



앙상블 예측기법을 통한 유역 월유출 전망

Forecasting Monthly Runoff Using Ensemble Streamflow Prediction

이상진* · 김주철*[†] · 황만하* · 맹승진**

Lee, Sang Jin* · Kim, Joo Cheol*[†] · Hwang, Man Ha* · Maeng, Seung Jin**

ABSTRACT

In this study the validities of runoff prediction methods are reviewed around ESP (Ensemble Streamflow Prediction) techniques. The improvements of runoff predictions on Yongdam river basin are evaluated by the comparison of different prediction methods including ESP incorporated with qualitative meteorological outlooks provided by meteorological agency as well as the runoff forecasting based on the analysis of the historical rainfall scenarios. As a result it is assessed that runoff predictions with ESP may give rise to more accurate results than the ordinary historical average runoffs. In deed the latter gave the mean of yearly absolute error as to be 60.86 MCM while the errors of the former ones amounted to 44.12 MCM (ESP) and 42.83 MCM (ESP incorporated with qualitative meteorological outlooks) respectively. In addition it is confirmed that ESP incorporated with qualitative meteorological outlooks could improve the accuracy of the results more and more. Especially the degree of improvement of ESP with meteorological outlooks shows rising by 10.8% in flood season and 8% in drought season. Therefore the methods of runoff predictions with ESP can be further used as the basic forecasting information tool for the purpose of the effective watershed management.

Keywords: Ensemble stream-flow prediction, Yongdam dam, Forecasting, Runoff, Watershed management

1. 서 론

21세기에 들면서 지구온난화, 기후변화 등과 맞물려서 갈수록 더욱 강도 높게 빈번해 지고 있는 가뭄과 홍수, 태풍으로 인한 피해와 손실이 전 세계적으로 국가 위기관리 차원의 주요 이슈로 등장하게 되었다. 좁은 국토 안에서 많은 인구가 요구하는 적지 않은 물 수요로 압박 받고 있는 우리나라의 경우 지속가능한 국가경영과 효율적인 유역관리 차원에서 더욱 중요한 문제 일 수 있다. 필요한 신규 수자원개발의 어려움과 공급 증가, 수질관리에 소요되는 막대한 비용, 물 부족과 수질오염 등을 둘러싼 이해당사자간 갈등 등 물 문제 해결을 둘러싸고 국가와 지역주민이 치르고 있는 비용부담은 더욱 커지고 있는 실정이다.

유역의 수자원을 지속적으로 확보하고 관리하기 위해서는 기본적으로 유역의 강우-유출 현상을 정확하게 분석하고 신뢰도

높은 유출예측 정보를 생산하는 모의기술이 필요하다. 일반적으로 유출 예측량을 모의할 때 과거와 현재의 수문자료를 이용한다는 측면에서 미래 예측결과의 불확실성을 완전히 제거할 수는 없겠지만, 다양한 기법별 분석에 의하여 불확실성을 감소시킬 수 있다. 과학과 기술의 발전으로 시·공간에 대한 측정자료의 정확성 향상과 수문현상의 분석을 위한 기초자료의 증가도 불확실성 감소에 기여하고 있다. 유출예측을 위한 기법 중 ESP (Ensemble Streamflow Prediction)는 1970년대 NWS California-Nevada River Forecast Center (RFC)에서 개발되어 California 주에서 처음으로 사용하였으며 유역 물공급전망의 확률예보 등을 목적으로 활발하게 사용되고 있는 기법이다. 기상예측 분야에서 NCEP (National Center for Environmental Prediction)와 유럽의 ECMWF (European Center for Midium-range Weather Forecasts)에서 ESP 기법을 이용한 확률론적 예측을 하였으며 Corley (1996, 2001, 2003)은 기후확률예보를 정립하고 이것을 사용하여 ESP 예측의 정확성 개선 방안을 제시하였고, Shaake and Larson (1998)은 연구과제로 대기-수문모형의 연계운명을 통한 ESP 유출예측의 개선을 제시하였다. Eum et al. (2006)은 이수기 저수지 운영을 위한 앙상블 유량예측의 효용성을 위해 매월 10일 간격으로 3차례 앙상블예측을 갱신하여 예측정확도를 향상시켰으며, 예측정확도

* 한국수자원공사 K-water연구원 수자원연구소

** 충북대학교 농업생명환경대학 지역건설공학과

† Corresponding author. Tel.: +82-42-860-7403

Fax: +82-42-860-7419

E-mail address: kjoocheol@kwater.or.kr

2009년 9월 17일 투고

2010년 1월 4일 심사완료

2010년 1월 4일 게재확정

에 따른 저수지 운영효과의 개선여부를 정량적으로 분석하였다. Jeong et al. (2002)은 가상의 기후정보를 이용한 가중값을 충주댐 유입량 시나리오에 적용하여 양상불 유출예측을 실시하였다. Kim et al. (2004)은 2001년부터 국내에 도입된 후 진행된 국내 양상불 유출예측연구에 대한 5년간의 연구동향을 정리하고, 유출예측의 개선효과를 가능하였다.

본 연구에서는 ESP 기법을 중심으로 유출 예측의 적정성을 검토하였다. 과거 강우 시나리오 분석에 의한 장래 유출량 예측뿐만 아니라, 기상청에서 제공되는 정성적 기상예보와 연계한 ESP를 활용하여 용담유역을 대상으로 기법별의 비교 분석을 통해 유출예측의 개선효과를 평가하고자 하였다.

II. 대상유역 및 유출모의 모형 선정

1. 대상유역 선정

대상유역은 Fig. 1에서와 같이 신뢰성 높은 수문자료를 획득하기 위해 다년간 유역정밀조사와 현장조사를 수행한 용담유역을 대상으로 하였다. 유역면적은 923.3 km², 유로연장은 244.2 km로 원활한 유출모의를 위해 3개의 소유역으로 구분하였다. 수집된 관측자료 중 강우량, 관측유량 및 용수 이용량 자료에 대해서는 결측 및 이상치에 대한 검증 및 보정을 실시하였다.

2. 유출모의 모형 선정

본 연구에서 활용된 장기유출모형은 유역내 저수지운영효과를 고려할 수 있는 SSARR모형을 기반으로 하고 있다. SSARR 모형은 미국 공병단 (Corps of Engineers)에서 1956년 처음 개발된 이래, Windows기반의 GUI 프로그램으로 개선하여 (SSARR

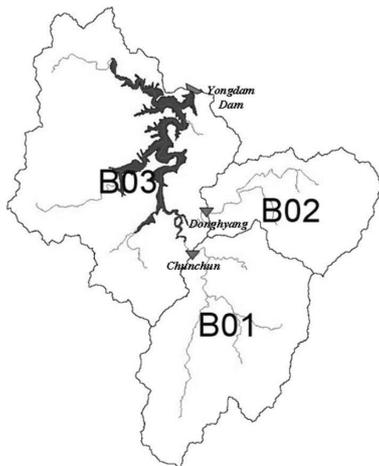


Fig. 1 Map of Sub-basin in Yongdam Dam Watershed

-2000) 현재에 이르고 있다 (USACE, 1991). 본 모형은 베트남의 Mekong 강 (Rockwood, 1968) 등과 같은 대하천에 성공적으로 적용된 바 있으며, Lee et al. (2006), Ryoo et al. (2007)이 금강 수계를 대상으로 분석한 바 있다.

적용한 유역 유출예측 모형은 장래 물 수요 및 공급에 대한 기초자료를 제공함으로써 효율적인 수자원 이용 기술에 적용될 수 있다. 유역의 장기 강우-유출 모의분석을 기본으로 ESP 기법과 기상청에서 제공되는 수치예보자료를 통해 물 공급 등의 의사결정을 지원하는 모듈이 Graphic User Interface (GUI)형태로 장착되어 사용자 편의를 고려하였다. Fig. 2는 적용모형의 모의절차 및 유출 예측 모의를 위한 개념도를 나타낸 것이다. 강우량, 온도, 각종 용수, 취수량 그리고 댐 방류량을 포함하는 다양한 수문학적 입력 자료의 구축 후 유역의 강우-유출 관계를 특성 짓는 매개변수가 입력되며, 계산된 유출결과와 관측된 유출결과와의 비교를 통해 보정된다. 매개변수 보정 이후 다양한 수문학적 시나리오에 따라 장래 수자원의 변화 양상을 조사하기 위해 유출모의와 예측이 수행되고 결과들은 유역별 그리고 주요 지점별로 GUI상의 그림 및 표를 통해 확인할 수 있다.

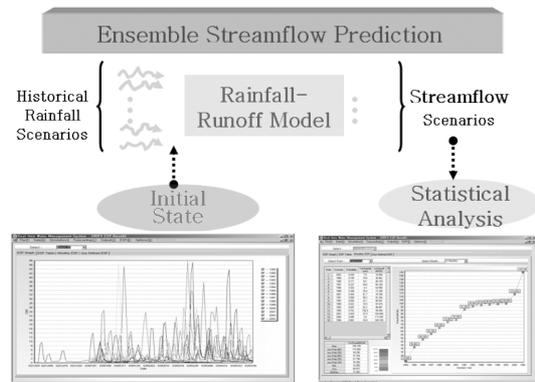
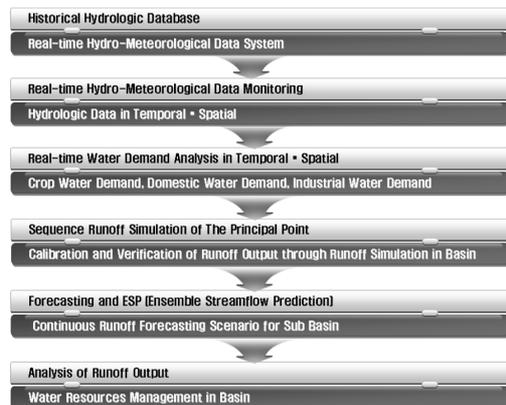


Fig. 2 Modeling process and Concept of Ensemble Streamflow Prediction

III. 결과 및 고찰

1. 선정된 유출모의 모형에 의한 보정 및 검증

본 연구를 위해 선정된 유출모형인 SSARR 모형의 검증을 위해서는 통상적으로 과거 일정기간을 대상으로 모형의 보정을 실시하며 해당기간에서 결정된 적정매개변수를 이용하여 타년도의 유출량을 모의하고 이를 관측치와 비교분석을 실시하였다. 모형의 보정기간은 다양한 유출특성이 반영될 수 있도록 장기간에 해당하는 18년간 (1983년~2000년)의 자료를 이용하였으며 최종적인 적정매개변수는 년 단위로 보정을 실시한 후, 이를 종합하여 결정하였다. 매개변수의 보정은 Lee et al. (2006)이 금강유역 공주지점 유출특성분석의 민감도 분석결과를 토대로 고수시와 저수시를 분리하여 실시하였으며 고수시에는 SMI (토양습윤지수)와 S-SS (지표수와 복류수 분리비)를, 저수시에는 SMI, BII (지하수 유입률), BFLIM (최대지하수유출율), PBLZ (지하수중 회귀지하수가 차지하는 비율) 및 Ts (기저유량의 저류시간)를 대상으로 실시하였다. 그 외 매개변수에 대해서는 부분적 보정만을 실시하였다.

2000년 까지 일 단위 유량자료를 토대로 모형 보정을 거친 후 2001년~2006년을 대상으로 모형을 검증하였다. 모형의 검

증방법으로는 절대오차 (Absolute Error: AE)와 제곱평균제곱근오차 (Root Mean Square Error: RMSE)방법을 이용하였다. Table 1은 고수위 유출 (7월~10월)과 저수위 유출 (10월~익년 6월)을 구분하여 매개변수 보정 오차를 분석한 결과이며, Fig. 3은 2006년에 대한 용담댐 지점 유출량 모의결과를 나타낸 것으로 일부 평수기에서 편차가 나타나는 부분도 있지만 대체적으로 연중 유출량을 양호하게 모의하고 있다.

2. 과거 유출량 자료를 이용한 유출예측

과거 관측된 유출량을 분석하여 예측하는 통상적인 기법으로, 각 지점별로 관측된 유출량 자료를 이용하여 월 유출량을 평균한 값을 유출예측량으로 하였다. Table 2는 용담댐지점의 과거 관측된 월별 유출량과 월별 평균값을 나타낸 것이다. 용담댐은 2001년도에 건설된 댐으로 최근 7년간 일단위의 유출량을 월별로 산술 합산하여 2001년부터 수행한 결과이다.

3. ESP 기법에 의한 유출예측

ESP 기법은 예측시점의 적설량, 토양함수, 하천의 수위, 습도 등 유역의 상태를 나타내는 초기 조건에 확률적 대표성을 갖는 장애에 재현 가능한 과거 기상자료를 결합하여 확률론적 예측을 수행하는 기법이다. 이를 위해, 1983년부터 2007년까지 금강유역 전반으로부터 24개의 강우사상을 적용하여 도출된 결과를 토대로 연도별 (2001년~2007년)로 용담지점에 24개의 유출모의 시나리오를 생성하였다. 일예로 Table 3은 개발된 모형을 통해 2007년 1월 모의된 용담댐 지점의 유출 시나리오를 나타낸 것이다. 생성된 24개의 유출시나리오를 바탕으로 각 예측유량에 ESP 확률을 부여하고 관측유량과 예측유량을 비교하여 오차가 가장 작은 ESP 확률을 산정하였다. 이 때 ESP 확률은 Fig. 4와 같이 크기순으로 정렬된 유출시나리오에서 선형 회귀 분석을 통한 보간법으로 각 관측유량에 해당하는 확률치

Table 1 Result of error analysis for high & low level flow

Year	Observed. (m ³ /s)	Calibration in high level flow			Calibration in low level flow		
		Modeled. (m ³ /s)	AE	RMSE	Modeled. (cms)	AE	RMSE
2001	4,424	1,364	50%	8.2	4,284	3%	28.1
2002	10,317	1,884	42%	11.5	9,609	7%	50.4
2003	15,972	1,836	16%	8.6	13,454	16%	55.9
2004	6,867	1,561	3%	5.3	7,070	3%	46.2
2005	8,328	1,703	57%	7.2	8,815	6%	92.0
2006	7,025	1,606	62%	5.3	6,919	2%	41.5
mean	8,822	1,659	38%	7.7	8,359	6%	52.3

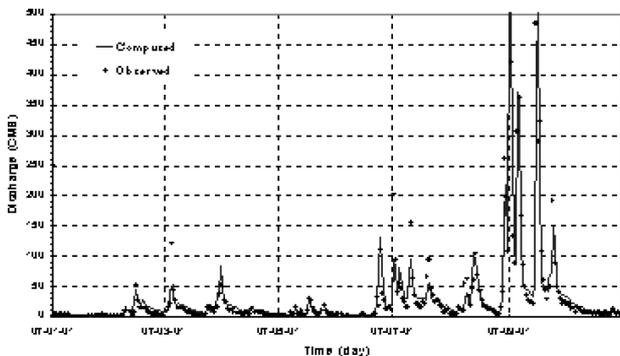


Fig. 3 Observed and simulated runoff (2006)

Table 2 Monthly Average Observed Discharge in Yongdam basin (Unit: MCM)

Year	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
2001	14.1	35.4	74.1	27.5	12.4	85.5	169.4	49.6	28.8	40.9	37.9	40.9
2002	67.5	40.8	55.2	109.4	129.8	43.7	52.9	463.3	145.4	20.1	15.1	27.4
2003	19.5	40.4	46.3	150.6	92.9	68.6	591.2	242.6	259.9	21.8	16.6	18.2
2004	14.7	15.7	20.4	22.1	41.9	111.0	167.8	183.4	109.2	14.6	15.0	16.0
2005	3.0	10.3	24.5	21.0	10.6	40.1	342.7	316.1	34.3	6.4	2.6	1.6
2006	6.2	13.6	5.4	31.1	50.0	19.1	480.0	63.5	11.0	2.5	4.2	5.7
2007	4.4	19.9	46.5	24.6	20.3	27.4	112.0	111.9	368.8	22.8	7.3	5.3
Mean	18.5	25.2	38.9	55.2	51.1	56.5	273.7	204.4	136.8	18.4	14.1	16.4

로 산정하게 된다.

이와 같이 본 연구에서는 ESP 확률 적용을 위하여 연도별 (1983년~2007년)로 유출모의 시나리오를 구축하고 월단위로 누가된 유출 총량을 이용하여 ESP 분석을 수행하였다. 그리고 산정된 유출 시나리오를 바탕으로 관측치와 가장 근사한 ESP 확률을 결정하기 위하여 첫째, 큰 오차가 나는 ESP 확률을 제외 (상하위 5%, 절삭평균오차)한 평균 ESP확률, 둘째 월별 최소 오차가 나는 ESP확률, 그리고 월별 ESP확률을 이수기·홍수기로 평균한 확률을 적용한 경우로 구분하여 ESP확률을 산정하고 관측치와 비교하였다. 여기서 년 강수량의 2/3가 홍수기인 7월~9월 사이에 집중되는 수문특성을 고려하여 편의상 7월~9월을 홍수기로 1월~6월, 10월~12월을 이수기로 구분하였다. 그 결과 년도별로 일부 차이가 나는 것도 있지만 전반적으로 월별 ESP 확률을 이수기·홍수기로 평균한 확률을 적용한 경우가 가장 양호한 적중률을 나타내었다. 월별 최소

오차가 나는 ESP 확률을 적용한 방법으로 유출 예측량을 모의한 결과는 Table 4와 같다.

4. 기상전망을 고려한 ESP 유출예측

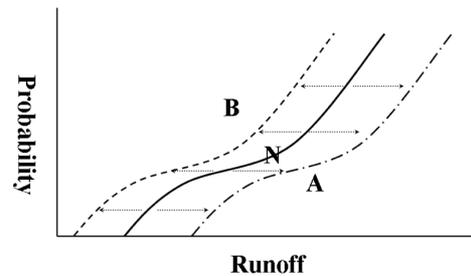
이 방법은 앞서 분석한 ESP 유출예측 모의에서 적용유역 주요지점의 월별 최소오차 ESP를 결정한 후, 이를 기상청에서 제공하는 정성적 예보와 연계하여 유출예측을 모의하는 것이다. 기상청에서는 장기예보로 1개월, 3개월 그리고 6개월 단위로 정성적인 기상전망을 제공하고 있다. 본 연구에서는 이 중 3개월 예보를 이용하여 평년의 강우가 예상될 때 N (Normal), 평년 보다 많은 강우가 예상될 때 A (Above), 평년 보다 적은 강우가 예상될 때 B (Below)를 각각 적용 하였다 (<http://met.sky.kma.go.kr/>). Fig. 4 (a)와 같이 N의 경우 예측된 유출시나리오에서 각 기상전망에 따라 유출시나리오가 Shifting 됨으로써 같은 ESP 확률을 적용하더라도 유출예측 결과가 A 경우 유출예측 값이 더 크고 B의 경우 유출예측 값이 작게 되는 것을 나타낸다. 이를 활용하기 위해 산정된 월별 최소 오차 ESP 확률에 -15 ~ +15 %의 가중치를 주어 기상전망에 따른 ESP 확률을 재산정하였다. Fig. 4 (b)는 각 월별 유출시나리오에 누가확률을 부여하고, 관측유출량과 예측유출시나리오와 비교하여 오차가 가장 작은 가중치 구간에서 선형회귀 보간하여 각 월별 관측유량 ESP 확률을 산정하였다.

Table 3 Runoff Scenario and ESP Probability (Jan, 2007)

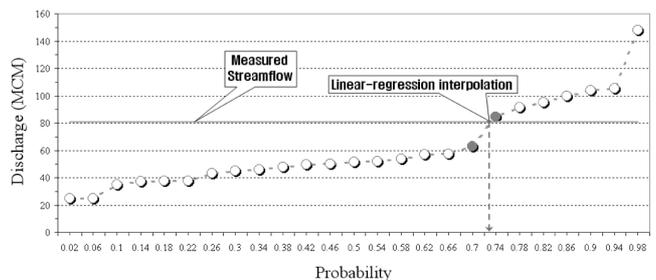
Order	1 Month		Total Runoff (MCM)	Order	1 Month		Total Runoff (MCM)
	Scenario	Probability			Scenario	Probability	
1	1999	0.025	3.2	13	1995	0.521	13.4
2	2005	0.066	4.9	14	1991	0.562	14.0
3	2004	0.107	5.0	15	2000	0.603	14.4
4	2006	0.149	5.9	16	1988	0.645	14.9
5	1984	0.19	9.1	17	1998	0.686	16.2
6	2003	0.231	9.7	18	1996	0.727	16.5
7	1992	0.273	11.8	19	1997	0.769	17.7
8	1985	0.314	11.9	20	1990	0.81	21.6
9	1986	0.355	12.1	21	2001	0.851	22.0
10	1993	0.397	12.4	22	1987	0.893	41.6
11	1994	0.438	12.6	23	2002	0.934	45.6
12	1983	0.479	12.8	24	1989	0.975	68.1

Table 4 Monthly the least error of ESP Probability

Month	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
2002	0.969	0.708	0.917	0.969	0.917	0.292	0.188	0.969	0.396	0.396	0.604	0.969
2003	0.574	0.772	0.822	0.97	0.822	0.277	0.97	0.723	0.921	0.376	0.574	0.772
2004	0.736	0.5	0.17	0.547	0.83	0.689	0.547	0.689	0.689	0.217	0.783	0.689
2005	0.027	0.387	0.568	0.252	0.613	0.432	0.928	0.838	0.387	0.099	0.027	0.027
2006	0.026	0.5	0.026	0.802	0.931	0.241	0.974	0.241	0.026	0.026	0.026	0.026
2007	0.066	0.521	0.934	0.025	0.562	0.273	0.314	0.521	0.975	0.091	0.025	0.19
Ave (%)	40.0	56.5	57.3	59.4	77.9	36.7	65.4	66.4	56.6	20.1	34.0	44.6
Ave (%)	47.4			62.8			47.4					



(a) Shifting of Runoff Probability considering weather outlook



(b) Linear-regression interpolation

Fig. 4 Runoff forecasting for runoff and meteorologic scenario

5. 유출예측기법별 유출예측 비교

앞서 분석된 기법별 유출예측기법에 따른 2008년도 월별 유

Table 5 Monthly Runoff absolute error (Unit: MCM)

Month	Mean measured inflow	ESP	Weather outlook with ESP
1	16.4	6.8	6.7
2	6.1	2.2	1.4
3	8.9	25.0	23.1
4	35.7	23.6	23.2
5	36.0	5.3	10.8
6	33.9	30.9	22.5
7	188.7	104.3	108.7
8	107.9	66.1	74.8
9	270.7	247.7	235.7
10	5.1	10.6	4.6
11	7.9	4.9	0.8
12	13.0	2.0	1.7
Ave.	60.86	44.12	42.83

출예측에 대한 결과를 분석하였다. Table 5는 월유출량 모의 결과와 관측결과와의 절대오차를 비교한 것이며, Fig. 5는 월별 절대오차를 그래프로 표현한 것이다. 막대그래프에서 1, 2, 3은 각각 과거 통상적 방법에 의한 평균유출량 산정, ESP 기법, 그리고 기상전망을 고려한 ESP 기법을 나타낸다.

예측 모의결과로써 과거 월평균 유출량으로 산정된 연간 절대오차 평균은 60.86 MCM으로 ESP 기법 (44.12 MCM)과 기상전망을 ESP 기법 (44.83 MCM) 비교할 때 오차가 가장 큰 것으로 분석되었으며, 기상전망을 고려한 ESP 기법이 가장 양호한 것으로 분석되었다. 통상적인 과거 관측 월유출량 자료를 이용한 유출량 예측 기법에 비해 약 18.3 % 정도 정확도가 개선된 것으로 나타났다. 홍수기 및 이수기의 경우 기상전망을 고려한 ESP 기법을 통한 유출예측은 통상적인 방법보다 각각 약 10.3 %와 약 8 %정도 적중률이 향상되었다.

따라서 본 연구 결과로부터 ESP 기법을 통하여 유역의 월간 유출을 전망하는 것이 적절하다고 판단되며, 향후 유역의 확장 및 추가적인 수문분석에 의하여 ESP 기법의 적용성을 확인하는 연구가 지속될 필요가 있다고 판단된다.

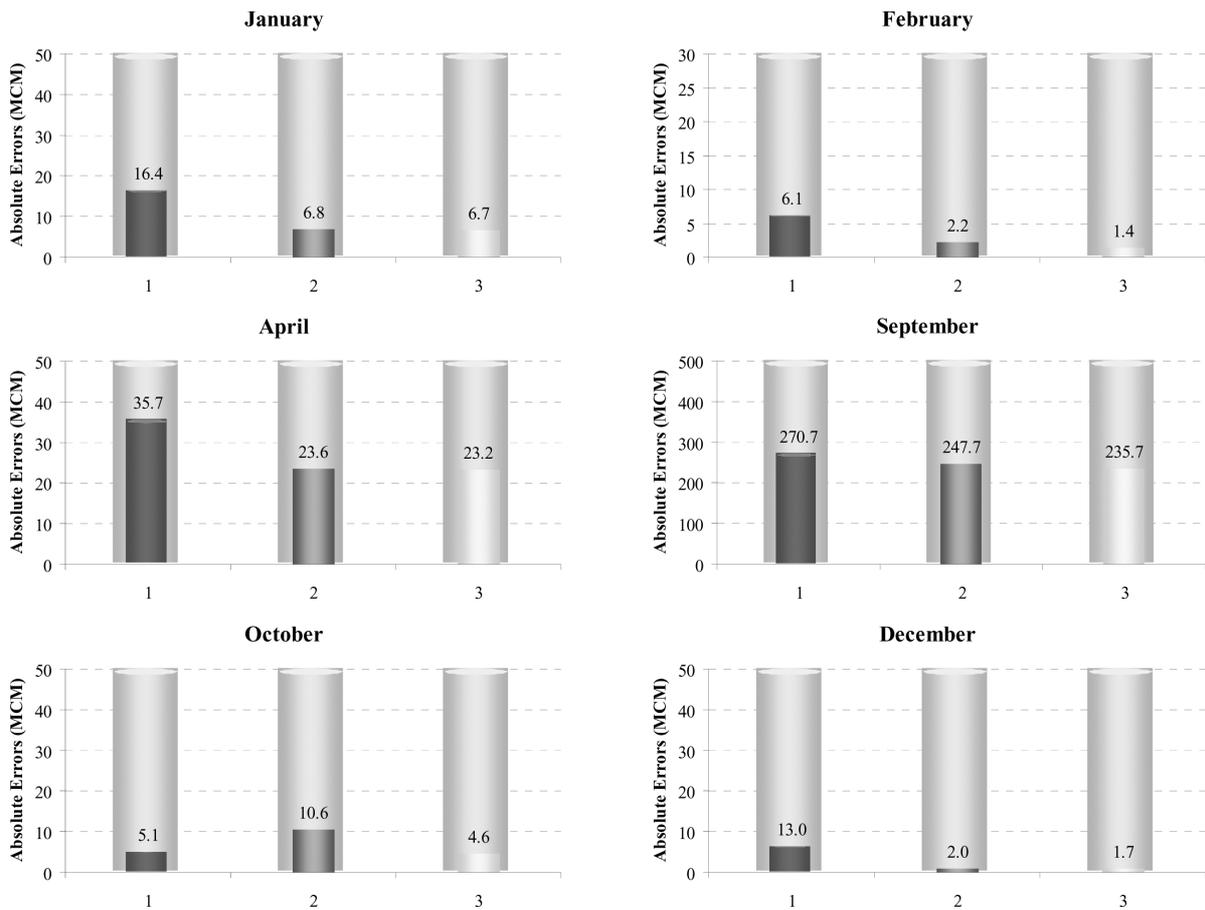


Fig. 5 Comparison of Monthly Runoffs absolute error (Unit: MCM)

IV. 결 론

본 연구에서는 ESP 기법을 중심으로 유출 예측의 적정성을 검토하였다. 과거 강우 시나리오 분석에 의한 장래 유출량 예측뿐만 아니라, 기상청에서 제공되는 정성적 기상예보와 연계한 ESP를 활용하여 용담유역을 대상으로 기법별의 비교 분석을 통해 유출예측의 개선효과를 평가하였다. 우선 SSARR모형을 기반으로 한 장기 유역유출모형을 용담유역에 구축하여 2001년~2006년을 대상으로 모형을 검증한 결과 연중 유출량을 양호하게 모의하는 것으로 분석되었다.

유역의 유출전망을 평가하기 위하여 과거의 전형적인 방법에 의한 평균유출량, ESP 기법, 그리고 기상전망을 고려한 ESP 기법을 적용하여 방법별 예측 결과를 비교 분석하였다. ESP 확률을 적용을 위하여 연도별 (1983년~2007년)로 유출모의 시나리오를 구축하고 월단위로 누가된 유출 총량을 이용하여 ESP 분석을 수행하였다. 전반적으로 월별 ESP 확률을 이수기·홍수기로 평균한 확률을 적용한 경우가 가장 양호한 적중률을 나타내었다.

예측 모의결과로써 과거 월평균 유출량으로 산정된 연간 절대오차 평균은 60.86 MCM으로 ESP 기법 (44.12 MCM)과 기상전망을 ESP 기법 (44.83 MCM)과 비교할 때 오차가 가장 큰 것으로 분석되었으며, 기상전망을 고려한 ESP 기법이 가장 양호한 것으로 분석되었다. 통상적인 과거 관측 월유출량 자료를 이용한 유출량 예측 기법에 비해 약 18.3% 정도 정확도가 개선된 것으로 나타났다. 홍수기 및 이수기의 경우 기상전망을 고려한 ESP 기법을 통한 유출예측은 통상적인 방법보다 각각 약 10.3%와 약 8%정도 적중률이 향상되었다.

따라서 본 결과로부터 ESP 기법을 통하여 유역의 월간 유출을 전망하는 것이 적정하다고 판단되며, 향후 유역의 확장 및 추가적인 수문분석에 의하여 ESP기법의 적용성을 확인하는 연구가 지속될 필요가 있다고 판단된다.

본 연구는 21세기 프론티어연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술 개발사업단의 연구비지원 (과제번호:1-6-3)에 의해 수행되었음

REFERENCES

1. Croley II, T. E., 1996. Mixing probability meteorology outlooks in operational hydrology. *Journal of Hydrologic Engineering*, ASCE 2(4): 161-168.
2. Croley II, T. E., 2001., Climate-biased storm-frequency estimation. *Journal of Hydrologic Engineering*, ASCE, 6(4): 275-283.
3. Croley II, T. E., 2003. Weighted-climate parametric hydrologic forecasting. *Journal of Hydrologic Engineering*, ASCE 8(4): 171-180.
4. Eum, H. I., Kim, Y. O., and Ko, I. H., 2006. Value of Ensemble Streamflow Forecasts for Reservoir Operations during the Drawdown Period. *Korea Water Resources Association* 39(3): 187-198 (in Korean).
5. Jeong D. I., and Kim Y. O., 2002. Forecasting Monthly Inflow to Chungju Dam Using Ensemble Streamflow Prediction. *Korean Society of Civil Engineers*, KSCE 22(3-B): 321-331 (in Korean).
6. Kim Y. O., and Jeong D. I., 2004. The 5-Year Ensemble Streamflow Prediction Studies in Korea. *Proceedings of the Korea Water Resources Association Conference*, KWRA 267-271 (in Korean).
7. Lee, S. J., Lee, B. S., Ryoo, K. S., and Hwang, M. H., 2006. Analysis of Stream Discharge Characteristic at Control Point for Runoff Model Application, *Korea Water Resources Association* 39(11): 905-914 (in Korean).
8. Shaake, J., and Larson, L., 1998. Ensemble streamflow prediction (ESP); Progress and research needs. *Reprints Special Symposium on Hydrology*, AMS, Boston, MA, USA.
9. Rockwood, D. M., 1968. Application of stream-flow synthesis and reservoir regulation-“SSARR”-Program to the lower Mekong river. *The Use of Analog and Digital Computer in Hydrology Symposium*, International Association of Scientific Hydrology, UNESCO 329-344.
10. Ryoo, K. S., Hwang, M. H., 2007. Optimal estimation of Water use in the large-scale basin., *Journal of the Korean society of Agricultural engineers* 49(3): 3-10 (in Korean).
11. USACE, 1991. SSARR User manual. North Pacific Div., Portland.
12. Meteorological information portal service system. <http://metsky.kma.go.kr/>