

## 양구해안분지에서 기존 농업용수 이용량 산정식에 따른 양수량과 실측 양수량 비교

유한선<sup>1,2</sup> · 전우현<sup>1,2</sup> · 권기덕<sup>1,2</sup> · 이진용<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup>강원대학교 지질학과

<sup>2</sup>강원대학교 크리티컬존선도연구실

## A Comparison of Estimated Groundwater Consumption Using Existing Formulae with Actual Pumped Volumes in the Haeon Basin, Korea

Han-Sun Ryu<sup>1,2</sup> · Woo-Hyun Jeon<sup>1,2</sup> · Kideok Kwon<sup>1,2</sup> · Jin-Yong Lee<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Geology, Kangwon National University

<sup>2</sup>Critical Zone Frontier Research Laboratory

### ABSTRACT

Efficient groundwater management requires accurate information about the water volume used. The pumped volume of groundwater can be indirectly estimated using empirical formulae based on electric power consumption. The purpose of this study is to test the accuracy of this indirect method. The Haeon basin in Gangwon is located in a rural area, where majority of the groundwater extracted is used for irrigation. The pumped volume of groundwater indirectly estimated from electricity usage using these empirical formulae was compared with the actual pumped volume determined by conducting experiments on April 29 and May 19, 2017. The field survey collected data on electricity usage, pumped volume, and groundwater levels. Based on this measured data, correlations were calculated between electricity usage and pumping volume, as well as groundwater level and pumping rate. The results show that electricity usage and pumped volume measured for both wells (YHE1 and YHE2) are highly correlated ( $r=0.99$ ,  $p<0.001$ ). However, for YHE1, notably, the correlation between the groundwater level and pumping rate was not significant, and only some correlations were identified for these variables for the YHE2 test well. The average error with respect to the estimation of the actual pumped volume from the existing formula (1) and formulae (2) and (3) are +399% and -88%, respectively. To reduce these errors, these formulae need to consider other factors affecting the pumped volume.

**Key words :** Groundwater use, Electricity usage, Pumped volume, Groundwater level, Haeon basin

### 1. 서 론

무분별한 개발로 환경오염이 심화되면서 수자원 확보의 중요성이 높아지고 있다(Jeoung and Park, 2003; MOLIT and K-water, 2007). 그 중 오염에 취약한 지표수와 달리 심층에 있는 지하수의 수질 및 수량은 비교적 안정하여 수요는 더욱 증가하고 있다(MOLIT and K-water, 2007). 지하수는 한정된 자원인 만큼 효율적으로 개발 및 관리하기 위해 정확한 양을 파악하는 것이 매우 중요하다.

MOLIT and K-water(2007)에 따르면 전국 251곳의

지자체 설문조사 결과, 지하수 업무수행 지침 중 일사용량 산정기준에 따라 이용량을 산정하는 곳은 78곳으로 31.1%에 불과하다. 무응답을 포함한 나머지 68.9%는 민원인이 신고 시 제출한 일사용량을 이용하였으며 타 지역의 모니터링 자료를 적용 및 임의적으로 펌프용량에 따라 계산하였다. 이는 신고 된 지하수 사용량과 실제 지하수 사용량에는 상당한 차이가 있을 수 있다는 한계점을 보여 준다.

지하수 사용량은 유량계를 이용하여 관정별 실측값을 산정할 수 있다. 전력사용량과 양수량의 상관성을 이용하

\*Corresponding author : hydrolee@kangwon.ac.kr

Received : 2017. 6. 9 Reviewed : 2017. 6. 27 Accepted : 2017. 7. 14

Discussion until : 2017. 10. 31

거나 농수로에서 하천 수위-유량 관계식을 이용하여 양수량을 추정하기도 한다(Jeoung and Park, 2003; Lee et al., 2015). 하지만 추정량의 오차는 지역마다 큰 편차가 있을 수 있다. 본 연구에서는 기존 산정식의 오차를 파악하기 위해 강원도 양구군 해안분지의 지하수 관정을 이용해 한국수자원공사에서 농업용 정호 양수량을 추정하는 농업용수 이용량 산정식의 적정성을 검토하였다.

2016년 양구 해안분지에 신고된 총 관정은 310공이며 연간 지하수 사용량은 697,987 m<sup>3</sup>/년으로 보고되었다(MOLIT and K-water, 2016). 이 중 농업용으로 신고된 관정은 285공으로 총 관정의 91.9%에 해당한다. 또한 농업용 지하수 사용량은 664,252 m<sup>3</sup>/년으로 총 지하수 사용량의 95.2%에 해당하여 해안분지에서 사용되는 지하수의 대부분이 관개용수로 사용되고 있다(MOLIT and K-water, 2016). 농업용수 이용량 산정식을 통해 계산한 해당 관정의 지하수 사용 추정량을 실측 양수량과 비교 분석하여 산정식의 적정성을 검토하였다. 기존 산정식의 오차를 파악하는 것은 추후에 이를 적용하여 해안분지에서

사용하는 실제 관개 지하수량을 산정하고자 할 때 큰 도움이 될 것이다.

## 2. 연구지역 및 방법

### 2.1. 연구지역

연구지역은 강원도 양구군 해안면 일대로 대북방송이 들릴 정도로 북한과 인접한 지역에 위치한다(Fig. 1). 해안분지의 사방은 도솔산(1,147.8 m), 대우산(1,178.5 m), 가칠봉(1,242.2 m) 및 돌산령(807.4 m)으로 둘러싸여 있으며 산위에서 본 모양이 화채그릇 같이 보인다하여 펀치볼(Punch Bowl)이라 불린다(Lee, 2009; Song and Cho, 2009; Choi and Lee, 2010). 연구지역의 지질은 주로 고원생대의 편마암류와 이를 관입한 주라기 해안화강암으로 이루어져 있다(Song and Cho, 2009). 해안분지를 둘러싸고 있는 고지대는 편마암, 편암 및 규암이 분포하고 있으며 저지대인 분지내부는 풍화가 심한 흑운모 화강암 및 복운모 화강암이 분포한다(Lee and Han, 2013).

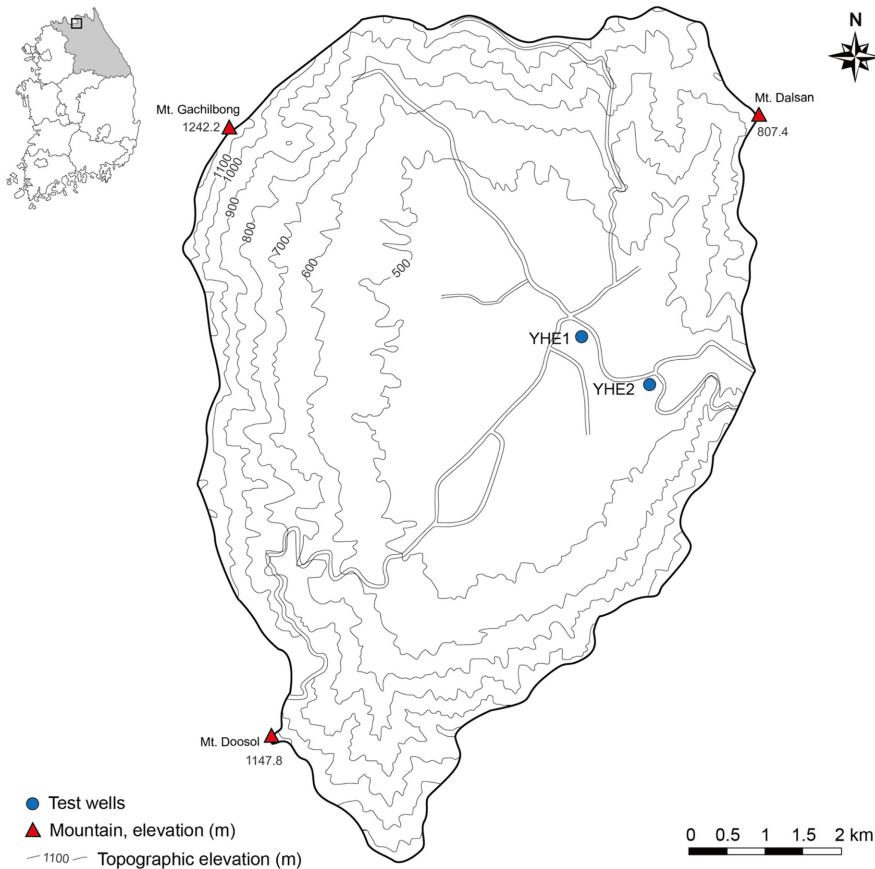


Fig. 1. Location of the Haean basin, or “The Punch Bowl” showing the basin boundary, major mountains and test wells (YHE1 and YHE2).

해안분지의 토지이용은 해발고도에 따라 다르게 나타나는데 고지대는 대부분 임지(63.2%)이며 그 아래는 밭(25.9%), 그리고 저지대는 용수량이 상대적으로 많이 필요한 논(10.9%)이 주로 분포하며 농번기에는 지하수와 하천수를 주요 용수 공급원으로 사용한다(Lee and Han, 2013). 임지를 제외한 대부분의 지역에서 농작물을 재배하고 있으며 주요 농작물로는 쌀, 시래기, 인삼 등이 있다(Yun et al., 2015).

연구지역의 지하수위는 고도에 따라 다르게 나타난다(Lee, 2009; Yun et al., 2009). 고도 500~600 m 구간에서는 지표를 기준으로 5~10 m의 지하수위를 보이며 400~450 m 구간에서는 1~3 m의 지하수위가 분포한다(Lee, 2009; Yun et al., 2009). 한국수자원공사에서 운영하고 있는 양구해안 지점의 국가지하수관측소 지질로깅 자료에 의하면 토사층(0~0.5 m), 모래층(0.5~2 m), 전석층(2~3 m), 풍화암(3~9 m), 연암(9~44 m), 보통암(44~78 m) 및 경암(78~100 m)이 분포하며 지하수는 주로 풍화암 및 하부 단열암반대에 나타난다(Lee, 2009; Yun et al., 2009).

**2.2. 연구방법**

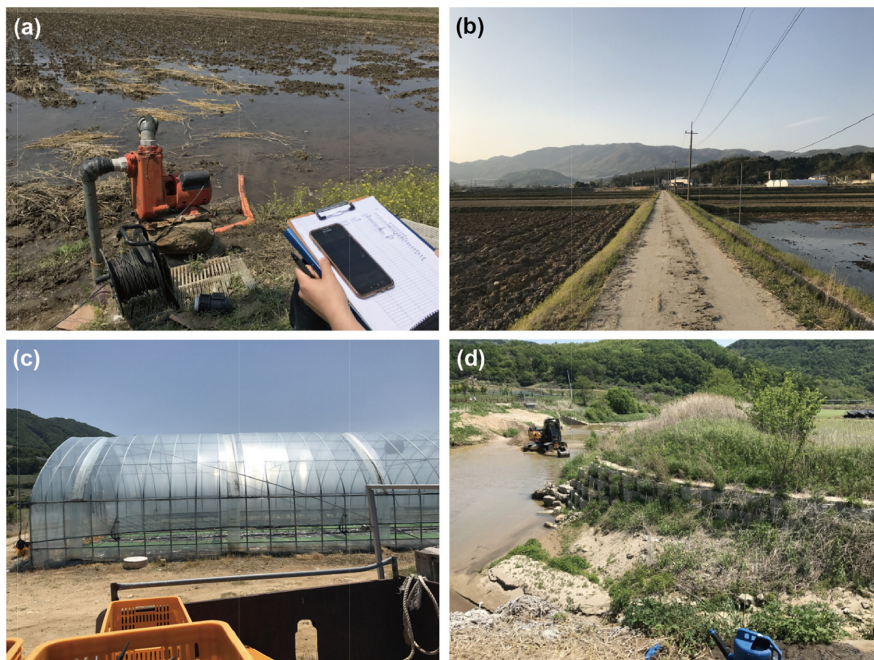
**2.2.1. 관정제원 및 주변현황**

본 연구에서는 YHE1과 YHE2의 농업용 관정에서 전력사용량과 양수량 사이에 관계를 파악하였다(Fig. 1). 2017년 4월 29일에 수행된 YHE1의 위치는 후리 1289번지로 해발고도 426 m이며 굴착한 관정의 깊이는 13.7 m, 굴착지름은 7.5 cm, 외부케이싱의 높이는 22 cm이다(Table 1). YHE1 지점의 양수기는 논 관개 목적으로 사용된다(Fig. 2a). 양수기의 모델명은 PU-761M이며 양수기 출력은 750 W, 양수능력은 393.82 m<sup>3</sup>/day이다(Table 2). YHE1의 주변은 대부분이 논이며 맞은편 논은 하천수를 사용해 관개하고 50 m 떨어진 논은 지하수를 사용해 관개한다(Fig. 2b). 시험을 위해 YHE1 지점에서 양수한 지하수는 양수기 앞에 있는 논에 배수하였다.

2017년 5월 19일에 수행된 YHE2의 위치는 만대리 422번지로 해발고도 426 m이며 굴착한 관정의 깊이는 14 m, 굴착지름은 7.5 cm, 외부케이싱의 높이는 26 cm이다(Table 1). YHE2 지점에서는 하우스에 시래기와 멜론

**Table 1.** Specifications for the test wells surveyed in this study

Test well	Location		Altitude (m)	Depth of well (m)	Diameter of well (cm)	Height of outer casing (cm)
	Latitude	Longitude				
YHE1	38.28715	128.143960	426	13.7	7.5	22
YHE2	38.28275	128.153001	420	14.0	7.5	26



**Fig. 2.** (a) Pumps used at YHE1, (b) Paddy rice field surrounding YHE1, (c) A greenhouse, and (d) A stream in the vicinity of YHE2.

**Table 2.** Specifications of the pumps used for irrigation

Test well	Model	Power (W)	Pumping capacity (m <sup>3</sup> /d)
YHE1	PU-761M	750	393.82
YHE2	PU-1700M	1,700	489.45

을 재배하고 있었으며 양수기는 하우스에 물을 주는 용도로 사용된다(Fig. 2c). 양수기의 모델명은 PU-1700M으로 출력은 1,700 W, 양수능력은 489.45 m<sup>3</sup>/day이다(Table 2). YHE2 지점 주변에는 하천이 흐르고 있으며 두 개의 하천이 만나는 합류지점이기도 하다(Fig. 2d). 시험을 위해 YHE2 지점에서 양수한 지하수는 하천에 배수하였다.

### 2.2.2. 기존 농업용수 이용량 산정식과 실측 양수량

전력사용량을 이용한 농업용수 이용량 산정식은 한국수자원공사에서 전력사용량을 이용하여 양수량을 구하기 위해 개발한 경험식이다(MOLIT, 2015).

$$P = \frac{E}{W} \times P_c \quad (1)$$

여기서  $P$ 는 양수량(m<sup>3</sup>/day),  $E$ 는 전력사용량(kWh),  $W$ 는 모터용량(kWh),  $P_c$ 는 양수능력(m<sup>3</sup>/day)이다.

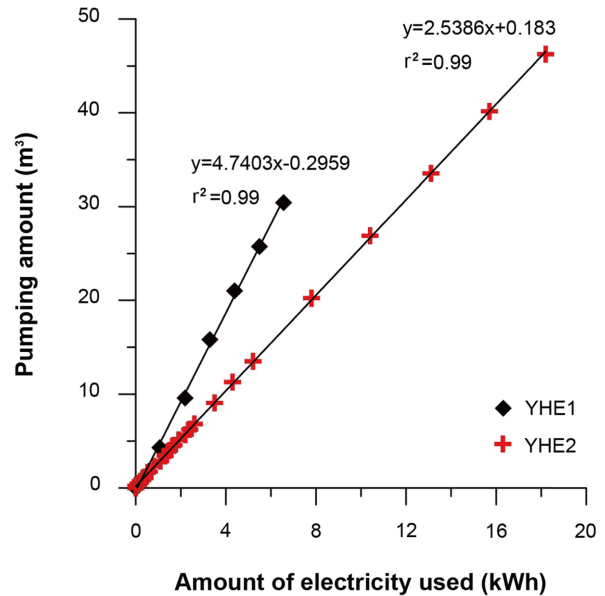
용도별 농업용 지하수 이용량 산정식은 답작용, 전작용, 원예용 및 축산업용으로 나뉘며 연구에서 사용한 답작용 및 전작용 지하수 사용량은 연강수량이 평균미만지역(1,250 mm 미만), 평균강수지역(1,250~1,450 mm), 평균초과지역(1,450 mm 초과)에 따라 산정식이 구분된다(MOLIT, 2015). 기상청에 따르면 2016년 해안분지의 연강수량은 1,152 mm로 평균미만지역(1,250 mm 미만)에 해당하는 산정식을 이용하였다(MOLIT, 2015; KMA, 2017).

$$P_{pm} = 2.089 + (P_c \times 0.043) \quad (2)$$

$$P_{um} = 6.964 + (P_c \times 0.013) \quad (3)$$

여기서  $P_{pm}$ 는 평균미만지역의 답작용 지하수 사용량(m<sup>3</sup>/day),  $P_c$ 는 양수능력(m<sup>3</sup>/day),  $P_{um}$ 는 평균미만지역의 전작용 지하수 사용량(m<sup>3</sup>/day)이다.

한국수자원공사의 농업용수 이용량 산정식을 검토하기 위해 양수량에 따라 전력사용량 및 지하수위를 측정하였다. 지하수위는 처음 양수가 시작되고 수위변화가 급격히 일어나는 초반과 수위가 안정화 되어가는 후반의 시간을 다르게 하여 측정하였다. 0~10분 동안은 1분 간격, 10~60분 동안은 5분 간격, 60~120분 동안은 20분 간격, 120분 이상은 1시간 간격으로 측정하였다(Table 3, 4).



**Fig. 3.** Relationship between the pumped volume and electricity usage.

YHE1에서는 양수량과 전력사용량을 한 시간 간격으로 측정하였으나 기존 산정식을 검증하는데 더욱 신뢰도 높은 자료를 얻기 위해 다음 YHE2에서는 지하수위와 같은 간격으로 양수량과 전력사용량을 측정하였다(Table 3, 4).

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 전력사용량과 양수량 상관 분석

YHE1 및 YHE2 관정에 사용된 전력사용량과 양수량 사이의 관계를 파악하기 위해 회귀분석을 한 결과 YHE1의 관정과 YHE2의 관정 모두에서 두 변수 사이에 매우 높은 상관성( $r=0.99$ ,  $p<0.001$ )을 보인다(Fig. 3). 각 관정 추세선의 기울기 차이가 많이 나는 것을 보면 관정사이에 연관성은 낮은 것으로 판단된다. 두 관정에서 도출된 전력사용량과 양수량 사이의 일차방정식이 매우 다르게 나타나는 이유는 서로 다른 주변 환경에 의한 것으로 양수기 특성(펌프용량, 마력수, 양수효율), 관정 제원(관정 깊이, 관정지름, 스크린 구간) 및 지하수위 등 다양한 원인에 의한 것으로 판단된다(Jung et al., 2001; Jeoung and Park, 2003; MOLIT and K-water, 2007). 하지만 각 관

**Table 3.** Electricity usage, pumped volume, and water level during pumping at YHE1 (DTW: depth to water)

Test well	Date (mm/dd/yy)	Time (hh : mm)	Electricity used (kWh)	Pumped volume (m <sup>3</sup> )	Water level (m, DTW)
YHE1	04/29/17	12:10	0.00	0.00	2.12
		12:11	-	-	6.17
		12:12	-	-	6.82
		12:13	-	-	7.00
		12:14	-	-	7.03
		12:15	-	-	7.07
		12:16	-	-	7.13
		12:17	-	-	7.14
		12:18	-	-	7.14
		12:19	-	-	7.14
		12:20	-	-	-
		12:25	-	-	7.12
		12:30	-	-	7.08
		12:35	-	-	7.08
		12:40	-	-	7.09
		12:45	-	-	7.09
		12:50	-	-	7.10
		12:55	-	-	7.10
		13:00	-	-	7.11
		13:05	-	-	7.12
13:10	1.07	4.31	7.12		
13:30	-	-	7.14		
13:50	-	-	7.15		
14:10	2.19	9.58	7.15		
15:10	3.29	15.82	7.15		
16:10	4.39	21.01	7.16		
17:10	5.49	25.75	7.16		
18:10	6.56	30.43	7.17		

정에 한해서는 시험을 통해 산출된 일차방정식을 활용한다면 전력사용량만으로 실제 양수량에 근접한 값을 도출해 낼 수 있을 것이다.

**3.2. 지하수위와 양수량**

Figs. 4a와 4b의 지하수위를 비교해 보면 처음 양수가 시작되고 YHE1의 지하수위가 YHE2의 지하수위보다 빠르게 하강한다. 이후 YHE1의 지하수위는 상승하다가 다시 하강하는 양상을 보이지만 큰 폭의 변화 없이 안정적으로 수위가 유지된다(Table 3). 하지만 YHE2의 경우 초기 수위가 12시 30분에 4.23 m에서 12시 38분에 7.5 m로 3.27 m 크게 하강한 뒤 17시 30분에 7.39 m로 0.11 m 수위회복을 한다. 그리고 수위는 계속 상승하여 시험을 마친 19시 30분에 17시 30분 수위보다 0.37 m 높은 7.02 m로 측정되었다(Table 4).

두 지점 간 수위 변화의 차이를 보이는 원인은 YHE1은 논 주변이고 YHE2는 하천 주변으로 지하수를 양수하면 논 주변에서는 지하수위를 회복하는데 오랜 시간이 걸리지만 하천 주변에서는 비교적 빠른 시간 내 수위 회복이 이뤄지기 때문인 것으로 판단된다. YHE1의 지하수위와 양수량 사이에는 특별한 연관성이 관찰되지 않지만 YHE2에서는 지하수위가 하강하고 상승함에 따라 양수량이 높아지고 낮아지며 두 변수는 서로 반비례 관계를 확인할 수 있다.

**3.3. 기존 농업용수 이용량 산정식과 실측 양수량 비교**

YHE1과 YHE2에서 실측한 자료를 보면 YHE1에서는 전력 6.56 kWh를 사용하였을 때 양수량은 30.43 m<sup>3</sup>이다(Table 5). 실측한 전력사용량을 농업용수 이용량 산정식(1)에 적용하여 계산하면 143.53 m<sup>3</sup>이다. 또한 YHE2에서

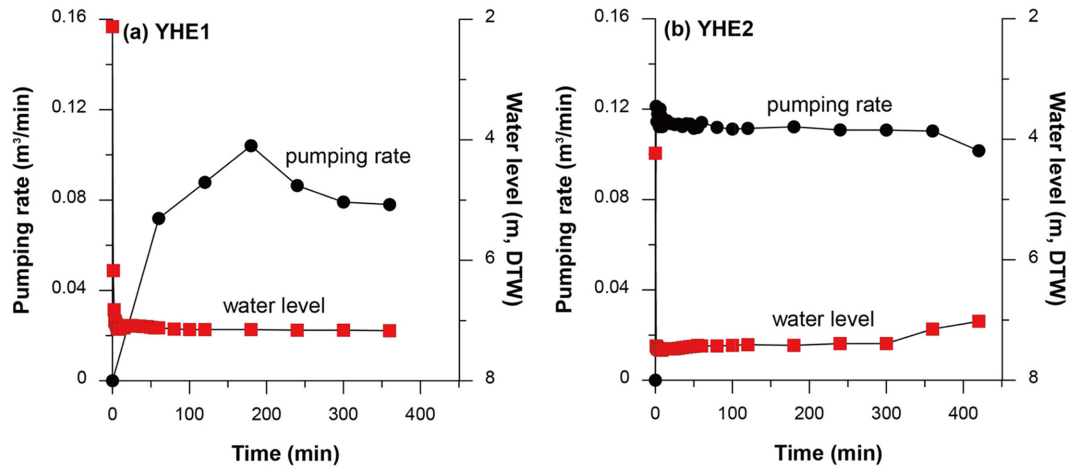


Fig. 4. (a) Change in pumping rate with water level for YHE1, (b) Change in pumping rate with water level for YHE2 (DTW: depth to water).

Table 4. Electricity used, pumped volume, and water level during pumping at YHE2 (DTW: depth to water)

Test well	Date (mm/dd/yy)	Time (hh : mm)	Electricity used (kWh)	Pumped volume (m <sup>3</sup> )	Water level (m, DTW)
YHE2	05/19/17	12:30	0.0	0.00	4.23
		12:31	0.0	0.12	7.43
		12:32	0.0	0.24	7.45
		12:33	0.1	0.35	7.47
		12:34	0.1	0.47	7.48
		12:35	0.2	0.58	7.49
		12:36	0.2	0.70	7.50
		12:37	0.3	0.82	7.50
		12:38	0.3	0.93	7.50
		12:39	0.4	1.05	7.49
		12:40	0.4	1.16	7.48
		12:45	0.6	1.73	7.48
		12:50	0.8	2.30	7.48
		12:55	1.1	2.87	7.48
		13:00	1.3	3.44	7.47
		13:05	1.5	3.99	7.46
		13:10	1.7	4.56	7.45
		13:15	1.9	5.13	7.44
		13:20	2.2	5.69	7.44
		13:25	2.4	6.25	7.42
13:30	2.6	6.82	7.43		
13:50	3.5	9.06	7.43		
14:10	4.3	11.28	7.42		
14:30	5.2	13.51	7.41		
15:30	7.8	20.24	7.42		
16:30	10.4	26.89	7.39		
17:30	13.1	33.53	7.39		
18:30	15.7	40.15	7.15		
19:30	18.2	46.25	7.02		

**Table 5.** Comparison between actual pumped volume, and pumped volume calculated with formula (1), and formulae (2) and (3)

Test well	Actual pumped volume	Pumping rate from formula (1)	Error (%)	Pumping rate from formulae (2) and (3)	Error (%)
YHE1	30.43 (m <sup>3</sup> /6 h)	143.53 (m <sup>3</sup> /6 h)	+372	4.76 (m <sup>3</sup> /6 h)	-84
YHE2	46.25 (m <sup>3</sup> /7 h)	187.14 (m <sup>3</sup> /7 h)	+305	3.89 (m <sup>3</sup> /7 h)	-92

전력 18.2 kWh를 사용하였을 때의 양수량은 46.25 m<sup>3</sup>이며 전력사용량을 산정식 (1)에 적용하여 계산하면 187.14 m<sup>3</sup>이다. 용도별 지하수 이용량 산정식 (2)와 (3)을 이용하였을 때의 양수량은 각각 4.76과 3.89 m<sup>3</sup>로 전력사용량을 이용하는 것에 비해 오차가 작은 것으로 확인된다.

실측 양수량과 농업용수 이용량 산정식 (1)을 이용하여 계산한 양수량을 비교하였을 때 실측 양수량에 비해 산정식을 이용한 방법이 평균 +339% 큰 값을 보인다. 용도별 지하수 이용량 산정식 (2)와 (3)의 경우 평균 -88% 작은 값을 보이며 전력사용량을 이용한 산정식에 비해 오차가 작은 것으로 확인된다. 양수기의 노후화로 설계된 양수능력에 비해 효율성이 감소하고 지하수위와 양수능력을 산정하기 위해 사용되는 온양정의 정확한 높이를 알 수 없기 때문에 오차가 발생하는 것으로 판단된다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 양구 해안분지에서 기존 한국수자원공사에서 사용하는 농업용수 이용량 산정식을 이용한 추정값과 실측한 지하수 사용량을 비교하였다. 전력사용량과 양수량의 상관분석 결과 YHE1과 YHE2은 전력사용량과 양수량 사이에 유의미한 연관성을 보였다. YHE1에서는 지하수위와 양수량 사이의 경향성을 발견하기 어려웠지만 YHE2에서는 지하수위가 하강, 상승함에 따라 양수량이 증가하고, 감소하는 경향을 보였다. 전력사용량을 이용해 산정한 양수량은 실측값에 비해 평균 +339%의 오차를 보였다. 또한 용도별 지하수 이용량 산정식은 평균 -88%의 오차를 보였으며 전력사용량을 이용한 방식에 비해 오차가 작았다.

전력사용량을 이용한 양수량 산정식으로 농업용수 이용량을 파악하기에는 오차가 크며 오차를 줄이기 위해서는 양수량에 영향을 미치는 요인인 관정제원, 양수기제원 및 지하수위를 고려한 계산식이 필요할 것으로 판단된다. 또한 YHE1 주변은 논으로 둘러싸여 있지만 YHE2는 하천이 흐르고 있어 두 지점에서의 전력사용량과 양수량 사이의 관계를 비교하는데 한계가 있다. 이번 연구에서는 두 개의 관정을 비교하였지만 향후 연구에서는 동일한 환경

및 다양한 지점에서 실측하여 오차의 원인을 규명할 수 있을 것으로 판단된다.

#### 사 사

이 논문은 2017년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. NRF-2015R1A4A1041105). 건설적인 심사의견을 주신 익명의 두 심사위원님께 감사드립니다.

#### References

- Choi, H.M. and Lee, J.Y., 2010, Groundwater level distribution and rainfall response characteristics in Haeon basin of Yangju, *J. Soil Groundwater Environ.*, **15**(6), 1-8.
- Jeoung, J.H. and Park, S.K., 2003, Calculation of pumping rate considering the change of groundwater level, *KCID J.*, **10**(1), 64-72.
- Jung, J.H., Hawng, M.S., Park, S.K., and Lee, S.K., 2001, Characteristics of pumping in small tube wells for agricultural, *KSAE Conference*, 106-109.
- Korea Meteorological Administration (KMA), 2017, Automated Weather Station, <http://www.kma.go.kr> [accessed 17.06.29]
- Lee, B.J., Kim, Y.C., Cho, B.W., Yoon, U., Ha, K., Lee, B.D., Moon, S.H., Yoon, P., and Kim, S.Y., 2015, Estimation of groundwater usage for water curtain cultivation using a rating curve, *J. Engin. Geol.*, **25**(1), 35-43.
- Lee, J.Y., 2009, Importance of hydrogeological and hydrologic studies for Haeon basin in Yanggu, *J. Geol. Soc. Korea*, **45**(4), 405-414.
- Lee, J.Y. and Han, J.W., 2013, Groundwater use and its perspective in Haeon Basin, Yanggu County of Gangwon Province, *J. Wetlands Res.*, **15**(2), 179-189.
- MOLIT, 2015, Guidelines for Groundwater Operations, MOLIT, Sejong, Korea, p.359.
- MOLIT and K-water, 2007, Investigation Report for Monitoring of Groundwater Use, MOLIT and K-water, Daejeon, Korea, p.208.

MOLIT and K-water, 2016, Groundwater Annual Report, MOLIT and K-water, Daejeon, Korea, p.671.

Song, K.Y. and Cho, D.L., 2009, Geological Report of the Mandaeri Sheet, *KIGAM*, 1-60.

Yun, S.W., Jo, Y.J., and Lee, J.Y., 2009, Comparison of groundwater recharges estimated by waterlevel fluctuation and

hydrograph separation in Haeon basin of Yanggu, *J. Geol. Soc. Korea*, **45**(4), 391-404.

Yun, S.W., Lee, J.Y., and Lee, H.G., 2015, Variation of stream water quality and baseflow contribution from groundwater during rainfall event in the Haeon basin. *J. Geol. Soc. Korea*, **51**(6), 611-621.