

레이더 자료를 이용한 시공간적 변동성을 고려한 강우의 결측치 추정

Estimation of Missing Rainfall Data Considering Spatio-Temporal Variation Using Radar Data

송창우*, 송창준**, 김병식***, 김형수****

Chang Joon Song, Soo Jun Kim, Hung Soo Kim

요 지

본 논문에서는 지점 강우의 결측치를 추정하기 위해 전통적인 통계학적 내삽기법을 이용한 역거리가중치법(IDWM), 역지수가중치법(IEWM), 상관계수가중치법(CCWM)과 패턴 인식의 일종인 인공신경망(ANN)기법 그리고 시공간적 강우분포의 측정이 가능한 레이더 자료를 이용해 결측치를 추정하여 각각의 방법을 비교하였다. 임진강 유역의 15개 지상관측소를 대상으로 교차검정(Cross validation) 분석을 실시해 본 결과, CCWM 방법과 ANN기법에 의한 RMSE가 0.46~1.79의 범위를 보였고, 보정레이더를 이용하여 결측치를 추정한 경우 RMSE가 0.05~2.26의 범위를 보여 기존의 전통적 결측치 추정방법보다 실측치에 가까운 결과를 보였다. 이는 레이더자료가 지점 강우자료와는 달리 강우의 시공간적 변동성을 고려한 공간분포의 정보를 지니고 있기 때문인 것으로 판단된다.

핵심용어 : 결측강우, 역거리가중치법(IDWM), 역지수가중치법(IEWM), 상관계수가중치법(CCWM), 인공신경망(ANN), 레이더강우

1. 서론

강우량 자료는 수문학적 분석과 수자원시스템의 이용에 있어서 매우 중요한 부분이다. 그러나 완벽한 강우 자료를 구축하기에는 많은 어려움이 따르고, 이에 따라 수문학자들은 결측치에 대한 문제를 겪게 된다. 따라서 결측치의 추정은 많은 수문학적 모델링 연구에 있어서 요구되는 가장 중요한 부분 중 하나라고 할 수 있다. 지점강우의 결측치에 대한 보정에는 일반적으로 전통적인 방법인 산술평균법, 역거리 가중치법, 역지수 가중치법, 상관계수 가중치법이 사용되었고, 최근에는 크리깅 기법이나 인공신경망(ANN)기법이 사용되고 있다. 김웅석 등(1999)이 평창강 유역의 11개 지점 시자료를 바탕으로 1개의 호우사상을 산술평균법, 연정상 강우량법, 역거리 가중치법, 거리고도비율법, 선형계획법, 수정 연정상 강우량법, 크리깅 기법을 이용 및 분석하여 적용성을 평가하였다. 이후 윤강훈 등(2004)이 낙동강 유역의 시자료를 대상으로 크리깅 기법의 적용성을 평가하였고, 황세운 등(2006)은 충주댐과 춘천댐 유역의 일자료를 대상으로 역거리 가중치법, 크리깅과 코크리깅(Co-Kriging)기법의 적용성을 평가하였다. 안상진 등(2000)은 보청천 유역 12개 지점의 시자료를 대상으로 고전적인 방법 이외에 신경망을 이용한 방법을 추가하여 비교평가를 수행하였다.

그리고 최근에 호우사상 및 산지 집중호우를 예측하기 위해 위성 및 레이더 영상분석이 많이 이용되면서 이들 자료를 이용한 강우보정 방법에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 안상진 등(2003)이 관악산 기상

* 학생회원 · 인하대학교 토목공학과 석사과정 · E-mail : s-c-2@hanmail.net
** 학생회원 · 인하대학교 토목공학과 석사과정 · E-mail : genius0315@nate.com
*** 정회원 · 한국건설기술연구원 수자원연구실 수석연구원 공학박사 · E-mail : hydrokbs@kict.re.kr
**** 정회원 · 인하대학교 사회기반시스템공학부 토목공학과 교수 · E-mail : sookim@inha.ac.kr

레이더의 반사강도와 강우강도를 분석하여 국내 조건에 맞는 관계식을 제시하였고, 김병식 등(2007)은 임진강 강우레이더를 이용하여 안성천 유역의 지점 시자료를 대상으로 조건부 합성방법을 이용하여 강우를 모의한 후, 관측 우량과 비교평가를 수행하였다.

본 논문에서는 기존까지 지점강우의 결측치를 추정하는 방법인 역거리 가중치법(IDWM), 역지수 가중치법(IEWM), 상관계수가중치법(CCWM), 인공신경망(ANN)기법의 결과와 더불어 최근 그 이용성이 커지고 있는 레이더 강우와 보정-레이더 강우를 이용한 지점강우의 보정결과를 비교·분석하여 강우의 결측치를 추정함에 있어서 최적의 방안을 제시하고자 한다.

2. 지상강우 자료의 보정기법

2.1 역거리 가중치법(IDWM, Inverse Distance Weighting method)

역거리 가중치법(IDWM)은 인근 관측지점의 우량을 거리에 반비례로 가중하여 결측지점(보정지점)의 우량을 결정하는 방법이다.

$$\theta_m = \frac{\sum_{i=1}^n \theta_i d_{mi}^{-k}}{\sum_{i=1}^n d_{mi}^{-k}}$$

여기서, θ_m : m지점의 관측값, θ_i : I지점의 관측값, n : 관측지점의 수

d_{mi} : I지점으로부터 m지점까지의 거리(km),

k : 거리 가중 계수(1.0~6.0), 일반적으로 2.0을 사용

2.2 역지수 가중치법(IEWM, Inverse Exponential Weighting method)

역지수 가중치법은 일반적으로 surface generation을 위한 정량적 지리학에서 사용되는 방법이다 (Goodchild, 1986; Sullivan and Unwin, 2003). 역거리 가중치법(IDWM)의 요소 중 d_{mi}^{-k} 가 e^{-kd} 로 대체되어 있는 형태로 일반적으로 k값은 2를 사용한다.

$$\theta_m = \frac{\sum_{i=1}^n \theta_i e^{-kd}}{\sum_{i=1}^n e^{-kd}}$$

2.3 상관계수 가중치법(CCWM, Coefficient of Correlation Weighting method)

상관계수 가중치법(CCWM)은 각 관측소의 강우자료의 시간적 상관성을 이용하는 방법으로 우선 가까운 관측소를 이용하여 두 관측소의 상관분석을 수행한 후, 계산된 상관계수를 가중치로 하여 결측지점의 우량을 보정하게 된다. 이 방법은 결측치를 추정할 때, 역거리 가중치법(IDWM)이 거리를 사용하는 반면에 상관계수를 사용하기 때문에 공간적 상관성보다는 자료의 상관성을 더 고려하는 방법이라고 할 수 있다.

$$\theta_m = \frac{\sum_{i=1}^n \theta_i R_{mi}}{\sum_{i=1}^n R_{mi}}$$

여기서, R_{mi} : 지점 m과 지점 i 자료 간의 상관계수

2.4 인공신경망기법(ANN)

인공신경망(ANN)기법은 인간 두뇌의 학습기능을 모형화한 정보처리 시스템이므로 외부로부터 지식이나 정보가 입력되면 동적상태반응을 일으켜 필요한 출력을 생성시키는 네트워크라 할 수 있다. 다음 그림 1.은 신경망이 정보 또는 지식을 습득하는 방법인 학습을 통하여 계산된 출력간에 오차가 있는 경우 그 오차에 대하여 계속적으로 반복하면서 각 결선에 대한 매개변수를 최적화하기 위해 연결강도를 조정하여 최종적인 결과를 얻는 것을 나타내는 모식도이다.

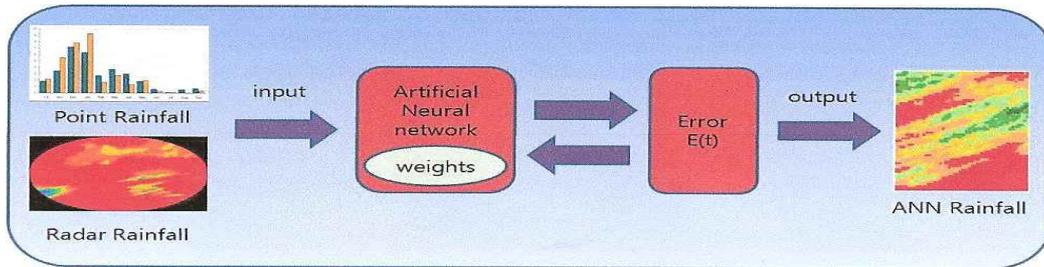


그림 1. 신경망을 이용한 강우보정 학습 알고리즘 개념도

3. 임진강레이더

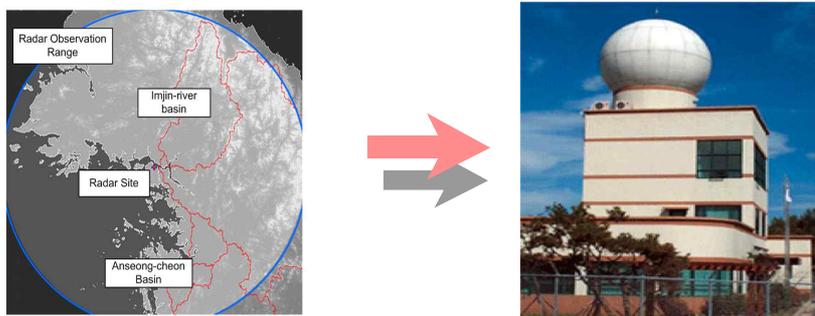


그림 2. 임진강 레이더 반경 및 임진강 레이더 전경

임진강 강우레이더는 국내 최초로 수문관측을 위해 설치된 레이더로 기존의 기상 예보를 위해 설치된 기상레이더와는 그 운영의 성격에 차이를 두고 있으며, 임진강 하류지역의 홍수예보 및 수자원 관리를 위해 홍수예보시스템에 연계되어 레이더 관측자료를 생산하고 있다. 임진강 하류지역 홍수예보를 위해서는 북한 상류지역의 강우량 관측이 필요하나 우량관측자료를 얻기는 어려운 실정이다<건교부, 2006>. 임진강 레이더의 자세한 제원은 표 1.과 같다.

표 1. 임진강 레이더 특성 및 관측방식

| 레이더(TDR-43250C)의 특성 | | 관측 방식 | |
|---------------------|------------|-------------|-----------------------------|
| 본체 | TDR-43250C | Scan mode | Multi Elevation Volume Scan |
| 주파수 | 5.645 GHz | Elevation 수 | 12개(0.4°~2.2°) |
| PW/PRF | 2μs/500 Hz | 사용 Z-R 관계식 | $Z = 31R^{1.17}$ |
| 송신출력관 | Klystron | CAPPI 고도 | 1km |
| 첨두출력 | 250KW | 안테나 속도 | 15deg/sec(2.5RPM) |
| 신호처리장치 | RVP-8 | 관측반경 | 170km(최대 400km) |
| 안테나 | Offset 방식 | | |
| 빔폭 | 0.95° | | |

4. 적용 및 결과

4.1 대상유역 및 Data

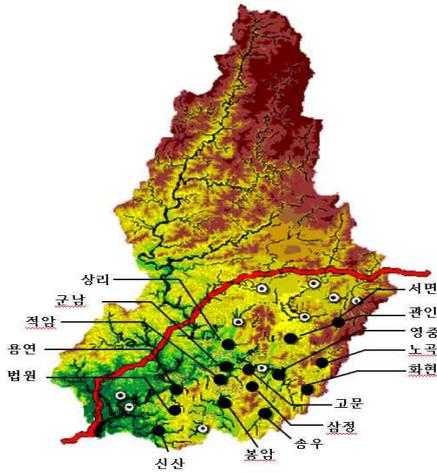


그림 3. 임진강 유역

표 2. 임진강 유역의 TM관측소

| | 관측소명 | 경도 | 위도 |
|-------|------|-----------|----------|
| St.1 | 신산 | 126-51-14 | 37-46-40 |
| St.2 | 용연 | 126-51-36 | 37-55-33 |
| St.3 | 법원 | 126-52-55 | 37-51-14 |
| St.4 | 봉암 | 127-00-01 | 37-54-21 |
| St.5 | 적암 | 127-00-23 | 38-05-05 |
| St.6 | 군남 | 127-01-10 | 38-03-13 |
| St.7 | 상리 | 127-04-39 | 38-08-59 |
| St.8 | 고문 | 127-06-55 | 38-03-46 |
| St.9 | 삼정 | 127-07-59 | 37-57-40 |
| St.10 | 송우 | 127-08-44 | 37-49-37 |
| St.11 | 영중 | 127-13-06 | 38-00-23 |
| St.12 | 관인 | 127-16-08 | 38-07-20 |
| St.13 | 화현 | 127-17-13 | 37-53-56 |
| St.14 | 노곡 | 127-20-18 | 38-18-18 |
| St.15 | 서면 | 127-25-05 | 38-09-56 |

임진강 유역(그림 3) 전체 유역 면적이 약 8,117.5km²로 이 중 약 63%인 5,108.7km²가 북한 지역에 속해 있다. 본 연구에서는 남한지역의 지상강우관측소 15개(TM관측소)를 선정하였다. 레이더 강우자료는 임진강 레이더 자료를 이용하였고, 보정 레이더자료는 조건부 합성방법(김병식 등, 2007 ;Kim etc, 2008)을 이용한 자료를 이용하였다. 지상강우관측소 및 경·위도는 표 2.와 같다. 자료기간은 2006년 7월 14일 00:00부터 7월 15일 00:00시까지 30분당 자료를 이용하였다.

4.2 분석 및 결과

본 연구에서는 지상강우를 이용하여 역거리 가중치법(IDWM), 역지수 가중치법(IEWM), 상관계수 가중치법(CCWM), 인공신경망기법(ANN)을 이용하여 미세측 지점의 결측치를 산출할 수 있는 모델을 구축하였고, 성능을 평가하기 위한 방법으로 교차검증(Cross-Validation)을 적용하였다. 즉, 기존의 한 관측소를 미세측 관측소로 가정하고 나머지 14개의 관측소로부터 거리 및 지수를 통하여 결측치를 추정하였다. 대상 지점 15개를 선정하였으므로, 각 방법 당 15번의 모의를 수행하였다. 교차검증(Cross-Validation) 결과를 제곱평균제곱근오차(RMSE)로(표 3) 정리하였고, 각 지점별 RMSE 그래프는 그림 4.와 같다.

표 3. 각 지점별 RMSE값(RMSE : 단위 mm)

| 지점 추정 방법 | | 지점 | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------|--------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | | 영중 | 관인 | 송우 | 삼정 | 화현 | 노곡 | 군남 | 상리 | 고문 | 적암 | 신산 | 법원 | 용연 | 봉암 | 서면 | |
| 지점 강우 | IDWM | 1.49 | 1.41 | 3.41 | 2.55 | 3.03 | 1.73 | 4.03 | 2.62 | 2.81 | 2.36 | 2.67 | 2.12 | 4.27 | 1.37 | 1.95 | |
| | IEWM | 2.62 | 2.06 | 4.63 | 3.79 | 2.85 | 1.78 | 5.29 | 3.36 | 4.63 | 3.40 | 2.72 | 3.87 | 4.89 | 2.41 | 5.00 | |
| | CCWM | 0.84 | 0.81 | 0.99 | 0.77 | 1.79 | 1.21 | 0.97 | 1.10 | 0.81 | 0.79 | 0.78 | 0.77 | 0.75 | 0.57 | 0.91 | |
| | ANN | 0.68 | 0.75 | 0.82 | 0.81 | 1.09 | 1.04 | 0.84 | 0.96 | 0.79 | 0.53 | 0.68 | 0.79 | 0.90 | 0.46 | 0.84 | |
| 격자 강우 | RADAR | 격자 | 2.30 | 2.44 | 3.89 | 3.05 | 3.92 | 2.88 | 5.60 | 5.34 | 3.95 | 5.41 | 5.56 | 5.18 | 5.28 | 4.41 | 3.40 |
| | | 평균값 | 2.24 | 2.62 | 4.31 | 2.98 | 3.81 | 2.75 | 5.20 | 5.35 | 3.52 | 4.93 | 5.36 | 4.91 | 5.23 | 4.37 | 3.29 |
| | ADJUST RADAR | 격자 | 0.87 | 0.05 | 2.26 | 1.39 | 0.25 | 0.27 | 0.30 | 1.80 | 1.99 | 0.86 | 1.09 | 1.40 | 0.87 | 0.40 | 0.68 |

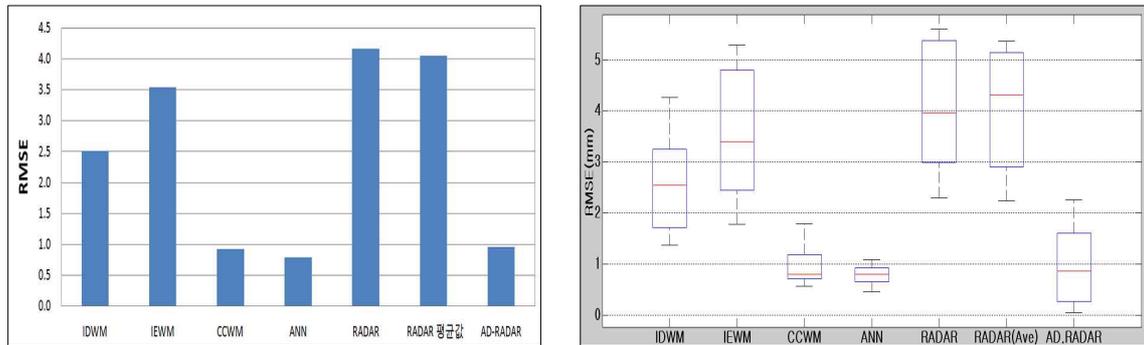


그림 4. 각 방법별 평균 RMSE(좌)와 BOX PLOT(우)

5. 결론

본 연구에서는 임진강유역의 TM관측소 15개를 대상으로 역거리 가중치법(IDWM), 역지수 가중치법(IEWM), 상관계수 가중치법(CCWM), 인공신경망(ANN)기법을 적용하여 강우의 결측치를 추정하였으며, 레이다자료를 통한 결측치 보정기법과 비교·분석을 하였다. 본 연구의 결과, 사용한 결측치 추정방법 중 상관계수 가중치법(CCWM)(RMSE:0.57~1.79), 인공신경망(ANN)(RMSE:0.46~1.09), 보정레이더(RMSE:0.05~2.26)기법이 어느 정도 신뢰성이 있는 값을 보여주었다. 반면에 역거리 가중치법(IDWM), 역지수 가중치법(IEWM), RADAR 격자 및 평균값은 RMSE의 값이 1.37~5.60의 범위를 보이며 상당히 큰 오차를 보였다.

일반적으로 레이다의 강우자료가 지점강우 자료에 비해 정량적인 부분에 있어서 정확성이 떨어지기는 하지만, 이를 위한 해결책으로 기존에 설치되어 있는 지상강우 관측망과 강우레이더 관측망을 조합한 보정레이더를 사용하고 있다. 본 연구에서도 레이다 자료를 바로 적용하는 것 보다 보정레이더를 사용할 경우 결측치를 추정함에 있어서 더 타당한 RMSE값을 얻을 수 있었다. 따라서 강우의 결측치를 추정함에 있어서 보정레이더를 이용한 방법이 효과적이라고 할 수 있다.

참고 문헌

1. 김응석, 김형수, 김중훈(1999). 점 강우량 결측치 보정 방법에 관한 비교 연구, 한국수자원학회 학술 발표대회논문집, pp. 374-381.
2. 윤강훈, 서봉철, 신현석(2004). 크리깅 기법을 이용한 낙동강 유역 홍수강우의 공간해석 연구, 한국수자원학회논문집, 제37권, 제2호, pp. 233-240.
3. 황세운, 박승우, 장민원, 조영경(2006). Co-Kriging 기법을 이용한 일강우량 공간분포 모델링, 한국수자원학회논문집, 제39권, 제8호, pp. 669-676.
4. 안상진, 연인성, 김광일(2000). 신경망을 이용한 강우예측, 한국수자원학회논문집, 제20권, 제5-B호, pp. 711-722.
5. 안상진, 김진극(2003). 레이다 반사강도와 강우강도의 Z-R 관계식 산정, 한국수자원학회논문집, 제36권, 제1호, pp. 13-21.
6. 김병식, 홍준범, 김형수, 최규현(2007). 조건부 합성방법을 이용한 레이다 강우와 지상 강우자료의 조합, 한국수자원학회논문집, 제27권, 제3B호, pp. 255-265.
7. 건설교통부 (2003) 전국 강우레이더 설치 및 홍수예보시스템 개선 기본계획 수립(3차년도).
8. Kim Byung Sik, Kim Bo Kyung, Kim Hung Soo(2008). Flood simulation using the gauge-adjusted radar rainfall and physics-based distributed hydrologic model, Hydrological Processes, Volume 22 Issue 22, pp. 4400-4414