

강수진단모형을 이용한 실시간 저수지 일유입량 예측

Daily Reservoir Inflow Prediction using Quantitative Precipitation Model

강부식*·강태호**·오재호***·김진영****

Kang, Boosik·Kang, Tae-Ho·Oh, Jai-Ho·Kim, Jin-Young

요 지

강수진단모형을 이용하여 저수지 이수운영을 위한 실시간 유량예측기법을 개발하였다. 강수진단모형은 현 재 기상청 현업에서 수행중인 강우수치예보를 기반으로 상세 지역의 지형 효과에 의한 강수를 예측하는 정 량강수예측모형(QPM; Quantitative Precipitation Model)으로서 부경대학교 환경대기과학과에서 개발된 모형 이다. QPM은 중규모 예측 모형으로부터 계산된 수평 바람, 고도, 기온, 강우 강도, 그리고 상대습도 등의 예 측 자료를 이용하고, 소규모 상세지형 효과를 고려함으로써 중규모 예측 모형에서 생산된 강수량 예측 값을 상세 지역의 지형을 고려한 강수량 예측 값으로 재구성하여 결과적으로 3km 간격의 상세지역 강우산출과 지 형에 따른 강수량의 분포 파악이 용이할 뿐만 아니라 계산 효율성을 개선된 모형이다.

QPM 검증을 위하여 기상학적 평가와 수문학적 평가를 수행하였다. 호우 사례별 일강수량의 시공간 분포 로 부터, QPM을 활용한 시스템에 의한 예측결과가 원시자료 RDAPS 보다 고해상도의 예측 및 지형효과 의 반영도가 높았으며, AWS의 관측자료와 비교하여 보다 높은 예측성을 보여 주었다. 대상기간인 2006년 1월 1일부터 6월 20일까지 관측강우는 총 391.5mm 였으며 RQPM은 실적강우에 비하여 119.5mm 정도 과소산정 하고 있으나 분위사상과정을 거치게 되면 351.7mm로서 실적강우에 불과 10.2% 못미치고 있다. 이는 고무적 인 결과로 볼 수 있으며 현업에서의 활용성이 기대되는 수준이라 볼 수 있다. 강우-유출모의를 위한 QPM신 위도를 높이기 위하여 분위사상법(Quantile Mapping)을 이용하여 QPM모의에 존재할 수 있는 계통오차에 대 한 추가적인 보정을 수행하였다. 수문학적 평가를 위하여는 장기연속유출모형인 SSARR모형을 기반으로 개 발된 RRFs(Rainfall-Runoff Forecast System)을 이용하여 2006년 1월 ~ 9월까지의 용담댐 유입량에 대하여 모의예측결과와 관측유입량 비교를 통한 검증을 수행하였다. 위 기간중 예측유입량의 RMSE(Root Mean Squared Error), COE(Sutcliffe Coefficient of Efficiency), MAE(Mean Absolute Error), R^2 값은 각각 7.50, 0.68, 2.59, 0.69값을 보이고 있다.

본 연구에서는 QPM에 의한 예측성의 향상 및 구축된 시스템에 의한 일강수량의 장기예측 가능성을 확인 하였고, 향후 시스템을 현업에 활용하기 위해서 생산된 예측자료의 보다 장기적인 검증을 통한 시스템의 안 정화가 필요할 것으로 사료된다.

핵심용어: 강수진단모형(QPM), 강우수치예보(NWP), 장기연속유출모의, 일유출모의

1. 서 론

강수진단모형을 이용하여 저수지 이수운영을 위한 실시간 유량예측기법을 개발하였다. 현업에 서의 강우수치예보는 기상청에서 제공하는 GDAPS전구모의결과와 RDAPS지역모의결과를 이용하 고 있으나 유역규모강수에 대한 정량적 활용을 위해서는 정량적 오차의 보정을 위한 수치예보의

* 정회원·단국대학교 토목환경공학과 조교수·공학박사·02-793-1873 (E-mail: bskang@dankook.ac.kr)

** 정회원·서울대학교 지구환경시스템공학부 석사과정·02-880-8354 (E-mail: kangth@snu.ac.kr)

*** 정회원·부경대학교 환경대기과학과·부교수·이학박사·051-620-6287 (E-mail: jhoh@pknu.ac.kr)

**** 정회원·부경대학교 환경대기과학과·박사과정·051-620-6287 (E-mail: jin@climate.pknu.ac.kr)

후처리과정이 요구되어진다. 본연구에서는 정량적 강수진단모형과 분위사상법을 이용하여 수치예보에 내재된 계통적오차를 보정하고, 연속유출모의를 통하여 일단위 유량예측을 수행하였다.

2. 분위사상법(Quantile Mapping)을 이용한 강우수치예보의 후처리과정

기상변수의 관측값과 모의값간에 계통적 오차(systematic bias)가 존재할 경우 양 자료의 확률분포는 기본 형태가 같더라도 서로 다른 모수를 갖게 된다. 이상적인 모형이 구성되었다면 모형으로부터 모의된 자료는 관측값과 완전한 상관성을 갖거나 유사한 확률분포를 가져야 하나 실제로는 모형의 단순화과정과 입력정보에 내재된 편이(bias)들로 인하여, 모의된 자료는 일정한 계통적 오차를 갖게 되며 이러한 계통적 오차는 모형내부에서 해결하기 용이하지 않은 경우가 많다. 따라서 오차보정을 모형의 외부에서 수행하는 경우가 있는데 분위사상법(Quantile Mapping)은 이러한 방법론의 일종으로서 관측값과 모의값이 동시에 존재하는 일정한 과거 기간을 선택하여, 관측값과 모의값의 누적확률분포를 이용하여 모의값의 확률분포를 관측값의 확률분포에 사상(mapping)시키는 방법이다. Y_j 를 j 번째 구역의 기상변수값이라하면 오차보정된 값 Z_j 는 다음과 같다.

$$Z_i = F_{oi}^{-1}(F_{si}(\hat{Y}_i)) \quad \text{식(1)}$$

여기서 $F_{si}(\cdot)$ 와 $F_{oi}(\cdot)$ 는 각각 해당변수의 모의값과 관측값에 대한 경험적 확률분포이다.

분위사상의 과정을 통하여 변환된 모의값은 결과적으로 관측값과 동일한 확률분포를 가지게 된다. 분위사상법을 이용하여 기상변수를 보정한 예는 Leung et al. (1999)나 Wood et al. (2002)를 들 수 있으며 전자는 기후변화모의에 후자는 장기수문예측에 각각 적용하였다.

3. 상세화 기법: 정량적 강수진단모형(QPM)

한반도의 상세 지역 강수량 예측을 위하여 중규모 수치 모형의 결과를 이용하여, 상세 지역의 지형 효과에 의한 강수를 예측하는 강수진단모형(QPM; Quantitative Precipitation Model)을 사용하였다. 강수량 산출 모형인 QPM은 Misumi et al.(2001), Bell(1978), Collier(1975)등이 제안한 바 있는 Collier-type의 모형으로서 이들 모형은 소규모 지형 효과를 고려한 강수량을 산출하는 진단 모형이다. QPM은 중규모 예측 모형으로부터 계산된 수평 바람, 고도, 기온, 강우 강도, 그리고 상대습도 등의 예측 자료를 이용하고, 소규모 상세지형 효과를 고려함으로써 중규모 예측 모형에서 생산된 상대적으로 성긴 격자의 강수량 예측 값을 상세 지역의 지형을 고려한 강수량 예측 값으로 재구성하게 된다. 강수진단모형의 개념도는 그림 1과 같다. 중규모 예측 모형의 경우 최소 격자 간격이 30km 정도로 모든 물리적, 역학적 과정을 포함한 모형으로써 모형 구축에 많은 시간이 소요될 뿐만 아니라 계산 효율성이 저하될 수도 있다. 반면 QPM은 중규모 모형으로부터 나온 자료를 초기 자료로 이용하고 3km 간격의 상세 지형을 반영하는 모형으로 소규모 지형 효과를 표현함으로써 상세 지역에서의 강수량 산출과 지형에 따른 강수량의 분포 파악이 용이할 뿐만 아니라 계산 효율성을 개선시킬 수 있다.

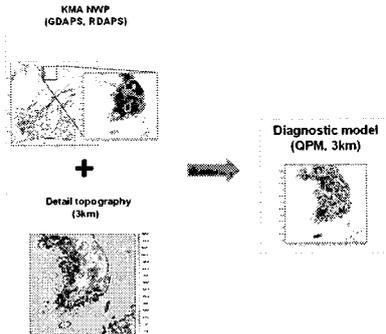
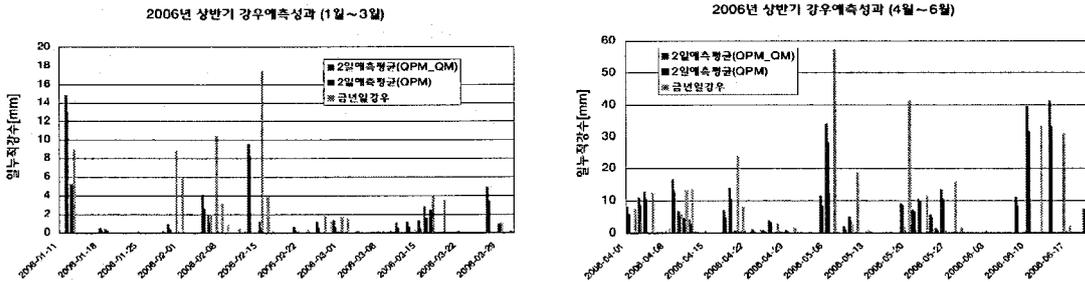


그림 1. 강수진단모형의 개념도

표 1. NWP와 QPM의 비교

Model	구 분	적용결과
NWP	· 격자간격 · Full-Dynamics model	· 최소격자 간격 5km 이하 · 계산효율저하
QPM	· 격자간격 · Mesoscale model output 을 초기 자료로 이용 · Small-scale 지형효과	· 1km 간격의 상세지역 모형 · 상세지역 강수량 산출 용의 · 계산효율개선 · 강수량의 지형에 따른 분포 파악 용의

따라서 수치예보(RDAPS)와 QPM의 기본적인 특징과 실제 적용결과를 비교하여 표 1과 같은 특징으로 정리하였다. 2006년 상반기(2006년 1월 1일 ~ 6월 20일)의 RQPM강우예측성과는 그림 2에서 볼 수 있듯이 강수유무에 있어서는 신뢰성있는 예측이 이루어지고 있으며, 정량적 강수예측의 결과는 표 2에 정리되어 있다. 대상기간중 관측강우는 총 391.5mm 였으며, GQPM은 153.8mm로서 관측강우의 절반에 훨씬 못미치고 있으며, 분위사상과정으로 보정하면 223.2mm로서 69.4mm 증가하게 되나 여전히 실적강우에 크게 못미치고 있다. 반면 RQPM은 실적강우에 비하여 119.5mm 정도 과소산정하고 있으나 분위사상과정을 거치게 되면 351.7mm로서 실적강우에 불과 10.2% 못미치고 있다. 이는 고무적인 결과로 볼 수 있으며 현업에서의 활용성이 기대되는 수준이라 볼 수 있다.



(a) 2006년 1월~3월

(b) 2006년 4월~6월

그림 2. 2006년 상반기 RQPM 강우예측 결과

표 2. 정량적 강수예측 결과비교

2006.1.1 ~ 2006.6.20	QPM		QPM adjusted with Q.M.		Observation
	2-day prediction average (RQPM)	10-day prediction average (GQPM)	2-day prediction average (RQPM)	10-day prediction average (GQPM)	
Accumulated precipitation [mm]	272.4	153.8	351.7	223.2	391.5

4. 유량예측모의 결과분석

전절에서는 QPM예측강우의 원시모의자료에 대한 정성적·정량적 평가를 수행하였으며, 본절에서는 QPM 모형의 통계적 후처리과정으로서 분위사상과정을 거친 후 최종 강우예측자료에 대한 평가를 수행하였다. 기상청 RDAPS예측자료에 대한 QPM 및 분위사상과정을 거치게 되면 특정일에서 각각 1일예보와 2일예보의 2가지 강우예측정보를 가지게 된다. 일반적으로 수치예보자료는 예보기간이 길어질수록 예측의 정확도가 떨어지게 되므로 X일예측평균을 산정할 때에는 각 예측일별로 가중값을 달리 적용하여야 하지만 분위사상과정이 소유역별·예보일별로 이루어지기 때문에 이 과정에서 예보일별 가중값부여의 개념이 적용되었다고 보고 특별히 추가적인 가중값의 고려는 행하지 않았다.

유량예측의 성과분석은 2006년 1월 1일부터 6월 20일까지의 QPM예측자료를 가지고 수행되었다. 그림 3은 RQPM 원시예측자료와 분위사상과정으로 보정한 RQPM_QM의 2일평균예측결과이며, 실적강우와의 시계열 패턴에 대한 비교를 시각적으로 확인할 수 있다. 여기에서 RQPM과 실적강우는 모두 용담댐유역의 면적평균강우로 환산하여 동일한 조건에서 비교하였지만 수치예보가 실적강우에 비하여 강수의 침두량에 대한 모의능력은 다소 떨어지는 것으로 확인된다. 위 기간중 예측유입량의 RMSE(Root Mean Squared Error), COE(Sutcliffe Coefficient of Efficiency), MAE(Mean Absolute Error), R²값은 각각 7.50, 0.68, 2.59, 0.69값을 보이고 있다.

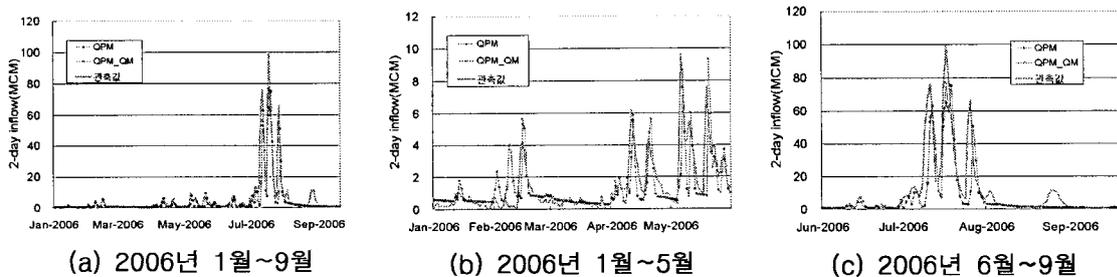


그림 3. RQPM을 이용한 용담댐지점 2day-예측 수문곡선

5. 결론 및 향후계획

기상청에서 제공하는 수치예보정보를 활용하여 48시간 중기유량예측을 수행할 수 있는 시스템을 개발하였다. 기상청의 원시예보자료를 이용하여 특정유역에 강우상세정보를 생산할 수 있는 강수진단모형(QPM)이 개발되었고, QPM모의결과에 내재된 계통적 편이를 제거하기 위하여 분위사상과정(Quantile Mapping)을 적용하였다. QPM모의결과를 이용한 유출량 산정결과 도출된 결론은 다음과 같다.

- 2006년 1월 1일부터 5월 31일까지 용담댐 유역에 대하여 소유역별·예보선행시간별 누적확률분포를 산정하여 분위사상(Quantile mapping)을 수행하였다. 그결과 RQPM의 경우 기간 총강수량을 기준으로 실적강우대비 90%정도로써 양호한 모의성능을 보여주었다.

- 현재 구축된 RRFS 시스템은 일자료를 이용한 일단위 장기연속유출모형으로서 QPM의 결과값은 일단위로 변환되어 일유출모의에 사용되었다. QPM의 원시결과값은 RQPM의 경우 3시간 누적강수, GQPM의 경우 6시간 누적강수라는 점을 감안하여 이에 준하는 시간분해능을 갖는 유출모의가 이루어 진다면 더욱 정밀한 유량예측이 가능할 것으로 예상된다.
- 유량예측 모의수행결과상류의 용담에서부터 최하류인 규암지점으로 내려갈수록 COE나 R²가 증가하는 경향성을 보이고 있다. RMSE나 MAE의 경우도 공주지점을 제외하면 역시 하류에서의 예측정확도 향상을 공통적으로 확인할 수 있다.

감 사 의 글

본 연구는 본 연구는 21세기 프론티어연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비지원(과제번호: 1-6-2)에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- Bell, R. A.: 1978, 'The Forecasting of Orographic ally Enhanced Rainfall Accumulations Using 10-Level Model Data', Meteorol. Mag. 107, 113-124.
- Collier, C. C., "A representation of the effects of topography on surface rainfall within moving baroclinic disturbances", Q. J. Royal Meteorological Society, Vol 101, pp. 407-422, 1975.
- Leung, L. R., Hamlet, A. F., Lettenmaier, D.P., and Kumar, A. (1999) "Simulations of the ENSO hydroclimate signals in the Pacific Northwest Columbia River Basin, Bull. Amer. Meteorol. Soc., 80, pp. 2313-2328.
- Misumi, R., V. A. Bell and R. J. Moore, "River flow forecasting using a rainfall disaggregation model incorporating small-scale topographic effects", Meteorological Applications, Vol. 8, pp. 297-305, 2001.
- Wood, A. W., Maurer, E.P., Kumar, A., and Lettenmaier, D.P. (2002) "Long-range experimental hydrologic forecasting for the eastern United States, J. Geophys. Res.-Atmos., 107, pp. 4429, doi:10.1029/2001JD000659.