

댐 規模 決定을 위한 日·時間別 貯水池 물收支 模型 Daily and Hourly Water Balance Model of Reservoir for Determining Dam Size

盧 載 卿*

Noh, Jae Kyung

1. 緒 論

수문학적으로 댐 규모는 용수공급을 위한 이수용량과 홍수조절을 위한 치수용량을 더해 결정된다. 현재 우리나라의 댐 설계에서 이수용량은 주로 이수안전도를 고려하여 월단위로 저수지 모의운영기법을 사용하여 결정하고, 치수용량은 설계빈도에 따른 설계유입량 수문곡선을 구하고 최대 방류량이 하류하천의 통수능을 넘지 않도록 하여 결정하고 있다.

그러나, 월단위 보다는 일단위에 의해 저수지 물수지를 분석하는 것이 보다 신뢰성있는 용수공급능력을 파악할 수 있을 것이며, 단순히 설계유입량에 의한 것 보다는 예비방류를 고려한 시간별 실시간 저수지 물수지 분석에 의해 홍수조절용량을 결정하는 것이 보다 현실에 가까운 방법이 될 것이다. 또한 수자원의 계획과 운영을 '계획은 간략한 방법으로 운영은 정밀한 방법으로' 하는 것 보다는 '계획과 운영을 똑같이 정밀도가 높은 방법으로' 실시하는 것이 바람직할 것이다.

따라서, 댐 규모 결정을 위해 사용할 수 있도록 일별, 시간별 저수지 물수지 모형을 각각 개발하여 그 적용성을 검증하고자 한다.

2. 日別 貯水池 물收支 模型

2.1 模型의 基本 理論

유역에 강우가 내리면, 하천으로 집수되어 흐르면서 농업용수, 생활용수, 공업용수로 취수되고, 그 나머지가 하류로 흐른다. 농업용수로 취수되어 경지에서 소비되고 남은 물은 다시 하천에 합류되어 흐르고, 생활용수와 공업용수로 공급된 물도 주거지와 공장에서 소비되어 하수와 폐수의 형태로 하천에 방류되어 우수와 같이 흐르게 된다. 상류에 저수지가 있다면 물의 흐름은 그림 1 과 같이 저수지 유역으로부터 저수지로 집수되고, 저수지로부터 물은 하천으로 직접 방류되거나, 논이나 주거지, 공장 등으로 급수되고, 논이나 주거지, 공장 등은 저수지나 하천으로부터 용수를 공급받으며 소비되고 남은 물을 하천으로 환원하고, 저수지를 제외한 유역으로부터도 하천으로 집수되어 하류의 하천으로 흐르게 된다.

* 한국수자원공사 수자원연구소 선임연구원

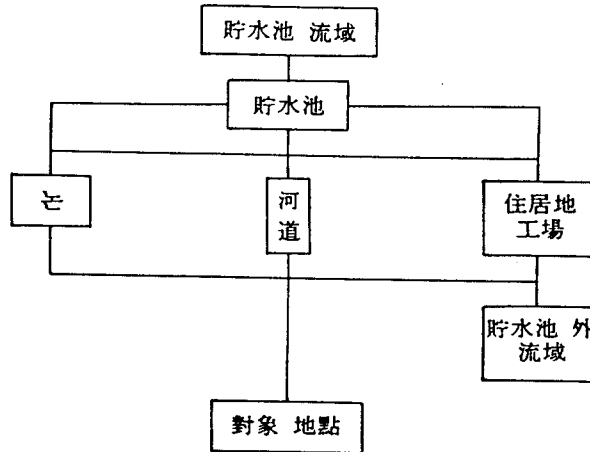


그림 1 저수지로부터의 물 흐름 개념

저수지 저류량 변화는 다음 저류 방정식으로 나타낸다.

$$S_{t+1} = S_t + I_t + P_t - DW_t - IW_t - SW_t - E_t - L_t, 0 < S_{t+1} < C \quad (1)$$

여기서, S는 저수지 저류량, I는 유입량, P는 저수지 수면 강우량, DW는 생활용수량, IW는 공업용수량, SW는 하천유지유량, E는 호면 증발량, L은 침투 및 기타 손실량, C는 저수용량, t는 날자를 나타내는 시간 첨자이다.

월류량은 저수용량 보다 크면 식(2)와 같으며, 저수용량 보다 작으면 식(3)과 같이 0 이다.

$$O_t = C - S_t, \text{ if } S_t \geq C, \quad (2)$$

$$O_t = 0, \quad \text{if } S_t < C, \quad (3)$$

하천유지유량은 저수지 유역을 제외한 횡 유입량이 필요 하천유지유량 보다 적으면 식(4)와 같이 공급하고, 강우가 있어 횡 유입량이 필요 하천유지유량 보다 크면 식(5)와 같이 0 이다.

$$SW_t = WQ_t - LQ_t, \text{ if } LQ_t \leq WQ_t, \quad (4)$$

$$SW_t = 0, \quad \text{if } LQ_t > WQ_t, \quad (5)$$

여기서, SW는 공급 하천유지유량, WQ는 필요 하천유지유량, LQ는 저수지 유역을 제외한 횡 유입량이다.

2.2 模型의 成分

日別 流入量 : 저수지 일별 물수지를 분석하기 위한 일별 유입량은 장기간의 유출 자료가 있으면 이 자료를 이용하는 것이 가장 바람직하며, 단기간의 유출자료가 있으면 이 자료를 이용하여 유출 모형을 설정하고 매개변수를 결정하여 장기간의 일 강우자료에 의한 일 유출량을 모의

발생하여 사용하며, 유출 자료가 없으면 일반화된 모형을 이용하여 일 유출량을 추정하여 사용한다. 또한, 추계학적 방법에 의해 일 유출량을 추정하여 사용하기도 한다.

이 연구에서는 DAWAST 모형(盧, 1991)에 의해 일 유입량을 모의발생하여 사용하였다.

DAWAST 모형은 유역의 저류층을 표면층, 상부의 불포화 토양층, 하부의 포화 토양층으로 개념화시켰으며, 일 강우량과 일 증발량을 입력하여 불포화층의 토양수분을 일별로 물수지 분석함으로써 이로부터 일 유출량을 모의 발생시키는 모형으로서 모형의 구조는 그림 2와 같다.

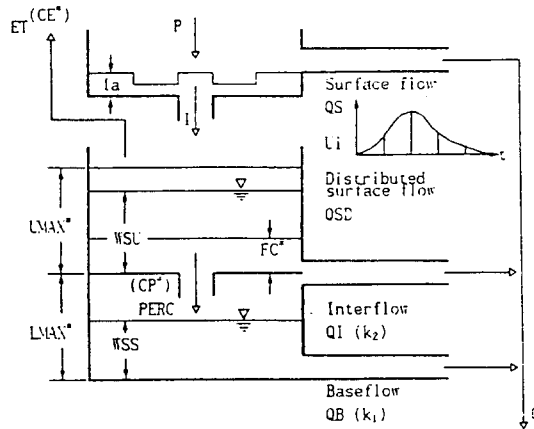


그림 2 DAWAST 모형의 구조

農業 用水 : 이 연구에서는 농진공(1989)에서 제시한 '소비수량 산정 방법 실용화 연구'를 적용하였다. 이 연구는 이제 까지 설계 기준으로 사용하던 Blaney-Criddle식에서 FAO의 수정 Penman식으로 교체하고, 관리 손실률에 대한 현실적 고려를 제안하여 실무에 적용할 수 있는 방법을 제시하고 있다.

生活 用水 : 생활 용수량은 계획 급수인구에 급수량 원단위를 곱하여 구한다.

工業 用水 : 하천시설기준에 농업용수량은 계획 목표 년도의 제조업 출하액과 농업용수 원단위를 기초로 해서 산정한다고 되어 있다.

河川維持流量 : 하천유지유량은 기본적으로 하류의 기준 지점에서 부족수량 만큼만 공급하도록 한다.

2.3 모형의 適用

1) 모형의 檢證

각종 용수공급량 중에서 생활용수, 농업용수는 계절적으로 거의 일정하게 공급되지만 농업용수는 계절별로 용수공급 변화가 심하다. 따라서 설정한 일별 물수지 모형을 검증하기 위해 관개 저수지인 예당저수지에 적용하였다. 예당저수지는 관개면적이 8,788ha로 큰 편이며, 사수량이 아주 적은 저수지로 하류에 삼교호가 있으며, 홍수기인 6월20일 부터 9월20일 까지는 저수위를 EL.21.5m로 1.0m 낮추어 약천만 m^3 의 홍수조절용량을 갖고 있다. 1984년의 저수지 관측-추정 저수량 곡선은 그림 3과 같으며, 대체로 잘 일치하고 있다.

표 1 예당저수지의 제원

항목	성과
유역면적	37,360ha
관개면적	8,788ha
총저수량	4,710ha-m
유효저수량	4,607ha-m
만수위	EL.22.5m
사수위	EL.14.5m

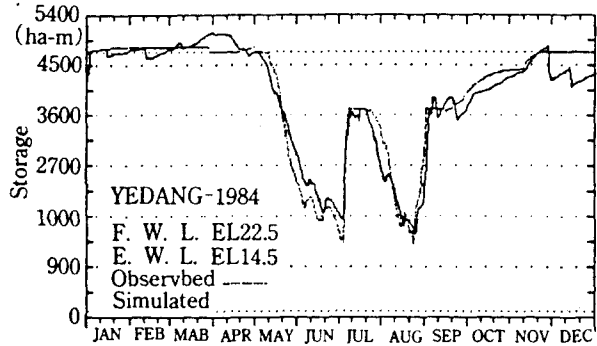


그림 3 예당저수지의 관측-추정 저수량 비교(1984)

2) 模型의 適用

대전시에 소개한 대전천의 하천유지유량 공급을 위한 '대전천 상류 댐 건설 위치와 규모 결정'에 개발된 일별 저수지 물수지 모형을 적용하였으며, 삼피교 상류 지점에 유역면적 15.7km², 저수량 580만m³인 '한밭댐(안)'의 규모를 결정하였고 이로부터 2.5만m³/일의 하천유지유량을 공급할 수 있는 것으로 분석하였다(盧, 1993).

그리고 유등천에 적용하여 안영유원지 상류 지점에 유역면적 165.2km², 저수량 5,700만m³인 '유등댐(안)'의 규모를 결정하였고 이로부터 7.3만m³/일의 하천유지유량과 13.2만m³/일의 생활용수를 공급할 수 있는 것으로 분석하였다(盧와 安, 1993).

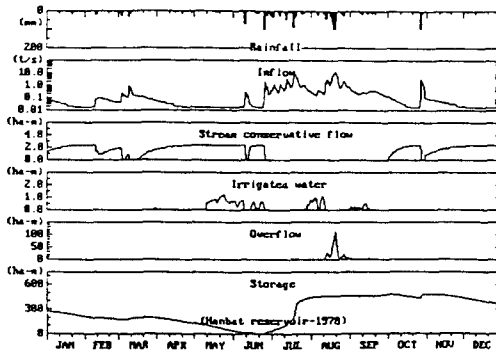


그림 4 한밭댐(안)의 용수공급과 저수량 변화곡선 예(1978)

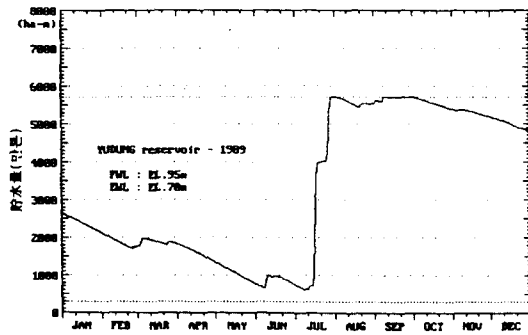


그림 5 유등댐(안)의 저수량 변화곡선 예(1989)

3. 時間別 貯水池 水收支 模型

3.1 時間別 貯水池 貯留 方程式

댐의 홍수조절에 의한 하류 하천의 유출량 변화를 알기 위해 시간별 댐 물수지 모형을 개발하여, 설계 호우에 대해 개발된 모형을 운영하여 댐 홍수조절의 결과로 나타나는 방류량과 하류

유역의 횡 유입량을 고려해 하류 하천의 유출량 변화를 분석하였다(安과 盧, 1994). 이의 모식도는 그림 6과 같으며, 댐의 저수량을 결정할 때도 이와같은 시간별 물수지 모형을 똑같이 적용할 수 있을 것이다.

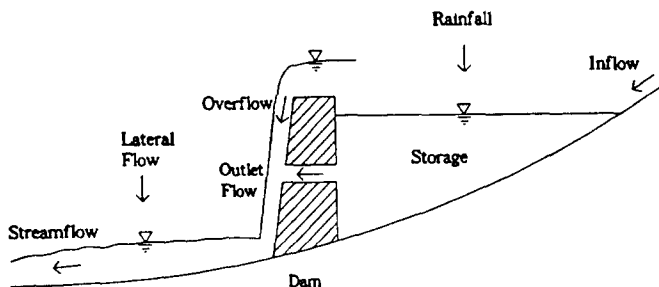


그림 6 댐의 홍수조절시 하류 하천의 유출량 분석 모식도

홍수시 댐의 물수지는 적어도 시간 간격으로 분석돼야 하며, 시간별 댐의 저류량 방정식은 식 (6)과 같다.

$$S_{t+1} = S_t + P_t + QI_t - QO_t - QS_t + \Delta S_t \quad (6)$$

여기서, S는 저수량, P는 강우량, QI는 유입량, QO는 방류량, QS는 월류량, ΔS는 증발, 침투 등의 미소변화 저류량, t는 시간(hour)을 나타내는 첨자이다.

월류량은 저수량이 만수위를 초과하는 수량으로 하며, 홍수시이므로 증발, 침투 등의 미소변화 저류량 ΔS는 없는 것으로 가정하였다.

모형 개발에 사용된 언어는 MS-Basic Ver.7.1이며, 시간별 강우량, 유입량, 월류량, 저수량 변화를 그림으로 나타낼 수 있도록 하였으며, 또한 하류 유역의 횡유입량을 분석하여 댐의 홍수조절에 의한 방류량과 함께 하류 하천의 유출량을 나타내도록 함으로써 댐의 홍수조절에 의한 하류 하천의 홍수량 변화를 알 수 있도록 하였다.

3.2 개발된 모델에 의한 댐의 홍수調節運營

유역면적 165.2km², 유로연장 37.0km인 유등댐(안)에 적용하였다. SCS법과 中安법에 의해 댐 유역과 댐 하류 유역의 '87.7 홍수시와 100년 빈도 및 200년 빈도 홍수량을 계산하였고 개발된 시간별 댐 물수지 모형에 각각 적용하여, 댐에 의해 홍수조절된 유등천 하류 대전천 합류 지점의 유출량 변화를 분석하였다.

댐의 홍수조절용량은 1,000만m³으로 두고, 호우가 발생하면 100m³/s씩 예비 방류하는 것으로 가정하고 댐의 물수지를 분석하였다.

'87.7.21-23의 호우에 대해 SCS법에 의해 홍수량을 추정하여 유등댐(안)의 시간별 저수량 변화와 하류 하천의 수문곡선은 그림 7과 같다.

유등댐의 홍수조절에 의한 유등천 하류 대전천 합류지점의 첨두 유출량 값은 설계빈도별로 표 2와 같이 제시했으며, 200년 빈도 홍수시 SCS법은 1,600m³/s, 中安법은 1,300m³/s에 달했다.

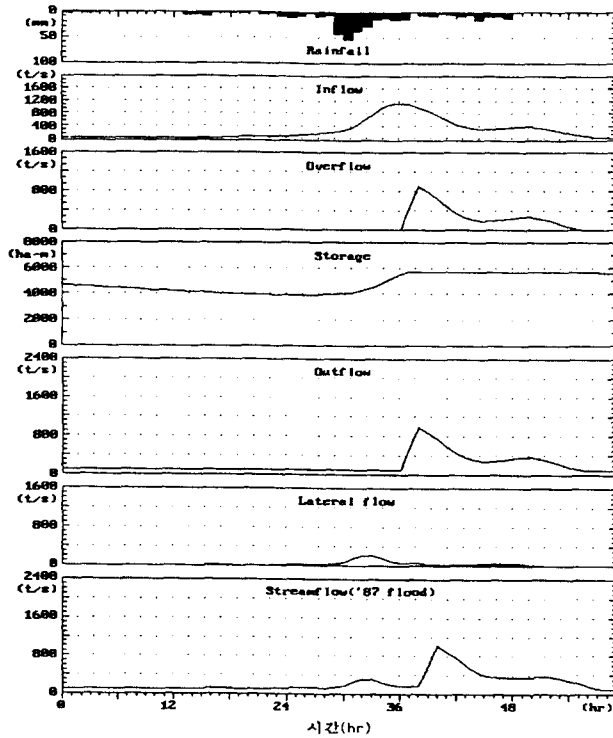


그림 7 유등댐(안)의 시간별 저수량 변화와 하류 하천의 수문곡선 ('87.7 홍수, SCS법)

표 2 유등댐의 홍수조절에 의한 하류 하천의 첨두 유출량

구 분	최대 유입량(m ³ /s)		하류하천의 최대 유출량(m ³ /s)	
	SCS법	中安법	SCS법	中安법
'87.7 홍수	1,117.68	990.80	1,024.39	754.27
100년 빈도 홍수	1,361.95	1,151.17	1,366.55	1,148.71
200년 빈도 홍수	1,541.69	1,306.01	1,607.51	1,298.47

상류에 댐이 없을 경우 대전천 합류지점의 계획홍수량과 댐이 있을 경우 댐에 의해 홍수조절 돼 나타나는 홍수량에 대해 유등천 도심구간 4개 지점 하천단면에서의 통수능을 식(7)에 의해 비교, 분석하였다.

$$Q = \frac{A}{n} R^{2/3} S^{1/2} \quad (7)$$

여기서, Q는 홍수량(m³/s), A는 하천의 통수단면적(m²), n은 조도계수, R은 수리경심(m), S는 수로경사이다.

댐이 없는 경우와 댐이 있는 경우의 홍수위 차를 댐에 의한 홍수조절 효과로 볼 수 있으며, 댐 하류의 유등천 도심구간 주요 4개 지점에서 댐이 있는 경우의 홍수위가 댐이 없는 경우의 홍수위 보다 '87.7 홍수의 경우 SCS법이 0.20~0.31m, 中安법이 0.47~0.55m, 100년 빈도 홍수의 경우 SCS법이 0.08~0.09m, 中安법이 0.19~0.28m, 200년 빈도 홍수의 경우 SCS법이 0.00~0.01m, 中安법이 0.19~0.28m 낮게 나타났으며, 홍수량이 클수록 댐에 의한 홍수조절 효과가 감소된다는 것을 알 수 있었다.

또한, 댐에 의해 홍수조절돼 계산된 홍수위도 대부분 계획 홍수위 보다 높게 나타나 유등천의 통수능은 상류에 댐이 건설되더라도 여유가 없는 것으로 판단하였다.

4. 結 論

지금까지 댐 설계에서 이수용량은 월별 모의기법에 의해, 치수용량은 단순히 설계유입량에 의해 댐 규모를 결정하였다. 그러나 이수용량 결정에는 월별 보다는 일별로, 치수용량 결정에는 단순한 설계유입량에 의한 것 보다는 예비방류를 고려한 시간별 실시간 모의기법에 의한 것이 보다 현실적이고 합리적 방법이 될 것이다. 따라서 일별, 시간별 저수지 물수지 모형을 각각 개발하여 이를 실제로 적용한 예는 다음과 같다.

첫째, 일별 저수지 물수지 모형을 대전천 유역에 적용하여 유역면적 15.7km², 저수량 580만m³인 한밭댐(안)의 규모를 결정하였으며 이로부터 2.5만m³/일의 하천유지유량을 공급할 수 있는 것으로 분석하였다. 또한 유등천 유역에 적용하여 유역면적 165.2km², 저수량 5,700만m³인 유등댐(안)의 규모를 결정하였으며 이로부터 7.3만m³/일의 하천유지유량과 13.2만m³/일의 생활용수를 공급할 수 있는 것으로 분석하였다. 실제로 한밭댐 기본설계에 이 모형을 적용한 바 있다(대전광역시, 1995).

둘째, 시간별 저수지 물수지 모형을 유등댐(안)에 적용하였다. 설계빈도별로 홍수조절용량 1,000만m³, 예비방류량 100m³/s을 두고 실시간으로 모의운영한 결과 홍수량이 클수록 홍수조절 효과가 감소하는 것으로 나타났으며, 200년 빈도 홍수에서는 홍수조절 효과가 거의 없는 것으로 나타났다. 물넘이와 방류구 크기를 가정하고 방류량이 하류하천의 통수능을 넘지 않도록 모의 운영하면 치수용량을 결정할 수도 있을 것이다.

參 考 文 獻

1. 대전직할시, 1990, 3대 하천 종합개발 기본계획 보고서(II)
2. 대전광역시, 1995, 한밭댐 건설사업 기본계획 보고서
3. 노재경, 1991, 토양수분 저류에 의한 일 유출량 유역 모형, 서울대학교 박사학위논문
4. 노재경, 안병기, 1993, 대전직할시 3대 하천의 유지용수 공급 방안, 충남대학교 지역개발논총 제5집, 충남대학교 지역개발연구소
5. 노재경, 1993, 대전천 유지용수 공급을 위한 저수지 규모 결정, 도시연구 제1권, 대전직할시 도시계획상임기획단
6. 안병기, 노재경, 1994, 유등댐 건설에 의한 유등천의 홍수조절능, 충남대학교 지역개발논총 제6집, 충남대학교 지역개발연구소