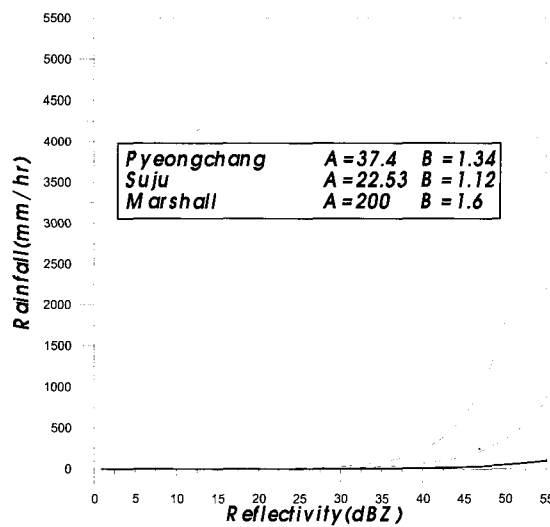


Fig. 6 Relation between radar reflectivity and rainfall

판단된다. 그러나 연구결과는 한정된 결과이므로 레이더 장비의 안정성 및 많은 레이더 반사강도자료의 축적과 그 값에 대한 신뢰성이 대해서는 좀 더 신중한 사후 검증이 필요하겠다.

5. 결 론

충주댐 유역의 수위표지점중 영춘 수위표 지점을 선정하여 호우패턴에 따라 변화하는 레이더 방정식을 영춘 수위표 지점의 유출량이 1,000~8,519m³/sec인 강우사상을 선정하여 레이더 반사강도와 강우강도가 동시에 존재하는 지점별 Z-R 방정식을 산정하였다.

(1) 결정론적 방법으로 산정된 β 값은 임계($\beta=4.10$), 하장($\beta=3.75$), 사북($\beta=3.91$), 문곡($\beta=4.27$)이 결정론적 방법에 의해 산정된 범위에 들지 않는 값이었다. 이는 자료수의 부족과 강우강도가 높게 나타나는 자료의 수가 강우강도가 적은 경우보다 상대적으로 적었기 때문에 판단된다.

지점별 β 값이 허용범위내에 있는 지점에 대하여 지점별 자료를 동시에 이용하여 α , β 값은 산정하였고, A값을 알기 위하여 반사강도(dBZ)를 정수화하여 산정된 결과 레이더 반사강도와 강우강도관계는 양의 정수화된 dBZ를 사용하여도 β 값은 변하지 않는 것으로 판단된다.

(2) 산정된 Z-R 방정식의 상관계수는 0.65~0.748 범위이며, Z=200R^{1.6}식의 상관계수는 0.63로 지점별 Z-R 방정식의 상관계수보다 낮은 상관성을 보이고 있다. 적용된 레이더 반사강도를 사용하여 Z-R 관계식을 추정할 경우 레이더 반사강도가 40dBZ 이상에서는 적용시 고려하여야 할 것으로 사료된다. Z=200R^{1.6}은 레이더 반사강도로 이용한 강우 강도 산정시 과대 추정의 위험성을 고려한 식으로 판단되며, 대상 지점에서서는 과소 평가되는 것으로 나타났다.

(3) 적용 사상의 평균 강우강도는 18.4mm/hr, 레이더 반사강도 범위는 5~15dBZ 정도이며 최대 35dBZ 으로 분포하고 있어 Table 4.2의 Z-R 관계식을 이용하여 공간 분포된 강우량을 산정할 수 있을 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

기상연구소 (1990), **레이다를 이용한 단시간 강우 예측 결과의 정성 및 정량적인 평가(1)**, pp.

1~101.

기상연구소 (1995). **레이다를 이용한 유역강우 산정 기법 연구**, pp. 1~113.

기상연구소 (1996). **레이다를 이용한 유역강우 산정 기법 연구(2차)**, pp. 1~133.

김효경, 이동인, 유철환, 권원태 (2002). "WPMM 방법을 이용한 레이더 강수량 추정." **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제 35권 제1호, pp. 25-36.

이정환 (1994). 레이다를 이용한 시간 강수량에 대한 연구. 석사학위논문, 서울대학교

유양규 (1995). 레이더 반사강도와 강우강도 관계상수 평가에 관한 연구. 석사학위논문, 전북대학교

Austin, P. M. and Geotis, S. (1960): The radar Equation Parameters. Preprints, Eighth Radar meteorology Conf., San Francisco, *Amer. Meteor. Soc.*, pp.15-22.

Bacchi, B, and Borga, M. (1994): Spatial correlation pattern and rainfall field analysis, *Excerpta*, 7, pp. 7-40

Calheiros, R. V. and Zawadzki, I. (1987): Reflectivity-rain relationships for radar hydrology in Brazil. *J. Clima Appl. Meteor.*, 26, pp. 118-132

Marshall, J. S. and W. McK. Palmer, (1948): The Distribution of Raindrops with Size, *J. Meteor.*, 5, pp. 165-166.

Marshall, J. S., R. C. Langille and W. McK. Palmer, (1947): Measurement of rainfall by radar, *J. Meteor.*, 4, pp. 186-192.

Krajewski, W. F. (1987): Radar rainfall data quality control by the influence function method, *Water Resources Research*, 23(5), pp. 837-844

Saubageot, H. (1994): Rainfall Measurement by Radar: a review. *Atmos. Res.* 35, pp. 27-54.

Smith, J. A. (1993): Marked point process models of raindrop size distributions, *J. Appl. Meteorol.*, 32, pp. 284-296.

Seo, D. J., W. F. Krajewski, and Bowles, D. S. (1990): Stochastic Interpolation of Rainfall Data from Raingages and Radar using Cokriging, 1, Desing of experiments, *Water*

- Resour. Res.*, 26, pp. 469-477.
- Seo, D. J., W. F. Krajewski, and D. S. Bowles, (1990): Stochastic Interpolation of Rainfall Data from Raingages and Radar using Cokriging, 2, Result, *Water Resour. Res.*, 26, pp. 915-924.
- Wilson, J. W., (1970): Integration of Radar and Raingage Data for Improved Rainfall Measurement, *J. Appl. Meteor.*, 9, pp. 489-497.
- Wilson, J. W., and E. A. Brandes, (1979) : Radar Measurement of Rainfall-A Summary, *Bull. Am Meteorol. Soc.*, 60, pp.1048-1058.
- (논문번호:02-60/접수:2002.08.24/심사완료:2002.12.16)