

# 가뭄 평가 · 예측을 위한 가뭄 관측정(Drought Index Well)의 설치

김규범, 손영철, 윤한흠\*

한국수자원공사 국가지하수정보센터, \*한국수자원공사 조사기획처

gbkim@kowaco.or.kr

## 요 약 문

가뭄의 정도를 정량화하고 예측하기 위하여 다양한 가뭄지수중 가장 일반적으로 사용되는 것 들로는 PDSI(Palmer Drought Severity Index), SWSI(Surface Water Supply Index) 및 SPI(Standard Precipitation Index) 등이 있다. 본 연구에서는 가뭄을 평가하는 방법 중 표준강수지수(SPI)를 활용한 가뭄도 산정 결과와 지하수위 관측자료간의 상관성을 평가함으로써 향후 지하수위 자료를 활용한 가뭄 평가의 가능성을 제시하고자 하였다. 본 연구 결과, 충주가금, 양평개군, 문경문경 및 영주문정 관측소 지역에서 가뭄 평가 인자인 표준강수지수와 지하수위는 비교적 상관성을 갖고 있는 것으로 분석되었으나, 표준강수지수 보다 지하수위 변동이 가뭄에 민감하지 않고 지속성과 연속성을 갖는 것으로 평가되어 가뭄 평가 인자로서 활용성이 높을 것으로 평가되었다. 이들 지역의 표준강수지수 및 지하수 수위 관측자료 간의 교차상관계수는 충주 0.750, 양평 0.533 및 영주 0.607 등으로 분석되어 상관성이 높은 것으로 나타났다. 가뭄 평가를 위한 가뭄 관측정(DIW, Drought-Index Well)은 주변의 영향을 최소화할 수 있는 지점으로서 가뭄을 정확히 평가·예측할 수 있는 지점에 선정되어 가뭄 평가 및 예측에 활용 될 수 있도록 하여야 한다.

**key word** : 표준강수지수, 지하수 관측정, 교차상관계수, 가뭄관측정

## 1. 서 론

가뭄의 정도를 정량화하고 예측하기 위하여 다양한 가뭄지수가 개발되어 있으며, 가장 일반적으로 사용되는 것 들로는 PDSI(Palmer Drought Severity Index), SWSI(Surface Water Supply Index) 및 SPI(Standard Precipitation Index) 등이 있다. 본 연구에서는 가뭄을 평가하는 방법 중 표준강수지수 (SPI)를 활용한 가뭄도 산정 결과와 지하수위 관측자료간의 상관성을 평가함으로써 향후 지하수위 자료를 활용한 가뭄 평가의 가능성을 제시하고자 하였다. 일반적으로 지하수위는 강우에 대한 반응이 지표 수보다 느릴 뿐 아니라 지하수의 순환 흐름이 지하 심부를 통과하는 것과 천부를 통과하는 것 등에 의하여 복합적으로 영향을 받기 때문에 지하수위의 변동 특성은 수시간~수일 정도의 단기간의 외부 인자 변화 특성을 잘 반영할 뿐 아니라 수개월 이상의 장기간의 변화 경향도 함께 갖게 된다. 즉, 장기적인 가뭄에 의하여 나타나는 지하수 수위 강하 패턴은 강수에 대한 반응정도가 지표수와 달리 서서히 지속적으로 나타남을 예상할 수 있다. 따라서, 이와 같은 지하수 수위 반응 및 강하 패턴이 표준강수지수와 밀접한 관련이 있고 특정 모델로 대표될 수 있다면 지하수 수위 자료를 활용하여 단기간의 가뭄을 예측 및 평가할 수 있는 방안이 제시될 수 있을 것이다.

## 2. 표준강수지수에 의한 가뭄 평가

표준강수지수는 각 시간 규모에 대한 강수량의 확률에 근거한 지수이다. 이 지수는 미국의 많은 가뭄대비 계획에 이용되고 있으며, 전문가들은 표준강수지수의 다용성을 높이 평가하고 있는 편이다. McKee et al.(1995)은 가뭄은 상대적으로 물의 수요에 비해 물의 부족을 유발하는 것은 강수량의 감소에 의해 시작된다는 것에 착안하여 표준강수지수를 개발하였다. 2001년 봄가뭄 기간의 가뭄정도를 표준강수지수를 이용하여 표현하기 위해 기상청 측후소의 강수량 자료를 이용하였다. 1973년도부터 2001년까지의 일단위 강수자료를 수집하여 4월에서 6월까지 기준일자 별로 지속기간 3개월의 계열을 선정하였다 (건설교통부·한국수자원공사, 2005). 기준일자는 각 월별 주단위 분석을 위해 7, 14, 21, 30(31)일을 기준으로 정리하였다. 본 분석에 이용된 기상청 측후소는 가뭄이 극심하였던 중부지역의 측후소 4개소 (충주, 양평, 문경, 영주)를 대상으로 하였다(Table-1).

Table-1. Meteorological observation data used for SPI analysis

Location of weather station	Chungju, Yangpyung, Munkyoung, Yeongju
Periods of analyzed data	from 1973 to 2001

Table-3. Results of SPI index from 3/1 to 6/30 for four weather stations

Date	Chungju	Yangpyung	Munkyoung	Yeongju
3 /7	-0.060	0.452	1.243	0.201
3 /14	-0.660	-0.805	2.098	-0.445
3 /21	-1.300	-0.755	2.459	-1.096
3 /31	-0.820	-0.442	-0.795	-0.627
4 /7	-0.732	-0.877	-0.032	-0.719
4 /14	0.106	0.259	-1.102	0.008
4 /21	-1.322	-0.978	-1.231	-1.231
4 /30	-1.174	-1.384	0.157	-1.334
5 /7	-0.950	-0.237	-0.782	-0.456
5 /14	-1.159	-1.298	-1.107	-1.237
5 /21	-1.300	-1.184	0.116	-1.521
5 /31	-0.591	-0.415	0.257	-0.612
6 /7	-1.270	-0.745	-1.215	-1.107
6 /14	-0.870	-0.946	-1.300	-0.110
6 /21	1.161	0.905	-0.768	1.462
6 /30	1.085	0.825	-1.093	0.927

확률분포형은 Pearson Type-III분포를 선정하고 확률가중모멘트법(PWM)을 이용하여 매개변수를 산정하였다. 그 다음 각 계열의 변량에 대한 누가확률값을 계산하여 그에 해당하는 표준정규분포의 Z값을 구하는데 이것이 바로 표준강수지수가 된다. 이상 계산된 결과는 Table-2와 같다. Table-2에서 보는 바와 같이 가뭄은 3월 하순부터 시작되어 6월초까지 계속되었으며, 특히 표준강수지수가 -1 이하의 값을 보이는 5월 중하순이 가장 가뭄이 심했던 것으로 분석되었다.

## 3. 표준강수지수와 지하수 수위의 상관성

본 연구에서 활용된 국가지하수 관측소는 충주가급, 양평개군, 문경문경, 영주문정 등이 해당된다. 분석에 활용된 관측기간은 가뭄현상이 극심하였던 2001년 3월초부터 가뭄이 해소되는 6월말까지로

하였다. Figure 1은 4개 국가지하수관측소 지역에서의 2001년 1월부터 7월까지 지하수위 변동 자료와 각 관측소 개시 년도부터 2003년까지의 평균 지하수위 변동자료를 비교한 것이다 (건설교통부·한국수자원공사, 2004a). 그림에서 보는 바와 같이, 문경문경관측소를 제외한 나머지 관측소는 2001년의 1월, 2월 및 3월의 지하수위가 예년보다 높았으나, 몇 개월 간 계속된 무강우가 지하수위에 반영되면서 4월부터는 평균 지하수위보다 낮아지는 특성을 보이고 있다. 이와 같은 그래프의 양상으로부터 전체 관측 기간 동안의 지하수위 자료와 특정 년도의 자료를 비교함으로써 가뭄을 평가할 수 있음을 알 수 있다.

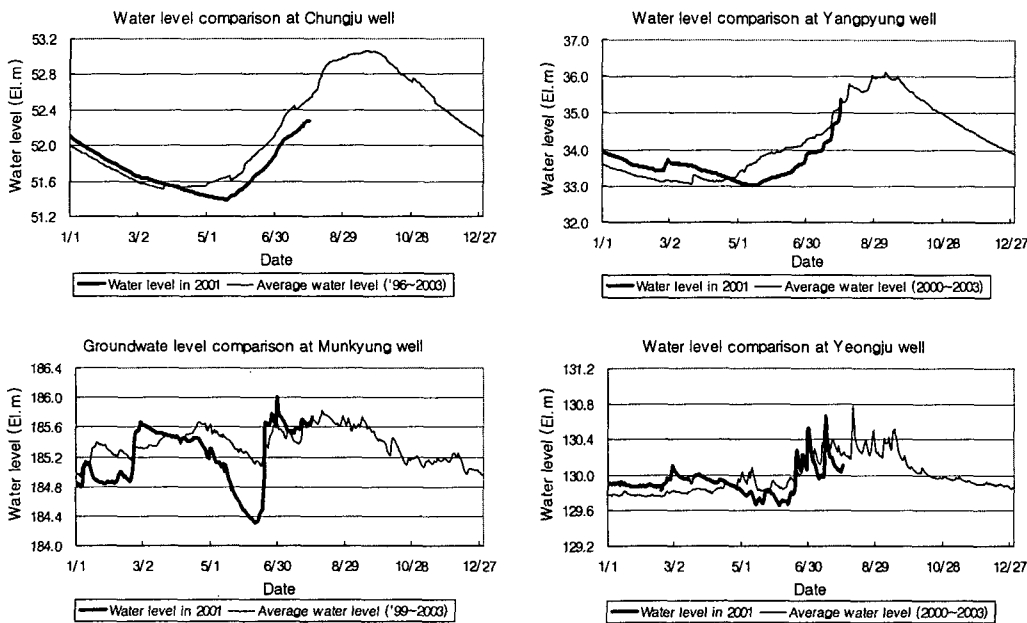


Figure 1. Groundwater level time series in 2001(January~July) and average water level

표준강수지수와 지하수 수위 변동간의 상관성을 평가하기 위하여 Pearson 상관계수를 분석하였다. 충주가금, 양평개군, 영주문정 관측소의 경우 표준강수지수와 지하수 수위 변화가 95% 신뢰수준에서 밀접한 관련이 있는 것으로 분석되었으며, 문경문경 관측소는 90% 신뢰수준에서 관련성이 있는 것으로 나타났다. 충주가금, 양평개군 및 영주문정 지하수 관측소의 경우 Pearson 상관계수는 0.750, 0.533 및 0.581 등의 상관계수를 보이며, 문경지역도 0.358로서 약간의 상관성을 보이고 있다. 문경문경 지하수 관측소에서 상관성이 다소 낮은 것은 기상청 측후소와 국가 지하수 관측소가 약 20km 정도 떨어져 있고 (타지역은 10km 이내 위치) 산악지역에 분포하는데 기인하는 것으로 추정된다. 한편, 지하수위와 표준강수지수 사이에는 시간에 따른 상호 상관성이 존재하는 자료이기 때문에 산점도 및 단순회귀식에 의한 결과는 시계열 자료의 특성을 갖는 관측자료를 설명하기에는 다소 미흡하다. 따라서, 이와 같은 2개의 시계열 자료들 간의 시간적 상관관계, 즉 시차를 고려한 상관관계를 분석하기 위하여 교차상관분석을 실시하였다 (건설교통부·한국수자원공사, 2004b; 이명재 외, 2004). 문경지역을 제외하고 3개 지점의 교차상관계수는 충주 0.750, 양평 0.533 및 영주 0.607 등으로 분석되어 상관성이 매우 높은 것으로 나타났다. 또한 두 인자간의 선행지수는 충주와 양평지역은 0으로서 거의 동시적인 상관성을 보이고 있으며, 영주지역의 경우에는 lag k = -1 로서 표준강수지수가 지하수위의 변화에 비하여 단위시간 1 (여기에서는 약 1 주일) 만큼 선행함을 알 수 있다.

#### 4. 가뭄의 단기 예측을 위한 지하수위 활용성 검토

4개 관측소의 2001년 3월 1일부터 4월 15일까지 기간동안의 지하수위 변화는 선형회귀식으로 표현된다. 구축된 선형회귀 모델을 활용하여 2001년 4월 16일부터 5월 15일까지의 지하수위 변동을 예측하여 보았다(Figure 2). 충주가금 및 양평개군 지하수 관측소의 지하수위는 실제값과 예측값이 거의 일치하고 있으며, 문경문경 및 영주문정 지하수 관측소의 경우에도 변화 경향성을 잘 반영해주고 있다. 이들 각 관측소 지하수위의 예측값과 실제값의 교차상관계수는 충주 0.985, 양평 0.991, 문경 0.960 및 영주 0.906 등으로서 높은 상관 관계를 보인다.

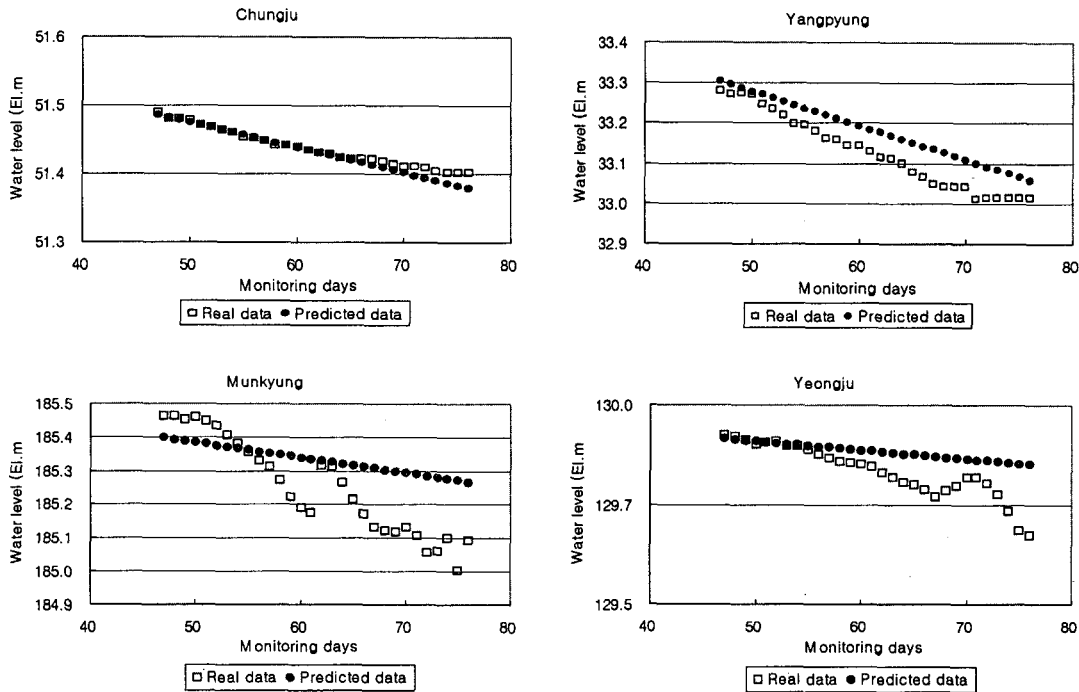


Figure 2. Real and predicted data of groundwater level from 16/04/2001 to 15/05/2001

### 5. 가뭄관측정(Drought-index well)의 설치 및 가뭄대책 추진

지하수는 지표수와 달리 기후조건에 반응하는 시간이 상대적으로 느릴 뿐만 아니라 서서히 변화하는 특성을 갖고 있다. 결과적으로 지하수에 대한 평가와 분석은 일반적으로 연간 지하수 함양량의 분석 등과 같은 장기간의 평균 기후조건에 의존한 결과들을 도출한다. 단기간의 가뭄 평가·예측은 가뭄이 발생하기 시작한 이후 수일 또는 수주간의 지하수위 변동 자료를 토대로 향후 수일 내지 수주간의 지하수위 변화를 예측하고 관련된 가뭄의 정도를 평가하는 것이다. 본 연구의 표준강수지수와 지하수위 상관관계로부터 도출된 결과는 이와 같은 단기간의 가뭄 예측에 유용하게 사용될 수 있을 것이다. 장기간의 가뭄 평가는 가뭄 관측정으로부터 취득된 정보를 토대로 매월 단위로 높은 지하수위 분포, 평균 지하수위 분포 및 낮은 지하수위 분포 등을 지역별로 도시한 2차원 도면을 작성하고 이를 가뭄 예보에 활용하게 된다.

본 연구에서 분석된 4개 지하수 관측소는 2001년 가뭄 극심 지역 중에서 강우량과의 상관성이 특히 높은 관측소를 추출한 것으로서, 분석 결과 이들 4개 지하수 관측소에서는 지하수위와 강우량 간의 상관성이 높은 것으로 나타나 가뭄관측정의 필요성이 증명되었다 할 수 있다. 가뭄 관측정의 위치는 수문지질단위(Hydrogeologic unit)의 성격이 규명된 지역, 기상변화에 민감한 자유면 대수층(Unconfined aquifer) 분포지역, 주변의 인위적 양수 영향이 없는 지역, 관개·용수로 등 인위적인 함양원이 없는 지역, 장기적으로 관측정 운영이 가능한 지역 및 우물이 마르지 않는 지역 등을 대상으로

하여야 한다. 부가적으로 지하수위 강하자료의 해석을 위해서 장기간의 기존 지하수위 자료가 있어야 하며 관측정 지점에 대한 완전한 수리특성 해석자료가 있어야 한다.

## 6. 결론 및 건의

본 연구 결과, 충주가읍, 양평개군, 문경문경 및 영주문정 관측소 지역에서 가뭄 평가 인자인 표준강수지수와 지하수위는 비교적 상관성을 갖고 있는 것으로 분석되었으나, 표준강수지수 보다 지하수위 변동이 가뭄에 민감하지 않고 지속성과 영속성을 갖는 것으로 평가되어 가뭄 평가 인자로서 활용성이 높을 것으로 평가되었다. 본 연구에서는 건설교통부 및 한국수자원공사에서 운영하는 국가지하수 관측소의 지하수위 자료를 활용하였으나, 모든 국가지하수 관측소가 가뭄 관측정의 역할을 병행할 수는 없을 것으로 판단된다. 가뭄 관측정은 가뭄을 정확히 평가·예측할 수 있는 지점에 선정되어야 하므로 일부 국가지하수 관측소가 가뭄 관측정으로 겸용될 수는 있을 것으로 본다. 따라서, 최근들어 심해지고 있는 이상 가뭄에 능동적으로 대처하기 위해서는 가뭄 전용 관측정(DIW: Drought-Index well)의 설치가 조속히 추진되어야 할 것이다.

## 참고문헌

- 건설교통부·한국수자원공사, 2004(a), 지하수관측연보  
건설교통부·한국수자원공사, 2004(b), 국가 지하수관측망 관리시스템 보고서  
건설교통부·한국수자원공사, 2005, 가뭄관리정보체계구축 보고서 (미발간)  
오광우, 이성덕, 이우리, 2000, 시계열 분석 입문 및 응용, 탐진출판사, 서울  
이명재, 김규범, 손영철, 이진용, 이강근, 2004, "국가 지하수 관측소 지하수위 자료에 대한 시계열 분석 연구", 대한지질학회지 40(3), pp.305~329  
Alley, W.M., 2001, "Groundwater and climate, Groundwater", 39(2), p.161  
Kim, G.B., 2005, Nationwide monitoring and assessment of groundwater in Korea (unpublished Ph.D thesis), Seoul National University, Korea  
McKee, T.B., Doesken, N.J., and Kleist, J., 1995, "Drought monitoring with multiple times scales", Preprints, 9th conference on applied climatology, 15~20 January, Dallas, TX, pp.233~236  
Taylor, C.J., and Alley, W.M., 2001, Ground-water-level monitoring and the importance of long-term water-level data, U.S. Geological Survey Circular 1217  
Wilhite, D.A., and Glantz, M.H., 1993, "Understanding the drought phenomenon: the role of definition", Water international, 10, pp.111~120