

# Transfer Function 모형을 이용한 다목적댐의 수문시계열 모형화

## A Modeling of Hydrologic Time Series for the Multi-Purpose Dam using the Transfer Function Model

○박종영\*, 이재준\*\*, 이정식\*\*

### 1. 서론

생활수준이 향상되고 경제개발의 진행됨에 따라 물의 수요는 급증하게 되었고 이에 비례하여 물부족은 문제가 심각하게 대두되었다. 우리나라는 세계 물부족 국가중 하나로써 수자원의 시간적·공간적으로 불균형이 매우 심각하여 수자원의 효율적인 관리가 필요한 실정이다. 다목적댐은 홍수조절, 우리생활에 필요한 생활용수, 공업용수, 농업용수, 하천유지용수 및 수력발전 등으로 국가경제발달 및 국민생활수준 향상에 기여하는 중요한 사회기반시설로써 오늘날 수자원부족 문제를 해결하는 가장 좋은 방법중 하나이다. 그러나 최근 환경문제, 토지이용문제, 경제성문제, 수물주민의 이주문제 등으로 더 이상의 댐건설의 어려움을 겪고 있는 실정이다. 그러한 이유로 현재 운영되고 있는 다목적댐을 효율적으로 활용하여 수자원 문제를 해결해야 하는데 현재 우리나라 다목적댐의 운영 자료는 부족한 실정이다. 따라서 보다 효율적인 다목적댐 관리를 위해서 수문자료의 특성을 파악하는것이 시급하다고 본다. 댐에서 방류량은 각종 수문인자들과 인위적인 요인에 의해서 영향을 받게 되는데 이 양상들은 매우 다양하고 복잡하게 나타나고 있으며, 효율적인 수자원 관리를 위해서는 댐의 각종 수문인자들의 특성을 파악해야만 수문량 예측이 가능하게 된다.

본 연구에서는 다목적댐의 각종 운영자료에 대한 시계열 분석, 인자간의 상관성 분석을 실시하여 수문시계열 자료의 모형화를 통한 효율적인 댐운영의 기초자료를 제공하고자 일변량 ARIMA 모형을 다입력-1출력계의 모형으로 확장시킨 Transfer Function 모형을 이용하여 장래 수문자료를 모의 발생할 수 있는 추계학적 모형을 확립하고자 한다. 시계열 자료는 낙동강 수계에 위치한 안동댐, 임하댐, 남강댐, 합천댐의 일 방류량 자료와 댐의 일 방류량에 영향을 미친다고 생각되는 요인 중 일 저수위, 일 유입량을 선택하기로 한다. 시계열 자료의 정상화를 위해 Young-Pisano의 잔차기법을 사용하여 주기성을 제거하고, 시계열의 평균이 0 이고 표준편차가 1인 표준화 시계열로 변환하였으며, 변환된 시계열 자료에 대해서 자기상관도, 상호상관도를 이용하여 각 인자별 상관분석을 실시하고자 한다. 관측계열의 기본통계량과 모의발생된 자료의 기본통계량의 비교와 모의발생된 시계열의 잔차분석을 통하여 모형의 검정을 실시하고자 한다. 또한 모형의 적합성 검정에서의 잔차분석은 Porte-Manteau Test를 통하여 잔차의 독립성 여부를 결정하고 최적모형의 선정은 중상관계수값이 가장 큰 값 모형을 최적 모형으로 결정하고자 한다.

### 2. Transfer Function 모형

ARIMA 모형이라고 하는 것은 과거의 시계열에 포함된 여러 가지 특성(지속성이나 주기성등)을 표현할 수 있는 모형이다. 이것에는 과거의 이력효과에 따라서 현재의 상태를 선형화의 형으로 나타내는 자기회귀(Auto-Regressive) 모형, 과거의 백색잡음과정에 의해서 현재의 상태를 나타내는 이동평균(Moving Average) 모형, 그리고 이들 2개의 모형을 합한 자기회귀-이동평균(Auto-Regressive Moving Average) 모형이 있다. 즉, ARIMA 모형은 과거의 상태량(예를 들면 수돗물 사용량)에 의한 영향을 자기회귀항에 의해 또한 과거에 있어서의 시계열 변동의 평활화를 이동평균항에 의해 종합적으로 고려할 수 있는 모형이다. 그 외에 시계열의 평균치나 경사가 일정하지 않을 때 그 시계열의 차분을 취해 정상화하여 ARIMA 모형을 적용한 모형을 자기회귀-적분-이동평균(ARIMA) 모형이라고 한다. 이 ARIMA 모형을 다입력 1출력계의 모형으로 확장한 것을 Transfer Function 모형이라고 하고, 그 기본식은 다음 식 (1)로 표현된다.

$$y_t = \sum_{i=1}^n \frac{\omega_i(B)}{\delta_i(B)} x_{i,t-b} + \frac{\theta(B)}{\phi(B)} \varepsilon_t + \mu \quad (1)$$

여기서  $y_t$ 는  $t$ 시점의 출력,  $x_{i,t-b}$ 는  $t$ 시점의 입력  $i$ ,  $\varepsilon_t$ 는  $t$ 시점의 random 오차,  $\mu$ 는 정수,  $b$ 는 지연,  $\omega_i(B)/\delta_i(B)$ 는 전달함수 하중,  $\phi(B)$ 는 자기회귀 연산자이며,  $\theta(B)$ 는 이동평균 연산자이다.

\* 금오공과대학교 대학원 토목공학과 박사과정  
 \*\* 금오공과대학교 토목, 환경 및 건축공학부 교수

식 (1)에서  $\omega_i(B)$ ,  $\delta_i(B)$ ,  $\phi(B)$ ,  $\theta(B)$ 는 각각 식 (2)~(5)와 같다.

$$\omega_i(B) = \omega_{i,0} - \omega_{i,1}B - \omega_{i,2}B^2 - \dots - \omega_{i,s}B^s \quad (2)$$

$$\delta_i(B) = 1 - \delta_{i,1}B - \delta_{i,2}B^2 - \dots - \delta_{i,r}B^r \quad (3)$$

$$\phi(B) = 1 - \phi_1B - \phi_2B^2 - \dots - \phi_pB^p \quad (4)$$

$$\theta(B) = 1 - \theta_1B - \theta_2B^2 - \dots - \theta_qB^q \quad (5)$$

또한  $B$ 는 후퇴연산자를 나타내며,  $Bx_t = x_{t-1}$ ,  $B^2x_t = x_{t-2}$ 를 의미하고 있다. 전달함수 하중  $\omega_i(B)/\delta_i(B)$ 에서 분자  $\omega_i(B)$ 는 출력  $y_t$ 에 대한 입력  $x_t$ 의 직접적 영향의 정도를 의미하고, 분모  $\delta_i(B)$ 는 출력  $y_t$ 에 대한 입력  $x_t$ 의 간접적 영향의 정도를 의미하는 것으로서 전달함수하중은 출력에 대한 입력의 파급효과 정도를 의미하고 있다고 말할 수 있다.

한편 원시계열 ( $y_t'$ ,  $x_t'$ )이 비정상인 경우에는  $y_t$ 와  $x_t$ 에는 차분을 취한 시계열(계차  $d=1$ 인 경우,  $y_t = y_t' - y_{t-1}'$ ,  $x_t = x_t' - x_{t-1}'$ )을 사용하면 된다.

### 3. 적용지역 및 기본자료 분석

#### 3.1 대상지역 및 기본 통계량

다목적댐의 수문량 자료 변동특성과 상관관계를 분석·파악하기 위해서 낙동강 수계에 위치한 안동, 임하, 합천, 남강 다목적댐의 4곳을 대상지역으로 선정하였으며, 기본자료로는 대상지역에서의 2000년 실측 일자료를 채택하였으며, 이용된 수문항목은 댐에서의 저수위, 유입량, 방류량 3개 항목을 선택하였다. 그림 1은 안동다목적댐의 방류량 시계열도를 나타낸 것이다.

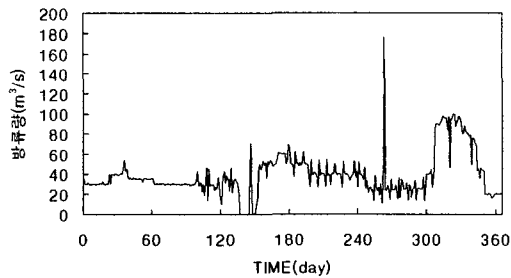


그림 1. 안동 다목적댐 방류량 시계열도

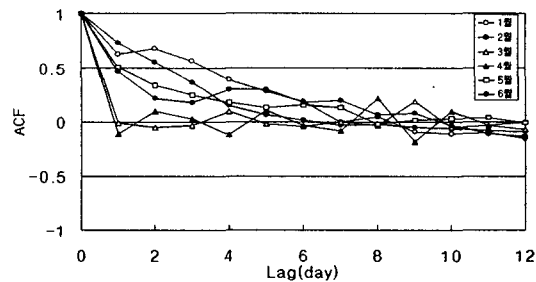


그림 2. 자기상관도(안동 다목적댐 1월~6월 방류량)

#### 3.2 정상성 시계열 표본의 크기 결정

다목적댐의 방류량 시계열 모형화를 용이하게 하기 위해 방류량 시계열은 정상성 확률과정 즉, 시계열의 확률적 성질(예를 들면, 평균이나 분산)이 시간에 따라서 변화하지 않는다고 가정하였으며, 이를 위해 본 연구에서는 시계열 길이가 어느 정도일 때 정상성 시계열로 간주할 수 있는지를 분석하였다.

Box와 Jenkins(1970)에 의하면 자료계열의 정상성은 자기 상관계수가 급수적으로 감소하는 가에 따라서 판단할 수 있다. 그림 2와 같이 1개월을 기준으로 자기상관분석을 실시한 결과 많은 개월에서 비정상 시계열 임이 나타나는데 비정상시계열을 명확하게 추정하기 위해서 정상시계열로 변환하여 모형을 추정해야 한다. 일반적으로 비정상 시계열을 정상시계열로 변환하는 방법으로는 대수변환방법, Box와 Cox가 제안한 분산안정화변환방법 또는 Box와 Jenkins가 제안한 일정한 지연시간을 두고 연속적인 차분 방법 등이 있다. 본 연구에서는 Box와 Jenkins가 제안한 연속 차분법을 이용하여 시계열 자료를 정상화 시켜 모형을 구축하기로 한다.

### 4. 다목적댐의 수문 시계열 모형화

#### 4.1 자료의 시계열 특성분석

시계열 크기를 근거로 한 자료를 이용하여 방류량과 타요인과의 상호상관계수를 분석함으로써 방류량에 영향을 미친다고 생각되는 요인에 대한 영향요인을 선택한다.

낙동강 유역에 위치한 낙동, 임하, 합천, 남강 다목적댐의 2000년 일 실측 수문자료를 이용하여 각 월별로

분석하였고, 방류량에 영향을 미친다고 생각되는 요인은 여러 가지가 있으나 본 연구에서는 저수위와 유입량 자료를 이용하여 분석을 실시하였다.

상호상관분석은 상이한 두 개의 시계열에 대한 상호관계에 관한 것으로서, 각 지점의 상호상관분석을 실시한 결과는 표 1과 같다

표 1. 낙동강 유역의 다목적댐 수문인자들간의 상호상관분석

수문항목 월	안동 다목적댐		임하 다목적댐		합천 다목적댐		남강 다목적댐		
	저수위	유입량	저수위	유입량	저수위	유입량	저수위	유입량	
방류량	1월	-0.299	-0.158	-0.202	0.234	-0.121	0.254	-0.094	0.211
	2월	-0.305	0.679	-0.236	0.055	0.050	-0.251	-0.126	0.544
	3월	0.097	-0.033	-0.349	-0.050	-0.025	0.210	-0.276	0.480
	4월	-0.189	-0.105	-0.223	0.092	-0.313	-0.315	-0.036	0.788
	5월	-0.139	0.262	-0.255	0.145	-0.039	-0.377	-0.105	0.525
	6월	-0.280	0.097	-0.648	-0.617	-0.123	0.078	0.260	0.774
	7월	-0.206	0.445	-0.032	-0.012	0.022	-0.060	0.360	0.816
	8월	-0.183	0.417	-0.153	-0.003	-0.258	-0.233	0.313	0.877
	9월	-0.001	-0.221	0.473	0.155	0.206	-0.083	-0.381	0.944
	10월	0.162	-0.017	-0.314	0.132	-0.116	-0.675	-0.133	0.651
	11월	-0.089	0.348	-0.736	0.345	-0.144	0.092	-0.048	0.569
	12월	-0.415	-0.022	-0.217	0.170	-0.435	0.183	-0.498	0.709

#### 4.2 모형의 구축과 검증

본 절에서는 낙동강 유역에 위치한 다목적댐의 실측 수문자료를 이용하여 Transfer Function 모형에 의한 방류량과 타요인과의 관계를 구축하고 입력요인(저수위, 유입량) 등의 시간지체를 포함한 영향을 검토하기 위해 전달함수의 하중항의 차수 s와 r에 대해 r=0, 1, 2 및 s=0, 1, 2의 조합인 9가지 경우, 오차항의 차수는 1차로 고려해서 가장 적절한 모형을 선택하여 계산하였다. 다음으로는 출력치의 이력효과를 제거하기 위하여 자기회귀연산자를 이용하여 모형의 정도 향상을 도모하였다.

표 2. 안동 다목적댐 방류량에 대해 확립된 Transfer Function 모형

	$X_{t,1-b}$			$X_{t,2-b}$			$\epsilon_t$	자유도조정 중상관계수	
	r	s	b	r	s	b			
방류량	1월	2	0	0	2	0	0	1	0.286
	2월	0	0	0	1	1	0	1	0.428
	3월	0	0	0	0	2	0	1	0.769
	4월	2	0	0	2	0	0	1	0.433
	5월	2	1	0	2	0	0	1	0.129
	6월	2	0	0	2	0	0	1	0.288
	7월	0	1	0	1	1	0	1	0.449
	8월	0	1	0	1	1	0	1	0.564
	9월	0	0	0	2	0	0	1	0.293
	10월	0	0	0	2	0	0	1	0.385
	11월	0	0	0	2	0	0	1	0.687
	12월	0	2	0	1	2	0	1	0.504

표 3. 합천 다목적댐 방류량에 대해 확립된 Transfer Function 모형

	$X_{t,1-b}$			$X_{t,2-b}$			$\epsilon_t$	자유도조정 중상관계수	
	r	s	b	r	s	b			
방류량	1월	0	0	0	1	0	0	1	0.333
	2월	0	0	0	1	0	0	1	0.442
	3월	2	0	0	2	0	0	1	0.243
	4월	0	0	0	1	1	0	1	0.222
	5월	1	0	0	1	0	0	1	0.251
	6월	0	1	0	1	1	0	1	0.181
	7월	0	0	0	2	1	0	1	0.417
	8월	0	1	0	2	1	0	1	0.541
	9월	0	0	0	1	1	0	1	0.508
	10월	0	0	0	2	1	0	1	0.603
	11월	1	0	0	1	0	0	1	0.242
	12월	1	1	0	2	1	0	1	0.443

모형의 선정기준은 사용변수의 개수에 영향을 받는 것을 회피하기 위하여 자유도 조정을 마친 중상관계수 ( $R^*$ )와  $\chi^2$ 검정에 의해 선택하였다. 중상관계수는 1에 가까울수록 실측치의 변동을 잘 기술하는 모형이라고 말할 수 있다. 자유도 조정을 완료한 중상관계수 ( $R^*$ )는 식 (6)과 같이 정의된다.

$$R^* = \sqrt{1 - \frac{n-1}{n-p^m-1}(1-R^2)} \quad (6)$$

여기서 n은 자료의 개수이며  $p^m$ 은 모형에 사용된 모수의 개수를 나타낸다.

표 2~3은 안동과 합천 다목적댐의 월별 시험모형에 대한 자유도 조정 중상관계수가 제일 크게 나타난 것을 나타내었다.  $X_{t,1-b}$ 는 각 지점의 저수위,  $X_{t,2-b}$ 는 유입량을 의미한다.

### 4.3 모형의 적합성 검정 및 최적 모형의 선정

Transfer Function 모형의 적합성 검정은 자유도 조정 중상관계수 ( $R^*$ )가 가장 크게 나오는 모형을 선택하고 잔차 분석을 통하여 검정한다. 전절에서 확립된 모형이 적절한 모형이라면 잔차의 자기상관계수 검정치와 잔차와 입력값(독립변수)의 상호상관계수의 검정 결과치가  $\chi^2$ 의 자유도 통계치보다 작아야 하며 잔차의 시계열이 정규성을 나타내야 한다.

표 4는 안동 다목적댐의 최적 모형에 의해서 계산된 잔차의 통계치를 나타낸 것이며, 잔차분석은 Porte-Manteau Test를 통하여 독립성 여부를 결정하였다. 표 4에서 보듯이 최적 모형으로 선정된 모형의 적합도 검정에서  $Q_1$ 과  $Q_2$ 의 통계치가 대부분  $\chi^2$ 의 자유도 통계치보다 작으므로 최적 모형으로 선정된 모형들이 적합함을 보이고 있다. 그러나 안동댐 10월, 임하댐 5월, 11월, 12월, 남강댐 10월에서는 선택된 모형의 적합도가 통계치보다 크게 나타났다. 여러 가지 모형들을 적용하였으나  $\chi^2$ 의 자유도 통계치보다 크게 나오므로 제외시켰다. 그리고 남강댐 7월, 8월, 9월에서는 모수의 추정치가 너무 크게 나오는데 이유는 자료에서 이상치가 발견되어 모형을 적용하는데 어려움이 있으므로 제외시켰다. 그림 3과 4는 안동과 남강 다목적댐의 1월에 대한 잔차의 시계열을 나타내고 있는데 잔차의 평균이 거의 0에 가까운 정규성 형태를 나타내고 있다.

표 4. 안동 다목적댐 최적 Transfer Function 모형에 의한 잔차계열의 통계치

종속변수	$Q_1$	$\chi^2$	독립변수	$Q_2$	$\chi^2$	잔차의 평균	잔차의 분산	
방류량	1월	21.1	35.2	저수위	23.3	33.9	-0.807E-01	0.669E+01
				유입량	21.5	33.9		
	2월	20.9	35.2	저수위	16.3	36.4	-0.105	0.577E+01
				유입량	29.7	33.9		
	3월	31.7	35.2	저수위	7.3	36.4	-204E-02	0.191
				유입량	13.8	33.9		
	4월	25.7	35.2	저수위	7.8	33.9	-0.191	0.611E+02
				유입량	10.7	33.9		
	5월	24.1	35.2	저수위	12.0	35.2	-0.406	0.241E+03
				유입량	20.9	33.9		
	6월	33.5	35.2	저수위	0.7	33.9	0.849	0.292E+02
				유입량	1.5	33.9		
	7월	34.6	35.2	저수위	11.0	35.2	0.163	0.724E+02
				유입량	13.0	33.9		
	8월	22.8	35.2	저수위	0.7	33.9	0.823	0.382E+02
				유입량	0.2	35.2		
	9월	20.6	35.2	저수위	12.0	36.4	-0.304E+01	0.961E+03
				유입량	20.5	33.9		
	10월	87.6	35.2	저수위	6.8	33.9	0.120	0.705E+02
				유입량	48.4	33.9		
	11월	25.1	35.2	저수위	12.1	36.4	0.937E-01	0.278E-02
				유입량	22.4	33.9		
	12월	20.8	35.2	저수위	21.1	33.9	-0.153	0.398E+02
				유입량	8.1	33.9		

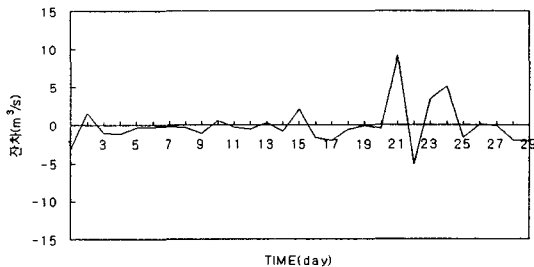


그림 3. 방류량의 잔차 시계열 (안동 다목적댐 1월)

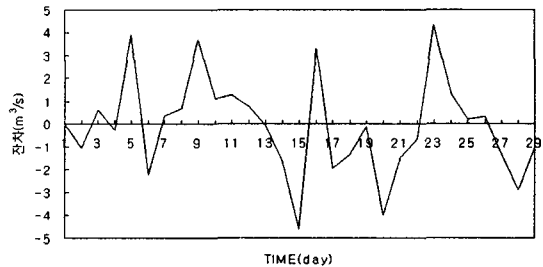


그림 4. 방류량의 잔차 시계열 (남강 다목적댐 1월)

#### 4.4 실측치와 추정치 비교

본 연구에서 자유도 조정 증상관계수가 가장 높은 모형을 택하여 검증한 결과 채택된 최적 Transfer Function 모형을 확립하였다. 최적 모형으로 선정된 Transfer Function 모형으로부터 얻어진 방류량의 추정치와 실측값은 거의 비슷한 통계치를 보이고 있으며 상대오차도 작은 값을 보이고 있다. 방류량에 각 지점별 주요 월에 기본통계량을 표 5에 나타내었다.

이상의 결과로부터 추정된 모형은 실측치의 변동을 잘 나타내고 알 수 있다. 각 지점별로 2000년 1년 간의 자료를 이용하여 각 월별로 6번째 자료부터 마지막까지 자료를 이용하여 모의발생을 하였다.

표 5. 실측치와 추정치 비교

지점. 월	통계치		상대오차 (%)	표준편차 ( $\sigma$ )		상대오차 (%)
	실측값	추정값		실측값	추정값	
안동댐 1월	33.10	33.09	0.03	0.86	0.79	3.50
안동댐 2월	36.08	36.68	1.66	2.61	3.11	19.2
안동댐 11월	91.90	91.68	0.24	6.24	6.15	1.44
임하댐 1월	11.71	11.88	1.45	2.39	2.38	0.42
임하댐 2월	15.15	15.16	0.06	0.79	0.93	17.7
임하댐 7월	5.91	6.10	3.12	1.55	1.53	1.29
합천댐 1월	25.71	25.80	0.35	1.36	1.01	25.7
합천댐 4월	19.64	19.72	0.41	2.21	1.95	11.76
합천댐 6월	17.30	17.17	0.75	6.28	6.94	10.51
남강댐 1월	12.47	12.56	0.72	2.85	2.55	10.53
남강댐 2월	9.24	9.20	0.43	1.28	1.20	6.25
남강댐 3월	8.44	8.55	1.30	0.90	0.88	2.22

그림 5~6을 살펴보면 제안된 모형이 대체로 실측치와 추정치의 변동성향을 잘 나타내고 있다. 각 지점, 각 월별로 특성이 다르기 때문에 각 월별 제안식과 추정정도는 모두 다르다.

개발한 Transfer Function 모형은 수문인자들간의 변동특성을 잘 구현하고 있음을 알 수 있다. 안동 다목적댐의 1월과 6월에 대하여 제안된 모형식은 각각 식 (7)과 (8)과 같다.

$$y_t = \left\{ \frac{0.48607}{1 - 0.5635B - 0.6183B^2} \right\} x_{1,t} + \left\{ \frac{-0.00797}{1 + 0.04395B - 0.44242B^2} \right\} x_{2,t} + \{1 + 0.55124B\} \varepsilon_t \quad (7)$$

$$y_t = \left\{ \frac{0.00001}{1 - 1.11791B - 1.75973B^2} \right\} x_{1,t} + \left\{ \frac{0.07469}{1 + 1.37955B + 1.27480B^2} \right\} x_{2,t} + \{1 + 0.48158B\} \varepsilon_t \quad (8)$$

이상의 결과로부터 알 수 있는 바와 같이 각 지점 월별로 Transfer Function 모형의 모수에 차이가 발생할 수 있음을 알 수 있고, 모형화한 Transfer Function 모형은 각 다목적댐의 수문특성을 잘 나타내고 있음을 알 수 있다.

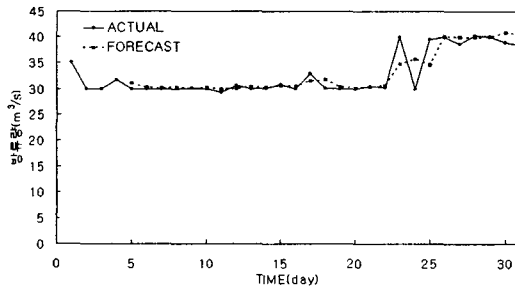


그림 5. Transfer Function 모형에 의한 추정 (안동 다목적댐 1월)

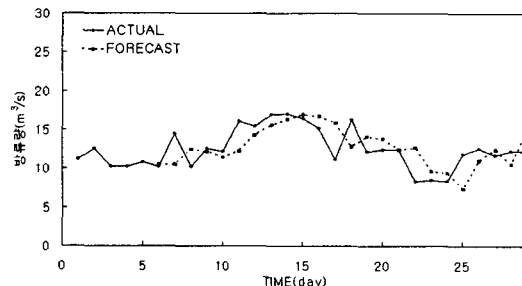


그림 6. Transfer Function 모형에 의한 추정 (남강 다목적댐 1월)

#### 4.5 모형의 검증

4.4절에서 제안한 Transfer Function 모형을 실제로 적용할 수 있는가 그렇지 못한가를 검토하기 위해서는 이 모형에 의한 예측의 적합성이 필요하다. 제안된 식 중에서 안동댐 1월과 임하댐 1월 식을 이용하였다. 먼저 안동댐 1월의 경우는 2000년 1월 1일~1월 31일의 시계열 자료를 이용하여 제안된 모형식에 의해 2000년 2월 1일의 방류량을 예측하여 보았다. 다음에는 2000년 1월 2일~2월 1일의 자료로 2월 2일의 방류량을 예측하였다. 이후 마찬가지로 1일씩 지체하여(5일간) 예측하고 오차의 평가는 실측치가 예측치의  $\pm 5\%$  또는  $\pm 10\%$  범위에 드는지 아닌지에 의해서 판단하였다. 임하댐의 경우도 안동댐의 경우와 같은 방법으로 실시하였다. 적용결과 실측치가 예측치의 신뢰한도 내에 위치하고 있어 본 연구에서 개발된 모형식의 적용 가능성을 확인할 수 있었다. 적용 결과는 그림 7과 8과 같다.

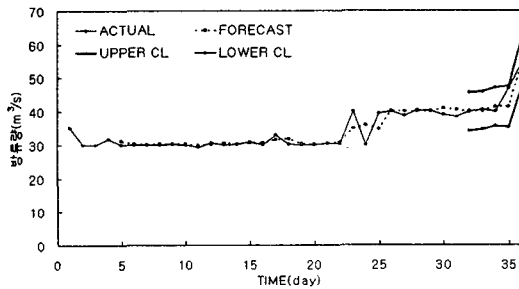


그림 7. 모형식 예측 결과 (2000년 안동 다목적댐 1월)

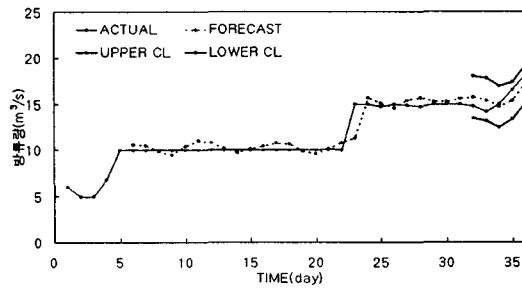


그림 8. 모형식 예측 결과 (2000년 임하 다목적댐 1월)

#### 5. 결론

본 연구에서는 다목적 댐들의 각종 운영자료를 바탕으로 장래 수문자료를 모의발생할 수 있는 추계학적 모형을 다입력-1출력 모형인 Transfer Function 모형을 적용하였으며 얻어진 성과를 요약하면 다음과 같다

- (1) 다변량 ARIMA 모형인 Transfer Function 모형을 적용한 결과 각 수문자료별 다양한 형태의 시계열 모형이 개발되었으며, 이는 다목적댐의 수문인자들간의 시계열 분석이 가능함을 의미한다.
- (2) 대상지점에 Transfer Function 모형을 적용한 예측 모형은 추정오차가 적고 실측치의 변동을 잘 기술함을 알 수 있었다.
- (3) 다변량 ARIMA 모형인 Transfer Function 모형은 입력변수가 하나가 아닌 여러개의 입력변수가 들어가므로 그 계산과정은 일변량 ARIMA 모형보다 복잡하지만 모형 자체의 정확성은 일변량 ARIMA보다 더 높기 때문에 방류량과 관계하는 여러 가지 다른 요인들을 입력변수로 추가하면 더 좋은 결과치가 나타날 것으로 생각되며, 모형에 이용되는 요인에 대해서는 지속적인 연구가 필요할 것으로 보인다.
- (4) 본 연구에서 개발된 모형들은 낙동강 유역 다목적댐에 국한된 모형이므로 타 지역의 다목적댐의 모형은 그 지역의 특성과 수문인자간의 변동 특성에 적절한 모형을 개발해야 한다.

#### 6. 참고문헌

- Bartlett, M.S. (1955). *Stochastic Processes*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Box, G.E.P. and Jenkins, G. (1970). *Time Series Analysis Forecasting and Control*, Holden-Day, San Francisco.
- Fiering, M.B. (1967). *Streamflow Synthesis*, Harvard University Press, Cambridge Mass.
- Nelson, C.R. (1973). *Applied Time Series Analysis for Managerial Forecasting*, Holden-Day, San Francisco.
- Pierce, D.A. (1968). "Distribution of Residual Correlations in Dynamic/Stochastic Time Series Models", University of Wisconsin Tech. Rep. 173.
- Quimpo, R.G. (1967). "Stochastic Model of Daily River Flow Sequences", *Hydrology Paper 18*, Colorado State University, Fort Collins.
- Robinson, E. A. (1981). *Time Series Analysis and Applications*, Goose Pond Press.
- Vandaele, W. (1983). *Applied Time Series and Box-Jenkins Models*, Academic Press.
- Yevjevich, V. (1972). *Stochastic Processes in Hydrology*, Water Resources Publications, Colorado.