

# 기존 농업용 저수지에서의 유효저수량의 평가

## Evaluation of the Effective Storage of Existing Agricultural Reservoir

안태진\*, 조동호\*\*, 이상호\*\*\*, 최계운\*\*\*\*, 윤용남\*\*\*\*\*

Tae Jin Ahn, Dong Ho Cho, Sang Ho Lee, Gye Woon Choi, Yong Nam Yoon

---

### 요 지

농업용 저수지의 유효저수량은 물수지 분석을 근거로 한 저수지 모의 운영을 통하여 결정하고 있다. 유역은 유출량에 관하여 고유한 특성을 갖고 있으므로 저수지에서 유효저수량의 결정은 유역으로부터의 유출량을 근거로 하는 것이 타당하다. 본 연구에서는 유역의 유출량을 근거로 한 추계학적 선형계획모형을 정립하고 저수지의 유효저수량을 분석하였다. 선형계획모형을 이용한 저수지 분석에 있어서 선형결정법칙은 Chance-constrained model과 함께 분석년수와 관계없이 제약조건식을 줄이는데 기여한다. 경기도 안성시에 소재하고 있는 금광저수지를 대상저수지로 선정하여 유효저수량을 분석한 결과, 추계학적 선형계획모형에 의한 유효저수량은 물수지 분석에 의한 것 보다 크게 분석되었다. 본 연구에서 제시된 선형계획모형에 의하여 적정한 유효저수량을 결정하고, 저수지 모의운영을 통하여 결정된 유효저수량의 성능을 평가하는 것이 타당한 것으로 판단된다.

**핵심용어 :** 유효저수량, 물수지 분석, 선형결정법칙, 추계학적 선형계획모형

---

### 1. 서론

일반적으로 농업용 저수지는 농업용수를 공급하는 단일 목적으로 설치되어 홍수조절용량이 부족한 실정이다. 2002년에 발생한 태풍 루사에 의한 농업용 저수지의 피해를 계기로 하여, 정부는 기존 농업용 저수지의 재개발을 2003년부터 적극적으로 추진하고 있다(수해방지대책기획단, 2003). 기존 농업용 댐의 재개발 추진 방향은 저수지로부터의 용수공급 및 홍수조절 능력을 제고하는 것이다.

---

\* 정회원 · 한경대학교 토목공학과 부교수 · E-mail : [ahntj@hnu.hankyong.ac.kr](mailto:ahntj@hnu.hankyong.ac.kr)

\*\* 정회원 · 남원건설엔지니어링 수자원부 · E-mail : [letona6@hanmail.net](mailto:letona6@hanmail.net)

\*\*\* 정회원 · 부경대학교 토목공학과 부교수 · E-mail : [peterlee@pknu.ac.kr](mailto:peterlee@pknu.ac.kr)

\*\*\*\* 정회원 · 인천대학교 토목환경시스템공학과 부교수 · E-mail : [gyewoon@incheon.ac.kr](mailto:gyewoon@incheon.ac.kr)

\*\*\*\*\* 정회원 · 고려대학교 토목환경공학과 교수 · E-mail : [ynyoona@korea.ac.kr](mailto:ynyoona@korea.ac.kr)

농업용저수지의 유효저수량은 일반적으로 경지면적을 먼저 결정하여 수요량을 산정한 후, 저수지 모의 운영의 결과에 의하여 결정하고 있다. 안승섭 등(1997)은 tank모형으로 월유출량을 추정하고 누가곡선법과 추계학적방법 중에서 TPM모형을 이용하여 농업용 저수지의 용수공급능력을 평가하였다. Revelle 등(1969)은 저수지 규모 결정을 위하여 선형결정법칙(linear decision rule)을 도입하였으며, 그 후 많은 학자들에 의하여 최적화모형에 의한 저수지 관리 및 설계에 관한 연구가 수행되어 왔다. Loucks 등(1975)은 저수지 운영을 위하여 추계학적 최적화모형에서 선형결정법칙을 평가하였으며, Yeh (1985)는 저수지 관리 및 운영에 관한 각종 수학적모형을 상술하였다. 또한 선형결정법칙을 변형한 다양한 저수지운영 결정법칙이 많은 학자들에 의하여 제안되어 저수지 규모 결정과 운영지침에 이용하고 있어 수문인자의 계절성과 불확실성을 극복하고 있다. 유역은 유출량에 관하여 고유한 특성을 갖고 있으므로 저수지 유효저수량의 결정은 유역으로부터의 유출량을 근거로 하는 것이 타당하다. 본 연구에서는 경기도 안성시에 소개하고 있는 금광저수지의 유효저수량을 물수지 분석을 근거로 한 저수지 모의 운영을 통하여 평가하였다. 물수지분석에서 유역의 유출량 산정은 가지야마공식 및 Tank 모형을 적용하였고, 농업용수 수요량은 Blaney-Criddle식 및 Penman 공식을 적용하였다. 또한 물수지 분석으로부터 유역의 유출량을 근거로 한 추계학적 선형계획모형을 정립하고, 모형해석을 통하여 적절한 저수지의 이수용량의 규모를 제시하였다.

## 2. 유효저수량 결정 모형

### 2.1 물수지분석

물수지 분석은 결정된 수리 시설물에서 유입량, 유출량, 손실량 등에 의한 시설물의 거동을 모의함으로써 시설물의 성능(performance)을 사전에 파악할 수 있으며 예상되는 문제점도 도출해 낼 수 있다. 이와 같은 물수지분석 방법을 저수지 모의운영분석이라 하며, 저수지의 유효저수량을 결정하는데 이용된다.

### 2.2 추계학적 선형계획 모형

선형계획(linear programming) 모형에 저수지 분석을 용이하게 하는 선형결정법칙(linear decision rule)은 Revelle(1969)가 처음으로 제안한 이후로 많은 연구자들에 의하여 개선되었으며 저수지설계와 운영관리 문제를 해석하는데 크게 기여하였다. 선형계획 이론에 의거 저수지의 필요저수량을 결정하기 위하여 공식화한 확장론적 모형은 모형 1과 같다.

모형 1: 목적함수 : Minimize  $c$

제약조건

$$\text{(Subject to) : } S_t = S_{t-1} + r_t - x_t \quad (2a)$$

$$c \geq S_t \quad (2b)$$

$$S_t \geq S_{\min} \quad (2c)$$

$$x_t \geq a_i \quad (2d)$$

$$x_t \leq f_i \quad (2e)$$

여기서  $a_i$ 는 연중  $i$ 순의 최소방류량,  $f_i$ 는 연중  $i$ 순의 최대방류량,  $c$ 는 저수지 유효저수량,  $s_{\min}$ 는 최소저수량( $a_m \cdot c$ ),  $s_0$ 는 초기저수량( $a_0 \cdot c$ ),  $r_t$ 는 분석기간중  $t$ 순의 유역으로부터의 유출량,  $x_t$ 는 분석기간중  $t$ 순의 방류량 또는 필요수량,  $s_t$ 는 분석기간중  $t$ 순의 저수량이다.

모형1에서 식 (2a)는 저수지내 연속성 제약조건으로써  $t$ 순(旬)말의 저수량  $s_t$ 는  $t-1$ 순말의 저수량  $s_{t-1}$ 에  $t$ 순의 저수지내 유입량  $r_t$ 를 합한 것에  $t$ 순의 방류량  $x_t$ 를 뺀 것과 같다. 식 (2b)는 유효저수량 제약조건으로써  $t$ 순말의  $S_t$ 는 유효저수량보다 작거나 같아야 한다. 식 (2c)는 최소저수량 제약조건으로써  $t$ 순말의 저수량  $s_t$ 는 최소저수량  $s_{\min}$ 보다 크거나 같아야 한다.  $a_m$ 과  $a_0$ 는 소수로써 각각 최소저수량과 초기저수량을 저수지 유효저수량의 크기로 표시하였다. 식 (2d)는 방류량 제약조건으로써  $t$ 순의 방류량  $x_t$ 는 최소방류량  $q_i$ 보다 크거나 같아야 한다. 식 (2e)는 최대허용방류량 제약조건으로써  $t$ 순의 방류량  $x_t$ 는 최대방류량 보다 작거나 같아야 한다. 따라서 본 모형은 식 (2a)~(2e)의 제약조건이 구성하는 분석가능영역(feasible region)에서 목적함수인 저수지의 유효저수량  $c$ 를 최소화하는 것이다.

분석기간이 36년이라 한다면 순단위 제약조건식에서 각 조건식의  $t$ 는 1, 2, ..., 1,296으로써 총 6,480개의 방정식이 되므로 선형결정법칙(linear decision rule)을 적용하여 제약조건 방정식의 갯수를 줄이고자 하였다. 선형결정법칙은 식 (a)와 같으며  $b_i$ 는 연중  $i$ 순의 선형결정법칙의 매개변수이다.  $x_t = s_{t-1} - b_i \dots (a)$  이 선형결정법칙과 Chance-constraints를 적용하여 모형2와 같은 추계학적 선형모형으로 정립하였다.

모형 2: Min  $c$

s. t.

$$c + g_i - h_i \geq r_i^{0.9}, \quad i=1, 2, \dots, 36 \quad (3a)$$

$$a_m c + g_i - h_i \leq r_i^{0.1} \quad i=1, 2, \dots, 36 \quad (3b)$$

$$a_0 c + g_1 - h_1 \geq q_1^{0.1} \quad (3c)$$

$$g_1 - h_1 - g_{36} + h_{36} \geq q_1^{0.1} - r_{36}^{0.1}$$

$$g_i - h_i - g_{i-1} + h_{i-1} \geq q_i^{0.1} - r_{i-1}^{0.1}, \quad i=2, 3, \dots, 36$$

$$a_0 c + g_1 - h_1 \leq f_1 \quad (3d)$$

$$g_1 - h_1 - g_{36} + h_{36} \leq f_1 - r_{36}^{0.9}$$

$$g_i - h_i - g_{i-1} + h_{i-1} \leq f_i - r_{i-1}^{0.9}, \quad i=2, 3, \dots, 36$$

### 3. 금광저수지의 유효저수량 평가

#### 3.1 물수지 분석에 의한 유효저수량

저수지 모의 운영은 HOMWRS(농업기반공사, 2000)을 적용하였으며 잠재증발산량은 수원기상대에서 1967년부터 2002년까지의 기상자료를 이용하여 산정하였다. 경기도 안성시에 소재하고 있는 금광저수지에 관하여 계획당시의 관개면적 및 삼투량을 적용하고 작부체계는 재래종을 100% 재배하는 것으로 한 결과, 물수지분석에 의한 필요저수량은 기존 유효저수량과 약간의 차이를 나타내어 양호한 결과로 분석되었다. 표 1과 같이 2002년 기준으로 관개면적 및 작부체계 그리고 가지야마 공식 및 Blaney-Criddle 공식에 의하여 평가되는 금광저수지의 필요저수량은 각각 8,016천 $m^3$ 이고, Tank모형 및 Penman 공식에 의한 필요저수량은 8,838천 $m^3$ 로 금광저수지 기존 유효저수량 보다 적게 평가되었다.

표 1. 저수지 필요저수량 산정 결과

저수지	구분	관개 면적 (ha)	필요 저수량 (천m <sup>3</sup> )	유출량 및 소비수량 산정	삼투량 mm/일	한발 빈도 (년)	확률 분포	작부 체계	비 고
금광	계획당시 (1961년)	2,134	9,203	가지야마 공식 (Blaney-Criddle)	4.0	10	Gumbel	재래중 100%	(현) 유효저수량 10,550천 m <sup>3</sup>
			10,196	Tank모형 (Penman)					
	2002년	1,885	8,016	가지야마 공식 (Blaney-Criddle)					
			8,838	Tank모형 (Penman)					

3.2 선형계획모형에 의한 유효저수량

2.2절의 모형 2에서 초과확률 유입량은 저수지 모의운영 해석에서 산정된 순별 유출량을 이용하였다. 즉, 1967년부터 2002년까지의 순(旬)별유출량은 plotting position 확률개념을 적용하여 분석기간내 특정순인  $i$ 순의 확률로 결정하였다. 최대유입량은 초과확률 10%인 유입량( $r_i^{0.9}$ )으로 하고 최소유입량은 초과확률 90%인 유입량( $r_i^{0.1}$ )으로 하였다. 최소방류량은 초과확률 90%인 필요수량( $q_i^{0.1}$ )으로 한다. 최소저수량은 유효저수량의 10%로 하였고 초기저수량은 유효저수량의 60%로 하였다. 본 연구에서는 정립된 추계학적 선형계획 모형 2를 선형계획해석 프로그램인 LINDO를 이용하여 금광저수지의 유효저수량을 산정하였다. 모형 2의 허용최대방류량 제약조건식은 적용 가능한 최대방류량 결정이 난해하여 본 분석에서 고려하지 않았으며, 물수지 분석과 같이 두가지 경우로 저수지의 유효저수량을 산정하였다.

표 2. 금광저수지 유효저수량 분석 결과

유출량 산정	유효저수량 (천m <sup>3</sup> )	신뢰도 (%)	시간간격 (일)	비 고
가지야마공식	12,412	90	10	허용최소 방류량은 $q_i^{0.1}$
Tank 모형	11,963			

표 2에서 보는 바와 같이 가지야마 공식을 적용할 때 금광저수지의 유효저수량은 12,412천m<sup>3</sup>으로, Tank 모형을 적용할 때 금광저수지의 유효저수량은 11,963천m<sup>3</sup>으로 분석되었다. 추계학적 선형계획모형에 의한 금광저수지의 유효저수량은 현재 유효저수량 10,550천m<sup>3</sup>보다 크게 분석되었으며, 표 2의 저수지 모의운영에 의한 필요저수량보다 역시 크게 분석되었다. 이는 저수지 모의운영에 의한 유효저수량 산정은 주로 저수지의 유입량과 관개용수를 고려한 물수지 분석에 의한 결과이고, 선형계획모형은 주로 유출량만을 고려한 결과이다. 한편 저수지 모의운영에 의한 유효저수량 산정에 있어서 매년의 필요저수량을 년최대치계열로 하여 빈도 해석을 적용하는 방법을 적용하고 있으나, 저수지 모의운영에 의하여 매년의 필요저수량은 이전 년도말의 필

요저수량 값이 매년 이월(carry-over)되기 때문에 빈도해석의 기본 가정인 자료의 독립성 등을 결여할 수 있다.

#### 4. 결론

저수지 모의 운영을 통한 금광저수지의 유효저수량은 현재 유효저수량보다 작게 평가되었으며, 이는 저수지 준공 후 관개면적의 감소와 작부체계의 변화에 기인된 것으로 판단된다. 선형계획모형을 이용한 저수지 분석에 있어서 선형결정법칙은 Chance-constrained model과 함께 분석년수와 관계없이 제약조건식을 줄이는데 기여한다. 추계학적 선형계획모형에 의한 유효저수량은 현재 유효저수량보다 크게 분석되었다. 이는 저수지 모의운영에 의한 유효저수량 산정은 주로 저수지의 유입량과 관개용수를 고려한 물수지 분석에 의한 결과이고, 선형계획모형은 주로 유출량을 고려한 결과이다. 농업용저수지의 유효저수량 결정시 본 연구에서 제시된 선형계획모형을 적용하여, 우선 유역으로부터의 유출량 및 최소방류량에 의한 적정한 유효저수량을 결정하고, 저수지 모의운영을 통하여 결정된 유효저수량의 성능을 평가하는 것이 타당하다. 유역의 수자원부존량을 감안하여 저수지의 유효저수량을 결정하는 선형계획모형에 있어서, 유역의 유출량은 직접관측을 통한 검정이 이루어 질 때, 보다 더 타당한 저수지의 유효저수량을 설정할 수 있다. 또한 본 연구에서 분석된 선형계획모형에 의한 유효저수량은 저수지 재개발사업 또는 여수로 구조개선에 의한 유효저수량 증대 계획시 저수지의 용수공급 능력 분석에 활용할 수 있을 것이다.

#### 감사의 글

본 연구는 21세기 프론티어연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비지원(과제번호 2-4-1)에 의해 수행되었습니다.

#### 참고문헌

- 김태철, 노재경, 박승기(1992). 관개저수지의 이수관리방법, 한국농공학회지, 한국농공학회, 제34권 제1호, pp. 33~40.
- 농업기반공사(2000). Hydrologic Operation Model for Water Resources, HOMWRS.
- 수해방지대책기획단 (2003). 범 정부차원의 수해방지 대책.
- 안승섭, 장인수, 이수식 (1997). "소규모 저수지의 최적용수공급능력 결정에 관한 연구." 한국농공학회지, 한국농공학회, 제39권, 5호, pp. 109~122.
- Charles Revelle, Erhard Joeres, and William Kirby (1969). "The Linear decision rule in reservoir management and design." *Water Resources Research*, Vol. 15, No. 4. pp. 767~777.
- Loucks, Daniel P. and Philip J. Dorfman (1975). "An Evaluation of some linear decision rules in chance-constrained models for reservoir planning and operation." *Water Resources Research*. Vol. 11, No. 6. pp. 777~782.
- Loucks, Daniel P., Jerry R. Stedinger, and Douglas A. Haith (1981). *Water resource system planning and analysis*. Prentice-Hall, N. J. 1981.
- Mays, L. W. and Y. K. Tung (1992). *Hydrosystems Engineering Management*. McGraw-Hill, Inc.
- Yeh, W. W-G (1985). "Reservoir management and operations models: A State-of-the-Art Review." *Water Resources Research*. Vol. 21, No. 12. pp. 1797~1818.