

신뢰도에 따른 저수지의 이수용량 산정

이재웅¹⁾, 임동선²⁾

1. 서론

저수지는 유수를 저장하여 물의 과다 또는 과소를 조절하는 인공시설로서 지속적인 용수공급을 위하여, 또는 하천에서 충분한 용수를 확보할 수 없을 때 중요한 용수원으로 이용된다. 하천용수보다 시설비가 비싸고 경우에 따라 수질이 떨어지는 단점은 있으나, 풍부한 수량을 지속적으로 확보할 수 있다는 장점을 보유하고 있다. 또한 저수지는 지표수 유량을 조절하여 수력발전·상수도 등의 용수로 사용할 수 있고, 홍수조절 목적으로 이용될 수 있으며, 관광지로도 개발될 수 있는 다목적성을 가지고 있어 수자원의 종합적 개발을 추진할 수 있다는 장점을 가지고 있다.

본 연구의 목적은 저수지의 일반적인 목적 중에서 용수공급 신뢰도에 따른 저수지의 용량 결정에 있다. 기존의 저수지 용량산정을 위한 최근의 연구동향을 살펴보면, Mousavi 등(2000)은 복합알고리즘을 사용하여 다목적법의 최적 용량 산정에 관한 연구를 수행하였고, 이재웅(2001)은 선형결정규칙과 추계학적 동적계획법을 이용하여 저수지 규모를 산정하였다.

본 연구에서는 선형계획법을 사용하여 최적 저수지 용량을 산정하였다. 산정된 최적의 저수용량을 바탕으로 저수지 규모를 결정하고 저수지 모의운영 후, 신뢰도에 대한 저수용량을 결정하였다. 저수지의 규모는 기존에 건설된 댐 자료를 바탕으로 가상의 저수지 자료를 구성하여 이용하였다.

2. 선형계획기법에 의한 저수지의 이수용량 산정

선형계획법은 1차식 제약으로 1차식의 목적함수를 최소화 혹은 최대화하는 최적화 기법중 하나이다. 구성된 모형을 비교적 수월하게 풀수 있으며, 전 영역 최적해를 구할 수 있다는 장점 때문에 널리 사용되고 있다. 본 연구에서는 식(1)과 같이 용수수요를 만족시키면서 저수지의 이수용량을 최소화하도록 최적모형을 구성하였다.

$$\text{Min } K_{it} \tag{1}$$

$$\text{s.t. } S_{i,t+1} = S_{i,t} + Q_{i,t} - y_t - R_{i,t}$$

1) 아주대학교 환경도시공학부 조교수
2) 아주대학교 건설교통학과 석사과정

$$S_{i,t} \leq K_a$$

여기에서 $S_{i,t}$ 는 i 년 t 기간 동안의 저류량, $Q_{i,t}$ 는 i 년 t 기간 동안의 유입량, y_t 는 t 기간 동안의 상시공급량, $R_{i,t}$ 는 i 년 t 기간 동안의 초과방류량, K_a 는 저수지 이수용량이다.

저수지 운영에서 용수공급 신뢰도란 일반적으로 저수지로부터의 용수공급이 사용자의 수요를 만족시킬 수 있는 시간의 비율로 정의할 수 있다. 특정 모의운영 기간 t 에서 모의운영의 결과를 무작위 변수 X_t 라 한다면 X_t 는 수요를 만족시키거나 만족시키지 못하는 두가지 상태로 분류할 수 있다. 모의운영의 결과가 사용자의 수요를 만족시킬 때를 S (Success), 만족시키지 못할 때를 F (Failur)라 한다면, 어떠한 기간 t 에서 모의운영의 결과는 두 상태중 하나를 따르게 된다. 신뢰도는 다음 식(2)와 같이 확률로서 표현이 가능하다.

$$\alpha = \text{Prob}[X_t \in S] \quad (2)$$

3. 모형의 적용

본 연구에서 강원도 양양군 양양읍에 가상의 저수지를 설치하고 목표년도 2011년에 속초시 양양군, 고성군에 월별 용수 수요량을 공급하기 위한 최적의 저수용량을 산정하였다. 계획급수 구역을 남대천 인근의 양양군, 속초시, 고성군으로 정한 이유는 다음과 같다. 속초시는 이용가능한 수원이 설악동의 쌍천밖에 없으나 이 유역도 지하댐을 막아 최대한 개발하고 있어 추가 개발가능한 수원이 부족한 실정이고, 고성군은 북천과 남천이 소재하고 있으나 소규모 개발만이 가능하다. 반면에 양양군은 남대천, 후천 등 비교적 풍부한 하천을 보유하고 있어 지표수와 지하수의 개발이 용이하므로 속초시와 양양군에 공급하고 남은 여유량을 고성군에 공급할 수 있을 것으로 보인다. 본 연구에서 사용된 최적 모형은 이수목적에 위하여 장기분석을 수행하기 위한 모형이므로 분석기간으로 월간운영을 택하였다. 저수지 건설 예정 지점인 어성전리 지점의 월별 유입량자료는 1987년~1997년의 실측 유량자료를 수위-유량 곡선식과 유역 면적비를 이용하여 하천 유량을 산정한 후 유역의 유출특성에 따른 손실로 발생한 강우량과 수위의 감소율을 적용하여 유량을 계산하는 비유량 분석법을 적용한 유량 자료를 사용하였다. 계획년차인 2011년 기준에서의 계획급수구역인 속초시, 양양군, 고성군의 목적별 용수 수요량은 생활용수 20.18MCM, 공업용수 1.57MCM, 농업용수 70.3MCM으로 연 92.05MCM이 예상되며 목적별 용수수요량은 아래의 표 1과 같다. (1999, 건설교통부)

식(1)의 모형을 적용하고 선형계획법을 사용하여 최적화한 결과 105.6MCM의 값을 얻었다. 이것을 기초로 적절한 이수용량을 가정하여 댐을 설계하였다. 산정된 최적의 저수용량을 바탕으로 저수지 규모를 결정하고 그에 따른 값을 HEC-5로 모의운영 후 신뢰도를 변화시키면서 저수용량의 변화를 확인하였다. 저수지 예상지점에 대한 지형자료를 구하지 못하였고, 본 논문의 목적은 방법론에 대한 예시이므로 비교적 지형과 용량이 유사한 횡성댐(총저수용량 86.9MCM)의 자료를 사용하였다.

표 1. 속초시, 양양군, 고성군 월별 용수 수요량 : 2011년 기준

(단위 : MCM)

| 구 분 | 계 | 1월 | 2월 | 3월 | 4월 | 5월 | 6월 | 7월 | 8월 | 9월 | 10월 | 11월 | 12월 |
|-----------|-------|-------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|
| 총계 | MCM | 92.05 | 2.25 | 2.25 | 2.30 | 10.42 | 13.33 | 14.45 | 14.46 | 12.87 | 9.22 | 5.95 | 2.25 |
| | CMS | 34.91 | 0.84 | 0.93 | 0.86 | 4.02 | 4.98 | 5.58 | 5.40 | 4.81 | 3.56 | 2.22 | 0.84 |
| 생활용수(MCM) | 20.18 | 1.48 | 1.48 | 1.53 | 1.53 | 1.68 | 1.75 | 1.88 | 1.98 | 2.00 | 1.88 | 1.53 | 1.48 |
| 공업용수(MCM) | 1.57 | 0.12 | 0.12 | 0.12 | 0.12 | 0.13 | 0.14 | 0.15 | 0.15 | 0.16 | 0.15 | 0.12 | 0.12 |
| 농업용수(MCM) | 70.30 | 0.66 | 0.66 | 0.66 | 8.77 | 11.52 | 12.57 | 12.44 | 10.74 | 7.07 | 3.93 | 0.66 | 0.66 |
| 하천유지(MCM) | 1.2 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 |
| 하천유지(CMS) | 0.48 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.04 |

횡성댐의 수위-면적-유량-방류량의 값을 근간으로 각각의 식을 유추하여, 이수용량이 100MCM인 가상의 댐 제원을 그림 1에 제시하였다.

신뢰도는 모의운영 후 시행착오법으로 댐 방류량과 지점 용수수요량을 비교하여 식 (2)로부터 확인할 수 있었다.

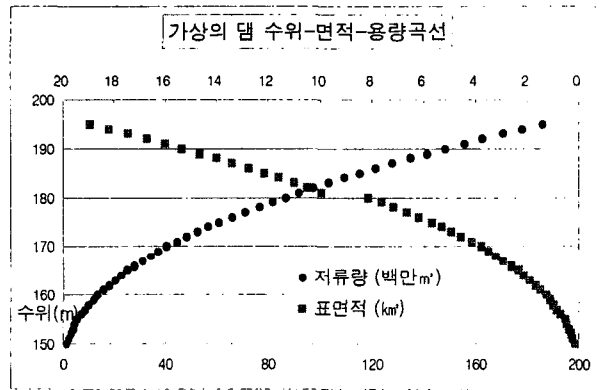


그림 1. 가상의 댐 수위-면적-용량곡선

4. 결 론

본 연구에서 표 2와 그림 2에 제시한 바와 같이 양양 남대천 일대의 자료를 바탕으로 모의운영한 결과 이수용량을 조절하여 각각의 신뢰도에 맞는 저수량을 산정할 수 있었다. 신뢰도 100%일 때의 이수용량은 113.6MCM, 99%일때는 110.7MCM, 95%일때는 74.6MCM, 90%일때는 59.9MCM, 80%일때는 33.5MCM이고 70%일 경우 13.1MCM의 결과를 얻었다. 선형계획법을 적용하여 산정한 최적의 저수량이 105.6MCM인것에 비해 신뢰도 100%일때의 저수량이 다소 크게 산정이 되었다. 이는 실제로 존재하지 않는 가상의 댐을 규모가 비슷한 횡성댐의 자료를 이용하여 저수량을 검토하는 과정과 수위 자료의 선택에 있어서 발생한 오차로 판단된다.

그림 2에서 보듯이 99% 일때와 95%일때의 저수지 용량을 비교해 보면 급격히 하강하지만, 그 이후 신뢰도 95%~70%까지는 저수지 용량이 거의 선형적으로 완만하게 줄어드는 것을 볼수 있다. 신뢰도 95%이상에서 이렇게 큰 저수지 용량이 필요한 것은 모의운영 기간동안 극심한 가뭄이 발생하였고, 단기간의 자료를 사용함에 따른 영향인 것으로 판단된다. 본 연구의 결과는 저수지 계획 단계에서 개략적으로 저수지 용량을 산정하는 목적으로 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

표 2. 신뢰도에 따른 저수지용량

| 가상의 댐 | | 표고(EL.m) | 저류량(백만 m^3) |
|-------|---------|----------|----------------|
| 최대수위 | | 195.0 | 186.0 |
| 홍수위 | | 192.0 | 163.1 |
| 상시만수위 | 신뢰도100% | 189.0 | 141.7 |
| | 신뢰도 99% | 188.5 | 138.7 |
| | 신뢰도 95% | 183.7 | 102.6 |
| | 신뢰도 90% | 180.2 | 88.0 |
| | 신뢰도 80% | 175.3 | 61.6 |
| | 신뢰도 70% | 166.8 | 41.2 |
| 사수위 | | 166.0 | 28.0 |

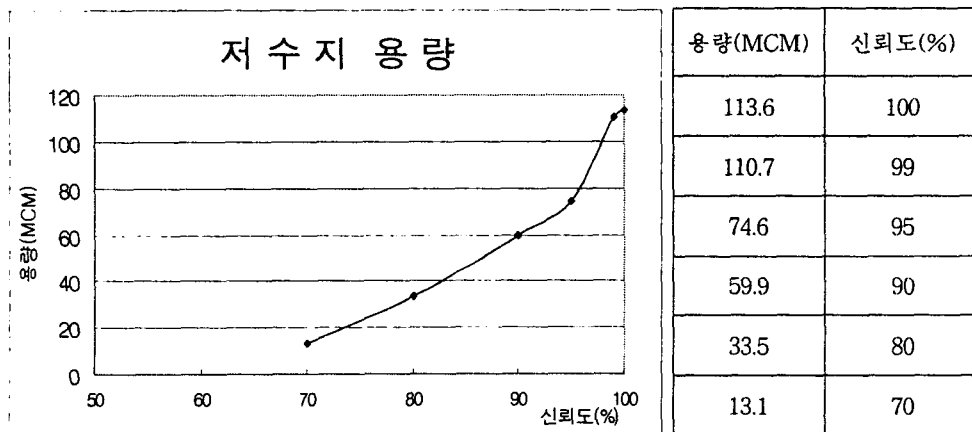


그림 2. 신뢰도-저수지 용량

5. 참고문헌

1. 건설교통부 (1999). 지표수-지하수 연계운영 시스템 개발
2. Hirard Mousavi, A.S Ramamurthy (2000). "Optimal design of multi-reservoir systems for water supply", Advances in Water Resources 23, pp. 613-624
3. 이재웅, 위희상 (2001). "선형결정규칙과 추계학적 동적계획법을 이용한 저수지 규모결정 및 운영에 관한 연구", 대한토목학회논문집. 제21권, 제2-B호, pp. 93-100