

일강우자료를 활용한 지하수위 예측기법 개발

Development of a Technique for Estimating Ground Water Level Using Daily Precipitation Data

박재현*, 최용선**, 박창근***, 양정석****, 부성안*****

Jae Hyeon Park, Young Sun Choi, Chang Kun Park, Jung Suk Yang, Seongan-Booh

요 지

대체용수원의 개발이 시급하게 대두되어지고 있는 가운데 제한된 수자원을 보다 효과적으로 사용하기 위한 하나의 방법으로 지하댐(Groundwater Dam) 건설을 이용한 지하수 자원의 개발이 하나의 방법으로 제안되었다. 하지만 해안지역에 설치된 지하댐을 운영할 경우 지하수위 변동에 따른 염수의 침입을 고려하여 운영하여야 한다. 특히 갈수시는 지하수위 하강이 강하게 나타나는 시기로 지하수위는 지하댐 최적운영을 위한 중요한 지표가 된다. 특히 강수량 자료를 활용한 가뭄지수와 지하수위의 관계를 설명 할 수 있다면 예상 강우자료를 활용한 장래의 지하수위를 예측 할 수 있으며 이것은 지하댐 운영에 매우 효과적으로 활용 할 수 있을 것이다.

본 연구에서는 기존의 강우와 예상 강우 자료를 활용하여 지하수위 예측기법을 개발하였다. 과거 강수량의 일이동 평균값을 바탕으로 한 다항 회귀모델을 수립하여, 계절적 특성을 고려한 구간을 분리하여 적용하였다. 예측된 지하수위의 정확성을 알아보기 위해 관측된 지하수위와 예측된 지하수위를 비교 분석하였다. 분석 결과 단순회귀기법을 지하수위를 예측한 경우 0.62~0.63의 상관계수를 보인 반면 다항회귀기법을 적용한 결과 0.62~0.84로 상관계수가 증가하였다. 대체적으로 관측된 지하수위와 예측된 지하수위는 비슷한 경향을 보였다. 따라서 지하댐 운영에 있어 최적의 취수량을 개발하기위해 일강우자료를 활용한 지하수위 예측기법의 활용성은 매우 높은 것으로 판단된다.

핵심용어 : 지하댐, 지하수위, 예측기법, 다항회귀분석, 일이동 평균값

1. 서 론

과거에는 지하댐으로부터 지속적이고 최대한의 취수량을 확보하기 위한 지하댐 운영 모델이 부재하였다. 하지만 지속적인 기상변화로 인해서 물부족현상의 심화와 다른 여러 가지 요인에 의해서 가뭄현상의 빈도가 증가하고 있다. 이러한 환경으로부터 지하댐을 활용한 지속적이며 가능한 최대 취수량을 확보하기 위한 지하댐 운영모델을 필요로 하게 되었다. 즉, 최대의 지하수 취수량을 확보하기 위한 최적화 지하댐 운영 모델이라 할 수 있다. 이 최적화 모델은 강수량 및 기온 등

* 정회원·인제대학교 토목공학과 조교수, E-mail : jh-park@inje.ac.kr

** 정회원·인제대학교 시스템경영공학과 부교수, E-mail : yschoi@inje.ac.kr

*** 정회원·관동대학교 SOC공학부 부교수, E-mail : ckpark@kwandong.ac.kr

**** 정회원·국민대학교 건설시스템공학부 조교수, E-mail : jeongyang88@yahoo.co.kr

***** 정회원·농업기반공사 농어촌연구원, E-mail : booh2700@karico.co.kr

가용한 최소한의 자료와 기존의 관측된 지하수 자료를 분석, 신뢰수준이 높은 지하수위 예측 모형을 개발하고 지하수위 변동 예측을 바탕으로 일별 취수 목표량을 제안하는 것이다.

2. 단순회귀분석 방법에 의한 지하수위 예측

지하댐 운영의 최적 모델을 수립함에 있어 기존의 강우와 예상 강우자료를 활용하여 지하수위를 예측할 수 있다면 이것은 매우 유용하게 활용가능할 것이다. 본 연구에서는 일단 주어진 데이터 범위에서 통계적 예측 방법인 단순회귀분석(Simple Linear Regression) 방법을 써서 상관계수를 통한 예측의 정확성을 알아보고 예측모형을 수립해 보았다. 단순회귀분석을 실시하기 위해서 데이터 범위는 2003년 12월 4일부터 2004년 12월 3일 까지 1년간의 일일 강수량과 측정된 지하수위를 분석을 위한 데이터로 이용하였다. 그리고 단순회귀분석에 필요한 두 변수를 설정하였다. 종속변수(y)로 관측된 지하수위, 독립변수(x)로 두고 민감도 분석을 한 결과 90일 이동평균 강수량 자료를 회귀모델의 대상 자료로 선정하였다. 또한 강수량이 지표에 침투하는 현상을 일평균강수량, 강설효과, 한계침투량, 강설과 한계침투량 등 4가지 조건을 고려하여 각각에 대해 분석하였다. 민감도 분석을 위해 프로그램을 자체 개발하여 각 조건별 상관계수 값을 도출한 결과 표 1과 같은 결과를 얻을수 있었다. 또한 이 결과에 대한 통계적 검증을 실시하였다. ANOVA Table에 의해 유의수준 알파 0.05에 의해서 결과 값이 유의한지를 검증한 결과 유의함을 보여주는 P-value가 모두 0.05를 초과하지 않았기 때문에 분석결과의 유의함을 모두 유의하다고 증명되었다. 또한 F-검정 결과 ($F_0 > F(1, n-2; \alpha)$) 또한 유의하다고 증명 되었다.

표 1. 각 모델별 상관계수 및 검증

조 건	상관계수	F_0	$F(1, n-2; \alpha)$
일평균 강수량	0.621	595.52	3.867132
강설 고려	0.620	594.93	3.867132
한계침투량 고려	0.627	612.92	3.867132
강설과 한계침투량 고려	0.627	609.29	3.867132

표 2. 각 모델별 추정식

모 델	추 정 식
일평균	$y = -1.001 + 0.1995 * x$
강설 고려	$y = -1.003 + 0.1998 * x$
한계 침투량 고려	$y = -1.207 + 0.3396 * x$
강설과 한계 침투량 고려	$y = -1.264 + 0.3513 * x$

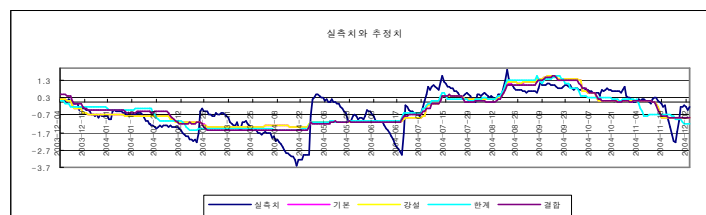


그림 1. 지하수위 실측치와 단순회귀방법에 의한 예측치

그리하여 단순회귀분석을 이용한 각 모델별 추정식이 표 2와 같이 이러한 추정식을 바탕으로 1년간 실제 측정된 지하수위를 비교한 결과 그림 1과 같이 나타났는데 이를 살펴보면 지하수위의 실측치에 대해서 강우량이 많이 발생하는 여름의 장마기간에는 어느 정도의 추세를 반영하였지만, 가뭄기인 늦겨울에서 초여름 까지는 실측치와 추정치가 많이 차이 나는 것을 볼 수 있다.

3. 다항회귀분석을 이용한 지하수위예측

우리가 지하수위를 예측하기 위한 모델을 만드는 목적은 물이 부족한 가뭄기의 지하수위를 정확하게 예측하여 그에 따른 효과적인 지하수 취수량을 결정하기 위한 의사 결정을 지원해주기 위함이다. 이를 위해 강우사상에 따른 구간을 분할하는 방안을 제안하였고, 이를 위한 구간 나누기 프로세스는 그림 2과 같이 진행된다. 이렇게 나누어진 구간에 대해 Exponential Smoothing을 이용한 현재 구간의 강우자료에 대해 가중치 이동평균 값을 계산하여 다항회귀분석과정을 거치게 된다. 단순 회귀분석이 두 변수간 관계를 선형모형인 일차식으로 표현하였다면 다항 회귀분석은 비선형모형인 2차식 이상으로 표현하게 되어 선형모형보다 정교하고 높은 변수간의 상관관계를 발견할 수 있다. 우리는 통계 소프트웨어인 Minitab을 이용하여 다항 회귀분석을 실시하였다. 단순 회귀분석의 결과로 나타난 1년간의 추정치를 바탕으로 구간나누기 프로세스를 시행하였고, 강우가 많이 발생하는 장마철은 측정치에 대한 추정치가 추세를 반영하고 있다고 볼 수 있으므로 구간 나누기 프로세스에서는 제외하였다. 그래서 장마철을 제외한 기간에 대해 구간나누기 프로세스를 시행한 결과가 표 3에 나타나 있다.

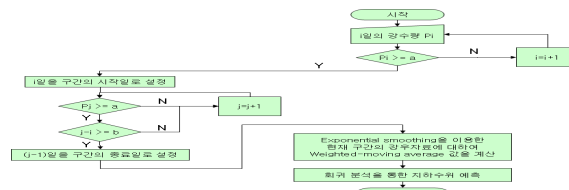


그림 2. 구간나누기 프로세스

표 3. 구간나누기 프로세스에 의해 나누어진 구간

구 간	날 짜
1	2004년 1월 16일 ~ 2004년 2월 21일
2	2004년 2월 22일 ~ 2004년 4월 25일
3	2004년 4월 26일 ~ 2004년 6월 18일

이렇게 나누어진 구간에 대해 (2)와 같은 가중치 이동평균을 실시한다. 지하수의 특성상 강우가 현재에 발생하더라도 어느 정도 시간이 소요된 후에 지하수로 되기 때문에 과거의 강수량에 가중치를 더 주기로 한다. 또한 가뭄기때는 강우량이 낮으므로 가중치는 0에 가깝게 둔다. 그래서 가중치의 범위는 $0 \leq \alpha \leq 0.2$ 으로 둔다.

$$F_{t+1} = \sum_{i=t-n+1}^t \frac{X_i}{n} \quad (1)$$

$$F_{t+1} = \alpha X_1 + (1 - \alpha)F_t \quad (2) \quad (0 \leq \alpha \leq 1)$$

그래서 각 구간별 최고의 상관계수를 나타내는 모델과 그에 따른 가중치 값이 표 4에 나타나 있다. 구간1에서 상관계수 값이 기존 시행했던 단순회귀분석의 상관계수 보다 낮게 나타났다. 단순회귀분석에서 보여준 실측치와 추정치의 추세보다는 다항회귀분석의 결과가 단순회귀분석을 한 추세보다 더 잘 반영하고 있음을 볼 수 있다. 정확한 강설 모형을 바탕으로 강설 효과를 적용하여 관측된 강우량을 수정을 할 수 있다면 상관계수 값은 더 높게 나타날 것으로 기대할 수 있다. 또한 표 5는 다항회귀분석결과에 대한 통계적 검증을 한 결과이다. 여기서도 마찬가지로 ANOVA Table에 의해 결과 값에 대해 유의한지를 유의수준 $\alpha : 0.05$ 에 의해서 검증한 결과 유의함을 보여주는 P-value 가 모두 0.05를 초과하지 않았기 때문에 모두 유의하다고 증명되었다. 또한 F-검정 결과($F_0 > F(1, n-k-1; \alpha)$)도 유의하다고 증명 되었다.

표 4. Second-order Polynomial Regression 결과와 가중치

구간	상관계수 값	α	추정식
1	0.445	0.2	$y = -1.570 + 0.0515x + 0.09566x^2$
2	0.837	0.001	$y = -3.679 + 4.674x - 1.602x^2$
3	0.808	0.000001	$y = -2.343 + 1.129x - 0.1234x^2$

표 5. 각 구간의 다항회귀분석에 대한 검증 결과

구 간	F_0	$F(k, n-k-1; 0.05)$
1	13.62	3.275898
2	156.16	3.147791
3	106.99	3.178799

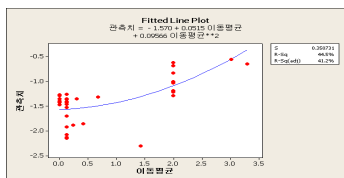


그림 3. 제1구간의 상관계수 값과 추정식

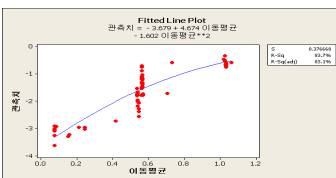


그림 4. 제2구간의 상관계수 값과 추정식

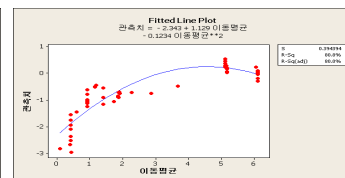


그림 5. 제3구간의 상관계수 값과 추정식

위의 그림 3, 4, 5는 지하수위의 관측치와 강우량의 가중치 이동평균을 한 값 간의 회귀곡선을 설명하고 있다. 구간 2와 3은 회귀곡선이 두 변수를 설명하고 있지만 구간 1에서는 소수의 데이터 들을 제외하고 회귀곡선이 변수를 설명하고 있다. 소수의 데이터로 인해서 전체적인 상관계수가 낮게 나타났다. 이 소수의 데이터의 발생 원인을 규명하고 데이터 보정 알고리즘에 의해 보정을 한다면 상관계수 값은 향상될 것이라고 기대한다.

4. 예측기법의 적용

최종적으로 구간을 나누고 다항회귀분석을 실시하여 얻은 추정식을 포함하여 1년 동안의 지하 수위 실측치와 추정치를 비교해보면 그림 6과 같다. 가물기에 대해서 단순 회귀분석을 시행한 결과 보다는 다항회귀분석을 한 추정식이 가물기의 실측치의 추세를 잘 보여주고 있음을 알 수 있

다. 표 6은 이러한 추정치 결과를 얻을 수 있게 한 구간별 상관계수와 예측모델을 제시하고 있다.

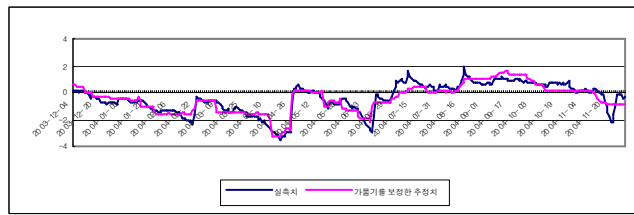


그림 6. 1년간 실측치와 가뭄기를 보정한 추정치

표 6. 최종 1년간 각 각 날짜 구간별 상관계수 및 예측모델

날짜	상관계수	예측모델
03.12.4 ~ 04.1.15	0.620643	$y = -1.467 + 0.2122x$
04.1.16 ~ 04.2.21	0.445	$y = -1.570 + 0.0515x + 0.09566x^2$
04.2.22 ~ 04.4.25	0.837	$y = -3.679 + 4.674x - 1.602x^2$
04.4.26 ~ 04.6.18	0.808	$y = -2.343 + 1.129x - 0.1234x^2$
04.6.19 ~ 04.12.3	0.620643	$y = -1.467 + 0.2122x$

4. 결 론

본 연구에서는 지하댐 최적운영을 위한 중요 요소 중 하나인 지하수위 변동을 예측 하기위하여 강우일 평균값을 기초로 하는 기법을 제시하였다.

단순회귀기법을 적용하여 지하수위를 예측한 결과 0.62~0.63의 상관계수를 보였다. 이 경우 전체적인 지하수위 성향을 보여 주고는 있지만 특히 갈수기 부분 수위하강특성을 예측해 주지는 못하고 있다. 이러한 한계를 극복하기위하여 다항 회귀 기법을 적용하였다. 강우의 주요 호우사상을 기준으로 구간을 분리한 후 이 결과 상관계수가 0.62~0.84정도로 상관계수가 증가 하였으며 각 구간 특히 강설구간에 대한 강설효과 및 융설효과 또한 잘 모의해 주는 것으로 판단된다. 이 결과 자료는 지하댐 운영 자료로서 매우 중요한 의미를 지니고 있는 것으로 판단된다.

감 사 의 글

본 연구는 21세기 프론티어연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비지원 (과제번호 : 3-6-2)에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

1. Hillier, Lieberman.(1997). Moving-Average Forecasting Method, Introduction to Operations Research 7rd ed., pp. 1017.
2. Montgomery, D. C., Peck, E. A., and Vining. G. G.(2001). Introduction to Linear Regression Analysis, 3rd ed., John Wiley, New York
3. 박성현(1998). 회귀분석 3rd ed 민영사, pp. 175-176.