

한강수계 전이함수 모형 적용

Application of Transfer function Model in Han River Basin

강권수*, 허준행**

Kwon Su Kang, Jun Haeng Heo

요 지

자신의 현재와 과거의 시계열데이터만을 가지고 시계열 모형을 구축하는 단변량 ARIMA모형 분석법과는 달리, 관심의 대상이 되는 출력시계열과 이와 관련있는 입력시계열의 동태적 특성을 나타내는 전이함수모형(Transfer function model)을 사용하여 소양강댐, 충주댐, 화천댐에 대한 월별 수문자료를 이용하여 유입량을 예측해 보고자 한다.

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, TFN모형을 유도하는데 있다. 이 모형은 수문학적 시스템을 위한 경우에 있어 상관된 입력을 설명할 수 있도록 개발된다. 일반적으로 모형을 만드는 전략이 유도되며 실제유역시스템에 적용하여 검토된다.

한강수계 주요 다목적댐인 소양강댐, 충주댐, 화천댐의 수문자료를 가지고 추계학적 모형(TF, TFN)에 의한 결과와 실제유입량을 비교하여 검토하고자 한다.

핵심용어 : Stochastic Model, Parameter estimation, TF, TFN Model

1. 서 론

단변량 ARIMA모형분석법에서는 시계열데이터 $\{y_t\}$ 가 과거값들과 오차항들에 의해 설명되어지고 분석되어진다. 그러나 관심이 있는 시계열데이터 $\{y_t\}$ 와 밀접한 관련이 있는 하나 또는 그 이상의 다른 시계열데이터가 있을 때, 이러한 다른 시계열데이터안에 포함되어 있는 정보를 이용할 수 있도록 전이함수를 사용하여 모형을 만들 수 있다. 이러한 모형을 전이함수모형(Transfer function model)이라 한다. 전이함수는 입력시계열이 가지고 있는 정보를 출력시계열로 보내 주는 필터(filter)와 같은 역할을 한다. 출력시계열과 입력시계열이 전이함수를 통하여 선형결합으로 설명되지 못한 부분은 오차항 또는 잡음항(noise)으로 설정된다. 이러한 전이함수모형의 주목적은 출력시계열과 출력시계열의 선행지수(leading indicator)라고 할 수 있는 입력시계열과의 동적연관성을 분석하여 단변량모형의 예측값을 개선하는데 있다.

일반적으로, 수문예측에 사용되는 모형으로는 3단계로 나눌 수 있다.

1. 과정을 지배하는 물리적 메카니즘을 따르는 결정적 편미분식의 형태로 된 물리적 모형
2. 정확하게 물리적 모형은 따르지는 않지만 물리적 모형단순화의 다양한 정도에 상응하는 개념적 모형 ; 즉, 강우-유출과정의 물리적 메카니즘의 집중형 모형

* 정희원 · 한국수자원공사 대청댐관리단 공사팀 운영과 과장 · E-mail : kgs2770@kwater.or.kr

** 정희원 · 연세대학교 토목공학과 교수 · E-mail : jhheo@yonsei.ac.kr

3. 기술할 필요가 없는 경우 강우 입력과 하천유량사이의 관계를 확인하는데 초점을 맞추며 관심의 대상이 되는 시스템기반 또는 “블랙박스” 모형, 특히, 이러한 변형에 의한 내적인 메카니즘이 발생한다.(Haitham munir awwad, 1991)

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.

2. 한강수계 주요 다목적댐의 적용

2.1 대상유역과 적용기간

본 연구의 대상유역으로는 소양강댐, 충주댐, 화천댐이며 시계열 자료는 3개댐의 일강우량, 일유입량, 3개댐의 월강우량, 월유입량, 최고기온, 평균기온, 최소기온 등의 자료를 기반으로 하였으며, 적용기간은 다음과 같다. 소양강댐의 경우 1981 ~ 1999년, 충주댐의 경우 1986 ~ 1999년, 화천댐의 경우 1990 ~ 1999년의 일, 월자료를 이용하여 2000년 1년 및 6개월동안의 일유입량, 월유입량을 예측할 수 있도록 모형을 구성하였다. 그림 1은 소양강댐의 수문기상 관측자료를 보여주고 있다.

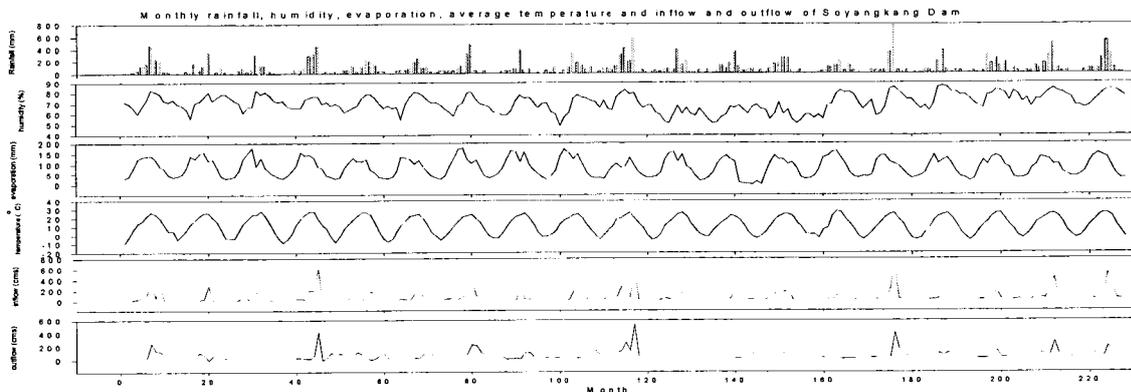


그림 1. 소양강댐의 수문기상 관측자료(1981 ~ 1999)

2.2 적용방법

본 연구에서, 대상 유역은 경향성을 갖는 시계열의 예측에 적합한 것으로 알려진 외부 인자에 따른 변동성을 고려할 수 있는 TF모형, TFN(Transfer Function Noise) 모형을 검토하였다. 계차화한 자료의 상관계수도를 해석하여 모형의 차수를 결정하고, 매개변수를 추정하였으며 검정을 통해 최종 적합 모형을 구성하였다. 2개 모형(TF, TFN) 모형의 입력 변수로는 월 평균 유입량과 월 평균 강우량 자료 등을 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 TF 모형

Box와 Jenkins(1976)에 의하면 선형 전이함수모형은 식(2.1)의 형태로 쓰여진다.

$$X_t - \delta_1 X_{t-1} - \dots - \delta_r X_{t-r} = w_0 U_{t-b} - w_1 U_{t-b-1} - \dots - w_s U_{t-b-s} \quad (2.1)$$

모형에 의해 예측되는 출력에 영향을 주는 교란 또는 잡음을 설명하기 위하여, 식(2.1)은 다음과 같이 쓸수 있다.(Box와 Jenkins, 1976) :

$$X_t = \delta^{-1}(B)w(B)U_{t-b} + N_t \quad (2.2a)$$

또는

$$X_t = v(B)U_t + N_t \quad (2.2b)$$

여기서 X_t =출력(일유량), U_t =입력(전체 강우 또는 초과강우), N_t = 에리 또는 잡음 입력, $w(B) = w_0 - w_1 B - \dots - w_s B^s$, 그리고 $\delta^{-1}(B) = 1/(1 - \delta_1 B - \dots - \delta_r B^r)$ 이며, B 는 $BX_t = X_{t-1}$ 로 서 정의된 후진연산자로서 모형에서 X_t, U_t, N_t 는 정상성이 있다고 가정된다. 반면에, 계열은 정상성 가정을 이행하기 위하여 차분화된다.

2.3.2 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 실제적용에 바람직한 것으로 알려져 있다. TFN모형의 용도로는 예측과 시뮬레이션이다. TFN모형은 식(2.3)와 같은 형태로 구성된다.

$$Q_t = \frac{\omega(B)}{\delta(B)}P_{t-b} + \frac{\theta(B)}{\phi(B)}a_t \quad (2.3)$$

3. 적용결과

3.1 TF 모형(일모형)

소양강댐에 대한 TF식은 다음과 같다.

$$\textcircled{1} \nu(B) = (0.5 + 0.5B)$$

$$Y_t = -0.0325 + \frac{(1.58687 + 0.086287B)}{(1 - 0.79343B)} B^3 X_t + \left(\frac{1}{1 - 0.71548B + 0.23911B^2} \right) a_t$$

$$\textcircled{2} \nu(B) = (0.25 + 0.5B + 0.25B^2)$$

$$Y_t = -0.0325 + (0.22353 + 0.86652B^2) B^3 X_t + \left(\frac{1}{1 - 0.70748B + 0.15986B^2} \right) a_t$$

$$\textcircled{3} \nu(B) = \frac{0.5B^3}{1 - 0.5B}$$

$$Y_t = -0.0325 + \left(\frac{1}{1-0.84366B}\right)B^3X_t + \left(\frac{1}{1-0.7111B+0.23763B^2}\right)a^t$$

$$\textcircled{4} \nu(B) = \frac{(0.25+0.5B)}{1-0.5B}$$

$$Y_t = -0.0325 + \left(\frac{1.58687+0.86287B}{1-0.79343B}\right)B^3X_t + \left(\frac{1}{1-0.71548B+0.23911B^2}\right)a^t$$

$$\textcircled{5} \nu(B) = \frac{(0.125+0.25B+0.125B^2)}{1-0.5B}$$

$$Y_t = -0.0325 + \left(\frac{1.7879+0.28867B^2}{1-0.82636B}\right)B^3X_t + \left(\frac{1}{1-0.71101B+0.2333B^2}\right)a^t$$

$$\textcircled{6} \nu(B) = \frac{0.8}{1-0.6B+0.4B^2}$$

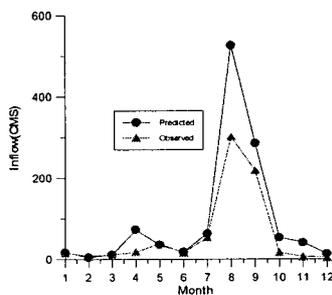
$$Y_t = -0.0325 + \left(\frac{1}{1-0.94952B^2}\right)B^3X_t + \left(\frac{1}{1-0.70711B+0.15792B^2}\right)a^t$$

$$\textcircled{7} \nu(B) = \frac{0.2+0.4B+0.2B^2}{1-0.6B+0.4B^2}$$

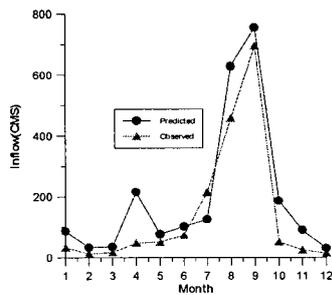
$$Y_t = -0.0325 + \left(\frac{0.22318+0.86799B^2}{1+0.00825B^2}\right)B^3X_t + \left(\frac{1}{1-0.7075B+0.15985B^2}\right)a^t$$

3.2 TF 모형(월모형)

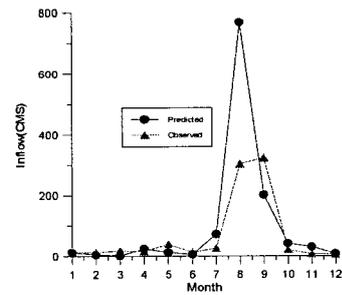
구 분	TF 공식
소양강댐	$Y_t = -1.3468 + \left(\frac{0.07292+0.04185B+0.01579B^2}{1+0.2678B}\right)B^3X_t + \left(\frac{1}{1-0.03389B-0.037B^2}\right)a^t$
충주댐	$Y_t = 1.2636 + \left(\frac{0.43777+0.63712B+0.30291B^2}{1+1.002B}\right)B^3X_t + \left(\frac{1}{1-0.11836B+0.11624B^2}\right)a^t$
화천댐	$Y_t = -7.5079 +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



< 소양강댐 >



< 충주댐 >



< 화천댐 >

그림 2. TF모형 결과

3.3 TFN 모형(월모형)

소양강댐 월 수문자료에 대하여 TFN모형을 수행하였고, 결과는 그림3, 4와 같다.

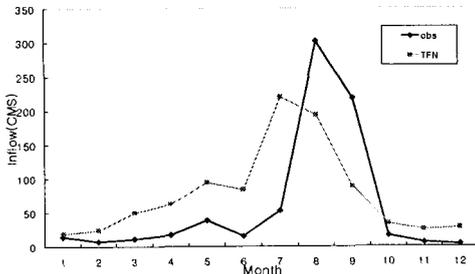


그림 3. TFN(Observed AND Predicted)

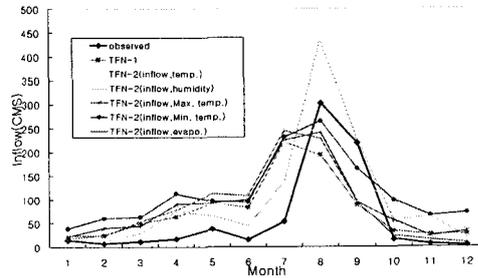


그림 4. Candidate TFN

3.4 검토 결과

표 3.1 소양강댐의 실제유입량과 예상유입량

구분 월	실제유입량	TF모형	TFN모형
1	14.9	16.4	19.1
2	7.8	4.9	24.6
3	11.8	11.5	50.1
4	17.7	72.9	63.5
5	38.6	35.4	94.2
6	15.7	17.7	83.8
평균	17.9	26.6	56.2

표 3.2 충주댐의 실제유입량과 예상유입량

구분 월	실제유입량	TF모형	TFN모형
1	32.6	86.3	93.1
2	12.5	32.0	121.4
3	17.2	35.0	112.1
4	47.7	214.7	235.8
5	50.8	76.7	190.6
6	73.7	101.9	203.4
평균	39.3	91.3	159.4

4. 결 론

본 연구에서는 한강수계의 주요 댐인 소양강댐, 충주댐, 화천댐의 일별, 월별 유입량에 대하여 추계학적 모형에 속하는 TF모형, TFN모형을 통하여 실제유입량에 가장 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, TF모형보다는 ARMAX모형, 신경망모형이 보다 정확할 것으로 추측된다.

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.