

산악효과를 고려한 Mean-field bias의 보정

Adjustment of Radar Mean-field Bias Considering Orographic Effect

김영일*, 성경민**, 황만하***, 허준행****

Young-Il Kim, Gyungmin Sung, Manha Hwang, Jun-Haeng Heo

요 지

지상강우 관측망을 이용한 강우량 측정의 대안으로서 사용되는 기상 레이더를 활용한 강우량 측정의 경우, Z-R 방정식을 이용하여 반사도를 강우량으로 환산하는 방법을 일반적으로 사용한다. 이때 발생하는 각종 오차는 레이더 장비가 가지는 기계적인 오차뿐만 아니라 Z-R 방정식이 가지는 오차 등이 있으며, 이를 보정하기 위해서 레이더를 활용하여 추정된 강우량에 지상강우량계와 레이더강우량과의 비율인 G/R비를 보정하는 방법을 일반적으로 사용한다. 본 연구에서는 이와 같이 레이더 강우량을 보정하기 위해서 사용되는 G/R비를 산정하는데 미치는 지형적인 효과를 고려하기 위해서 광덕산 레이더 유효범위 100km 내(군사분계선 이북 미포함)의 지역에 대하여 군집분석을 실시하여 크게 산악지역과 평야지역으로 구분하고, 각각 구분된 지역에 대하여 G/R 비를 산정하여 초기추정 레이더 강우량에 곱하는 mean-field bias 보정을 실시하였다. 광덕산 레이더 기상관측소의 유효범위 100km 내의 2007년, 2008년 홍수기(6/21~9/20)기간 동안 94개 Automatic Weather Station(AWS)지점에 대하여 크게 산악지역과 평야지역으로 지역화 시키는 방법은 비계층적 군집분석 기법 중 fuzzy-c mean 방법을 적용하였다. 또한 광덕산 레이더 반사도 기본 자료는 차폐영역으로 생기는 반사도 데이터 누락을 보완하기 위하여 0도와 1.5도 sweep 합성 10분단위 uf 자료를 사용하였으며, AWS와 보정이 이루어지는 레이더 격자의 크기는 최대 4km×4km로 선정하였다. 본 연구에 있어서 검증방법은 지역을 구분하기 전과 후를 AWS 실측 관측값과 절대상대오차, 평균제곱근 오차로써 비교하였다.

핵심용어 : 레이더 반사도, Z-R 관계식, 지역화, Mean-field bias 보정, Fuzzy-c mean

1. 서론

레이더 반사도 자료를 이용하여 강우를 추정할 때, 정량적인 값의 정확도를 높이기 위해 많은 노력을 기울임에도 불구하고 현실적으로 Z-R관계식의 계수의 문제, 지역적인 영향, 거리효과등과 같은 많은 오차가 내포될 수밖에 없다. 이런 레이더 관측 반경 내의 오차들을 일컬어 mean field bias라 총칭하는데(Anagonostou et al., 1998), 이와 같은 bias를 보정하기 위해 통상적으로는 M-P(Marshall and Palmer), NWS(National Weather Service)의 계수값을 Z-R관계식에 적용하여 강우량을 초기 추정된 후 G/R비와 같은 보정값을 곱하는 방법을 사용하고 있다. 그러나 우리나라와 같이 높은 산맥이 동쪽지역에 남에서 북으로 긴 띠를 이루며 현격히 나타나는 지역에서는 실제 지상강우계로 측정한 값과 레이더 추정 강우량과는 더욱 큰 편차를 보이는데, 본 연구에서는 이런 산악지형을 고려하여 지역을 구분한 후 G/R비를 광덕산 레이더 유효 100km 내의 초기추정 강우에 곱하여 강우량의 정확도를 추정하였다. 군집방법 중 비계층적 군집방법이 계층적 군집방법보다 보다 더 우수한 결과를 보이므로(임승택, 2008) 본 논문의 지역화는 비계층적 군집방법을 이용하였다.

* 정회원 · 연세대학교 대학원 토목공학과 석사과정 · E-mail: clearblue01@yonsei.ac.kr

** 정회원 · 연세대학교 대학원 토목공학과 석사과정 · E-mail: kmini9@yonsei.ac.kr

*** 정회원 · 한국수자원공사 Kwater연구원 수자원연구소 선임연구원 · 공학박사 · E-mail: hwangmh@kwater.or.kr

**** 정회원 · 연세대학교 사회환경시스템공학부 토목환경공학과 교수 · 공학박사 · E-mail: jhheo@yonsei.ac.kr

2. 기본이론

2.1 레이더의 G/R 보정기법

레이더의 반사도 인자를 이용하여 강수량으로 환산하는 과정은 일반적으로 Z-R 관계식이라 불리는 식(1)로써 추정된다.

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

여기서, Z는 레이더 반사도(dBZ), A, b는 계수, R은 강수량(mm/h)을 나타낸다.

특정 레이더 범위내의 지역적인 특성과 강우의 형태에 따라 Z-R 관계식의 계수는 달라지지만 DSD의 분포를 추정하는데 상당한 어려움이 따른다. 이를 조정하는 기법으로 지점 강우계와 그에 해당하는 레이더 강우와의 편차를 보정(bias adjustment)하는 기법인 G/R 기법이 있다. 이와 같이 G/R 비(F)는 다음 식 (2)과 같다(Raghavan, 2003).

$$F = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{G_i}{R_i} \quad (2)$$

여기서, G_i 와 R_i 는 특정 지점에 해당하는 강우계의 강우량과 지상강우계에 해당하는 레이더 강우량이고, N은 지상 강우계와 레이더의 쌍의 개수이다.

본 연구에서는 식 (2)을 이용하여 광덕산 레이더 유효반경내의 G/R비를 구하였으며, 1시간 단위로 보정비를 구한 후 전체 기간에 대한 평균 보정 비를 구하였다.

3. 레이더 강수량 산정 및 보정

본 연구는 현재 대한민국 기상청에서 운영 중인 광덕산 레이더 기상관측소에서 생성한 레이더 반사도 자료에 대하여 연구를 진행하였다. 대상 지역은 그림 1의 좌측에서 보는 것과 같이 레이더 최대 관측범위 480km 중에서 밝은띠(bright band) 오차를 받지 않는 고도내의 반사도 자료를 사용하기 위하여 100km 내의 지역만을 유효범위로 선정하였다. 또한, 거리효과를 제외한 넓은 지역의 정량적인 강우 추정의 정확도를 높이고자 하는 것이 목적이기 때문에 동고도상의 반사도를 나타낸 CAPPI 자료가 아닌 PPI 자료를 사용하였으며, 2007년 12개 sweep 반사도 자료 중 첫 번째, 다섯 번째 sweep 반사도 자료를, 2008년 15개 sweep 반사도 자료 중 첫 번째 세 번째 uf 반사도 자료를 사용하였다.

자료의 기간은 광덕산 레이더 반사도 자료, 94개 AWS 강수량 자료 모두 2007년도 2008년도 홍수기인 6월 21일부터 9월 20일 모든 시자료(레이더의 경우 10분 6개 누적, AWS의 경우 1시간자료)를 이용하였다. 이 기간 중에서 2007, 2008년 간 우리나라에 직접적, 간접적으로 미친 태풍은 본 연구기간에서 제외하였다. 레이더 강우와 지상강우계의 보정을 위해 격자망의 크기는 최대 4km×4km를 사용하였다.

본 연구에서 레이더 강수량의 초기 산정은 실무에서 많이 쓰이는 M-P의 Z-R관계식과 NWS의 Z-R관계식 두 가지 모두를 적용하여 구하였다. 이렇게 산정한 초기 강우량을 유효범위 내 94개의 모든 지점의 1시간 간격으로 bias를 구하였으며, 이렇게 각 시간별로 구한 G/R비를 전체 94개 지점 전체 연구기간동안 평균한 값을 초기 레이더 강우에 곱하여 보정하였다. 그 결과 광덕산 레이더 기상관측소를 기준으로 동쪽인 지역이 서쪽 지역에 비하여 AWS 강수량과 큰 편차를 나타냈다. 이와 같이 동쪽지역이 더 큰 편차를 나타내는 이유는 동쪽에 발달해 있는 산악지역 때문이라 판단된다. 따라서 이와 같은 산악효과를 고려하여 재 보정을 실시하였다.

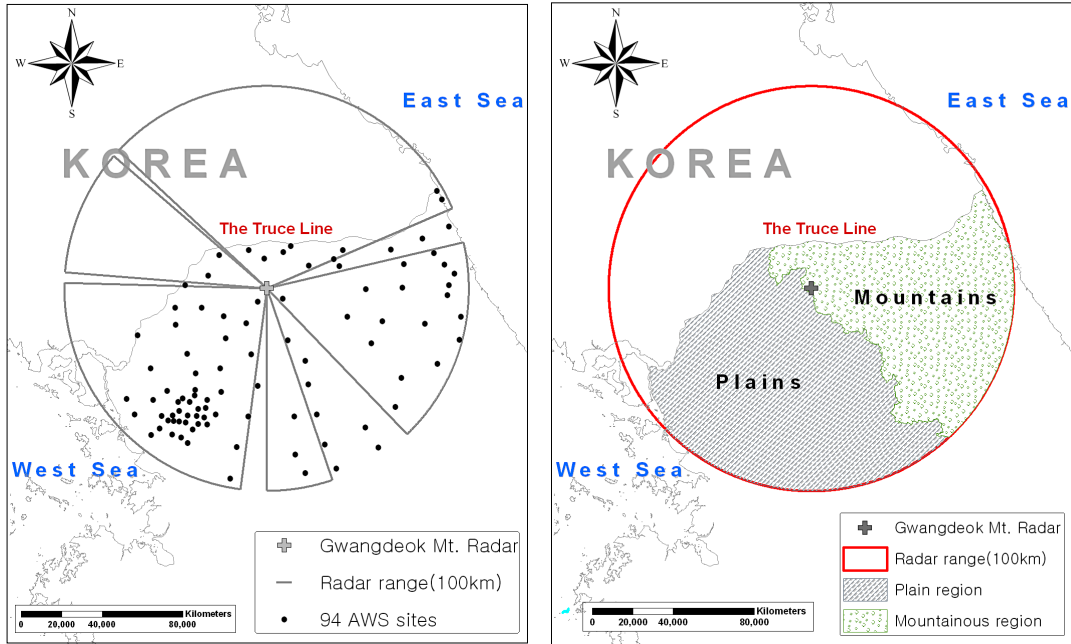


그림 1. 광덕산 레이더 기상관측소의 100km 유효범위 및 AWS 지점(좌), 군집해석 후 평야지역과 산악지역으로 구분된 레이더 유효범위(우)

4. 레이더 유효범위의 지역화 및 재 보정

본 연구에서는 지역 구분을 위한 군집해석을 계층적 구분과 비계층적 지역군 중 비계층적 지역구분인 fuzzy-c mean 방법을 이용하였다(남우성과 허준행, 2005). 이 방법을 사용할 때 지역을 나누는 인자는 지상학적 인자(각각 지속기간 별 연최대강우량 평균값, 연최대강우량 변동계수, 연최대강우량 왜곡도계수, 홍수기간 내 평균 강우량)와 지형학적 인자(경도, 위도, 고도)인 총 7개의 변수가 사용되었으며, 이를 이용하여 실행한 결과 광덕산 레이더 관측소 내 유효범위를 그림 1의 우측에서 보는 것과 같이 두 개의 지역으로 구분하였다. 평야지역, 산악지역내 위치하는 관측지점들이 레이더와 떨어진 평균 거리는 각각 64.2km, 65.4km이다. 이와 같이 두 개의 지역으로 구분된 각 지점들을 이용하여 G/R비를 재 산정하여 각각 보정을 실시하였다. 표 1은 M-P와 NWS Z-R관계식으로 구한 레이더 강우량의 지역화 전과 후의 G/R 비를 각각 나타낸 것이다.

표 1. 지역화 전과 후의 G/R 비

Z-R 계수	구분	전체지역	산악지역	평야지역
A= 200 b= 1.6	지역화 전	4.1007	-	-
	지역화 후	-	3.9784	3.0924
A= 300 b= 1.4	지역화 전	4.7024	-	-
	지역화 후	-	4.4903	3.8337

5. 적용 결과 및 분석

앞서 실시한 레이더 초기 강우의 산정 및 보정 그리고 재보정을 통하여 구한 값을 통하여 지상 강우계인

AWS 강우량 값과 비교·분석을 실시하였다.

그림 2는 2008년 9월 1일 05시부터 9월 2일 06시 기간동안 광덕산 레이더 유효범위 100km 내의 지점 중 이동(539)과 신서(538)지점의 AWS 관측강우량, 레이더 강우량, 전체 보정 강우량, 지역화 보정 강우량을 나타낸다. 초기 추정된 강우는 M-P의 식을 이용하여 나타내었으며, 그림에서 나타나는 것과 같이 지역화 보정을 거친 강우량이 실제 관측된 강우량과 매우 유사해짐을 알 수 있었다.

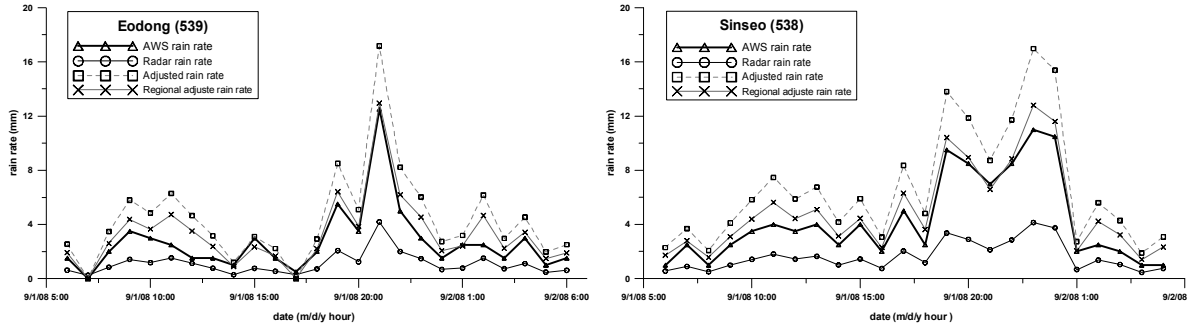


그림 2. 광덕산 레이더 유효반경 내 이동(539)과 신서(538)지점에서의 AWS 관측강우량, 초기 레이더 강우량, 보정 강우량, 지역화 보정 강우량

M-P와 같이 초기 추정된 레이더 강우량은 실제 지상관측 강우량에 비해 현저히 과소 추정되었으며, 반면 G/R 보정을 거친 후의 레이더 강우량은 실제 강우량과 유사하게 나타났다. 그림 3에서 보는 것과 같이 지역화를 거친 후의 G/R 편차보정으로 회귀식을 구하였을 경우 그 기울기가 지역화 보정 전보다 낮게 나타나는데 이는 지역화 전의 추정강우량이 AWS 관측강우량에 대하여 균일하게 과대추정, 과소추정된 것이라 생각된다. 그러나 그림 3의 지역화 보정 후의 그래프가 보정전보다 전반적으로 중심으로 더 집중되었을 뿐만 아니라 AWS 관측강우량과의 분산이 더 작게 나타남을 알 수 있었다.

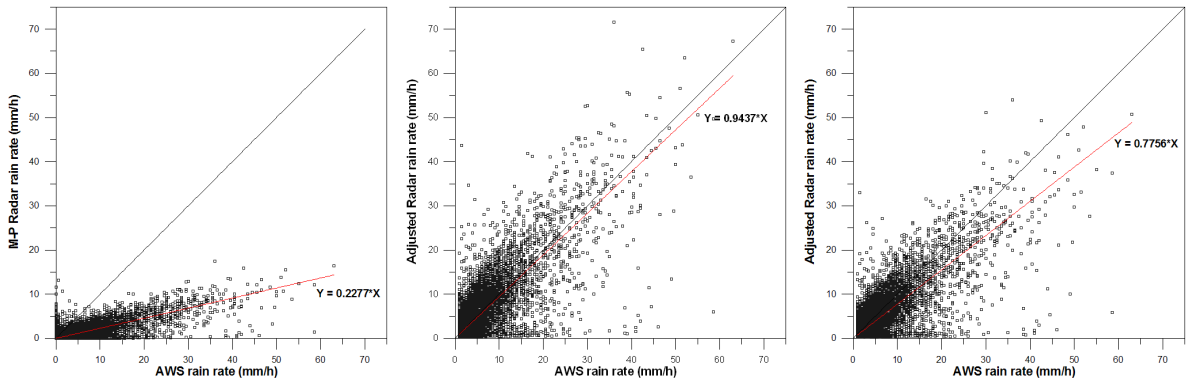


그림 3. 지상강우계(AWS)의 강우비(mm/h)에 대한 레이더 강우비, 보정전(좌), 전체보정 후(중), 지역화 보정 후(우)

표 2에서 보는 것과 같이 M-P(200, 1.6) Z-R관계식을 적용하여 추정된 강우량과 NWS(300, 1.4) Z-R관계식을 적용하여 추정된 강우량을 살펴보면, CPRD(conditional probability of radar-rainfall detection)의 경우 M-P와 NWS모두 매우 비슷한 값을 나타내지만 CC(correlation coefficient)의 경우 NWS 식이 M-P 식에 비하여 좀 더 정확한 값을 나타냈다. 그러나 절대상대오차(root mean square Error, RMSE)와 절대상대오차(ARE)의 경우 M-P 식이 더 정확한 값을 보여주므로 우리나라의 경우 현재 기상청에서 사용중인 M-P식을 적용함에 문제가 없다고 판단된다. 또한, 지역을 구분하기 전과 구분한 후의 보정값으로 mean-field bias를

보정하였을 경우를 보면, M-P식의 경우 지역을 구분하기 전에는 절대상대오차(absolute relative error, ARE)의 경우 보정전과 보정 후 동일한 값을 나타냈으나, 지역을 구분한 경우는 1.69에서 1.56으로 약 19%의 정확도 증가를 나타냈다. 평균제곱근오차(RMSE)의 경우에는 지역을 구분하기 전 6.07에서 4.11로 약 32%의 정확도 증가를 나타내었고, 지역을 구분한 후에는 40%의 정확도 증가를 보여 구분전보다 8% 더 향상된 정확도를 보였다. NWS식 또한 지역을 구분하였을 시 구분전에 비하여 절대상대오차의 경우 약 16%, 평균제곱근오차의 경우 약14%이상의 정확도 향상을 나타내었다.

표 2. M-P, NWS 별 지역화 보정 전과 후의 통계값 및 오차의 변화

구 분		CPRD (%)	CC	Mean-field bias	ARE	Adjusted ARE	RMSE	Adjusted RMSE
M-P	전 체	90.88	0.86	4.10	0.69	0.69	6.07	4.11
	지역화			3.38	0.69	0.56	6.07	3.63
NWS	전 체	90.79	0.88	4.70	0.72	0.70	5.93	4.53
	지역화			4.05	0.72	0.58	5.93	3.70

6. 결 론

본 연구에서는 광덕산 레이더 유효 100km 범위 내 mean field bias를 산악효과를 고려하기 전과 후의 비교를 통하여 그 정확도를 알아보았다. 그 결과 군집해석 기법으로 평야지역과 산악지역으로 구분하여 각각 구한 G/R비로써 mean-field bias 보정하였을 때 지역 구분전에 비하여 평균 18%의 평균제곱근오차의 감소와, 평균 11%의 절대상대오차의 감소를 나타냈다. 또한, 산악 지역으로 구분된 지역의 경우가 지역 보정전에 비하여 bias가 줄어들 수 있었다. 따라서 지역을 구분하여 보정한 것이 지역 구분전에 비하여 더 정확히 강우량을 산정할 수 있었으며 이렇게 산정된 강우량을 바탕으로 더욱 정확한 면적강우량을 추정하리라 판단된다.

감사의 글

본 연구는 21세기 프론티어연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비지원(과제번호:1-6-3)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. Anagonostou, E. N., Krajewski, W. F., Seo, D.-J., and Johnson, E. R. (1998). "Mean field rainfall bias studies for WSR-88D." Journal of Hydrologic Engineering, ASCE, Vol. 3(3), pp. 149-159.
2. Raghavan S.(2003). "Radar Meteorology", Kluwer Academic Publishers, pp. 276-280.
3. 남우성, 허준행 (2005). "지역빈도해석을 위한 수문학적 유사성 척도의 성능 평가." 대한토목학회 정기학술대회, 대한토목학회, pp. 1433-1436.
4. 임승택 (2008). 한강 유역에서의 강우 지역빈도해석 방법의 비교 연구. 석사학위논문, 연세대학교, pp. 29-79.