

# 유역물수지 분석에 의한 지하수 함양량 추정

Estimation of the Quantity of Ground Water Recharge using the Water Balance

박 찬 제\* · 김 태 철(충남대)  
Park, Chan-Je · Kim Tai-Cheol

## Abstract

The ground water regime analysis method, numerical analysis method, water budget method, and baseflow analysis method have been used for estimating ground water recharged quantity. This study, adapting water budget concept of unsaturated zone, and saturated zone of the DAWAST model, proposed a new method to estimate ground water recharged quantity.

## I. 서론

### 1.1 연구배경 및 목적

우리 나라는 지하수 함양율을 산정할 수 있는 기초연구가 수행되지 않아 선진외국에서 개발된 산출 공식을 적용할 수도 있지만 선진외국은 퇴적층이 두텁고 경사도가 작은 평탄 지형으로 대수층이 두껍고 부존량도 풍부한 지역임을 고려하면 산지지형이 대부분이고 지형경사도가 큰 우리 나라의 암반 지하수 부존 지대에 적용하는 것은 무리이다.

따라서 본 연구에서는 시범지구를 선정하여 장기간 물 수지 분석을 위한 수문 항목을 실측하고, 그 결과와 기존의 다양한 지하수 함양율 산정기법 적용결과를 비교하여 실측자료와 가장 접근하는 산출 기법을 도출하고 해당 공식에서 필요한 상수 값을 역으로 추출함으로서, 우리 나라 지질, 토양 특성에 적합한 지하수 함양율 산출기법을 연구 개발하고자 한다.

### 1.2 연구의 내용

본 연구에서는 특히 소유역별 토양, 지형경사, 임상상태를 고려한 직접유출율 산출기법을 DAWAST모형(1992, 김태철)의 기본 방정식으로부터 지하수 함양량에 대한 물 수지 방정식을 이론적으로 확립하고 시범 연구지역에서 모형의 매개변수에 대한 값을 각각 실측하여 물리적으로 검정함으로써 매우 신뢰성 있는 직접 유출량 산정에 의한 지하수 함양량 산출기법을 개발하고자 한다. 또한 지하수 함양율을 실측하여 DAWAST모형에 의한 지하수 함양량 산출기법을 검정함으로서 특히 우리 나라 지형, 지질에 적합한 직접 유출율 산출기법을 제시하고자 한다.

## II. 자료 및 방법

### 2.1 시험유역 선정

시험유역으로는 충북 청원군 초정리 일대를 선정하였다. 유역내 서당교에 수위계를 설치하였고, 인근 비룡저수지 부근에 토양수분측정장치와 자동기상관측기를 설치하였다. 유역도는 Fig. 1 와 같으며 유역면적이 28.3km<sup>2</sup>이고 유역경사가 8%이며 주하천장은 6.75km 이

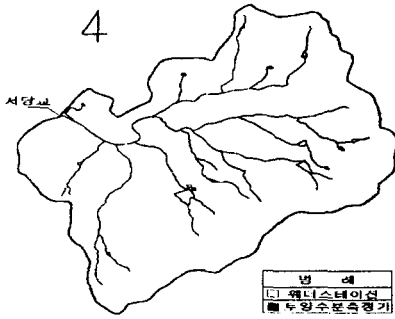


Fig. 1. Watershed map of experimental site

다.

2.2 DAWAST 모형에 의한 지하수 함양량 추정방 물수지 분석의 이론은 질량보존의 법칙대로 임의의 유역에 내린 강수량에서 손실이 이루어지는 증발산량과 유출량을 감하고, 타 유역에서의 지하수 유입 및 유출량을 가감한 뒤, 지표수 및 지하수위의 변화량을 감해주고도 남은 양은 결국 지하수로 함양되는 양으로 해석할 수 있다는 이론이다.

여기에서 지하수 함양량 (RG) 이라 함은 지하수로 침투 침투되어 저류되어 있는 지하수 저류량( $\Delta S_g$ ) 인 협의의 지하수 함양량과 지하로 침투되었다가 기저유출형태로 하천으로 회귀되는 기저유

출량을 포함하는 광의의 지하수 함양량 로 나타낼 수 있다.

따라서, 지하수를 포함하는 유역의 물 수지는 식 (1)와 같이 정의할 수 있다.

$$\Delta S_g = P - Q - ET + Q_g - \Delta S_s \quad (1)$$

여기서,  $\Delta S_g$  : 지하수 저류변화량, P : 강수량, ET : 유역 증발산량,

Q : 유출량 (직접유출량 + 기저유출량),  $\Delta S_s$  : 유역토양수분변화량

$Q_g$  : 타 유역에서의 지하수 유입량 또는 타 유역으로의 지하수 유출량

여기에서, 타 유역에서의 지하수 유입량 또는 타 유역으로의 지하수 유출량  $Q_g$  는 없다고 가정한다. ( $Q_g = 0$ )

유출량(Q)을 직접유출량(QD)과 기저유출량(QB)으로 구분하고, 유역토양수분변화량  $\Delta S_s$ , 지하수 저류변화량  $\Delta S_g$  을 각각 DAWAST모형에서  $\Delta W_{SU}$ ,  $\Delta W_{SS}$  로 대체하면 협의의 지하수 함양량은 (2)식으로 정의할 수 있다.

$$\Delta W_{SS} = P - QD - QB - ET - \Delta W_{SU} \quad (2)$$

여기서,  $\Delta W_{SS}$  : 지하수 저류변화량, P : 강수량, ET : 유역 증발산량,

QD : 직접유출량, QB : 기저유출량,  $\Delta W_{SU}$  : 유역토양수분변화량

따라서, 기저유출량을 포함하는 광의의 지하수 함양량(RG)은 (3)식으로 정의할 수 있다.

$$RG = \Delta W_{SS} + QB = P - QD - ET - \Delta W_{SU} \quad (3)$$

DAWAST모형으로 추정된 QD, QB, ET,  $\Delta W_{SU}$  값이 정확해야만 협의 및 광의의 지하수 함양량 추정이 정확해진다.

따라서, 이 연구에서의 초정유역에서 일별로 강수량, 유출량, 유역토양수분량 및 지하수 위변화량을 관측하여 DAWAST모형의 신뢰성을 확대하여, 이 유역에서의 안전 지하수 취수량과 관련된 모의발생을 보다 정확하게 실시할 수 있도록 한다.

### III. 결과 및 고찰

초정리에 설치한 강수량 자동측정시설, 유역 유출량 측정시설, 토양수분 측정시설, 지하수위 측정시설의 관측 및 측정된 자료로부터 유역내 물 수지 분석을 실시하였다.

#### 3.1 토양수분과 지하수위를 고려한 유역증발산계수 산정

토양수분량과 지하수량을 고려하여 물수지식에 의해 유역 증발산량을 산정하였다. 3월 14일부터 9월 30일까지의 수문자료를 이용하여 증발산량을 계산하였다.

$$ET = P - Q - G \pm \Delta S$$

5일, 10일, 15일, 20일, 순별로 나누어 증발산량을 계산하였다. 물수지 식으로 일별 증발산량을 계산하고 각 기간별로 평균을 취하여 아래의 Beken식을 이용하여 증발산량을 계산하고 CE를 추정하였다.

$$ET_i = EO_i(1 - e^{-CE \times WSU_i})$$

$$EO_i = C \times EP_i$$

$EO_i$  :  $i$  일의 잠재증발산량  $mm$

$EP_i$  :  $i$  일의 증발접시증발량  $mm$

$C$  : 월별 유역피복계수

$CE$  : 유역 증발산계수

$WSU_i$  : 불포화층의 현재 토양수분량  $mm$

계산된 ET값으로 Beken식을 이용하여 월별 증발산 계수 CE값을 추정하였다. 추정된 결과는 Table 1과 같다.

Table 1 CE of monthly calculation

Month	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.
CE	0.00077	0.00135	0.00144	0.01153	0.00372	0.00431	0.00151

#### 3.2 DAWAST 모형을 이용한 물 수지 분석

처음 관측을 시작한 시기가 2001년 3월 중순이므로 1월에서 3월까지의 강수량 자료는 청주기상대의 강수량 자료를 이용하였으며, 4월부터 12월까지의 강수량은 비봉양수장에 설치된 자기강우계 자료를 이용하여 분석하였다. 강수량은 637.5mm는 금강유역 연평균강수량 1,269.0mm보다 작게 나타내고 있다. 또한 관측 유출량은 4월 이전까지는 0.2mm/day를 적용하여 구한 결과 255.7mm로 유출률은 40.1%이다. DAWAST모형의 최적화모형으로 구한 연유출량은 254.8mm로 유출률은 40.0%이며, 관측치의 99.8%로 거의 같게 추정되었다.

DAWAST모형으로 구한 광의 지하수 함양량은 71.0mm, 협의 지하수 함양량은 -3.4mm이었으며, 수량으로는 각각 2백만 $m^3$  충전, 96,000 $m^3$  소진 이었다.

연평균 직접유출량과 기저유출량은 각각 184.5mm, 74.4mm로 비율은 71.3%, 28.7%이다.

Table 4. Yearly water balance results of the Chojung station (unit : mm)

'Name of station	Year	Precipitation (P)	Observed runoff (Q)	Estimate runoff (EQ)			Evaporation (ET)	$\Delta W S U$	$\Delta W S S$	RG	
				Surface flow (QD)	Base flow (QB)	Sum				협의	광의
Cho jung	2001	637.5	255.7	184.5	74.4	258.9	318.6	-1.6	-3.4	-3.4	71.0

### 3.3 지하수 함양량 추정

지하수 함양량(RG)이라 함은 지하수로 심층 침투되어 저류되어 있는 지하수저류변화량 ( $\Delta S_g$ ) 인 협의 지하수 함양량과 여기에 지하로 심층 침투되었다가 기저유출 형태로 하천으로 회귀되는 기저 유출량을 포함하는 광의 지하수 함양량으로 나타낼 수 있다.

#### 1) 협의 지하수 함양량

협의의 지하수 함양량인 지하수저류변화량( $\Delta S_g$ )은 DAWAST 모형에서의  $\Delta W S S$ 값에 해당되며 연평균 지하수 함양량은 초정은 -3.4mm이었다.

수량으로 환산해도 거의 0 에 가깝다. 이것은 각 유역에서의 물 수지 분석 결과, 심층 침투량 대부분이 기저 유출량으로 소진(Deplete)되어 연말 값에서 연초 값을 뺀 자유수면 지하수의 연간 변화량은 무시할 수 있을 정도가 된다.

#### 2) 광의 지하수 함양량

초정 71.0mm이었으며 수량으로는 2백만 $m^3$  이었다. 유출량에 대한 광의의 지하수 함양량의 비율은 25%~30% 수준이었다.

## IV. 결론

지금까지 지하수 함양량을 추정하기 위해 지하수위에 의한 방법, 해석적 방법, 물수지 방법, 기저유출 분리방법을 사용하여 왔다. 본 연구에서는 DAWAST 모형의 불포화층과 포화층의 물수지 개념을 사용하여 토양수분과 유역증발산량을 구하고 지하수 함양량을 추정하는 방법을 새롭게 제시하였다.

1. 협의의 지하수 함양량은 0에 가까운 수치를 나타냈으며, 이로부터 각 유역에서의 물 수지 분석 결과, 심층 침투량 대부분이 기저 유출량으로(Deplete)되는 것을 알 수 있었다.
2. 광의의 지하수 함양량은 71.0mm이었으며 수량으로는 2백만 $m^3$  이었다. 유출량에 대한 광의의 지하수 함양량의 비율은 25%~30% 수준이었다.

### 참고문헌

1. 김태철, 1988, 한국하천의 일 유출량 추정을 위한 지역화 모형, 충남대학교 농업과학 연구소
2. 박성우외 1995, 응용수문학, 향문사
3. 한영민, 2002, 토양수분량을 고려한 유역 증발산량 추정, 충남대학교 석사학위 논문
4. 이동현, 2002, 유효수분 산정시 유역토양수분량을 고려한 초기 손실량추정, 충남대학교 석사학위논문