

레이더 강수산정기법의 비교분석

A Comparative Analysis of Radar Rainfall Estimation Method

윤성심* , 김진훈** , 배덕효***
Seong-Sim Yoon, Jin-Hoon Kim, Deg-Hyo Bae

요 지

본 연구에서는 레이더 강수를 산정하는 기법을 비교·분석하고자 하였다. 레이더 강수산정기법의 비교는 레이더 반사도를 강우강도로 변환시키는 두가지 Z-R 관계식 산정방법을 기준으로 구분하여 수행하였다. Z-R 관계식 산정방법 중 첫번째는 지상강우계와 대응되는 레이더 격자 사이의 관계를 통해서 Z-R 관계식을 산출하여 레이더 강수를 산정하는 Least-Square Fitting 방법이고, 두번째 방법은 강우량계에서 관측된 강우량과 이에 근접한 영역에서 얻은 레이더 반사도 자료 각각의 확률밀도함수를 대응시켜 Z-R 관계식을 산출하는 WPMM(Window Probability Matching Method)을 적용하는 방법이다. 이 두 방법의 비교를 위해 2003년 6월에서 8월사이의 두 강우사상을 선택하여 Z-R 관계식을 산정하였으며, 산정된 Z-R 관계식으로 추정된 레이더 강수의 기상학적 검증을 통해 정성적·정량적으로 검토하였다. 한반도 전역에 대하여 산정된 레이더 추정강수를 검토한 결과 대체적으로 정확도 및 상관성 측면에서 WPMM 방법이 Least-Square Fitting 방법보다 정확한 것으로 나타났다. 또한, 도시 지역의 홍수예경보에 적합한 레이더 강수산정기법을 파악하고자 중랑천 지역의 레이더 강수를 수문학적으로 분석한 결과 WPMM 방법이 보다 유효한 것으로 검토되었다

핵심용어 : 레이더 강수추정, Z-R 관계식, WPMM

1. 서 론

전 세계적으로 국지적 집중호우로 인한 홍수피해가 증가하고 있는 실정이다. 우리나라도 예외가 아니어서 단시간에 국지적으로 발생하는 강우예측의 부정확성으로 말미암아 집중호우 시 예상되는 홍수피해의 예측이 힘든 실정이다. 이러한 국지적 강우예측을 위하여 여러 선진국에서는 강수예보에 직접 활용되는 기상원격탐사(레이더 및 위성) 자료를 활용하여 실시간으로 강수현상을 감시하고 있다. 특히 기상 레이더는 신속한 관측능력과 우수한 공간적, 시간적 강수 탐지라는 장점을 지니고 있으므로 집중호우로 인한 홍수피해의 방지를 위한 활용에 적합한 것으로 알려져 있다. 본 연구에서는 레이더 자료의 활용을 위해 레이더 강수 산정기법들을 비교·분석하고 도시유역에 적용하여 그 활용성을 검토하고자 한다. 특히 본 연구에서는 레이더 강수산정기법의 비교를 두가지 Z-R 관계식 산정기법을 통하여 비교하였다.

2. 레이더 강수산정 기본이론

본 연구에서는 레이더 강수산정기법을 Z-R 관계식 산출방법에 따라 다음 두방법을 적용하였다. 첫 번째 방법은 지상강우계와 대응되는 레이더 격자간의 관계를 선형회귀식을 통해 산정하는 Least-Square Fitting 방법이고, 두 번째 방법은 측정된 강우강도와 강우량계에 근접한 영역에서 얻은 레이더 반사도 자료를 각각 대응시켜 확률밀도함수로 재산정하여 Z-R 관계식을 산출하는 WPMM(Window Probability Matching Method)방법이다. 각 Z-R 관계식 산정 방법에 대한 보다 자세한 내용은 다음과 같다.

* 정회원·세종대학교 토목환경공학과 박사과정·E-mail : lapisis@hanmail.net
** 정회원·세종대학교 토목환경공학과 박사과정·E-mail : jhcnu@chol.com
*** 정회원·세종대학교 토목환경공학과 부교수·물자원연구소·E-mail : dhbae@sejong.ac.kr

2.1 Least-Square Fitting Method

Z-R 관계식을 산정하는 방법 중 하나인 Least-Square Fitting 방법은 레이더 반사도와 대응되는 강우량계를 통해서 관측된 강수량과의 관계를 두 값 사이의 오차를 최소화하면서 찾는 방법이다. 레이더 반사도 자료를 강수량으로 변환하는 Z-R 관계식은 Z와 R의 멱급수를 이용하여 식 (1)과 같이 나타낸다(Marshall and Palmer, 1948).

$$Z = aR^b \quad (1)$$

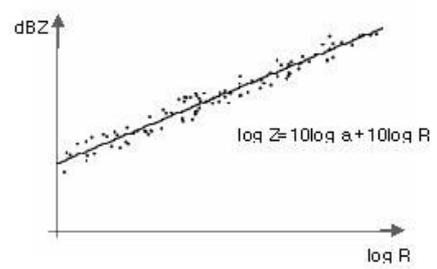


그림 1. Least-Square Fitting

여기서, Z는 반사도 인자(reflectivity factor)로써 단위는 mm^6/m^3 이고, R은 강우강도(rain rate)로써 단위는 mm/h 이다. Least-Square Fitting 방법은 식 (1)을 다음 식(2)과 같이 1차 선형방정식 형태로 변환하여 계수 a, b를 구할 때 사용된다. 계수 a, b값은 다음 식 (3)의 최소자승 에러 $\chi^2(a,b)$ 가 최소가 되도록 값을 택한다

$$dBZ = 10 \log Z = 10 \log a + 10 \log R \Leftrightarrow Y = aX + b \quad (2)$$

$$\chi^2(a,b) = \sum_{i=1}^N \left(\frac{y_i - a - bx_i}{\sigma_i} \right)^2 \quad (3)$$

2.2 WPMM

WPMM 방법은 강수량계의 강우강도(mm/hr)와 레이더 반사도의 확률밀도함수의 대응에 근원한다. 강수량계의 강우강도와 레이더 반사도 간의 비교는 각 강수량계의 관측지점에 대응되는 3km 반경이내의 레이더 자료 사이에 최소편차를 갖는 값을 선택하여 수행된다. 이렇게 시공간적으로 일치하는 지점의 자료를 비교함으로써 WPMM의 유효성이 가능해진다. WPMM의 기본 가정인 관측된 반사도 확률밀도함수와 강수량계에서 관측된 확률밀도함수의 적분값이 같다는 것을 조건없는 확률밀도함수(P_u)를 이용하여 표현하면 다음 식 (4)와 같이 표현할 수 있다(Rosenfeld et al., 1993).

$$\int_0^{\infty} P_u(Z) dZ = \int_0^{\infty} P_u(R) dR \quad (4)$$

여기서, P_u 는 무조건 확률함수이고 Z와 R은 반사도와 강우강도이다. 그러나 식 (4)에 적합한 자료를 얻는 것은 AWS 측정방법(bucket 크기)이나, 레이더 비강수예코 등에 의해 제약이 있다. 이를 고려하여 유효강수 범위를 설정해야 하는데, 강수량자료는 tipping bucket의 크기가 관측할 수 있는 강우량의 최소값 $R_0(0.5\text{mm/h})$, 레이더에서 관측할 수 있는 반사도의 최소값 $Z_0(10\text{dBZ})$ 으로 설정하였다. 이 관측가능한 임계치 쌍(R_0, Z_0)를 이용해 식 (4)를 식 (5)와 같이 Z-R 관계로 표현할 수 있다. 또한 이를 조건있는 확률밀도함수를 사용하여 다시 식 (6)으로 표현하였다.

$$\phi \int_{Z_c}^{\infty} P_u(Z) dZ = \int_{R_c}^{\infty} P_u(R) dR \quad (5)$$

$$\int_{Z_c}^{\infty} P_c(Z) dZ = \int_{R_c}^{\infty} P_c(R) dR \quad (6)$$

여기서 ϕ 는 Z-R의 확률대응관계를 위한 계수이다. $f(Z)$ 는 레이더 반사도를 강우강도로 환산하는 함수이다. 식 (6)은 레이더 반사도의 누적밀도함수와 강수량계의 누적밀도함수를 규격화 시킨 다음 일대일로 대응시켜 Z-R 관계가 성립되는 함수를 나타낸 것이다. 이를 기본으로 WPMM 방법에서 식 (2)의 선형방정식의 계수 a, b를 산정할 수 있다.

3. 레이더 강수산정 및 분석

본 연구에서는 레이더 강수산정방법의 비교를 위하여 기상청에서 운영 중인 진도(JND), 청주(CJU), 군산(KSN), 부산(PSN), 관악산(KWK), 백령도(BRI), 동해(DHN) 레이더에서 관측된 레이더 반사도 자료(UF 형식)와 전국 581개의 AWS 관측망 자료를 이용하였다. 레이더 강수추정을 위해 선정된 사례기간은 2003년 6월 11일~12일(CASE I), 8월 22일~23일(CASE II)이며, 추정된 레이더 강수를 Marshall-Palmer 관계식을 적용한 결과와 비교하였다. 레이더 강수산정기법의 정확도를 평가하기 위해 한반도 전역에 대하여 합성된 레이더 강우자료를 이용하여 강수예보모델의 검증기법을 적용하였다(최지혜, 2005).

3.1 Least-Square Fitting 방법 및 WPMM 적용

본 연구의 레이더 강수산정 절차는 다음 그림 2와 같다. 우선 특정시간에 해당되는 10분 레이더 반사도자료와 1분간격으로 관측된 AWS 자료를 NCAR/SPRINT, CEDRIC, TRMM/GSP 알고리즘을 통해 격자화된 레이더 자료와 1분 강우강도로 변환된 AWS 자료를 추출하였다. 그리고 AWS 지점과 그에 대응되는 지점의 레이더 격자자료를 매칭시켜 (Z_i, R_i) 형태의 pair를 구한 후 각 pair들을 이용하여 Least-Square Fitting 방법과 WPMM 방법에 적용하여 각 사이트별로 Z-R 관계식을 산정하였다. 계산된 Z-R 관계식을 적용하여 레이더 강수를 추정하고 위와 같은 절차를 각 사이트 별로 진행한 후 레이더 추정강수를 합성하여 한반도

본 연구에서 적용한 사례기간 중 CASE I은 전국적으로 22 mm ~ 80 mm 이내의 약한 강우강도를 나타낸 사례이고, CASE II는 서울을 포함한 중부지방에 220 mm 안팎의 집중적인 비가 내려 임진강 유역에 홍수발생경보가 발생된 기간이다. 각 사례기간에 대한 레이더 반사도 및 AWS 1시간 누적강우는 그림 3과 같다. 전역에 대한 레이더 강수를 추정하였다.

두가지 방법에 의해 추정된 레이더 강수를 비교하기 위해 층상우 강우의 대표적인 Z-R관계식인 Marshall-Palmer의 $Z=200R^{1.6}$ 을 적용하여 그 결과를 함께 나타내었다. 두 사례기간에 대한 레이더 추정강수는 다음 그림 4, 5와 같다. CASE I, II 모두 WPMM으로 추정된 레이더 강수가 M&P나 Least-Square Fitting을 적용한 결과보다 그림 3의 AWS 강우강도에 보다 가깝게 추정되었다. 특히 CASE II의 경우 WPMM이 중부지방의 집중호우의 특성을 잘 나타내는 것을 알 수 있다.

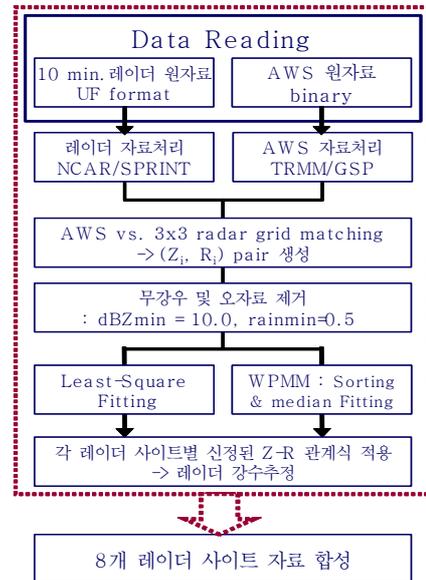


그림 2. 레이더 강수추정절차

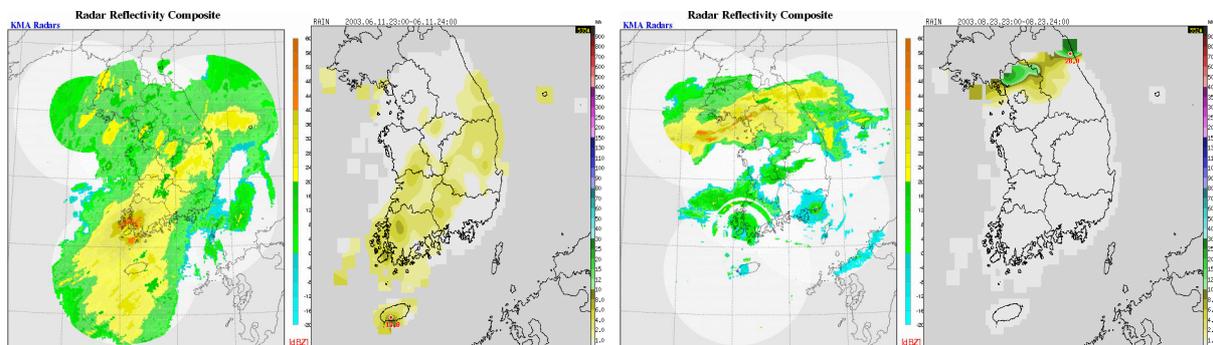


그림 3. 레이더 반사도 및 AWS 강우강도 (a) CASE I, (b) CASE II

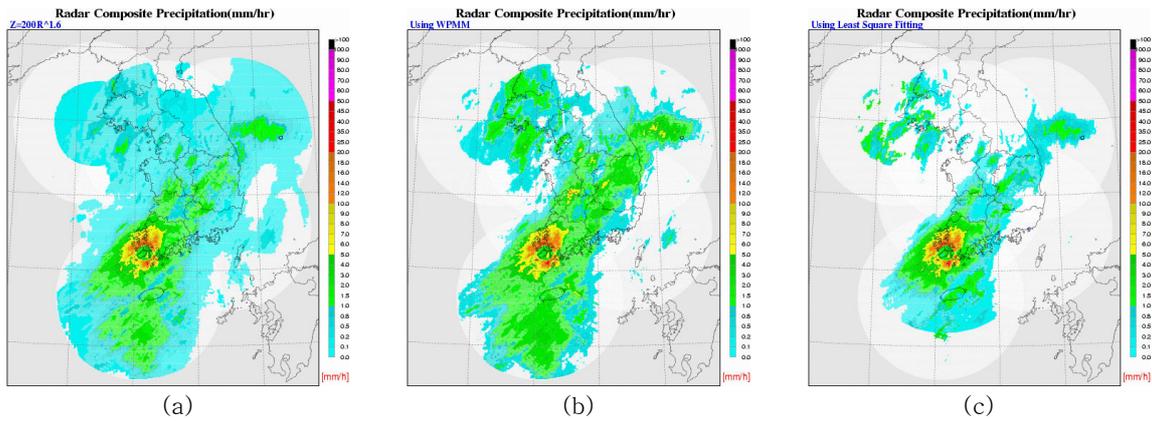


그림 4. case I (a) $Z=200R^{1.6}$ (b) WPMM (c) Least-Square fitting

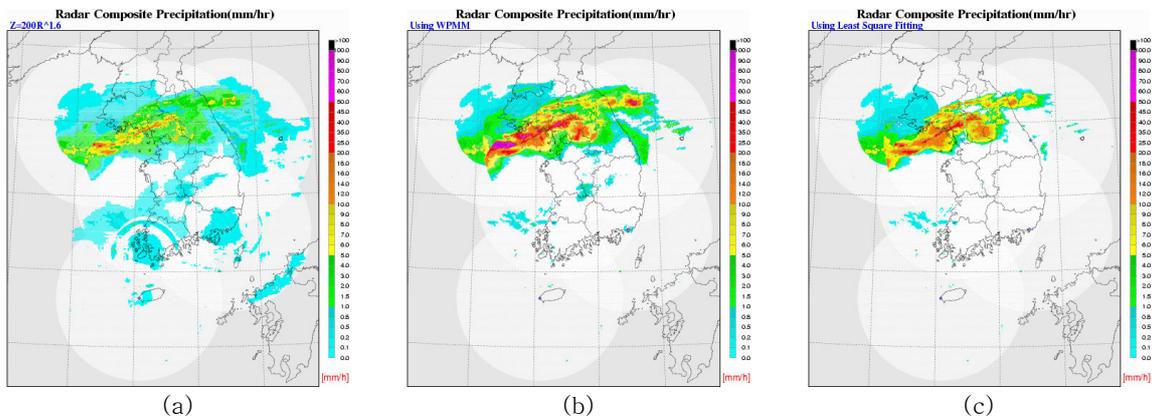


그림 5. CASE II 레이더 추정강수 결과 (a) $Z=200R^{1.6}$ (b) WPMM (c) Least-Square fitting

3.2 레이더 추정강수의 정확도 평가

본 연구에서는 레이더 추정강수의 정확도를 평가하기 위해 강수 예보모델의 검증기법을 적용하였다. 검증은 매칭된 레이더 강수 추정치와 관측치 사이의 양적 관계와 품질을 평가하기 위한 과정이다. 이러한 검증을 위해 레이더 추정 강수량 자료와 해당 시간에 관측된 AWS 강수량 자료의 품질을 비교하여 레이더 강수추정기법의 정확도를 평가하고자 한다. 본 검증은 한반도 전역의 합성 레이더 추정강수에 대해 정성적·정량적인 검증 방법을 적용하였다. 정성적인 검증의 방법으로는 정확도(ACC), 편이(BIAS), 강수감지확률(POD), 오보율(FAR), 임계성공지수(CSI) 등이고, 정량적 방법으로는 상관계수(CC), 평균제곱근오차(RMSE) 등이 있다. 표 1의 검증결과와 같이 정확도의 경우 WPMM의 적용결과가 0.8 이상의 높은 정확성을 나타내었고, 집중호우기간에도 0.8 이상의 값을 나타내었다. 편이의 경우 WPMM이 다른 방법에 비해 다소 과다추정하는 것을 볼 수 있었으며 강수의 탐지확률을 나타내는 POD가 높은 것을 알 수 있었다. 또한 상관계수가 WPMM방법이 다른 방법에 비해 상대적으로 높고 양적인 편차도 적은 것을 알 수 있다.

표 1. 한반도 전역의 레이더 추정강수의 정성적 검증 결과

구분		ACC	BIAS	POD	FAR	CSI	CC	RMSE
CASE1	M&P	0.6809	0.6782	0.5800	0.1448	0.5282	0.7593	1.3483
	WPMM	0.8074	1.1136	0.8021	0.2797	0.6116	0.8021	1.2267
	Least-Square	0.6143	0.6208	0.5660	0.0879	0.5369	0.6946	2.2965
CASE2	M&P	0.8411	1.2934	0.8364	0.3533	0.5741	0.6899	2.5061
	WPMM	0.8716	1.6123	0.9290	0.4238	0.5518	0.7507	4.2660
	Least-Square	0.8652	1.3161	0.774	0.3333	0.6098	0.5435	12.2316

3.3 레이더 강수산정 방법에 따른 도시구역 적용성 분석

그림 6은 각 레이더 강수산정기법의 도시구역에 대한 활용성을 검토하기 위해 중랑천 구역에서 추정된 레이더 강수결과를 AWS 강수와 함께 도시한 것이다. 전체적으로 WPMM 방법으로 추정된 레이더 강수가 Marshall-Palmer와 Least-Square Fitting 방법으로 추정된 강수보다 관측강수와 유사하게 산정된 것을 알 수 있다. 또한 다음 표 2와 같이 중랑천 구역의 레이더 강수를 검증한 결과 WPMM의 방법이 비교적 정확하게 계산되는 것으로 나타났다.

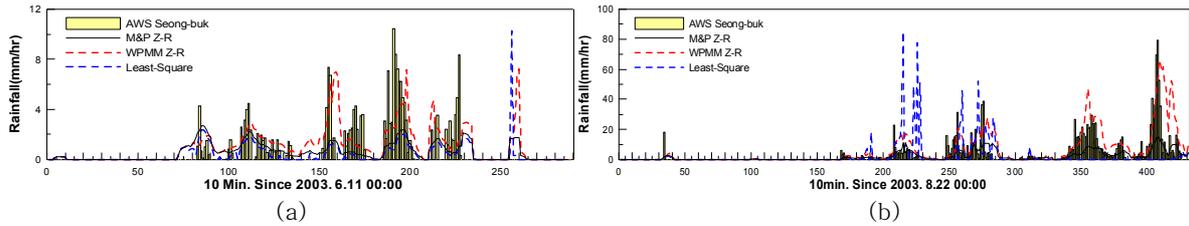


그림 6. 중랑천 구역 레이더 추정강수 (a) CASE I, (b) CASE II

표 2. 중랑천 구역의 레이더 추정강수의 정성적 검증 결과

구분		ACC	BIAS	POD	FAR	CSI	CC	RMSE
CASE1	M&P	0.6117	0.6262	0.3821	0.3899	0.3071	0.4750	0.8444
	WPMM	0.6806	1.3036	0.7161	0.4507	0.4510	0.5035	0.9874
	Least-Square	0.6307	0.5880	0.4182	0.2888	0.3575	0.717	0.5801
CASE2	M&P	0.7011	1.7036	0.8799	0.4835	0.4825	0.4530	3.9145
	WPMM	0.7205	1.8234	0.9942	0.4822	0.5024	0.2739	12.4449
	Least-Square	0.6946	1.7277	0.9043	0.4766	0.4959	0.1611	19.9631

4. 결론

본 연구에서는 레이더 강수추정기법을 비교하기 위해 레이더 반사도를 강수로 변환시키는 Z-R관계식 산정방법을 Least-Square Fitting 방법과 WPMM 방법을 적용하여 레이더 강수를 산정하고 통계적 검증을 수행하여 그 결과를 비교하였다. 분석결과 WPMM 방법으로 산정된 레이더 강수가 Marshall-Palmer의 관계식이나 Least-Square Fitting 방법을 적용한 것보다 AWS 관측 강수와 유사한 것으로 나타났다. 또한 기상학적 정확도나 상관성 분석에서도 WPMM 기법보다 우수한 레이더강수를 추정하는 것으로 검토되었다. 또한 도시 구역의 홍수예보에 보다 효과적으로 적용할 수 있는 레이더 강수산정기법을 파악하고자 중랑천 구역의 레이더 강수를 분석한 결과 WPMM 방법이 보다 유용한 강수추정기법이 될 수 있는 것으로 나타났다.

감 사 의 글

본 연구는 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행한 2003년도 건설핵심기술연구개발사업 (03산학연C03-01)에 의한 도시홍수재해관리기술연구사업단의 연구성과입니다.

참 고 문 헌

- 최지혜, 김영화, 오성남 (2005). "5대강 유역에 대한 초단시간 강수예보모델의 검증", 한국기상학회지, 2005년 6월, pp.347-357.
- Marshall, J.S. and Palmer, W. Mc. (1948). "The distribution of raindrops with size", J. of Meteorology, Vol. 5, pp. 165-166.
- Rosenfeld, D., Wolff, B. D. Atlas, D. (1993). "General probability-matched relations between radar reflectivity and rain rate", Journal of Appl. Meteor., Vol. 32, pp.50-72.