

# 最適化 技法에 의한 貯溜函數 流出 모델의 自動 補正

Automatic Calibration of the Storage-Function

Rainfall-Runoff Model Using an Optimization Technique

尹在興 高錫九 金洋一

## 요 약

충주댐 및 소양강댐 유역에 대해 현재 한국수자원공사에서 개발 사용하고 있는 저류함수 유출모형에 최적화 기법을 적용하여 모형을 효율적으로 자동보정 하기위함이 본 연구의 목적이다. 최적화 기법으로는 다양한 조건하에서도 해의 안정성이 Gradient-Based 방법보다 우수한 직접 탐색법(Direct Search Method)의 하나인 Pattern-Search법으로 선정하였으며 목적함수로는 산정된 유출과 관측치의 편차의 제곱에 대한 누계치로 정의하였다. 합성유입량(Synthetic Inflow)을 이용한 민감도 분석에 의해 매개변수 5개(유역 저류상수 및 지체시간, 포화우량, 하도의 지체시간)를 결정변수로 선정하였다. 또한 실시간 모형의 보정을 위하여 최적화 모형의 수렴조건을 분석한 결과 P-S 법의 증분 감소횟수 2회가 합리적으로 나타났다.

본 모형을 충주댐 및 소양강댐의 과거 홍수사상에 대해 적용하였으며 댐지점에서 전체유역을 일괄 보정하는 방법과 댐 상류 수위곡을 기준으로 하는 증유역별로 일괄 보정하는 방법을 채택하여 분석하였다. 실시간 보정된 모형의 예측기능을 시험한 결과 상당한 오차발생의 여지가 충분하며 증유역별 매개변수의 보정은 대유역 일괄보정에 비해 예측에 따른 오차를 줄일 수 있는 방법의 하나이다. 또한 최적화 기법에 의한 매개변수의 자동 보정은 시행착오에 의한 수동보정의 경우보다 시간 및 노력면에서 효율적이며 보다 신뢰성 있는 보정을 실시 할 수있다.

## 서론

다목적댐의 홍수 조절 효과를 높이기 위해서는 댐으로 유입되는 홍수

韓國水資源公社 水資源研究所

Program CSUDP ", Civil Engineering Department, Colorado State University, Fort Collins, CO, 1988.

Labadie, J. W., Scripts for Videotape Course on: Management of Water Resources-A System Approach, J.W. Labadie (ed.), Civil Engineering Department, Colorado State University, Fort Collins, CO, 1978.

Loucks, D. P., J. R. Stedinger, and D. A. Haith, Water Resource Systems Planning and Analysis, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, NJ, 1981.

Slas, J. D., G. G. S. Pegram, " A Seasonal Miltivariate Multilag Auto-regressive Model in Hydrology, " in Modeling Hydrologic Proceses, H.

Morel-Seytoux, J.D.Salas, T.G.Sander, and R.E.Smith(ed.), Water Resources Publications, Fort Collins, CO, 1978.

Chungju Multipurpose Dam Project Final Report on Optimization Study of Power Installation at Reregulation Dam, Prepared by Nippon Koei Co. for Industrial Sites and Water Resources Development Corp., 1981.

충주 다목적댐 공사지, 건설부/산업기지개발공사, 1986.

충주 다목적댐 재산권 처리 및 사업별 운영 방안 연구, 건설부/산업기지개건설부/산업기지개발공사, 1985.

충주 다목적댐 관리년보, 산업기지개발공사, 1986.

충주 다목적댐 관리년보, 산업기지개발공사, 1987.

충주 다목적댐 관리년보, 산업기지개발공사, 1988.

충주 다목적댐 관리년보, 한국수자원공사, 1989.

한강유역조사보고서, 한국수자원공사, 1990.

전국 수자원 이용현황 및 수요조사 보고서, 산업기지개발공사, 1986.

량을 신속 정확히 산정 예측하는 일이라 할 수 있으며, 정확한 예측을 위하여는 우수한 유출모형(Rainfall-Runoff Model)이 필수 불가결한 조건중의 하나이다. 일반적으로 어떠한 모형이라 할지라도 실제 시스템을 오차 없이 모의 할 수는 없으며 하나의 사상에 대해 근접한 결과를 갖는 모형도 다른 조건의 사상에 대해 큰 오차를 유발할 수도 있다. 그러므로 대부분의 모형은 모의시험이나 예측을 위하여 사용 전에 모형보정 (Model Calibration)의 과정을 거치게 된다. 특히 수문 현상과 관련있는 유출모형에 있어서는 기상 및 지형학적인 다양한 특성과 수문 관측 자료의 부정확성으로 인한 오차가 심하여 이를 배제하기란 어렵다. 따라서, 유출 모형의 질에 못지 않게 중요한 것이 모형의 보정이라 할 수 있다.

현재 한국 수자원 공사에서 개발하여 사용되고 있는 저류함수 유출모형의 매개변수(Parameters)는 각 소유역별로 유역의 지형적 특성을 고려하여 경험식에 의해 산정되었으며 댐상류 유량자료와 강우자료의 부족 및 부정확성으로 인해 과거 홍수자료에 의한 모형검정 (Model-Identification)을 실시함에는 많은 문제가 따른다. 따라서, 실제 모형 운영시 모형에 의해 산정된 댐유입량과 T/M 에 의해 실시간 관측된 댐유입량을 토대로 모형 운영자가 주관적인 판단하에 매개변수를 조정하는 실정이다.

본 연구에서는 이러한 모형의 실시간 보정과정을 개선하기 위해 컴퓨터의 발달로 최근 그 사용이 증가하고 있는 모형의 자동보정법을 도입하여 최적화 기법 (Optimization Technique)의 하나인 Pattern-Search (P-S) 법을 충주댐 및 소양강댐의 저류 함수 유출모형에 적용하였다. 합성 유출 (Synthetic Runoff) 자료를 이용하여 민감도 분석에 의한 최적화 모형의 결정변수 (Decision Variables) 선정 및 최적화 모형의 검증 (Model Verification)을 하였으며 실시간 모형의 보정을 위하여 적절한 수렴조건을 결정하였다. 홍수 자료에 의한 모의 분석을 댐 지점에서 전체 댐 유역을 일괄 보정하는 방법과 댐상류 수위국을 기준으로 분할한 소유역을 상류 수위국 지점으로부터 순차적으로 일괄 보정하는 방법을 모두 채택하여 분석하였다. 또한 일정 기간내의 자료로써 실시간 보정된 모형의 예측성 여부를 조사 하였다.

## 최적화 기법에 의한 모형의 보정

모델의 보정 방법에는 시행착오에 의한 수동보정 (Manual Calibration) 방법과 최적화 기법에 의한 자동보정 (Automatic Calibration) 방법이 있다. 수동보정 방법은 모형 수행에 의한 컴퓨터 출력을 특정한 방법(주로 수문곡선의 시각적 비교)에 의해 관측치와 비교하여 직감적으로 매개변수를 조정하며, 이를 위해서는 모형 및 구역의 특성을 완전히 이해하고 모델 보정에 대한 숙련된 경험과 감각을 갖춘 수문 기술자가 필요하다. 자동보정 방법은 최적화 기법을 이용하여 특정한 산정 기준 (Estimation Criterion) 을 최대 또는 최소화시키는 모형의 매개변수를 결정하는 방법이다.

유출모형의 매개변수 자동보정에 보편적으로 많이 사용되는 최적화 기법은 직접 탐색법 (Direct Search Method)으로 P-S법<sup>(7)</sup>, Simplex법<sup>(10)</sup> 및 Rotating Directions법<sup>(11)</sup> 등이 여기에 속한다. 직접 탐색법은 알고리즘 자체가 효율성 면에서 Gradient-Based 법보다 떨어지나 후자는 대부분의 유출모형 방정식의 미분계수를 매개변수에 대해 일정 형식으로 나타내기가 어렵기 때문에 거의 사용되지 않고 있다. Gupta & Sorooshian (195) 은 Gradient-Based 법의 하나인 Newton-Raphson 법과 Simplex법을 6개의 매개변수를 갖는 유출모형에 적용한 결과 전자의 방법이 컴퓨터 실행시간 면에서 더 효율적이며, 특히 매개변수의 수가 많은 모형일수록 그 효율성이 증대함을 언급했다. Hendrickson 등 (1988) 은 SMA-NWSRFS (Soil Moisture Accounting Model) 모형에 Newton 법과 P-S법을 적용한 결과 P-S법이 모형의 여러가지 조건하에서도 안정된 해를 구할 수 있으며 Newton 법은 컴퓨터 실행시간이 짧은 반면 목적함수의 응답면(Response Surface)의 상태에 따라 나쁜 결과를 얻을 수 있어 해의 안정성이 떨어짐을 지적했다. 따라서 본연구에서는 P-S법을 최적화 모형으로 선정하여 이를 부프로그램으로써 유출모형에 접속시켰다.

최적화 기법의 적용을 위해서는 최적화 산정기준인 목적함수가 정의되어야 하며 일반적으로 유출모형의 목적함수는 식 (1)로 표현할 수 있다.

$$f(E)=f(Q - R(I, \Theta)) \quad (1)$$

여기서,  $Q = [q_1, q_2, q_3, \dots, q_n]$  및  $R$  은  $n$  시간 동안의 관측치와 모형에 의한 산정치들 각각 나타내며  $I$  는 모형의 입력 변수,  $\Theta$  는 모형의 매개변수를 나타낸다. 위 식에서 오차의 기준  $E$  와 함수  $f$  를 여러 가지 방법으로<sup>(3) (4)</sup> 정의할 수 있으며 유출 산정 함수  $R$  은 매개변수에 대해 직접 또는 간접적인 형태로 나타날 수 있다. 다른 접근방법으로 Sorooshian (1978)은 목적함수의 구성 및 관측오차가 응답면의 형태에 결정적인 영향을 미친다는 것과 관측오차가 추계학적 특성을 가질 때 이를 고려한 산정 기준의 필요성을 언급하고 Maximum Likelihood 이론에 의한 방법을 제안했다. 본 연구에서는 식(2)와 같은 관측치와 산정치에 대한 편차의 제곱의 합(Sum of Square of Residual: SSR)을 목적 함수로 선정하였으며 매개변수의 제약조건에 대해서는 뒤에 언급하였다.

$$\text{Minimize } SSR = \sum (q_i - r_i)^2 \quad (2)$$

## 저류함수 최적화 모형의 구성

충주댐 및 소양강댐의 저류함수 유출모형의 구성은 그림 1과 같으며 충주댐의 경우 19개의 소유역과 13 개의 하도로 구성되어 있으며 댐지점 수위관측소 이외에 댐상류에 3 개의 수위관측소가 있다. 각 댐유역내의 우량관측소는 충주댐이 22 개, 소양강댐이 10개로 티센계수법에 의해 각 소유역별로 평균우량을 산정하여 유출모형에 적용한다.

유출모형 사용의 이상적인 방법은 각 소유역 출구 및 하도에서의 유량 관측 자료와 기타 수문자료를 가지고 해석적 방법에 의한 모형의 검정 (Model Identification)을 하고 실제 유출량 예측시 약간의 보정 절차를 거쳐 매개변수를 조정하는 방법이라 할 수 있다.

그러나 현재 사용되고 있는 모형은 매개변수 검정에 필요한 하천 유하량 자료의 부족으로 일본 이근천에서 유도된 경험식에 의해 각 소유역별로 매개변수가 산정되었으며<sup>(1)</sup> 모형의 실제 운영시 모형보정은 다음식에 의해 전체 소유역을 같은 비율벡터  $\Lambda^T = (\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n)$  를 조정함으로써 이루어진다.

$$\Theta_0 \dots \Theta_0 \cdot \Lambda^T \quad (3)$$

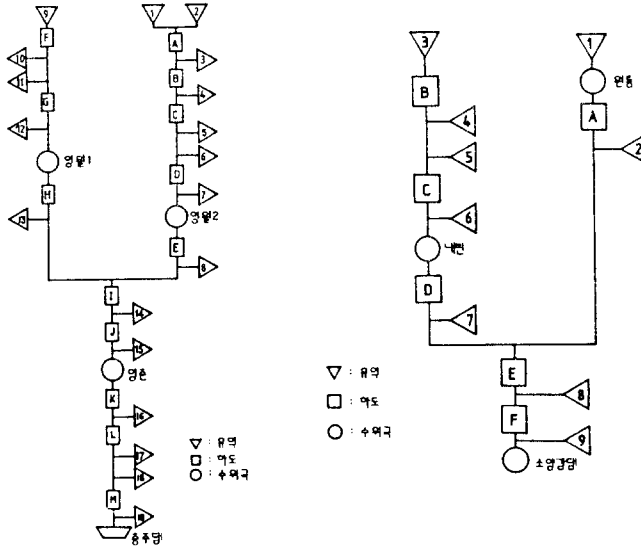


그림 1. 소양강댐 및 충주댐의 저류함수 유출 모형도

여기서  $\Theta_c^T = (K, P, T_1, f_1, R_{s,a}, K', P', T_1')$  와  $\Theta_s$  는 각각 보정치와 경험치의 매개변수 벡터를 나타낸다. 본 연구에서는 벡터  $\Lambda$  를 최적화의 결정변수로 취하였으며 (이후 벡터  $\Lambda$  의 값을 매개변수의 값으로 간주함) 전체 대유역에 대한 일괄적인 매개변수 조정 이외에 중유역 (각 수위국이 대표하는 유역)별 매개변수의 특성을 고려하기 위하여 상류 수위국에서 댐지점으로의 점차적인 중유역별 보정을 실시하였다. 즉, 그림 1의 소양강댐 유출 모형도에서 원통 및 내린 수위국에서 각각 수위국의 상류 소유역 및 하도의 매개변수를, 댐지점에서 유역 7, 8, 9 와 하도 D, E, F 의 매개변수를 일괄 조정하는 방법을 취하였다. 이때 중유역별 매개변수 벡터는 각각  $\Lambda_1, \Lambda_2, \Lambda_3$  가 된다.

최적화 모형의 저류함수 유출 모형에의 접속은 그림 2의 모형도와 같으며 유출모형의 주 프로그램에서 최적화 부프로그램을 호출하고 최적화 부프로그램은 다시 저류함수 모형에 포함되어 있는 유역의 유출산정 부프로그램 MODEL 을 최적화 과정이 수렴할 때까지 호출하게 된다. 이때, 부프로그램 MODEL 을 호출할 때마다 SSR이 산정되어 목적함수의 개선 여부를 판정하게 된다.

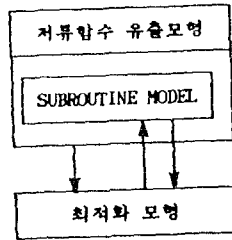


그림 2. 저류함수 최적화 모형의 구성

## 결정변수의 선정

우리가 가지고 있는 댐유입량 자료는 댐수위를 저류량으로 환산하여 얻어졌기 때문에 수위관측 오차에 대한 유입량의 변화가 커서 유입량 수문 곡선이 뚝뚝 모양의 불규칙한 오차를 포함하고 있으므로 모델 보정에 사용할시 보정의 정확도 측정이 곤란하다. 따라서 본 연구에서는 이미 알고 있는 매개변수를 가지고 유출 모형에 의해 모의 발생된 유입량 자료를 관측 유입량으로 가정하여 모형보정에 관한 시험을 하는 합성보정 (Synthetic Calibration) 방법에 의해 모형의 민감도 분석, 최적화 모델의 수렴조건 결정 및 검증을 하였다.

Johnston 등 (1976)은 유출모형의 매개변수가 유일하고 개념적으로 현실적 (Unique and Conceptually Realistic)이지 못한 값으로 선정되는 이유로 1) 모형 매개변수간의 독립성 결여 2) 목적함수에 대해 민감도가 낮은 매개변수의 존재 3) 목적함수의 불연속성 4) 극대 또는 극소치 (Local Optima)의 존재를 제시하였다. 또한 Sorooshian (1990)은 모형 보정의 목적을 우리가 이해되고 있는 물리적 시스템을 잘 표현할 수 있는 유일하고 개념적으로 현실적인 매개변수를 구하는 것과 단지 관측치와 모의 발생치가 근접하지만 매개변수의 개념적 현실성 여부는 고려치 않고 매개변수를 구하는 것의 두가지로 구분하였으며, 위의 두가지 사항을 모두 고려하지 않았을 때 비록 보정 기간에 대해서는 관측치와 모의 발생치가 잘 보정이 이루어졌더라도 예측시에는 좋지 않은 결과를 초래할 수 있음을 지적하였다.

최적화 모형의 결정변수를 선정하기 위해 저류함수 유출모형의 매개변수  $\Lambda^T = (\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_8)$ 에 대한 민감도 분석을 통하여 민감도 낮은 변수를 제거 하였다. 식 (2)의 목적함수에 대한 매개변수의 제약조건

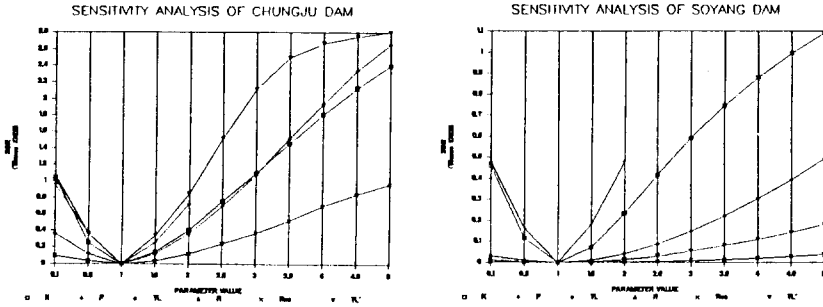


그림 3. 매개변수의 민감도 분석

은 모든 소유역에 대한 P,  $f_1$  및 P'의 초기치를 0.5로 고정하였기 때문에 식 (4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{Subject to } & \Lambda \geq 0 \\ & \lambda_2, \lambda_4, \lambda_7 \leq 2 \end{aligned} \tag{4}$$

위의 조건하에 민감도 분석을 한 결과 다른 매개변수에 비해 극히 적은 민감도를 나타낸 하도의 저류상수 K'와 P'제외한 나머지 매개변수 값 (0.1 - 5.0)의 변화에 대한 SSR의 변화가 그림 3에 나타나 있다. 또한 K'를 제외한 7개의 매개변수 값에 1.0을 지정하여 소양강댐에 대해 모의 기간 72시간 발생된 합성유량을 관측치로 가정하여 얻어진 결과가 표 1에 나타나 있다. 표 상의 값들은 최적화 과정에서 모든 초기 매개변수를 0.5와 1.5로 지정했을 경우의 최종 매개변수 값의 평균치이다.

STEP*	CPU**	SSR	K	P	$T_1$	$f_1$	$R_{adj}$	P'	$T_1'$
1	178	793847	1.10	1.00	0.90	1.30	1.20	0.60	0.90
2	707	9597	1.07	0.97	1.01	0.99	0.69	0.48	0.97
3	1442	3509	1.06	0.97	1.00	1.02	0.76	0.51	1.00
4	4427	103	1.01	1.00	1.00	0.99	0.96	0.58	1.01

\* P-S법의 수렴 조건인 Exploratory-Move시 증분  $\Delta$ 의 감소 횟수

\*\* Intel 80386(16 MHz) Micro-processor 에 의한 CPU 시간 (초)

표 1. 수렴조건별 매개변수 (7 변수)

위의 결과에서 매개변수 P'의 값이 참값인 1.0에 수렴하기 위해서는 수렴조건이 매우 커져야 하며, 민감도가 낮은 매개변수 만이 수렴조건  $\Delta$ 의 감소 횟수 증가에 따라 변화가 크음을 알 수 있다. 이와같이 민감도



가 낮은 매개변수를 결정변수로 취할 경우 목적 함수의 뚜렷한 개선없이 수렴시간이 길어질 뿐 아니라  $\Delta$ 의 감소 횟수를 제한할 경우 매개 변수들이 비 현실적인 값으로 수렴할 가능성이 크다. 따라서 민감도가 극히 적은  $K'$  와  $P'$ 를 결정변수에서 제외 시켰으며 선정된 6 개의 변수중  $f_1$  과  $R_{sa}$  는 초기 유출에, 하도의 지체시간  $T_1'$ 는 유역 지체시간  $T_1$ 에 대해 서로 보완 관계에 있음을 고려하여 변수  $f_1, R_{sa}, T_1'$ 를 각각 제외시켜 모의한 결과가 표 2에 나타나 있다.

제거 매개변수	STEP	총주범			소양강범		
		CPU	SSR	BRM	CPU	SSR	BRM
$T_1$	1	221	1550048	0.220	90	1689023	0.240
	2	581	54178	0.244	254	59316	0.220
	3	2614	42	0.000	1913	7792	0.140
	4	-	-	-	4516	255	0.028
$R_{sa}$	1	246	5797831	0.180	91	1176098	0.180
	2	599	64556	0.022	253	24730	0.073
	3	1246	344	0.000	781	7882	0.064
	4	-	-	-	1994	127	0.008
$f_1$	1	121	57	0.000	45	9	0.000

표 2. 매개변수 제거에 따른 산정 매개변수의 정확도

표 2에서 BRM (Average Relative Bias)<sup>(8)</sup>은 산정 매개변수의 정확도 측정치로 식 (4)로 표시할 수 있다.

$$BRM = \frac{1}{n} \sum \frac{|\lambda_i - \lambda_i'|}{\lambda_i'} \quad (4)$$

여기서  $n$  는 매개변수의 수를,  $\lambda$  와  $\lambda'$  는 매개변수의 산정치와 참값을 각각 나타낸다.  $R_{sa}$  를 제거했을 경우의 BRM 은 같은 수렴조건 하에서  $T_1$  의 경우보다 적게 나타나며  $f_1$  을 제거할 때 가장 빨리 참값에 수렴하였다. 따라서 최종적인 결정변수는  $f_1$  을 제외한  $K, P, T_1, R_{sa}, T_1'$  의 5 개로 선정하였다.

## 수렴조건

P-S법에 의한 최적화의 과정은 Exploratory-Move 와 Pattern-Move 의 반복으로 구성되어 있으며 전자에서 최적의 경로를 찾기위한 탐색과정

으로 각 매개변수에 대해 일정량의 증분  $\Delta$ 을  $n$ -차원공간 ( $n$ 는 매개변수의 갯수)내에서 각 축별로 가감하여 목적함수가 개선되는 방향으로 매개변수의 위치를 이동시킨다.

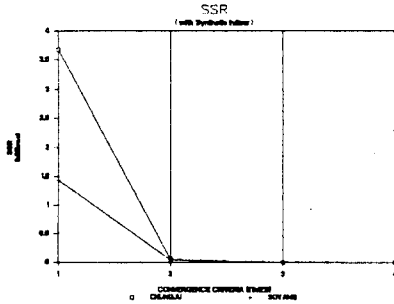


그림 4. 수렴조건별 SSR의 변화

전 매개 변수에 대해 이러한 탐색이 끝나면 최종적인 Pattern-Move 를 위한 방향이 결정되어 목적 함수가 개선되지 않을 때까지 Pattern-Move 를 계속하고 다시 처음의 탐색과정으로 되돌아 간다. 탐색과정에서 모든 매개변수에 대해 어느방향으로도 목적함수가 개선되지 않을때 증분  $\Delta$ 를 일정비로 감소를 시키는데 이의 감소 횟수를 수렴조건으로 하였다.

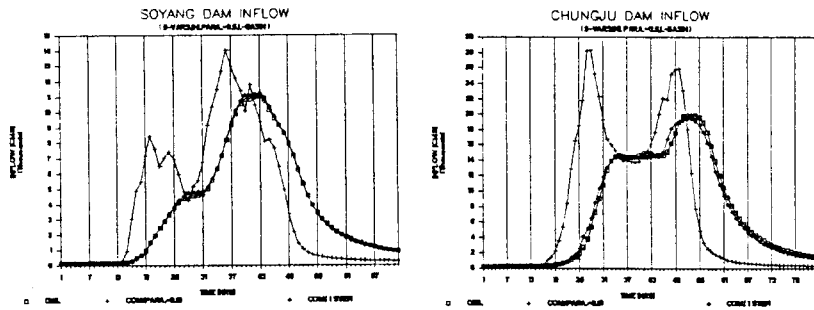


그림 5. 합성보정에 의한 댐 유입량

각 매개변수의 초기증분  $\Delta$ 를 0.1 로하여 수렴조건별로 합성유입량에 의해 모의한 결과가 그림 4에 나타나 있으며 수렴 조건이 2일 경우 유입량의 SSR은 급격히 감소하여 수렴조건 2이상에 대하여는 모델 구성및 자료관측에 따른 오차를 고려할 때 의미가 없다. 그림 5 는 위의 모의 결과를 수문곡선으로 표시한 것이며 최적화 과정의 초기 매개변수에 대한 유입량, 합성유입량 및 수렴조건 1회 일때의 유입량이 나타나있으며 수렴

조건 2시의 수문곡선은 거의 합성유량치에 접근하므로 도식화를 생략하였다.

### 홍수 관측자료에 의한 분석

이상의 분석 결과에 따라 5 개의 결정변수에 대해 중분 감소횟수 2 회의 수렴 조건을 가지고 최적화 기법에 의한 유출모형을 실제 과거 홍수자료를 이용하여 분석 하였다.

댐 지점에서 대유역 보정을 통하여 충주댐의 홍수자료를 가지고 모의한 결과가 그림 6에 나타나 있으며 대체로 산정치가 관측치에 근사하게 접근함을 알 수있다. 표 3과 그림 7은

충주댐의 87-90년 사이에 3개의 홍수사상에 대한 보정 결과이며 그림 7의 횡축은 순서대로 K, P, T<sub>1</sub>, Rsa, T<sub>1</sub>'를 나타낸다. 그림 7에서 K, P, R<sub>s</sub>

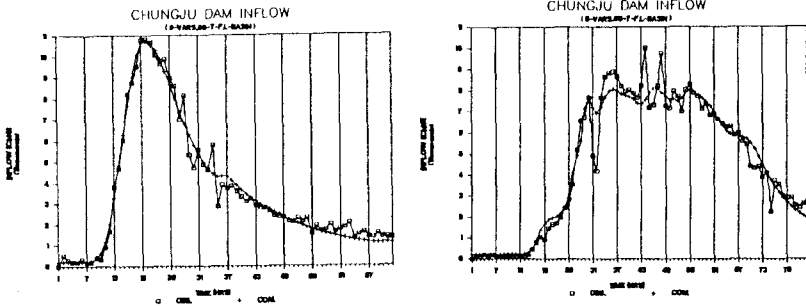
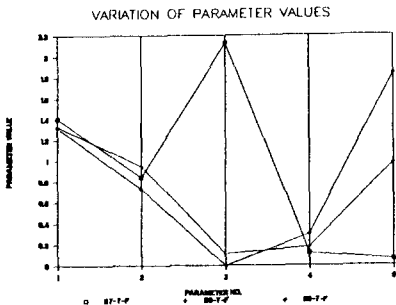


그림 6. 대유역 보정시 댐유입량



홍 수	모의시간	CPU	SSR
87-7-F	72	753	31064472
88-7-F	72	1053	14079710
89-7-F	84	1388	38498896

그림 7. 홍수사상별 매개변수의 변화

표 3. 홍수사상별 모의운영 결과

는 비교적 모든 홍수가 비슷한 값을 갖는데 반하여 87년 및 89년 홍수의 지체시간은 하도와 유역이 서로 상반되는 값으로 수렴 되었다. 이로써 하도와 유역의 지체시간이 서로 간섭함을 알 수 있으며 둘 중의 하나의 값이 정확히 산정 된다면 그 변수를 제거함으로써 나머지 매개변수 값들의 유일성(Uniqueness)을 향상 시킬 수 있다. 또한 산정된 매개변수의 오차는 매개변수의 유일성 의 결여 및 수렴조건의 제한에 의한 것 이외에 강우 및 유량자료의 오차를 큰 원인으로 들 수 있다. 표 3에 나타난 바와 같이 모의시간이 84시간인 89년 홍수의 CPU시간이 약 20여 분으로 이는 32 BIT(16 MHz) 마이크로 프로세서에 의한 실행시간이며 앞으로 32 BIT 고속 및 이보다 고성능의 컴퓨터가 주종을 이룰 것과 통상 실제 유입량 예측시 모의 시간은 40 시간 이내임을 고려할때 자동보정에 의한 실시간 모형의 보정은 수 분내에 실시할 수 있다. 이는 수동보정시에 시행착오에 따른 매개변수 값의 반복적 입력과 보정된 매개변수의 신뢰성면 에서 비교할 때 매우 효율적인 방법이다.

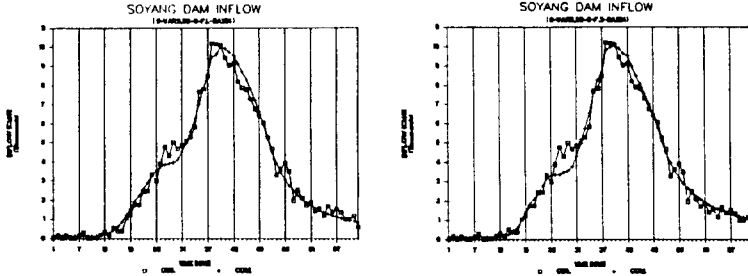


그림 8. 소양댐의 대유역 및 중유역 보정시 댐유입량

소양강댐의 경우 댐 상류 수위국의 유량 관측치가 비교적 정확하여 상류 수위국별로 매개변수 보정을 한 결과 그림 8의 수문곡선으로 나타나며 댐지점 1 회 보정의 경우보다 전체 수문곡선에 대한 SSR이 감소 하였다. 그러나 충주댐의 경우와 같이 댐상류 수위국의 Rating Curve의 식의 정확성이 떨어질 경우에는 소유역별 매개변수의 보정은 의미가 없다.

보정된 모형의 예측정도를 시험하기 위해 소양강댐 및 충주댐의 유입량 수문곡선의 상승부의 36 시간 및 27시간 지점을 각각 현재시간으로 가정을 하여 현재 시간까지의 관측자료를 이용하여 보정된 매개변수 값을

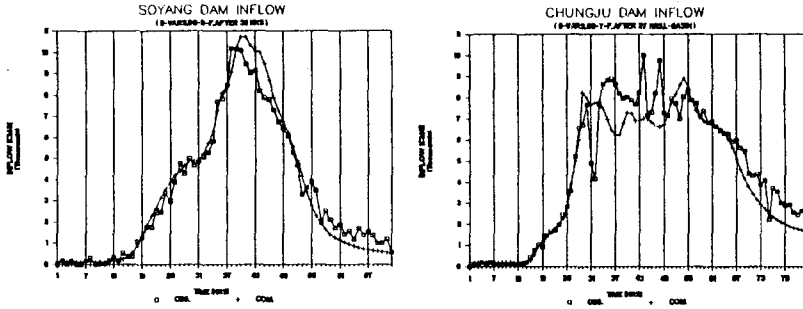


그림 9. 대유역 보정시 예측 댐유입량

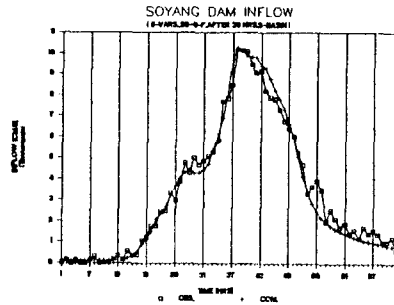


그림 9. 중유역별 보정시 예측 댐유입량

가지고 수동보정 방법에 의해 모의한 결과 그림 9과 같으며 예측에 상당한 오차가 따름을 알 수 있다. 이러한 오차를 줄이기 위해서는 신뢰도가 높은 여러개의 과거 자료에 의해 근사치를 산정한후 매개변수의 상하한치를 설정하여 이를 최적화의 제약조건으로 두고 보정하는 것도 하나의 방법이 될 수있다. 중유역별 보정시 예측 결과가 그림 10에 나타나 있으며 대유역 보정시 보다 관측치에 더욱 접근함을 알 수 있다.

## 결론 및 건의

이상의 분석 결과에 대한 결론은 다음과 같다.

- 1) 자동보정에 의해 보정기간에 산정된 매개변수를 예측에 사용할 때 매개변수의 상호작용으로 상당한 오차가 발생할 우려가 있으므로 예측시에는 산정된 매개 변수 값의 유일성을 신중히 고려하여야한다.
- 2) 모형이 유역의 특성을 대표할 수 있도록 매개변수의 유일성 정도를

높이기 위하여 가능한한 소유역별 보정을 실시한다.

3) 모형의 보정 및 검정을 시행착오에 의한 수동보정 법보다 시간, 노력 면에서 효율적으로 실시할 수 있으며 관측치에 보다 근사한 결과를 얻을 수 있다.

본 연구는 극히 제한적인 홍수자료를 이용하여 모의실험 하였으나 정도 높은 예측을 위하여는 더 정확하고 많은 자료를 이용하여 매개변수의 유일성을 높일 수 있는 방안이 연구되어야 하며 소유역별 모형보정을 위하여 각 소유역 및 하도에 대한 정확한 유량 측정이 필요하다. 또한 각종 수문자료의 실시간 활용을 위하여 이에 대한 데이터 베이스 및 각종 모형의 자료입력 및 수행 결과의 처리를 효율적으로 실행할 수 있는 의사결정 지원 시스템 등의 도입이 필요하다.

## 참 고 문 헌

1. 한국수자원공사, "다목적댐 홍수유출 해석연구 (저류함수법)", 1985.
2. 한국수자원공사, "저수지 수문 조작을 위한 홍수 유입량의 예측모형 개발 연구 보고서", 1990.
3. 윤 용 남, "공업 수문학", 1986.
4. Clarke, R.T., "Mathematical Models in Hydrology", F.A.O., 1973.
5. Gupta, V.K., S. Sorooshian, "The Automatic Calibration of Conceptual Catchment Models Using Derivative-Based Optimization Algorithms", *Water Resources Research*, Vol. 21, P473-485, 1985.
6. Hendrickson, J.D., S. Sorooshian, "Comparison of Newton-Type and Direct Search Algorithms for Calibration of Conceptual Rainfall-Runoff Models", *Water Resources Research*, Vol. 24, P691-700, 1988.
7. Hooke, R., T. A. Jeeves, "Direct Search solutions of Numerical

- and Statistical Problems ", *J. Assoc. Comput. Mach.*, 8(2), P212-229, 1961.
8. Isabel, D., J. Villeneuve, "Importance of the Convergence Criterion in the Auto-matic Calibration of Hydrological Models", *Water Resources Research*, Vol.22, P 1367-1370, 1986.
  9. Johnston, P.R., Pilgrim., "Parameter Optimization for Watershed Models", *Water Resources Research*, 12(3), P477-486, 1976.
  10. Nelder, J.A., R. Mead, " A Simplex Method for Functional Minimization", *Comput. J.*, 7(4), P 308-313, 1965.
  11. Rosenbrock, H.H., "An Automatic Method of Finding the Greatest of Least Values of a Function ", *Comput. J.*, P175-184, 1960.
  12. Sorooshian, S. "Parameter Indentifiability in Conceptual -Rainfall Runoff Models", *Computerized Decision Support Systems for Water Managers*, P173-183, 1990.
  13. Reklaitis, G. V., A. Ravindran, K. M. Ragsdell, "Engineering Optimization", Wiley-Interscience, 1983