농촌 소규모 유역의 지하수 적정개발량 평가

Evaluation of Optimal Amount of Groundwater Development for a Rural Small Watershed

박 기 중* · 손 성 호 · 정 상 옥 (경북대)
Park, Ki-Jung* · Sohn, Seung-Ho · Chung, Sang-Ok

Abstract

The purpose of this study was to obtain optimal amount of groundwater development for a rural small watershed. The optimal amount of groundwater development in this experimental watershed is 13.8 %(0.67×10^6 m^3) of the annual rainfall by SCS-CN method. The Visual MODFLOW analyses showed the optimal amount of groundwater development were 14.9 %(0.72×10^6 m^3) of the annual rainfall.

I. 서 론

우리나라 지하수 개발은 1970년대부터 본격적으로 추진되어 왔으나, 지하수 개발과 이용에 따른 법적 · 제도적 장비가 완비되지 못한 상태에서 무분별하게 이루어져 옴으로 인하여 지하수량 고갈, 지반 침하, 지하수질 오염 및 해수 침입 등의 악영향을 초래하였다.

따라서 지하수의 체계적이며 합리적인 관리의 필요성뿐만 아니라, 지표에 내린 강수의 지하수체에 함양된 양 중 환경적으로 악영향을 끼치지 않으며 지속적으로 개발할 수 있는 적정개발량을 평가할 필요성이 대두되고 있다.

지하수 적정개발량 평가에 대한 기존의 연구는 지하수 함양량을 개발가능량으로 보는 방법과 함양량의 일정비율을 개발가능량으로 보는 방법이 있다.

반면 적정개발량 평가의 가장 중요한 변수인 지하수 함양량의 산정에 대한 국내 · 외 많은 연구는 진행되어 왔음에도 불구하고 현재 직접적으로 지하수 함양량을 추정할 수 있는 방법은 없으며(Su, 1994), 객관적으로 인정된 지하수 적정개발량 평가방법 또한 없다.

따라서 적정개발량을 평가하기 위해서는 여러 가지 추정방법들을 이용하여 다양하게 적용해 보고 비교 · 분석하는 것이 가장 합리적이라 할 수 있겠다.

본 고에서는 실제유역을 선정, Turc 방법, Coutagne 방법, SCS-CN 방법 및 기저유출분리법을 이용하여 함양량을 추정하여 비교 · 분석하여 시험유역의 지하수 적정개발량을 제시하였으며, 지하수 유동모형을 적용하여 타당성을 검토하였다.

II. 재료 및 방법

1. 시험유역 특성

시험유역은 행정구역상 경북 상주시 신흥동 양촌리 일대이며 상주시내와 청리면의 경계로 좌표는 동경 127 ° 51 ′ ~ 128 ° 13 ′, 북위 36 ° 25 ′ ~ 36 ° 50 ′ 사이에 위치한다. 유역내 평야부의 경사도는 동서방향 1/200 ~ 1/300, 남북방향 1/300 ~ 1/400 정도이며, 갑장산, 남산, 원장산, 묘산 등으로 둘러싸여 있는 남동쪽 산지부의 경우 1/4 정도의 경사를 띈다. 북서쪽으로는 병성천이 유역에 연하여 흐르며 지표수 및 지하수 경계를 이루고 있다. 유역의 크기는 길이 3.11 km, 폭 1.24 km로 면적은 약 3.81 km^2이다.

2003년도 한국농공학회 학술발표회 논문집 (2003년 11월 1일)

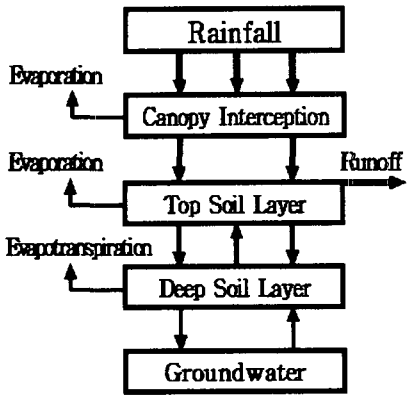

Figure 2. Schematic representation of rainfall-recharge model

Figure 3. Watershed map of experimental area

시험유역의 토성은 논 2개 지점, 밭 1개 지점, 과수원 1개 지점, 및 임야 1개 지점에 대하여 하였으며, 시험유역은 지하수관리 기본계획(건설교통부, 2003)에서 구분한 수문지질단위(Hydrogeological unit)에서 충적층 지하수 형태로 산출율이 높은 지질단위로 분류할 수 있다.

지하수 함양은 대부분이 강우로부터 발생하므로 지하수 함양량은 강우량과 유출계수에 크게 영향을 받는다. 따라서 유출계수에 직접적인 영향을 주는 토지이용현황과 지하수 함양량과의 관계가 규명되어야 한다. 시험유역은 전체면적 3.81 km^2의 50 %(1.94 km^2)를 임야가 차지하며, 논이 23 %, 과수원이 11 %, 밭이 10 %의 순으로 나타났다.

조사기간인 2002 년의 강우량은 1,269.5 ㎜로 4 ~ 9 월에 집중되는 경향을 나타낸다.

유역의 용·배수 계통은 89 ha의 논 중 80 ha를 상주시 낙동면 신상리에 위치하는 성동양수장에서 낙동강물을 도수하여 공급하고, 나머지 9 ha의 논과 과수원 및 밭, 그리고 생활용수용으로는 지하수를 채수하여 사용하고 있는 실정이다.

조사기간인 2002 년의 총 직접유출량은 SCS-CN 방법에 의하여 계산한 결과 강우량의 16.3 %인 207.0 ㎜로 나타났다.

시험유역은 자유 대수층으로 유역 평균 대수층 두께는 약 10 m 정도이며, Theis 방법에 의해 결정된 투수량계수는 0.0059 ㎡/s로 나타났으며, 저류계수는 0.048로 나타났다.

조사기간의 지하수 함양량은 Turc 방법, Coutagne 방법, SCS-CN 방법 및 기저유출분리법에 의하여 추정한 결과 표 1과 같이 나타났다.

Table 1. Groundwater recharge rate by different methods (2002)

구 분	함양량(㎜)	함양량 / 강우량(%)
Turc의 손실량식	368.2	30.3
Coutagne의 손실량식	244.8	19.3
SCS-CN 방법	212.5	16.7
기저유출분리법	129.5	10.2

2003년도 한국농공학회 학술발표회 논문집 (2003년 11월 1일)

시험유역의 지하수 유출항은 생활용 및 농업용 양수우물을 통한 채수와 하천으로의 기저유출로 구성된다. 조사기간 생활용 및 농업용 지하수 이용량은 생활용수용 24,086 m^3 및 농업용 499,590 m^3으로 합계 523,676 m^3로 조사되었으며, 하천으로의 기저유출량은 장기간에 있어서 지하수위가 안정되어 있다고 가정할 때 지하수 함양량으로부터 사용량을 뺀 양이라 할 수 있겠다.

Table 2. Base flow rate by different methods (2002)

구 분	강우량(m^3)	함양량(m^3)	이용량(m^3)	하천유출량(m^3)
Turc의 손실량식	4.84×10^6	1.40×10^6	0.52×10^6	0.88×10^6
Coutagne의 손실량식	4.84×10^6	0.93×10^6	0.52×10^6	0.41×10^6
SCS-CN 방법	4.84×10^6	0.81×10^6	0.52×10^6	0.29×10^6
기저유출분리법	4.84×10^6	0.49×10^6	0.52×10^6	-0.03×10^6

2. 지하수 개발가능량

지하수 적정개발량과 관련한 연구는 꾸준히 진행되고 있음에도 불구하고 현재 객관적으로 인정된 방법은 없다. 표 3은 국내 지하수 적정개발량과 관련한 연구성과이다.

Table 3. Results of optimal groundwater development studies in Korea

구 분	$\frac{\text{함양량}}{\text{강우량}} \times 100$	$\frac{\text{개발가능량}}{\text{강우량}} \times 100$	추 정 방 법	지하수 개발가능량
선우중호(1992)	7.9 ~ 11.8 %	7.9 ~ 11.8 %	물수지 방법	함양량의 100 %
한정상(1995)	18 %	18 %	물수지 방법	함양량의 100 %
이천복(1994)	18 %	18 %	물수지 방법	함양량의 100 %
최병수(1992)	16.1 %	11.3 %	물수지 방법	함양량의 70 %
한국수자원공사(1993)	10.6 %	10.6 %	물수지 방법	함양량의 100 %
건설교통부(1994)	15.3 %	10.7 %	기저유출 분석방법	함양량의 70 %
건설교통부(1995)	14.7 %	10.3 %	기저유출 분석방법	함양량의 70 %
이동률(1995)	7.8 %	7.8 %	지하수 감수곡선분석방법	함양량의 100 %
강장신(1997)	20.1 %	14.1 %	물수지 방법	함양량의 70 %

연구성과를 살펴보면, 지하수 개발가능량의 범위는 강우량의 7.8 % ~ 18 %로 함양량의 100 % 혹은 함양량의 70 %를 개발가능량으로 보고 있다.

본 고에서는 지하수 하천유출량의 50 %를 하천유지수량에 기여하는 것으로 보고 나머지 50%는 추가로 개발 가능한 양으로 보면 개발가능량은 조사기간 총강우량의 9.9 % ~ 19.2 %의 범위를 나타낸다.

III. 결과 및 고찰

1. 지하수 적정개발량

적정개발량 평가의 가장 중요한 변수인 지하수 함양량의 산정에 대한 국내·외 많은 연구가 진행되어 왔음에도 불구하고 현재 직접적으로 지하수 함양량을 추정할 수 있는 방법은 없으며(Su, 1994), 따라서 객관적으로 인정된 지하수 적정개발량 평가방법 또한 없다라고 할 수 있겠다.

2003년도 한국농공학회 학술발표회 논문집 (2003년 11월 1일)

본 고에서는 함양량 산정방법별 개발가능량을 추정, 기존 지하수 연구성과와 비교할 때 SCS-CN 방법으로 구한 강우량의 13.8 %(0.67×10^6 m^3)를 조사기간 시험유역의 지하수 적정 개발량으로 추정하였다.

Table 4. Groundwater potential development by different methods (2002)

구 분	함양량(m^3)	하천유출량(m^3)	이용량(m^3)	개발가능량(m^3)	$\frac{\text{개발가능량}}{\text{강우량}} \times 100$
Turc의 손실량식	1.40×10^6	0.88×10^6	0.52×10^6	0.96×10^6	19.8 %
Coutagne의 손실량식	0.93×10^6	0.41×10^6	0.52×10^6	0.73×10^6	15.1 %
SCS-CN 방법	0.81×10^6	0.29×10^6	0.52×10^6	0.67×10^6	13.8 %
기저유출분리법	0.49×10^6	-0.03×10^6	0.52×10^6	0.51×10^6	10.5 %

2. 모형의 적용

본 고에서는 앞에서 제시한 SCS-CN 방법으로 구한 적정개발량의 타당성을 검정하기 위하여 현재 가장 범용되는 프로그램인 Visual MODFLOW for windows v2.60(Nilson Guiguer, Thomas Franz, 1997)을 적용하였다. 모형의 개요는 그림 2와 같으며, 시험유역의 물수지 분석결과 종기의 저류량이 초기 저류량보다 14.6 %(0.20×10^6 m^3)가 증가한 것으로 나타났으며, 저류량 증가량과 이용량을 더한 0.72×10^6 m^{3}가 개발가능한 량으로 추정된다.

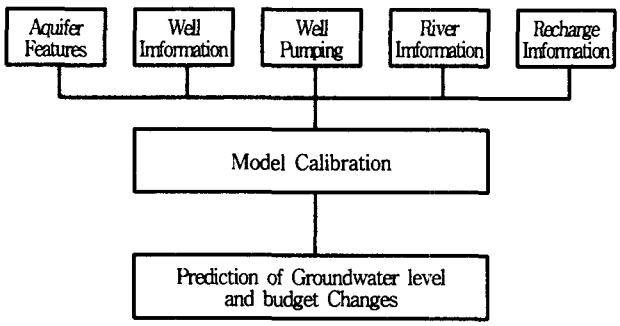

Figure 3. Schematic representation of groundwater flow simulation model

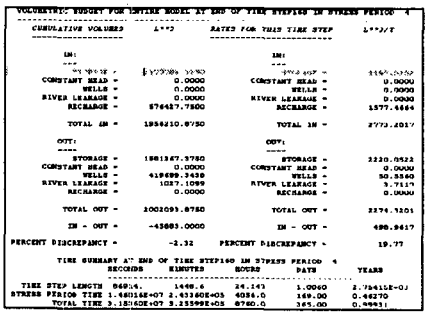

Figure 4. Result of water-budget by visual MODFLOW

IV. 결 론

무분별한 지하수 개발로 인한 지하수량 고갈, 지반 침하, 지하수질 오염 및 해수 침입 등의 악영향을 끼치지 않으며 지속적으로 개발할 수 있는 지하수 적정개발량 평가방법의 개발이 시급한 실정이다.

본 고에서는 실제유역을 선정, 함양량 산정방법별 추정값과 기존 연구성과와 비교·분석하였으며, 지하수 유동모형을 적용함으로써 SCS-CN 방법으로 구한 강우량의 13.8 %인 670,000 m^{3}를 시험유역의 지하수 적정개발량으로 추정하였다.

본 연구는 21세기 프론티어연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비지원(3-3-1)에 의해 수행되었음.

2003년도 한국농공학회 학술발표회 논문집 (2003년 11월 1일)