

**용설효과와 한계침투량을 고려한
쌍천유역의 지하수위와 GOI의 상관관계**
The Correlation between Groundwater Level and GOI considering
Snowmelt Effect and Critical Infiltration in Ssangchun Watershed

양정석*, 박재현**, 최용선***, 박창근****, 정교철*****
Jeong-Seok Yang, Jae-Hyeon Park, Yongsun Choi, Chang Kun Park, Gyocheol Jeong

요 지

쌍천유역의 강수량과 지하수위의 관계를 분석한 결과 용설효과를 확인하였고 갈수기에 지하수위가 현저히 저하됨을 확인하였다. 쌍천유역의 지하수위와 GOI의 상관관계를 분석한 결과 70일 이동평균값을 이용한 GOI가 가장 높은 상관관계를 보여주었다. 용설효과를 고려하기 위해서 먼저 유역의 DEM 자료를 이용하여 100m 간격으로 고도별 면적분포를 구하고 기온이 100m당 0.5℃씩 감소하는 것을 고려하여 강수사상이 발생하면 0℃ 이하가 되는 고도에서는 강설사상이 발생하는 것으로 가정하였다. 이 때 고도별 면적분포에서 구해지는 면적비를 고려하여 강수사상을 강우와 강설로 나누었다. 이후에 고도를 고려한 기온이 0℃ 이상인 날에 그 고도의 설적이 모두 녹는 것으로 가정하였고 강우가 발생한 것으로 처리하였다. 유역평균 일최대침투량을 알아내기 위하여 강수량자료를 일정값 이상은 고정하여 수정된 강수량자료로 70일 이동평균값을 구하고 이 값들과 지하수위와의 상관관계를 분석해 본 결과 40mm가 일최대침투량으로 가정하였을 때 가장 높은 상관관계를 보여주었다. 쌍천유역의 경우 40mm가 한계침투량이다. 이렇게 수정된 강수량자료를 이용하여 이동평균을 구하여 지하수위와의 상관관계를 구해본 결과 쌍천유역의 2003년부터 2005년까지 2개년 자료에 대해서 용설을 고려했을 때 상관관계가 더 높아짐을 알 수 있고 한계침투량을 고려했을 때도 상관관계가 더 높아짐을 알 수 있으며 용설효과와 한계침투량을 동시에 고려했을 경우에 가장 높은 상관관계를 얻을 수 있었다.

핵심용어 : 지하댐, 강우이동평균, GOI, 용설효과, 한계침투량

1. 서 론

산업과 경제의 발전에 따라 용수 수요는 지속적으로 증가하고 있고 도시화의 가속화로 인한 불투수면의 증가로 기저유출이 감소되고 있다. 우리나라도 매년 산업화·도시화로 인한 용수부족으로 국지적인 제한 급수를 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

* 국민대학교 건설시스템공학부 조교수 · E-mail : jyang@kookmin.ac.kr
** 인제대학교 토목공학과 조교수 · E-mail : jh-park@inje.ac.kr
*** 인제대학교 시스템경영공학과 부교수 · E-mail : yschoi@inje.ac.kr
**** 관동대학교 SOC공학부 정교수 · E-mail : ckpark@kwandong.ac.kr
***** 안동대학교 지구환경과학과 부교수 · E-mail : jeong@andong.ac.kr

않고 환경 피해를 최소화할 수 있으므로 환경친화적인 시설이라 할 수 있으며 경제적인 측면에서 다목적댐을 설치하고 취수하는 것보다 생산비가 훨씬 저렴해진다. 우리나라의 경우 쌍천유역의 지하댐을 좋은 예로 들 수 있다. 그러나 지하댐 개발의 계획과 운영에 있어서 지하수위 변동으로 인한 주변 피해를 고려하여 개발하고 운영하여야 한다. 지하댐의 최적화된 운영을 위한 지표로서 Groundwater dam Operation Index(GOI)가 개발되었다(박재현, 2005). 지하댐 운영을 위해 개발된 GOI는 이동평균값(Moving Average, MA)을 사용하여 상용 로그값을 취한 것으로 지하수위와의 상관관계를 분석하여 비교적 높은 상관관계가 있을 시 지하댐 운영지표로 사용하는데 목적을 두고 개발되었다. 본 연구에서는 쌍천유역 지하댐의 수문학적인 메커니즘을 이해하기 위해 수문학적인 자료와 지하수위자료를 비교 분석하였고 GOI를 구하여 지하수위와의 상관관계를 분석하고 강설사상에 따른 용설효과를 고려하였고 또한 유역평균 일최대침투량(한계침투량)의 개념을 도입(양정석, 2005)하여 GOI와 지하수위와의 상관관계를 구해보았다.

2. 쌍천유역

2.1 유역특성

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

2.2 수문학적 특성

쌍천유역 내에는 기상학적 특성을 분석할 수 있는 공인된 기상관측소가 없는 실정이므로 유역 인근에 위치한 속초관측소의 관측기록을 이용하였다. 속초관측소로부터 기온, 상대습도, 강수량, 증발량, 풍속 등의 자료를 확보하였다. 10년 동안 연평균 기온은 12.0℃이고, 최고기온 및 최저기온은 1997년 8월의 35.9℃, 1981년 2월의 (-)16.2℃이며, 연평균 상대습도는 67.1%, 최소상대습도는 1981년 4월의 7.0%이다. 한편, 연평균 증발량은 1991년 이후의 기록이 없으며, 1991년 이전의 연평균 증발량은 1,290mm이고, 일최대증발량은 1980년 6월의 18.5mm로 나타났다. 연평균 풍속은 3.1m/sec이다. 속초지역의 1995년부터 2004년까지 10년 동안의 연평균 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 윗폭이 좁고 유로연장이 짧으며 하천경사(1/25~1/88)가 급하기 때문에 유출계수(=유출량/강우량)가 여타의 일반 하천과 비교하여 상대적으로 크다. 이는 호우 시 하천유량이 급속히 바다로 유출됨을 말하고, 따라서 쌍천은 평상시 수량이 풍부하지 못한 건천을 이루고 있다.

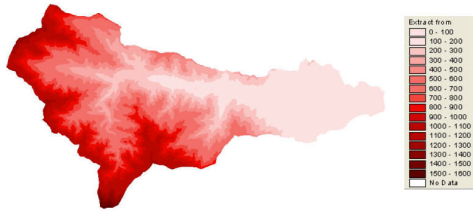


그림 1. 쌍천구역의 DEM

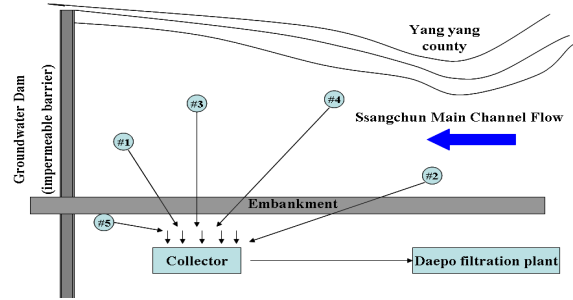


그림 2. 쌍천 집수정 평면도

3. 융설효과를 고려한 쌍천구역의 강수량과 지하수위의 분석

쌍천구역의 강수량자료와 지하수위자료(그림 3)를 분석해 본 결과 강우의 경우 강우사상(rainfall event) 당일이나 1~2일 후까지 지하수위 상승효과를 볼 수 있다. 분석된 기간은 지하수위 관측자료가 확보된 2003년 6월부터 2005년 7월까지이다. 동절기 강수량(강설자료)과 지하수위자료에서는 강수량이 없는데도 약 1~5일 간격으로 지하수위가 소폭으로 상승하는 것을 볼 수 있다(12/9/2003 ~ 3/21/2004). 같은 해 4월 17일까지도 강우와 관계없이 보이는 지하수위 상승이 일어났다. 이는 융설효과로 사료되어진다. 강설(기온이 0℃ 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(7월 말)에도 10월 초까지 계속 큰 강우사상이 일어났고 11월과 12월에 비교적 큰 강우사상이 일어났다. 이 절기에는 고도가 높은 지역에서는 강설사상이 일어나게 되고 이후 2004년 3월 이후까지의 융설효과를 가능하게 하는 적설량을 확보한 것으로 보인다. 이후 1월부터 3월 말까지 강우사상이 없더라도 지하수위의 상승이 간헐적이거나 지속적으로 관측되어지는 융설효과가 관측되어졌다. 4월부터 장마철인 7월 전까지는 갈수기로서 지하수위의 하강이 뚜렷이 관측되어진다. 2004년의 장마철은 7월 초부터 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 융설효과 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. 그림 2는 쌍천 지하댐과 부근의 양수정 및 관측정들의 위치를 보여준다. 이 관측정들 중 지난 2년간 지하수위 자료를 수집해온 관측정은 1, 2, 3번 관측정이고 1번 관측정은 지하수위자료가 지하댐으로 인한 경계의 영향을 많이 받는 것으로 보이며 실제로는 염도 측정의 목적으로 지하댐에 가깝게 설치했다. 그러므로 2, 3번 관측정의 지하수위자료를 본 연구에 사용하였다.

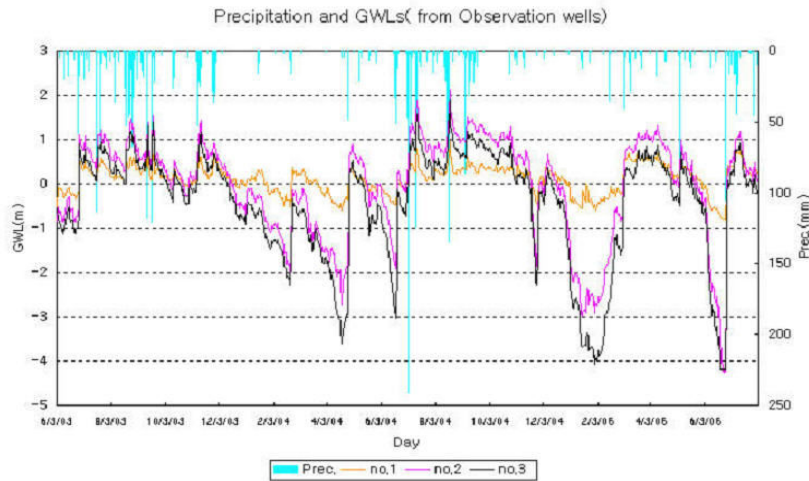


그림 3. 강수량과 지하수위의 관계

4. 융설효과를 고려한 쌍천유역의 GOI와 지하수위의 관계

먼저 강설사상을 고려하지 않고 강수량 자료를 이동평균하여 상용로그 값을 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(그림 4)를 구하고 기온이 100m당 0.5℃씩 감소하는 것을 고려하여 강수사상이 발생하면 0℃ 이하가 되는 고도에서는 강설사상이 발생하는 것으로 가정하였다. 이 때 고도별 면적분포에서 구해지는 면적비를 고려하여 강수사상을 강우와 강설로 나누었다. 이후에 고도를 고려한 기온이 0℃ 이상인 날에 그 고도의 설적이 모두 녹는 것으로 가정하였고 강우가 발생한 것으로 처리하였다. 이렇게 수정된 강수량 자료를 이용하여 이동평균을 구하여 지하수위와의 상관관계를 구해본 값들은 표 1에 정리되어 있다. 쌍천유역의 2003년부터 2005년까지 2개년 자료에 대해서는 대체로 70일 이동평균을 이용한 GOI가 지하수위와의 상관관계가 높으며 융설을 고려했을 때 상관관계가 더 높아짐을 알 수 있다.

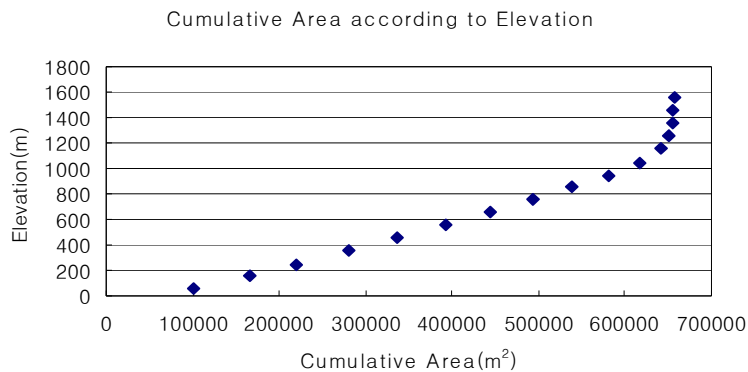


그림 4. 고도별 누가면적

표 1. 지하수위와 GOI의 상관계수(용설 고려 전후)

GOI without snowmelt effect			GOI with snowmelt effect		
Obs. wells	Well #2	Well #3	Obs. wells	Well #2	Well #3
Moving Avg.			Moving Avg.		
30day-MA	0.3079	0.3093	30day-MA	0.3546	0.3524
40day-MA	0.3260	0.3319	40day-MA	0.4420	0.4568
50day-MA	0.4730	0.4967	50day-MA	0.4842	0.5107
60day-MA	0.4847	0.5045	60day-MA	0.4918	0.5164
70day-MA	0.4909	0.5143	70day-MA	0.4928	0.5205
80day-MA	0.4670	0.5021	80day-MA	0.4668	0.5043
90day-MA	0.4520	0.4919	90day-MA	0.4460	0.4877

5. 한계침투량을 고려한 쌍천유역의 GOI와 지하수위의 관계

한계침투량을 결정하는데 있어 먼저 일최대침투량을 가정하고 강수량자료를 변환하여 GOI를 구하여 지하수위와의 상관관계를 구한다. 이 과정을 또 다른 일최대침투량 가정하여 반복하여 상관계수값이 최대가 되는 침투량을 구한다. 이렇게 수정된 강수량자료를 이용하여 이동평균을 구하여 지하수위와의 상관관계를 구해본 값들은 표 2에 정리되어 있다. 쌍천유역의 2003년부터 2005년까지 2개년 자료에 대해서 70일 이동평균을 적용하고 40mm 한계침투량을 가정할 때 상관관계가 관측정 2와 3에서 각각 최대임을 볼 수 있다(표 2).

6. 용설효과와 한계침투량을 동시에 고려한 쌍천유역의 GOI와 지하수위의 관계

앞 절에서 지하수위와 GOI의 상관계수를 구해본 결과 강수량 자료를 용설효과와 한계침투량을 각각 고려한 경우 두 경우에 모두 더 높은 상관관계를 얻을 수 있었다. 이번에는 용설효과와 한계침투량을 동시에 고려해보기로 한다(표 3). 표 1, 2, 3을 비교해보면 두 가지 요소를 동시에 고려한 경우 가장 높은 상관관계를 보여준다. 이 경우에서도 용설효과를 고려한 70일 이동평균을 적용하고 40mm를 한계침투량으로 가정했을 때 가장 큰 상관계수를 얻을 수 있었다.

표 2. 지하수위와 GOI의 상관계수(한계침투량 고려 후)

Observation wells	Well #2	Well #3
Critical infiltration		
10mm(70day-MA)	0.4416	0.4703
20mm(70day-MA)	0.4839	0.5153
30mm(70day-MA)	0.4948	0.5223
40mm(70day-MA)	0.5046	0.5290
50mm(70day-MA)	0.5040	0.5283
60mm(70day-MA)	0.5000	0.5249

표 3. 지하수위와 GOI의 상관계수(용설효과와 한계침투량을 동시에 고려)

Observation wells	Well #2	Well #3
Critical infiltration		
10mm(70day-MA)	0.4691	0.5057
20mm(70day-MA)	0.5008	0.5355
30mm(70day-MA)	0.5044	0.5364
40mm(70day-MA)	0.5068	0.5366
50mm(70day-MA)	0.5051	0.5337
60mm(70day-MA)	0.5012	0.5304

7. 결론

쌍천유역의 지하수위자료와 강수량자료를 분석해 본 결과 용설효과가 관측되었다. 유역의 고도별 면적분포와 고도에 따른 온도하강을 고려하여 강수량자료를 강우자료와 강설자료로 분리하였고 고도에 따른 용설사상을 가정하여 구한 수정된 강수량자료를 토대로 GOI를 구하여 지하수위와의 상관관계를 분석해 보았다. 용설을 고려한 GOI와 지하수위와의 상관계수를 기존의 강수량자료를 이용한 GOI와 지하수위와의 상관계수와 비

교해 본 결과 용설을 고려했을 때 보다 높은 상관관계를 보여주었다. 또한 한계침투량을 고려한 GOI와 지하수위와의 상관계수를 기존의 강수량자료를 이용한 GOI와 지하수위와의 상관계수와 비교해 본 경우에서도 한계침투량을 고려했을 때 다소 높은 상관관계를 보여주었다. 이는 쌍천유역에서 GOI와 지하수위의 관계분석에서 용설효과와 한계침투량을 고려하는 것이 보다 합리적인 것을 보여준다. 마지막으로 용설효과와 한계침투량을 동시에 고려한 경우에 가장 높은 상관계수를 얻을 수 있었다. 용설과정을 고려한 강수량자료의 수정방법에 대한 보완과 높은 강우강도에서의 유역의 유효강우와 한계침투량에 대한 실험적, 정량적 분석이 이루어진다면 보다 높은 상관관계를 얻을 수 있다고 사료된다.

참 고 문 헌

1. 박재현, 최용선, 김대근, 박창근, 양정석(2005). “일 강수량자료를 이용한 지하담 운영지표의 개발.”, 한국수자원학회 발표논문집, 한국수자원학회, pp. 60.
2. 이상일, 김병찬, 김수민(2004). “지표수-지하수를 연계한 수자원의 효율적 이용- (I)방법론.”, 한국수자원학회논문집, 한국수자원학회, 제37권, 제10호, pp. 789-798.
3. 양정석, 박재현, 박창근, 정교철(2005). “한계침투량을 고려한 쌍천유역의 강수량과 지하수위의 상관관계”, 지질공학회지, 대한지질공학회, 제15권, 제3호, pp. 303-307.
4. 속초시(2003). 쌍천수계 수자원 이용방안 및 가용수량 조사용역, 제4장.
5. 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.
6. 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.
7. Wilhite, D. A., and Glantz, M. H.(1985). “Understanding the Drought Phenomenon : The Role of Definition.”, *Water international*, 10, pp. 111-120.