제주도 지역별 강수량과 지하수위의 관계와 효율적 관리 방안

방익찬*, 김기표**, 이준호*, 김성백***
*제주대학교 지구해양과학과, **제주특별자치도 환경자원연구원,
***제주대학교 컴퓨터교육과
e-mail:pangig@cheju.ac.kr

Local Relations between Precipitation and Underwater Level and Efficient Management Plan of Underwater in Jeju-do

Ig-Chan Pang*, Ki-Pyo Kim**, Joon-Ho Lee*, Seong-Baeg Kim***
*Dept of Earth and Ocean Science, Jeju National University
**Institute of Environment Research, Jeju Special Self-Governing Province
***Dept of Computer Education, Jeju National University

요 약

제주도의 강수량과 지하수위 상승의 관계와 비강수 때의 지하수위의 하강속도를 분석한 결과 제주도 동쪽 지역은 강우가 왔을 때 지하수위의 상승이 높지 않은데 비해 하강속도는 느리며 서쪽 지역은 강우에 의해 지하수위가 많이 상승하나 비가 오지 않으면 수위가 빨리 하강하였다. 제주도의 최대 함양부피는 강수량이 가장 많았던 2007년 태풍 나리 때 $1.67\times10^{10}m^3$로 나타났다. 만약 현재 추산되고 있는 제주도의 함양률 46.1%를 적용한다면 이 때의 함양량은 $0.34\times10^9m^2$이며 공극률은 약 5% 정도가 될 것으로 추정된다. 지하수위의 변동은 강수량에 의해 좌우 되는데 2001-2009년간의 평균 변동폭은 5.53m이다. 변동 폭이 많이 오른 때는 대부분 태풍이 지나간 후이며 가장 높은 변동폭은 2007년 9월에 태풍 나리 후의 14.74m이다. 최저의 평균 상승폭이 1m도 되지 않은 경우가 있으며 이럴 경우 심각한 물부족 현상이 나타날 수 있을 것으로 보인다. 강수량과 지하수위 관계를 분석한 결과 지하수를 대규모로 사용할 필요가 있을 때는 동쪽보다 서쪽지역이 유리한 조건을 가지고 있으며, 지하수위 상승폭이 작고 지하수위가 급격하게 낮아질 경우 지하수 사용량을 제한할 필요가 있을 것으로 보인다.

1. 서론

2003년도에 제주도는 강수량에서 증발량과 유출량을 제한 방법으로 제주도 지하수의 함양량을 총강수량의 46.1%인 1,581백만㎥/년으로 산정하였다 (제주도, 한국수자원공사, 2003). 이 방법은 강수량, 증발량, 유출량을 계산하는 간접적인 방법이며 오차가 많은 단점이 있다. 최근에는 지하수위의 자료가 많아졌기 때문에 지하수위의 변화로부터 함양부피를 직접 계산할 수 있게 되었다. 지하수위의 변화로부터 지하수 함양량을 추정하는 방법은 김 등(2004), 문 등(2001, 2002), 박 등(1999), 최(1998), Healy etc.(2002), Moon etc.(2004), Scanlon etc.(2002), Solomon etc.(1991) 등에 의해 연구되었으나 제주도에서는 아직 시도되지 않았다. 이 방법은 간접적인 방법과 함께 제주도의 지하수 함양량을 보다 정확하게 추정하는데 도움을 줄 수 있을 것이다.

그동안 기상청은 AWS 관측소를 27개 운영하며 중산간 지역을 포함한 제주도 전역의 강우량을 측정하고 있고 도 치수방재과에서는 재난방지용으로 강수량 관측소 39개소를 운영하고 있으며 제주도는 지하수 관리를 위해 100개소 이상의 관정에서 실시간으로 지하수위를 측정하여 제주도 지역별 물수지를 분석할 수 있는 자료가 마련되어 있다.

이 연구에서는 이러한 자료를 수집하여 우선 강수량에 대한 지하수위의 반응을 지역별로 분석하였으며 이러한 결과를 바탕으로 강수 때의 제주도 전체의 지하수 함양부피를 계산하고 강수가 없을 때 지하수위가 하강하는 속도를 구하였다. 함양부피를 구하기 위해 지역별 기준 지하수위를 정하였는데 기준 지하수위는 함양량을 구하는 데뿐만 아니라 비강수기 때 지하수 사용량 통제에도 필요한 기준이 될 수 있다. 이러한 결과는 강수량과 강수기간에 따른 지하수위의 변동과 비수기의 기간에 따른 지하수위의 변동을 추정할 수 있게 해 주며 지하수위 변화에 따

른 효율적 관리 방안을 도출하는 데 기초자료로 사용될 수 있을 것이다.

1.1. 함양량 산출 방법

기준지하수위를 구하고 강우 후 상승한 지하수위와 기준지하수위의 차이로부터 함양부피를 구한다. 이 함양부피에 공극률을 곱하여 함양량을 얻을 수 있다. 이 방법이 간단해 보이지만 실제로는 각 단계마다 해결해야 할 점들이 있다. 기준수위를 정하는 기준은 어떻게 정하며, 강우 후 지하수위가 최고로 상승하는 시간이 다르기 때문에 어느 시점을 정하는 가하는 점들이다.

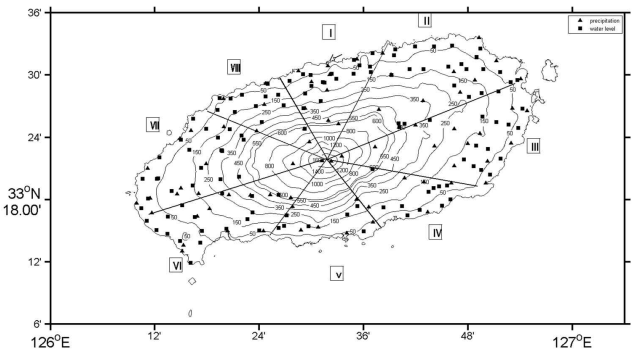
2. 연구 자료 및 방법

2.1 연구대상

2006년 1월 1일부터 2009년 7월 31일 기간의 강수량과 지하수위의 자료를 분석하였다.

2.2 자료

강수량이 관측된 지점은 총 70개 이며 이곳들은 크게 유인관측과 무인관측로 나뉜다. 지하수 관정은 총 118개 이며 이들 관정의 90% 이상이 해발고도가 이하인 곳에 위치해 있다. 강수량 관측소 및 지하수 관정의 위치는 그림1에 표시하였으며 편의상 그림1과 같이 8개 구역으로 나누어 분석하였다.

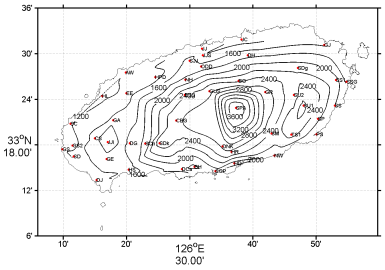


[그림 1] 관측된 강수량 정점(네모)와 지하수 관정(세모) (등고선은 해발고도)

3. 연구결과

3.1 강수량 변동

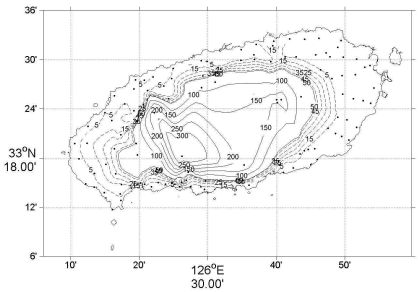
제주지역의 지역별 년평균 강수량은 그림3과 같다. 북쪽과 서쪽 해안지방의 강수량은 1200-1600 mm로 작은데 비해 남쪽과 동쪽의 해안 지방은 2000mm 이상으로 높다. 중산간으로 갈수록 강우량은 많아지며 한라산 부근에는 약 3600mm 이상까지 나타난다.



[그림 2] 평균강수량

3.2 지하수위 기준면

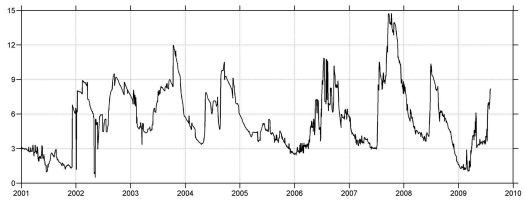
강수량에 따른 지하수위의 변동이나 강수량에 따른 함양량을 구하기 위해서는 지하수위 기준면이 필요하다. 기준면은 강수량에 의해 지하수면이 높아진 후 다시 되돌아오는 수위로 정할 수 있으며 제주도 전체의 지하수위 기준면 분포를 그린 것이 그림3이다. 50m 이하의 기준면은 동쪽에서 폭 넓게 분포하며 남쪽에서는 폭이 매우 좁다. 중산간에서는 기준면의 위치가 높아지지만 전체 분포를 정확하게 나타내기에는 관정의 수가 충분하지 않다.



[그림 3] 지하수위 관측값(2006-2009)으로 구한 제주도의 지하수위 기준면

3.3 지하수위 변동

그림4는 그림3의 기준면으로부터 제주도 전역에 걸쳐 내삽으로 구한 지하수위의 평균 변동을 나타낸 것이다. 변동 폭이 많이 오른 때는 대부분 태풍이 지나간 후이며 가장 높은 변동폭은 2007년 9월에 태풍 나리 후의 14.74m이다. 2001-2009년 간의 평균 상승폭은 5.53m이다. 최저의 평균 상승폭이 1m도 되지 않은 경우가 있으며 이럴 경우 심각한 물부족 현상이 나타날 수 있을 것이다.



[그림 4] 제주 전 지역에서 기준면으로부터의 평균 수위 변동 (2001년 1월 ~ 2009년 7월)

3.4 최고 상승수위 및 상승·하강 시간과 반응도

최고 강수량이 있은 후 지하수위의 반응을 알아보기 위해 최고 수위에 도달하는 데 걸리는 시간과 다시 기준수위로 돌아가는데 걸린 시간도 표1에서와 같이 구하였다. 최고 강수량에 의해 최고 수위에 도달하는 시간은 제주도 전역의 평균이 약 9.2일이며 다시 최저 수위로 돌아가는데 도달하는 시간은 제주도 전역의 평균이 약 89일이다. 동쪽 지역은 다른 지역에 비해 최고 수위에 도달하는 시간이 짧으며 최저 수위에 도달하는 시간은 길다.

강수량에 대한 지하수위의 반응도와 비가 오지 않을 경우 지하수위의 반응도를 표1과 같이 구하여 보았다. 이들 값들은 임의의 값으로서 절대적인 값은 의미가 없으며 상대적인 값들이 의미를 갖는다. 강수에 대한 지하수면의 상승 반응이나 지하수면의 하강 반응 모두 서쪽 지역이 동쪽 지역에 비해 크다.

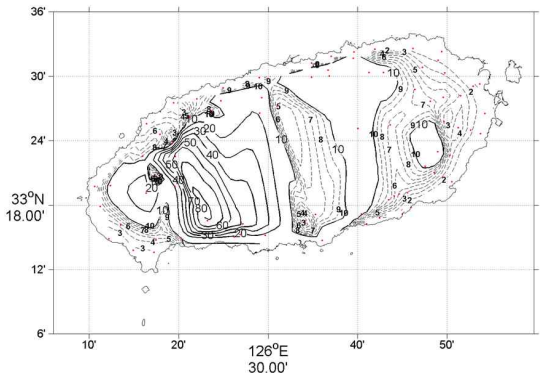
이 값들은 강수기의 지하수위의 변동과 비수기의 기간에 따른 지하수위의 변동을 추정하는 데 사용될 수 있으며 특히 비수기의 장기화나 지하수의 과다한 사용 시 사용량을 통제할 필요한 있는 지하수위를 파악하는 데에도 사용할 수 있을 것이다.

[표 1] 최고 강수량이 온 후 각 관정별 지하수위 변동과 관련된 값들

구역	$L_m - L_b$	최고수위까지 걸린시간(T_r)	최저수위까지 걸린시간(T_d)	강수량(P_r)	$\frac{L_m - L_b}{P_r T_r}$	$\frac{L_m - L_b}{T_d}$
1	12.99	11.4	90.3	439.0	2.596E-03	1.439E-01
2	6.91	7.6	102.3	495.4	1.831E-03	6.752E-02
3	5.26	5.7	104.8	363.8	2.524E-03	5.018E-02
4	4.50	7.6	101.4	392.7	1.515E-03	4.432E-02
5	21.67	10.2	100.8	440.0	4.828E-03	2.150E-01
6	15.85	7.9	44.4	218.3	9.244E-03	3.568E-01
7	17.46	10.4	76.8	282.0	5.927E-03	2.274E-01
8	6.89	12.5	98.8	508.3	1.084E-03	6.975E-02
평균	11.44	9.2	89.0	392.4	3.169E-03	1.285E-01

3.5 지하수 함양부피, 함양량, 공극률

최대 함양부피을 구하기 위해 2007년 9월 22일의 최대 강수량 후제주도 전역의 평균 지하수위가 가장 높았던 때의 최고상승분포는 그림5와 같으며 최대함양부피는 약 $1.672 \times 10^{10} m^3$로 나타났다. 만약 제주도청의 추산인 함양률 46.1%를 적용한다면 최대 강수 후의 함양량은 $0.34 \times 10^9 m^2$이어야 하며 공극률은 약 5% 정도가 되어야 한다. 이 방법의 문제 중의 하나는 지하수위 값들이 자유수면 수위인지 피압수면 수위인지 알 수 없다는 것이다. 그림3의 기준면분포와 그림7의 최고 상승 수위 분포를 보면 중산간으로부터 해안가로 갈수록 낮아지는 경향이 유지되고 있어 특별히 피압대수층에 의한 지하수면의 불연속은 없어 보인다.



[그림 7] 최고 상승수위 분포

4. 결론

지하수위의 변동은 강수량에 의해 좌우 되는데 2001- 2009년간의 평균 상승폭은 5.53m이다. 변동폭이 많이 오른 때는 대부분 태풍이 지나간 후이며 가장 높은 변동폭은 2007년 9월에 태풍 나리 후의 14.74m이다. 최저의 평균 상승폭이 1m도 되지 않은 경우가 있으며 이럴 경우 심각한 물부족 현상이 나타날 수 있을 것이다. 2006년부터 2009년간의 지하수면의 변화는 많은 강수량이 있을 때인 2006년 7월과 2007년 9월에 높아졌고 다른 기간에는 하강하는 형태를 나타내고 있다. 이것은 제주도 지하수면의 유지에 많은 강수량이 필요하다는 것을 보여주고 있다. 단, 지하수면이 상승하거나 하강하는 기간이 길기 때문에 많은 강수량이 자주 필요한 것은 아니다.

지하수 함양량을 계산한 결과는 오차를 포함하고 있어 기존의 결과보다 더 정확하다고 말하기는 어려울 수 있다. 그러나 이 결과들은 우리가 지금까지

사용하고 있었던 값들을 새로운 방법으로 계산해 볼 수가 있으며 그 값들이 우리가 현재 사용하고 있는 값들과 다를 수 있다는 것을 말해 준다. 더 정확한 제주도 지하수 함양량을 계산하는 것은 앞으로의 과제일 것이다.

감사의 글

본 연구는 교육과학기술부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 광역경제권 선도산업 인재양성사업의 연구결과입니다.

참고문헌

[1] 문상기, 우남칠, 2001, 누적 강수량과 지하수위 곡선을 이용한 지하수 함양률 추정기법, 지하수 토양환경, 6(1), 33-43.