

〈論 文〉

多基準 意思 分析 技法에 의한 多目的 貯水池의 運營律 評價

Comparative Evaluation of Multipurpose Reservoir Operating Rules Using Multicriterion Decision Analysis Techniques

高 錫 九* 李 光 晚** 高 益 煥***
 KO, Seok Ku LEE, Kwang Man KO, Ick Hwan

Abstract □ Selection of the best operating rule among a set of alternatives for a multipurpose reservoir system operation requires to evaluate many minor criteria in addition to the major objectives assessed to the system. These problems are sufficiently complex and difficult that they are beyond heuristic decision rules and experiences in case several noncommensurable multiple criteria are included in the evaluation. With the assistance of multicriterion decision analysis techniques, it is possible to select the best one among various alternatives by systematically comparing and ranking the alternatives with respect to the criteria of choice.

Evaluation criteria for multipurpose reservoir system operating rules were identified and defined, and the multicriterion decision analysis techniques were applied to evaluate the four developed operating rules of the existing Chungju multipurpose project according to the identified nine multiple criteria. The application result shows that the methodology is very efficient to select the best operation alternative among a finite number of operating rules with many evaluation criteria for a large scale reservoir system operation.

要 旨 : 다목적 저수지의 운영을 위해서 여러가지 代案의 운영율로부터 最上의 案을 선택할 때에는 시스템에 주어진 주요 목적에 부가하여 세부적인 평가 기준들도 고려하여야 한다. 특히 평가 단위가 서로 다른 여러개의 평가 기준을 고려할 때에는 경험이나 발견법 만으로는 최상의 案을 선택하기가 어렵게 된다. 다기준 의사 분석 기법을 이용하면 여러 대안들을 각 평가 기준에 따라 체계적으로 비교하여 대안들의 우선 順位를 결정함으로써 최상의 운영율을 선택할 수 있다.

본 연구에서는 다목적 저수지 시스템의 운영을 평가를 위한 평가 기준을 규명하여 제시하였으며, 多基準 意思 分析 技法을 이용하여 忠州 다목적 저수지 시스템에 대한 4개의 운영율을 9개의 평가 기준에 따라 평가하였다. 적용 결과 대규모 다목적 저수지 시스템의 운영과 같이 많은 평가 기준을 고려하여 여러가지 대안의 운영율을 평가할 때에는 이러한 기법이 매우 효율적임을 알 수 있다.

1. 序 論

다목적댐의 효율적 운영을 위해서 물을 계속 저류 하여 수위를 높게 유지하여야 할 것인가 아니면 방류를 추가하여 수위를 강하 시켜야 하는지는 홍수 조절, 수력 발전, 생.공 용수 및 관개 용수 공급, 내륙 주운,

* 정희원, 한국수자원공사 수자원연구실 책임연구원, 공학박사

** 정희원, 한국수자원공사 수자원연구실 연구원, 중앙대 박사과정

*** 정희원, 한국수자원공사 수자원연구실 선임연구원, 충북대 박사과정

여가 활동 증대, 수질 관리 및 환경 보전 등의 목적을 고려하여야 하며, 목적의 전부 또는 일부만을 만족시키는 문제는 항상 서로相反된 兪兪이 제기될 수 있다. 특히 경우는 자연 현상 중에서 가장 예측하기 어렵고 통계 불가능한 요소중의 하나이며, 우리나라와 같이 계절풍의 영향을 받는 지역에서는 강우의 분포가 시간적으로나 지역적으로 변화가 극심하여 자연 유하량만으로 물을 필요한 시간과 필요한 지역에 수요에 맞추어 공급한다는 것은 쉬운 일이 아니다. 따라서 저수지의 기능이 더욱 중요하게 되며 저수지로부터의 물의 활용은 저수지 내로 유입하는 시간과 공간상으로 서로 다르게 분포되는 유하량과 서로 다른 수질의 물을 우리 생활에 알맞게 조절하여 사용할 수 있는 저수지 시스템의 多目的 機能에 달려 있다.

이와 같은 저수지 시스템 기능을 극대화할 수 있는 운영 방안을 설정하기 위해 과거에 관측된 유하량 자료나 모의 발생된 자료를 사용하여 최적화 모형 등에 의한 장기간의 분석을 실시하여 다목적 저수지의 運營 基準이나 運營律(operating rules)을 마련하려는 노력이 많은 학자들에 의해서 수행되어 왔다. 그러나 다목적 저수지의 각 기능을 전부 포함시킨 최적화 모형과 같은 수학적 모형을 이용하여 다목적 분석을 시행할 때에는 각 목적 간의 相互 配分 關係(tradeoff)를 평가하여야 하나 목적 함수의 수가 증가하게 되면 각 목적 간의 상호 배분 관계를 평가 한다는 것은 매우 복잡하고 어렵기 때문에 최적의 代案을 선택하는 일은 더욱 어려워진다(Cohon and Marks, 1975). 이러한 복잡성을 극복하기 위해서 다목적 저수지 시스템에 주어진 몇 가지의 주요 목적만을 고려한 模擬 模型이나 最適化 模型을 이용하여 대안을 설정한 후 多基準 意思 分析 技法을 이용하여 각 세부 목적에 대한 達成度를 평가하여 최상의 안을 선택하는 방법이 제시되었다(Harboe, 1986; Ko, 1989).

운영율의 평가에 있어서는 과거 관측 자료나 모의 발생 자료를 사용하여 제시된 운영율에 따른 모의 운영을 실시하여 다목적 저수지 시스템에 주어진 각각의 세부 목적에 대한 달성도를 평가하여야 한다. 따라서 용수 공급, 수력 발전 및 수질 관리 등의 여러 목적들이 상충되는 다목적 저수지의 운영을 선택에 있어서는 經濟的 便益의 增大 및 供給의 平等性 등을 고려하면서 적절한 대안을 선택할 수 있는 기법이 필요하며, 저수지 모의 운영 기법 및 최적화 기법에서 고려할 수 없는 목적들도 동시에 고려할 수 있는 다기준

의사 분석 기법의 도입이 필요하다.

본 연구에서는 여러 개의 대안이 있는 다목적 저수지 시스템의 運營律에 대한 평가 기준을 제시하고 평가 기준에 따라 多基準 意思 分析 技法을 사용하여 최상의 대안을 선택할 수 있는 방법을 제시한다. 아울러 본 기법을 忠州 저수지 시스템의 운영을 평가에 적용하기 위하여 지금까지 개발된 利水 목적 저수지 운영율을 조사하고 운영율의 평가 및 검증을 위한 모의 운영 프로그램을 개발하여 다기준 의사 분석 기법에 의한 운영율의 順位(rank)를 결정한 후 가장 효율적인 運營律을 제시한다.

2. 多基準 意思 分析 技法에 의한 運營律의 評價

2.1 多目的 貯水池 運營律의 評價 基準

강우에 의한 저수지 유입량의 불확실성에 대처하기 위하여 저수지의 운영율이 개발되어 사용되고 있으며, 운영율을 이용하면 시스템으로부터의 기능을 향상시 저수지로부터의 방류량이나 유지하여야 할 저수지의 저류량을 결정할 수 있다. 이러한 목적으로 개발된 다목적 저수지의 운영을 중에서 최상의 안을 선택하기 위해서는 각 운영율에 따라 저수지를 운영할 경우 발생하게 되는 편익이나 효과 면에 있어 저수지 시스템의 계획 단계에서 고려했던 주요 목적 뿐 아니라 부수적으로 발생하게 되는 편익이나 효과도 고려하여야 한다. 예로써 우리나라에서 건설 관리하고 있는 주요 다목적댐들의 운영에 따른 評價 基準은 용수 공급 및 수력 발전과 홍수 조절 등의 주요 목적만을 고려할 수 있겠지만, 댐으로부터의 保障 流下量 증대에 따른 하천 유지 용수 공급을 통한 환경 개선이나 여가 활용 등의 부수적인 효과도 고려하여야 하겠다.

표-1은 우리나라 최대 규모인 충주 다목적 저수지 시스템의 利水 管理를 위한 운영율을 평가할 수 있는 평가 기준을 제시한 것으로서, 수력 발전, 용수 공급, 홍수 조절 및 환경 개선 등 4가지의 주요 목적과 아울러 각 주요 기준에 따른 2~3가지의 부수적인 평가 기준을 포함하고 있다. 이 기준과 같이 水力 發電 부문에 대하여는 기간 중 발생하는 침투 전력량과 2차 전력량 및 90% 保障 出力 만을 고려할 수 있겠지만 전력이나 전력 생산의 變化率(variation) 등도 평가 기준으로 고려할 수 있다.

또한 표-1에서는 생활 및 공업 용수와 관개 및 하천 유지 용수 등 用水供給 측면에 있어서는 댐 하류에 조절하여 방류하게 되는 보장 유하량이나 월간 목표에 미달 되는 최대 부족량을 평가기준으로 고려하였지만, 경우에 따라서는 계획 홍수량 이상의 방류에 따른 댐하류에서의 舟運이나 여가 활동에 미치는 영향 등도 평가기준에 포함시킬 수 있다. 한편 洪水調節 면에 있어서는 시스템에 기본적으로 부여된 상시 만수위 이상의 홍수 조절 용량에 대한 편익은 利水 관리 측면에 있어서는 각 조건하에서 일정하다고 볼 수 있으므로 평가 기준에서 제외하였으나, 홍수기 동안의 상시 만수위 이하의 空容量은 저수지의 운영에 따라 홍수 조절 편익에 기여할 수 있으므로 평가 기준에 포함하였다. 그러나 저수지 수위를 지나치게 낮게 유지함으로써 渴水期에 대비한 용수 공급이나 수력 발전 등에 대한 信賴性이 저하될 수 있으므로 운영 기간 중 최저 저류량도 평가 기준에 포함시켜야 하며, 저수지 내의 선박 운항이나 관광 및 여가 활동 등을 고려할 때에는 일반적으로 저수지 수위의 變動幅이 적으면서 수위를 높게 유지 할수록 편익이 증대된다고 볼 수 있다.

生態學的 측면이나 環境的 측면에 있어서는 저수지의 수위 변동이나 저수지로부터의 조절 방류량의 변동폭 및 변동율 등의 分散度 (variance)에 따라 영향이 매우 크다(Odum, 1971). 특히 수생 곤충들의 증식 제어에 있어서는 저수지 수위의 변동 조작이 바람직 하나 댐하류에 있어서는 여가 활동 등의 환경적 측면에 있어서는 일반적으로 방류량의 變動幅이 적으면서 유하량이 많을 수록 이용도가 증대된다고 볼 수 있다.

Main-Criteria	Sub-Criteria
A. Hydropower	1. Firm Energy Production(GWH) 2. Secondary Energy Production(GWH) 3. Firm Power(90% Firmness, MW)
B. Water Supply Navigation	4. Firm Flow(90% Firmness, MCM) 5. Maximum shortage(MCM/Mon)
C. Flood Control and Reliability	6. Additional Flood Control Storage During Flood Period(MCM) 7. Minimum Available Storage During Operation(MCM)
D. Environment and Recreation	8. Recreation and Reservoir Transportation 9. Variation of Release

Table-1 Evaluation Criteria of Multipurpose Reservoir System Operating Rules. Chungju System

2.2 多基準 意思 分析 技法의 適用

다목적 저수지의 운영을 평가하여 최상의 안을 선택하기 위해서는 표-1에서 제시한 바와 같은 여러 가지 목적이나 평가 기준을 감안하여야 한다. 그러나 운영의 평가에 있어서는 單位가 서로 다르며 數值化하기 곤란한 부분의 평가 기준도 고려하여야 하므로 의사 결정권자나 시스템 기술자가 여러 개의 대안 중에서 가장 적절한 안을 선택하고자 할 때에는 일반적인 經驗이나 洞察力 만으로는 지나치게 복잡하고 어려운 경우가 있다. 多基準 意思 分析 技法(multicriterion decision analysis technique)을 이용하면 다목적 저수지의 운영의 선택과 같은 복잡한 문제를 체계적으로 분석하여 가장 바람직한 운영 代案을 제시할 수 있다.

이러한 기법의 적용을 위해서는 과거의 기록 유입량 자료나 模擬發生 자료를 이용하여 각 대안의 저수지 운영에 따라 모의 운영을 실시한 후 표-1과 같은 각 평가 기준에 따라 대안별 달성도를 나타내는 Pay-off Matrix를 산정하여 다기준 의사 분석을 수행한다(Goicoechea et al., 1982).

多基準 意思 決定 分析이란 여러가지 기준(목적)의 집합을 갖는 代案 중에서 최적의 안을 찾는 방법으로서 지금까지 많은 기법이 제시되었다. 수자원 시스템 분석과 관련된 대표적인 기법으로써는 加重 平均法(weighted average method), ELECTRE I (Benayoun et al., 1966), ELECTRE II (Roy and Bertier, 1971), Discrete Compromise Programming(Duckstein and Opricovic, 1980), Analytic Hierarchy Process(AHP; Saaty, 1982) 등이 있으며, 그밖에 PROMETHEE(Brans et al., 1984) 및 Cooperative Game Theory(Nash, 1953; Harsanyi, 1977) 등이 사용되고 있다.

加重 平均法은 다기준 의사 분석 기법 중 가장 간단한 방법으로서 각 기준에 부여한 가중치를 감안하여 무게 값이 최대 또는 최소인 대안을 최상의 안으로 선택하는 방법이지만 단위가 서로 다르거나 數值로 직접 평가할 수 없는 평가 기준을 고려할 때에는 최상의 안을 선택하기가 어려워 진다. 더욱이 한 가지의 평가 기준 값이 최적 수준 이하일 경우에도 다른 평가 기준 값들이 보다 우월할 경우에는 최상의 안으로 선택해야 하는 등의 모순이 포함되어 있다.

AHP 기법은 Saaty(1977)에 의해서 개발되었으며, 의사 분석 과정은 계층별 평가에 근거하고 있는데 각

대안을 몇 가지의 主要 評價 基準(main-criteria)으로 평가하고 다시 각 주요 평가 기준에 대하여 서로 상이한 副評價 基準(sub-criteria)을 부여하여 의사 결정권자나 시스템 기술자가 보다 적은 결정 집합에 초점을 맞출 수 있게 하였다. AHP 알고리즘에서는 각 副評價 기준이나 주요 평가 기준에 대한 대안들의 順位(rank)를 결정하기 위하여 각 평가 기준에 따라 2개 씩의 대안을 조합으로 각각 평가하여 평가 행렬을 구성한다. 평가에서는 Saaty가 제시한 1에서 9까지의 값을 사용하며 평가 행렬로부터는 다음과 같은 Eigenvalue 접근법을 이용하여 각 대안의 가중치를 도출한다(Saaty, 1982).

$$Aw = \lambda_{\max} w \quad (1)$$

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$w^T = (w_1, w_2, \dots, w_n) \quad (3)$$

여기서, A는 고려하는 평가 기준에 대한 각 대안의 평가 행렬이며, n은 대안의 수이고 λ_{\max} 는 최대의 Eigenvalue 이며, w는 각 대안의 가중치로써 다음과 같이 결정할 수 있으며, AHP 기법은 수치로 직접 평가하기 곤란한 평가 기준이 있을 경우에 특히 유리하고 대안의 수가 7±2인 경우에 적합하다고 알려져 있다.

$$w_i = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ji} w_j}{\lambda_{\max}} ; \text{for } i=1, \dots, n \quad (4)$$

Compromise Programming은 연속적인 다목적 함수의 평가를 위해 제안되었으나 離散型 평가 문제에도 적용할 수 있으며, 각 평가 기준을 모두 최적 상태로 만족시키는 理想的인 解(ideal solution)에 가장 근접한 대안을 찾는 기법이다(Zeleny, 1982).

$$L(x) = \text{Min} \sum_{i=1}^k \left[w_i \frac{V_i^* - V_i(x)}{V_i^* - V_i^{**}} \right]^p \quad (5)$$

여기서, L(x)는 x의 함수로 구성된 대안에 대한 평가 함수로서 이상적인 解와의 누계 偏差를 나타내며, w_i는 k개로 구성된 각 평가 기준에 대한 가중치이다. V_i^{*}와 V_i^{**}는 각 평가 기준에 따른 함수 값 V_i의 최대값과 최소값을 나타내며, p는 각 평가 기준 중에서 최대의 편차값에 대한 중요성을 나타내는 指數로써 일반적으로

로 1이나 2 또는 무한대 값을 사용한다.

ELECTRE I은 Elimination and (et) Choice Translating Algorithm으로서 Benayoun et al. (1966)에 의해 제안되었으며, 기본 개념은 어떠한 하나의 기준에 대하여 받아들일 수 있는 불만족한 수준을 침범하지 않으면서 다른 기준에 대하여 만족하는 수준에 따라 적절한 안을 선택하는 기법이다. 이 기법에서는 각 평가 기준에 따라 2개씩의 조합으로 선택하여 만족도와 불만족도에 따른 Concordance 및 Discordance 지수를 산정하여 각 대안을 평가한다(Goicoechea et al., 1982). 그러나 ELECTRE I은 전체 대안들에 대한 완전한 순위를 제시하지 못하는 단점이 있어 이의 보완으로 Roy 및 Bertier(1971)에 의해서 ELECTRE II가 개발되었다.

3. 適用 및 考察

3.1 忠州 貯水池 시스템의 運營律

1985년 준공된 충주 저수지 시스템은 국내 최대 규모의 다목적댐으로서 본댐 저수지의 저수용량은 2,750×10⁶m³이며, 시설 용량 40만Kw의 제1발전소와 약 20Km 하류의 조정지댐에 1.2만Kw의 제2발전소가 있어 연간 844.1GWH의 전력량과 3380×10⁶m³의 각종 용수를 공급하도록 되어 있다. 본 시스템의 효율적 관리를 위하여 운영율의 개발 등 각종 연구 노력이 수자원 공사를 중심으로 수행되어 왔으며, 지금까지 개발된 충주 시스템의 利水 管理 운영율에 대한 개요는 다음과 같다.

(1) 建設 당시의 運營律 (Rule No.1)

1985년 산업 기지 개발 공사(현 한국 수자원 공사)의 의뢰로 日本 工營(ISWACO, 1985)에서 1966년부터 1983년 까지의 유입량 자료를 이용하여 발전량 증대를 위한 운영율을 검토하였다. 이 때에는 월별 제한 수위를 4개의 Case로, 월별 목표 수위를 5개의 Case로 분석하였으며, 운영율의 선정 기준은 각 조건별로 모의 운영을 실시하여 하류 용수 수요를 만족하면서 연간 에너지가 최대가 되는 생산 조건을 채택하였다. 제시된 운영율에 있어서는 비홍수기에 대해서는 상시 만수위를 목표 수위로 유지하고, 홍수기에는 제한 수위 이하로 목표 수위를 유지하는 것이 발전 에너지를

Table-2 Monthly Target Water Levels Suggested by N.K., Chungju

Date	Water level(EL. M)		Date	Water Level(EL. M)	
	Target	N.H.W.L		Target	N.H.W.L
1.1	141.0	141.0	7.1	136.0	138.0
2.1	141.0	141.0	8.1	136.0	138.0
3.1	141.0	141.0	9.1	137.2	138.0
4.1	141.0	141.0	9.20	138.0	138.0
5.1	141.0	141.0	10.1	141.0	141.0
6.1	141.0	141.0	11.1	141.0	141.0
6.20	136.0	138.0	12.1	141.0	141.0

극대화 할 수 있는 것으로 결론을 내렸으며, 5가지 안 중에서 최상이라고 제시된 운영율의 목표 수위는 표-2와 같다. 그러나 용수 공급 목표량을 과소하게 책정하였고 조정지댐 발전소는 고려하지 않은 점으로 이 운영율은 사용되지 못하였다.

(2) 大댐 學會에 發表된 運營律 (Rule No.2)

高 (1986)는 제7회 댐 건설 관리 기술 세미나에서 장기간의 관측된 유입량 자료에 의한 저수지 운영율을 개발하기 위하여 동적 계획 기법에 의한 최적 운영 결과를 사용하였다. 운영율은 최적 운영 軌跡으로부터 월별 저류량에 대한 최적의 방류량을 回歸 分析하여 그림-1과 같은 多段階 線型 貯水位線을 제시하였다. 이 때의 운영율은 1917년 부터 1940년 까지, 1956년부터 1983년 까지의 52년 간의 월별 유입량 자료를 이용, 최적 운영 결과에 따라 저수지 월초 저류량과 최적 방류량 및 최적 발전 稼動率과의 관계를 回歸 分析하여 2차식으로 제시하였다. 이 때 고려한 최적 운영의 목적 함수는 본댐 및 조정지댐의 연간 발전량을 극대화하는 것으로 하였으며, 용수 공급 및 저수지의 물리적 특성을 제약 조건으로 하였다.

그림-1에 따라 저수지를 운영할 경우 현 저수지 수위가 Zone-1이나 Zone-2에 있으면 월별 운전시간을 구하기 위한 본댐 발전소의 가동율(plant factor)은 아래식에 의해서 결정되며, 가동율이란 저수지 운영 기간에 대한 발전기의 실제 가동한 비율을 의미한다.

$$\text{Zone-1 : } O_F = O_B + (1.0 - O_B) \times \frac{S(WL_u - WL_d)}{S(WL_u - WL_t)} \quad (6)$$

$$\text{Zone-2 : } O_F = O_F + (O_B - O_F) \times \frac{S(WL_u - WL_t)}{S(WL_t - WL_d)} \quad (7)$$

여기서, O_F 는 본댐 발전소의 가동율이며 O_B 는 월별 기준 발전 가동율로서 표-3에 나타나 있고, O_F 는 첨두

Table-3 Monthly Average Plant Factors

Month	Factor	Month	Factor
1	0.1162	7	0.4542
2	0.1169	8	0.3950
3	0.1187	9	0.2425
4	0.1336	10	0.1387
5	0.1548	11	0.1230
6	0.2170	12	0.1243

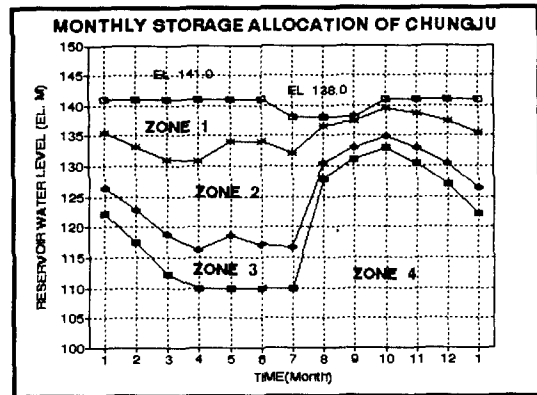


Figure-1 Zoning of the Chungju Storages Suggested by Ko(1986)

발전 가동율로서 1일 2.6시간에 해당하는 0.1083의 값을 갖는다. $S(WL_u - WL_t)$ 은 Zone-1이나 Zone-2의 저류량이며, $S(WL - WL_t)$ 은 현 저수지 수위와 Zone-1이나 Zone-2의 하한 수위 사이에 해당하는 저류량이다. 현 저수지 수위가 Zone-3에 있으면 하루의 용수 수요에 맞추어 발전 가동율을 조정하되 첨두 발전 가동율 이하로 운영하며, 저수지 수위가 Zone-4에 있으면 용수 수요량을 저수지 수위에 따른 비율로 제약하면서 저수지 수위가 Zone-3 이상으로 복귀하도록 저수지를 운영한다.

(3) 信賴도를考慮한 運營律(Rule No.3 및 Rule No.4)

한국 수자원 공사에서는 信賴度 또는 危險度를 제시하면서 저수지의 저류 상태와 당해월 저수지 유입량의 유입 실적에 따라 다목적 저수지의 편익을 증대시킬 수 있는 방류량 결정을 위한 Rule Curve의 개발 이론을 정립함과 아울러 이 이론을 이용하여 忠州 다목적댐 및 조정지댐을 효율적으로 연계 운영할 수 있는 신뢰도를 고려한 월별 운영율을 개발하였다(李 등, 1991). 제시된 운영율은 월별 저수지 운영 Rule Curve 및 신뢰도별 저수 용량의 배분과 월별 가용 유량이 구간별로 나누어져 있어 이들을 이용하면 불확실성의 저수지 유입량을 장기 예측하지 않아도 다목적 저수지의 각 목적을 증대시키고 시스템에서 고려하는 신뢰도 범위를 수용하면서 放流 政策을 결정할 수 있다. 개발된 운영율은 다음의 기본식과 같이 본댐을 중심으로 하는 Rule Curve(Rule No.3)와 조정지댐을 중심으로 한 Rule Curve(Rule No.4)의 2 가지를 개발하였으나 이의 구체적 검증은 없었다.

$$\text{Rule No.3} : Q_{1t} = a_{1t} V_t + b_{1t}, V_t = X_{1t} + I_{1t} \quad (8)$$

$$\text{Rule No.4} : Q_{2t} = a_{2t} S_t + b_{2t}, S_t = X_{1t} + I_{1t} + I_{2t} \quad (9)$$

여기서, Q_{1t} 및 Q_{2t} 는 본댐 및 조정지댐에서의 월별 방류량이며, X_{1t} 는 본댐의 월초 저류량, Q_{1t} 및 Q_{2t} 는 본댐 및 조정지댐으로 유입하는 월간 국부 유입량(local inflow)이다. 또한 a_{1t} , a_{2t} , b_{1t} , b_{2t} 는 구간별 선형 회귀 분석(piecewise linear regression)에 의해서 산정된 월별 회귀 상수로서 표-4에 나타나 있다.

3.2 運營律에 따른 模擬 運營

이미 개발된 운영율에 따른 저수지 운영의 효율성을 비교 분석하기 위하여 각 운영율에 따른 모의 운영 프로그램을 개발하였으며, 개발된 모의 운영 프로그램은 사용자의 운영을 선택 조건에 따라 월별 저수지 운영 결과를 보여준다. 운영 결과는 충주 본댐 및 조정지댐에 대한 월별 저수지 수위 및 저류량, 방류량 및 월간 발전량 등을 산정하여 주며 저수지의 운영 결과로부터 각 信賴度별 保障 出力, 保障 에너지, 保障 用水 供給量도 제시하여 준다.

각 운영율에 따른 모의 운영은 1917년 부터 1940년, 1956년 부터 1990년 까지의 59년 동안의 忠州 본댐 및 조정지댐에 대한 과거 기록 월별 유입량 자료를 사용하였으며, Rule Curve 개발을 위하여 설계된 동적 계획 기법에 의한 최적 운영 결과(李 등, 1991)와 각 운영율에 따른 모의 운영 결과와의 비교가 표-5에 나타나 있다. 또한 그림-2 및 그림-3은 각 운영율에 따라 모의 운영하였을 경우 超過 確率別 보장 에너지 및 용수 공급량을 보여 주고 있으며, 최근에 개발된 Rule No.3 및 No.4가 최적 운영 결과와 매우 유사함을 알 수 있다.

3.3 運營律의 評價

多基準 意思 分析 技法에 의한 운영율의 평가를 위해서 표-1에 제시한 운영율의 평가 기준별 달성도를 표시하는 Pay-off 행렬이 표-6에 나타나 있다. 이 행렬의 달성도는 각 대안의 운영율에 따른 모의 운영 결과로부터 산정되었으며, 평가 기준별 가중치는 현 忠

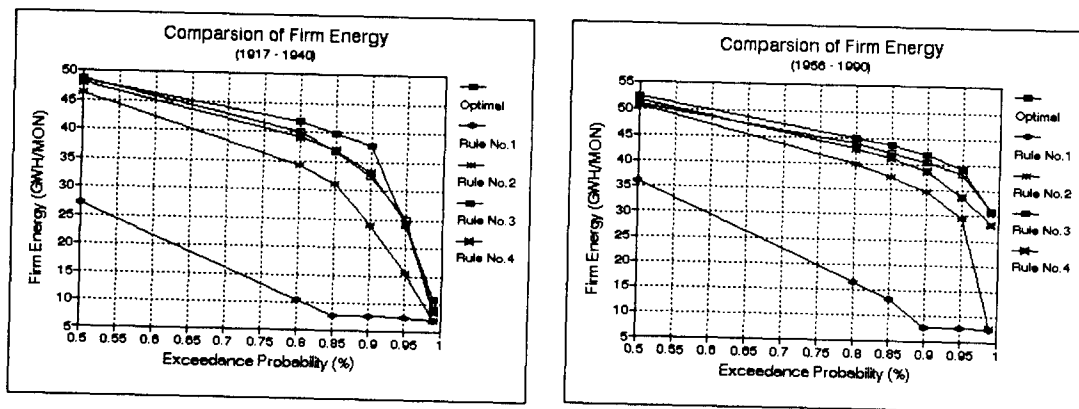


Figure-2 Comparison of Operating Rules, Fir, Energy

Table-4 Monthly Operating Rules for Chugju System Suggested by Lee et al.

Mon	Rule No. 3			Rule No. 4		
	Zoning (MCM)	Regression Coef		Zoning (MCM)	Regression Coef	
		alt	b1t		a2t	b2t
1	650 < Vt < 1400	+0.151817	+ 83	669 < St < 1300	+0.335367	- 87
	1400 < Vt < 2500	+0.004303	+ 278	1300 < St < 2500	+0.002989	+ 285
2	614 < Vt < 1100	+0.363028	- 122	622 < St < 1050	+0.609618	- 346
	1100 < Vt < 2400	-0.017452	+ 273	1050 < St < 2450	+0.000140	+ 264
3	646 < Vt < 1000	+0.573369	- 267	658 < St < 900	+1.000032	- 598
	1000 < Vt < 2500	-0.017447	+ 285	900 < St < 2550	+0.012767	+ 267
	2500 < Vt	+0.899242	-2087	2550 < St	+0.903950	- 2095
4	668 < Vt < 1200	+0.345767	- 112	679 < St < 1200	+0.466724	- 248
	1200 < Vt < 2580	-0.032885	+ 298	1200 < St < 2600	+0.013846	+ 260
	2580 < Vt	+0.989813	-2357	2600 < St	+0.961633	-2267
5	772 < Vt < 900	+1.087842	- 687	803 < St < 1000	+0.741966	- 403
	900 < Vt < 2600	+0.092287	+ 123	1000 < St < 2800	+0.132547	+ 79
	2600 < Vt	+0.750958	-1520	2800 < St	+0.689281	-1268
6	775 < Vt < 900	+0.999354	- 598	806 < St < 900	+0.999208	- 598
	900 < Vt < 2300	+0.308852	- 53	900 < St < 2400	+0.364571	- 127
	2300 < Vt	+0.588528	- 777	2400 < St	+0.845764	-1456
7	982 < Vt < 2400	+0.091171	+ 126	992 < St < 2650	+0.191279	+ 26
	2400 < Vt	+0.921483	-1819	2650 < St	+0.959904	-1941
8	985 < Vt < 2300	-0.017188	+ 268	1026 < St < 1026	+0.001484	+ 291
	2300 < Vt	+0.951233	-1954	2400 < St	+0.970399	-2004
9	1133 < Vt < 2600	-0.098096	+ 449	1158 < St < 2800	-0.003418	+ 303
	2600 < Vt	+0.998282	-2382	2800 < St	+0.998617	-2382
10	668 < Vt < 1800	+0.163906	+ 6	695 < St < 1700	+0.299939	- 112
	1800 < Vt < 2600	-0.015230	+ 294	1700 < St < 2700	+0.005906	+ 276
	2600 < Vt	+0.983959	-2337	2700 < St	+1.009896	-2412
11	693 < Vt < 1600	+0.198203	- 41	724 < St < 1400	+0.236047	- 45
	1600 < Vt < 2600	-0.016520	+ 288	1400 < St < 2700	+0.007889	+ 263
	2600 < Vt	+0.889484	-2087	2700 < St	+0.986707	-2351
12	674 < Vt < 1700	+0.144228	+ 36	697 < St < 1400	+0.346955	- 142
	1700 < Vt < 2500	-0.013256	+ 295	1400 < St < 2700	+0.005623	+ 278
	2500 < Vt	+0.295522	- 504	2700 < St	+0.951118	-2251

州 저수지 시스템의 운영 종사자 및 시스템 분석 관련 자들의 의견을 종합하여 산정되었다. 평가 기준 중에서 수력 발전 부문에 해당하는 보장 발전량과 2차 발전량 및 보장 출력은 극대화의 개념으로 평가하고, 기간중 용수 공급 부족량은 극소화의 개념으로 평가하였다. 기타 부문에 있어 홍수 기간중 저수지 용량과 운전 기간중 최소 저류량은 극대화의 개념으로 평가

하고 방류량의 변화율인 표준 편차는 극소화의 개념으로 평가하였다. 그러나 여가 활용 및 저수지내의 교통 문제는 기간중 저수지 수위 및 수위 변동율과 방류량의 변동율 등을 감안하여 산정하였으며 달성도를 백분율로 나타내었다.

표-6의 Pay-off 행렬로부터 가중 평균법, 離散型 CP(compromise programming), AHP 및 ELECTRE II

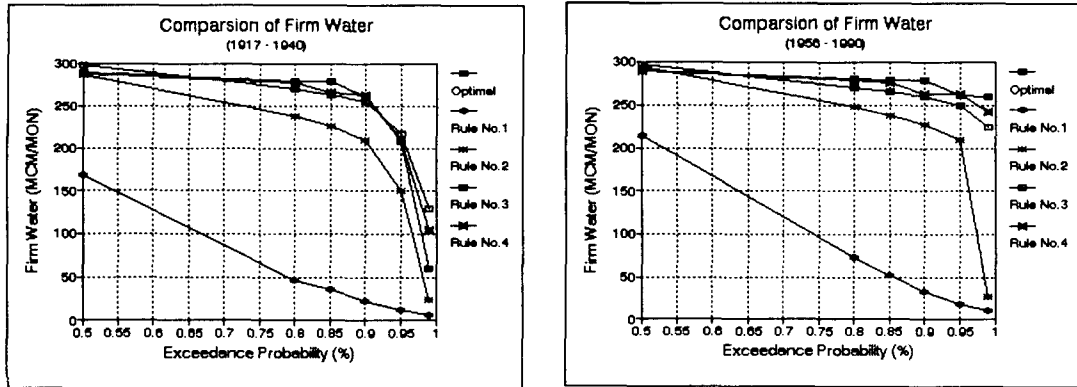


Figure-3 Comparison of Operating Rules, Firm Water Supply

Table-5 Performances of Developed Operating Rules, Chungju System

Operating Rules	Annual Energy GWH/Y	90% Firm Power MW	90% Firm Energy GWH/Y	90% Firm Water Supply MCM/Y
Optimization	867.73 (100.0%)	397.76 (100.0%)	40.23 (100.0%)	3264.9 (100%)
Rule No.1	894.0 (103.0%)	179.7 (45.2%)	7.82 (19.4%)	400.2 (12.2%)
Rule No.2	816.4 (94.1%)	340.9 (85.7%)	33.36 (82.9%)	2645.4 (81.0%)
Rule No.3	820.9 (94.6%)	377.66 (94.9%)	37.2 (92.5%)	3105.5 (95%)
Rule No.4	839.3 (96.7%)	371.2 (93.3%)	36.4 (90.5%)	3156.9 (96.7%)

Table-6 Pay-off Matrix for the Alternative Operating Rules

Criteria (Table1)	Weights	Unit	Operating Rules				Remarks
			No.1	No.2	No.3	No.5	
1	20.0	GWH/Y	93.8	400.3	446.4	436.8	Max
2	15.0	GWH/Y	801.2	416.1	374.5	402.5	Max
3	5.0	MW	179.7	340.9	377.6	371.2	Max
4	25.0	MCM/Y	400.2	2645.4	3105.5	3156.7	Max
5	5.0	MCM/M	282.0	267.5	66.8	49.7	Min
6	7.5	MCM	0.3	401.2	362.4	357.3	Max
7	7.5	MCM	2134.0	596.6	610.7	598.7	Max
8	10.0	%	100.0	60.0	65.0	65.0	Max
9	5.0	MCM	305.6	199.4	212.2	185.5	Min

Table-7 Ramlomg pf tje Chungju System Operating Rules

Multicriterion Analysis Techniques	Ranking of Operating Rules			
	Rule# 1	Rule# 2	Rule# 3	Rule# 4
Weighted Average Method	4	3	2	1
Compromise Programming				
p = 1	3	4	2	1
p = 2	4	3	2	1
Analytic Hierarchy Process	3	4	2	1
ELECTRE	4	3	1	2

등의 다기준 의사 분석 기법을 적용한 각 운영율에 대한 평가 결과가 표-7에 나타나 있다. 평가 방법에 있어 가중 평균법의 적용을 위해서는 각 평가 기준별로 極大化 문제에 있어서는 최대값을 사용하고 極小化 문제에 있어서는 최소값을 사용하여 백분율로 환산한 후 가중치를 감안하여 평가하였다. CP 적용을 위해서는 지수인 식 (5)의 P값을 1과 2인 경우로 구분하고 AHP 및 ELECTRE II는 汎用으로 개발된 컴퓨터 프로그램에 의해서 평가하였다.

표-6에 나타난 가중치 채택에 따른 불확실성을 감안하여 敏感度 分析을 수행하였으며, 민감도 분석시에는 표-6에서 고려했던 가중치 대신에 모든 평가 항목에 대해서 동일 가중치를 적용하였으나 평가 결과는 거의 변동이 없었다.

평가 결과인 표-7에서 알 수 있듯이 ELECTRE II를 제외하면 忠州 조정지댐을 중심으로 저수지를 운영하되 본댐의 월초 저류량과 본댐 및 조정지댐 유입량을 감안하여 댐 방류량을 결정할 수 있는 Rule No.4가 가장 이상적임을 알 수 있으며, 忠州 본댐의 월초 저류량과 본댐 유입량에 따라 방류량을 산정할 수 있는 Rule No.3가 次善임을 알 수 있다.

4. 結論 및 考察

다목적 저수지 시스템의 운영율의 채택과 같이 시스템에 기본적으로 주어진 주요 목적 이외에 시스템으로부터 부가적으로 발생하는 여러가지 요소도 포함하여 평가하여야 하는 문제는 多目的 計劃 技法과 같은 방법만으로 분석하기에는 많은 복잡성이 따른다. 더욱이 經驗이나 發見法과 같은 개인의 지식만으로는 평가하기 곤란한 다목적댐 저수지의 운영율과 같이 많은 평가 기준을 고려하면서 여러개의 代案 중에서

최상의 안을 선택하는 문제는 多基準 意思 分析 技法을 이용하면 쉽게 해결할 수 있다. 다기준 의사 분석 기법을 이용하면 여러 대안들을 각 평가 기준에 따라 체계적으로 비교하고 대안들의 우선 순위를 결정함으로써 최상의 안을 선택할 수 있다. 다목적 저수지 운영율의 평가는 시스템에 주어진 용수 공급 및 수력 발전과 홍수 조절 등 기본 목적 이외에도 환경 개선이나 여가 활용 및 생태학적 요소 등의 부가적인 요소도 포함하여야 하는데 본 연구에서는 대규모의 다목적 저수지 시스템의 운영을 위한 운영율의 평가 기준을 규명하여 제시하였다.

이러한 기법을 이용하여 우리나라 최대 규모인 충주 다목적 저수지 시스템의 지금까지 개발된 4가지의 운영율을 조사하여 평가하였다. 평가를 위해서 각 운영율에 따른 모의 운영을 실시하였으며, 모의 운영 결과를 기초로 4가지의 다기준 의사 분석 기법을 적용하였다. 다기준 의사 분석 적용시에는 4가지 대안의 운영율에 의한 모의 운영 결과로부터 9가지의 평가 기준별 달성도에 따라 평가를 수행하였다. 적용 결과 각 평가 기준에 가장 접근할 수 있는 운영율을 선정할 수 있었으며, 적용 기법에 따라 변동이 거의 없어 선정된 운영율이 代案 중에서 최상임을 알 수 있었다. 더욱이 이러한 대규모 다목적 저수지 시스템의 운영과 같이 많은 평가 기준을 고려하여 여러가지 대안의 운영율을 평가할 때에는 다기준 의사 분석 기법이 매우 효율적임을 알 수 있었다.

參 考 文 獻

1. Benayoun, R., B. Roy, and B. Sussman, (1966). "ELECTRE: Une Methode Pour Guider le Choix en Presence de Points de Vue Multiples," SEMA (Metra International), Direction Scientifique, Note de Travail No. 49, Paris, France.

2. Brans, J.P., B. Mareschal, and Vincke, (1984). "PROMETHEE: A New Family of Outranking Methods in Multicriteria Analysis," in *Operational Research '84*, J. P. Brans (ed.), pp. 477-490, North-Holland, Amsterdam.
3. Cohon, J. L. and D. H. Marks, (1975). "A Review and Evaluation of Multiobjective Programming Techniques," *Water Resources Research*, Vol.11, No.2, pp.208-220.
4. Duckstein, L. and S. Opricovic, (1980). "Multiobjective Optimization in River Basin Development," *Water Resources Research*, Vol.16, No.1, pp.14-20.
5. Goicoechea, A., D. R. Hansen, and L. Duckstein, (1982). "Multiobjective Decision Analysis with Engineering and Business Application," John Wiley & Sons, New York, NY.
6. Harboe, R., (1986). "Optimization, Simulation and Multiobjective Analysis of Operating Rules for Reservoir Systems," *Water Forum*, Vol. 1, pp.1026-1040, ASCE.
7. Harsanyi, J. C., (1977). "Rational Behaviour and Bargaining Equilibrium in Games and Social Situations," Cambridge University Press, London.
8. ISWACO, (1985). "Recommendation on Reservoir Operation Rule for Production of Maximum Output, Chungju Multipurpose Dam Project," Prepared by Nippon Koei Co. Ltd. for Industrial Sites and Water Resources Development Corporation.
9. Ko, S. K., (1989). "Optimizing Reservoir Systems Operation with Multiobjective Decision Analysis," Dissertation Submitted for the Degree of Ph.D., Colorado State University, Fort Collins, Co.
10. Nash, J., (1953). "Two Person Cooperative Games", *Econometrica*, Vol. 21, No. 1, pp. 128-140.
11. Odum, E. P., (1971). "Fundamentals of Ecology," 3rd Ed., W. B. Saunders Company.
12. Roy, B. and B. Bertier, (1971). "La Methode ELECTRE II: Une Methode de Classment en Presence de Criteres Multiples," Direction Scientifique, Groupe Metra, Note de Travail 142, Paries, France.
13. Saaty, T. L., (1982). "Decision Making for Leaders: The Analytical Hierarchy Process for Decisions in a Complex World," Lifetime Learning Publications, Wadsworth, Inc., Belmont, CA.
14. Zeleny, M., (1982). "Multiple Criteria Decision Making," McGraw-Hill Book Co., New York, NY.
15. 高錫九, (1986). "貯水池 시스템 運營 效率化를 위한 運營 基準 導出에 관한 研究", 제7회 댐 건설 및 세미나 논문집, 한국대 댐학회.
16. 李熙昇, 沈淳輔, 高錫九, (1991). "信賴度를 고려한 貯水池群의 月別 運營律 開發", 수공학 논총 제33권, 제33회 수공학 연구 발표회 초록집, pp. 49-60, 한국수문학회.

— 1991년 12월 24일 접수 —