

농업용 지하수의 실제 이용량 특성

송성호^{1*} · 명우호¹ · 이규상²

¹한국농어촌공사 농어촌연구원

²한국농어촌공사 지하수지질처

Characteristics of the Actual use of Agricultural Groundwater

Sung-Ho Song^{1*} · Woo-Ho Myoung¹ · Gyu-Sang Lee²

¹Rural Research Institute, Korea Rural Community Corporation

²Groundwater and Geological Technology Office, Korea Rural Community Corporation

ABSTRACT

Accurate assessment of agricultural groundwater usage is an essential task to cope with drought that occurs irregularly in time and location. In this study, the agricultural groundwater usage was calculated in nationwide public wells (1,386 bedrock wells) during 5-year period (2010-2014) by using electric power consumption and well specification data. National average of agricultural groundwater usage per each well was estimated as 66.2 m³/day, corresponding to 21.6% of total permitted volume of groundwater in each well. Chungcheong Nam-do had the highest usage with 38-55.6%. The value increased to 58.1% when the total permitted volume was based upon the supply standard against drought, and the value reached 100% in Chungcheong Nam-do. In Ganghwa district that suffered from severe drought in recent years, the average groundwater usage was 61.4%. In 2014, when the drought was the most severe with 45% precipitation of the average annual rainfall, the nationwide usage was turned out to be 25.6%, indicating about 4% higher than average agricultural groundwater usage 21.6%. Therefore, the quantitative assessment of groundwater usage in this study signifies that adequate use of groundwater is crucial to cope with agricultural drought.

Key words : Groundwater use, Agriculture, Public well, Groundwater allocation, Drought

1. 서 론

우리나라의 지하수 관정 및 이용량은 각각 1,626,719개와 4,094백만 m³/년으로, 이 중 농업용은 752,056개(46.2%)와 2,113백만 m³/년(51.6%)로 타 용도에 비해 상대적으로 높은 비중을 차지하고 있다(MOLIT and Kwater, 2016). 이러한 용도별 관정수 및 이용량 변동은 매년 행정구역 및 수계별로 갱신되어, 정부의 지하수 보전·관리와 관련된 다양한 정책 및 제도 수립에 적극 활용되고 있다. 이 중 지하수 관정수는 최근까지 폐공찾기 운동 등 다양한 지하수자원 보전 활동 등을 통하여 비교적 정확한 통계로 제공되고 있지만, 지하수 이용량은 용도별로 자료 획득 방식에서 다양한 불확실성으로 인하여 실제 이용량

을 정확하게 파악하는 것이 매우 어려운 현실이다. 지하수 용도 중 일정 규모 이상의 생활용 및 공업용 관정은 사용자 징수를 위한 계량기를 이용하여 비교적 정확한 이용량 측정이 가능한 반면, 농업용 지하수는 일정 규모 이하의 관정에 대해서 별도의 계량기 설치가 의무화되지 않아 전체적으로 이용량 산정이 불가능한 현실이다. 따라서 용도별로 기존 관정에 대한 허가량 대비 실제 이용량의 차이가 발생할 소지가 매우 크기 때문에, 결과적으로 지역적인 지하수 개발 가능량 평가에 어려움이 발생된다.

지금까지 지하수 이용량과 관련한 선행 연구 중 Woo et al.(1994)은 생활용, 공업용 및 농업용 지역에 대하여 통계분석을 위한 인자를 도출한 후, 이를 이용하여 다중 회귀분석 방법으로 이용량을 추정한 바 있다. 그러나 이

*Corresponding author : shsong@ekr.or.kr

Received : 2017. 7. 26 Reviewed : 2017. 8. 21 Accepted : 2017. 9. 5

Discussion until : 2017. 12. 31

경우는 일정 지역에 대한 지하수 이용량을 추정하는 한계로 인하여, 개별 관정에 대한 이용량 평가 시 실제 적용이 제한적인 단점이 있다. 이와 달리 Kim et al.(2013)은 전국의 32개 시군을 대상으로 총 7,693개의 지하수 이용량 모니터링 자료를 다양한 인자로 구분한 후, 군집분석과 회귀분석을 통한 지역별-용도별 지하수 이용량 추정식을 제시한 바 있다. 이 중 농업용 지하수의 경우에는 용도를 전작용, 답작용, 원예용, 축산용 등으로 구분한 후 세부 용도별로 30년 평균 강수량의 분포에 따른 군집별 회귀분석을 실시하였다. 그러나 전작과 답작의 경우 과거 자료를 이용한 통계적인 접근 방식을 이용함에 따라 최근 빈발하는 농업가뭄을 포함한 다양한 수문환경 및 농업활동 등에 따른 실제 사용량의 변화를 반영하는데 한계가 있다. 한편 제주도의 경우에는 농업용수의 대부분을 지하

수로 공급하는 특성을 이용하여, 2002년 837개소의 공공관정을 대상으로 현지 이용량 조사와 전력 사용량을 이용한 회귀분석 관계식을 개발하여 적용한 사례가 있다(KRC, 2004). 또한 Park et al.(2004)은 앞서 제시된 837개소 중 44개 농업용 관정을 대상으로 1년 간의 모니터링 결과를 토대로 계절별 지하수 이용 특성을 이용한 정확한 양수량 산정 방식을 제시한 바 있다. 이러한 통계적인 접근 방식과는 달리 지자체 행정단위에서는 지역지하수관리계획 수립을 위한 지하수 이용량 평가 시 농업용수의 경우 펌프 용량, 토출관 구경, 관정 심도, 작물 종류, 수해면적 등의 영향인자들을 기초로 관정 가동일수를 다르게 적용하여 이용량을 추정하는 방법을 사용하고 있다(KRC, 2009). 그러나 이 경우에는 과거 일괄적으로 신고된 관정 제원의 불확실성과 함께 신고내역과 달리 생활용수와 겸용으로

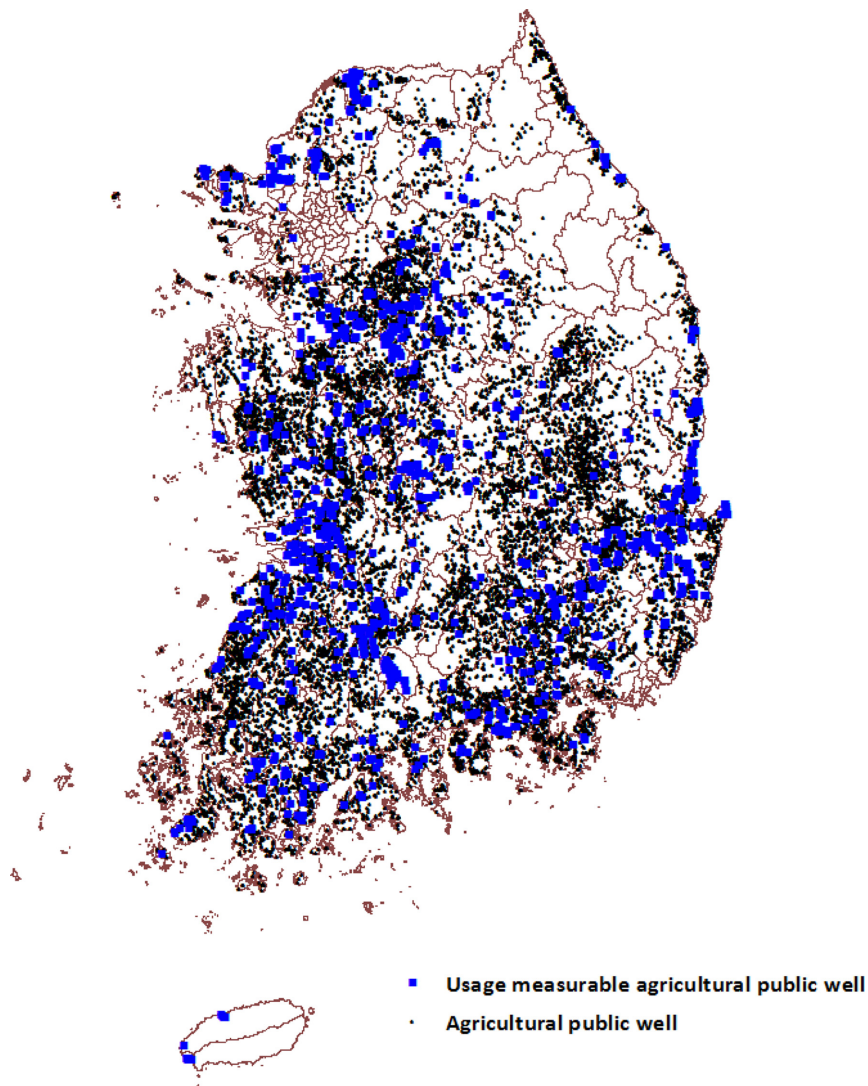


Fig. 1. Location of agricultural public wells (n=24,485) with the usage measurable agricultural public wells (n=1,386).

사용하는 관정이 많아 산정 결과가 실제 이용량에 비해 과대하게 산출되는 한계가 있다.

본 연구에서는 이러한 한계를 극복하기 위하여 현재 전국적으로 분포한 농업용 공공관정 24,485개(MAFRA and KRC, 2016) 중 단독으로 월별 전력 사용량이 기록되어 월별 지하수 이용량의 평가가 가능한 전작 및 답작 농업용수 용도의 암반관정 1,386개소를 대상으로, 총 5년간(2010~2014) 월별 지하수 이용량 자료를 기초로 지하수 이용량을 계산하였다. 각 관정별 지하수 이용량을 기초로 지역별로 관정별 허가량 대비 실제 월별 평균 이용량 및 월별 최대 이용량을 이용한 가뭄 대비 최대 평균 이용량을 산정하였으며, 최근 농업가뭄이 심각한 강화도를 대상으로 강수량 변화에 따른 월별 이용량을 분석하여 가뭄을 대비한 정책 자료에 활용토록 결과를 제시하였다.

2. 분석 방법

2.1. 관정분포 현황

농업용 관정은 농업활동 시기에 따라 가동률이 달라지는데, 시설농업을 제외한 논 또는 밭 농업에 활용되는 경우의 농업용 관정은 주로 3월부터 10월까지 사용된다. 일부 지역에서는 농업용 관정 관리의 편리성을 위하여 겨울철에 전력 공급을 중단하는 경우가 많아, 전기료 징수를 10월 또는 11월에 1년간의 사용 전력량에 대한 전기료를 일괄적으로 청구하고 있다. 따라서 이러한 경우에는 월별 전력사용량을 알 수 없기 때문에, 월별 지하수 이용량 평가에 사용할 수 없다. 본 연구에서는 24,485개의 공공관정 가운데 월별 전력 사용량 평가가 가능한 1,386개소의 농업용 공공관정 중 가동실적이 없거나 1년간의 사용 전력량을 일괄적으로 관리하는 관정을 제외하고, 5년간의 월

별 전기료 징수 실적이 있는 평균 605개소(539~666개소)의 관정을 대상으로 월별 이용량을 분석하였다(Fig. 1, Table 1). 관정 분포는 내륙지역에서는 전라북도가 평균 155개소로 가장 많은 반면 충청남도가 40개소로 가장 적은 것으로 나타났다. 반면 제주도는 5년 간 11개소로 일정한 것으로 나타났다. 이러한 분포는 전라북도 등 논 농업활동이 활발한 지역에 공공관정의 분포 밀도가 상대적으로 높은 반면, 밭 농업이 우세한 강원도 및 경상북도 등에서는 공공관정의 분포 밀도가 타 지역에 비해 낮기 때문으로 판단된다.

2.2. 전력사용량을 이용한 월별 지하수 이용량 평가

지하수 이용량은 기본적으로 관정 토출관에 설치된 적산 유량계의 값으로 쉽게 알 수 있지만, 유량계가 설치되지 않은 경우에는 관정별 양수량과 가동시간을 알면 두 값을 곱해서 추정할 수 있다. 이때 양수량은 수중모터 펌프의 출력, 전 양정, 수중모터 펌프 효율 등 시설물의 제원을 통해 알 수 있으며, 가동시간은 월별 전력 사용량과 수중모터 펌프의 출력을 이용하여 계산할 수 있다.

지하수 양수량은 (식 1)과 같이 수중모터 펌프의 출력 산출방식을 이용하여 계산이 가능하다(KSAE, 2005).

$$P = \frac{K\gamma QH}{\eta_p \eta_g \eta_e} (1+R) \quad (1)$$

여기서, P 는 수중모터 펌프의 출력(kW), K 는 0.163, γ 는 물의 단위체적 중량으로 상온에서 청수의 경우는 1.0 kgf/l, Q 는 수중모터 펌프 배출량(m³/min), H 는 수중모터 펌프의 전 양정(m), η_p 는 펌프 효율, η_g 는 치차감속기의 전달효율, η_e 는 유체계수의 전달 효율(0.96), R 는 수중모터 펌프의 여유계수(%) 이다.

Table 1. Number of usage measurable agricultural public wells during 5 years (2010~2014)

| Province \ Year | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | Average |
|-----------------|------|------|------|------|------|---------|
| Average | 539 | 548 | 666 | 628 | 643 | 605 |
| Gyeonggi-do | 61 | 80 | 89 | 72 | 73 | 75 |
| Gangwon-do | 72 | 78 | 79 | 72 | 79 | 76 |
| Chungbuk-do | 68 | 57 | 71 | 65 | 78 | 68 |
| Chungnam-do | 38 | 39 | 40 | 41 | 40 | 40 |
| Jeonbuk-do | 142 | 151 | 168 | 159 | 156 | 155 |
| Jeonnam-do | 80 | 68 | 78 | 69 | 61 | 71 |
| Gyeongbuk-do | 6 | 7 | 71 | 78 | 86 | 50 |
| Gyeongnam-do | 61 | 57 | 59 | 61 | 59 | 59 |
| Jeju-do | 11 | 11 | 11 | 11 | 11 | 11 |

(식 1)을 수중모터 펌프 배출량(Q)으로 정리하면 (식 2)와 같다.

$$Q = \frac{P\eta_p\eta_g\eta_e}{K\gamma H(1+R)} \quad (2)$$

이때, 수중모터 펌프 효율(η_p)은 KS 기준에 따른 토출량을 기준으로 결정하였으며, 치차감속기 전달효율(η_g)은 수중모터 펌프에 별도의 장치가 없으므로 전달효율에 의한 효과를 무시하기 위하여 1로 설정하여 계산하였다.

가동시간은 각 관정별로 월별 전력 사용량(kWh)을 수중모터 펌프의 출력(kW)으로 나누어 계산하였다. 특히 월

별 전력 사용량은 직전 1개월 동안의 사용량이므로, 실제 분석에 이용된 지하수 이용량 계산 결과는 1달 이전으로 정리하였다.

3. 분석 결과

3.1. 지하수 이용량 변화

전력 사용량 자료를 기초로 9개 광역 시·도의 5년 기간(2010~2014년) 동안 분석에 사용된 평균 암반 관정수는 605개소로, 이 중 전라북도 지역이 155개소로 가장 많은 것으로 나타났다(Table 2). 관정 당 평균 허가량은

Table 2. Statistics for groundwater use per each well in nine provinces during 5 years (2010~2014)

| Year | Provinces | Number of wells | Mean allocation (A, m³/day) | Mean groundwater use (m³/day) | | | | | | | | | | | | B/A (%) | C*/A (%) | D**/A (%) | |
|------|-----------|-----------------|-----------------------------|-------------------------------|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|---------|----------|-----------|-----|
| | | | | Total (B) | Jan | Feb | Mar | Apr | May | Jun | Jul | Aug | Sep | Oct | Nov | | | | Dec |
| Mean | Mean | (605) | 308 | 66.2 | 1.0 | 1.0 | 4.0 | 10.4 | 14.9 | 10.7 | 9.3 | 6.5 | 3.9 | 2.7 | 1.0 | 0.8 | 21.6 | 58.1 | 1.7 |
| | Gyeonggi | 75 | 195 | 32.4 | 0.3 | 0.9 | 4.3 | 8.4 | 7.5 | 3.7 | 3.7 | 2.4 | 0.6 | 0.6 | 0.1 | 0.1 | 16.6 | 57.0 | 2.9 |
| | Gwangwon | 76 | 600 | 137.9 | 0.0 | 0.6 | 13.5 | 34.4 | 34.3 | 24.0 | 18.8 | 11.1 | 1.2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 23.0 | 72.3 | 2.4 |
| | Chungbuk | 68 | 235 | 21.5 | 0.0 | 0.1 | 1.4 | 4.1 | 5.7 | 4.4 | 3.1 | 2.1 | 0.7 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 9.2 | 28.9 | 0.7 |
| | Chungnam | 40 | 198 | 90.4 | 0.1 | 0.1 | 3.3 | 13.1 | 30.4 | 18.5 | 13.3 | 9.7 | 1.4 | 0.3 | 0.1 | 0.1 | 45.6 | 100.0 | 1.8 |
| | Jeonbuk | 155 | 280 | 40.3 | 0.0 | 0.1 | 1.7 | 6.6 | 11.6 | 8.4 | 6.2 | 4.4 | 0.9 | 0.1 | 0.1 | 0.0 | 14.4 | 50.0 | 0.7 |
| | Jeonnam | 71 | 254 | 48.9 | 0.2 | 0.2 | 0.7 | 4.3 | 13.5 | 11.1 | 8.7 | 6.2 | 3.4 | 0.3 | 0.2 | 0.1 | 19.2 | 68.1 | 0.5 |
| | Gyungbuk | 50 | 241 | 24.2 | 2.1 | 2.2 | 1.6 | 2.8 | 4.6 | 2.9 | 4.0 | 2.5 | 0.7 | 0.2 | 0.1 | 0.5 | 10.1 | 34.9 | 2.7 |
| | Gyungnam | 59 | 227 | 72.9 | 0.3 | 0.3 | 4.1 | 13.8 | 14.2 | 14.9 | 13.6 | 8.8 | 2.3 | 0.3 | 0.1 | 0.2 | 32.2 | 87.1 | 2.2 |
| | Jeju | 11 | 1,343 | 127.5 | 6.3 | 4.3 | 5.2 | 6.4 | 12.6 | 8.2 | 12.1 | 11.7 | 23.4 | 22.8 | 8.4 | 6.2 | 9.5 | 24.5 | |
| 2010 | Mean | (539) | 313 | 53.3 | 1.3 | 1.1 | 2.9 | 7.8 | 12.1 | 8.4 | 8.8 | 4.2 | 2.4 | 1.9 | 1.7 | 0.9 | 17.0 | 55.9 | 1.9 |
| | Gyeonggi | 61 | 208 | 30.2 | 0.0 | 2.2 | 2.3 | 10.2 | 6.6 | 4.4 | 3.3 | 0.2 | 0.4 | 0.4 | 0.0 | 0.0 | 14.5 | 59.1 | 2.2 |
| | Gwangwon | 72 | 603 | 94.2 | 0.0 | 0.1 | 13.2 | 22.3 | 26.2 | 15.9 | 14.3 | 2.2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 15.6 | 52.1 | 2.2 |
| | Chungbuk | 68 | 244 | 19.9 | 0.0 | 0.0 | 0.8 | 3.4 | 5.6 | 4.5 | 2.9 | 1.7 | 0.5 | 0.0 | 0.0 | 0.5 | 8.2 | 27.3 | 0.5 |
| | Chungnam | 38 | 189 | 76.6 | 0.0 | 0.1 | 3.9 | 13.6 | 26.7 | 15.5 | 12.3 | 3.6 | 0.6 | 0.0 | 0.1 | 0.1 | 40.5 | 100.0 | 2.2 |
| | Jeonbuk | 142 | 281 | 35.6 | 0.0 | 0.0 | 1.0 | 4.5 | 10.9 | 9.9 | 5.7 | 3.1 | 0.2 | 0.0 | 0.3 | 0.0 | 12.7 | 46.6 | 0.5 |
| | Jeonnam | 80 | 251 | 35.0 | 0.0 | 0.3 | 0.5 | 3.1 | 12.3 | 9.9 | 4.1 | 3.2 | 1.4 | 0.3 | 0.0 | 0.0 | 13.9 | 58.6 | 0.3 |
| | Gyungbuk | 6 | 213 | 23.8 | 7.8 | 4.6 | 1.2 | 6.6 | 2.3 | 0.1 | 0.0 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.0 | 11.2 | 43.8 | 6.8 |
| | Gyungnam | 61 | 211 | 64.9 | 0.0 | 0.0 | 1.1 | 3.7 | 6.6 | 9.5 | 28.7 | 13.9 | 1.2 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 30.7 | 100.0 | 0.6 |
| | Jeju | 11 | 1,343 | 99.8 | 4.0 | 2.4 | 2.0 | 2.3 | 11.9 | 5.9 | 7.7 | 9.5 | 16.9 | 16.2 | 14.7 | 6.3 | 7.4 | 15.1 | |
| 2011 | Mean | (548) | 316 | 52.0 | 0.8 | 1.1 | 4.2 | 9.1 | 11.9 | 6.1 | 4.9 | 5.0 | 5.6 | 2.2 | 0.6 | 0.5 | 16.5 | 51.6 | 1.6 |
| | Gyeonggi | 80 | 190 | 30.0 | 0.3 | 0.2 | 3.3 | 7.3 | 10.1 | 2.5 | 3.4 | 1.1 | 0.4 | 1.1 | 0.2 | 0.0 | 15.8 | 63.7 | 2.1 |
| | Gwangwon | 78 | 597 | 79.6 | 0.0 | 0.2 | 16.3 | 28.5 | 17.6 | 7.5 | 6.8 | 2.5 | 0.2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 13.3 | 57.4 | 2.8 |
| | Chungbuk | 57 | 241 | 20.9 | 0.0 | 0.0 | 1.9 | 4.3 | 5.4 | 3.2 | 2.4 | 2.5 | 1.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 8.7 | 27.0 | 0.8 |
| | Chungnam | 39 | 199 | 79.5 | 0.1 | 0.1 | 1.0 | 13.7 | 28.2 | 15.3 | 3.7 | 13.1 | 3.2 | 1.0 | 0.1 | 0.1 | 39.9 | 100.0 | 0.7 |
| | Jeonbuk | 151 | 281 | 35.3 | 0.0 | 0.1 | 1.8 | 6.4 | 9.8 | 5.1 | 5.5 | 5.2 | 1.4 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 12.6 | 41.8 | 0.7 |
| | Jeonnam | 68 | 263 | 45.6 | 0.0 | 0.1 | 0.1 | 3.1 | 11.8 | 9.3 | 6.1 | 6.9 | 7.9 | 0.2 | 0.1 | 0.0 | 17.4 | 53.7 | 0.1 |
| | Gyungbuk | 7 | 266 | 18.3 | 2.0 | 5.6 | 4.0 | 0.1 | 3.7 | 0.6 | 0.3 | 0.9 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 1.1 | 6.9 | 25.3 | 4.8 |
| | Gyungnam | 57 | 229 | 51.3 | 0.0 | 0.0 | 2.3 | 13.0 | 12.1 | 7.9 | 5.6 | 5.2 | 5.1 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 22.4 | 68.1 | 1.0 |
| | Jeju | 11 | 1,343 | 107.5 | 4.9 | 3.2 | 6.7 | 5.6 | 8.2 | 3.5 | 10.2 | 7.9 | 30.6 | 17.8 | 5.3 | 3.6 | 8.0 | 27.3 | |

C*: Total groundwater use applied by the same maximum value during 12 months

D**: Groundwater use during winter season(from Nov. to Mar.) excluding Jeju-do

Table 2. Statistics for groundwater use per each well in nine provinces during 5 years (2010~2014)(continued)

| Year | Provinces | Number of wells | Mean allocation (A, m ³ /day) | Mean groundwater use (m ³ /day) | | | | | | | | | | | | | B/A (%) | C*/A (%) | D**/A (%) |
|------|-----------|-----------------|--|--|------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|---------|----------|-----------|
| | | | | Total (B) | Jan | Feb | Mar | Apr | May | Jun | Jul | Aug | Sep | Oct | Nov | Dec | | | |
| 2012 | Mean | (666) | 301 | 78.1 | 1.6 | 1.3 | 5.9 | 9.7 | 16.8 | 12.7 | 12.6 | 5.4 | 4.1 | 5.8 | 1.0 | 1.2 | 25.9 | 60.3 | 1.8 |
| | Gyunggi | 89 | 191 | 35.9 | 0.5 | 0.3 | 2.3 | 6.7 | 8.3 | 3.6 | 4.4 | 7.1 | 1.3 | 1.2 | 0.0 | 0.2 | 18.8 | 52.2 | 1.7 |
| | Gwangwon | 79 | 593 | 149.0 | 0.0 | 2.4 | 26.1 | 37.4 | 32.7 | 24.9 | 23.9 | 1.5 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 25.1 | 75.7 | 4.8 |
| | Chungbuk | 71 | 232 | 23.3 | 0.0 | 0.0 | 1.4 | 4.6 | 6.7 | 5.2 | 3.7 | 1.3 | 0.3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 10.0 | 34.5 | 0.6 |
| | Chungnam | 40 | 202 | 109.2 | 0.0 | 0.1 | 5.0 | 12.5 | 31.8 | 20.5 | 33.1 | 4.9 | 1.0 | 0.0 | 0.1 | 0.1 | 54.1 | 100.0 | 2.6 |
| | Jeonbuk | 168 | 277 | 45.1 | 0.0 | 0.1 | 1.7 | 8.8 | 14.1 | 11.0 | 6.1 | 2.9 | 0.4 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 16.3 | 60.9 | 0.6 |
| | Jeonnam | 78 | 253 | 52.9 | 0.4 | 0.2 | 1.0 | 5.5 | 17.4 | 12.6 | 10.1 | 3.9 | 1.4 | 0.4 | 0.2 | 0.0 | 20.9 | 82.4 | 0.7 |
| | Gyungbuk | 71 | 242 | 15.5 | 0.2 | 0.2 | 0.1 | 0.5 | 3.2 | 4.0 | 5.0 | 1.6 | 0.3 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 6.4 | 25.0 | 0.3 |
| | Gyungnam | 59 | 237 | 52.5 | 0.0 | 0.0 | 7.5 | 5.0 | 10.0 | 13.3 | 9.5 | 5.1 | 1.6 | 0.1 | 0.4 | 0.0 | 22.2 | 67.1 | 3.3 |
| | Jeju | 11 | 1,343 | 219.5 | 13.4 | 8.1 | 7.5 | 6.7 | 27.0 | 19.0 | 17.8 | 20.3 | 30.6 | 50.5 | 8.2 | 10.5 | 16.3 | 45.2 | |
| 2013 | Mean | (548) | 316 | 68.3 | 0.4 | 0.6 | 0.6 | 2.4 | 12.4 | 15.2 | 10.9 | 9.1 | 10.4 | 3.4 | 2.2 | 0.7 | 22.5 | 58.9 | 1.0 |
| | Gyunggi | 80 | 190 | 20.9 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 2.9 | 7.2 | 4.8 | 1.8 | 2.4 | 1.1 | 0.5 | 0.0 | 0.0 | 11.1 | 45.7 | 1.6 |
| | Gwangwon | 78 | 597 | 129.5 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 2.2 | 30.8 | 39.2 | 31.5 | 5.4 | 20.2 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 21.0 | 76.3 | 0.4 |
| | Chungbuk | 57 | 241 | 19.0 | 0.0 | 0.0 | 0.2 | 1.3 | 3.2 | 5.2 | 3.6 | 2.9 | 2.1 | 0.6 | 0.0 | 0.0 | 8.5 | 27.9 | 0.7 |
| | Chungnam | 39 | 199 | 78.2 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 3.6 | 8.5 | 28.7 | 13.4 | 6.4 | 16.2 | 0.6 | 0.6 | 0.0 | 38.0 | 100.0 | 1.9 |
| | Jeonbuk | 151 | 281 | 42.8 | 0.0 | 0.0 | 0.3 | 1.3 | 6.4 | 10.8 | 8.3 | 8.5 | 5.8 | 1.2 | 0.1 | 0.1 | 15.3 | 46.4 | 0.6 |
| | Jeonnam | 68 | 263 | 58.5 | 0.1 | 0.3 | 0.3 | 0.8 | 4.1 | 10.8 | 11.5 | 15.5 | 11.6 | 3.1 | 0.1 | 0.2 | 23.2 | 73.6 | 0.7 |
| | Gyungbuk | 7 | 266 | 31.5 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.5 | 3.6 | 6.0 | 3.6 | 8.4 | 7.0 | 1.9 | 0.3 | 0.2 | 13.2 | 41.9 | 0.3 |
| | Gyungnam | 57 | 229 | 116.8 | 0.2 | 0.6 | 0.2 | 3.7 | 36.9 | 23.2 | 19.0 | 14.3 | 15.3 | 2.4 | 1.0 | 0.2 | 51.4 | 100.0 | 2.1 |
| | Jeju | 11 | 1,343 | 117.0 | 3.6 | 4.2 | 4.2 | 5.3 | 10.7 | 7.8 | 5.3 | 18.4 | 14.1 | 20.4 | 17.3 | 5.8 | 8.7 | 18.2 | |
| 2014 | Mean | (666) | 301 | 79.4 | 0.9 | 0.8 | 0.8 | 4.6 | 13.2 | 18.7 | 15.3 | 10.9 | 7.7 | 3.9 | 1.5 | 1.0 | 26.0 | 63.8 | 2.2 |
| | Gyunggi | 89 | 191 | 45.0 | 0.0 | 0.7 | 1.6 | 10.4 | 10.6 | 7.7 | 5.8 | 4.7 | 2.3 | 0.4 | 0.3 | 0.5 | 22.6 | 64.2 | 6.6 |
| | Gwangwon | 79 | 593 | 237.2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 9.7 | 52.7 | 55.9 | 40.3 | 43.4 | 29.4 | 5.9 | 0.0 | 0.0 | 40.0 | 100.0 | 1.6 |
| | Chungbuk | 71 | 232 | 24.4 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.6 | 4.9 | 5.5 | 5.3 | 3.4 | 2.7 | 0.9 | 0.1 | 0.0 | 10.4 | 28.0 | 0.7 |
| | Chungnam | 40 | 202 | 108.3 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 3.0 | 17.2 | 36.7 | 28.0 | 10.8 | 10.7 | 1.7 | 0.0 | 0.1 | 55.6 | 100.0 | 1.7 |
| | Jeonbuk | 168 | 277 | 42.5 | 0.1 | 0.2 | 0.2 | 2.8 | 7.1 | 12.6 | 7.8 | 5.2 | 5.0 | 1.4 | 0.1 | 0.0 | 15.3 | 54.3 | 1.2 |
| | Jeonnam | 78 | 253 | 52.4 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 1.1 | 5.9 | 15.2 | 12.0 | 7.9 | 5.6 | 3.5 | 0.3 | 0.3 | 20.8 | 72.4 | 0.8 |
| | Gyungbuk | 71 | 242 | 31.7 | 0.3 | 0.3 | 0.4 | 2.1 | 3.1 | 7.9 | 6.0 | 6.4 | 2.9 | 1.3 | 0.7 | 0.2 | 12.8 | 38.3 | 1.3 |
| | Gyungnam | 59 | 237 | 78.9 | 0.7 | 0.8 | 1.2 | 6.1 | 10.6 | 18.9 | 24.8 | 9.8 | 4.7 | 1.1 | 0.3 | 0.0 | 34.2 | 100.0 | 3.8 |
| | Jeju | 11 | 1,343 | 93.9 | 7.1 | 5.2 | 3.6 | 4.3 | 6.6 | 8.1 | 7.4 | 6.7 | 6.5 | 18.5 | 12.1 | 7.8 | 7.0 | 16.5 | |

308 m³/day로 내륙지역의 경우에는 화산암과 석회암 분포가 많은 강원도가 600 m³/day로 가장 많았으며, 화산암으로 대수층의 투수성이 매우 양호한 제주도는 1,343 m³/day로 전국적으로 가장 많은 것으로 나타났다. 월별 전력 사용량 자료와 관정별 수중모터 펌프의 출력으로 계산된 전국적인 관정별 평균 이용량은 66.2 m³/day로, 평균 관정별 허가량 대비 농업용수의 평균 이용량은 약 21.6%로 나타났다. 지역적으로는 5년 기간 동안 충청남도가 지속적으로 38.0~55.6%로 가장 높은 분포로 나타났으며, 특히 2014년의 경우 충청남도 지역의 극심한 가뭄으로 인하여 최고치인 55.6%를 차지하였다(Fig. 2, Fig. 3).

전국 평균 허가량 대비 공당 평균 이용량은 16.5~26.0% 범위로 나타났는데, 특히 2012년 이후 3년 간 나타난 22.5~26.0%의 높은 비율은 전국적인 가뭄 발생에 따른 지하수 이용량 증가에 따른 영향으로 판단된다. 각 도별 일별 평균 지하수 이용량은 강원도에서 137.9 m³/day로 높게 나타난 반면, 충청북도가 21.5 m³/day로 가장 낮은 것으로 나타났다. 허가량 대비 지하수 이용량은 충청남도과 경상남도가 각각 45.6%와 32.2%로 높은 반면, 충청북도와 제주도가 각각 9.2%와 9.5%로 낮은 것으로 나타났다.

농업용 지하수의 공당 허가량 대비 이용량이 21.6%로



Fig. 2. Distribution map of the ratio of mean groundwater use to mean allocation for each well during 5 years (2010~2014): (a) average, (b) 2010, (c) 2011, (d) 2012, (e) 2013, and (f) 2014.

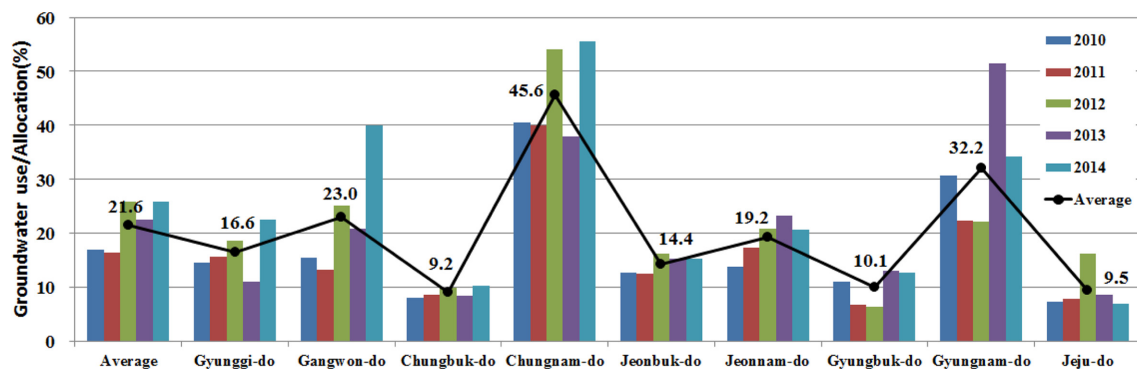


Fig. 3. Ratio of mean groundwater use to mean allocation for each well during 5 years (2010~2014).

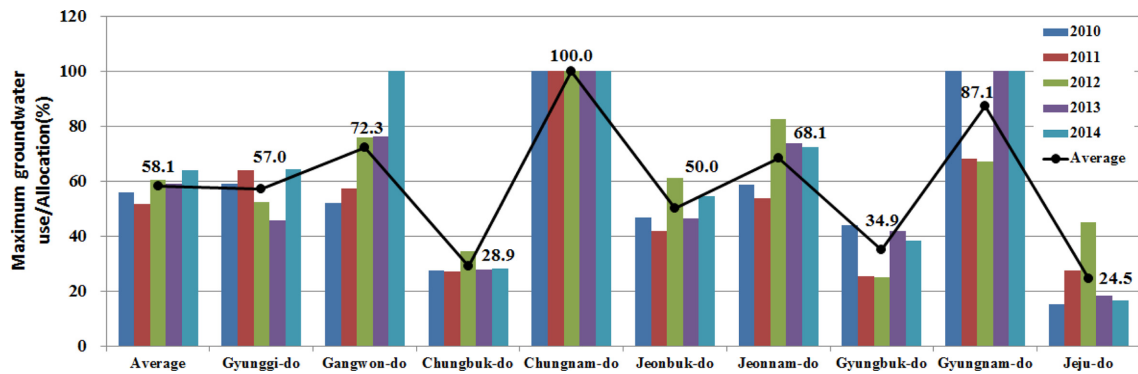


Fig. 4. Ratio of maximum groundwater use to mean allocation for each well during 5 years (2010-2014).

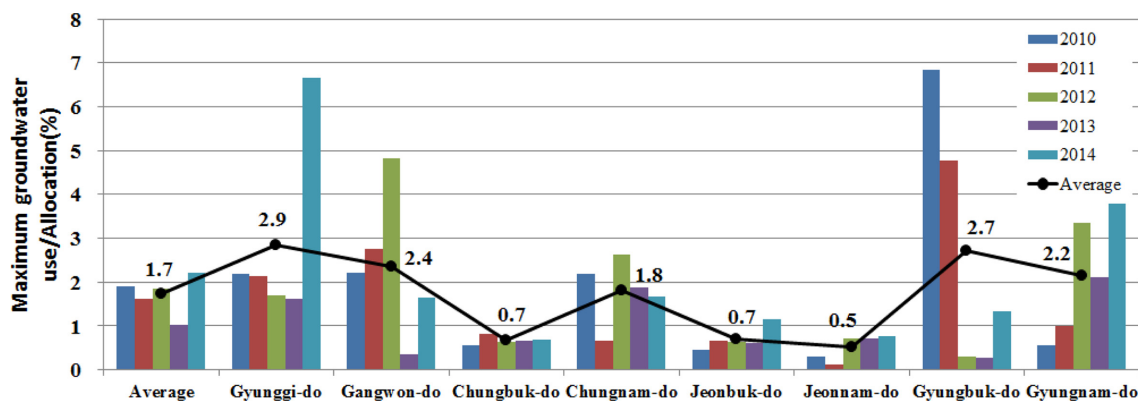


Fig. 5. Ratio of maximum groundwater use to mean allocation for each well during 5 years (2010-2014).

낮게 나타났지만, 가뭄을 대비한 농업용수 공급 기준인 월별 최대 이용량을 적용하면 공당 허가량 대비 평균 이용량은 전국적으로 58.1%로 나타났다(Fig. 4). 특히 충청남도는 분석에 이용된 5년 기간 모두 100%로 나타났고 경상남도의 경우에도 87.1%로 높게 나타남에 따라 이 지역의 경우에는 분석 결과를 토대로 향후 지하수 이용량 관리를 위한 정책적인 접근이 필요할 것으로 판단된다.

한편 겨울철(11월~3월)의 공당 허가량 대비 평균 지하수 이용량은 1.7%로 전체 20% 대비 8.5%로 낮게 나타났으며, 지역별로는 수도권 및 광역시 인근의 경기도, 충청남도, 경상북도, 경상남도에서 상대적으로 높은 1.8~2.9%로 분석되었다(Fig. 5). 이러한 결과는 대도시 인근의 시설농업지역 면적 증가에 따른 농업용 지하수 이용량 증가에 따른 현상으로 판단되지만, 전국적으로 공당 허가량 대비 이용량이 3% 미만으로 나타남에 따라 최근 농업용 지하수 이용량 증가에 따른 동절기 하천 유지용수 고갈의 직접적인 원인과 연관성은 크지 않은 것으로 판단된다.

월별 이용량 측면에서 내륙지역의 경우에는 농업용수의 특성 상 수요량이 높은 4월~6월 기간 중에 10.4~14.9

m³/day(총계 36 m³/day)로 나타남에 따라 전체 공당 평균 이용량 66.2 m³/day 대비 54.4%로 높게 나타난 반면, 농한기인 9월과 10월 기간 중에도 2.7~3.9 m³/day로 상대적으로 이용량이 유지되는 것으로 나타났다(Fig. 6). 이는 제주도에 마늘 농사에 필요한 농업용수 수요량이 높은 기간과 일치되며, 제주도 공당 평균 지하수 이용량이 같은 기간 동안에 22.8~23.4 m³/day로 높게 나타난 영향으로 판단된다.

3.2. 강화도 지역의 지하수 이용량 분석

2012년 이후 최근까지 경기도와 충청남도 서북부의 가뭄이 지속되고 있는 가운데, 농업가뭄의 영향이 가장 심하게 나타난 강화도에 대하여 강수량 변화에 따른 지하수 이용량을 분석하였다. 강화도의 농업용 공공관정 중 본 연구에 이용된 관정은 평균 10개소로, 공당 평균 허가량은 204 m³/day로 나타났다(Table 3).

5년 동안의 평균 이용량은 26.9 m³/day로 공당 허가량 대비 13.1%를 사용하였으며, 가뭄을 대비한 농업용수 공급 기준인 월별 최대 이용량을 적용하면 허가량 대비 평

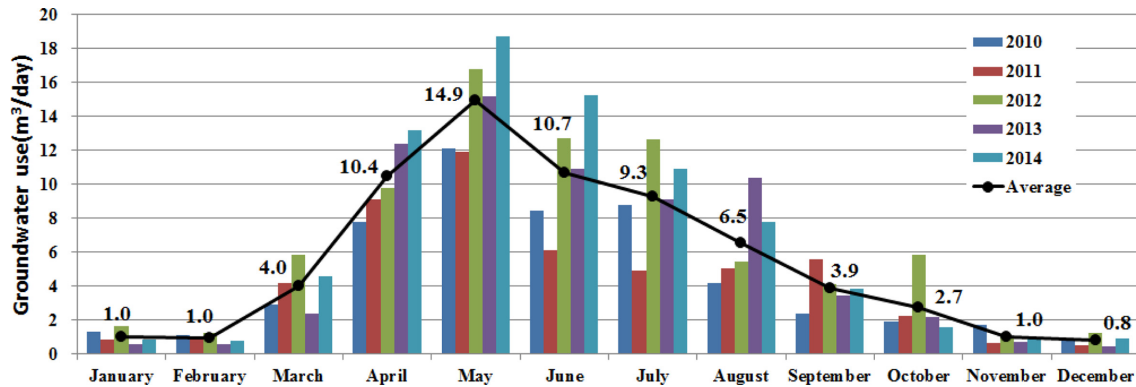


Fig. 6. Monthly mean groundwater use per each well during 5 years (2010~2014).

Table 3. Statistics for groundwater use per each well in Ganghwa-gun during 5 years (2010~2014)

| Year | Number of wells | Mean allocation (A, m³/day) | Mean groundwater use (m³/day) | | | | | | | | | | | | B/A (%) | C*/A (%) | D**/A (%) | |
|------|-----------------|-----------------------------|-------------------------------|-----|-----|------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---------|----------|-----------|-----|
| | | | Total (B) | Jan | Feb | Mar | Apr | May | Jun | Jul | Aug | Sep | Oct | Nov | | | | Dec |
| Mean | 10 | 204 | 26.7 | 0.0 | 0.0 | 4.8 | 6.7 | 6.9 | 2.8 | 3.0 | 0.9 | 0.5 | 0.4 | 0.7 | 0.0 | 13.1 | 61.4 | 0.0 |
| 2010 | 10 | 210 | 12.7 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 3.7 | 5.4 | 2.2 | 1.5 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 6.0 | 30.5 | 0.0 |
| 2011 | 10 | 195 | 26.4 | 0.0 | 0.0 | 15.6 | 5.9 | 2.2 | 0.0 | 2.0 | 0.6 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 13.5 | 95.9 | 0.1 |
| 2012 | 9 | 198 | 23.3 | 0.0 | 0.0 | 0.3 | 6.0 | 12.1 | 2.1 | 2.9 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 11.8 | 73.1 | 0.0 |
| 2013 | 11 | 205 | 17.2 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 7.7 | 3.9 | 1.7 | 1.4 | 2.5 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 8.4 | 45.0 | 0.0 |
| 2014 | 10 | 210 | 53.9 | 0.0 | 0.0 | 7.9 | 10.2 | 11.0 | 8.1 | 7.3 | 1.4 | 2.4 | 1.9 | 3.7 | 0.0 | 25.6 | 62.7 | 0.1 |

C*: Total groundwater use applied by the same maximum value during 12 months

D**: Groundwater use during winter season(from Nov. to Mar.)

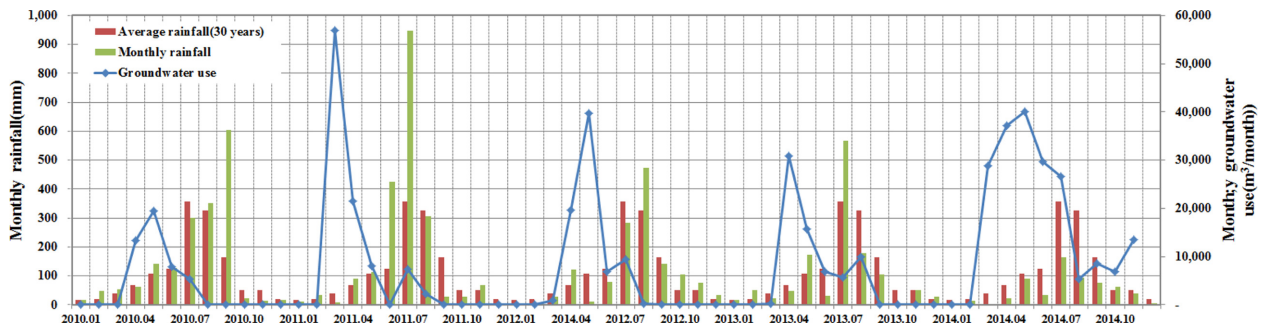


Fig. 7. Monthly mean groundwater use in Ganghwa-gun during 5 years (2010~2014).

균 이용량은 61.4%로 나타났다.

2014년은 연간 강수량(605.4 mm)이 과거 30년 평균 (1,346.5 mm)에 비해 45%로 가뭄이 가장 심각하게 발생한 해로, 이때 공당 허가량 대비 평균 지하수 이용량은 196,608 m³/year(25.6%)로 5년 평균 지하수 이용량인 96,999 m³/year(13.1%)에 비해 약 2배 정도 증가한 것으로 나타났다(Fig. 7). 지하수 이용량은 주요 농업활동 기간인 4월~6월 기간 중에 집중되는 것으로 나타났지만, 강화도의 경우 2014년 극심한 가뭄 발생 시 동절기에도 지

하수 관정의 양수를 통한 저수지 물가두기 작업으로 9월 이후에도 지하수의 공당 평균 양수량이 1.9~3.7 m³/day로 계절과 무관하게 지속적으로 사용하는 것으로 나타났다. 특히 강화도는 전체 면적의 약 30%가 간척지로 구성되어, 지속적인 지하수 양수에 따른 대수층을 통한 해수침투의 발생이 우려된다. 따라서 물 부족에 따른 농업용 지하수 확보 필요성과 더불어 해안지역 대수층을 통한 해수침투 억제제를 위한 지하댐 개발 등의 적극적인 대책 수립 필요성이 대두되고 있다(Yong et al., 2017).

4. 결 론

농업용 지하수의 이용량은 유량계 설치 유무, 농업용수 필요 시기의 가뭄 여부, 주변지역의 농업 형태, 수리지질 구조에 따른 관정 규모 등 다양한 불확실성으로 인하여 정확한 평가가 어렵다. 따라서 지금까지는 펌프 용량, 토출관 구경, 관정 심도, 작물 종류, 수해면적 등의 영향인자들을 기초로 관정 가동 일수를 다르게 적용하여 이용량을 추정하는 방법을 이용하고 있다. 그러나 최근 빈발하는 농업가뭄 등 다양한 수문환경 변화와 함께 관정 개발 당시의 신고내역과 달리 생활용수와 겸용으로 사용함에 따라 산정 결과가 실제 이용량에 비해 과대하게 산출되는 한계가 있다.

본 연구에서는 전국적으로 분포한 농업용 공공관정 24,485개 중 단독으로 월별 전력 사용량이 기록되어 월별 지하수 이용량의 평가가 가능한 암반관정 1,386개소를 대상으로, 총 5년간(2010~2014) 월별 지하수 이용량을 계산하였다. 각 관정별 지하수 이용량을 기초로 지역별로 관정별 허가량 대비 실제 월별 평균 이용량 및 월별 최대 이용량을 이용한 가뭄 대비 최대 평균 이용량을 산정하였으며, 최근 농업가뭄이 심각한 강화도를 대상으로 강수량과 월별 이용량을 분석하여 실제 농업용 관정의 사용 현황을 정량적으로 평가하였다.

전력 사용량 자료로 계산된 전국적인 관정별 평균 이용량은 $66.2 \text{ m}^3/\text{day}$ 로, 공당 평균 허가량과 비교한 결과 농업용수의 평균 이용량은 21.6%로 나타났다. 지역적으로는 충청남도가 5년 기간 동안 38.0~55.6%로 가장 높은 것으로 나타났으며, 2014년의 경우는 극심한 가뭄으로 인하여 55.6%로 전국에서 가장 높은 것으로 분석되었다. 농업용 지하수의 공당 허가량 대비 이용량이 21.6% 정도로 낮게 나타났지만, 가뭄을 대비한 농업용수 공급 기준인 월별 최대 이용량을 적용하면 공당 허가량 대비 평균 이용량은 58.1%로 나타났다. 특히 충청남도의 경우에는 5년 기간 모두 100%이었으며 경상남도의 경우에도 87.1%로 높게 나타남에 따라, 이 지역의 경우 향후 농업용 지하수의 이용량 관리를 위한 정책적인 접근이 필요할 것으로 판단된다.

강수량 변화에 따른 지하수 이용량 분석을 위하여 최근 가뭄이 빈발하는 강화도를 대상으로 분석한 결과 5년 동안의 공당 허가량 대비 이용량은 13.1%로 나타났지만, 가뭄을 대비한 농업용수 공급 기준인 월별 최대 이용량을 적용하면 허가량 대비 평균 이용량은 61.4%로 전국 평균인 58.1%에 비해 상대적으로 높은 것으로 나타났다. 특히 평년 강수량 대비 45%로 가뭄이 가장 심각했던 2014년

의 경우 공당 허가량 대비 평균 지하수 이용량은 25.6%로 5년 평균인 13.1%에 비해 약 2배 정도 증가한 것으로 분석되었다. 더불어 2014년의 경우 동절기에도 지하수 관정의 양수를 통한 저수지 물가두기 작업의 효과로, 9월 이후에도 지하수의 공당 평균 양수량이 $1.9\sim 3.7 \text{ m}^3/\text{day}$ 로 계절과 무관하게 지속적으로 사용하는 것으로 나타났다. 특히 강화도는 전체 면적의 약 30%가 간척지로 구성되어 있어, 연 중 지속적인 지하수 양에 따라 대수층을 통한 해수침투의 발생이 우려된다. 따라서 물 부족에 따른 농업용 지하수 확보 필요성과 더불어 해안지역 대수층을 통한 해수침투 억제를 위한 지하댐 개발 등의 적극적인 대책 수립의 필요성이 큰 것으로 판단된다.

본 연구 결과는 전체 농업용 관정 약 75만개소 중 공공관정 약 600여개소의 월별 이용량을 기준으로 도출되었기 때문에, 실제 농업용 지하수의 월별 이용량을 대표하는데 한계가 있다. 따라서 본 연구 결과를 토대로 향후 농림축산식품부에서 운영하고 있는 농어촌용수구역별로 체계적인 지하수 이용량을 실측할 수 있는 실시간 모니터링 계측 시스템 설치 및 운영 방안 수립이 필요할 것으로 판단된다.

사 사

이 연구는 농림축산식품부 농촌개발시험연구사업의 연구비 지원으로 이루어졌습니다.

References

- Kim, J.W., Jun, H.P., Lee, C.J., Kim, N.J., and Kim, G.B., 2013, Groundwater-use estimation method based on field monitoring data in South Korea, *J. Eng. Geol.*, **23**(4), 467-476.
- KRC (Korea Rural Community Corporation), 2004, Report on the establishment of master plan for agricultural water in Jeju Island.
- KRC (Korea Rural Community Corporation), 2009, Report on the estimation of agricultural groundwater use.
- KSAE (The Korean Society of Agricultural Engineers), 2005, A study on the revision of the design standards for agricultural production infrastructure maintenance business(pumping and drain station), Rural Development Corporation, 622 p.
- MAFRA (Ministry of Agricultural, Food, and Rural Affairs) and KRC (Korea Rural Community Corporation), 2016, Statistical yearbook of land and water development for agriculture, 654p.
- MOLIT (Ministry of Land, Infrastructure and Transportation),

Kwater, 2016, Annual report of groundwater survey.

Park, W.B., Koh, G.W., Kim, B.S., Moon, D.C., and Yang, S.K., 2004, Estimation of agricultural groundwater withdrawal and characteristics of groundwater use in Jeju Island, *Proceedings of KoSSGE 2004 Spring Conference*, Incheon, Korea, 110-113.

Woo, N.C., Joe, M.J., and Kim, N.J., 1994, Development of a

predictive method for groundwater use, *J. Eng. Geol.*, **4**(3), 297-309.

Yong, H.H., Song, S.H., Myoung, W.H., An, J.G., and Hong, S.W., 2017, Current status and application of agricultural sub-surface dams in Korea, *J. Soil and Groundw. Environ.*, **22**(3), 18-26.