

## 추계학적 모의발생기법을 이용한 월 유출 예측

### The Forecasting of Monthly Runoff using Stochastic Simulation Technique

안 상 진\* / 이 재 경\*\*

Ahn, Sang Jin / Lee, Jae Kyung

#### Abstract

The purpose of this study is to estimate the stochastic monthly runoff model for the Kunwi south station of Wi-stream basin in Nakdong river system. This model was based on the theory of Box-Jenkins multiplicative ARIMA and the state-space model to simulate changes of monthly runoff. The forecasting monthly runoff from the pair of estimated effective rainfall and observed value of runoff in the uniform interval was given less standard error than the analysis only by runoff, so this study was more rational forecasting by the use of effective rainfall and runoff. This paper analyzed the records of monthly runoff and effective rainfall, and applied the multiplicative ARIMA model and state-space model. For the P value of VAR(P) model to establish state-space theory, it used AIC value by lag time and VARMA model were established that it was findings to the constituent unit of state-space model using canonical correction coefficients. Therefore this paper confirms that state space model is very significant related with optimization factors of VARMA model.

**keywords:** runoff, multiplicative ARIMA model, state-space model, AIC, VARMA

#### 요 지

본 연구는 낙동강수계인 위천 유역의 최하류 군위 지점에 대해 추계학적 모형인 Box-Jenkins의 승법 ARIMA 모형과 상태공간모형을 이론적 토대로 하여 계절별 월 유출량을 모의하였다. 다변량 시계열 모형인 상태공간모형의 입력변수로는 월 유효우량과 균등기간의 관측된 월 유출량을 사용하여 군위지점의 월 유출량을 예측한 결과 단변량 시계열 모형인 승법 ARIMA모형에 비하여 표준오차가 작게 나타났으므로, 유효우량과 유출량을 함께 이용하는 상태공간 모형을 이용하여 합리적인 유출량 예측이 가능하도록 하였다. 본 논문은 월 유출량 기록치 및 유효우량 자료를 분석하여 승법 ARIMA 모형 및 상태공간 모형에 적용하였으며, 상태공간 모형의 이론을 적용하여 VAR(P)의 P값을 구하기 위해 시차에 의한 AIC 값을 이용하였다. VARMA 모형은 정준상관계수를 이용한 상태공간 모형을 구하여 구축하였다. 따라서, 본 논문에서는 구축된 상태공간 모형을 사용하여 위천 유역의 군위 지점에서 장·단기 유출량을 예측하여 수자원의 장·단기전략 수립에 도움을 주기 위함이다.

**핵심용어 :** 유출, 다변량 ARIMA 모형, 상태공간모형, AIC 값, VARMA

\* 충북대학교 토목공학과 교수

Professor., Dept. of Civil Engineering, Chungbuk National University, Cheongju, Chungbuk 361 763, Korea  
(hydrosys@trut.chungbuk.ac.kr)

\*\* 대원과학대학 토목과 조교수

Assistant Professor., Dept. of civil Engineering, Dae Won Science College, Chei cheon, Chungbuk 390 230, Korea

## 1. 서 론

인간의 욕구 증대와 문명의 발달에 따른 인구의 도시 집중 현상과 산업 및 공업화에 따른 공업용수와 생활용수 수요는 급격히 증가하고 있으며, 그로 인해 수자원의 개발 및 이용은 중요한 의미를 지니게 되었다. 수자원의 효과적 이용과 관리를 위한 수자원의 장·단기 전략 수립을 위해서는 과학적인 기법에 의한 단기 및 장기 유출량 예측이 선행되어야 한다. 그러나 한정된 기간의 짧은 유출량 기록을 갖는 유역에서는 시스템의 가동예측이나 시스템 조작 기준의 설정 등을 정확하게 할 수 없으므로 가능한 짧은 강우기록이나 유출자료의 통계적 특성을 유지시켜 장기간의 유출량 자료를 얻을 수 있는 추계학적 모의 발생기법이 요구되고 있다. 1970년 Box와 Jinkins는<sup>5)</sup> 인과관계의 입출력 시스템에 대한 동적거동을 전이함수모형과 이모형에 잡음모형을 결합시킨 전이함수 잡음모형을 개발하였고, 또한 추계학적 입출력 시계열 모형들은 수학이나 양자물리학에서의 연산자 이론에 근거한 상태공간 개념을 표현되어 제어공학에서 광범위하게 연구되어 왔다. 1995년 박상우는<sup>1)</sup> 월 유출량계열의 확장과 예측을 위한 추계학적 모형을 연구하였으며, 이 연구는 수문 기상자료를 사용하여 월 유출량자료를 확장하고 추계학적 시스템 모형이다.

대부분 시계열 모형은 단일변수에 대한 그 자신의 관측값으로 이루어진 시계열을 모형화 하여 분석한다. 그러나 본 논문에서는 한 변수가 그 자신의 관측값 뿐만 아니라, 다른 변수에 영향을 미치는 관측값 즉, 두 개의 변수에 의하여 이루어진 두 개의 시계열을 결합한 상태공간 모형에 대하여 고찰 하고자 한다.

따라서 본 연구에서는 하천유량에 지대한 영향을 미치는 유효우량과 유량자료를 사용하여 낙동강유역의 중·하류부에 위치한 위천유역을 하나의 System으로 가정하여 상태공간모형의 이론 및 모형화 방법, 예측 등을 분석 적용함으로써 실제 하천유역에서 장·단기 유출을 최적예측 할 수 있는 방법을 연구하는데 그 목적이 있다.

## 2. 모형의 이론적 배경

### 2.1 승법 ARIMA모형

승법 ARIMA모형(류병로, 1997; 정은희, 1993)<sup>1,2)</sup>은 1차, 2차 혹은 일반적으로 d차로 표현되는 단순

ARIMA(p,d,q)모형(비계절성 ARIMA모형)과 주기가 w인 계절계차를 이용한 주기성 ARIMA(P,D,Q)모형(계절성 ARIMA모형)의 결합으로 표현될 수 있다. 주기가 w인 D차 differencing이 고려된 ARMA(P,Q)모형인 ARIMA(P,D,Q)모형은 식 (1)과 같다<sup>1)</sup>.

$$\begin{aligned} & (1 - \Phi_1 B^w - \Phi_2 B^{2w} - \dots - \Phi_p B^{pw})(1 - B^w)^d Y_t \\ & = (1 - \Theta_1 B^w - \Theta_2 B^{2w} - \dots - \Theta_q B^{qw})\alpha_t \end{aligned} \quad (1)$$

여기서, B는 후향연산자(Backward Operator)로서  $BY_t = Y_{t-1}$ ,  $B^w Y_t = Y_{t-w}$ ,  $B^{pw} Y_t = Y_{t-pw}$  등을 표시하며,  $(1 - \Phi_1 B^w - \Phi_2 B^{2w} - \dots - \Phi_p B^{pw}) = \Phi(B^w)$  와  $(1 - \Theta_1 B^w - \Theta_2 B^{2w} - \dots - \Theta_q B^{qw}) = \Theta(B^w)$  는 각각 계절 AR 및 MA 연산자이다. 잔차  $\alpha_t$ 에 적용되는 ARIMA(p,d,q)모형( $\alpha_t$  계열에 d차 차분이 적용된 ARMA(p,q)모형)은 식 (2)와 같다.

$$\begin{aligned} & (1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2 - \dots - \phi_p B^p)(1 - B)^d Y_t \\ & = (1 - \theta_1 B - \theta_2 B^2 - \dots - \theta_q B^q)\alpha_t \end{aligned} \quad (2)$$

여기서, 등식 좌우변의 팔호 속의 표현은 각각  $\phi$ (B) 및  $\theta(B)$ 로 표시되고 AR 및 MA 모수이며,  $\alpha_t$ 는 독립변수이다. 일반적인 다차항 ARIMA(p,d,q) × (P,D,Q)W모형은 식 (2)의  $\alpha_t$ 를 식 (1)에 대입하여 얻을 수 있으며 일반식으로 표시하면 식 (3)과 같다.

$$\Phi(B^w)\phi(B)(1 - B^w)^D(1 - B)^d X_t = \Theta(B^w)\theta(B)\alpha_t \quad (3)$$

### 2.2 상태공간모형

상태공간모형(state-space model)은 Kalman (1960), Kalman & Buch(1961)에 의해 처음으로 소개되었고 칼만필터링(Kalman filtering)으로도 알려졌다. 현대 제어이론의 기본적인 개념의 하나인 상태공간모형은 경제학, 의학, 항공학분야에서도 널리 적용되는 예측모형으로 단변량 시계열과 다변량 시계열 모두에 사용된다. 시스템이 선형이고 시간에 불변일 때, 이 시스템은 다음과 같은 상태방정식과 출력방정식으로 이루어진 상태공간모형으로 표현할 수 있다. 즉, 정상적 d변량 시계열  $\{y_t\}$  가 VARMA 과정이면 식 (4)와 같은

상태공간모형으로 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} Z_{t+1} &= Fz_t + GX_{t+1} \\ Y_t &= HX_t + \xi_t \end{aligned} \quad (4)$$

여기서,  $z_t$ 는  $k \times 1$ 인 상태벡터,  $F$ 는  $k \times k$ 인 변환 행렬,  $G$ 는  $k \times d$ 인 입력행렬,  $X_t$ 는  $n \times 1$ 인 시스템의 입력벡터,  $y_t$ 는  $d \times 1$ 인 출력벡터,  $H$ 는  $d \times k$ 인 출력 행렬,  $\xi_t$ 는  $d \times 1$ 인 관측잡음이다.

식 (4)의 첫번째 방정식이 상태방정식 또는 시스템 방정식이며, 두번째 방정식은 출력방정식이다.

### 3. 대상유역 및 자료

강우-유출과정에서 위치한 유역을 하나의 시스템으로 가정하면 유효우량에 의해 나타나는 영향이 유출량에 일정한 영향을 줄 것이며 이러한 관계는 상태공간모형에 의해 유효우량을 입력시계열로 하고 유출량을 출력시계열로 가정할 수 있다. 따라서 상태공간모형의 모수의 산정과 모형의 검증 및 예측을 위하여 이용된 자료는 국제수문개별개획(IHP)의 대표유역인 낙동강 수계의 중·하류부에 위치한 위치한 유역의 하류지점에서 S.C.S방법에 의한 유효우량을 산정한 것을 사용하였으며, 월 유출량은 자기수위기록에 의해 관측된 기록을 수위-유량 관계곡선에 의한 식을 사용하여 월유량을

Table 1. Monthly effective rainfall (Wi-stream basin)

unit: mm

Mon. yr.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	July	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
1986	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0000	0.0000	0.0280
1987	0.0000	0.0000	0.7852	0.0000	0.0000	1.7715	6.5443	4.4439	0.0000	0.0000	0.9014	0.0000
1988	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	6.7016	1.4507	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
1989	1.2551	0.7215	1.4324	0.0000	0.0000	0.0772	4.0977	1.6632	2.7180	0.0000	0.5387	0.0000
1990	0.0000	0.8930	0.0000	0.7835	0.0000	3.0198	3.5912	0.0694	3.1292	0.0000	0.0000	0.0000
1991	0.0000	0.0000	0.2475	1.1321	0.0000	0.7962	9.5984	8.9330	2.2290	0.0000	0.0000	0.3655
1992	0.0000	0.0000	0.2869	1.8767	0.0000	0.0000	5.4650	1.5113	0.8127	0.0000	0.0000	0.0000
1993	0.0000	0.3931	0.0000	0.0000	2.2073	1.9173	5.4259	9.5775	0.0111	0.0000	0.0000	0.0000
1994	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.2548	0.1003	0.2686	0.1319	0.0000	0.0546	0.0000	0.0000
1995	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0509	8.2140	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
1996	0.0000	0.0000	0.4760	0.0034	0.0292	7.2126	1.1360	1.5589	0.0000	0.0000	0.5086	0.0000
1997	0.0000	0.0000	0.0000	0.4198	0.0716	2.9830	12.0027	3.5313	0.0000			

Table 2. Monthly average discharge (Wi-stream basin)

(unit: m<sup>3</sup>/sec)

Mon. yr.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	July	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
1986	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8.9212	0.0089	0.1759
1987	0.8702	2.9005	1.4151	0.7179	0.5802	3.8410	10.5208	16.8052	4.9133	0.4958	0.3822	0.2834
1988	0.2480	0.5710	0.2480	1.4867	2.7180	4.6822	18.5805	7.6447	4.6822	0.2550	0.7472	0.9024
1989	0.0001	0.7179	9.4398	1.6261	0.4571	2.3468	7.9280	14.1157	22.0758	2.4400	1.0200	0.9100
1990	1.7000	4.4100	3.7600	10.0000	5.3200	11.5600	26.6400	6.6700	15.8500	1.2000	0.1700	0.0400
1991	0.0500	1.3700	5.1100	9.5400	0.3100	2.1000	26.8900	31.4700	10.9600	0.4300	0.1900	1.9500
1992	1.3700	1.0800	2.6100	11.8900	2.8500	0.7200	27.5900	14.9600	8.8900	0.8900	0.2400	0.2500
1993	0.5000	2.1400	3.5100	2.2400	10.8000	8.4600	22.8600	33.1900	5.7400	0.9700	6.1500	2.2600
1994	0.8500	1.2500	1.4900	0.5900	4.0700	6.6200	6.0900	6.5700	1.0600	0.5571	0.6700	0.5548
1995	0.7132	0.7750	0.6174	1.9753	1.1529	0.6470	5.7203	40.8574	7.0983	0.2700	0.0100	0.0100
1996	0.0100	0.0100	0.0100	0.0100	0.0100	48.0000	25.8900	1.1900	0.7400	0.5500	0.8300	0.3200
1997	0.3200	0.3400	0.4100	0.1700	1.0400	5.7900	41.7800	22.8300	0.1800			

산정한 것을 사용하였다. S.C.S방법에 의해 산정된 일 유효우량으로 월평균유효우량을 산정한 결과는 Table 1과 같다.

월유출량은 IHP 보고서('87년~'97년)의 월평균유출량을 사용하였다<sup>3)</sup>. 그러나 IHP 보고서의 '87년~'89년 자료는 월평균유출량의 측정치가 없어 그 해의 Rating Curve 곡선식에 월평균 수위를 사용하여 월평균유출량을 산정하였다. 월평균유출량의 산정결과는 Table 2와 같다.

#### 4. 모형의 적용 및 월유출량 예측

##### 4.1 승법 ARIMA모형

비정상분포를 갖는 시계열의 해석을 위해서는 먼저 정상화가 필요하며, 이를 위한 방법으로는 일반적으로 대수변환법이나 계차변환을 이용하고 있다. 본 연구에서도 월 유량계열의 정상화를 위하여 계차변환을 실시

하였다. 월 유량계열에 대하여 적정한 시계열모형을 분석하기 위해서 ACF(Auto Correlation Function)와 PACF(Partial Auto Correlation Function)를 구한 결과, 이 계열은 지속성이 강하고 주기  $w=12$ 의 뚜렷한 계절성을 갖는 비정상계열임을 알 수 있었다. 따라서 이 계열의 경향성분과 계절성분을 제거하여 정상 시계열로 바꾸고자 경향성분 및 계절성분에 대한 차분을 실시하여 이로부터 월 유량계열은 경향성분 및 계절성분의 차분 차수를 각각  $d=1$  및  $D=1$ 로 할 때 정상시계열로 바꿀 수 있었다. 또한 월 유출량계열의 계절( $d=1$ )과 비계절( $D=1$ ) 계차 변환된 ACF 및 PACF를 이용한 Box-Jenkins의 모형판별법(Box, G.E.P. & Jenkins, 1976)으로부터 승법 ARIMA(1,1,2)(2,1,2)<sub>12</sub> 모형으로 판별되었다. Fig. 1은 위천유역의 월 유출량에 대한 ACF와 PACF를 나타낸 것이다.

월유출량 승법 ARIMA(1,1,2)(2,1,2)<sub>12</sub> 모형을 식으로 표현하면 식 (5)와 같다.

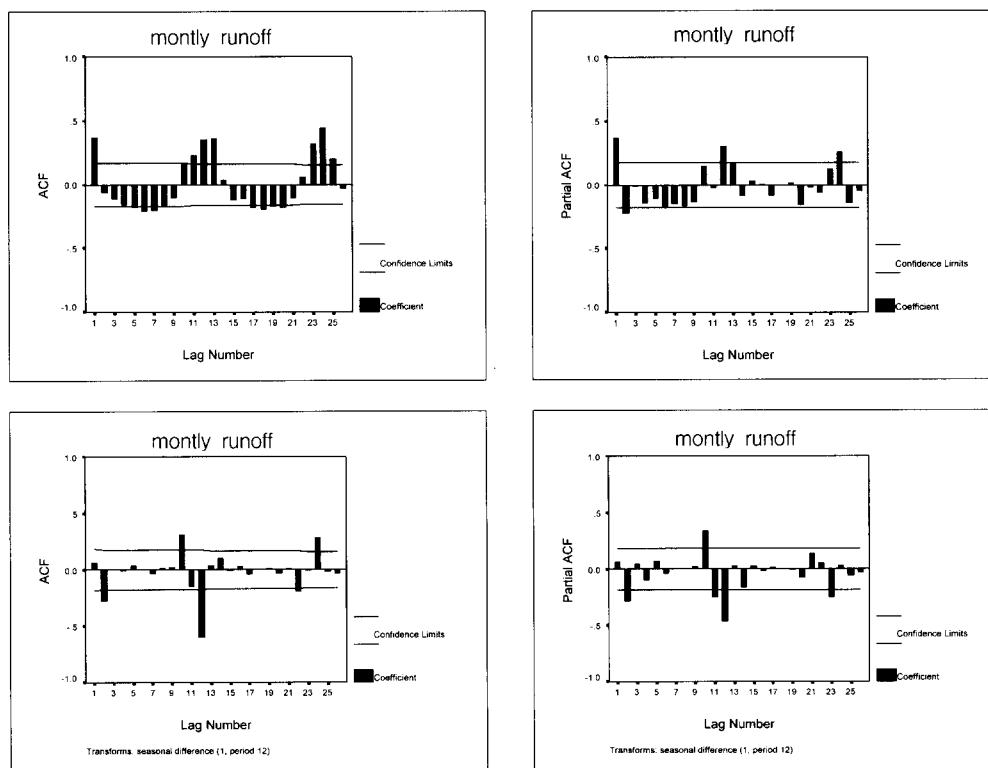


Fig. 1. Estimate ACF and PACF of monthly runoff by Seasonal( $D=0,1$ ) and Nonseasonal( $d=0,1$ ) Differences in Wi-Stream Basin

$$(1 + 0.29753B^1)(1 + 0.29356B^{12} - 0.56653B^{24})(1 - B^1)(1 - B^{12})Y_{Qt} \\ = (1 - 0.40475B^1 - 0.59519B^2)(1 - 0.40317B^{12} - 0.59649B^{24})\alpha_t \quad (5)$$

추정된 승법 ARIMA(1,1,2)(2,1,2)<sub>12</sub> 모형의 검증은 모든 시점에 대하여 추정된 잔차의 평균은 0이고 분산이 일정해야 하므로 추정된 잔차의 ACF와 PACF를 도시한 결과는 Fig. 2와 같다.

설정된 모형의 검증결과는 Fig. 2에 도시한 바와 같이 ACF와 PACF가 모든 시차에서 유의한 값이 없이 거의 0에 가까운 값을 가지므로 추정된 잔차가 백색잡

음의 성질을 만족한다고 할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 단변량 월유출모형인 승법 ARIMA(1,1,2)(2,1,2)<sub>12</sub> 모형에 대하여 장래 예측에 사용될 수 있다고 판단된다.

Fig. 3은 위천유역내 단변량 시계열 모형인 승법 ARIMA(p,d,q)×(P,D,Q)<sub>12</sub>모형에 의한 계산값과 실측값을 비교한 것으로 계산값과 실측값이 비교적 잘

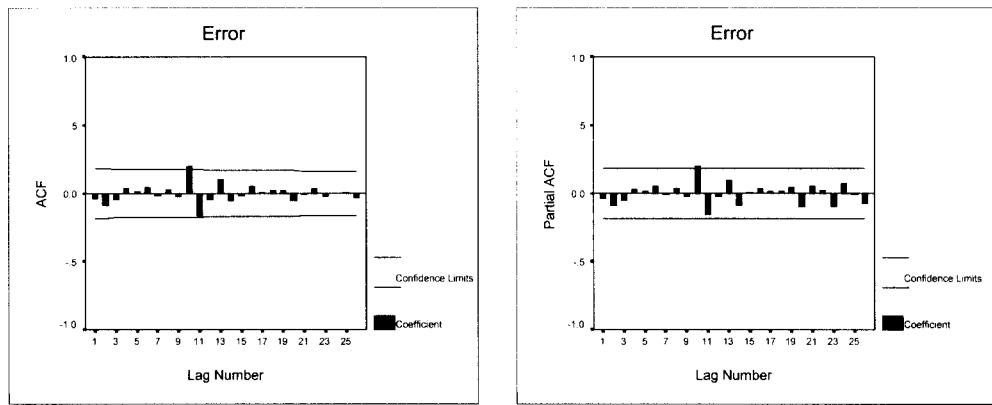


Fig. 2. ACF and PACF of Residual Estimated by Multiplicative ARIMA(1,1,2)(2,1,2)<sub>12</sub> Model in Wi-Stream Basin

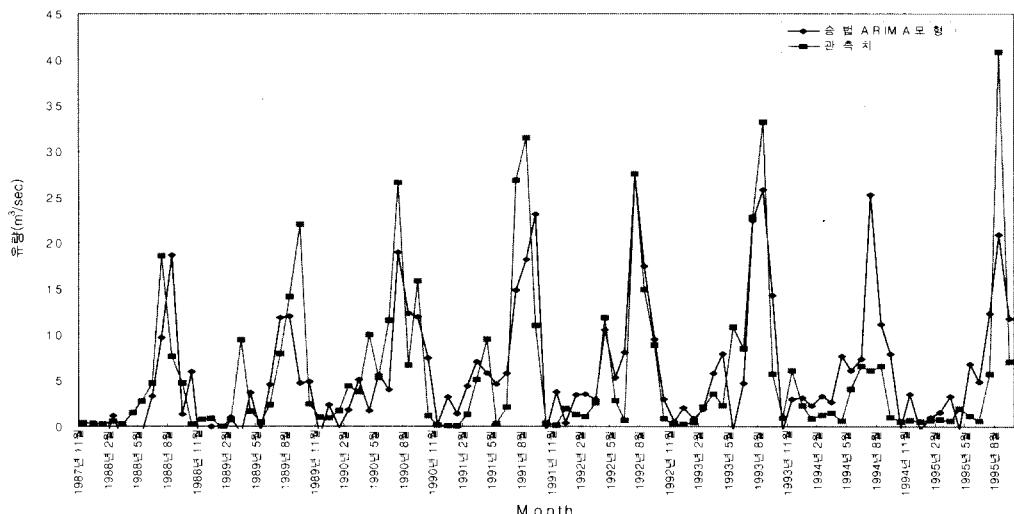


Fig. 3. Comparison between Observed and Estimated Values by Multiplicative ARIMA(1,1,2)(2,1,2)<sub>12</sub> model

일치하는 것으로 나타났다.

## 4.2 상태공간모형

위천유역의 월 유량 예측을 위해 상태공간 모형을 구축을 위해 SAS/ETS프로그램(SAS Institute, 1988; SAS/ETS, 1993)을 수행한 결과 정준상관분석을 통해 초기 VAR(p)모형은 AIC(Akaike Index coefficient)값이 590.965207로 가장 작은 값을 갖는 티타우는 시차 4로 나타났기 때문에 VAR(4)모형으로 선정하였다. 최종 선택된 상태벡터는  $\{XR_t, YQ_t, XR_{t+1|t}, YQ_{t+1|t}\}$ 이 되었으며, 상태벡터 행렬식은 식 (6)과 같다<sup>[2][6][7]</sup>.

$$\begin{bmatrix} XR_t \\ YQ_t \\ XR_{t+1|t} \\ YQ_{t+1|t} \end{bmatrix} = F \cdot \begin{bmatrix} XR_{t-1} \\ YQ_{t-1} \\ XR_{t|t-1} \\ YQ_{t|t-1} \end{bmatrix} + G \cdot \begin{bmatrix} \varepsilon_t^{XR} \\ \varepsilon_t^{YQ} \end{bmatrix} \quad (6)$$

여기서,  $XR_t$ 은 현재 월 유효우량의 값,  $YQ_t$ 은 현재 월 유량의 값,  $XR_{t+1|t}$ 는  $XR$ 의 원점  $t$  시간으로부터 한 단계 앞의 예측치,  $YQ_{t+1|t}$ 는  $YQ$ 의 원점  $t$ 로부터 한 단계 앞의 예측치이다. 또한 전 이행렬  $F$ 와 입력행렬  $G$ 는 식 (7)과 같으며 식 (6)의 상태공간모형의 행렬식을 풀면 식 (8)과 같다.

여기서 현재보다 한 단계 앞의 월 유출량은 현재단계보다 한 단계 전 과거의 월 유효우량값과 현재의 월 유효우량에 대한 백색잡음과 현재단계의 월 유출량 백색잡음 항을 사용하여 한 단계앞의 월 유출량을 추정

하였으며, 그리고 다음단계는 이와 같은 방법으로 월 유출량이 축차적으로 계산된다.

$$F = \begin{vmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1.105 & 0 \end{vmatrix} \quad (7)$$

$$G = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \\ -0.185 & -0.1190 \\ 1.215 & -0.828 \end{bmatrix}$$

$$XR_t = XR_{t|t-1} + \varepsilon_t^{XR}$$

$$YQ_t = YQ_{t|t-1} + \varepsilon_t^{YQ}$$

$$XR_{t+1|t} = -0.185 \varepsilon_t^{XR} - 0.119 \varepsilon_t^{YQ}$$

$$YQ_{t+1|t} = 1.105 XR_{t|t-1} + 1.215 \varepsilon_t^{XR} - 0.828 \varepsilon_t^{YQ} \quad (8)$$

식 (8)을 벡터 ARMA(p,q)로 전환시키면 식 (9)와 같이 나타낼 수 있다.

$$XR_t = -0.185 \varepsilon_{t-1}^{XR} - 0.190 \varepsilon_{t-1}^{YQ} + \varepsilon_t^{XR}$$

$$YQ_t = -0.204 \varepsilon_{t-2}^{XR} - 0.135 \varepsilon_{t-2}^{YQ} + 1.215 \varepsilon_{t-1}^{XR} \quad (9)$$

$$-0.828 \varepsilon_{t-1}^{YQ} + 1.215 \varepsilon_t^{XR} - 0.828 \varepsilon_t^{YQ}$$

식 (9)는 VARMA(0,3)모형으로 추정되며 식 (10)과 같다.

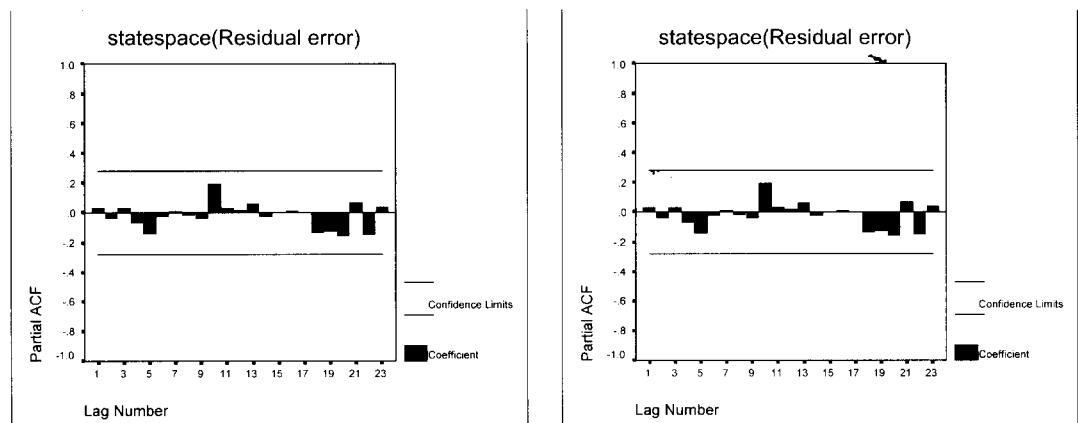


Fig. 4. ACF and PACF of residual estimated by statespace model

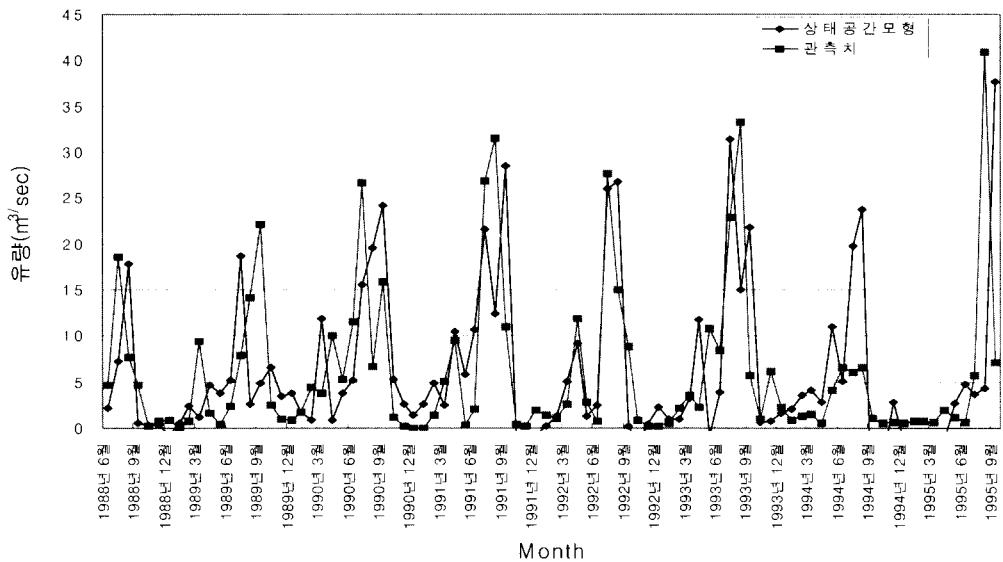


Fig. 5. Comparison between Observed and Estimated values by State-Space Model

$$\begin{bmatrix} X R_t \\ Y Q_t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ -0.204 & -0.135 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varepsilon_{t-2}^{XR} \\ \varepsilon_{t-2}^{YQ} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -0.185 & -0.119 \\ 1.125 & -0.828 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varepsilon_{t-1}^{XR} \\ \varepsilon_{t-1}^{YQ} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1.125 & -0.828 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varepsilon_t^{XR} \\ \varepsilon_t^{YQ} \end{bmatrix} \quad (10)$$

최종 선택된 상태공간모형 식 (6)과 VARMA(0,3) 모형 식 (10)을 이용하여 적용한 결과 Fig. 5와 같이 나타났다. Fig. 5에서 나타난 바와 같이 실측값과 상태공간모형에 의한 계산값은 매우 유사한 경향과 주기를 가지고 있음을 알 수 있다. 설정된 상태공간 모형이 적절한지에 대한 검정은 본 논문에서는 추정된 잔차를 분석하여 백색잡음 과정을 갖는가를 판단하였다. Fig. 4는 실측값과 상태공간 모형에 의한 계산 값에 대한 ACF와 PACF이고 이 그림을 보면 모든 시차에서 유의한 값이 없으므로 백색잡음 과정을 따른다고 할 수 있다. 따라서 설정된 모형은 장래 유출량 예측에 이용할 수 있다.

#### 4.3 모형의 검증 및 예측

위천유역의 월 유량예측을 위하여 분석된 승법

ARIMA(1,1,2)×(2,1,2)<sub>12</sub>모형과 상태공간 모형을 사용하여 1996년 10월부터 1997년 9월까지 예측하여 실측값과 예측값을 비교 검증하였다. 승법 ARIMA 모형은 ARIMA(1,1,2)×(2,1,2)<sub>12</sub> 모형을 전개하여 예측하였으며, 상태공간모형은 식 (6) 및 식 (10)을 전개하여 보았다. 승법 ARIMA(1,1,2)×(2,1,2)<sub>12</sub>모형과 상태공간모형에 의한 예측값과 실측값을 나타낸 결과는 Fig. 6과 같다.

모형의 검증을 위해 1996년 10월부터 1997년 9월까지의 월 유량계열을 실측값과 단변량 시계열 모형인 승법 ARIMA(1,1,2)(2,1,2)<sub>12</sub>과 상태공간모형의 예측값의 평균은 각각 6.2, 7.11, 6.56이며 표준편차는 각각 12.93, 9.54, 15.10으로 나타났으며, 실측값에 대한 단변량 시계열 모형과 상태공간모형의 결정계수는 각각 0.5613, 0.9843으로 나타났다. 그러므로 승법 ARIMA모형보다 상태공간모형이 실측값에 대한 경향과 추세가 보다 잘 일치하는 것으로 나타났다. 따라서 상태공간 모형이 승법 ARIMA모형 보다 월 유출량 예측에 더 좋은 결과를 나타낸다고 판단된다. 승법 ARIMA모형과 상태공간모형의 예측값과 실측값에 대한 평균, 표준편차, 분산을 나타낸 통계적 특성치는 Table 3과 같다.

승법 ARIMA(1,1,2)(2,1,2)<sub>12</sub>에 비해 좋은 결과를 나타낸 상태공간 모형을 이용해 장래의 월유출량 예측값을 1997년 10월부터 1999년 12월까지 나타낸 결과

Table 3. Characteristics of Statistics on Discharge by Each Model

		average ( $m^3/s$ )	standard deviation	$R^2$	skewness
discharge	State-Space model	6.56	15.10	0.984	2.47
	ARIMA model	7.11	9.54	0.561	1.39
	observed	6.21	12.93	-	2.41

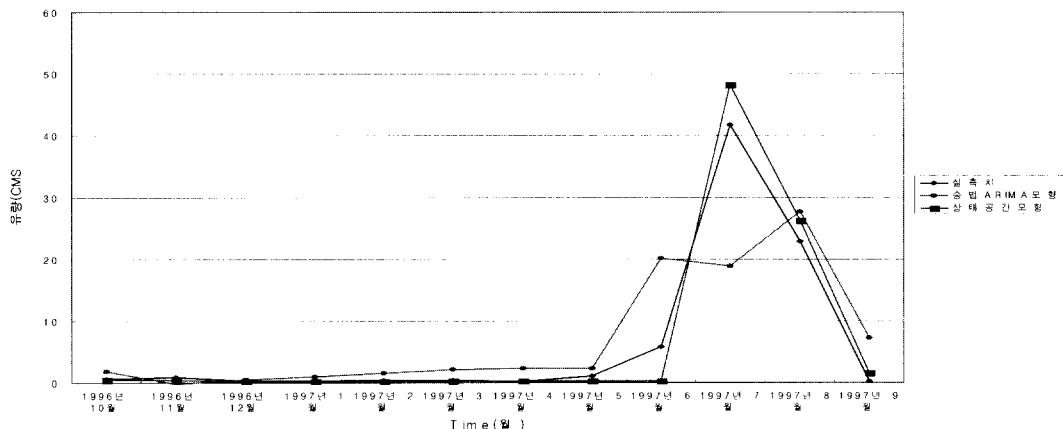


Fig. 6. Comparison of Observed and Forecasting Values by State-Space Model and Multiplication ARIMA(1,1,2)(2,1,2)<sub>12</sub> Model

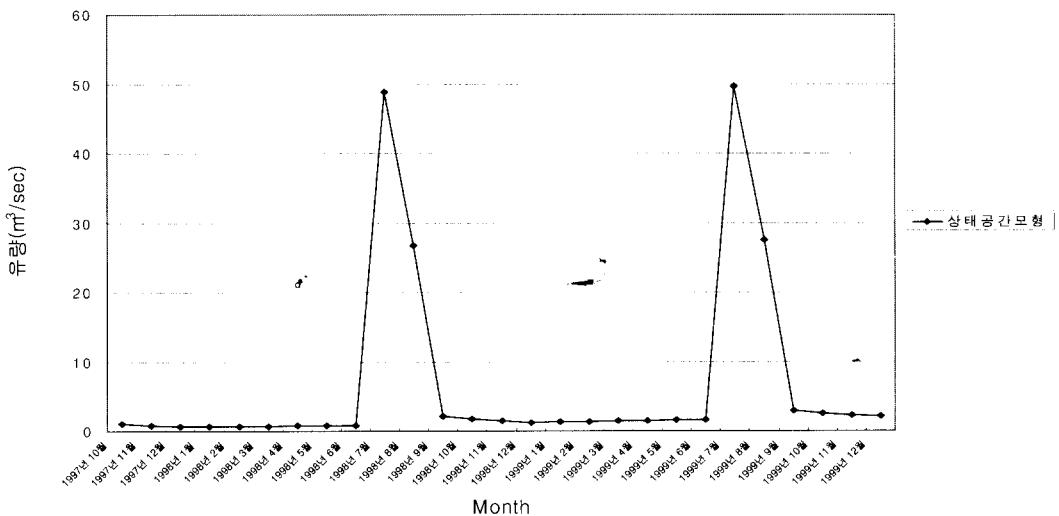


Fig. 7. Forecasting Concentration of Discharge using a state space model

는 Fig. 7과 같다. Fig. 7에서 알 수 있듯이 위천유량의 유출량은 계절에 대한 변화는 뚜렷하고, 약한 경향성분을 가지고 있다.

## 5. 결 론

본 연구는 추계학적 모의발생모형인 승법 ARIMA 모형과 상태공간모형을 이용하여 하천의 월 유량의

장·단기 예측 방법을 구체적으로 제시하는 것이다. 하천유출량 시계열의 추계학적 모의 발생을 위하여 단변량 시계열 모형인 승법ARIMA모형을 사용하였고, 또 한 단변량 시계열 모형인 상태공간모형을 이용하였다. 상태공간모형 구축시 유출에 영향을 미치는 유효강우량과 유출량을 사용하여 상태공간모형을 구축하여 위천유역에서 유출량의 장·단기 예측이 가능하도록 하였으며 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 상태공간 모형을 구축하기 위한 VAR(P)모형의 P값을 구하기 위하여 시차별 AIC값을 사용하였으며, 상태공간 모형은 정준상관계수값을 이용하여 상태공간의 구성요소를 찾아 상태공간모형을 구축하고 상태공간모형을 정리하여 VARMA모형을 구축할 수 있었다.

(2) 월유출량 예측을 위한 단변량 시계열 모형인 승법ARIMA모형(1,1,2)(2,1,2)<sub>12</sub>모형을 구축할 수 있었다.

(3) 월유출량 예측을 위한 단변량 시계열 모형인 상태공간모형을 구축하여 VARMA모형으로 간결하게 표현한 결과 VARMA(0,3)모형을 구축하였다.

(4) 월 유출량계열의 예측을 위해 실측값과 단변량 시계열 모형인 승법 ARIMA(1,1,2)(2,1,2)<sub>12</sub>모형과 상태공간모형에 의한 예측값의 평균이 6.2, 7.11, 6.56이며 표준편차는 각각 12.93, 9.54, 15.10으로 나타났다. 그리고 실측값에 대한 단변량 시계열 모형과 상태공간모형의 결정계수를 구해본 결과 각각 0.5613, 0.9843으로 나타나 상태공간모형과 승법ARIMA모형의 예측력은 상태공간 모형이 잘 일치하는 것으로 나타났다.

이상의 본 연구결과 승법ARIMA모형과 상태공간모형의 예측력을 비교해 본 결과 상태공간 모형이 좋은 것으로 나타났다. 따라서 위천유역의 군위지점에서 장·단기 월 유출량 예측시 상태공간 모형을 이용한 예측이 유용할 것으로 사료된다.

## 참 고 문 헌

- 류병로 (1997). ARIMA모형에 의한 하천수질예측, 대전산업대학교
- 정은이 (1993). 상태공간모형하에서 VAR모형의 선택이 미치는 영향. 석사학위논문, 연세대학교.
- 국제수문개발계획(IHP) (1985-1998). 연구보고서.
- 박상우, 전병호 (1995). “월 유출량 계열의 확장과 예측을 위한 추계학적 다중입출력모형.” 한국수문학회지, 한국수문학회, 제28권 제1호, pp. 81 ~89.
- Box, G. E. P. and Jenkins. (1976). *G. M. Time series analysis-forecasting and control revised edition*, Holden Day.
- SAS Institute, Inc., (1988). *SAS/ETS User's Guide*, Version 6, First Edition, Cary, North Carolina.
- SAS Institute Inc. (1993). *SAS/ETS user's guide*, USA.

(논문번호:99-070/접수:1999.09.01/심사완료:1999.12.22)