

기후변화를 고려한 GIS 자료 기반의 금강유역 수문기상시계열 특성 분석

A Hydrometeorological Time Series Analysis of Geum River Watershed with GIS Data Considering Climate Change

박진혁* 이근상** 양정석*** 김세원****
Jin Hyeog Park Geun Sang Lee Jeong Seok Yang Sea Won Kim

요약 본 연구는 금강유역을 대상으로 과거 약 30년간의 기상·수문시계열자료들을 수집해 다양한 통계분석을 수행하여 기후변화의 영향을 정량적으로 파악하고자 하였다. 기상자료로 금강유역 기상관측소 8개소의 37개년(1973~2009)의 기온, 강수량, 상대습도 자료를 수집하였고, 하천수위자료는 수위자료와 수위-유량관계곡선의 신뢰성 문제, 이후 수행될 장기유출분석을 고려하여 공주, 규암 수위관측소의 36개년(1973~2008)의 자료를 이용하였다. 수집된 자료의 평균, 표준편차, 왜곡도, 변동계수를 산출하여 연·계절별로 수문기상인자의 경년변화를 파악한 결과 기상인자 중 강수량의 변동성이 가장 크게 나타나 경년별 변화가 큰 것으로 분석되었다. 수문학적 지속성 분석을 위해 Run 검정, Turning Point 검정, Anderson Exact검정을 이용하여 시계열자료에 주기성이 있는지 분석한 결과 기온과 강수는 무작위성, 상대습도, 하천수위는 지속성을 가지는 인자로 분석되었고 지하수위는 관측소별, 기간별로 무작위성과 지속성이 혼재되어 있는 것으로 나타났다. 또한, 경향성 분석을 위해 단순 선형 회귀분석과 Mann-Kendall 검정법을 이용한 결과 기온은 연·계절 모두 증가경향이 나타났고, 강수량은 여름에만 증가경향이 나타났으며, 상대습도는 뚜렷한 감소경향을 보였다. 본 연구의 결과는 기후변화로 인해 발생할 수 있는 수자원의 영향을 평가하고 미래 물 관리 적응기술 개발 및 계획 수립을 위한 자료로 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

키워드 : 기후변화, 수문시계열, 통계분석, 경향성분석

Abstract The objective of this study is the quantitative analysis of climate change effects by performing several statistical analyses with hydrometeorological data sets for past 30 years in Geum river watershed. Temperature, precipitation, relative humidity data sets were collected from eight observation stations for 37 years(1973~2009) in Geum river watershed. River level data was collected from Gongju and Gyuam gauge stations for 36 years(1973~2008) considering rating curve credibility problems and future long-term runoff modeling. Annual and seasonal year-to-year variation of hydrometeorological components were analyzed by calculating the average, standard deviation, skewness, and coefficient of variation. The results show precipitation has the strongest variability. Run test, Turning point test, and Anderson Exact test were performed to check if there is randomness in the data sets. Temperature and precipitation data have randomness and relative humidity and river level data have regularity. Groundwater level data has both aspects(randomness and regularity). Linear regression and Mann-Kendal test were performed for trend test. Temperature is increasing yearly and seasonally and precipitation is increasing in summer. Relative humidity is obviously decreasing. The results of this study can be used for the evaluation of the effects of climate change on water resources and the establishment of future water resources management technique development plan.

Keywords : Climate Change, Hydrologic Time Series, Statistical Analysis, Trend Analysis

* 한국수자원공사 K-water연구원 수자원연구소 책임연구원, park5103@kwater.or.kr

** 전주비전대학교 지적부동산과 교수, gslee@jvision.ac.kr(교신저자)

*** 국민대학교 건설시스템공학부 부교수, jyang@kookmin.ac.kr

**** 한국수자원공사 K-water연구원 수자원연구소 선임연구원, kimseaa@kwater.or.kr

1. 서론

최근 지구온난화에 따른 기후변화로 인해 미래 기온의 상승과 집중호우의 빈도증가 및 강우일수의 감소 등 강수량의 패턴변화는 증발산이나 토양수분 등의 변화로 이어져 궁극적으로 지역의 물순환의 변화를 초래할 것으로 예상된다[4, 8]. 이처럼 가속화 되고 있는 기후변화와 더불어 나타나게 될 수문순환의 변화는 우선적으로 해결되어야 하는 중요한 문제이며, 심각해지고 있는 수자원 문제에 대해 원활하고 효과적으로 수자원을 활용하기 위해서는 기후변화에 의한 수문환경의 변화에 대한 정확한 파악이 필수적이다.

기후변화로 인한 수자원의 영향을 분석하는 방법으로는 크게 관측 자료를 이용해 변화 경향을 분석하는 방법, 기후모형을 이용하는 방법, 그리고 기후모형과 결정론적 수문모형을 이용하는 방법으로 나눌 수 있다[20]. 수문모형을 이용하여 기후변화에 대한 영향평가를 위해서는 기후시나리오, 전지구모형(GCMs, General Circulation Models), 상세화(downscaling) 기법, 강우-유출모형의 순으로 매우 많은 과정을 거쳐야 하며, 각 과정을 거치면서 불확실성이 점점 커지고 있다. 이렇게 발생한 불확실성은 미래 기후변화에 따른 적용전략에 영향을 줄 수 밖에 없기 때문에 기후변화에서의 불확실성을 인정하고 줄여나가는 연구가 필요하다[28].

기후변화에 관한 그 동안의 연구들은 시기적으로 조금씩 다른 관점을 가지고 연구되어 왔다. 1990년대 중반까지는 기후변화에 대한 이해와 미래의 기후변화 발생여부에 관한 연구가, 그 이후로는 기후변화가 우리의 지역이나 물순환에 미치는 영향에 관한 연구가 진행되었으며, 최근에는 기후변화의 불확실성을 줄이고 정량적인 예측을 통한 대처방안에 관한 연구들이 주를 이루고 있다[17]. 현재 국내에서 미래 기후변화에 대한 유역의 수문평가 연구[11, 12, 18, 27, 29]가 진행되고 있지만, 서로 다른 배출시나리오, GCM, 수문모형, 상세화 기법을 사용하는 등 기후변화 연구의 불확실성으로 인해 동일유역이라 하더라도 매우 상이한 결과를 제시하고 있어 실제 관련정책에는 반영되지 못하고 있는 실정이다[28]. 또한 최근에는 공간정보와 연계한 홍수범람모의 및 정밀지형자료와 연계한 공간영상정보 구축 연구도 활발히 진행되고 있으며, 이러한 공간정보

연구성과는 기후변화 연구와 연계함으로써 다양한 분석기법을 제공할 수 있으며, 이를 통해 수자원의 아의 의사결정을 용이하게 할 수 있다[24, 25].

본 연구의 대상유역인 대청댐유역을 포함한 금강유역권을 대상으로 한 과거 기후변화 관련 연구를 보면, 윤용남 등[23]은 GCM으로부터 얻은 결과를 중·소규모 대기-수문모형에 적용하여 CO₂배증에 따라 금강유역의 봄철 강수량이 감소할 것으로 분석하였으며, 서용원 등[19]은 대기 중 이산화탄소의 농도가 2배로 증가한 상태의 기후변화를 가정하여 얻은 금강유역의 유출 시나리오를 적용한 대청댐의 저수지 운영모의에 대하여 기술하였으며, 김웅태 등[16]은 기존에 실시된 한반도 2CO₂ 상태에서의 GCM 자료의 분석결과를 활용하여 2CO₂ 상태의 강수량과 기온의 변화를 파악하였으며 NWS-PC모형을 이용하여 대청댐 유역의 유출특성의 변화를 분석하였다. 안재현 등[21]은 GCM 결과를 이용하여 대청댐 상류 유역의 강수량과 기온변화를 분석하여 물수지모형을 이용한 토양함수비, 증발산, 유출량 등의 수문환경 변화를 분석하였다. 그 결과 증발산량은 평균 14.7% 증가하고 토양함수비는 감소하였으며 대청댐 상류 유역의 유출량은 평균 3.4% 정도 증가할 것으로 예측하였다. 또한 유출량의 계절적 변화로는 여름과 가을에 증가하고 겨울에는 감소가 뚜렷할 것으로 분석하였다. 김웅태 등[16]은 GCM 모의 결과를 Markov연쇄 추계모형에 적용하여 장래의 기온과 강수량을 모의발생 시킨 후, NWS-PC모형을 이용하여 대청댐 상류 유역을 모의한 결과 봄과 겨울철에서는 유출이 감소하고 여름철에는 시나리오에 따라 -14~8%의 변화를 보일 것으로 전망하였다. 김병식 등[15]은 YONU GCM을 이용하여 기후변화 시나리오를 생산하고 통계적인 방법으로 상세화한 다음 용담댐유역에 대하여 SLURP모형을 이용하여 기후변화가 용담댐유역의 유출량과 수자원에 미치는 영향을 평가하였는데 연평균 유출량은 감소하였고, 계절별로는 겨울철과 가을철의 유출량은 증가하고 여름철은 감소하는 결과를 도출하였다. 예령 등[22]은 기후변화가 대청댐 유역을 대상으로 SWAT모형을 이용하여 기후변화 시나리오에 따른 유출량 및 토양 유실량 변화를 전망하고 이것이 대청댐 저수지에서 탁수 발생 특성에 미치는 영향을 분석하였다.

본 연구에서는 금강유역을 대상으로 과거 약 30

년간의 기상·수문시계열자료들을 수집해 기본통계 분석 외에 경향성분석, 주기성분석 등 다양한 통계 분석을 수행하여 기후변화의 영향을 정량적으로 파악하고자 하였다.

2. 대상유역 및 연구방법

2.1 연구대상지역

본 연구의 대상유역인 금강유역은 금강분류 구간에 대해 다목적댐과 용담 다목적댐이 설치되어 홍수조절에 활용되고 있고, 하구에 금강 하구둑이 설치되어 운영되고 있다. 금강유역은 북위 35°35′~37°05′, 동경 126°41′~128°25′에 걸쳐 우리나라의 중앙부 서쪽에 위치하고 있고, 유역면적은 9,914.013km², 유로연장은 388.45km으로 한강, 낙동강에 이어 3번째로 큰 유역이다. 유역의 북쪽은 차령산맥을 끼고 우리나라에서 제일 큰 한강유역과 접해 있고, 동쪽은 소백산맥을 경계로 낙동강유역과 접하며, 남쪽은 섬진강 및 만경강 유역이 접하고 있고, 서쪽으로는 서해와 접해 있다. 금강유역의 동서장은 약 120km 정도이고 남북장은 약 160km 이다[20]. 본 유역은 14개의 중권역으로 구성되어 있으며, 대권역의 유역 둘레는 737.89km 이고, 유역 평균폭은 25.52km, 유역 평균표고는 EL.85.31m, 유역평균 경사는 16.74%이다. 연평균 기온은 11.5 °C이며 측후소별 증발량은 1,070~1,292mm 정도이다. 그림 1은 금강유역 유역도 및 관측소 현황을 보여주고 있다.

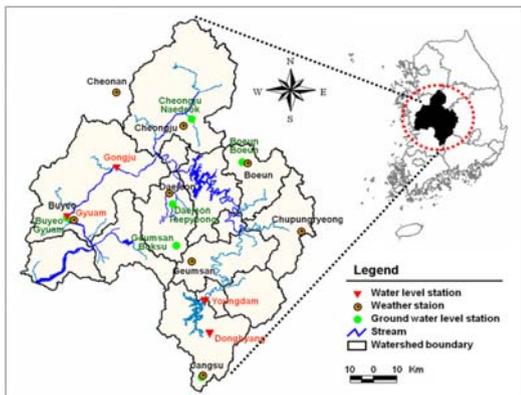


그림 1. 금강유역도 및 관측소 현황

2.2 자료수집 및 분석방법

금강유역 내 기상청의 기상관측소는 7개 관측소

(장수, 금산, 추풍령, 보은, 대전, 청주, 부여)가 있고, 티센망에 속하는 천안관측소를 포함하면 총 8개의 기상관측소가 있다. 강우관측소는 총 115개가 있으며, 하천 수위관측소는 유역 내 총 54개가 있다. 금강유역을 소유역으로 분할하면 총 14개 소유역으로 분할할 수 있다. 기상자료의 시계열 경향을 분석하기 위해 우선 기상자료는 국토해양부[9]에서 제공하는 기상관측소의 강수량(mm), 평균기온(°C), 평균습도(%) 자료를 이용하였다. 본 연구에서는 금강유역의 내 7개 관측소(장수, 금산, 추풍령, 보은, 대전, 청주, 부여)와 티센망에 속하는 천안관측소를 포함하여 총 8개의 기상관측소를 선정하였다.

장수 관측소를 제외한 모든 관측소는 37년(1973~2009) 이상의 자료를 보유하고 있으며, 장수 관측소는 21년(1988~2009)의 자료를 보유하고 있다. 분석은 금강유역 티센 평균 기상관측 값을 연, 계절별로 나누어 분석하였다. 금강유역 내 하천수위자료는 국가수자원관리 종합정보시스템[9]의 자료를 이용하였다. 총 54개 관측소 중에서 유량측정 성과 유무 및 관측소의 중요도 등을 고려하여 우선적으로 7개 관측소(수통, 용담, 매포, 공주, 규암, 석화, 동향)를 선정하였다. 이 중에서 수위자료와 수위-유량 관계곡선의 신뢰성 문제, 이후 수행될 장기유출분석을 고려하여 최종적으로 공주, 규암, 용담 3개소를 선정하였다. 최종 선정된 공주, 규암, 용담 수위관측소는 30년 이상의 실측 수위자료를 보유하고 있는 주요 수위관측소 지점으로서 금강 분류 및 금강지류의 유출특성을 대표하는 지점이며, 기 수행된 유량측정 성과를 토대로 비교적 신뢰도가 높은 연도별 수위-유량관계곡선이 많이 개발되어 있다. 자료의 분석 기간은 36년간(1973~2008)의 자료를 이용하였으며, 표 1에는 선정된 하천수위관측소 현황과 선정이유를 나타내었다. 지하수위관측소는 총 41개소로 국가지하수정보센터[10]의 자료를 이용하였다. 이 중 강수량에 따른 지하수위 변화 분석에 용이하도록 강수관측소와 근접하게 위치해 있으면서 과거 자료를 최대한 많이 보유하고 있는 6개 관측소를 선정하였다. 토지피복도는 1975년부터 2000년까지 5년 단위로 분석하였으며, 토지피복분류 항목은 수역, 시가지, 나지, 습지, 초지, 산림, 논, 밭으로 구분하였다.

용수이용량 자료는 중권역별로 수집된 41년(1965~2005)의 자료를 이용하였으며, 생활용수, 공업용

표 1. 하천수위관측소 현황

순번	관측소명	표준유역코드	유역면적 (km ²)	하구로부터 거리 (km)	분석여부	분석 제외 사유
1	수통	300401	1,599.03	305.02	×	수위-유량관계곡선식 부족
2	용담	300201	989.50	341.12	○	
3	매포	301002	4,876.69	122.40	×	수위-유량관계곡선식 부족
4	공주	301205	7,149.50	88.80	○	
5	규암	301211	8,253.36	53.30	○	
6	석화	301115	1,425.02	16.40	×	수위자료 부정확

수, 농업용수로 용도별로 분류하여 분석하였다.

3. 기상·수문 시계열 자료의 경향성 분석

3.1 기본통계 분석

과거 기상·수문 자료의 변화 및 특성 분석은 현재 수자원의 상황을 이해하고 미래 수자원의 계획과 관리를 위해 꼭 필요하다. 위의 수집된 기상시계열 자료를 이용하여 평균, 표준편차, 왜곡도, 변동계수를 산출하였으며, 연, 계절별로 금강유역의 기상의 변화를 파악하였다. 강수량의 연평균 표준편차는 267.47 mm 이었으며 강수량의 변화가 큰 여름철 강수량의 경년별 변화가 두드러지게 나타났다. 분석결과를 요약하면 온도는 겨울철, 강수는 여름철의 변동이 크며, 지하수위보다 하천수위의 변동성이 큰 것으로 분석되었다(그림 2).

3.2 수문학적 지속성 분석

수문학적 지속성이란 수문자료 계열을 구성하는 개개 수문량이 무작위하게 독립적으로 발생하는 것이 아니라 비슷한 크기가 지속하려는 성질이다.

무작위성 검정은 어떤 기준점으로부터 벗어난 방향을 연속적인 증가와 연속적인 감소의 개수로 시계열자료에 주기성이 있는지 판단하게 된다. 본 연

구에서는 금강유역의 과거 기상·수문 자료가 지속성을 가지는지 무작위성을 가지는지 분석하기 위해 Run 검정법[5], Turning Point 검정법[2], Anderson Exact검정법[1]을 이용하여 시계열자료에 주기성이 있는지 분석한 결과 기온은 유의수준 95% 내에서 겨울철 Run 검정과 봄철 Anderson Exact검정에서만 지속성계열로 분석되었고, 두 기간을 제외한 나머지 모든 기간에서 무작위 계열로 분석되었다. 강수량은 유의수준 95% 내에서 모든 기간과 모든 검정법에서 지속성이 없는 무작위 계열로 분석되었다. 상대습도는 유의수준 95% 내에서 Run검정과 Anderson Exact검정에서 모든 기간에서 지속성 계열로 분석되었고, 가을철 상대습도는 모든 검정법에서 동일하게 지속성 계열로 분석되었다.

하천수위는 유의수준 95% 내에서 규암수위관측소 가을기간, 용담수위관측소의 여름, 가을기간을 제외한 모든 기간에서 지속성 계열로 분석되었다. 하천수위는 무작위 계열로 분석된 강수량에 직접적인 영향을 받지만, 한동안 비가 오지 않아 가뭄이 심하게 든 해는 그 영향을 지속적으로 받아 다음해에도 영향을 끼치기 때문에 지속성이 있는 것으로 판단된다. 지하수위는 하천수위보다는 덜 민감하게 반응하여 지속성과 무작위 계열이 모두 나타났다.

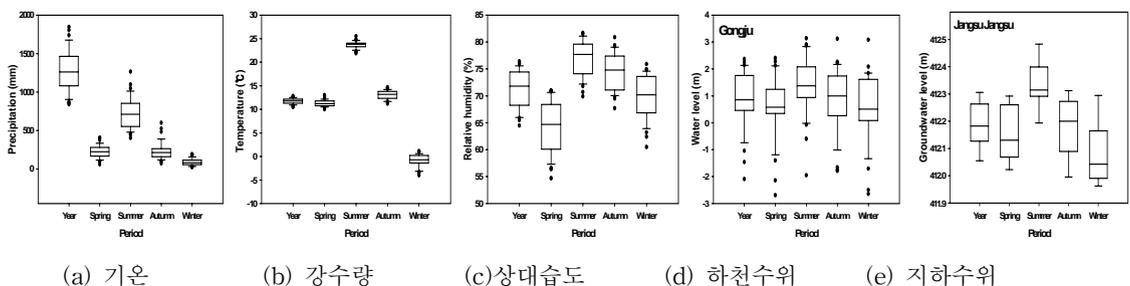


그림 2. 금강유역 기상·수문자료의 기본통계 분석

3.3 경향성 분석

경향성 분석은 장기간의 수문자료에 대한 경향성을 감지해서 변화 양상에 대한 정보를 제공해 주므로 수자원 계획수립 및 운영에 있어 유용한 방법이다. 시계열 자료에서의 경향성은 단순 선형 회귀분석법을 사용해서 분석될 수 있으며 관측지점이 많은 자료의 추세분석을 간단히 할 수 있어서 쉽게 이해되고 널리 사용된다.

한편, 모수검정기법의 형태인 선형회귀분석법과 달리 비모수 검정기법을 이용한 장기 자료들의 특정 기간에 대한 경향성 검정방법 중 하나가 Mann-Kendall 검정법이다[6, 7]. 전통적인 통계검정방법들이 모평균의 분포를 동일한 분산에 대해 정규분포로 가정하고 그 분석을 수행하는데 비하여 Mann-

Kendall 검정은 단지 연속적인 모평균을 가진다는 가정 아래 검정분석을 수행한다[2]. Mann-Kendall 검정은 다른 통계학적 검정법들이 표본크기, 분산, 왜도와 같은 표본자료특성에 영향을 받는데 반해 표본자료의 특성에 민감하지 않고 간단하면서도 강력한 기능을 발휘하며 결측치나 감지 한계를 벗어나는 자료에 대해서도 적용이 가능하다.

본 연구에서는 금강유역의 과거 기상·수문 자료에 대한 경향성 분석을 위해 단순 선형 회귀분석법과 Mann-Kendall 검정법을 이용하였다. 기온은 연·계절 모두 증가경향, 강수량은 여름에만 증가경향, 상대습도는 뚜렷한 감소경향, 하천수위는 감소경향, 지하수위는 유의수준 범위에서 경향성은 보이지 않았다(표 2).

표 2. 금강유역 기상자료(기온, 강수량, 상대습도, 하천수위, 지하수위)의 연·계절평균 경향성분석

기간	Slope	R ²	Statistic Z	Trend			
				$\alpha = 0.10$	$\alpha = 0.05$	$\alpha = 0.01$	
연평균	기온(℃)	0.03	0.28	3.08	▲	▲	▲
	강수량(mm)	4.75	0.04	1.11	-	-	-
	상대습도(%)	-0.27	0.70	-5.06	▽	▽	▽
	하천수위(공주)	-0.05	0.28	-3.68	▽	▽	▽
	지하수위(장수장수)	-0.01	0.18	-1.73	▽	-	-
봄 (3~5월)	기온(℃)	0.03	0.23	2.92	▲	▲	▲
	강수량(mm)	-1.05	0.02	-0.77	-	-	-
	상대습도(%)	-0.36	0.66	-5.15	▽	▽	▽
	하천수위(공주)	-0.07	0.40	-4.53	▽	▽	▽
	지하수위(장수장수)	-0.01	0.08	-0.52	-	-	-
여름 (6월~8월)	기온(℃)	0.00	0.00	-0.05	-	-	-
	강수량(mm)	5.51	0.09	1.82	▲	-	-
	상대습도(%)	-0.20	0.42	-3.26	▽	▽	▽
	하천수위(공주)	-0.04	0.12	-2.23	-	▽	▽
	지하수위(장수장수)	-0.01	0.16	-1.05	-	-	-
가을 (9월~11월)	기온(℃)	0.03	0.15	2.55	▲	▲	-
	강수량(mm)	0.60	0.00	0.05	-	-	-
	상대습도(%)	-0.24	0.59	-4.91	▽	▽	▽
	하천수위(공주)	-0.04	0.15	-3.17	▽	▽	▽
	지하수위(장수장수)	-0.02	0.22	-0.94	-	-	-
겨울 (12월~2월)	기온(℃)	0.06	0.23	2.61	▲	▲	▲
	강수량(mm)	-0.42	0.01	-0.61	-	-	-
	상대습도(%)	-0.28	0.54	-4.40	▽	▽	▽
	하천수위(공주)	-0.05	0.19	-3.64	▽	▽	▽
	지하수위(장수장수)	-0.02	0.20	-1.05	-	-	-

* ▲ : 경향성의 증가, ▽ : 경향성의 감소, - : 경향성의 증가, 감소에 유의성이 없음

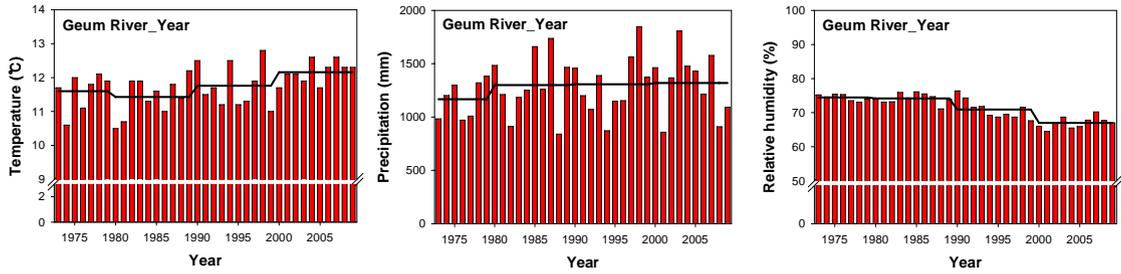


그림 3. 금강유역 연평균 기상자료(기온, 강수량, 상대습도)의 10년 이동평균 변화분석

10년 이동평균 변화분석을 수행한 결과 1970년대 대비 2000년대에는 연평균기온은 0.6℃ 상승하였고, 겨울온도는 1.1℃ 상승하였다. 연강수량은 152.9mm 상승하였고, 봄 강수량은 42.7mm 감소한 반면, 여름 강수량은 179.5mm 증가하였다, 상대습도는 연·계절 모두 5.0~9.8% 감소하는 것으로 분석되었다(그림 3).

상대습도는 모든 기간에서 꾸준히 감소하지만 1990년대 이후부터 급격히 감소한 것으로 분석되었고, 특히 봄과 겨울에 상승폭이 가장 크게 나타났다. 봄, 겨울기온의 상승과 봄, 겨울 강수량의 감소

로 인해 봄, 겨울 상대습도의 감소가 크게 나타난 것으로 판단된다.

그림 4는 금강유역 온도, 강수량, 상대습도의 공간적 변화를 도시한 그림이다. 연평균 기온은 점차 증가하며, 1990년대와 2000년대에 특히 더 상승했다. 연평균 강수량은 1980년대 이후 꾸준히 증가하였고, 상대습도는 꾸준히 감소하는 것으로 나타났다.

수문사상에 관련이 깊은 강우량을 대상으로 금강유역 전체 및 관측소별 무강수일수, 일최대강수량, 집중호우발생빈도(80mm/day, 90mm/day, 100mm/day)

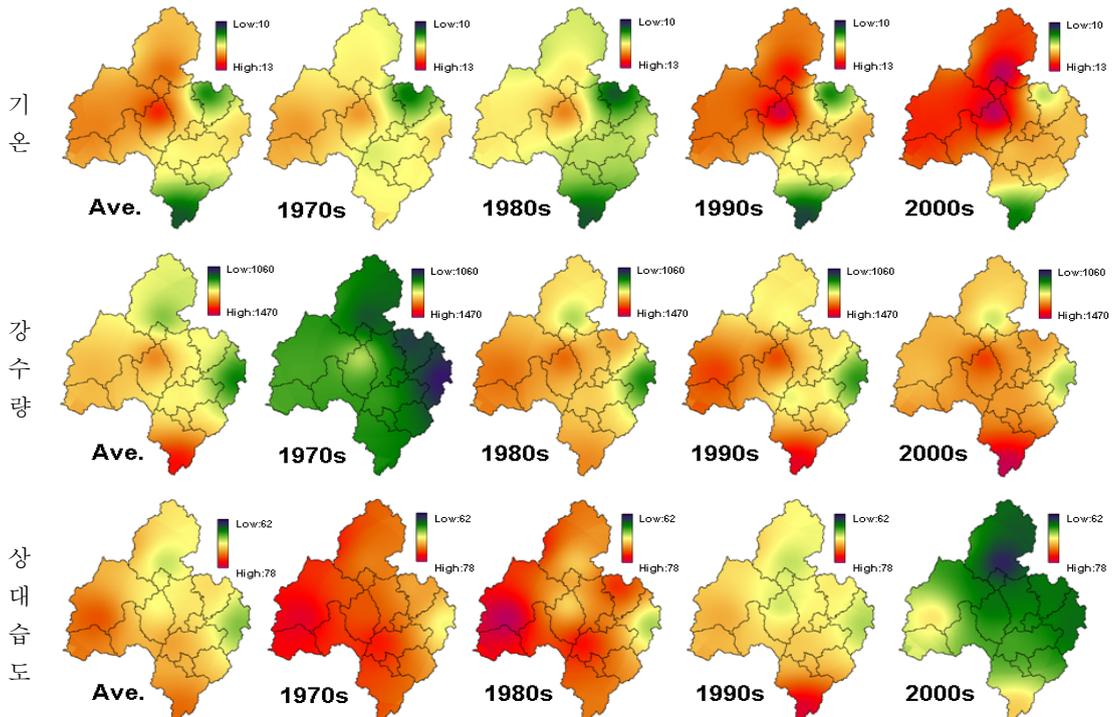


그림 4. 금강유역 연평균 기온, 강수량, 상대습도 변화 분포도

를 분석하였다. 많은 기후변화예측모형에서는 미래에 무강수 일수의 증가를 전망하고 있으며, 미래의 강우발생패턴은 총강수량의 증가와 무강수일수의 증가를 통하여 강우사상당 강수량이 증가하는 것으로 전망하고 있다. 하지만, 금강유역 전체의 과거 37년(1973~2009)간의 무강수일수는 경향성이 뚜렷하지 않은 것으로 나타났다. 반면 일최대강수량과 집중호우발생빈도는 증가하는 것으로 분석되었다(그림 5~8). 관측소별로 살펴보면 무강수일수는 대전, 청주, 부여 관측소에서 증가경향이 나타났으며, 일최대강수량은 부여 관측소를 제외하고 모두 증가경향이 나타났다. 집중호우발생빈도는 80, 90, 100mm/day에서 모두 증가하는 경향을 보였다.

4. 토지피복도와 용수이용량 경향 분석

과거 토지피복의 변화를 알아보기 위해 1975년부터 2000년까지 5년 단위로 자료를 수집하였다. 6개

의 항목(수역, 시가지, 산림, 나지 및 습지, 초지, 농지)에 대한 금강유역 면적변화를 표 3에 도시하였으며, 산림은 감소하고 시가지는 증가하는 경향을 나타내었다. 금강유역 전체면적 중 시가지의 면적은 1975년에 1.0%, 2000년에는 4.6%를 차지하는 것으로 분석되었다. 권역별로 살펴보면 전반적으로 시가지가 증가하기는 했으나, 10%가 넘는 지역은 갑천유역 한곳으로 나머지 유역은 시가지 비율이 현저히 낮음을 알 수 있었다.

금강유역 전체 용수이용량 중 생활용수가 차지하는 비율은 10%, 공업용수는 2%, 농업용수는 88%로 분석되었다. 표 4에는 금강유역 권역별 용수이용량 현황을 정리하고, Mann-Kendall 경향성 분석을 통해 유의수준 95%에서의 경향성을 분석한 결과를 정리하였다. 금강유역 총 용수이용량의 41개년(1965~2005)의 경향성은 갑천과 미호천을 제외하고, 유의수준 내에서 경향을 보이지 않거나 대부분 감소하는 것으로 나타났다. 생활용수와 공업용수는 도시

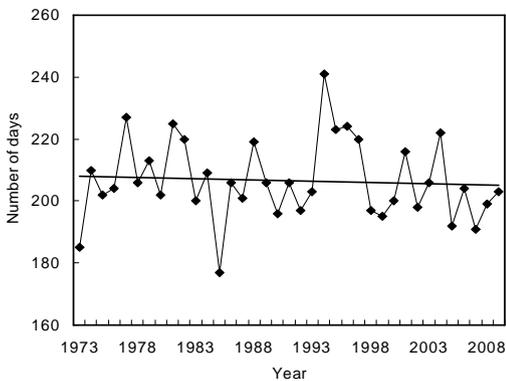


그림 5. 금강유역 무강수일수 변화

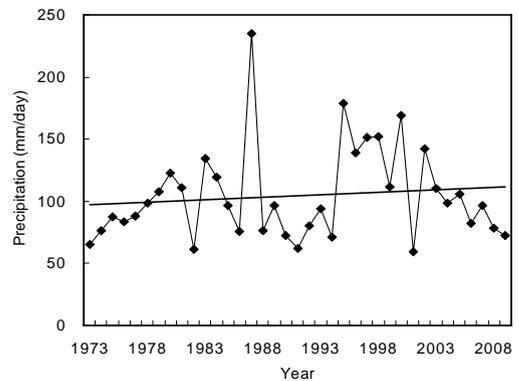


그림 6. 금강유역 일최대강수량 변화

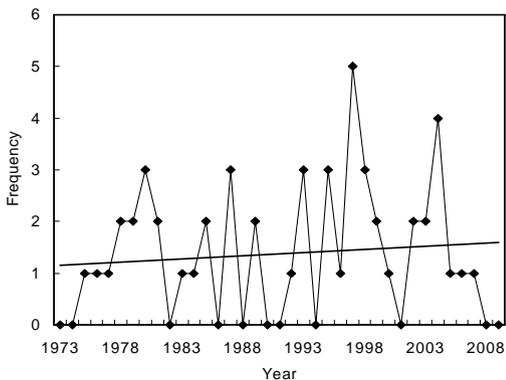


그림 7. 80mm 이상 호우빈도 변화

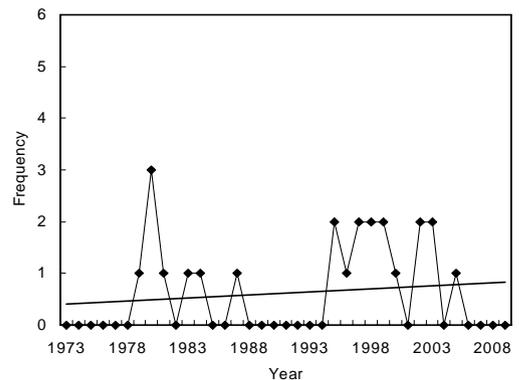


그림 8. 100mm 이상 호우빈도 변화

표 3. 금강유역 토지피복의 면적변화

년도	토지피복분류 (km ² [%])						
	수역	시가화	산림	나지&습지	초지	농지	합계
1975	118.5 [1.2]	100.5 [1.0]	6696.0 [67.5]	79.7 [0.8]	145.4 [1.5]	2774.0 [28.0]	9914.0 [100]
1980	101.9 [1.0]	128.4 [1.3]	6545.5 [66.0]	136.0 [1.4]	273.9 [2.8]	2728.3 [27.5]	9914.0 [100]
1985	190.6 [1.9]	183.1 [1.8]	6334.7 [63.9]	90.3 [0.9]	244.5 [2.5]	2870.8 [29.0]	9914.0 [100]
1990	230.4 [2.3]	282.0 [2.8]	6286.3 [63.4]	131.6 [1.3]	305.5 [3.1]	2678.3 [27.0]	9914.0 [100]
1995	241.3 [2.4]	359.2 [3.6]	6123.5 [61.8]	114.7 [1.2]	304.1 [3.1]	2771.2 [28.0]	9914.0 [100]
2000	228.7 [2.3]	460.2 [4.6]	6070.4 [61.2]	117.1 [1.2]	317.8 [3.2]	2719.9 [27.4]	9914.0 [100]

표 4. 금강유역 중권역별 용수이용량 경향성 분석

유역명	용수이용량 (m ³)				Statistic Z (Trend $\alpha=0.05$)			
	계	생활용수	공업용수	농업용수	계	생활용수	공업용수	농업용수
용담댐	154,668	8,125	304	146,240	-5.34 (▽)	2.71 (▲)	8.95 (▲)	-5.96 (▽)
용담댐하류	10,991	574	3	10,415	-6.26 (▽)	-1.84 (-)	7.51 (▲)	-6.32 (▽)
무주남대천	48,428	2,296	34	46,098	-6.91 (▽)	7.36 (▲)	3.45 (▲)	-7.18 (▽)
영동천	161,772	12,558	619	148,594	-2.39 (▽)	8.53 (▲)	8.93 (▲)	-3.34 (▽)
초강	135,435	3,317	1,057	131,061	-3.49 (▽)	6.05 (▲)	8.73 (▲)	-3.85 (▽)
대청댐상류	33,116	1,410	366	31,341	-4.80 (▽)	7.67 (▲)	8.46 (▲)	-5.49 (▽)
보청천	166,673	7,462	592	158,619	-3.67 (▽)	6.12 (▲)	7.85 (▲)	-4.32 (▽)
대청댐	126,348	12,623	6,505	107,220	-1.40 (-)	8.88 (▲)	8.64 (▲)	-5.29 (▽)
갑천	251,591	110,408	7,013	134,170	6.98 (▲)	8.57 (▲)	8.77 (▲)	-7.69 (▽)
대청댐하류	53,632	3,017	6,733	43,882	1.94 (-)	8.79 (▲)	8.91 (▲)	-4.50 (▽)
미호천	793,121	83,826	32,481	676,814	3.96 (▲)	8.79 (▲)	8.84 (▲)	-2.71 (▽)
금강공주	656,873	48,439	7,960	600,473	-1.20 (-)	7.20 (▲)	8.03 (▲)	-2.73 (-)
논산천	299,894	19,147	1,121	279,626	1.09 (-)	8.50 (▲)	8.12 (▲)	-0.95 (-)
금강하구연	326,462	10,176	3,209	313,078	-1.45 (-)	6.64 (▲)	1.31 (-)	-1.79 (-)
합계	3,219,005 (100%)	322,804 (10%)	67,997 (2%)	2,827,631 (88%)	0.82 (-)	9.09 (▲)	9.06 (▲)	-3.88 (▽)

화가 진행됨에 따라 대부분의 유역에서 증가하였고, 농업용수는 감소하는 경향을 보였다.

그림 9는 금강유역 전체의 용도별 용수이용량 변화를 도시한 그림이며, 전체 용수이용량과 농업용수 이용량을 보면 1970년대부터 상승하거나 안정화되다가 1990년대부터 감소추세를 보이고 있다. 앞서 경향성 분석 및 10년 이동평균분석 결과에서 1970년대 대비 2000년대 연강수량은 152.9mm 증가하였고, 특히 여름 강수량은 179.5mm 증가하였다. 또한 전체 용수이용량과 전체 용수이용량의 88%를 차지하는 농업용수이용량은 감소경향을 보였다. 이러한 결과에도 불구하고 하천수위 및 지하수위가 감소경향을

보이는 것은 기후변화의 영향이라고 할 수 있다.

5. 기상·수문 시계열 자료의 상관성 분석

5.1 기온·강수량과 상대습도의 상관관계 분석

기온과 강수량이 상대습도에 미치는 영향을 관측소별로 분석하였다. 기온과 상대습도, 강수량과 상대습도에 미치는 영향을 각각 분석한 결과 기온과 상대습도는 음의 상관성을 보였으며, 총 8개의 기상 관측소 중에서 대전관측소가 -0.31~-0.55, 청주관측소가 -0.29~-0.55로 가장 높은 상관계수 값을 보였다. 반면 강수량과 상대습도는 양의 상관성을 나

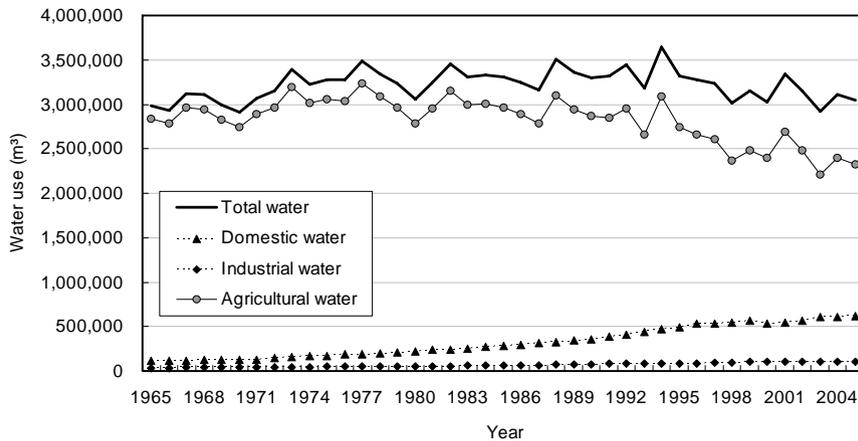


그림 9. 금강유역 전체 용도별 용수이용량 변화

타내었으며, 기온보다는 상대적으로 낮은 상관성을 보여 강수량이 습도에 미치는 영향이 비교적 작은 것으로 나타났다. 추가로 기온·강수량과 상대습도와와의 다중회귀분석을 통해 다중 상관계수를 분석한 결과, 총 8개의 기상관측소 중에서 대전 관측소가 0.50~0.61, 청주관측소가 0.41~-0.64, 추풍령관측소가 0.29~0.62로 다른 관측소에 비해 비교적 높은 상관계수 값을 보였다. 또한 전반적으로 봄과 가을에 기온·강수량이 상대습도에 미치는 영향이 비교적 높은 것으로 분석되었다.

상관분석을 수행하였다. 대체로 강수량과 지하수위는 겨울기간을 제외하고 모두 양의 상관성이 있는 것으로 분석되었다. 총 6개의 기상관측소 중에서 금산-금산복수는 -0.29~0.60, 대전-대전태평은 0.15~0.86, 보은-보은보은은 -0.36~0.59, 부여-부여규암은 -0.25~0.79, 장수-장수장수는 0.22~0.91, 청주-청주내덕은 0.00~0.83의 상관계수 값을 보였다. 특히, 3개 관측소(대전-대전태평, 부여-부여규암, 장수-장수장수)는 여름, 가을기간에 0.63~0.91로 가장 높은 상관관계를 보였다.

5.2 강수량과 지하수위의 상관관계 분석

강수량과 지하수위의 상관관계를 관측소별로 분석한 결과, 금강유역 기상관측소는 8개소, 지하수위 관측소는 6개소로 지하수위 관측소에 근접하게 위치한 기상관측소를 선정하여 총 6개 관측소에 대해서

6. 결론

본 연구에서는 금강유역을 대상으로 기후변화의 경향성을 정량적으로 파악하기 위해 과거 약 30년간의 기상·수문 시계열 자료를 수집하여 기상·수문

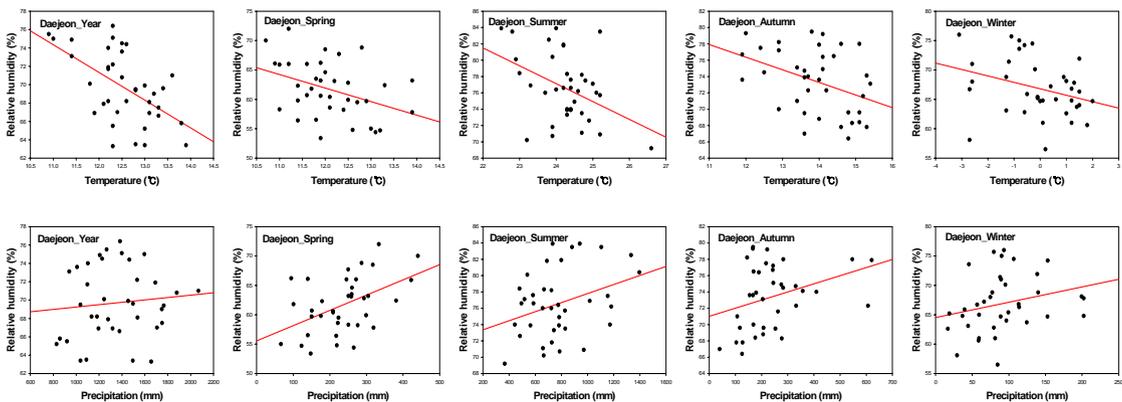


그림 10. 금강유역 대전관측소 기온·강수량-상대습도 산점도

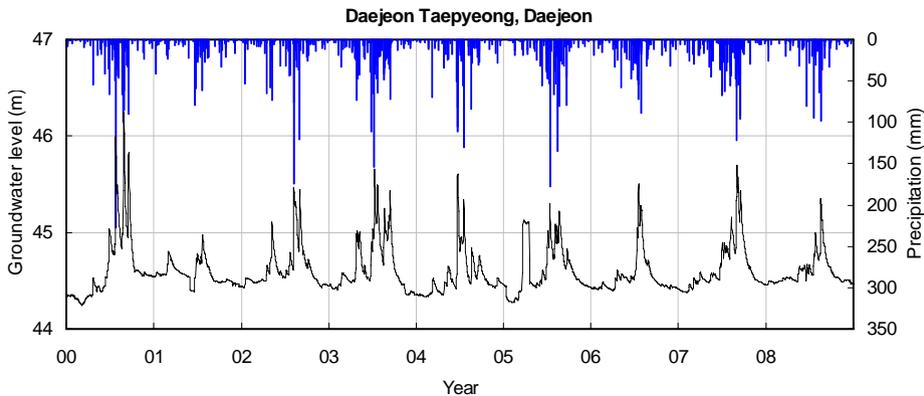


그림 11. 대전-대전태평 강수량-지하수위 관측자료

요소간의 다양한 통계분석과 토지피복도와 용수이용량 자료의 변화 분석을 수행하였다. 본 연구의 결과는 기후변화로 인해 발생할 수 있는 수자원의 영향을 평가하고 미래 물 관리 적응기술 개발 및 계획 수립을 위한 자료로 활용될 수 있을 것으로 사료된다. 연구결과를 정리하면 다음과 같다.

첫째, 금강유역 1970년대 대비 2000년대 기후변동을 분석한 결과 연평균기온은 0.6°C 상승, 겨울온도는 1.1°C 상승하였다. 연강수량은 152.9mm 증가하였고, 봄 강수량은 42.7mm 감소한 반면 여름 강수량은 179.5mm 증가하였다. 상대습도는 연·계절 모두 5.0~9.8% 감소하여 금강유역에는 기후변화가 현저하게 나타나지는 않았으나 비교적 기후변화의 경향성은 확인할 수 있었다.

둘째, 기후변화로 인한 기온상승 및 상대습도의 감소로 인해 증발량이 증가되고 그에 따른 수자원의 변화가 예상된다. 또한 기후변화에 따라 봄 강수량이 감소하고 여름 강수량이 증가하여 봄 가뭄과 여름 홍수가 향후 더욱 극심해질 것으로 전망되었다.

셋째, 여름철 집중강우로 인해 일최대강수량과 집중호우발생빈도는 증가하지만 강수일수는 감소하여 하천수위, 지하수위가 감소하는 등 기후변화의 영향을 받는 것으로 분석되었다.

넷째, 연 강수량의 증가경향과 전체 용수이용량과 농업용수이용량의 감소 경향에도 불구하고 하천수위 및 지하수위가 감소경향을 보이는 것은 기후변화의 영향으로 사료된다.

참 고 문 헌

- [1] Anderson, R.L., 1942, "Distribution of the Serial Correlation Coefficient," Ann. Mathematical Statistics, Vol.13, No.1.
- [2] Clarke, R.T., 1973, "Mathematical Models in Hydrology", Irrigation and Drainage Paper, Vol. 19, Food and Agriculture Organization, U.N., Rome.
- [3] Gibbons, J.D., 1990, Handbook of statistical methods for engineers and scientists, McGrawHill, ed. Harrosen M.W.
- [4] Gregory, J.M, Mitchell, J.F.G. and Brady, A.J., 1997, "Summer drought in Northern mid-latitudes in a time-dependent CO2 climate experiment," Journal of Climate, No.10, pp. 662-686.
- [5] Keeping, E.S., 1966, "Distribution Free Methods in Statistics," Proceeding of Hydrology Symposium, No.5, McGill University, Canada.
- [6] Kendall, M.G., 1975, Rank Correlation Methods. Griffin, London.
- [7] Mann, H.B., 1945, "Nonparametric tests against trend," Econometrica, Vol.13, pp. 245-259.
- [8] Wetherald, R.T. and Manabe, S., 1995, "The mechanisms of summer dryness induced by greenhouse warming," Journal of Climate, No.8, pp. 3096-3108.
- [9] 국가수자원관리 종합정보시스템, 2010, <http://www.wamis.gokr>

- [10] 국가지하수정보센터, 2010, <http://www.gims.go.kr>
- [11] 국토해양부, 2007, 이상홍수 평가기술 개발 연구 보고서, 인하대학교.
- [12] 과학기술부, 2007, 수자원의 지속적 확보기술개발 사업: 기후변화에 의한 수자원 영향평가 체계 구축, 21세기 프론티어 사업. 과학기술부.
- [13] 기상청, 2010, <http://www.kma.go.kr>
- [14] 김웅태, 유철상, 이동률, 이준열, 2000, “기후변화에 따른 대청댐 유역의 유출 영향 분석,” 대한토목학회 학술발표회 논문집, pp. 483-486.
- [15] 김병식, 김형수, 서병하, 김남원, 2004, “기후변화가 용담댐 유역의 유출에 미치는 영향,” 한국수자원학회 논문집, 제37권, 제2호, pp. 185-193.
- [16] 김웅태, 이동률, 유철상, 2004, “기후변화에 따른 대청댐 유역의 유출 영향 분석,” 한국수자원학회 논문집, 제37권, 제4호, pp. 305-314.
- [17] 배덕효, 정일원, 2004, “기후변화와 수자원 대응,” 한국기후변화학회 학술발표회 논문집, pp. 5-14.
- [18] 배덕효, 정일원, 권원태, 2007, “수자원에 대한 기후변화 영향평가를 위한 고해상도 시나리오 생산,” 한국수자원학회 논문집, 제40권, 제3호, pp. 191-204.
- [19] 서용원, 이승현, 김영오, 이동률, 2000, “대청댐 운영에 대한 기후변화 영향평가,” 대한토목학회 학술발표회 논문집, pp. 427-430.
- [20] 안소라, 박진혁, 채효석, 황의호, 2010, “기후변화를 고려한 금강유역 수문기상인자의 특성분석,” 한국수자원학회 학술발표대회논문집, pp. 1250-1253.
- [21] 안재현, 유철상, 윤용남, 2001, “GCM결과를 이용한 지구온난화에 따른 대청댐 유역의 수문환경변화 분석,” 한국수자원학회 논문집, 제34권, 제4호, pp. 335-345.
- [22] 예령, 정세웅, 오동근, 윤성완, 2009, “기후변화에 따른 대청호 유역의 물순환 및 토양유실량 영향,” 한국물환경학회 논문집, 제25권, 제6호, pp. 821-831.
- [23] 윤용남, 이재수, 유철상, 안재현, 1999, “지구온난화에 따른 한반도 수문환경의 변화 연구,” 한국수자원학회 학술발표대회 논문집, pp. 165-168.
- [24] 이근상, 최연웅, 2010, “GIS 기반 FLUMEN 모형을 이용한 남대천 홍수범람 모의,” 한국공간정보학회지, 제18권, 제2호, pp. 25-34.
- [25] 이근상, 최연웅, 2010, “LiDAR와 MBES를 이용한 댐 저수지 3차원 공간영상정보 구축,” 한국공간정보학회지, 제18권, 제3호, pp. 1-11.
- [26] 이재경, 김영오, 이경택, 2009, “기후변화 시나리오의 조합기법에 관한 연구,” 대한토목학회 학술발표회 논문집, pp. 621-626.
- [27] 이재경, 김영오, 2010, “기후변화 표준 시나리오 선정에 관한 연구,” 한국기후변화학회 논문집, 제1권, 제1호, pp. 59-73.
- [28] 한국수자원공사 K-water연구원, 2010, 미래 물관을 위한 기후변화 대응방안 도출연구(1차년도) 보고서.
- [29] 황준식, 정대일, 이재경, 김영오, 2007, “기후변화 영향평가를 위한 월 물수지모형의 적용성 검토,” 한국수자원학회 논문집, 제40권, 제2호, pp. 147-158.

논문접수 : 2012.04.13
수정일 : 2012.06.20
심사완료 : 2012.06.25



이 근 상

1999년 전북대학교 대학원 토목공학과 공학석사
2003년 전북대학교 대학원 토목공학과 공학박사

2003. 4월~2009.8월 한국수자원공사

Kwaer연구원 책임연구원

2009. 9월~현재 전주비전대학 지적부동산과 교수
관심분야는 수자원 GIS, 지형공간분석, 홍수재해분석, 토사유실분석



박 진 혁

2003년 일본 교토대학 토목시스템 공학박사

2004년~현재 한국수자원공사 K-water 연구원 책임연구원

2012년~현재 토목학회 미래토목기술

위원회 위원

2012년~현재 서울특별시 건설기술심의위원회 위원
관심분야는 수문 GIS, 수문모델링, 수자원시스템 평가



양 정 석

1994년 서울대학교 대학원 토목공학과 공학석사

2002년 California대학교 토목공학과 공학박사

2006년 한국환경정책평가연구원 책임

연구원

2009년~현재 국민대학교 건설시스템공학부 부교수
관심분야는 수자원시스템, 환경모델링



김 세 원

2001년 경희대학교 환경학과 이학석사

2001. 3월~2002. 5월 한국건설기술연구원 연구원

2004. 6월~현재 한국수자원공사 선임 연구원

2011년 경희대학교 환경공학과 공학박사

관심분야는 환경모델링, 환경GIS