

자기회귀오차모형에 의한 농업용 저수지의 저수량 예측

°안태진¹/이훈자²/이재용³/김형수⁴/윤용남⁵

1. 서론

지역수자원관리 측면에서 볼 때 농업용 저수지의 운영실적 분석 및 개선방안은 다목적 댐의 용수 공급 스트레스를 완화시키고 지역환경 보전 및 안정적인 지역 용수 수급에 필요한 방안이다. 일반적으로 농업용저수지는 저수지유입량과 유효저수량과의 비가 다목적댐의 경우에 비하여 크므로, 유입량 및 관개수량에 따라 저수위가 대단히 민감하여 효율적인 저수지 운영이 용이하지 않다.

본 연구에서는 농업용인 고삼저수지에서 목표저수량 및 입계저수량을 설정하여 효율적인 저수지 운영의 지침으로 활용토록 하였다. 저수지 운영개선을 통하여 기존 저수지의 부존수자원의 활용을 제고하기 위해서는 우선 저수지의 저수량을 합리적으로 예측할 수 있어야 개선방안의 적용성을 제고 할 수 있다. 합리적인 저수지의 운영 방안의 수립을 위해서는 작물의 생육 시기별로 필요수량을 추정하고 저수지의 유입량, 증발량, 강수량 등을 추정하여 시기별 저수량을 예측하는 것이 원칙이지만 경제적인 제약으로 적용성이 낮은 실정이다. 따라서 본 연구에서는 저수지의 효율적인 운영을 위한 저수지의 장래 저수량을 자기회귀오차모형을 적용하여 예측하였으며, 예측 모형과 함께 저수지 운영 개선 방안을 제시코자 한다.

2. 고삼저수지의 저수량 분석

2.1 저수지 현황

1963년에 준공된 고삼저수지의 유역면적은 71.0km²이고 유효저수량은 15.15×10⁶m³이며 설계시 관개면적은 3,152ha이었으나 2001년 관개면적은 2,969ha로서 농업용저수지로는 대규모댐이라 할 수 있다. 고삼저수지의 사수위는 El. 42.5m이고 사수량은 7.35만m³이며 만수위는 El. 54.1m로 저수량은 1,522.4만m³이다. 계획홍수위는 El. 55.5m이고 저수량은 1,934.95만m³이다. 취수탑으로 방류되는 용수는 농업용수로 이용되고, 우기시 여수로로 유출되는 과잉수는 안성천으로 유입되어 평택호로 유입된다. 저수지의 준설은 주로 골계를 채취하는 목적으로 이루어지고 있고, 하류하천의 유지를 위한 방류량은 설정되지 않았으며, 저수지내 만수위를 초과하는 경우에만 하류하천에 방류하고 있는 실정이다. 비관개기에는 만수위를 유지하기 위하여 저수지를 운영하고 있으며 관개기인 4월 상순부터 관개용수를 공급하고 있어 하류하천의 건천화에 원인이 되고 있다.

2.2 저수지 저수량 분석

-
- 1) 한경대학교 토목공학과 부교수
 - 2) 평택대학교 정보통계학과 조교수
 - 3) 아주대학교 환경도시공학부 부교수
 - 4) 인하대학교 토목공학과 조교수
 - 5) 고려대학교 토목환경공학과 교수

고삼저수지에서 1990년부터 2002년까지 연도별 순별 저수량을 그림 1과 같이 2년 빈도 및 10년빈도 한발 저수량과 함께 표시하였으며, 2년빈도 및 10년빈도 한발저수량은 대수정규확률분포를 적용하여 결정하였다. 그림 1에서 보는 바와 같이 1990년부터 2002년까지 13개년 동안 고삼저수지의 시기별 저수위는 유효저수량 범위내에 있었다. 관개기에는 만수위 아래에서 수위 변화를 보여 주지만 비관개기에는 만수위를 유지하는 경우가 빈번하다. 이양기를 포함한 4월 말부터 6월 중순까지 저수위는 최저로 낮아지며 6월 하순부터는 상승 추세를 보여준다. 기계화 영농방법은 저수지 물리면적내 이양일수를 인력에 의한 모내기의 기간보다 짧게하고 이양용수량도 증가시키므로 5월 중순까지의 저수위는 더 낮아지는 추세를 보이고 있다.

농업용 저수지에서 유역으로부터 유입량 및 관개수량에 따라 민감하게 변하는 저수위의 양상은 효율적인 저수지의 운영을 어렵게 한다. 본 연구에서는 순별저수량 자료의 갈수빈도해석 통하여 과거 13개년간 순별 평균저수량과 비슷한 값을 갖는 2년빈도 한발 저수량을 목표저수량(target storage)으로 하고 10년 빈도 한발 저수량을 한계저수량(critical storage)으로 상정하여 저수지 운영 기준으로 설정하였다. 즉 한계저수량을 기준 저수량으로 하여 최소한으로 유지하고 목표저수량을 평시에 유지하는 방안이다.

3. 고삼저수지 저수량 예측

시기별 저수량은 자기회귀오차모형, ARIMA 모형 등과 같은 추계학적 모형에 의하여 예측하거나, 수문학적 모형 또는 직접관측에 의한 호내 유입량, 농업용수량, 증발량, 강수량 등을 이용하는 확정론적 모형으로 저수량을 예측할 수 있다. 자연현상을 근거로 한 확정론적 모형에 의한 저수량의 예측이 바람직하나, 다목적댐과 같은 대댐과는 달리 농업용저수지는 축적된 수문자료가 빈약하고 수문계측비용이 많이 소요되므로 확정론적 모형을 적용하기는 어려운 실정이다. 저수지에서 과거의 저수위는 강우-유출 현상의 자연적 인자와 영농방식 및 저수지 운영과 같은 인위적인 인자가 서로 조화롭게 반영된 것이라 할 수 있다. 따라서 과거 1996년부터 2001년까지 6개년의 순별 저수량 계열을 이용하고 자기회귀오차모형에 의하여 저수율을 예측하고자 한다.

3.1 자기회귀오차모형에 의한 저수량 예측

관심 있는 시계열자료 Y_t 를 예측하고자 할 때, AR모형, ARIMA 모형 등과 같이 Y_t 자체만을 사용하여 예측할 수도 있으나 Y_t 와 관련 있는 설명변수들을 적용함으로써 예측의 효과를 높일 수도 있으며 다음과 같은 모형으로 나타낼 수 있다.

$$Y_t = \beta_0 + \beta_1 X_{1t} + \beta_2 X_{2t} + \dots + \beta_k X_{kt} + e_t$$

여기서 $e_t \sim \text{i.i.d. } N(0, \sigma^2)$, e_t 는 독립이며 정규분포를 갖는다.

시계열자료를 분석 할 경우, 종종 오차항 e_t 가 독립이 아니라, 종속인 경우를 흔히 접하게 된다. 즉, 오차항이 시간에 따른 자기상관관계(autocorrelation)를 갖는 경우이다. 이 경우에는 회귀분석(regression model)의 사용은 적절하지 못하다. 오차항이 자기상관관계를 갖는 경우의 분석중의 하나가 자기회귀오차모형(autoregressive error model)이며 SAS에서 autoreg 절차를 사용하였다.

일반적인 자기회귀오차모형은 다음과 같다.

$$Y_t = \beta_0 + \beta_1 X_{1t} + \beta_2 X_{2t} + \dots + \beta_k X_{kt} + e_t$$

여기서 오차항, $e_t = \epsilon_t + \phi_1 e_{t-1} + \phi_2 e_{t-2} + \dots + \phi_m e_{t-m}$ 이고 $\epsilon_t \sim \text{i.i.d. } N(0, \sigma^2)$ 이다. ϵ_t 는 독립이며 정규분포를 갖는다. 즉 오차항 e_t 가 서로 독립이 아니라 시차에 따른 자기상관관계를 갖으며 특히 AR 모형 (autoregressive model, 혹은 자기회귀모형)을 따른다하여, 이 모형을 자기회귀오차모형이라고 한다.

3.2 자기회귀오차모형에 의한 저수량 예측

저수지 운영개선을 통하여 기존 저수지의 저수율 및 타목적 용수공급능력을 제고하기 위해서는 우선 저수지 저수량을 합리적으로 예측할 수 있어야 개선방안을 제시할 수 있다. 그러므로 저수지의 시기별 저수량과 관개면적, 강수량, 최고온도와 상관관계를 분석하고 자기회귀오차모형에 의하여 관개면적, 강수량, 및 최고온도를 적용하여 저수율을 예측하는 모형을 제시하였으며 다음 식과 같다.

$$S_t = 0.895 S_{t-1} + 0.097A + 1.152P - 5.126T + \epsilon_t; \quad \epsilon_t = 0.168 \epsilon_{t-1} + 0.230 \epsilon_{t-6}$$

여기서 S=저수량, A=관개면적, P=강수량, T=최고온도이다. 강수량은 유역으로부터의 유출량, 논경작지 공급수량(유효우량), 저수량 등에 영향을 미치고 최고온도는 저수지 수면으로부터의 증발량, 논에서의 소비수량 등에 영향을 준다. 또한 강수량 및 최고온도는 비교적 용이하게 예측되는 기상자료이므로 제안된 모형은 실무에서 시기별 저수량을 비교적 쉽게 예측할 수 있는 장점이 있다.

제안된 관계식은 이전 시차1의 실제저수량이 적용되므로 추정된 저수량의 오차는 임의의 시기에 제한되므로 오차가 누적되지 않는다. 또한 제안된 관계식은 저수지의 연속방정식과 유사한 관계식으로 유도되어 실제 저수지의 저수량 예측에 있어서 그 적용성이 높을 것으로 판단된다. 표 1은 제안된 모형에 의하여 고삼저수지의 2002년 관개기에 실제저수량과 추정된 예측치를 나타내었다. 순별저수량은 일저수량으로 보면 약 5% 내외의 편차를 수반하고 있어 예측된 저수량의 적용성은 비교적 높은 것으로 판단된다.

표 1. 고삼저수지 2002년 저수량 및 예측치(만m³)

	4월			5월			6월		
	실측치	추정치	잔차	실측치	추정치	잔차	실측치	추정치	잔차
상순	1178.7	1144.9	33.8	1498.3	1280.4	217.9	946.9	1164.3	-217.4
중순	1205.9	1192.1	13.8	1434.7	1421.1	13.6	878.7	956.6	-77.9
하순	1236.2	1278.4	-42.2	1208.9	1342.9	51.0	778.7	832.6	-53.9
	7월			8월			9월		
	실측치	추정치	잔차	실측치	추정치	잔차	실측치	추정치	잔차
상순	734.8	924.7	-189.9	1115.0	1258.5	-143.4	1380.2	1214.8	165.4
중순	804.5	811.2	-6.7	1389.3	1023.7	-365.6	1331.7	1292.2	39.5
하순	1005.9	845.9	160.0	1325.7	1377.5	-51.8	1365.0	1226.0	-139.0

4. 농업용 저수지 운영 방안

그림 1에서 현재 및 예측저수량이 목표저수량 위에 있을 경우에만 타목적 용수 이용을 고려한다. 그러나 현재 물 관리기관인 농업기반공사는 하천유지용 방류를 위한 이렇다할 동기가 없다. 왜냐하면 농업용수 물값도 정수하지 않고 있으며, 무상 하천유지용 방류를 한 이후에 혹시라도 단기간 농업용수 공급이 원활하지 않음으로 인하여 농민단체에 의한 민원 제기 우려로 인하여 하천방류에 관하여 소극적으로 대응할 가능성이 많다.

예상 강수량, 최고온도 및 관개면적을 고려한 자기회귀오차모형에 의하여 다음 순(旬)동안 저수량을 예측한다. 제안된 저수지의 운영방안의 최종 목표는 농업용수 공급을 우선으로 하고 타목적용수(생공용수, 하천유지용수 등)의 이용 가능성을 모색하는 것이다. 농업용 저수지의 운영은 일반적으로 평년기준으로 설정한 시기별 급수계획에 따라 용수공급을 하고 있으며 방류량 기록도 충분하지 않은 실정이다. 따라서 저수지에서 과거의 저수위 기록을 근거로 하여 설정된 목표저수량 및 한계저수량의 범위를 목표로 저수량 및 하천 방류량을 증대할 수 있는 운영방안을 다음과 같이 제안하고자 한다.

(1) 현재의 일저수량이 목표저수량보다 큰 경우:

목표저수량보다 많은 저류량이 예측된다면 하류하천으로 방류(타목적용수 이용)한다.

(2) 현재의 저수량이 한계저수량과 목표저수량 사이에 있을 때:

- i) 예측된 순저수량이 현재저수량보다 많다면 증가되는 것으로 평가된 저수량을 농업용수로 방류
- ii) 예측된 순저수량이 현재저수량보다 같거나 작다면 최소한의 농업용수(요청되는 수량)만 방류
- (3) 현재의 저수량이 한계저수량 보다 작은 경우 : 저수지로부터의 방류 중단

5. 요약

저수지의 시기별 저수량과 관계면적, 강수량, 최고온도와의 상관관계를 분석하고 자기회귀오차모형에 의하여 관계면적, 강수량, 및 최고온도를 적용하여 저수율을 예측하는 모형을 제시하였다. 모형에서 적용되는 강수량 및 최고온도는 비교적 용이하게 예측되는 기상자료이므로 제안된 모형은 실무에서 시기별 저수량을 비교적 쉽게 예측할 수 있는 장점이 있다. 자기회귀모형에 의한 관계식은 이전 시차1의 실제저수량이 적용되므로 추정된 저수량의 오차는 임의 시기에 제한되므로 오차가 누적되지 않는다. 또한 제안된 관계식은 수문학적 견지에서 저수지의 연속방정식과 유사한 관계식으로 유도되어 실제 저수지의 저수량 예측에 있어서 그 적용성이 높을 것으로 판단된다.

감사의 글

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

참고문헌

1. 박유성, 허명희 (1996). 시계열 자료분석, 자유아카데미.
2. 조신섭, 이정형 (1997). SAS/ETS를 이용한 경제시계열 분석, 자유아카데미.

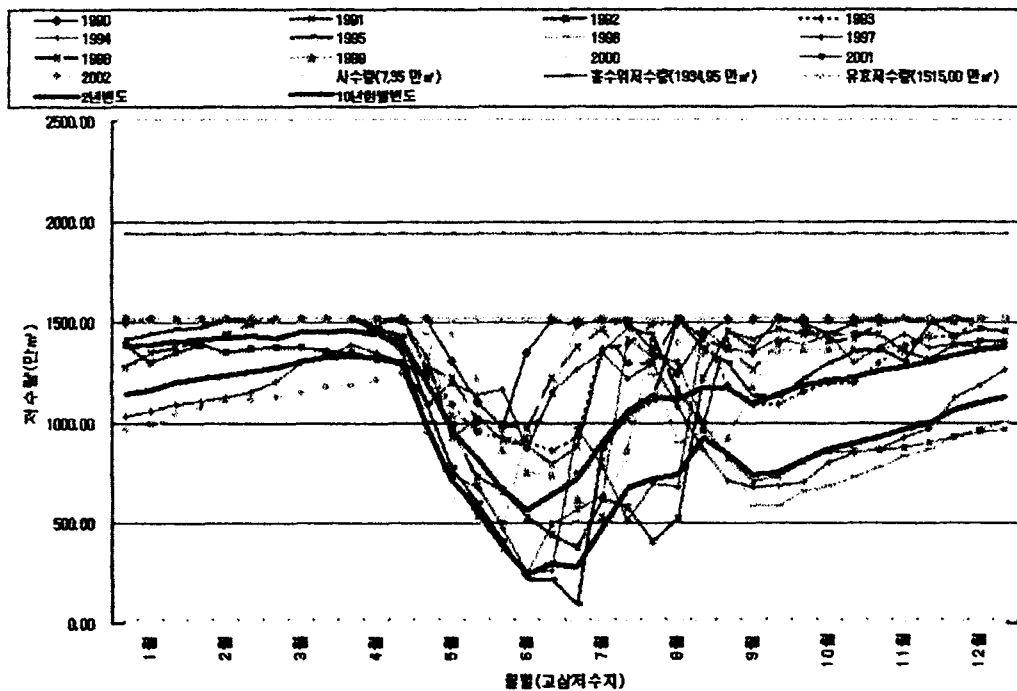


그림 1. 고삼저수지 연도별 및 빈도별 저수량('90-'02)