

# 信賴度を考慮한 貯水池의 月別 運營律 開發

Development of Monthly Operating Rules Considering  
Reliability Levels for Reservoir System Operation

李熙昇 沈淳輔 高錫九

韓國水資源公社 技術 本部長 忠北大學校 土木工學科 教授  
韓國水資源公社 水資源研究所

## 1. 서 론

貯水池 시스템의 운영은 강우로부터의 유역 유출에 의한 저수지 유입량과 저수지에 의한 저류 및 방류량의 결정 등으로 구성된다. 강우는 자연 현상중에서 가장 예측하기 어렵고 통제 불가능한 요소중의 하나이며, 강우에 의한 유입량도 이러한 추계학적 성질을 갖고 있어서 시간과 공간상으로 항상 서로 다르게 발생 된다. 따라서 임의성이 강한 저수지 유입량에 대처하면서 기대되는 편익을 극대화 시킬 수 있는 최적의 방류 계획을 결정한다는 것은 쉬운 일이 아니며, 방류 계획에 따라 적정한 시기에 적정 용수공급 등 저수지 본래의 목적을 달성하면서 전력 생산을 극대화 하는데는 항상 위험도가 따른다.

본 연구의 목적은 다목적 저수지의 유입량 및 저류상태 등에 따른 방류량 결정에 있어 기대 편익을 증대시키면서 신뢰도나 위험도를 고려할 수 있는 다목적 저수지의 월별 運營律 (operating rule)을 개발하는데 있다. 개발된 운영율은 방류량 결정을 위한 월별 Rule Curve 와 신뢰도 수준에 따른 저수 용량의 월별 배분 및 저수지 운영에 있어 각 변수별 위험도 분석 등으로 구성되어 있다. 이러한 개념을 본담과 조정지점으로 구성된 중주 다목적 저수지 시스템의 연계 운영을 위한 신뢰도를 고려한 저수지의 월별 운영을 개발에 적용하였다.

최적화 기법을 도입한 저수지 운영율은 G. K. Young (1967)이 처음 제시하였으며 당해년도 방류량은 년초 저류량과 익년도 까지의 예상유입량의 함수로 보았다. ReVelle 등 (1969)은 線型決定律을 이용하는 저수지

운영율을 제시하였으며, Ford 등 (1981)은 저수지의 저류 용량을 최적배분하여 저류상태에 따라 서로 다르게 운영할 수 있도록 하였다. 이 밖에 Askew (1974), Karamouz와 Houck (1987) 및 Chung 등 (1988) 도 여러가지 형태의 저수지 운영율을 제시하였으며, 국내에서는 한국 수자원 공사를 중심으로 일부 연구가 있었으나 (고, 1986, 1990 ; 권, 1986) 개발된 운영율에 있어 상관성의 결여나 신뢰도를 고려할 수 없는 문제로 사용되지 않고 있으며, 각각의 저수지 특성상 우리 실정에 알맞는 다목적 저수지의 운영율 개발이 요구되고 있다.

## 2. 저수지의 최적운영과 운영율

저수지 운영을 위한 Rule Curve와 같은 運營律이란 추계학적 성질을 갖는 과거의 저수지 유입량과 용수 공급이나 홍수 조절 등 시스템에 주어진 기본 목적을 달성하면서 수력발전 등의 기대 편익이 증대될 수 있는 상관관계 함수를 말한다. 다시말해서 운영율을 사용하여 저수지를 운영할 경우에는 다음과 같은 손실 함수의 값이 될 수록 최소가 되어야 한다.

$$Z = \min \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T \text{Lit} (X_{it}, Q_{it}, \text{lit}) \quad \dots\dots\dots(1)$$

여기에서 손실함수 Lit는 저수지의 저류상태인  $X_{it}$  및 유입량  $I_{it}$ , 방류량  $Q_{it}$ 에 따라 결정되며, 이론적으로 손실함수의 값이 "0" 이 되기 위해서는 최적 상태로 운영될 수 있는 운영율을 개발하여야 하나 이것은 현실적으로 불가능한 일이다. 이러한 점을 고려하여 저수지 운영율 개발은 최적 운영에 근거하여야 하며, 운영율 개발을 위한 대규모의 다목적 저수지의 최적운영 모형에서는 장기간의 자료를 분석할 수 있어야 하고 여러 목적을 동시에 고려하여야 한다.

다목적 분석 기법에서는 여러 목적을 일시에 고려할 수 있는데, 가장 보편적으로 사용되고 있는 Weighting 기법 (Zadeh, 1963) 에서는 가중치를 각 목적에 부여하여 단일 목적 함수로 변환할 수 있으며, 각 목적의 가중치를 변화시키면서 최적해에 대한 결과를 의사결정을 위한 시스템 기술자가 만족할 수 있을 때의 값을 선택한다.

$$F = \max \left[ \sum_{i=1}^M w_i \left\{ \sum_{j=1}^N \sum_{t=1}^T f_{ij} (X_{jt}, X_{jt+1}, Q_{jt}) \right\} \right] \quad \dots\dots\dots(2)$$

S. T.

$$g_{kjt} (X_{jt}, X_{jt+1}, u_{jt}) = 0 \quad \dots\dots\dots(3)$$

for  $k=1, \dots, L ; j=1, \dots, N ; t=1, \dots, T$

여기에서는 M 개의 목적을 고려하는 N 개의 저수지 시스템으로 부터 분석기간 T동안에 기대되는 편익을 극대화시키도록 되어있다.  $f_{ij}(\cdot)$ 와  $g_{ijt}(\cdot)$

는 목적함수와 제약조건을 나타내는 함수이며,  $X_{jt}$  와  $u_{jt}$ 는 각 저수지의 저류상태 및 t기간 동안의 방류량을 나타낸다.  $w_i$ 는 각 목적에 주어진 가중치이고 L 은 제약조건 수이다.

상기의 최적화 문제에서 수력 발전 문제와 저수지 증발량 등을 고려할 경우에는 목적 함수와 제약조건이 非線型이며, 저수지 운영을 도출 문제는 장기간의 時系列 分析을 필요로 하므로 최적화 모형의 선택은 이러한 점을 고려하여야 한다.

### 3. 운영율의 도출 및 신뢰도 부여

#### 3.1 저수지 운영 Rule Curve의 도출

Rule Curve는 저수지의 運營律의 하나이며 과거의 유입량 자료와 수력 발전 및 용수공급 등 저수지에 주어진 다목적 기능을 감안하여 확정론적 최적화 성과를 時系列로 분석함으로써 Rule Curve를 도출해 낼 수 있다. 특히 최적 저류량의 궤적선에 대한 時系列 分析에 있어서는 장기간의 자료가 있어야만 보다 신뢰성 있는 공통적 특성을 추출해 낼 수 있다.

Rule Curve 중 월간 방류량 결정을 위한 운영율을 도출하고자 할 때에는 저수지의 최적 운영 결과중 저수지 방류량과 저류량 및 유입량의 함수를 시스템 기술자가 예상하는 각 인자별 상관 분석을 실시하여 보다 신뢰성 있는 상관함수를 찾아내는 일이다.

$$Q_{it} = f (X_{it}, I_{it}) ; t=1, \dots, 12 \quad \dots\dots\dots(4)$$

일반적으로 i 저수지에서 t 월 동안의 월간 방류량  $Q_{it}$  는 저수지의 월 초 저류량  $X_{it}$ 와 線型으로 상관관계가 있거나,  $X_{it}$  와 t 월 동안의 유입량  $I_{it}$ 와 함께 선형 상관관계가 있다고 볼 수 있다.

우리나라 최대 규모의 충주 다목적 저수지 시스템에 적용하여 실제운영을 위한 Rule Curve를 개발하기 위해서 “ $Q_t = aX_t + bI_t$ ” 및 “ $Q_t =$

at(Xt+It)+bt” 등 2 개의 기본식을 이용하여 본댐 지점과 조정지댐 지점에서 제어할 수 있도록 그림 1 및 그림 2의 4 월과 7 월의 예와 같이 각 월별로 4 가지의 상관분석을 수행하였다. 상관분석 결과 아래식과 같이 당해월의 최적 방류량은 저수지의 월초 저류량과 당해월 유입량의 합에 대해서 상관성이 매우 큰 것으로 나타났다.

$$Q1t = \hat{a}tVt + \hat{b}t, \quad Vt = Xt + I1t \quad \dots\dots\dots(5)$$

$$Q2t = \hat{a}tSt + \hat{b}t, \quad St = Xt + I1t + I2t \quad \dots\dots\dots(6)$$

여기서 Q1t 및 Q2t는 충주 본댐 및 조정지댐에서의 월별 방류량이고 Xt는 본댐의 월초 저류량이며, I1t 및 I2t는 본댐 및 조정지댐에 유입하는 월간

Local 유입량이다. 또한  $\hat{a}t$  및  $\hat{b}t$ 는 월별, 구간별 선형 회귀 분석에 의해서 산정한 매개변수이며, 표 1에 충주시스템의 4 월과 7 월에 대한 Rule

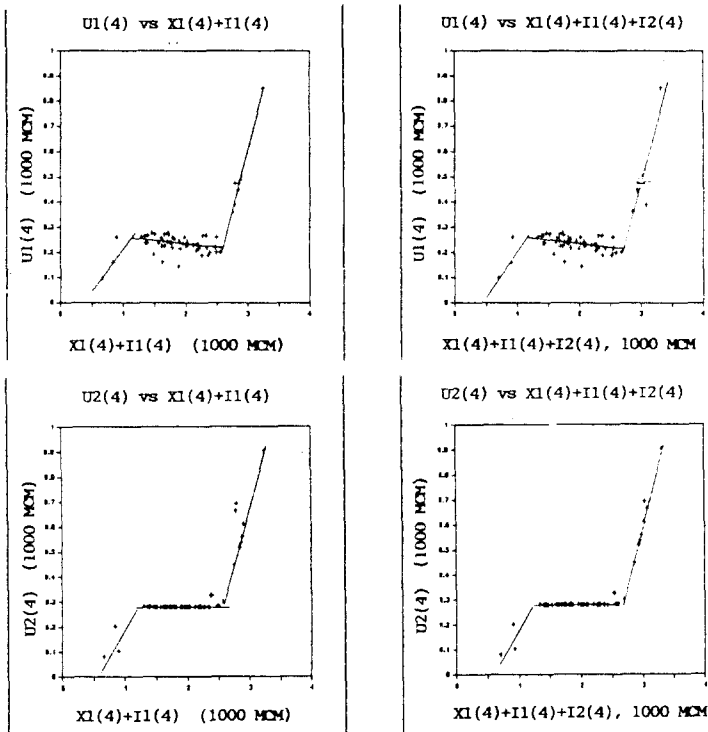


Figure 1 Rule Curves for the April, Chungju Reservoir System

Curve 분석 결과가 나와 있다.

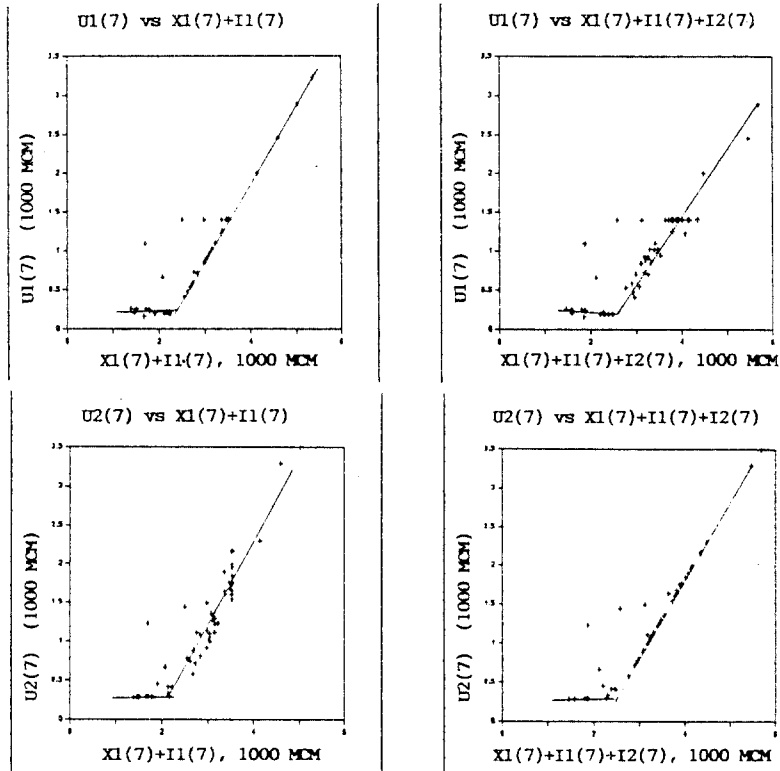


Figure 2 Rule Curves for the July, Chungju Reservoir System

표 1 4 월과 7 월에 대한 각 안별 월별 Rule Curve 식

Equation	Month	Zoning (MCM)	$\hat{a}t$	$\hat{b}t$	R
$Q_{1,t} = \hat{a}_t V_t + \hat{b}_t$ $V_t = X_t + I_{1,t}$	t=4	668 $\leq V_t < 1200$	+ 0.345767	- 112.0	0.840779
		1200 $\leq V_t < 2400$	- 0.032886	+ 298.0	0.996286
		2580 $\leq V_t$	+ 0.989813	- 2357.0	0.997927
	t=7	982 $\leq V_t < 2400$	+ 0.091171	+ 126.0	0.705137
		2400 $\leq V_t$	+ 0.921483	- 1819.0	0.957309
$Q_{2,t} = a_t S_t + b_t$ $S_t = X_t + I_{1,t} + I_{2,t}$	t=4	679 $\leq S_t < 1200$	+ 0.466724	- 248.0	0.897123
		1200 $\leq S_t < 2600$	+ 0.138465	+ 250.0	0.999668
		2600 $\leq S_t$	+ 0.961633	- 2267.0	0.993387
	t=7	992 $\leq S_t < 2650$	+ 0.191279	+ 26.0	0.759418
		2650 $\leq S_t$	+ 0.959904	- 1941.0	0.980807

\*\* 표의 값은 45° 로 변환하여 산정한 상관계수 임

### 3.2 신뢰도별 저수 용량 배분 및 신뢰도 분석

장기간의 과거 측정자료나 모의 발생자료에 의거 저수지의 최적 운영을 실시하여 상태 변수인 저수지의 최적 저류량이나 결정변수인 최적 방류량을 월별로 시계열 통계 분석하여 신뢰도나 위험도 등의 확률에 따라 저류량이나 방류량을 배분할 수 있다.

예로써 충주 다목적 시스템에 있어 59년 동안의 과거 월별 유입량 자료와 150년 동안의 모의 자료를 사용하여 연계 최적운영한 결과중 본담 저수지의 최적 저류량에 대해서 Log-Pearson Type III 분포에 의한 확률빈도별 저수용량 배분 결과가 그림 3에 나타나 있다. 이 그림에서 알 수 있듯이 최적 저수량에 대한 변동 계수가 상당히 작은 편이어서 월별로 유지하여야 할 수위의 Guide line으로 사용할 수 있으며, 실제운영에 있어 고려할 수 있는 신뢰도 범위를 20%에서 80% 수준이라고 볼 때 유지하여야 할 희망 저수율은 우기 직전이나 우기 (5월 ~ 6월) 동안을 제외하고는 그 범위가 매우 작음을 알 수 있다.

따라서 의사결정을 위한 시스템 기술자가 정한 신뢰도 수준에 따라 必要 下限 水位나 必要 上限 水位의 개념을 도입하여 월별로 유지하여야 할 저수위를 산정할 수 있으며, 실제 운영 과정에 있어 지정한 신뢰도 수준을 벗어난 경우에는 수위 저하에 따른 용수부족 또는 수력발전 편익 감소

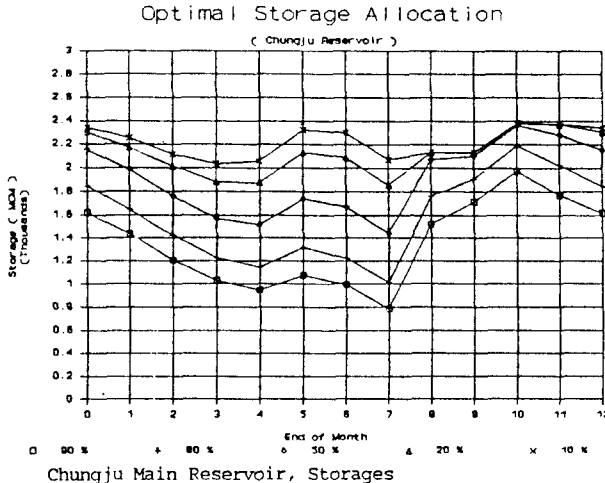


Figure 3 Optimal Storage Allocation According to Reliability Levels

나 수위 상승에 따른 여수로 방류에 따라 수력 발전 손실 등의 가능성이 증대된다.

아울러 장기간의 최적 운영 결과를 각 인자에 따라 時系列 별로 발생확률을 또는 발생하지 않을 확률 (신뢰도 또는 위험도)을 분석할 수 있다. 확률 분석대상으로서는 상태변수와 결정변수인 월별 최적 저류량과 최적 방류량 뿐 아니라 월별 발전량, 용수공급 부족량, 여수로 방류량 및 발전출력 등 방류량 결정을 위한 의사결정 과정에 필요한 사항을 포함시킨다.

#### 4. 적용 및 고찰

##### 4.1 적용 개요

信賴度を 고려한 貯水池 運營律 導出 技法은 한국 수자원 공사에서 건설 관리하고 있는 충주 다목적댐 저수지 및 조정지댐 저수지의 연계 운영에 적용하였다. 충주 시스템은 홍수조절, 수력발전 및 용수공급 등 우리나라 최대 규모의 다목적댐 사업이며 본댐은 총 27.5 억m<sup>3</sup>의 물을 저류할 수 있으며 400 천 Kw의 수력 발전소가 있고 댐하류 약 20 km 지점에 조정지댐 및 12 천 Kw의 제 2 수력발전소가 있다. 기타 저수지나 발전소 등의 각종제원 및 특성자료는 문헌 (이, 1991) 에 요약 정리 되어 있다.

충주 시스템의 월별 운영을 도출을 위하여 고려한 최적화 모형에서는 기간중 발생하는 전력량 및 保障출력과 조정지댐 하류에서의 保障 유하량의 극대화 등 세가지 목적을 고려하였다. 이들 목적중 保障출력 및 保障 유하량 등은 Haines 등 (1971)이 제안한  $\epsilon$ -constraint 기법을 적용하여 제약 조건으로 간주할 수 있지만, 여기에서는 Weighting 기법 (Zadeh, 1963)을 사용하였다. 운영을 도출을 위해서는 장기간의 분석이 필요하므로  $\epsilon$ -constraint 기법 적용시 극심한 한발 기간이 포함되면 제약 조건에 비해 유입량이 너무 적어서 적정 분석이 곤란한 경우가 발생하게 된다. 그러나 이들 목적중 발전량에 대한 목적함수는 전운영기간에 대해서 누계 형태이지만, 保障유하량이나 保障 출력은 기간중 최소 값을 최대화 하는 소위 Max (Min) 형태로써 서로 동적 특성이 달라 Weighting 기법 적용을 위해 누계형태로 변환하였다 (이, 1991).

최적화 문제에 대해서는 문제의 비선형성과 장기간의 분석을 요하는 점

을 고려하여 동적 계획 기법을 적용하였으며, 조정지댐 저수지의 유효 저수 용량이 본댐 저수지 유효 저수 용량의 0.6 % 정도에 불과하고, 조정지는 월간 유입량에 비해서 저수 용량이 적어 월간 제어가 사실상 불가능하므로 조정지 수위는 평균 수위로 일정하다고 보아 1 차원 문제로 해석하였다.

#### 4.2 Rule Curve의 개발 및 신뢰도 부여

충주 시스템 운영을 위한 Rule Curve 의 개발과 신뢰도에 따른 저수용량 배분을 위하여 본댐과 조정지댐 지점에 대한 59 년 동안의 유입량 자료와 범용으로 개발된 複數 지점에 대한 季節型 自己 回歸 模型인 MPAR1 (Ko, 1989)에 의해서 발생된 150 년 동안의 모의 자료를 사용하여 장기간의 최적운영을 실시하였다.

월별 Rule Curve는 식 (5)와 식 (6)에 의해서 구간 별로 선형 회귀분석한 결과 우기의 일부기간을 제외하고는 상관성이 매우 양호한 것으로 나타났다. 특히 식 (6)과 같이 조정지댐 하류 지점을 기준으로 월간 방류량을 결정할 수 있도록 하는 방안이 상관성이 더 좋았으며, 표 2에는 식 (6)에 의한 월별 Rule Curve 식이 나타나 있다.

월별 Rule Curve 식에 있어서는 저수지의 월초 저류량과 월간 유입량의 합으로 정의되는 可用 流量의 크기에 따라 운영율에 변곡점이 있는데, 이 변곡점을 운영기준으로 감안하여 Zoning 할 수 있다. 여기에서 변곡점은 월간 일정한 점이 아니라 월초에 가정한 유입량에 따라 방류량을 결정하고 월중에 유입량의 실적에 따라 변곡점과 방류량도 조정된다. 그림 4는 개발된 Rule Curve 식에 의거 월별 가용유량의 배분도를 나타내며, 이 배분도를 이용할 때에는 Rule Curve 식 적용을 위한 변곡점은 본댐의 월초 저류량과 본댐 및 조정지댐에 유입하는 월간 유입량에 따라 결정된다.

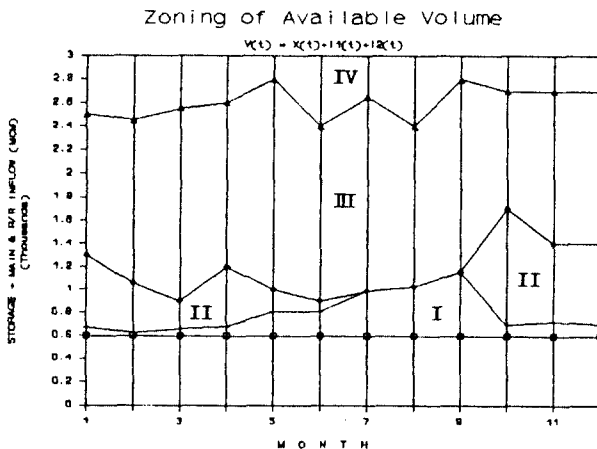
그림 3의 可用 流量의 배분도에서 해당월의 可用 流量이 Zone-Ⅲ일 경우에는 저류 상태나 유입량에 관계없이 거의 일정량으로 방류하면서 용수공급과 수력발전을 수행하지만, 가용유량이 Zone-Ⅱ로 내려가면 용수공급이나 수력 발전 등을 위해 물사용 목표를 선형적으로 줄여서 물을 사용하면서 Zone-Ⅲ에 복귀하도록 하여야 한다. 또한 가용유량이 Zone-Ⅳ에 있을 경우에는 있을지도 모를 여수로 방류량을 방지하기 위해서 침투 발전 소요량이나 용수 공급 목표 이상으로 물을 방류하면서 수력 발전을 증대



시키면서 Zone-Ⅲ에 복귀하도록 제어하여야 한다. 그러나 可用流量이 Zone-I에 있을 경우에는 하류 방류량의 거의 중단이 불가피하여 진다. 可用流量이 Zone-Ⅲ에 있을 경우 저류량이나 유입량에 관계없이 방류량을 일정하게 유지한다 함은 하류 용수 수요나 침투 발전 소요유량 만을 방류하면서 저수지 수위를 가급적 높게 유지되도록 운영 함을 의미한다고 볼 수 있다.

개발된 운영율의 실제 사용을 위하여는 월초 저류상태가 그림 3의 저류량 배분도에 있어 시스템에 부여한 지정된 신뢰도 범위 이내일 때에는 본댐 및 조정지댐의 월간 예상 유입량에 따라 개발된 그림 4의 可用 流量 배분도에 의거 표 2의 Rule Curve식을 채택하여 방류량을 결정하며, 월간 유입량 실적이나 조정된 예상유입량에 따라 매일 (또는 적절한 기간 마다) Feed Back하여 방류량을 Update 한다.

그러나 저류상태가 시스템에 부여한 신뢰도 범위밖에 있을 경우에는 Rule Curve에 의해서 산정한 값보다 방류량을 증가시키거나 감소시키면서 본댐 저류량이 신뢰도 범위내에 복귀하도록 하여야만 기대편익을 증대시킬 수 있다. 아울러 방류량의 조정에 있어서는 하류의 용수 수요량에 대처하면서 유입량의 갈수 분석이나 용수공급 및 여수로 방류량 등의 확률 분석결과를 고려하여야 한다.



(Zoning for the Control at the Reregulation Dam)

Figure 4 Zoning of Available Volume for Operating Rules

표 2 송주다목적댐 운영을 위한 월별 Rule Curve 식

Month (t)	Zoning $Q_{zt} = \hat{a}_t S_t + \hat{b}_t$ $S_t = X_t + I_{1t} + I_{2t}$	Regression Coefficient		상관 계수 R	비 고
		$\hat{a}_t$	$\hat{b}_t$		
1	$669 \leq S_t < 1300$ $1300 \leq S_t$	+ 0.335367 + 0.002989	- 87 + 285	0.64556 * 0.999811	45° 변환
2	$622 \leq S_t < 1050$ $1050 \leq S_t$	+ 0.609618 + 0.000140	- 346 + 264	0.990392 * 0.998831	45° 변환
3	$658 \leq S_t < 900$ $900 \leq S_t < 2550$ $2550 \leq S_t$	+ 1.000032 + 0.012767 + 0.903950	- 598 + 267 - 2095	1.000000 * 0.998912 0.985812	45° 변환
4	$679 \leq S_t < 1200$ $1200 \leq S_t < 2600$ $2600 \leq S_t$	+ 0.466724 + 0.138465 + 0.961633	- 248 + 260 - 2267	0.897123 * 0.999028 0.993387	45° 변환
5	$803 \leq S_t < 1000$ $1000 \leq S_t < 2800$ $2800 \leq S_t$	+ 0.741966 + 0.132547 + 0.689281	- 403 + 79 - 1268	0.828459 * 0.961602 0.363151	45° 변환
6	$806 \leq S_t < 900$ $900 \leq S_t < 2400$ $2400 \leq S_t$	+ 0.999208 + 0.364571 + 0.845764	- 598 - 127 - 1456	0.999891 * 0.802381 0.5803451	45° 변환
7	$992 \leq S_t < 2650$ $2650 \leq S_t$	+ 0.191279 + 0.959904	+ 26 - 1941	* 0.889269 0.980807	45° 변환
8	$1026 \leq S_t < 2400$ $2400 \leq S_t$	+ 0.001484 + 0.970399	+ 291 - 2004	* 0.999326 0.968763	45° 변환
9	$1158 \leq S_t < 2800$ $2800 \leq S_t$	- 0.003418 + 0.998617	+ 303 - 2382	* 0.983061 0.999915	45° 변환
10	$695 \leq S_t < 1700$ $1700 \leq S_t < 2700$ $2700 \leq S_t$	+ 0.299939 + 0.005906 + 1.009896	- 112 + 276 - 2412	1.000000 * 0.997120 0.995213	45° 변환
11	$724 \leq S_t < 1400$ $1400 \leq S_t < 2700$ $2700 \leq S_t$	+ 0.236047 + 0.007889 + 0.986707	- 45 + 263 - 2351	1.000000 * 0.998398 0.998925	45° 변환
12	$697 \leq S_t < 1400$ $1400 \leq S_t < 2700$ $2700 \leq S_t$	+ 0.346955 + 0.005623 + 0.951118	- 142 + 278 - 2251	1.000000 * 0.998494 1.000000	45° 변환

## 5. 결론

이번 연구에서는 저수지 운영의 방류량 결정에 있어 의사결정을 위한

시스템 기술자에게 신뢰도 (또는 위험도)를 제시하면서 저수지의 저류 상태와 당해월 유입량에 따라 다목적 저수지 시스템으로 부터 기대 편익을 증대 시킬 수 있는 운영율을 제시하였다. 운영율은 장기간의 최적운영 결과에 따라 도출된 월별 방류량을 결정할 수 있는 신뢰도 수준에 따른 Rule Curve와 저류용량의 월별 배분 및 저수지 운영에 있어 각 변수별 위험도 분석이다. 이러한 운영율 개념을 총주 다목적 저수지 시스템에 적용하였으며, 불확실성의 저수지 유입량을 장기 예측하지 않아도 다목적 저수지의 각 목적을 증대시키고 시스템에 부여된 신뢰도 범위를 수용하면서 방류정책을 쉽게 결정할 수 있도록 하였다.

본 기법은 단일 저수지 시스템 運轉律 뿐 아니라 수계내의 전체 저수지를 고려하여 연계 최적 운영 결과에 따라 신뢰도 분석 및 Rule Curve의 개발에 적용할 수 있다. 그러나 수계내의 여러 저수지를 동시에 고려할 때에는 장기간의 자료에 의한 한 개의 時系列로 연계 최적 운영할 수 있는 보다 효율적인 최적화 기법의 도입이 필요하다. 아울러 여러가지 대안의 운영율을 비교, 분석하여 보다 신뢰성 있고 편익을 증대시킬 수 있도록 운영율의 검증이 필요하다.

### 參 考 文 獻

- Askew, A. J., "Optimum Reservoir Operating Policies and the Imposition of a Reliability Constraint", Water Resources Research, Vol. 10, No. 1, pp. 51-56, February 1974.
- Chung, F. I., S. K. Arora, and M. C. Archer, "Stochastic Evaluation of Reservoir Operation Rules", Proceedings of the 3rd Water Resources Operations Management Workshop, Sponsored by the Water Resources Planning and Management Division, ASCE, Edited by J. W. Labadie et al., 1988.
- Ford, D. T., R. Garland, and C. Sullivan, "Operation Policy Analysis: Sam Rayburn Reservoir", Technical Paper No. 85, The Hydrologic Engineering Center, US Army Corps of Engineers, October 1981.
- Haines, Y. Y., D. A. Wisner, and L. S. Larsdon, "On Bicriterion

Formulation of Integrated System Identification and System Optimization", IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Vol. SMC-1, pp. 296-297, July 1971.

Karamouz, M. K. and M. H. Houck, "Comparison of Stochastic and Deterministic Dynamic Programming for Reservoir Operating Rule Generation", Water Resources Bulletin, Vol. 23, No. 1, pp. 1-9, February 1987.

Ko, S. K., "Optimizing Reservoir Systems Operation with Multiobjective Decision Analysis," Dissertation submitted for the Degree of Doctor of Philosophy, Colorado State University, Fort Collins, CO, 1989.

ReVelle, C. E. Joeres, and W. Kirby, "The Linear Decision Rule in Reservoir Management and Design 1. Development of the Stochastic Model", Water Resources Research, Vol. 5, No. 4, pp. 767-777, August 1969.

Young, G. K., "Finding Reservoir Operating Rules". Journal of the Hydraulics Division, Proceedings of the American Society of Civil Engineers, HY 6, pp. 297-321, November, 1967.

Zadeh, L. A. , "Optimality and Non-Scalar-Valued Performance Criteria", IEEE Transactions on Automatic Control, AC-8, No. 1, pp. 59-60, 1963.

고석구, "저수지 시스템 운영 효율화를 위한 운영기준 도출에 관한 연구", 제 7 회 댐건설 및 기술 세미나 논문집, 한국대댐학회, 1986.

고석구, "신뢰도를 고려한 한강수계 저수지군의 최적 운영", 제 10 회 한국대댐학회 학술발표회 논문집, 한국대댐학회, 1990.

권오현, 김건중, "한강수계 소양강 및 충주 다목적댐 저수지 최적연계 운영 방안 연구 (2 차)", 산업기저개발공사/유신설계공단, 1986.

이희승, "신뢰도를 고려한 저수지의 월별 운영을 개발", 충북대학교 대학원 석사학위 논문, 1991.