

## 농업용 저수지에서 저수량 예측 모형과 연계한 저수지 운영 개선 방안의 모색

### A Reservoir Operation Plan Coupled with Storage Forecasting Models in Existing Agricultural Reservoir

안 태 진\* / 이 훈 자\*\* / 이 재 영\*\*\* / 이 재 응\*\*\*\* / 윤 용 남\*\*\*\*\*

Ahn, Taejin · Lee, Hoonja · Lee, Jae Young · Yi, Jae Eung · Yoon, Yong Nam

#### Abstract

This paper presents a reservoir operation plan coupled with storage forecasting model to maintain a target storage and a critical storage. The observed storage data from 1990 to 2001 in the Geum-Gang agricultural reservoir in Korea have been applied to the low flow frequency analysis, which yields storage for each return period. Two year return period drought storage is then designated as the target storage and ten year return period drought storage as the critical storage. Storage in reservoir should be forecasted to perform reasonable reservoir operation. The predicted storage can be effectively utilized to establish a reservoir operation plan. In this study the autoregressive error (ARE) model and the ARIMA model are adopted to predict storage of reservoir. The ARIMA model poorly generated reservoir storage in series because only observed storage data were used, but the autoregressive error model made to enhance the reliability of the forecasted storage by applying the explanation variables to the model. Since storages of agricultural reservoir with respect to time have been affected by irrigation area, high or mean temperature, precipitation, previous storage and wind velocity, the autoregressive error model has been adopted to analyze the relationship between storage at a period and affecting factors for storage at the period. Since the equation for predicting storage at a period by the autoregressive error model is similar to the continuity equation, the predicting storage equation may be practical. The results from compared the actual storage in 2002 and the predicted storage in the Geum-Gang reservoir show that forecasted storage by the autoregressive error model is reasonable.

**Keywords** : target storage, critical storage, autoregressive error model, ARIMA model

- \*    환경대학교 토목공학과 부교수  
Associate Prof., Dept. of Civil Engrg., Hankyong National Univ., Ansung, Kyonggi 456-749  
(E-mail : ahntj@hnu.hankyong.ac.kr)
- \*\*   평택대학교 정보통계학과 조교수  
Assistant Prof., Dept. of Information Statistics, Pyongtaek Univ., Pyongtaek, Kyonggi 450-701
- \*\*\*   환경대학교 토목공학과 석사과정  
Graduate Student, Dept. of Civil Engrg., Hankyong National Univ., Ansung, Kyonggi 456-749
- \*\*\*\*   아주대학교 환경도시공학부 부교수  
Associate Prof., Dept. of Envir. and Urban Engrg., Ajou Univ., Suwon Kyonggi 442-749
- \*\*\*\*\*   고려대학교 토목환경공학과 교수  
Prof., Dept. of Civil and Envir. Engrg., Korea Univ., Seoul 136-701

## 요 지

본 연구에서는 농업용 저수지에서 저수량 예측모형과 함께 저수지의 목표저수량 및 한계저수량을 유지하기 위한 저수지 운영방안을 제시하였다. 대상저수지인 금광저수지에서 1990년부터 2001년까지의 저수량 자료를 이용하여 갈수빈도해석을 적용하고, 2년빈도 한발저수량을 목표저수량(target storage)으로, 10년빈도 한발저수량을 한계저수량(critical storage)으로 설정하였다. 농업용 저수지의 운영의 효율화를 위해서는 우선 합리적인 방법을 통하여 장래 저수량을 예측하여야 한다. 예측된 저수량은 저수지 운영에 관한 계획을 수립하는데 기초자료로 활용될 수 있다. 본 연구에서는 저수량 예측모형으로 ARIMA 모형과 자기회귀오차모형을 적용하였다. ARIMA 모형은 과거 저수량 자료를 근거로 하여 저수량을 예측함으로써 예측정도가 상대적으로 낮은 것으로 나타난 반면, 자기회귀오차모형은 저수량과 관련 있는 설명변수들을 이용함으로써 예측의 효과를 높일 수 있었다. 농업용 저수지의 저수량은 이전 저수량, 강수량, 평균온도, 최고온도, 관개면적, 풍속, 습도의 영향을 받으므로 자기회귀오차모형을 적용하여 저수량과 저수량에 영향을 미치는 요인과의 관계를 분석하였다. 자기회귀오차모형에 의한 저수량 예측 관계식은 저수지의 연속 방정식과 유사한 관계식으로 유도되어 실제 적용성이 높을 것으로 판단되며, 금광저수지에서 예측된 2002년도 저수량과 관측된 저수량을 비교한 결과, 양호한 예측결과를 보여 주었다.

**핵심용어** : 목표저수량, 한계저수량, 자기회귀오차모형, ARIMA 모형

## 1. 서 론

기존 농업용 저수지의 효율적인 운영에 의한 용수공급 능력 제고는 지역 수자원 관리를 통하여 대규모 다목적 댐의 용수 공급 스트레스를 완화시키고 지역환경보전 및 안정적인 지역 용수 공급에 기여한다. 대부분 농업용 저수지는 계획단계에 있어서 하천유지유량 및 저수지 건설전의 하류측 수리권에 관한 고려가 없었으며, 1990년도 중반부터 하천유지유량의 일부분을 농업용댐 계획시 고려하고 있다(농림수산부, 1989, 2002)(농림부, 1999). 대부분의 농업용저수지는 하류측에 대한 의무방류 규정이 없으므로 하류하천의 수량감소에 영향을 미친다. 농업용 저수지의 운영을 살펴보면 비관개기에는 저수지의 담수에 치중하고 관개기에는 경지에 농업용수만 공급함에 따라 하류하천의 수량감소의 원인으로 진단되고 있다(농업기반공사, 1990-2002)(과학기술부, 2003).

2000년부터 농업용수의 수세를 징수하고 있지 않아 관리손실의 증가를 예상할 수 있으며, 저수지로부터의 관개면적이 집계되지 않음으로 인하여 효율적인 저수지 운영이 어렵게 되고 있다. 또한 수세 면제에 따른 유지관리비의 확보가 어려워 시설물이 노후화되어 기능이 저하되고 있다. 유역으로부터 유출량에 비하여 저수량과 농업용수 공급량이 지나치게 큰 저수지의 하류는 홍수기에도 월류량이 없을 수 있으며, 하류지역의 지하수위가 저하함에 따라 하류하천의 건천화가 가속된다. 농업환경 변화에 따라 관개면적 감소로 인한 하류하천으로의 방류 능력이 일부만 가능하여도 무상으로 방류해

야 하므로 방류할 동기부여가 없는 실정이다. 더구나 농업용 수원공에서 농업용수와 용수를 유상으로 공급함으로써 하류하천의 건천화가 촉진되고 있다(농림부, 2001). 그러므로 하천의 최소한의 환경 조성을 위해서는 합리적인 저수지 운영을 통하여 하천유지용 방류수를 증대하는 방안을 모색하여야 할 시점이다. 제안되는 저수지의 개선된 운영방안의 목표는 농업용수 공급을 우선으로 하고 하천유지용수를 위한 방류량의 가능성의 파악하기 위함이다.

저수지 운영개선을 통하여 기존 저수지의 용수공급 능력을 제고하기 위해서는 우선 저수지 저수량을 합리적으로 예측할 수 있어야 개선방안을 제시할 수 있다. 합리적인 저수지의 운영 방안의 수립을 위해서는 작물의 생육 시기별로 필요수량을 결정하고 저수지의 유입량, 증발량, 강수량 등을 산정하여 시기별 저수량을 예측하는 확정론적 모형의 적용이 타당하다. 즉, 농업용 저수지의 수요 및 공급 양상을 파악하여, 저수지 운영을 개선하는 방안을 제안함으로써 기존 저수지의 용수공급 능력을 제고할 수 있다. 농어촌진흥공사(1993, 1994)는 저수지의 수위를 원격측정하여 저수량과 저수율에 대한 자료를 실시간으로 제공하는 시스템을 개발하였으며 경기도 안성시에 소재하고 있는 용설, 장계 및 덕산저수지와 화성군에 설치되어 있는 반월저수지를 시험저수지로 하였다. 농어촌진흥공사(1998)는 성주 농업용댐에서의 저수지와 간선 용수로를 원격측정 및 원격제어를 통한 관리 시스템 설계에 관한 조사 및 연구를 수행하였다. 그러나 농업용 저수지는 축적된 수문자료가 빈약하고, 다목적댐과 같은 대댐과는 달리 농업용

저수지 및 관개면적에 비하여 수문계측기 설치 및 운영에 소요되는 비용이 과다하여 그와 같은 직접 관측된 수문자료를 이용한 확정론적 모형의 적용은 현실적으로 어려움이 많은 실정이다. 안성섭 등(1997)은 tank모형으로 월유출량을 추정하고 누가곡선법과 추계학적방법 중에서 TPM모형을 이용하여 농업용 저수지의 용수공급 능력을 평가하였다. 김태철 등(1992)은 기준저수량곡선과 방류제한저수량곡선에 의한 이수관리방법을 제안하였으며, Liang 등(1996)은 저수지 운영에 자기회귀결정법칙(autoregressive decision rule)을 적용하여 용수공급 신뢰도를 제고하였다.

본 연구에서는 시계열분석의 고전적인 방법인 ARIMA 모형(Auto-Regressive Integrated Moving Average Model)과 회귀분석 방법을 시계열 자료에 적용한 자기회귀오차모형(Autoregressive Error Model, ARE)의 두가지 시계열 모형으로 시기별 저수량을 예측하였다. 대상 저수지로는 경기도 안성시에 소재하고 있는 금광저수지를 선정하고, 과거 순별 저수량 계열을 이용하여 자기회귀오차모형 및 ARIMA 모형에 의하여 저수율을 예측하였으며, 저수지의 목표저수량 및 한계저수량을 유지하기 위한 저수지 운영방안을 모색하였다.

## 2. 금광 저수지의 저수량 분석

대상저수지로 선정된 금광저수지는 경기도 안성시 일원에 소재하고 있고 농업용수 공급을 목적으로 1961년에 준공되었다. 금광저수지의 유역면적은 48.3km<sup>2</sup>이고 유효저수량은 10.55×106m<sup>3</sup>이며 2000년 기준으로 관개면적은 1,885ha (1961년 : 2,134ha)로서 농업용저수지로는 대규모댐이라 할 수 있다. 1999년에 여수로 구조개선사업으로 높이가 7m이고 폭이 6m인 수문 4련을

설치하였다. 관리수위는 68.0 EL. m이며 홍수위는 69.5 EL. m이다. 금광저수지의 취수탑으로 방류되는 용수는 농업용수로 이용되고, 우기시 수문을 통하여 유출되는 과잉수는 안성천으로 유입되어 평택호로 유입된다.

그림 1에는 금광저수지에서 1990년부터 2002년까지의 연도별 저수량, 추정된 목표저수량, 한계저수량 등을 표시하였다. 그림 1과 같이 금광저수지에서의 저수위를 살펴보면 관개기에는 만수위 아래 수위 변화를 나타내지만 비관개기에는 만수위를 유지하는 경우가 빈번하다. 유역으로부터 유입량 및 관개수량에 따라 저수위가 대단히 민감하여 효율적인 저수지 운영이 쉽지 않다. 4월 말부터 6월 중순까지는 이앙기를 포함하여 통상 저수위는 최저로 낮아지며 6월 하순부터는 상승 추세를 보여준다. 한편 근래에 도입되고 있는 기계화 영농방법은 저수지 물리면적내 이앙일수를 인력에 의한 모내기 기간보다 짧게하고 이앙용수량도 증가시키므로 5월 중순까지의 저수위는 더 낮아지는 추세를 보이고 있다.

금광저수지에서 1990년부터 2001년까지의 순별 저수량을 이용하여 갈수빈도해석을 수행하고 2년빈도 한발저수량에 해당하는 것은 목표저수량(target storage), 10년빈도 한발저수량은 한계저수량(critical storage)으로 설정하였다(과학기술부, 2003). 본 연구에서는 1990년부터 2002년까지 13개년의 순별 저수량으로 갈수빈도해석을 통하여 목표저수량 및 한계저수량을 분석한 결과, 앞서 12개년의 경우의 결과와 비교하면 대략 5%내외의 변화가 있었다. 금광저수지에 관한 2002년 일저수량 기록에 의하면 각 순단위 시간간격 내에서 일최대저수량과 일최소저수량의 차이는 약 5% 내외이다(농업기반공사, 2002). 농업용저수지에서 저수지 운영방안은 순단위로 수립하였으며 순단위 시간간격에 대한 일단위 저수

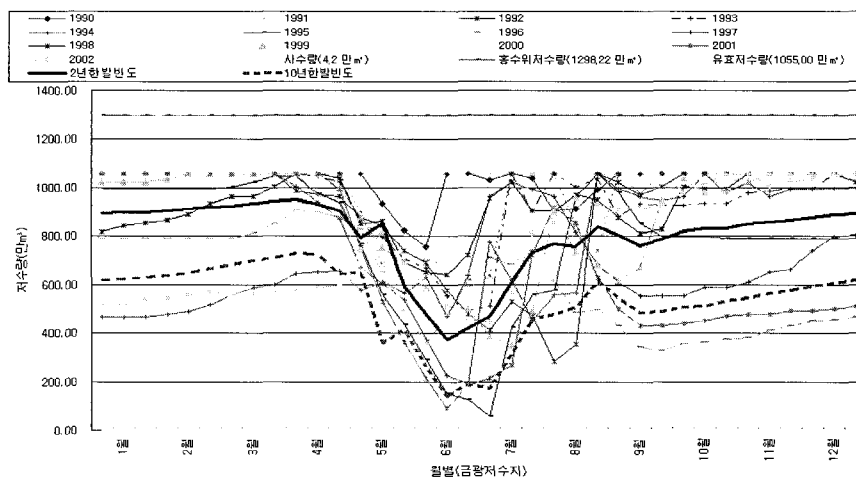


그림 1. 금광저수지 연도별 저수량('90-'02)

량의 편차는 약 5% 내외이므로 12년 또는 13년 분석기간에 의한 목표저수량 및 한계저수량의 차이는 실제 저수지 운영에 있어서 수용할 만하다.

저수지에서 과거의 저수량 기록은 강우-유출 현상의 자연적 인자와 영농방식 및 저수지 운영과 같은 인위적인 인자가 서로 조화롭게 반영된 것이라 할 수 있음에, 설정된 목표저수량 및 한계저수량의 타당성을 부여할 수 있다. 금광저수지에서 한계저수량과 목표저수량 사이의 저수량을 농업용수 공급을 위한 저수량으로 하여 저수관리를 위한 저수량 밴드(band)로 지정하고 목표저수량 위의 저수량은 타목적용수로 이용하도록 하는 방안을 모색코자 한다.

### 3. 농업용 저수지의 저수량 예측

#### 3.1 저수량 예측의 필요성

기존 저수지의 용수공급의 능력을 제고하기 위해서는 우선 저수지 저수량을 합리적으로 예측할 수 있어야 기존 저수지 운영방식을 개선할 수 있다. 합리적인 저수지의 운영 방안 수립을 위해서는 작물의 생육 시기별로 필요수량을 추정하고 저수지의 유입량, 증발량, 강수량 등을 추정하여 시기별 저수량을 예측하는 것이 원칙이지만 경제적인 제약으로 적용하고 있지 않는 실정이다.

본 연구에서는 금광저수지의 저수량을 1990년부터 2001년까지의 12년 자료를 분석하여 적합한 시계열자료의 모형을 설정하고, 이를 토대로 2002년 저수량을 예측하고자 한다. 저수량 분석 방법으로는 1990년부터 2001년까지의 자료를 시계열 모형인 자기회귀오차모형(Autoregressive Error Model, ARE)과 ARIMA 모형(Auto-Regressive Integrated Moving Average Model)으로 분석하였다. 조진섭과 이정형(1997)은 각 모형의 장·단점을 지적하였다. 농업용 저수지의 저수량은 관계면적, 강수량, 평균온도, 최고온도, 풍속, 습도 등의 영향을 받으므로 본 연구에서는 저수량 분석에서 저수량에 영향을 주는 요인들을 찾아내는 시계열 모형인 자기회귀오차모형을 적용하였다.

ARIMA 모형은 분석대상의 시계열자료를 설명하기 위하여 현재의 관측값을 자기 자신의 관측값과 오차의 현재와 과거의 값들만을 이용하므로 어떤 단일변량 시계열에도 적용이 가능하며 예측값을 쉽게 구할 수 있다는 장점이 있다. 반면에 분석대상이 되는 자료와 밀접한 관련이 있는 다른 시계열자료들이 있어도 회귀분석의 경우처럼 설명변수로 이용될 수 없는 단점이 있다. 자기회귀오차모형은 ARIMA 모형의 단점을 보완하여, 분석의 대상이 되는 반응시계열을 자기 자신의 과거의

값, 오차의 현재와 과거의 값 들 이외에 다른 시계열들을 설명변수로 이용하여 설명할 수 있도록 하는 장점이 있다. 금광저수지 저수량 분석에서는, 설명변수로 관계면적, 강수량, 최고온도, 평균온도를 고려한 자기회귀오차모형을 실시하였다. 이런 장점을 지닌 자기회귀오차모형은 반면에 예측을 위해서는 먼저 예측하고자 하는 기간동안의 설명변수의 예측값이 필요하다.

3.2절에서는 자기회귀오차모형을 이용한 금광저수지 저수량 예측을, 3.3절에서는 ARIMA모형을 이용한 금광저수지의 저수량을 예측하여 비교 분석한다.

#### 3.2 자기회귀오차모형에 의한 저수량 예측

##### 3.2.1 자기회귀오차모형

##### (Autoregressive Error Model, ARE)

일반적으로 하나 이상의 설명변수들이 반응변수에 미치는 영향의 정도와 방향을 파악하고, 설명변수의 변화에 따른 반응변수를 예측하기 위한 통계기법으로 회귀분석(regression analysis)이 많이 사용된다. 회귀분석을 이용하여 자료를 분석할 때 오차항이 서로 독립이라는 가정을 한다. 그러나, 시계열 자료를 회귀모형에 적합시킬 때 오차항들이 시간에 따른 자기상관관계를 갖게 되는 경우가 많다. 이 경우 자기회귀오차모형(auto-regressive error model, ARE model)이 적합하며 일반적인  $k$ 차 자기회귀오차모형(auto-regressive error model)은 다음과 같다.

$$Y_t = \beta_0 + \beta_1 X_{t1} + \beta_2 X_{t2} + \dots + \beta_p X_{tp} + \varepsilon_t \quad (1)$$

$$t = 1, 2, \dots, n \text{ 이며,}$$

$$\varepsilon_t = e_t - \phi_1 \varepsilon_{t-1} - \phi_2 \varepsilon_{t-2} - \dots - \phi_k \varepsilon_{t-k} \quad (2)$$

$$e_t \sim \text{i.i.d. } N(0, \sigma^2). \quad (3)$$

식 (1)에서  $Y_t$ 는 반응변수로 금광저수지 저수량을 나타내며,  $X_{tp}$ 는 저수량에 영향을 미치는 설명변수들로 강수량, 최고온도, 평균온도, 관계면적, 풍속, 습도를 상정하여 분석하였다.

자기회귀오차모형이 일반 회귀모형과 다른 점은 식 (2)의 오차항  $\varepsilon_t$ 가 회귀모형에서와 같이 독립이지 않고 시차에 따른 자기상관관계를 가지며, 이 경우  $k$ 차 자기회귀오차모형인 ARE( $k$ )를 따른다는 사실이다. 식 (3)의 의미는 다른 오차항  $e_t$  들은 서로 독립이며 정규 분포를 갖으며 평균은 0이고 분산은  $\sigma^2$ 로 동일하다는 것을 의미한다.

본 연구에서는 SAS의 AUTOREG 절차를 이용하여

분석하였다. 모형의 적합성 여부를 검정하는 오차항들 간의 자기상관관계 존재여부에 대해서는 통계적 유의성 검정인 Durbin-h 검정을 이용하였다. 오차항의 자기상관구조를 파악하는 데는 잔차그림, 잔차에 대한 자기상관함수(ACF) 및 편자기상관함수(PACF)를 이용하였다. 모형의 설명력을 나타내는 척도로는 결정계수인  $R^2$ 을 사용하였다. 결정계수는 자기회귀모형이 금광저수지 저수량  $Y_t$ 를 얼마나 잘 설명하는 정도를 나타내는 척도로 결정계수 값이 1에 가까울수록  $Y_t$ 를 잘 설명하고 있다는 것을 의미한다.

### 3.2.2 자기회귀오차모형에 의한 저수량 예측

금광저수지의 시기별 저수량과 설명변수로 사용된 관계면적, 강수량, 평균온도, 최고온도, 풍속, 습도와 의 연관성을 분석한 결과, 자기회귀오차모형에서 관계면적, 풍속 및 습도는 유의성이 결여되는 변수로 나타났다. 설명변수간 다중공선성을 고려해 평균온도를 모형에서 제외하였다. 따라서 금광저수지 저수량 자료의 자기회귀오차모형에서는 강수량과 최고온도를 설명변수로 사용하여 저수량을 예측하는 모형으로 분석하였다. 여기서 강수량은 유역으로부터의 유출량, 유효우량으로서의 논경작지 공급수량, 저수량 등에 영향을 미치고 최고온도는 저수지 수면으로부터의 증발량, 논에서의 소비수량 등에 영향을 준다. 또한 강수량 및 최고온도는 비교적 용이하게 예측되는 기상자료이므로 제안된 모형은 실무부서에서 시기별 저수량을 비교적 쉽게 예측할 수 있는 장점이 있다.

금광저수지 저수량 분석에 사용된 저수량, 강수량, 최고온도의 기술통계는 다음과 같다. 1990년 1월부터 2001년 12월까지 12년간 관측된 금광저수지 순별 저수량의 최대값은 1,055 만 $m^3$ , 최소값은 55.92 만 $m^3$ , 그리고 평균값은 835.41 만 $m^3$ 이다. 순별 강수량의 최대값은 516mm, 최소값은 0, 평균치는 37.7mm이었으며 순별 최고온도의 최대값은 35.3  $^{\circ}C$ , 최소값은 -2.5  $^{\circ}C$ , 평균값은 17.5  $^{\circ}C$ 이었다. 안성시의 강수량 및 최고온도는 미계측된 것이 많아 결측자료가 없는 수원기상대의 자료를 이용하였다.

저수량  $S_t$ 에 관한 자기회귀오차모형을 통계 package인 SAS로 분석한 결과, 금광저수지에서 1990년부터 2001년까지 가장 적합한 모형은 다음과 식 (4)와 같다.

$$S_t = 114.03 + 0.897 S_{t-1} + 0.78 P_t - 3.46 T_t + \varepsilon_t$$

이며 (4)

오차항

$$\varepsilon_t = -0.0978 \varepsilon_{t-6} + 0.2597 \varepsilon_{t-35} + 0.1719 \varepsilon_{t-36}$$

$$+ 0.1308 \varepsilon_{t-37} + e_t \text{이다.}$$

식 (4)에서  $S_t$ = $t$ 순의 저수량(만 $m^3$ ),  $S_{t-1}$ = $t-1$ 순의 저수량(만 $m^3$ ),  $P_t$ =강수량(mm),  $T_t$ =최고온도( $^{\circ}C$ )를 의미한다.

식 (4)에서 설명변수로 사용한  $S_{t-1}$ ,  $P_t$  및  $T_t$ 의 p-value는 모두 0.0001 보다 작으므로, 설명변수는 모두 유의수준  $\alpha=0.05$  수준에서 유의하다. 즉 저수량  $S_t$ 를 설명하는데  $S_{t-1}$ ,  $P_t$ ,  $T_t$ 는 매우 중요한 변수이다. 식 (4) 모형의 설명력을 의미하는 결정계수  $R^2$  값은 0.86이므로, 유도된 자기회귀오차 모형은 금광저수지의 저수량에 관하여 86% 설명할 수 있어 설명력이 매우 높다고 볼 수 있다. 모형의 진단을 위하여는 잔차의 독립성을 3가지 방법으로 검정하였다. 첫째, 과거 시점의 종속변수인 저수량  $S_{t-1}$ 가 설명변수로 사용되었기 때문에 잔차검정에서 Durbin-h 검정을 하였고 p-value 가 0.1748로 나와 잔차의 독립성은 잘 만족된다. 둘째, Box-Ljung값의 p값이 모두 0.1 이상이어서 독립성이 만족되었고, 셋째, 그림 (2)와 같이 자기상관함수(autocorrelation function, ACF)와 편자기상관함수(partial autocorrelation function, PACF)를 보면 신뢰한계를 크게 벗어나는 계수가 전체 108개중 5%이하이므로 잔차의 독립성은 잘 만족된다. 그러므로 식 (4)의 저수량에 관한 자기회귀오차모형은 적합한 모형으로 분석되었다.

그림 (3)은 저수량 관측치와 자기회귀오차 모형에 의한 추정치를 시도표로 나타낸 것으로, 전반적으로 추정치가 실제 관측치에 근접한 것으로 나타났고, 특히 최근 자료인 2000년과 2001년에도 매우 근접한 것으로 나타났다. 제안된 저수량에 관한 식 (4)는 이전 시차1의 실제저수량이 적용되어 추정된 저수량의 오차는 임의 시기에 제한되므로 오차가 누적되지 않는다. 또한 제안된 관계식은 저수지의 연속방정식과 유사한 관계식으로 유도되어 실제 저수지의 저수량 예측에 있어서 그 적용성이 높을 것으로 판단된다.

유도된 식 (4)의 자기회귀오차모형의 분석기간은 1990년부터 2001년까지이므로 이 식을 이용하여 본 연구에서는 다음과 같은 절차로 금광저수지에서 2002년 저수량을 예측하였다.

#### 자기회귀오차모형에 의한 2002년 저수량의 예측

step 1. 금광저수지 모형(식 4)에 의하여 2002년 1월 상순 저수량을 예측한다.

step 2. 2002년 1월 상순 말에 1990년부터 2002년 1월 상순의 관측된 저수량, 강수량 및 최고온

도를 이용하여 새로운 금광저수지 저수량

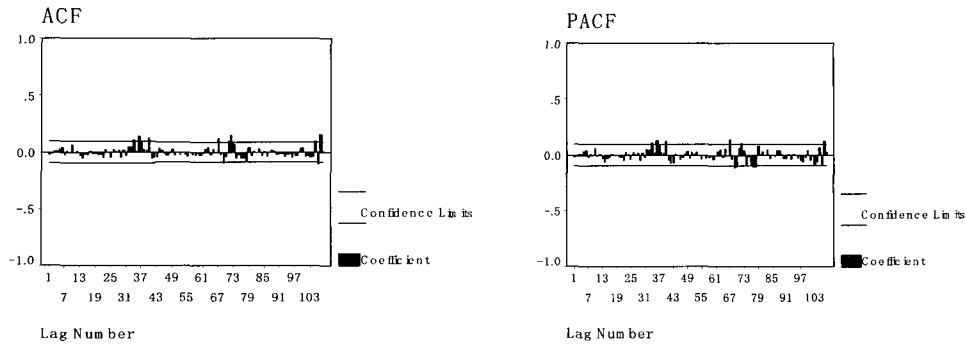


그림 2. 자기회귀오차모형의 잔차 ACF와 PACF

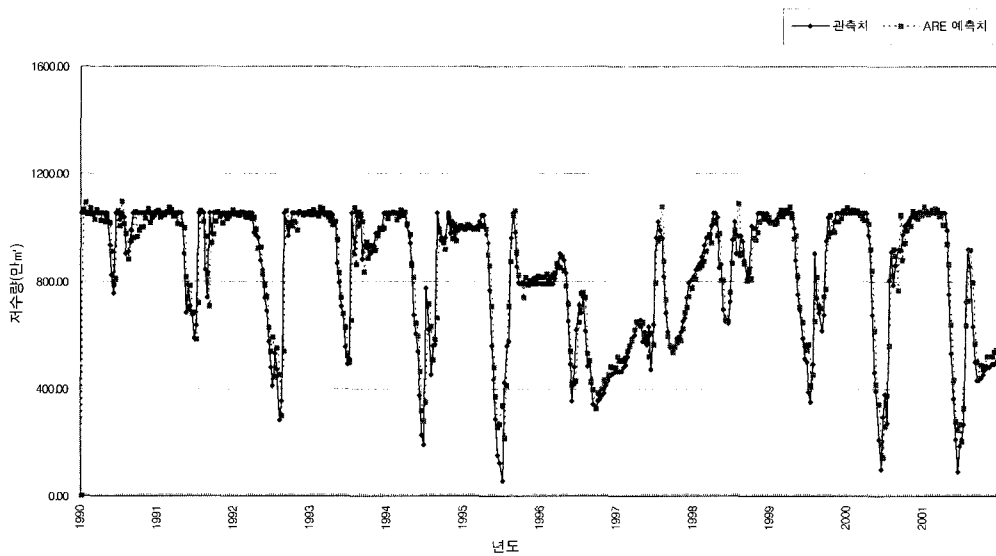


그림 3. ARE모형의 예측치와 관측치(1990년~2001년)

예측모형을 정립한다.

step 3. step 2에서 유도된 모형으로 2002년 1월 중순 저수량을 예측한다.

step 4. step 2 및 step 3을 점차적으로 적용하여 2002년 금광지의 저수량을 예측한다.

여기서 2002년 저수량, 강수량 및 최고온도는 관측된 것을 적용하였으나 실제 예측에서는 시차1의 저수량은 관측된 것을 이용하고 강수량 및 최고온도는 기상청에서 예보되는 값을 적용한다. 그림 (6)은 위에서 언급한 방법으로 예측된 2002년 금광저수지의 저수량과 관측치를 같이 도시하였으며, 예측치는 관측치에 비교적 양호하게 접근함을 알 수 있다. 금광저수지의 2002년 일 저수량을 각 순(旬)별로 살펴보면 일최대저수량과 일최소저수량의 차이가 약 5% 정도이다. 그러므로 본 연구에서 적용하는 저수량의 기간은 순 단위로서 대체로 5%

내외의 편차는 허용되며 다른 저수지에서의 적용 시 예상되는 편차이다.

### 3.3 ARIMA 모형에 의한 저수량 예측

#### 3.3.1 ARIMA 모형(Auto-Regressive Integrated Moving Average Model)

ARIMA 모형의 기본 개념은, 시계열자료 현 시점의 관측값  $Y_t$ 를 현재 관측값을 설명하여 주는  $Y_t$ 의 과거 관측값  $Y_{t-1}, Y_{t-2}, \dots, Y_{t-p}$  들과 설명하여 주지 못하는 부분인 백색잡음(white noise)이라고 불리는 오차(error),  $\epsilon_t$  들의 선형함수를 사용하여 식(5)와 같이 표현하는 것이다.

$$Y_t = C + \phi_1 Y_{t-1} + \phi_2 Y_{t-2} + \dots + \phi_p Y_{t-p} + \epsilon_t - \theta_1 \epsilon_{t-1} - \theta_2 \epsilon_{t-2} - \dots - \theta_q \epsilon_{t-q}$$

(5)

3.2절에서 분석한 자기회귀오차모형과는 다르게,  $Y_t$ 에 영향을 주는 시계열자료를 설명변수로 사용할 수 없는 단점이 있는 반면에, 식(5)를 적용하여 장래의 예측값을 쉽게 구할 수 있다는 장점이 있다.

### 3.3.2 ARIMA 모형에 의한 저수량 예측

#### 1) 시도표(time plot) 분석

1990년부터 2001년까지의 12년 동안 관측된 금광저수지의 저수량 자료에 가장 적합한 ARIMA 시계열 모형을 수립하고, 수립된 모형을 바탕으로 2002년의 저수량을 예측하고자 한다. 시계열 분석에 앞서 1990년부터 2001년까지의 전체적인 시도표를 의하면 1990년을 시작으로 1995년, 1998년부터 2001년까지 금광저수지의 저수량이 매년 비슷한 모양이 주기적으로 반복됨을 볼 수 있었다. 특이한 것은 1996년부터 1998년까지 약 3년 동안의 금광저수지의 저수량이 이 기간동안 매우 낮은 저수량을 보유하고 있으며, 특히 2001년에는 매우 낮은 저수량을 보유하고 있어 상당한 가뭄이 지속되었음을 알 수 있다. 시도표를 연도별로 관찰해 본 결과, 공통적인 사실은, 금광저수지의 저수량이 4월까지 최고치를 이루다가, 영농이 시작하는 시기인 5월부터 급격히 감소하기 시작하여 6월경에 최저치를 보인다. 또한 장마철인 7월경에 다시 급상승하다가 다시 9월경에 조금 감소하고, 10월에 저수량이 조금 증가한 후 다음해 4월까지의 저수량의 큰 변화를 보이지 않는 것으로 나타났다.

특이한 사항은 1996년부터 1998년까지의 저수량 변화이다. 첫째, 1996년 자료는 한해동안 최고저수량이 900만 $m^3$ 를 넘지 못하고, 1996년 9월부터 1997년 4월까지 보통 일반적으로 최고 저수량을 나타내는 때임에도 불구하고, 최저저수량을 기록하고 있다. 둘째, 1997년과 1998년 각각의 1월부터 4월까지의 금광 저수지의 저수량이 증가함을 볼 수 있다. 셋째, 가장 최근의 자료인 2001년 자료에서 10월 이후 저수량이 평균적으로 낮음을 볼 수 있다. 이는 적절한 ARIMA 시계열 모형을 세우는데 영향을 미칠 것이라 사료된다

ARIMA모형은 먼 과거의 값들보다는 최근의 값들에 큰 영향을 받는다. 따라서 최근의 금광저수지 저수량의 변화가 어떤 추세를 보이는지 알아보기 위해 1996년 1월부터 2001년 12월까지의 6년간의 시도표를 다시 분석해 보았다. 1999년부터 2001년까지의 저수량 자료는 비슷한 형태를 띠고 있는 것으로 나타났고, 1996년부터 1998년까지의 저수량 자료가 좀 특이한 패턴을 띠고 있으며 2001년의 후반부에서도 저수량이 매우 낮은 것으

로 볼 수 있다. 그러므로, 1996년에서 1998년까지의 자료와 2001년 후반부의 자료가 적절한 시계열 모형을 세우는데 영향을 미칠 것이라 생각된다.

#### 2) 금광저수지 저수량에 관한 ARIMA모형

저수량 자료는 1년 단위의 주기적 패턴을 띠고 있기 때문에, 통계 package SPSS을 이용하여 1차 계절 차분을 먼저 실시한 후, ARIMA 모형 분석을 실시하였다. 적합한 모형을 선택하기 위해 자료의 자기상관관계(ACF)와 편자기상관관계(PACF)를 분석해 보았고, 잔차분석 등을 통하여 아래와 같은 ARIMA모형을 선택하게 되었다. 선택된 ARIMA모형에서 비계절 요인은 AR(1)모형이고, 계절 요인도 AR(1)모형이며, 주기가 36인 모형으로 [ ARIMA (1 0 0)×(1 1 0)<sub>36</sub> ]에 MA의 35번째, 40번째, 72번째 계수를 추가 한 시계열모형으로 다음과 같이 분석되었다.

$$(1 - 0.9007B)(1 + 0.7899B^{36})(1 - B^{36})Y_t = (1 + 0.3059B^{35} + 0.1440B^{40} - 0.5593B^{72})e_t \text{ 이며}$$

여기서  $B$ 란 후향연산자(backshift operator)를 의미하는데 예를 들어  $BY_t$ 는  $Y_{t-1}$ 를 의미하며  $B^2 Y_t$ 는  $Y_{t-2}$ 를 의미하는 것이다. 위의 식을  $Y_t$ 에 대해 정리하면 식 (6)과 같이 표현된다.

$$Y_t = 0.2101Y_{t-36} - 0.1892Y_{t-37} + 0.7899Y_{t-72} - 0.7115Y_{t-73} + e_t + 0.3059e_{t-35} + 0.1440e_{t-40} - 0.5593e_{t-72}. \tag{6}$$

즉 저수량  $Y_t$ 는  $t-36$ 시점 (1년 전의 같은 순별 시점),  $t-37$ ,  $t-72$  (2년 전의 같은 순별 시점),  $t-73$  시점의 저수량에 영향을 받고 있는 것으로 분석되었다. 또한 저수량  $Y_t$ 는 오차항  $t$ 시점,  $t-35$ ,  $t-40$ ,  $t-72$  시점 들에 영향을 받으며, 이 시점들의 잔차값으로 보안을 해주면 저수량의 ARIMA 모형이 적합해진다.

식 (6)모형의 유의성 검정 결과 모든 계수들의 p-value 가 유의수준 0.05 보다 작기 때문에 모든 계수들이 유의하다. 즉, 식 (6) 모형은 저수량을 설명하는데 적절하다. 모형의 진단을 위하여 잔차의 독립성을 실시한 결과, Box-Ljung값의 p값이 모두 0.1 이상이었고, 또한 그림 (4)와 같이 ACF와 PACF를 보면 신뢰한계를 크게 벗어나는 계수가 전체 108개중 5% 이하이므로 잔차의 독립성은 잘 만족된다. 그림 (5)는 1998년부터

2001년까지의 저수량 실제 관측값과 식 (6)의 ARIMA 모형으로 구한 추정값을 비교한 시도표이다. 시도표에서 보는 바와 같이, ARIMA모형을 통한 추정값이 실제 저수량값과 차이를 크게 보이지 않으므로 ARIMA 모형이 자료를 잘 적합한 것으로 나타났다.

또한 식(6)의 저수량에 관한 ARIMA 모형을 적용하여 금광저수지에서 2002년 저수량을 예측하였으며 그 결과는 그림 (6)에 나타내었다. 그림 (6)에서 보는 바와 같이 ARIMA 모형에 의하여 예측된 2002년 저수량은, 3.2절에서 설명된 자기회귀모형에서 예측된 값보다 관측치에 잘 부합하지 않음을 볼 수 있다. 즉, ARIMA 모형을 사용한 예측값들이 실제값의 모양을 비슷하게 닮기는 하지만, 한해의 최고값과 최저값을 잘 예측하지는

못한다. 이는 ARIMA모형을 통한 예측과정에서 2001년 금광저수지의 저수량이 이전의 해들보다 비정상적으로 낮은 사실이 예측값에 영향을 준 것으로 판단된다. 한편 분석기간인 2002년 동안 관측치와 자기회귀오차모형에 의한 예측치의 표준제곱근오차(root mean square errors, RMSE)는 85.9만 $m^3$ 이고 ARIMA모형에 의한 예측치와 관측치의 RMSE는 279.9만 $m^3$ 이었다. 금광저수지의 2003년 저수량을 10월 하순까지 예측하여 그림 (6)에 2003년 관측치와 함께 나타내었다. 2003년 분석기간 동안 관측치와 자기회귀오차모형에 의한 예측치의 RMSE는 53.9만 $m^3$ 이고 ARIMA모형에 의한 예측치와 관측치의 RMSE는 205.0만 $m^3$ 이었다.

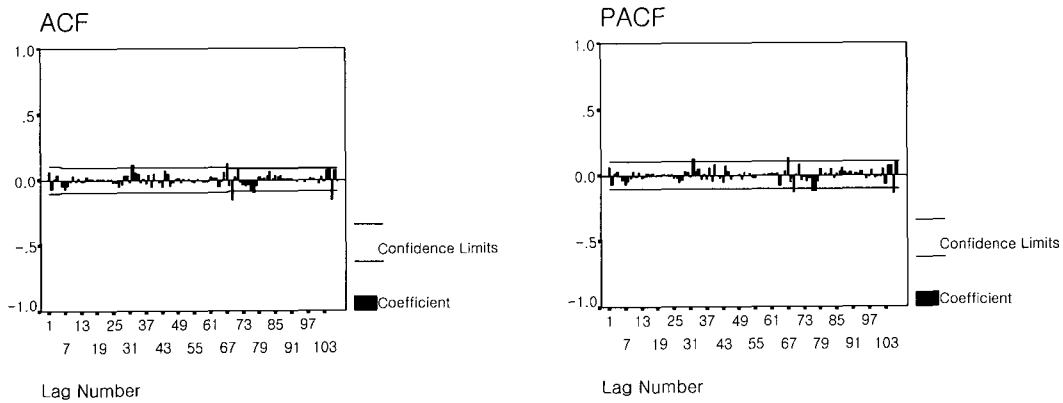


그림 4. ARIMA모형의 잔차 ACF 및 PACF

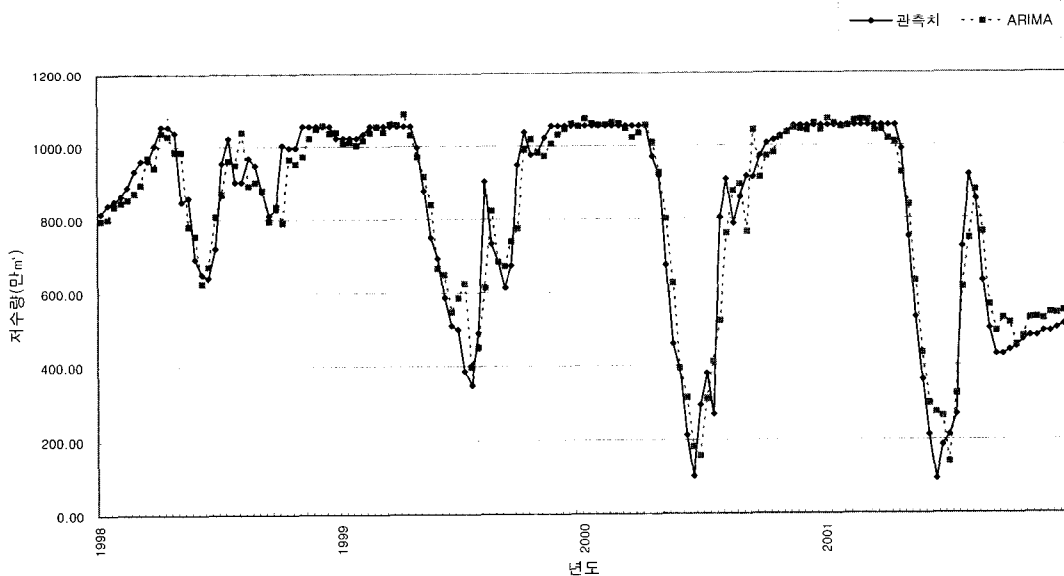


그림 5. ARIMA모형의 예측치와 관측치(1998년~2001년)



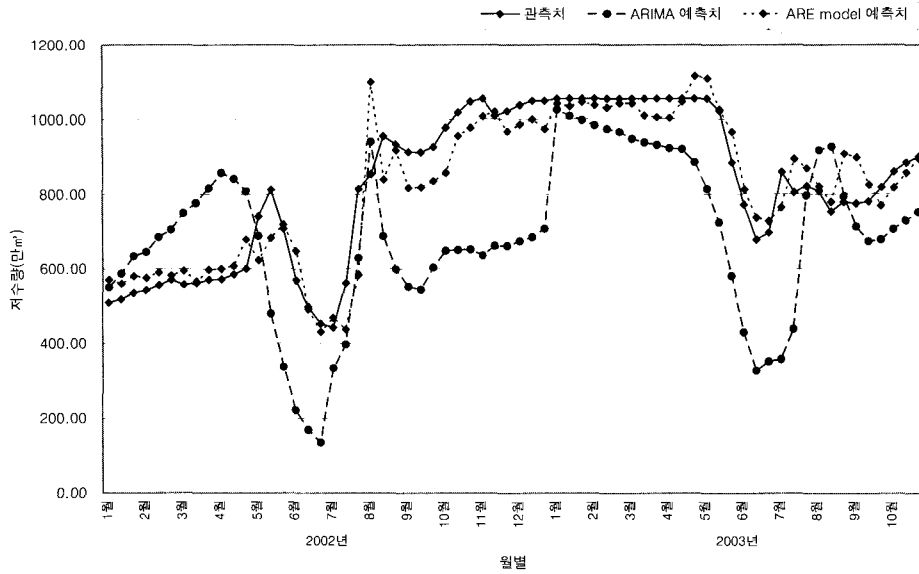


그림 6. ARE 및 ARIMA에 의한 금광저수지 저수량의 예측치 및 관측치(2002년, 2003년)

#### 4. 농업용 저수지의 운영방안

농업용 저수지의 운영은 일반적으로 평년기준으로 설정한 시기별 급수계획에 따라 용수공급을 하고 있으며 방류량 기록도 충분하지 않은 실정이다. 따라서 저수지에서 과거의 저수량 기록을 근거로 하여 설정된 목표저수량 및 한계저수량의 범위를 유지하면서 농업용수 공급을 우선으로 하고 하류 하천의 방류량을 증대할 수 있는 운영방안을 다음과 같이 수립하고자 한다.

우선 저수지 운영 방안의 기본 방향은 다음과 같다.

- 1) 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 물 값도 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.
- 2) 예상 강우량과 최고온도를 고려한 자기회귀오차모형에 의하여 다음 순(旬)의 저수량을 예측한다.
- 3) 예측된 순별 저수량과 실시간으로 관측되는 일별저수량과의 편차는 5% 내외로 한다.

##### 저수지 운영 방안

- (1) 현재의 일저수량이 목표저수량보다 큰 경우: 목표저수량보다 많은 저류량이 예측된다면 하류 하

천으로 방류한다.

- (2) 현재의 저수량이 한계저수량과 목표저수량 사이에 있을 때:

- i) 예측된 순별저수량이 현재저수량보다 많다면 증가되는 것으로 평가된 저수량을 농업용수로 방류
- ii) 예측된 순별저수량이 현재저수량보다 같거나 작다면 최소한의 농업용수만 방류

- (3) 현재의 저수량이 한계저수량 보다 작은 경우 : 저수지로부터의 방류 중단

#### 5. 결 론

금광저수지의 저수량 예측을 위하여 시계열분석의 고전적인 모형인 ARIMA 모형과 회귀분석 개념을 시계열자료에 응용한 모형인 자기회귀오차 모형으로 분석하였다. 두 가지 모형 중 자기회귀오차모형이 예측에 더 정확하게 근접하여 자기회귀오차모형을 선택하였다.

자기회귀오차모형에 의하여 강수량과 최고온도를 설명변수로 사용하여 저수량을 예측하는 모형과 저수량 예측 모형 정립을 위한 방법을 제시하였으며, 금광저수지의 2002년에 추정된 저수량은 관측된 저수량에 비교적 양호하게 접근함을 알 수 있었다. 설명변수로 사용된 강수량은 유역으로부터의 유출량, 유효유량을 포함한 논경작지 공급수량, 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. 자기회귀오차모형에 의한 관계식은 이전 시차1의 실제저수량이 적용되므로 추정된 저수량의 오차는 임의시기에 제한되므로 오차가 누적되지 않는다. 또한 제안된 관계식은 저수지의 연속방정식과 유사한 관계식으로 유도되어 실제 저수지의 저수량 예측에 있어서 그 적용성이 높을 것으로 판단된다.

추후 본 연구에서 제안된 저수지의 저수량 예측모형과 연계된 저수지 운영방안을 금광저수지에 적용하여 공급 가능한 하천방류량을 평가하고자 한다. 그러나 제안된 저수지 운영방안의 적용으로 기존 농업용 저수지의 용수공급 능력을 제고하기 위해서는 물 관리 기관인 농업기반공사에 하천방류를 할 동기를 부여하여야 한다. 그러므로 농업용수 수세의 부활 및 잉여수량의 하천방류 시 재정적인 지원이 선행되어야 한다.

### 감사의 글

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

### 참고 문헌

과학기술부 (2003). 21세기 프론티어연구개발사업, 수자원의 지속적 확보기술개발사업, 지속가능한 댐 개발 기술(2차년도연구보고서), 고려대학교.  
과학기술부 (2003). 21세기 프론티어연구개발사업, 수자

원의 지속적 확보기술개발사업, 지속가능한 하천수 개발 기술(최종보고서), 인하대학교.  
김태철, 노재경, 박승기(1992). 관개저수지의 이수관리 방법, **한국농공학회지**, 제34권 제1호, pp. 33~40.  
농림수산부 (1989, 2002). 농지개량사업계획설계기준, 콘크리트댐편, 월담편.  
농림부 (2001). **다목적 중규모저수지의 개발에 관한 정책 및 개발 방안**.  
농업기반공사 안성지부 (1990-2002). **금광저수지 연도별 저수율**.  
농림부 (1999). 농업·농촌용수 종합이용계획(환경용수).  
농어촌진흥공사 (1993, 1994). **저수관리 시스템의 개발 연구보고서**.  
농어촌진흥공사 (1998). **집중물관리 시스템의 실용화 연구보고서**.  
안승섭, 장인수, 이수식 (1997). 소규모 저수지의 최적용수공급능력 결정에 관한 연구, **한국농공학회지**, 제39권, 5호, pp. 109~122.  
조진섭, 이정형 (1997). SAS/ETS를 이용한 경제시계열 분석, 자유아카데미.  
Liang, Qingfu, L.E. Johnson, S. Mohan (1996). "Autogressive Decision Rule in Aggregated Reservoir Operation." *J. of Water Resources Planning and Management*, Vol. 122, No. 6, pp. 436~440.  
(논문번호:03-96/접수:2003.10.23/심사완료:2003.12.30)