

## 레이더 관계식 산정을 위한 격자망 크기 결정

### Determination Grid Cell for Estimation of Radar Relationship

이 원 호\* · 김 진 극\*\*  
Lee, Won Ho · Kim, Jin Geuk

#### Abstract

The purpose of the study is to determine grid cell of radar relationship, and to promote the radar data on hydrology field. The study region is the Chungjudam basin with a drainage area of 6,648 km<sup>2</sup> located within the 260 km circle under the DWSR-88C C-band umbrella(Kwanak Mt Radar). Grid cell was produced to extract radar reflectivity and rainfall data of the same time and point using Arc-view software package. The grid cell size is to estimate mean correlation coefficient for 1 km×1 km, 2 km×2 km, 3 km×3 km grid. The result of mean correlation coefficient showed good result(0.57) for the 1 km×1 km grid cell. The 32 rainfall stations Z-R relationship was estimated in Chungjudam basin

*Keywords : Radar, Z-R relationship, Rainfall, Relation coefficient*

#### I. 서 론

강우관측소의 설치 밀도가 조밀할수록 관측결과  
의 정확도는 높지만 그렇지 못할 경우 강우의 수평  
분포를 정확하게 파악하기 어렵기 때문에 산정된  
강우량도 많은 오차를 포함하고 있다. 이러한 문제  
점을 보완하기 위한 방안으로 기상레이더의 활용을  
들 수 있다. 현재 우리나라는 강우 형태별로 레이  
더 관계식의 경험 상수를 산정하여 레이더 반사강

도를 강우량으로 환산하는 것이 바람직하지만 구름  
의 형성과정에서 강우의 유형을 결정하는 것은 많  
은 문제점을 내포하고 있으며, Marshall이 제안한  
레이더 관계식을 우리나라 모든 유역에 적용하고  
있다(김효경 2002). 홍수 예·경보시스템은 유역  
의 범위로 운영되고 있으므로 유역내 홍수피해를  
줄 수 있는 유출량을 기준으로 레이더 관계식을 결  
정한다면, 유역의 특성이 반영되어 유역에 내린 강  
우량 산정시 정확성을 높일 수 있을 것이다. 따라  
서, 본 연구에서는 레이더 반사강도와 강우강도의  
관계를 나타내는 레이더 관계식산정을 위하여 격자  
망 크기에 따른 공간평균한 레이더 반사강도와 관  
측소 지점의 레이더 반사강도의 상관관계를 분석하  
여 대상유역의 레이더 관계식을 산정하고자 한다.

\* 충주대학교 토목공학부 부교수, 공학박사  
\*\* 충북대학교 건설기술연구소 연구원, 공학박사  
\* Corresponding author. Tel.: +82-43-841-5415  
Fax: +80-43-841-5410  
E-mail address: whlee@chungju.ac.kr

## II. 연구의 방법

대상구역의 유출량 자료를 검토하고, 구역내 지상 강우관측소의 레이더 관계식을 산정하기 위하여 Arc-view상에서 레이더 반사강도자료와 지상 강우관측소가 대응하는 격자점의 자료를 추출하였다. 비정상적인 레이더 반사강도를 보정하기 위하여 임의의 격자를 중심으로 주위 격자의 평균값을 계산하고, 평균값과 격자값을 비교하여 그 차이가 15dBZ 이상인 경우 격자값을 평균값으로 대체하여 레이더 원시자료를 보정하였다(Kamran, 2003). 주위의 평균값으로 원시자료를 보정하기 전 어느 정도의 격자 크기에서 공간 평균한 값을 격자값으로 대체하는지를 결정하기 위해 격자 크기를 1 km × 1 km, 3 km × 3 km, 5 km × 5 km의 격자 영역에 대하여 레이더 반사강도와 관측소 지점 레이더 반사강도의 상관계수를 비교분석 하였다. 결정된 격자내 자료를 이용하여 지상강우관측소별 레이더 관계식을 산정하였다.

## III. 기상레이더의 이론

### 1. 레이더 방정식

레이더로 수신되는 수신전력  $P_r$ , 레이더에서 송출되는 송신전력  $P_t$ , 레이더 파장  $\lambda$ , 안테나의 유효면적  $A_e$ , 안테나이득  $G$ , 빔폭  $\theta$ , 펄스폭  $h$ , 빔의 거리  $r$ , 강우입자의 직경  $D$ , 목표물의 성질을 나타내는 유전율  $|K|^2$  등에 의해 좌우된다. 이들의 관계를 나타내는 것이 레이더 방정식으로, Probert-Jones(1962)는 레이더의 성능을 나타내는 변수들과 수신 전력 및 반사 계수의 관계를 나타내는 레이더 방정식(1)을 제안하였다.

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

식(1)에서  $\overline{P_r}$ 은 레이더의 평균 수신전력으로 식(1)의 ( )부분은 레이더 장비의 특성에 따라 결정되는 값으로 레이더 상수  $C$ 로 표현하면 식(2)와 같다.

$$\overline{P_r} = \frac{C |K|^2}{r^2} Z, \left\{ C = \frac{\pi^3 P_t G^2 \theta^2 h}{1024 \lambda^2 \ln 2} \right\} \dots \dots (2)$$

여기서,  $\sum_{\text{tot}} D_i^6$ 는 레이더 반사강도  $Z$ 로 레이더 수신기에서 검출된 평균수신전력  $\overline{P_r}$ 으로부터 레이더 방정식을 이용하여 계산된 값으로  $\text{mm}^6/\text{m}^3$  단위이다. 식(2)에서 상수부분인 레이더 상수  $C$ 와 유전율  $|K|^2$ 를  $C_1$ 이라 하면 식(3)과 같다.

$$\overline{P_r} = \frac{C_1}{r^2} Z \dots \dots \dots (3)$$

식(3)에 상용대수를 취하여 정리하면 식(4)가 된다.

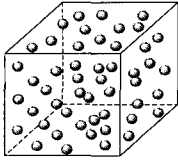
$$10 \log \overline{P_r} = 10 \log C_1 + 10 \log Z - 20 \log r \dots (4)$$

식(4)에서  $10 \log Z = \text{dBZ}(\text{decibel } Z)$ 라 한다.

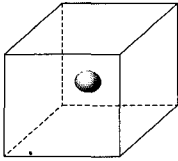
### 2. 레이더 관계식

Smith(1993)는 제안한 레이더 반사강도  $Z$ 는 산란체의 체적내에 존재하는 강우입자의 직경과 개수에 따라 결정되므로 대기중의 강우입자의 분포를 알면 구할 수 있다. 레이더 반사강도  $Z(\text{mm}^6/\text{m}^3)$ 는 레이더에 의한 강우량산정을 가능하게 하는 변수로써  $N(D)$ 는 단위 체적 내에 존재하는 직경  $D$ 인 강우입자의 개수, 강우입자 직경  $D$ 와 강우입자 개수의 함수로 식(5)와 같은 관계를 갖는다.

$$Z = \sum_{\text{tot}} D_i^6 = \int_0^\infty N(D) D^6 dD \dots \dots \dots (5)$$



(a) 600, 1mm drops, falling at 4 m/s



(b) 50, 2mm drops, falling at 6 m/s

Fig. 1 when rainfall intensity is the same but radar reflectivity factor is not the same

여기서,  $\sum_{tot}$  은  $1 \text{ m}^3$  의 대기중에 존재하는 모든 산란입자를 포함한다.

식(5)을 통하여 레이더 반사강도  $Z$  가 강우입자 지름의 6제곱에 비례하므로 강우입자의 지름이 조금만 변해도 레이더 반사강도의 변화는 상당히 커짐을 알 수 있다.

Fig. 1과 같이 강우강도( $R$ )는  $4.57 \text{ mm/h}$  같고 레이더 반사강도가 다른 경우 (a)와 같이  $Z_1$ 은  $600 \text{ mm}^6/\text{m}^3$  또는  $28 \text{ dBZ}$ 이다. (b)의 경우  $Z_2$ 는  $3,200 \text{ mm}^6/\text{m}^3$  또는  $35 \text{ dBZ}$ 이다. 주어진  $R$ 값에 대한  $Z$ 값은 다양하므로  $Z$ 와  $R$ 관계는 일대일 대응이 될 수 없음을 알 수 있다. 따라서, 통상 레이더 강우강도를 산정할 때는 레이더 관계식이라 불리는 식(6)과 같은 경험식이 이용된다.

$$Z = A \cdot R^\beta \dots \dots \dots (6)$$

$Z$ 는 기상학적 의미를 갖는 물리 변수는 아니지만, 강우강도  $R$ 과 상당히 좋은 통계적 관계가 있으므로, 레이더 관계식이라는 경험식을 통해 레이더 반사강도를 강우강도로 환산할 수 있다.  $A$ 와  $\beta$ 의는 강수 형태와 지역에 따라 다양한 값을 가질 수 있는데, 우리나라의 경우 Marshall(1948)이 제

안한 층상우 형태의 강우시 경험적 상수  $A = 200$ ,  $\beta = 1.6$ 을 표준으로 사용하고 있다.

### 3. 레이더 반사강도와 강우강도의 관계 산정

레이더 반사강도의 dBZ 값의 의미를 파악하기 위해 Smith(1993)는 일반적으로 사용하는 식(6)을 식(7)과 같이 표현하였다.

$$Z = \alpha R^\beta \dots \dots \dots (7)$$

레이더 반사강도와 강우강도의 관계를 설정하기 위해 Smith(1993)는 강우시간  $t$ 에 대한 추계학적 과정은 표본체적의 최상에서 도착하는 강우입자의 평균수를  $\delta(t)$  (drops/ $\text{m}^2/\text{s}$ ), 강우입자 직경의 자연대수 평균  $\mu(t)$ ,  $c_1$ 은 강우입자의 낙하속도를 결정하는 상수로  $3.8 \text{ m/sec}$ ,  $c_2$ 는  $0.67$ , 강우입자 지름의 대수 정규표준편차를  $\omega(t)$ 라 할 때 강우강도와 레이더 반사강도를 식(8), 식(9)와 같이 유도하였다.

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

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

식(9)에서 지수함수의 계수산정에는 결정론적 방법과 추계학적 방법이 있다. 레이더 반사강도와 강우강도의 관계는 일정치 않은 추계학적 특성을 가진 것으로 판단되기 때문에 추계학에 의한 함수 설정이 요구된다. 추계학적 지수함수식은 식(10)과 같다.

$$Z(t) = \alpha R(t)^\beta \epsilon(t) \dots \dots \dots (10)$$

강우입자 크기 자료는 강우강도와 레이더 반사강도 관측에서 시간 연속적이라기 보다는 시간 이산형이다.  $N$ 개 강우입자 크기로부터 얻어진 강우강

도와 레이더 반사강도는  $(R_i, Z_i)$ 로 표현될 수 있다.  $i = 1 \dots n$  일 때 지수함수식은 식(11)과 같다.

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

여기서, 오차항의 대수정규분포는  $\ln \varepsilon_i \sim N(0, w^2)$ 이다. 즉 오차항은 평균이 0이고 분산이  $w^2$ 이다. 식(11)의 유도과정에서 대수정규분포의 원점적울은  $E(x^k) = e^{\mu k + 1/2 w^2 k^2}$ 이고, 평균( $\mu$ )은 0, 분산은 식(12)와 같다.

$$\text{var}(\varepsilon) = E(\varepsilon^2) - [E(\varepsilon)]^2 = e^{2w^2} - e^{w^2} \quad (12)$$

강우강도( $R_i$ )와 레이더 반사강도( $Z_i$ ) 값이 서로 대응하는 값으로 주어지면 지수함수의 계수는  $\ln(R_i)$ 와  $\ln(Z_i)$ 의 선형회귀분석으로 산정된다.

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

$$\hat{\alpha} = \overline{\ln Z} - \beta \overline{\ln R} \dots \dots \dots (13)$$

#### IV. 대상 유역의 선정

레이더 반사강도를 이용하여 강우량을 산정할 경우 거리에 따른 빔의 감쇄효과가 크므로 레이더 지점을 기준으로 유효 탐지 범위 260 km 반경이내의 지역으로 비교적 강우관측소의 밀도가 높은 충주댐을 대상유역으로 선정하였다

##### 1. 강우사상

5개의 수위관측소 중 충주댐 유역의 유출특성을 반영하는 최하류에 위치한 영춘지점의 유출량을 기준으로 레이더 관계식을 산정하였다. 영춘지점의 유출특성을 파악하기 위하여 충주댐 유량관측 보고서(한국수자원공사 1998, 1999, 2000)를 토대로

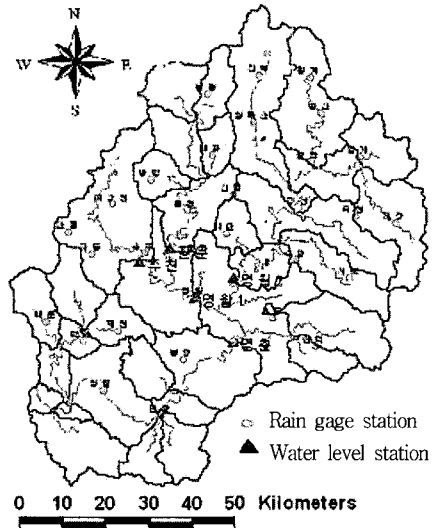


Fig. 2 Rainfall gaging and water level station in Chungjudam basin

홍수기인 5월 1일부터 10월 31일 까지의 유출사상을 분석한바 Fig. 3과 같이 강우시 1,000~9,000 m<sup>3</sup>/sec에 분포하고 있는 것으로 나타났다. Table 1는 채택된 기간의 강우사상을 나타내고 있다.

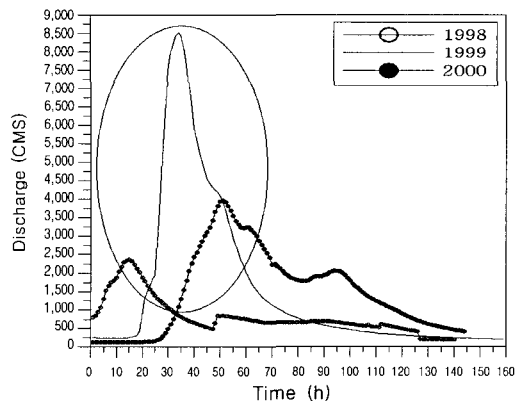


Fig. 3 Discharge at Yeongchun station

Table 1 Selected rainfall events

Event	Rainfall duration
Case I	1998/07/03 03:00 ~ 07/04 05:00 (27 h)
Case II	1999/08/02 20:00 ~ 08/03 24:00 (29 h)
Case III	2000/09/14 09:00 ~ 09/17 21:00 (85 h)

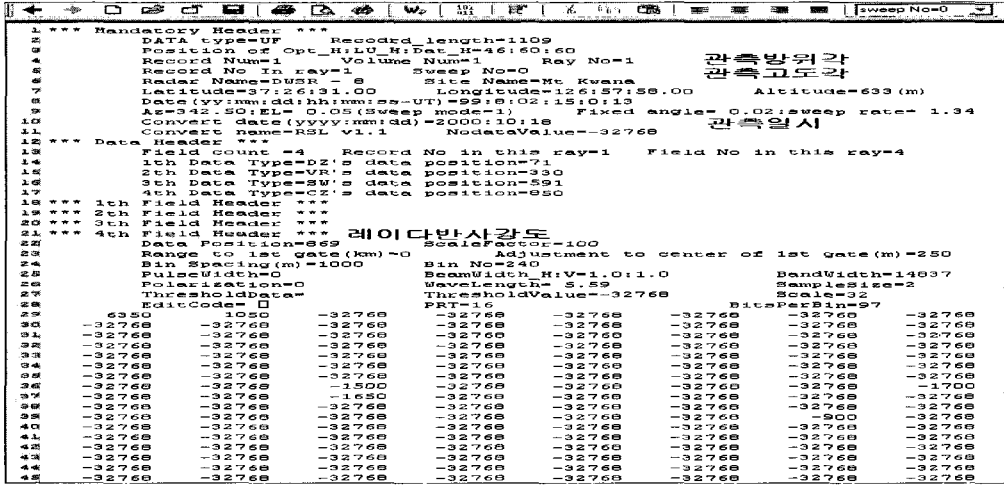


Fig. 4 Sample data of radar reflectivity factor at Kwanak Mountain

2. 레이더 관측식

본 연구에서 이용한 관악산 레이더는 위도 37° 26' 31", 경도 126° 57' 58" 에 위치하고 있으며, 기종은 DWSR-88C로 레이더가 수신한 수신 강도는 수신기 내에서 UF(Universal Format) 형태

로 저장된다. UF파일은 DZ(uncorrected dBZ), CZ(corrected dBZ), VR(velocity), SW(spectral width)의 Field head로 이루어져 있다.

지상 강우 관측소 위치와 레이더 반사강도 자료를 대응시키기 위해 GIS를 이용하여 관측소의 좌표를 변환 후 관악산 레이더 지점에서부터 강우관

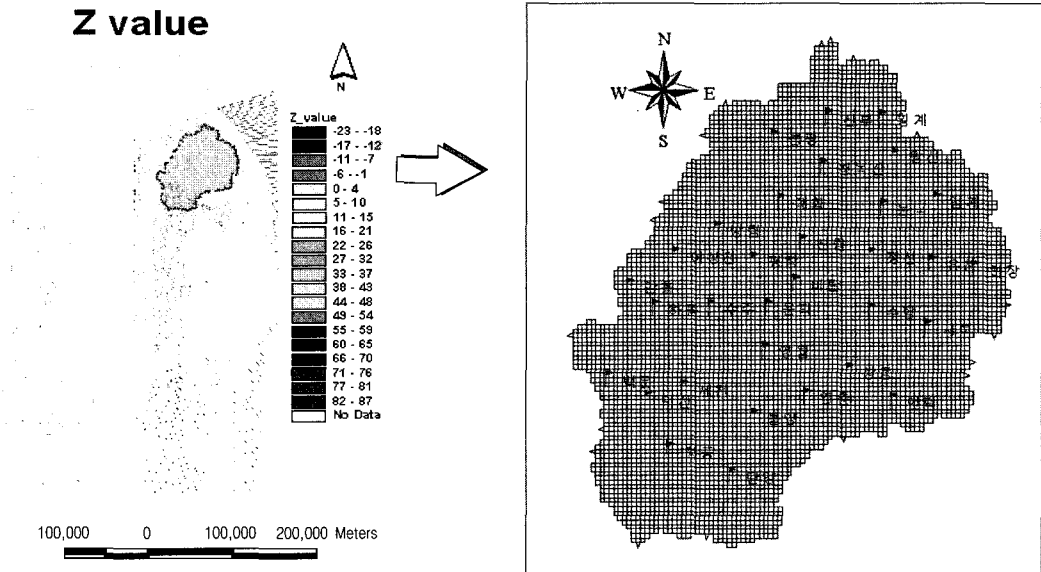


Fig. 5 The study area with rain gauge network and grid map

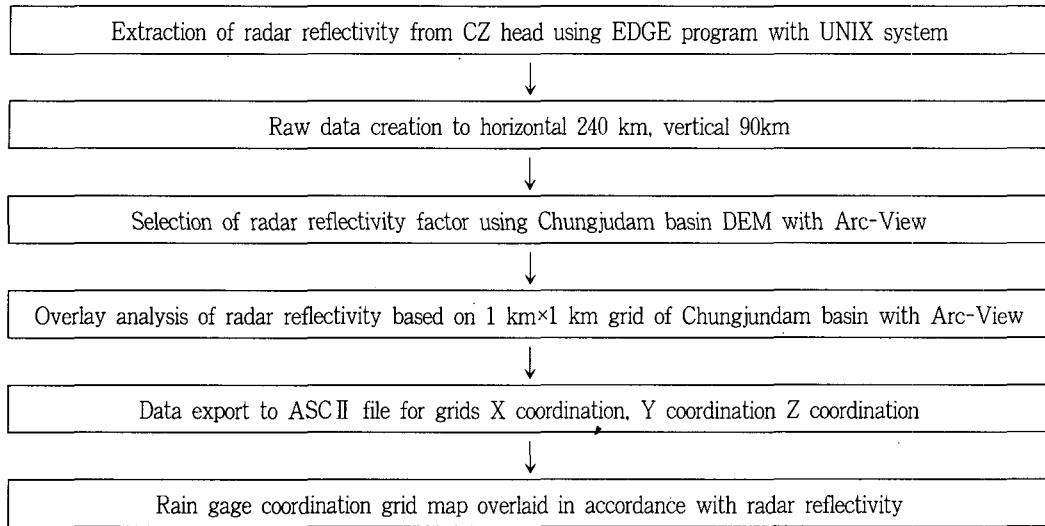


Fig. 6 Flowchart for processing of radar raw data

측소의 거리를 산출하였다. 레이더 반사강도 자료와 강우관측소 강우강도 자료와 정확히 대응하는 점을 찾기 위해 Fig. 5와 같이 충주댐 유역을 포함하는  $1\text{ km} \times 1\text{ km}$ 의 간격으로 나누어 가로 804개, 세로 642개의 격자를 형성하였다.

본 연구에서 이용한 레이더 자료는 대상유역이 관악산 지점에서 200 km 이내에 위치하고 있으므로, 관측고도각은  $0^\circ$ , 관측 방위각은 정북을 기준으로  $0^\circ$ 에서  $180^\circ$  사이의 데이터를 선택하였고, GIS상에서 충주댐 유역을 경계로 하여 유역내 포함되는 레이더 반사강도 자료를 획득하였다. Fig. 6은 UF 확장자 형태의 레이더 원시 자료를 충주댐 유역에 분포하는 레이더 반사강도 자료와 강우관측소 자료가 1대 1 대응하는 자료를 추출하는 처리 순서를 나타내고 있다.

### 3. 격자망 크기에 따른 상관계수 산정

기상연구소(1996)의 연구 결과에 의하면 임의의 한 값이 주위값보다 비정상적으로 클 경우 지상 강우 관측소 강우량을 이용한 보정계수( $G/R$ ) 산출시 주위값보다 상대적으로 작은 보정계수가 산출 되는

것으로 나타나 본 연구에서는 임의의 격자를 중심으로 주위 8개의 격자 평균값을 계산하고, 본 연구에서 이용한 레이더 반사강도의 발생빈도가 0~15 dBZ에서 93.4%로 가장 높아 평균값과 격자값을 비교하여 그 차가 15 dBZ 이상인 경우 격자값을 평균값으로 대체하여 원시자료를 보정하였다. Table 2는 주위의 평균값으로 원시자료를 보정하기 전 어느 정도의 격자 크기 영역에서 공간 평균한 값을 격자값으로 대체하는지를 결정하기 위해 격자 크기 영역을  $1\text{ km} \times 1\text{ km}$ ,  $3\text{ km} \times 3\text{ km}$ ,  $5\text{ km} \times 5\text{ km}$ 의 격자 영역에 대하여 공간 평균한 레이더 반사강도와 관측소 지점 레이더 반사강도 값의 상관계수를 비교하였다. 또한 강우관측소를 중심으로 주위 8개 격자내 레이더 빔의 특성상 각 격자 크기의 평균영역 안에 모든 격자점에 대하여 평균하는 경우( $\diamond$ )와 반사강도가 관측된 격자에 대해서만 평균하는 경우( $\bullet$ )의 상관계수를 계산하였다. 산정 결과 공간 평균한 레이더 반사강도와 관측소 지점 레이더 반사강도의 가장 큰 상관 계수는 0.71로 나타났으며, 격자의 크기가 증가할수록 상관도가 떨어지는 경향을 보이고 있음을 알 수 있다.

Fig. 7은 각 강우관측소의 상관계수를 평균한 평

Table 2 Correlation coefficient for space average area

No	Gauge station	1 × 1		3 × 3		5 × 5	
		●	◇	●	◇	●	◇
1	Baegun	0.55	0.45	0.43	0.56	0.48	0.42
2	Sangdong	0.68	0.53	0.57	0.51	0.35	0.50
3	Jeongseon	0.51	0.47	0.49	0.54	0.44	0.44
4	Bongpyeong	0.57	0.52	0.55	0.50	0.50	0.49
5	Cheongpung	0.52	0.53	0.50	0.51	0.45	0.50
6	Suju	0.63	0.52	0.61	0.48	0.56	0.49
7	Danyang	0.56	0.61	0.54	0.59	0.49	0.38
8	Gwisan	0.52	0.47	0.50	0.51	0.45	0.44
9	Yeongweol	0.57	0.51	0.55	0.49	0.50	0.48
10	Yeongchun	0.62	0.56	0.60	0.42	0.42	0.37
11	Pyeongchang	0.53	0.51	0.49	0.49	0.46	0.48
12	Jinbu	0.66	0.52	0.35	0.50	0.59	0.49
13	Bangrim	0.56	0.56	0.54	0.54	0.49	0.53
14	Daeha	0.61	0.62	0.43	0.35	0.54	0.59
15	Hoenggye	0.59	0.48	0.57	0.46	0.52	0.45
16	Sabug	0.54	0.61	0.52	0.59	0.47	0.34
17	Chungju	0.68	0.55	0.66	0.45	0.32	0.52
18	Anheung	0.71	0.62	0.69	0.51	0.47	0.59
19	Jecheon	0.51	0.57	0.49	0.55	0.44	0.54
20	Mitan	0.50	0.62	0.25	0.60	0.43	0.33
21	Judeog	0.52	0.42	0.50	0.40	0.45	0.39
22	Wangsan	0.54	0.39	0.52	0.57	0.47	0.36
23	Deogsan	0.68	0.42	0.66	0.45	0.61	0.31
24	Bongyang	0.56	0.64	0.54	0.42	0.49	0.29
25	Eosangcheon	0.55	0.64	0.53	0.36	0.48	0.61
26	Unhag	0.54	0.55	0.52	0.53	0.47	0.52
27	Undeog	0.53	0.61	0.51	0.59	0.47	0.58
28	Hadong	0.54	0.48	0.52	0.51	0.47	0.45
29	Sinrim	0.58	0.61	0.55	0.59	0.51	0.58
30	Cheongogsan	0.57	0.63	0.55	0.61	0.50	0.60
31	Suhang	0.67	0.54	0.65	0.52	0.43	0.51
32	Dalcheon	0.52	0.42	0.50	0.38	0.45	0.52
33	Jangyeon	0.50	0.61	0.52	0.45	0.43	0.58
34	Deogaam	0.52	0.49	0.50	0.47	0.45	0.45
35	Imgye	0.48	0.57	0.46	0.55	0.41	0.28
36	Yucheon	0.54	0.52	0.49	0.50	0.47	0.49
37	Mungog	0.52	0.47	0.39	0.45	0.45	0.44
38	Hajang	0.55	0.64	0.37	0.32	0.48	0.37

주) ●: 반사강도가 관측된 격자에 대해서만 평균하는 경우

◇: 영역 안에 모든 격자점에 대하여 평균하는 경우

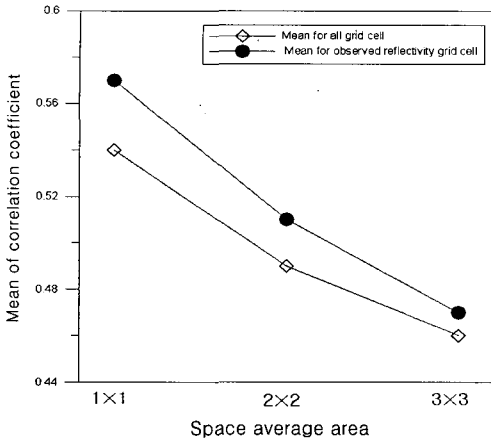


Fig. 7 Mean correlation coefficients for space average area

균 상관계수값을 나타내고 있으며, 격자의 크기가 증가 할수록 레이더 반사강도와 관측소 지점의 평균상관계수가 감소하는 것을 알 수 있다. 따라서 본 연구에서는 평균 상관계수가 0.57로 가장 큰 값을 보이고 있는 격자 크기가 1 km × 1 km인 격자 영역에 대하여 레이더 반사강도가 관측된 격자에 대해서만 평균하는 방법을 택하여 Fig. 8과 같이 주위 평균값보다 큰 값을 나타내고 있는 격자

점의 값을 주위 격자의 평균값으로 대체하였다.

가. 레이더관계식 산정

Smith(1993)가 제안한 레이더 반사강도와 강우 강도의 관계를 산정하기 위하여 결정론적 방법과 추계학적 방법을 적용하였다. 결정론적 방법에서 Smith가 제안한 식(7)의 왼쪽항과 오른쪽항이 서로 같아야 한다. Smith가 제안한 강우입자의 낙하 속도가  $v_i = 3.8 D^{0.67}$  경우  $\beta$ 값은 1에서 3.15의 범위에 있는 것으로 나타났다. 이와 같이 레이더 반사강도와 강우강도의 관계는 일정치 않은 추계학적 특성을 가진 것으로 판단된다. Smith가 제안한 낙하속도 방정식의 계수로 레이더 반사강도와 강우강도의 관계 산정을 가능케 하는 레이더 반사 강도 자료만을 추출하기 위하여  $\beta$ 값의 범위에 포함되는지 계산하였다. 계산 결과 Table 3과 같이 Case I 기간에 산정된  $\beta$ 값은 상동(0.78), 기산(0.87), 사북(0.93), 덕산(0.76), 달천(0.86), 장연(0.79), 덕암(0.75)지점이  $\beta$ 값의 범위에 들지 않는 것으로 나타났다. Case II 기간의 경우 기산(0.89), 사북(0.66), 주덕(0.84), 달천(0.94), 장

위치(°)	반경(E)	경석(S)	프로그래밍(P)	보기(O)	서석(I)	영(L)	해크로(M)	고급(A)	왕(W)	도움말(H)					
71	132	133	134	135	136	137	138	139	140	229	230	231	232	233	
71	3.5	1	3.25	5.25	2.5	0.75	2.75	4	3.5	4.25	5.5	5	6.25	4.75	0
72	0.5	1.5	2.5	2	2.5	3.25	3.25	4.5	5.5	4	4	4.75	13	4.75	0
43	0.5	3	4	3.25	4.25	4	5	4.5	6	3	4.25	4.5	0.75	2.75	5.5
34	4	5.25	3.75	3.75	6.75	4.5	5.75	5	6	3.25	4.75	5.25	5	5	5.25

85	7	0	0	5.5	0	4	2.75	1	0	0.5	0	1	2.5	2.5
86	6	6.5	0	5	3.5	1.75	3	2	0	1	3.5	1.75	4.25	3.5
87	5.5	4.5	0	4	3	1	1.5	12.5	3	3.5	2.25	2	2.75	1.5
88	6	5	0	2.75	1.5	0.25	-2	4.5	2.25	1.25	2.5	2.25	3.5	3.25
89	6.5	5	4.25	1	0.75	-1.5	-1	1.75	2.25	2.25	1.25	2.75	3.25	3.75
90	5.75	20.5	3	2.25	-1.75	0	0.5	3.5	2.5	2	1.75	3.5	4.25	3.5
91	4.5	3	2	1.25	-1	0	1.5	2.75	1.75	2.5	2.75	4.25	2.75	4.75
92	3	2	0.25	-1	-0.5	0.5	0.25	1	2.75	3.5	2.25	1.25	3	4.5
93	3.75	1.25	0.75	-0.25	-1.5	-1.25	10	10.75	3.25	2.75	2.75	3.75	3.5	3.75
94	0.25	0.5	0	-1.75	-1	-0.75	0.25	2.5	3.25	2	2.75	2.75	4	2.75
95	0.5	-0.5	0.75	0.5	0	1.25	1.25	2.5	2	1.75	2.25	4.5	3.5	3.75

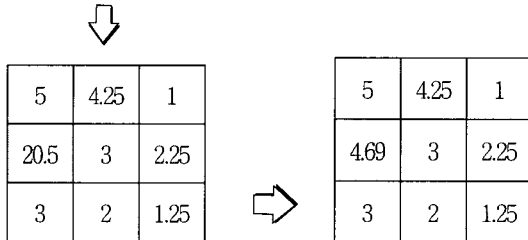


Fig. 8 Processing of substituted mean value for big value radar reflectivity



Table 3  $\alpha$ ,  $\beta$  value of 38 rain gage station

No	Gauge station	Case I		Case II		Case III		Note
		$\alpha$	$\beta$	$\alpha$	$\beta$	$\alpha$	$\beta$	
1	Baegun	0.042	1.12	0.034	1.12	0.046	1.56	
2	Sangdong	(-)	0.78	0.056	1.56	0.056	2.36	
3	Jeongseon	0.084	2.54	0.078	1.87	0.092	1.97	
4	Bongpyeong	0.062	1.45	0.045	2.34	0.081	2.41	
5	Cheongpung	0.181	2.78	0.023	1.56	0.064	1.84	
6	Suju	0.078	1.25	0.034	2.41	0.072	1.52	
7	Danyang	0.013	1.10	0.078	1.43	0.064	1.37	
8	Gwisan	(-)	0.87	(-)	0.89	(-)	0.78	$\beta < 1.0$
9	Yeongweol	0.088	2.13	0.210	3.12	0.023	1.39	
10	Yeongchun	0.087	3.11	0.180	1.23	0.097	1.56	
11	Pyeongchang	0.046	2.38	0.027	1.23	0.123	2.12	
12	Jinbu	0.072	2.49	0.062	1.49	0.034	2.34	
13	Bangrim	0.048	2.60	0.023	1.68	0.026	2.46	
14	Daeha	0.264	2.71	0.051	1.62	0.067	2.64	
15	Hoenggye	0.156	2.82	0.045	1.65	0.055	1.89	
16	Sabug	(-)	0.93	(-)	0.66	(-)	0.81	$\beta < 1.0$
17	Chungju	0.030	3.04	0.038	1.76	0.078	2.67	
18	Anheung	0.044	3.15	0.048	1.86	0.061	2.15	
19	Jecheon	0.033	3.26	0.124	1.96	0.043	1.35	
20	Mitan	0.056	3.37	0.018	1.84	0.023	1.64	
21	Judeog	0.074	3.48	(-)	0.84	(-)	0.93	$\beta < 1.0$
22	Wangsan	0.023	2.45	0.046	1.03	0.030	1.44	
23	Deogsan	(-)	0.76	0.051	2.56	0.029	1.68	
24	Bongyang	0.064	2.34	0.020	1.89	0.024	1.99	
25	Eosangcheon	0.074	2.45	0.024	1.98	0.027	2.75	
26	Unhag	0.088	1.89	0.029	2.08	0.034	1.61	
27	Undeog	0.064	2.46	0.033	2.64	0.049	1.37	
28	Hadong	0.075	1.45	0.037	2.09	0.013	2.60	
29	Sinrim	0.046	1.89	0.023	1.67	0.039	1.67	
30	Cheonggosan	0.056	2.78	0.043	2.68	0.066	1.82	
31	Suhang	0.071	3.12	0.079	2.87	0.071	1.64	
32	Dalcheon	(-)	0.89	(-)	0.94	(-)	0.78	$\beta < 1.0$
33	Jangyeon	(-)	0.79	(-)	0.87	(-)	0.74	$\beta < 1.0$
34	Deogaam	(-)	0.75	(-)	0.81	(-)	0.91	$\beta < 1.0$
35	Imgye	0.012	2.65	0.059	1.02	0.089	1.46	
36	Yucheon	0.038	1.89	0.038	2.64	0.016	1.99	
37	Mungog	0.024	3.15	0.056	2.45	0.056	2.99	
38	Hajang	0.015	1.23	0.089	1.56	0.034	2.71	

주)(-) : 자료의 부족으로 산정하지 못한 경우

연(0.87), 덕암(0.81), CaseⅢ 경우 기산(0.78), 사북(0.81), 주덕(0.93), 달천(0.78), 장연(0.74), 덕암(0.91)지점의 값이 결정론적 방법으로 산정한

$\beta$  값(1~3.15)의 범위에 들지 않는 값이었다.

$\beta$  값이 1.0보다 작은 값으로 산정되어, (-)의 형태로 표현된 6개 지점의 경우 자료의 부족으로

Table 4 Radar relationship of 32 rain gage station

No.	Rain gage station	A	$\beta$	Radar relationship
1	Baegun	34.1	1.34	$Z = 34.1 R^{1.34}$
2	Sangdong	31.2	1.05	$Z = 31.2 R^{1.05}$
3	Jeongseon	29.4	1.07	$Z = 29.4 R^{1.07}$
4	Bongpyeong	30.0	1.24	$Z = 30.0 R^{1.24}$
5	Cheongpung	31.3	1.30	$Z = 31.3 R^{1.30}$
6	Suju	22.5	1.12	$Z = 22.5 R^{1.12}$
7	Danyang	33.4	1.24	$Z = 33.4 R^{1.24}$
9	Yeongweol	32.1	1.26	$Z = 32.1 R^{1.26}$
10	Yeongchun	35.4	1.21	$Z = 35.4 R^{1.21}$
11	Pyeongchang	37.4	1.34	$Z = 37.4 R^{1.34}$
12	Jinbu	27.4	1.14	$Z = 27.4 R^{1.14}$
13	Bangrim	29.7	1.34	$Z = 29.7 R^{1.34}$
14	Daeha	30.2	1.27	$Z = 30.2 R^{1.27}$
15	Hoenggye	32.9	1.12	$Z = 32.9 R^{1.12}$
17	Chungju	28.4	1.56	$Z = 28.4 R^{1.56}$
18	Anheung	32.2	1.28	$Z = 32.2 R^{1.28}$
19	Jecheon	34.1	1.56	$Z = 34.1 R^{1.56}$
20	Mitan	35.4	1.06	$Z = 35.4 R^{1.06}$
22	Wangsan	33.4	1.10	$Z = 33.4 R^{1.10}$
23	Deogsan	31.4	1.32	$Z = 31.4 R^{1.32}$
24	Bongyang	33.7	1.33	$Z = 33.7 R^{1.33}$
25	Eosangcheon	35.7	1.21	$Z = 35.7 R^{1.21}$
26	Unhag	30.5	1.18	$Z = 30.5 R^{1.18}$
27	Undeog	28.4	1.23	$Z = 28.4 R^{1.23}$
28	Hadong	38.4	1.01	$Z = 38.4 R^{1.01}$
29	Sinrim	27.6	1.21	$Z = 27.6 R^{1.21}$
30	Cheongogsan	26.4	1.28	$Z = 26.4 R^{1.28}$
31	Suhang	37.4	1.27	$Z = 37.4 R^{1.27}$
35	Imgye	29.6	1.40	$Z = 29.6 R^{1.40}$
36	Yucheon	24.8	1.24	$Z = 24.8 R^{1.24}$
37	Mungog	26.7	1.28	$Z = 26.7 R^{1.28}$
38	Hajang	31.4	1.34	$Z = 31.4 R^{1.34}$

$\alpha$  값을 산정하지 못하였다. 이는 레이더 반사강도 자료와 강우관측소 자료가 서로 대응하는 자료의 부족으로 판단되며, 레이더 반사강도는 강수입자의 흡수 및 산란 등으로 전파자체가 감쇄되어 산정할 수 없는 경우가 발생하므로 오랜 기간의 레이더 자료를 이용해야 할 것으로 판단된다. Table 3의 (-)가 포함된 8개 지점 중 상동, 덕산의 경우 Case I의 자료를 제외한 Case II와 Case III의 자료만을 이용하여  $\alpha$  값과  $\beta$  값을 산정하였으나, 나머지 6개 지점은 하나의 강우사상 자료만을 이용하여 레이더 관계식을 산정할 경우 레이더 관계식의  $\alpha$  값과  $\beta$  값이 강우형태와 지형적 특성을 나타낸다고 볼 수 없어 산정하지 않았다.

Table 4는 Case I, Case II, Case III 강우사상 중 결정론적 방법의 범위 안에 포함되는 레이더 반사강도와 강우관측소 자료를 모두 이용하여 레이더 관계식의 일반적인 형태인  $Z = AR^\beta$  식의  $A$  값과  $\beta$  값을 산정하기 위하여 추계학적 방법으로 레이더 관계식을 산정한 결과를 나타내고 있다. 산정된 지점별 레이더 관계식  $A$  값의 범위는 22.5 ~ 37.4 사이에 존재하고 있으며,  $\beta$  값은 1.01 ~ 1.56의 범위로 나타났다. Marshall의 레이더 관계식과 비교할 경우 dBZ은  $10 \log Z$ 이므로 Marshall의 레이더 관계식은  $10 \log 200R^{1.6} = \text{dBZ}$ 이 되고, 지점별 레이더 관계식과 비교할 경우  $A$  값이 감소하면 강우량이 증가하고,  $\beta$  값이 작아질 경우에도 강우량이 증가하는 것을 알 수 있다. 따라서 산정된 지점별 레이더 관계식은 Marshall의 레이더 관계식과 비교하여 강우량을 크게 산정함을 알 수 있다.

나. 지점별 레이더 관계식의 평가

산정된 지점별 레이더 관계식의 정량적 평가를 위해 기상청에서 사용되고 있는 Marshall의 식과 비교하였다. 본 연구에서 이용된 강우사상인 Case I, Case II, Case III의 강우기간 동안 관측된 관악산 레이더 반사강도의 발생 빈도와 강우량 발생 빈도는 Fig. 9와 같다.

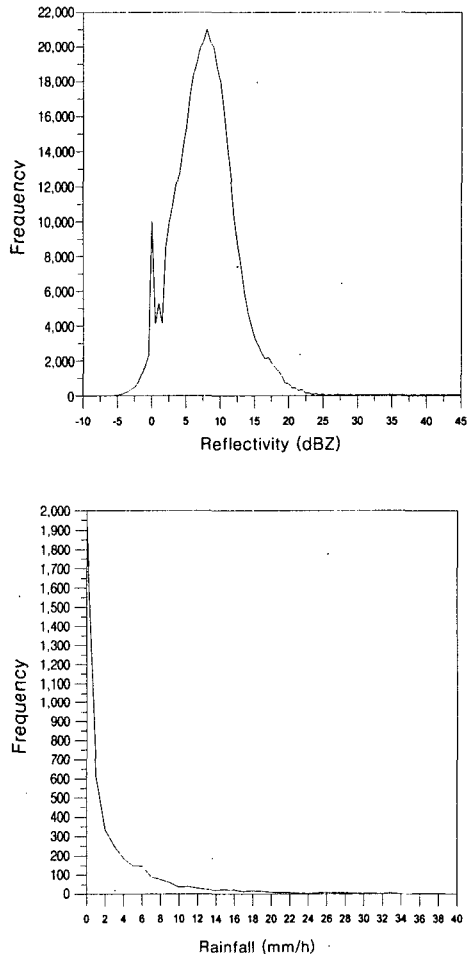
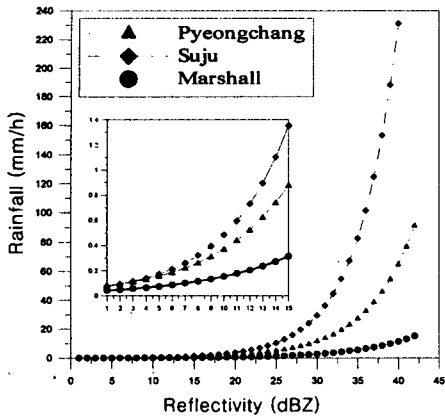
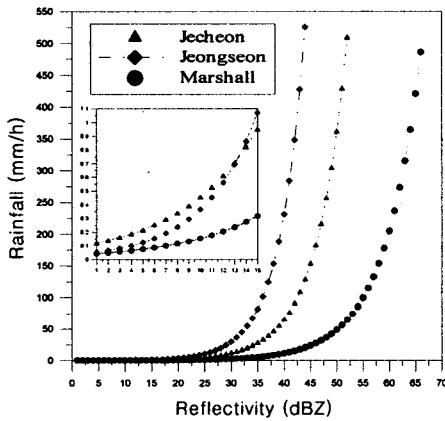


Fig. 9 The frequency distribution of radar reflectivity and rainfall

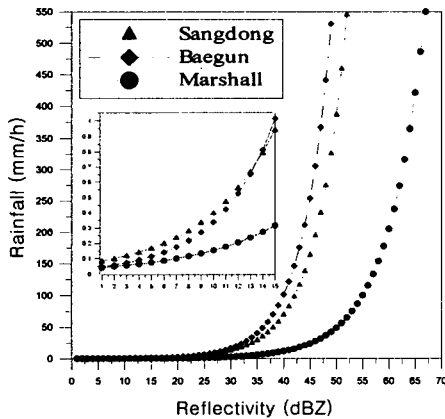
Fig. 9와 같이 레이더 반사강도는 -5 dBZ에서 39.5 dBZ의 범위에 분포하고 있으며, 0 dBZ에서 15 dBZ 사이의 발생 빈도가 93.4%로 가장 많은 것으로 나타났다. Fig. 10은 레이더 관계식의 경험상수 중  $A$  값이 가장 큰 평창지점 ( $Z = 37.4 R^{1.34}$ )  $A$  값이 가장 작은 수주지점 ( $Z = 22.5 R^{1.12}$ )과 Marshall ( $Z = 200 R^{1.6}$ ) 식으로 산정된 레이더 반사강도에 대한 강우량을 나타내고 있다. 본 연구에 사용된 레이더 반사강도(3 ~ 15 dBZ)에 발생 빈도를 고려할 때, 평창지점은 레이더 반사강도가 15 dBZ에서 0.882 mm/h, 수주지점은 15 dBZ 일



(a) Pyeongchang, Suju



(b) Jecheon, Jeongseon



(c) Sangdong, Baegun

Fig. 10 Comparison of radar rainfall with Marshall formula

때 1.354 mm/h의 강우량을 나타내고 있다. Marshall의 관계식은 15 dBZ에서 0.316 mm/hr의 강우량을 나타내고 있다.

(b)는  $\beta$  값이 가장 큰 제천지점 ( $Z=34.1 R^{1.56}$ ), 가장 작은 정선 ( $Z=29.4 R^{1.07}$ ) 지점과 Marshall의 레이더 관계식과의 관계를 나타내고 있다. 레이더 반사강도가 15 dBZ일 때 제천지점은 0.953 mm/h, 정선지점은 1.07 mm/h, Marshall의 관계식은 0.3 mm/h의 강우량을 나타내고 있다. Marshall의 관계식이 가장 적은 강우량을 나타내는 것으로 나타났다.

(c)는 레이더 관측점과의 거리가 가장 가까운 백운지점(100 km,  $Z=34.12 R^{1.34}$ )과 상동지점(162 km,  $Z=31.21 R^{1.05}$ ), 그리고 Marshall에 의한 레이더 관계식을 나타내고 있다. 레이더 반사강도가 15 dBZ 일 경우 백운지점은 0.9 mm/h, 상동지점은 1.0 mm/h, Marshall의 관계식은 0.3 mm/h의 강우량을 나타냈다. 기상청에서 사용되고 있는 Marshall의 관계식은 관측된 레이더 반사강도가 높은 값에 속하는 30 dBZ에서 2.7 mm/h 정도의 강우량이 산출되는 것을 알 수 있다. 따라서,, Marshall의 레이더 관계식이 본 연구에서 산정된 지점별 레이더 관계식보다 강우량을 과소 산출함을 알 수 있다. 이는 레이더 반사강도가 이상에요 및 기기의 오작동 등으로 레이더 반사강도가 크게 나타날 경우 강우량 과대 산정되는 것을 방지하기 위하여 판단된다(기상연구소, 1996). 이처럼 Marshall의 관계식을 이용하여 레이더 반사강도를 강우량으로 변환할 경우 과소 추정되는 점을 고려할 때, 지점별 레이더 관계식을 산정하여 지역의 강우량을 산정하는 것이 유역에 내린 강우량의 참값에 근접할 것이다.

## V. 결 론

본 연구에서는 레이더 반사강도와 강우강도의 관계를 나타내는 레이더 관계식산정을 위하여 격자망

크기에 따른 공간평균한 레이더 반사강도와 관측소 지점의 레이더 반사강도의 상관관계를 분석하여 대상유역의 레이더 관계식을 산정하였다.

(1) 레이더 자료 중 비정상적인 레이더 자료의 처리시 격자 크기는 레이더 반사강도와 강우관측소 반사강도 평균 상관계수에 대한 분석결과  $1 \text{ km} \times 1 \text{ km}$ 로 결정하는 것이 양호할 것으로 판단된다.

(2) 유출량을 기준으로 레이더 반사강도와 강우강도의 관계를 산정하기 위해, GIS을 이용하여 강우강도와 레이더 반사강도가 서로 대응하는 자료를 추출하였다. 38개의 강우관측소중 32개의 강우관측소의 레이더 관계식을 산정하였으며, 레이더 관계식을 산정하지 못한 6개 지점은 강수입자의 흡수 및 산란 등으로 전파자체가 감쇄되어 대응하는 레이더 반사강도 자료와 강우관측소 자료의 부족으로 판단된다.

(3) 산정된 지점별 레이더 관계식 A 값의 범위는 22.5 ~ 37.4 사이에 존재하고 있으며,  $\beta$  값은 1.01 ~ 1.56의 범위로 Marshall의 레이더 관계식과 비교할 경우 유역의 강우량을 크게 산정함을 알 수 있다.

## 사 사

본 논문은 2006년도 충주대학교 국내학술연구비의 지원으로 수행되었습니다.

## References

1. Meteorological Research Institute, 1996, A Study Estimate Area Rainfall Using Radar(II): 1-133. (in Korean)
2. Korea Water Resources Corporation, 1998, 1999, 2000. Report Discharge Survey Chungjudam,
3. Kim, H. K. and Lee, D. I., 2002. The Estimation Radar Rainfall Using WPMM Method. *Journal of Korea Water Resources Association* 36(1): 25-36. (in Korean)
4. Kamran H. Syed, Daviod C. Goodrich, Donald. Myers, Soroosh Sorooshian, 2003, Spatial Characteristics of Thunderstorm Rainfall Fields and Their Relation to Runoff, *Journal of Hydrology*, Vol. 271, pp. 1-21.
5. Marshall, J. S. and W. McK. Palmer, 1948, *The Distribution of Raindrops with Size. J. Meteor.*, pp. 165-166.
6. Probert-Jones, J. R., 1962, The Radar Equation in Meteorology, Q. J. R. *Meteorol. Soc.*, Vol. 88, pp. 485-495.
7. Smith, J. A., 1993, Marked point process models of raindrop size distributions. *J. Appl. Meteorol.*, 32, pp. 284-296.