

일 강우자료를 이용한 지하댐 운영지표의 개발

Development of Groundwater Dam Operation Index Using daily Precipitation data

박재현+, 최용선++, 김대근+++, 박창근++++, 양정석++++

Jae Hyeon Park, Young Sun Choi, Dae-kun Kim, Chang Kun Park, Jung Suk Yang

요 지

우리나라의 경우 매년 인구증가와 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(Ground-Water Dam) 건설에 의한 지하수 자원의 개발이 제안되고 있다. 수자원의 계절적 편중에 의한 수자원 최적화 활용을 위해 지하댐 최적 운용기법의 개발이 필요한데 이를 위해 본 연구에서는 지하댐 운영지표(Groundwater Dam Operating Index, G.O.I)를 제안하였다. 이를 위해 쌍천 지역의 수문학적 자료와 강수의 경향, 지하수위 그리고 지하댐 운영 자료를 이용하여 강수와 지하수위 상관관계를 비교 분석하였다. 분석한 결과 일강우량 90일 이동평균의 대수값이 지하수위 변동특성과 가장 높은 상관도를 보였다. 이 결과 값을 G.O.I 로 정의 하였으며 G.O.I 지표가 1보다 작은 구간과 지하댐 운영시 제한급수가 실시되었던 구간이 거의 일치하는 것으로 나타났다. 따라서 G.O.I 를 이용한 지하댐 실시간 의사결정 시스템 구성이 가능할 것으로 판단하였다.

핵심용어 : 지하댐, 표준강수지수, 지하댐 운영지표, 운영시나리오

1. 서 론

경제와 산업의 발전에 따라 도시화는 가속화 되고 이로 인해 용수 수요는 지속적으로 증가하고 있다. 물부족 국으로 분류된 우리나라도 매년 인구증가와 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(Ground-Water Dam) 건설에 의한 지하수 자원의 개발이 제한된 수자원을 보다 효과적으로 사용하기 위한 하나의 방법으로 고안되어졌다. 지역적·지질적으로 지하댐이 설치가 가능한 곳에서 이를 설치 이용할 경우 대용량의 취수는 물론 댐과 같은 대형 구조물을 설치하지 함으로 환경 피해를 최소화할 수 있으므로 환경 친화적인 시설이라 할 수 있으며 경제적인 측면에서 다목적댐을 설치하고 취수하는 것보다 생산비가 저렴해 진다. 쌍천 지역의 지하댐이 좋은 예라 할 수 있다. 하지만 지하댐을 개발할 경우 지하수위 변동으로 인한 주변 피해를 고려하여 개발하고 운영하여야 한다. 현재까지 지하댐 지역

+ 인제대학교 토목공학과 조교수, E-mail : jh-park@inje.ac.kr
++ 인제대학교 시스템경영공학과 부교수, E-mail : yschoi@inje.ac.kr
+++ 목포대학교 토목공학과 교수, E-mail : kdg05@mokpo.ac.kr
++++ 관동대학교 SOC공학부 부교수, E-mail : ckpark@kwandong.ac.kr
+++++ 인제대학교 건설기술연구소 연구교수, E-mail : jeongyang88@yahoo.co.kr

에 대한 모니터링 시스템 및 지속적인 유지관리 시스템이 구축되어있지 않아 최적의 취수량 유지에 어려움이 있다. 그래서 지하담을 보다 효율적으로 운영하기위해 최적화된 운영시나리오가 필요하다 할 수 있다.

본 연구에서는 쌍천 유역 지하담의 수문학적 메커니즘을 이해하기위해 수문학적 자료와 댐 운영 자료를 비교 분석 하였고, 지하담을 보다 효율적으로 운영하기위해 일 강수량 자료를 이용하여 지하담 최적화 운영지표를 제안하였다.

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 지하담은 쌍천유역에 하구에 위치하고 상수원으로 43,000m³/day의 수원을 개발한다. 그림 1은 쌍천 유역의 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 19km 이고 동쪽에서 서쪽으로 흘러 동해로 흘러간다.

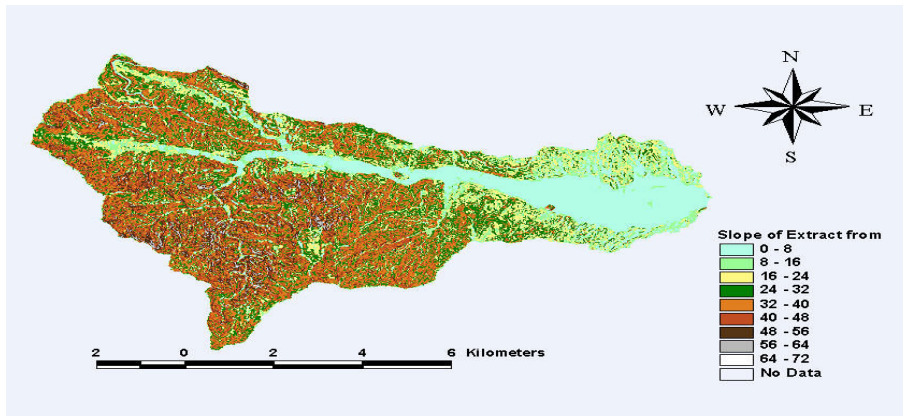


그림 1 쌍천유역 수치지형도(DEM)

2.2 수문학적 특성

기상특성

쌍천유역내에는 기상학적 특성을 분석할 수 있는 공인된 기상관측소가 없는 실정이므로 유역 인근에 위치한 속초관측소의 관측기록을 이용하였다. 속초관측소로부터 기온, 상대습도, 강우량, 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 1,290.0mm이고, 일최대증발량은 1980년 6월의 18.5mm로 나타났다. 연평균 풍속은 3.1m/sec 이다.

강수

속초지역의 1995년~2004년까지 10동안의 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 유하폭이 좁고 유로연장이 짧으며 하천경사(1/25~1/88)가 급하기 때문에 유출계수(=유출량/강수량)가 여타의 일반 하천과 비교하여 상대적으로 크다. 이는 호우시 하천유량이 급속히 바다로 유출됨을 말하고, 따라서 쌓천은 평상시 수량이 풍부하지 못한 건천을 이루고 있다. 그림 2는 속초지역의 연평균 강수량의 변화를 나타내는 그림이다.

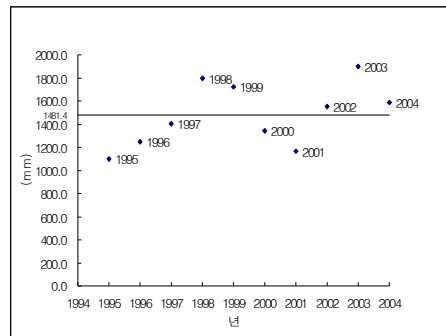


그림 2 연평균강수량 변화추이

그림 2를 보면 속초시의 최근 10년간 연평균강수량의 변동 추이를 알아볼 수 있다. 그림에서와 같이 최근 10년 강수량의 평균값은 1481mm이며 1995년, 1996년, 1997년, 2000년, 2001년이 연평균 강수량보다 적게 나타난 것을 볼 수 있다.

3. 강수지표를 이용한 지하댐 최적운영 및 지하댐 운영시나리오 제안

지하댐 운영에 직접적으로 가장 많은 영향을 주는 인자는 지하수위이다. 지하수위가 낮을 경우 염수침입의 문제가 발생할 뿐만 아니라, 하천의 건천화, 지반침하 등의 문제를 유발시킬 수 있다. 지하수위는 유역의 기저 유출 특성과 가장 밀접한 관계를 가지고 있으나, 직접적이며 가장 용이하게 획득 가능한 강수량 자료를 이용하여 지하수위 특성을 설명할 수 있다면 지하댐 운영 시나리오를 설정하는데 있어 매우 유용할 것이다. 지하수위는 강수와 밀접한 관계를 가지고 있다. 그래서 수문·기상정보를 이용하여 가뭄의 진행단계를 시공간적으로 정량적 또는 정성적으로 파악할 수 있는 수치로 나타낸 가뭄지표를 이용하여 지하댐 운영시나리오를 작성하였다.

본 연구에서는 쌓천 유역의 각 관측공별 지하수위를 측정하였고, 지하수위와 강수와의 상관관계를 알아보기 위해 표준강수지수(SPI)와 90일 이동 평균 강수량을 이용하여 비교분석 하였다. 그림 3은 SPI에 의해 만들어진 각 관측공별 가뭄지수와 지하수위의 상관관계를 나타낸 것이다. 지하수위와 SPI의 상관관계를 분석한 결과 누적개월수가 5개월보다 길어질수록 가뭄지수와 각 관측공의 지하수위와의 상관관계가 낮아 짐을 볼 수 있다.

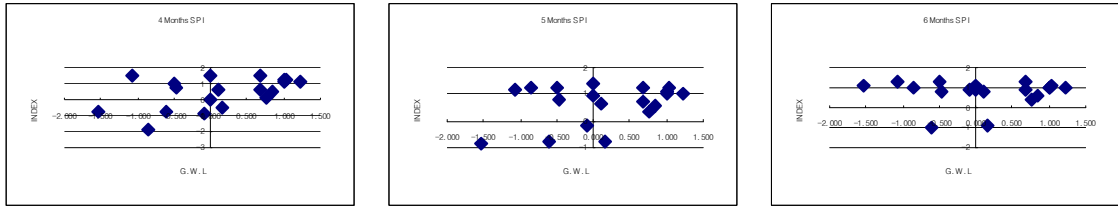


그림 3 지하수위와 SPI의 상관관계

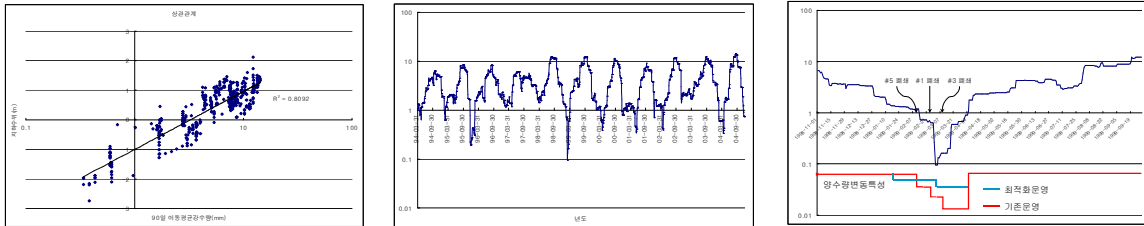


그림 4 90일 이동평균강수량
과 지하수위상관관계

그림 5 10년간 G.O.I 지수

그림 6 지하댐 최적화 운영방안

그림 4는 90일 이동평균 강수량과 지하수위상관관계를 나타낸다. 그림 4에서 90일 이동평균에 대수를 취한 강수량과 지하수위상관관계에서 $R^2 = 0.8092$ 으로 나타났다. 전체적으로 이동평균 강수량이 증가함에 따라 지하수위가 상승하는 경향을 보여준다. 풍수기에서는 두 변수의 상관관계가 높은 것으로 나타나고 갈수기로 갈수록 상관관계가 떨어지는 것을 그림 4에서 90일 이동평균 강수량과 지하수위 관계에서 보여 준다. 90일 이동평균 시계열이 갈수기의 경우 선행강우의 영향을 충분히 고려하지 못한다고 볼 수 있다. 갈수기에 회귀선의 밑에 위치하는 자료들은 90일 이전에 가뭄이 계속 진행되어 왔던 경우이고 갈수기에 회귀선이 위에 있는 자료들은 90일 이전에 선행강우가 충분히 온 경우라 할 수 있다. 따라서 일 강수량 자료를 이용하여 지하댐 운영 시나리오를 제안할 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구에서는 이 지표를 지하댐 운영지표(Groundwater Dam Operating Index, G.O.I)라 명하며 다음과 같이 정의 한다. $G.O.I = \log (MA 90 \text{ days})$, 여기서 $MA 90\text{days} = 90\text{일 이동평균 강수량}$ 이다. 최근 10년간 일강수량 자료를 분석하여 G.O.I 지수를 산정한 결과는 그림 5와 같다. G.O.I 지수 자료를 검토한 결과 최근 10년 중 G.O.I 지수가 가장 낮은 기간이 1999년 3월 7일로 나타났다. 속초시 쌍천 지하댐 운영 자료에 의하면 1999년 가뭄의 영향으로 염분이 증가하여 4기의 쌍천 지하댐 취수정 중 #5 취수정을 2월 8일에 폐쇄하게 된다. 이어서 2월 24일 #1 취수정, 3월 8일 #3 취수정을 폐쇄하여 제한 급수를 실시하였다. 그림 6 은 이 기간 중 G.O.I 지수를 표시한 그림이다. 이 자료에 의하면 G.O.I 지수가 1보다 작아지는 날이 2월 10일 중으로 나타나 제한 급수 실시 기간과 거의 일치하고 있으며, 이 결과를 통하여 G.O.I 지수가 1보다 작을 경우는 제한 급수를 실시해야 할 정도의 위급한 시기임을 의미한다고 판단하였다. 따라서 본 연구에서는 지하댐 운영 시 G.O.I 지수가 1.5 이하 일 경우는 경계운영을 하며, G.O.I 지수가 1이하 일 경우는 1단계 제한급수 운영을 하며 G.O.I 지수가 0.5이하 일 경우는 2단계 제한급수 운영을 지하댐 운영 시나리오로 제안을 하였다. 이러한 방향으로 지하댐을 이용할 경우 최악의 경우에 대처를 사전에 할 수 있을 것으로 예상된다.

4. 결과

본 연구는 쌍천유역의 수문학적 자료와 강수의 경향, 지하수위 그리고 지하댐 운영 자료를 이용하여 강수와 지하수위 상관관계를 비교 분석하였다. 가뭄의 진행단계를 시공간적으로 정량적 또는 정성적으로 파악할 수 있는 수치로 나타낸 가뭄지표를 이용하여 지하댐 운영시나리오를 작성하였다.

본 연구에서는 표준강수지수(SPI)를 이용한 결과 90일 이동평균의 대수값이 지하수위와의 상관도가 가장 높은 것으로 나타났으며, 이를 이용하여 G.O.I 지수를 제안하였다. 평균 강수량이 증가함에 따라 지하수위가 상승하는 경향을 보여줬고, 풍수기에서는 두 변수의 상관관계가 높은 것으로 나타나고 갈수록 상관관계가 떨어지는 것을 90일 이동평균 강수량과 지하수위 관계에서 볼 수 있다.

본 연구에서 제안한 지하댐 최적화 운영방안 시나리오에서 G.O.I 지수가 1보다 작을 경우는 제한급수를 실시해야 할 정도의 위급한 시기임을 의미한다고 판단하였다. 따라서, 지하댐 운영 시 G.O.I 지수가 1.5 이하 일 경우는 1단계 경계운동을 하며, G.O.I 지수가 1이하 일 경우는 1단계 제한급수 운영을 하며 G.O.I 지수가 0.5이하 일 경우는 2단계 제한급수 운영을 지하댐 운영 시나리오로 제안을 하였다. 이러한 방향으로 지하댐을 이용할 경우 최악의 경우에 대처를 사전에 할 수 있을 것으로 예상된다. 따라서 일 강수량 자료를 이용하여 지하댐 운영 시나리오를 제안할 수 있을 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- 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
- 류재희(2000), 가뭄평가를 위한 가뭄지수의 비교연구, 제5장
- Palmer, W.C., Meteorological Drought, U.S.Weather Bureau, 1965
- McKee, T. B., N. J. doesken, and J. Kleist, Drought Monitoring with multiple time scales. Preprints, 9th Conference on Applied Climatology, 15-20 January, Dallas, TX, pp. 233~236 1995
- Wilhite, D. A., and M. H. Glantz, Understanding the Drought Phenomenon : The Role of Definition, Water international, 10, pp. 111-120, 1985
- Nathaniel B. Guttman, Accepting the Standardized Precipitation Index : A Calculation Algorithm, Journal of the American Water Resources Association, Vol. 35, No. 2, pp.311~322, 1999