

PE6) 토양특성에 따른 지하수침투량 추정기법을 이용한 유동해석

최윤영¹, 최정우¹, 송인렬^{2*}, 배상근³

¹상주대학교 환경공학과, ²경일대학교 건설정보공학과,

³계명대학교 토목공학과

1. 서 론

자연 상태에서의 지하수 시스템에서는 지하수체로 유입되는 유량 즉, 지하수함양량과 지하수체로 부터 유출되는 지하수 유출량이 거의 같은 평형을 이루고 있다. 즉, 어떤 일정기간에 대한 지하수계가 평형 상태이기 때문에 장기적인 기후 조건에 따른 어떤 평균적인 조건에서 변화한다. 지하수체로 함양되는 함양원은 대부분이 강수이며 강수에 의한 지하수함양은 홍수유출을 비롯한 지표유출과 지하수체내의 지하수량과 지하수 거동 및 지하수유출과 직접적인 관계가 있어 이에 대한 규명은 수자원측면에서 대단히 중요하다. 물 순환과정에서 지표수와 지하수와의 연결고리를 이루는 지하수함양은 지하수체로 물을 공급함으로써 지하수량을 증가시키는 양만큼 지표유출에 영향을 미침으로 지표수와 지하수의 양적 측면에서 이에 대한 규명이 필요하다.

지하수개발량 평가에 대한 기준 설정을 위해서는 지하수함양량의 산정이 반드시 필요하며, 토지이용특성 및 토양특성이 지하수함양량에 영향을 미치므로 이를 고려하여 지하수함양량을 평가할 수 있는 기법을 제안하여 적절한 지하수개발량 평가기술 이루어져야 할 것이다. 기왕의 연구결과를 바탕으로 살펴보면, 지역의 유출량자료가 전무할 경우에 있어 지하수함양량을 산정하기 위한 가장 합리적인 방법 중의 하나는 SCS-CN방법이라 판단된다. 따라서, 본 연구에서는 SCS-CN법에 의한 실제 함양량을 산정하고 이를 이용하여 KOG-FLOW모델 및 Winflow모델에 적용하여 관측치와 비교 검토해 봄으로서 토양이용특성에 따른 매개변수(함양량)추정에 대한 실무 적용가능성을 검토하였다.

2. 기초자료 수집 및 수문특성

2.1. KOG-FLOW(Ver 1.2.2)

본 연구에서 개발한 모델은 적용성이 검증된 대표적인 3차원 지하수해석프로그램인 MODFLOW모델을 기초로 하였다. 하지만 MODFLOW의 경우에는 그 사용이 매우 복잡할 뿐만 아니라 매개변수들의 이해와 적용성에 있어 실무자들이 쉽게 이용하기에는 많은 어려움을 안고 있는 실정이다. 본 연구에서 개발한 KOG-FLOW모형(Koreanized Groundwater Flow Model, ver.1.2.2)은 입력자료를 간단하게 설정할 수 있을 뿐만 아니라 변수들을 모두 한글로 구성하였고 각 입력자료와 매개변수들의 이해와 적용값에 대해 관측값 및 기왕의 자료를 제시한 도움말을 설정하여 정확한 변수값을 지정할 수 있도록 하였다. KOG-FLOW

모형은 주 프로그램과 모듈(module)이라 불리는 5개의 독립 서브루틴(subroutine)으로 구성되어 있으며 시뮬레이션 기간은 지정된 스트레스 매개변수가 일정한 일련의 스트레스 기간(stress period)으로 분할되고 각각의 스트레스 기간은 시간간격으로 분할된다.

2.2. SCS-CN 산정

농업진흥청 농업과학기술원에서 제공된 토양의 수치자료는 1:25,000 기본도와 행정단위에 따라 구분되었는데 각각 독립적인 도엽으로 구성되어 있다. 정밀토양에서는 전국적인 토양 분류의 기본단위로 토양통을 사용하였는데, 토양통이란 모암, 퇴적양식 및 토양생성면에 대하여 유사한 토양에 대하여 표토의 토성을 제외한 심토의 물리화학적 특성이 유사한 토양 집단을 말한다. 이러한 토양통들을 이용해서 투수능에 따라서 A, B, C, D 네개의 등급으로 분류된 토양도이다. SCS 유출곡선지수는 토지이용 및 경작형태에 관련된 자료 이외에도 토양분류 자료를 필요로 한다. 강우 유출해석에서는 토양분류를 이용하여 소유역별로 유출해석에 필요한 CN 값을 산정하도록 되어 있다.

3. 적용 및 분석

3.1. 수문학적 특성

3.1.1. 지형·지질학적 특성

본 연구 대상유역은 경북 상주시 양촌동 150번지 일대이며 좌표는 동경 $127^{\circ} 51' \sim 128^{\circ} 13'$, 북위 $36^{\circ} 25' \sim 36^{\circ} 50'$ 사이에 위치하고 있다. 유역내 경사는 완만한 구릉지이고 인근에 병성천이 유하하고 있다. 연구유역의 대부분이 제4기 충적층으로 구성되어 있으며, 지층구성은 상부로부터 토사층, 풍화토층, 풍화암층 및 연암층 순서로 형성되어 있고 풍화토층 상부로는 퇴적층인 매립층, 또는 전·답토층이 피복하고 있다.

3.2. 침투실험 및 토양도 비교

3.2.1. 침투능곡선 해석을 통한 S값 산정

정밀토양도의 현장적용성을 검증하기 위하여 침투실험을 통해 구해진 침투능곡선값을 이용하여 산정한 최대잠재보유수량(potential maximum retention, S)값과 실험대상지점의 수문학적토양군과 토지피복상태에 따른 CN값을 이용하여 계산된 S값을 비교하였다. 침투실험은 토지이용상태의 종류에 따라 논, 밭, 초지, 산지, 과수원, 나대지 등에서 이루어졌으나 정밀토양도상의 토양의 종류에 의해 결정되어지는 수문학적토양군을 적용하기 위해서는 인위적인 토양의 개량이 진행된 지역은 비교대상으로 적합하지 않다. 그러므로 S값의 비교는 정밀토양도의 토양분류가 반영될 수 있는 산지지역의 실험결과가 적합하다. 산지지역에 대한 실험결과를 S값의 산정에 적용하였다. 침투실험이 진행된 연구유역은 두 지점으로 모두 침엽수와 활엽수가 혼재되어 있는 혼효림 지역이며 이에 대한 실험결과는 다음의 Fig. 1 및 2와 같다.

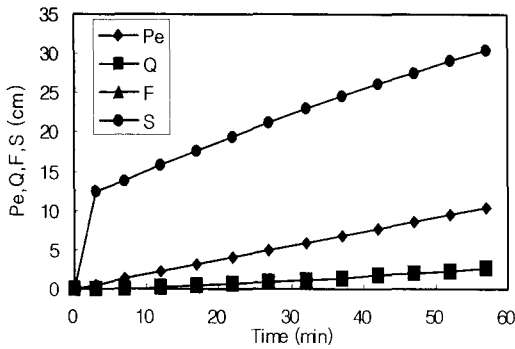


Fig. 1. S, Pe, F, Q 값의 변화. (실험 1)

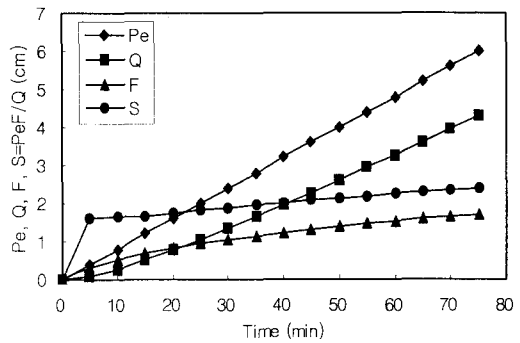


Fig. 2. S, Pe, F, Q 값의 변화. (실험 4)

3.2.2. 산정방법에 따른 S값 비교

침투실험이 실시된 지역에 대하여 침투실험결과와 정밀토양도상에서의 수문학적토양군에 의한 CN값을 적용하여 S값을 산정하였으며 침투능곡선의 해석에 의한 방법(CASE-I), 실험결과에 의한 토양군분류를 적용하여 계산하는 방법(CASE-II), 정밀토양도에 의한 토양군분류를 적용하여 계산하는 방법(CASE-III) 등 세가지 경우에 대한 결과를 Table 1에 나타내었다.

Table 1. 대상구역의 S값 산정결과

Zone	No.	중기 침투능 (mm/hr)	수문학적토양군		Curve Number(CN)		S (cm)		
			실험결과	정밀 토양도	실험결과	정밀 토양도	CASE I	CASE II	CASE III
I	1	73	A	C	47	79	30.6	28.6	6.8
	2	92	A	C	47	79	42.7	28.6	6.8
II	3	74	A	B	47	68	21.6	28.6	12.0
	4	7	B	B	68	68	2.4	12.0	12.0

3.2.3. 결과분석을 통한 현장적용성 검토

실험 1의 경우 CASE I과 CASE II의 S값이 각각 30.6cm와 28.6cm로 거의 유사한 결과를 나타내고있는 반면 CASE III은 6.8cm로 차이가 있는 것으로 나타났다. 실험 2의 경우 CASE I의 S값이 42.7cm이며 CASE II와 CASE III은 실험1과 동일한 결과를 가지는데 이는 실험 1과 실험 2가 실행된 장소가 동일 토양군에 속하는 곳이기 때문이다. 실험 1, 2의 경우 CASE I, II의 S값이 CASE III의 결과에 비해 큰 S값을 가지는 경향을 보여주고 있다. 이는 CASE III의 경우 정밀토양도상에서 수문학적토양군을 분류하여 S값을 산정하였으므로 CASE I, II와 같이 특정지점에 대한 특성을 반영하기보다는 토양군 전체의 특성을 나타낸다고 볼 수 있다. 실제로 실험이 진행된 지점은 실험진행을 위한 최적지를 선택하는 것이 보통이나 전체적으로 볼 때는 강우의 침투가 일어나기 어려운 지점도 동일 토양군내에 존재하므로 CASE 별로 상이한 결과를 나타낸 것으로 판단된다. 이러한 경향은 동일한 토양

군내에서 진행된 실험 3, 4의 결과에 잘 나타나 있다.

실험 3, 4의 경우 CASE I, II가 CASE III과 비교적 근사한 S값으로 나타났다. 이러한 결과의 원인은 실험지점의 지반특성을 통해 찾아 볼 수 있다. 인접하여 위치하며 정밀토양도에는 동일한 토양군으로 분류된 지역임으로 실험 4지점은 표토층이 거의 없는 암반이 드러난 지점이다. 평이한 지점이라 할 수 있는 실험 3의 경우 CASE I, II, III가 각각 21.6cm, 28.6cm, 12.0cm의 S값을 가지는 것으로 미루어 전체의 토양특성을 반영할 수 있는 지점이라고 볼 수 있다.

전체적인 특성을 반영할 수 있는 지점의 실험결과를 이용하여 비교한 경우에는 정밀토양도 토양통의 수문학적분류에 의한 계산과 유사한 결과를 나타내므로 현장적용에 적합한 것으로 판단된다.

4. 결 론

SCS-CN법을 이용하여 연구유역에 대한 실제 함양량을 분석한 결과에 의하면 지하수함양률이 가장 적은 해는 가뭄이 극심했던 1994년의 함양량 106.3mm로 함양률이 12.4%이며 가장 큰 지하수 함양률이 발생한 해는 1990년의 함양량 285.6mm로 함양률이 21.8%임을 나타내고 있다. 년 평균 213.2mm의 함양이 일어나며, 년 평균 함양률은 16.9%로 분석되었다.

본 연구의 함양량추정기법을 이용한 지하수 유동해석을 실시한 결과, 각 모델들의 관측치와 계산치의 상대오차(R.E.)는 KOG-FLOW의 경우에 0.156~0.432%, WINFLOW의 경우에는 0.451~1.175로 나타나, 본 연구에서 개발한 KOG-FLOW모델이 실측치에 더욱 근접하는 것으로 산정되었다.

참 고 문 헌

- Aron, G., A. Miller and D. Laktos, 1977, Infiltration formular based on SCS curve numbers, *Journal of Irr. and Drain, Div. ASCE*, 103(4), 419-427
- M. Scozzafava, M. Tallini, 2001, Net infiltration in the Gran Sasso Massif of central Italy using the Thornthwaite water budget and curve-number method, *Hydrogeology Journal*, 9, 461-475
- Toth, J., 1963, A Theoretical Analysis of Groundwater Flow in Small Drainage Basins, *J. Geophy. Res.*, 125-131
- McDonald, M. G. and A. W. Harbaugh, 1988, A Modular Three-Dimensional Finite Difference Groundwater Flow Model, USGS Techniques of Water Resource Investigations, Book 6, Chapter A1, pp.415-422
- Rumbaugh, J. O., 1996, Two-Dimensional Groundwater Flow Model, Geraghty and Miller, Inc., Reston, Virginia, pp.23-33
- 배상근, 2004, 산정기법에 따른 지하수함양량 비교, 한국환경과학회 봄학술발표회, pp.62-66
- 최윤영, 2004, 지하수유동체계 해석을 위한 실무형모델의 개발, 한국수처리학회지, 12(3), 53-68