

〈論 文〉

偏差損失을 考慮한 最適化 模型에 의한 實時間 貯水池 運營에 關한 研究
 A Study on the Real time Reservoir Operation by Optimization Model
 considering Deviation Losses

金 蔡 元*, 李 種 南**, 沈 名 弼***, 趙 英 鎬****, 朴 相 培*****
 KIM Chai Won LEE Chong Nam SHIM Myung Pil CHO Young Ho and PARK Sang Bae

Abstract□ The aim of this paper is suggest how to control the real time reservoir operation for the optimal operation of reservoir during the draught and the rainy season. The realease and the storage lead to the achievement or the deviation losses, higher or lower than the target level. Considering this deviation as one of the losses, putting the penalty on the losses, the way of optimal reservoir operation is discussed in order to minimize the penalty losses.

This study draw the deviation losses' curve depending on the operation objective for the Daechung Dam, and apply the optimal operation to the Dam by the linear programing technique, using the slope of the deviation curve as the losses coefficienc for the objective function.

Conclusively, in this paper I can combine the opposing subjects -the release and the storage- as one objective function by the deviation curve, and also show how to decide the criterion relate to the real time reservoir operation by analysing to what extent and how easily the objectives can be achieved, subject to the inflows.

요 지 : 본 연구의 목적은 갈수기와 풍수기간동안 유입량의 변화에 맞추어 저수지를 최적으로 운영하도록 방류와 저류량을 조절하는 實時間 貯水池 運營律을 결정하는 것이다. 最適放流와 貯溜의 결정은 많은 貯水池 運營目的을 充足시켜 目標들을 達成해야하는 복잡한 意思決定 問題이다. 저수지에서 저류와 방류의 목표는 저수지로 유입되는 유입량의 정도에 따라 달성이라는 충족과 초과 및 미달이라는 편차가 발생한다. 이 편차를 손실로 보아 이 손실에 상응하는 罰過點을 부여하여 罰過損失이 최소가 되도록 저수지의 최적운영을 시도하는 것이다.

본 논문은 대청댐 운영목표로부터 偏差損失곡선을 작성하였으며 곡선의 경사를 損失係數로 運營模型의 目的函數에 반영하여 線型計劃技法으로 대청댐 운영에 적용하여 보았다.

그 결과 貯水池運營에서 편차곡선을 이용해서 저류와 방류의 상반성을 반영할 수 있었으며, 유입량의 조건에 따른 目標達成의 정도와 운영의 간편성을 분석함으로 實時間 貯水池運營에서 意思決定을 위한 最適基準의 設定方向을 제시하였다.

-
- * 정회원 인덕전문대학 교수
 - ** 정회원 경희대학교 교수
 - *** 정회원 인하대학교 교수
 - **** 정회원 인덕전문대학 부교수
 - ***** 정회원 인덕전문대학 강사

1. 序 言

1.1 研究의 必要性

변화가 큰 하천유량을 조절하고 효율적으로 물을 사용하기 위해서는 새로운 저수지의 건설이 필요하지만, 政治·經濟·環境의 요인으로 인해 추가되는貯水池 建設計劃의 새로운 요소들은 과거보다 현재에는 더욱 복잡해지고 있어, 既存貯水池의 운영을 最適化한다는 것에 대한 중요성을 느끼고 있다.

본 연구의 목적은 洪水調節과 貯溜目的 사이에서 調節과 물공급을 동시에 만족할 수 있는 意思決定問題를 해석하여 實時間貯水池 運營을 제시하는데 있다.

貯水池 運營計劃에 쓰이는 기법들 중에서 최적화 기법으로는 線型計劃法(L.P), 動的計劃法(D.P), 目標計劃法(G.P), 非線型計劃法(N.L.P) 등이 있다. 그 중 본 연구의 대상 기법인 線形意思決定律의 개념을 채용한 연구는 Revelle와 Kirby(1970), Joeres 등(1971), Nayak과 Arora(1971), Yazicigil 등(1983)에 의한 논문들이 있으며, 선형 계획에 다수의 목표를 추가한 目標計劃法의 적용 연구는 Can과 Houck(1984), Datta와 Burges(1984), Loganathan(1991) 등에 의해 진행되어 왔다. 특히 본 연구에서 다루게 될 단기간 저수지 운영에서, Houck(1981)은 저류와 방류의 목표 초과와 미달에 따른 경제적 손실을 최소화하는 실시간 운영모형을 제시하였고, Bergman과 Delleur(1985)는 예측 유입량에 따른 방류와 저류 목표로 부터 세분된 편차와 관련된 벌과손실을 실시간 저수지운영에 적용하였으며, Simonovic 과 Burn(1989)은 의사결정변수로서 운영시간등의 한계를 처리하는 모형을 제시하였다.

국내의 경우도 模擬技法, 動的計劃技法에 의한 최적운영등, 저수지운영에 대한 많은 연구가 진행되어지고 있고, 短期間 豫測水文學 決定式의開發은 물론 實時間貯水池運營에 대한 관심이 높아지고 있는 상태이다. 貯水池運營의 전형적인 문제는貯水池에서 貯藏과 放流量을 결정하는데 기준이 될

意思決定이다. 따라서, 流入量에 따른 利水와 治水의 目的을 동시에 충족시키는 實時間 最適貯水池 運營方案의 개발이 필요하다. 특히 貯水池運營에서 편차곡선의 이용은 저류와 방류의 상반성을 반영하고, 예측된 유입량의 조건에 따른 目標達成의 정도의 분석이 가능하고, 운영이 간편할 것으로 보아 이의 적용으로 實時間貯水池運營에서 意思決定을 위한 最適基準의 設定方向을 제시하고자 한다.

1.2 研究의 內容과 範圍

洪水調節과 用水供給 사이에서 貯溜容량의 계절적 배분의 실현가능해를 필요로 하고 있는貯水池 運營에 영향을 주는 다양한 요소에서 계절적 변수를 고려하고 저류와 방류의 목표달성을 가지는 意思決定問題를 해결함에 있어, 지금까지 발전된 線型計劃技法에 편차변수를 도입하여 최적화기법으로 實時間貯水池運營을 最適化하고자 한다. 模型의 적용에 필요한貯水池流入量 豫測에는 갈수년(1991.10-1992.9)의 1년 단위주기와 풍수년(1985.10-1986.9)의 1년 단위주기를 선정하여 豐水期(7,8,9월), 渴水期(10,11,12,1,2,3,4,5,6월)에서 各月の 觀測流入量에 대한 實時間貯水池運營의 最適化를 다루었다.

적용은 금강 수계내에 축조된 대형다목적댐을 단일저수지로 한정하였으며 단기간 저수지운영에 이용된 자료는 대형댐 수문자료(유입량, 방류량, 댐수위, 강수량)(수자원공사; 1981-1992), 일별수위-유량현황(수문조사년보: 건설부; 1980-1992), 용수 공급과 계약물량 및 공급실적(관리년보: 수자원공사; 1991-1992), 호우·수위·방류별 피해자료(재해년보: 건설부; 1981-1992), 대형다목적댐 관리현황(건설부령 제542호: 관리년보: 수자원공사; 1992), 댐관리규정(건설부; 1981), 다목적댐 운영 실무편람(한국수자원공사; 1992) 등이다.

2. 貯水池의 短期間運營의 最適化

단기경향 저수지운영 문제는 단기경향 손실을 최소화하는 목표를 가지는 최적화 모형에 의하여 해

석되어질 수 있다 (Sigvaldason,1976; Houck, 1981). 短期傾向 손실의 도입은 意思決定變數에 대한 목표값, 豫測可能流入量 자체의 信賴性의 평가, 계통운영 目標에 대한 명확한 설정이 이루어져야만 하며(Houck, 1982; Yazicigil et al.,1983; Can And Houck,1985), 實時間運營에서 貯水池運營模型의 정형화는 사용된 시간범위의 직접함수라고 정의하였다(Simonovic and Burn, 1989). 또한 貯水池流入量豫測의 중요성과 流入量의 信賴性 및 運營計劃의 효과문제의 실례가 Can과 Houk (1985)에 의하여 주어 졌다.

Simonovic과 Burn은 意思決定變數로서 운영시간 한계를 처리하는 模型을 정형화했다. 본 연구에서는 Simonovic과 Burn이 적용한 실시간 저수지 운영 모형에 편차 손실곡선을 작성하여 대청다목적 댐운영에 적용하고자 한다.

2.1 實時間貯水池運營

Houck(1981)는 實時間運營에서 實罰過損失函數와 차이를 理想運營과 관련된 손실로 정의 되어 지는 罰過損失函數가 최소화되는 實時間運營期間 동안 運營을 비교하였다. 본 논문에서는 설정한 目標에 따른 偏差損失에서 과거 발생했던 사상과 비교 기대되는 손실을 산정하여 目標로부터의 偏差損失이 최소가 되도록 目的函數를 설정하고 貯水池 運營規則에 따른 制約條件을 충족하는 實時間貯水池 運營을 설정하고자 한다.

2.1.1 實時間 豫測模型

實時間 豫測模型은 貯水池運營範圍 기간에 따른 貯水池 流入量을 豫測하기 위하여 적용성있는 Karlman filtering 연산과정을 사용할 수 있다. Wood And Szollosi Nagy(1978)는 Karlman filter에 의한 예측오차의 공분산행렬의 추정에 순환 알고리즘을 적용하여 실측자료로서 장래의 유출을 예측하였으며, Bergman과 Delleur (1985), Burn과 McBean(1985), 그리고 Burn(1988) 등의 논문에서 適用한 바 있으며(Simonovic and Burn,1989), 國內의 徐炳夏(1983)등이 河川에서의 洪水流出 豫測에 適用한 바 있다. 필요한 流入

量豫測은 다음식에 의해 수행된다 (Simonovic and Burn,1989). 본 논문에서는 예측자료 대신에 실측자료를 이용하여 적용하였다.

$$\hat{q}(t+1)=h_i(t)\theta_i(t) \quad (2.1)$$

$$h_i(t)=[q(t-1), q(t-2), \dots, q(t-n_i), p(t-1), p(t-2), \dots, p(t-m_i)] \quad (2.2)$$

여기서,
 $\hat{q}(t+1)$: 시간 t에서 시간 (t+1)의 저수지 유입량 예측
 $\theta_i(t)$: 1시간 전단계에 대한 t시간에서 매개변수벡터
 $h_i(t)$: 다음 단계를 정의하는 입력벡터, $q(t)$: 시간 t에서 관측유량
 $p(t)$: 시간 t에서 관측우량, n_i, m_i : 전단계에 포함된 유량과 강우량의 수

2.1.2 短期-傾向 貯水池 運營模型

實時間 貯水池 運營基準은 放流와 貯溜容積내에 있는 目標水位로부터의 偏差로 발생될 수 있는 손실을 최소화하는 最適貯水池放流와 貯溜量을 결정할 수 있도록 意思決定을 내리는 最適代案이다. 이 模型을 目標水位와 放流 및 貯溜量에 대한 偏差損失을 최소로 하는 線型計劃法에 基礎로 하여 다음과 같이 구성할 수 있다.

S_t 가 시간기간 t의 시점에서 기대용량이라 하고 S_t 을 현저수지용량, R_t 를 시간 기간 t기간동안 貯水池 放流量, I_t 를 시간기간 t시간 기간동안의 豫測된 貯水池 流入量, L_1 을 저유량목표로 부터 偏差에 대한 손실함수, L_2 를 放流目標로부터 偏差에 대한 손실함수, R_{min} 을 최소허용방류, R_{max} 을 허용 최대방류량, CAP를 저수 지용량, t를 운영,예측, 범위에 있어서 시간간격지수 그리고 T를 운영범위라 할때 貯水池 運營模型은 다음과 같이 구성된다 (Simonovic and Burn,1989).

目的函數

$$\text{minimiz } L = \sum_{t=1}^T [L_1(S_{t+1}) + L_2(R_t)] \quad (2.3)$$

制約條件

$$S_2 + R_1 = S_1 + I_1 \quad (2.4)$$

$$S_{t+1} - S_t + R_t = I_t, \quad t=2, 3, \dots, T \quad (2.5)$$

$$S_{t+1} \leq CAP, \quad \forall t \quad (2.6)$$

$$R_t \leq R_{max}, \quad \forall t \quad (2.7)$$

$$S_{t+1} \geq S_{min}, \quad \forall t \quad (2.8)$$

$$R_t \leq R_{max}, \quad \forall t \quad (2.9)$$

目標의 超過와 未達에 따른 偏差損失을 도시한 그림 3.1 과 그림 3.2에서 偏差와 損失에 따른 경사를 손실계수로 하여 偏差運營 損失이 최소가 되도록 目的函數를 설정하고 貯水池 運營목적에 따른 制約條件을 세워 模型을 細分하면 다음과 같이 상세한 運營模型이 구성된다(Simonovic and Burn, 1989).

目的函數

$$\begin{aligned} \text{minimize } L = & \sum_{t=1}^T (SD_2SD_{2t} + SD_1SD_{1t} \\ & + SS_1SS_{1t} + SS_2SS_{2t} + SS_3SS_{3t}) \\ & + \sum_{t=1}^T (RD_2RD_{2t} + RD_1RD_{1t} + RS_1RS_{1t} \\ & + RS_2RS_{2t} + RS_3RS_{3t}) \end{aligned} \quad (2.10)$$

制約條件

식(2.4)에서 식(2.9)

$$S_{t+1} + SD_{2t} + SD_{1t} - SS_{1t} - SS_{2t} - SS_{3t} = S_{tar}, \quad \forall t \quad (2.11)$$

$$R_{t+1} + RD_{2t} + RD_{1t} - RS_{2t} - RS_{3t} = R_{tar}, \quad \forall t \quad (2.12)$$

$$0 \leq SD_{2t} \leq b_s - a_s, \quad \forall t \quad (2.13)$$

$$0 \leq SD_{1t} \leq S_{tar} - b_s, \quad \forall t \quad (2.14)$$

$$0 \leq SS_{1t} \leq c_s - S_{tar}, \quad \forall t \quad (2.15)$$

$$0 \leq SS_{2t} \leq d_s - c_s, \quad \forall t \quad (2.16)$$

$$0 \leq SS_{3t} \leq e_s - d_s, \quad \forall t \quad (2.17)$$

$$0 \leq RD_{2t} \leq b_R - a_R, \quad \forall t \quad (2.18)$$

$$0 \leq RD_{1t} \leq R_{tar} - b_R, \quad \forall t \quad (2.19)$$

$$0 \leq RS_{1t} \leq c_R - R_{tar}, \quad \forall t \quad (2.20)$$

$$0 \leq RS_{2t} \leq d_R - c_R, \quad \forall t \quad (2.21)$$

$$0 \leq RS_{3t} \leq e_R - d_R, \quad \forall t \quad (2.22)$$

여기서 S_{tar} 와 R_{tar} 은 각각 目標貯溜量과 放流量이고 다른 변수들은 그림 3.1과 그림 3.2 에서 정의한다. 制約條件 식(2.4)와 식(2.5)는 貯水池의 연속방정식을 나타내며, 制約條件식(2.6)에서 식(2.9)는 貯水池運營이 계통의 물리적 制約條件과 貯水池 運營목표를 반영하고, 制約條件식(2.11)~식(2.22)는 貯溜와 放流範圍를 제한한다. 目的函數는 위에서 정의한 변수의 항과 선형화된 費用曲線方向의 경사를 나타내는 비용계수의 항에 의하여 總罰過損失이 計算되어 진다. 罰過損失이 최소가 되고 제약조건을 충족시키는 實時間運營의 各時間 間隔의 첫날에 決定된 放流가 충족되면 다음날 초기저류는 전기간 초기저류량에 실유입량을 합하여 이를 충족하는 放流를 罰過損失이 最小가 되도록 연쇄적으로 운영한다.

2.2 貯水池運營計劃

貯水池는 자연 현상적 조건을 가지고 유입하는 流入量에 의해 지배되기 때문에 목적을 충족시키는 운영은 불가능하다. 따라서 運營目標는 目標偏差, 利水와 治水의 상반성, 運營順序, 運營管理者의 충분한 의사를 반영할 수 있도록 세워져야만 한다. 또한 貯水池의 運營規則에 따라 제한하는 제반 制約條件등을 만족하는 범위에서 運營되어야 한다. 目標를 초과하거나 미달하게 되면 각구간 범위내의 용적에 해당하는 화폐단위의 벌과손실을 부과할 수 있다. 그림 3.1과 그림 3.2의 偏差損失曲線에서 偏差區間은 運營目標를 定義하게되며 그 傾斜는 각 변수에 대한 목적함수내에 있는 費用係數로 사용하여 벌과손실이 최소가 되도록 실시간 최적해를 찾아 저수지를 운영한다.

2.2.1 편차곡선의 산정

貯水池運營에서 저수지 운영기간 동안 의사결정자(decision maker)인 운영책임자는 설정된 저류와 방류등의 저수지운영목표(Target)로 부터 초과하거나 미달하게 되면 어떻게 방류 혹은 저류해야 할지를 결정하여야 한다. 저류와 방류가 설정된 목

표(Target)에 적중되는 운영을 이상운영(ideal operation)이라 하면 목표를 초과 하거나 미달하는 이상운영으로 부터의 편차는 비이상운영(non-ideal operation)을 나타낸다. 최적운영은 계통내에서 수문학적 입력이 理想運營에 미치지 못할때 이 편차를 運營律 違背의 정도로 하여 벌과되는 벌과손실이 최소가 되도록 최적화하여 운영하는 것이다.

저류목표로 부터 편차와 벌과금으로 주어지는 벌과량의 관계를 곡선으로 표시 한것이 그림 3.1 이고, 역시 방류목표로 부터 편차와 벌과금(Penalty)으로 주어지는 벌과량(Penalty point)의 관계를 곡선으로 표시한 것이 그림 3.2 이다. 그림에서 목표로 부터 편차가 커질 수록 벌과손실이 증가하고 벌과손실은 편차가 목표를 초과하느냐 미달하느냐에 따라 다르며, 그 편차는 저류편차일 경우와 방류 편차일 경우에 따라 다르다. 저류목표와 방류 목표를 세위 초과와 미달구간의 운영범위를 설정하여 벌과함으로서 벌과손실을 최소화하여 최적운영을 할 수 있다.

Houck(1983)은 실시간 저수지 계통운영에서 편차손실에 따른 벌과손실 부여에 서 그림 3.1, 그림 3.2에 대한 편차 구간설정을 표 2.1과 같이 예로서 소개하고 있으며 구간설정은 많은 경험을 요한다고 하였다. 본 논문에서는 대청다목적댐 관리규정(건설부,1981)을 기초로하여 偏差曲線을 다음과 같이 작성하였다.

표 2.1 區間別 貯溜量, 放流量의 定義(Houck : 1983)

區間	貯溜量	放流量
미달②구간	河川가 使用不能 beaches unusable	물고기 生存정도 fish just surviving
미달①구간	보트램프使用不能 boat ramps unusable	배 띄우기 不可能 no rafting possible
TAR 목표	運營曲線 rule curve	目標流量 flow target
초과①구간	休息用卓子 물에 잠김 picnic tables under water	負洪水 minor flooding
초과②구간	餘水噴水位 spillay elevation	主洪水 major flooding
초과③구간	댐 頂点 top of dam	災難 disaster

2.2.2 저류편차 구간설정

관리규정 제2조와 제7조, 19조 ③, ④항에 따른 목표저수량에서 미달하게 되면 19조 ③, ④항의 조항을 違背하여, 未達 ①(그림 3.1:SD1), ②(그림 3.1:SD2)구간으로 정의하였고 동규정 제2조, 제16조, 제17조, 제19조 ①, ②항을 위한 저류량을 이수의 측면에서 목표저수량에 대한 초과편차로 보아 超過 ①(그림 3.1:SS1), ②(그림 3.1:SS2), ③구간(그림 3.1:SS3)으로 설정하여 위배에 대한 罰過項目的 기준으로 표 2.2와 같이 정의하였다.

2.2.3 방류편차 구간설정

관리규정 제2조와 제 20조 ②항에 따라 미달 ①(그림 3.2:RD1), ②(그림 3.2:RD2)구간으로 정의하였고 동규정 제20조 ①, ②항 및 ⑤항 및 제21조에 따라 초과 ①(그림 3.2:RS1), ②(그림 3.2:RS2), ③(그림 3.2:RS3)구간으로 설정하여 違背에 대한 罰過項目的 기준으로 표 2.2와 같이 정의하였다.

표 2.2 規定違背에 대한 罪過項目的의 基準

	區 間	罪 過 項 目	管 理 規 定
貯	미달②구간	생·공발전용수공급량이상	제19조 ③,④항
	미달①구간	생·공발전용수공급량이내	제19조 ③,④항
	목 표	저류목표	제7조 제8조
溜	초과①구간	무해 한계방류량의 저류가능량 이내	제19조 ①항
	초과②구간	최대 한계방류량의 저류가능량 이내	제19조 ②항
	초과③구간	최대 한계방류량의 저류가능량 이상	제19조 ②항
放	미달②구간	하류 생·공발전용수공급량이상	제20조 ③,④항
	미달①구간	하류 생·공발전용수공급량이내	제20조 ③,④항
	목 표	방류목표	제6조 제7조 ②항
	초과①구간	무해 한계방류량의 방류가능범위	제20조 ①항
	초과②구간	최대 한계방류의 방류가능범위	제20조 ②항
	초과③구간	최대 홍수조절용량의 한계방류범위	제6조

3. 模型의 適用

3.1 貯水池의 運營目標와 節次

模型을 적용한 大清多目的댐은 流域面積이 4,134km²이며 250km의 流路延長을 가지고 발전및 용수의 공급과 洪水調節을 하는 多目的貯水池이다.

貯水池는 최대 $1,490 \times 106 \text{m}^3$ 와 최소 $450 \times 106 \text{m}^3$ 까지貯溜할 수 있으며, 最大放流는 최대홍수 조절容積 $250 \times 106 \text{m}^3/\text{일}$ (한국수자원공사, 1991)의 日放流容積이며, 下流河川水質 影響 및 最少用水供給을 고려할때 最小 $3.5 \times 106 \text{m}^3$ (건설부, 1973)의 日放流容積을 필요로 하고 있다. 대청댐 運營目標가 豐水期인 7,8,9월에 물을貯水池의 常時 滿水位까지 채워 10,11,12,1,2,3,4,5,6,의 流入量과 함께 물을發電 및 用水로 공급운영하는 것이다. 月別 目標水位는 大清多目的 貯水池 運營方案에 따라 目標水位를 기준(건설부, 1973)으로 目標貯溜와 放流量을 산정하였다. 목표달성과 미달에 따른 위배에 대한 벌과 한계범위를 偏差로 計算하였으며 偏差에 따른 期待損失額을 산정한후 偏差損失 曲線을 작도하여 罰過損失이 최소가 되도록 意思 決定 技法으로 線形計劃法(L.P)을 적용하여 實時間 貯水池運營을 하였다.

3.2 期待 損失曲線의 算定

설정된 目標가 미래에 그 目標를 達成, 超過 그리고 未達 하게 될 것이라는 不確實性을 구체적으로 반영하기 위해서는 단순히 발생한 추정 또는 조사자료를 이용하는 것 보다는 과거 발생자료를 기준으로 미래에 발생할 確率的 解析으로 期待 값을 산정하여 적용하는 것이 적절하다(Thuesen G.J. and W.j.Fabyky, 1988) 目標 事象에 대한 超過와 未達의 各區間에 대한 범위가 $a \leq x \leq b$ 라면 그 事象이 일어날 確率は 식(3.1)과 같으며 기대값은 식(3.2)와 같다.

$$P(a \leq x \leq b) = \int_a^b f(x) dx \quad (3.1)$$

$$E(x) = \sum_{x=a}^{x=b} xP(x) \quad (3.2)$$

여기서 a, b: 구간 상.하한, x: 구간내 저류와 방류량

P(x): 구간범위 사상의 발생확률, f(x): 확률밀도함수, E(x): 구간내의 기대값

저수지의 運營目的은 저수지의 貯溜目標와 放流

目標를 達成했을때 저수지의 運營목적이 達成된다. 그러나 不規則的인 유입량으로 인하여 目標를 未達 하거나 超過하게 된다. 目標를 未達하게 되면 용수 공급 및 발전손실을 가져올 뿐만 아니라 目標를 超過하게 되면 目標調整을 위한 방류손실과 홍수피해를 가져오기 때문에 목표 超過損失이 발생한다. 목표 초과와 미달구간을 댐 運營管理規則에 의한 범위로 설정하고 그 區間內에서의 過去損失 實績과 발생회수를 관찰하여 元單位의 損失額을 算出한 후 식(3.1)과 식(3.2)에 따른 期待損失을 추정한다. 目標超過와 未達偏差에 따른 손실곡선을 산출하여 이 편차손실을 최소화는 決定變數를 線形計劃法模型을 적용하여 最適貯水池 運營方案을 검토하고자 한다. 偏差損失은 貯溜目標偏差와 放流目標偏差로 구분하여 다음과 같이 산정하였다.

3.2.1 貯溜目標 偏差區間 設定과 期待被害

貯溜目標가 저수지상류에서 대전과 청주등의 生工用水를 공급하고 발전용수를 통하여 하류용수공급과 하천유지수를 공급하게되며 洪水를 調節하는데 있다.

貯溜目標로부터 未達이 발생하게 되면 用水供給과 發電損失이 발생하며 目標가 超過되면 超過에 따른 손실과 洪水被害損失이 발생한다. 따라서 目標超過와 未達發生 區間設定에서 未達 1區間(그림 3.1의 SD1)은 댐상류 용수공급계약(대전, 청주시 등) 월당총량(수자원공사, 관리편람, 1992)에 월별 평균 발전방류용량(수자원공사, 관리지침, P156, P113)을 합하여 벌과점을 부여하여, 미달1구간의 벌과항목의 벌과 기준을 生工·發電用水 供給量 以內로 설정하였다. 未達 2區間(그림 3.1의 SD2)은 용수공급계약량과 발전용수 공급량에서부터 사수용량이내의 범위용량을 벌과점으로 부과하여 미달2구간의 벌과항목의 벌과기준을 生工·發電用水 供給量 以上을 기준으로 구획하였다. 그리고 超過 1區間(그림 3.1의 SS1)은 目標水位에서 관리규정 19조 2항에 명시한 무피해 한계방류량 1,000cms을 제21조에 따라 방류 승인 6시간동안의 저류가능량이내의 용량을 벌과기준으로, 超過 2區間(그림 3.1의 SS2)은 무피해 한계방류량 1,000cms의 6시간동안의 저류가능량에서 제20조 2

표 3.1 罰過項目 基準設定 利用資料

자 료 명	발 행 기 간	참 고 목 록	참 고 내 용	년, Page
댐 관리 규정	건 설 부	대청다목적댐관리	구간별 벌과항목 기준 설정	1981. 39-51
대청다목적댐 관 리년보	수자원공사	대청다목적댐 관리현황	구간별 벌과항목 기준설정	1991. 377-387
		용수공급현황 (1980-1991)	벌과 항목에 벌과금 산정	159-172
		방류현황(1980-1991)	"	113.156.159-172
다목적 댐 관리 편람	수자원공사	용수 공급계약 현황	벌과금 부과와 목포 저·방류 편차산정	1992. 15, 19
대청 다목적댐 저수 지 운영 방안 연구	산업기 지계 발 공사	빈도별 월별 목표수위	목표 저류, 방류량 산정	1986. 213
		용수 수요산정 및 추정	목표 저류, 방류량 산정	1986. 45-53
금강유역 조사 보 고서	"	용수 수요총괄	"	1986. 153
대청다목적댐 타 당성 조사 보고서	건 설 부	용수 수요	"	1973. 103- 200
재해년보	"	금강유역 수해 현황	초과편차에 따른 벌과금 산정	1981-1992.

표 3.2 貯溜目標와 偏差 算定

월 별	미 달				목 표		초 과					
	2		1				1		2		3	
	수위	용적	수위	용적	수위	용적	수위	용적	수위	용적	수위	용적
10	60	(562) 452	72.8	(162) 1014	75.5	1176	75.8	(22) 1198	77.8	(130) 1328	80.0	(162) 1490
11	60	(499) 452	71.7	(132) 951	74.0	1083	74.3	(22) 1105	76.4	(130) 1235	80.0	(255) 1490
12	60	(394) 452	69.6	(121) 846	72.0	967	72.3	(22) 989	75.7	(130) 1119	80.0	(371) 1490
1	60	(286) 452	67.3	(124) 738	70.0	862	70.3	(22) 884	72.8	(130) 1014	80.0	(476) 1490
2	60	(208) 452	65.5	(107) 660	68.0	767	68.4	(22) 789	71.1	(130) 919	80.0	(571) 1490
3	60	(163) 452	64.4	(130) 615	67.5	745	67.9	(22) 767	70.6	(130) 897	80.0	(593) 1490
4	60	(128) 452	63.5	(165) 580	67.5	745	67.9	(22) 767	70.6	(130) 897	80.0	(593) 1490
5	60	(5) 452	60.1	(264) 457	66.9	721	67.4	(22) 743	70.2	(130) 873	80.0	(637) 1490
6	60	(2) 452	60.1	(279) 454	67.2	733	67.7	(22) 755	70.4	(130) 885	80.0	(605) 1490
7	60	(242) 452	66.3	(450) 694	75.0	1144	75.3	(22) 1166	77.3	(130) 1296	80.0	(194) 1490
8	60	(163) 452	64.4	(626) 615	76.5	1241	76.8	(22) 1263	78.6	(130) 1393	80.0	(97) 1490
9	60	(588) 452	73.2	(201) 1040	76.5	1241	76.8	(22) 1263	78.5	(130) 1393	80.0	(97) 1490

* 註: ()내에 있는 같은 구간범위내 편차임.

표 3.3 7월 貯溜目標 超過와 未達 期待損失 計算

수위범위 (m)	저류범위 (10 ⁶ m ³)	편차 (10 ⁶ m ³)	횃수	확률	손실액 (백만원)	기대손실 (백만원)
60.0-66.3	452-694	242	163	0.44	1437	632
66.3-75.0	694-1144	450	176	0.47	2673	1256
75.0	1144(목표)	0	0	0	0	0
75.0-75.3	1144-1166	22	6	0.02	330	7
75.3-77.3	1166-1296	130	18	0.05	1008	51
77.3-80.0	1296-1490	194	9	0.02	1442	29
			372	1.00		

표 3.4 7월 貯溜目標와 偏差損失 및 期待損失曲線

월	구분	미 달				목 표	초 과							
		2구간		1구간			1구간		2구간		3구간			
7	경사(백만원/백만톤)		2.6		2.8			0.3		0.4		0.2		
	기대손실(백만원)		632		1256			7		51		29		
	편차손실(백만원)		1437		2673			330		1008		1442		
	편 차(백만톤)		242		450			22		130		194		
	범 위	수위 (m)	용적 (백만톤)	수위	용적	수위	용적	수위	용적	수위	용적	수위	용적	수위
			60	452	66.3	694	75.0	1144	75.3	1166	77.3	1296	80	1,490

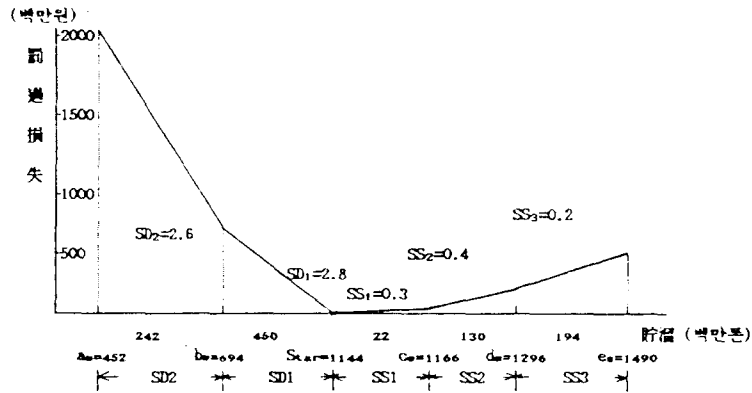


그림 3.1 7월 貯溜目標 偏差에 대한 損失曲線

항에 의한 최대 한계 방류량(6000cms)의 6시간(放流承認 期間範圍)동안 貯溜可能 量以內의 範圍을 別과기준으로, 超過 3區間(그림 3.1의 SS3)은 제 20조 2항에 의한 최대 한계 방류량(6000cms)의 6시간(放流承認 期間範圍)동안 貯溜可能 量에서 저수지 최대 한계 저류용량까지를 別과기준으로 할당하였다. 未達損失인 用水損失은 韓國水資源公社

와 사용자들간에 계약한 물값(5.94원/m³)(한국수자원공사,1991)을 別과항목내 용량에 供하여 別과손실액으로 산정하였으며, 超過損失은 물값에 洪水被害資料로부터 調査한 該當區間內 被害額을 합하여 別과점을 부과하였다. 別과 항목기준 설정에 이용한 자료현황은 표 3.1, 貯溜目標와 偏差割當은 표 3.2, 貯溜目標超過와 未達에 따른 期待損失計算

은 풍수기중 7월을 표 3.3에, 貯溜目標의 偏差損失 및 期待損失과 曲線은 표 3.4와 그림 3.1에 표시하였다.

3.2.2 放流目標 偏差區間 設定과 期待被害

본댐의 放出口에서 발전과 하류용수공급을 위한 放流를 하고 여수로 洪水調節量을 放流하게되면 放流量에 따라 하류용수공급의 目標未達과 超過가 發生한다.

貯溜量割當에서와 같은 방법으로 未達 1區間(그림 3.2 RD1)은 관리규정 20조 3 항과 4항에 의한 生工·發電用水 契約供給量以內, 未達 2區間(그림 3.2 RD2)은 관리규정 20조 3항과 4항에 의한 生工·發電用水 契約供給量 以上을 基準으로 區劃

하였다(한국수자원공사, 1991). 그리고 超過 1區間(그림 3.2 RS1)은 관리규정 20조 1항, 21조에 따라 목표에서 6시간 무피해방류량以內, 超過 2區間(그림 3.2 RS2)은 무피해방류량에서 관리규정 20조 2항의 최대한계 6시간방류량을, 超過 3 區間은 최대 한계방류량에서 관리규정 제6조와 제17조 1항,2항에 따른 저수지의 최대홍수조절용량以內 範圍로하여 單位日放流量를 基準(수자원개발공사,1991)으로 割當하였다. 未達損失인 用水損失은 물값(수자원개발공사,1991)으로 算定하였으며 超過損失은 洪水被害資料(건설부,1981-1992)로부터 調査한 該當區間內 被害額을 합하여 別과하였다. 區間內 放流範圍의 發生빈도에 따른 期待損失을 계산하여 損失曲線을 작성하였다. 放流目標 偏

표 3.5 放流目標와 偏差 算定

월 별	미 달				목 표		초 과					
	2		1				1		2		3	
	cms	10 ⁶ m ³	cms	10 ⁶ m ³	cms	10 ⁶ m ³	cms	10 ⁶ m ³	cms	10 ⁶ m ³	cms	10 ⁶ m ³
10	40.5	(2.2) 3.5	65.9	(7.0) 5.7	146	12.7	401	(22) 34.7	1096	(130) 164.7	2893	(85.3) 250
11	40.5	(1.5) 3.5	57.8	(6.7) 5.0	135	11.7	390	(22) 33.7	1895	(130) 163.7	2893	(86.3) 250
12	40.5	(1.5) 3.5	57.8	(6.2) 5.0	130	11.2	384	(22) 33.2	1889	(130) 163.2	2893	(86.8) 250
1	40.5	(1.9) 3.5	62.5	(6.3) 5.	135	11.7	390	(22) 33.7	1895	(130) 163.7	2893	(86.3) 250
2	40.5	(1.7) 3.5	62.5	(6.0) 5.2	130	11.2	384	(22) 33.2	1889	(130) 163.2	2893	(86.8) 250
3	40.5	(1.7) 3.5	60.1	(6.5) 5.2	135	11.7	390	(22) 33.7	1895	(130) 163.7	2893	(86.3) 250
4	40.5	(1.7) 3.5	60.1	(7.8) 5.2	150	13.0	405	(22) 35.0	1910	(130) 165.0	2893	(85.0) 250
5	40.5	(2.5) 3.5	69.4	(10.8) 6.0	185	16.0	440	(22) 38.0	1944	(130) 168.0	2893	(82.0) 250
6	40.5	(2.2) 3.5	65.9	(11.1) 5.7	194	16.8	449	(22) 38.8	1954	(130) 168.8	2893	(81.2) 250
7	40.5	(1.7) 3.5	60.1	(16.8) 5.2	255	22.0	509	(22) 44.0	2013	(130) 174.0	2893	(76.0) 250
8	40.5	(12.0) 3.5	179	(12.2) 15.5	320	27.7	575	(22) 49.7	2074	(130) 179.2	2893	(70.8) 250
9	40.5	(1.7) 3.5	60.1	(9.0) 5.2	164	14.2	419	(22) 36.2	1923	(130) 166.2	2893	(83.8) 250

* 註:()내에 있는 같은 구간범위내 편차임.

표 3.6 7월 放流目標 超過와 未達 期待損失 計算

방류범위 (CMS)	방류범위 (10 ⁶ m ³)	편차 (10 ⁶ m ³)	횟수	확률	손실액 (백만원)	기대손실 (백만원)
40.5-60.1	3.5-5.2	1.7	92	0.20	10	2
60.1-255.0	5.2-22.0	16.8	259	0.60	100	60
255.0	22.0(목표)	0	0	0.00	0	0
255.0-509.0	22.0-44.0	22.0	8	0.66	502	30
509.0-2013.0	44.0-174.0	130.0	10	0.10	2493	250
2013.0-2893.0	174.0-250.0	76.0	1	0.04	2872	115
			360	1.00		

표 3.7 7월 放流目標와 偏差損失 및 期待損失曲線

월	구분	미달				목표	초과						
		2구간		1구간			1구간		2구간		3구간		
7	경사(백만원/백만톤)		1.2		3.6				1.4		1.9		1.5
	기대손실(백만원)		2		60				30		250		115
	편차손실(백만원)		10		100				502		2493		2872
	편차(백만톤)		1.7		16.8				22		130		76.0
	범위	방류용적	방류용적	방류용적	방류용적	방류용적	방류용적	방류용적	방류용적	방류용적	방류용적	방류용적	방류용적
	CMS(백만톤)	40.5	3.5	60.1	5.2	255	22.0	509	44.0	2013	174.0	2893	250

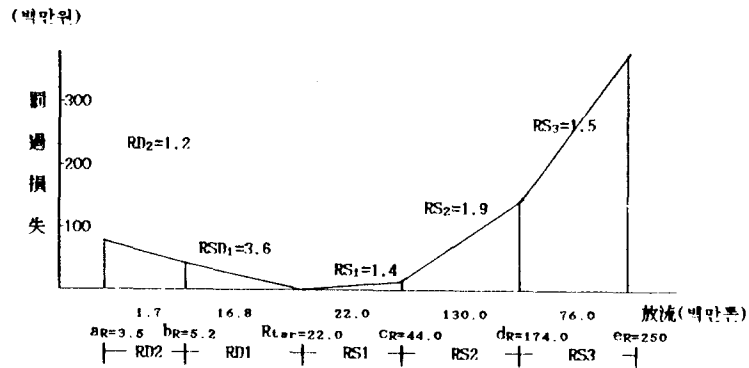


그림 3.2 7월 放流目標 偏差에 대한 損失曲線

差算定은 표 3.5, 放流目標와 未達에 따른 期待損失은 豊水期중 7월을 표 3.6, 放流目標와 偏差損失 및 曲線은 표 3.7과 그림 3.2에 각각 표시하였다.

3.3 流入量의 資料

대상자료의 선정은 풍수년인 1985년 10월부터

1986년 9월까지의 1년 단위 주기와 갈수년인 1991년 10월 부터 1992년까지를 1년 단위 주기로 하여 월별 觀測日流量으로 앞장에서 구성한 모델에 의하여 最適 意思決定 變數를 最適化 하여 비교하였다. 풍수년 유입량자료는 표 3.8에, 갈수년 유입량자료는 표 3.9와 같다.

표 3.8 豊水年 流入量資料

(10⁶m³)

연 일	1985년			1986년								
	10월	11월	12월	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월
1	6.1	2.9	12.0	6.3	1.2	1.5	3.1	2.9	3.0	11.5	3.6	11.1
2	4.7	3.0	8.0	4.2	1.4	1.5	3.4	3.2	2.8	8.4	3.7	13.5
3	5.0	2.7	2.2	5.3	1.6	1.0	3.2	2.7	1.6	6.9	3.0	12.0
4	2.4	3.0	12.8	3.3	1.4	1.0	3.1	3.9	2.2	5.9	5.1	11.4
5	8.1	2.9	7.4	2.5	1.1	1.9	2.2	2.9	1.7	5.9	6.1	7.7
6	12.7	3.6	9.1	2.7	1.4	1.2	1.8	2.2	3.9	5.5	4.1	7.1
7	15.9	2.9	6.3	3.3	1.1	1.6	2.3	1.7	2.0	5.0	2.9	5.7
8	10.6	4.3	6.4	3.0	1.2	1.5	2.5	1.9	2.2	4.7	3.9	5.6
9	8.7	2.2	5.1	3.6	0.8	3.5	1.9	1.8	4.3	4.9	4.8	5.2
10	14.5	2.4	5.6	2.0	0.9	1.6	1.7	1.3	2.8	3.5	5.9	4.5
11	29.9	4.7	3.3	2.7	1.2	2.1	1.8	0.9	1.5	12.1	15.2	5.4
12	31.6	6.0	4.0	2.5	0.9	3.4	1.3	1.0	1.5	18.4	15.9	4.3
13	70.8	8.0	3.7	2.2	1.8	4.6	1.7	4.0	1.1	15.2	60.7	4.3
14	39.4	6.2	3.9	2.1	1.1	7.1	1.1	7.6	1.1	11.4	150.8	4.0
15	20.4	5.8	2.3	2.3	1.0	16.5	1.4	18.0	1.3	8.8	37.4	3.6
16	15.6	6.6	2.2	2.7	1.0	7.5	0.9	8.4	3.3	19.9	21.4	4.0
17	11.8	6.2	3.3	1.8	2.3	9.1	3.9	6.5	4.1	62.2	14.9	2.8
18	7.5	8.8	1.7	2.8	2.6	7.5	3.7	5.6	6.3	45.2	11.3	2.1
19	8.2	7.6	2.9	2.8	1.9	6.7	.27	8.6	5.7	27.1	10.4	2.1
20	8.0	8.0	2.3	2.2	2.0	6.7	1.7	24.7	3.7	19.5	9.2	5.7
21	5.5	6.1	2.6	1.9	1.9	6.4	2.2	16.3	1.8	17.3	9.7	18.0
22	6.4	7.9	2.7	2.0	1.8	7.3	1.5	9.2	1.7	54.9	7.6	41.4
23	3.8	7.8	5.6	2.6	1.7	5.5	1.8	6.9	5.1	33.3	6.0	18.6
24	5.2	8.7	0.3	2.2	1.4	6.5	1.5	4.5	21.5	20.8	4.9	13.3
25	3.4	7.1	1.5	2.3	1.2	4.9	1.2	3.9	210.2	14.8	3.2	9.3
26	4.1	5.8	1.8	1.5	1.6	4.4	2.4	2.9	80.5	10.2	3.5	7.3
27	4.0	6.6	2.3	2.0	1.5	4.6	2.1	2.1	28.8	8.7	3.1	6.2
28	2.9	7.4	2.3	1.8	1.8	4.7	0.9	2.4	21.4	5.8	15.1	5.2
29	3.7	17.5	2.4	1.8		3.9	1.7	2.9	24.8	4.2	75.7	4.8
30	4.2	12.3	3.4	2.0		4.1	1.9	2.8	20.5	3.9	46.2	3.6
31	3.4		4.2	2.6		3.5		1.9		3.0	19.1	

표 3.9 渴水年 流入量資料

(10⁶m³)

연 일	1985년			1986년								
	10월	11월	12월	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월
1	4.58	0.86	0.69	1.73	1.03	1.12	2.76	2.33	1.29	0.17	0.95	5.01
2	3.97	0.95	1.21	1.21	1.03	1.12	2.76	1.38	0.86	0.10	1.03	4.93
3	3.72	1.38	0.69	1.21	1.90	2.76	2.33	2.33	0.95	0.26	0.52	6.92
4	3.20	0.86	0.86	1.29	1.03	3.11	1.98	1.46	0.95	0.26	0.10	19.18
5	2.67	0.86	1.21	1.72	1.03	1.90	1.55	1.46	0.95	0.17	0.18	12.10
6	2.67	0.86	0.78	1.72	1.90	2.33	1.98	1.46	0.95	0.17	1.03	9.58
7	2.07	1.38	0.78	1.29	1.90	1.90	1.21	3.81	0.61	0.52	1.03	7.35
8	2.07	1.38	1.38	0.86	2.32	2.33	1.55	2.76	0.61	0.17	0.18	16.24
9	2.07	0.95	0.95	1.29	1.46	1.73	3.55	2.76	0.61	0.17	0.18	29.63
10	1.56	0.95	0.95	1.81	1.46	1.55	16.16	4.06	0.61	0.86	0.69	16.67
11	1.56	0.78	0.78	1.81	1.03	1.90	41.90	3.63	0.61	0.61	0.69	12.45
12	1.56	1.46	1.46	1.81	1.64	1.55	3.63	2.76	0.44	2.25	6.22	8.73
13	2.16	0.52	0.52	1.29	1.46	1.55	23.24	2.76	0.69	5.36	17.62	8.73
14	1.81	0.52	0.52	1.81	1.29	0.78	1.98	2.33	0.61	9.77	14.25	10.37
15	0.78	1.03	0.78	1.29	1.55	0.78	15.46	1.46	0.78	14.94	25.57	10.98
16	1.29	0.60	0.78	0.86	0.86	1.29	10.00	2.33	.078	12.96	19.61	7.69
17	1.81	0.61	1.72	0.86	0.69	1.90	8.73	2.33	0.44	93.57	13.39	6.57
18	1.36	1.03	1.72	1.38	1.81	1.55	6.22	1.46	0.78	126.23	9.25	5.01
19	1.29	1.03	0.35	0.86	1.64	1.55	6.22	1.12	0.44	31.71	5.88	3.81
20	1.81	0.69	0.78	0.69	0.78	1.21	5.36	1.12	0.10	16.24	4.93	3.81
21	0.78	0.69	1.29	0.95	1.03	1.98	4.93	1.12	0.10	10.20	3.11	4.33
22	0.95	0.69	1.29	0.95	1.03	2.07	4.93	1.12	0.10	7.18	3.19	3.19
23	1.29	1.21	0.86	0.86	1.03	3.54	5.36	1.12	0.10	4.58	2.76	3.19
24	0.78	1.21	1.72	0.95	1.20	3.95	4.50	0.69	0.10	3.72	2.33	10.46
25	0.78	0.69	1.72	0.95	0.78	5.53	4.93	1.21	0.17	2.42	24.88	43.80
26	1.38	1.21	1.72	0.95	1.03	6.31	4.93	1.21	0.10	1.98	33.43	31.45
27	0.86	0.69	2.68	0.95	1.12	5.00	3.63	1.55	0.10	1.55	20.04	16.93
28	1.29	0.69	1.29	0.95	1.12	3.98	3.63	1.21	0.61	1.55	14.17	12.27
29	0.69	0.69	2.68	0.95	0.52	3.46	3.19	1.64	0.17	1.12	12.70	11.06
30	0.86	0.69	2.16	1.38		3.46	2.33	1.64	0.17	1.12	8.99	12.96
31	1.38		1.46	0.95		2.33		2.07		1.12	6.22	

3.4 模型에 의한 貯水池運營

앞장 2.1의 2절에서 구성한 模型의 解析은 선형 계획법에 의하여 컴퓨터의 기억용량과 계산시간의 단축을 위해 개량한 단지히(Dantzig,1953)의 改訂 심플렉스법(Revised Simplex Method)을 사용하였으며, 전산프로그램은 박순달(1990)의 經營科學 전산프로그램집을 참고로 하였다.

實時間 貯水池運營基準은 放流와 貯溜體積내에 있는 目標水位로부터 오는 偏差로 結果된 損失을 최소화하는 貯水池放流를 目標로 한다. 目的函數은 目標水位와 放流와 貯溜量에 대한 偏差費用曲線에서 나타나는 損失이 최소가 되도록 설정하였다. 大清貯水池 運營方案에 따라 渴水 시작월 10월 1일의 貯溜量과 流入量으로 目的函數가 最少가 되는 1일의 放流와 2일의 貯溜量을 결정하여 연속적으

로 豫測日 期間동안의 最適放流와 貯溜를 決定한다. 貯水池의 容量制約은 최대 $1490 \times 10^6 m^3$ 와 최소 $450 \times 10^6 m^3$ 의 貯溜制約과 最大放流는 최대 홍수조절용량 $250 \times 10^6 m^3$ 의 용적에 해당되며 하류 하천수질영향 및 최소용수공급을 고려할때 최소 $3.5 \times 10^6 m^3$ 의 日放流容積을 필요로 하는 것으로 조건을 制約하였다. 즉 右邊常數 S_t (저류량)와 I_t (유입량)를 가지고 意思決定變數인 S_{t+1} (다음날 저류량)과 R_t (그날의 방류량)을 연속적으로 결정하는 것이다. 貯水池運營은 풍수해인 1985년 10월부터 1986년 9월까지의 1년 주기자료와 갈수해인 1991년 10월 부터 92년 9월 까지의 1年週期 資料를 선정하여 월별로 日運營을 하였으며 豫測資料는 觀測運營 資料를 이용하였다. 貯水池 運營의 目標에 따른 最適貯溜와 放流 그리고 運營結果에 따른 罰過損失을 그림 3.3과 그림 3.4에 圖示하였으며 實運營 觀測資料는 그림 3.5와 그림 3.6에 도시하였다.

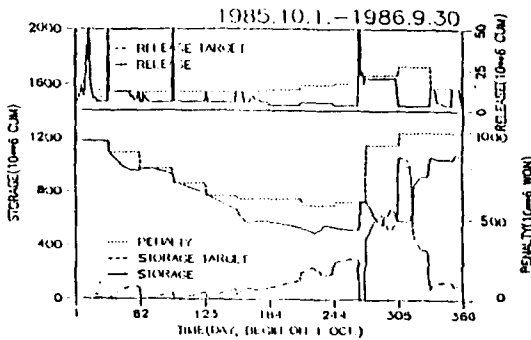


그림 3.3 豊水年 最適貯水池 日運營

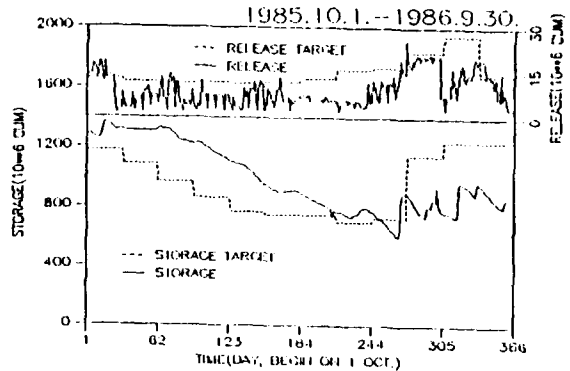


그림 3.4 渴水年 最適貯水池 日運營

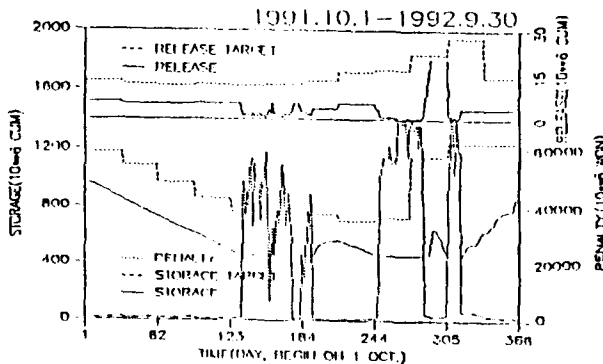


그림 3.5 豊水年 實貯水池 日運營

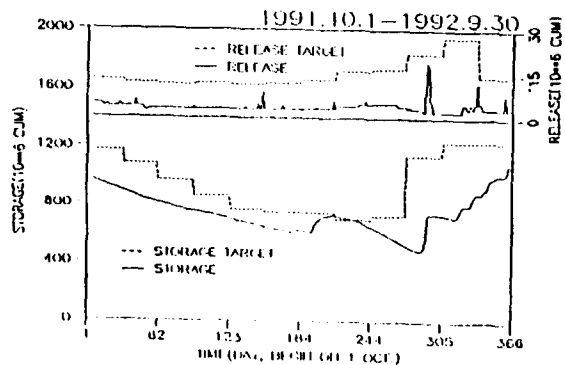


그림 3.6 渴水年 實貯水池 日運營

3.5 貯水池運營 結果의 分析 및 考察

저수지의 저류용량과 방류용량 범위 내에서 월별 목표량으로 부터의 편차구간을 설정하여 목표로 부터의 違背의 정도에 따라 罰過할 수 있는 항목의 기준설정을 댐 관리규정에 근거로 하여 표 2.2에서 정의한 罰過項目기준에 따라 부여한 편차가 표 3.2와 표 3.5와 같이 산정되었다. 그리고 산정된 편차 범위에 따른 罰過損失과 기대손실이 표 3.3과 표 3.6에서 구해 졌다.

이를 월별로 종합한 표 3.10를 보면, 현저류 설정목표에서 未達偏差損失額이 36,160백만원, 超過偏差額이 45,535백만원으로 未達損失보다 超過損失이 크게 나타나고 있으며 期待未達損失額이 17,139백만원, 期待超過損失額이 4,135백만원으로 미달이 초과보다 기대손실이 크게 나타나고 있다. 방류편차손실과 기대손실에 서는 미달손실보다 초과손실이 크게 나타나고 있다. 편차구간의 발생빈도

가 초과보다 미달이 크게 나타나고 있으며 기대손실총액은 손실총액의 1/6.6로, 빈도발생이 편차액이 큰 부분에서 적게 발생하기 때문인 것으로 나타났다.

표 3.4과 표 3.7 그리고 그림 3.1과 그림 3.2에서 구한 편차곡선의 경사값인 손실계 수는 표 3.11과 같다. 저류편차와 방류편차의 기대손실에서 저류편차 기대손실은 각월별 각 구간에서 발생하고 있으나 방류편차 기대손실은 미달구간의 각월에 대한 각구간에서 발생하고 있으며 방류기대초과편차에서 1구간은 각월별로 발생하고, 초과 2,3구간에서 10월에서 6월까지의 발생빈도가 없으며 7,8,9월에서는 전 구간에서 발생빈도가 분포되어 있다. 표 3.11의 결과에 따라 7,8,9월을 풍수기로, 10, 11,12,1,2,3,4,5,6월을 갈수기로하는 2계절의 운영 계절로 정의할 수 있겠다. 따라서 본 논문에서는 월별곡선을 이용 월별 일운영을 제시하였으나, 갈수기와 풍수기의 최적저류와 방류목표를 설정하여 갈수곡선과 풍수곡선을 산정한후 저수지운영을 갈

표 3.10 區間別 偏差損失

(백만원)

월	저류 목표				방류 목표			
	편차 손실		기대 손실		편차 손실		기대 손실	
	미달	초과	미달	초과	미달	초과	미달	초과
10	4300	2669	1940	113	55	5482	19	51
11	3748	3140	2005	176	49	5830	18	50
12	3059	3079	1316	257	46	5821	16	50
1	2436	4233	803	391	50	5821	14	50
2	1872	4671	650	616	46	5821	15	50
3	1740	4801	458	918	49	5829	16	50
4	1740	4819	571	744	56	5847	24	51
5	1598	5105	696	459	79	5887	29	55
6	2186	4946	1204	137	79	5898	38	55
7	4110	2780	1888	87	110	5867	62	395
8	4686	2331	3284	70	144	6043	65	182
9	4685	2331	2324	167	63	5865	21	342
합	36,160	45,535	17,139	4135	826	70,371	337	1335
합	81,695		21,274		71,197		1672	
편차손실합(저류+방류)			152,892					
기대손실합(저류+방류)			22,946					

표 3.11 偏差 期待損失 係數

월 별	저류					방류				
	미달		초과			미달		초과		
	2	1	1	2	3	2	1	1	2	3
10	2.7	2.5	0.3	0.6	0.2	4.5	1.3	2.3	0.0	0.0
11	3.6	1.7	0.2	0.1	0.6	4.0	1.8	2.3	0.0	0.0
12	2.6	2.4	0.4	0.4	0.5	3.3	1.8	2.3	0.0	0.0
1	1.5	2.9	0.2	1.1	0.5	5.2	0.6	2.3	0.0	0.0
2	1.9	2.4	0.6	0.7	0.9	4.1	1.3	2.3	0.0	0.0
3	1.1	2.3	0.1	1.5	1.2	3.5	1.5	2.3	0.0	0.0
4	0.7	2.9	0.1	1.6	0.9	2.9	2.4	2.3	0.0	0.0
5	1.2	2.6	0.5	1.6	0.4	3.6	1.9	2.5	0.0	0.0
6	1.5	3.4	0.3	0.5	0.3	2.3	3.0	2.5	0.0	0.0
7	2.6	2.8	0.3	0.4	0.2	1.2	3.6	1.4	1.9	1.5
8	0.3	5.1	0.3	0.4	0.2	3.6	1.8	1.2	0.9	0.4
9	3.5	1.5	0.4	1.2	0.1	1.8	2.0	7.1	0.7	1.1

표 3.12 豊水年 貯水池 運營分析

1985.10.-1986.9.

시간 (t) 월	유입 (I) 10 ⁶ m ³	방류량 (R) 10 ⁶ m ³	저류 편차변수					방류 편차변수					벌과손실 (백만원)
			SD	SD	SS	SS	SS	RD	RD	RS	RS	RS	
			2	1	1	2	3	2	1	1	2	3	
10	378.5	533.5	0.0	80.5	0	0	0	0.0	82.2	0	258.8	18.6	340.0
11	185.0	387.0	0.0	2773.9	0	0	0	0.0	31.6	0	67.6	0	4861.3
12	133.6	170.3	0.0	481.4	0	0	0	0.0	171.3	0	0.0	5.6	1490.4
1	83.0	227.3	0.0	0.0	0	0	0	0.0	195.3	0	53.3	0.0	1867.6
2	40.8	151.9	1448.3	0.0	0	0	0	0.0	162.0	0	0.0	0.0	2961.0
3	143.4	229.9	4780.5	56.6	0	0	0	0.0	132.8	0	0.0	0.0	5604.9
4	62.6	105.0	3840.0	1783.5	0	0	0	51.0	234.0	0	0.0	0.0	8355.3
5	165.6	161.2	155.0	5650.2	0	0	0	0.0	334.8	0	0.0	0.0	20,852.4
6	472.7	277.4	48.0	4896.4	0	0	0	52.8	266.4	0	0.0	0.0	17,638.9
7	478.9	629.3	7502.0	8109.1	0	0	0	52.7	0.0	0	0.0	0.0	41,918.1
8	584.4	108.5	5053.0	8981.1	0	0	0	372.0	390.4	0	0.0	0.0	50,042.3
9	249.8	268.3	0.0	5807.5	0	0	0	42.5	128.8	0	0.0	0.0	9046.3

표 3.13 渇水年 貯水池 運營分析

1991.10.-1992.9.

시간 (t) 월	유입 (I) 10 ⁶ m ³	방류량 (R) 10 ⁶ m ³	저류 편차변수					방류 편차변수					벌과손실 (백만원)
			SD	SD	SS	SS	SS	RD	RD	RS	RS	RS	
			2	1	1	2	3	2	1	1	2	3	
10	54.9	176.7	3077.0	5022.0	0	0	0	0.0	217.0	0	0.0	0.0	21,144.5
11	27.7	150.0	4741.7	3960.0	0	0	0	0.0	201.0	0	0.0	0.0	23,846.1
12	38.7	155.0	5558.7	3751.0	0	0	0	0.0	192.2	0	0.0	0.0	24,059.9
1	40.3	167.4	8728.5	1040.3	0	0	0	0.0	195.3	0	0.0	0.0	16,222.2
2	38.3	70.5	6032.0	2884.6	0	0	0	35.4	174.0	0	0.0	0.0	956,882.4
3	76.9	76.9	5053.0	4030.0	0	0	0	45.1	201.5	0	0.0	0.0	799,199.8
4	202.4	93.5	3840.0	4950.0	0	0	0	51.0	234.0	0	0.0	0.0	242,238.5
5	61.4	61.2	155.0	7721.4	0	0	0	0.0	334.8	0	0.0	0.0	17,201.5
6	17.0	26.0	60.0	8357.3	0	0	0	66.0	333.0	0	0.0	0.0	1,605,496.7
7	354.5	353.9	7502.0	12297.7	0	0	0	52.7	239.5	0	0.0	0.0	700,776.9
8	238.6	77.6	5053.0	16977.4	0	0	0	372.0	378.2	0	0.0	0.0	711,220.3
9	357.2	108.5	8694.3	6262.0	0	0	0	51.0	270.0	0	0.0	0.0	40,150.9

수운영과 풍수운영으로 구분운영이 가능할 것으로 생각된다.

위에서 산정된 손실계수를 저수지운영 모형식(2.10)의 목적함수에 적용 벌과손실을 최소화하였다. 제약조건식(2.4)의 우변상수인 유입량(I_1)의 자료는 실관측자료로 풍수년(1985.10~1986.9)과 갈수년(1991.10~1992.9)의 풍수와 갈수자료를 사용하여 용적한계제약식(2.6)~(2.9)와 구간한계제약식(2.13)~(2.22) 및 목표제약식(2.11)~(2.12) 조건을 만족하는 범위내에서 목적함수가 최소가 되는 최적방류량(R_1)과 저류량(S_2)을 결정한다. 그림 3.5, 3.6, 3.7, 3.8에서 최적운영은 갈수년에 비해 풍수년의 벌과손실이 작고, 방류와 저류의 상반성이 고려되어 조화를 이룬 운영으로 나타나고 있으나, 실운영(관측)은 저수지 상시만수위를 고려 저수량에 치중한 운영으로 보여 진다. 특히 제약조건식(2.4)의 우변상수인 유입량 (I_1)의 자료는 실시간 예측모형의 적용으로 최적의 예측유입으로 운영하면서 실유량에 따라 연속으로 수정 운영해야 될 것으로 생각 된다.

운영결과자료에서 도출된 意思決定變數인 貯溜量과 放流量 및 運營을 制約하는 偏差變數와 運營 결과 目標 未達成 超過로 인한 偏差損失의 반영을 나타낸 運營分析表 표 3.12와 표 3.13에서 갈수년 운영의 경우 전기간동안 미달손실이 발생했으며, 풍수년운영에서 저류편차는 미달손실이 방류편차는 미달과 초과손실이 함께 발생하고 있으며 풍수년운영의 벌과손실총액은 164,978백만원으로 갈수년 운영 벌과손실 5,228,439백만원보다 작다. 총방류량은 풍수년에서 최적이 3249백만톤으로 실운영 3,512백만톤보다 작으나 갈수년에는 최적방류량이 1517백만톤으로 실운영 1455백만톤보다 많은 것으로 나타났다. 각월의 貯溜와 放流의 偏差曲線을 비교하여 살펴보면 貯溜目標와 放流目標를 充分히 達成하기에는 流入量이 부족한 것으로 나타났으며 이 한정된 유입량을 가지고 偏差損失曲線의 樣相을 반영하여 損失을 最小로 하는 貯溜와 放流로 割當되어 있음을 알 수 있으며, 運營結果는 目標의 達成에 공헌하는 流入量이 부족함을 의미하며 運營이 實運營일때는 이 결과를 가져다 주며, 만약 計劃運營이라면 이에 대처해야 한다.

4. 結 論

본 연구에서는 편차손실을 고려한 최적화 모형을 대청 다목적댐의 운영에 적용하여 보았다. 이를 위하여 대청다목적댐의 운영규칙등 운영자료를 조사하여 저수지 저류량에 따른 벌과손실을 유도하였으며, 갈수 및 풍수기시 저수지의 최적화를 실시하여 결과를 분석하였다. 그 결과 편차곡선 이용은 貯水池運營에서, 관리자의 意思가 반영되고 이·치수의 상반성을 반영할 수 있으며, 目標達成에 필요한 流入量을 결정할 수 있을 것으로 보이며, 豫測流入量에서의 目標達成의 분석 수행 및 적용방법이 간단하여 해석 및 분석비용을 절감할 수 있음을 알았다.

편차곡선은 目標偏差 區間別 發生損失額에서 기대되는 기대손실액을 罰過함으로 월별 손실발생 특성을 충분히 반영할 수 있었으며 이 偏差曲線은 12년간의 자료를 기초로 하였기 때문에 앞으로 12년 동안은 有效할 것으로 생각 된다.

저수지운영에 편차곡선의 원활한 반영을 위해서는 편차곡선의 벌과항목이 구체화되고 운영의 중요도에 따라 운영순위의 한계의 설정에 관한 연구가 필요하다.

본 연구에서는 월별 편차곡선을 각각 작성하여 월별 일단위 운영을 시도하였으나, 갈수기(10, 11, 12, 1, 2, 3, 4, 5, 6월)와 풍수기(7, 8, 9월)의 최적목표 저류량을 설정하여 갈수곡선과 풍수곡선으로 1년주기 갈수운영과 풍수운영으로 나누어 갈수기에는 방류우선, 풍수기에는 저류우선을 주어 운영하는 것이 좋을 것으로 생각된다. 대청저수지의 운영에서 유입량의 부족으로 저류와 방류목표를 충분히 달성할 수 없었음이 분석되어 졌다.

참 고 문 헌

1. 건설부(1973), 대청다목적댐 타당성조사보고서 PP. 103-200.
2. 건설부(1981-1993), 재해년보
3. 박순달(1987), OR프로그램집 II, 민영사 PP. 50-100.

4. 산업기지개발공사(1986), 대청다목적댐 저수지운 영방안 연구 보고서, PP.189-302.
5. 산업기지개발공사(1986), 금강유역 조사보고서, PP. 103-353.
6. 서병하, 윤용남, 강관원(1982), "상태벡터 모형에 의한 하천유출의 실시간 예측에 관한 연구", 대한 토목학회논문집 2(3), PP. 35-40.
7. 한국수자원공사(1990), 용담다목적댐 타당성조사 보고서, PP. 9,1-10,50.
8. 한국수자원공사(1991), 대청다목적댐 관리년보, PP. 378-408.
9. 한국수자원공사(1991), 용담다목적댐 실시설계보고서, PP. 97-255.
10. Bergman, M.J. and J.W.Delleur(1985), "Kalman Filtering estimation and Prediction of Daily Stream Flows", Water Resources Bulletin, 21 (5) PP. 827-832.
11. Can, E.K. and M.H.Houck(1985), "Problems with Modeling Real-Time Reservoir Operations", Journal of Water Resources Planning and Management, Vol.111, No.4, PP. 367-381.
12. Datta, B. and S.J.Burges(1984), "Short-Term, Single, Multiple Purpose Reservoir Operation: Importance of Loss Functions and Forecasting Errors.", Water Resources Research, 20 (9), PP. 1167-1176.
13. Houck, M.H.(1981), "What Is The Best Objective Function For Real Time Reservoir Operation?" Proceeding, International Symposium on Real-time Operation of Hydrosystems, University of Waterloo, Canada, PP. 238-245.
14. Houck, M.H.(1982), "Real-Time Daily Reservoir Operation By Mathematical Programming", Water Resources Research, Vol.18, No.5, PP. 1345-1351.
15. Houck, M.H.(1983), "Real-Time Reservoir System Operation", Technical Report 151, Purdue University Water Resources Research.
16. Jores, E.F., J.C. Liebman, and C.S. Revelle (1971), "Operating Rules for Joint Operation of Raw Water Sources", Water Resources Research, Vol.7, No.2, PP.225-235.
17. Loganathan G.V.(1990), "Goal Programming Techniques for Optimal Reservoir Operations", Journal of Water Resources Planning and Management, Vol. 116, No.6, December, PP.820-839.
18. Nayak, C.S., and S.R.Arora(1971), "Optimal Capacities for a Multireservoir System Using The Linear Decision Rule.", Water Resources Research, Vol.7, No.3, PP. 485-498.
19. Revelle, C.S. and W.Kirby(1970), "Linear Decision Rule in Reservoir Management And Design: Performance Optimization", Water Resources Research, Vol.6, No.4, PP. 1033-1044.
20. Sigvaldason, O.T.(1976), "A Simulation Model For Operating A Multipurpose Multireservoir System", Water Resources Research, Vol.12, No.3, PP. 263-278.
21. Simonovic, S.P., and D.H. Burn(1989), "An Improved Methodology for Short Term Operation of a Single Multipurpose Reservoir", Water Resources Research, 25(1), pp. 1-8.
22. Thuesen, G.J. and W.J.Fabryky, IE교재편찬위원회(1988), 경제성공학, 회중당, PP. 364-377.
23. Yazicigil, H., M.H. Houck, and G.H.Toebes (1983), "Daily Operation Of a Multipurpose Reservoir System", Water Resources Research, Vol. 19, No.1, PP. 1-13.
24. Wood, E.F. and A.Szollosi-Nagy(1978), "An Adaptive Algorithm for Analyzing Short term Structural and Parameter Changes In Hydrologic Prediction models", Water Resources Research, Vol.14, No.4, PP. 577-581.

〈접수 : 4.30〉