

유입량에 따른 빈도별 저수용량 결정에 관한 연구

A Study on Determination of Frequency Storage Capacities by Inflows

최한규* 최용묵** 전광제***

Choi, Han-Kyu Choi, Yong-Mook Jeon, Kwang-Je

Abstract

A past monthly data is not faithful so much for a short term. But, the stochastic generation technique was provide of a long-term data. Thus this study is used a data which generated a monthly inflow amounts data by Thomas-Fiering model. This model is needed a certain process which determination of distribution, decision of continuous durability, etc.

It was generated a inflow data every one month as Thomas-Fiering method. The generated inflow data was used input data for a monthly cumulative analysis. This analysis obtained a storage capacities which would be required during droughts having various return periods. It was presented a equation of fitting regression that was carried out regression analysis of 5, 10, 20, 50 years period.

키워드 : 모의발생, 저수용량

Keyword : *Thomas-Fiering Model, Storage Capacity*

1. 서론

본 연구는 장기간의 계획 기간에 걸쳐 지속적으로 공급할 수 있는 댐의 저수 용량 또는 용수공급 능력 평가를 연구 대상으로 한다. 댐의 용수공급 능력은 유입량 뿐만 아니라 용수 수요의 특성에 의해서도 달라질 수 있으나 일차적으로 저수지 지점의 유입량의 특성에 의해 결정되며, 본 연구에서도 유입량 측면에 중점을 두고 수행하였다.

목적은 댐의 건설 및 운영 계획의 수립에 적용될 수 있는 댐의 유효저수용량 결정에 있다. 합리적인 계획을 위해 필요한 댐 용량 결정에 요구되

는 평가방법 중 추계학적 기법인 Thomas-Fiering 모형에 의한 장기간의 유입량 계열을 발생시켜 분석하고, 유입량에 대한 사용(필요)수량의 비율로써 산정식을 제시함으로써 현장실무에 간편법으로 유용하게 사용할 수 있도록 함이 목적이다.

본 논문의 내용은 다음과 같다.

① 소양강댐, 충주댐, 안동댐, 남강댐, 대청댐, 섬진강댐 등 6개 지점의 실측 유입량 자료를 이용한다.

② 댐 용량 결정에 적용할 수 있는 주요 분석 기법을 고찰하고 기본적인 이론의 가정과 제약조건을 검토한다.

③ 지점별 월 유입량 자료의 지속성 여부를 판정한다.

④ 지점별, 월별 유입량의 적정확률분포형을 K-S Test를 통하여 결정한다.

⑤ 적정확률분포형에 따라 Thomas-Fiering 모형에 의해 월 유입량을 발생한다.

* 강원대학교 토목공학과 교수, 공학박사

** 강원대학교 대학원 토목공학과 박사과정

*** 강원대학교 대학원 토목공학과 석사과정

⑥ 발생된 월평균 유입량을 이용하여 연평균 유입량을 산정하고 이에 따라 사용(필요)수량을 비율에 따라 검토한다.

⑦ ⑥에 따른 사용률별 유효저수용량을 산정한다.

⑧ ⑦에 따른 재현기간별 저수용량을 도출하고 결정한다.

2. 주요 분석 기법

2.1 자료의 이용방법

상시만수위(Normal High Water Level)는 정상 조건 하에서 가동하는 동안, 저수지 수면이 상승할 최대 수위이다. 대부분의 저수지는 여수로 정점의 표고나 여수문의 상단을 상시만수위로 한다. 저수위(Low Water Level)는 평상시 조건 하에서 저류수를 배수했을 때 더 이상 내려갈 수 없는 최소 수위를 말한다. 이 수위는 댐의 경우에 최저 방수구의 표고, 또는 수력발전용 저수지의 경우에 터빈 가동 효율의 조건으로 결정하는데 저수위와 상시만수위 사이의 저수용량을 유효저수용량이라 한다. 이 용량은 생·공·농업용수, 하천유지용수 등 각종 용수 공급과 수력 발전 등 이수 목적으로 사용된다. 그림 2.1은 댐에서의 수위 설정 현황을 보여주고 있다.

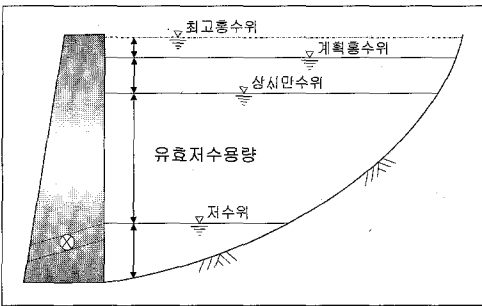


그림 2.1 댐 저수지의 수위 설정

이러한 유효저수용량을 결정하기 위한 저수지의 수문학적 설계를 위해서는 수문 자료들의 세 가지 특성 즉 유하량의 크기, 지속기간 및 유하량의 생기빈도 또는 재현기간을 알아야만 정확한 해석을 할 수 있다. 일반적으로 저수지 계획에서 사용되는 유입량의 시간 단위는 순 또는 월별이다. 그러나 소규모 저수지를 제외하고 국내 댐의 대부분은 월 유입량을 적용한다.

(1) 실측 자료에 의한 방법

저수지의 용량 결정은 무엇보다도 유입량의 계열에 따라 크게 달라진다고 할 수 있다. 현재 댐 건설 후 실측된 유입량 계열을 이용하여 댐의 효율적인 용수공급 능력을 산정할 수 있으며, 실측 유출량 자료로 임의의 지

점의 댐 계획을 수립할 수 있다. 대표적인 방법으로 Rippl에 의한 방법으로 과거의 유입량 기록이 단순히 미래에도 반복되어 나타난다는 것이다. 그러나 이러한 가정은 이론적인 근거가 부족할 뿐만 아니라 자료수의 제한으로 장기간 주어지는 갈수에 대한 고려가 쉽지 않다

(2) 자료의 발생에 의한 방법

이 방법은 추계학적 기법에 의해 발생된 장기간의 유입량 자료를 사용하여 분석을 실시하는 방법이다. 이 방법은 과거의 유입량 기록과 동일한 통계적 특성을 갖는 장기간의 유입량 자료를 대상으로 하므로 단기간 자료의 분석에 의해 발생할 수 있는 문제점을 극복할 수 있으며, 저수지의 상태를 가장 근사하게 나타낼 수 있는 저수지 운영 분석과 함께 사용한다. 이 방법의 적용은 기록 자료에 대한 유입량-저수량-공급량 분석과 차이는 거의 없으며, 따라서 자료 발생 기법의 신뢰성과 발생된 자료의 통계적 유의성에 관심이 집중된다고 할 수 있다.

2.2 저수용량 산정의 분석 기법

역사적 기록으로부터 가장 낮은 유량을 가지는 월의 순서가 밝혀지고, 각각의 순서에 대하여 누가 유출 총량이 시간에 대해 그려진다. 이 기법은 가뭄기간의 초기에 저수지는 가득 차 있다고 가정된다. 지정된 저류량에 대한 유출량을 평가해야 하는 설계가뭄을 결정하기 전에, 모든 가뭄기간들에 대한 시험이 필요하다. 이는 필요저수용량 산정에 있어서 좌우되는 유입량은 최소한 6~8개월 이상의 유입량의 누가치에 의해 좌우되기 때문이다.

원자료는 필요한 수요 또는 공급률의 확보를 위해 저수지에 요구되는 저장량을 산출하는 데 보다 직접적으로 사용될 수 있다. 갈수기 동안 공급을 보장하는 데 요구되는 저수지 용량을 결정하려면 그 기간 동안의 누가량들이 추정되어야 한다. 따라서 계획 기간의 유입량을 초과할 수는 없다.

(1) 누가 곡선 분석

이 방법의 적용 절차는 널리 알려진 보와 같이 매우 간단하며, 도해적으로 결정할 수 있으므로 결과를 명확하게 표현할 수 있다는 장점이 있다. 댐 지점의 유입량을 누가 곡선으로 그리고, 이 누가 곡선의 한 점을 지나는 직선을 누가 곡선과 직선의 최대 편차가 저수용량과 같아지도록 그었을 때, 이 때의 직선의 기울기가 가능한 저수용량이 된다.

누가 곡선은 유효 저수지 유입량의 누적을 도시한 곡선이다. 이를 수식으로 나타내면 아래의 식 (2.1)과 같다.

$$V(t) = \int_0^t Q(t) dt \quad (2.1)$$

여기서, $V(t)$ 는 유출의 용적이며, $Q(t)$ 는 저수지 유

입량이며, 각각은 시간의 함수이다.

누가 곡선에 대한 어느 점에서 유량의 순간율은 그 점에서 접선의 경사이며, 아래의 식 (2.2)과 같다.

$$Q(t) = \frac{dV(t)}{dt} \quad (2.2)$$

어느 지점에서 수요량 누가 곡선과 유입량 누가 곡선의 차가 유효저수용량이 되며, 이를 빈도 해석에 따라 빈도별 저수용량을 산정할 수 있다.

(2) 저수지 운영 분석

저수지 운영 분석은 저수지를 하나의 계로 보고, 이 계의 입력과 출력 및 계의 상태의 변화를 따지는 일종의 물수지 분석이며, 저수지 모의 운영 또는 행태 분석이라고도 한다. 저수지로의 입력에는 유입량과 수면 강수량 등이 있으며, 출력에는 방류량, 수면 증발량 및 기타 손실량이 포함된다. 일반적으로 저수지 수면의 강수량과 기타 손실량은 무시하여 저수지의 상태를 나타내는 물수지 방정식으로 저수지 상태의 변화를 모의한다. 물수지 방정식의 일반적인 표현은 아래 식 (2.3)과 같다.

$$I(t) - O(t) = \frac{dS}{dt} \quad (2.3)$$

여기서, 좌변의 I 는 유입량, O 는 유출량, 우변은 한 정된 시간에 걸쳐 체적내의 저류량 변화를 나타낸다.

식 (2.4)은 저수지 운영의 일반적인 표현이다.

$$S_t = S_{t-1} + T_t + O_t + E_t \quad (2.4)$$

여기서, S_t 와 S_{t-1} 는 각각 t , $t-1$ 시점에서의 저수량이고, T_t , O_t 및 E_t 는 $t-1$ 과 t 시점 사이의 유입량, 방류량 및 증발량이다.

(3) 확률 행렬법

이 방법은 연 유입량이 독립적이라고 가정하는 방법으로서 평가 결과는 유입량의 발생 순서보다는 상대 빈도에 의해 결정된다. 이록 유입량 자료로부터 크기에 따른 상대적 발생 빈도를 계산하고, 여기서 계산된 발생 빈도에 따른 유입량을 연속방정식에 적용함으로써 임의 시점의 저수지 상태로부터 다음 시점의 저수지 상태의 변화를 추적한다.

$$Z_{t+1} = Z_t + X_t - D \quad (2.5)$$

여기서, Z 는 저수량이고, X 는 유입량, D 는 공급량, C 는 저수용량이며, Z_t 는 0(zero)부터 저수용량까지이다.

식 (2.5)은 저수지 운영 분석의 기본식 (2.4)과 유사한 형태지만, 식 (2.5)의 유입량 X 는 식 (2.4)의 유입량 I 가 실제 발생 순서에 따라 적용되어야 하는 것과는 달리 임의의 연유입량 순서로 적용하여도 무관하다는 차

이점이 있다.

이 방법은 결정 기간 방법과 마찬가지로 기록된 유입량 자료를 대상으로 분석하는 방법이지만 유입량 기록의 순차성은 고려하지 않으며, 따라서 저수 용량 산정치는 초기 조건과 무관하다. 이러한 점에서 결정 기간 방법과 대조적이며, 상대적 장점이라고 할 수 있다. 또한 유입량 기록의 순차성에 의해 분석 결과가 영향을 받지 않으므로 자료 기간의 불연속이 발생하는 연속되지 않은 기록의 처리가 가능하다.

2.3 합성 유입량 계열의 검토

합성 우량계열을 발생시킨 후 발생된 우량계열이 관측 우량계열의 통계학적 특성을 잘 대표하는지를 검토해야 한다. 일반적으로 비교의 기준이 되는 통계 특성은 평균값(mean), 표준편차(standard deviation) 및 왜곡도 계수(coefficient of skewness)이다. 또한, 기록 및 발생 유입량 계열의 계열상관도(correlogram)를 각각 작성하여 서로 비교해 두 계열의 특성을 비교 평가한다.

3. 월 유입량 자료의 분석 및 모의발생

3.1 대상 지점의 선정과 현황

본 연구에서 사용되는 자료는 표 3.1과 같이 각 수계 댐들 중 자연발생 수문 사상을 가지는 한강수계의 댐인 소양강댐과 충주댐, 금강수계의 대청댐, 낙동강수계의 안동댐, 남강댐, 섬진강수계의 섬진강댐 등 6개 지점의 실측 댐 유입량 기록을 그 대상으로 한다.

각 댐 지점의 실측 기록으로부터 월평균 유입량을 산정 하였으며, 연평균 유입량은 각 해의 12개월 간 월 유입량 자료를 합산하여 산정 하였다. 본 연구에서 사용되는 유입량 자료는 댐 지점에서 실측된 자료로서 댐 상류 지역에 자연 수문 사상을 유지하고 있어야 하며, 이를 통한 저수지의 용량 결정 시에는 월평균 유입량 자료를 합산하여 산정된 연평균 유입량을 산정의 기준으로 하였다.

표 3.1 각 댐 지점의 저수지 특성 자료

댐 명	유역 면적 (km ²)	연평균 유입량 (CMS)	총저수 용량 (백만 m ³)	유효저수 용량 (백만 m ³)
소양강댐	2,703	68.7	2,900	1,900
충 주 댐	6,648	165.5	2,750	1,789
대 청 댐	4,134	83.0	1,490	790
안 동 댐	1,584	31.2	1,248	1,000
남 강 댐	2,285	57.0	309	300
섬진강댐	763	16.0	466	370

3.2 월 유입량 자료의 분석

본 연구에 이용된 각 댐 지점의 연 평균 유입량의 자료수와 통계적 특성치들은 표 3.2와 같으며, 월 평균 유입량 자료의 통계적 특성치들을 분석한 결과를 원자료와 대수치의 평균, 표준편차, 왜곡도 계수 순으로 정리하였다. 각 댐의 유입량 자료는 대부분의 수문사상이 댐 건설 전과 댐 건설 후의 차이가 발생하므로, 본 연구에서는 1974~1999년 사이의 댐 건설 후의 실측된 자료를 연구의 대상으로 하였으며, 단위는 백만³m이다.

표 3.2 각 댐 유입량 기록의 연 통계치

댐 명	자료수 (년)	평균	표준편차	왜곡도 계수
소양강	26	182.9	270.0	2.998
충주	14	438.2	635.4	2.733
대청	19	225.7	316.4	2.657
안동	23	82.6	101.2	2.231
남강	24	161.9	210.6	2.272
섬진강	25	43.4	58.6	2.418

(1) 적정 확률 분포형의 선정

각 댐 지점의 월 유입량 기록의 적정확률분포형을 결정하기 위하여 Kolmogorov-Smirnov 검정을 사용하여 정규분포, 2변수 대수정규분포, 2변수 감마분포에 대하여 검정하였다.

소양강댐, 충주댐, 안동댐 등 3개 댐 지점의 유입량 기록은 2변수 대수정규가 상당히 적정한 분포형으로 판단되었으며 대청댐, 섬진강댐 등 2개 댐 지점의 유입량 기록은 2변수 대수정규와 2변수 감마분포의 적정성 여부가 유사한 것으로 판단되었다. 연구에서 사용된 각 댐의 월 유입량 기록은 2변수 대수정규 분포에 적합한 확률분포형을 가진다고 볼 수 있다. 전술한 바와 같이 이 자료는 1974년 이후 각 댐의 월 평균 유입량으로 댐 건설 이전의 자료에 대해서는 분석하지 않았다.

(2) 지속성의 판정

실질적으로 자기상관함수의 유용한 추정값을 얻기 위해 적어도 50개의 관측값이 필요하며, 추정한 자기상관함수 γ_k ($k=1,2,\dots,k$)의 수효는 관측값의 개수가 $\frac{1}{4}$ (즉, $n/4$)보다 크지 않아야 한다.

그림 3.1은 댐별 월 유입량 자료의 자기상관계수를 차수에 따라 0차에서부터 70차까지 일률적으로 도시한 것이다. 도시한 그림 3.1에서와 같이 각 댐의 월 평균 유입량은 일정한 지속성을 나타내고 있다.

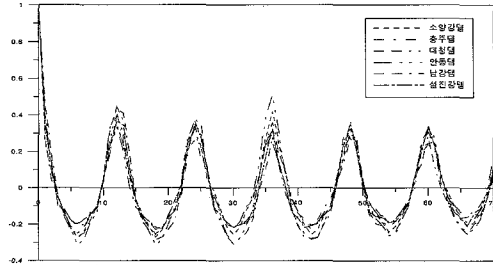


그림 3.1 각 댐 월 유입량 기록의 Correlagram

한편, Anderson's Correlation 검정에 의한 수문계열의 지속성 판정 결과, 귀무가설을 검정하기 위한 식 (3.1)의 양측검정구간에 각 댐의 월 유입량의 1차 표본자기상관계수 γ_1 이 존재하지 않으므로 이 계열은 지속성을 지니고 있다고 할 수 있다.

$$\left[\frac{-1 - u_{1-\alpha/2}\sqrt{n-k-1}}{n-k}, \frac{-1 + u_{1-\alpha/2}\sqrt{n-k-1}}{n-k} \right] \quad (3.1)$$

표 3.3은 각 댐 유입량의 Anderson's Correlation 검정구간과 1차 표본자기상관계수를 분석하고, 검정 결과값과 판정 결과를 정리한 것이다.

표 3.3 Anderson's Correlation 검정결과

댐	검정 구간	결과값	판정
소양강	-0.1142 ~ 0.1077	0.2676	o.k.
충주	-0.1572 ~ 0.1452	0.2955	o.k.
대청	-0.1342 ~ 0.1254	0.3683	o.k.
안동	-0.1216 ~ 0.1143	0.4124	o.k.
남강	-0.1190 ~ 0.1120	0.4581	o.k.
섬진강	-0.1165 ~ 0.1098	0.3442	o.k.

한편, Run 검정은 어떤 계열이 무작위성(독립성)을 가지고 있다면, 0의 run과 1의 run의 합으로 구성되는 총 run의 개수(U)의 기대값과 분산이 근사적으로 다음 식 (3.2), (3.3)와 같다는 가정에 기초한다.

$$E(U) = \frac{2n_1n_2}{n_1+n_2} + 1 \quad (3.2)$$

$$Var(U) = \frac{2n_1n_2(2n_1n_2 - n_1 - n_2)}{(n_1+n_2)^2(n_1+n_2-1)} \quad (3.3)$$

여기서, n_1 은 계열 w_t 에서 1의 개수이며, n_2 은 0의 개수이다.

Turning Point 검정에서 주어진 표본계열이 무작위

성을 가지고 있다면 peak와 through의 총 수 M은 근사적으로 정규분포를 가지며, 이 때 평균과 분산은 각각 다음 식 (3.4)과 식 (3.5)과 같다.

$$E(M) = - \frac{2(n-2)}{3} \quad (3.4)$$

$$Var(M) = \frac{16 n - 29}{90} \quad (3.5)$$

한편, 두 검정의 표준정규분포를 가지는 검정통계량은 다음 식 (3.6)과 같이 정의할 수 있다.

$$U_c = \frac{U - E(U)}{\sqrt{Var(U)}} \quad (3.6)$$

따라서, u_c 가 확률변수 U_c 를 나타내고 $u_{1-a/2}$ 가 표준정규분포의 $1-a/2$ 분위수일 때, $|u_c| > u_{1-a/2}$ 라면 유의수준 α 에서 지속성을 나타내는 귀무가설은 기각될 수 없으므로 이 경우 지속성을 가지고 있다고 할 수 있다.

각 댐의 월 유입량 자료의 Run 검정이나 Turning Point 검정의 유의 수준 α 가 5%일 때, $u_{1-a/2}=1.96$ 이므로 식의 지속성을 나타내는 귀무가설은 기각될 수 없다. 표 3.4는 Run 검정과 Turning Point 검정의 결과값과 검정값을 정리하고 판정한 결과이다.

표 3.4 Run과 Turning Point 검정 결과

댐	Run 결과값	T.P 결과값	검정값	판정
소양강	8.8359	18.5723	1.96	o.k.
충주	6.7912	14.6568	1.96	o.k.
대청	9.1689	14.7876	1.96	o.k.
안동	7.8798	18.6333	1.96	o.k.
남강	7.8798	18.4592	1.96	o.k.
섬진강	8.7221	19.6159	1.96	o.k.

이상에서와 같이 각 댐 지점의 Correlogram과 3가지 지속성 검정 결과, 각 댐의 유입량 자료는 지속성이 존재하므로 계절적 변동 등을 반영할 수 있는 추계학적 모의 발생 기법에 의한 자료의 발생이 가능하며, Thomas-Fiering 모형에 의한 월 유입량을 모의 발생하여 이를 자료로 저수용량을 결정할 수 있다.

3.3 Thomas-Fiering 모형에 의한 월 유입량의 모의 발생

원자료를 통한 Kolmogorov-Smirnov 검정 결과, 본 연구에서는 2변수 대수정규분포를 적정분포로 하여 월 평균 유입량 계열을 발생시켰다. 표 3.5는 월유입량 계열을 발생시키기 위한 각 지점 대수치 유입량의 1 지

체 자기상관계수를 정리한 것이다. 그리고 각 월마다 1000개 씩의 월평균 유입량을 모의 발생하였다.

모의 발생된 월 유입량 자료는 각 지점의 평균과 표준편차에 대해서는 근사적으로 원자료의 확률특성치를 만족하고 있으나, 대부분의 지점에서 왜곡도계수에 대해서는 차이를 보이고 있다. 이는 실측치 자료수와 발생 자료수의 차에 따른 통계적인 차이로 인한 것으로 해석된다.

표 3.5 각 댐 유입량 기록의 1 지체 계열상관계수

구분	소양강	충주	대청	안동	남강	섬진강
1 월	0.517	0.087	0.405	0.980	0.436	0.449
2 월	0.736	0.842	0.712	0.802	0.483	0.588
3 월	0.790	0.630	0.485	0.653	0.490	0.417
4 월	0.325	0.605	-0.055	0.050	0.060	-0.230
5 월	0.294	0.406	0.242	0.181	0.514	-0.093
6 월	0.351	0.472	0.461	0.344	0.065	0.226
7 월	0.377	0.225	0.550	0.283	0.365	0.407
8 월	-0.330	-0.131	0.063	0.124	0.445	0.033
9 월	-0.055	0.151	0.330	0.287	0.338	0.189
10 월	0.258	0.142	0.662	0.369	0.567	0.455
11 월	0.501	0.315	0.567	0.128	0.347	0.398
12 월	0.747	0.578	0.814	0.703	0.699	0.658

4. 빈도별 저수용량 산정

전술한 바와 같이 사용되는 유입량 자료를 통한 저수지의 저수용량 산정 시에는 모의 발생된 월평균 유입량 자료를 합산하여 산정된 연평균 유입량을 산정 기준으로 하였다. 그러므로 용수공급을 위한 기타 여러 제반 조건을 유입량에 대한 일정한 비로써 나타낼 수 있을 때, 본 연구에 대한 이용이나 해석이 가능하다. 또한, 단기간의 자료를 사용하는 것은 기록에 포함된 특정 기간의 유입량에 의해 왜곡될 수 있으므로 본 연구에서는 기록된 유입량 자료에서 모의 발생된 자료가 장래 하천의 흐름을 대표한다고 가정하여 분석한다

4.1 상시 유입량의 산정

상시 유입량이란, 특정 기간 동안에 저수지로 유입되는 유량이 일정하게 공급될 수 있는 양을 말하며, 이는 과우년의 기록치에 따라 달라질 수 있다. 그러므로 본 연구에서는 모의 발생된 월평균 유입량의 1,000년 간의 자료에 대한 연평균 유입량을 상시 유입량으로 가정하였으며, 이에 대한 저수용량의 산정 기준으로 하였다. 표 4.1은 댐별 상시 유입량을 원자료와 발생치에 대하여 정리한

것이며, 상대오차의 범위가 -3.92~3.83%로 원자료를 충분히 반영하고 있다.

표 4.1 댐별 상시 유입량의 산정 결과

구분	소양강	충주	대청	안동	남강	섬진강
원자료	181.9	438.2	225.7	82.6	161.9	43.4
발생치	176.6	421.4	232.2	79.5	169.3	45.1

4.2 각 지점별 사용물에 따른 저수용량 산정

저수용량 결정에 차이를 가져오는 일차적 요인은 댐 지점의 유입량 특성이다. 따라서 용량 결정에 있어서 신뢰성 있는 유입량 자료의 확보는 무엇보다 중요하며, 분석 기법에 관계없이 유입량 기록에 따라 결과는 상당한 차이가 발생한다. 이러한 유입량 또한 계절에 따라 크게 변화하며, 수요량도 유입량에 비해 변동성이 작지만 일년 중에서 계절에 따라 변화한다. 이러한 점을 고려하여 유입량 자료에 따른 산정 결과의 차이에 대한 분석을 통한 누가 곡선 분석을 월 단위로 적용한다.

월 누가 곡선 분석에 의한 발생 자료의 해석 시 사용되어진 댐별 상시 유입량에 대해 월마다 누가한 후, 발생된 유입량에 대한 잉여분은 여수로로 방류시켰으며, 상시유입량에 따라 비율별로 0.1~0.9에 따른 유입량을 사용수량으로 산정하였다. 사용률 0.1 미만의 비율에 대해서는 대부분 초과 발생되므로 산정하지 않았으며 사용률이 1, 즉 상시유입량을 전부 사용한다는 것은 불가능하다고 가정하여 이를 비율별로 구분하여 사용수량에 대한 부족량이 저수용량이 된다.

각 댐 지점의 모의 발생된 자료에 의한 월 누가 곡선 분석을 실시한 후, 이를 5, 10, 20, 50년의 재현기간에 대하여 빈도해석을 실시하였다. 각각의 재현기간에 대한 초과확률은 20, 10, 5, 2%이며, 1,000개 자료의 순위 상 200, 100, 50, 20번째의 요구되는 저수용량이다. 이를 해석한 결과, 각 댐 지점에서 가지는 빈도별 필요저수용량은 다음 표 4.2~4.7과 같다.

표 4.2 소양강댐 지점의 빈도별 저수용량

사용률	빈도별			
	5년	10년	20년	50년
0.1	23.2	29.5	36.6	44.2
0.2	92.5	108.4	123.8	141.1
0.3	183.6	207.9	225.6	248.8
0.4	292.4	321.0	346.4	371.0
0.5	414.7	452.6	490.4	524.7
0.6	553.3	620.1	676.3	759.7
0.7	769.5	901.8	1077.5	1287.3
0.8	1183.2	1472.5	1742.6	2193.6
0.9	2323.2	2904.6	3421.7	3998.2

표 4.3 충주댐 지점의 빈도별 저수용량

사용률	빈도별			
	5년	10년	20년	50년
0.1	17.0	26.0	32.9	44.2
0.2	125.6	154.5	176.8	204.2
0.3	316.4	363.7	410.1	462.1
0.4	563.5	637.3	715.6	802.3
0.5	869.5	987.0	1073.1	1149.9
0.6	1243.1	1398.0	1493.6	1613.3
0.7	1727.8	1964.8	2281.3	2634.1
0.8	2551.4	3172.8	3688.4	4461.0
0.9	5082.5	6291.0	7273.5	8483.6

표 4.3 충주댐 지점의 빈도별 저수용량

사용률	빈도별			
	5년	10년	20년	50년
0.1	17.0	26.0	32.9	44.2
0.2	125.6	154.5	176.8	204.2
0.3	316.4	363.7	410.1	462.1
0.4	563.5	637.3	715.6	802.3
0.5	869.5	987.0	1073.1	1149.9
0.6	1243.1	1398.0	1493.6	1613.3
0.7	1727.8	1964.8	2281.3	2634.1
0.8	2551.4	3172.8	3688.4	4461.0
0.9	5082.5	6291.0	7273.5	8483.6

표 4.4 대청댐 지점의 빈도별 저수용량

사용률	빈도별			
	5년	10년	20년	50년
0.1	14.4	21.7	28.4	38.7
0.2	81.0	100.8	124.5	147.7
0.3	190.3	229.9	262.9	301.4
0.4	344.3	413.7	471.5	531.0
0.5	579.5	719.8	818.9	1010.0
0.6	946.9	1226.0	1510.8	1871.5
0.7	1603.5	2037.7	2703.5	3353.7
0.8	2872.4	3653.2	4544.0	5607.9
0.9	7422.5	9415.9	10632.4	12669.3

표 4.5 안동댐 지점의 빈도별 저수용량

사용률	빈 도 별			
	5년	10년	20년	50년
0.1	2.0	3.9	6.1	9.7
0.2	24.0	33.6	41.1	46.8
0.3	60.3	72.6	84.3	92.6
0.4	104.0	118.2	129.3	143.1
0.5	155.2	172.2	185.2	204.8
0.6	213.5	240.5	266.4	299.7
0.7	303.7	368.3	439.3	510.1
0.8	487.7	610.6	727.8	978.0
0.9	1018.0	1280.8	1531.4	1764.9

표 4.6 남강댐 지점의 빈도별 저수용량

사용률	빈 도 별			
	5년	10년	20년	50년
0.1	6.2	9.9	12.3	15.0
0.2	45.8	56.6	68.7	80.0
0.3	127.9	152.7	176.6	206.3
0.4	247.1	300.3	345.2	404.7
0.5	430.2	528.1	675.8	785.5
0.6	736.5	980.5	1222.7	1493.1
0.7	1284.6	1735.4	2063.7	2659.5
0.8	2465.2	3456.3	4354.4	4939.8
0.9	6031.8	7928.9	9065.8	10060.2

이상의 분석에서는 저수량의 감소에 따른 용수공급량의 제한이 가해지는 저수지 운영률에 대한 고려가 포함되어 있지 않다. 따라서 저수지 내의 저수량이 모두 없어지기 전까지의 수요량 모두를 공급하는 것으로 가정하였으며, 단지 저수량이 상시 만수위를 넘을 경우 여수로로 방류하여 상시 만수위를 유지한다는 기본적인 제한 조건 이외에는 고려하지 않았다.

한편, 현재 사용되고 있는 저수용량에 따른 사용률과 표 4.2~4.7의 결과를 한강 수계의 댐인 소양강댐과 충주댐들과 비교해보면, 그 결과는 다음과 같다.

① 소양강댐의 경우, 사용률 67.5%에 대한 유효저수용량 1,900×m³은 거의 50년 빈도에도 안전하며, 따라서 유효저수용량을 다소 줄이더라도 설계유기제한수위를 두어 상당량 감소되었을 20년 빈도 갈수 시에도 사용수량을 안전하게 공급할 수 있다는 결론이다.

② 충주댐의 경우, 현재 사용률 72.8%에 대한 유효저수용량 1,789× m³은 5년 빈도 갈수에도 미치지 못하는 결과로 나타났다. 일반적으로 다목적 댐의 경우 20년 빈도로 채택한다고 보면, 사용수량은 60% 정도로 줄임이 타당할 것으로 보인다.

또한 현 유효저수용량에 대한 공급가능량은 사용수량을 반복적으로 변경하면서 필요저수용량이 유효저수용량과 같을 때의 사용수량을 구하면 공급가능량이 되며, 계략적이거나 본 연구의 대상 댐 지점의 공급 가능량에 대한 사용률 분석이 가능하다.

4.3 재현기간별 사용률에 따른 저수용량비 산정

저수지 총유출량과 저류 용량은 수자원 계획의 계획 연수에 비하여 매우 제한된 기간의 유량기록에 의해서 결정되어 왔다. 그러나 단기간의 기록으로 인하여 불안정한 경우가 발생한다. 그러므로 현재에 개발된 여러 가지의 모델을 통하여 저수지의 저수용량을 결정하거나 또한 대략적인 범위를 결정하는데, 본 연구에서 이들의 값을 각 지점 빈도별 평균값으로 정리하여 계략적인 저수용량 결정에 쉽게 이용할 수 있도록 5, 10, 20, 50년 빈도별 저수용량 비로 작성하였다.

이는 각 빈도별 사용률에 따른 저수용량비는 새로운 댐 계획을 수립하거나, 계략적인 저수용량을 산정하기 위해 보다 편리하게 정리한 것이다.

예를 들면, 우리나라 연강수량은 1,274mm이며, 유출계수도 0.55이므로 면적 당(km²) 연평균 유입량은 1,920(m³/일)이다. 따라서 유역면적 100km²의 경우 연평균 유입량은 192,000m³/일이며, 250% 사용 시 즉, 96,000m³/일 때 20년 빈도 갈수 시 필요저수용량 17×10⁶m³(192,000×365×0.25)를 확보하면 20년 갈수에도 안전하게 공급할 수 있다. 이와 같이 저수용량의 비를 산정하여 이를 계획저수지의 용수능력을 평가하는데 이용할 수 있다.

5 장. 결론 및 제언

댐의 용수공급 용량은 단순히 자연적인 수문 현상만의 결과로 나타나는 것은 아니며, 다양한 용수 수요의 특성과 이에 따른 댐의 운영률 등의 인위적 요인에 의해서도 영향을 받을 수 있다. 그러나 본 연구의 범위는 이러한 용수 수요의 특성과 적정 운영 방안의 연구가 포함되지 않았으며, 결과적으로 본 연구에서 제시된 결과는 용수공급 용량을 결정하는 용수수요의 특성에 관한 간략화된 가정에 따른 근사치에 해당한다고 할 수 있다.

① 사용되는 유입량 자료는 댐 지점에서 실측된 자료로서 댐 상류 지역에 자연 수문 사상을 유지하고 있어야 하며, 이를 통한 저수지의 용수공급 능력 산정 시에는 모의 발생된 월평균 유입량 자료를 합산하여 산정된 연평균 유입량을 산정 기준으로 하였다.

② 본 연구는 유입량 측면에 증점을 두어 수행하였으며, 이를 통한 저수지의 용량 결정 시에는 월평균 유입량 자료를 합산하여 산정된 연평균 유입량을 산정의 기준으로 하였다. 그러므로 용수공급을 위한 기타 여러 제한 조건을 유입량에 대한 일정한 비율로써 나타낼 수

있을 때, 본 연구에 대한 이용이나 해석이 가능하다.

③ 추계학적 발생 기법을 통하여 1,000년 간의 유입량 자료를 월 단위로 발생하여 이를 월 누가 곡선 분석의 입력자료로 한 결과, 한강수계의 댐인 소양강댐, 충주댐에 대하여 간략한 용수공급능력을 평가하였으며, 근사치에 해당하는 사용률별 적정 필요저수용량을 산정하였다.

④ 저수지의 용량 결정은 유입량 뿐만 아니라 인위적으로 결정되는 방류량에 의해서도 좌우되는데, 본 연구에서는 유입량 측면에 중점을 두고 수행한 바 향후 이에 대한 반영이 이루어져야 한다.

⑤ 본 연구에서 사용된 Thomas-Fiering 모형에 의한 모의 발생 기법과 월 누가 분석에 의한 필요저수용량 산정 기법은 자체가 가지는 단점에 의해 여러 가지 기법과의 연계가 요구되며, 이를 통하여 비교 보완하는 것이 보다 바람직하다. 더불어 향후 연구가 계속되어 필요저수용량에 대한 계략적인 범위 결정에 보다 세부적인 평가 지표를 통한 용량 결정이 필요하다.

참고 문헌

[1] 윤용남, "급수용 저수지 설계를 위한 저유하량의 통계학적 해석에 관한 연구", 대한토목학회지, 1972

[2] 최한규, "저수용량의 추계학적 결정에 관한 연구", 박사학위논문, 1981

[3] 강경석, 서병하, "댐 저수지 설계를 위한 갈수량 분석", 대한토목학회논문집, 제16권 제II-6호, 1983

[4] 김형수, "모의발생 저유하량 계열의 빈도분석에 의한 급수용 저수지의 용량 결정", 석사학위논문, 1985

[5] 박찬영, 서병하, "Disaggregation 모형에 의한 월유량의 추계학적 모의발생", 대한토목학회논문집, 제19권 제II-6호, 1986

[6] 박무중, 윤용남, "Multiplicative ARIMA 모형에 의한 월유량의 추계학적 모의예측", 대한토목학회논문집, 제22권 제III-9호, 1989

[7] 박기범, "저수지의 저유량-용수공급능력(Storage-Yield) 해석에 관한 연구", 석사학위논문, 1998

[8] 최석범, "수자원공학", 창원, 1999

[9] 윤용남, "공업수문학", 청문각, 1998

[10] 윤태훈, "응용수문학", 청문각, 1998

[11] 전기연, "다목적댐의 용수공급능력 평가 방법의 개선", 1994

[12] 국립방재연구소, "강우분석 프로그램의 개발", 1998

[13] Thomas H.A. and Fiering M.B., "Mathematical Synthesis of Stream Flow Sequences for the Analysis of River Basins by Simulation", Design for Water Resources Systems, Harvard Univ., Cambridge, Massachusetts, 1962

[14] Box and Jenkins, "Time Series Analysis Forecasting and Control" Hoden-Day, 1970

[15] Clark, R.T., "Mathematical Models in

Hydrology", FAG, 1973

[16] Charles T. Hann, "Statistical Methods in Hydrology", Iowa State University Press, 1979

[17] Yevjevich V.M. "Probability and statistics in hydrology", Water Resources Publications Colorado, 1984

[18] Roe Goodman, "Introduction to Stochastic Models", The Benjamin / Cummings Publishing Company, Inc., 1998

[19] Richard H. McCuen, "Microcomputer Applications in Statistical Hydrology", PTR Prentice Hall, 1993