

## 線型 決定律에 의한 水力 發電의 最適化

권오현 \*

박명기 \*\*

### 1. 서론

저수지 조작을 위한 最適化 技法은 크게 確定論的 방법과 推計學的 方法으로 나누어지며, 저수지 운영 목적으로 보면 治水計劃과 利水計劃으로 구분될 수 있다. 일반적으로 댐 계획 수립에는 확정론적 기법이 많이 쓰이지만, 댐 관리에는 유량 등 입력 자료의 任意性 때문에 추계학적 접근법이 바람직하다고 할 수 있다. 우리나라는 60년대 이래 저수지가 많이 건설되고 있는데, 이에 따른 운영 방법에 관한 연구는 미진한 형편이다. 유입량의 확률적 처리는 시간축 사이에 遷移確率이 도입되어야 하는데, 시간축이 길어짐에 따라 모형 구성이 복잡하고, 기억 용량의 제한을 받게되며, 또한 信賴度가 급격히 떨어지게 된다.

이러한 관점에서 계산 용량이 적게 소요되고 저수지 조작에 추계학적인 신뢰성을 부여할 수 있는 線型決定律은 그 효용 가치가 있다고 하겠다. 본 연구에서는 비교적 실용성이 높고 적용이 간단한 선형결정률을 만들어서 수력 에너지 생산을 증대 시키기 위한 방안을 제시하고, 이를 금강 수계의 大淸多目的 浬에 적용하여 그 유용성을 검토하였다.

### 2. 線型 決定律에 의한 저수지 操作 理論

저수지의 동적 특성은 식 (1) 과 같이 간단한 선형 방정식으로 표시될 수 있다. 이와 같이 저수지 방류량을 결정할 수 있는 식 (1)을 線型決定律 (Linear Decision Rule)이라고 부른다.

$$X_t = S_t - b_i \quad \text{---(1)}$$

저수지 편익 최대화의 목적 함수 및 제약 조건에 LDR 및 유입량의 추계적인 특성을 고려하면 식(2) 와 식(3) 과 같은 형태로 정리된다.

\* 충남 대학교 공과대학 토목 공학과 교수

\*\* 충남 대학교 공과대학 토목 공학과 대학원

$$\text{O.F. Max } Z = \sum_t [ \text{BENEFIT}(R_{t-1}, R_t, b_t, b_{t-1}, b_{t-1}, \text{CAP}) - \text{COST}(\text{CAP}) ] \quad \text{---(2)}$$

$$\text{S.T. CAP} - b_{i-1} \geq F(R_{t-1})^{-1} (\alpha_1) \quad \text{---(3,a)}$$

$$b_{i-1} \geq S_{\min} - F(R_{t-1})^{-1} (1-\alpha_2) \quad \text{---(3,b)}$$

$$b_{i-1} - b_i \geq X_{\min} - F(R_{t-1})^{-1} (1-\alpha_3) \quad \text{---(3,c)}$$

$$-\infty \leq b_t \leq \infty \quad \text{---(3,d)}$$

$$R_{t-1}, \text{CAP} \geq 0$$

$$t = 1, 2, 3, \dots, T$$

여기서

$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$  : 최대 저류량, 최소 저류량, 최소 방류량 제약에 관한 신뢰도

저수지 이용 수심 내에서의 有效落差와 貯留量이 線型的이라 가정하고, 定格落差와 定格 使用 水量을 도입하여 목적함수를 선형화하면, 식(2) 및 (3)은 다음과 같이 식(4), (5)로 표시된다.

$$\text{O.F. MAX } \sum_i b_i \quad \text{---(4)}$$

$$\text{S.T. } S_{\max} - b_i \geq F_{Ri}^{-1} (\alpha_1)$$

$$b_i \geq S_{\min} - F_{Ri}^{-1} (1-\alpha_2)$$

$$(b_i - b_{i-1}) \leq F_{R(i-1)}^{-1} (1-\alpha_3) - X_{\min} \quad \text{---(5)}$$

### 3. 계산 결과 및 고찰

임의의 초과 확률에 대하여 식(4) 및 (5)의 최적해 해로써 선형 결정 매개 변수가 결정되고, 이에 따라 내항호의 모의 조작을 실시한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

- 1) 월별 매개 변수는 대략 300 - 1200 범위이며, 표 1과 같이 신뢰도가 증가함에 따라 매개 변수는 감소한다. 다시 말하면, 신뢰도를 증가시키기 위해서는 방류량을 억제하고 고낙차 운영을 해야 함을 나타내고 있다. 특히 홍수기 (7-9 월)에 변수 값이 작은 것은 방류 수준이 높음을 보여준다.
- 2) 표 2 에서 신뢰도가 각차 증가하여 50 % 일때 발전량은 최대값에 이른뒤 급하게 감소하는 것을 알 수 있다. 50 % 미만에서 발전량의 변동이 별로 없는 까닭은 이 영역에서는 실제적으로 신뢰도가 제어의 의미를 갖지 않기 때문이라고 생각된다.

그리고, 신뢰도 70 %를 넘으면 제약 조건에서 서로 엇갈려 妥當域 (feasible region)을 벗어나는 상태가 되는 것을 볼 수 있었다.

- 3) 각 월별 발전량 추이를 살펴보면 그림 1에서 UDK 에이한 모의 발전이 실제

월	신뢰도 ( $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3$ )							
	0	10	20	30	40	50	60	70
1	8.3	8.3	8.3	8.4	8.5	8.1	8.2	10.2
2	8.6	8.6	8.8	10.2	10.6	10.9	10.1	6.8
3	15.0	15.1	15.0	13.9	13.8	13.7	12.8	6.2
4	15.8	15.9	15.8	18.2	22.0	23.9	24.9	12.9
5	16.3	16.1	16.4	13.5	11.2	11.3	11.7	9.7
6	23.2	23.3	22.8	22.7	21.1	19.2	17.7	18.7
7	53.7	54.4	55.7	57.0	60.7	61.8	62.8	62.1
8	50.2	49.4	48.0	47.3	45.5	49.2	44.1	45.0
9	41.0	41.0	41.2	41.1	40.1	37.1	34.2	38.4
10	24.8	24.9	24.8	24.9	24.9	24.8	25.0	33.2
11	11.2	11.2	11.0	11.4	11.9	12.2	12.2	16.9
12	10.2	10.2	10.4	9.9	9.2	8.8	8.6	6.7
계	278.5	278.4	278.2	278.6	279.5	281.0	272.3	266.8

표 1. 월별 발전량

운영 보다 매우 안정적 임을 알 수 있다. 그리고 신뢰도  $\alpha_3$ 가 증가함에 따라 최소 방류량 조건을 충족시키기 위하여 최저 발전량이 감소 됨을 확인 할 수 있다.

4) 이와 같은 현상은 그림 2 에서도 발견된다. 신뢰도 0%에서는 최대 저류량 조건이 무시되므로 만수위에 가까운 고낙차를 유지하고, 여수로 방류량이 많아지게 된다. 따라서 신뢰도가 증가되면 제약 조건을 만족시키기 위하여 저수 용량의 이용폭이 커진다.

5) 7년간 발전실적치는 연평균 261.1 GWh로써, 신뢰도 50% 일때 연간 발전량 281.0 GWh는 실적치의 107.6%에 해당 된다. 다시 말하면 LDR에 의하면 연평균 8% 정도의 전력 증상을 기대할 수 있음을 보여 준다.

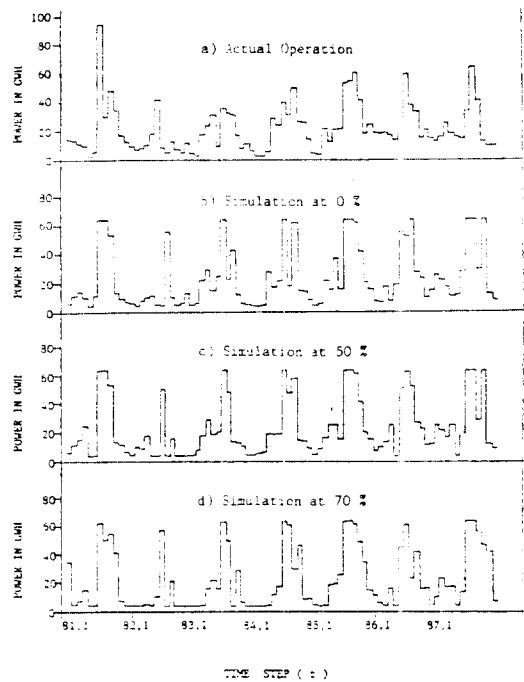


그림 1. 실적치와 월별 발전량의 추이

MONTHLY VARIATION OF STORAGE

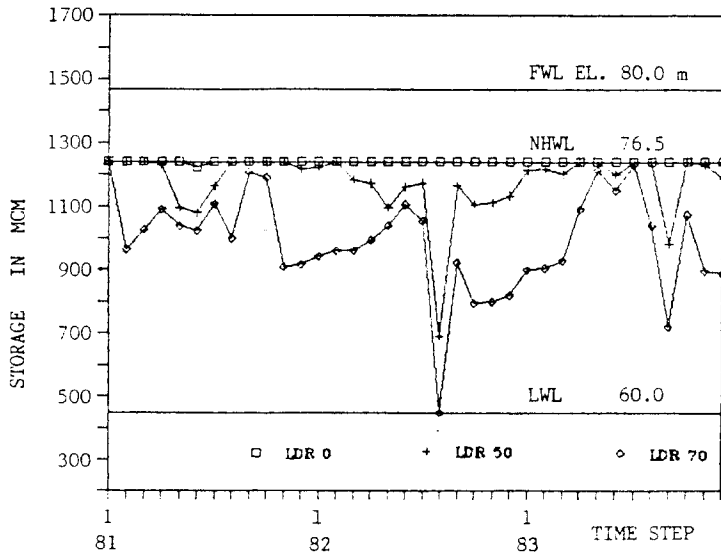


그림 2. 신뢰도별 저수지 저류량의 시간적 변동

4. 결론

저수지 조작성은 유입량의 임의성 때문에 실제 운영에 어려움이 있다. 본 연구에서는 비교적 이론이 간단한 선형 결정물의 이론을 도입하고, 이를 단일 댐의 문제로 정식화해 대형 다목적 댐의 수력 발전 최적화에 적용하여 신뢰도별로 의사 결정을 하였다. 본 알고리즘은 수력 발전 뿐만 아니라 공수 공급 및 다목적 기능을 수행하는 경우에도 컴퓨터의 기억 용량에 제약을 받지 않는 한은 지역 및 병렬 저수지 계에 확장 적용할 수 있다.