

수문자료 빈곤 지역에서의 저수지 규모 결정 모의 모형 개발

Development of a Simulation Model for Reservoir Sizing in a Region with Insufficient Hydrological Data

최진규* · 노재경**
Choi, Jin Kyu · Noh, Jae Kyoung

Abstract

A simulation model for reservoir sizing was developed to be applied in a region with insufficient hydrological data. Reservoir storage balance equation was formulated on a monthly basis. Gajiyama equation was generalized to estimate monthly reservoir inflow more accurately. Monthly evaporation equation on a reservoir water surface was introduced, which was functioned with monthly mean temperature. Generalized Gajiyama equation was applied to estimate reservoir inflow of the Sayeon dam. Nash-Sutcliffe's model efficiency was 0.778 in 1981~1995's model runs. Monthly evaporation equation was applied to estimate monthly evaporation at Ulsan station during 1966~1990. Nash-Sutcliffe's model efficiency was 0.793. Using developed model for reservoir sizing, water supply capacity was analyzed with 118,000m³/day on the Sayeon dam. This showed a reasonable result as compared with 110,000m³/day in other technical report. For general application of developed model, a virtual reservoir was considered and its data of surface area and volume by elevation was prepared using DEM. Using the model, size of reservoir was determined and water supply capacity was analyzed on a virtual reservoir.

I. 서론

저수지 계획에서 수문자료는 가장 기본이 되며, 직접 설계에 영향을 미친다. 노 등(1997)은 일기상자료를 이용한 '댐규모 의사결정지원시스템'을 개발하였다. 그러나 수문자료가 부족할 때는 많은 어려움을 겪게 된다. 어느 곳에서는 일자료는 없고 월자료만 있는 곳도 있다. 또한 저수지 수면증

발량은 계기증발량 값으로부터 추정하고 있는데, 1990년 이후 증발량을 측정하는 관측소의 수를 대폭 줄였으며 현재 전국 22개소에서만 증발량을 관측하고 있다.

특히 북한 지역과 같이 접근하기도 어렵고 자료 취득도 용이치 않은 곳에 수자원 계획을 수립하고자 할 때는 방법을 다르게 해야 한다. 자료가 충분한 지역의 자료를 사용하여 자료가 부족한 지역

* 전북대학교 농과대학

** 한국수자원공사 수자원연구소

키워드 : 수문자료 빈곤 지역, 저수지 규모, 저수량 변화 모의, 가지야마 공식의 일반화, 월 증발량 공식

의 자료와 질을 같게 하여 분석할 필요가 있다. 예컨대 북한지역의 수문자료는 월자료만 있고 남한지역의 수문자료는 시간, 일, 월자료 등 다양한 형태가 다 갖춰져 있는 경우이다. 이 때 분석은 월단위로 하며, 남한지역의 시간, 일자료의 정보를 월자료로 연결해 주는 작업을 해야한다. 즉, 월자료만의 정보로부터 시간, 일자료가 갖고 있는 정보를 유추할 수 있도록 하는 것이다.

이 연구의 목적은 자료가 부족한 지역에서 수자원을 계획하는데 사용할 수 있도록 월단위로 저수지 모의 모형을 구축하고, 가상지역에 시험운영하여 그 적용성을 검토하고자 하였다.

II. 모형의 구성

모형의 구성은 Fig. 1과 같다. 퇴사량을 계산하여 분포시키고, 저수지 유입량을 계산하고, 생활, 농업, 하천유지용수, 그리고 기상조건에 따른 농업용수 등 각종 용수를 공급할 때 저수량 변화를 보고 일정기준에 따라 저수지 규모를 결정하는 것으로 하였다.

저수지 저류량 변화를 식으로 나타내면 식(1)과 같다.

$$S(i+1) = S(i) + Qi(i) - Ew(i) - Dw(i) \dots\dots\dots(1)$$

여기서, S는 저수량, Qi는 유입량, Ew는 저수면

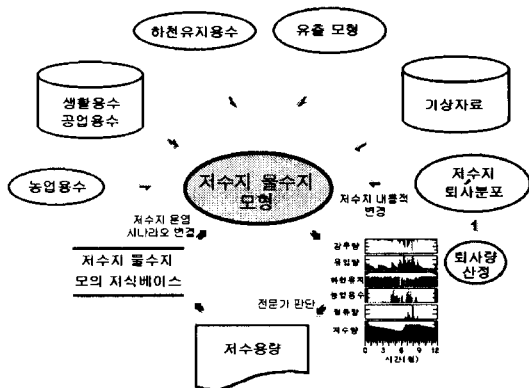


Fig. 1. Configuration of model

증발량, Dw는 각종 용수공급량 합계이며, 괄호 속의 i는 월을 나타내는 시간 첨자이다.

저수량 모의에서 저수지 표고별 저수면적-저수량 자료, 유입량, 저수면 증발량, 만수위-저수위 설정, 용수공급량 등은 고려해야 할 주요 사항이다.

III. 모형의 구축

자료관리, 저수지 유입량 모의, 저수면 증발량 추정, 퇴사량 계산, 저수량 변화 모의 등 모든 과정을 하나의 프로그램에서 운영될 수 있도록 비주얼 베이직으로 작성하였다. 월 단위의 저수지 유입량 모의에는 가지야마 공식을 일반화하여 사용하였고, 저수면 증발량은 월별로 평균온도의 함수로 하여 추정하였다. 퇴사량 계산은 새마을 공식(1978)을 사용하였다.

1. 월 유입량 모의를 위한 가지야마 공식 일반화

1929년 이래 아직까지 가지야마 공식을 실무에서 사용하고 있는 사실은 안타까운 일이다. 원인은 수문관측의 부실이 가장 크다고 생각되지만 여기서는 이 공식을 일반화시켜 정도를 높이도록 하며, 앞으로 공식이나 모형을 만들 때는 여기서 제시하는 것 보다 결과가 좋도록 해야 할 것이다.

$$R = \sqrt{P^2 + (138.6F + 10.2)^2} - 138.6F + E \dots(2)$$

여기서, P는 월 강우량(mm), F는 유역 특성에 관계되는 계수, E는 월 강우량의 크기에 따른 보정우량(mm), R은 월 유출고(mm)이다.

공식에서 E값은 제시한 값을 그대로 사용하는 것으로 하였고, F값만 변화시키는 것으로 하였다. F값을 유역의 기상, 지상인자와 연관시켜 일반화가 이루어진다. 유역의 기상, 지상인자는 연 강우량, 우기, 전기강우량, 지형, 토지이용, 토양, 지질 등 인자를 생각할 수 있다. 이들 관계를 도출하기 위해서는 유출 자료가 양호한 지점을 적어도 20~

30개소 지점의 자료를 사용하여 통계적으로 유의한 결과를 얻어야 한다. 여기서는 지형, 토지이용, 토양, 지질도의 지상자료와 연관시키는 것은 다음 기회에 하기로 하고, 단순하게 F값을 연 강우량과, 유역면적만의 함수로 관계시켰다.

F값 계산을 위해 선정된 유출 지점은 주로 다목적 댐 및 용수전용댐이며, 유출 자료는 전체 18개 지점의 자료년수 3~24년이고, 총 227개년이다. 연평균 강우량은 926.1~1,543.8mm, 연평균 유출량은 395.6~858.6mm, 유출률은 42.7~68.0%를 나타내었다.

F값은 최적화 방법에 의해 탐색하였으며, 황금분할법(golden search method)을 사용하였다. 목적함수는 관측유출량과 모의유출량의 월 오차화와 연 오차화 두가지로 하였다. 또한 연도별로도 최적 F값을 찾을 수 있고, 전체년에 대해서도 최적 F값을 찾을 수 있도록 하였다.

여기서는 목적함수로서 연 오차화를 사용하였고, 지점별로 연도별, 전체년에 대해 최적 F값을 탐색하였으며, 식(3), 식(4)와 같이 연 강우량, 유역면적으로 연관시켰다.

$$F = 52.144 \cdot P^{-0.530} A^{-0.023}, r = 0.247, n = 18 \text{ (전체년인 경우)} \dots\dots\dots(3)$$

$$F = 53.038 \cdot P^{-0.499} A^{0.066}, r = 0.349, n = 227 \text{ (연도별인 경우)} \dots\dots\dots(4)$$

여기서, P는 연강우량(mm), A는 유역면적(km²)이다.

전체년인 경우는 r = 0.247이고, 연도별인 경우 r = 0.349로서 연도별인 경우가 유의성이 있었다. 상관계수의 유의수준은 자유도(n-2) 16인 경우 1%에서 0.5897, 5%에서 0.4683이고, 100이상인 경우 1%에서 0.2540, 5%에서 0.1946이다.

Fig. 2는 가지야마 식의 F값 등가선 비교이다. 여기서, 관측 F값은 지점별로 연도별, 전체년에 대해 황금분할법에 의해 탐색한 F값이고, 모의 F값은 연강우량, 유역면적에 따라 공식에 의해 계

산한 값이다. 전체년인 경우 관측 F값의 범위는 0.55~1.60인데 비해 모의 F값의 범위는 0.93~1.20이었고, 연도별인 경우 관측 0.40~1.60, 모의 0.67~1.61이었다. 결과는 모의값이 오히려 일반적인 F값의 범위 0.8~1.2에 수렴되었다.

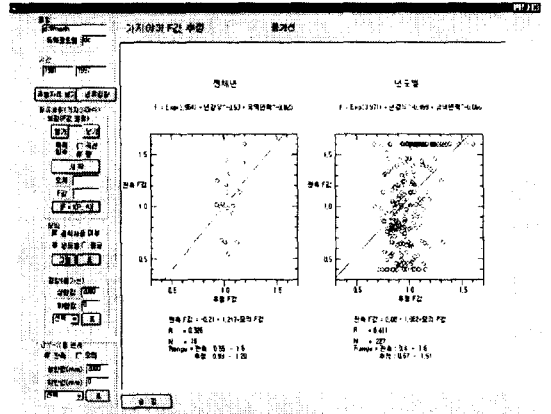


Fig. 2. Equal value lines on Gajiyama's F values

결과를 비교하면 연평균하여 관측 유출량은 395.6~858.6mm, 최적 F값에 의한 모의 유출량은 406.6~892.0mm, 추정 F값에 의한 모의 유출량은 464.5~929.7mm를 나타내 추정 F값에 의한 유출량이 높게 모의되었다. 또한 모의/관측 유출량 비율은 최적 F값인 경우 94.5~108.9%, 추정 F값인 경우 86.5~122.4%로 나타나, 추정 F값에 의한 모의 결과가 편차가 컸다. 그러나, 수문곡선과 모의 결과로부터 전반적으로 판단해 볼 때 이 정도의 편차는 허용할 정도의 수준이라 판단하였다.

2. 저수면 증발량

저수면 증발량의 추정 방법은 물질 전달법, 에너지 균형법, 두가지 혼용법등 3가지가 있다. 아직 우리나라에서 개발된 저수면 증발량 추정 공식은 없으며, 증발계 증발량에 증발계 계수 0.7을 곱하여 사용하고 있다. 목적이 월 단위의 저수량 모의이기 때문에 월 증발량 추정 공식을 필요로 하며, 저수면 증발량 측정자료가 없기 때문에 증발계 증

발량으로부터 추정하는 것으로 하였다.

증발에 영향을 주는 인자는 바람, 습도, 온도, 일조량, 강우 등 여러 가지가 있으나, 여기서는 단순하게 온도 하나만 연관시켜 보는 것으로 하였다.

증발량 측정 지점은 대관령, 수원, 춘천, 서산, 서울, 광주, 청주, 대전, 군산, 추풍령, 대구, 전주, 목포, 울산, 여수등 총 15개 지점이며, 기간은 대관령 지점만 1972~1980년이고, 나머지 지점은 1971~1980년으로 총 149개년이다.

온도 변화는 겨울철에 낮고 여름철에 높게 나타나는 일정한 경향을 나타내고 있으나, 증발의 변화는 대체로 온도 변화와 같은 경향을 보이지만 7~8월 보다 5~6월의 증발량이 높게 나타나는 지점이 많게 나타났다. 따라서, 온도와 증발량을 월별로 볼 때 정확하게 1:1 관계가 있다고 볼 수는 없으며, 오히려 월별로 관계식을 도출하는 것보다 관계가 좋게 나타날 것으로 기대하였다. 따라서, 월별, 전체에 대해 각각 월평균 온도를 합수로 한 월 증발량 추정 공식을 유도하였다.

Fig. 3은 월 증발량과 평균온도의 관계를 표현하고 회귀식을 구한 것이다. 또한, 그림내의 표에서 a, b는 다음 식(5)의 계수, R은 회귀식의 상관계수이다.

$$\text{월 증발량(mm)} = a + b \times \text{월 평균온도(}^\circ\text{C)} \dots\dots(5)$$

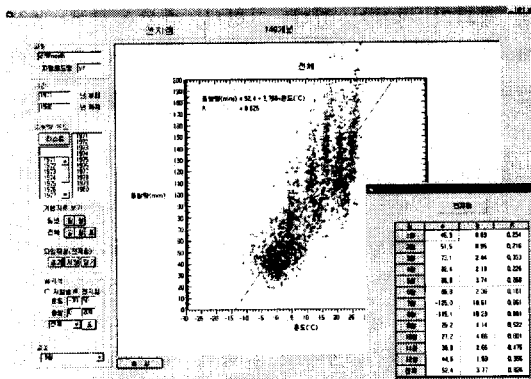


Fig. 3. The relationship between monthly pan evaporation and monthly mean temperature

전체 자료수는 월별은 149개, 전체는 149개 곱하기 12하면 1,788개이다. 상관계수로부터 유의성을 판단하면 자유도 100이상에서 1%는 0.2540, 5% 0.1946이므로, 1% 수준에서는 1, 2, 4, 6월을 제외한 모든 월, 전체에서, 5% 수준에서는 6월을 제외한 모든 월, 전체에서 유의성이 있었다.

따라서, 위의 월 증발량 추정 공식을 이용하여 월 평균온도로부터 월 증발계 증발량을 구하고, 여기에 증발계 계수 0.7을 곱하여 저수량 모의에 적용하였다. 공식은 월별, 전체 공식을 선택하여 사용할 수 있도록 하였다.

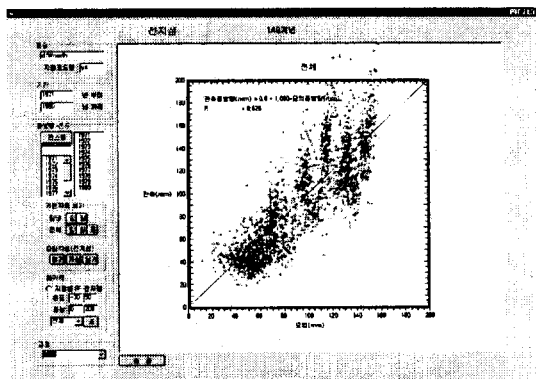


Fig. 4. Equal value line on monthly pan evaporations

3. 용수 공급량

농업용수 공급은 유효우량을 고려하여 생육시기 별로 필요한 담수심을 충족시켜주는 것으로 하였고, 생활·공업용수 공급량은 일평균 공급량에 월별변동계수를 곱하여 계산하고, 하천유지유량은 유출심으로 입력하는 것으로 하였다.

4. 만수위, 저수위 설정

만수위는 월 유입량을 모의하여 연평균 유입량의 75%를 저류시켰을 때의 수위로 하였고, 저수위는 식(6)의 새마을 공식에 의해 100년간 퇴사량을 저류시켰을 때의 수위로 하였다.

$$Q_s = 255.4 \times A^{0.1816} \times C^{0.5774} \dots\dots\dots(6)$$

여기서, Q_s 는 비퇴사량($m^3/km^2/yr$), A 는 유역 면적(km^2), C 는 만수위시 저수용량($만m^3$)이다.

이상 설명한 요소를 고려하여 월 강우량, 월평균 온도의 댐별 면적가중값 계산 모듈, 월 증발량 공식의 산정 및 검정 모듈, 가지야마 공식의 F값 추정 공식 산정 및 검정을 포함한 월 유입량 계산 모듈, 저수량 월별 모의 모듈, 모의결과 분석 모듈 등을 포함하여 프로그램을 작성하였으며, 다음 모형의 적용에서 구축된 내용을 볼 수 있다.

IV. 모형의 검정

수문자료 및 저수지 운영자료를 충분히 갖고 있는 기존 저수지에 적용하여, 이 연구에서 제시한 공식 및 모형의 검정을 하였다.

1. 대상 저수지

1965년에 준공한 용수전용댐인 유역면적 $124.5km^2$ 의 사연댐에 적용하였다. 사연댐은 만수위 EL.60.0m, 사수위 EL.45.0m, 저수량 $2500만m^3$, 유효저수량 $2000만m^3$, 용수공급량 $110,000m^3/일$ 이다. 유역도와 내용적 곡선은 참고문헌 6(노, 2000)에 게재하였다. 상류에 농업용 저수지인 미호저수지가 1996년에 준공하였기 때문에 댐 운영자료는 1981년부터 1995년까지 이용하는 것으로 하였다.

2. 가지야마 일반화 공식의 검정

이 연구에서 제시한 식(3), 식(4)의 가지야마 일반화 공식과 함께 $f = 1.0$ 일 때 가지야마 공식에 의해 추정한 사연댐의 유입량을 댐 운영자료의 유입량과 비교하였으며, Nash-Sutcliffe의 모형효율(1970)로 검정하였다. 결과는 Fig. 5와 같으며, Nash-Sutcliffe 모형효율은 식(3)의 전체년 f값을 적용한 경우 0.778, 식(4)의 연도별 f값을 적용한

경우 0.775, $f=1.0$ 을 적용한 경우 0.772로 나타났다. 그림에서 굵은 선은 관측값, 가는 선은 모의값을 나타낸 것이다. 세 가지 경우가 모두 비슷하게 나타나 여기서 제시한 식(3), 식(4)의 일반화 공식은 우리나라의 수문기상조건에서 월 유출량을 추정하는데 적용할 수 있을 것이다.

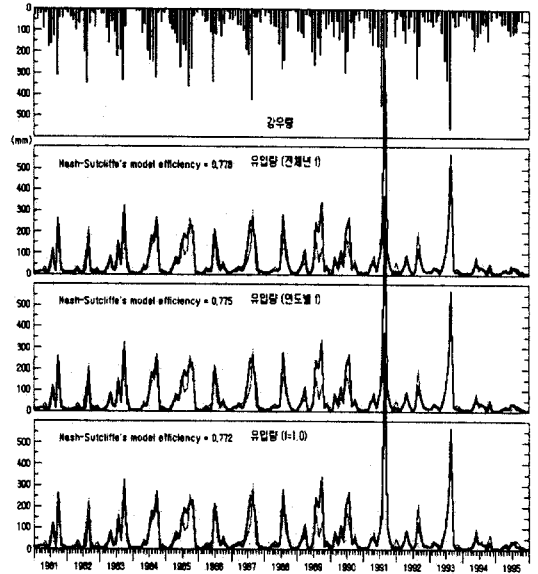


Fig. 5. Verification of generalized Gajiyama's equation

3. 증발량 공식의 검정

1966년부터 1990년까지 25년간 기상청 울산 관측지점의 증발량 자료에 식(5)의 월 증발량 추정 공식을 적용하여 공식의 적합성을 검정하였다. 식(5)의 계수는 Fig. 3에 있다.

25년간 평균하여 관측값과 계산값을 비교하면 Fig. 6과 같으며, 1월, 2월, 11월, 12월은 월별 공식에 의한 값이 작게 추정되었고, 나머지 달은 월별 공식에 의한 값이 관측값과 가깝게 추정되었다.

또한, Nash-Sutcliffe의 모형효율에 의해 월 증발량 추정공식의 적합성을 검정하였으며, 결과는 Fig. 7과 같다. Fig. 7에서 윗 그림은 월평균 온도, 가운데 그림은 월별 추정공식에 의한 비교, 아랫

그림은 전체 추정공식에 의한 비교를 나타낸 것이며, 굵은 선은 관측값, 가는 선은 모의값이다. Nash-Sutcliffe 모형효율은 월별 공식에서 0.793, 전체 공식에서 0.644를 나타내 대체로 양호하게 나타났으며, 월별 공식에 의한 값이 더 양호하게 나타났다. 또한 온도가 낮은 1, 2, 11, 12월에서는 전체 공식에 의한 값이, 그밖의 달에서는 월별 공식에 의한 값이 관측값과 더 일치되어 나타났다.

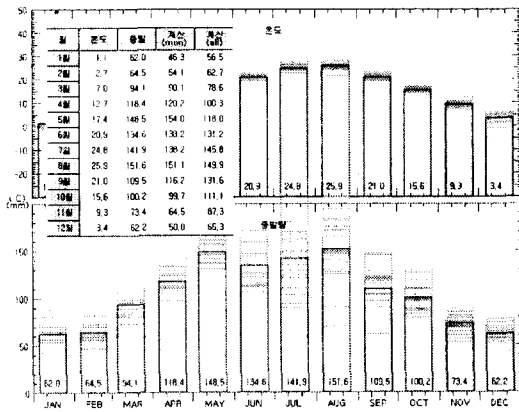


Fig. 6. Averages of monthly mean temperature and evaporation at Ulsan station during 25 years

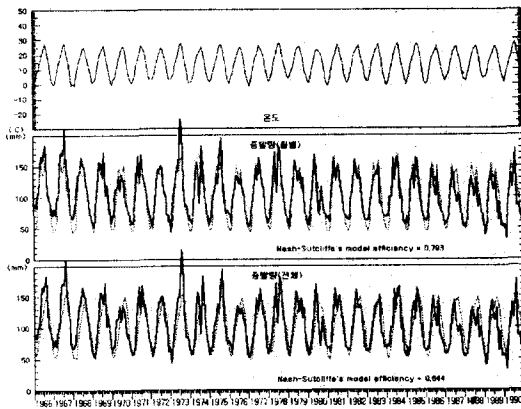


Fig. 7. Verification of monthly evaporation equation

4. 저수량 변화 모의 모형

개발한 댐규모 결정 모형의 적합성을 검증하기

위해 기존댐인 사연댐에 적용하였다. 댐의 규모가 이미 결정되어 있기 때문에 용수공급능력을 평가하는 것으로 모형의 적합성을 검증하였다.

내용적 자료와 월 강우량과 월평균 온도 자료를 가지고 모형을 실행하였다. 1966년부터 1995년까지 30년 동안 3회 용수부족이 발생할 때의 용수공급량(상수도 시설기준, 1997)을 분석하는 것으로 모형의 적합성을 검증하였으며, 모의한 결과는 Fig. 8과 같다. 118,000m³/일의 생공용수를 공급할 때 30년에 1968년, 1982년, 1995년 3회 용수부족이 발생하는 것으로 나타났으며, 연도별 모의결과를 평균하면 강우량 1,274.3mm, 유입량 8,282.3만m³, 유출률 50.2%, 저수면 증발량 133.6만m³생공용수, 4,170.9만m³, 하천유지용수 909.4만m³, 월류량 3,059.7만m³이었다. 용수공급량을 우량으로 환산한 연간우량환산우량은 408.1mm, 용수공급량/연유입량 비율은 70.3%, 유효저수량/연유입량 비율은 28.5%, 용수공급량/유효저수량 비율은 256.2%를 나타냈다.

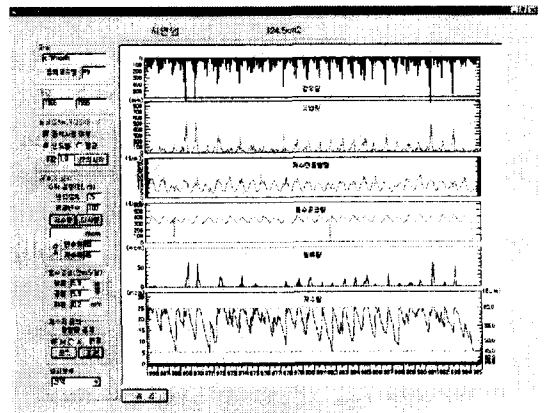


Fig. 8. Analysis of water supply capacity on Sayeon dam

결과적으로 이 연구에서 개발한 댐 규모 모형으로 사연댐의 용수공급능력을 분석한 결과 생공용수의 공급능력은 118,000m³/일로 나타났으며, 이는 기본계획보고서(한국수자원공사, 1996)에서 제시한 110,000m³/일의 값과 비슷하다. 따라서, 개발

된 모형을 사용하여 부족한 수문자료를 가진 지역에서 댐 규모를 결정하여도 정밀한 자료로 분석한 결과와 크게 차이가 나지 않는 것으로 나타나 타당성 조사 정도에서는 활용성이 있다고 판단된다. 특히 수문자료가 부족하여 대안이 없는 경우에는 보다 효율적인 것으로 생각한다.

V. 모형의 적용

1. 대상 저수지

수문자료가 빈곤한 저수지 적지를 임의로 선정하였다. 저수량 모의에서 표고별 저수면적, 저수량은 가장 기본이 되는 자료이다.

통상 타당성 검토시는 지형도로부터 등고선을 트레이싱하여 그 면적을 계산함으로써 관계를 추출한다. 유역면적이 작은 경우는 1/5,000 지형도에서 추출하지만 유역이 커지면 대축적의 지형도에서 작업하는 것은 작업량이 많기 때문에 1/25,000, 1/50,000 지형도에 의하고 있다. 또한, DEM(수치고도자료)으로부터 구할 수도 있다.

Fig. 9는 이름을 붙이지 않은 가상 저수지 유역의 DEM이다. Fig. 10에서 위 그림은 유역경계내 표고별 누가면적이고, 아래 그림은 일정표고까지 표고별 저수면적, 저수량을 그린 것이다.

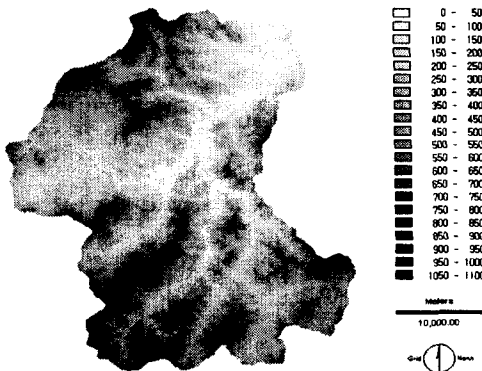


Fig. 9. DEM of a no-named reservoir

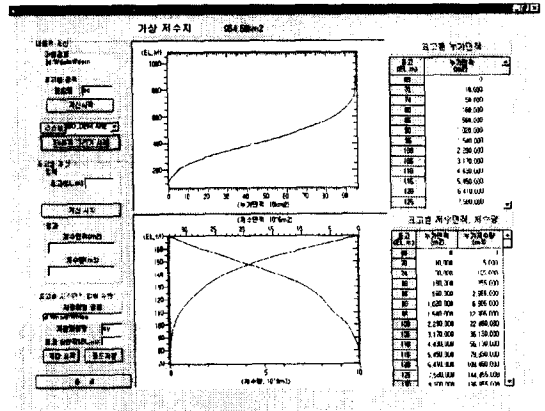


Fig. 10. Elevation to area, volume in a no-named reservoir from DEM

2. 모형의 적용

이수용량에 상당하는 저수량은 용수 수요량에 따라 변하며, 개발 목적 및 환경에 따라 다양한 크기를 가질 수 있다. 우리나라 주요 다목적 댐 및 용수전용댐 11개 댐에 저수용량을 연평균 유입량으로 나눈 비율, 즉 저수율을 계산한 결과 평균 81.6%로 계산되었다. 소양강댐 120.2%, 안동댐 130.3%, 임하댐 102.6%, 합천댐 129.9%, 운문댐 113.8%로서 연평균 유입량을 모두 저류시켜도 만수를 못 시키는 저수용량을 나타내고 있으나, 충주댐 47.3%, 대청댐 48.0%, 남강댐 6.2%로서 유입량에 비하여 저수용량이 상대적으로 작게 나타났다.

여기서는 가지야마식에 의해 월 유입량을 모의하여 연평균 유입량의 75%를 저수지 적정 규모로 정하고, 이로부터 저수량 모의에 의해 용수공급 가능량을 계산하는 것으로 하였다. 반대로 용수공급량이 정해졌을 때 저수지 규모를 정할 수도 있다. 자료기간은 1971~1980년으로 하였다.

만수위는 1971~1980년 연평균 유입량의 75%를 저류할 때의 수위로, 저수위는 새마을 공식에 의한 100년간 퇴사량을 채울 때 수위로 설정하였다. 용수공급량은 농업용수는 없는 것으로 가정하였고, 하천유지유량은 유출심으로 0.2mm를 적용하

였고, 생활, 공업용수 공급량은 10년간 모의 결과 용수부족이 1회 발생할 때의 값을 찾는 것으로 하였다.

Fig. 11은 가지야마 일반화 공식에 의한 가상 저수지의 월 유입량이며, 연도별로 강우량과 유역 면적에 따라 F값이 다르게 나타난 것을 볼 수 있다. 가상 저수지의 유역면적은 954.6km²이며, 만수위

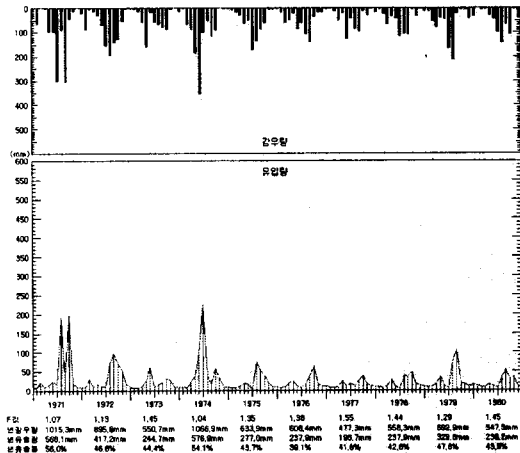


Fig. 11. An example of monthly reservoir inflow hydrograph by generalized Gajiyama's equation

Fig. 12는 개발된 모형에 표고별 저수면적, 저수량 자료와 월 강우량, 월평균 온도를 입력하여 모의한 결과이다.

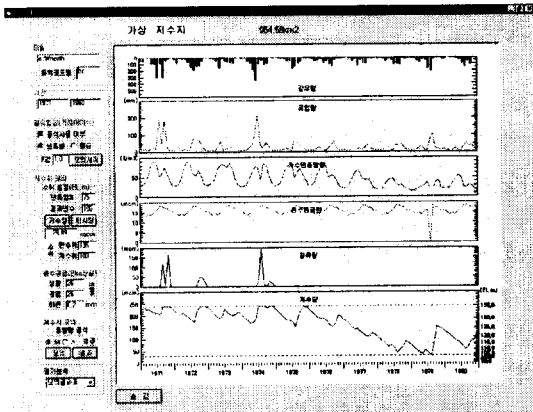


Fig. 12. An example of simulating reservoir storage by the developed model

EL.135.0m, 저수위 EL.103.0m, 총저수량 230.73백만m³, 사수량 30.10백만m³, 유효저수량 208.63백만m³규모로 결정되었으며, 이로부터 분석한 용수 공급능력은 일평균하여 생활용수 26.0만m³, 공업용수 26.0만m³, 하천유지용수 19.1만m³, 계 71.1만m³이었다.

모의 결과는 10년 평균하여 연강우량 704.7mm, 유입량 31,750.4만m³, 유출률 45.9%이었고, 저수면 증발량 543.8만m³, 생공용수 공급량 18,863.2만m³, 하천유지용수량 6,974.2만m³, 월류량 6,806.4만m³이었으며, 고갈은 한달동안 806만m³ 발생하였다. 연간 이용우량은 270.7mm, 용수이용율은 92.8%, 저수율은 74.9%, 저수지 이용율은 123.8%이었다.

고찰하면 개발된 모형을 적용하기 위해 선정된 가상저수지가 위치한 지역은 연강우량이 704.7mm에 불과한 지역으로서 총저수량이 230.7백만m³인 규모로 결정되었지만 용수공급량은 71.1만m³밖에 되지 않았다.

가상 저수지 (면적: 954.6km ²)												
연도	강우량 (mm)	유입량 (mm)	유출량 (mm)	저수량 (mm)	증발량 (mm)	월류량 (mm)	생공용수 (mm)	하천유지용수 (mm)	사수량 (mm)	용수공급량 (mm)	이용우량 (mm)	용수이용율 (%)
1971	1015.3	569.1	264.7	277.0	576.8	257.8	186.7	257.8	329.5	236.5	270.7	92.8%
1972	885.8	417.2	264.7	277.0	576.8	257.8	186.7	257.8	329.5	236.5	270.7	92.8%
1973	552.7	264.7	264.7	277.0	576.8	257.8	186.7	257.8	329.5	236.5	270.7	92.8%
1974	1068.5	576.8	264.7	277.0	576.8	257.8	186.7	257.8	329.5	236.5	270.7	92.8%
1975	632.6	277.0	264.7	277.0	576.8	257.8	186.7	257.8	329.5	236.5	270.7	92.8%
1976	800.4	257.8	264.7	277.0	576.8	257.8	186.7	257.8	329.5	236.5	270.7	92.8%
1977	477.5	186.7	264.7	277.0	576.8	257.8	186.7	257.8	329.5	236.5	270.7	92.8%
1978	559.9	257.8	264.7	277.0	576.8	257.8	186.7	257.8	329.5	236.5	270.7	92.8%
1979	892.5	329.5	264.7	277.0	576.8	257.8	186.7	257.8	329.5	236.5	270.7	92.8%
1980	247.5	236.5	264.7	277.0	576.8	257.8	186.7	257.8	329.5	236.5	270.7	92.8%
연평균	704.7	31750.4	12200.0	270.7	576.8	257.8	186.7	257.8	329.5	236.5	270.7	92.8%

Fig. 13. Yearly simulated results of reservoir operation by the developed model

VI. 결 론

수문자료가 빈곤한 지역의 수자원 계획에 사용할 수 있는 저수지 규모 결정 모의 모형을 개발하여 유역면적 124.5km²인 사연댐과 유역면적

954.6km²인 가상 저수지에 적용하였으며, 결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 가지야마 공식의 F값을 강우량과 유역면적의 함수로 하여 일반화시켰고, 사면댐의 유입량과 비교하여 Nash-Sutcliffe 모형효율 계수로 공식의 적합성을 검정한 결과 0.778로 비교적 양호한 값을 얻었다.

둘째, 저수면 월 증발량 공식을 월평균 온도만의 함수로 유도하였으며, 울산 관측지점에 적용하여 Nash-Sutcliffe 모형효율 계수로 공식의 적합성을 검정한 결과 0.793으로 비교적 양호한 값을 얻었다.

셋째, 개발된 모형으로 월 강우량, 월평균 온도, 표고별 저수면적-저수량 자료만 가지고 사면댐의 용수공급능력을 분석하여 비교한 결과 기존 보고서의 110,000만m³/일에 비해 118,000만m³/일의 값을 얻어 양호한 결과를 얻었다. 또한, 가상저수지 하나를 임의로 선정하여 DEM으로부터 표고별 저수면적-저수량 자료를 구하여 저수지 규모를 결정함으로써 개발된 모형의 적용성을 살펴보았다.

결론하면 개발된 모형을 사용하여 수문자료가 부족한 어떤 저수지 적지에서도 쉽고 빠르게 저수지 규모를 결정할 수 있을 것이다. 특히 북한지역과 같이 접근하기도 어렵고 수문자료가 빈곤한 지역에서는 여기서 개발한 모형을 효율적으로 적용할 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

1. 건설부, 1978, 새마을 수문조사사업.
2. 한국수자원공사, 1996, 울산권 광역상수도 사업 타당성조사 및 기본계획보고서.
3. 한국수도협회, 1997, 환경부 제정 상수도 시설 기준.
4. 노재경·김성준·정성영, 1997, 댐 규모 결정을 위한 의사결정지원시스템 개발, 한국수자원공사.
5. 노재경, 1999, 가지야마 공식의 일반화, '99년 한국수자원학회 학술발표회 논문집, 한국수자원학회, pp. 221-226.
6. 노재경, 2000, 저수량 오차를 목적함수로 한 저수지 일 유입량 모의, 한국농공학회지 Vol. 42, No. 4, 게재 예정.
7. 조재성·이광전, 1988, 농업생물 실험통계학, 선진문화사.
8. Kim, Seong Joon, Jae Kyoung Noh, 2000, Development of a decision support system for reservoir sizing, J. of the Korean Society of Agricultural Engineers, Vol. 42, No. 1, English edition, pp. 24-30.
9. Nash, J. E. and J. V. Sutcliffe, 1970, River flow forecasting through conceptual models, I. A discussion of principles, J. of Hydrology 10, pp. 292-290.