

# 홍수기 댐 운영을 위한 단기 예측강우의 적용성 평가

## Assessment on the Application of Short-Term Forecast Rainfall for Dam Operation on Flooding Season

변동현\*, 김진훈\*\*, 배덕효\*\*\*

Dong-Hyun Byun, Jin-Hoon Kim, Deg-Hyo Bae

### 요 지

최근 국지적 집중호우로 인한 인명과 재산피해가 증가하고 있는 실정이며 이러한 피해를 경감하기 위한 하나의 방책으로써 홍수예경보 시스템 구축의 관심이 늘어나고 있다. 그러나, 기존의 홍수예측 시스템은 강우 관측치를 모형의 입력 자료로 홍수유출을 계산하는데, 집중호우와 같은 악기상 조건에서는 관측강우자료를 이용한 유출해석 결과를 이용하여 홍수예경보 시스템을 운영할 경우 예방·대응시간의 부족으로 인해 방재 효율성이 떨어지는 한계성을 지니고 있다. 이와 같은 상황에서 정확한 기상예보를 활용한 기상-수자원 연계기법을 개발하여 홍수예경보 시스템에 적용한다면 악기상 감시예측기술의 향상과 더불어 재해의 방지차원에서 매우 유용한 대책이 될 뿐만 아니라 그 활용성을 극대화 시킨다면 수자원분야의 치수기 홍수예측 등에 매우 유용하게 활용될 수 것이다. 이에 본 연구에서는 모형의 입력으로 활용되는 단기 예측강우의 국내 적용성 여부를 검토하기 위해 30km의 공간해상도를 가진 단기지역예보모델인 RDAPS(Regional Data Assimilation and Prediction System) 예측강우 자료에 대하여 수문학적 정확도 분석을 수행하였으며, 예측강우의 정확도 향상을 위한 편차보정 방법을 개발·적용하였다. 또한 산정된 예측강우를 바탕으로 HEC-1 모델과의 연계방안을 제안하고 이를 이용하여 한강수계 주요 댐유역의 예측 유입량을 산정, 댐 운영에 대한 적용성을 판단하고자 한다.

**핵심용어:** 단기에측강우, RDAPS, 예측유입량

### 1. 서 론

국내 기상청에서 제공되는 단기, 중기, 장기예보 등 예측기간별 수치 및 통계 강우예보자료는 슈퍼컴퓨터의 도입과 기상분야의 지속적 연구성과의 향상으로 정확도가 매우 향상되었다. 특히 일반인을 대상으로 제공되는 생활 기상예보는 3시간 및 6시간예보, 단기에보, 주간예보, 계절예보, 1개월 및 6개월 장기예보등이 주기별로 생산되어 일상생활에서 매우 귀중한 정보로 활용되고 있다. 이러한 정보들을 수자원 분야에 적용할 수 있는 방안을 모색하고 그 활용성을 극대화 시킨다면 수자원분야의 치수기 홍수예측과 이수기 댐 운영계획 수립 등에 매우 유용하게 활용될 수 있을

\* 세종대학교 토목환경공학과 박사과정E-mail : bdh0507@naver.com - 발표자

\*\* 국토해양부 영산강홍수통제소공학박사E-mail : jhcnu@chol.com

\*\*\* 정회원·세종대학교 물자원연구소토목환경공학과 교수공학박사E-mail : dhbae@sejong.ac.kr

것이다. 따라서 홍수기의 국지성 집중호우로 인한 풍수해를 줄이고, 원활한 댐 운영을 위해서는 예측유량의 선행시간을 확보하는 것이 무엇보다 중요하다.

이에 본 연구의 목적은 기상자료의 정확도 향상 방안 및 수자원 연계기법을 개발하고, 개발 기법을 한강수계의 주요 댐 지점들에 적용하여 기상정보의 수자원 활용 가능성을 검토하고자 한다. 이를 위해 기상청의 단기 수치예보자료인 RDAPS 강수자료를 이용하여 댐 지점별로 정량적인 강수를 산정한 후 정확도 분석을 수행하였다. 또한 강수산정 결과를 단기 강우-유출모형과 연계하여 댐 유입량을 예측할 수 있는 기상-수자원 연계모델을 개발하고, 그 적용성을 평가하였다.

## 2. 단기 기상 수치예보

### 2.1 RDAPS 수치예보모델

기상청의 지역적(regional), 고해상도 단기 예측모델인 RDAPS의 근간은 PSU/NCAR MM5(Pennsylvania State University/National Center for Atmospheric Research Mesoscale Model version 5) V2.11과 V2.12(Grell 등, 1995)이다. RDAPS는 슈퍼컴퓨터(NECSX5/12A)에서 매일 두 번(00, 12UTC) 연산을 수행하며, 191×171×33의 격자시스템에서 평면격자 간격은 30km이다(Kwon 등, 2002).

MM5의 이론적 근간은 Anthes와 Warner(1978)에서 시작되었으며, 보다 확장된 개념은 Anthes 등(1987)에 의해 확립되었다. 모형의 구름 물리과정은 simple ice(Dudhia, 1989), 적운모수화는 Kain-Fritsch 방법(Kain과 Fritsch, 1990)이 사용되고 행성 경계층 모수화는 MRF/PBL(Medium Range Forecast/Planetary Boundary Layer) 기법(Hong과 Pan, 1996)을 포함한다. 장파 및 단파 태양복사는 Grell 등(1995)의 기법, Klemp와 Durran(1983)의 상층 경계조건을 사용한다. 모형의 연직 좌표계는  $\sigma$  좌표계, 수평 좌표계는 Arakawa-B격자계(Arakawa와 Lamb, 1997), 지구 투영법은 중위도에서 적합한 것으로 알려져 있는 램버트 컴퍼말(Lambert Conformal) 좌표체계를 사용한다.

### 2.2 실시간 편차보정 기법 개발

예측강우값이 강우-유출모형의 입력으로 활용되어 예측 유입량 결과에 직접적으로 영향을 미친다는 점을 고려했을 때, 예측강우의 정확도가 댐 유입량 예측에 미치는 영향이 매우 높다고 할 수 있다. 이에 본 연구에서는 댐 유입량 예측을 위한 정확도 향상 방안의 일환으로써 실시간 편차보정 기법을 다음과 같이 설계하였다. 현재시각을 48h라고 했을 때, 4개의 RDAPS 예측강우 값이 중첩이 되며 중첩된 RDAPS 예측강우 값과 현재시각의 관측값과의 비교를 통하여 편차를 계산하고, 다음 시간인 49h에 해당하는 4개의 RDAPS 예측강우 값에 앞서 계산된 편차보정계수를 곱해 줌으로써 현재시각의 기상상태를 반영한 예측강우 산정 기법을 도출하였다.

### 2.3 강우-유출모형 연계 기법 개발

단기(홍수기) 댐 유입량 예측을 위해 강우-유출모형의 입력으로 활용되는 지상관측강우와 예측강우를 유역평균강우량(MAP)으로 환산하였으며, 과거 댐 수문정보를 입력하여 모의유량과 관측유량을 동시에 표출하도록 하여 비교·검증이 가능하게 하였다. 그 후 구축된 기상자료를 강우-유출모형과 연계하여 실시간으로 유입량을 예측하는 모델을 설계하였다. 이때 4가지 편차보정 방법을 적용하여 유입량을 산정한 후, 각각에 대한 기본적인 통계분석을 통해 연계기법의 적절성을 평가할 수 있도록 설계하였다.

선정된 4가지 방법 모두 기본적으로 총 계산시간은 96시간으로 중앙 48시를 현재시간으로 고

정하고, 현재시간을 기준으로 과거 48시간(-48) 동안에는 지상관측강우량을 사용하여 선행강우사상을 고려함으로써 RDAPS 예측강우의 신뢰성을 보완해 주었다. 첫 번째 방법인 단일보정인자 기법은 미래 3시간(+3) 동안은 앞서 기술한 실시간 편차보정기법의 단일 보정인자를 적용하고 이후 45시간(+4~+48) 동안은 RDAPS 예측강우 자료를 적용 할 수 있도록 설계하였다. 두 번째 방법인 평균보정인자 기법은 현재 시간을 기준으로 과거 48시간 동안에 중첩되는 4개의 RDAPS 예측강우와 지상관측강우량과의 대표 보정인자를 산정하여 미래 48시간(+48) 동안에 적용하였다. 세 번째 방법인 앙상블편차보정 기법은 현재시간을 기준으로 미래 12시간(+49 ~ +60) 동안에 중첩되는 4개의 RDAPS 예측강우를 각 시간별로 산술평균하여 해당 시간에 맞춰 입력하였다. 네 번째 방법인 강우의 분포형태조정 기법은 실제 자연현상에서 일어날 수 있는 강우의 분포형태를 감소형, 증가형 그리고 중앙 분포형으로 분류하여 미래 48시간(+48) 동안의 RDAPS 예측강우에 적용하였다.

### 3. RDAPS-HEC1 연계 운영

#### 3.1 RDAPS 예측강우 산정 및 실시간 편차보정 기법 적용

국내 기상청에서 제공되는 단기 수치예보 강우자료를 활용한 댐 유입량 산정의 적용성 여부를 판단하기 위해 RDAPS(30km) 격자자료와 기상청 관측자료인 AWS 자료를 정량적으로 분석하였다. 이를 위해 RDAPS 격자자료와 RDAPS 격자 내에 포함되는 모든 AWS 자료를 산술평균하여 하나의 대표 관측자료로 나타내었다. 그림 1과 같이 한강유역에 적용될 수 있는 RDAPS 격자의 수는 21개이며, 해당 격자 모두에 대해서 기본적인 통계특성치인 평균제곱오차(rmse)와 상관계수(cc)를 이용하여 정확도 분석을 수행하였다.

사례기간은 2006년 7월 11일 10시부터 2006년 7월 20일 21시까지로 선정하였다. 그림 2는 화천댐 유역에 해당하는 격자번호 20번에 대한 동시간대의 AWS 강우량과 실시간 편차보정 기법을 적용하기 전과 후의 RDAPS 예측강우값을 비교·검토 하기위해 도시한 것이다. 그림에서 실선은 AWS 강우값을, 가는 점선은 편차보정 기법을 적용하기 전의 RDAPS 예측 강우값을, 굵은 점선은 편차보정 기법을 적용한 RDAPS 예측 강우값을 나타낸 것이다. 또한 정확도 분석 결과, 평균적으로 상관계수는 0.43에서 0.65로, 평균제곱오차는 5.15mm/hr에서 4.62mm/hr로 정확도 평가·분석에 있어서 모두 향상된 결과를 얻었다.

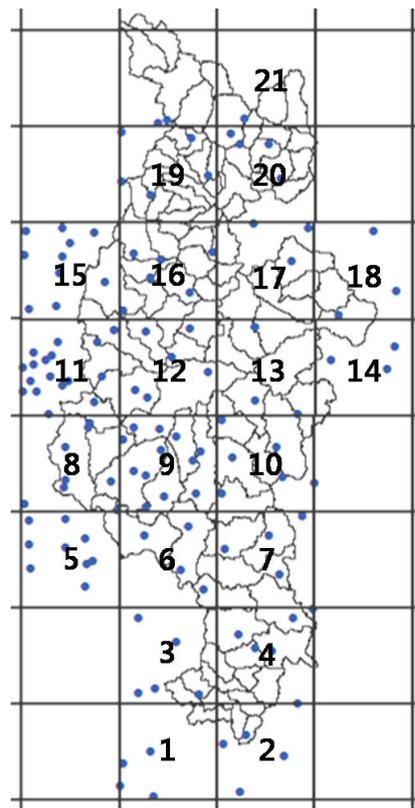


그림 1 한강유역의 RDAPS 격자와 AWS 지점

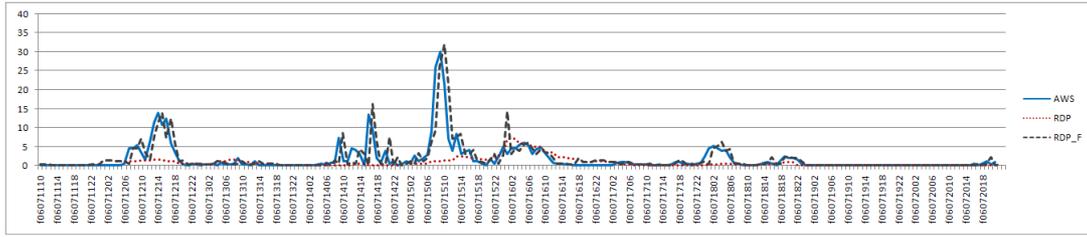


그림 2 격자번호 20번의 보정된 RDAPS 예측강우와 AWS 관측강우 산정 결과

### 3.2 RDAPS-HEC1 연계 운영

예측강우를 활용한 단기(홍수기) 댐 유입량 예측을 위해 강우-유출모형과 연계하여 실시간으로 유입량을 예측하는 RDAPS-HEC1 연계 기법을 4가지 편차보정 방법(단일보정인자, 평균보정인자, 앙상블편차보정, 강우분포형태 조절)으로 설계하여 5개 댐유역(화천댐, 춘천댐, 의암댐, 청평댐, 팔당댐)에 적용하였다.

첫 번째 방법인 단일보정인자 기법을 적용한 결과, 선행시간 3시간까지 5개 댐유역 모두 상관계수는 증가하고 평균제곱오차는 감소함을 볼 수 있었고 선행시간 3시간 이후의 상관계수는 낮아지고 평균제곱오차는 증가함을 확인할 수 있었으므로, 단일보정인자 기법은 선행시간 3시간까지 유효하다고 할 수 있다.

두 번째 방법인 평균보정인자 기법 적용 결과, 선행시간 1시간 이후부터 5개 댐유역 모두 상관계수는 감소하고, 평균제곱오차는 증가함을 볼 수 있었으므로 평균보정인자 기법은 오히려 유입량 예측을 과대 혹은 과소 모의한다고 할 수 있다. 따라서 선정된 분석기간에 한하여 평균보정인자 기법을 대상 댐유역에 적용하기에는 다소 부적합하다고 판단되며, 향후 다양한 사례기간을 추가하여 분석할 필요가 있다.

세 번째 방법인 앙상블편차보정 기법 적용 결과, 선행시간 12시간까지 5개 댐유역 모두 상관계수와 평균제곱오차의 변화가 크게 없음을 확인할 수 있었다. 또한 선행시간 3시간까지의 결과를 단일보정인자 기법과 비교해 봤을 때, 상대적으로 정확도가 다소 떨어지는 것을 알 수 있었다. 하지만 선행시간 3시간 이후부터는 다른 기법들과 비교했을 때 전반적으로 안정적인 모의를 수행하고 정확도 역시 상대적으로 높이 평가 되었다.

네 번째 방법인 강우의 분포형태조절 기법 적용 결과, 선행시간 12시간까지 5개 댐유역 모두 상관계수와 평균제곱오차의 변화가 크지 않는 것을 볼 수 있었다. 또한 상관계수와 평균제곱오차의 결과 역시 타기법과 비교해 큰 차이가 없었다. 하지만, 3가지 범주의 강우분포형태로만 비교한다면 중앙형 강우분포형태가 다른 2가지 분포형태보다 다소 높은 통계 특성값을 나타내었다.

## 4. 결론 및 향후계획

본 연구에서는 단기 수치예보 자료의 국내 댐 운영의 적용성 여부를 검토하기 위해 30km 공간 해상도를 가진 단기지역예보모델인 RDAPS 강우자료를 활용하여 생산주기, 변수종류, 예보형태 등의 자료특성을 분석하고 댐 운영에 필요한 강우자료를 추출하여 한강유역 유출해석에 활용하였다. 또한 단기 예측강우 활용기법으로 RDAPS-HEC1 연계기법을 설계하여 그 적용성을 검토하였다. 그 결과, 선행시간 3시간까지는 단일보정인자 기법이 가장 높은 정확도를 보였고, 선행시간 3시간 이후부터는 앙상블편차보정 기법이 가장 높은 정확도를 나타내었다. 따라서 최적의 기상-수 자원 연계모델을 설계할 때 위 두 방법을 병행하는 것이 가장 높은 정확도로 유입량을 예측할 수

있다고 판단하였으며, 이로 인해 예측된 유입량이 홍수기 댐 운영에 활용된다면 수자원 관리 및 댐 운영의 효율성을 향상 시킬 수 있을 것으로 사료된다. 향후 수문학적 유역 스케일에 적합한 고 해상도 수치예보자료의 사용과 더불어 정량적으로 보다 정확한 강우 수치예측 결과 및 RDAPS 활용에 보다 적합한 단기 수문예측모델 등이 개발된다면 이 분야의 현업적 활용성이 보다 향상될 것으로 판단된다.

### 감 사 의 글

본 연구는 국토해양부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행한 건설기술혁신사업 (08기술혁신F01)에 의한 차세대홍수방어기술개발연구단의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

### 참 고 문 헌

1. 국토해양부·한국수자원공사 (2003), 수계별 계절예측강우의 댐운영 적용방안 연구보고서.
2. 김진훈 (2007), 한국형 돌발홍수 예경보모델 개발, 박사학위논문, 세종대학교.
3. 변동현 (2009), 단기 수치예보자료를 활용한 댐 유입량 예측, 석사학위논문, 세종대학교.
4. Anthes, R.A. and Warner, T.T. (1978). Development of hydrodynamic models suitable for air pollution and other mesometeorological studies. *Mon. Wea. Rev.*, Vol. 106, pp. 1045-1078.
5. Anthes, R.A., Hsie, E.-Y. and Kuo, Y.H. (1987). *Description of the Penn State/Ncar Mesoscale Model Version 4 (MM4)*. NCAR/TN-282+ STR, National Center for Atmospheric Reserch, Boulder, CO, pp. 66.
6. Arakawa, A. and Lamb, V.R. (1997). *Computational design of the basic dynamical process of the UCLA general circulation model, Methods in Computational Physics*. Academic Press, pp. 173-265.
7. Barnes, S.L. (1964). A technique for maximizing details in numerical weather map analysis. *J. Appl. Meteor.*, Vol. 3, pp. 396-409.
8. Dudhia, J. (1989). Numerical study of convection observed during the Winter Monsoon Experiment using a mesoscale two-dimensional model. *J. Atmos. Sci.*, Vol. 46, pp. 3077-3107.
9. Grell, G.a., Dudhia J. and Stauffer, D.R. (1995). *A description of the fifth-generation Penn State/NCAR mesoscale model (MM5)*. NCAR Tech. Note NCAR/TN-3981STR, pp. 122.
10. Hong, S.-Y., and Pan, H.-L. (1996). Nonlocal boundary layer vertical diffusion in a medium-range forecast model. *Mon. Wea. Rev.*, Vol. 124, pp. 2322-2339.
11. Kasahara, A., Arthur, P.M., and Leo, J.D. (1992) Impact of cumulus initialization on the spinup of precipitation forecasts in the tropics, *Mon. Wea. Rev.*, Vol. 120, pp. 1360-1380.
12. Klemp, J.B., and Durran , D.R. (1983). An upper boundary condition permitting internal gravity wave radiation in numerical mesoscale models. *Mon. Wea. Rev.*, Vol. 111, pp. 430-444.
13. Kwon, H.J., Won, S.H., Ahn M.-H., Suh, A-S. and Chung, H.-S. (2002). GFDL-Type Typhoon Initialization in MM5. *Mon. Wea. Rev.*, Vol 130, pp.2966-2974.