

확률기상예보를 이용한 중장기 ESP기법 개선

Improvement of Mid/Long-Term ESP Scheme Using Probabilistic Weather Forecasting

김 주 철* / 김 정 곤** / 이 상 진***

Kim, Joo Cheol / Kim, Jeongkon / Lee, Sang Jin

Abstract

In hydrology, it is appropriate to use probabilistic method for forecasting mid/long term streamflow due to the uncertainty of input data. Through this study, it is expanded mid/long term forecasting system more effectively adding priory process function based on PDF-ratio method to the RRFS-ESP system for Guem River Basin. For implementing this purpose, weight is estimated using probabilistic weather forecasting information from KMA. Based on these results, ESP probability is updated per scenario. Through the estimated result per method, the average forecast score using ESP method is higher than that of naive forecasting and it confirmed that ESP method results in appropriate score for RRFS-ESP system. It is also shown that the score of ESP method applying revised inflow scenario using probabilistic weather forecasting is higher than that of ESP method. As a results, it will be improved the accuracy of forecasting using probabilistic weather forecasting.

Keywords : probabilistic weather forecasting, ESP scheme, PDF-ratio, prediction score

요 지

수문학 분야에서 중장기 유출량 예측은 입력변수의 불확실성 등으로 인하여 확률론적 방법을 사용하는 것이 바람직한 것으로 알려져 왔다. 본 연구에서는 금강유역을 대상으로 구성된 바 있는 RRFS-ESP 시스템에 PDF-ratio 방법을 기반으로 한 사전처리기능을 장착하여 보다 효율적인 중장기 예측시스템으로의 확장을 시도하여 보았다. 이를 위하여 기상청에서 제공하는 확률기상정보를 이용하여 가중치를 산정하고 이를 기반으로 시나리오별 예측확률을 갱신하였다. 예측결과에 대하여 각 기법별 예측점수를 산정하여 본 결과 우선 ESP 기법에 의한 예측점수의 평균이 초보예측 점수를 상회하여 본 연구에서 구성한 RRFS-ESP 시스템의 적용성을 확인할 수 있었다. 또한 확률기상전망을 이용하여 갱신한 유입량 시나리오의 예측점수가 ESP 기법에 의한 예측점수를 상회하고 있음을 확인할 수 있어 ESP 기법에 의한 예측결과를 확률기상전망을 이용하여 갱신할 경우 예측 정확도를 보다 개선시킬 수 있음을 확인할 수 있었다.

핵심용어 : 확률기상예보, ESP, PDF-ratio 방법, 예측점수

* 한국수자원공사 K-water연구원 수자원연구소 연구원, 공학박사 (e-mail: kjoocheol@kwater.or.kr)
Researcher, K-water Institute, Water Resources Research Center, Daejeon 305-730, Korea

** 한국수자원공사 K-water연구원 수자원연구소 수석연구원, 공학박사 (e-mail: jkkim@kwater.or.kr)
Head Researcher, K-water Institute, Water Resources Research Center, Daejeon 305-730, Korea

*** 교신저자, 한국수자원공사 K-water연구원 수자원연구소 책임연구원, 공학박사 (e-mail: sjlee@kwater.or.kr)
Corresponding Author, Principal Researcher, K-water Institute, Water Resources Research Center, Daejeon 305-730, Korea

1. 서론

수문학 분야에서 유출량 예측은 예측시간(lead time)의 규모에 따라 단기예측과 중장기예측의 범주로 구분되어진다. 전자는 주로 결정론적(deterministic) 강우-유출모형을 기반으로 치수(治水) 분야에서 적용되고 있는 반면 중장기 예측은 입력변수의 불확실성 등으로 인하여 확률론적(probabilistic) 방법을 사용하는 것이 바람직한 것으로 알려져 왔다(정대일과 김영오, 2002). 지난 세기말 미국의 기상청인 NWS(National Weather Service)에서는 수문학적 예측시스템에 대한 현대화 작업의 핵심사항으로 ESP(Ensemble Streamflow Prediction) 기법을 선정하고 이에 대한 연구에 박차를 가한 바 있다(Fread, 1998). 여기서 ESP 기법이란 현재 시점의 유역상태와 과거에 발생한 강우를 결합하는 예측기법으로서 결정론적 강우-유출모형에 미래에 발생할 가능성이 있는 모든 강우 시나리오(강우 앙상블)를 적용하여 그 결과물로서 다수의 유량 시나리오(유량 앙상블)를 얻는 방법을 의미한다. 결국 이 기법은 결정론과 확률론이 혼재한 복합적인 유출량 예측기법이라 할 수 있는 것이다.

ESP 기법에 대한 국내 연구사례로서 김영오 등(2001)은 건설교통부와 한국건설기술연구원이 매월 초 발간하는 '물공급전망'의 개선을 위해 공주지점에 대하여 이 기법을 최초로 적용한 바 있다. 이를 기원으로 ESP 기법과 관련된 일련의 연구 성과들(정대일과 김영오, 2002; 정대일 등, 2003; 정대일 등, 2005; 이재경 등, 2006)이 지속적으로 발표되어 왔는데 주목할 만한 연구 성과로서 금강유역을 대상으로 하여 개발된 유역관리모형인 RRFs(Rainfall-Runoff Forecasting System)를 들 수 있다(한국수자원공사, 2004). 미육군 공병단(Corps of Engineers)의 SSARR(Stream-flow Synthesis and Reservoir Regulation) 모형(USACE, 1991)을 기반으로 하여 운용되는 RRFs는 대규모 유역의 강우-유출 해석과 함께 용수이용특성의 고려가 가능한 장기유출모형으로서 ESP 기법을 이용하여 중장기 유출예측 수행을 가능케 하는 선택사항 기능을 제공한다. 금강유역에 대한 다년간에 걸친 현장조사와 모형매개변수에 대한 정밀 조사를 통하여 시스템의 안정화 단계에 들어서 있는 RRFs(김주철 등, 2009)는 현재 ESP 기법을 기반으로 과거시점의 관측우량기록과 예측(현재)시점의 초기조건을 결합하여 목표(미래)시점에 대한 유량 앙상블의 생성을 가능하게 한다. 하지만 지금까지 주로 신뢰성 있는 유량 앙상블의 생성을 목표로 진행되어 온 기존 연구의 성격으로 인하여 기상전망과의 유연한 결합 등에 관한 연구가 다소 미흡한 것으로 판단된다.

상기한 논거에 따라 본 연구에서는 전술한 RRFs-ESP

시스템에 사전처리(priori processing)(강태호 등, 2008; 국토해양부, 2008) 기능을 추가하여 보다 효과적인 중장기 유출예측시스템을 구성해보고자 한다. 특히 유출예측 과정에 확률기상예보에 의한 정보를 적극 반영할 수 있는 예측시스템의 구성에 주목해 본다. 그 동안 기상청에서 제공해 온 기상전망은 확률예보가 아닌 과거 기상자료의 평균을 기준으로 한 정성적 형식의 예보였다. 이러한 형식의 예보는 '적음'이나 '많음'과 같은 표현에 대한 기준이 모호하여 ESP 기법에 적용할 정량적 정보를 획득하기 위한 기상확률예보자료로서의 이용이 불가능하였다(정대일과 김영오, 2002). 하지만 2010년 1월부터 기상청에서는 확률예보 형식의 기상전망을 제공하기 시작한 바 있다(<http://www.kma.go.kr/>). 따라서 본 연구에서는 이러한 기상확률예보 형식에 따라 유량 앙상블에 대한 사전처리를 수행하여 그 적용성을 분석해 보고자 하는 것이다. 대상유역으로는 금강유역을 선정하였으며 예측기간은 2007~2009년 총 36개월을 대상으로 하였다.

2. 이론적 배경

2.1 RRFs-ESP 시스템

ESP 기법은 결정론적 강우-유출모형의 입력으로 미래에 발생가능한 모든 강우 시나리오를 적용하여 그 결과물로서 다수의 유량 시나리오를 획득하는 방법이다. 예를 들어 1971년부터 2000년까지 30년 동안의 5월 강우자료가 존재할 경우 이를 강우-유출모형에 입력하여 2001년 5월 유량으로 30개의 유량 시나리오를 생성해 내는 예측기법인 것이다. 강우-유출 모형의 초기조건은 예측하는 시점(즉, 위의 예에서는 5월 초)에 따라 변하므로 동일한 강우 시나리오를 사용한다 하여도 그 초기조건에 따라 유량 시나리오가 다르게 생성될 수 있다(정대일과 김영오, 2002). Figs. 1 and 2는 장기유출모형인 RRFs와 결합한 ESP 예측기법에 대한 기본 개념을 도시한 것이다(한국수자원공사, 2004).

ESP 기법에서 가장 핵심이 되는 사항은 생성된 유량시나리오에 가중치를 부과하는 과정이며 이를 통해 입력

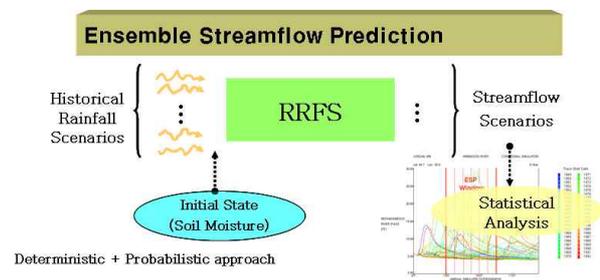


Fig. 1. Schematic Diagram of RRFs-ESP System

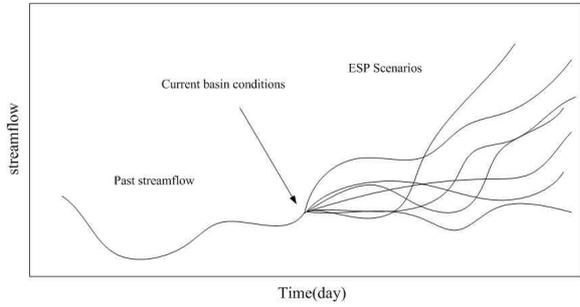


Fig. 2. Generation of ESP Scenarios

자료의 불확실성을 극복할 수 있다(정대일과 김영오, 2002). 가중치를 부여하는 가장 간단한 방법으로는 모든 시나리오의 중요도가 동일하다고 가정하는 방법, 즉 예를 들어 전술한 30개 시나리오의 경우 각각 1/30의 확률을 부과하는 방법이다. 조금 발전된 방법을 고려해 보면 예측 대상의 수문사상과 비슷한 과거의 수문사상을 가진 연도에 해당하는 시나리오에 보다 높은 가중치(혹은 확률)를 부여하는 방법이다. 이와 관련하여 정대일과 김영오(2002)는 기상전망이 확률예보의 형태로 주어질 경우 이를 반영한 가중치를 산정하는 방법으로 Croley 방법(1996)과 PDF-ratio 방법을 소개한 바 있다. 여기서 이들은 Croley 방법의 단점으로서 가중치의 산정을 위하여 다수의 기상확률예보가 존재해야 하는 점 그리고 기상변수의 분포를 무시하고 과거자료를 이용하여 분할한 예측구간 내에 속하는 시나리오는 모두 같은 확률을 갖는 점을 지적하였다. 즉 이 방법은 기상확률예보의 조건을 만족시키기 위해 각 구간에 해당하는 시나리오의 확률을 일률적으로 높이거나 낮추는 불연속 방법인 것이다. 반면 PDF-ratio 방법은 예측변수의 분포를 고려하여 예측변수에 대한 연속적인 가중치를 구하는 방법이다. 또한 가중치를 구하기 위해 많은 기상확률예보를 요구하는 Croley 방법과는 달리 하나의 기상확률예보만으로도 가중치를 구할 수 있는 특징을 갖는다.

2.2 확률기상예보

서론에서 언급한 바와 같이 우리나라 기상청에서는 A (Above), N (Normal), B (Below)에 따른 범주형 확률예보를 기상청 사이트를 통해 전국 87개 지점별로 월 및 순 단위로 제공하기 시작하였다. Table 1은 기상청에서 제공하는 대전지점에 대한 A형 범주에 해당하는 확률예보를 예시한 것으로 해당 기간의 기온과 강수량은 평년보다 많을 (High) 확률 (A)이 50%, 평년에 해당할 (Medium) 확률 (N)이 30% 평년보다 적을 (Low) 확률 (B)이 20%로 나타나고 있음을 볼 수 있다. Table 2는 전술한 세 가지 기상전망에 따른 범주별 적용확률을 정리한 결과이다.

Table 1. Example of Probabilistic Weather Forecasting

9월 상순 대전			
기온	평년보다 높겠음		
확률 예측	50%	30%	20%
강수량	평년보다 많겠음		
확률 예측	50%	30%	20%

Table 2. Interval Probability with Respect to Weather Forecasting

	High	Medium	Low	Sum
A	50%	30%	20%	100%
N	30%	50%	20%	100%
B	20%	30%	50%	100%

2.3 PDF-ratio 방법

2.1절에서 언급한 바와 같이 PDF-ratio 방법은 Table 1과 같은 기상확률예보를 강우-유출모형의 입력 자료로 이용되는 과거기상 자료에 반영하기 위하여 각 기상 시나리오의 확률을 변환시키는 방법이다. 이 방법은 각 시나리오의 확률 1/N에 가중치를 곱하여 보정된 확률을 얻는 방법으로 가중치는 다음과 같이 유도되어 진다. 만약 $f_Y(y)$, $f_M(y)$ 를 각각 기상예측의 사전 및 사후 분포라 할 경우 y 를 독립변수로 하는 임의 함수 $G(y)$ 의 기대치는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$E[G(y)] = \int G(y)f_Y(y)dy \quad (1)$$

$$E[G(y)] = \int G(y)f_M(y)dy \quad (2)$$

여기서, $E[\cdot]$ 는 기대치 연산자이다. Eq. (2)는 다음과 같이 변환될 수 있다.

$$E[G(y)] = \int G(y) \left\{ \frac{f_M(y)}{f_Y(y)} \right\} f_Y(y)dy \quad (3)$$

$$q_i = \frac{1}{N} \left\{ \frac{f_M(y)}{f_Y(y)} \right\} \quad (4)$$

Eq. (3)으로부터 과거기상자료의 분포에 $f_Y(y)$ 와 $f_M(y)$ 의 비를 사용하여 기후예보의 분포 $f_M(y)$ 가 반영된 $G(y)$ 의 기대치를 계산할 수 있음이 확인 가능하다. 이때 입력 자료인 기상자료는 1/N의 확률을 가지므로 Eq. (4)와 같

이 정리된다. 이에 따라 보정된 기상자료의 확률 q_i 는 $f_Y(y)$ 와 $f_{Y'}(y)$ 의 비를 가중치로 사용하여 얻을 수 있다.

상기한 내용을 시각적으로 제시하기 위하여, 만약 임의 지점의 월강우량이 평균 $\mu = 20.08\text{mm}$, 표준편차 $\sigma = 2.72\text{mm}$ 인 대수정규분포 (log-normal distribution)를 따른다고 가정할 경우 이에 대한 사전확률분포 $f_Y(y)$ 는 Fig. 3과 같이 도식할 수 있게 된다. 여기서 누가확률 33.3%, 66.7%에 해당하는 변위치 (quantile)는 각각 $R_{33.3} = 13.0\text{mm}$, $R_{66.7} = 30.9\text{mm}$ 로서 이들은 $f_Y(y)$ 의 Low 및 Medium 구간의 상한계를 나타낸다. Figs. 4~6는 기상전망 A, N, B에 해당하는 $f_{Y'}(y)$ 를 $f_Y(y)$ 와 함께 도식한 것으로 연속적인 형태의 $f_Y(y)$ 와 $f_{Y'}(y)$ 의 비를 시각적으로 확인할 수 있다.

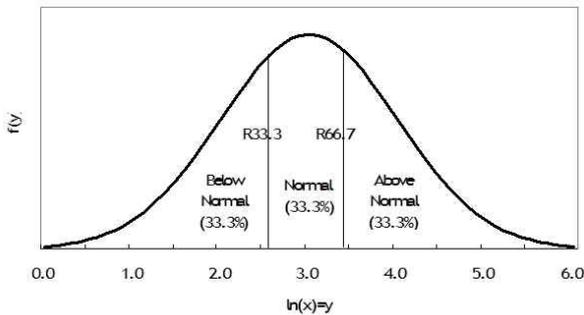


Fig. 3. A priori Distribution of Rainfall

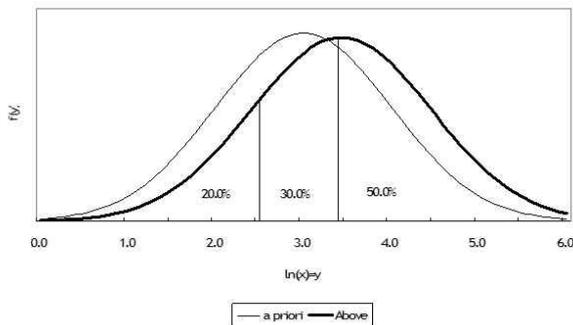


Fig. 4. Distribution of Rainfall with Above Outlook

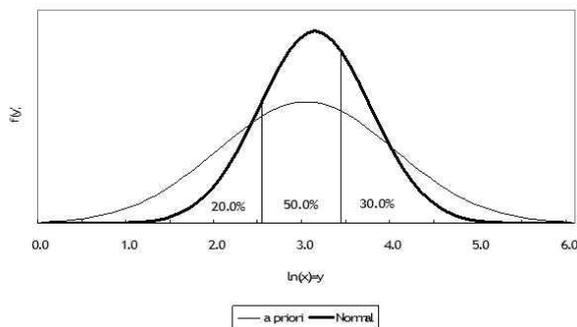


Fig. 5. Distribution of Rainfall with Normal Outlook

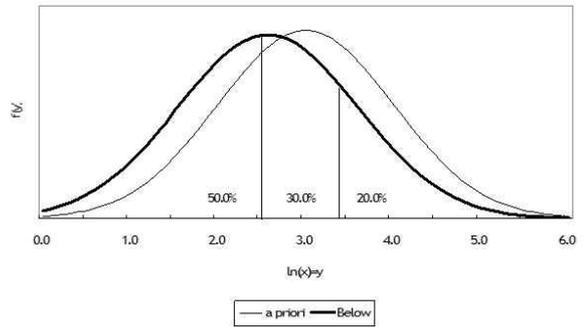


Fig. 6. Distribution of Rainfall with Below Outlook

3. 적용사례

서론에서 언급한 바와 같이 본 연구에서 구축한 'RRFS-ESP 시스템'을 2007~2009년 기간의 총 36개월을 대상으로 하여 대청댐 지점 월 유입량 예측에 적용하여 보았다.

3.1 초보예측

대상구역의 수문기상학적 특성 (즉 월 강우량 및 월 유입량)에 대한 초보예측을 수행하고 이에 따라 High, Medium, Low에 해당하는 예측구간을 설정하여 보았다. 초보예측에 이용된 수문기상자료는 1983~2006년 기간에 대한 관측 강우량 및 유입량으로서 Tables 3 and 4는 월 강우량 및 월 유입량의 구간별 경계치를 정리한 것이다. 여기서 만약 대청댐 지점의 1월 면적평균 강우량이 14mm이고 유입량이 50MCM일 경우 강우는 Low의 범주에 그리고 유입량은 Medium의 범주에 해당하게 됨을 이 표들로부터 쉽게 확인할 수 있다. 전술한 바와 같이 본 연구에서는

Table 3. Naive Forecasting of Monthly Rainfall

month	$R_{33.3}$ (mm)	$R_{66.7}$ (mm)
1	15.51	25.29
2	17.66	43.12
3	37.67	46.04
4	45.45	70.74
5	50.68	102.36
6	127.79	200.37
7	224.67	320.94
8	160.78	307.86
9	68.98	164.20
10	27.38	50.46
11	21.00	53.03
12	16.62	25.62

Table 4. Naive Forecasting of Monthly Inflow

month	$Q_{33.3}$ (MCM)	$Q_{66.7}$ (MCM)
1	36.02	54.57
2	36.20	60.74
3	75.49	143.42
4	69.36	158.74
5	59.70	165.78
6	134.88	255.86
7	517.79	1033.72
8	255.14	796.53
9	204.65	376.91
10	57.72	92.69
11	52.98	70.77
12	43.68	64.17

ESP 예측과정에 기상전망을 결합하기 위하여 Table 3의 강우량에 대한 초보예측(예측구간) 결과를 이용하였고 Table 4의 유입량 초보예측(예측구간) 결과는 예측시스템의 신뢰성 검정을 위한 정량적 기준으로 설정하였다.

3.2 ESP 기법에 의한 예측

본 연구의 대상기간에 대하여 RRFS-ESP 예측을 수행하였다. RRFS 모형의 주요한 입력 자료인 강우량 시나리오는 1983~2006년의 기간에 대한 일별 강우량으로 하였으며 유역의 초기상태는 2006년 12월 31일을 기준으로 RRFS 모형의 매개변수를 조정하여 설정토록 하였다. Fig. 7은 2007년 1~12월 기간에 대하여 수행된 ESP 예측 유량 시나리오를 월별로 나타낸 것으로서 홍수기(6~9월)에 해당하는 예측시나리오가 나머지 기간의 시나리오에 비하여 비교적 큰 변동성을 나타냄을 확인할 수 있다. Fig. 8은 이 중 2007년 3월에 대한 ESP 예측유량 시나리

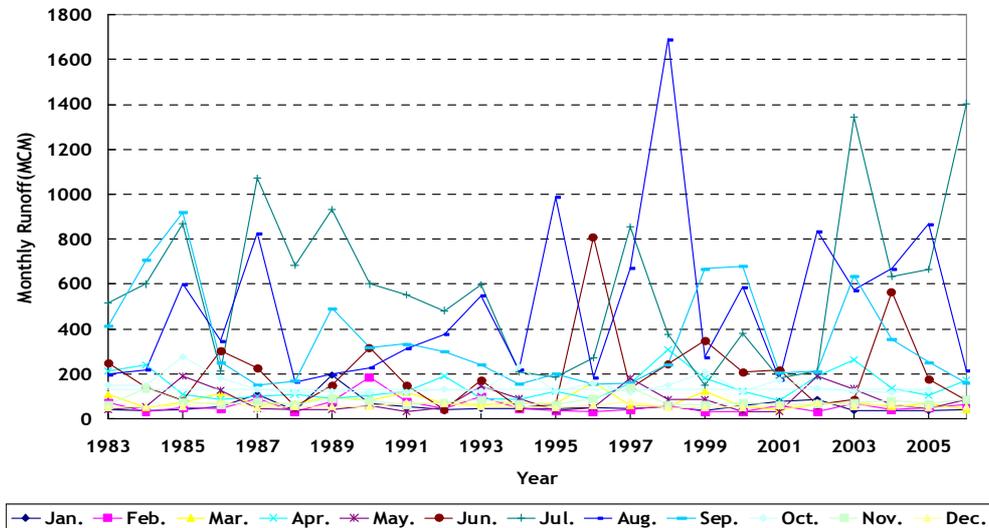


Fig. 7. Monthly ESP Results (2007)

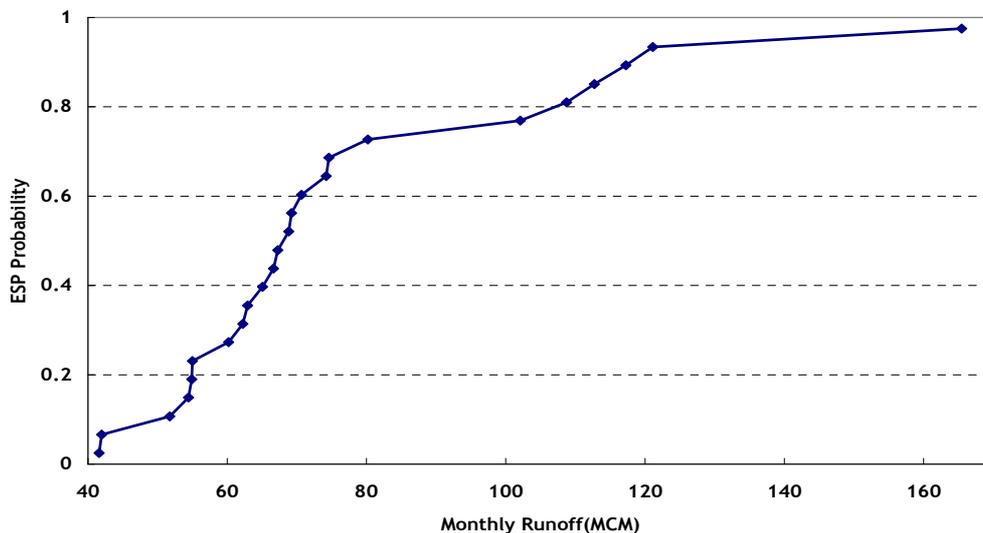


Fig. 8. Monthly ESP Probability (2007. 3)

오별 누가확률(비초과 확률)을 도시해 본 것이다. 만약 ESP 예측이 특별한 사전처리 기법과 결합하지 않을 경우 보통 Fig. 7과 같은 예측유량 시나리오별 가중치를 동일하게 가정하거나(본 연구의 경우 1/24) 혹은 Fig. 8의 누가확률이 50%에 해당하는 시나리오를 선택하여 이용하게 된다.

3.3 PDF-ratio 방법에 의한 예측의 갱신

PDF-ratio 방법을 이용하여 ESP 예측유량 시나리오를 사전처리하기 위해서는 확률예보형태의 기상전망이 필요하다. 본 연구에서는 대상기간에 대한 확률예보를 해당 월의 관측 강우량과 Table 3의 예측구간을 이용하여 다음과 같이 작성하여 보았다. Table 5는 대상기간의 월별 대

청유역 관측 강우량이다. 여기서 대상 월의 강우량이 Table 3의 예측구간 중 어느 범주에 포함되는지를 파악하여 이를 해당 월의 기상전망으로 하였다. 예를 들어 2007년 5월의 관측 강우량은 90.4mm로서 이는 $R_{33.3}$ 인 50.68mm와 $R_{66.7}$ 인 102.36mm 사이에 위치한다. 따라서 5월의 기상전망은 N(Normal)로 지정된다. 이러한 절차를 걸쳐 작성한 월별 기상전망 결과는 Table 6과 같다.

PDF-ratio 방법을 이용하기 위해서는 또한 과거 강우 자료에 대한 월별 확률분포 적합도 검정이 필요하다. 하지만 본 연구에서는 일관성을 기하기 위하여 별도의 확률분포 적합도 검정과정을 거치지 않고 모든 월을 대수정규분포로 가정하여 가중값을 구하였다. 즉 검정된 과거 강우자료의 분포 $f_Y(y)$ 와 확률예보의 분포 $f_M(y)$ 가 대수

Table 5. Observational Rainfall by Month

month	2007	2008	2009
1	5.8	35.5	20.4
2	44.1	5.1	31.1
3	91.9	22.8	6.5
4	25.8	25.8	87.7
5	90.4	90.4	100.2
6	138.6	139.6	92.2
7	226.4	179.5	403.4
8	306.1	192.6	96.9
9	361.5	42.5	49.7
10	26.6	29.4	20.8
11	7.7	11.5	41.0
12	13.4	11.6	30.9

Table 6. Weather Outlooks by Month

month	2007	2008	2009
1	B	A	N
2	A	B	N
3	A	B	B
4	B	B	A
5	N	N	N
6	N	N	B
7	N	B	A
8	N	N	B
9	A	B	B
10	B	N	B
11	B	B	N
12	B	B	A

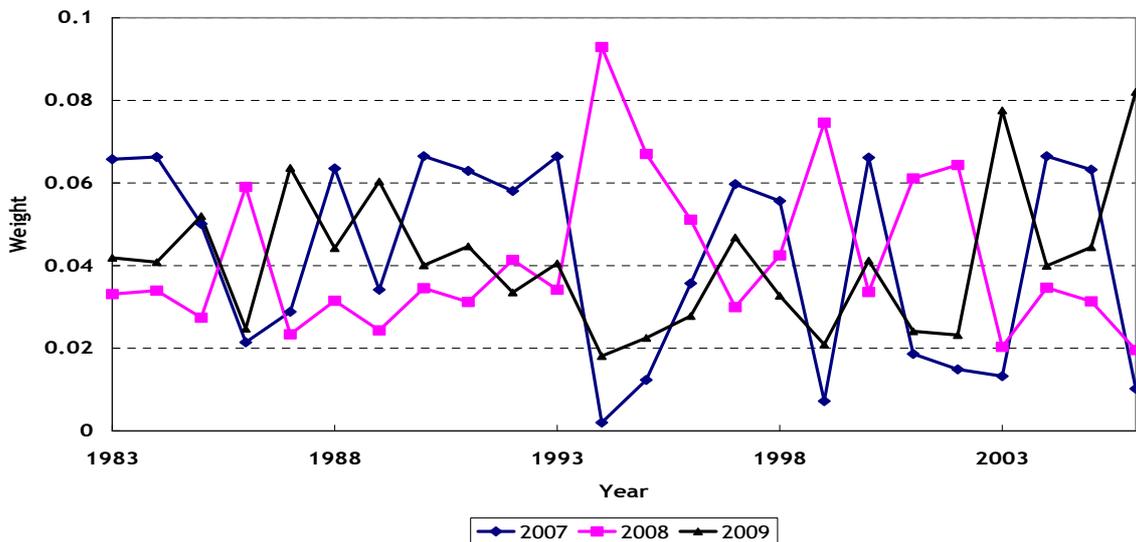


Fig. 9. PDF-ratio weight of July

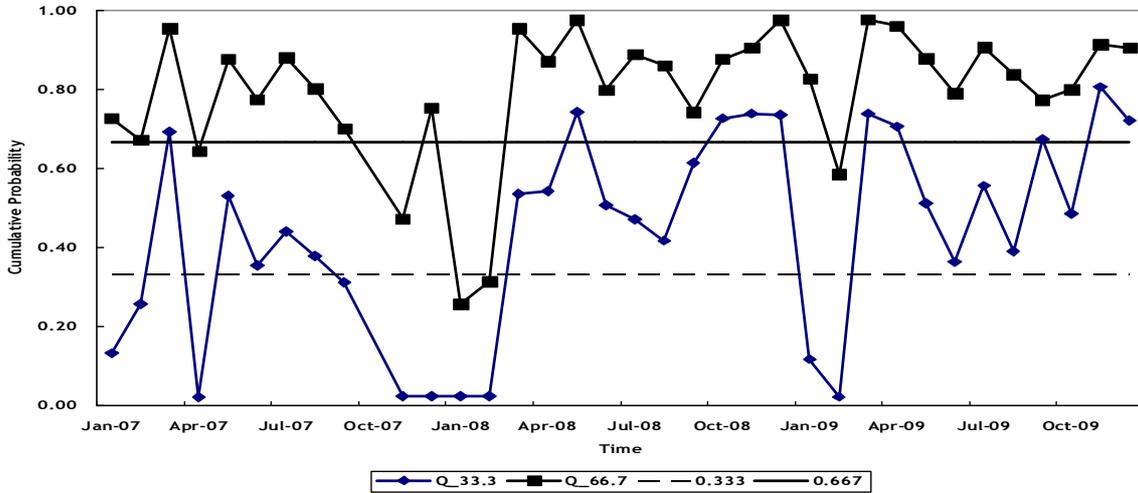


Fig. 10. Cumulative Probability of ESP Scenario for $Q_{33.3}$ and $Q_{66.7}$

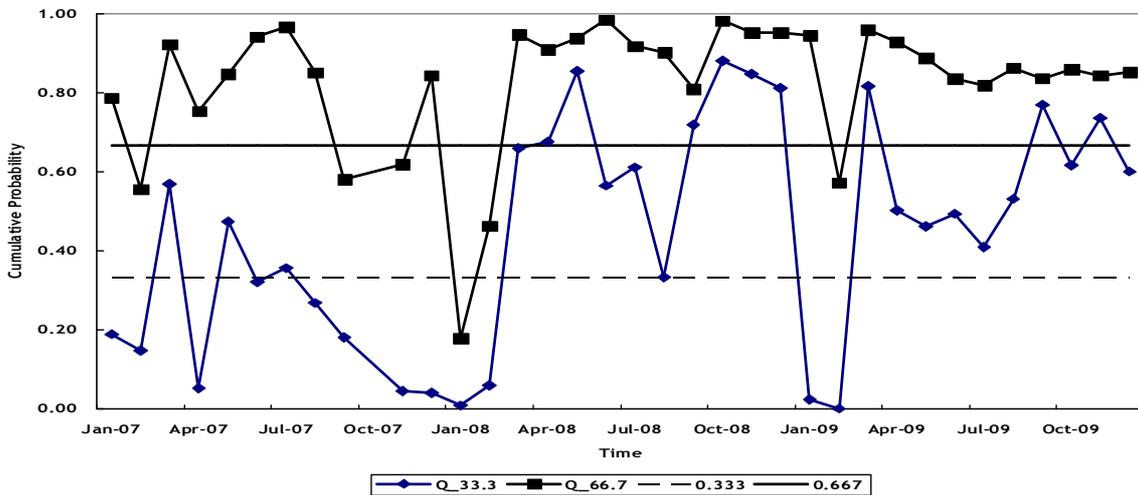


Fig. 11. Cumulative Probability of PDF-ratio Scenario for $Q_{33.3}$ and $Q_{66.7}$

정규분포로 동일하고 다만 평균과 분산만이 변화한다고 가정하여 확률예보의 범주에 맞추어 Figs. 4~6의 사례별 로 Eq. (4)에 따라 $f_Y(y)$ 와 $f_{Y'}(y)$ 의 비를 구한 것이다. Fig. 9는 7월의 예측유량에 대한 2007~2009년의 시나리오별 가중치를 도식하여 본 것으로서 무시할 수 없을 정도의 변동성이 나타나고 있음이 주목된다.

3.4 예측결과에 대한 정량적 분석

ESP 기법과 PDF-ratio 방법에 의한 월 유입량 예측의 정확도를 해당 월의 관측유입량을 대상으로 하여 분석하여 보았다. 결정론적 모형의 경우 단일한 예측 값을 제공하기 때문에 이를 관측 값과 단순히 비교하여 정확도를 평가할 수 있다. 하지만 본 연구에서 적용한 ESP 기법의 경우 다수의 시나리오 형태로 예측이 수행됨으로 단순히 관측 값과의 비교만으로는 모형의 적용성 평가가 불가능하다. 이러한 형태의 예측 정확도는 예측점수로 평가할

수 있다. 여기서 예측점수란 관측유량이 발생한 구간의 예측확률을 의미하는 것으로 만약 우리가 3.1의 초보예측 결과만을 이용할 경우 모든 월의 예측점수는 0.333으로 산정될 수 있음을 쉽게 예상할 수 있다. 이러한 논리에 따라 각 기법별로 갱신된 시나리오의 적용성을 예측점수의 산정으로부터 평가할 수 있게 된다.

Figs. 10 and 11은 Table 4의 $Q_{33.3}$ 과 $Q_{66.7}$ 에 해당하는 각 기법별 추가확률을 도식한 것으로 갱신된 확률에 의한 범주별 예측구간 폭의 변화를 도식한다. 여기서 두 그림 중앙의 직선과 파선은 각각 추가확률 0.333과 0.667을 의미한다.

Tables 7 and 8은 Figs. 10 and 11로부터 산정한 기법별 월별 예측점수를 정리한 결과이다. 여기서 우선 주목할 만한 사항은 Table 7 끝단의 3개년 예측점수의 평균이 모두 0.333을 상회하고 있는 점이다. 이는 ESP 기법에 의한 예측결과가 초보예측보다 정확도가 높음을 의미하는

Table 7. Prediction Score By ESP

Month	2007	2008	2009
1	0.594	0.742	0.710
2	0.328	0.290	0.023
3	0.262	0.536	0.739
4	0.622	0.543	0.706
5	0.346	0.743	0.367
6	0.420	0.507	0.364
7	0.441	0.472	0.351
8	0.423	0.444	0.391
9	0.299	0.614	0.675
10	0.403	0.727	0.487
11	0.448	0.739	0.108
12	0.246	0.736	0.184
Ave	0.403	0.591	0.425

Table 8. Prediction Score By PDF-ratio

Month	2007	2008	2009
1	0.597	0.821	0.922
2	0.443	0.403	0.001
3	0.352	0.660	0.817
4	0.700	0.677	0.502
5	0.374	0.855	0.427
6	0.621	0.565	0.494
7	0.356	0.611	0.408
8	0.583	0.569	0.532
9	0.419	0.720	0.770
10	0.470	0.881	0.616
11	0.573	0.848	0.107
12	0.156	0.812	0.252
Ave	0.470	0.702	0.487

것으로 본 연구에서 구성한 RRFS-ESP 시스템의 적용성을 확인할 수 있는 결과로서 판단된다. 또한 고무적인 결과로서 Table 8 끝단의 3개년 예측점수의 평균들 역시 Table 7 끝단의 예측점수의 평균을 모두 상회하고 있음을 확인할 수 있다. 이는 ESP 기법에 의한 예측결과를 확률기상전망을 이용하여 갱신할 경우 예측 정확도를 보다 개선시킬 수 있음을 의미하는 것이다.

4. 결론

본 연구에서는 금강유역을 대상으로 구성된 바 있는 RRFS-ESP 시스템에 확률기상예보에 의한 정량적 정보를 적극 반영할 수 있는 사전처리 기법을 장착하여 보다 효율적인 중장기 예측시스템으로의 확장을 시도하여 보았다. 확률기상예보의 형식은 2010년 1월부터 기상청에서 시행하고 있는 범주별 확률예보 형식을 이용하였고 시나리오별 발생확률의 갱신을 위하여 PDF-ratio 방법을 사전처리로서 적용하였다.

예측결과에 대한 분석을 위하여 각 기법별 예측점수를 산정하여 본 결과 우선 주목할 만한 사항으로 ESP 기법에 의한 예측점수의 평균이 모두 초보예측 점수 0.333을 상회하고 있는 점을 발견할 수 있었다. 이는 ESP 기법에 의한 예측결과가 초보예측보다 정확도가 높음을 의미하는 것으로 본 연구에서 구성한 RRFS-ESP 시스템의 적용성을 확인할 수 있는 결과로서 판단되었다. 또한 ESP 기법에 의한 예측결과를 확률기상전망을 이용하여 갱신한 유입량 시나리오의 예측점수가 ESP 기법에 의한 예측점수를 모두 상회하고 있음을 확인할 수 있다. 이로부터 ESP 기법에 의한 예측결과를 확률기상전망을 이용하여 갱신할 경우 예측 정확도를 보다 개선시킬 수 있음을 확인할 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 “자연·사회환경 개선을 고려한 권역별 하천 유지유량 평가 산정 및 확보방안” 과제의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

강태호, 김영오, 홍일표 (2008), “양상불 유량예측 시스템의 사전 및 사후처리에 관한 연구.” **한국수자원학회 2008년도 학술발표회논문집**, 한국수자원학회, pp. 264-268.

국토해양부 (2008). 양상불모형을 이용한 확률적 유량예측 보고서.

김영오, 정대일, 김형섭, 이길성 (2001), “양상불 예측을 통한 물공급전망 개선방안”, **한국수자원학회 2001년도 학술발표회논문집**, 한국수자원학회, pp. 304-308.

김주철, 이상진, 신현호, 황만하 (2009), “유황곡선의 거동 특성을 이용한 유역관리모형의 평가.” **한국물환경학회 논문집**, 한국물환경학회, 제25권, 제4호, pp. 573-579.

이재경, 김영오, 정대일 (2006), “중장기 유량예측 향상을

위한 국내 기후정보의 이용.” **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제39권, 제9호, pp. 755-766.

정대일, 김영오 (2002), “양상불 예측을 이용한 충주댐의 월 유입량 예측.” **대한토목학회논문집**, 대한토목학회, 제22권, 제3-B호, pp. 321-331.

정대일, 김영오, 고익환 (2003), “양상불 유량예측의 정확도 향상을 위한 강우-유출모형에 대한 연구-II. 강우-유출모형의 결합.” **대한토목학회논문집**, 대한토목학회, 제23권, 제6-B호, pp. 531-540.

정대일, 이재경, 김영오 (2005), “최적선형보정을 이용한 양상불 유량예측 시스템의 개선.” **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제38권, 제6호, pp. 471-483.

한국수자원공사 (2004), 실시간 물 관리 운영 시스템 구축

기술 개발.

Croley II, T.E. (1996), “Using NOAA's new climate outlooks in operational hydrology.” *Journal of Hydrologic Engineering*, ASCE, Vol. 1, No. 3, pp. 93-102.

Fread, P.L. (1998), “A perspective on hydrologic prediction trends. Symposium on Hydrology.” *American Meteorologic Society, Phoenix, Arizona*, pp. J1-J6.

USACE (1991), SSARR User manual. North Pacific Div., Portland.

논문번호: 11-078	접수: 2011.07.19
수정일자: 2011.08.25/10.12	심사완료: 2011.10.12