

지하수위 상승 자동 이벤트 감지 알고리즘 개발

박정안 · 김성배[†] · 김민선^{*} · 권구흥^{**} · 최낙철^{***}

서울대학교 지역시스템공학과/농업생명과학연구원

^{*}전남과학대학

^{**}투빅스(주)

^{***}전남대학교 공업기술연구소

Development of Automatic Event Detection Algorithm for Groundwater Level Rise

Jeong-Ann Park · Song-Bae Kim[†] · Min-Sun Kim^{*} · Ku-Hung Kwon^{**} · Nag-Choul Choi^{***}

Department of Rural Systems Engineering · Research Institute for Agriculture and Life Sciences, Seoul National University

^{*}Chunnam Techno College

^{**}Tuvics Company

^{***}Institute of Industrial Technology, Chonnam National University

(Received 21 July 2010, Revised 13 September 2010, Accepted 13 September 2010)

Abstract

The objective of this study was to develop automatic event detection algorithm for groundwater level rise. The groundwater level data and rainfall data in July and August at 37 locations nationwide were analyzed to develop the algorithm for groundwater level rise due to rainfall. In addition, the algorithm for groundwater level rise by ice melting and ground freezing was developed through the analysis of groundwater level data in January. The algorithm for groundwater level rise by rainfall was composed of three parts, including correlation between previous rainfall and groundwater level, simple linear regression analysis between previous rainfall and groundwater level, and diagnosis of groundwater level rise due to new rainfall. About 49% of the analyzed data was successfully simulated for groundwater level rise by rainfall. The algorithm for groundwater level rise due to ice melting and ground freezing included graphic analysis for groundwater level versus time (day), simple linear regression analysis for groundwater level versus time, and diagnosis of groundwater level rise by new ice melting and ground freezing. Around 37% of the analyzed data was successfully simulated for groundwater level rise due to ice melting and ground freezing. The algorithms from this study would help develop strategies for sustainable development and conservation of groundwater resources.

keywords : Algorithm, Groundwater, Ground freezing, Groundwater level rise, Ice melting, Rainfall

1. 서론

우리나라는 연간 강수량이 1245 mm로(1974~2003년 평균) 세계 평균 880 mm보다 약 1.4배 이상 높지만, 강우의 계절적 편차가 심하고 인구 밀도가 높아, 1인당 연 강수량은 세계 평균의 약 8분의 1정도에 불과한 것으로 보고되고 있다. 또한, 국토의 65%가 산악지형이고 경사가 급하여 강우의 대부분이 유출되고, 토양의 표토층이 얇아 유역의 보수능력이 적으므로 수자원의 관리가 상당히 어렵다(국토해양부, 2006). 우리나라는 국제인구행동연구소(population action international)에 의하여 물 부족 국가로 분리되면서 수자원 관리에 대한 관심이 높아졌으며, 새로운 대체 수자원의 활용과 개발에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다(환경부, 2000). 대체 수자원으로 관심을 끌고 있는 지

하수는 지표수에 비해 수질이 양호하다는 장점을 가지고 있다. 하지만, 지하수의 특성 및 유동에 대한 고려가 선행되지 않은 상태에서 행하여진 무분별한 개발로 인하여, 수량고갈, 과잉양수, 지반침하 등 각종 문제가 대두되고 있어, 이에 대한 관심이 매우 절실하다.

대부분의 지하수는 지표수와는 달리 주변 자연환경에 의한 영향을 비교적 적게 받기 때문에, 지하수위의 유동을 모의하는 것이 까다롭다. 지하수위는 여러 가지 요인들의 상호작용을 통해 상승과 하강을 반복하는데, 자연적인 변화 요인과 더불어 다양한 인위적인 변화요인에 의해 영향을 받는다. 지하수위의 자연적인 변화는 대수층의 수리 지질학적 성질에 따라 강수, 대기압, 조석, 융설, 언 땅 등에 의한 발생되고, 인위적인 변화는 지하수의 이용과 상하수도의 누수 등으로 인해 일어난다(Yamamoto, 1998). 지하수위의 변화를 분석하기 위하여 여러 연구자들에 의하여 다양한 연구가 수행되었다. 안상도와 김경호(2000)는 MODFLOW 모델을 이용하여 초정지역의 과도한 지하수 개발로 인한

[†] To whom correspondence should be addressed.
songbkim@snu.ac.kr

지하수위 변화를 예측하여 지하수 장애가 발생 가능한 지역을 구분하였다. 김용호 등(2006)은 강우량과 지하수 함양량의 관계를 연구하였으며, 이부용과 박병윤(1999)은 지하수위 센서가 가지고 있는 과도한 증량과 과부하로 인하여 발생하는 센서의 과열문제를 해결하기 위하여, 지하수위 측정용 센서개발에 관한 연구를 수행하였다. 양정석 등(2005)은 자연현상에 의한 지하수위 변화에 관하여 연구하였는데, 그들은 지하수 연구와 관련하여 강우량에 따라 지하수위의 변화를 예측하고 두 자료의 상관관계를 분석하였다. 그리고 양정석과 김남기(2009)는 융설효과와 한계침투량을 고려하여 지하수위와 강우이동평균과의 상관관계를 분석하였다.

본 연구의 목적은 지하수 관측 단말기에서 사용될 수 있는 지하수위 상승을 예측하는 자동 이벤트 감지 알고리즘을 개발하는데 있다. 이를 위하여, 전국적으로 총 37개 지점의 7, 8월의 지하수위 데이터와 강우데이터를 분석하고, 이를 통해 강우에 의한 지하수위 상승을 예측하는 알고리즘을 개발하였다. 또한, 융설 및 언 땅에 의한 지하수위 상승을 예측하는 알고리즘을 개발하였는데, 이를 위하여 1월의 지하수위 데이터를 분석하였다.

2. 연구방법

자동 이벤트 감지 알고리즘을 개발하기 위하여 지하수위 데이터(data)는 국가 지하수 정보센터(<http://www.gims.go.kr>)에 탑재 되어있는 관측 데이터를 사용하였다. 지하수위 관측소(groundwater level gauge(GLG) station)는 암반층(rock stratum)과 충적층(alluvium stratum)을 모두 갖추고 있으며, 결측일이 10일 미만인 지점을 선택하였는데, 서울과 경기 지역에서 2곳 그리고 나머지는 도별로 각 5곳씩 총 37곳을 선정하였다(Fig. 1). 강우 데이터는 국가 수자원 종합정보 시스템(<http://www.wamis.go.kr>)에서 제공하는 데이터 가운



Fig. 1. Location of groundwater level gauge (GLG) stations.

데, 이미 선정된 지하수위 관측소와 가장 인접한 강우 관측소의 강우 데이터를 사용하였다.

알고리즘을 정립하는 과정에서 사용된 계산식들을 정리하면 다음과 같다. 이동평균(moving average)을 구하는 방법은 단순, 가중, 기하, 지수, 이동평균으로 나눌 수 있는데, 본 연구에서는 이전강우량을 계산하기 위하여, 일정기간 동안의 값(P)을 모두 더한 후, 그 기간의 수(n)로 나누어 계산하는 방법인 단순이동평균(M_t)을 사용하였다.

$$M_t = \frac{P_t + P_{t-1} + P_{t-2} + \dots + P_{t-n+1}}{n} \quad (1)$$

또한, 이전강우와 지하수위의 상관관계를 나타내는 상관계수(correlation coefficient)는 다음 식을 이용하여 계산하였다.

$$\rho = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i y_i)}{\sqrt{\sum_{i=1}^N x_i^2 \cdot \sum_{i=1}^N y_i^2}} \quad (2)$$

이때, $\rho=1$ 은 두 변수(x, y)간에 완전한 정(positive)의 상관관계가 존재함을 나타내며, $\rho=0$ 은 두 변수 간에 상관관계가 전혀 존재하지 않음을 나타낸다. 단순회귀분석은 두 변수 사이의 관계를 파악하여 한 변수의 값으로부터 다른 변수의 값을 예측하고자 하는 경우 가장 많이 사용하는 방법으로, 설명변수와 반응변수의 관계를 구체적인 함수 형태로 나타내고 설명변수의 값으로부터 값을 예측하고자 함이 목적이다. 단순선형회귀모형($y = ax + b$)에서, 모회귀계수(population regression coefficient)인 a, b 를 추정하기 위해서 최소제곱법(least square method)을 사용하였다.

$$a = \frac{N \cdot \sum_{i=1}^N (x_i y_i) - \sum_{i=1}^N x_i \cdot \sum_{i=1}^N y_i}{N \cdot \sum_{i=1}^N x_i^2 - (\sum_{i=1}^N x_i)^2} \quad (3)$$

$$b = \frac{\sum_{i=1}^N y_i \cdot \sum_{i=1}^N x_i^2 - \sum_{i=1}^N (x_i y_i) \cdot \sum_{i=1}^N x_i}{N \cdot \sum_{i=1}^N x_i^2 - (\sum_{i=1}^N x_i)^2} \quad (4)$$

각 관측지점마다 회귀분석(regression analysis)을 실시한 후 도출된 회귀방정식(regression equation)을 평가하기 위해서 결정계수(determination coefficient)를 구하였는데, 이때 사용된 식은 다음과 같다.

$$r^2 = \frac{\sum (y_i^\circ - y)^2}{\sum (y_i - y)^2} = \frac{SSR}{SST} \quad (5)$$

여기서, SSR(explained sum of squares)과 SST(total sum of squares)는 각각 설명된 제곱합과 총제곱합을 나타낸다. 이때, 결정계수는 $0 \leq r^2 \leq 1$ 범위이며 같은 표본의 크기일 때 값이 클수록 회귀방정식이 주어진 데이터를 잘 설명한다는 것을 의미한다. 그리고 student t-분포를 이용하여 신뢰구간은 다음과 같이 계산하였다.

$$y \pm t_{(1-\alpha/2)} S_{y/x} \sqrt{1 + \frac{1}{n} + \frac{(x_p - \bar{x})^2}{\sum (x_i - \bar{x})^2}} \quad (6)$$

$$S_{y/x}^2 = \frac{\sum (y_i - \hat{y})^2}{n - 2} \quad (7)$$

이때, x_p 는 y 에 대한 예측구간을 얻고자 하는 특정한 x 의 값이며, t 를 구할 때 사용되는 자유도는 $n-2$ 이다(이승욱, 1993).

3. 결과 및 고찰

3.1. 강우에 의한 지하수위 상승 알고리즘

강우에 의한 지하수위 상승을 예측하는 자동 이벤트 감지 알고리즘을 Fig. 2에 제시하였다. 알고리즘은 전체적으로 세부분으로 구성되었다. 첫 번째 부분은 이전강우량과 지하수위의 상관관계를 구하는 부분이다. 지하수위는 일반적으로 우리나라의 기후특성 때문에 여름 집중강우에 의해 영향을 받는다. 강우로 인한 수위변화정도는 해당 지역의 지리적인 특성에 따라 다르지만, 대체적으로 여름철에 강우로 인한 지하수 함량양이 증가하므로 여름철의 지하수 수위는 겨울철보다 높게 형성된다. 강우에 의한 지하수위의 상승을 분석하기 위해서는 먼저 이전 강우에 대한 고려가 필요하다. 이는 지역마다 토양의 지질학적 구성 및 상태가 다르기 때문에, 강우자료와 지하수위 자료를 여과 없이 그대로 적용하여 상관관계를 구하게 되면 이전 강우에 의한 지표면의 포화도를 고려하지 못하게 된다(양정석과 안태연, 2008). 본 연구에서는 강우자료를 이동평균하여 지역마다 이전강우량과 지하수위와의 상관관계를 구하였다(Table 1).

강우이동평균의 개념은 기존 연구자들에 의해 가뭃지표를 구하는 과정에서 제시된 것으로 이전강우를 고려하는데 사용되었다(Gutmann, 1999; Wilhite and Glantz, 1985). 이동평균은 시간의 흐름에 따라 가장 오래된 변수를 빼고 새로운 변수를 추가하여 구한 평균으로, 전체 데이터의 개수가 변하지 않으므로 분모는 일정하고 분자는 계속 최근 업데이트(update)된 숫자로 교체되기 때문에 변수들의 움직임을 시계열(time series)로 나타낼 수 있다. 특히, 일정기간의 측정값을 평균함으로써 과거 데이터의 노이즈(noise)를 제거하고 평준화된 양으로 예측값을 삼기 때문에, 일시적 이상 현상이나 데이터의 불확실성을 완화해줄 수 있는 장점이 있다. 본 연구에서는 단순이동평균을 사용하였으며, 분석 단계는 먼저 10일 단위로 20, 30, 40, 50, 60일을 차례대로 이동평균을 구해 이전강우량에 관한 데이터를 구성

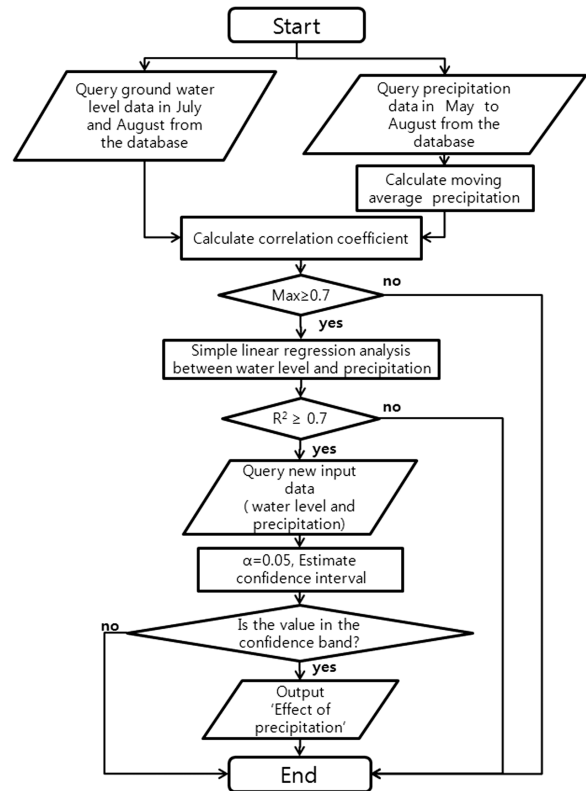


Fig. 2. Algorithm for estimating relationship between groundwater level and precipitation in July and August.

하고, 강우의 영향이 두드러지게 나타나는 홍수기인 7, 8월의 지하수위 데이터와 상관관계를 구하였다. 토양은 극심한 가뭃기를 제외하고는 이전강우에 의해 습윤상태를 유지하고 있으므로 계산과정에서 무강우 기간에도 이전강우에 의한 이동평균값이 적용될 수 있다. 우리나라 기후 특성상 강우가 7, 8월에 집중되며 지하수위는 분석결과 적은 양의 강수에 따른 영향이 미비하기 때문에 모든 달을 강우량의 인자로 상관관계를 분석해 보면 0.2 이하의 낮은 상관성을 보이게 된다. 그러므로 7, 8월의 지하수위 데이터만을 선택하여 분석하였다. 강우데이터는 이동평균일수를 고려하여 5~8월사이의 데이터를 선택하였다. 국가지하수관측망의 지하수위 데이터와 관측망 주변의 기상청 자료를 바탕으로, 총적층과 암반층 2개를 모두 갖추고 있는 관정 37개의 표본을 조사하였다.

7, 8월의 지하수위와 이전강우량과의 상관계수는 60일 이내 범위 내에서 얻을 수 있었는데, 37개의 지역의 이전강우와 지하수위의 상관관계를 분석한 결과는 Table 1에 제시하였다. 상관관계가 가장 높은 지역은 충청북도의 제천고암(Jecheon Goam)이었으며(0.95이상), 이 외에 상관계수가 0.9이상인 지역은 음성생곡(Eumseong Saenggeuk)의 암반층과 총적층, 예산오가(Yesan Oga)의 암반층, 화순능주(Hwasun Neungju)의 총적층이었다. 상관계수가 0.7이상인 지역은 총 37곳 중에 18곳이었으며, 최소 양의 상관계수값은 순창쌍치(Sunchang Ssangchi) 총적층의 0.044이었으며, 암반층과 총적층의 평균 상관계수 값이 가장 낮은 지역은 장수산서(Jangsu Sanseo)이었다. 지역적으로는 충청남도의

Table 1. The correlation and determination coefficients between moving average of precipitation and groundwater level

No	GLG station	Geological stratum	Moving average period (day)	Correlation coefficient (max)	Determination coefficient
1	Seoul Magok	Rock	20	0.7393	0.5466
		Alluvium	20	0.7065	0.5479
2	Gapyeong Gapyeong	Rock	20	0.5748	0.3305
		Alluvium	20	0.5895	0.3321
3	Sokcho Nohak	Rock	40	0.7889	0.6225
		Alluvium	40	0.6879	0.6235
4	Wonju Munmak	Rock	30	0.8442	0.7128
		Alluvium	30	0.8622	0.7256
5	Pyeongchang Bongpyeong	Rock	60	0.5717	0.3269
		Alluvium	20	0.7354	0.5948
6	Hongcheon Hongcheon	Rock	20	0.6621	0.4384
		Alluvium	20	0.6334	0.4013
7	Hwacheon Gandong	Rock	20	0.7491	0.5611
		Alluvium	20	0.7434	0.5527
8	Goeje Shinhyun	Rock	50	-0.7151	-
		Alluvium	50	-0.7298	-
9	Miryang Gagok	Rock	50	0.2857	0.0816
		Alluvium	40	0.2516	0.0633
10	Hadong Hwagae	Rock	50	0.4616	0.2131
		Alluvium	20	0.6831	0.3837
11	Haman Chilwon	Rock	50	-0.5421	-
		Alluvium	50	-0.6188	-
12	Hapcheon Hapcheon	Rock	70	0.5805	0.3369
		Alluvium	20	0.6101	0.3722
13	Gyeongju Geoncheon	Rock	30	0.2325	0.0541
		Alluvium	60	-0.3753	-
14	Sangju Gongsung	Rock	20	0.6954	0.4836
		Alluvium	20	0.6764	0.4612
15	Yeongju Munjung	Rock	40	0.7638	0.5834
		Alluvium	40	0.7236	0.5237
16	Cheongsong Pacheon	Rock	20	0.4628	0.2142
		Alluvium	40	0.6541	0.4278
17	Chilgok Waegwan	Rock	60	0.3426	0.1174
		Alluvium	60	0.3531	0.1246
18	Gangjin Seongjeon	Rock	30	0.4586	0.2104
		Alluvium	30	0.4211	0.1729
19	Gokseon Godal	Rock	60	0.6969	0.4857
		Alluvium	60	0.7244	0.5248
20	Suncheon Pungdeok	Rock	30	0.7349	0.5402
		Alluvium	30	0.7485	0.5603
21	Jangseong Nammyeon	Rock	60	0.7832	0.6135
		Alluvium	60	0.2165	0.0393
22	Hwasun Neungju	Rock	50	0.8896	0.7914
		Alluvium	50	0.9096	0.8274
23	Buan Baeksan	Rock	40	0.2602	0.0677
		Alluvium	40	0.3049	0.0931
24	Sunchang Ssangchi	Rock	40	0.6143	0.3774
		Alluvium	40	0.0435	0.0092
25	Wanju Yongjin	Rock	40	0.4105	0.1685
		Alluvium	40	0.4432	0.1965

Table 1. The correlation and determination coefficients between moving average of precipitation and groundwater level (continued)

No	GLG station	Geological stratum	Moving average period (day)	Correlation coefficient (max)	Determination coefficient
26	Iksan Nangsan	Rock	50	-0.6529	-
		Alluvium	50	-0.6135	-
27	Jangsu Sanseo	Rock	50	0.1802	0.0325
		Alluvium	50	0.1805	0.0325
28	Gongju Jeongan	Rock	40	0.6955	0.4838
		Alluvium	40	0.6923	0.4794
29	Geumsan Poksu	Rock	50	0.5842	0.3413
		Alluvium	50	0.5769	0.3329
30	Swocheon Masan	Rock	20	0.8683	0.7541
		Alluvium	20	0.8535	0.7286
31	Yesan Oga	Rock	50	0.9695	0.9401
		Alluvium	60	0.7401	0.5477
32	Cheonan Seonghgeo	Rock	20	0.8936	0.7986
		Alluvium	20	0.8911	0.7939
33	Boeun Maro	Rock	20	0.8601	0.7399
		Alluvium	20	0.8435	0.7363
34	Youngdong Yangkang	Rock	30	0.8078	0.6526
		Alluvium	30	0.8107	0.6573
35	Eumseong Saenggeuk	Rock	60	0.9419	0.8872
		Alluvium	50	0.9392	0.8777
36	Jecheon Goam	Rock	50	0.9711	0.9429
		Alluvium	50	0.9504	0.9034
37	Cheongju Naedeok	Rock	40	0.7596	0.5771
		Alluvium	50	0.7625	0.5815

경우 5개의 표본 모두가 상관계수가 0.7이상이었으며, 충청 북도와 강원도의 경우는 5곳 중 3곳이 상관성이 높은 것으로 분석되었다. 강수와 수위의 상관관계 값이 음수가 나타난 거제 신현(Goeje Shinhyun), 함안 칠원(Haman Chilwon), 경주 건천(Gyeongju Geoncheon), 익산 낭산(Iksan Nangsan)의 경우 강우에 의해서 지하수위가 상승한다는 유의미한 통계적의미를 얻을 수가 없었다. 이런 지역들은 인위적이며 불규칙하게 이루어지는 양수에 의해 강우에 의한 수위차를 분별하기 어려웠다. 특히 거제 신현(Goeje Shinhyun)의 경우는 상관계수가 -0.7이하의 높은 음의 상관성을 보였는데, 이는 측정에서 비가 오는 시기에 수자원을 확보하기 위해 더 많은 양수가 이루어지거나 수위를 일정하게 유지하기 위한 조치가 일률적으로 수행된 것으로 판단된다. 총적층의 경우 암반층보다 지표면에 가까이 있기 때문에 더 상관계수가 높게 추정될 것으로 예측하였는데, 실제 분석해본 결과 총적층과 암반층 간에 유의미한 차이는 발견할 수 없었다.

알고리즘의 두 번째 부분은 이전강우량과 지하수위의 사이의 단순선형회귀분석 부분이다. 지하수위와 이전강우 데이터를 분석했을 때 상관계수 값이 0.7미만을 나타내는 지역은 불규칙적이거나 잦은 인공적인 양수, 토양피복조건, 지질조건, 또는 저수지나 하천의 수리학적 경계조건으로 인하여 상관관계가 낮으므로, 강우에 의한 지하수위 상승을 알람(alarm)하는 것은 논리성이 떨어진다. 따라서 지하수위와 이전강우와의 상관계수 값이 0.7미만으로 분석되는 지

역의 경우 알고리즘 분석을 멈추었다. 반면, 상관계수 값이 0.7이상인 경우에는 이전강우자료를 일 단위 이전강우자료로 선정하고, 7, 8월의 지하수위와 단순회귀분석을 실시하였다. 단순회귀분석의 첫 단계에서는 산점도(scatter plot) 또는 리그레소그램(regressogram)을 이용하여, 설명변수와 반응변수의 관계에 대한 대략적인 파악을 하고 잠정적으로 한 모형을 설정하였는데, 이전강우와 지하수위 두 변수로 수행한 결과 대체로 산점도에서 점들이 미지의 직선 $y = ax + b$ 주위에 분포되어있음을 알 수 있었다. 37개의 지역 결정계수 값은 Table 1에 정리하였고, 그 중 대표적인 6개 지역의 선형회귀분석 결과를 Fig. 3에 나타내었다. 제천 고암의 회귀방정식의 결정계수는 암반층 0.9429, 총적층 0.9034이었고, 음성 생극의 결정계수는 암반층 0.8872, 총적층 0.8777이었다. 예산오가의 경우 암반층의 결정계수는 0.9401로 높지만, 총적층의 결정계수는 0.5477로 매우 낮았다. 화순 능주의 결정계수는 암반층 0.7914 총적층 0.8274이었다. 순창 쌍치의 결정계수는 암반층(0.3774)과 총적층(0.0092) 모두 매우 낮은 값을 나타냈었다. 결과를 살펴보면, 지하수위 관측소에서 근접한 거리에 위치한 강우관측소의 데이터를 사용한 경우 결정계수가 보다 높게 계산되고, 지하수 근처에 저수지나 기타 수리시설이 위치한 곳에서 낮은 결정계수가 나타난 것으로 보인다. 본 연구에서는 상관계수 값이 0.7이상, 결정계수 값이 0.5이상인 경우만 실제 지하수 관측 단말기에서 분석하도록 알고리즘을 구성하

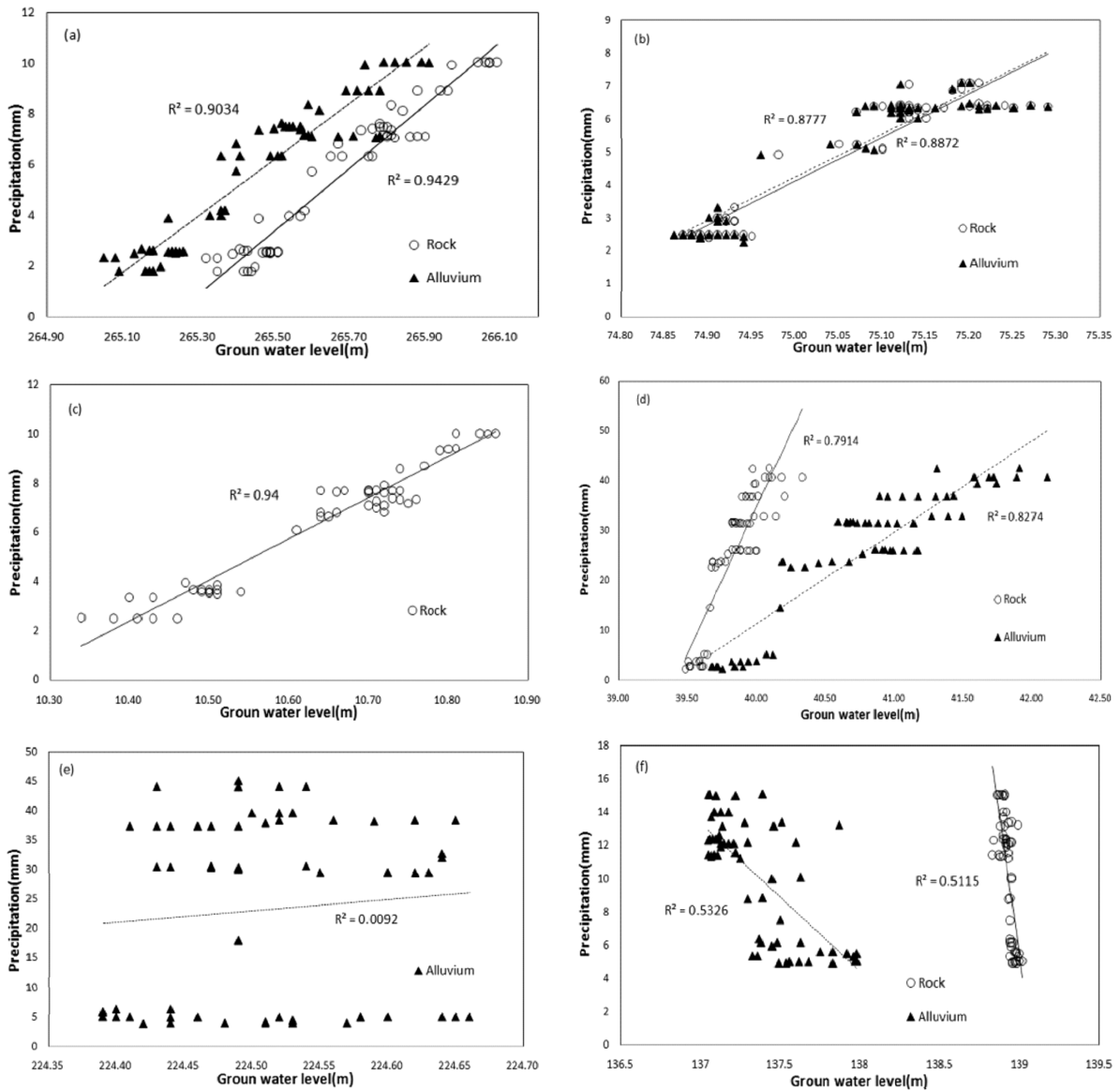


Fig. 3. Relationship between groundwater level and precipitation in (a) Jecheon Goam, (b) Eumseong Saenggeuk, (c) Yesan Oga, (d) Hwasun Neungju, (e) Sunchang Ssangchi, (f) Goeje Shinhyun.

였으며, 유의값 F값과 p-value를 통해 선형회귀모델이 두 번 수를 해석하는데 적합함을 알 수 있었다.

알고리즘의 세 번째 부분은 새롭게 발생하는 강우에 의한 지하수위의 상승 여부를 진단하는 부분이다. 회귀방정식의 도출로 기초적인 강우량과 지하수위에 관한 지역별 경향성 분석이 끝났으므로, 추가로 발생하는 강우 이벤트에 관한 자료가 입력되는 경우 도출된 방정식에(x: 강우, y: 수위) 의하여 지하수위의 신뢰구간을 유의수준 0.05로 추정한다. 이때 모분산을 알지 못하므로 student t-분포를 이용하여, 새로 입력된 지하수위와 강우에 관한 자료가 95% 신뢰구간에 따라 신뢰대내에 들어오게 되면 ‘강수에 의한 지하수위상승’이라고 진단하며, 범위에 들어오지 않는 경우에는 신호를 보내지 않게 한다. 본 알고리즘을 통하여 약 49%의 데이터에 대하여 강우에 의한 지하수위 상승에 관한 분석 및 예측이 성공적으로 모의되었다.

3.2. 응설 및 언땅에 의한 지하수위상승 알고리즘

응설 및 언땅에 의한 지하수위 상승을 예측하는 자동 이벤트 감지 알고리즘을 Fig. 4에 제시하였다. 알고리즘은 전체적으로 세부분으로 구성되었다. 첫 번째 부분은 시간대별 지하수위변화 그래프를 분석하는 부분이다. 지하수위를 연 단위로 살펴보면 1월에 지하수위가 12월에 비해 다소 상승하는 모습을 볼 수 있었고, 무작위로 추출한 데이터를 바탕으로 수위의 변동을 통계 분석해본 결과 1월이 2, 3월에 비하여 상승폭이 높았다. 그러나, 지역에 따라 2, 3월의 데이터를 사용하는 것이 더 적절한 경우도 있으므로, 추후에는 기온 및 적설량을 고려한 연구가 필요할 것으로 보인다. 지하수위가 상승하는 이유는 겨울동안 쌓였던 눈이나 얼어 있던 땅이 녹으면서 물이 지하수에 유입되면서 생기는 현상 때문이다. 이런 현상은 길게는 1월 달 내내(31일) 짧게는 보름정도의 주기로 나타나며 지하수위상승에 두드러진

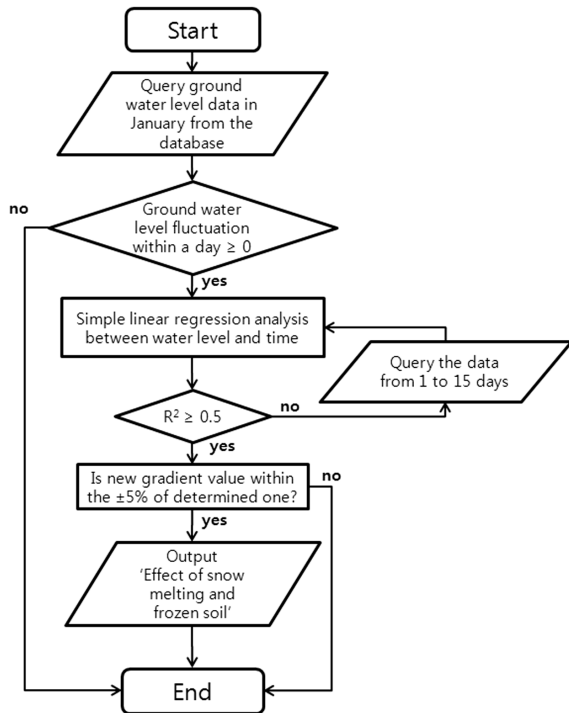


Fig. 4. Algorithm for estimating relationship between period and groundwater level in January.

영향을 미친다. 용설 및 언 땅에 의한 수위 상승은 1월에 국한 되어 나타나는 현상이므로, 1월의 지하수위 데이터만을 선택하여 일별로 정리하는 과정이 필요하다. 본 연구에서는 용설 및 언 땅에 의한 수위 상승을 분석하기 위해 해

당되는 기간을 구분하는 작업을 먼저 수행하였다. 1차적으로 1월의 지하수위 데이터로 시간대별 지하수위변화그래프를 도출하였다. 이때 시간대별 지하수위변화 그래프의 기울기가 음의 값을 갖는 경우와 수위 증가횟수가 기간 내에 3회 미만인 경우는 용설 및 언땅에 의한 지하수위상승의 효과가 없는 경우로 파악되므로 분석을 멈추었다.

두 번째 부분은 일(day)대별 지하수위에 관한 단순선형회귀분석 부분이다. 앞선 분석에서 시간대별 수위변화 그래프가 양의 기울기 값인 경우에는 도출된 그래프로 추세선을 그려서 직선에 대한 기울기와 결정계수를 구하였다. 추세선과 결정계수를 구하는 공식은 앞서 강수량에 따른 지하수위상승에서 언급한 부분과 동일하다. 결정계수값(R^2)값이 0.5이상인 경우에만 의미 있는 분석결과로 인정하였는데, 이는 0.5이하의 결정계수를 지닌 추세선의 경우 실제 데이터를 의미 있게 모의하지 못하기 때문이다. 결정계수 값이 0.5이상인 경우 선형회귀분석을 실시하였다. 분석결과 두 기간의 모델로 나누게 되므로, 1월(31일) 전체 데이터와 1월 1~15일까지(15일) 데이터로 추세선을 그린 후, 결정계수 값이 높은 추세선을 따르도록 하였다. 그리고 1월(31일) 데이터를 사용한 그래프의 결정계수가 0.5이상인 경우는 15일 데이터의 결정계수가 더 높다하여도 31일 분석한 그래프를 따르도록 하였다. 37개의 지역을 대상으로 분석한 결과는 Table 2에 제시하였고, 그 중 대표적인 4개 지역의 분석 결과를 Fig. 5에 나타내었다. 총 37개중 14개 지역에서 0.5이상의 결정계수 값이 도출되었다. 31일 데이터로 가장 모의가 잘된 지역은 순창 쌍치와 평창 봉평(Pyeong-

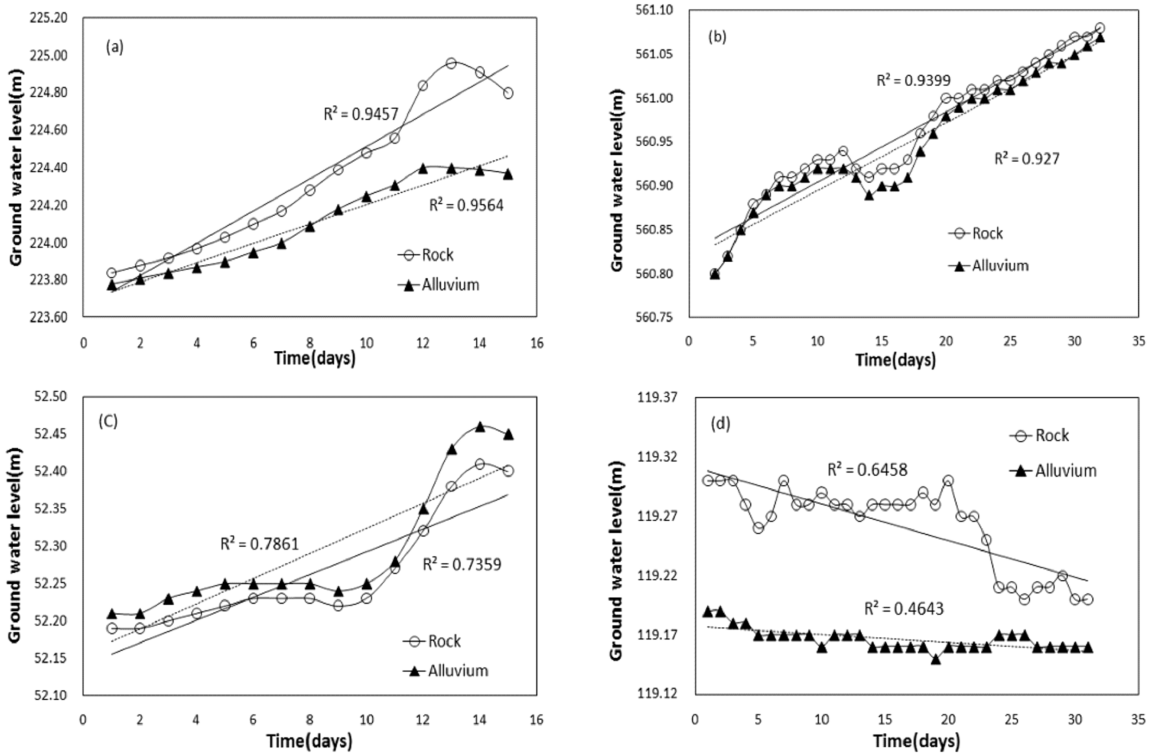


Fig. 5. Relationship between period and groundwater level in (a) Sunchang Ssangchi, (b) Pyeongchang Bongpyeong, (c) Gangjin Seongjeon, (d) Hongcheon Hongcheon.

Table 2. The determination coefficient between period and groundwater level

No	GLG station	Geological stratum	Period (day)	Determination coefficient
1	Seoul Magok	Rock	15	0.5821
		Alluvium	15	0.6918
2	Gapyeong Gapyeong	Rock	-	minus gradient
		Alluvium	-	minus gradient
3	Sokcho Nohak	Rock	-	minus gradient
		Alluvium	-	minus gradient
4	Wonju Mumak	Rock	-	minus gradient
		Alluvium	-	minus gradient
5	Pyeongchang Bongpyeong	Rock	31	0.9399
		Alluvium	31	0.9270
6	Hongcheon Hongcheon	Rock	-	minus gradient
		Alluvium	-	minus gradient
7	Hwacheon Gandong	Rock	-	minus gradient
		Alluvium	-	minus gradient
8	Goeje Shinhyun	Rock	-	minus gradient
		Alluvium	-	minus gradient
9	Miryang Gagok	Rock	-	minus gradient
		Alluvium	-	minus gradient
10	Hadong Hwagae	Rock	15	0.5772
		Alluvium	15	0.3752
11	Haman Chilwon	Rock	-	minus gradient
		Alluvium	-	minus gradient
12	Hapcheon Hapcheon	Rock	-	minus gradient
		Alluvium	-	minus gradient
13	Gyeongju Geoncheon	Rock	31	0.3457
		Alluvium	31	0.4306
14	Sangju Gongsung	Rock	15	0.6669
		Alluvium	15	0.6205
15	Yeongju Munjung	Rock	15	0.3431
		Alluvium	15	0.3457
16	Cheongsong Pacheon	Rock	31	0.3293
		Alluvium	31	0.7985
17	Chilgok Waegwan	Rock	15	0.5192
		Alluvium	15	0.5253
18	Gangjin Seongjeon	Rock	15	0.7861
		Alluvium	15	0.7359
19	Gokseon Godal	Rock	15	0.3304
		Alluvium	15	0.2871
20	Suncheon Pungdeok	Rock	31	0.7044
		Alluvium	31	0.6959
21	Jangseong Nammyeon	Rock	31	0.7368
		Alluvium	31	0.5431
22	Hwasun Neungju	Rock	31	0.5460
		Alluvium	15	0.8535
23	Buan Baeksan	Rock	31	0.1123
		Alluvium	31	0.4757
24	Sunchang Ssangchi	Rock	31	0.9457
		Alluvium	31	0.9564

Table 2. The determination coefficient between period and groundwater level (continued)

No	GLG station	Geological stratum	Period (day)	Determination coefficient
25	Wanju Yongjin	Rock	15	0.5955
		Alluvium	15	0.7212
26	Iksan Nangsan	Rock	-	minus gradient
		Alluvium	-	minus gradient
27	Jangsu Sanseo	Rock	15	0.2653
		Alluvium	15	0.2150
28	Gongju Jeongan	Rock	15	0.4492
		Alluvium	15	0.3956
29	Geumsan Poksu	Rock	31	0.2317
		Alluvium	31	0.2418
30	Swocheon Masan	Rock	-	minus gradient
		Alluvium	-	minus gradient
31	Yesan Oga	Rock	-	minus gradient
		Alluvium	-	minus gradient
32	Cheonan Seonghgeo	Rock	-	minus gradient
		Alluvium	-	minus gradient
33	Boeun Maro	Rock	15	0.6025
		Alluvium	15	0.5738
34	Youngdong Yangkang	Rock	-	minus gradient
		Alluvium	15	0.5630
35	Eumseong Saenggeuk	Rock	-	minus gradient
		Alluvium	-	minus gradient
36	Jecheon Goam	Rock	-	minus gradient
		Alluvium	-	minus gradient
37	Cheongju Naedeok	Rock	31	0.4909
		Alluvium	15	0.4213

chang Bongpyeong)이었는데, 두 지역은 암반층과 충적층 모두에서 0.9이상의 결정계수 값이 분석되었다. 15일 데이터로 가장 높은 결정계수 값을 가진 지역은 강진 성전(Gangjin Seongjeon)으로 암반층과 충적층 모두에서 0.7이상의 값을 얻었다. 표본지역 분석결과 총 37곳 중 0.5이상으로 모의된 곳은 14곳이었다. 기울기가 음수로 나온 경우(minus gradient)는 용설 및 언땅에 의하여 지하수위가 상승하는 폭보다, 갈수기로 인한 지하수위 하강의 폭이 더 크거나, 11월부터 쌓인 눈이 1월내에 충분히 녹지 않아, 지하수위 상승에 영향을 끼치지 못한 것으로 보인다. 따라서, 이 기간에는 수위상승의 영향을 더 이상 분석하지 않았다. 지하수위가 하강하는 경우는 대표적으로 흥천 흥천(Hongcheon Hongcheon)을 들 수 있다.

알고리즘의 세 번째 부분은 새롭게 발생하는 용설 및 언땅에 의한 지하수위의 상승 여부를 진단하는 부분이다. 새로운 기울기가 도출된 회귀방정식의 기울기의 $\pm 5\%$ 범위 내에서 3일 이상 증가하거나, 지하수위를 유지하는 경우에는 ‘용설 및 언땅에 의한 지하수위상승’이라고 이벤트에 관하여 진단하게 하였다. 본 알고리즘을 통하여 약 37%의 데이터에 대하여 용설 및 언땅에 관한 예측과 진단이 가능하였다.

4. 결 론

본 연구에서는 전국적으로 총 37개 지역을 무작위로 선정하여, 지하수위 상승에 영향을 미치는 중요한 자연적인 인자들인 강우와 용설 및 언땅과 지하수위 상승의 상관관계를 분석하고, 지하수위상승에 관한 자연적인 이벤트 발생 여부를 예측하는 알고리즘을 개발하였다. 본 연구에서 극히 제한적인 자료만을 이용하여 지하수위 상승을 예측하였는데, 이는 분석 시에 확보해야 할 기상자료를 최소화 하여 알고리즘을 단순화하기 위함이었다. 강우에 의한 영향은 우기인 7, 8월로 기간을 한정하였는데, 알고리즘을 통하여 이 기간 동안 약 49%의 자료에서 강우에 의한 지하수위 상승에 관한 분석 및 예측이 성공적으로 모의되었다. 용설 및 언땅에 관한 분석의 경우 1월로 기간을 한정하였으며, 해당 알고리즘을 통하여 약 37%가 용설 및 언땅에 관한 예측과 진단이 가능하였다. 하지만, 이는 단순히 지하수위, 강우, 그리고 시간만을 바탕으로 모의된 결과이므로, 추가적인 연구가 이루어진다면 더욱 정확한 예측이 가능할 것이다. 한편, 그 외의 지역들은 지하수위 상승이 인위적인 요인에 의해 더 많은 영향을 받는 것으로 판단되었다. 따라서, 향후 연구에서는 기상자료 및 주변 환경에 대한 고려도 함께 이루어져야 할 것으로 보인다. 본 연구를 통해 얻어진 알고리즘은 지속가능한 지하수 수자원의 개발과 보전에 관련된 연구에 관한 작은 시도였으나 앞으로의 지하수위 거동에 관한 연구에 요긴한 정보를 제공할 것이다.

사 사

본 논문은 중소기업 기술개발 지원 사업 중 기업협동형 기술개발사업(과제번호 S1063712)의 지원에 의하여 연구되었음.

참고문헌

- 국토해양부(2006). 수자원장기종합계획(2006~2020)보고서.
- 김용호, 이승현, 배상근(2006). 도서지역 지하수해안유출량의 평가. *공동추계학술발표회 논문집*, 대한상하수도학회·한국물환경학회, pp. 1115-1118.
- 안상도, 김경호(2000). 초정지역의 지하수 유동해석. *한국지하수환경학회지*, 7(3), pp. 143-154.
- 양정석, 김남기(2009). 용설효과와 한계침투량을 고려한 한강유역의 지하수위와 강우이동평균간의 상관관계. *지질공학회지*, 19(3), pp. 313-321.
- 양정석, 안태연(2008). 한국 남부지방의 강수량 이동평균과 지하수위의 상관관계. *지질공학회지*, 18(4), pp. 393-403.
- 양정석, 임창화, 박재현, 박창근, 정교철(2005). 한계침투량을 고려한 쌍천유역의 강수량과 지하수위의 관계. *지질공학회지*, 15(2), pp. 303-307.
- 이부용, 박병윤(1999). 부력추를 이용한 지하수위 측정용 센서 개발. *한국농림기상학회지*, 1(1), pp. 36-40.
- 이승욱(1993). *통계학의 이해*, 자유아카데미.
- 환경부(2000). *환경백서*.
- Guttman, N. B. (1999). Accepting the standardized precipitation index: A calculation algorithm. *Journal of the American Water Resources Association*, 35(2), pp. 311-322.
- Wilhite, D. A. and Glantz, M. H. (1985). Understanding the Drought phenomenon : The Role of Definition. *Water International*, 10(3), pp. 111-120.
- Yamamoto, S. (1998). *지하수 수문학*, 원기술.