

## 추계학적 기법을 통한 공주시점 유출예측 연구

### Study of Stochastic Techniques for Runoff Forecasting Accuracy in Gongju basin

안정민\* · 허영택\*\* · 황만하\*\*\* · 천근호\*\*\*\*

Ahn, Jung Min · Hur, Young Teck · Hwang, Man Ha · Cheon, Geun Ho

#### Abstract

When execute runoff forecasting, can not remove perfectly uncertainty of forecasting results. But, reduce uncertainty by various techniques analysis. This study applied various forecasting techniques for runoff prediction's accuracy elevation in Gongju basin. statics techniques is ESP, Period Average & Moving average, Exponential Smoothing, Winters, Auto regressive moving average process. Authoritativeness estimation with results of runoff forecasting by each techniques used MAE (Mean Absolute Error), RMSE (Root Mean Squared Error), RRMSE (Relative Root Mean Squared Error), Mean Absolute Percentage Error (MAPE), TIC (Theil Inequality Coefficient). Result that use MAE, RMSE, RRMSE, MAPE, TIC and confirm improvement effect of runoff forecasting, ESP techniques than the others displayed the best result.

Keywords : ESP, Runoff forecast, ARMA, Time-series analysis

#### 요 지

유출예측량을 모의할 때 과거와 현재의 수문자료를 이용한다는 측면에서 미래 예측결과의 불확실성을 완전히 제거할 수는 없겠지만, 다양한 기법별 분석에 의하여 불확실성을 감소시킬 수 있다. 본 연구에서는 유출예측의 정확성 향상을 위해 다양한 유출예측 기법을 적용 및 평가하였으며 확률론적 예측을 가능하게 하는 예측기법인 ESP와 관측 시계열 자료를 이용한 통계기법으로 공주시점의 유출예측을 수행하였다. 각 기법에 따른 유출예측 결과의 신뢰성 평가는 MAE(Mean Absolute Error), RMSE(Root Mean Squared Error), RRMSE(Relative Root Mean Squared Error), Mean Absolute Percentage Error (MAPE), TIC(Theil Inequality Coefficient)를 이용하였다. ESP 확률을 이용하여 예측한 유출결과와 통계적 시계열 분석에 의해 예측된 유출결과를 MAE, RMSE, RRMSE, MAPE, TIC를 이용하여 비교·분석하였으며 유출예측의 개선효과를 확인 해본 결과, ESP 확률을 이용한 예측이 MAE(10.6), RMSE(15.14), RRMSE(0.244), MAPE(22.74%), TIC(0.13)으로 평가 되었으며 MAE(23.2), RMSE(37.13), RRMSE(0.596), MAPE(47.38%), TIC(0.30)으로 평가된 ARMA와 MAE(26.4), RMSE(34.44), RRMSE(0.563), MAPE(47.38%), TIC(0.25)으로 평가된 Winters 에 비해 신뢰성이 높게 나타났다.

핵심어 : ESP, 유출예측, ARMA, 시계열분석

#### 1. 서 론

전 세계적으로 가뭄과 홍수, 태풍으로 인한 혹독한 피해와 손실은 날로 강도 높게 빈번해 지고 있는 실정이며, 이로 인해 물 안보가 곧 국가 위기관리차원의 주요 이슈로 등장하게 되었다. 좁은 국토 내에서 많은 인구에 의한 적지 않은 물 수요로 압박 받고 있는 한국에서는 이미 새로운 수자원개발의 어려움과 공급의 증가, 수질관리에 소요되는 막대한 비용, 한정된 수량의 동일 수자원에 대한 지역간 경쟁 및 물 부족과 수질오염을 둘러싼 이해당사자간의 갈등과 대립 등이 고조되고 있는 상황이다.

유역의 수자원을 지속적으로 확보하고 관리하기 위해서는 기

본적으로 유역의 강우-유출 현상을 정확하게 분석하고 신뢰도 높은 유출예측 정보를 생산하는 모의기술이 필요하다. 일반적으로 유출예측량을 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 측정 자료의 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 사용되었으며 유역 물공급전망의 확률예보 등을 목적으로 활발하게 사용되고 있는 기법이다.

\*정회원 · 한국수자원공사 물관리센터 연구원 (E-mail : ajm1021@kwater.or.kr)

\*\*정회원 · 교신저자 · 한국수자원공사 물관리센터 선임연구원 (E-mail : korcivil@hanmail.net)

\*\*\*정회원 · 한국수자원공사 수자원연구원 수석연구원 (E-mail : hwangmh@kwater.or.kr)

\*\*\*\*정회원 · 한국수자원공사 물관리센터 과장 (E-mail : root1000@kwater.or.kr)

김영오(2001)는 물공급전망의 개선을 위해 공주지점에 앙상블 유출예측기법을 적용하였다. 정대일(2002a) 등은 가상의 기후정보를 이용한 기증값을 충주댐 유입량 시나리오에 적용하여 앙상블 유출예측을 실시하였다. 안정민 등(2008) 등은 금강유역에 ESP 기법을 적용하여 ESP확률을 개선하였고 기상전망 적응률 향상에 따른 유출예측의 개선효과를 가늠하였으며 정우창 등(2008)은 유역의 물공급 전망을 위한 일 단위 유출예측기법에 대한 적용성 평가하였다. Georgakakos and Krzysztofowicz(2001)은 ESP를 통한 다양한 장·단기, 연구사례를 편집하여 소개하였다. 관측된 시계열 자료를 통계적 분석기법을 통해 예측하는 모형은 다중회귀분석계열, 시계열분석계열과 수자원시스템을 하나의 계로 해석하여 유출량을 예측하는 ARMA(Johansson, 1993), Holt-Winters model(Holt, 1957; Winters, 1960), Moving Average, Average가 있다. 본 연구에서는 이러한 시대적 요구에 발맞추어 다양한 유출예측 기법을 공주지점에 적용 및 평가하였으며 특히, ESP를 이용한 유출예측은 과거 강우 시나리오 분석에 의한 장래 유출량 예측뿐만 아니라, 용도에 따라 정량적 통계적 분석기법에 근거하여 유출량을 예측할 수 있다. 또한, 관측 시계열 자료를 이용하여 통계적 기법에 의한 유출예측을 수행하였으며 각 기법에 따른 유출예측 결과를 MAE (Mean Absolute Error), RMSE (Root Mean Squared Error), RRMSE(Relative Root Mean Squared Error), Mean Absolute Percentage Error(MAPE), TIC(Theil Inequality Coefficient)를 이용해서 평가하였다.

## 2. 대상유역

본 연구의 대상유역은 신뢰성 높은 수문자료를 획득하기

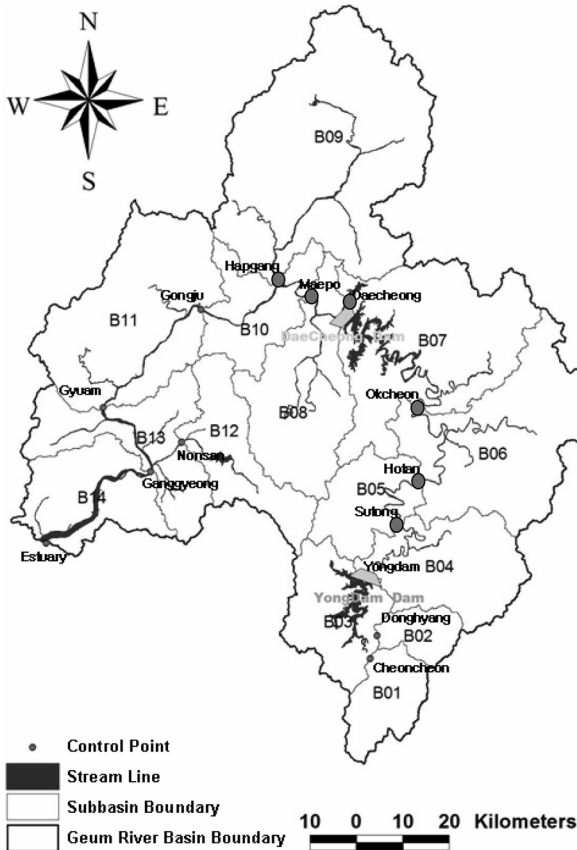


그림 1. 금강유역 소유역 분할도

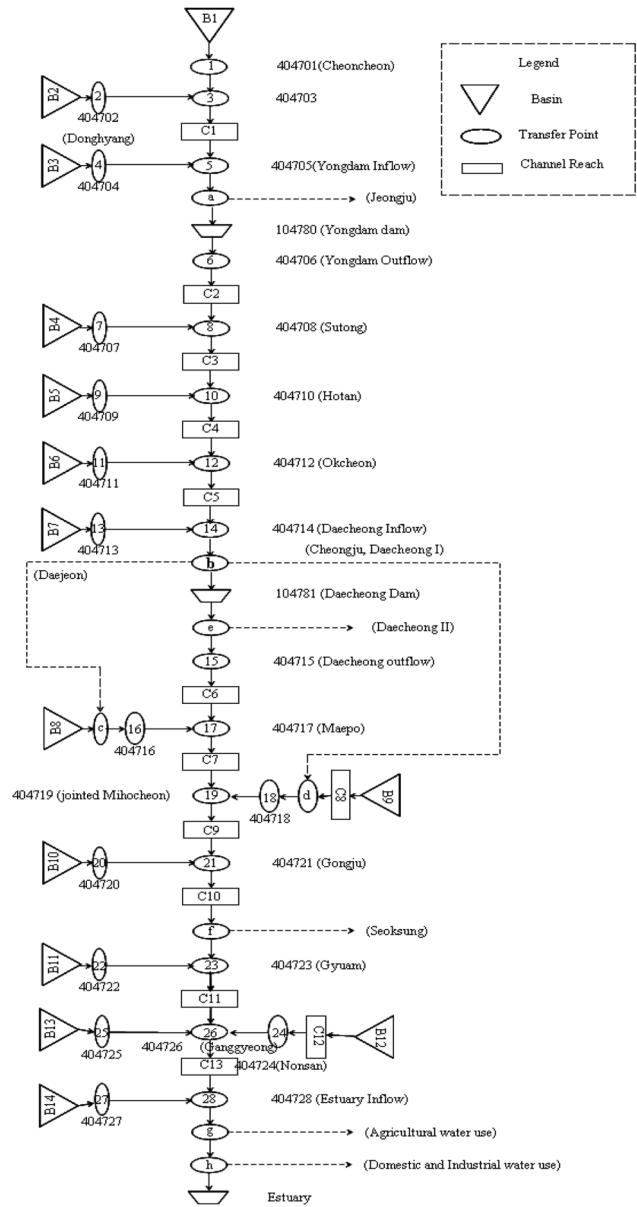


그림 2. 강우-유출 모형 모식도

위해 다년간 유역정밀조사와 현장조사를 실시한 바 있는 우리나라의 4대강유역 중 하나인 금강 수계 중·하류 유역을 대상으로 하였으며 주요지점은 공주지점으로 선정하였다. 유역내에는 다목적댐인 대청댐이 있고, 유출모의를 위해 총 7개의 소유역으로 구분하였으며, 소유역 분할도 및 유출모의 구성체계는 Fig. 1과 Fig. 2와 같다.

모형 적용을 위한 수문자료로 금강 유역내 7개 소유역에 대한 일 강우량, 관측유량, 생·공·농업용수 계획 이용량, 취수량, 댐 유입량, 댐 방류량 및 온도 등을 수집하였다(건설교통부 등, 1998, 2001) 수집된 관측자료 중 강우량, 관측유량 및 용수 이용량 자료에 대해서는 결측 및 이상치에 대한 검증 및 보정을 실시하였다. 본 연구에서 적용한 유출모의 검보정 기간은 1983년~2006년으로 총 24년 일 단위 수문자료이다.

## 3. 유출예측 기법

### 3.1 ESP 기법(Ensemble streamflow prediction)

ESP는 현재의 강설, 토양수분, 온도, 용수수요, 댐, 저수지,

표 1. ESP 확률 생성 단계

Step 1	Step 2	Step 3	Step 4
Past streamflow	Current basin condition	ESP scenario	ESP probabilic
1년간의 calibration을 모의하여 SSARR 모형의 초기 매개변수를 찾아 예측시 적용	생활, 공업, 농업, 취수 등의 용수 이용 및 온도 등의 현재 유역상태 조건을 적용	재현 가능한 강우사상을 모형에 적용하여 강우사상만큼의 유출시나리오를 생산	통계적 확률기법으로 분석하여 ESP 확률을 산정

표 2. ESP기법에 의해 예측된 유출결과와 관측 결과의 예

1 Month				2 Month				3 Month				4 Month			
ESP Forecast		Observation		ESP Forecast		Observation		ESP Forecast		Observation		ESP Forecast		Observation	
Representative	Probability	Representative	Probability	Representative	Probability	Representative	Probability	Representative	Probability	Representative	Probability	Representative	Probability	Representative	Probability
19.9	6	30	25	28.8	11.9	29.4	21	21.6	2.8	39.9	13	22	6.3	29.7	4
45.2	46	50.2	42	52.8	32.7	61.1	50	45.3	18.3	61.2	21	47.7	30.6	68.4	25
70.6	27	70.5	17	76.9	24.3	92.8	17	69	23.6	82.5	13	73.5	22.2	107	25
96	11	90.7	13	101	15.7	124.5	0	92.6	17.3	103.9	4	99.2	12.1	145.7	8
121.3	4	111	0	125.1	8.4	156.2	4	116.3	16.9	125.2	13	124.9	8.4	184.4	4
146.7	2	131.2	0	149.2	3.1	187.9	0	140	8.9	146.5	17	150.7	7.3	223.1	13
172.1	1	151.5	0	173.3	1	219.6	4	163.7	6.5	167.9	8	176.4	5.4	261.7	13
197.4	2	171.7	0	197.4	0.7	251.3	0	187.3	3	189.2	0	202.1	3.7	300.4	0
222.8	1	192	0	221.5	0.9	283	0	211	2.1	210.5	4	227.9	2.6	339.1	0
248.2	1	212.2	4	245.5	1.2	314.7	4	234.7	0.7	231.9	8	253.6	1.4	377.7	8

하천과 같은 유역의 전반적인 상태와 재현 가능한 과거의 강우를 결합함으로써 확률론적 예측을 가능하게 하는 예측 기법이다. 과거에 발생했던 기상학적 현상이 장래에 일어날 수 있는 현상들의 대표성을 갖는다고 가정하고 있으며 발생된 유량시나리오에 적절한 확률분포를 선택하면 이를 이용하여 확률예측이 가능하다. Table 1은 ESP 유출예측수행 방법을 각 단계별로 간략하게 설명한 것이며 Fig. 3은 ESP 기법에 관한 유출모의과정을 보여주고 있다. 확률론적 통계 분석은 수문사상의 발생순서에 관계하지 않고 초과(혹은 비초과)확률만 고려한 것으로 빈도해석 중 경험적인 빈도해석을 통해 생성된 전체 자료를 사용하여 빈도해석을 수행할 수 있다. ESP 기법을 통해 생성된 각 년별 결과자료에 대해 자료를 군집화 하지 않고 전체 자료를 누기확률밀도함수를 이용하여 유역의 유량예측 확률을 분류하였다. 여기서 누기확률이란 어떤 사상이 특정한 크기의 변량보다 작거나 같은 변수를 가질 확률을 의미하는 것으로 일정기간 동안 수집된 표본 집단에 대한 도수분포도로부터 추정할 수 있다. 하지만 도수분포도의 형상은 적용된 계급구간의 크기나 개수에 크게 영향을 받아 모집단과 다른 특성을 나타낼 수 있음이 잘 알려져 있다. 따라서 본 연구에서는 특정한 도수분포도의 작성 과정을 거치지 않고 월별 유출결과의 크기에 따른 순위(rank)를 자료의 개수로 나누어 누기확률을 직접 추정할 수 있도록 하였다(Haan, 2002). 또한 자료 중 가장 대표성을 갖는 값을 선정하기 위해 식 (1)에 의거하여 자료를 산출하였다.

ESP 유출 시나리오를 생성하기 위해 개념적 수문모형을 통해 1년간의 보정 기간을 거쳐, 모의하기 위한 유역의 초기 매개변수를 산정한 후 예측하고자 하는 전(前)년도 동(同)월의 유역 조건을 적용하였다. Fig. 4에 도시한바와 같이 같은 강우사상이라도 현재 유역상태에 따라서 유출결과는 달라진다. Table

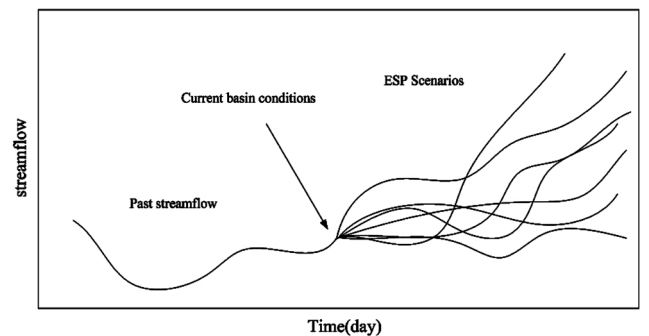


그림 3. ESP 유출 모의 절차

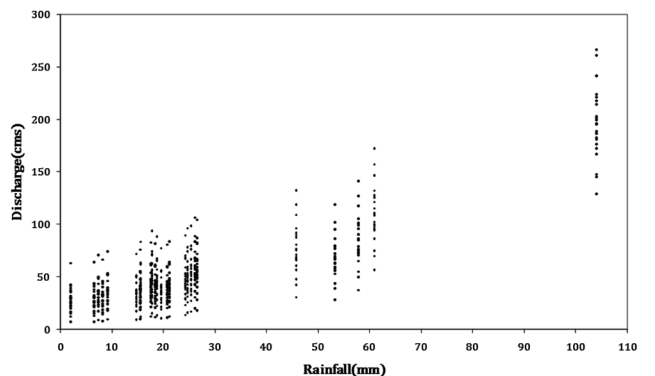


그림 4. 관측된 강우에 대한 유출 시나리오 결과(2007.01)

2는 1월부터 4월까지 ESP확률분석 결과의 예로서 다음과 같이 생성된 ESP확률분포를 이용하여 유출예측을 수행하였다.

$$Me = L + \left(\frac{n}{2} - F_{-1}\right) \frac{c}{f} \quad (1)$$

여기서, L : 중앙값이 속한 계급의 하한

n : 자료의 개수 : 중앙값이 속한 계급 이전까지의 누적도수

c : 계급간격

f : 중앙값이 속한 계급의 도수

### 3.2 과거 관측 데이터(Historical measured data)

#### 3.2.1 기간평균 및 이동 평균(Period Average & Moving average)

과거 관측된 유출량을 분석하여 예측하는 통상적인 기법으로, 각 지점별로 관측된 유출량 자료를 이용하여 월 유출량을 평균한 값으로 유출예측 모의를 수행하였으며 시계열자료의 모형은 시간이 흐름에 따라 변화할 수 있다. 증가 추세를 보이던 자료가 어떤 시점부터 감소 추세로 바뀔 수도 있고, 또는 일정한 평균을 유지하던 자료가 얼마간 점프하여 새로운 평균을 유지할 수도 있다. 그러므로 과거의 자료와 최근의 자료를 같은 비중으로 취급해서는 안된다. 변화하는 새로운 추세를 시계열 모형에 포함시키며, 과거 일정기간동안의 대략적인 추세도 반영하기 위하여 개발된 예측법으로 이동평균법과 지수평활법 등이 있다. 단순히 이동평균법(simple moving average method)은 과거시점의 일정 기간(m)의 평균으로 다음 시점을 예측하는 방법이다. 이동평균값은 일정 기간의 평균이므로 이동평균곡선이 급격한 변화를 보이지는 않지만 m의 크기에 따라 완만한 변동추이를 갖기도 하고, 자료의 변화에 민감하게 반응하는 추세를 보일 수도 있다. 본 연구에서는 다양한 경우의 수에 대해 크기를 변화시키면서 반복적인 수행을 거쳐 시계열의 전체적인 변화와 흐름을 잘 표현하는 값을 선정하고 시계열의 단기적인 추세와 장기적인 추세를 이동평균곡선으로 파악하였다.

#### 3.2.2 지수평활(Exponential Smoothing, Winters)

관측값 전체에 동일한 가중값을 주는 표본평균 대신, 가장 최근의 자료에 큰 가중값을 주고 관측된 시간이 멀어질수록 가중값의 크기를 지수적으로 줄여나가는 가중평균방법을 지수평활법이라고 한다. 이동평균과는 달리 전체 자료를 이용하면서도 지역적인 변동을 제거하여 장기적인 추세를 쉽게 파악할 수 있도록 해주는 장점이 있다. 지수평활법은 계산이 쉽다는 점과 필요정보의 양이 최소화 된다는 장점을 지니고 있으나 근본적으로 평균이 변화하는 경우에는 이런 간단함이 단점이 된다. 평균이 안정적이라고 가정할 다른 방법과 마찬가지로 이 방법도 근본적인 평균의 변화를 일정한 시간 간격을 두고 반영한다. 본 연구에서는 시계열자료가 계절성

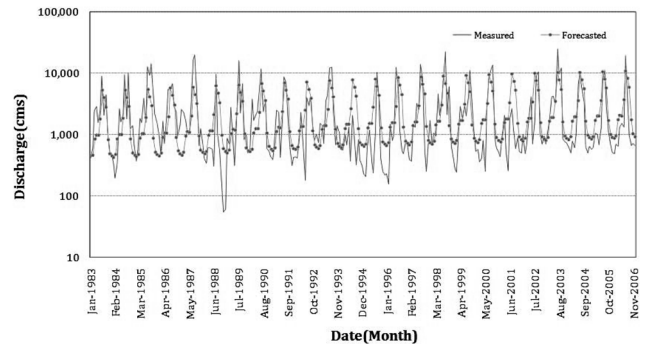


그림 5. 지수평활 기법(Winters)의 결과

을 가지고 있는 경우에 적용하는 지수평활법인 Winters를 이용해서 유출예측을 수행하였다. Winters 지수평활법은 시계열의 산포가 변하지 않는 경우에 사용되는 기법모형과 시계열의 산포가 시간이 흐름에 따라 증가하는 경우에 사용되는 승법모형이 있다. Fig. 5와 Table 3에 제시한 바와 같이 Winters의 승법적(multiplicative) 계절적 추세항(세 개의 파라미터)을 사용하여 예측하였으며 수준, 추세 및 계절 성분에 대한 동적 추정치를 계산하였다.

#### 3.2.3 AutoRegressive Moving Average process(ARMA)

유출량 예측에 사용되는 단일 시계열 모형으로는 확정적 모형인 지수평활법(exponential smoothing), 확률적 모형인 Box-Jenkins의 시계열분석법, 스펙트럴분석법(spectral analysis) 등이 있다. 단일시계열모형이란 어떤 변수가 자기의 과거와 통계적으로 어떠한 관계에 있는 지를 수식으로 표시한 것이며 T개의 관측치(시계열자료)  $y_1, \dots, y_T$ 는 확률변수  $Y_1, \dots, Y_T$ 의 실현된 값이다. 그리고 확률변수  $Y_1, \dots, Y_T$ 는 무한계열의 일부 분으로 볼 수 있는데 이 경우 무한한 계열을 확률과정이라고 한다.  $e_1, \dots, e_T$ 이 있을 경우 다음이 성립하는 확률과정을 백색잡음과정이라 하며 식 (2)과 같고 식 (3)는 자기회귀과정, 식 (4)은 임의보행과정, 식 (5)는 이동평균과정, 식 (6)는 자기회귀이동평균과정(ARMA)이다. 일반적인 시계열 자료에는 장기간에 걸친 변화추이를 설명하는 경향, 주기적 성분, 상호 독립적인 무작위 변동성분등이 혼재하며, 시계열분석모형은 3가지 성분중 경향과 주기적 성분을 결정론적 인자로 취급하고 나머지 자료는 정상시계열로 구성한다는 가정에서 출발한다(Box와 Jenkins, 1976; Kottogoda, 1980).

표 3. 지수평활(winters)기법에 의해 예측된 계산결과(unit : cms)

Date	Measured	Level	Trend	Season	Forecasted	Error
Jan-1983	419.50	1605.63	2.75	0.26	-	-
Feb-1983	612.50	1608.40	2.77	0.29	463.67	148.83
Mar-1983	2421.60	1611.29	2.89	0.53	848.82	1572.78
Apr-1983	2895.90	1614.30	3.02	0.62	993.87	1902.03
.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.
Oct-2006	668.00	3390.87	5.17	0.52	1747.39	-1079.39
Nov-2006	714.00	3395.99	5.12	0.30	1035.68	-321.68
Dec-2006	659.40	3401.08	5.08	0.28	936.20	-276.80
Jan-2007	-	-	-	-	890.07	-

$$E(e_t) = 0 \text{ for } \forall t \text{ (zero mean)} \quad (2)$$

$$E(e_t e_s) = 0 \text{ for } \forall t \neq s \text{ (uncorrelated)}$$

$$E(e_t^2) = \dots E(e_1^2) = \sigma_e^2 < \infty$$

$$y_t = \phi y_{t-1} + e_t \text{ (AR(1))} \quad (3)$$

$$y_t = \phi_1 y_{t-1} + \dots + \phi_p y_{t-p} + e_t \text{ (AR(p))} \quad (4)$$

$$y_t = y_{t-1} + e_t \quad (4)$$

$$y_t = e_t - \theta e_{t-1} \text{ (MA(1))} \quad (5)$$

$$y_t = e_t - \theta_1 e_{t-1} - \dots - \theta_q e_{t-q} \text{ (MA(q))} \quad (6)$$

$$y_t - \phi_1 y_{t-1} + \dots - \phi_p y_{t-p} = e_t + \theta_1 e_{t-1} + \dots + \theta_q e_{t-q} \quad (6)$$

예측 모형들은 관련 시계열 변수가 정상적이라는 전제하에 사용될 수 있으며 대부분의 시계열 변수는 비정상적이며, 이를 예측의 목적으로 사용하기 위해서는 모형의 통계적 특성(특히 평균, 분산)이 시간이 흐름에도 불구하고 일정해야 한다. 실제 자료에 대한 통계치를 구한 결과 대부분의 월 자료가 정규분포를 따르지 않으므로 정규화 및 표준화 과정이 필요하다. 본 연구에서는 식 (7)의 Box-Cox 변환공식(Box and Cox, 1964)을 이용하여 자료를 정규화하였다.

$$z_t^{(\lambda)} = \begin{cases} \lambda^{-1} [(z_t + c)^\lambda - 1] & \lambda \neq 0 \\ \ln(z_t + c) & \lambda = 0 \end{cases} \quad (7)$$

여기서,  $\lambda$  : Box-Cox 매개변수,  $c$  : 위치 매개변수.

ARMA 모형의 목적은 관측된 시계열을 발생시킨 것으로 해석될 수 있는 통계적 모형을 확인하고 추정하는 데 있으며 모형의 설정순서는 Fig. 6과 같으며 주요확률과정의 자기상관함수(autocorrelation function; ACF)와 편자기상관함수(partial autocorrelation function; PACF)를 Fig. 7에 도시하

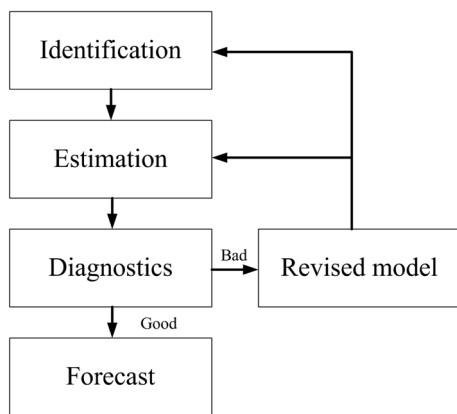


그림 6. ARMA기법의 수행절차

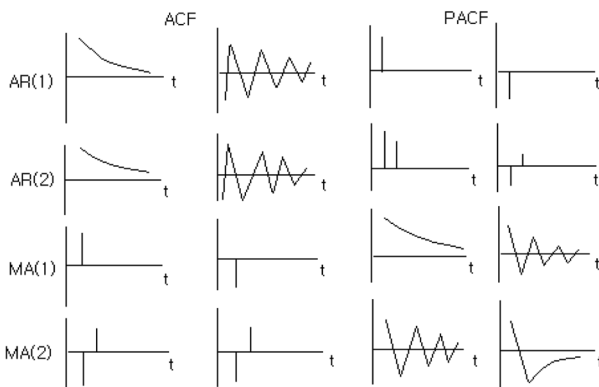


그림 7. 주요 확률 단계의 ACF와 PACF

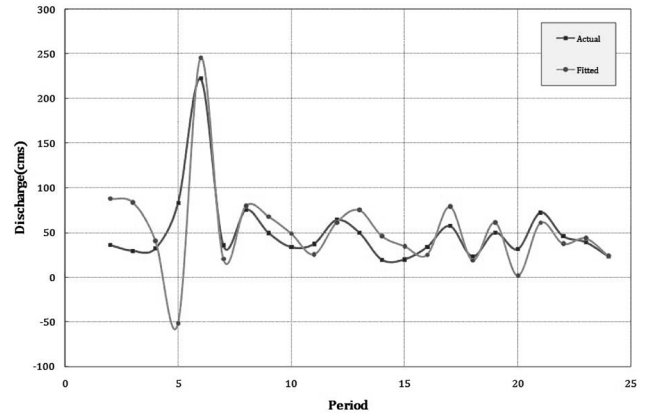


그림 8. ARMA모형 결과와 관측 값의 비교

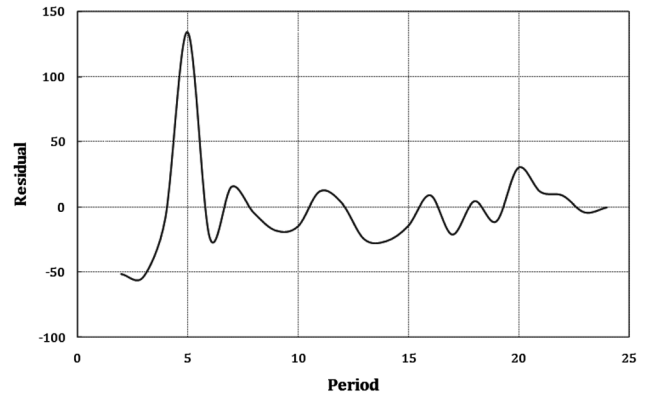


그림 9. 잔차

였다. ACF는 관측치들 사이에 어느 정도의 상호의존성이 있는지를 측정하며 안정시계열의 여부와 모형의 식별에 유용한 판단 기준이 되며 PACF는 특정의 두 관측치,  $y_t$ 와  $y_{t-k}$ 가 얼마나 관련이 있는지를 나타내는 척도로 회귀계수가 편자기상관함수가 된다. 이를 그래프로 나타낸 것을 상관도(correlogram)라 하며 이를 이용하여 시계열의 안정성여부를 판단할 수 있다. 즉, 시계열이 안정적이면( $\phi \rightarrow 0$ ) ACF는 급격하게 0을 향해 감소하고 시계열이 불안정적이면( $\phi \rightarrow 1$ ) ACF는 0을 향해 천천히 감소한다.

본 연구에서 ARMA 모형을 이용하여 예측한 유출결과의 예는 Fig. 8와 9에 도시하였으며 각 소유역의 관측 값의 경향을 잘 표현하였으며 선행시간에서 집중호우기를 제외하면 예측의 신뢰성이 높은 것으로 나타났다.

#### 4. 검토 및 고찰

본 연구에서는 개념적 수문모형을 이용하여 유출예측을 수행하여 ESP 유출예측을 수행하였으며, 관측된 시계열 유출 자료를 활용하여 다양한 통계적 유출예측 기법을 적용하였다. 특히, ESP를 이용한 유출예측은 과거 강우 시나리오 분석에 의한 장래 유출량 예측뿐만 아니라, 용도에 따라 정량적 통계적 분석기법에 근거하여 유출량을 예측할 수 있었고 ESP 유출예측의 정확성을 평가하기 위해 관측 시계열 자료를 이용하여 통계적 기법으로 유출예측을 수행하였다. 보통 MAE나 RMSE로 추정할 경우 잘못된 통계적 추론을 가져올 수 있기 때문에 기법에 따른 유출예측 기법의 적용성을 검토하기 위해 식 (8)~(10)에 제시한 평가방법을 이용하였다.

표 4. 각 기법에 의해 예측된 유출결과(unit : MCM)

월	관측값	ESP	ARMA	Winter	단순평균	이동평균
1	24.91	45.23	25.61	52.42	49.88	25.15
2	49.58	52.85	43.25	30.04	65.72	37.36
3	80.93	68.98	68.50	76.30	109.84	52.12
4	81.98	47.75	68.35	96.52	138.03	78.86
5	51.94	58.12	58.21	88.31	139.92	73.06
6	94.50	95.46	187.06	178.31	245.12	92.92
7	384.41	544.84	696.54	557.45	777.78	1141.75
8	518.89	288.13	513.15	328.72	581.93	483.77
9	1180.62	200.86	200.45	261.27	400.44	102.83
10	86.99	87.36	30.21	109.52	106.75	50.02
11	37.76	54.60	29.31	56.80	62.57	34.63
12	50.96	49.96	39.73	41.73	55.06	30.99

표 5. 통계기법으로 분석한 각 유출예측 기법의 결과

기법	ESP	ARMA	Winters	단순평균	이동평균
MAE	10.6	23.2	26.4	45.9	42.8
RMSE	15.14	37.13	34.44	63.52	63.44
RRMSE	0.244	0.596	0.563	1.340	0.587
MAPE	22.74%	29.69%	47.38%	73.57%	66.85%
TIC	0.13	0.30	0.25	0.39	0.41

식 (8)은 차례대로 MAE(Mean Absolute Error), RMSE (Root Mean Squared Error), RRMSE(Relative Root Mean Squared Error), 식 (9)는 Mean Absolute Percentage Error (MAPE), 식(10)은 TIC(Theil Inequality Coefficient)이다.

$$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |(F_i - Q_i)|; \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (F_i - Q_i)^2}; RRMSE = \frac{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (F_i - Q_i)^2}}{Q_m} \quad (8)$$

여기서,  $Q_m$ 은 평균관측유량.

$$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{(F_i - Q_i)}{Q_i} \right| \quad (9)$$

$$\frac{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (F_i - Q_i)^2}}{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n F_i^2 + \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Q_i^2}} \quad (10)$$

MAE와 RMSE는 해당 시리즈의 단위에 의존하기 때문에 같은 시리즈에 대한 여러 모형의 예측력에 대한 평가를 비교할 때 사용하고 RMSE, MAPE, TIC는 단위와 무관한 값이며 0 일 때 완벽한 예측을 의미한다. 대청 지점의 모의 유출량은 용담댐 지점의 방류량을 포함하지 않는 순물소모량을 반영한 유량으로 하였으며 여기서 유량은 순수한 강우에 의해 생성된 유량에 생활·공업·농업 용수를 포함한 유량이다. Table 4는 2007년 1년간 유출예측 결과를 표로 도시한 것이며 Table 5는 유출예측 신뢰성을 검증하기 위해 평가된 결과이다. 제한된 수자원 부존량을 효율적으로 사용

하고 각 댐의 저류량, 수요에 대한 용수공급량 및 하천유지 용수를 최대화하기 위한 이수기적 측면에서 평가하기 위해 홍수기인 7, 8 9월은 배제하였다. 유출예측에 있어 가장 민감도가 큰 강우사상에 대한 통계분석을 실시하여 상황별 선택적으로 강우사상을 적용할 수 있는 ESP 기법이 유출결과가 통계적 시계열분석을 통해 산정된 유출결과보다 신뢰성이 높은 것으로 나타났다. 통상적으로 이용되는 average 및 moving average 기법은 시계열의 전체적인 변화와 흐름을 잘 표현하는 값을 찾아 유출예측을 수행하였지만 전반적으로 유출예측 결과 값이 부정확 하였으며 ARMA와 Winter는 대상 유역의 관측 값과 예측 값의 경향을 잘 표현하였다. ARMA 모형은 추가적으로 유출에 영향을 미치는 강우, 기온, 선행토양함수, 각종 기후자료 등의 외래유입성분에 의한 인과관계를 고려할 수 있는 전이함수계(Transger Function)가 고려되지 못했기 때문에 차후 자료 구축면에서 유리하고 유출량에 큰 영향을 미치는 전이함수계를 포함시켜 모의하여 예측치들의 시간단계별 결과의 신뢰성을 향상시켜야 할 것이다. 또한 신뢰도가 향상되고 보다 긴 기간 동안 관측된 자료를 확보하여 비교·분석할 기초 수문자료를 확충한다면 유출예측을 수행함에 있어 신뢰성 높은 분석을 수행할 수 있을 것으로 판단된다.

### 5. 결 론

유역의 수자원을 지속적으로 확보하고 관리하기 위해 강우-유출 현상을 정확하게 분석하고 신뢰도 높은 유출예측 정보를 생산하는 모의기술을 연구하였다. 다년간 유역정밀조사와 현장 조사를 실시한 바 있는 대청댐 유역을 대상으로 ESP, ARMA,

Exponential Smoothing(Winters), Moving Average, Average 등의 유출예측 기법을 적용 및 평가하였다.

1. 수문자료로 금강 유역내 7개 소유역에 대한 일 강우량, 관측유량, 생·공·농업용수 계획 이용량, 취수량, 댐 유입량, 댐 방류량 및 온도 등을 수집하였으며 수집된 관측자료 중 강우량, 관측유량 및 용수 이용량 자료에 대해서는 결측 및 이상치에 대한 검증 및 보정을 실시하였다.
2. 현재의 강설, 토양수분, 온도, 용수수요, 댐, 저수지, 하천과 같은 유역의 전반적인 상태와 재현 가능한 과거의 강우를 결합함으로써 확률론적 예측을 가능하게 하는 예측 기법인 ESP 기법을 이용하여 생성된 유출시나리오에 경험적인 빈도해석을 수행하여 각 년별 결과자료에 대해 자료를 균집화 하지 않고 전체 자료를 누가확률밀도함수를 이용하여 유역의 유량예측 확률을 분류하였다.
3. 다년간 관측된 시계열 수문 자료를 활용하여 통계적 기법을 통해 유출예측을 수행하였으며 통계적 기법으로는 ARMA, Exponential Smoothing(Winters), Moving Average, Average을 이용하였다. 통계적 기법 중 계절적 추세 매개변수를 반영하는 ARMA와 Exponential Smoothing(Winters) 기법으로 유출예측을 수행한 것이 Moving Average와 Average 보다 유역의 관측 값과 예측 값의 경향을 잘 표현하였다.
4. ESP 확률을 이용하여 예측한 유출결과와 통계적 시계열 분석에 의해 예측된 유출결과를 MAE, RMSE, RRMSE, MAPE, TIC를 이용하여 비교·분석하였으며 유출예측의 개선효과를 확인해본 결과, ESP 확률을 이용한 예측이 MAE(10.6), RMSE(15.14), RRMSE(0.244), MAPE(22.74%), TIC(0.13)으로 평가되었으며 MAE(23.2), RMSE(37.13), RRMSE(0.596), MAPE(26.69%), TIC(0.30)으로 평가된 ARMA와 MAE(26.4), RMSE(34.44), RRMSE(0.563), MAPE(47.38%), TIC(0.25)으로 평가된 Winters 에 비해 신뢰성이 높게 나타났다.
5. 유출예측에 있어 가장 민감도가 큰 강우사상에 대한 통계 분석을 실시하여 상황별로 강우사상을 적용할 수 있는 시스템을 구축하고 관측유량의 적중률이 향상된다면 유출예측의 불확실성을 크게 감소할 수 있을 것으로 판단되며 향후 ARMA의 경우 전이함수계를 포함하고 정확성이 향

상된 기초 수문자료를 확충하여 수행한다면 신뢰성이 더욱 향상될 것으로 사료된다.

## 참고문헌

- 건설교통부(1998) **기존댐 용수공급 능력조사**(금강수계-부록). pp. 662-790.
- 건설교통부(2001) **수자원 장기종합계획 - Water Vision 2020**. pp. 57-348.
- 김영오, 정대일, 김형섭, 이길성(2001) 앙상블 예측을 통한 물공급전망 개선방안. **한국수자원학회 학술발표회논문집**, 한국수자원학회, pp. 304-308.
- 안정민, 정우창, 황만하(2008) 유출예측을 위한 금강유역의 ESP 확률 개선. **한국수자원학회 학술발표대회논문집**, 한국수자원학회, pp. 704-708.
- 안정민, 정우창, 이상진, 신용노(2008) 정성적 기상예보와 ESP 기법의 결합을 통한 유출예측 적용. **대한토목학회 학술대회 논문집**, 대한토목학회, pp. 2724-2727.
- 정대일, 김영오(2002) 앙상블 예측을 이용한 충주댐의 월 유입량 예측. **대한토목학회논문집**, 대한토목학회, 제22권 제3B호, pp. 321-331.
- 정우창, 황만하, 정구열(2008) 유역의 물공급 전망을 위한 월단위 유출예측기법에 대한 적용성 평가. **한국수자원학회 학술발표회논문집**, 한국수자원학회, pp. 1160-1164.
- Box, G.E.P. and Cox, D.R. (1964) An analysis of transformations. *Journal of the Royal Statistical Society, Series B*, 26, pp. 211-252.
- Box, G.E.P. and Jenkins, G.M. (1976) *Time series analysis-forecasting and control*. Holden Day, pp. 174-175.
- Holt, C.C. (1957) *Forecasting Seasonals and Trends by Exponentially Weighted Moving Averages*, Pittsburgh. Penn.: Carnegie Institute of Technology.
- Haan, C.T. (2002) *Statistical methods in hydrology*. Iowa State Press, pp. 30-31.
- Johansson, R. (1993) *System modeling and identification*. Prentice Hall International.
- Konstantine P. Georgakakos, Roman Krzysztofowicz. (2001) Probabilistic and ensemble forecasting. *Journal of Hydrology*, Vol. 249, Issues 1-4, 1 August 2001.
- Kottegoda, N.T. (1980) *Stochastic water resources technology*. The Macmillan press LTD.
- Winters, P.R. (1960) Forecasting sales by exponentially weighted moving averages. *Management Science*, Vol. 6, pp. 324-342.

(접수일: 2010.8.5/심사일: 2010.10.5/심사완료일: 2010.10.14)