

DAWAST모형을 이용한 지하수충진량 추정

Estimation of Ground Water Recharge using DAWAST model

한상구*(한국수자원공사) · 박승기(충남대) · 김태철(충남대)

Han, Sang Gu · Park, Seung Ki · Kim, Tai cheol

Abstract

The study has been performed to estimate the quantity of ground water recharge using the DAWAST model for water balance analysis in the Youngsan & Sumjin watersheds. The mean safe yield of ground water is annually 41.3mm, corresponding to $85 \times 10^6 \text{ m}^3$ at the Naju station in the Youngsan watershed, and 76.6mm corresponding to $343 \times 10^6 \text{ m}^3$ at the Songjung station in the Sumjin watershed.

It is remarkable because safe yield of ground water are estimated 44 to 64% less than the quantities estimated in the other researches.

I. 서론

우리나라 지하수는 '97년말 현재 33.8억 m^3 /년에 달하는 막대한 양을 개발·이용하고 있으며 이에 따라 각종 지하수 고갈 사례가 언론과 관련단체를 통하여 빈번하게 보고되고 있다. 무분별한 지하수개발로 인한 고갈사태는 지표수와 달리 일단 고갈되면 오염이 가속되어 회복이 어렵고 심하면 지반침하 등의 피해를 가져올 수 있다. 실제로 지하수 이용율은 광주광역시 80%, 부산광역시 74%로 지하수 고갈시작 단계인 80%에 임박하고 있다. 정부에서도 체계적인 지하수의 개발·이용과 관리를 위해 국내 지하수자원의 증장기 종합관리대책으로 「지하수 관리기본계획(96. 건교부)」을 수립하여 지하수 조사, 개발·이용 및 보전·관리정책을 추진하기도 하였다. 유역의 효율적인 수자원관리 측면에서 지하수 저류량 및 충전량을 파악하여 더 이상의 무분별한 지하수개발을 방지하여 심각해지는 지하수위의 저하와 오염을 사전에 방지해야 한다.

이 연구에서는 「한국하천의 일 유출량 모형(DAWAST model)」(1992, 김태철)을 이용하여 영산강수계의 나주지점과 섬진강수계의 송정지점에서 지하수를 포함한 유역 물수지를 실시하여 연평균 자유수면 지하수 충전량과 피압지하수 충전량을 추정하였다.

II. 자료 및 방법

1. 분석자료

가. 유역특성

영산강수계의 나주지점과 섬진강수계의 송정지점의 지형적 특성은 표. 1 과 같다.

표. 1 나주, 송정유역의 지형특성

지 점	유역 면적	주 하천장	총 하천장	하천 차수	주변장	하천 중심장	최고 표고	최저 표고	관리청
단 위	km ²	km	km	-	km	km	El. m	El. m	-
나 주	2,060.0	74.5	1,117.7	5	260.0	26.5	1,187.0	1.3	건교부
송 정	4,477.0	162.5	2,481.6	6	485.5	42.0	1,507.0	10.1	건교부

나. 수문자료

나주지점은 영산강의 주요 수위관측지점으로 1915년 9월부터 보통관측소로 관측해왔으며, 송정지점은 섬진강의 주요 수위관측지점으로 1917년 3월부터 보통관측소로 관측해오고 있다. 1962년부터 1996년까지 34년간 나주와 송정지점의 평수위, 저수위, 갈수위 및 최고수위의 연시계열 값을 구하여 분석에 적용한 시점의 갈수빈도를 분석하였다. 상류유역의 수리시설상황을 고려하여 나주지점은 1970~1975년, 송정지점은 1965~1972년을 분석기간으로 선정하였다.

2. DAWAST 모형을 이용한 유역물수지 분석

가. DAWAST모형의 개요

“한국하천의 일 유출량 모형(DAWAST model)”은 우리나라의 강수와 유역특성을 고려하여 일 강우량과 증발량의 입력자료로 일유출량을 모의발생하는 모형이다. (1992, 김태철)

이 모형은 최적화모형, 일반화모형 및 수계화모형 등 3개의 부모모형으로 구성되어 있다. 기본모형은 유역을 지표면, 불포화층과 포화층의 3개 저수층으로 단순화하고 일(日)단위의 물수지분석을 실시하였다. 최적화 모형은 관측유출자료가 있는 유역에서 최적화기법으로 매개변수를 보정·적용할 수 있고, 일반화모형은 관측유출자료가 없는 유역에서 유역특성인자로부터 매개변수를 예측하여 적용할 수 있으며, 수계화모형은 유역특성인자 조사가 없거나 어려운 지점에서 최적화기법으로 분석된 수문지점의 매개변수를 전용하여 미계측 수문지점의 일 유출량을 추정할 수 있다.

나. DAWAST모형의 적용

나주, 송정지점은 관측유출량 자료가 있으므로 선정된 분석기간동안 DAWAST모형의 최적화 모형을 적용하였다. 최적화 모형으로 구한 물수지 매개변수와 추적매개변수는 표. 2와 같다.

표. 2 DAWAST모형의 적용 매개변수

지 점	물수지 매개변수					추적 매개변수				
	U _{max} (mm)	L _{max} (mm)	FC (mm)	CP	CE	U ₁	U ₂	U ₃	K ₁	K ₂
나 주	260	30	120	0.018	0.007	0.17	0.60	0.23	DAWAST Manual	
송 정	291	31	139	0.017	0.009	0.17	0.60	0.23		

다. 지하수 충전량 추정

DAWAST모형에 의한 지하수를 포함하는 유역의 물수지는 식(1)과 같다.

$$CG = P - EQ - ET + Q_g - \Delta W SU - \Delta W SS \quad (1)$$

여기서, CG : 피압지하수 충전량, P : 강수량, ET : 유역증발산량, EQ : 추정유출량 (직접 유출량 + 기저유출량), Q_g : 타유역에서의 지하수유입량 또는 타유역으로의 지하수유출량, $\Delta W SU$: 유역토양수분변화량, $\Delta W SS$: 자유수면 지하수변화량

타유역에서의 지하수유입량 또는 타유역으로의 지하수유출량 Q_g 는 없다고 가정한 ($Q_g = 0$), 물수지 분석식(2)로부터 간접적으로 해당유역의 자유수면 및 피압지하수 충전량을 추정할 수 있다.

$$CG = P - EQ - ET - \Delta W SU - \Delta W SS \quad (2)$$

즉, 매년 1월1일에서 12월31일까지 강수량에서 DAWAST모형으로 추정된 EQ, ET, $\Delta W SU$, $\Delta W SS$ 뺀 양이 피압지하수 충전량 CG 이다.

III. 결과 및 고찰

1. 수문자료 분석

나주와 송정지점의 1962년부터 1996년까지 34년에 대하여 분석에 적용한 기간에 대한 갈수위 확률값은 표. 3 과 같다. 나주지점의 확률값은 20~50%으로 2년~5년 빈도를 보이고 있어 기준갈수량 보다 큰 값을 보이고 있으며, 송정지점의 확률값은 5.8~73.5%으로 약 2~20년 빈도이다.

표. 3 분석자료의 확률값

지 점	연 도	갈수위 (EL.)	확률값 (%)	지 점	연 도	갈수위 (EL.)	확률값 (%)
나 주	1970	2.502	47.06	송 정	1965	8.095	23.53
	1971	2.432	35.29		1966	8.145	35.29
	1972	2.452	38.23		1967	7.885	5.88
	1973	2.262	20.58		1968	8.125	29.41
	1974	2.592	50.00		1969	8.805	52.94
	1975	2.592	50.00		1970	8.365	44.11
	-				1971	8.585	61.76
-			1972	8.775	73.53		

2. DAWAST 모형을 이용한 유역물수지 분석

가. DAWAST모형의 적용

분석대상지점의 갈수빈도분석과 상류유역의 수리시설 상황을 고려하여 나주지점은 1970~1975년, 송정지점은 1965~1972년을 분석기간으로 선정하였고, 그 결과의 예는 그림. 1과 같고, 연별 물수지 분석은 표. 4 와 같다.

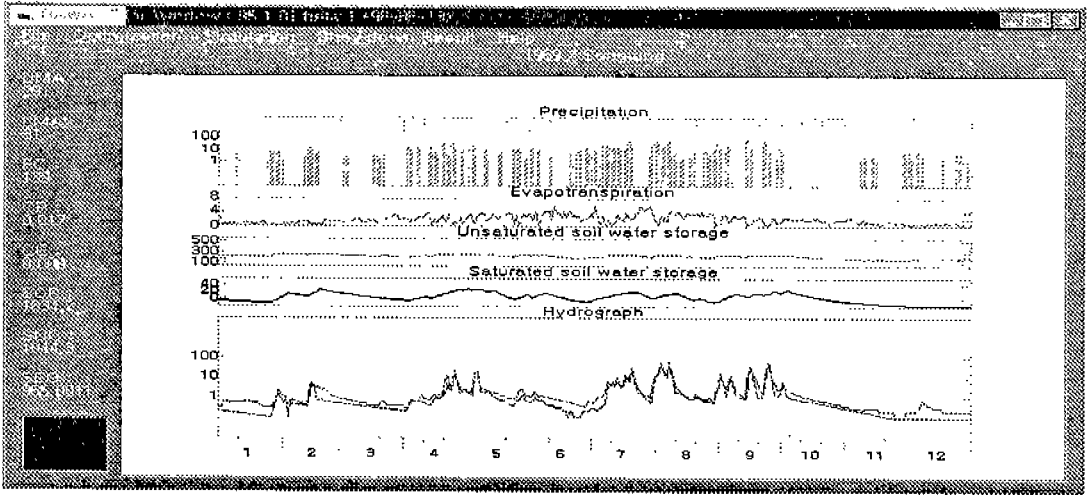


그림. 1 분석기간의 관측-추정 일 유출 수문 반응 곡선(송정, 1969년)

표. 4 나주·송정지점의 연도별 물수지 결과

(단위 : mm)

지점	연도	강수량 (P)	관측 유출량 (Q)	추정 유출량 (EQ)			증발산량 (ET)	침투량 (I)	심층 침투량 (PERC)	ΔWSU	ΔWSS	CG
				직접 (Q _a)	기저 (Q _b)	합계						
나주	1970	1,409.6	774.5	562.6	131.2	693.8	621.5	715.8	146.8	6.2	2.3	85.8
	1971	1,397.6	849.3	511.3	163.9	675.2	692.1	722.4	162.1	-33.9	-5.8	70.0
	1972	1,820.8	1,127.9	803.7	240.2	1,043.9	651.3	776.9	193.5	60.7	27.4	37.5
	1973	1,205.1	579.7	328.2	195.4	523.6	753.1	681.5	115.2	-10.8	-17.1	-43.7
	1974	1,770.3	1,113.5	871.1	152.2	1,023.3	708.8	747.0	120.0	-27.1	-7.3	72.6
	1975	1,500.1	719.4	566.9	180.3	747.2	692.5	752.9	138.5	34.2	6.1	20.1
	평균	1,517.3	860.7	607.3	177.2	784.5	686.6	732.8	146.0	4.9	0.9	40.4
송정	1965	1,333.4	587.5	379.3	147.7	527.0	724.3	839.9	141.2	11.2	2.5	68.4
	1966	1,437.4	651.0	417.7	261.6	679.3	730.3	899.3	188.7	-31.0	-6.6	65.4
	1967	967.3	247.1	132.8	78.7	211.5	738.3	756.0	95.9	-36.7	-2.6	56.8
	1968	1,020.8	269.3	134.1	101.4	235.5	699.1	831.7	102.5	75.6	12.9	-2.3
	1969	1,834.0	1,044.2	704.6	264.7	969.3	720.1	957.1	223.2	-16.3	-13.0	173.9
	1970	1,446.4	750.7	433.9	169.4	603.3	697.3	890.5	163.9	8.4	5.4	132.0
	1971	1,308.2	663.3	354.7	172.1	526.8	775.0	841.2	158.4	-60.4	-5.8	72.6
	1972	1,855.1	1,006.1	710.4	262.7	973.1	738.5	1,044.8	218.2	90.3	20.4	32.8
평균	1,400.3	652.4	408.4	182.3	590.7	727.9	882.6	161.5	5.1	1.7	74.9	

나. 물수지분석 결과

1) 연유출률 변화

가) 나주지점

나주지점의 분석기간중 연평균강수량 1,517.3mm는 영산강유역의 연평균강수량 1,320.0mm보다 크게 나타내고 있다. 관측 연평균유출량은 860.7mm로 유출율은 56.7%이다. DAWAST모형의 최적화모형으로 구한 연평균유출량은 784.5mm로 유출율은 51.7%이며, 관측치의 91.1%로 작게 추정되었다. DAWAST모형으로 구한 연평균 직접유출량과 기저유출량은 각각 607.3mm, 177.2mm로 연평균 총유출량의 77.4%, 22.6%이다.

나) 송정지점

송정지점의 분석기간중 연평균강수량 1,400.3mm은 섬진강유역의 연평균강수량 1,416.0mm와 비슷한 값을 나타내고 있다. 특히 1967년과 1968년 강수량 967.3mm와 1,020.8mm는 이 유역 연평균강수량의 68.3%, 72.1%로 심각한 가뭄현상이 나타났다. 연평균유출량은 652.4mm로 유출율은 46.6%이다. DAWAST모형의 최적화모형으로 구한 연평균유출량은 590.7mm로 유출율은 42.2%이며, 관측치의 90.5%로 약간 작게 추정되었다. 송정지점의 유출율이 비교적 작은 것은 상류 섬진강다목적댐에서 동진강 수계로 도수, 방류하는 결과로 생각된다. DAWAST모형으로 구한 연평균 직접유출량과 기저유출량은 각각 408.4mm, 182.3mm로 평균총유출량의 69.2%, 30.8%이다. 기저유출량이 나주지점의 22.6%보다 큰 값을 보이는 것은 갈수시 섬진강다목적댐의 방류결과로 예상할 수 있다.

2) 지하수 충전량 추정

지하수 충전(Recharge)은 자유수면 및 피압지하수 충전으로 구성되며, 유역의 지형학적 인자, 기상학적인자, 토지이용인자, 지질학적 인자 및 대수층의 특성에 따라 변화하므로, 장기적인 현장실측에 의하여 결정되어야 할 것이다. 이 연구에서는 그러한 자료가 없는 상황에서 DAWAST모형으로 지하수를 포함한 유역 물수지를 통하여 간접적으로 해당유역의 자유수면 및 피압지하수 충전량을 추정하였다.

가) 자유수면 지하수의 충전량

DAWAST모형의 기본개념상 심층침투량은 자유수면 지하수량을 증가시키고, 기저유출량은 자유수면 지하수량을 감소시킨다. 즉, 연평균 자유수면 지하수 충전량은 연평균 심층침투량에 해당된다. 따라서, 연평균 자유수면 지하수로 심층침투된 수량은 나주지점이 146mm, 송정지점이 161.5mm이었다.

연평균 ΔWSS 값은 나주, 송정지점 각각 0.9mm, 1.7mm로 자유수면 지하수 충전량은 연간 1.9백만 m^3 , 7.6백만 m^3 정도로 대단히 적은 것을 알 수 있다. 이것은 심층침투량 대부분이 기저유출량으로 deplete 되는 것으로 보여지며 자유수면 지하수의 연별 변화량은 무시할 수 있으며, 안전한 자유수면 지하수 채수량은 거의 없다는 뜻도 의미한다.

나) 피압지하수의 충전량

연평균 피압지하수 충전량은 나주지점 40.4mm, 송정지점 74.9mm로, 연간 안전지하수 채수량은 각각 0.83억 m^3 , 3.35억 m^3 정도이다.

다) 총 지하수 충전량

연평균 지하수 충전량은 나주지점 41.3mm, 송정지점 76.6mm로, 연간 안전지하수 채수량은 각각 0.85억 m^3 , 3.43억 m^3 이며, 연평균강수량의 2.7%, 5.5% 정도이다.

3) 지하수변화에 대한 고찰

「지하수자원 기본조사보고서('93. 5 수공)」에서 나주지점의 영산강 유역과 송정지점의 섬진강 유역에 대하여 수문특성을 토대로 지하수 물수지 분석을 실시한 결과, 연간 지하수저장량의 변화를 영산강 유역은 94mm로 총강우량의 7.1%로, 섬진강 유역은 111mm로 총강우량의 7.8%로 추정하였다. 또한 「지하수관리 기본계획보고서('96. 12, 건교부)」에서는 영산강 유역의 나주지점에서는 92.9mm로 총 강우량의 7.1%, 섬진강 유역의 송정지점에서는 129mm로 총 강우량의 9.5%로 추정하였다. DAWAST모형을 이용하여 추정한 충전량은 상기한 기왕 추정치의 44~64%에 해당되는 것으로 안전지하수 채수량을 그만큼 낮게 평가하고 있다.

따라서, 이 연구에서 DAWAST모형을 이용하여 추정한 지하수 충전량을 고려할 때, 지표수와 지하수를 포함한 환경보전적 수자원관리를 위하여 신중한 지하수개발이 요구된다.

IV. 결 론

DAWAST모형으로 지하수를 포함한 유역 물수지 분석을 통하여 간접적으로 영산강수계 나주지점과 섬진강수계 송정지점에서 자유수면 및 피압지하수 충전량을 추정하였다.

총 지하수 충전량은 영산강수계 나주지점이 41.3mm, 섬진강수계 송정지점이 76.6mm로, 안전지하수 채수량은 나주지점이 0.85억 m^3 , 송정지점이 3.43억 m^3 로 추정되었다. 이는 기왕의 추정 충전량의 44~64% 정도이다.

참고문헌

1. 한국수자원공사, 1993, 지하수자원 기본조사 보고서
2. 건설교통부, 1996, 지하수 관리기본계획 보고서
3. 김태철, 1992, 한국하천의 일 유출 모형 구조와 사용 지침
4. 한국수자원공사, 1998, 영산강-섬진강 권역 광역 지하수조사 보고서
5. Ray K. Linsley, Jr & Max A. Kohler & Joseph L. H. Paulhus, 1982, Hydrology For Engineers Chapter 6.