

지하수위 예측기법을 활용한 지하댐 운영전략

Operation Strategy of Groundwater Dam Using Estimation Technique of Groundwater Level

부 성 안* 신 상 문** 최 용 선***
Booh, Seong An · Shin, Sang Mun · Choi, Yong Sun

박 재 현**** 정 교 철***** 박 창 근*****
Park, Jae Heon · Jeong, Gyo Cheol · Park, Chang Kun

Abstract

Among a number of methodologies for developing groundwater supply to overcome drought events reported in the research community, an accurate estimation of the groundwater level is an important initial issue to provide an efficient method for operating groundwater. The primary objective of this paper is to develop an advanced prediction model for the groundwater level in the catchment area of the Ssangcheon groundwater dam using precipitation based period dividing algorithm and response surface methodology (RSM). A numerical example clearly shows that the proposed method can effectively forecast groundwater level in terms of correlation coefficient (R^2) in the upstream part of the Ssangcheon groundwater dam.

I. 서론

지하수위 변동은 강우사상(precipitation event)과 침투(infiltration) 과정에서 침투(percolation)를 통하여 강우가 지하수계(groundwater system)로 유입됨으로서 일어난다. 지하수위는

유역의 기저 유출 특성과 가장 밀접한 관계를 가지고 있으며, 강우 강도에 따라 지하수위의 상승 정도가 달라지며 특히 자유면지하수의 수위는 강우량과 매우 밀접한 관계를 갖고 있다.

지하댐은 지하에 물막이벽을 설치하여 홍수기에 유출되는 수자원을 대수층에 가두어 두고 평상

* 한국농촌공사 농어촌연구원 책임연구원 (booh2700@ekr.or.kr) 키워드: 지하댐, 지하수위 예측, 가중치이동평균, 반응표면법
** 인제대학교 시스템경영공학과 조교수 (sshin@inje.ac.kr)
*** 인제대학교 시스템경영공학과 부교수 (yschoi@ijnrc.inje.ac.kr)
**** 인제대학교 토목공학과 조교수 (jh-park@inje.ac.kr)
***** 안동대학교 지구환경과학과 교수 (jeong@andong.ac.kr)
***** 관동대학교 토목공학과 교수 (ckpark@kwandong.ac.kr)

시에 사용하는 시설로서 갈수기에 매우 유용하게 수자원을 활용할 수 있다. 이러한 점 때문에 일본이나 중국, 아프리카 및 남미대륙에서 많이 사용하고 있으며 우리나라에도 한국농촌공사가 건설한 5개의 농업용 지하댐과 속초시가 건설한 1개의 식수전용 지하댐 등 6개소가 이용되고 있다. 이 중 농업용 지하댐과 달리 연중 지하수를 이용하게 되는 식수전용의 쌍천지하댐은 농업용 지하댐과 다른 운영방법이 필요하다. 즉, 지하수가 연중 일정 수위 이상 확보되어야 급수에 지장이 없으므로 최악의 갈수기를 대비하여 급수량을 조절해야 한다. 그러나 급수량의 조절은 지표댐과 마찬가지로 매우 어려운 문제이다. 가뭄이 오래 지속되면 저수량이 모자라 제한급수를 할 수 밖에 없는 상황이 발생하게 된다. 그러므로 기존의 강우와 예상 강우자료를 활용하여 앞으로의 지하수위를 예측할 수 있다면 지하댐 운영에 있어서 매우 유용하고 편리한 방법을 제시할 수 있을 것이다.

II. 연구지역 및 분석 자료

본 연구는 연중 지하댐을 운영하고 있는 쌍천지하댐 유역을 대상으로 하였다. 쌍천유역의 면적은 65.77km²이며, 강원도 속초시와 양양군에 위치하고 있고 주봉인 설악산 대청봉(△1,707.9m)에서부터 동쪽의 동해안까지 연결되어 있다. 쌍천은 유로연장이 19km로 짧고 하천경사가 1/25~1/88로 급하여 호우 시 하천유량이 급속히 바다로 유출되므로 평상시 수량이 풍부하지 못한 하천이다.

분석 자료는 쌍천지하댐 직 상류부에 설치된 두 개소의 관측공에서 측정된 지하수위, 속초시에서 제공한 쌍천지하댐 일별 취수량, 그리고 기상청 강수자료를 이용하였다. 자료 측정 기간은 2003년 7월 1일부터 2006년 4월 30일까지 2년 10개월간이다.

III. 지하수위 예측

1. 강수량을 바탕으로 한 구간분리 알고리즘

지하수위는 강우가 발생한 날 즉시 수위 변화를 일으키는 것이 아니라 지표의 물이 지하로 스며들어 어느 정도의 시간이 지난 후에 변화를 일으키기 때문에, 일별 강수량에 영향을 받는 지하수위를 예측하고자 할 때에는 과거의 강수량 자료를 먼저 활용하는 것이 우선이다. 이런 이동평균강수량 자료를 바탕으로 하여 추정식 즉 회귀모형을 수립하고 그 회귀모형을 이용하여 과거의 일별 강수량을 모형에 적용함으로써 과거의 일별 지하수위를 추정하게 된다. 그러나 본 유역에서 단순회귀분석을 실시하여 추정된 지하수위는 상관계수(R^2)가 가장 큰 80일 이동평균강수량을 적용하였을 경우에도 2번 관측공(OW-2)이 0.6503, 3번 관측공(OW-3)이 0.6276으로 상관계수가 매우 낮았으며 실측치와 잘 맞지 않았다.

본 연구의 목적은 지하댐의 지하수위를 미리 예측하여 물이 부족한 가뭄기를 대비하고자 하는 것이므로 추정된 갈수기의 지하수위가 실측치와 유사하게 되도록 예측모형을 도출해야만 한다. 그리고 추정된 갈수기의 지하수위가 얼마나 실측치 변화와 잘 맞는지를 검증하는 것이 필요하다. 따라서 본 연구목적에 맞도록 가뭄기를 찾아내고 분석하여 추정된 지하수위가 실측치와 유사하도록 예측모형을 도출하기 위하여 구간 분리 및 분석 프로세스를 시행하였으며 그 방법은 다음과 같다.

첫 번째, 가뭄기에 대해 지하수위가 급격히 하락하는 날을 관측 한다. 다음으로 그날 일 강수량을 살펴보고 추후 강수사상이 발생하는 날 사이를 구간으로 설정한다.

위 절차를 좀 더 알아보기 쉽게 그림으로 나타낸 것이 Fig. 1이다(Park et al.). 그림을 보면 먼저

특정한 날의 강수량을 관측하고 강수량(P_i)이 a 만 큼의 강수량을 예를 들면 거의 같수기일 때 평균 강수량이 될 수 있다(주, 이 강수량은 항상 변동 될 수 있음). 이렇게 기준이 되는 강수량(a) 보다 P_i 가 클 경우 i 일을 구간의 첫 번째 날로 설정한다. 만약 그렇지 않을 경우 이 후 관측된 강수량(P_j)을 가지고 다시 a 와 비교하여 구간의 첫 번째 날로 설정한다. 그 후 계속 일 강수량을 관측하면서 이미 설정된 a 와 비교하여 클 경우 이미 설정된 첫 번째 날부터의 일수를 계산하여, 과거의 위와 같은 경우의 자료를 바탕으로 설정한, 일수보다 클 경우 구간의 종료일로 설정한다. 만약 일수 보다 작을 경우 비가 자주 왔다는 것이므로 구간의 종료일로 설정하지 않는다.

2. 지수평활법을 이용한 지하수위 예측

이와 같은 방법으로 구간이 설정되면 지수평활 예측기법(exponential smoothing forecasting method)을 이용한 가중치이동평균(weighted moving average) 값을 구한다. 가중치이동평균 값이 계산되면 그 값으로 다항회귀분석을 실시하고 검증을 거쳐 추정치를 계산하면 가뭄기를 보정한 지하수위 예측 그래프를 그림으로써 가뭄기의 지하수위 예측모형을 도출해 낼 수 있다.

여기서 가중치이동평균법(weighted moving average methodology)이란 과거의 모든 자료에 동일한 중요도를 부여하는 것이 아니라, 자료의 중요도에 따라 가중치를 달리하는 이동평균법이다.

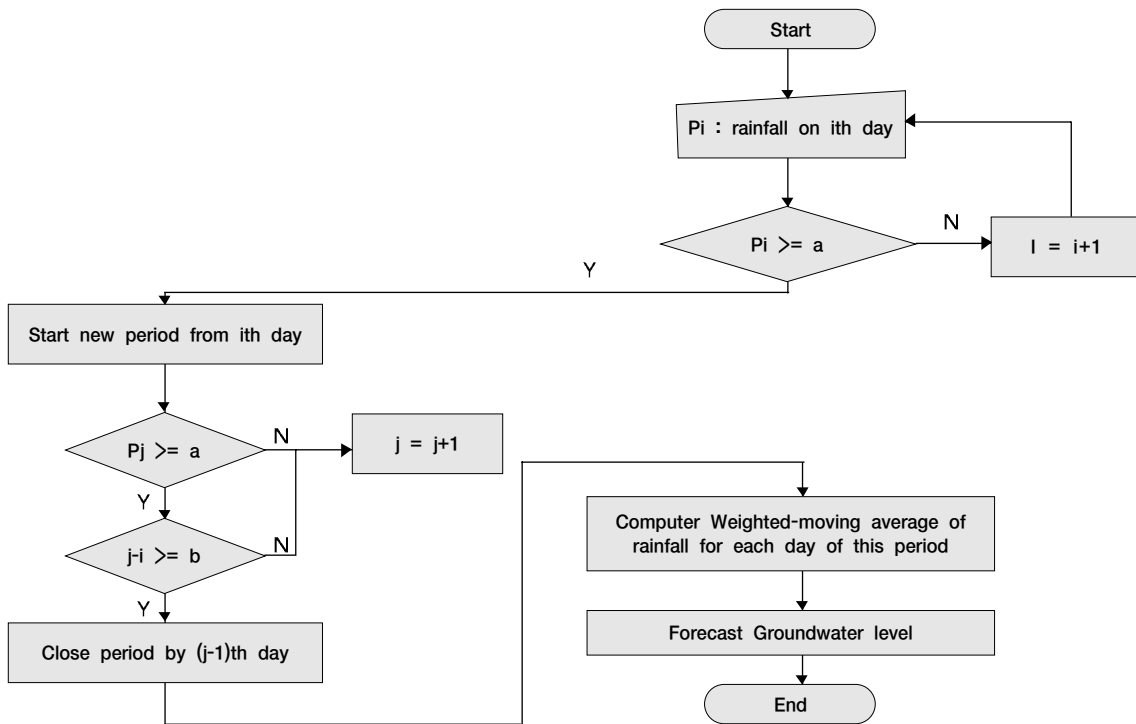


Fig. 1. Proposed algorithm for precipitation based period dividing

이 방법은 최근의 데이터 일수록 미래의 변화를 더 잘 반영할 것이라는 가정 하에 실시된다. 그러므로 가중치 부여 시 최근 데이터에 더 많은 가중치를 부여하고, 과거로 갈수록 낮은 가중치를 부여하게 된다.

지수평활법(exponential smoothing methodology)은 가장 최근의 데이터에 가장 큰 가중치가 주어지고 시간이 지남에 따라 가중치가 기하학적으로 감소되는 가중치이동평균 예측 기법의 한 종류로서 데이터들이 시간의 지수 함수에 따라 가중치를 가지므로 지수평활법이라 불린다. 이 기법은 가장 최근의 예측 데이터와 주요 데이터 간의 차이에 적합한 평활계수(smoothing constant)를 사용함으로써 과거의 데이터를 유지할 필요성을 갖지 않는다. 이러한 접근 방법은 어떤 추세를 갖지 않거나 계절적인 패턴을 나타내는 데이터 또는 추세와 계절성을 모두 갖는 데이터에 사용될 수 있다. 과거의 모든 기간을 계산 대상으로 하며 최근의 데이터에 더 높은 가중치를 주고 과거로 갈수록 가중값을 지수적으로(exponentially) 줄여나가는 방법으로 일종의 가중치이동평균법이다. 단순이동평균 계산법에 비하여 원리가 복잡해 보이지만 실제로 이동평균을 산출하는 방법은 전일의 지수이동평균 값과 평활계수 그리고 당일의 데이터만으로 구할 수 있으므로 전일의 지수이동평균 값만 구해진다면 오히려 간단한 편이다. 단순이동평균에서와 같이 오래된 데이터를 갑자기 제외하지 않고 천천히 그 영향력을 사라지게 한다는 점이 특징이다.

본 연구에서 구간 나누기 프로세스를 적용한 후 다항회귀분석을 시행하고 지하수위를 추정하여 본 결과 구간 나누기 전 R^2 는 OW-2가 0.6503, OW-3은 0.6276이었으나, 구간 나누기 프로세스를 실시하고 다항회귀분석 후에는 R^2 가 OW-2는 0.537~0.825로, OW-3은 0.554~0.830로 일부 구간을 제외하고 높아졌으나 아직도 지하수위 추정치가 실측치에 대한 추이를 잘 반영하지 못하고 있다.

IV. 반응표면법을 이용한 지하수위 예측

1. 반응표면법(Response surface methodology, RSM) 적용 방법

회귀분석 후에도 예측 지하수위가 실측 지하수위를 따라가지 못하는 것을 보완하기 위하여 구간 분리 프로세스를 실시하였으나 추정치가 실측치에 대한 추이를 잘 반영하지 못하였으므로 RSM을 실시하였다. RSM을 적용하면 선형회귀분석시 지하수위 추정그래프가 직선으로 나오던 단점을 보완하고 좀 더 정확한 예측치를 찾을 수 있다.

RSM은 독립변수와 추정 하고자 하는 종속변수 사이의 연관관계가 알려져 있지 않은 경우나 매우 복잡한 경우 그 함수관계를 효과적으로 분석하는데 유용한 통계적 기법으로 최근 널리 사용되고 있으며, 많은 논문에서 그 장점들을 설명하고 있다 (Box et al., 1988; Montgomery and Myers, 1995; Shin and Cho, 2005). RSM을 사용하여 지하수위를 예측하기 위한 모델을 정리하면 다음과 같다. 여기서 x 는 독립변수의 vector, a 와 A 는 추정 회귀식의 coefficient를 나타내는 vector와 matrix이다.

$$\hat{y}(x) = \hat{a}_0 + x^T a + x^T A x$$

where

$$x = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_k \end{bmatrix}, \quad a = \begin{bmatrix} \hat{a}_1 \\ \hat{a}_2 \\ \vdots \\ \hat{a}_k \end{bmatrix}, \text{ and}$$

$$A = \begin{bmatrix} \hat{a}_{11} & \hat{a}_{12}/2 & \wedge & \hat{a}_{1k}/2 \\ \hat{a}_{12}/2 & \hat{a}_{22} & \wedge & \hat{a}_{2k} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \hat{a}_{k1}/2 & \hat{a}_{k2}/2 & \wedge & \hat{a}_{kk}/2 \end{bmatrix}$$

분석하고자 하는 구간에 대한 구간 분리 프로세스가 완료되면 다음과 같은 절차에 따라 RSM을 실시하며 그 방법은 아래와 같다.

- ① 설정된 구간에 대해 10~50일 가중치이동평균을 계산한다.
- ② 가중치이동평균을 독립변수(X), 지하수 취수량을 독립변수(Z)로 두고 관측된 지하수위를 종속변수(Y)로 설정한다.
- ③ 세 변수를 이용하여 RSM을 시행한다.
- ④ 분석결과에 대한 통계적 검증을 실시한다.
- ⑤ 추정식, 상관계수를 도출한다.
- ⑥ 검증된 추정식을 이용하여 지하수위를 추정하고 그래프로 나타내어 지하수위 실측치와 비교한다.

2. RSM 적용 및 검증결과

2003년 7월 1일부터 2006년 4월 30일까지 2년 10개월간의 기간에 대하여 구간 나누기 후 다항

회귀분석과 RSM을 실시하였다. 분석은 크게 A~D의 4개 구간과 구간별 3~7개의 소구간으로 분리하였는데 풍수기는 제외하였다(주, 풍수기는 강수량이 급격히 변하므로 추정치가 실측치를 따라가지 못하며 또한 갈수기에 향후 지하수위 추정이 필요하기 때문에 풍수기는 제외하였음). 최초 A구간이 2003년 9월 21일부터 적용된 것은 80일 이동평균강수량을 적용하여 선행 기간 동안은 추정치가 나타나지 않기 때문이다(Table 1).

분석 기간에 대한 RSM 적용 결과에 대하여 각 회귀방정식이 유의한가를 알아보기 위해 유의수준 $\alpha=0.05$ 에서 비교하였는데 $F_0 > F_{(k, n-k-1; 0.05)}$ 이면 유의한 것으로 본다. Table 1을 보면 두 관측공의 모든 구간에서 조건을 만족시키기 때문에 각 구간의 분석이 매우 유의하다고 할 수 있다. 다만 두 관측공에서 마지막 17번 구간의 F_0 값이 $F_{(k, n-k-1; 0.05)}$ 보다 작은 이유는 구간 설정에서 유효 일수가 20일이 나 데이터의 범위 상 구간의 첫 번째 일수부터

Table 1. Test results of the proposed forecasting procedure

Periods		Term	F_0		$F_{(k, n-k-1; 0.05)}$	
			OW-2	OW-3	OW-2	OW-3
A	1	2003-09-21 ~ 2003-10-11	22.64	29.73	2.901295	2.901295
	2	2003-10-12 ~ 2003-11-07	6.65	6.07	2.684781	2.684781
	3	2003-11-08 ~ 2003-11-27	3.72	3.72	2.958249	2.958249
	4	2003-11-28 ~ 2004-01-15	32.87	50.22	2.432236	2.432236
B	5	2004-01-16 ~ 2004-02-21	24.56	24.51	2.522538	2.522538
	6	2004-02-22 ~ 2004-04-25	40.77	65.53	2.373780	2.373780
	7	2004-04-26 ~ 2004-06-18	49.55	45.75	2.408514	2.408514
C	8	2004-12-04 ~ 2005-01-15	55.98	60.54	2.469650	2.469650
	9	2005-01-16 ~ 2005-02-15	9.09	9.83	2.602987	2.602987
	10	2005-02-16 ~ 2005-03-10	30.58	19.96	2.809996	2.809996
	11	2005-03-11 ~ 2005-04-08	11.59	10.28	2.639999	2.639999
	12	2005-04-09 ~ 2005-05-05	34.06	42.87	2.684781	2.684781
	13	2005-05-06 ~ 2005-06-09	21.02	22.39	2.545386	2.545386
	14	2005-06-10 ~ 2005-06-30	37.72	96.63	2.901295	2.901295
D	15	2005-12-04 ~ 2006-01-30	30.38	60.69	2.392953	2.392953
	16	2006-01-31 ~ 2006-04-10	69.12	60.69	2.358318	2.358318
	17	2006-04-11 ~ 2006-04-30	2.03	1.69	2.958249	2.958249

주)OW-2 : 2번 관측공, OW-3 : 3번 관측공

확보된 마지막 데이터가 19일 분량으로 마무리되었기 때문에 부족한 데이터 갯수로 인하여 F_0 값이 $F_{(k, n-k-1; 0.05)}$ 보다 작게 나오게 되었다(부성안 2006).

3. RSM의 유용성 평가와 지하수위 예측

분석 기간에 대한 RSM 적용 결과 OW-2의 A 구간은 R^2 가 0.570~0.883, B 구간은 0.779~0.838, C 구간은 0.645~0.926, D 구간은 0.420~0.844로 나타났다. 또한 OW-3의 A 구간은 R^2 가 0.591~0.908, B 구간은 0.798~0.850, C 구간은 0.663~0.970, D 구간은 0.376~0.854로 나타났다(Table 2, 주, OW-3의 추정식은 지면관계상 생략하였음). 두 관측공에서 R^2 가 0.5 이하인 구간은 D(17) 구간으로서 2006년 4월 11일에서 취수량 자료를 확보한 4월 30일까지로 기간이 제한되었다. 이로 인하여 추정 지하수위가 실측 지하수위를 따라가지 못하고 R^2 가 매우 낮게 되었다. 그러나 이 구간의 종료일인 4월 30일 이후 다음 강수사상 발생 구간까지 구간이 확장된다면 R^2 가 증가될 것이다.

그러므로 D(17)구간을 제외하면 2차분석 기간에 대한 RSM 적용 결과 OW-2의 A 구간은 R^2 가 0.570~0.883, B 구간은 0.779~0.838, C 구간은 0.645~0.926, D 구간은 0.745~0.844이다. 또한 OW-3, A 구간은 R^2 가 0.591~0.908, B 구간은 0.798~0.850, C 구간은 0.663~0.970, D 구간은 0.829~0.854이다.

Fig. 2는 분석 기간의 실측자료와 가뭃기를 보정한 추정치를 비교한 그래프로서 RSM에 의해 보정된 추정치 그래프가 실측치와의 추세를 잘 반영해 주고 있음을 알 수 있다.

이상에서 RSM을 적용하여 분석 기간인 2003년 7월 1일부터 2006년 4월 30일까지 34개월에 대하여 분석한 결과 R^2 가 0.8 내외로 나타났으며,

RSM에 의해 보정된 추정치 그래프가 실측치와의 추세를 잘 반영하고 있으므로 상당히 유의한 지하수위 예측모형이라 할 수 있다.

4. 지하수위 예측기법의 증명

본 논문에서 지하수위를 예측하고자 하는 목적은 가뭃기에 적절히 사용할 수 있는 지하댐 운영 방법을 제시하는데 있다. 이를 위해 RSM을 이용하여 지하수위를 예측하였다. 이때 예측방법의 적합성 판단을 위해 다음과 같은 방법을 이용하여 증명해 보았다.

①추정하고자 하는 구간을 정한다.

②추정하고자 하는 구간의 직전 구간을 정한다.

③직전 구간의 추정식을 이용하여 구하고자 하는 구간의 지하수위를 추정한다. (이 때 예측기간 동안은 예년의 강우를 가정하며, 취수량은 직전 구간의 평균취수량을 적용한다)

④추정한 지하수위와 강수량, 지하수위, 취수량을 이용하여 추정한 지하수위와 비교해 유사 정도를 확인한다.

Fig. 3은 Table 1, D(16)에 해당하는 2006년 1월 31일부터 4월 10일까지의 지하수위 추정선을 비교한 것이다.

먼저 전체 구간에 대하여 RSM을 적용하여 추정한 예측 지하수위는 붉은 실선으로 나타내었으며, D(15) 구간에 해당하는 2005년 12월 4일부터 2006년 1월 30일까지의 강수량과 평균취수량 자료에 RSM을 적용하여 D(16) 구간을 추정한 예측 지하수위의 결과는 검정 파선으로 나타내었다.

D(16) 구간에 대한 지하수위 추정 결과 전체구간에 대한 정확한 각종 자료를 이용하여 추정한 지하수위에 비하면 약 20일 정도의 기간에서 실측치를 따라가지 못하고 있으나 이후에는 거의 유사하게 변화하고 있다.

Fig. 3을 볼 때 본 논문에서 제시하고 있는 지하

수위 예측기법은 취수량 자료와 함께 좀 더 정확하게 예측 가능한 강수량 자료를 이용한다면 향후 지하수위 예측의 정확도를 상승시킬 수 있으므로 이를 이용한 지하댐 운영 전략 수립에도 유용하게 이용 가능할 것이다.

V. 지하수위 예측기법을 활용한 지하댐 운영전략

연중 1일 32,000m³ 내외를 취수를 하고 있는 쌍천지하댐 유역에서 실측 지하수위와 강수량을 이용하여 향후의 지하수위를 예측한 결과 실측 지하수위와 유사하게 예측되었다. 그러므로 위 결과를 이용하여 지하수위를 예측함으로써 최적화된 지하댐 운영 전략을 개발할 수 있을 것으로 판단되며, 이에 대한 예측방법은 Fig. 4와 같으며 이를 자세히 설명하면 다음과 같다.

Table 2. Results of the proposed RSM at Observation wells

Term	OW-2		OW-3
	R ²	Estimated functions	R ²
'03.09.21 ~ '03.10.11	0.883	$y = 0.861663 - 0.00947552x - 0.0000410839z - 0.000271908x^2 + 0.000000000778094z^2 + 0.000000290931xz$	0.908
'03.10.12 ~ '03.11.07	0.613	$y = 1.39366 - 0.1111181x - 0.0000826486z + 0.00851436x^2 + 0.00000000154693z^2 + 0.00000253822xz$	0.591
'03.11.08 ~ '03.11.27	0.570	$y = -1.77493 - 0.0126434x + 0.000177904z - 0.000337563x^2 - 0.00000000397486z^2 + 0.00000067886xz$	0.603
'03.11.28 ~ '04.01.15	0.793	$y = 0.645542 - 0.030008x - 0.0000271028z + 0.000106144x^2 + 0.000000000543138z^2 + 0.000000844495xz$	0.854
'04.01.16 ~ '04.02.21	0.798	$y = -3.11209 + 3.62598x - 0.0000994859z + 0.217859x^2 + 0.00000000568933z^2 - 0.000131747xz$	0.798
'04.02.22 ~ '04.04.25	0.779	$y = -20.2194 + 5.01965x + 0.001226990z - 0.446635x^2 - 0.0000000210543z^2 - 0.0000900135xz$	0.850
'04.04.26 ~ '04.06.18	0.838	$y = -10.898 + 1.64665x + 0.000580239z - 0.102162x^2 - 0.0000000880234z^2 - 0.0000249583xz$	0.827
'04.12.04 ~ '05.01.15	0.883	$y = 0.145536 - 0.727696x + 0.0000285332z + 0.197509x^2 - 0.00000000034935z^2 + 0.00000497257xz$	0.891
'05.01.16 ~ '05.02.15	0.645	$y = 0.647895 + 0.414975x - 0.0000343726z + 0.0860264x^2 + 0.00000000119214z^2 - 0.0000213581xz$	0.663
'05.02.16 ~ '05.03.10	0.900	$y = 0.783339 - 0.774629x + 0.000023395z + 0.154251x^2 - 0.000000000456251z^2 + 0.00000102708xz$	0.854
'05.03.11 ~ '05.04.08	0.716	$y = 0.23649 - 0.00512508x - 0.0000696479z - 0.00000267859x^2 + 0.000000000154198z^2 + 0.000000295518xz$	0.691
'05.04.09 ~ '05.05.05	0.890	$y = 0.557764 - 0.0638005x - 0.000027575z + 0.00364886x^2 + 0.000000000562019z^2 + 0.00000119995xz$	0.911
'05.05.06 ~ '05.06.09	0.784	$y = 0.852429 - 0.200076x - 0.0000133843z + 0.00710285x^2 + 0.000000000105981z^2 + 0.00000318228xz$	0.794
'05.06.10 ~ '05.06.30	0.926	$y = 1.33462 - 0.135178x - 0.0000472837z + 0.0205525x^2 + 0.000000000886318z^2 - 0.00000224672xz$	0.970
'05.12.04 ~ '06.01.30	0.745	$y = 1.83913 - 0.0336895x - 0.0000838548z - 0.00973915x^2 + 0.00000000131331z^2 - 0.0000011734xz$	0.854
'06.01.31 ~ '06.04.10	0.844	$y = 0.851727 - 0.0488265x - 0.0000376706z + 0.0493545x^2 + 0.000000000619994z^2 + 0.00000284314xz$	0.829
'06.04.11 ~ '06.04.30	0.420	$y = 0.303337 - 0.0596563x + 0.00000535277z + 0.000209113x^2 - 0.000000000260686z^2 + 0.00000178563xz$	0.376

① 현재(T_1 일)까지의 강수량, 지하수위, 취수량 자료를 이용하여 구간 나누기 프로세스를 적용한 RSM을 시행한다. 이때 예측 기간 동안은 예년의 강우를 가정하며 취수량은 직전 구간의 평균취수량을 적용한다.

② 예측하고자 하는 기간은 30일(T_2 일)로 한다.

③ Fig. 3과 같은 방법으로 오늘 이후의 지하수위를 예측한다.

④ T_1 일 후에도 지하수위에 영향을 줄 정도의

강우가 내리지 않으면 T_1 일까지의 자료를 이용하여 ①을 시행하고 취수량 조정여부를 결정한다.

⑤ ②~③의 작업을 다시 수행한다.

⑥ 30일 후(T_2 일)에도 지하수위에 영향을 줄 정도의 강우가 내리지 않으면 T_2 일까지의 자료를 이용하여 ①~③의 작업을 다시 수행하고 취수량 조정여부를 결정하며, 이후에도 이와같은 방법으로 계속하여 지하수위를 추정한다.

⑦ T_2 일이 되기 전에 취수에 충분한 강우사상이

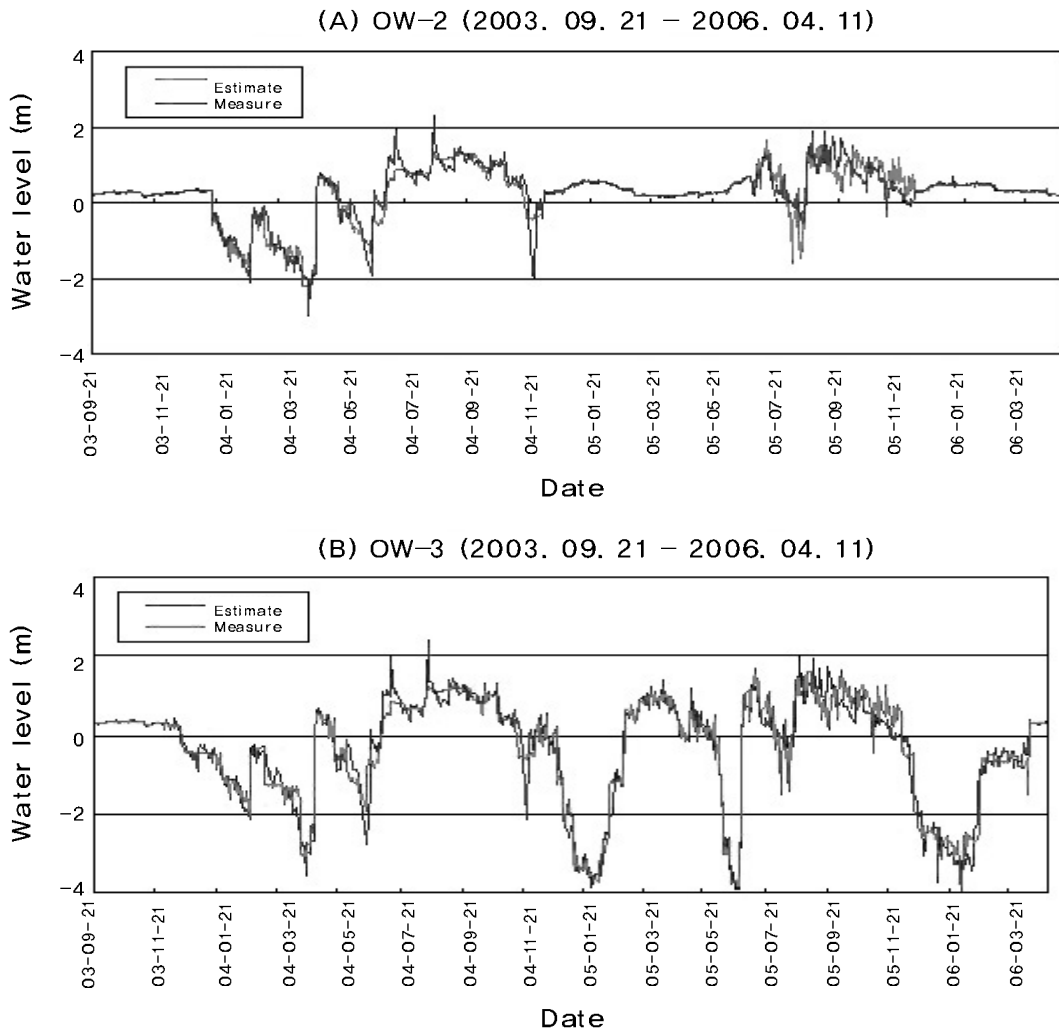


Fig. 2. Plots for estimated groundwater levels on the 2nd Stage (A)OW-2 (B)OW-3

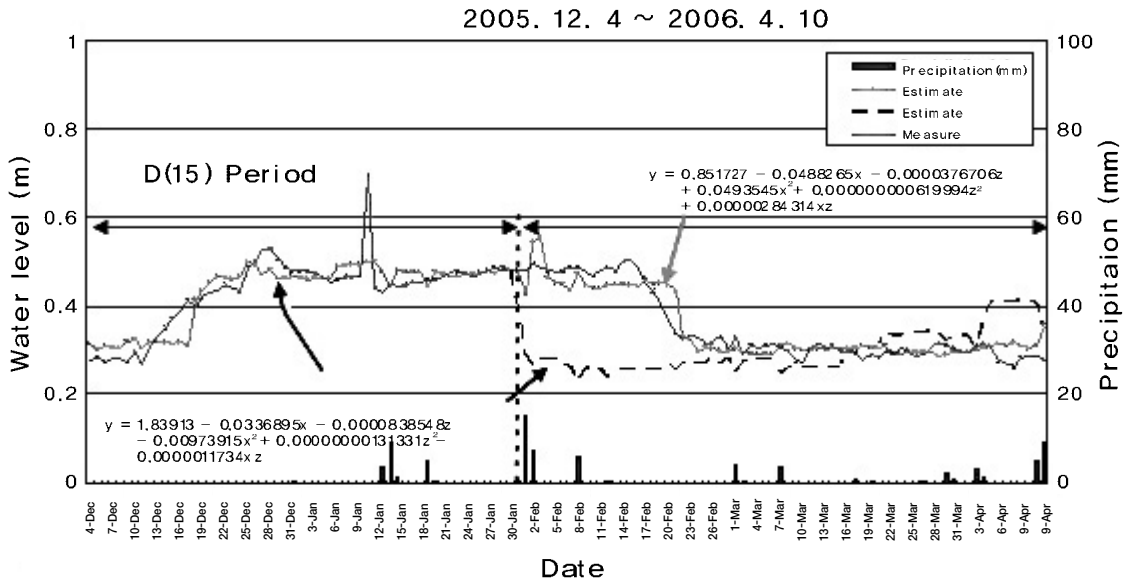


Fig. 3. Comparison of estimated water levels with measured values to verify the accuracy groundwater level prediction method

발생하면 지하수위 추정 작업을 완료하고 정상적으로 지하댐 급수 운영을 한다.

여기서 지하수위 예측 기간을 30일로 제한한 것은 예측 기간 동안 강우사상이 없을 경우 취수자료와 지하수위 변화량을 추가하여 다시 추정작업을 시행함으로써 예측 지하수위의 정확성을 높이기 위한 것이다. 만약 유역면적이 협소하고 저류량이 적어 지하수위 변화가 강수량에 매우 민감하게 변화하는 지역에서는 예측 기간을 더 짧게 단축해야 정확성을 높일 수 있다.

본 논문에서는 일정기간(30일)을 단위로 하여 지하수위를 추정하였는데 종속변수에 일자를 추가하여 추정식을 작성하고 매일의 강수량과 지하수위 자료를 추가(update)한다면 실측치에 더욱 유사하게 지하수위가 추정될 수 있을 것으로 판단되므로 지속적인 추정 모델 개발이 필요하다고 본다.

VI. 결론

본 연구는 지하댐의 지하수위를 미리 예측하여 물이 부족한 가뭄기를 대비하고자 하는 것이므로 추정한 갈수기의 지하수위가 실측치와 유사하게 되도록 예측모형을 도출하였다. 그 결과, 1, 2번 관측공(OW-2)의 A 구간(2003년 9월 21일~2004년 1월 15일)은 상관계수(R^2)가 0.570~0.883, B 구간(2004년 1월 16일~2004년 6월 18일)은 0.779~0.838, C 구간(2004년 12월 4일~2005년 6월 30일)은 0.645~0.926, D 구간(2005년 12월 4일~2006년 4월 10일)은 0.745~0.844로 산출되었다. 또한 OW-3, A 구간은 R^2 가 0.591~0.908, B 구간은 0.798~0.850, C 구간은 0.663~0.970, D 구간은 0.829~0.854로 두 관측공 모두 R^2 가 0.8 내외로 나타났다.

2. 강수에 의해 지하수위 변화가 큰 구간을 경계

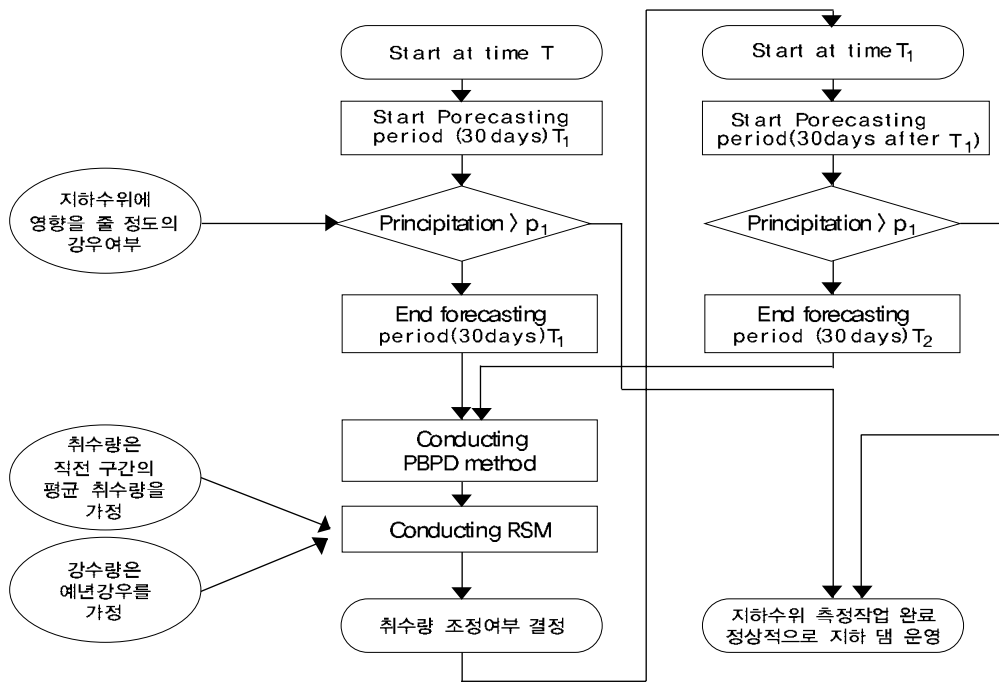


Fig. 3. Operation strategy of groundwater dam using estimation technique of groundwater level

로 구간 나누기 프로세스를 시행하고 RSM을 적용한 결과 추정 지하수위 그래프가 실측치와의 추세를 잘 반영하고 있으므로 상당히 유의한 지하수위 예측모형이라 할 수 있다.

3. 현재까지의 지하수위와 강수량 자료를 이용하여 향후의 지하수위를 추정함으로써 갈수기에 도 적정량의 지하수를 공급할 수 있는 최적화된 지하댐 운영 전략을 개발 하여 일정 기간을 단위로 계속적으로 지하수위 추정작업을 할 수 있는 방법을 제시하였다.

본 연구는 21세기 프론티어연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단과 한 국농촌공사의 연구비지원(과제번호: 3-6-2)에 의해 수행되었음.

참고문헌

1. 부성안, 2006, 지하댐 운영을 위한 최적화 시스템 개발, 안동대학교 박사학위논문, pp.97-118.
2. Box, G.E.P., Bisgaard, S., and Fung, C., 1988, An Explanation and Critique of Taguchi's Contributions to Quality Engineering. International Journal of Reliability Management. 4, pp.123-131.
3. Douglas C. Montgomery, Raymond H. Myers, 1995, Response Surface Methodology: Process and Product Optimization Using Designed Experiments (2 edition), Wiley Series in Probability and Statistics.
4. Shin, S. and Cho, B.R., 2005, Bias-specified robust design optimization and its analytical solutions. Computer & Industrial Engineering. 48, pp.129-140.
5. JAEHYEON PARK, SANGMUN SHIN, YONGSUN CHOI, JEONG-SEOK YANG, DAI-KUN KIM, GYO-CHEOL JEONG, SEONG-AN BOOH, CHANG-KUN PARK(2006), Development Of A Groundwater Dam Operating Strategy Using A Precipitation-Based Index, The Seventh International Conference of Hydroinformatics (HIC2006).