

수위-유량 관계곡선을 이용한 수막재배용 지하수 사용량 추정

이봉주* · 김용철 · 조병욱 · 윤 옥 · 하규철 · 이병대 · 문상호 · 윤필선 · 김성윤
한국지질자원연구원

Estimation of Groundwater Usage for Water Curtain Cultivation using a Rating Curve

Bong-Joo Lee*, YongCheol Kim, Byung-Wook Cho, Uk Yoon, Kyoolchul Ha, Byeong-Dae Lee, Sang-Ho Moon, Philsun Yoon, and Sung-Yun Kim

Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources (KIGAM)

Received 6 January 2015; received in revised form 4 February 2015; accepted 9 February 2015

수위-유량 관계곡선을 이용한 동절기 수막재배기간의 지하수 사용량 추정 방법을 제시하고, 이를 논산 왕전리 수막재배 지역에 현장 적용하였다. 연구지역의 동절기 수막재배 기간의 농수로수의 구성성분은 주로 지하수와 강우의 직접 유출 성분으로 구성된다. 농수로 수위를 관측하고, 강우에 의한 농수로 수위 상승분을 수위 관측 자료로 부터 제거시키기 위해 기저유출분리법을 적용하였다. 강우에 의한 수위 상승분이 제거된 농수로 수위자료에 수위-유량 관계를 적용하여 연구지역의 수막재배용 지하수 배출량을 산출하였다. 왕전리 지역의 수막재배용 지하수 사용량은 평균 10,900 m³/d, 420 m³/d/ha인 것으로 추정되었다. 추정 지하수 사용량(420 m³/d/ha)과 전국의 수막재배면적(10,746 ha), 그리고 연간 수막재배일수(120 days/year)을 기준한 전국 규모의 수막재배용 지하수 사용량은 5억 4천만 m³에 이른다. 이는 농업용 지하수 연간 사용량(약 17 억 m³)의 약 32%에 달한다.

주요어: 수막재배, 지하수 사용량, 수위-유량 관계곡선

A method is proposed to estimate groundwater usage for water curtain cultivation (WCC) using a rating curve, and it is applied to field measurements of groundwater discharge used for WCC in Wangjeon-ri, Nonsan. During the winter season, the hydraulic components of irrigation ditches in the study area consist mainly of direct run-off and groundwater discharged from nearby pumping wells. Changes in stage of the ditches were monitored, and a baseflow separation method was applied to remove increments in stage due to direct run-off. The resulting records of stage were translated to groundwater discharge by applying the-stage-discharge relation. The estimated average groundwater discharge for the WCC in Wangjeon-ri was 10,900 m³/d or 420 m³/d/ha when the estimation is normalized by the total area for WCC facilities of this region. Applying this estimation (420 m³/d/ha) to the entire area of the WCC in Korea (10,746 ha), and considering the number of pumping days for the WCC (120 days/year), the total ground water usage for the WCC nation-wide is estimated to be 0.54 billion m³. This is equivalent to 32% of the total groundwater discharge for agricultural use in Korea (1.7 billion m³).

Key words: water curtain cultivation, groundwater discharge, a rating curve

*Corresponding author: lbj@kigam.re.kr

© 2015, 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.

서 론

수막재배는 1984년에 국내에 보급된 이후 급속히 확산되어 1991년에는 1,100 ha에 이르게 되었고, 2006년에는 10,746 ha의 시설에서 사용되고 있는 것으로 알려져 있으며, 농업용수로 사용되는 지하수중 상당량이 수막재배에 사용되고 있는 것으로 추정되고 있다(Kim et al., 2007). 수막재배용 지하수자원의 효율적 관리와 이용을 위해 수막재배 지역의 지하수 실제 사용량의 파악이 우선적으로 요구된다. Kim et al. (2007)은 수막재배 시설면적 1,000 m²을 기준으로 250 l/min, 수막 가동시간 1일 8시간, 수막 가동일 수를 120일로 가정하고 우리나라 전체 수막재배 면적(10,746 ha, 2006년 기준)에서 사용되는 지하수량이 연간 15.5억 m³에 이르는 것으로 추정하였으나, 실측자료에 근거하지 않고 몇 가지 기준을 가정한 결과이므로 추정 과정 및 결과에 대한 수정, 보완의 여지가 있다.

농업용 지하수 이용량 산정에는 관정별로 양수량을 실측 또는 유량계를 사용하는 방법이 있으나 수막재배 지역이 넓고 수막 농가가 많은 지역에서는 적용하기 어려운 형편이다. 이 외에 전력량과 양수량 간의 상관관계를 이용하는 방법이 있으나 수막시설에서 사용하는 전력이 지하수 양수외의 목적으로도 사용되기 때문에 양수량과 사용 전력간의 직접적인 상관관계를 구하기 어렵다. 또한 스크린 폐쇄에 따른 대수층의 수리성 저하, 모터펌프의 효율 저하 및 임펠러 마모, 전양정 산정의 어려움, 계절별 지하수위 변화 등 전력소비량에 따른 양수량에 영향을 미치는 인자가 다양하여 전력사용량을 순수하게 지하수 이용량으로 판단하기에는 한계가 있다(K-water, 2007). 농업용 지하수 이용량 산정을 보다 정확하고 용이하게 하기 위해서는 광역의 조사지역을 대상으로 일률적으로 적용할 수 있는 객관적인 추정 기법개발이 요구된다.

이 연구에서는 특정지역의 수막재배용 지하수 이용량을 산정하는데 있어 농수로에서 구한 하천 수위-유량 관계식을 이용하는 방법을 제안하고, 논산 왕전리의 수막재배지역에 적용하여 구한 결과를 제시하였다.

지하수 사용량 추정 방법

이 연구에서 제안한 방법은 수막재배기간인 동절기 농수로를 구성하는 수문 성분 파악과 유량측정, 그리고 농수로 수위관측을 통한 농수로 통과 유량의 시계열 확

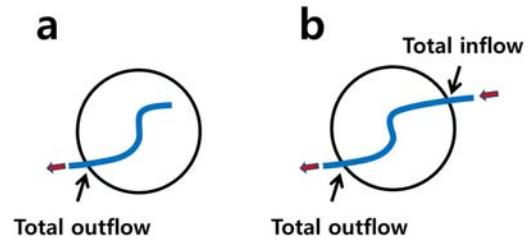


Fig. 1. Basic concept of the method used to estimate total groundwater usage in a region. a: Closed form. Total groundwater usage is equal to total outflow from the region. b: Open form. Regional groundwater usage with an open form is equal to the difference in the total inflow and outflow rates of the region.

보 등으로 그 내용이 구성된다. 우선 지하수 사용량 추정 대상지역의 경계를 설정하게 되면, 대상지역은 개방형과 폐쇄형으로 구분할 수 있다(Fig. 1). 개방형 지역은 경계 외부에서 내부로의 농수로수 유입이 있는 경우에 해당되며, 폐쇄형은 외부로부터의 유입이 없는 경우, 즉 대상지역에서 발생한 농수로수 구성 성분만이 대상지역 경계 밖으로 유출되는 경우에 해당된다. 개방형의 경우 대상지역 경계 내에서 발생한 농수로수 수문성분을 구하기 위해서는 경계선 밖으로의 총 유출량에서 경계선 내로의 총 유입량 성분을 제거해야 하며, 폐쇄형의 경우는 총 유출량만 구하면 된다. 총 유입량 및 총 유출량의 측정은 대상지역의 수문 현황에 따라 결정되어야 하며, 경우에 따라서는 다수의 측정지점에서 유입, 유출량 측정이 요구될 수도 있다. 유량 측정지점의 선정은 가능한 대상지역 경계선 근처에서 유량 및 수위 측정에 적절한 곳을 대상으로 하여야 한다. 이차적으로 대상지역 농수로수를 구성하는 수문 성분 파악이 요구된다. 일반적으로 동절기 농수로수를 구성하는 수문 성분은 대상지역 마을에서 배출되는 생활용수, 강우의 직접유출, 지하수 기저유출, 인근 관정으로부터 배출되는 지하수 그리고 대상지역 경계 밖에서 유입되는 농수로수로 구분할 수 있다. 대상지역 지하수 배출량을 추정하는 것이 목적일 경우, 지하수 배출 성분을 제외한 농수로수의 다른 수문 성분은 제외되어야 한다. 수막재배가 행해지는 동절기의 지하수위는 주변의 지표수위보다 낮아 손실하천의 특성을 보이므로 지하수 기저유출 성분은 고려 대상에서 제외한다. 농수로수의 대수층으로의 함양 역시 이 연구에서는 고려하지 않는다. 생활용수의 경우, 대상지역 마을의 규모에 따라 그 배출량이 결정되므로 현장 상황을 고려하여 포함 여부를 결정한다. 강우의 직접 유

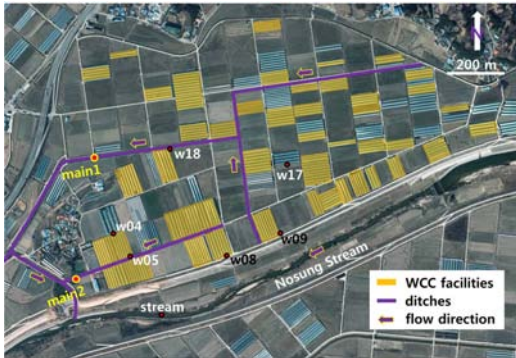


Fig. 2. WCC facilities, ditches, and locations of measurement points in the study area.

출에 의한 농수로 수위 상승분을 농수로수위에서 제거하기 위해서 기저유출분리법을 적용한다. 수막재배용 지하수 배출에 의한 농수로 수문 성분을 기저유출에 의한 것으로 간주하면 수문 곡선에서 강우에 의한 상승분을 분리하는데 기저유출분리법 적용이 가능하다. 이 외에 수막재배 시설에 사용된 지하수가 농수로에 유입될 때까지의 경작지를 통한 침투량이 고려되어야 할 것이다. 이상의 과정을 수행하면 최종적으로 농수로 수문 성분은 주변 관정의 지하수 배출과 대상지역 경계 밖에서 유입되는 농수로수로 구성되므로 대상지역 지하수 사용량 추정이 가능해진다.

현장 적용

논산 왕전리 지역의 수문 및 수막재배 현황

연구지역은 남쪽의 노성천을 경계로 한 평야지역으로 주로 논농사가 이뤄지는 곳이며(Fig. 2), 도로를 제외하곤 총 면적은 1.2 km²이다(KIGAM, 2009). 매년 4월부터 9월까지 행해지는 농업용수 공급을 위해 북동동-남남서 방향의 주수로 2개가 연구지역의 북부와 남부에 시설되어 있고, 이들로부터 논농사지역까지 용수공급을 위한 농업용수수가 방안형으로 연결되어 있다. 연구지역에서의 수막재배는 대체로 11월 중순에서 다음 해 4월 중순 이전까지의 동절기에 행해지며, 기온이 떨어지는 야간시간대에 비닐하우스 내부를 보온하기 위해 연구지역에 시설된 총 291개동의 74%인 216개동의 비닐하우스에서 행해지고 있다. 연구지역의 시설재배 면적이 0.35 km²(KIGAM, 2009)이므로, 수막재배면적은 이의 74%인 0.26 km²으로 계산된다. 수막재배 대상 작물은 딸기, 호박, 토마토, 고추 등의 저온성 작물이며, 작물별로 유지

되어야 할 비닐하우스 실내 온도가 달라 작물에 따라 수막재배 행태가 약간씩 다르다. 현지 조사 당시 확인된 지하수공은 156개에 이르며, 이들 지하수공 중에서 암반관정 30개를 제외한 나머지는 천부대수층에 굴착된 소형 관정들이다. 수막재배 목적의 양수공 현황은 파악되지 않았으나, 비닐하우스 동수와 관정 수를 단순 비교해보면 1개 지하수공당 약 2개동의 비닐하우스가 대응된다. 수막재배는 일몰 전에 지하수를 양수하기 시작하여 익일 오전에 중단하는 반복된 행태를 보이며, 수막에 사용된 지하수는 관정 근처 농수로로 배출되어 흐르다 전술한 2개의 농수로에 합류되어 흐르다가 최종적으로 노성천으로 배수된다(Fig. 2).

농수로수 유량 측정

연구지역은 지하수 사용량 추정 대상지역 경계 밖에서 유입되는 농수로수가 없는 폐쇄형에 해당된다. Fig. 2에 도시된 유량측정지점 main1과 main2는 농수로가 노성천과 합류되기전의 지점으로 이곳을 지나는 농수로수의 유량을 측정하면 연구지역 농수로수의 유출 총량을 구할 수 있다. main1은 연구지역 수막재배 지하수가 배출되는 주 통로로서 폭은 약 4 m에 이르며, main2의 폭은 약 0.8 m이다. 이들 농수로는 콘크리트로 시설되어 있어 그 단면이 거의 일정하다. 농수로수 유속측정에 이용한 기기는 OTT사의 Small Current Meter C2였으며, 유속측정은 프로펠러 1을 이용하였다. 유속의 산정은 기기를 구매할지가 수개월 미만이었기 때문에 제조사가 제시한 다음의 경험식을 이용하였다.

$$V = 0.0607N + 0.020, N \leq 3.06$$

$$V = 0.0558N + 0.035, 3.06 \leq N \leq 9.60$$

$$V = 0.0533N + 0.059, 9.60 \leq N$$

여기서 V: 유속(m/sec)

N: 초당 회전수

main1에서의 유속측정 횟수는 총 16회이며, main2에서는 10회이다. 이들 농수로의 수심은 0.2 m 미만이었기 때문에 1점법(0.6 depth)을 이용하였다.

수위 측정

지하수 사용량 추정에 사용된 자료는 농수로 수위와 하천수위, 지하수위, 대기압 자료 그리고 논산 광석면에서 관측한 기상청의 강우량 및 기온 관측 자료(논산 615)이며, 각 자료의 샘플링 간격은 1시간이며, 매시 정

Table 1. Projected coordinates, well depths of monitoring wells, and length of data record.

ID	X (m)	Y (m)	Z (m)	Well depth (m)	Length of data record
W04	403590	209210.7	6.713	25	2010/03/12-2010/08/24
W05	403518.6	209276.6	6.944	80	2009/11/20-2010/08/24
W08	403513.3	209619.4	6.772	25	2010/03/26-2010/08/24
W09	403600.1	209827.7	7.058	20	2010/03/26-2010/08/24
W17	403860.3	209856	7.438	100	2010/02/26-2010/08/24
W18	403912.4	209420.8	6.81	100	2009/11/25-2010/08/24
Stream	403317.8	209420.31	2.515		2009/11/20-2010/04/12
Main1	403881.8	209147.1	4.669		2010/01/21-2010/08/24
Main2	403440.3	209047.7	4.634		2010/02/01-2010/08/24

각에 측정되었다. 지표수위는 농수로의 2개 지점(main1, main2)과 노성천의 1개 지점에서, 지하수위는 6개 관측공에서 관측한 것이며(Fig. 2), 각 관측지점의 좌표와 관측공별 지하수위 관측기간은 Table 1과 같다. Table 1에서 지하수위 관측점의 고도 값은 케이싱 상단의 해발고도를, 농수로와 하천의 경우는 하상의 해발고도를 의미한다. 농수로 수위, 하천수위 및 지하수위의 측정지점의 좌표 및 해발고도 측량은 Trimble사의 GPS를 이용하여 VRS (Virtual Reference System)방식으로 행하였다.

결과 및 토의

지하수위와 지표수위 변화간의 상관성

지하수위와 하천수위 변화의 상관성 분석은 6개 지하수위 관측자료 중 수막배기기간을 대부분 포함하는 W05, W18 관측공의 지하수위자료와 2개 농수로 유량 측정 지점에서 관측한 하천수위 자료를 대상으로 하였다(Fig. 3). 4월부터 농업용수가 공급되기 시작하므로 각 자료의 관측 시작일부터 3월 말까지의 관측자료를 분석에 이용하였다. Fig. 3에서와 같이 W05 관측공의 지하수위는 관측이 시작된 이후 수위 상승과 하강이 반복되는 약 80 cm 폭의 단주기 변화를 보이며, 장기적으로는 점차적으로 하강하는 양상을 보이다가, 관측 중반부터는 불규칙한 상승, 하강의 수위 변화 양상을 보인다. 2월 15일 이후 일변화의 수위 변화 폭이 커지는데, 이는 2월 15일부터 W05 관측공에서 양수가 시작되었기 때문이다. W18 관측공의 지하수위는 관측 시작일로부터 상승과 하강이 반복되는 약 20 cm 폭의 단주기 변화와 지속적인 하강 양상을 보이다가, 2월 12일부터는 일변화 양상이 거의 나타나지 않으며, 지하수위가 미약하지만

지속적으로 상승하는 양상을 보인다. W05 및 W18 관측공에서의 지하수위 단주기 변화는 수위가 지속적으로 하강하다가 대수적으로 상승하는 비대칭적인 수위변화, 즉 양수와 양수 중단에 의해 나타나는 전형적 수위 변화 양상을 보인다. 수위 하강 시점에서부터 다음 수위 하강시점까지 대부분 24시간 간격으로 반복되나 부분적으로 23시간, 25시간 간격도 확인된다. 수위 하강 시점은 주로 오후 4시에서 6시 사이이나 오후 3시부터도 수위가 하강하기 시작하는 때도 있어 불규칙한 편이다. 수위가 상승하기 시작하는 시점은 오전 7시에서 9시 사이에 집중된다. 양수가 14~15시간, 양수 중단이 9~10시간 동안 지속되고 있어 비대칭적인 수위 변화 양상을 보이며, 이로 인해 전체적으로 지하수위는 1일 주기로 변동하는 특성을 보인다. 이들 지하수위 시계열에 대한 후리에 변환 결과(Fig. 4)에서도 24시간 주기성분이 가장 뚜렷하다. 이러한 24시간 주기의 지하수위 변동은 W05 관측정에서의 관측시작일인 2009년 11월 20일부터 시작하여 2010년 4월 15일까지 약 150일 동안 지속되고 있음이 확인된다. 농수로 수위의 경우, 강우에 의한 급격한 수위 상승이 인지되나, 전체적으로는 상승과 하강이 반복되는 규칙적인 일변화 양상을 보이며, main1의 경우, 관측 전반부와 달리 후반부에는 수위 변화 폭이 일정하지 않으며, 수위 변화의 규칙성도 결여되고 있음을 보인다. 반면 main2의 경우는 상대적으로 일정폭의 수위 변화를 보인다. 하천수위가 상승하기 시작하는 시점은 주로 오후 4시에서 6시 사이의 일몰 시간대에 집중되어 있으며, 하강 시점은 오전 7시에서 9시 사이의 일출 시간대에 집중된다. 하천수위 변화곡선의 최소극값(minima)들은 명확하게 인지되지만, 최대극값(maxima)들은 잡음성분이 많아 그 위치가 불분명하다. 전체적으로 수위 상승 지속시간이 수위 하강 지속시간에 비해 4

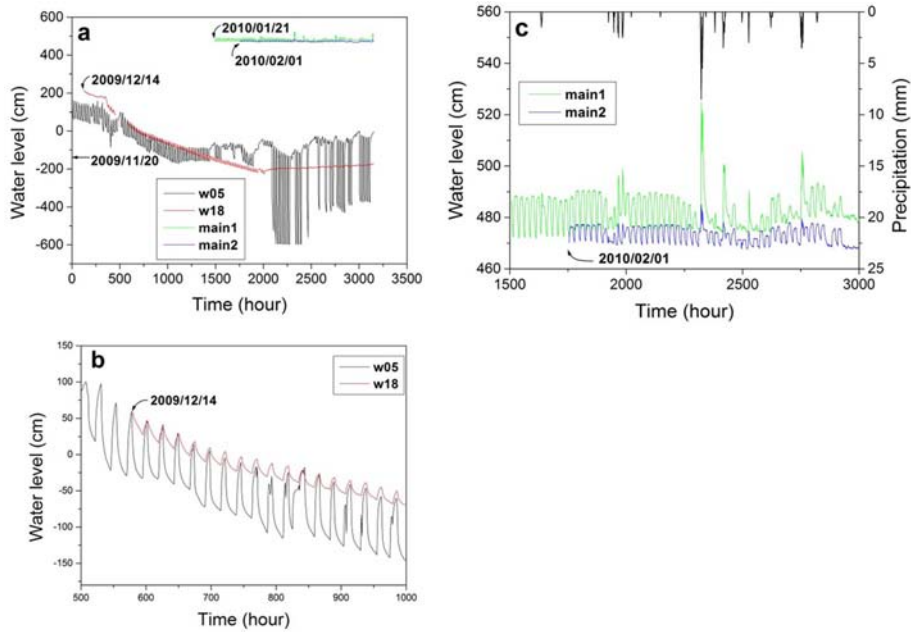


Fig. 3. Temporal variations in stream stage, groundwater level, and precipitation. a: Daily fluctuations in groundwater level and stream stage in ditches. b: Enlargement of Figure 3a. c: Stream stage in ditches, and precipitation.

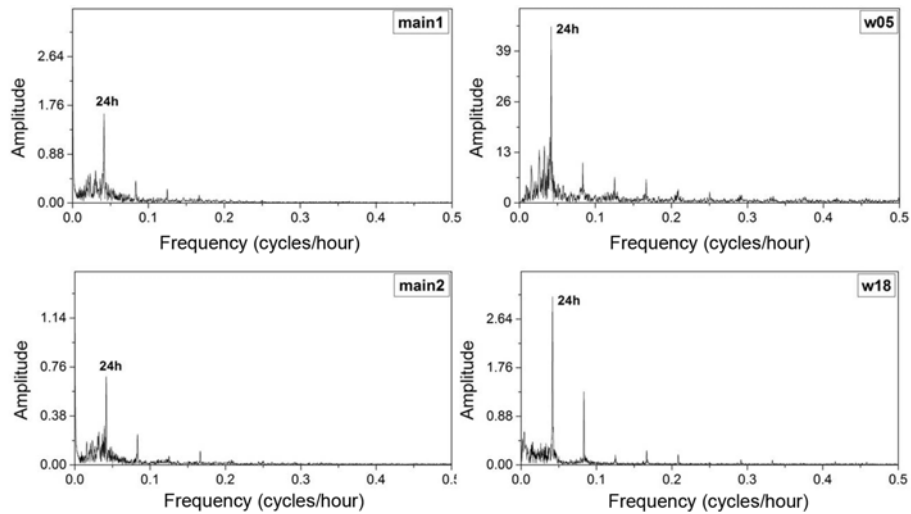


Fig. 4. Results of spectrum analysis of the time series of groundwater level, and stream stage in ditches.

시간 이상의 차이를 보여 비대칭적 수위 변화 양상을 보인다. 이들 농수로 수위 역시 지하수위 변동과 같이 24시간 주기로 변동하고 있음이 이들 시계열의 주파수 영역에서 확인된다(Fig. 4).

이상의 분석 결과를 종합해보면, W05, W18 관측점의 단주기의 지하수위 변동 특성은 양수와 관련한 전형

적인 수위 변화 양상, 야간시간대의 수위 하강과 주간시간대의 수위 상승, 약간의 불규칙성이 계제된 24시간 변동주기 그리고 이러한 변동특성이 동절기에만 나타나는 점 등으로 압축할 수 있다. 이러한 변동 특성은 W05, W18 관측점의 24시간 주기의 단주기 지하수위 변동이 자연현상이 아닌 14~15시간 동안의 지속적인 양수와

9~10시간 동안 양수중단이 반복된 주기적인 양수 행위에 의한 결과임을 지시하며, 특성 동절기에 국한되는 야간시간대의 지하수위 하강과 주간 시간대의 지하수위 상승 특성은 주기적 양수 행위가 수막재배와 관련되어 있음을 의미한다. 농수로 수위의 변동 주기 및 변화 시점이 지하수 변동과 거의 동일하나, 수위 하강 및 상승 시간대가 반대인 점, 그리고 이러한 지하수와 농수로의 단주기 수위 변화가 동절기에만 확인되는 점 등은 농수로 수위의 단주기 변동이 수막재배 목적의 지하수 양수 행태와 연동되고 있음을 명확하게 지시한다.

농수로 수문 성분

수막재배 기간인 동절기에는 연구지역에 농업용수가 공급되지 않는다. 또한, 지하수위가 농수로 및 노성천의 하천수위보다 낮아 손실하천의 특성을 보이므로 지하수의 기저유출은 없으며(Fig. 5), 타구역 농수로수의 유입은 없는 폐쇄형 지역인 것으로 현지조사 결과 확인된다. 농수로를 통해 대수층으로 함양되는 농수로수의 수문 성분과, 처리용량이 1일 최대 30톤 규모인 시설에서 수처리되어 농수로로 배출되나 실제 배출량은 미미하여 생활용수 성분은 고려대상에서 제외하였다. 따라서 수막재배 기간 동안의 연구지역 농수로를 흐르는 하천수는 강우에 의한 지표유출과 수막재배용 지하수 2개 성분으로 구성된다고 볼 수 있다. 직접 유출 성분은 Fig. 6의 constant slope method (Linsley et al., 1982)를 적용하여 제거하였다.

수막재배용 지하수 사용량 추정

Fig. 7은 농수로 2개 지점, main1과 main2 지점에서의 수위-유량 측정결과로부터 수위-유량 관계곡선을 도출하기 위해 지수증가곡선(exponential growth curve)으로 곡선적합(curve fitting) 한 결과이다. main1의 경

우 결정계수(R^2)가 0.96, main2는 0.59로 main2보다 main1이 곡선적합이 양호하였다. 이러한 결과는 main2 지점의 수심이 얕아 main1보다 유량 측정에 불리하였기 때문이다. Fig. 8은 수위-유량관계곡선과 농수로 수위 측정 자료를 바탕으로 계산된 main1과 main2에서의 지하

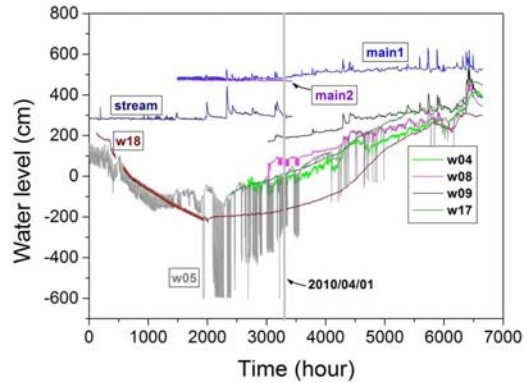


Fig. 5. Comparison of water levels. Stages in ditches and Nosung Stream are higher than groundwater levels.

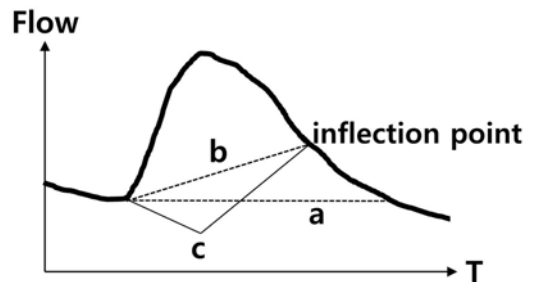


Fig. 6. Methods of base flow separation. a: Constant discharge method. b: Constant slope method. c: Concave method (Linsley et al., 1982). The constant slope method was used to remove the hydraulic component of runoff.

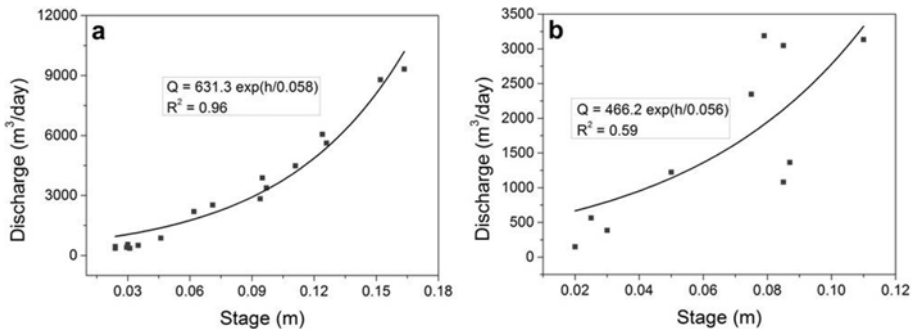


Fig. 7. Stage - discharge relationships at the ditch sections. a: Main1. b: Main2.

Table 2. Comparison of estimated results for groundwater usage for WCC at a nationwide-scale.

	Kim et al. (2007)	This study (1)	This study (2)
Groudwater usage for WCC (m ³ /d/ha)	1,200	420	420
Days for WCC (d/year)	120	120	150
Nationwide WCC area (ha)	10,746	10,746	10,746
Groudwater usage for WCC (m ³ /year)	1,547,424,000	541,598,000	676,998,000
Total groundwater usage for WCC/agricultural groundwater usage (%)	92	32	40

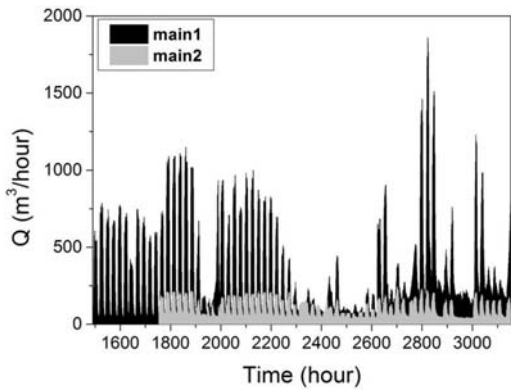


Fig. 8. Estimated groundwater discharge (m³/h) for WCC in the study area.

수 배출량 변화를 도시한 것으로 main1의 경우, 시간당 평균 통과 유량은 343 m³, 1일 평균 8,232 m³이며, 수위 관측기간 동안의 총유출량은 569,954 m³이다. main2에서는 시간당 평균 통과 유량은 112 m³, 1일 평균 2,688 m³이며, 수위 관측 기간 동안의 총 유출량은 약 156,365 m³이다. main1과 main2를 통과하는 1일 총 유출량은 10,920 m³에 이르며, 연구지역 수막재배 면적이 26 ha이므로 ha당 유출량은 420 m³에 이른다. 수막재배 중인 연구지역 216 개동의 비닐하우스와 1일 유출량을 연계시키면 비닐하우스 1개동의 1일 유출량은 50.6 m³에 이르는 것으로 계산된다.

우리나라 수막재배 지하수 사용량

우리나라 수막재배 지하수 사용량을 추정하기 위해 Kim et al. (2007)는 1일 1ha당 사용되는 지하수량을 1,200 m³으로 재배일수는 120일로 가정하였는데, 이 연구에서의 420 m³/ha과 150일과는 큰 차이를 보인다. 우선 1ha당 1일 지하수 사용량의 차이는 연구지역이 금강과 합류하는 논산천의 지류인 노성천에 접한 곳으로 대규모의 수막재배가 행해지는 낙동강, 금강, 한강 등의 강변보다는 지하수 부존에 있어 수문학적 조건이 불리

하고, 연구지역의 수리지질학적 특성이 불량하기 때문으로 판단된다. 실제 연구지역에서는 지하수가 부족하여 다수의 농가가 수막재배를 포기하거나 지하수 양수량을 늘리기 위해 심부 신규 관정을 개발하는 추세로, 지하수 공의 연도별 평균 개발심도가 커지는 등 수막재배 조건이 악화되고 있다(KIGAM, 2009). 이러한 연구지역의 수문학적, 수리지질학적 조건과 수막재배 현황을 고려하면, 이 연구에서 제시한 1ha당 1일 지하수 사용량은 우리나라 전체 수막재배지역중 하한에 근접한 수치일 것으로 판단된다. 전국의 수막재배지역별로 동절기의 기온 변화가 상이하므로 1개 지역에서 확인된 수막재배일수 역시 전국의 수막재배지에 일괄 적용하기에는 무리가 있어, 현 단계에서 이 연구에서의 수막재배일수와 1ha당 1일 지하수 사용량을 Kim et al. (2007)의 것과 직접적으로 비교하기도 어렵다. 그러나 이 연구에서의 결과가 실측에 근거한 수치이므로 이들을 근거하여 전국의 수막재배 지하수 사용량을 추정해 보는 것도 나름 의미가 있다고 본다. 수막 재배일수 150일과 ha당 1일 지하수 사용량 420 m³을 기준으로 우리나라 전체 수막재배 면적 10,746 ha (Kim et al., 2007)에 우선 적용해 보면, 수막재배 지하수 전체 사용량은 676,998,000 m³으로 계산되며, Kim et al. (2007)가 제시한 수막재배일수 120일을 적용하면 541,598,000 m³에 이른다. 이는 Kim et al. (2007)의 전국 수막재배 지하수 사용량 1,547,424,000 m³의 약 43%와 35%에 해당하는 양으로 큰 차이를 보인다. 연구지역의 1일 1ha당 지하수 사용량이 전국 수막재배지역의 1ha당 1일 지하수 사용량 중에서 하한에 근접한 수치로 본다면, 이 연구에서의 추정량 역시 전국 수막재배 지하수 사용량 추정범위의 하한에 근접한 수치로 판단된다.

지하수조사연보(Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2006)에 따르면 우리나라 지하수 개발 가능량은 연간 약 116억 m³에 이르고, 실제 사용되는 지하수는 연간 약 37억 m³에 달하는 것으로 추정되고 있다.

농업용으로 쓰이는 지하수는 연간 지하수 사용량의 약 45%인 약 17억 m^3 에 달하는 것으로 추산되고 있다. Kim et al. (2007)가 제시한 추정량은 연간 농업용 지하수 사용량의 약 91%에 달하며, 이 연구에서 제시한 6억 8천만 m^3 은 연간 사용량의 40%에, 5억 4천만 m^3 은 32%에 이른다(Table 2). 현재 단계에서 이들 결과의 타당성을 따지기는 이르나, Kim et al. (2007)의 추정량은 농업용으로 쓰이는 지하수의 거의 대부분이 수막재배에 사용되고 있는 셈이어서 수용하기 어려운 일면이 있다.

추후 보다 정확한 전국 단위의 수막재배 지하수 사용량 추정을 위해서는 수문학적, 수리지질학적 환경, 그리고 수막재배 현황과 문제점이 상이한 여러 지역에 대해 다양한 추정 방법의 적용 결과가 누적, 평가되어야 할 것이다.

결 론

이 연구에서는 동절기 수막재배기간의 농수로 수문성분이 주로 수막재배 목적으로 사용된 지하수와 강우에 의한 지표유출로 구성되고, 이들 수문 성분중 지표유출에 의한 농수로 수위 상승분을 기저유출분리법을 이용하여 제거 가능하다는 점에 근거하여 거의 동시 다발적으로 지하수 양수가 행해지는 수막재배 지역에서의 지하수 배출량을 평가할 수 있는 방법을 제안하고, 논산 왕전리지역에 시험적용하여 구한 결과를 제시하였다. 주요 연구 결과는 다음과 같다.

1. 수막재배지역의 수문 현황과 농수로수 수문성분에 근거하여 다 수의 양수정에서 양수한 후, 배출되는 지하수의 총량을 수위-유량 관계곡선을 이용하여 객관적으로 추정할 수 있는 방법을 제안하였다.

2. 논산 왕전리 지역의 동절기 농수로 수문성분은 주로 수막재배 목적으로 양수하여 사용한 후에 농수로로 배출되는 지하수로 구성되나 강우에 의한 지표유출성분도 일부 포함된다.

3. 농수로수의 수위 변화는 1일 주기의 변동 특성을 보이며, 이는 야간에 주로 행해지는 수막재배 목적의 양수 행태에 의한 1일 주기의 지하수위 변동에 의한 결과로 확인된다.

4. 제안한 방법에 따라 추정된 논산 왕전리 수막재배 지역의 1일 지하수 배출 총량은 10,920 m^3 이며, ha당 배출량 420 m^3 , 비닐하우스 1개 동당 배출량은 50.6 m^3 으로 측정되었다. 상기 추정 결과에는 수막재배용 지하

수 사용량 산정 시 농수로를 통한 대수층으로 함양되는 농수로수 수문 성분, 생활용수 그리고 수막재배 시설에서 사용된 지하수가 농수로에 이르기 전까지 경작지로 침투되는 수문 성분은 포함되지 않는다.

5. 이 연구에서 추정한 ha당 1일 지하수 사용량 420 m^3 을 우리나라 전체 수막재배 면적 10,746 ha와 수막재배일수 150일에 기준하여 계산하면, 수막재배 지하수 전체 사용량은 676,998,000 m^3 으로 계산되며, 수막재배일수 120일을 적용하면 541,598,000 m^3 에 이른다. 이는 각 각 연간 농업용 지하수 사용량의 40%와 32%에 해당한다.

6. 이 연구에서 제안한 수막재배 지하수 사용량 추정 방법의 신뢰도 확보를 위해서는 추후 농수로를 통한 대수층으로 함양되는 농수로수 수문 성분, 생활용수 그리고 수막재배 시설에서 사용된 지하수가 농수로에 이르기 전까지 경작지로 침투되는 수문 성분 등이 포함되어야 할 것이며, 이 연구에서 제안한 방법 외에 다양한 추정방법의 현장 적용결과와 교차 평가되어야 할 것이다.

사 사

이 연구는 한국지질자원연구원의 주요사업인 “대수층 인공함량 지하수확보 융복합 핵심기술개발” 과제와 국토교통부 물관리 연구사업인 수변 지하수 활용 고도화 연구단의 협동1과제 “수변 총적층 지하수위 복원 기술” 과제의 연구결과이다.

References

- Kim, H. J., Lee, S. Y., Lee, J. H., Bak E., Jeon, H., Cho, M. H., Yu, I. H., Rhu, H. R., Kim, K. D., and Park, J. S., 2007, Technology for vinyl house water curtain cultivation, National Institute of Horticultural & Herbal Science, 88p (in Korean).
- 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 Water Resources Corporation (K-water) 2007, Investigation report for monitoring of groundwater use, 196p (in Korean).
- Linsley, R. K., Kohler, M. A., and Paulhus, J. L., 1982, Hydrology for engineers (3rd ed.), McGraw-Hill, 508p.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2006, Groundwater annual report, 121p (in Korean).

이봉주

한국지질자원연구원 지하수 연구실
305-350 대전광역시 유성구 과학로 124
Tel: 042-868-3073
E-mail: lbj@kigam.re.kr

김용철

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

조병욱

한국지질자원연구원 지하수 연구실
305-350 대전광역시 유성구 과학로 124
Tel: 042-868-3083
E-mail: cbw@kigam.re.kr

윤 옥

한국지질자원연구원 지하수 연구실
305-350 대전광역시 유성구 과학로 124
Tel: 042-868-3118
E-mail: yunuk@kigam.re.kr

하규철

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

이병대

한국지질자원연구원 지하수 연구실
305-350 대전광역시 유성구 과학로 124
Tel: 042-868-3088
E-mail: blee@kigam.re.kr

문상호

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

윤필선

한국지질자원연구원 지하수 연구실
305-350 대전광역시 유성구 과학로 124
Tel: 042-868-3081
E-mail: uribut@gmail.com

김성윤

한국지질자원연구원 지하수 연구실
305-350 대전광역시 유성구 과학로 124
Tel: 042-868-3086
E-mail: sykim8352@kigam.re.kr