

NRCS-CN방법과 기저유출 분리법을 이용한 지하수함양률 산정

배 상 근 · 김 용 호
계명대학교 토목공학과
(2005년 8월 27일 접수; 2006년 3월 6일 채택)

Estimation of Groundwater Recharge Rate Using the NRCS-CN and the Baseflow Separation Methods

Sang-Keun Bae and Yong-Ho Kim

Department of Civil Engineering, Keimyung University, Daegu 704-701, Korea
(Manuscript received 27 August, 2005; accepted 6 March, 2006)

Groundwater recharge from precipitation is affected by the infiltration from ground surface and the movement of soil water. Groundwater recharge is directly related to the groundwater amount and flow in aquifers, and baseflow to rivers. Determining groundwater recharge rate for a given watershed is a prerequisite to estimate sustainable groundwater resources. The estimation of groundwater recharge rate were carried out for three sub-watersheds in the Wicheon watershed and two subwatersheds in the Pyungchang River basin and for the period 1990-2000, using the NRCS-CN method and the baseflow separation method. The recharge rate estimates were compared to each other. The result of estimation by the NRCS-CN method shows the average annual recharge rate 15.4-17.0% in the Wicheon watershed and 26.4- 26.8% in the Pyungchang River basin. The average annual recharge rates calculated by the baseflow separation method ranged 15.1-21.1% in the Wicheon watershed, and 25.2-33.4% in the Pyungchang River basin. The average annual recharge rates calculated by the NRCS-CN method is less variable than the baseflow separation method. However, the average annual recharge rates obtained from the two methods are not very different, except NO. 6 subwatershed in Pyungchang River basin.

Key Words : Groundwater recharge rate, NRCS-CN method, Baseflow separation method, Wicheon watershed, Pyungchang River basin

1. 서 론

지하수를 양수하면 양수우물을 중심으로 인근의 지하수위가 하강한다. 지하수위가 과다양수로 지나치게 하강하면 재해가 발생할 수 있기 때문에 이를 방지하기 위해서는 양수우물의 지하수개발 가능량을 평가하여야한다. 지하수개발 가능량을 평가하기 위해서는 지하수함양률을 산정하는 것이 필요하다. 지하수함양률 산정방법은 다양하며 각각의 산정방법이 적용지역이나 조건에 따라 장·단점을 가지고 있다. 지하수함양률 산정은 많은 연구자에 의하여 수행되었다. 前田 등¹⁾은 물수지 방법을 이용하였고

Andres 와 Egger²⁾, Solomon et al.³⁾ 그리고 小野寺⁴⁾는 지하수의 안정동위체 조성을 측정하여 지하수 함양률을 산정하였다. Sukhija et al.⁵⁾과 谷口⁶⁾는 염소이온농도를 측정하여 지하수함양률을 구하였다. Arnold et al.⁷⁾은 수치모형을 이용하였고 平山⁸⁾는 지하수위 변화량으로부터 지하수함양률을 구하였다. 지하수함양은 토지이용과 토양특성에 영향을 받기 때문에 지하수 함양률을 산정할 시에는 토지이용과 토양특성을 고려할 수 있는 방법을 이용하는 것이 바람직하다. 그런 방법에는 NRCS-CN방법과 기저유출분리법이 있다.

우리나라의 토지이용과 토양특성을 고려한 지하수함양률 산정연구는 한국수자원공사^{9~11)}, 이동률¹²⁾, 이동률과 윤용남¹³⁾, 박창근^{14,15)}은 지하수감수곡선을 이용하여 지하수함양률을 추정하였다. 본 방법에 의

Corresponding Author : Sang-Keun Bae, Department of Civil Engineering, Keimyung University, Daegu 704-701, Korea
Phone: +82-53-580-5295
E-mail: skbac@kmu.ac.kr

한 지하수 함양량 산정을 위해서는 장기간의 유출량자료의 확보가 필요하며 관측자료의 정도가 요구된다. 최병수와 안중기¹⁶⁾, 김경호 등¹⁷⁾, 정영훈과 김경호¹⁸⁾, 이승현과 배상근¹⁹⁾는 NRCS-CN방법으로 지하수 함양량을 산정하였다. 배상근²⁰⁾은 특정지역의 지하수개발량 평가에 필요한 지하수함양량을 구하기 위해서는 NRCS-CN방법이 현장적용성면에서 우월하다고 판단하였으나 본 방법은 미국내의 토양관련 자료로부터 강우유출량을 산정하기 위하여 개발된 공식이기 때문에 토양 및 토지이용특성이 상이한 우리나라의 지하수함양량산정에 적용가능한가에 대한 비교 검토의 필요성이 있다.

본 연구에서는 지하수 함양량에 영향을 크게 미치는 토지이용과 토양특성 상태를 고려 할 수 있는 방법인 NRCS-CN 방법과 유출수문곡선의 기저유출분리법을 이용하여 IHP(국제수문개발계획)의 유역 중 위천유역내 3개 소유역과 평창강유역내의 2개 소유역을 선정하여 1990년부터 2000년까지의 지하수 함양률을 산정하고 그 결과를 비교하였다.

2. 이론적 배경

2.1. NRCS-CN 방법

NRCS(Natural Resources Conservation Service)는 유출량과 토양의 관련자료를 광범위하게 수집·분석하고 강우와 유출의 관계식을 유도하여 소유역에 대한 유출량 산정방법을 제시하였다²¹⁾.

NRCS는 기본가정의 근거로부터 실험결과를 정리하여 식(1)과 같은 관계식을 제시하였다.

$$Q = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S} \quad (1)$$

$$P \leq 0.2S \cdot Q = 0$$

여기서, S는 유역특성값으로 강우시 차단, 지표저류, 토양저류 등에 의한 최대저류능이다. Q는 직접유출에 해당하는 유효우량, P는 강우량이다. 이 식은 변수가 S 하나뿐이므로 미계측유역에서의 강우별 직접유출량산정에 이용될 수 있다. 흙이 완전히 포화되기 위한 최대저류량 S는 유역의 SVL(soil, vegetation, land-use)과 선행토양함수에 의해 결정된다. 각각의 SVL에는 S의 상한선과 하한선이 존재한다. 한 유역의 유출능력을 표시하는 변수 CN을 식(2)와 식(3)과 같이 S의 함수로 정의함으로써 유출에 미치는 S의 효과를 간접적으로 고려하게 되었다.

$$CN = \frac{25,400}{S + 254} \quad (2)$$

$$S = \frac{25,400}{CN} - 254(mm) \quad (3)$$

CN은 SVL의 관계에 의하여 얻어지는 0~100 사이의 값으로 토양과 작물을 포함한 식생, 그리고 토지이용상태에 의하여 유도되어진다. CN = 100 일 경우, S = 0 가 되므로 Q = P 이다. S → ∞ 일 경우, CN = 0 이므로 Q = 0 이다.

한편, Aron et al.²²⁾과 Hjelmfelt²³⁾ 등은 이상의 식에서 실저류량 F가 강우 중 누가침투량과 같다고 하였으며 F를 다음 식(4)와 같이 유도하였다.

$$F = \frac{(P - 0.2S)S}{P + 0.8S} \quad (4)$$

각 강우사상별 침투량은 바로 지하수함양량으로 볼 수 있으므로 장기간의 침투량을 누계하여 같은 기간의 강우량과 비교하면 지하수함양률을 산정할 수 있다.

CN값의 산정은 NRCS방법을 사용하여 토지피복, 수문학적 토양군, 그리고 선행함수조건을 고려하여 결정되어진다.

2.2. 기저유출분리법

강우에 의한 유출은 크게 직접유출과 기저유출로 나눌 수 있는데, 직접유출은 지표면 유출과 중간 유출로 다시 나누어지고 기저유출은 지하수에 의한 유출을 의미한다. Mayboom²⁴⁾은 지수방정식 형태의 기저유출 감수곡선식을 이용하여 유출수문곡선으로부터 지하수 함양량을 추정하는 기법을 제시하였다.

지하수 감수곡선은 식(5) 또는 식(6)과 같이 나타내어진다.

$$Q_t = Q_0 k_r^t \quad (5)$$

$$Q_t = Q_0 10^{-t/k_t} \quad (6)$$

여기서 t는 시간, Q₀는 t=0일 때의 유량, Q_t는 t시간 후의 유량이다. k_r과 k_t은 감수계수이며 이들 감수계수간에는 식(7)과 같은 관계가 성립된다.

$$k_r = 10^{(-1/k_t)} \quad (7)$$

갈수기간에 기저유출은 식(6)과 같이 표시될 수 있으므로, 지하수 유출의 감수가 중단없이 계속된다면 전체 지하수유출 감수기간동안에 유출되는 지하수 유출의 총 용적은 감수시점 t₀⁽ⁱ⁾에서 ∞까지 적분하면 구할 수 있다. Mayboom²⁴⁾은 이 용적을 잠재 지하수 유출량(V_p⁽ⁱ⁾)이라 하였고, 이때 계산의 편의상 t₀⁽ⁱ⁾=0으로 하여 식(6)을 적분하면 다음 식(8)과 같이 된다.

$$V_p^{(i)} = Q_0 \frac{k_t}{2.3} \quad (8)$$

어떤 주어진 지하수 유출 감수곡선의 시점 $t_0^{(i)}$ 에서 감수가 끝나는 $t_l^{(i)}$ 까지 실제로 유출되는 지하수 총용적은 실제지하수유출량 (V_{ag}) 이 되고 식(9)와 같이 표현된다.

$$V_{ag}^{(i)} = \left[\frac{Q_0 k_f / 2.3}{2.3} \right] - \left[\frac{Q_0 k_f / 2.3}{10^{t_l^{(i)} / k_f}} \right] \quad (9)$$

또, 시점 t_0 에서 ∞ 까지 잠재지하수유출량 ($V_{tp}^{(i)}$)과 t_0 에서 감수가 끝나는 t_l 까지의 실제지하수유출량 ($V_{ag}^{(i)}$)의 차는 잔여잠재지하수유출량 ($V_{rp}^{(i)}$)이라 하며 이 양은 대수층에 남아 있는 지하수 저류량으로서 식(10)과 같이 된다.

$$V_{rp}^{(i)} = \frac{V_{tp}^{(i)}}{10^{t_l^{(i)} / k_f}} \quad (10)$$

지하수 함양률($Re(i)$)은 어떤 주어진 감수곡선의 종점에서 잔여잠재지하수유출량 (V_{rp})을 다음 감수곡선 시점의 잠재지하수유출량 (V_{tp})에서 감하여 얻을 수 있으며, 이들은 다음 식(11)과 같이 나타낼 수 있다.

$$Re(i) = V_{tp}(i) - V_{tp}(i-1) \\ = V_{tp}(i) - [V_{tp}(i-1) - V_{ag}(i-1)] \quad (11)$$

3. 연구지역

연구대상지역은 IHP 시험유역인 위천 유역내의 3

개 소유역(No.4, 5, 6)과 평창강유역내의 2개 소유역(No.5, 6)을 선정하였다. 이들 소유역은 산업화, 도시화 등의 인위적 영향이 거의 없는 지역이다. 유역 내에는 다수의 우량계가 설치되어 있고 하구부에는 유량관측소가 설치되어 있으며 이들 관측지점에서 장기간의 강수와 유량측정이 이루어지고 있다. 위천 유역내의 No.4 유역은 고로수위관측소에 해당하는 곳으로 상류의 No.5 유역을 포함하며 No.5 유역은 동곡수위관측소에 해당하는 곳이며 No.6 유역은 호령수위관측소에 해당하는 곳이다(Fig. 1).

평창강유역내의 장평 유량관측소에 속하는 No.5 유역은 이북정 유량관측소에 속하는 상류부의 No.6 유역을 포함하고 있다(Fig. 2).

4. 지하수함양률산정

4.1. NRCS-CN 방법을 이용한 산정

CN값의 산정을 위해 농업과학기술원²⁵⁾에서 제작된 1:25,000 정밀토양도를 사용하여 수문학적 토양군으로 분류하였다.

CN값 산정을 위하여 사용된 토지피복도는 환경부에서 제공받은 토지피복도(Landsat 4호와 5호로부터 제공받은 TM 영상을 이용하여 제작)를 건설기술연구원에서 유역경계를 이용하여 Clipping한 자료²⁶⁾를 사용하였다. CN값의 산정은 정밀토양도를 이용하여 구하여진 수문학적 토양군의 결과와 토지피복도를 이용하여 구해진 피복항목에 대하여 각 면적당 CN값을 구하였다. 대상 유역의 강수량 자료는 IHP보고서²⁷⁾를 참조하여 1990년부터 2000년까지

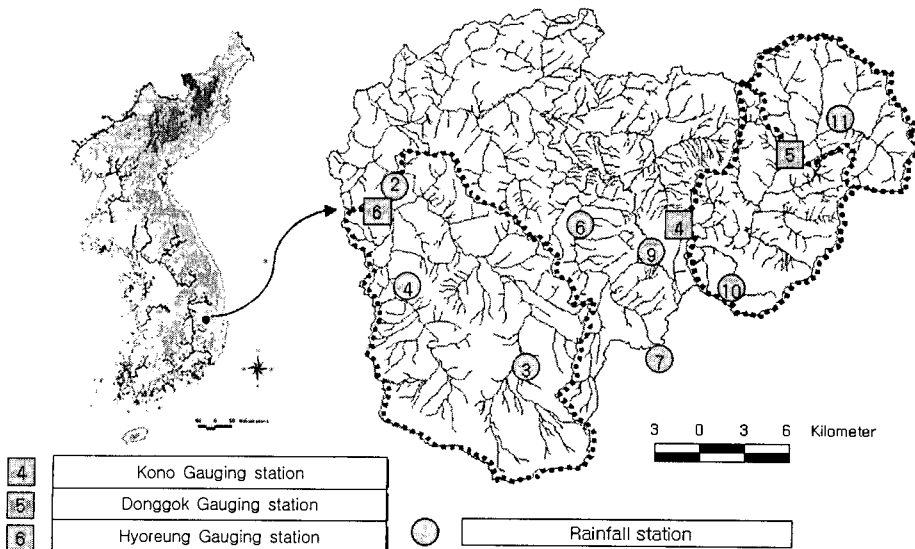


Fig. 1. Hydrological map of Wicheon watershed.

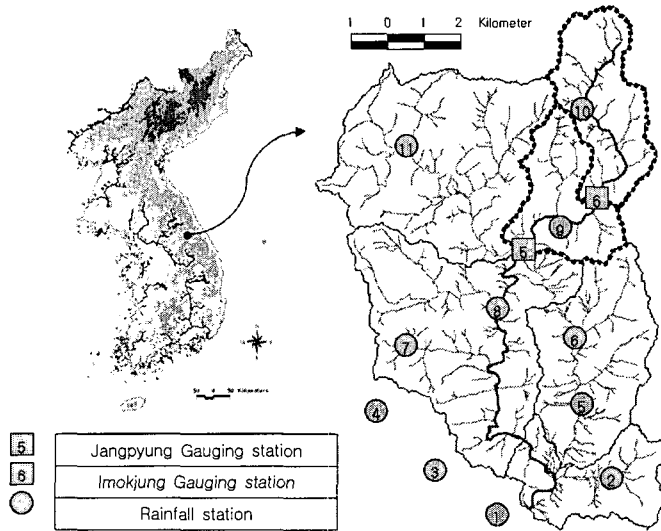


Fig. 2. Hydrological map of Pyungchang River basin.

의 강우자료를 이용하였다. NRCS에서 기준으로 삼고 있는 선행토양함수조건은 1년을 성수기와 비성수기로 나누어 각 경우에 대하여 5일 선행강수량을 고려하여 구분하였다.

CN값과 지하수함양량은 비례관계가 성립하지 않음으로 함양량 산정 시에 유역의 평균 CN값을 사용하는 것은 적절하지 않다. 따라서 함양량 산정에 있어서는 대상지역의 평균 CN값을 사용하지 않고 피복항목과 수문학적도양군 각각의 면적에 대하여 함양량을 산정하여 전체면적에 대한 가중치를 적용하여 함양량을 산정하였다.

4.2. 기저유출분리법을 이용한 산정

1990년부터 2000년까지의 강우, 유량 자료를 이용하여 일련의 수문곡선으로 표시한 후 수문곡선을 유량 Q의 대수값(log Q)을 시간에 따라 표시한 다음 최저 logQ값에 대략적으로 접선을 긋고 그 접선을 이용하여 지하수 감수곡선을 구하였다(이동률과 윤용남, 1996).

기저유출의 분리에 있어서 유출수문 곡선의 첨두가 하나인 단순호우의 경우는 N-day법을 적용하였고 유출수문 곡선의 첨두가 둘 이상인 복합강우의 경우는 지하수감수곡선법을 이용하여 지하수유출량을 산정하였다.

5. 결과 및 고찰

5.1. 위천유역

유역내의 3개 소유역(No.4, 5, 6)을 대상으로 지하수함양량을 산정한 결과는 Fig. 3~Fig. 5와 같다.

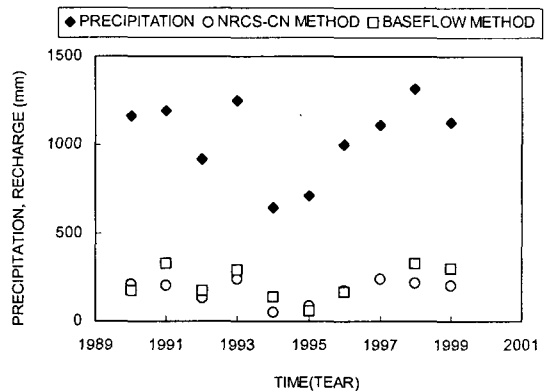


Fig. 3. Annual recharge of subwatershed No.4 in Wicheon watershed.

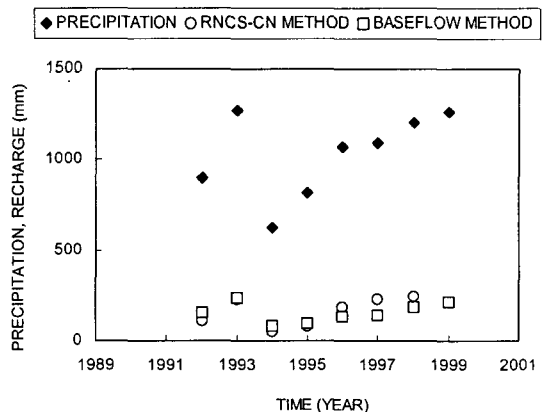


Fig. 4. Annual recharge of subwatershed No.5 in Wicheon watershed.

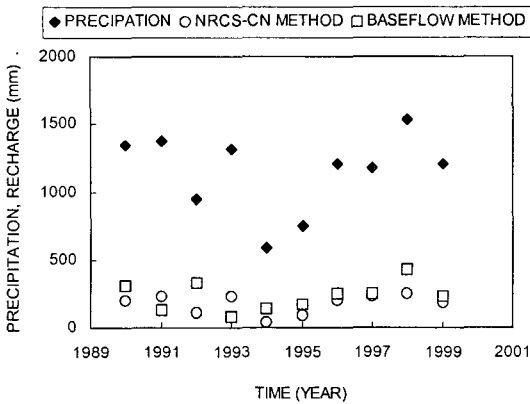


Fig. 5. Annual recharge of subwatershed No.6 in Wicheon watershed.

Fig.에서 연구대상 기간 중 자료가 결측되어 함양량 산정이 불가능한 년도에는 지하수함양량이 표시되어 있지 않다.

NRCS-CN방법을 이용한 계산 결과에 의하면 No.4 유역의 경우에는 1994년에 가장 낮은 지하수 함양량 49.2mm(함양률 7.7%)를 보이며, 1997년에 가장 높은 지하수 함양량 239.5mm(함양률 21.5%)을 나타내고 있다. 평균강수량이 1043.9mm에 대해서 연평균 함양량은 177.5mm(연평균 함양률 17.0%)임을 알 수 있다. NO.5 유역의 경우 가장 낮은 지하수 함양량은 No.4와 마찬가지로 1994년의 49.5mm(함양률 7.9%)이며 가장 높은 지하수 함양률은 1997년의 228.3mm(함양률 20.9%)였다. 연평균 강수량 1030.3mm에 대해서 연평균 함양량은 167.9mm(함양률 16.3%)을 나타내고 있다. NO.6 유역의 경우 지하수함양량이 가장 적은 해는 역시 1994년로서 함양량 41.1mm(함양률 7.0%)이며 지하수 함양률이 가장 높은 해는 1997년로서 함양량 224.0mm(함양률 19.1%)였다. 연평균강수량은 1143.7mm에 대해서 연평균 지하수 함양량 176.2mm(연평균 함양률 15.4%)을 나타내고 있다.

기저유출분리법을 이용한 지하수함양량 산정 결과에 의하면 No.4 유역의 계산 기간 중 가장 낮은 지하수 함양량은 1995년의 61.6mm(함양률 8.7%)이며, 가장 높은 지하수 함양량은 1991년의 329.6mm(함양률 27.1%)이었다. 연평균 강수량 1036.3mm에 대해서 평균 지하수 함양량은 218.5mm(평균 지하수 함양률 21.1%)를 나타내었다. No.5 유역에서는 최저 지하수 함양량이 1995년의 97.3mm(지하수 함양률 11.9%)이며, 최대의 지하수 함양량은 1993년의 237.7mm(지하수 함양률 18.7%)이었다. 연평균 강수량 1030.3mm에 대하여 연평균 지하수 함양량은

156.0mm(지하수 함양률 15.1%)를 나타내었다. No.6 유역의 지하수 함양률은 최저인 해가 1993년의 함양량이 81.2mm로 6.2%이며, 최대의 함양률이 발생한 해가 1992년의 330.1mm로 34.8%이었다. 연평균 강수량은 1143.7mm 이며 함양량은 229.9mm로 20.1%의 평균 함양률을 나타내었다.

5.2. 평창강유역

평창강 유역내의 No.5 유역과 No.6 유역에 대하여 강우, 유량 자료를 이용하여 함양량을 산정한 결과는 Fig. 6~Fig. 7과 같다. Fig.에서 연구대상 기간 중 자료가 결측되어 함양량 산정이 불가능한 년도에는 지하수함양량이 표시되어 있지 않다.

NRCS-CN방법을 이용한 산정 결과에 의하면 No.5 유역의 경우 지하수함양률이 가장 적은 해는 1990년으로 함양량 294.4mm(함양률 15.2%)이며 지하수 함양률이 가장 높은 해는 1995년으로 함양량 571.3mm(함양률 39.0%)로 나타내고 있다. No.5 유

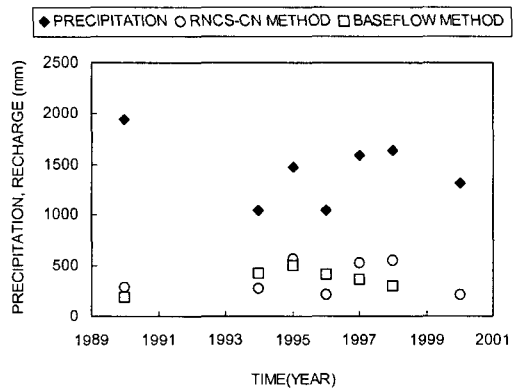


Fig. 6. Annual recharge of subwatershed No.5 in Pyungchang River Basin.

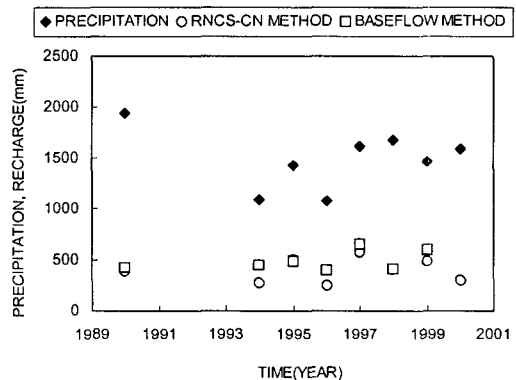


Fig. 7. Annual recharge of subwatershed No.6 in Pyungchang River Basin.

Table 1. Mean and standard deviation of the recharge

| | Wicheon NO.4 (Mean/SD) (mm) | Wicheon NO.5 (Mean/SD) (mm) | Wicheon NO.6 (Mean/SD) (mm) | Pyungchang River NO.5 (Mean/SD) (mm) | Pyungchang River NO.6 (Mean/SD) (mm) |
|----------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|--|--|
| NRCS-CN Method | 177.5/65.8 | 167.9/75.5 | 176.2/69.9 | 377.9/164.5 | 397.5/116.2 |
| Baseflow Separation Method | 218.5/95.9 | 156.0/53.7 | 229.9/106.6 | 365.5/110.1 | 490.8/99.6 |

SD: Standard Deviation

역에서는 연평균 강수량 1431.5mm에 대해서 평균 지하수 함양량 377.9mm(평균 함양률 26.4%)를 나타내고 있다. No.6 유역의 경우 지하수 함양률이 가장 적은 해는 2000년으로 지하수 함양량 304.8mm(함양률 19.2%)이며, 지하수 함양률이 가장 높은 해는 1997년으로 함양량 573.9mm(함양률 35.7%)이다. No.6 유역에서는 연평균 강수량 1482.6mm에 대해서 평균 지하수 함양량 397.5mm(평균 함양률 26.8%)를 나타내고 있다.

기저유출분리법을 이용한 계산 결과에 의하면, No.5 유역에서는 계산 기간 중 최저 지하수 함양량은 1990년의 185.6mm(함양률이 9.6%)이며, 최대의 함양량은 1994년의 429.2mm(함양률 41.1%)였다. 본 유역에서의 연평균 강수량 1451.6mm에 대해서 평균 지하수 함양량은 365.5mm(평균 함양률 25.2%)였다. No.6 유역에서는 계산 기간 중 지하수함양률이 최저인 해가 1990년으로 함양량이 427.0mm(함양률 22.1%)였고, 최대 지하수 함양량은 1994년의 451.7mm(함양률 41.5%)였다. 연평균 강수량 1467.7mm에 대한 함양량은 490.8mm(지하수 함양률 33.4%)를 나타내었다.

5.3. 결과의 비교

위천유역에서 NRCS-CN방법을 이용한 산정 결과에 의하면 연평균 지하수 함양률이 15.4~17.0%이고, 기저유출분리법으로 구한 연평균 지하수 함양률은 15.1~21.1%로 후자에 의한 함양률의 변화 범위가 크며 표준편차 또한 약간 크게 나타남을 알 수 있다(Table 1). 평창강유역에서는 NRCS-CN방법을 이용한 산정 결과 연평균지하수 함양률이 26.4~26.8%로 서로 비슷하나, 기저유출분리법으로 구한 연평균 지하수 함양률은 25.2~33.4%이다. 따라서 기저유출분리법이 더 큰 변화 범위를 나타내고 있으나 표준편차는 NRCS-CN방법에서 약간 더 큼을 알 수 있다. 평균 지하수 함양량은 평창강유역이 위천유역 보다 2배정도 더 크며 함양률 또한 높음을 알 수 있다. 위천 No.5 유역과 평창강 No.5 유역의 연평균 지하수 함양량은 두 방법 간에 비슷하나 평창강 No.6 유역의 경우에는 두 방법간에 93.3mm의 차이가 있다.

NRCS-CN방법으로 산정한 결과, 모든 위천 소유역에서는 1994년에 지하수 함양률이 가장 적고, 1997년에 가장 크게 나타났다. 한편 평창강 유역에서 지하수 함양률이 가장 적은 해는 No.5 유역에서는 1990년이고 No.6 유역에서는 2000년이다. 그리고 지하수 함양률이 가장 큰 해는 No.5 유역에서는 1995년이고, No.6 유역에서는 1997년으로서 지하수 함양률의 최대, 최소가 발생한 해가 서로 다르게 나타나고 있다.

기저유출분리법으로 산정한 결과에 의하면, 위천 유역의 경우 지하수함양률이 가장 낮은 해는 No.4 유역과 No.5 유역에서는 1995년이고 No.6 유역에서는 1993년이며, 가장 높은 해는 유역에 따라 서로 다른 해에 발생하고 있다. 평창강 유역의 경우 지하수 함양률이 최저인 해와 최대인 해가 모든 소유역에서 각각 1990년과 1994년으로 동일하게 나타난다. 이와 같이 지하수함양률이 유역별 및 적용방법별로 차이가 남을 알 수 있다. 이는 유역특성과 강우특성 및 산정기법간의 적용성의 차이 때문으로 여겨지나 정확한 원인을 파악하기 위해서는 이에 대한 보다 상세한 조사 연구가 필요하다. 따라서 향후 보다 정밀한 지하수함양량 산정을 위하여 산정기법의 불확실성을 포함하는 적용성의 검토에 대한 연구가 수행되어야 할 것으로 사료된다.

6. 결 론

유출수문곡선의 기저유출분리법과 NRCS-CN방법을 이용하여 IHP의 유역으로 장기간의 수문자료가 확보 가능한 위천과 평창강 유역내의 5개 소유역을 선정하여 1990년부터 2000년까지의 기간에 대하여 지하수 함양량을 산정하고 그 결과를 비교한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 위천유역에서는 NRCS-CN방법을 이용한 산정 결과에 의하면 연평균 지하수 함양률이 15.4~17.0%이고, 기저유출분리법으로 구한 연평균 지하수 함양률은 15.1~21.1%로서 기저유출분리법으로 구한 경우에서 함양률의 변화 범위가 더 크며 표준편차 또한 약간 크게 나타났다.

2) 평창강유역에서는 NRCS-CN방법을 이용한

연평균 지하수 함양률이 26.4~26.8%로 비슷하나, 기저유출분리법으로 구한 연평균 지하수 함양률은 25.2~33.4%로 기저유출분리법으로 구한 경우 지하수 함양률의 변화 범위가 더 크게 나타났으나, 표준편차는 NRCS-CN방법에서 약간 크다.

3) 연평균 지하수 함양량은 두 방법 모두에서 평창강유역이 위천유역 보다 2배정도 더 크며 함양률 또한 높았다.

4) 위천 No.5 유역과 평창강 No.5 유역의 연평균 지하수함양량은 두 방법 간에 비슷하나 평창강 No.6 유역의 경우 연평균 지하수 함양량이 두 방법 간에 93.3mm의 차이가 있었다.

5) 보다 정확한 지하수 함양률 산정을 위하여서는 유역의 특성과 강우특성 및 산정기법간의 적용성의 차이 그리고 산정기법의 불확실성을 포함하는 적용성의 검토에 대한 연구가 있어야 할 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 21세기 프론티어 연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술 개발사업단의 연구비지원(과제번호 3-3-2)에 의해 수행되었습니다.

참고 문헌

- 1) 前田 眞, 嶋田 純, 田中 正, 榎根 勇, 1986, 豪雨時における關東loam層の水収支, 日本水文科學會誌, 16(1), 1-8.
- 2) Andres, G. and R. Egger, 1985, A new tritium interface method for determining the recharge rate of deep groundwater in the Bavarian Molasse basin, Journal of Hydrology, 82, 27-38.
- 3) Solomon, D. K., S. L. Schief, R. J. Poreda and W. B. Clarke, 1993, A validation of $^3\text{H}/^3\text{He}$ method for determining groundwater recharge, Water Resources Research, 29(9), 2951-2962.
- 4) 小野寺 眞一, 1996, 熱帯半乾燥地域における集中的な地下水涵養機構, ハイドロロジー, 26(2), 87-90.
- 5) Sukhija, B. S., D. V. Reddy, P. Nagabhushanam and S. Hussain, 1996, Environmental and injected tracers methodology to estimate direct precipitation recharge to a confined aquifer, Journal of Hydrology, 177, 77-97.
- 6) 谷口 眞人, 1990, 牧草地およびアカマツ林における地下水涵養量と地温分布, 水理實驗センター報告, 14, 69-74.
- 7) Arnold, J. G., R. S. Muttiah, R. Srinivasan and P. M. Allen, 2000, Regional estimation of base flow and groundwater recharge in the Upper Mississippi river basin, Journal of Hydrology, 227(1), 21-40.
- 8) 平山利品, 1999, 地下水モデリングのためのデータ解析手法の基礎 2.1 雨水浸透・地下水かん養, 地下水學會誌, 41(3), 202-212.
- 9) 한국수자원공사, 1993, 지하수자원 기본조사 보고서, 한국수자원공사.
- 10) 한국수자원공사, 1994, 지하수자원 기본조사(2차) : 지하수 이용관리법안수립 및 대체용수원 개발지역 산정조사 보고서, 한국수자원공사.
- 11) 한국수자원공사, 1995, 지하수자원 기본조사(3차) : 지하수 관리조사 보고서, 한국수자원공사.
- 12) 이동률, 1995, 지하수 감수곡선을 이용한 지하수 함양률 추정과 장기 갈수량 예측, 박사학위논문, 고려대학교.
- 13) 이동률, 윤용남, 1996, 우리나라 지하수 함양률 추정과 분석, 대한토목학회논문집, 대한토목학회, 16(2-4), 321-334.
- 14) 박창근, 1996a, 우리나라 지하수 개발가능량 추정: 1. 개념정립과 기법의 개발. 한국지하수환경학회지, 한국지하수환경학회, 3(1), 15-20.
- 15) 박창근, 1996b, 우리나라 지하수 개발가능량 추정: 2. 5대강 유역에의 적용, 한국지하수환경학회지, 한국지하수환경학회, 3(1), 21-26.
- 16) 최병수, 안중기, 1998, 지역단위 지하수 자연함양률 산정방법 연구, 대한지하수환경학회, 5(2), 57-65.
- 17) 김경호, 윤영호, 조재혁, 1998, SCS-CN 방법에 의한 초정지역의 함양률 산정, 건설기술연구소 논문집, 충북대학교, 17(2), 1-15.
- 18) 정영훈, 김경호, 2000, SCS-CN 방법에 의한 미원면의 지하수 함양률 추정, 건설기술연구소 논문집, 충북대학교, 19(2), 181-190.
- 19) 이승현, 배상근, 2004, SCS-CN방법을 이용한 평창강 유역의 강수함양률 산정, 한국환경과학회지, 13(12), 1033-1039.
- 20) 배상근, 2002, 지하수함양률 산정방법에 대한 고찰, 한국수자원학회지, 한국수자원학회, 35(3), 50-59.
- 21) Soil Conservation Service, 1969, 1971, Hydrology, SCS National Engineering Handbook, Section 4.
- 22) Aron, G., A. Miller and D. Laktos, 1977, Infiltration Formula Based on SCS Curve Numbers, Journal of Irrigation and Drain, Div.

- ASCE, 103(IR4), 419-427.
- 23) Hjelmfelt, A. T., 1980, Curve Number Procedures as Infiltration Method, Journal of Hydraulic Div. ASCE, 106(HY 6), 1107-1111.
- 24) Mayboom, P., 1961, Estimating Groundwater recharge from stream hydrographs, Journal of Geophysical Research, 66(4), 1203-1214.
- 25) <http://asis.rda.go.kr/>(농업과학기술원).
- 26) <http://dataware.kict.re.kr/>(시공간 자료 활용기술 개발).
- 27) 건설교통부, 1983-2003, 국제수문개발계획(IIIHP) 연구보고서.