

## OE3) 토양이용특성에 따른 지하수함양량 추정을 통한 3차원 유동해석

최운영, 이병철<sup>1</sup>, 고병련<sup>1</sup>, 배상근<sup>2</sup>

상주대학교 환경공학과, <sup>1</sup>제주산업정보대학 토목환경과,

<sup>2</sup>계명대학교 토목공학과

### 1. 서 론

자연 상태에서의 지하수 시스템에서는 지하수체로 유입되는 유량 즉, 지하수함양량과 지하수체로부터 유출되는 지하수 유출량이 거의 같은 평형을 이루고 있으며, 강수로부터 발생하는 함양량의 파악은 수자원의 체계적인 개발 및 이용을 도모하고 수자원을 최적으로 관리하기 위해서 반드시 필요하다. 이를 위해서는 전국의 중·소유역별 강수함양량이 파악되어 수자원의 개발 및 관리계획에 반영하여 수자원관리를 해야 할 것이다. 한편, 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 살펴보면, 유역의 유출량자료가 전무할 경우에 있어 지하수함양량을 산정하기 위한 가장 합리적인 방법 중의 하나는 SCS-CN방법인 것으로 판단된다. 따라서, 본 연구에서는 SCS-CN법에 의한 실제 함양량을 산정하고 이를 이용하여 MODFLOW모델에 적용하여 관측치와 비교 검토해 봄으로서 토양이용특성에 따른 매개변수(함양량)추정에 대한 실무적용 가능성을 제시하고자 한다.

### 2. 적용 및 분석

#### 2.1. 지형·지질학적 특성

본 연구 대상유역은 경북 상주시 양촌동 150번지 일대이며 좌표는 동경 127° 51' ~128° 13', 북위 36° 25' ~36° 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.

#### 2.2 침투실험 및 토양도 비교

##### 2.2.1 침투능곡선 해석을 통한 S값 산정

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 않은 것으로 판단

된다. 그러므로 S값의 비교는 정밀토양도의 토양분류가 반영될 수 있는 산지지역의 실험결과가 적합하며, 산지지역에 대한 실험결과를 S값의 산정에 적용하였다. 산지에서의 침투실험은 모두 4회를 대상으로 S값을 산정하였다. 침투실험이 진행된 지역은 두 지점으로 모두 침엽수와 활엽수가 혼재되어 있는 혼효림 지역이며 이에 대한 실험결과는 다음의 그림 1과 같다.

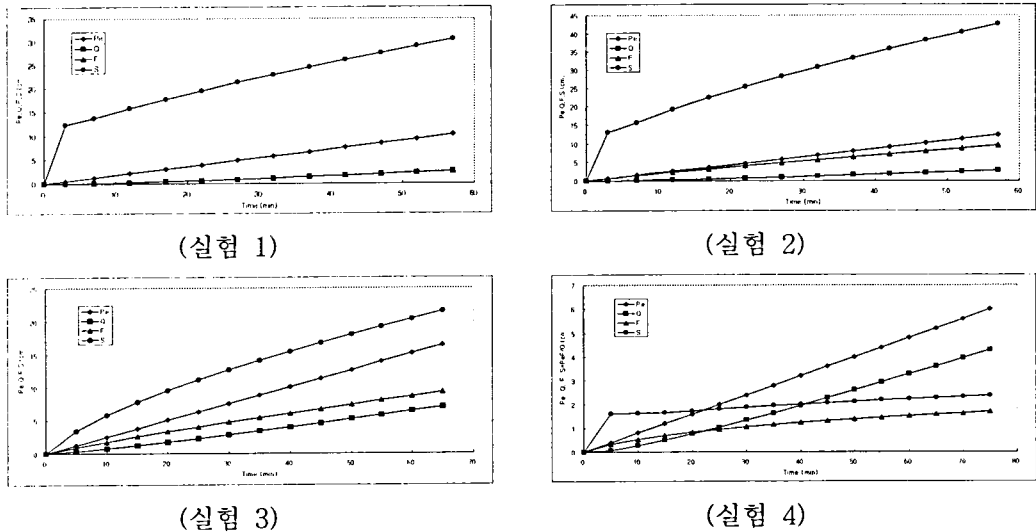


그림 1. S, Pe, F, Q 값의 변화

### 2.2.2 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 표 1에 나타내었다.

표 1. 대상구역의 S값 산정결과

Zone	No.	총기침투능 (mm/hr)	수문학적토양군		Curve Number(CN)		S (cm)		
			실험 결과	정밀 토양도	실험 결과	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	4	74	A	B	47	68	21.6	28.6	12.0
	5	7	B	B	68	68	2.4	12.0	12.0

### 2.3. 지하수함양량 산정

연구대상지역을 대상으로 지리정보시스템을 이용하여 SCS-CN방법에 의해 지하수함양량을 산정하였다. CN값 산정을 위해 농업과학기술원에서 제작된 1:25,000 정밀토양도를 사용하여 수문학적 토양군으로 분류하였다(그림 2, 표 2). 대상유역은 전체면적 1.836km<sup>2</sup> 중 수문학적 토양군 A가 0.842km<sup>2</sup>로 45.86%, D가 0.702km<sup>2</sup>로 38.23%의 면적으로 수문학적 토양군 A, D가 대부분을 차지하며 B와 C는 각각 0.131km<sup>2</sup>로 7.14%, 0.161km<sup>2</sup>로 8.76%에 해당하는 상대적으로 작은 면적으로 나타났다. CN값 산정은 정밀토양도를 이용하여 구하여진 수문학적 토양군의 결과와 토지피복도(그림 3)를 이용하여 구해진 피복항목에 대하여 각 면적당 CN값을 구하였다. 강우량 자료는 수자원공사의 자료를 참조하여 확보 가능한 1990~2002년의 자료를 이용하였으며 함양량 산정에 있어 대상지역의 평균 CN값을 사용하지 않고 피복항목과 수문학적토양군 각각의 면적에 대하여 함양량을 산정하여 전체면적에 대한 가중치를 적용하여 함양량을 산정하였다.

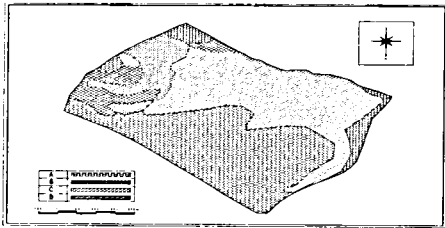


그림 2. 대상지역 수문학적 토양군

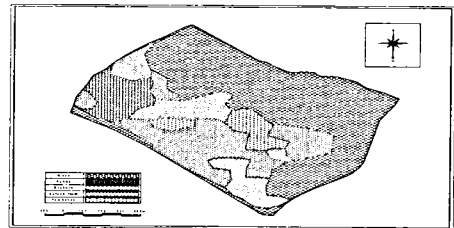


그림 3. 대상유역 토지피복도

표 2. 대상유역 CN값 산정 결과

피복항목	수문학적 토양군								총면적 (km <sup>2</sup> )
	A		B		C		D		
	면적(km <sup>2</sup> )	CN	면적(km <sup>2</sup> )	CN	면적(km <sup>2</sup> )	CN	면적(km <sup>2</sup> )	CN	
Farmhouse	0.085	79	0.000	86	0.000	90	0.011	92	0.095
Wood	0.015	47	0.077	68	0.041	79	0.000	86	0.132
Upland field	0.151	77	0.018	86	0.023	91	0.075	94	0.267
Orchard	0.354	44	0.016	66	0.018	77	0.013	83	0.401
Paddy	0.238	78	0.021	78	0.079	78	0.603	78	0.941
Total(km <sup>2</sup> )	0.842	-	0.131	-	0.161	-	0.702	-	1.836

그리고 CN산정에 따른 지하수 함양량의 분석에서 각 강우사상별 침투량은 지하수 함양량으로 볼 수 있으므로 장기간의 침투량을 누계하여 같은 기간의 강우량과 비교하면 지하수 함양율을 산정할 수 있으며, 연구대상지역의 함양량 산정결과는 그림 4와 같다.

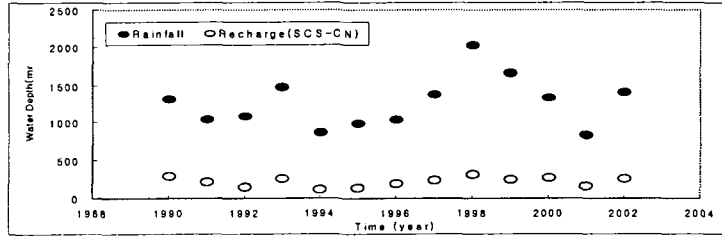


그림 4. 지하수 함양량 산정결과

## 2.4 MODFLOW모델

본 연구에서는 조사지역의 전반적인 지하수위 분포 및 유동경향을 구하기 위하여 수리모델링을 수행하였다. 조사지역 일대의 수리지질학적인 특성을 고려하여 유역을 구분하고 그 유역을 포함하는 격자망을 구성하였다. MODFLOW모델에 의해 산정된 계산치와 관측치의 오차를 비교해 볼 때 본 분석에 의한 모의발생 결과치는 양촌유역에 대한 정류상태하에서의 지하수두 분포를 신뢰도 적정수준에 있어 잘 반영하고 있는 것으로 판단되며 남북방향으로는 완만하고 안정된 수두경사를 이루는 것으로 분석되었다. 다음의 표 3은 부정류상태하에서 P 및 P1의 단일양수와 동시양수일 경우에 대한 인근 관정의 수두분포를 나타낸 것이다.

표 3. 모의발생결과에 따른 관측치와 계산치의 비교 (부정류상태)

Pump.Well No.	P (EL. m)			P1 (EL. m)			P & P1 (EL. m)			Re.
	Obser.	Compu.	R.E.(%)	Obser.	Compu.	R.E.(%)	Obser.	Compu.	R.E.(%)	
P2	83.46	83.50	-0.05	83.46	83.37	0.11	83.46	83.32	0.17	-
P3	80.99	80.87	0.15	80.99	80.88	0.14	80.99	80.85	0.17	-
P4	80.87	80.76	0.14	80.87	80.83	0.05	80.87	80.73	0.17	-

## 3. 결 론

침투실험의 결과에 있어, 실험 1의 경우 CASE I과 CASE II의 S값이 각각 30.6cm와 28.6cm로 거의 유사한 결과를 나타내고 있는 반면에 CASE III은 6.8cm로 차이가 있는 것으로 나타났다. 실험 1, 2의 경우 CASE I, II의 S값이 CASE III의 결과에 비해 큰 S값을 가지는 경향을 보여주고 있는데 이는 CASE III의 경우에 정밀토양도상에서 수문학적토양군을 분류하여 S값을 산정하였으므로 CASE I, II와 같이 특정지점에 대한 특성을 반영하기보다는 토양군 전체의 특성을 나타내기 때문인 것으로 판단된다. 실험 3, 4의 경우에는 CASE I, II가 CASE III와 비교적 근사한 S값으로 나타났으며 전체적인 특성을 반영할 수 있는 지점의 실험결과를 이용하여 비교한 경우에는 정밀토양도 토양통의 수문학적분류에 의한 계산과 유사한 결과를 나타내고 있어 SCS-CN법의 현장적용성은 우수한 것으로 판단된다. 이를 이용한 지하수함양량을 적용하여 모의발생을 한 결과, 양촌유역에 있어 관측치와 계산치에서 가장 작은 변동폭을 나타낸 관정은 P4지점으로 0.03m, 가장 큰 변동폭을 나

타넨 관정은 P지점으로 0.16m로 산정되었다. 본 분석에서 관측치와 계산치의 상대오차는 0.037~0.195%로 나타나 실측치와 거의 유사한 것으로 산정되었다.

#### 감사의 글

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

#### 참 고 문 헌

- Hubbert, M.K, 1940, The Theory of Groundwater Motion, J. Geol., 48, pp. 234-256.
- Toth, J., 1963, A Theoretical Analysis of Groundwater Flow in Small Drainage Basins, j. Geophy. Res, pp. 66-73.
- Freeze, R. A. and Witherspoon, P. A., 1966, Theoretical analysis of regional groundwater flow: 1. Analytical and numerical solutions to the mathematical model, WRR, 2, pp. 453-489.