

**예측 및 시나리오 기간이
앙상블 유량예측의 신뢰도에 미치는 영향 검토**
A Study on the Influence of Prediction and Scenario Periods
for the Reliability of Ensemble Streamflow Prediction

강태호*, 김충수**, 김남원***
Tae-Ho Kang, Chung-Soo Kim, Nam-Won Kim

요 지

미국의 경우 1994년 발생한 대홍수(Great Flood)에 대해 사건조사를 수행하면서 예측에 포함되는 불확실성 정도를 제공하지 못하는 확정적 예측의 위험성 및 확률유량예측에 대한 필요성이 부각되었으며, 앙상블 유량예측(Ensemble Streamflow Prediction, ESP) 기법을 활용한 확률유량예측 방안에 대해 지속적으로 연구가 수행되고 있다. 국내에서도 확률예측에 대한 필요성이 인식되면서 기존 국외 연구사례를 토대로 국내 환경에 적용 가능한 방안에 대한 연구가 진행되었으며, 중장기 앙상블 유량예측의 경우 현업에서 다양한 형태로 활용되고 있다. 앙상블 유량예측의 기본이론은 예측시점의 초기조건 하에서 예측기간에 발생 가능한 기상 앙상블 시나리오를 수문모형의 입력자료로 사용하여 불확실성 범위를 설명 가능한 유량 앙상블을 모의하는 기법이다. 이러한 이론적 단순함 때문에 쉽게 현업의 유량예측 시스템 내에서 사용할 수 있다는 장점이 있으나, 동시에 기법적 특성으로 인하여 유량예측의 신뢰도가 현업에서 활용되기 어려울 정도로 낮아지는 관계로, 이러한 한계점을 극복하기 위해 그동안 기상자료 및 수문모형으로 인한 불확실성 저감에 대한 연구가 수행되었다. 하지만 예측 및 시나리오 기간의 잘못된 설정으로 기존의 불확실성 저감을 위한 연구의 적용에도 불구하고 앙상블 유량예측의 신뢰도가 오히려 낮아질 수 있으므로, 본 연구는 시나리오 기간에 따른 오차의 양상과 예측기간의 증가에 따른 초기조건 영향 분석하여 앙상블 유량예측의 기법적 특성 하에서 신뢰도 높은 예측을 기대할 수 있는 예측 및 시나리오 기간을 제안하였다.

핵심용어 : 앙상블 유량예측, 예측 기간, 앙상블 시나리오 기간, 불확실성, 신뢰도

1. 서론

단일 값만을 제공하는 확정적 예측과 비교하여 확률유량예측은 예측에 포함되는 오차 가능범위에 대한 정보를 제공함으로써 인명 및 사회·경제적 피해를 야기할 수 있는 수자원시스템의 의사결정에서 그 중요성이 점차 부각되고 있다. 앙상블 유량예측은 대표적인 확률유량예측 방안으로 Day가 1985년 확률론적 장기예측을 위해 적용하였으며, 국내에서도 동일한 기법을 Kim et al.(2001)이 물공급전망의 개선을 위해 공주지점 유량예측 대한 가능성을 검토하였다. 이후 앙상블 유량예측에 존재하는 높은 불확실성 범위가 주요 연구 대상이 되었으며, 정대일 등(2002)은 ESP 기상입력변수로 관측자료를 사용하는 앙상블 유량예측의 기상 불확실성 저감을 위한 확률기후예보의 활용방법을, 강부식 등(2007)은 범주로 제공되는 기상청 기상전망에 확률을 부여하여 ESP 기상입력변수의 확률을 조정할 수 있는 방안을 제안한 바 있다. 강태호 등(2008)은 기상전망에 더해 NWP(Numerical Weather Prediction)의 확정적 예측을 ESP 기상입력변수에 반영할 수 있는 다양한 방안을 검토하였으며, 수문모형에 존재하는 오차로 인한 ESP 신뢰도의 저감 가능성을 인식하고 계통적오차를 저감하기 위한 사후처리를 적용하였다.

* 정회원·한국건설기술연구원 수자원·환경연구부 연구원·E-mail : kangth@kict.re.kr
** 정회원·한국건설기술연구원 수자원·환경연구부 전임연구원·E-mail : alska710@kict.re.kr
*** 정회원·한국건설기술연구원 수자원·환경연구부 연구위원·E-mail : nwkim@kict.re.kr

그러나 ESP의 기법적 특성 및 불확실성 요소에 대한 다양한 측면에서의 검토가 이뤄지지 못하여 이러한 노력에도 불구하고 고려되지 못한 불확실성 요소에 의해 오히려 ESP의 신뢰도가 낮아지는 것이 가능하였다. 따라서 본 연구는 그 동안 간과된 주요한 불확실성 요소에 대한 검토를 수행하여 ESP의 불확실성 증가를 피할 수 있는 방안을 제시하고자 한다.

2. ESP 불확실성 요소

양상불 유량예측은 예측시점의 유량예측에 존재하는 불확실성을 고려하기 위해 예측과정에서의 다양한 요인들로 인한 불확실성이 반영된 유량 시나리오를 통계적으로 분석하여 정보를 제공하는 방법이다. 예측된 유량 양상불에는 크게 기상자료에 존재하는 불확실성과 수문모형의 모의과정에서 야기되는 오차가 포함된다. 기상자료에 존재하는 불확실성은 기상 시나리오로 관측자료를 사용하는 경우 그림 1과 같이 기상현상 자체에 존재하는 불확실성 외에도 기상 관측 과정에서 발생하는 오차 및 기후변화 등으로 인한 기상현상의 통계 특성 변화로 증가된 불확실성이 있다. 입력변수로 기상예측모형의 결과를 사용하는 경우 모형의 해상도 및 매개변수의 물리적 특성 반영 정도로 인한 불확실성이 기상입력변수의 불확실성에 포함되며, 그 외에도 매개변수와 기상초기조건 및 자료동화(data assimilation)를 위해 사용하는 관측자료로 인한 오차가 영향을 미치게 된다. 기상입력변수를 사용한 유량모의과정에서 발생하는 불확실성은 기본적으로 유역을 단순화하여 구성한 수문모형에 의해 모의 유량에 나타나는 불확실성과 함께 수문모형의 매개변수 및 지하수, 지표수, 습윤상태 등의 유역 초기조건에 존재하는 오차를 포함한다.

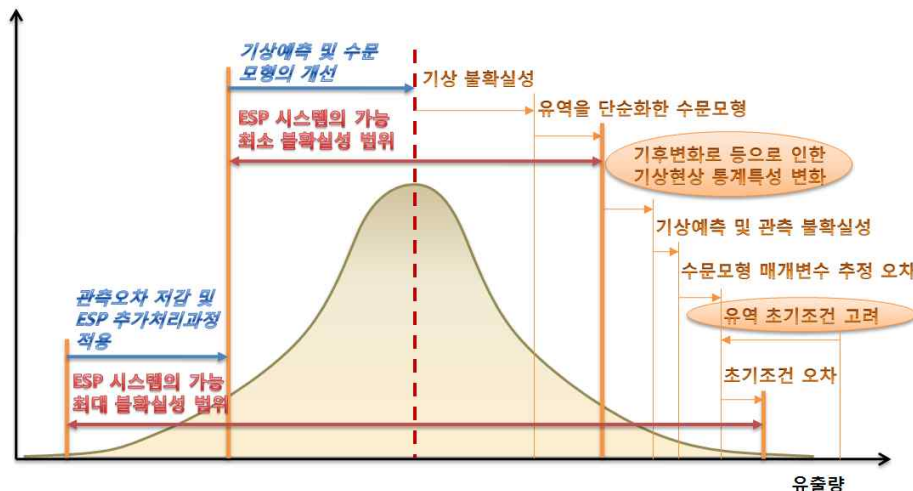


그림 1. 양상불 유량예측에 반영되는 불확실성 요소

기상입력변수로 예측유역 및 기간과 동일한 시·공간적 특성을 가지는 관측 기상자료를 사용하는 경우 ESP 기법으로 가능한 최소의 불확실성 범위는 그림 1과 같이 시공간적 유역 조건하에서의 기상현상에 대한 불확실성과 수문모형에서 고려되지 못한 유역 특성이 야기하는 오차 범위이다. 그러므로 가능 최소 불확실성 범위는 다른 새로운 기상예측모형이나 향상된 수문모형을 사용하지 않는다면 불확실성을 더 이상 저감하기 어려운 반면, 가능 최대 불확실성 범위는 매개변수 추정, 유역 초기조건의 정확성, 관측오차 등으로 인하여 추가된 불확실성이며 ESP 시스템의 수정 없이 저감 가능한 부분이다.

그 동안 기상예측의 활용 및 개선된 수문모형의 사용과 같이 ESP 시스템을 향상시키기 위한 노력과 함께 수문모형의 매개변수 및 초기조건으로 인한 계통적 오차의 보정에 관한 불확실성 저감 기법이 연구되었다. 결과적으로 ESP의 불확실성이 저감된 것은 사실이나, 유역 초기조건의 영향 범위와 관계가 있는 예측 기간 및 기후변화 등으로 인해 다른 통계적 특성 범위에 속하는 기상 시나리오 기간의 잘못된 설정으로 증가한 불확실성이 언급된 개선방안의 적용으로 저감 가능한 정도보다 높을 수 있다. 결과적으로 기존과 비교하여 낮은 신뢰도의 ESP 예측결과를 사용하게 되므로 기간 설정에 있어 신중한 검토가 요구된다.

3. 유역 초기조건

양상불 유량예측은 현재시점의 토양습윤, 지하수, 하천유출량을 초기조건으로 예측시점에 발생 가능한 기상양상불을 강우유출 모형의 입력자료로 사용하여 유출량을 추정하는 방법이다. 그러므로 현재시점의 조건에 따라 예측시점의 유량 양상불 모의결과에 존재하는 불확실성을 저감하는 것이 가능하게 된다. 하지만 동일한 양상불 시나리오 기간을 사용하는, 즉 동일한 기상입력변수를 사용하게 되는 양상불 유량예측 기법의 특성상 그림 2와 같이 초기조건에 의한 영향은 예측기간이 증가함에 따라 감소하여 일정기간이 지나면 수렴하게 된다.

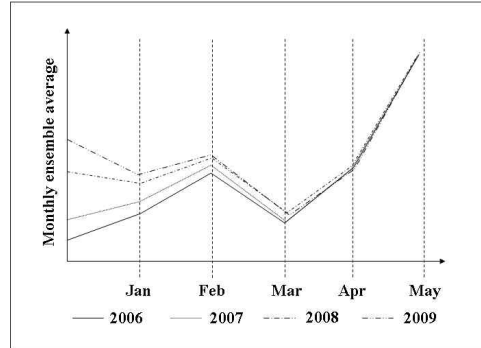


그림 2. 예측기간 증가에 따른 초기조건 영향 감소 예시

그림 2는 초기조건에 의한 영향을 보여주기 위한 예시로 2006년부터 2009년까지 매년 1월부터 5월까지 양상불 유량예측을 수행하여 얻어지는 유량양상불의 평균을 연도별로 구분하여 나타낸 것이다. 그림 2에서 보이는 것처럼 예측이 일정기간 이상에서 수렴하게 되는 것은 초기조건에 의한 추가적인 정보가 더 이상 활용되지 못함을 의미한다. 결과적으로 예측된 유량양상불의 불확실성은 높아지게 되며, 수렴되는 기간 이전에 대해 사용할 때 상대적으로 신뢰도 높은 예측을 기대할 수 있다.

그림 3은 강우유출모형으로 TANK모형을 사용하여 한강수계에 ESP를 적용한 것으로, 1월, 3월, 5월, 7월, 9월, 11월에 대한 분석결과를 살펴보면 11월과 1월에 예측이 시작될 경우 초기조건이 미치는 영향의 범위가 7개월 이상으로 상대적으로 길었으며, 3월부터 9월까지는 미치는 범위가 상대적으로 작게 나타났다. 낙동강수계도 비슷한 결과를 보였으며 범위가 가장 짧은 경우는 9월로 3개월까지 영향을 미치고 있었다. 이러한 경향은 다른 적용된 수계에서도 유사하게 나타났으나, 섬진강수계에서 한강수계에 비교하여 이수기에 초기조건 영향범위가 작은 것처럼 초기조건 영향 범위는 수계의 크기와도 관계가 있었다. 반면 7월과 9월 결과와 같이 영향범위가 작은 경우 수계의 크기와 상관없이 비슷한 결과를 나타내었다. 홍수기와 이수기 구분 없이 적용하는 경우 3개월 예측까지는 신뢰도 높은 양상불 유량예측을 기대할 수 있으며, 이수기의 경우 적용 유역의 크기에 따라 차이는 있지만 3개월 이상의 기간에 대해서도 적용 가능한 것으로 판단된다.

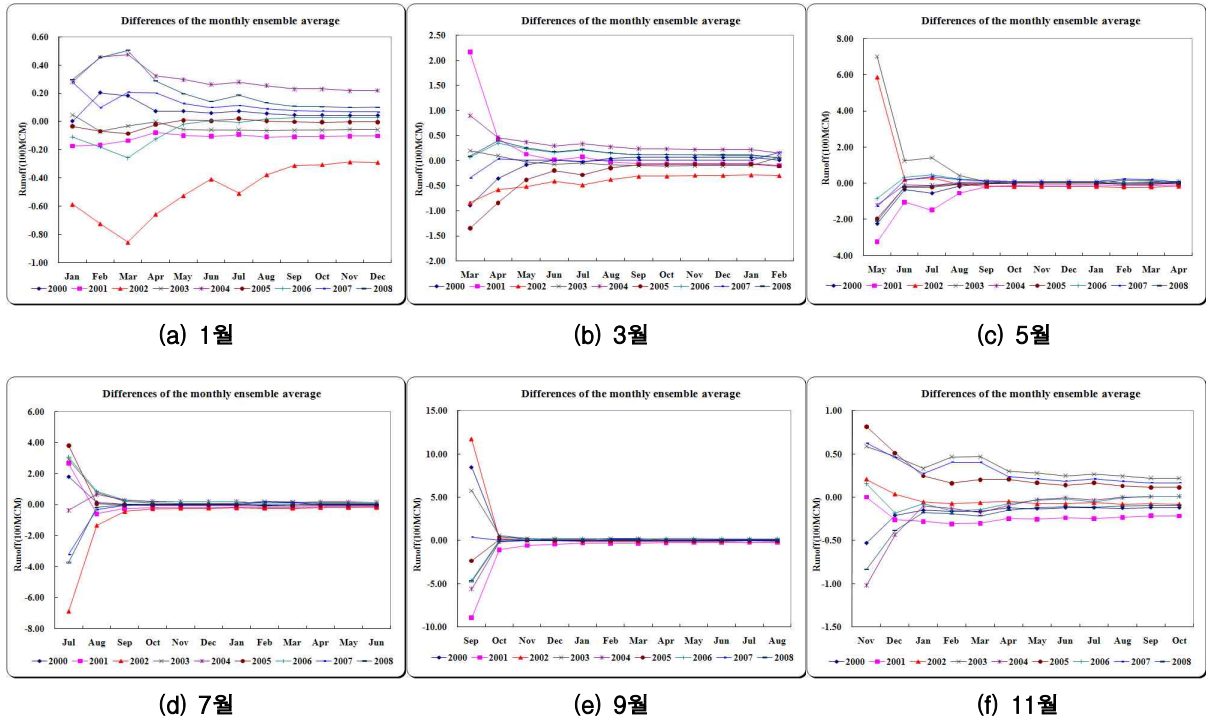


그림 3. 한강수계 2000년~2008년까지의 연도별 유량양상불에 대한 평균과 전체 평균과의 차이

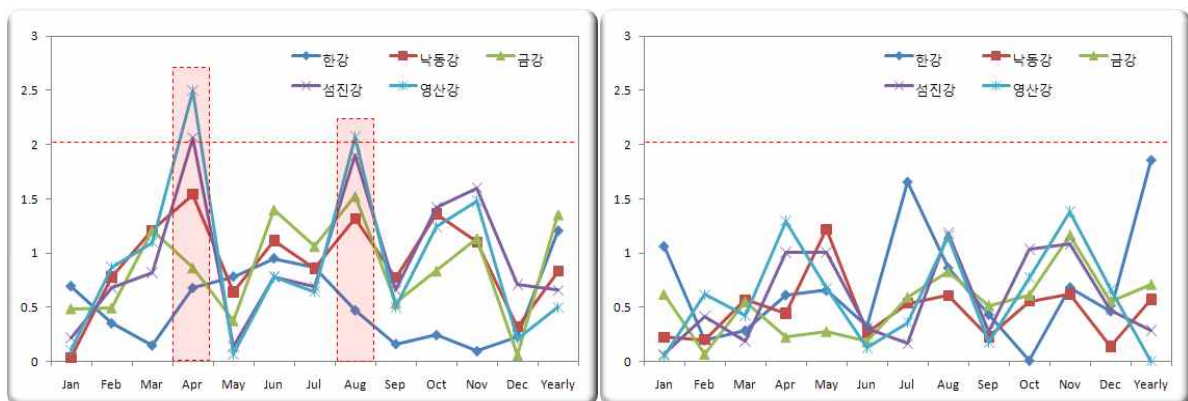
4. 앙상블 시나리오 기간

앙상블 유량예측은 예측시점에 존재하는 기상불확실성을 고려하기 위해 발생 가능한 다양한 기상시나리오를 수문모형의 입력자료로 사용하며, 기상시나리오는 다양한 예측 시나리오를 제공하는 기후예보모델 또는 예측시점과 동일한 통계적 특성을 가지는 과거 관측자료를 통해 얻을 수 있다. 10일 또는 1개월 이상의 기상예측의 경우 현재 기후예보모델의 신뢰도가 높지 않은 관계로 기상시나리오로서 적용구역의 예측시점과 동일한 계절적 특성을 가지는 기간의 과거 관측자료를 활용하게 된다.

기상 시나리오로 과거 관측자료를 사용하는 경우 사용되는 시나리오 모두가 동일한 통계적 특성의 범위에 포함되는지 확인할 필요가 있다. 일반적으로 통계적 분석을 위해 많은 자료를 사용할수록 모집단에 가까운 정확한 분석결과를 얻을 수 있는 것이 사실이다. 따라서 앙상블 유량예측을 위해 사용하는 시나리오 기간 또한 가능한 기상 관측자료의 범위 내에서 가능한 많은 연도의 자료를 사용하는 것이 적절하다고 생각할 수 있다. 이러한 생각은 과거 사용된 모든 연도의 자료가 동일한 모집단에 속한다는 가정 속에서 틀린 것은 아니지만, 대부분이 인식하는 것처럼 과거 다른 특정기간의 기상자료들은 동일한 모집단을 가지지 않는다. 대기중의 기상현상은 이산화탄소 등 다양한 환경적 요인에 의해 영향을 받고 있으나 이러한 요인들은 계속해서 변화하는 관계로 발생 가능한 기상현상의 불확실성 범위 또한 이러한 요인의 조건에 따라 계속해서 변화하기 때문이다. 즉, 인위적이든 아니든 특정구역의 기온 및 강수량의 경향이 지속적으로 변하는 것이 사실이며, 과거 100년 전의 기온 및 강수량의 평균 및 불확실성 범위가 현재와는 다르게 된다. 그러므로 추가적인 통계적 처리과정 없이 과거 장기간의 자료를 모두 사용한다면 다른 모집단에 속하는 자료를 사용하여 분석을 수행 하는 것이므로 예측시점의 기상현상에 존재하는 불확실성을 정확히 반영하기는 어렵게 된다.

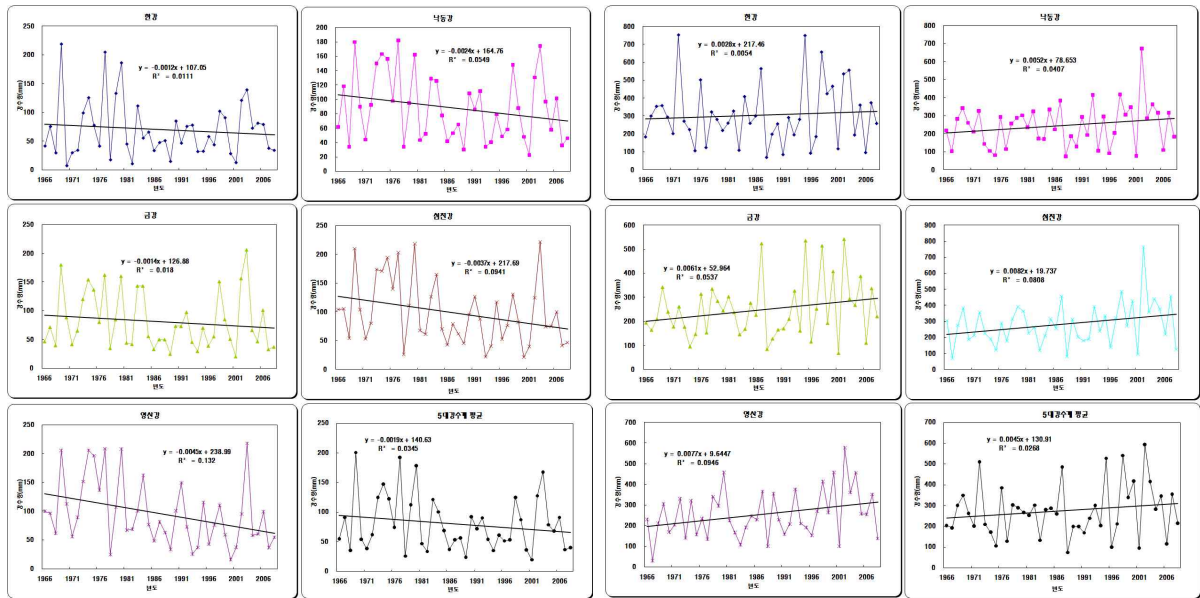
이러한 문제점을 해결하기 위한 간단한 방법은 동일한 통계적 특성의 범위에 속하는 과거 시나리오 기간을 분석하여 사용하는 것이다. 국내 수계에 대해 적용 가능한 앙상블 유량예측의 시나리오 기간을 검토하기 위해 자료의 일정한 증가 또는 감소 경향을 평가 가능한 Student t-distribution을 활용하였다. 40년(1966-2005년)과 30년(1976-2005년) 두 기간에 대해 5% 유의수준 하에서 평가한 결과 40년 기간에 대해서는 그림 4의(a)와 같이 한강수계가 전반적으로 낮은 변화를, 섬진강수계와 영산강수계가 상대적으로 높은 변화를 보이고 있었다. 이러한 변화는 4월과 8월에 두드러졌으며, 섬진강은 4월, 영산강은 4월과 8월에 5% 유의수준인 2.021보다 높은 값을 보였다. 그러므로 40년의 기상입력 시나리오는 한강수계에 대해서는 적용 가능하지만, 섬진강 및 영산강수계의 4월과 8월 예측에서는 높은 오차가 포함될 수 있으므로 적용을 피해야 할 것이다. 반면 30년 기간의 기상관측자료를 평가한 그림 4 (b)의 결과를 보면 모든 수계에서 뚜렷한 경향성은 없으므로 국내 수계에 대해 일정한 시나리오 기간을 사용하려 한다면 30년이 적절할 것으로 판단된다.

그림 5는 4월과 8월의 수계별 강수량의 경년변화를 나타낸 것으로, 동일한 기간에 대해서는 수계별로 정도의 차이가 있지만 비슷한 양상을 나타내었다. 경년변화가 가장 큰 구역은 그림 4 (a)의 결과와 같이 섬진강과 영산강 이었으며, 4월은 뚜렷한 감소 경향을, 8월은 뚜렷한 증가 경향을 보이고 있다.



(a) 1966년부터 2005년 월별 강수량 분석 (b) 1976년부터 2005년 월별 강수량 분석

그림 4. Student t-distribution을 사용한 강수량자료의 경향성 분석결과(5% 유의수준인 2.021을 초과할 경우 자료는 뚜렷한 경향성을 가짐)



(a) 4월 (b) 8월

그림 5. 주요수계 강수량 경년변화

5. 결론

본 연구는 불확실성을 증가함으로써 앙상블 유량예측의 신뢰도 저감에 영향을 미칠 수 있는 요소들을 검토하였다. 예측시점의 기상현상과 다른 통계특성 범위의 입력변수로 인한 불확실성을 검토하기 위해 주요 수계의 40년 기간에 대한 강수량의 경년변화를 분석한 결과, 섬진강의 경우 4월, 영산강의 경우 4월과 8월에 뚜렷한 양상을 나타내었다. 이러한 양상은 30년의 시나리오 기간에 대해서는 완화되어 동일한 통계적 특성범위에 속하는 것으로 평가되었다. 강우유출모형으로 TANK모형을 사용할 경우 앙상블 유량예측의 유역 초기조건 활용으로 인한 불확실성 저감효과는 3개월까지의 예측기간에 대해 기대할 수 있었다. 이수기의 경우 초기조건 영향범위가 최대 7개월로 상대적으로 길었던 반면, 홍수기에 대해서는 범위가 3개월 정도로 감소하여 모든 계절적 특성에 대해 동일한 예측기간을 적용하기 위해서는 3개월이 적절한 것으로 판단된다.

감 사 의 글

본 연구는 국토해양부의 ‘앙상블 모형을 이용한 확률적 유량예측 2차’ 연구사업 지원에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

1. 강부식, 유승엽, 고익환(2007). 강수전망 가중앙상블을 이용한 장기 확률유량예측, 대한토목학회 논문집, 제 27권, 제2B호, pp. 183-191.
2. 강태호, 김영오, 홍일표(2008). 앙상블 유량예측 시스템의 사전 및 사후처리에 관한 연구, 한국수자원학회 학술발표회, 한국수자원학회, CD.
3. 정대일, 김영오 (2002). 앙상블 예측을 이용한 충주댐 월 유입량 예측, 대한토목학회논문집, 제22권, 제3-B호, pp. 321-331.
4. Kim, Y.-O., Jeong, D. I., and Kim, H. S. (2001). Improving water supply outlooks in Korea with ensemble streamflow prediction. *Water International*, Vol. 26, No. 4, pp. 563-568.
5. Day, G. N. (1985). Ensemble streamflow forecasting using NWSRFS. *Journal of Water Resources Planning and Management*, Vol. 111(WR2), pp. 147-170.