

쌍천유역의 지하수위와 용설 효과를 고려한 GOI의 상관관계

The Correlation between Groundwater Level and GOI with Snowmelt Effect in Ssangchun Watershed

양 정 석* / 임 창 화** / 박 재 현*** / 박 창 근****

Yang, Jeong-Seok / Lim, Chang Hwa / Park, Jae-Hyeon / Park, Chang Kun

Abstract

Snowmelt effect is identified from the analysis of the relationship between precipitation and groundwater level(GWL) data and Severe drawdown of GWL is observed in drought. Groundwater dam Operation Index (GOI), which is developed for the optimal operation of groundwater dam, is calculated by taking common logarithm of the moving average(MA) of precipitation data for a certain period. The period can vary from watershed to watershed because the period is decided by picking the maximum correlation coefficient between GWL and GOI of several MAs of precipitation. For Ssangchun watershed, the correlation was the strongest when we apply 70 day MA for GOI calculation. Snowmelt effect is considered by applying the temperature change by elevation(0.5°C decrease per 100m) and examining the areal distribution of the watershed by elevation. Snow event is assumed when the daily average temperature is below 0°C and snowmelt is assumed when the temperature is above zero degree Celsius. Total snowmelt is assumed for the day. When the snow event is occurred the precipitation data is separated into two components, snow and rainfall. The areal distribution by elevation is used for the calculation in the separation. The correlation between GWL and GOI is higher when we consider snowmelt effect than we neglected it.

keywords : Groundwater dam, Moving Average of precipitation, GOI, snowmelt effect

요 지

쌍천 유역의 강수량과 지하수위의 관계를 분석한 결과 용설 효과를 확인하였고 갈수기에 지하수위가 현저히 저하됨을 확인하였다. 지하댐 운영을 위해 개발된 Groundwater dam Operation Index(GOI)는 이동평균값을 사용하여 상용 로그값을 취한 것으로 지하수위와의 상관관계를 분석하여 비교적 높은 상관관계가 있을 시 지하댐 운영지표로 사용하는데 목적을 두고 개발되었다. 그러나 유역별, 자료별로 이동평균기간이 다를 수 있기 때문에 여러 이동평균기간을 정하여 각각 상관계수를 구한 후에 가장 높은 상관관계를 가지는 이동평균기간을 선택하게 된다. 이 과정에서 70일 이동평균값이 가장 높은 상관관계를 보여주었다. 용설 효과를 고려하기 위해서 먼저 유역의 DEM 자료를 이용하여 100m 간격으로 고도별 면적분포를 구하고 기온이 100m당 0.5°C씩 감소하는 것을 고려하여 강수사상이 발

* 인제대학교 토목공학과 연구교수, Research Professor, Dept. of Civil Engineering, Inje University, 607 Obang-Dong, Kimhae, Gyeongnam, 621-749, Korea (e-mail: jsyang@inje.ac.kr)

** 인제대학교 토목공학과 대학원생, Graduate Student, Dept. of Civil Engineering, Inje University, 607 Obang-Dong, Kimhae, Gyeongnam, 621-749, Korea (e-mail: lchsan@naver.com)

*** 인제대학교 토목공학과 조교수, Assistant Professor, Dept. of Civil Engineering, Inje University, 607 Obang-Dong, Kimhae, Gyeongnam, 621-749, Korea (e-mail: jh-park@inje.ac.kr)

**** 관동대학교 SOC공학부 부교수, Associate Professor, School of SOC Engineering, Kwandong University, San-7, Imcheon-Ri, Yangyang-Eup, Yangyang-Gun, Gangwon-Do, 251-802, Korea (e-mail: ckpark@kwandong.ac.kr)

생하면 0도 이하가 되는 고도에서는 강설사상이 발생하는 것으로 가정하였다. 이 때 고도별 면적분포에서 구해지는 면적비를 고려하여 강수사상을 강우와 강설로 나누었다. 이후에 고도를 고려한 기온이 0°C 이상인 날에 그 고도의 설적이 모두 녹는 것으로 가정하였고 강우가 발생한 것으로 처리하였다. 이렇게 수정된 강수자료를 이용하여 이동평균을 구하여 지하수위와의 상관관계를 구해본 결과 쌍천 유역의 2003년부터 2005년까지 2개년 자료에 대해서는 대체로 70일 이동평균을 이용한 GOI가 지하수위와의 상관관계가 높으며 용설을 고려했을 때 상관관계가 더 높아짐을 알 수 있다.

핵심용어 : 지하댐, 강우이동평균, GOI, 용설 효과

1. 서론

산업과 경제의 발전에 따라 용수 수요는 지속적으로 증가하고 있고 도시화의 가속화로 인한 불투수면의 증가로 기저유출이 감소되고 있다. 우리나라도 매년 산업화·도시화로 인한 용수부족으로 국지적인 제한급수를 실시하는 등 점차 물 문제가 중요한 사회 문제로 떠오르고 있는 가운데 새로운 대체 용수원의 개발이 시급하게 대두되어지고 있다. 이 가운데 지하댐(Groundwater dam) 건설에 의한 지하수자원의 개발이 제한된 수자원을 보다 효과적으로 사용하기 위한 하나의 방법으로 고안되어졌다. 지역적·지질학적으로 지하댐이 설치 가능한 곳에서 이를 설치하여 이용할 경우 대용량의 취수는 물론 댐과 같은 대형 구조물을 설치하지 않고 환경 피해를 최소화할 수 있으므로 환경친화적인 시설이라 할 수 있으며 경제적인 측면에서 다목적댐을 설치하고 취수하는 것보다 생산비가 훨씬 저렴해 진다. 우리나라의 경우 쌍천 유역의 지하댐을 좋은 예로 들 수 있다. 그러나 지하댐 개발의 계획과 운영에 있어서 지하수위 변동으로 인한 주변 피해를 고려하여 개발하고 운영하여야 한다. 지하수위의 변동은 강수사상(precipitation event)과 침투(infiltration)과정에서 침투(percolation)를 통하여 강우가 지하수계(groundwater system)로 유입됨으로서 일어난다. 여기서 갈수기에 갈수량지수를 산정하는 과정(Wilhite, 1985)에서 사용되어지는 이동평균방법(Guttman, 1999)을 사용하여(McKee(1995), 이상일(2004)) 지하댐의 최적화된 운영을 위한 지표로서 지하댐 운영지표(Groundwater dam Operation Index, GOI)가 개발되었고(박재현 등, 2005), 본 연구에서는 쌍천 유역 지하댐의 수문학적인 메커니즘을 이해하기 위해 수문학적인 자료와 지하수위자료를 비교 분석 하였다. 또한 강우량을 이동평균한 값에 로그를 취한 GOI를 구하여 지하수위와의 상관관계를 분석하였다. 쌍천 유역은 설악산을 포함하는 강설량이 다소 많은 유역이고 용설에

의한 영향이 지하수위에 미칠 것으로 사료되는 유역이다. 지하수위자료의 분석결과 강수사상이 일어나지 않아도 1월부터 4월말까지 간헐적인 지하수위의 상승이 관측되었고 다른 기간에서는 이런 현상이 관측되지 않았다. 이 현상을 용설로 기인한 지하수위 상승으로 가정하고 고도에 따른 온도의 습윤단열감률(-0.5°C/100m)과 유역의 고도별 면적비를 이용하여 강수량을 강우량과 강설량으로 나누었고 이러한 강설사상에 따른 용설 효과를 고려한 GOI와 지하수위와의 상관관계를 구해보았다.

2. 쌍천유역

2.1 유역특성

쌍천 유역은 통상 외설악으로 명명되는 설악산 국립공원의 북동부에 해당하며, 유역면적은 65.33km²이며, 행정구역 분할로 유역의 북반부는 속초시에 속하며 남반부는 양양군에 소속되어 있다. 쌍천 지하댐은 쌍천유역에 하구에 위치하고 상수원으로 43,000m³/day의 수원을 개발한다(속초시, 2003). Fig. 1은 쌍천 유역의 수치지형(DEM)을 보여 주고 있다. 그림에서 쌍천 유역 DEM 자료에 나타난 바와 같이 하류부에서는 하천이나 골짜기의 발달이 빈약하고, 상류부에서는 수계의 발달이 상대적으로 양호한 편이다. 쌍천의 유로연장은 19km이고 서쪽에서 동쪽으로 흘러 동해로 흘러간다.

2.2 수문학적 특성

쌍천 유역 전체의 기상학적 특성을 분석할 수 있는 공인된 기상관측소는 없는 실정이므로 유역의 북반부를 포함하는 속초시의 속초관측소의 관측기록을 본 연구에 이용하였고 속초관측소로부터 기온, 상대습도, 강수량, 증발량, 풍속 등의 자료를 확보하였다. 10년 동안 연평균 기온은 12.0°C이고, 최고기온 및 최저기온은 1997년 8월의 35.9°C, 1981년 2월의 (-)16.2°C이며, 연평균 상대습도는 67.1%, 최소상대습도는 1981년 4월의 7.0%이다.

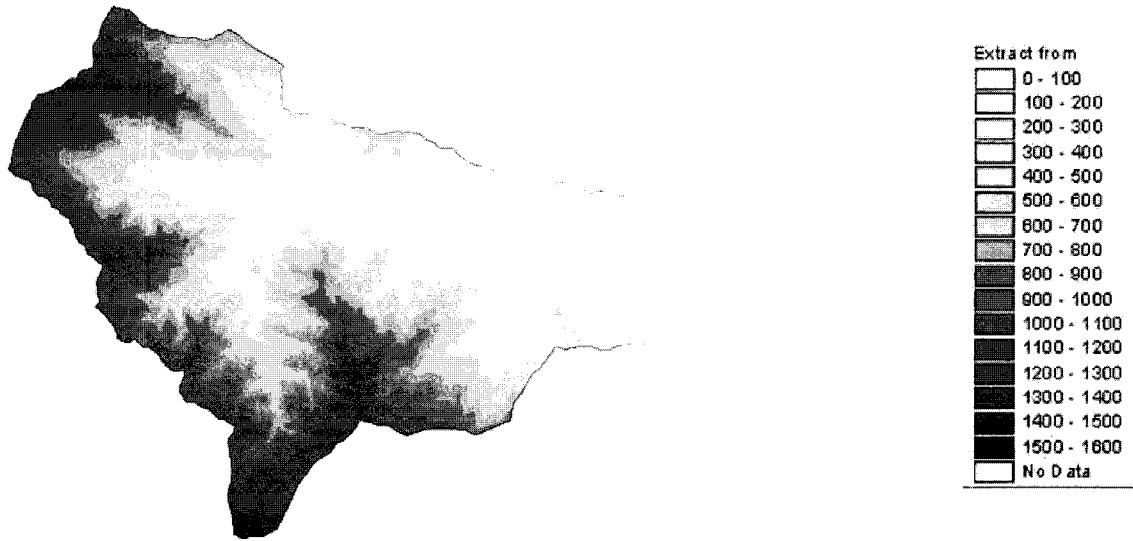


Fig. 1. DEM of Ssangchun watershed

한편, 연평균 증발량은 1991년 이후의 기록이 없으며, 1991년 이전의 연평균 증발량은 1,290mm이고, 일최대 증발량은 1980년 6월의 18.5mm로 나타났다. 연평균 풍속은 3.1m/sec 이다. 속초지역의 1995년부터 2004년까지 10년 동안의 연 평균 강수량은 연 1,481mm로서 우리나라 연 평균 강수량인 1,283mm에 비하여 200mm가 많은 양이다. 그러나 연 강수량의 2/3가 하절기인 6~9월의 장마와 태풍기간에 집중되고, 11월부터 익년 4월까지 6개월간의 강수량은 연 강수량의 1/5에 불과하다. 지형의 특성상 하폭과 유풀 폭이 좁고 유로연장이 짧으

며 하천경사(1/25~1/88)가 급하기 때문에 유출계수(= 유출량/강수량)가 여타의 일반 하천과 비교하여 상대적으로 크다. 이는 호우 시 하천유량이 급속히 바다로 유출됨을 말하고, 따라서 쌍천은 평상시 수량이 풍부하지 못한 건천을 이루고 있다.

3. 쌍천유역의 강수량과 지하수위의 분석

쌍천 유역의 강수량자료와 지하수위자료(Fig. 2)를 분석해 본 결과 강우의 경우 강우사상(rainfall event)

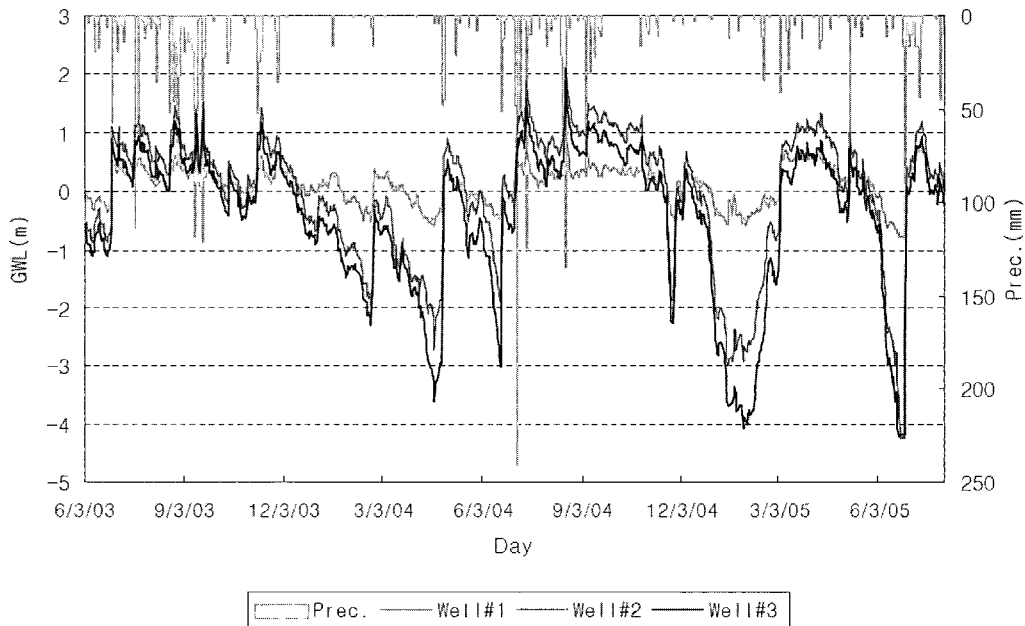


Fig. 2. Precipitation and GWLs in Ssangchun watershed

당일이나 1~2일 후까지 지하수위 상승효과를 볼 수 있다. 분석된 기간은 지하수위 관측자료가 확보된 2003년 6월부터 2005년 7월까지이다. 관측공의 위치는 유역의 최하류단에 설치된 지하댐으로부터 상류 쪽으로 약 10~120m 떨어져 있다. 관측공 1(EL. 2.547m)에서 측정되는 지하수위자료는 관측공이 해안으로부터의 염수침입을 모니터링하기 위해 지하댐과 가까이 설치되어 있어서 불투수면인 지하댐의 영향을 받을 것으로 보이고 관측공 2(EL. 2.706m)와 3(EL. 3.309m)은 이러한 영향이 없을 것으로 사료된다. 동절기 강수량(강설자료)과 지하수위자료에서는 강수량이 없는데도 약 1~5일 간격으로 지하수위가 다소(1~24cm) 상승하는 것을 볼 수 있다(12/9/2003~3/21/2004). 같은 해 4월 17일 까지도 강우와 관계없어 보이는 지하수위 상승이 일어났다. 이는 4월말 이후로 같은 해 12월 초까지 이런 현상이 관측되어지지 않는 점으로 미루어보아 융설 효과로 사료되어진다. 강설(기온이 0°C 이하일 때의 강수량)의 경우 사상 후에 약 1일간 지하수위가 상승하지만 상류인 산지에서의 눈은 녹지 않는 것으로 가정할 수 있다. 2003년 하절기는 장마가 끝난 후(7월말)에도 10월초까지 계속 큰 강우사상이 일어났고 11월과 12월에 비교적 큰 강우사상이 일어났다. 이 절기에는 고도가 높은 지역에서는 강설사상이 일어나게 되고 이후 2004년 3월 이후까지의 융설 효과를 가능하게 하는 적설량을 확보한 것으로 보인다. 이후 1월부터 4월말까지 강우사상이

없더라도 지하수위의 상승이 간헐적이나 지속적으로 관측되어지는 융설 효과가 관측되어졌다. 4월부터 장마철인 7월전까지는 갈수기로서 지하수위의 하강이 뚜렷이 관측되어진다. 2004년의 장마철은 7월초부터 시작해서 9월 중순으로 끝나고 이때는 지속적으로 높은 지하수위가 유지되고 있다. 2004년 9월 중순부터 2005년 2월까지의 강우사상의 빈도수가 적으며 그 크기도 작다. 이는 적설량이 적음을 나타내며 융설 효과 또한 작으며 동절기 동안 예년보다 심한 지하수위 하강이 관측되어졌다. 3월 초의 강우사상으로 지하수위가 4~5월에 회복되었고 장마철이 시작되는 7월 전까지 갈수기에 따른 지하수위의 하강이 다시 관측된다.

4. 융설효과를 고려한 쌍천유역의 GOI와 지하수위의 관계

먼저 강설사상을 고려하지 않고 강수량 자료를 이동평균하여 상용로그값을 취한 GOI와 지하수위의 관계를 분석해 보았다. 자료는 2003년 6월부터 2005년 7월까지 2년간의 자료를 사용하였다. 이동평균값은 30일부터 10일 간격으로 90일까지 구해보고 상관계수를 계산하였다. 그리고 강설사상을 고려하여 위의 과정을 반복하였다. 강설사상을 고려하는데 있어 먼저 유역의 DEM 자료를 이용하여 100m 간격으로 고도별 면적분포(Fig. 3)를 구하고 기온이 100m당 0.5°C씩 감소(습윤단열감률)하는 것을 고려하여 강우사상이 발생하면 0°C 이하가

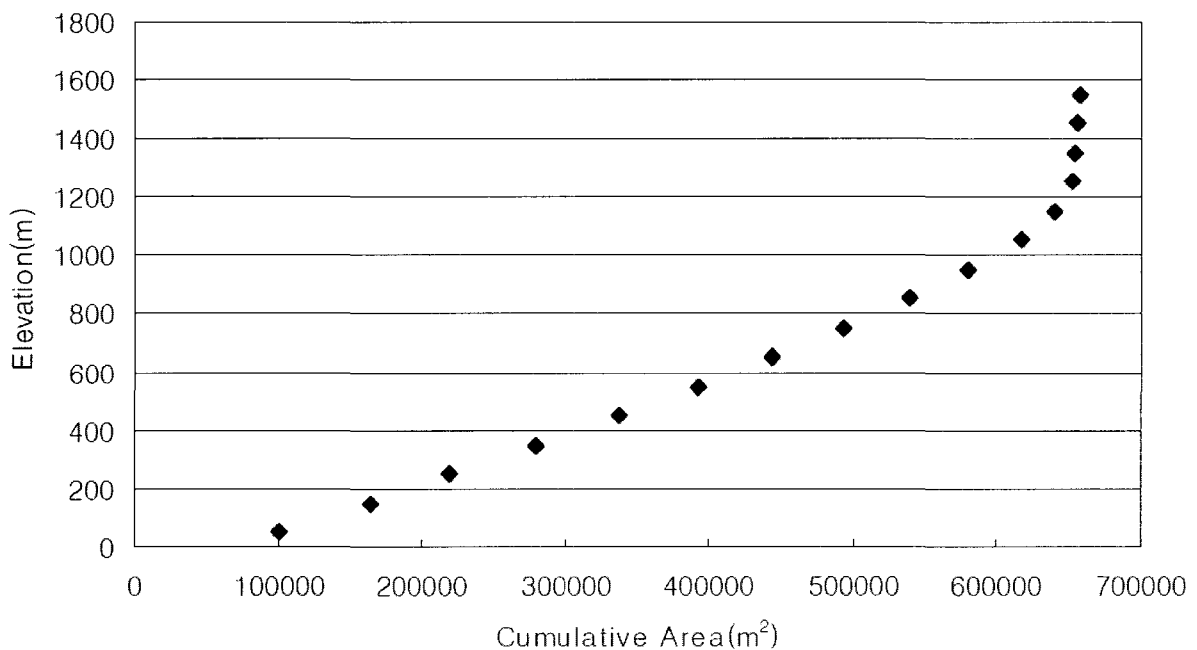


Fig. 3. Cumulative area according to elevation

Table 1. Correlation coefficients between GWL and GOI

Correlation coefficients without snowmelt effect				Correlation coefficients with snowmelt effect			
Well # MA	Well #1	Well #2	Well #3	Well # MA	Well #1	Well #2	Well #3
30day-MA	0.2141	0.3079	0.3093	30day-MA	0.2633	0.3546	0.3524
40day-MA	0.2052	0.3260	0.3319	40day-MA	0.2959	0.4420	0.4568
50day-MA	0.2991	0.4730	0.4967	50day-MA	0.3070	0.4842	0.5107
60day-MA	0.3058	0.4847	0.5045	60day-MA	0.3114	0.4918	0.5164
70day-MA	0.3072	0.4909	0.5143	70day-MA	0.3060	0.4928	0.5205
80day-MA	0.2889	0.4670	0.5021	80day-MA	0.2841	0.4668	0.5043
90day-MA	0.2719	0.4520	0.4919	90day-MA	0.2635	0.4460	0.4877

되는 고도에서는 강설사상이 발생하는 것으로 가정하였다. 이 때 고도별 면적분포에서 구해지는 면적비를 고려하여 강수사상을 강우와 강설로 나누었다. 이후에 고도를 고려한 기온이 0°C 이상인 날에 그 고도의 설적이 모두 녹는 것으로 가정하였고 강우가 발생한 것으로 처리하였다. 이렇게 수정된 강수자료를 이용하여 이동평균을 구하여 지하수위와의 상관관계를 구해본 값들은 Table 1에 정리되어 있다. 쌍천 지역의 2003년부터 2005년까지 2개년 자료에 대해서는 대체로 70일 이동평균을 이용한 GOI가 지하수위와의 상관관계가 가장 높으며 용설을 고려했을 때 상관관계가 더 높아짐을 알 수 있다. 또한 이동평균값을 계산하는 기간이(70일보다 짧아지면 용설 효과를 고려함으로써 상관관계가 급격히 증가하고(특히 40일 이동평균) 이동평균 계산기간이 늘어나면(80일 이동평균 이상) 용설 효과를 고려해도 상관관계수의 변화가 거의 없음을 볼 수 있다. 이는 용설 현상을 고려할 때 80일보다 긴 기간의 이동평균값을 계산하는 것이 타당하지 않음을 보여준다 하겠다. 용설의 물리적인 과정을 고려해 볼 때 쌍천 지역은 1~2개월 정도의 강수자료를 이용하는 것이 동절기의 적설과 용설 과정을 잘 고려한다 할 수 있다. 실제로 4월 말까지 용설 효과가 지하수위자료에서 관측되었고 이는 2월 말이나 3월 초의 강설사상에 기인한다고 사료되어진다.

5. 결 론

쌍천 지역의 지하수위자료와 강수량자료를 분석해 본 결과 용설 효과가 관측되었다. 지역의 고도별 면적 분포와 고도에 따른 온도하강을 고려하여 강수량자료를 강우자료와 강설자료로 분리하였고 고도에 따른 용설 사상을 가정하여 구한 수정된 강수량자료를 토대로 GOI

를 구하여 지하수위와의 상관관계를 분석해 보았다. 용설을 고려한 GOI와 지하수위와의 상관계수를 기존의 강수량자료를 이용한 GOI와 지하수위와의 상관계수와 비교해본 결과 다소 높은 상관관계를 보여주었다. 이는 쌍천 지역에서 GOI와 지하수위의 관계분석에서 70일 이하의 이동평균을 이용한 경우에는 용설 효과를 고려하는 것이 보다 합리적인 것을 보여준다. 용설 과정을 고려한 강수량자료의 수정방법에 대한 보완과 높은 강우강도에서의 지역의 유효강우와 최대(한계)침투량에 대한 분석과 기저유출의 관점에서 본 강수량자료의 변환이 이루어진다면 보다 높은 상관관계를 얻을 수 있다고 사료된다. 이러한 지하담 운영지표와 지하수위의 관계를 분석하는 시도는 국내외를 통틀어서 처음 시도되므로 이론에 대한 보완과 쌍천 지역만이 아닌 국내외의 많은 자료의 분석을 통한 검증이 필요하다 하겠다.

참 고 문 헌

박재현, 최용선, 김대근, 박창근, 양정석 (2005). "일 강우자료를 이용한 지하담 운영지표의 개발.", 한국수자원학회 발표논문집, 한국수자원학회, pp. 60.
 속초시 (2003). 쌍천수계 수자원 이용방안 및 가용수량 조사용역, 제4장.
 이상일, 김병찬, 김수민 (2004). "지표수-지하수를 연계한 수자원의 효율적 이용-(I)방법론", 한국수자원학회논문집, 한국수자원학회, 제37권, 제10호, pp. 789-798.
 McKee, T. B., Doesken, N. J., and Kleist, J. (1995) Drought Monitoring with multiple time scales. Preprints, 9th Conference on Applied Climatology, 15-20 January, Dallas, TX, pp. 233-236.

Wilhite, D. A., and Glantz, M. H. (1985).
“Understanding the Drought Phenomenon : The
Role of Definition.”, *Water international*, 10, pp.
111-120.

Guttman, Nathaniel B. (1999). “Accepting the
Standardized Precipitation Index : A Calculation

Algorithm.”, *Journal of the American Water
Resources Association*, Vol. 35, No. 2, pp. 311-
322.

(논문번호:05-122/접수:2005.09.01/심사완료:2005.11.23)