

농업용수 활용을 위한 비피압지하수관정 수온의 시계열 변동특성

박승기 · 정남수

공주대학교 지역건설공학과

Time Series Change Characteristics of Unconfined Groundwater Wells Temperatures for Agricultural Water Use

Park, Seung Ki · Jung, Nam Su

Professor, Dept. of Rural Engineering, Kongju Nat'l Univ.

ABSTRACT : There is a need to analyze unconfined groundwater behavior since the demand of groundwater use has been increasing. While unconfined groundwater temperature is tend to be affected by air temperature, it is hard to find an empirical study in South Korea. In this research, we try to determine the relationship between daily average air temperature and daily average groundwater temperature by time-sequential analysis of groundwater monitoring wells in Galshin basin in Yesan-Gun, Chungcheongnam-Do. In addition, models to estimate groundwater temperature from air temperature were developed. In this research 101-day moving average method with measured air temperature is used to estimate groundwater temperature. To verify the developed model, estimated values of average groundwater temperature with 101 moving average are compared to the measured data from September 10 2007 to September 9 2008. And, Nash-Stucliff Efficiency and Coefficient of Determination were 0.970 and 0.976, therefore it was concluded that the model allowing groundwater temperature estimation from air temperature is with reasonable applicability.

Key words : Unconfined groundwater, Groundwater wells temperatures, Time series analysis, Moving average.

1. 서 론

우리나라는 매년 5월에서 6월 사이에 벼의 이앙재배를 위해 농업용수를 집중적으로 사용하고 있다. 농업생산기반시설의 지속적으로 확충되고 있으나 기후변화에 따른 빈번한 한발에 대비하기 위한 지하수 사용이 지속적으로 증가하고 있다(Jeoung and Park, 2003).

겨울철 농업소득의 증대를 위해 설치된 시설농업단지에서 난방에너지 가격의 상승으로 수막재배를 위한 지하수의 사용이 증가하여 지하수의 수질오염과 악화와 지하수 고갈을 발생시키고 있다(KRCC and RRI, 2014).

2013년 말 기준으로 우리나라 전체 지하수 이용현황은 1,506천공에서 4,070.8백만 m^3 이고 이중 농업용은 667

천공에서 2,064백만 m^3 을 사용하여 전체 지하수 이용량의 50.7%로 나타났다(MoC&T and K-Water, 2014).

국내·외에서 지하수에 대한 연구는 지하수의 이용에 대한 관심 증가로 피압 대수층의 특성에 따른 지하수위의 변화양상을 이용한 연구를 중심으로 비교적 활발하게 전개되고 있으며, Cho(1972)는 관개용수의 수원이 생육과 수량에 영향을 미치며 특히 냉해 등의 위험을 유발할 수 있다고 지적하고 있으나, 우리나라 농촌지역에서 주로 이용되고 있는 비피압 지하수에 대한 연구는 매우 미흡한 실정이다(Jeoung and Park, 2003).

비피압지하수 수온은 용출하는 위치의 지온에 의해 영향을 받으며 연평균 기온보다 1에서 3 $^{\circ}C$ 정도 높고 관개기간 중에는 지표수에 비하여 상당히 낮고 하천수의 온도가 상승함에 따라 높아지며 상당히 큰 연교차가 있다(Jeoung et al., 1999). 이러한 다양한 요소를 고려하여 특정지역의 지하수온을 예측하기 지하수온 자체뿐만 아

Corresponding author : Jung, Nam Su

Tel. : +82-41-330-1265

E-mail : ruralplan@kongju.ac.kr

나라 해당지역의 대기온도까지 고려한 시계열분석이 필요하다. 시계열분석은 지하수위와 하천수위의 상호반응관계 등을 알아보기 위한 방법으로 자기상관분석과 교차상관분석방법이 많이 사용되었다(Yi et al., 2004; Jeoung et al., 2010; Ha et al., 2006; Lee et al., 2014). 그러나 대기온도와 지하수온과의 관계에 대한 연구는 매우 빈약하다.

따라서 본 연구에서는 농업용수 활용을 위해 일평균 대기온도를 이용하여 지하수온을 예측할 수 있도록 충남 예산군 갈신시험유역내 지하수 관측정(GW-5)의 일평균 지하수온과 일평균 대기온도의 시계열적 관계특성을 분석하고, 이를 대표할 수 있는 추정함수를 선정하며, 함수들 간의 변환관계를 도출하여 기초모형을 제시하고 그 적용성을 검증하고자 한다.

II. 자료 및 방법

1. 자료

가. 갈신시험유역

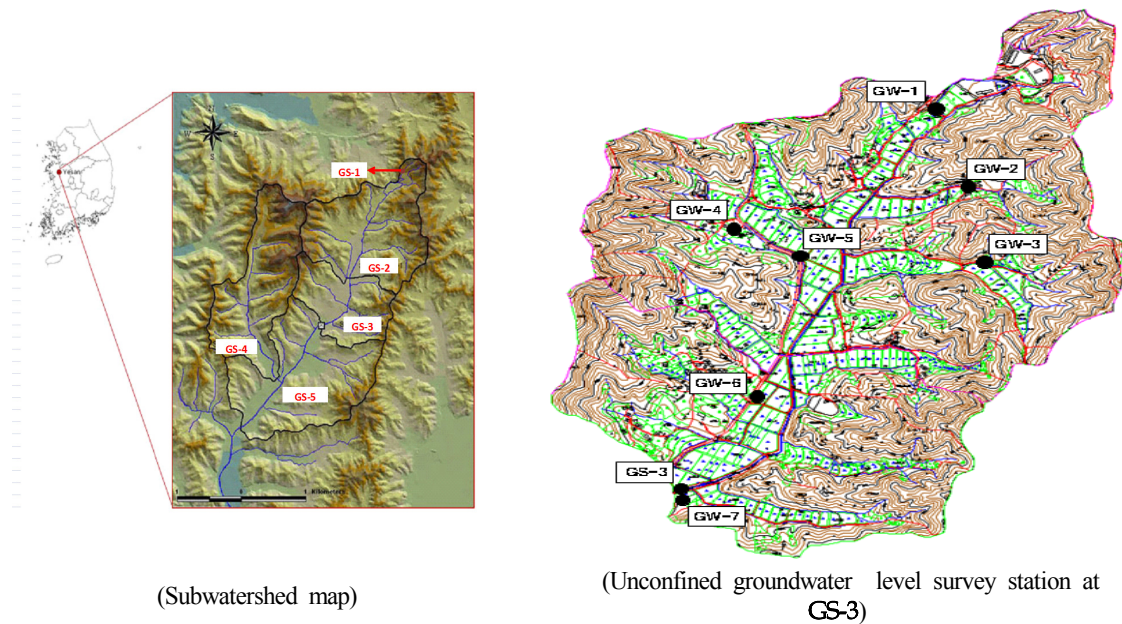
갈신시험유역은 충남 예산군 대흥면 갈신리와 대를리에 위치하며 유역의 상류에는 공주대학교 산업과학대학의 시험농장이 위치하고 있고 남쪽을 제외한 주변이 산림으로 둘러 쌓여있는 곡간지역이다. 갈신시험유역은 1999년 경지정리사업이 시행되었고 농업용수부족을 해

결하기 위하여 갈신지구 농촌용수개발사업이 시행되어 2006년부터 예당저수지 노동양수장에서 농업용수가 공급되고 있다. 갈신시험유역의 위치도와 소유역도 및 GS-3 지점의 자유수면지하수 관측정의 분포 현황은 Fig. 1과 같다.

GS-3 지점 자유수면지하수 관측정의 지하수위 및 수온측정은 각각의 관측정에서 압력수위-수온계인 TD-Diver (Van Essen Instruments, 2004)를 사용하여 1시간 간격으로 측정하였고 대기압을 보정하기 위한 대기압보정용 TD-Diver를 GW-1 관측정에 설치하여 1시간 간격으로 측정하였다(Park, 2010).

나. 일평균 지하수온 및 일평균 대기온도 자료

본 연구에 적용한 일평균 지하수온자료는 갈신시험유역의 GS-3 소유역내 설치된 자유수면 지하수 관측정중 GW-5 관측정의 시간별 측정값을 일평균 값으로 환산하여 사용한다. GW-5 관측정의 좌표는 N36°39' 33.6" , E126°51' 23.4" 이고 관정상단의 표고는 EL. 68.5m이며 2004년 5월 25일부터 관측을 실시하였다. 본 연구에는 2004년 6월 1일부터 2008년 9월 9일까지 일평균 지하수온자료를 사용한다. 대기기온자료는 기상청 고해상도 자료의 기준이 10km이므로, 연구지역(GS-3)에서 북북서방향으로 약 8km 지점에 있는 충남 예산군 신암면 예산농업기술센터에 있는 기상청 AWS 자료를 사용한다(Park, 2010).



(Subwatershed map)

(Unconfined groundwater level survey station at GS-3)

Figure 1. Location map of Galshin experimental watershed

2. 방법

본 연구는 일평균 지하수온과 일평균 대기온도의 시계열적 특성이 잘 나타나도록 관측자료들을 2004, 2005, 2006, 2007 등 1년 단위로 구분하여 분석하고, 2004년에서 2006년까지의 일평균 대기온도의 이동평균값으로부터 일평균 지하수온을 예측할 수 있는 모형을 개발하며, 개발된 모형을 2007년 9월 10일부터 2008년 9월 9일까지 검증기간에 적용하고 평균제곱오차(Mean Squared Error; MSE) 등을 구하여 그 적용성을 검증한다.

가. 일평균 지하수온과 일평균 대기온도의 시계열 특성

이동평균법은 과거로부터 현재까지의 시계열 자료를 대상으로 일정기간별 이동평균을 계산하고 이들의 추세를 파악하여 식 (1)과 같이 다음기간을 예측하는 방법이다(Abraham and Ledolter, 1983; Box and Jenkins, 1976, Heo, 2013, Kim, 1991).

$$F_{n+1} = \frac{1}{m}(Z_n + Z_{n+1} + \dots + Z_{n-m+1}) \text{----- (1)}$$

$$= \frac{1}{m} \sum_t^n Z_t, t = n - m + 1$$

여기서, F_{n+1} 는 다음기간 이동평균값(예측값), m 는 이동평균기간(day), Z_n 은 최근 시점(n day)값이다.

이동평균 기간 m 은 관측기간내에서 한 기간후의 예측 오차(one-step-ahead forecast errors)의 제곱합, 혹은 평균제곱오차(MSE; Mean Squared Error)를 최소로 하는 값으로 결정하게 된다(Oh and Lee, 1993).

본 연구에서의 이동평균기간은 일평균 대기온도와 일

평균 지하수온을 1년 단위로 구분하여 Fig. 2와 같이 정한다.

본 연구에서 적용한 일평균 대기온도 이동평균값의 이동평균기간 m 일은 2일에서 365일 이동평균값을 식(1)로 구하여 최댓값과 최솟값이 발생한 날짜와 관측된 일평균 지하수온의 최댓값과 최솟값이 발생한 날짜를 비교하여 차이가 가장 작은 값을 보인 대기온도의 이동평균값의 이동평균기간으로 정하였다.

나. 일평균 지하수온과 일평균 대기온도의 이동평균 추정모형

일평균 지하수온과 일평균 대기온도 변화의 주된 원인은 태양복사열이기 때문에 태양의 위치에 따라 일변화와 연변화가 나타난다. 일평균 지하수온과 일평균 대기온도의 이동평균 추정모형은 식(2)와 같이 관측 지하수온 또는 일평균 대기온도의 이동평균값으로 같은 종류의 상수와 계수를 적용하여 Sin곡선식으로 구하며 시작점은 이동평균기간 m 일이 지난 $m+1$ 일로 정한다.

$$T_t = a_t \times \sin(b_t \times \frac{x}{365} - c_t) + d_t \text{----- (2)}$$

여기서, T_t 는 추정 일평균 지하수온(°C) 또는 일평균 대기온도의 이동평균값(°C), x 는 이동평균일수(day), a_t , b_t , c_t , d_t 는 계수 또는 상수이다.

일평균 지하수온식(GT)과 일평균 대기온도의 이동평균 추정식(AT m)의 관계로부터 일평균 지하수온 예측모형식(GET)를 식(3)과 같이 유도한다.

$$GET_i = e \times (AT_m)_i + f \text{----- (3)}$$

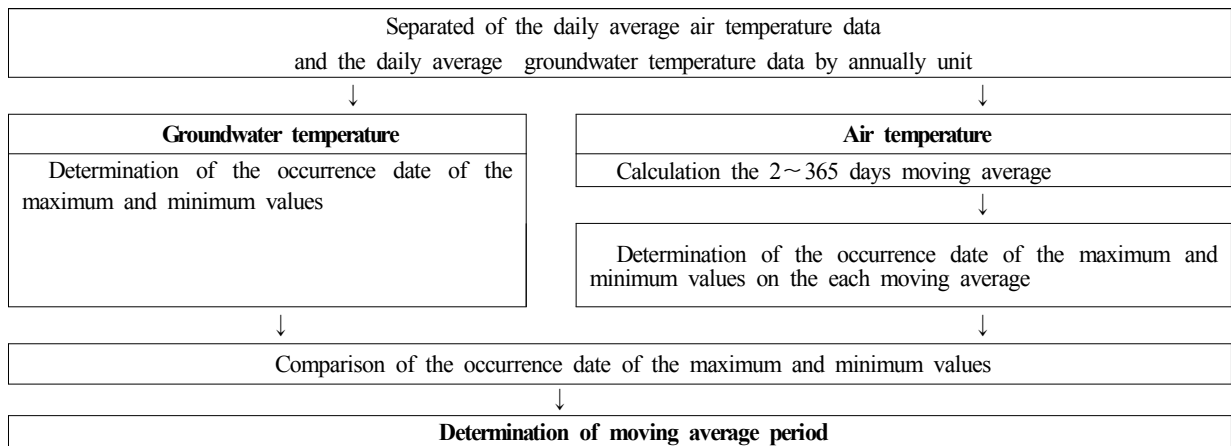


Figure 2. The process of determination of moving average period

여기서, GET_i 는 i 일의 일평균 추정지하수온(°C), $(AT_m)_i$ 는 i 일의 일평균 대기온도의 m 일 이동평균값(°C), e , f 는 계수와 상수이다.

다. 일평균 지하수온 예측모형 적용 및 평가

일평균 지하수온 예측모형 적용은 검증기간으로 유보 하였던 일평균 대기온도와 일평균 지하수온자료로 한다. 일평균 지하수온 예측모형 적용은 결정된 이동평균기간으로 일평균 대기온도에 대한 이동평균값(ATm)을 구하고 식(3)에 적용하여 일평균 추정 지하수온(GET)을 구한다. 예측모형의 평가는 일평균 지하수온 예측모형으로 구한 지하수온과 관측 지하수온을 대상으로 극치값 등의 비교와 식(4)와 같이 평균제곱오차를 구하였다. 또한 예측모형의 검증을 위하여 모의값과 실측값에 대한 Nash-Stucliff Efficiency(NSE, 식(5))와 결정계수(Coefficient of Determination; R^2 , 식(6))을 이용하였다.

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (F_i - Z_i)^2 \text{ ----- (4)}$$

여기서, n 은 data수, F_i 는 일평균 대기온도의 이동평균값으로 구한 지하수온 예측값(°C), Z_i 는 지하수온 관측값(°C)이다.

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \text{ ----- (5)}$$

$$R^2 = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})(P_i - \bar{P})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2}} \right]^2 \text{ ----- (6)}$$

여기서, O_i 는 실측값, P_i 는 예측값, \bar{O} 는 실측값의 평균, \bar{P} 는 예측값의 평균이다.

III. 결과 및 고찰

본 논문은 충남 예산군 갈신시험유역내 지하수 관측정(GW-5)의 2004년 5월 25일부터 2008년 12월 31일까지 관측한 일평균 지하수온과 동일 기간동인 기상청 AWS 관측소에서 관측한 일평균 대기온도의 시계열적 관계특성을 분석하고 일평균 대기온도를 이용하여 지하수온을 예측할 수 있는 기초모형을 개발하고 적용성을 검증하였다.

1. 일평균 지하수온과 일평균 대기온도의 시계열특성 분석 결과

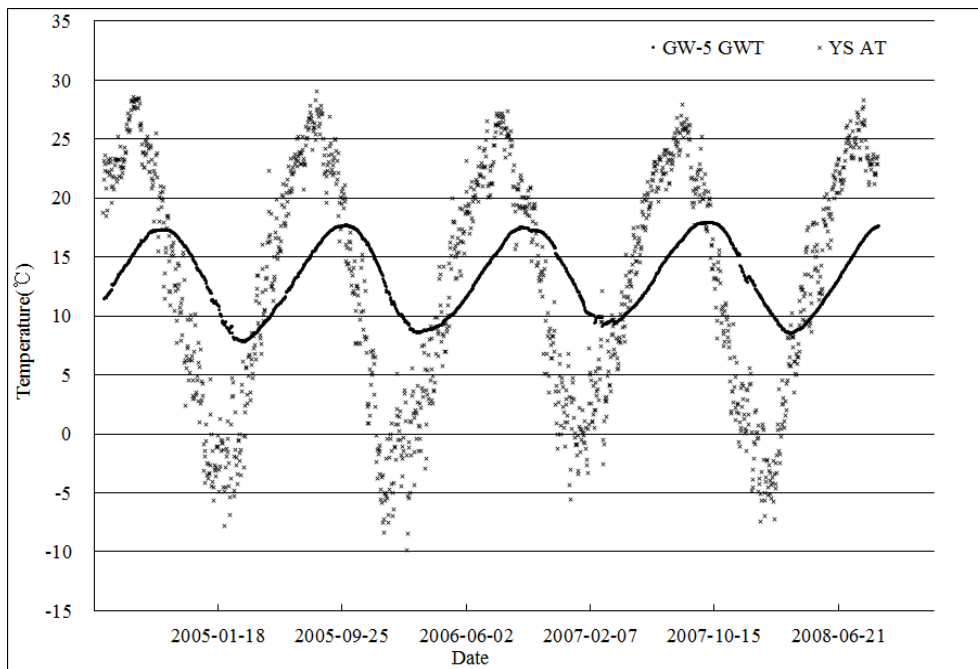


Figure 3. Variation of groundwater temperature(GW-5 GWT) and air temperature(YS AT)

가. 관측자료의 연변화 특성

연구에 적용한 기간인 2004년 6월 1일부터 2008년 9월 9일까지 일평균 지하수온과 일평균 대기온도의 시계열적 분석에 의한 경향특성그래프는 Fig. 3과 같다. 실선은 일평균 지하수온 그래프이고 점은 일평균 대기온도의 추세를 나타내며 지하수온과 대기온도의 최고, 최저 및 변화폭 등을 잘 나타내고 있다. 일평균 지하수온은 안정적인 변화를 보이고 있는 것에 비해 일평균 대기온도는 진폭도 크고 국부적 변동성도 큰 것으로 나타났다.

2005년부터 2008년까지 일평균 지하수온과 일평균 대기온도의 통계적 특성은 Table 1과 같다.

-7.7℃이다.

일평균 지하수온은 일평균 대기온도에 비하여 통계적 요소의 폭이 적었으나 년 평균 지하수온의 평균값이 년 평균 대기온도 평균값보다 1.2℃ 높았다. 년 평균 지하수온의 평균값과 년 평균 대기온도 평균값의 차이는 정하우 등(1999)이 제시한 1~3℃와 비슷한 수준이다. 그러나 지하수온의 년 변화는 년 평균 표준편차의 평균이 3.226℃로 정하우 등(1999)이 제시한 연교차 2℃와 큰 차이를 보이고 지하수 사용 용수공급지역의 수온관리에 주의가 요구된다.

나. 일평균 지하수온의 년 변화 특성

Table 1. Statistics of the groundwater and air temperature data

Year	Groundwater Temperature(GWT)(℃)				Air Temperature in Yesan (YAT)(℃)			
	Average	Standard Deviation	Max	Min	Average	Standard Deviation	Max	Min
2005	13.0	3.4	17.8	7.8	11.6	10.7	29.1	-8.4
2006	13.1	3.2	17.6	8.6	12.2	9.5	27.4	-9.9
2007	13.7	3.0	18.0	9.2	12.5	9.0	27.9	-4.8
2008	13.5	3.3	18.1	8.6	12.0	9.8	28.3	-7.6
Average	13.3	3.2	17.9	8.6	12.1	9.7	28.2	-7.7

일평균 지하수온의 년 평균값은 13.0~13.7℃이며 년 평균 지하수온의 평균값은 13.3℃이고 년 평균 표준편차의 평균값은 3.226℃이다. 일평균 지하수온의 년별 최고 지하수온은 17.6~18.1℃이며 년별 최고 지하수온의 평균값은 17.9℃이다. 일평균 지하수온의 년별 최저 지하수온은 7.8~9.2℃이고 년별 최저 지하수온의 평균값은 8.6℃이다.

일평균 대기온도의 년 평균값은 11.6~12.5℃이며 년 평균 대기온도의 평균값은 12.1℃이고 년 평균 표준편차의 평균값은 9.732℃이다. 일평균 대기온도의 년별 최고 대기온도는 27.4~29.1℃이며 년별 최고 대기온도의 평균값은 28.2℃이다. 일평균 대기온도의 년별 최저 대기온도는 -4.8~-9.9℃이고 년별 최저 대기온도의 평균값은

본 연구에 적용한 일평균 지하수온의 년 변화는 Table 2와 같이 18.01℃에서 7.83℃이고 최고 일평균 수온은 2007년 10월 1일 18.01℃, 최저 일평균 수온은 2005년 3월 10일 7.83℃이며 인근 예산 지하수관측소 증적층 지하수온과 비슷한 특성을 보였다.

2006년 예산 지하수관측소 증적층 지하수의 연평균수온은 14.6℃, 연 최고 지하수온은 21.6℃, 연 최저 지하수온은 8.4℃로 지하수온 변동폭은 13.2℃이며, 예산 지하수관측소 암반층 지하수의 평균수온은 15.0℃, 연최고수온은 15.7℃, 연최저수온은 14.8℃로 수온 변동폭은 0.9℃이었다(MoC & T and K-Water, 2007).

일평균 지하수온의 년 변화 특성은 Table 2와 같이 일 평균 최고 지하수온 발생 일(2004. 10. 2 ; 17.38℃)에서

Table 2. Variation of the daily average groundwater temperature

Groundwater Temperature(GWT)				Variation of GWT		
Max		Min		Delay Day (day)	Diff. GWT (℃)	Rate of GWT Change (℃/day)
Date	(℃)	Date	(℃)			
2004. 10. 02	17.38	2005. 03. 10	7.83	159	9.55	0.060
2005. 10. 02	17.77	2006. 02. 21	8.63	206	9.94	0.048
2006. 09. 19	17.56	2007. 03. 03	9.21	142	8.93	0.063
2007. 10. 01	18.01	2008. 03. 14	8.55	210	8.93	0.043
			8.56	165	8.35	0.051
				212	8.80	0.042
Average	17.68			165	9.46	0.057

시작하여 일평균 최저 지하수온 발생 일(2005. 3. 10 ; 7.83℃)을 경과하고 다음 일평균 최고 지하수온 발생 일(2005. 10. 2 ; 17.77℃)로 회복되는 과정을 고려하여 분석하였으며 지하수온 저하 경과일과 저하율 및 지하수온 상승 경과일과 상승률을 구하였다.

일평균 지하수온의 수온저하평균경과일은 157.8일이고 평균 지하수온 저하율은 0.058℃/day이며 수온상승 평균경과일은 209.3일이며 평균 지하수온 상승률은 0.044℃/day로 지하수온 상승에 약 50일 이상 더 소요되었다.

다. 일평균 대기온도의 년 변화 특성

본 연구에 적용한 일평균 대기온도의 년 변화는 Table 3과 같고, 최고 일평균 대기기온은 2005년 8월 5일 29.05℃, 최저 일평균 대기기온은 2006년 2월 3일 -9.88℃이다. 일평균 대기온도의 년 변화 특성은 일평균 지하수온의 년 변화 특성을 구하는 방법으로 구하였다.

일평균 대기온도의 대기온도 저하평균경과일은 178일이고 평균 대기온도 저하율은 0.198℃/day이며 대기온도상승 평균경과일은 193일이며 평균 대기온도 상승률은 0.182℃/day이다.

대기온도 상승 평균 경과일이 대기온도 저하 평균 경과일에 비하여 약 15일 더 소요되는 것으로 나타났으나 2006년에서 2007년까지 대기온도 변화 경과일을 제외하

고 180일에서 190일까지 거의 비슷한 경과일수를 보였다. 평균 지하수온 저하율은 0.058℃/day이고 평균 대기온도 저하율은 0.198℃/day로 3.4배 차이를 보이고 있으며 평균 지하수온 상승률은 0.044℃/day이고 평균 대기온도 상승률은 0.182℃/day로 4.1배 차이를 보였다.

2. 일평균 지하수온과 일평균 대기온도의 이동평균 추정모형 개발

가. 추정모형 개발을 위한 이동평균일수 산정

일평균 지하수온과 일평균 대기온도는 Fig. 3와 같이 유사한 변동특성을 나타내고 있다. 일평균 지하수온을 추정하기 위한 일평균 대기온도의 이동평균일수를 산정하기 위하여 식(1)을 이용하여 산정한 이동평균일수에 따른 연도별 대기온도와 지하수온의 최댓값과 최솟값의 차이일수를 Table 4와 같이 구하였고 이동평균일수가 101일 일 때 평균 차이일수는 1일로 최솟값을 보였다.

본 연구에서는 일평균 대기온도의 101일 이동평균값과 일평균 지하수온의 자료로 모형을 개발하였다.

일평균 대기온도의 101일 이동평균과 평균지하수 온도 그래프를 2004년 9월 10일부터 2008년 9월 9일 까지 도시한 결과는 Fig. 4와 같으며 연도별 대기온도와 지하

Table 3. Statistics of the daily average air temperature in Yesan (YAT)

Yesan Air Temperature(YAT)				Variation of YAT		
Max		Min		Delay Day (day)	Difference of YAT (°C)	Rate of YAT Variation (°C/day)
Date	(°C)	Date	(°C)			
2004. 08. 01	28.60	2005. 02. 01	-7.80	184	36.40	0.198
2005. 08. 05	29.05	2006. 02. 03	-9.88	185	36.85	0.199
2006. 08. 26	27.40	2007. 02. 02	-3.40	182	38.93	0.214
2007. 08. 11	27.90	2008. 02. 13	-7.20	204	37.28	0.183
				160	30.80	0.193
				190	31.30	0.165
				186	35.10	0.189
Average	28.24		-7.07	184.4	35.24	

Table 4 Determination of optimum days to minimize difference in use of moving average method

Groundwater			Applied days for moving average period								
Temperature(°C)	date		2	5	10	30	50	70	100	101	110
max	17.38	2004. 10. 02	51	55	50	47	31	26	15	14	13
min	7.83	2005. 03. 10	37	35	55	35	25	11	-10	-11	-14
max	17.77	2005. 10. 02	58	55	50	46	45	30	14	15	12
min	8.63	2006. 02. 21	17	62	61	43	27	11	-20	20	-27
max	17.56	2006. 09. 19	35	33	33	22	11	15	-4	-5	-10
min	9.21	2007. 03. 03	64	48	47	27	27	15	-8	-9	-15
max	18.01	2007. 10. 01	51	49	44	34	33	32	10	10	4
min	8.55	2008. 03. 14	56	56	29	30	26	6	5	7	7
Sum			369	393	369	284	225	146	2	1	-30

Table 5. Coefficients of daily air temperature for moving average sine curve

Year	A_{at}	B_{at}	C_{at}	D_{at}
2004	12.01	6.47	-1.35	11.81
2005	12.09	6.30	-1.47	11.46
2006	10.50	6.48	-1.33	12.56
av.	11.53	6.42	-1.38	11.94

수온의 최댓값과 최솟값의 출현경향이 일치하였다.

$$AT_{101} = 11.53 \times \sin(6.42 \times \frac{x}{365} - 1.38) + 11.94 \quad \text{-----}(8)$$

나. 일평균 대기온도 시계열 모델 개발

일평균 대기온도 시계열 모델은 101일 이동평균값 산정이 가능한 2004년 9월 10일부터 2006년 9월 9일까지의 일평균 대기온도 자료를 바탕으로 식(2)를 식(7)과 같이 계수와 상수를 구분하고 각각의 계수와 상수를 추정 한 결과는 Table 5와 같다. Table 5의 평균값을 식(7)에 대입하여 식(8)과 같이 일평균 대기온도 시계열 모델을 개발하였고 적용한 결과는 Fig. 5와 같고 식(4)로 구한 평균제곱오차는 0.820이다.

$$AT_t = A_{at} \times \sin(B_{at} \times \frac{x}{365} - C_{at}) + D_{at} \quad \text{-----}(7)$$

다. 일평균 지하수온 시계열 모형 개발

일평균 지하수온 시계열 모형은 101일 이동평균값 산정이 가능한 2004년 9월 10일부터 2006년 9월 9일까지의 일평균 지하수온 자료를 바탕으로 식(2)를 식(9)와 같이 계수와 상수를 구분하고 각각의 계수와 상수를 추정 한 결과는 Table 6과 같다. Table 6의 평균값을 식(9)에 대입하여 식(10)과 같이 일평균 지하수온 시계열 모형을 개발하였고 적용한 결과는 Fig. 6과 같고 식(4)로 구한 평균제곱오차는 0.328이다.

$$GT_t = A_{gt} \times \sin(B_{gt} \times \frac{x}{365} - C_{gt}) + D_{gt} \quad \text{-----}(9)$$

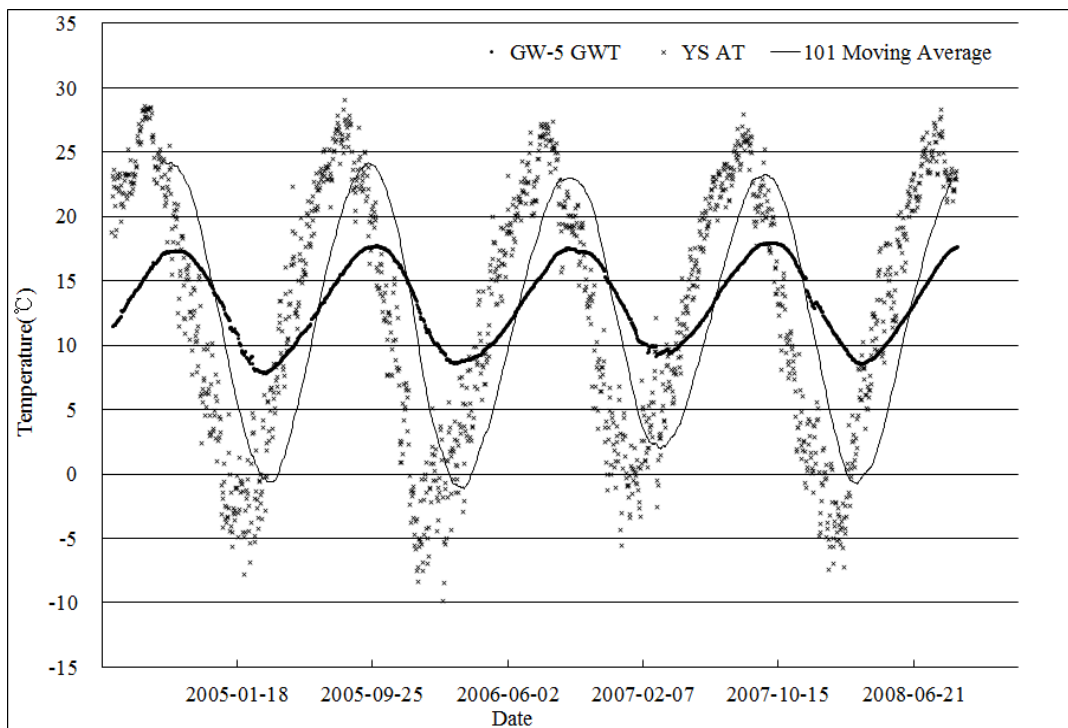


Figure 4. Variation of groundwater temperature(GW-5 GWT), air temperature(YS AT) and 101 day-moving average(101 Moving Average)

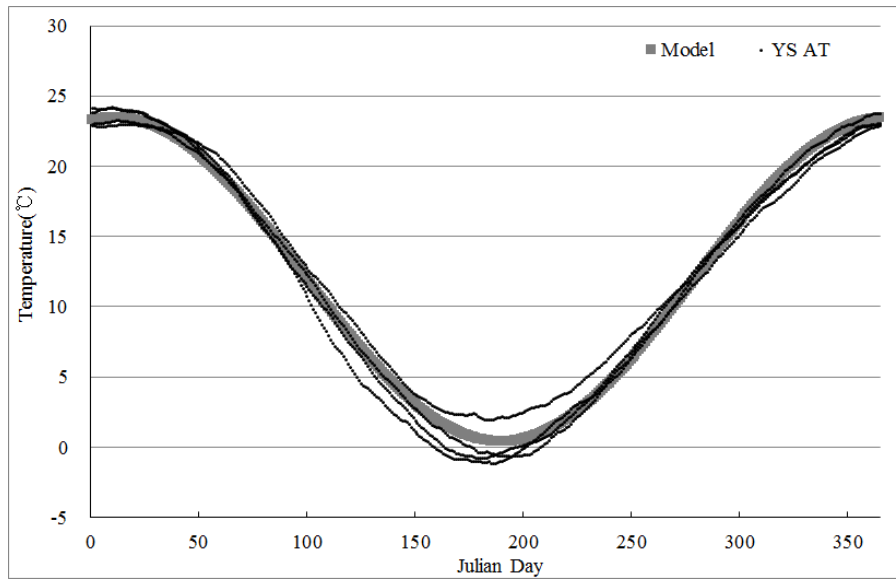


Figure 5. Comparison of measured temperature(YS AT) and estimated air temperature by equation 6 (Model)

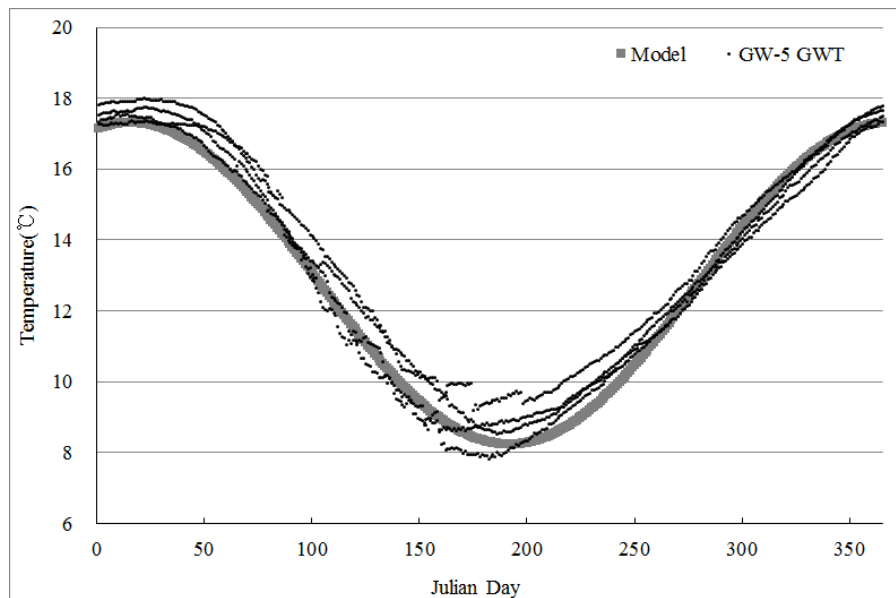


Figure 6. Comparison of measured temperature(GW-5 GWT) and estimated groundwater temperature by equation 8 (Model)

Table 6. Coefficients of sine curve of daily average groundwater temperature

Year	A_{gt}	B_{gt}	C_{gt}	D_{gt}
2004	4.54	6.52	-1.29	12.78
2005	4.60	5.98	-1.54	13.25
2006	4.07	6.53	-1.23	13.51
Av.	4.40	6.34	-1.35	13.18

$$GT = 4.40 \times \sin(6.34 \times \frac{x}{365} - 1.35) + 13.18 \text{ -----(10)}$$

IV. 결 론

3. 일평균 대기온도의 이동평균값에 의한 지하수온 예측모형 검증

일평균 대기온도의 이동평균값에 의한 지하수온 예측 모형은 식(8)과 식(10)을 통합하기 위하여 B_{at} , Bgt 값을 6.37로 동일하게 적용하고 전개하여 식(11)와 같이 구하였다.

$$GET = 0.38 \times AT_{101} + 8.67 \text{ -----(11)}$$

개발된 식(11)를 검증하기 위하여 2007년 9월 10일부터 2008년 9월 9일까지의 평균대기온도의 101일 이동평균으로부터 산출된 평균지하수온의 추정치와 실제 평균 지하수온을 Fig. 7과 같이 비교할 수 있었으며, 최대 저 추정 오차는 1.11℃, 최대 과추정 오차는 0.7℃, 저추정 일수는 260일로 나타났으며 식(4)로 구한 평균제곱오차는 0.316이다. 그리고 실제 지하수온과 예측된 지하수온의 NSE는 0.970, 결정계수는 0.976으로 높게 나타났으며, 따라서 모형에 의한 예측이 잘 이루어진 것으로 판단되었다.

농촌지역에서 주로 이용되고 있는 비피압지하수는 냉해를 방지하기 위해 해당시기의 수원을 추정할 필요가 있으며, 이는 해당위치의 외부기온에 상당한 영향을 받을 것으로 예측되고 있으나 국내에서 이에 대한 실증연구는 부족하다.

본 연구에서는 충남 예산군의 갈신시험유역내 지하수 관측정의 일평균 지하수온과 일평균 대기온도의 시계열적 분석을 통하여 관계특성을 도출하고, 이를 대표할 수 있는 추정함수를 산정하며, 함수들 간의 변환관계를 도출하여 대기온도로부터 지하수온을 추정할 수 있는 방안을 제시하고자 하였다. 주요결과는 다음과 같다.

1) 연구에 적용한 기간인 2004년 6월 1일부터 2008년 9월 9일까지 일평균 지하수온과 일평균 대기온도의 시계열적 분석 결과 일평균 지하수온은 안정적인 변화를 보이고 있는 것에 비해 일평균 대기온도는 진폭도 크고 국부적 변동성도 큰 것으로 나타났다. 일평균 지하수온은 일평균 대기온도에 비하여 통계적 요소의 폭이 적었으나 년 평균 지하수온의 평균값이 년 평균 대기온도 평균값보다 1.2℃ 높았다.

2) 일평균 지하수온을 추정하기 위한 일평균 대기온도의 이동평균일수를 산정하기 위하여 산정한 이동평균일수에 따른 연도별 대기온도와 지하수온의 최댓값과 최솟

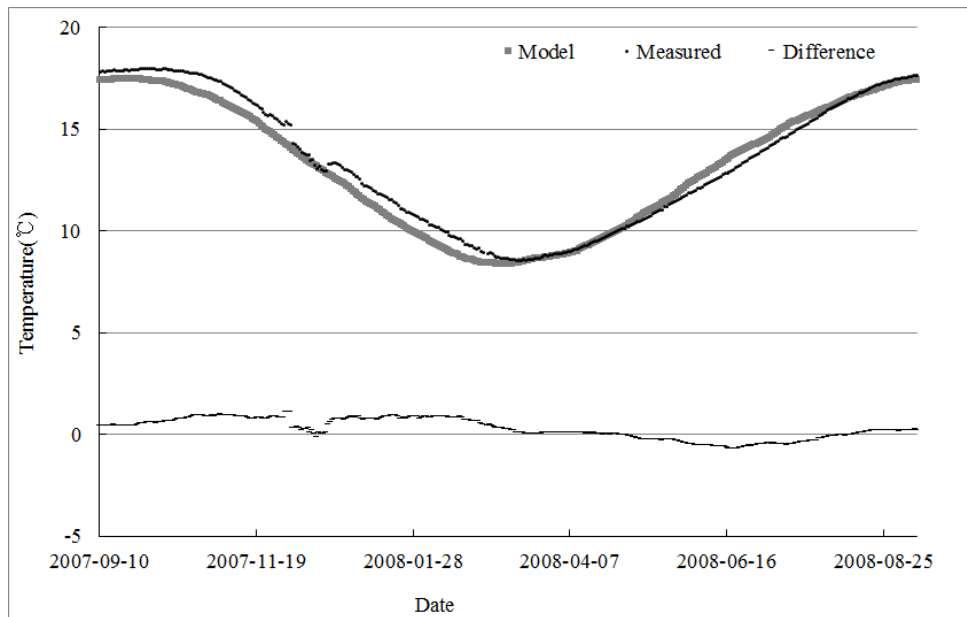


Figure 7. Comparison of measured groundwater temperature(Measured) and estimated groundwater temperature by equation 9(Model)

값의 차이일 수를 정리한 결과 101일 이동평균을 하였을 때 그 차이가 최소가 됨을 알 수 있어 본 연구에서는 일평균 대기온도의 101일 이동평균값과 일평균 지하수온의 자료를 바탕으로 모형을 개발하였다.

3) 일평균 대기온도 시계열 모델은 101일 이동평균값 산정이 가능한 2004년 9월 10일부터 2006년 9월 9일까지의 일평균 대기온도 자료를 바탕으로 계수와 상수를 구분하고 추정된 결과 일평균 대기온도 시계열 모델을 개발할 수 있었고, 평균제곱오차는 0.820이었다.

4) 일평균 지하수온 시계열 모형은 2004년 9월 10일부터 2006년 9월 9일까지의 일평균 지하수온 자료를 바탕으로 계수와 상수를 구분하고 추정된 결과 일평균 지하수온 시계열 모형을 개발할 수 있었고, 평균제곱오차는 0.328이었다.

5) 개발된 식을 검증하기 위하여 2007년 9월 10일부터 2008년 9월 9일까지의 평균대기온도의 101일 이동평균으로부터 산출된 평균지하수온의 추정치와 실제 평균지하수온을 비교할 수 있었으며, 최대 저추정 오차는 1.1°C, 최대 과추정 오차는 0.7°C, 저추정 일수는 260일로 나타났으며 식(4)로 구한 평균제곱오차는 0.316이었다.

본 연구는 특정지점에서 일평균 대기온도와 일평균 지하수온의 상관성을 구할 수 있는지에 대한 가능성에 대한 실증연구로써 일평균 대기온도의 이동평균 변환과 sine curve를 통해 관계식을 도출하였고 이를 모델개발에 사용되지 않는 년도에 적용하여 검증하였다. 그 결과 관련연구에서 주장한바와 같이 지하수원은 해당 위치의 외부기온으로 추정하는 실증연구를 진행할 수 있었으나 단일 지점에 대한 실증에 그쳤다는 것이 본 연구의 한계이며, 앞으로 이를 다른 지점에 적용해 봄으로써 좀더 범용화된 방안을 모색할 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구는 공주대학교 자체학술연구비의 지원에 의해 수행되었습니다.

References

1. Abraham, B., and J. Ledolter, 1983, Statistical methods for forecasting, John Wiley, New York.
2. Box, G. E. P., and G. M. Jenkins, 1976, Time series analysis : Forecasting and control, Holden-Day, San Francisco.
3. Ha, K. C., K. S. Ko, D. C. Koh, B. W. Yum and K. K. Lee, 2006, Time Series Analysis of the Responses of the Groundwater Levels at Multi-depth Wells According to the River Stage Fluctuations., Economic and Environmental Geology, 39(3):269-284.
4. Heo, M. H., 2013, SPSS statistics time series analysis, datasolution, 978-89-8839-390-1 93310, Seoul.
5. Cho, H. Y., 1972, A Study on the Effect of Irrigation Water Temperature to the Growth and Harvest of Paddy Rice in Various Water Sources, Journal of Korean Society of Agricultural Engineers, 14(2): 2634~2648.
6. Jeoung, H. W., S. J. Kim, J. S. Kim, B. G. Ahn, K. H. Lee, N. H. Lee and S. O. Chung, 1999, Irrigation drainage engineering, Dong myung sa.
7. Jeoung, J. M., Y. C. Park, Y. J. Jo and J. Y. Lee, 2010, Time series analysis of groundwater level fluctuation data in Cheonjeonri, Chuncheon, Gangwon-do, Journal of the Geological Society of Korea, 46(2):171 ~ 176.
8. Jeoung, J. H. and S. K. Park, 2003, Calculation of pumping rate considering the change of groundwater level, Korean National Committee on Irrigation and Drainage Journal 10(1):80-88.
9. Kim, H. J., 1991, Time series analysis, Dongguk Univ. Press.
10. Korea Rural Community Corporation and Rural Research Institute, 2014, A study on the supply plan of clean groundwater and groundwater heat for facilities in agricultural complex(Final).
11. Lee, J. H., H. R. Jung, S. T. Yun, J. Y. Kim and S. I. Cho, 2014, Evaluation of groundwater flow pattern at the site of crystalline rock using time series and factor analyses, Journal of Soil and Groundwater Environment, 19(4):12 ~ 22.
12. Ministry of Construction & Transportation and K-Water, 2007~2014, 2007~2014 Groundwater annual report.
13. Oh, G. W., and W. R. Lee, 1993, Forecasting method and Application, Freedom academy, Seoul.
14. Park, S. K., 2010, Hydrological databook at rural small watershed, Kongju National Univ. Publishing Department, Kongju, 978-89-87018-30-0.
15. Van Essen Instruments, 2004, Diver by Van Essen Instruments, Schlumberger Company, Ne.

16. Yi, M. J., G. B. Kim, Y. C. Sohn, J. Y. Lee and K. K. Lee, 2004, Time series analysis of groundwater level data obtained from national groundwater monitoring stations, Journal of the Geological Society of Korea, 40(3):305~329.

-
- Received 5 November 2015
 - First Revised 11 January 2016
 - Finally Revised 15 February 2016
 - Accepted 15 February 2016