

청원-충주지역 수막재배용 지하수 사용량 및 배출량 분석

문상호 · 하규철* · 김용철 · 윤필선

한국지질자원연구원 지구환경연구본부

Analysis of Groundwater Use and Discharge in Water Curtain Cultivation Areas: Case Study of the Cheongweon and Chungju Areas

Sang-Ho Moon, Kyoochul Ha*, Yongcheol Kim, and Pilsun Yoon

Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources (KIGAM)

국내 수막재배지는 시설 증대로 인한 지하수 취수량 감소의 어려움을 겪고 있다. 이 연구는 이들 지역 중 청원-충주지역을 대상으로 지하수 이용량 및 배출량을 측정하고, 이를 토대로 국내 수막재배지에서의 지하수 이용량을 추정하였다. 대표 관정들의 모터 사양과 1일 지하수 토출 능력과의 관계, 1일 최저 기온 0°C 이하의 기록 일수, 최저 기온 변화에 따른 모터 가동 상황 등을 토대로 하여, 청원지역에서 2011년~2012년 겨울철 수막재배에 이용된 지하수 이용량을 추정하면 1 ha 당 53,138 m³이 된다. 이에 의한 면적 대비 국내 수막재배지(10,746 ha)의 지하수 이용 총량은 약 5.7억 m³이며, 이는 국내 농업용수 지하수 이용량 16.9억 m³의 33.7%에 해당된다. 2012년 2월 9일부터 22일까지 면적 4 ha의 청원지역 배수로에서 측정한 1일 지하수 배출량은 2,079~2,628 m³ 범위(평균 2,341 m³)로서, 수막재배 면적 1 ha 당 1일 평균 지하수 배출량이 585 m³인 것으로 나타났다. 수막재배 일수 94일을 적용하면, 청원지역에서 2011년~2012년 겨울철에 수막재배에 이용된 지하수 이용량은 54,990 m³/ha이다. 이에 의한 면적 대비 국내 수막재배지의 지하수 이용 총량은 약 5.9억 m³이며, 이는 전체 농업용수 지하수 이용량의 약 34.9%에 해당된다. 충주지역에서는 수막재배지 1 ha 당 1일 지하수 배출량이 805 m³ 미만일 것으로 추정되었다. 이 지역에서의 2011년~2012년 겨울철 수막재배 일수 108일을 적용하면, 면적 대비 국내 수막재배지의 지하수 이용량은 전체 농업용수 지하수 이용량의 55% 미만일 것으로 추정된다.

주요어 : 청원-충주지역, 수막재배, 지하수 이용량, 지하수 배출량, 수막재배 일수

Korean agricultural areas that employ water curtain cultivation (WCC) have recently suffered extensive groundwater shortages due to an increase in the number of facilities. The primary focus of this study is to measure the daily groundwater use and discharge rates in the Cheongweon and Chungju pilot areas, while the second focus is to estimate the total amount of groundwater used in WCC areas nationwide in Korea. Taking into consideration several factors, including motor type, out-flow abilities of wells, records of daily minimum temperatures below 0°C, and the number of running wells according to weather variations, we estimated that 53,138 m³/ha of groundwater had been used in the 4-hectare Cheongweon pilot area during the winter period of late 2011 through early 2012. On a prorated areal basis, we can calculate that the total groundwater used nationwide was 0.57 billion m³ in WCC areas of 10,746 m². This value is equivalent to 33.7% of the total agricultural groundwater use (1.69 billion m³) in Korea. During 9-22 February 2012, the daily water discharge rate in the 4-ha Cheongweon pilot area ranged from 2,079 to 2,628 m³, averaging 2,341 m³. Combining this value with meteorological records for 94 days with a daily minimum temperature below 0°C results in an estimated groundwater volume of 54,990 m³/ha for the pilot area during the 2011-2012 winter period. The total amount of groundwater used nationwide in WCC areas would then be 0.59 billion m³, equivalent to 34.9% of the total agricultural groundwater use in Korea. In the Chungju area, the groundwater discharge rate was estimated to be less than 805 m³/ha. This value, combined with weather data for 108 days with a daily minimum temperature below 0°C in this area, can be applied to infer that the total groundwater volume used in WCC areas nationwide is no more than 55% of the total agricultural groundwater use in Korea.

Key words : Cheongweon, Chungju, water curtain cultivation, groundwater use and discharge, daily minimum temperature

*Corresponding author: hasife@kigam.re.kr

© 2012, The Korean Society of Engineering Geology
This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

서론

지하수를 이용한 수막재배는 온실 및 비닐하우스 시설 내에 설치된 간이하우스 또는 커튼 표면에 지하수를

골고루 살수함으로써 얇은 수막(water curtain)을 형성하여 겨울철 야간에 보온 및 단열 효과를 높이는 재배 방식이다. 수막재배 기술이 국내에 도입된 것은 1984년으로 알려져 있다. 이후 국내에 급속하게 보급이 확산되어 1991년에는 1,100 ha, 2006년에는 10,746 ha의 시설에서 사용되는 것으로 조사되었다(Rural Development Administration (이하 RDA), 2007). 현재 우리나라에서의 수막재배는 대부분 지하수 사용 후 배수로로 배출되는 비순환식이기 때문에, 대수층의 지류 능력과 지하수 함양량에 비해 지하수의 사용량이 과다한 경우 지하수위 강하 등 수막재배 여건이 악화되는 경우가 많다. 최근에 충청지역에서는 수막재배 농가가 늘어나면서 겨울철에 집중적으로 지하수를 이용하게 되었으며, 이로 인해 지하수위 하강과 취수량 감소가 초래되어 다수의 농가가 수막재배를 포기하거나 심부 관정을 개발하여 평균 개발 심도가 점점 커지는 등 수막재배 조건이 악화되고 있다(OhmyNews, 2004; Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources(이하 KIGAM), 2009, 2010, 2011; Chungcheong Today, 2010; Chungcheong Daily News, 2012).

우리나라 수막재배지에서의 지하수 이용량에 대한 보고로는 RDA (2007), KIGAM (2011), Cho et al. (2012) 등이 있으나, 아직까지 수막재배 지역에서의 지하수 산출량, 지하수위 변화 등에 대한 정량적인 연구가 부족한 형편이다. 농촌진흥청 원예연구소는 비닐하우스 면적 1,000 m²를 기준으로 분당 250 L의 양수량, 1일 8시간 가동, 연중 가동 일수 120일로 가정하여 우리나라 전체의 수막재배에 사용되는 지하수의 양을 약 15.5억 m³으로 보고하였으나(RDA, 2007), 이는 우리나라 전체 농업용수 이용량인 16.9억 m³(Ministry of Construction and Transportation (이하 MOCT), 2007)에 육박하고 있어서 자료의 현실성이 떨어진다. 하천과 인접한 충적층 지대의 수막재배지에서는 지하수와 지표수가 연결되어 있어 지하수가 풍부할 것으로 예상되나(Winter et al., 1998; Winter, 1999; Giap, 2003), 겨울철 수막재배 시 집중적인 양수작업으로 인해 지하수위 강하와 함께 현저한 취수량 감소가 일어나는 것으로 보고되었다(KIGAM, 2011). 수막재배 지역이 하천과 인접한 충적층에 위치하고 있다고 하더라도 충적층 투수성에는 공간적으로 다양한 불균질성이 존재할 수 있으며(Lee et al., 2012), 강변 대수층이 자유면 대수층보다는 피압 대수층에 가까운 거동을 보여 하천과 대수층간의 물의 이동이 자유면 대수층보다 작은 경우가 많기 때문

에(Hamm et al., 2002; Banzhaf et al., 2011), 겨울철 한 때 집중적으로 지하수를 연속 양수하기에는 무리가 있다. 한국지질자원연구원은 충남 논산시 왕전리 지역에 대하여 수막재배 일수 150일과 ha 당 1일 지하수 사용량 420 m³을 근거로 우리나라 전체 수막재배 지하수 사용량을 약 6.76억 m³으로 추정하였다(KIGAM, 2011). 한국지질자원연구원의 추정 이용량 6.76억 m³은 실측에 근거한 수치로서 의미가 있으나, 이 자료 역시 지역적인 제한 여건들이 전제된 자료들이다. 향후 우리나라 수막재배 지역에서의 적정 취수량과 적정한 관정 심도 개발 등에 관련된 문제를 해결하기 위해서는 지역별로 수리 지질학적 대표성을 가지는 시험 지역들에 대하여 지하수 이용량 및 지하수위 변동과 관련된 실측 자료들이 다수 축적되고 평가될 필요성이 있다.

이 연구에서는 충남지역에서 대표적 딸기, 상추 수막재배지이면서 지하수위 저하로 수막재배 여건이 악화되어가고 있는 청원군과 충주시를 대상으로 지하수 이용량 및 배출량을 측정하고 계산하였다. 연구지역 내 대표 관정들에 대한 지하수 이용량 실측, 수막재배 지역에 설치된 모터 유형에 따른 지하수 이용량 계산, 배수로에서의 지하수 배출량 측정 등 다양한 방법을 이용하여 지하수 이용량 자료를 추출하였으며, 이들 자료들을 상호 비교 검토함으로써 향후 우리나라 수막재배지역에서의 합리적인 지하수 이용량 산출에 활용될 수 있도록 하였다.

연구 지역

연구지역 중 청원군은 남일면 고은리와 가덕면 상대리 일대 딸기 수막재배지로서 전체 면적 410,000 m² 정도이다(Fig. 1). 이 지역의 우측에는 낮은 구릉성 산지가 분포하고 있으며, 좌측에는 무심천이 남에서 북으로 흘러 소규모 지하수 흐름을 지배한다. 이 지역에는 현장 조사 당시 107개동의 비닐하우스가 설치되어 있었으나, 수막재배가 이루어지고 있던 것은 87 개동(40,154 m² ≒ 4 ha)으로 파악되었다. 모터 설치 관정은 63개가 확인되었으며, 모터가 제거된 관정도 11개 정도 확인되었다. 수막재배 후 유출된 지하수는 비닐하우스 옆에 만들어진 작은 수로들을 통해 배출되다가 무심천과 나란하게 만들어진 배수로로 모아져 무심천 하류로 방류된다. 이 지역에서 확인된 관측공과 수로 위치 및 배출 지하수의 흐름은 Fig. 1과 같다.

충주시에서의 지하수 이용량 측정은 봉방동 달천 주



Fig. 1. Location of monitoring wells and discharging water flow in the Cheongweon water curtain cultivation area (No. 1 area on the index map). Red circles (M1-M14), wells equipped with a pumping system; yellow circles, wells without a pumping system; yellow rectangles, vinyl houses operating with water curtain cultivation; sky-blue arrows, flow direction of discharging water; blue circles (S1-S5), surface or discharging water.

변 수막재배지에서 수행되었으며, 전체 면적 770,000 m² 정도이다(Fig. 2). 좌측에 달천이 남에서 북으로 흐르고, 위쪽에는 충주천이 우측에서 좌측으로 흘러 남한강과 합류하는 곳에 위치한다. 이들 하천이 수막재배지의 지표수-지하수 연계에 가장 큰 영향력을 미치고 있다. 또한 오른편에 배수로 또는 소하천이 남쪽에서 북쪽으로 흘러 소류지와 연결되어 있다. 이 배수로는 평소엔 지표수의 흐름이 없는 것으로 파악되었으며, 수막재배에 의해 지하수 배출이 이루어지면 수위가 상승하고 지하수 배출이 멈추면 수위가 다시 하강하는 지표수 수위변동 양상을 반복적으로 보이고 있다. 충주 지역에서의 주요 재



Fig. 2. Location of monitoring wells (red circles, M1-M7) in the Chungju (CJ) water curtain cultivation area (area No. 2 on the index map). Sky-blue circles (S1-S3), surface or discharging water.

배작물은 상추이며, 딸기도 일부 재배 중이다. 비닐하우스는 680개동 정도로서 조사 면적의 약 50% 정도를 차지하고 있을 정도로 매우 조밀하게 비닐하우스가 설치되어 있다. 그러나, 겨울철 지하수 수위가 낮아져 있어 조사기간 중에는 약 50% 정도만이 수막재배를 가동하는 중이었다. 특히 수막재배지의 내부에 위치하는 비닐하우스들 중 많은 부분은 봄철 지하수 수위가 상승되었을 때를 제외하고는 겨울철 농사를 포기하는 경우가 많았다. 조사지역 중 서측의 달천 가까운 관정들과 동측의 수로(Fig. 2의 S1) 가까운 지점의 관정들은 비교적 지하수 수량이 풍부한 것으로 조사되었다.

연구 방법

연구지역 내 지하수 이용량을 적정하게 산출하기 위하여 3가지 서로 다른 방법을 이용하였다. 첫째, 연구지역 내 대표 관정들을 선정하고 이들 대표 관정들을 대상으로 지하수 이용량을 실측하였다. 둘째, 배수로 중 대표 배출구를 선정하여 사용 후 배출되는 지하수 배출량을 측정하고, 면적 대비 전체 지역의 지하수 배출량을 산정하였다. 셋째, 대표 관정들과 기타 관정들의 모터 사양을 비교함으로써 기타 관정들에 대한 지하수 이용량을 추정하였으며, 이를 토대로 수막재배지 전체의 지하

수 이용량을 추정하였다. 이와 같은 3가지 방법들을 비교 검토하고, 연구지역 전체의 지하수 이용량 추정 값을 비교함으로써 연구지역의 지하수 이용량 추정에 대한 타당성을 검토하였으며, 이를 전국 규모의 수막재배지에 적용해 보았다.

대표 관정들의 지하수 이용량 실측 장비는 GREYLINE Instruments Inc.의 PDFM 5.0 Portable Doppler Flow Meter로서 초음파 유량계이다. 측정 장비의 설치 위치는 관정으로부터 배관을 통하여 지하수가 상승하는 곳을 선택함으로써 배관 내 지하수 유동량 측정에 정확성을 기하였다. 청원지역 수막재배지는 비교적 소규모이기 때문에 전체 지역에서 위치별로 골고루 관정들이 선정되도록 노력하였다. 청원지역에서의 지하수 이용량 측정은 4개 관정(Fig. 1의 M3, M4, M6, M11, 이후로는 청원지역을 뜻하는 'CW-'를 청원지역 관정 앞에 표기함)을 대상으로 하였으며, 주요 수막재배지의 남북과 동서 방향으로 골고루 포함되도록 하였다. 관측 기간은 CW-M3 관정이 2월 10일 12:00~2월 11일 16:00, CW-M4 관정이 2월 16일 17:20~2월 20일 14:20, CW-M6 관정이 3월 7일 16:20~3월 13일 15:05, CW-M11 관정이 3월 13일 15:50~3월 14일 16:40 로서, 1일 이상 최대 4일간의 지하수 이용량을 모니터링 하였다. 충주지역은 수막재배 면적이 넓고 비닐하우스도 매우 많은 상황이라, 북쪽 수막재배 지역만을 대상으로 한정하여 지하수 이용량 측정을 수행하였다. 충주 수막재배지는 지역별로 대수층 특성의 차이가 많은 지역이기 때문에, 현지 탐문 결과를 토대로 지하수 수량이 많은 동측 관정(Fig. 2의 M2, 이후로는 충주지역을 뜻하는 CJ-M2 관정으로 칭함)과 수량이 적은 내부 지역의 관정(CJ-M3 관정)을 대상으로 비교하였다.

배수로에서의 지하수 배출량 측정은 청원과 충주지역 모두 1개 배출구 지점에서만 진행하였다. 청원지역에서 배출구로 선정된 지점은 Fig. 1의 S2 지점(이후 CW-S2로 표기함)이다. 이는 소유역 전체 면적(약 410,000 m²) 중 주요 수막재배 면적(약 40,154 m² ≒ 4 ha)에서의 지하수 배출을 반영해 줄 수 있는 지점으로서, 2월 10일 16:25 부터 2월 11일 11:26 까지 일정 시간 동안의 지하수 배출량을 측정하였다. 배출량 측정은 유량 변화가 심한 저녁과 아침 시간에는 30분~1시간 간격, 유량이 비교적 일정하게 유지되었던 한밤중에는 2시간 정도의 시간 간격을 두고 실시하였다. 이 지역에서는 2월 9일부터 2월 22일까지 수막재배에 의해 배출되는 지하수량의 변화를 파악하기 위하여 지하수 수위도 함께 관측하

였다. 충주지역에서는 Fig. 2의 S2 지점(이후 CJ-S2로 표기함) 배수로에서 2012년 2월 13일에 배출량을 측정하였고, 이 지점이 대표하는 면적(약 48,000 m²)과 전체 면적(770,000 m²)의 비율을 고려함으로써 사용 후 배출되는 지하수 배출량을 추정하였다. 관정에 설치된 모터 유형 및 사양에 대한 현황 파악은 청원지역을 중심으로 이루어졌으며, 연구 기간 중 수막재배를 위해 가동 중이던 관정들만을 대상으로 하였다. 이들 모터의 유형과 지하수 관정의 단위 시간당 지하수 토출량과의 관계를 검토하였다.

결과 및 토의

수막재배 관정의 지하수 이용량

청원지역: 청원지역에서는 4개 관정(CW-M3, M4, M6, M11)의 지하수 이용량이 관측되었으며(Fig. 1), 지하수 이용량 측정 결과는 Fig. 3과 같다.

수막재배지의 북측에 위치한 CW-M3 관정에서의 전체 측정 기간은 2012년 2월 10일 12:00~2월 11일 16:00 이었으나, 수막재배를 위한 지하수 이용 시간은 2012년 2월 10일 16:45~2월 11일 10:00 로서 17시간 15분간이었다. 측정된 1일 지하수 이용량은 총 70.6 m³ 로서, 수막재배 시 단위 시간당 지하수 토출량은 4.09 m³/hr로 측정되었다. 이 관정에서는 분당 지하수 토출량이 양수 초기에 82 L/min 정도를 유지하다가 35분 경과 시부터 토출량이 약간씩 감소하는 경향을 보였으며, 이후로는 13~78 L/min 범위 내에서 토출량이 심하게 변화되는 양상을 보였다. 이와 같이 지하수 토출량이 심하게 변하는 현상은 관정 내 지하수 수위 하강과 관련이 있다. CW-M3 관정 주변 25~30m 범위 내에는 CW-M12, M13 관정들에서도 동시 양수작업이 이루어지고 있었으며, 주변 지하수의 수위 하강에 많은 영향을 미치고 있는 상황이었다. 수위 관측정 CW-M2에서의 지하수 심도는 2012년 2월 9일 관측 초기에 4.98 m이었다. 수막재배가 진행되던 기간 중에는 수위 하강과 상승이 반복되고 있었지만, 전반적인 하강추세는 관측되지 않았다(Fig. 4). 또한, 수막재배가 지속적으로 이루어지지 않은 기간 중에는 수위회복이 빠르게 진행되는 것을 관측할 수 있었다. 수막재배가 활발하게 이루어지고 있던 시기인 2월 중의 지하수 심도는 양수가 이루어지고 있을 때에는 5.67 m, 양수가 없을 때에는 4.98 m 정도로 유지되었으며, 주변 관정들의 양수에 의하여 약 67 cm/day 정도의 수위강하가 발생하였다. CW-M3 관정에서의 지

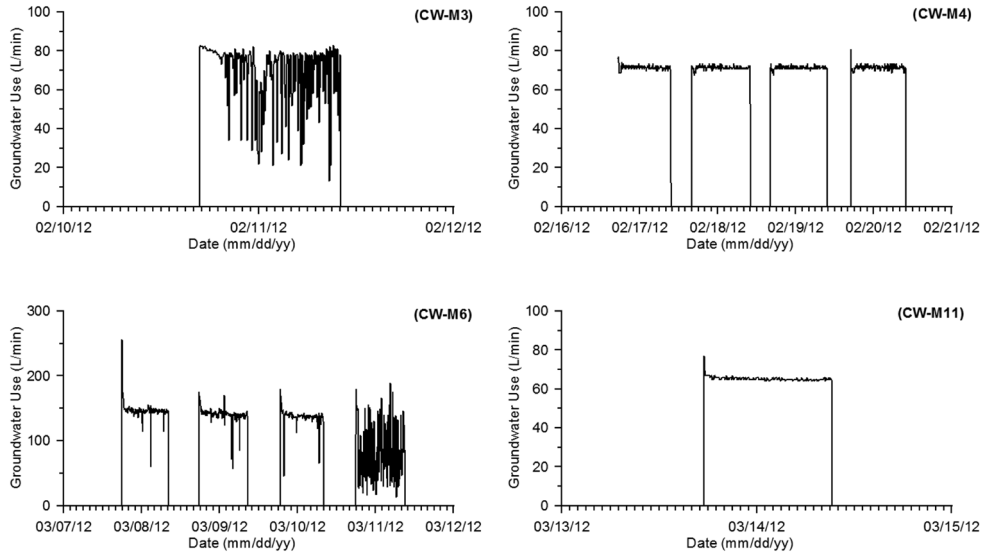


Fig. 3. Measurement of groundwater outflow rates of wells CW-M3, M4, M6, and M11 in the Cheongweon water curtain cultivation area. The measured groundwater use and operation times are as follows: CW-M3, 70.6 m³/d (17 h 15 m); CW-M4, 69.5 m³/d (16 h 15 m), 77.0 m³/d (18 h 00 m), 74.1 m³/d (17 h 15 m), 71.9 m³/d (16 h 55 m); CW-M6, 124.8 m³/d (14 h 15 m), 126.9 m³/d (15 h 00 m), 110.3 m³/d (13 h 15 m), 73.3 m³/d (15 h 10 m); CW-M11, 61.7 m³/d (15 h 40 m).

하수 토출량 변화가 심한 것은 이러한 지하수위의 하강과 관련이 깊다.

수막재배지의 중복부 지점에 위치한 CW-M4 관정에서의 지하수 이용량 측정 기간은 2012년 2월 16일 17:20~2월 20일 14:20 이었으나, 수막재배를 위한 지하수 이용 시간은 2012년 2월 16일 17:20~2월 17일 09:35, 2월 17일 16:05~2월 18일 10:05, 2월 18일 16:15~2월 19일 09:30, 2월 19일 16:55~2월 20일 09:50 로서 각각 16시간 15분, 18시간, 17시간 15분, 16시간 55분간이었다. 이 관정에서의 1일 지하수 이용량은 각각 69.5 m³, 77.0 m³, 74.1 m³, 71.9 m³로서, 수막재배 시 1일 평균 지하수 이용량은 74.3 m³인 것으로 나타났다. 수막재배 시 단위 시간당 지하수 토출량은 각각 4.28 m³/hr, 4.28 m³/hr, 4.30 m³/hr, 4.25 m³/hr로 측정되었으며, 4일간의 지하수 토출량이 매우 일정한 수준을 유지하였다. 이 관정에서는 1분당 지하수 토출량도 양수 초기부터 말기까지 그리고 매일 70 L/min 내외로 일정하게 유지되는 양상을 보였다. 이와 같이 하루 동안 지하수 토출량이 매우 일정하게 유지되는 것은 양수 시 지하수 수위 변화가 심하지 않았음을 지시한다. 지하수위 모니터링 결과, CW-M4 관정 인근의 CW-M1 관정에서는 1일 수위 강하량이 약 18 cm 정도뿐이었다 (Fig. 4). 이 관정에서는 수막재배 시기인 1월 초부터 2

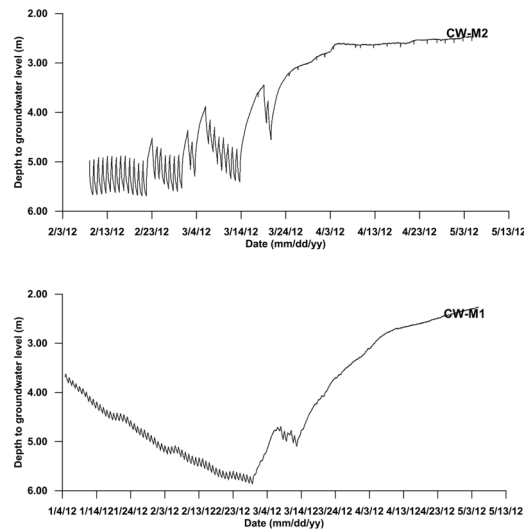


Fig. 4. Variation in groundwater levels of the CW-M2 and M1 wells in the Cheongweon water curtain cultivation area.

월 말까지 전반적인 지하수위가 점진적으로 하강하는 양상을 보이는 반면에 1일 수위 변동량은 상대적으로 적게 나타났다. 즉, CW-M4 관정 가까이에 다른 2개 관정들에서 동시 양수작업이 이루어지고 있었으나, 주변 지하수의 1일 수위 변화에는 많은 영향을 미치지 않았

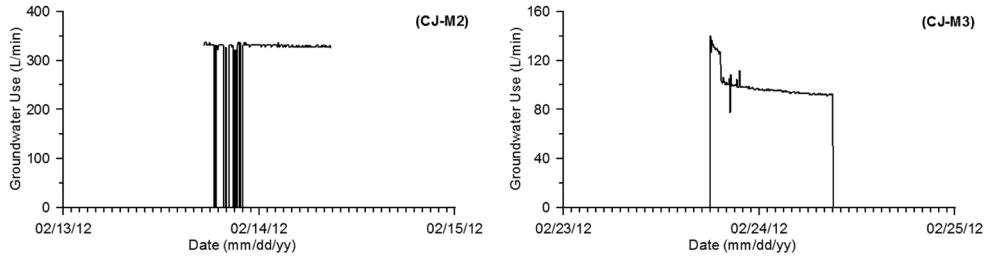


Fig. 5. Groundwater outflow rates of the CJ-M2 and M3 wells in the Chungju water curtain cultivation area. Groundwater use and operation times were 277.6 m³/d and 15 h 40 m, respectively, for the CJ-M2 well, and 89.1 m³/d and 15 h 00 m, respectively, for the CJ-M2 well.

던 것으로 판단된다.

수막재배지 중남부 지점 서측에 위치한 CW-M6 관정의 지하수 이용량 측정 기간은 2012년 3월 7일 16:20~3월 13일 15:05 이었으나, 수막재배를 위한 지하수 이용 시간은 2012년 3월 7일 17:55~3월 8일 08:10, 3월 8일 17:35~3월 9일 08:35, 3월 9일 18:45~3월 10일 07:55, 3월 10일 17:55~3월 11일 09:05 로서 각각 14시간 15분, 15시간, 13시간 15분, 15시간 10분간이었다. 이 관정에서의 1일 지하수 이용량은 각각 124.8 m³, 126.9 m³, 110.3 m³, 73.3 m³로서, 수막재배 시 1일 평균 지하수 이용량은 108.8 m³인 것으로 나타났다. 수막재배 시 단위 시간당 지하수 토출량은 각각 8.76 m³/hr, 8.46 m³/hr, 8.32 m³/hr, 4.83 m³/hr로 측정되었다. 시간이 흐를수록 단위 시간당 지하수 토출량이 점차 줄어드는 경향을 보이며, 연속 4일 지하수 이용 시 지하수 토출량이 현저히 감소하는 것으로 나타났다. CW-M6 관정 가까이에는 CW-M10 관정에서 동시 양수작업이 이루어지고 있었으며, CW-M6 관정의 지하수 수위 강하에 영향을 미쳤을 것으로 판단된다.

수막재배지 중남부 지점 동측에 위치한 CW-M11 관정의 지하수 이용량 측정 기간은 2012년 3월 13일 15:50~3월 14일 16:40 이었으나, 수막재배를 위한 지하수 이용 시간은 2012년 3월 13일 17:30~3월 14일 09:10 로서 15시간 40분간이었다. 이 관정에서의 1일 지하수 이용량은 61.7 m³이었다. 수막재배 시 단위 시간당 지하수 토출량은 3.94 m³/hr로서 다른 관정들에 비해 낮게 측정되었다. 시간 경과에 따른 지하수 토출량은 변화가 거의 없는 것으로 보아, 타 관정들에 비해 지하수 토출량이 적은 것은 모터 용량과 관계가 있어 보인다.

충주지역: 충주시 봉방동 달천 주변 수막재배지에서 지하수 이용량 측정은 수량이 풍부한 CJ-M2 관정과

수량이 적은 CJ-M3 관정을 대상으로 하였으며, 그 결과는 Fig. 5와 같다.

CJ-M2 관정에서의 지하수 이용량 측정 기간은 2012년 2월 13일 16:50~2월 14일 08:55 이었으나, 수막재배를 위한 지하수 이용 시간은 2012년 2월 13일 17:15~2월 14일 08:45 으로서 15시간 40분간이었다. 측정된 1일 지하수 이용량은 총 277.6 m³로서 우리나라 수막재배지에서의 일반적인 지하수 이용량에 비해 매우 많은 지하수를 이용하고 있었다. 수막재배 시 단위 시간당 지하수 토출량은 17.72 m³/hr로 측정되었다. 이 관정에서는 양수 초기에 양수 중단 현상이 몇 차례 있었으나, 전체적으로는 1분당 지하수 토출량이 330 L/min 내외를 잘 유지한 것으로 나타났다. 이와 같이, 양수 초기에는 지하수 토출량이 심하게 변하고 후기에는 오히려 지하수 토출량이 매우 일정하게 유지되는 것으로 볼 때, 이 현상은 관정 내 지하수 수위 하강과 관련되기보다는 모터 작동의 문제와 관련이 있었던 것으로 사료된다.

CJ-M3 관정에서의 지하수 이용량 측정 기간은 2012년 2월 23일 17:50~2월 24일 09:25이었으나, 수막재배를 위한 지하수 이용 시간은 2012년 2월 23일 18:00~ 2월 24일 09:00 으로서 15시간이었다. 측정된 1일 지하수 이용량은 총 89.1 m³이다. 수막재배 시 단위 시간당 평균 지하수 토출량은 5.94 m³/hr로서, CJ-M2 관정의 0.34배에 불과하다. 이 관정에서는 양수 시작 시 분당 지하수 토출량이 140 L/min였으나 10분 경과시까지 125 L/min로 서서히 감소하다가, 20분 경과시 103 L/min로 급감하였다. 이후 양수 말기의 90 L/min까지 서서히 지하수 토출량이 감소하다가 양수 중단 직전에 51 L/min 정도로 급감하는 현상을 보였다. 이와 같이, 양수 초기에서부터 말기까지 지속적으로 지하수 토출량이 감소하는 추세를 보이는 것은 이 관정 내 지하수위가 지속적으로 하강되는 현상과 밀접한 관련이 있는 것으로 판단된다.

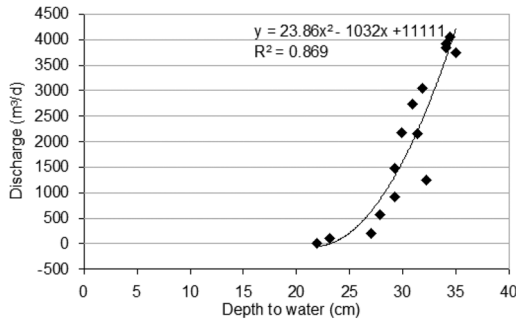


Fig. 6. Rating curve for the ditch stream at CW-S2 point in the Cheongwon water curtain cultivation area.

수막재배지의 지하수 배출량

청원지역: 청원지역에서의 지하수 배출량을 CW-S2 지점에서 2월 10일 16:25 부터 11일 11:26 까지 1일간 측정하였다. CW-S2 지점 배수로에서 측정된 수심과 순간 배출량을 토대로 배수로 내 지하수 배출량에 대한 수위-유량 곡선(rating curve)을 도출하면 Fig. 6과 같다. 이와 같이 지하수 배출량이 측정된 2월 10일과 11일의 최저 기온은 -5.7°C, -7.8°C로서(Korea Meteorological Administration (이하 KMA), 2012), 이 지역의 대부분 수막재배 하우스가 모터를 가동하는 날이었다.

이 지역에서 수막재배가 한창 진행되던 2월 9일부터 2월 22일까지의 기간 중에 수막재배에 의해 배출되는 1일 지하수량의 변화를 파악하기 위하여 CW-S2 지점의 배수로에서 수위 변화를 자동 관측하였다(Fig. 7). Fig. 6의 수위-유량 곡선과 14일간의 자동 수위관측 자료를 토대로 산정한 일별 지하수 배출량은 2,079~2,628 m³ 범위를 보였으며, 평균 지하수 배출량은 2,341 m³으로 산정되었다(Fig. 8). CW-S2 배출 지점이 지배하는 유역의 수막재배 면적은 약 4 ha 이므로, 청원지역 수막재배 지에서는 1 ha 당 1일 지하수 배출량이 520~657 m³ 범위, 1일 평균 지하수 배출량 585 m³로 산정된다. 이는 농촌진흥청 원예연구소가 수막재배지에 적용한 1 ha 당 1일 평균 지하수 이용량 1,200 m³ (RDA, 2007)과는 큰 차이가 있으며, 한국지질자원연구원이 논산지역에 대해 산출한 1 ha 당 1일 지하수 이용량 420 m³ (KIGAM, 2011)과는 약간의 차이를 보였다.

1일 지하수 배출량의 변화는 일별 최저 기온의 변화와 관련이 깊다. 현지 탐문조사 결과, 1일 최저 기온 -5°C 미만일 경우, 대부분의 수막재배 농민들이 모터를 가동시켰으며, 0~-5°C 범위인 경우에는 일부 농민들만이 모터를 가동시키는 경향이 있었다. 최저 기온 0°C

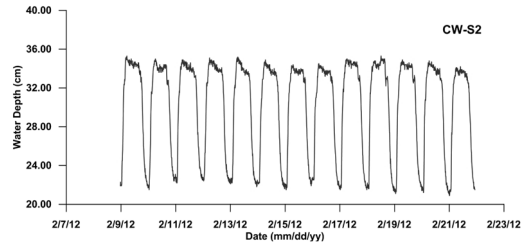


Fig. 7. Water level variation in the ditch stream at CW-S2 point in the Cheongwon water curtain cultivation area.

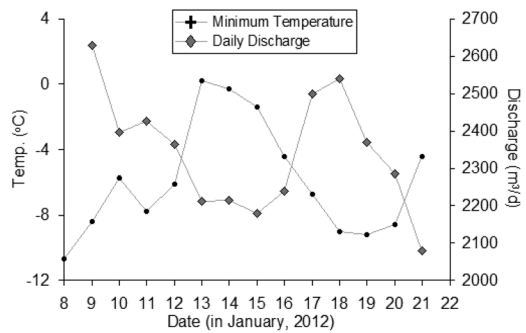


Fig. 8. Relation between daily minimum temperature and groundwater discharge for the ditch stream at CW-S2 point in the Cheongwon water curtain cultivation area.

이상으로 기상 예보된 경우에는 수막재배는 거의 가동되지 않았다. 일별 최저 기온 및 저온 지속시간과 모터 가동 시간과의 관계도 밀접한 관련이 있어, 최저 기온이 낮고 저온 지속시간이 길어질수록 하루 중 모터 가동 시간이 늘어나며, 이 때문에 1일 지하수 배출량 역시 증가되었다. Fig. 9는 2012년 2월 9일부터 21일까지 하루 중 최저 기온의 변화와 CW-S2 지점 배수로에서의 1일 지하수 배출량 변화를 비교한 것으로서, 양자간에는 명확한 상반관계를 보였다. 2011년과 2012년도 기상 자료(KMA, 2012)에 의하면, 청원지역에서 일별 최저 기온이 0 이하였던 날은 모두 94일, -5°C 미만은 47일로 기록되었다(Fig. 9). 따라서 수막재배를 위한 모터 가동 일수는 100일 이내로 추정되며, 이는 농촌진흥청 원예연구소의 모터 가동 일수 120일 및 한국지질자원연구원의 150일 가동 일수(RDA, 2007; KIGAM, 2011)와는 큰 차이를 보인다. 그리고 청원지역에서 개개 관정의 1일 모터 가동 시간도 13시간 15분~18시간 범위로 관측되었다. 이는 원예연구소의 1일 평균 8시간의 수막재배 가동 시간과는 큰 차이가 있으나, 한국지질자원연구원이 논산지역에서 관측한 14~15시간 수막재배 가동 시간과

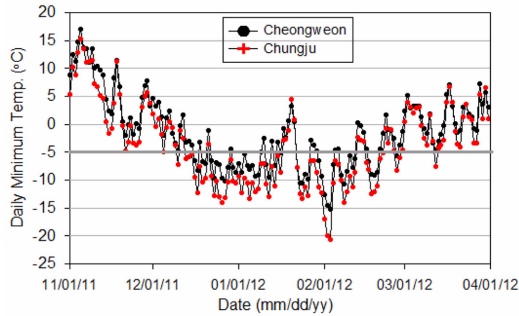


Fig. 9. Variation in daily minimum temperature in the Cheongweon and Chungju areas. There were 94 and 108 days below 0°C, and 47 and 67 days below -5°C in the Cheongweon and Chungju areas, respectively.

는 유사함을 보였다.

청원지역의 1 ha 당 1일 지하수 배출량 585 m³, 수막재배 가동 일수 94일을 국내 수막재배지에 대해 동일하게 적용한다면, 국내의 전체 수막재배 면적 10,746 ha에 대해 2011년 말~2012년 초 겨울철 동안 사용된 지하수 수량은 590,922,540 m³ (= 5.9억 m³) 정도로 추산할 수 있으며, 이는 전체 농업용수 이용량 16.9억 m³ (MOCT, 2007)의 34.9%에 해당된다.

충주지역: 충주지역 수막재배지에서는 1일 배출 지하수량을 추정하기 위해 2012년 2월 13일에 CJ-S2 지점의 배수로에서 배출량을 측정하였다. 수막재배를 위한 모터펌프 가동시간은 오후 6시경부터 다음날 아침 9시경까지 약 15시간 동안 지속되었으나, 금번 측정에서는 현지 여건상 배출량이 비교적 많은 시점에서 1회의 배출량만 측정이 가능하게 되었다. 즉, 이 지점에서 측정된 1일 지하수 배출량 약 968 m³ (= 1,549 m³ × 15시간 ÷ 24시간)은 배출량이 많았던 한정된 시점에서의 측정치이므로 실제로는 이보다 훨씬 적은 양의 지하수가 배출된 것으로 보아야 한다. CJ-S2 지점에서의 지하수 배출에 해당되는 지역의 면적(48,000 m²)은 이 지역 전체 면적(770,000 m²)의 약 1/16 정도로서, 면적 대비 전체 면적에서의 1일 지하수 배출량은 약 15,488 m³ 미만으로 추정될 수 있다. 이 지역 내 비닐하우스 면적은 전체 면적의 50% 정도이고, 성수기에 약 1/2 정도의 비닐하우스가 수막재배를 포기한 상태를 보였으므로, 이 지역에서의 수막재배 면적은 192,500 m² (19.25 ha) 미만으로 볼 수 있다. 즉, 충주지역에서의 1 ha 당 1일 지하수 배출량은 최대 805 m³을 넘지 않으며, 실제로는 이보다

훨씬 적은 양의 지하수가 배출되는 것으로 해석된다.

청원지역에서의 유사하게, 충주지역에서도 1일 모터 가동시간은 약 15시간 정도로서 농촌진흥청 원예연구소의 8시간과는 큰 차이가 있으며, 한국지질자원연구원의 14~15시간과는 유사하다(RDA, 2007; KIGAM, 2011). 또한, 1 ha 당 1일 지하수 배출량은 805 m³ 미만으로서 농촌진흥청 원예연구소가 가정한 1,200 m³과는 크게 다르다. 한편, 기상청 자료(KMA, 2012)에 의하면, 충주지역에서 2011년 말~2012년 초 겨울 중에 1일 최저 기온이 0 미만인 날은 108일, -5°C 미만인 날은 67일로 기록되어, 수막재배 가동 일수 역시 농촌진흥청 원예연구소, 한국지질자원연구원의 120일 및 150일과는 차이를 보인다.

충주지역의 1 ha 당 1일 지하수 배출량 805 m³ 미만, 수막재배 가동 일수 108일, 국내의 수막재배지 면적 10,746 ha를 적용하면, 2011년 말~2012년 초 겨울철 동안 국내 수막재배지에서의 지하수 이용량은 934,257,240 m³ (약 9.3억 m³) 미만으로 산정되며, 이는 수막재배지에서 전체 농업용 지하수 이용량 16.9억 m³ (MOCT, 2007)의 55.0%보다 적은 양의 지하수를 이용함을 의미한다.

모터펌프 사양을 고려한 지하수 이용량 산정

청원지역을 대상으로 대표 관정의 1일 지하수 토출량과 모터 사양과의 관계를 검토하였으며, 개개 관정의 지하수 이용량을 이용하여 수막재배지 전체의 지하수 이용량을 추정하였다.

청원지역 수막재배지에서 가동 중이던 모터펌프는 대부분 한일모터펌프이며, 1개 관정만 일로펌프를 이용하였다. CW-M4, M6, M7 관정에서의 모터 형식은 각각 PA-630(한일), PU-951M(월로), PA-855(한일)이며, CW-M4 관정을 포함하여 나머지 관정들의 모터 형식은 모두 PA-930(한일)로 파악되었다. 지하수 토출량과 모터 유형들과의 관계성을 검토해 보면, CW-M6 관정의 PU-951M(월로) 모터는 1일 평균 지하수 토출량이 108.8 m³, 시간당 평균 지하수 토출량은 7.59 m³/hr로서 타 관정들에 비해 지하수 토출량이 매우 높게 나타났다. 한일 모터의 경우에는 모두 이보다 낮은 토출량을 보였다. CW-M4 관정의 PA-630(한일) 유형은 1일 및 시간당 평균 지하수 토출량이 각각 74.3 m³/day, 4.28 m³/hr이며, 그 외의 대부분 관정에서 가동 중이던 PA-930 유형 모터의 1일 및 시간당 평균 지하수 토출량은 각각 61.7~77.0 m³/day, 3.94~4.09 m³/hr로 측정되었다. 150~200

mm 내외의 중형 관정이 연구지역 남단(Fig. 1에서 S5 지점과 그 남측)에 4개, 북단(S3 지점의 북측)에 1개 등 모두 5개가 확인되었으나, CW-M6 관정을 제외하면 모든 관정들이 관정의 구경에 관계없이 1일 지하수 사용량 70 m³ 내외인 모터를 가동 중이었다. 이들 한일모터를 이용하는 관정들에서의 1일 평균 지하수 토출량을 CW-M3, M4, M11 관정에서의 1일 지하수 이용량 평균으로 계산하면 68.4 m³이 된다.

이 지역에서 수막재배 중이던 비닐하우스는 87개동, 수막재배 하우스 부근에서 확인된 모터 설치 관정은 59개였다. 59개의 모터가 모두 동시 가동되는 것이 아니라, 일일 최저 기온에 따라 가동 모터 개수가 달라졌다. 기상청(2012) 자료에 의하면, 이 지역에서 2012년 2월 1일~2월 21일의 최저 기온은 -15.2~+0.2°C 범위로서, 2월 13일~2월 15일의 최저 기온 -1.4~+0.2°C 범위를 제외하면 모두 -4.4~-15.2°C 범위로서 전반적으로 매우 추운 날씨가 지속되었다. 배수로 CW-S2 지점에서 지하수 배출량이 측정되던 2월 10일과 11일의 최저 기온은 -5.7°C, -7.8°C이었으며, 지속적인 추위로 인해 당일에는 수막재배 하우스에서 대부분의 모터가 가동되었다. 그러

나, 2월 22일~2월 29일까지의 최저 기온은 -5.7~+1.7°C 범위로서, 9월 27일의 -5.7°C를 제외하면 최저 기온이 모두 -5°C 이상으로서 대체로 포근한 날씨가 지속되어 수막재배 가동을 중단한 경우가 많았다. 2월 29일의 모터 가동 전수조사 시 1일 최저 기온은 -1.3°C로서, 모터 가동이 확인된 관정은 59 개 중 33 개에 불과하였다(Table 1). 특히, 배수로 CW-S2 지점의 지하수 배출 해당 구역 내 관정에 설치된 모터 개수는 모두 43개이지만, 이 구역 내에서 2월 29일에 가동 중이던 관정 개수는 모두 22 개인 것으로 확인되었다.

개개 관정의 지하수 이용량을 이용하여 수막재배지 전체의 지하수 이용량을 추정하기 위해, CW-M6 관정의 1일 평균 지하수 토출 능력을 108.8 m³, 이를 제외한 모든 관정에서의 1일 평균 지하수 토출 능력을 68.4 m³으로 고려하였다. 2월 29일과 같이 1일 최저 기온 0~-5°C 범위인 경우, CW-S2 지배 구역에서는 1일 평균 지하수 토출 능력 68.4 m³의 관정 22개만이 모터를 가동하는 것으로 파악되었으며(Table 1), 이는 이 구역에서의 1일 최저 지하수 이용량을 반영한다. 즉, CW-S2 지점의 배수로가 지배하는 구역에서의 1일 최저 지

Table 1. Number of vinyl houses and groundwater wells in operation in the Cheongweon water curtain cultivation area during the winter period of late 2011 through early 2012.

	Owner	Number of houses	Number of equipped motor pumps	Number of running motor pumps	Location of running wells
N ↑	G. Yu	3	2	2	Wells in the north area of S3
	D. Oh	5	4	3	M7, M8 & other wells near S3
	-	7	6	5	Wells between S3 and S4
	Oh	4	1	0	Well between S3 and S4
	Oh	4	3	1	M9 & other well near S2, S4
	subtotal	23	16	11	
CW-S2 discharge area	D. Oh	5	4	4	M3, M12, M13 & other well near S2 and S4
	-	7	5	5	M15 & other wells near S2, S4
	-	4	3	1	Wells between S4 and S1
	S. Yu	2	2	2	M5 & M14 wells between S4 and S1
	-	3	3	0	Wells between S4 and S1
	S. Cha	8	5	4	M4 & other wells near S1
	C. Kang	4	3	2	M6, M10 & other well near S5
	C. Chung	5	4	2	Wells near S5
	-	3	3	0	Wells near S5
	D. Oh	3	3	2	M11 & other wells near S5
	-	9	2	0	Wells in the south of S5
	-	4	1	0	Wells in the south of S5
	↓ S	-	4	2	0
C. Kang		3	3	0	Wells in the south of S5
subtotal		64	43	22	
	Total	87	59	33	

하수 이용량은 $1,504.8 \text{ m}^3 (= 68.4 \text{ m}^3/\text{개} \times 22\text{개})$ 인 것으로 산정된다. 반면에, 최저 기온이 -5°C 미만으로 낮아서 CW-S2 지배 유역 내 43개 관정 모두가 모터를 가동하는 경우에는 이 유역에서의 1일 최대 지하수 이용량이 되며, 이는 $2,981.6 \text{ m}^3 (= 68.4 \text{ m}^3/\text{개} \times 42\text{개} + 108.8 \text{ m}^3)$ 로 산정된다. 이것은 일별 최저 기온에 대한 기상 예보 상황과 수막재배 농민의 성향으로부터 기인될 수 있는 결과이다.

한편, 유사한 방식으로, 배수로 CW-S2 지점에 지배되지 않는 유역, 즉 S2 북측 지역에서의 1일 지하수 이용량은 최대 $1,097.4 \text{ m}^3 (= 68.4 \text{ m}^3/\text{개} \times 16\text{개})$, 최소 $752.4 \text{ m}^3 (= 68.4 \text{ m}^3/\text{개} \times 11\text{개})$ 으로 산정된다. 따라서 대표 관정들의 지하수 이용량과 모터 사양과의 관계를 적용하고 일별 최저 기온의 기록을 고려하면, 2011년 말~2012년 초 겨울철에 이 지역 수막재배지 전체에서의 지하수 이용량은 1일 최대 $4,079.0 \text{ m}^3 (= 2,981.6 \text{ m}^3(\text{S2 남측 지역}) + 1,097.4 \text{ m}^3(\text{S2 북측 지역}))$, 1일 최소 $2,257.2 \text{ m}^3 (= 1,504.8 \text{ m}^3(\text{S2 남측 지역}) + 752.4 \text{ m}^3(\text{S2 북측 지역}))$ 로 산정된다.

상기한 바와 같이, 1일 최저 기온이 $0 \sim -5^\circ\text{C}$ 인 경우에 청원 연구지역에서의 1일 최저 지하수 이용량은 $1,504.8 \text{ m}^3$, 1일 최저 기온 -5°C 미만인 경우에 1일 최대 지하수 이용량 $2,981.6 \text{ m}^3$ 이 된다. CW-S2 배출 지점이 지배하는 유역의 면적 4ha를 고려하면, 1ha 당 1일 지하수 이용량은 최소 376.2 m^3 , 최대 745.4 m^3 이 된다. 2011년 말부터 2012년 초 겨울 기간 중에 1일 최저 기온 $0 \sim -5^\circ\text{C}$ 인 일수는 47일, 1일 최저 기온 -5°C 미만 일수는 47일이었다(KMA, 2012). 이를 고려하면, 이 지역에서 겨울철에 수막재배지 1ha 당 이용된 지하수 수량은 $53,138.2 \text{ m}^3 (= 376.2 \text{ m}^3/\text{일} \times 47\text{일} + 745.4 \text{ m}^3/\text{일} \times 47\text{일})$ 로 계산된다. 이를 우리나라 전체 수막재배 면적 10,746ha에 대하여 적용하면, 2011년 말~2012년 초 겨울철에 우리나라 수막재배지에서 이용한 지하수 수량은 $571,023,079.2 \text{ m}^3 (5.7\text{억} \text{ m}^3)$ 으로 산정할 수 있다. 이는 우리나라 전체 농업용 지하수 이용량 $16.9\text{억} \text{ m}^3$ (MOCT, 2007)의 33.7%에 해당되며, 이와 같이 모터 사양을 근거로 산정한 지하수 이용량 $5.7\text{억} \text{ m}^3$ 은 배수로 CW-S2 지점의 지하수 배출량에 근거한 $5.9\text{억} \text{ m}^3$ 과 유사하다. 즉, 금번 연구를 통하여, 모터의 사양과 1일 최저 기온을 고려한 지하수 이용량 산정은 타당한 것으로 평가되었으며, 향후 다른 수막재배지에서의 지하수 이용량 산정에도 동일하게 적용할 수 있을 것으로 기대된다.

결론

충남지역에서 대표적인 딸기, 상추 수막재배지이면서 지하수위 저하로 수막재배 여건이 악화되어가고 있는 청원군과 충주시를 대상으로 지하수 이용량 및 배출량을 분석하였으며 그 결과는 다음과 같다.

1. 청원과 충주지역 수막재배지에서 2012년 2월 10일~3월 13일 기간 중에 관측된 지하수 관정의 1일 모터 가동 시간은 각각 13시간 15분~18시간, 15시간~15시간 40분이었다. 청원지역에서 1일 최저 기온 0°C 이하는 94일, -5°C 미만은 47일, 충주지역에서 1일 최저 기온 0°C 이하는 108일, -5°C 미만은 67일로 기록되었다. 즉, 두 지역에서의 수막재배를 위한 모터 가동 일수는 100일 내외인 것으로 추정된다.

2. 청원지역 수막재배지에서 4개 관정의 1일 지하수 이용량은 $61.7 \sim 126.9 \text{ m}^3$ 범위로 측정되었다. CW-M6 관정의 1일 평균 지하수 토출 능력 108.8 m^3 을 제외하면, 모든 관정에서는 1일 평균 지하수 토출 능력이 68.4 m^3 으로 고려된다. 충주지역 수막재배지에서 2개 관정의 1일 지하수 이용량은 $89.1 \sim 277.6 \text{ m}^3$ 로 관측되었다.

3. 모터 사양별 지하수 배출 능력과 1일 최저 기온 자료를 근거로 할 때, 청원지역에서 1ha 당 1일 지하수 이용량은 최저 376.2 m^3 , 최대 745.4 m^3 로 산정되며, 2011년 말~2012년 초 겨울철에 이용된 지하수 수량은 1ha 당 $53,138 \text{ m}^3$ 으로 추산된다. 이는 면적 대비로 국내 수막재배지($10,746 \text{ ha}$)에서의 지하수 이용 총량 $5.7\text{억} \text{ m}^3$, 국내 농업용 지하수 이용량($16.9\text{억} \text{ m}^3$)의 33.7%에 해당된다.

4. 청원지역에서 2012년 2월 9일~22일 기간 중에 CW-S2 지점 배수로를 통해 배출된 1일 지하수량은 평균 $2,341 \text{ m}^3$ 로 측정되었다. 해당 수막재배지의 면적 4ha와 수막재배 가동 일수 94일을 고려하면, 2011년 말~2012년 초 겨울철에 이용된 지하수 수량은 1ha 당 $54,990 \text{ m}^3$ 으로 추산된다. 이는 면적 대비로 국내 수막재배지에서의 지하수 이용 총량 $5.9\text{억} \text{ m}^3$, 국내 농업용 지하수 이용량의 34.9%에 해당된다.

5. 충주 수막재배지에서는 1ha 당 1일 지하수 배출량이 805 m^3 미만으로 추산되었다. 수막재배 가동 일수 108일을 고려하면, 이 지역에서 2011년 말~2012년 초 겨울철의 지하수 이용 수량은 1ha 당 $53,138.2 \text{ m}^3$ 보다 적은 것으로 계산된다. 이는 면적 대비로 국내 수막재배지의 지하수 이용량이 $9.3\text{억} \text{ m}^3$ 미만, 전체 농업용 지하수 이용량의 55%보다는 훨씬 적은 수량의 지하수가 수

막재배에 이용됨을 지시한다.

이 연구의 대상지역은 딸기, 상추 수막재배지로서, 향후 다른 지역에 대하여도 유사한 방법을 적용하여 지하수 이용량 및 배출량을 산정할 수 있을 것으로 기대된다. 그러나, 국내 수막재배지 전체 지역에서의 지하수 사용량을 보다 합리적으로 산정하기 위해서는, 시설재배 작물별 지하수 이용 특성, 지역별 및 위도별 겨울철 최저 기온 자료, 지질 특성별 지하수 산출 능력에 따른 지하수 사용량의 차이 등에 대한 평가가 추가로 요구된다.

사 사

이 연구 논문은 국토해양부 건설기술혁신사업의 일환으로 수행되었으며, 수변 지하수 활용 고도화 연구단의 협동1과제 “수변 축적층 지하수위 복원 기술”의 연구 결과이다.

참 고 문 헌

- Banzhaf, S., Krein, A., and Scheytt, T., 2011, Investigative approaches to determine exchange processes in the hyporheic zone of a low permeability riverbank, *Hydrogeology Journal*, 19, 591-601.
- Cho, B. -W., Yun, U., Lee, B. -D. and Ko, K. -S., 2012, Hydrogeological characteristics of the Wangjeon-ri PCWC area, Nonsan-city, with an emphasis on water level variations, *The Journal of Engineering Geology*, 22, 195-205 (In Korea with English abstract).
- Chungcheong Daily News, <http://www.ccdn.co.kr/>, 2012-04-16 (reporter Lee, W.C. In Korean).
- Chungcheong Today, <http://www.cctoday.co.kr/>, 2010-11-10 (reporter Kim, H.J. In Korean).
- Giap, T. V., 2003, Use of radon-222 as tracer to estimate groundwater infiltration velocity in a river bank area, *Nuclear Science and Technology*, 2, 12-17.
- Hamm, S. -Y., Cheong J. -Y., Ryu, S. M., Kim M. J. and Kim H. -S., 2002, Hydrogeological characteristics of bank storage area in Daesan-myeon, Changwon City, Korea, *Journal of the Geological Society of Korea*, 38, 595-610 (In Korea with English abstract).
- Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources (KIGAM), 2009, Integrated technologies in securing and applying groundwater resources to cope with earth environmental changes, GP2009-009-01-2009 (1), 379p (In Korean).
- Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources (KIGAM), 2010, Integrated technologies in securing and applying groundwater resources to cope with earth environmental changes, GP2009-009-01-2010 (2), 347p (In Korean).
- Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources (KIGAM), 2011, Integrated technologies in securing and applying groundwater resources to cope with earth environmental changes, GP2009-009-01-2011 (3), 559p (In Korean).
- Korea Meteorological Administration (KMA), 2012, <http://www.kma.go.kr/>, 2012-10-10 (In Korean).
- Lee, J. -H., Hamm, S. -Y., Lee, C. -M., Lee, J. -J., Kim, H. -S. and Kim, G. -B., 2012, Numerical simulation of groundwater system change in a riverside area due to the construction of an artificial structure, *The Journal of Engineering Geology*, 22, 263-274 (In Korean with English abstract).
- Ministry of Construction and Transportation (MOCT), 2007, Report on the general plan of groundwater management: 2007-2011, 404p (In Korean).
- OhmyNews, <http://www.ohmynews.com/>, 2004-11-18 (reporter Kim, H.J. In Korea).
- Rural Development Administration (RDA), 2007, Techniques in water curtain cultivation of vinyl house, 88p (In Korean).
- Winter, T. C., 1999, Relation of streams, lakes, and wet lands to groundwater flow systems, *Hydrogeology Journal*, 7, 28-45.
- Winter, T. C., Harvey, J. W., Franke, O. L. and Alley, W. M., 1998, Ground and surface water in a single resource, *USGS Circ.* 1139, 79p.

원고접수일 : 2012년 10월 31일

수정본채택 : 2012년 12월 10일

게재확정일 : 2012년 12월 14일

문상호

한국지질자원연구원 지구환경연구본부
305-350 대전광역시 유성구 과학로 124
Tel: 042-868-3372
E-mail: msh@kigam.re.kr

하규철

한국지질자원연구원 지구환경연구본부
305-350 대전광역시 유성구 과학로 124
Tel: 042-868-3081
E-mail: hasife@kigam.re.kr

김용철

한국지질자원연구원 지구환경연구본부
305-350 대전광역시 유성구 과학로 124
Tel: 042-868-3086
E-mail: yckim@kigam.re.kr

윤필선

한국지질자원연구원 지구환경연구본부
305-350 대전광역시 유성구 과학로 124
Tel: 042-868-3372
E-mail: uribut@gmail.com