

레이더 강우가 수문모형의 적용에 적합한가?

Is Radar Rainfall Acceptable to Hydrologic Application?

이길하*
K Lee

요 지

지역의 공간 분포가 내포된 고해상도의 지상강우량을 추정하기 위해서 강수와 구름 입자(고체와 액체)의 양과 성질을 반영한 기상레이더의 반사도(reflectivity) 자료로부터 지상강우강도로 환산하는 방법이 널리 이용된다. 반사도 (reflectivity) 자료로부터 지상강우강도로 환산하는 핵심은 Z-R 관계식으로, 이 Z-R 관계식의 매개변수 a와 b의 결정이 중요하다. 그러나, 지상우량 관측소에서 측정되는 강우량 자료는 지상에서 관측된 강우자료이나, 레이더에서 추정되는 강우량은 상공 (이 연구에서는1.5km)에서 관측한 반사도로 추정되는 값으로 이에 상응하는 오차를 줄이기 위하여 보정하는 기법이 이용된다.

수계내의 정확한 유출량을 모의계산하기 위하여 수문수치모형이 이용되며, 이의 보다 정확한 수치결과를 모의하기 위해서 레이더 강우추정을 사용하여 정확도를 높이고자 하는 연구가 진행 중이다. 이 연구에서는 기상청에서 운영하는 레이더 반사도 자료를 사용하여 용담/남강유역 내에서 2002-2004년의 집중호우에 대해 Z-R 관계식을 추정하고, 유역 내 평균 강우량과 지상관측 강우량의 비 (G-R비)를 이용한 공간적 특성을 고려한 보정을 함으로써 추정된 평균 강우량의 정확도를 향상시켰다. 이렇게 추정된 레이더 강우는 지상관측지점 강우만으로 보간 된 강우(gauge-only interpolation)와 비교 되어, 레이더강우의 정확성과 적용성이 수문모형에 적합한가를 평가해 보았다. 공간적 분포의 특성을 내포하며 강우예측 (Quantitative Precipitation Forecasting)에 이용될 수 있다는 잇점은 있으나, 레이더 강우 추정은 정확성과 적용성에 많은 의문점을 남긴다.

핵심용어 : 레이더, 강우, 지상관측, Z-R관계식

1. 연구의 배경

강우측정자료의 부족은 수문학과 수자원 공학의 연구와 실무에 있어 항상 문제제기가 되어 왔으며, 충분한 양을 확보하지 않은 점 강우 측정망 (rainfall network)의 자료가 실제 적용되어온 게 현실이고 보면, 그 개념이 들어서고부터 약 50년 동안 이론과 적용이 활발히 연구되어온 레이더 강우관측이 하나의 대안으로 부각되는 것도 새삼스런 일은 아니라 하겠다. 우리나라도 예외는 아니라 70년대의 관악산 레이더를 시작으로 90년대에 들어서면서 전국적인 레이더망이 형성되어 있으며, 현재 기상청에서는 C-와 S- 밴드로 이루어진 8개의 레이더가 10분 간격으로 각각 240km까지의 영역을 관측해내고 있으며, 이 레이더망을 합성하여 전국의 레이더 강우망을 형성하고 있다. 수자원을 개발하고 관리하는 분야에서는 수계내의 정확한 유출량을 파악하기 위하여, 유역내의 정확한 평균강우량의 산정이 필수적이며, 최근에 이러한 레이더 강우추정의 정확도를 높이고자 하는 연구가 활발히 진행 중이다.

일반적으로 고해상도의 지상강우량을 추정하기 위한 방법으로 강수와 구름 입자를 관측하는 기상레이더의 반사도 자료로부터 강우강도로 환산하는 방법이 널리 이용된다. 지상우량 관측소에서 측정되는 강우량 자료는 실제 관측된 강우자료 이므로 관측지점에서의 정확성은 인정되지만, 공간 해상도가 레이더에

* 정회원경원대학교 GIS 연구소

비해 넓다. 반면, 레이더에서 추정되는 강우량은 상공에 존재하는 강우입자에 의한 반사도로 추정되는 값으로 그 정확도는 지상관측 강우량보다는 낮지만 비교적 넓은 영역에 대하여 고해상도의 관측자료를 생산할 수 있다는 잇점이 있다. 그러나 레이더 강우 산정을 위하여 널리 사용되는 Z-R관계식이 레이더 반사도와 지상강우강도와의 관계를 모두 설명해 낼 수 없으므로 Z-R관계식으로 산출된 레이더 강우량이 실측 강우량과 차이를 보이는 것이 놀랄만한 일도 아니다. 따라서 레이더 강우 산정 및 예측의 정확도를 높이기 위해서는 실측 강우량을 이용한 보정이 많이 쓰이고 있다 (기상청과 수자원 공사, 1996; Joss and Lee, 1995, Jessen et al., 2005). 따라서, 이 연구에서는 기상청에서 운영하는 레이더 반사도 자료를 사용하여 유역 내 Z-R 관계식을 추정하고, 유역 내 평균 강우량과 지상관측 강우량의 비를 이용한 공간적 분포 특성을 고려한 보정을 함으로써 관계식에 의해 추정된 평균 강우량의 정확도를 향상시키려고 노력하였다. 이러한 향상된 레이더 강우의 정확도는 돌발홍수 시 저수지 운영을 위한 단기 강우 예측 기법의 개발로 이어져 보다 유연하고 능동적인 수자원 운영으로 이어지리라 기대하나 그 정확성이나 효율성 및 경제성에 있어 수문학자나 기상학자에게 많은 의문점을 남긴다.

2. 결과

이 연구에 사용된 호우사상은 2002년 태풍 루사 및 집중호우, 2003년 태풍 매미, 2004년 7월 16일 집중호우사상으로 여름철 태풍에 의한 2개의 호우사상과 강우전선(또는 저기압)에 의해 발생한 2개의 호우사상, 총 4차례의 호우사상을 선정하였다. 대상유역은 한국수자원공사에서 운영하는 남강댐과 용담댐 유역을 대상으로 하였으며, 지상관측 강우량 자료로는 남강댐 유역내의 18개 우량국 TM 관측자료, 용담댐 유역내의 8개의 우량국 TM 관측자료를 사용하였다. 레이더 자료는 기상청에서 운영되는 6개 C 밴드 레이더(백령도, 군산, 동해, 제주도, 관악산, 부산)와 2개의 S 밴드 레이더(광덕산, 진도)에서 관측된 반사도 자료를 사용하였다.

레이더 반사도 자료에서 강우량을 산출하는 Z-R 관계식은 대표적으로 층상형 강우일 때 $Z=200R^{1.6}$, 대류성 강우 혹은 뇌우성 강우일 때 $Z=300R^{1.35}$ 그리고 강설일 때 $Z=1780R^{2.2}$ 등이 있다. 이처럼, Z-R의 관계는 강우형성요인에 따른 강우 패턴(소나기성, 전선형 또는 대류성, 해양성)과 그에 따른 빗방울 입자 크기의 분포에 따라 다양하게 결정된다(Henderson and Lewis, 1998). 따라서, Z와 R의 두 계수에 따라 레이더 강우추정의 정확도가 좌우되며, 일정한 Z-R 관계식을 사용하면 시공간적으로 서로 다르게 분포하는 복합적인 강우시스템의 강우량을 추정하는 데는 한계가 있다.

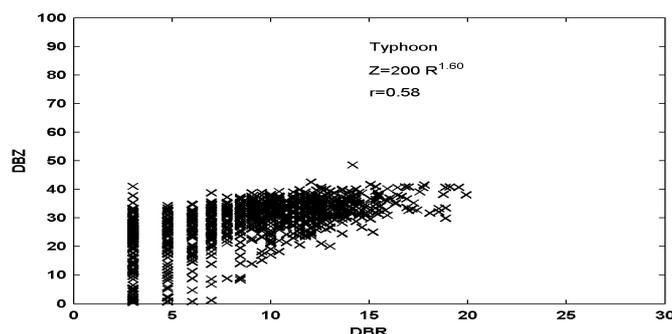


그림 1. 레이더 반사도와 지상관측강우를 보여주는 산포도 (scatter plot)

그림 1은 강우사상에 대한 DBZ ($10\log_{10}Z$)와 DBR ($10\log_{10}R$)의 관계를 나타내는 산점도이다. 여기에서 DBZ와 DBR은 약 0.6정도의 상관관계를 보여주고 있으며, 이는 1.5km 상공의 Z값에 대한 지상의 강우관측 값을 고려할 때 어느 정도 타당하다고 볼 수 있다.

레이더 관측은 상공의 일정한 높이에서 간접적인 방법으로 강우를 측정하는 방법으로서 실제 강우량과는

직접적인 선형관계가 아니며, 현업에서는 지상지점 관측자료를 활용하여 가능한 참값을 찾아내기 때문에 이러한 지상관측 값을 사용하여 레이더 추정강우를 보정하는 많은 기술들이 개발되어 왔다 (Jessen et al., 2005).

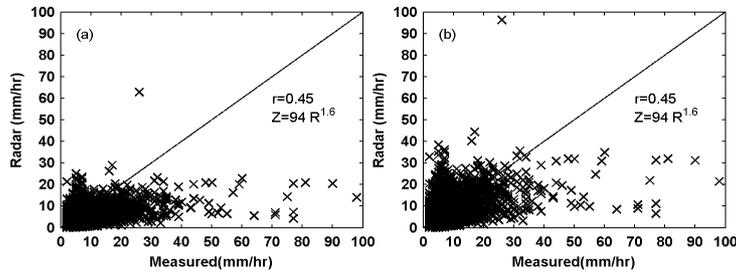


그림 2. Z-R관계식에 의해 산정된 보정되기 이전과 이후의 레이더 강우

그림 2는 Z-R 관계식에서 계수 b를 1.6으로 고정하고, SCE 방법으로 최적화-최적화 방법론 기술요망-하여 구한 계수 a(=94)를 이용하였을 시, 보정된 레이더 강우와 관측강우와의 산점도이다. 가로축은 수자원공사에서 TM으로 수집한 지상강우관측이고 세로축은 추출된 레이더강우를 나타낸다. 총 강우 평균을 이용한 레이더 강우보정은 고려중인 강우의 시공간 영역 전체에 대하여 레이더 강우와 지상 관측 강우에 대한 평균값을 사용하기 때문에 각 레이더 격자와 각 관측 지점에 대한 강우 강도와 레이더 시그널의 공간적 분포 특성이 배제되어 있다는 단점이 있다. 또한, 시간간격도 일반적으로 관심이 있는 강우 사상에 대한 전체 기간에 대한 합으로 나타나므로 시간적 분포 특성이 배제된다. 따라서, 이 연구에서는 각 레이더 격자에서 가장 근접한 여러점 (이 연구에서는 5개의 관측점)의 점 관측강우를 이용하여 거리에 따른 가중치를 부여함으로써 강우 관측소의 공간적 분포 특성을 고려한 레이더 추정 강우 보정을 시도하였다. 그 결과 보다 향상된 레이더 추정강우량(상관계수 약 0.8이상)을 구할 수 있었다(그림 3b).

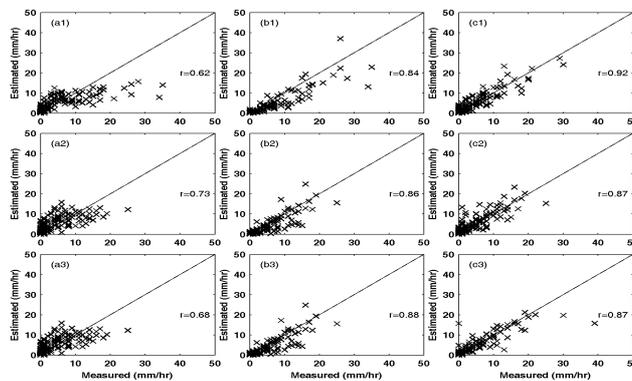


그림 3. 추출된 레이더 강우: (a) 일정한 비로 보정, (b) 공간분포를 고려한 보정, (c) 지상관측만을 이용하여 내삽한 강우

집중호우 시에는 강우강도가 일반강우에 비하여 크기 때문에 레이더 시그널의 감쇄(attenuation)가 커 그 정확도가 낮으나, 레이더/지상관측 보정의 개선으로 인하여 그 정확도를 향상시킬 수 있으리라 기대한대목이다. 그러나 지상 관측만을 이용하여 내삽 (interpolation)한 강우 분포(그림3c)의 상관계수도 비슷한 정도의 정확도를 보여주고 있다. 그림4는 남강 18개 지점과 용담 8개 지점에서 보정된 레이더 강우의 상관계수를 지상 관측에 대한 상관 계수에 대한 산포도 (scatter plot)로 보여준다. 이 그림에서 보듯이 지상관측을 이용하여 보정된 레이더강우는 그 정확성이 지상 관측의 정확성에 비례해서 나타나며 레이더 강우의 보정의 정확도를 향상시키기 위해서는 지상관측의 정확성을 향상시켜야 된다는 것을 간접적으로 의미한다.

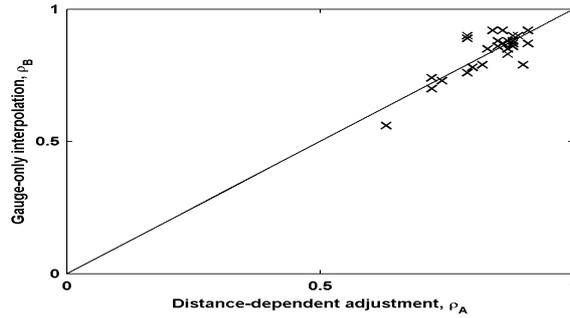


그림 4. 공간분포를 고려하여 보정된 레이더 강우와 지상관측만을 이용하여 내삽한 강우의 상관관계

3. 결론

이 연구는 우리나라의 집중 호우 시 레이더와 지상관측을 이용한 공간분포 특성을 고려하여 강우를 분석하고자 하는 것이다. 상공에서의 레이더 반사도 Z 와 지상에서의 관측강우는 어느 정도의 상관성을 보여주며, 레이더 강우 추출에 타당하다고 보여진다. 총 강우 평균을 이용한 레이더 보정은 고려중인 강우의 시공간 영역 전체에 대하여 레이더 강우와 지상 관측 강우에 대한 평균값을 사용하기 때문에 각 레이더 격자와 각 관측 지점에 대한 강우 강도와 레이더 시그널의 공간적 분포 특성이 배제되어 있다는 단점이 있다. 각 레이더 격자에서 가장 근접한 여러 점의 점 관측강우를 이용하여 거리에 따른 가중치를 부여함으로써 레이더 강우 측정의 정확도를 향상시키며 공간적 분포 특성을 도입한 보정을 시도하였으며, 그 결과 향상된 레이더 관측값을 얻을 수 있었다. 그러나 지상 관측만을 이용하여 내삽한 강우의 상관계수와 비슷한 정도의 정확도를 보여주며, 지상관측을 이용하여 보정한 레이더강우는 그 정확성이 지상 관측의 정확성에 크게 의존한다고 보여진다. 레이더 강우가 공간적 분포를 내포하고 있어 강우 계측에 있어 질적인 정보는 제공한다는 장점은 있으나, 양적인 측면에서 레이더 강우의 수문학적 이용에 많은 의문을 남기는 계사실이다.

참 고 문 헌

1. 한국 수자원 공사, 기상청, 수자원 연구소, 기상연구소, 레이더를 이용한 유역강우 산정 기법 연구(2차), 1996
2. Henderson FM and Lewis AJ. 1998: Principles & Applications of Imaging Radar, Manual of Remote Sensing, vol II. John Wiley & Sons, New York
3. Jessen M, Einfalt T, Stoffer A, and Mehlig B, 2005: Analysis of heavy rainfall events in North Rhine-Westphali with radar and raingauge data, *Atmospheric Research* (in press)
4. Joss Jand Lee R, 1995, the application of radar/gauge comparisons to operational precipitation profile corrections, *Journal of applied meteorology*, 34:2612-2630