

지하댐 건설에 따른 유역 내 지하수위 변화 특성 해석

김종태¹ · 김만일² · 정일문³ · 김남원³ · 정교철^{1*}

¹안동대학교 지구환경과학과, ²한국지질자원연구원 지구환경연구본부, ³한국건설기술연구원 수문연구실

An Analysis of Groundwater Level Fluctuation Caused by Construction of Groundwater Dam

Jong-Tae Kim¹, Man-Il Kim², Il-Moon Chung³, Nam-Won Kim³, and Gyo-Cheol Jeong^{1*}

¹Dept. of Earth and Environmental Sciences, Andong National University

²Geological Environment Division, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resource

³Hydrology Research Division, Korea Institute of Construction Technology

우리나라는 수자원 특성상 강우의 시간적, 공간적 불균형이 심하여 수자원 개발과 관리여건이 대단히 열악하다. 이에 따라 현 시점에서 향후 물 부족에 대처할 신규 수자원의 안정적 확보방안의 하나인 지하댐의 건설 예정지를 파악하고 지표수와 지하수를 연계하여 효과적으로 개발·이용 가능한 지하댐 개발의 국내 적용을 검토 할 필요가 있다. 이번 연구는 지하댐 건설 예정지인 경남 하동군 횡천강 일대의 지질조사, 수리·수문학 분석 등을 통해 프로그램 입력 자료를 산정하였다. 또한 입력자료를 바탕으로 SWAT-MODFLOW를 통해 지표수 및 지하수의 연계 해석을 실시하였으며 지하댐 건설전과 후의 지하수위 변화를 예측하였다.

주요어 : 지하댐, SWAT-MODFLOW, 지하수위, 수자원

Most of hydrological processes of groundwater recharge generally are occupied a rainfall, and recharged an aquifer along infiltrate into subsurface. These processes mainly have an influence by hydrological characteristics and topographic gradient of the aquifer. Development of water resources and its management is not good because of temporal and spatial disproportion in local rainfall. In order to deal with insufficiency of water resources from now on, development of groundwater dam requires a plan of a sustainable of new water resources. These are necessary that investigation of construction area of groundwater dam, effective groundwater development interconnected with surface water and groundwater, and assessment of an application of groundwater dam for utilization of water resources. In this study we were derived the input data by geological survey, hydraulic and hydrological analysis around Hoengchun-river, located in Hadong-gun, Gyeongsangnam Province where is a plan area for construction of groundwater dam. Based on input data we were carried out the interconnected analysis of surface water and groundwater using the SWAT-MODFLOW, and predicted groundwater fluctuation of its construction before and after.

Key words : groundwater dam, SWAT-MODFLOW, groundwater level, water resources

서 론

인구 증가 및 환경문제로 인해 가뭄이 지속되고 있는 상황에 지하수가 새로운 수자원으로 강조되고 있다. 이러한 지하수의 효율적 이용을 위해 하천 하류부분에 기반암까지 차수벽을 설치하여 바다로 방류되는 지하수를

이용할 수 있는 지하댐을 건설할 수 있다(Fig. 1).

지하댐에 대한 기본적인 개념과 이론은 Hanson and Nillson(1986)에 의해 체계적으로 정리가 되었다. 국내의 경우 1983년 농업진흥공사가 지하댐 건설을 시작하였으며 1996년 지하댐 개발 가능지역을 소유역으로 나누어 조사를 하였다. 이후 국내 지하댐 적용의 한계를 보이며 지하댐

*Corresponding author: jeong@andong.ac.kr

건설은 중단되었으나 1999년 강원도 속초시에서 생활용수 공급이 목적인 쌍천지하댐이 건설되어 운영 중에 있다.

생활용 지하댐 건설로 인해 우리나라 전역에 대한 지하댐 건설 예비조사가 2002년 건설교통부와 한국수자원공사에서 수행되었으며 포항을 비롯한 21개의 건설 예정지를 발표하였다. 또한 2001년부터 현재까지 프론티어 연구개발사업의 한 분야로 지하댐 건설 관련 연구가 진행되고 있다.

지하댐의 중요성이 인식되면서 지하댐 건설에 따른 효과 분석을 해석하기 위해 다양한 방법이 시도되고 있으나 지하수 흐름 해석 모형인 MODFLOW를 이용한 방법이 대부분이다. 임형준(2002), 박민웅(2003), 강수환(2007)은 MODFLOW 모형을 이용해 지하댐 건설 후 지하수 흐름에 대해 연구하였으며 지표수 유역모델인 SWAT모형을 이용한 연구에는 김동준(2007)의 SWAT 모형을 이용한 지하댐 수문성분분석 등이 있다. 그러나 실제 MODFLOW 및 SWAT 모형은 각각 지하수와 지표수 중심의 모형이므로 지표수와 지하수가 연계된 지하댐 해석 모형으로는 부족한 것으로 평가되었다. 김남원 등(2004)은 세계 최초로 지표수와 지하수의 통합관리를 위해 SWAT 모형과 MODFLOW 모형을 일 단위의 완전연동형 방식으로 결합한 SWAT-MODFLOW 모형을 개발하였으며 다양한 유역에 지표수 및 지하수 관련 해석을 진행중이다.

현재 쌍천지하댐이 계기가 되어 지하댐 연구가 계속 진행되고 있으나 지하댐 건설에 따른 지하수량의 정량적인 해석은 부족한 상태이다. 본 논문은 이처럼 지하댐의 건설 전과 건설 후의 지하수위 변화를 새로이 개발된 모형을 이용해 연구 지역의 실제 수자원 확보량을 제시하는데 목적을 두고 있다.

연구지역 현황

지형 및 지질

본 연구지역은 지하댐 예정지로서 행정구역상 경상남도 하동군 하동읍, 청암면, 황천면, 적량면 일대에 위치하고 있다. 또한 소백산맥의 남부에 위치한 지리산의 동남쪽에 위치하며, 남쪽은 남해와 접해 있어 비교적 북쪽은 높고 남쪽은 낮은 산형의 장년기말 내지 노년기 지형을 보여준다.

본 연구지역의 지질은 선캠브리아기의 화강암질편마암, 우백질편마암, 편암, 화강편마암, 시대미상의 회암, 쥬라기의 섬록암 그리고 백악기의 석영반암이 전반적으로 분포하며 황천강 분류의 경우 우백질편마암이 주를 이루고 있다(하동도폭, 1989). 연구지역 주 하천인 황천강의 상류하천은 대부분 변성암으로 확인되었으며 하천 폭은 30 m 내외였다. 또한 농업용수 공급을 위한 축적관정이 황천강을 중심으로 밀집되어 있으며 이는 대부분 논 및 과수를 위한 용수인 것으로 파악되었다. 현장조사 결과 지질로 인한 탁수 등의 오염 문제는 없었지만 가뭄이 지속될 경우 용수공급 문제가 발생하는 것으로 나타났다.

지하수 유동에 대한 수리지질구조

절리나 단층 등이 발달되지 않은 균질한 암체에서의 지하수 함양 및 이동은 지층의 일차적 구조인 암석 내 공극 및 투수율에 의해 좌우된다. 그러나 본 연구지역은 단층, 절리 등의 강한 이방성 특성을 가진 지역으로 지하수의

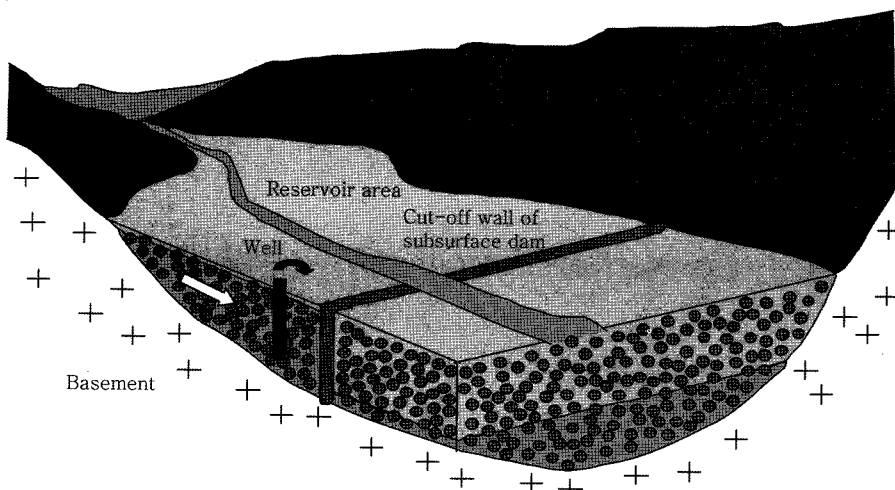


Fig. 1. Model of groundwater dam.

유동이 이러한 이차적 구조들에 의하여 규제를 받는다. 특히 단층과 같은 대규모 이방성 구조가 존재할 때, 지하수의 유동은 주변에 분포하는 상대적으로 작은 규모의 절리계보다 이들 구조에 더 큰 영향을 받게 된다. 그것은 단층대 또는 약화된 연성전단대가 투수성이 강하고 지하수 이동 통로의 연결성이 매우 높아 이들 구조대 내에 지하수 유입이 집중되며 또한 이를 따라 유동하기 때문이다.

Fig. 2는 본 연구지역인 지하댐 예정지에서 발달하고 있는 대표적인 절리, 단층을 입체적으로 표현한 3차원 지질구조 모식도이다. 그림에서 나타나듯이 이 지역에서는 동서 내지 서북서 방향의 절리군이 우세하게 발달하고 있다. 또한 지하댐을 기준으로 남북방향의 하천이 발달하며 이를 따라 단층이 관찰되고 있다.

이와 같은 지질구조 발달상황으로 판단해볼 때 본 연구지역에서는 하천방향과 같은 북북동 방향으로 지하수의 유동이 일어나고 있을 것으로 추정된다.

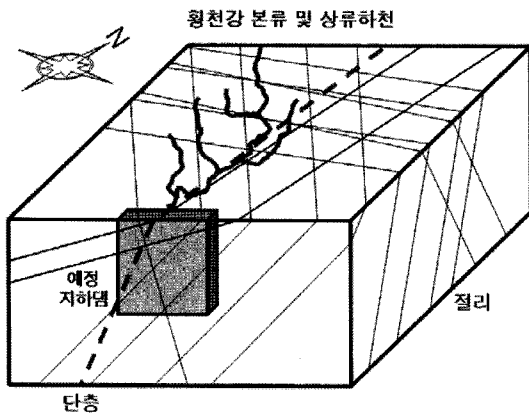


Fig. 2. Geological structure by 3-dimension of research area.

기상자료

연구지역의 최근 10년 강수량을 분석하였으며 연강수량 대비 강우일수 및 단계별 강우일수를 표로 나타내었다 (Table 1). 그 결과 2003년도에 연강수량 및 강우일수가 가장 많았으며 2008년도의 연강수량은 가장 낮은 값을 보였다. 30 mm 혹은 50 mm 이상 강우일수가 많으면 연강수량도 커지는 것을 알 수 있으며 단기간에 내리는 집중호우보다 꾸준히 내리는 30~50 mm 정도의 강우가 지하수 함양에 더 효과적인 것을 확인하였다. 또한 무강우일수와 연강수량과는 상관관계가 미약하며 집중호우로 인해 연강수량은 증가하는 것으로 나타났다. Fig. 3은 강우일수와 연강수량의 관계를 나타낸 그래프이다.

월강수량

최근 10년간(1999년~2008년) 연구지역의 월 누가강수량의 특성은 아래의 Table 2와 같다. 월 누가강수량이 50 mm 이하로 관측된 시기는 1999년 4회, 2000년 6회,

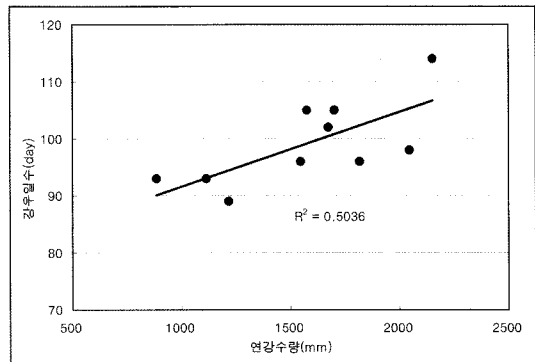


Fig. 3. Relationship of annual precipitation and days of rainfall.

Table 1. Analysis about the change of annual precipitation in research ares.

년도	연강수량 (mm)	강우일수 (일)	30 mm 이상 강우일수 (일)	50 mm 이상 강우일수 (일)	70 mm 이상 강우일수 (일)
1999	2,045.0	98	24	14	5
2000	1,546.9	96	15	9	6
2001	1,216.3	89	14	4	2
2002	1,817.1	96	21	9	4
2003	2,151.2	114	23	11	5
2004	1,575.0	105	15	8	4
2005	1,113.7	93	9	5	2
2006	1,674.0	102	18	7	6
2007	1,701.5	105	17	8	6
2008	885.6	93	8	4	2
평균	1,572.6	99.1	16.4	7.9	4.2

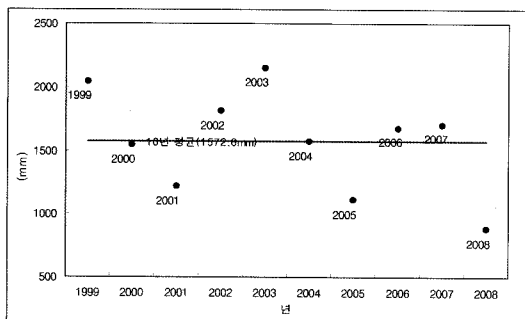
Table 2. Comparison of monthly precipitation in research ares(1999~2008).

년도	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	총강수량
1999	32.0	31.0	156.4	95.6	174.2	197.0	466.9	438.5	345.2	92.8	15.4	0.0	2,045.0
2000	24.2	0.2	23.0	50.0	68.7	123.6	379.7	484.7	316.1	26.1	50.1	0.5	1,546.9
2001	58.9	80.0	15.5	48.5	41.8	323.5	266.6	137.1	107.3	82.6	11.0	43.5	1,216.3
2002	55.1	8.6	100.7	152.1	150.6	81.7	300.0	760.1	116.5	52.1	7.0	32.6	1,817.1
2003	30.4	57.5	58.0	235.5	293.0	259.6	481.0	343.0	321.1	10.0	53.6	8.5	2,151.2
2004	0.1	78.0	42.6	129.8	161.5	243.0	229.5	348.5	213.6	12.2	85.1	31.1	1,575.0
2005	11.7	43.6	85.0	102.2	90.9	113.5	273.6	297.3	54.8	9.0	31.5	0.6	1,113.7
2006	28.0	30.8	14.0	140.0	284.5	268.6	630.9	106.6	99.5	39.5	20.1	11.5	1,674.0
2007	2.8	60.7	96.7	35.8	97.9	54.5	245.7	507.0	471.4	96.5	0.0	32.5	1,701.5
2008	46.1	9.0	36.3	68.5	108.5	337.6	93.6	100.4	36.2	35.2	11.3	2.9	885.6
10년 평균	28.9	39.9	62.8	105.8	147.2	200.3	336.8	352.3	208.2	45.6	28.5	16.4	1,572.6

2001년 5회, 2002년 3회, 2003년 3회, 2004년 4회, 2005년 5회, 2006년 6회, 2007년 4회, 2008년 7회로 나타났다. 월 누가강수량이 50 mm 이하로 관측된 시기는 대부분 건조월인 1~4월 그리고 11~12월로 확인되었다. 특히 가뭄이 심하였던 2008년 경우와 강수량이 가장 크게 나타난 2003년을 비교해보면 2008년 총강수량은 885.6 mm였으며 2003년 총강수량은 2,151.2 mm로 관측되었다.

10년간 강수량 변동 추이

Fig. 4를 보면 경남 하동군 일대의 최근 10년간 연평균강수량의 변동 추이를 알아볼 수 있다. 그림에서와 같이 최근 10년 강수량의 평균값은 1572.6 mm이며 2000년, 2004년이 평균과 거의 일치하며 1999년, 2002년, 2003년, 2006년, 2007년이 연평균강수량 보다 높게 나타난 것을 확인할 수 있다. 연구지역의 경우 강원도 속초 쌍천지하댐과 비교 했을 경우 지하수량에 직접적인 영향을 미치는 강수량이 연평균 약 70 mm 정도 많은 것으로 나타났다.

**Fig. 4.** Variation of annual average precipitation.

SWAT-MODFLOW 모형

SWAT(Soil and Water Assessment Tool) 모형은 미국에서 개발된 유역모델로서 대규모의 복잡한 유역에서 장기간에 걸친 다양한 종류의 토양과 토지이용 및 토지 관리 상태에 따른 물과 유사 및 농업화학물질의 거동에 대한 토지관리 방법의 영향을 예측하기 위하여 개발되었다. 1994년에 최초로 발표된 이후로 지속적으로 개선이 되고 있으며, 현재는 Windows 환경 및 지리정보시스템과 연계된 모형 인터페이스가 개발되었다. 국내의 경우 연구소 및 학계에서 다양한 분야의 연구에 적용되고 있다.

그러나 실제 SWAT 모형을 비롯한 유역유출모형은 주로 지표수 관리문제에만 적용되어 왔으며 지하수 영역의 해석에는 어려움이 있다.

지표면, 토양, 암반에서의 유동해석은 각각 매질특성의 차이로 인해 서로 다른 모습을 보여준다. 지표면에서는 경사를 기준으로 유동이 결정되지만 토양의 경우 공극률에 의해 유동방향이 결정된다. 또한 암반에서 유동은 지하암반 내 대공극의 크기, 방향에 의해 결정된다(한국건설기술연구원, 2007). 이처럼 지표수 및 지하수의 특성상 연계되어야 할 부분이 필요하다.

국내에서 지표수와 지하수의 연계해석에 관한 연구는 거의 없으며 본격적인 유역단위 지표수-지하수 결합모형의 시초는 한국건설기술연구원에서 김남원 등(한국건설기술연구원, 2004)에 의해 개발된 SWAT-MODFLOW 모형이다.

SWAT 모형은 상대적으로 느린 흐름인 지하수 흐름 해석에 문제점을 가지고 있으며 MODFLOW는 지하수 흐름 해석을 제외한 나머지 물 순환성분에 대한 해석방법이 포함되어 있지 않으므로 주요 입력 자료인 지하수

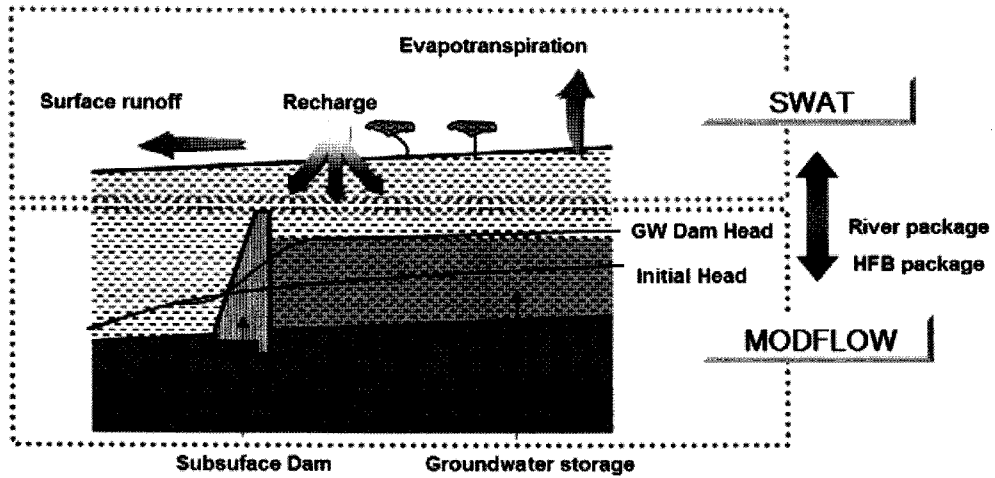


Fig. 5. Integrated model of SWAT and MODFLOW.

함양량의 결정에 어려움이 많다. 따라서 두 모형간의 장점은 유지하면서 단점을 상호 보완하면 수문순환 성분을 요소별로 정량화 시킬 수 있다. SWAT과 MODFLOW 결합 모형에서의 수문성분은 강수, 증발산, 침투, 함양, 하도수위, 지하수 유출 등이다(Fig. 5).

입력값

본 연구지역은 지하댐 예정지로써 하동군에 위치한 지방 2급 하천인 황천강 유역이다. 황천강과 섬진강이 합류하는 지점에 지하댐을 설치하여 지하댐 유무에 따른 지하수위의 변화에 대해 알아보았다. 지표수 및 지하수 연계 모델링인 SWAT-MODFLOW를 이용하여 장기유출 현상을 모의하기 위하여 2000년~2007년의 기상자료와

황천강 유역의 1:25,000 수치지도를 이용한 DEM 100 m, 농업과학기술원의 토양도, 중분류 토지이용도 등을 입력 자료로 활용하였다(Fig. 6~Fig. 8).

유역면적은 154.21 km²이며 주하도 연장은 57 km, 투수계수는 시추조사를 비롯한 현장시험과 실내분석 결과 1 m/d로 확인되었으며 지하댐의 투수계수는 1.0 × 10⁻⁴ m/d로 산정하였다(Table 3).

Table 3. Input data of research areas.

	유역면적 (km ²)	주하도 연장 (km)	투수계수 (m/d)	지하댐 투수계수(m/d)
연구지역	154.21	57	1.0	1.0 × 10 ⁻⁴

*지하댐의 일반적인 사항은 쌍천지하댐 제반사항을 적용

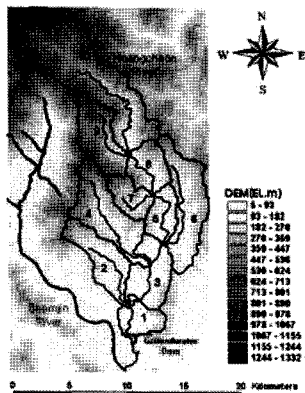


Fig. 6. DEM data of research areas.

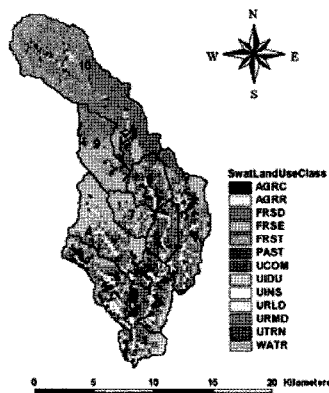


Fig. 7. Land use map of research areas.

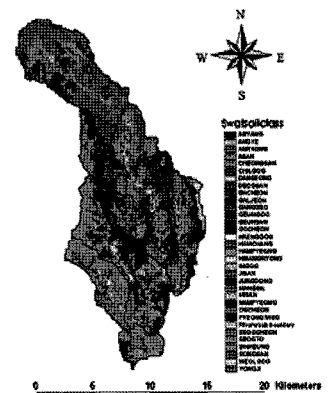


Fig. 8. Soil map of research areas.

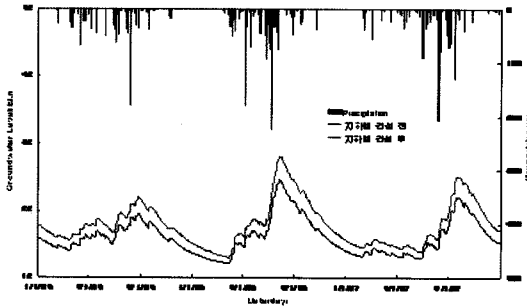


Fig. 9. Variation of groundwater level at the research area.

해석결과

횡천강 유역의 지하댐 예정지에서 SWAT-MODFLOW 해석결과 저류량 및 유출량의 증가를 보였다. 지하댐 건설 전과 건설 후의 지하수위를 비교한 결과 Fig 9의 결과를 얻을 수 있었으며 지하댐 건설 후 직상류부의 경우 일평균 약 2.13m의 지하수위 상승효과가 발생하는 것을 확인하였다.

결 론

지하댐은 지상댐을 건설할 경우 대두되는 수물지 문제나 생태계 변화, 수질악화, 기후변화 등의 문제가 거의 발생하지 않으며 기존 토지이용형태를 유지할 수 있는 장점이 있다. 따라서 입지 확보 곤란 및 물 부족 지역의 경우 유효한 수자원 개발 수단으로 이용될 수 있다. 그러나 지하수의 이용은 지하수위의 저하로 인한 문제점을 발생시킬 수 있으며 이러한 지하수위 저하로 인한 문제점을 해결하는 방안의 하나가 지표수와 지하수의 연계 운영이다.

본 연구에서는 지하댐 예정지의 모형해석을 통해 실제 지하댐 건설 후 지하수위의 변화를 예측하였다. 모형은 완전연동형 지표수-지하수 통합모형인 SWAT-MODFLOW를 이용하였으며 그 결과 지하댐 건설로 일평균 약 2.13m의 지하수위 상승효과가 발생하는 것을 확인하였다. 이는 지속가능한 지하수의 취수는 물론이며 지표수 및 지하수의 연계를 통해 지표수의 수량확보 효과까지 얻을 수 있을 것으로 판단한다.

사 사

본 연구는 21세기 프론티어 연구개발 사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 3단계 연구사업(과제번호 2-2-3)의 연구비 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사를 드린다.

참고문헌

- 강수환, 2007, 지하댐 효율성의 모델링 평가, 공주대학교 대학원, pp.26-48.
 김남원, 정일문, 원유승, 2004, 완전 연동형 SWAT-MODFLOW 결합모형, (I)모형의 개발, 한국수자원학회 논문집, 제37권 제6호, pp.499-507.
 김동준, 2007, 지하댐에 의한 수자원 확보 기술개발에 관한 연구, 관동대학교학원, pp.1-3.
 박민용, 2003, 지하댐 주위에서 지하수 흐름특성에 관한 연구, 관동대학교대학원, pp.54.
 임형준, 2002, 지하댐이 있는 유역의 지하수 흐름에 관한 연구, 동국대학교대학원, pp.80-81.
 한국건설기술연구원, 2007, 21세기 프론티어연구개발사업(지표수 수문성분 해석시스템 개발) 보고서.
 한국동력자원연구소(1989), 한국지질도 하동도폭 1:50,000.
 Hanson, G., Nilsson, A.(1986), Ground~Water Dams for Rural~Water Supplies in Developing Countries, GROUND WATER, 24(4), 497-506.

2009년 5월 2일 원고접수, 2009년 6월 18일 게재승인

김종태

안동대학교 지구환경과학과
 760-749 경북 안동시 송천동 388
 Tel : 054-820-7735
 Fax : 054-822-5467
 E-mail : jongtae98@emple.com

김만일

한국지질자원연구원 지구환경연구본부
 350-305 대전광역시 유성구 가정동 과학로 92
 Tel : 042-868-3117
 Fax : 042-868-3415
 E-mail : mikim@kis.kigam.re.kr

정일문

한국건설기술연구원 수문연구실
 411-712 경기도 고양시 일산서구 대화동 2311
 Tel : 031-910-0334
 Fax : 031-910-0251
 E-mail : imchung@kict.re.kr

김남원

한국건설기술연구원 수문연구실
 411-712 경기도 고양시 일산서구 대화동 2311

Tel : 031-910-0256

Fax : 031-910-0251

E-mail : nwkim@kict.re.kr

정교철

안동대학교 지구환경과학과

760-749 경북 안동시 송천동 388

Tel : 054-820-5753

Fax : 054-822-5467

E-mail : jeong@andong.ac.kr