

PE7) 산간유역의 적설량과 지하수함양의 특성

최윤영¹, 현길수¹, 이병철^{2*}, 고병련³

¹상주대학교 환경공학과, ²경일대학교 건설정보공학과,

³계명대학교 토목공학과

1. 서 론

수리학적 지하수의 특성을 조사하는 데는 많은 어려움이 있지만 다공질 매질 내에서의 유출의 기본원리를 설명하고 새로운 해석방법들이 이러한 문제의 해결을 위해 접근·시도 되고 있다.

지하수유동시스템에 있어서 시스템을 해석하고 유동과정을 모델화 하기 위한 연구과정을 살펴보면, Hubbert(1940)가 지하수 유동이론을 모델적으로 해석한 것이 시초이며, 고병련(1984)의 제주도 지하수 부존형태와 지하수위 변동에 관한 연구 및 최윤영(2000)의 화산도 서유역에 대한 3차원 지하수 유동특성 분석에 관한 연구 등이 있었다. 하지만 지하수유동 및 수질분석 등의 연구와 달리 산악지형의 적설에 대한 수질 분석과 함양특성 등을 다룬 연구는 거의 전무하다. 특히, 제주도 한라산의 경우에는 매년 상당량의 눈이 내리고 있지만 적설량이 지하수함양에 미치는 영향에 대한 정량적 분석이 없으므로 지하수와 적설의 역학관계 메카니즘의 정립이 필요한 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 한라산 적설이 지하수함양에 미치는 영향을 파악하고 지하수 보전에 있어서 적설의 역할을 규명함으로써 향후 적설과 함양에 대한 기본방향을 제시하는데 목적이 있다.

2. 모델의 기본이론

본 연구에 있어서 실제유역에서의 지하수유동계를 파악하기 위하여 사용된 MODFLOW 모델은 유한차분법에 근거한 모델로서 그 기본이론은 다음과 같다.

일정한 밀도를 가지는 다공성 매질을 통해 흐르는 3차원 지하수 유동은 다음의 식 (1)과 같이 편미분 방정식으로 나타낼 수 있다.

$$\frac{\partial}{\partial x} (K_{xx} \frac{\partial h}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (K_{yy} \frac{\partial h}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z} (K_{zz} \frac{\partial h}{\partial z}) - W = S_s \frac{\partial h}{\partial t} \quad (1)$$

여기서, K_{xx} , K_{yy} , K_{zz} 는 x , y , z 좌표축에 따른 투수계수이며, h 는 수두(potential head), W 는 단위체적당의 체적 flux, S_s 는 비저류율 및 t 는 시간이다. 한편 S_s , K_{xx} , K_{yy} , K_{zz} 는 공간의 함수($S_s = S_s(x, y, z)$, $K_{xx} = K_{xx}(x, y, z)$, etc)이고, W 는 시간과 공간의 함수이며($W = W(x, y, z, t)$), 식 (1)은 불균질, 비등방성 매질에서의 비평형 상태하에서 지하수 흐름을 나타낸다.

3. 적용 및 분석

3.1. 수문학적 메카니즘 분석

3.1.1. 지속시간별 적설특성

수문분석에 사용할 각 지속시간별 적설량은 제주지점(1973~2003년,①), 서귀포지점(1973~2003년,②), 성산지점(1973~2003년,③), 고산지점(1988~2003년,④)의 지속시간별 최대량을 조사 수집하였다. 지속시간별 최대적설량은 3시간 일 때 38cm, 24시간일 때 78cm로 조사되었다. 다음으로, 서귀포지점의 지속시간별 최대적설량은 3시간일 때 96cm, 6시간일 때 138cm 및 24시간일 때 174cm로 조사되었다.

3.1.2. 장기변동 분석

제주지점의 1일, 2일 및 3일 연속최대 적설량의 극대치는 각각 78cm, 146cm 및 166cm이며, 이 지역의 년도별 최대적설량의 변동은 그 변화가 크게 나타났다. 고산지점의 1일, 2일 및 3일 연속최대 강우량의 극대치는 각각 32cm, 49cm 및 51cm이며, 년도별 최대적설량의 차는 다소 크게 나타났다.

3.1.3. 적설량의 고도보정

본 연구에서는 한라산에서 측정된 고도와 적설량간의 상관관계를 분석하여 고도변화에 따른 적설량 보정을 실시하였다. 한라산지역과 한라산 지역내의 어리목 Y계곡 유역에 대하여 면적가중치를 고려한 고도별 연평균적설량(Annual Mean Snow storage, A.E.S.)자료를 분석한 결과는 다음의 Table 1 및 2와 같다.

Table 1. Snow storage according to each elevation in hanla moun

Elevation (m)	600~1100	1100~1300	1300~1500	1500~1700	1700~1950	Total A.E.S. (cm)
Area (km)	96.3	26.5	15.6	12.3	2.7	337.74
A.E.S.(cm)	300.53	367.73	406.13	444.5	487.73	

Table 2. Snow storage according to each elevation in Eolimok Yvalley

Elevation (m)	1080~1300	1300~1500	1500~1700	1700~1950	Total A.E.S. (cm)
Area (km)	0.715	1.05	2.11	0.5	427.4
A.E.S.(cm)	365.81	406.13	444.5	487.73	

3.2. 수자원특성 분석

3.2.1. GIS를 이용한 수문자료 분석

한라산의 수계는 표고 1400~1600m 지점에 산재되어 있고 유로는 직선으로 Fig. 1과 같이 V자나 U자형의 계곡을 형성하고 주로 남북사면에 발달되어 있으며, 남사면은 22개의 하

천, 북사면은 18개의 하천이 분포되어 있다. 본 연구대상지의 범위(Fig. 2)는 한라산 정부를 시점으로 하여 y자로 합류하는 1,100m지점인 Y계곡을 종점으로 설정한 4.37km²으로 연구대상지인 Y계곡 하천의 수계특징은 Table. 3과 같다.

Table 3. River characteristics of study area

Area	Length	Central Length	Elevation	Slope	Remark
4.37km ²	3.94km	2.28km	870m	0.382	

3.2.2. 지하수 유동분석

연구구역의 전반적인 지하수위 분포 및 유동경향을 구하기 위하여 수리모델링(MODFLOW)을 수행하였다. 모의발생을 위한 강우의 침투는 지하수 함양에 직접적인 영향을 미치는 강우, 증발산 하천유입 등을 고려하여 성산포와 대정의 년평균강우량(1961~2000)에 대한 평균침투량을 고려한 1.67mm/day를 분석에 적용하였다. 그리고 종·횡축에 있어 격자요소는 11×19개, 총격자수는 209개이고 격자간격은 150m로 구성하였다. 분석결과에 의한 등수두분포를 보면 지하수 유동분포는 한라산을 정점으로 하여 하류의 각 방향으로 고르게 유출되고 있는 것으로 분석되었다.

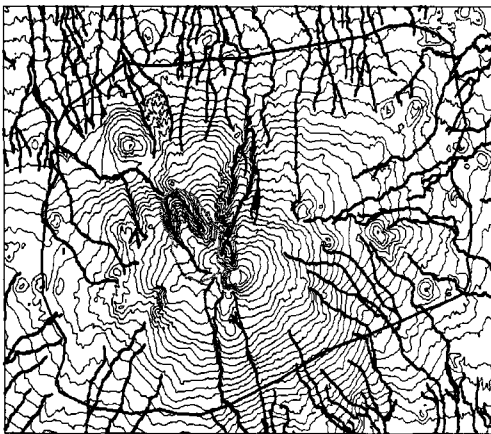


Fig. 1. River system of Mt. Hanla.



Fig. 2. Study area.

4. 지하수 함양특성 분석

4.1. 증발산량 분석

증발산량을 측정하는 방법은 잠재증발량, 기단이동법, 열수지법, 물수지분석, Thornthwaite의 공식이 있으나 지형적인 조건을 고려해서 분석방법을 Thornthwaite 공식으로 적용했다.

Table 4. Potential evapotranspiration according to snow storage in Mt. Hanla(Month 12, 1, 2)
(Unit : cm)

Dist.	12 month	1 month	2 month
Average temperature (℃)	0.2	0.5	2.7
Average sunshine hours (hr)	71.4	107.3	85.3
tn/5	0.16	0.1	0.54
$j=(tn/5)^{1.514}$	0.06	0.03	0.39
PEx	0.063	0.167	1.038
DT/360	0.014	0.008	0.047
PE	0.4	1.5	7.7

4.2. 유출 및 침투량 분석

본 분석에서는 한라산유역인 Y계곡유역에 적용할 용설을 고려할 수 있는 유출량 산정모델로서 TANK모델을 이용하여 유출량을 추정하였다. 실제 발생한 24시간(2003년 12월 15일)동안의 적설량 20cm가 용설할 시에 유출에 미칠수 있는 영향을 분석하기 위하여 TANK 모델을 이용한 결과 실제 유효유출량이 없는 것으로 나타났다.

Table 5. Infiltration of water Balance in Mt. Hanla

Division	Snow storage(cm)	Runoff(m ³ /s)	Evapotranspiration(cm)	Infiltration(cm)
2003. 12.	56.9	0	0.4	56.5
2004. 01.	124.5	0	1.5	123
2004. 02.	25	0	7.7	17.3
Total	206.4	0	9.6	196.8

Area	Infiltration of Hanla station (period : 03. 12~04.2)	Snow Density	Groundwater Recharge(ton)
153,386×10 ⁶ m ²	196.8 × 10 ² m	0.1	30,186,365

5. 결 론

본 연구에서는 한라산 유역에서의 적설이 지하수 함양에 미치는 영향조사를 위해 물수지 분석을 통한 유출, 침투, 증발산량을 규명하였으며 그 결과는 다음과 같다.

먼저, '03년 12월 ~ '04년 2월까지의 적설자료를 수집하여 Tank모델에 의해서 유출해석을 실시한 결과 용설에 의한 직접유출은 일어나지 않았다.

다음으로, 증발산량을 Thornthwait 공식에 의해 산정한 결과 9.6cm가 발생하였으며, 침투량은 196.8cm로 나타났다. 그리고 본 연구기간 내에 발생한 적설에 대한 물수지 분석 결과 한라산 적설이 지하수 함양에 미치는 영향은 30,186,365톤으로 나타났다.

마지막으로, 연구대상지역에서 현장 관측조사의 결과 표고 1,700m이상의 적설은 2월까지 는 동결된 결빙상태로 남아 있고, 표고 1000m까지는 해빙과 결빙이 반복적으로 일어나고 있어 용설에 의한 부분적인 지하수 침투가 일어나며, 표고 1,000m에서부터 표고 600m까지

의 지역인 경우 용설되어 지하침투가 활발히 일어나는 지역으로 나타났다.

참 고 문 헌

- Hubbert, M. K, 1940, The Theory of Groundwater Motion, J. Geol., 48. 26-47.
- Toth, J., 1963, A Theoretical Analysis of Groundwater Flow in Small Drainage Basins, J. Geophy. Res., 136-152.
- 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, 35-41.
- Wang, H. F., Anderson, M. P., 1982. Introduction to Groundwater Modeling-Finite Difference and Finite Element methods, W.H. Freeman and Company. pp.234-312.
- Gupta, S. K., Cole, C. R. and Pinder, G. F., 1984, A finite element three dimensional groundwater model for a multiaquifer system, WRR, 20, 5-156.
- 김영기, 1976, 반야월층의 지하수 유동에 관한 연구, 공산지질학회 논문집, 9(4), 141-153.
- 안종성, 1983, 동위원소를 이용한 한강유역내 지하수와 지표수의 연관성에 관한 연구, 한국수문학회지, 16(4), 541-552.
- 고병련, 1984, 제주도의 지하수 부존형태와 지하수위 변동에 관한 연구, 건국대학교 공학석사학위논문, 16-44.
- 최윤영, 2000, 화산도서유역에서 유한차분법을 이용한 지하수 유동특성, 한국수자원학회지, 33(5), pp.611-622.
- 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.412-446.