

한계침투량을 고려한 쌍천유역의 강수량과 지하수위의 상관관계

양정석^{*1)} · 임창화¹⁾ · 박재현¹⁾ · 박창근²⁾ · 정교철³⁾

¹⁾인제대학교 토목공학과

²⁾관동대학교 토목환경공학과, ³⁾안동대학교 지구환경과학과

The Correlation between the Precipitation considering Critical Infiltration and Groundwater Level in Ssangchun Watershed

Jeong-Seok Yang^{*1)} · Chang-Hwa Lim¹⁾ · Jae-Hyeon Park¹⁾

Chang-Kun Park²⁾ · Gyo-Cheol Jeong³⁾

¹⁾Dept. of Civil Engineering, Inje University

²⁾Dept. of Civil Engineering, Kwandong University

³⁾Dept. of Earth and Environmental Sciences, Andong National University

쌍천 유역의 강수량과 지하수위의 관계를 분석한 결과 갈수기에 지하수위가 현저히 저하됨을 확인하였다. 이 과정에서 70일 이동평균값을 이용한 지하담 운영지표(Groundwater dam Operation Index, GOI)와 지하수위가 가장 높은 상관관계를 보여주었다. 유역평균 일최대침투량을 알아내기 위하여 강수량자료를 일정값 이상은 고정하여 수정된 강수량자료로 70일 이동평균값을 구하고 이 값들과 지하수위의 상관관계를 분석해 본 결과 40mm가 일최대침투량으로 가정하였을 때 가장 높은 상관관계를 보여주었다. 쌍천 유역의 경우 40mm가 한계침투량이다. 쌍천 유역의 2003년부터 2005년까지 2개년 자료에 대해서는 대체로 70일 이동평균을 이용한 GOI와 지하수위와의 상관관계가 높으며 한계침투량을 고려했을 때 상관관계가 더 높아짐을 알 수 있다.

주요어 : 지하담, 강우이동평균, GOI, 한계침투량

Severe drawdown of Groundwater level(GWL) is observed from the analysis of the relationship between precipitation and GWL data during dry seasons in Ssangchun watershed. For Ssangchun watershed, the correlation was the strongest when we apply 70 day Moving Average(MA) for Groundwater dam Operation Index(GOI) calculation. To determine the critical infiltration, which is the spatially averaged maximum daily infiltration, a certain value is fixed as the maximum infiltration and precipitation data is modified. GOI is recalculated after the data modification and the correlation between GOI and GWL is checked. The critical infiltration is determined when the best correlation is obtained after we repeat the above procedure with different fixed values. The critical infiltration is 40mm for Ssangchun watershed. The correlation between GWL and GOI is higher when we consider critical infiltration than we neglected it.

Key words : Groundwater dam, Moving average of precipitation, GOI, Critical infiltration

* Corresponding author : jsyang@inje.ac.kr

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 않고 환경 피해를 최소화할 수 있으므로 환경친화적인 시설이라 할 수 있으며 경제적인 측면에서 다목적댐을 설치하고 취수하는 것보다 생산비가 훨씬 저렴해진다. 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. 지하댐의 최적화된 운영을 위한 지표로서 지하댐 운영지표(Groundwater dam Operation Index, GOI)가 개발되었다(박재현, 2005). 지하댐 운영을 위해 개발된 GOI는 이동평균값(Moving Average, MA)을 사용하여 상용로그값을 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. 강수사상이 발생하여 지하수위에 영향을 주는 침투량은 총강수량에서 지표면 흐름(sheet flow)인 직접유출(direct runoff)을 제외한 기저유출(base flow)에 기여하는 요소이다. 하지만 보다 엄밀히 말하면 증발산(evapotranspiration)과 차단(interception), 그리고 복류수(interflow)에 기여하는 부분도 제외한 양이다. 수문학에서 유효강우는 총강수량에서 직접유출에 기여하는 강우량이며 본 연구에서 도입한 개념인 한계침투량은 총강수량에서 기저유출에 기여하는 강수량이다. 한계침투량은 유역 내의 공간적 평균 일침투량(daily infiltration)이다. 이 값은 유역의 기하학적 조건, 토양피복상태, 그리고 강우의 시간적 공간적 분포에 따라 다를 수 있다. 한계침투량은 먼저 값을 가정

하여 그 값을 최대강수량으로 하여 강수량자료를 변환하고 GOI를 계산하여 지하수위와의 상관관계를 구한다. 이 과정을 다른 한계침투량을 가정하여 반복하고 가장 높은 상관관계를 가지는 값을 그 유역의 한계침투량으로 정한다. 본 연구에서는 쌍천 유역 지하댐의 수문학적인 메커니즘을 이해하기위해 수문학적인 자료와 지하수위자료를 비교 분석 하였고 GOI를 구하여 지하수위와의 상관관계를 분석하고 또한 유역평균 일 최대침투량(한계침투량)의 개념을 도입하여 GOI와 지하수위와의 상관관계를 구해보았다.

쌍천유역

유역특성

쌍천 유역은 통상 외설악으로 명명되는 설악산 국립공원의 북동부에 해당하며, 유역면적은 65.33km²이며, 행정구역 분할로 유역의 북반부는 속초시의 속하며 남반부는 양양군에 소속되어 있다. 쌍천 지하댐은 쌍천유역에 하구에 위치하고 상수원으로 43,000m³/day의 수원을 개발한다. 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 유로연장 19km 이고 동쪽에서 서쪽으로 흘러 동해로 흘러간다.

수문학적 특성

쌍천 유역 내에는 기상학적 특성을 분석할 수 있는



Fig. 1. DEM of Ssangchun watershed.

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°C 이고, 최고기온 및 최저기온은 1997년 8월의 35.9°C, 1981년 2월의 (-)16.2°C이며, 연평균 상대습도는 67.1%, 최소상대습도는 1981년 4월의 7.0%이다. 한편, 연평균 증발량은 1991년 이후의 기록은 없으나, 1991년 이전의 연평균 증발량은 1,290.0mm이고, 일최대증발량은 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 유하 폭이 좁고 유로연장이 짧으며 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.

쌍천유역의 강수량과 지하수위의 분석

쌍천유역의 강수량자료와 지하수위자료(Fig. 2)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. 2003년 하절기는 장마가 끝난 후(7월말)에도 10월초까지 계속 큰 강우사상이 일어났고 11월과 12월에 비교적 큰 강우사상이 일어났다. 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 빈도가 적으며 그 크기도 작다. 3월 초의 강우사상으로 지하수위가 4~5월에 회복되었고 장마철이 시작되는 7월 전까지 갈수기에 따른 지하수위의 하강이 다시 관측된다. Fig. 3은 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

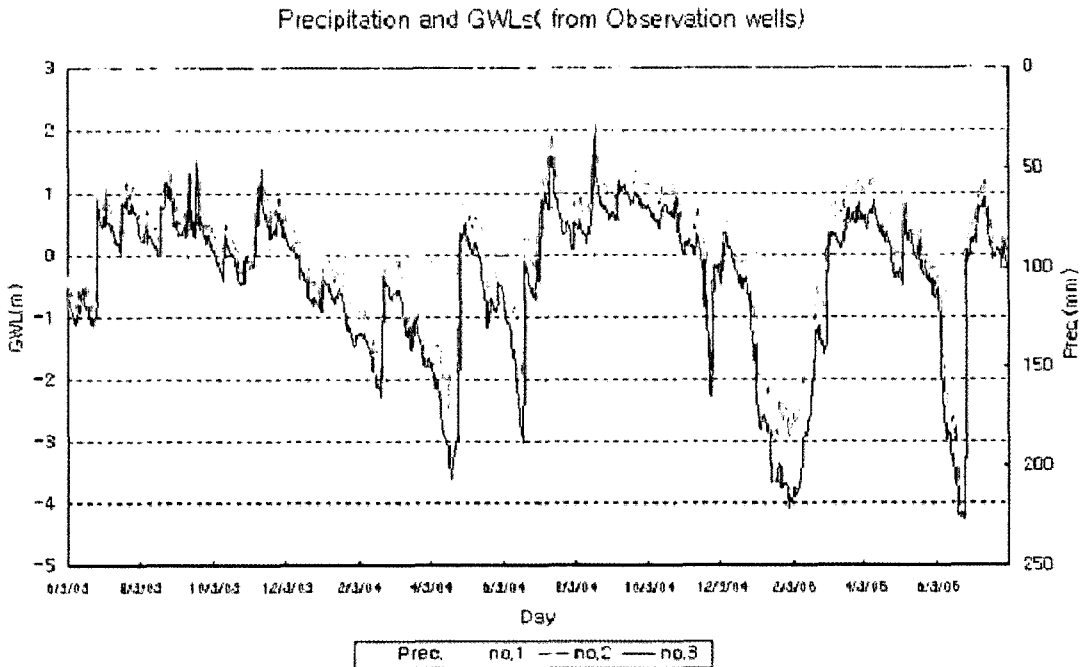


Fig. 2. The relationship between precipitation and GWLs.

염도 측정의 목적으로 지하댐에 가깝게 설치했다. 그러므로 2, 3번 관측정의 지하수위자료를 본 연구에 사용하였다.

한계침투량을 고려한 쌍천유역의 GOI와 지하수위의 관계

먼저 한계침투량을 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 유역평균 일최대침투량을 고려하여 위의 과정을 반복하였다. 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 Table 1과 2에 정리되어 있다. 쌍천 유역의 2003년부터 2005년까지 2개년 자료에 대해서 관측정 1과 2에서 70일 이동평균을 이용한 GOI가 지하수위와의 상관관계가 가장 높으며(Table 1), 40mm 한계침투량을 고려하여 70일 이동평균을 적용할 때 상관관계가 관측정 1과 2에서 각

Table 1. The correlation coefficients according to different moving averages.

Observation wells Moving Averages	Well #2	Well #3
30day-MA	0.3079	0.3093
40day-MA	0.3260	0.3319
50day-MA	0.4730	0.4967
60day-MA	0.4847	0.5045
70day-MA	0.4909	0.5143
80day-MA	0.4670	0.5021
90day-MA	0.4520	0.4919

Table 2. The correlation coefficients according to critical infiltration.

Observation wells Critical infiltration	Well #2	Well #3
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

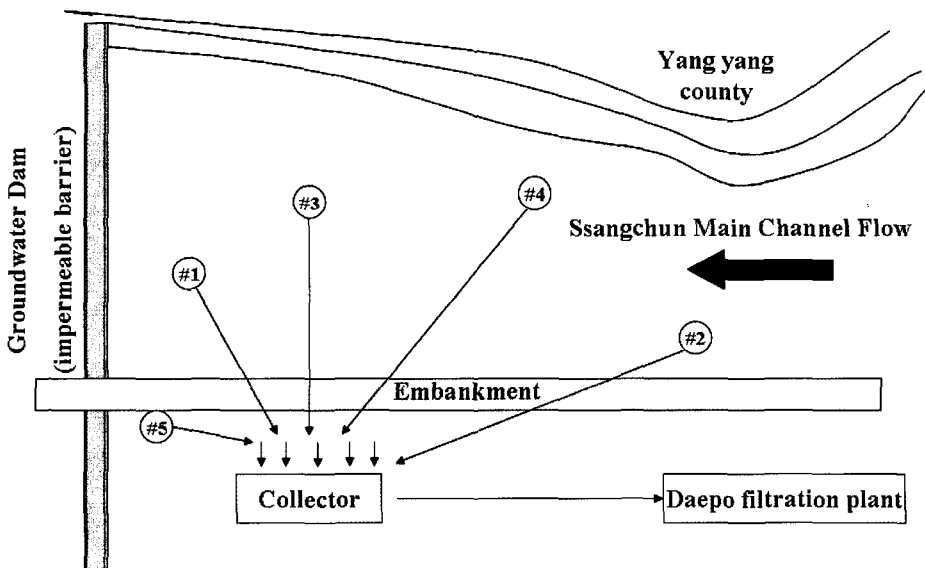


Fig. 3. A planar view of Ssangchun collecting basin.

각 최대임을 볼 수 있다(Table 2).

결 언

쌍천 유역의 지하수위자료와 강수량자료를 분석해 본 결과 갈수기에서의 현저한 지하수위저하가 관측되었고 한계침투량을 고려한 수정된 강수량자료를 토대로 GOI를 구하여 지하수위와의 상관관계를 분석해 보았다. 한계침투량을 고려한 GOI와 지하수위와의 상관계수를 기존의 강수량자료를 이용한 GOI와 지하수위와의 상관계수와 비교해본 결과 다소 높은 상관관계를 보여주었다. 이는 쌍천유역에서 GOI와 지하수위의 관계 분석에서 한계침투량을 고려하는 것이 보다 합리적이라는 것을 보여준다. 또한 강설사상이 많은 유역에서의 용설 과정을 고려한 강수량자료의 수정과 기저유출의 관점에서 본 강수량자료의 변환이 이루어진다면 보다 높은 상관관계를 얻을 수 있다고 사료된다.

사 사

이 연구는 21세기 프론티어 연구개발사업인 수자원의 지속적 확보 기술개발사업단의 연구비 지원(과제번호 #3-6-2)에 의해 수행되었다. 연구비를 지원해준 사업단 측에 감사드린다.

참고문헌

박재현, 최용선, 김대근, 박창근, 양정석, 2005, 일 강수량 자료를 이용한 지하담 운영지표의 개발, 한국수자원학회 발표논문집, 한국수자원학회, pp 60.

속초시, 2003, 쌍천수계 수자원 이용방안 및 가용수량 조사용역

Park Changkun, Jaehyeon Park, Yongsun Choi, Jeong-Seok Yang, Gyo-ch대I Jeong, 2005, Operating Strategy of Groundwater Dam Utilizing a Precipitation - Based Index, Proceedings of International Association of Hydraulic Engineering and Research, IAHR, pp.4727-4736.

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.

투 고 일 2005년 8월 24일
 심 사 일 2005년 8월 25일
 심사완료일 2005년 9월 19일

양정석
 인제대학교 토목공학과
 621-749 경남김해시 어방동 607번지
 Tel: 055-324-9798
 Email: jsyang@inje.ac.kr

임창화
 인제대학교 토목공학과
 621-749 경남김해시 어방동 607번지
 Tel: 055-324-9798
 Email: lchsan@naver.com

박재현
 인제대학교 토목공학과
 621-749 경남김해시 어방동 607번지
 Tel: 055-320-3725
 Email: jh-park@inje.ac.kr

박창근
 관동대학교 토목공학과
 215-702 강원도 양양군 양양읍 임천리 산7번지
 Tel: 033-670-3320
 Email: ckpark@kwandong.ac.kr

정교철
 안동대학교 지구환경과학과
 760-749 경북 안동시 송천동 388번지
 Tel: 054-820-5753
 Email: jeong@andong.ac.kr