

한강수계 추계학적 모델링 기법 비교 연구

Comparative Study on Method of Stochastic Modeling in Han River Basin

강권수*, 허준행**

Kwon Su Kang, Jun Haeng Heo

요 지

수자원시스템의 설계, 계획, 운영에 있어서 핵심적인 수문변수의 미래거동에 대한 보다 나은 추정치가 필요하다. 예를 들어, 수력발전, 레크리에이션 이용과 하류지역의 오염회석과 같은 다중 목적 기능을 유지하기 위하여 다목적댐을 운영할 때에, 다가오는 미래시간에 대한 계획된 유량의 예측이 요구된다. 예측의 목적은 미래에 발생할 정확한 예상치를 제공하는 것이다(Keith W. Hipel, 1994). 본 연구의 주요 목적은 다변량 추계학적 시스템의 해석을 위한 모형의 추정과 등정을 위한 과정을 개발하는데 있다. 일반적 추계학적 시스템 모형이 표현되며 그것으로부터 수문학적 시스템의 모형을 매우 적절하게 유도하기 위한 다중 입력-단일 출력 TF, TFN, ARMAX모형을 유도하는데 있다. 이 모형은 수문학적 시스템을 위한 경우인 상관된 입력을 설명할 수 있도록 개발된다. 일반적인 모형을 만드는 전략이며 실제유역시스템에 적용하여 검토된다.

핵심용어 : Stochastic Model, Parameter estimation, ARMA, ARMAX, TFN Model

1. 서 론

다목적댐의 기능은 상·하류의 용수공급, 무공해 에너지를 활용한 전력생산, 홍수기 인명과 재산을 보호하는 홍수조절 등 인간과 자연에 크게 도움을 주고 있다. 또한 다목적댐의 최적 운영을 위하여 치수와 이수를 고려하여 홍수기에 많은 양의 물을 저류하여 평·갈수기에 댐 상·하류에 안정적으로 용수를 공급하여야 한다. 홍수기에 접어들기 이전에는 홍수조절용량 확보차원에서 바람직한 홍수기 확보수위를 설정하여 운영할 필요가 있으며, 홍수기가 종료되는 9월20일 이후에는 익년도 6월말까지 안정적 용수공급을 고려한 갈수기 확보수위를 설정하여 운영하여야 한다.

수문예측에는 예측변수의 한 값을 예측하는 확정론적 예측과 어떤 사건이 발생할 확률을 제시하는 확률론적 예측이 있다. 미래에 발생할 사건은 아무도 정확하게 예측할 수 없으며, 예측을 한다는 것 역시, 어느 정도의 불확실성을 줄일 수는 있으나, 완전하지는 않다. 지난 수 십년간 수문예측의 에러 및 부정확성을 줄이기 위한 과학적 기술과 이론적 연구가 계속되고 있는 실정이나 완전하게 예측하기는 매우 어렵다.

본 연구의 목적은 다변량 추계학적 시스템의 해석을 위한 모형의 추정과 등정을 위한 과정을 개발하는 데 있다. 일반적 추계학적 시스템 모형이 표현되며 그것으로부터 수문학적 시스템의 모형을 매우 적절하게 유도하기 위한 다중 입력-단일 출력 모형을 개발하는 데 있다.

* 정회원 · 한국수자원공사 대청댐관리단 공사팀 운영과 · E-mail : kgs2770@kowaco.or.kr

** 정회원 · 연세대학교 토목공학과 교수 · E-mail : jheo@yonsei.ac.kr

2. 한강수계 주요 다목적댐의 적용

2.1 대상유역과 적용기간

본 연구의 대상유역으로는 소양강댐, 충주댐, 화천댐이며 시계열 자료는 3개댐의 월강우량, 월 유입량, 최고기온, 평균기온, 최소기온 등의 자료를 기반으로 하였으며, 적용기간은 다음과 같다. 소양강댐의 경우 1981 ~ 1999년, 충주댐의 경우 1986 ~ 1999년, 화천댐의 경우 1990 ~ 1999년의 자료를 이용하여 2000년 1년 동안의 월유입량을 예측할 수 있도록 모형을 구성하였다. 그림 1은 소양강댐의 수문기상관측자료를 보여주고 있다.

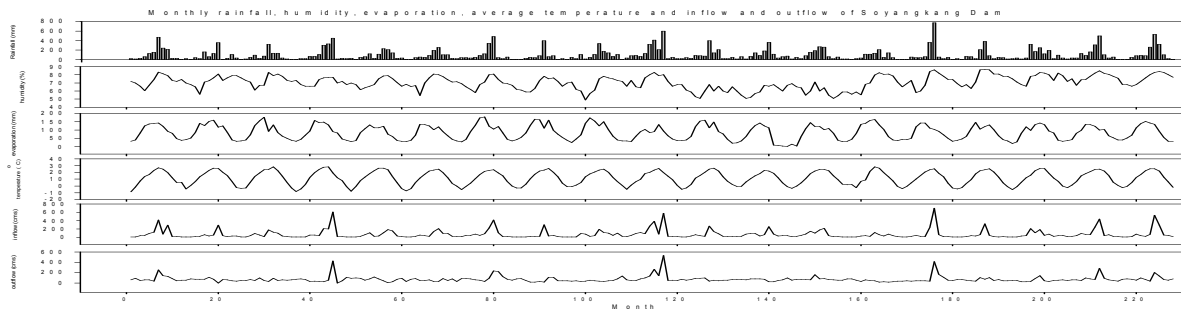


그림 1. 소양강댐의 수문기상 관측자료(1981 ~ 1999)

2.2 적용방법

본 연구에서, 대상 유역은 경향성을 갖는 시계열의 예측에 적합한 것으로 알려진 SARIMA (Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average) 모형과 외부 인자에 따른 변동성을 고려할 수 있는 TFN(Transfer Function Noise) 모형, TFN모형과 유사한 ARMAX모형을 기본으로 하였다. 계차화한 자료의 상관계수도를 해석하여 모형의 차수를 결정하고, 매개변수를 추정하였으며 검정을 통해 최종 적합 모형을 구성하였다. 2개 모형(TFN, ARMAX) 모형의 입력 변수로는 월 평균 유입량과 월 평균 강우량 자료를 이용하였다. TFN 모형에서는 입력 변수가 하나인 경우와 두 개인 경우 등에 대해 구성하였다. 위의 절차에 의해 구성된 각 모형의 매개변수를 토대로 오차예측기법을 적용하여 향후 월간 유입량을 예측하고 실제 산출값과 비교함으로써 유입량 예측에 대한 추계학적 모형의 적용성을 검증하였다.

2.3 적용모형

2.3.1 ARMA(1,1)모형

ARMA(1,1) 과정은 다음과 같다.

$$Z_t - \mu = \phi(Z_{t-1} - \mu) + a_t - \theta a_{t-1} \quad (2.1)$$

여기서, ϕ : AR parameter

θ : MA parameter

2.3.2 ARMAX모형

차수가 p, r, q인 ARMAX 모형, 즉 ARMAX(p,r,q) 모형을 다음 식(2.2)와 같이 정의한다.(Dunsmir & Hannan [1976])

$$\phi(B)y_t = \theta(B)\nu_t + \alpha(B)x_t \quad (2.2)$$

$$\text{단, } \phi(z) = 1 - \phi_1 z - \phi_2 z^2 - \dots - \phi_p z^p,$$

$$\theta(z) = 1 - \theta_1 z - \theta_2 z^2 - \dots - \theta_q z^q,$$

$$\alpha(z) = 1 + \alpha_1 z + \alpha_2 z^2 + \dots + \alpha_r z^r$$

여기서, B는 후진 연산자, $\{\nu_t\}$ 는 백색잡음과정이다.

따라서 ARMAX(p,r,q) 모형은 식(2.3)과 같다.

$$y_t = \phi_1 y_{t-1} + \dots + \phi_p y_{t-p} + \nu_t - \theta_1 \nu_{t-1} - \dots - \theta_q \nu_{t-q} + x_t + \alpha_1 x_{t-1} + \dots + \alpha_r x_{t-r} \quad (2.3)$$

2.3.3 TFN모형

Box와 Jenkins(1976)는 입출력 과정의 여러 가지 오차를 내포하는 추계학적 동적 시스템 모형을 TFN모형이라 하였다. TFN모형은 많은 자연시스템의 물리적 특성을 반영하는데 매우 이상적으로 설계되며, 수문학과 자연과학에 대한 실제적응에 바람직한 것으로 알려져 있다. TFN모형의 용도로는 예측과 시뮬레이션이다. TFN모형은 식(2.4)와 같은 형태로 구성된다.

$$Q_t = \frac{\omega(B)}{\delta(B)} P_{t-b} + \frac{\theta(B)}{\phi(B)} a_t \quad (2.4)$$

2.3.4 SARIMA모형

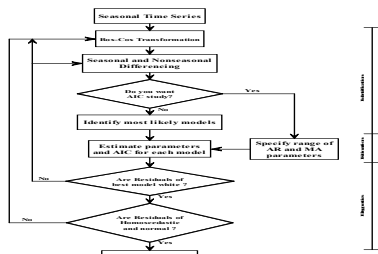


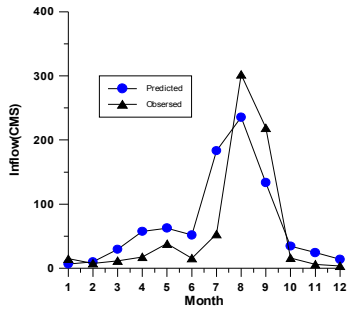
그림 2. SARIMA 모형의 구성 흐름도

그림 2는 SARIMA 모형의 기본적인 구성 흐름도를 나타낸 것이다. 모형의 차수를 결정하는 과정은 AIC 값에 따라 최적 모형을 결정하는 것과 상관계수도와 같은 다른 정보를 통해 결정하는 두가지 방법이 있다. 본 연구에서는 기본적으로 Box 등 (1994)이 제안한 상관계수도를 통한 결정 방법에 따랐으며, 경우에 따라서는 AIC 값을 참고하였다.

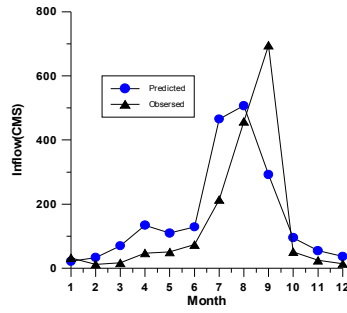
3. 적용결과

3.1 ARMA(1,1) 모형

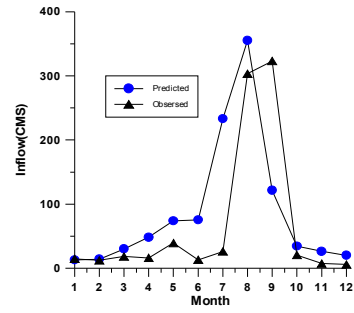
구분	ARMA(1,1) (ϕ, θ)	최우도법 (ϕ, θ)	Porte Manteau test for the residual	AIC(p, q)
소양강댐	$\phi=0.32771$ $\theta=0.0686$	$\phi=3.232000E-01$ $\theta=6.410000E-02$	76.63	-14.0219
충주댐	$\phi=0.13927$ $\theta=-0.1689$	$\phi=0.2289$ $\theta=0.1674$	66.67	-11.84
화천댐	$\phi=0.1747$ $\theta=0.0874$	$\phi=0.3297$ $\theta=0.0074$	24.57	-6.791



< 소양강댐 >



< 충주댐 >



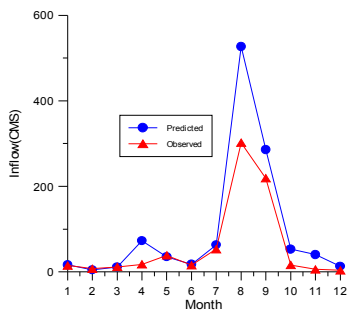
< 화천댐 >

그림 3. ARMA(1,1) 결과

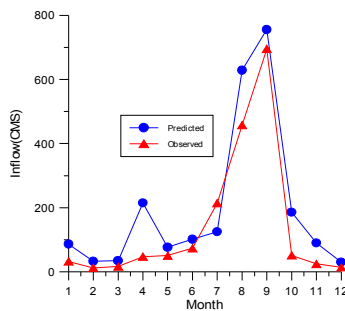
3.2 TF, ARMAX, TFN, SARIMA모형

3.2.1 TF모형

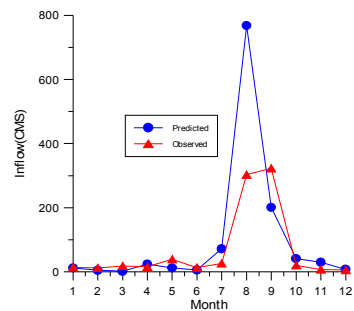
구 분	TF 공식
소양강댐	$Y_t = -1.3468 + \left(\frac{0.07292 + 0.04185B + 0.01579B^2}{1 + 0.2678B} \right) B^3 X_t + \left(\frac{1}{1 - 0.03389B - 0.037B^2} \right) a^t$
충주댐	$Y_t = 1.2636 + \left(\frac{0.43777 + 0.63712B + 0.30291B^2}{1 + 1.002B} \right) B^3 X_t + \left(\frac{1}{1 - 0.11836B + 0.11624B^2} \right) a^t$
화천댐	$Y_t = -7.5079 + \left(\frac{0.01483 + 0.05381B + 0.00834B^2}{1 - 0.26071B} \right) B^3 X_t + \left(\frac{1}{1 - 0.04356B + 0.01833B^2} \right) a^t$



< 소양강댐 >



< 충주댐 >

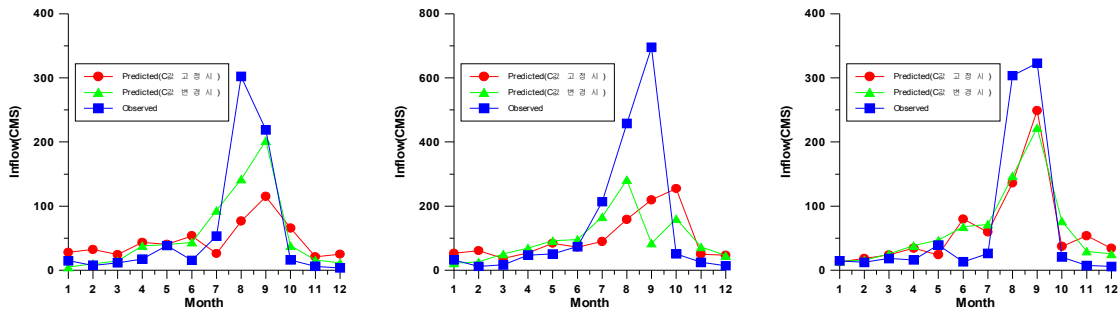


< 화천댐 >

그림 3. TF모형 결과

3.2.2 ARMAX모형

φ의 차수(p)	소양강댐		충주댐		화천댐	
	유입량	강우량	유입량	강우량	유입량	강우량
1	0.478	0.362	0.447	-2.858	0.808	0.284
2	0.324	-0.0041	0.320	8.326	0.126	-0.0019



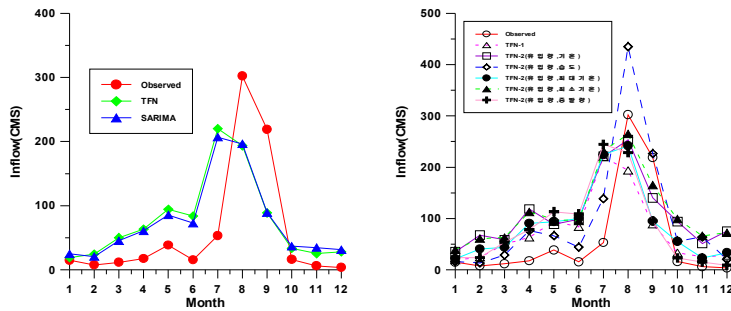
<소양강댐 >

< 충주댐 >

< 화천댐 >

그림 4. ARMAX모형 결과

3.2.3 TFN모형과 SARIMA모형(소양강댐)



< TFN과 SARIMA모형 >

< Candidate TFN >

그림 5. TFN모형과 SARIMA모형 결과

4. 결 론

본 연구에서는 한강수계의 주요 댐인 소양강댐, 충주댐, 화천댐의 월별 유입량에 대하여 추계학적 모형에 속하는 ARMA(1,1)모형, ARMAX모형, TF모형, TFN모형, SARIMA모형을 통하여 가장 실제유입량에 근접하는 방법을 도출하는데 기본 목적이 있다. 대부분의 통계방법은 미래의 사건이 과거의 사건과 같은 패턴을 가질 것이라는 가정하에 개발된다. 이러한 가정하에 개발된 방법은 동적으로 변화하는 환경에서의 예측에 매우 약점을 가진다. 모형을 적용해 본 결과, 소양강댐, 충주댐의 경우 ARMAX모형, ARMA모형, TFN모형 순이었다.

참 고 문 헌

1. Box, G.E.P., Jenkins, G.M., and Reinsel, G.C. (1994). Time Series Analysis : Forecasting and Control, 3rd Ed., Prentice-Hall.
2. 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.
3. Salas, J.D., Delleur, J.W., Yevjevich, V., and Lane, W.L. (1980). Applied Modeling of Hydrologic Time Series, Water Resources Publications, Littleton, Colorado.