

RCP 8.5 기후변화시나리오를 이용한 기후변화가 영산강유역의 장기유출에 미치는 영향 평가

Impact Assessment of Climate Change on Long Term Runoff in the Young San River Based on the RCP 8.5 Climate Change Scenarios

Se Jin Jeung*, Byung Sik Kim**, Kye Won Jun***, Jong In Choi****

Department of Urban & Environmental Disaster Prevention, Kangwon National University, 346,
Joongang-Ro, Sancheok-Si, Gangwon-Do, Korea

Abstract

Many climate change studies expected occurrence possibility of extreme high temperature, increase in heavy rain events and strong typhoon in near future. Currently, climate change scenarios have used to prepared appropriate plan for these phenomena under climate change. The main purpose of this paper is to suggest and evaluate an operational method of assessing the potential impact of climate change on hydrologic components and water resources at the regional scale. Future runoff was simulated using high resolution RCM(12.5kmx12.5km) RCP 8.5 scenario which is operated by Korea Meteorological Administration(KMA) and semi-distribution model, SLURP. The study area was applied to the Young San River including nine dams. It was found that runoff characteristics, especially annual distribution, can be changed. The discharge in July tends to be decreased while the runoff can be increased in August and September. The flow duration curve was estimated and compared from observation data and simulated daily runoff data for Naju site to evaluate climate change effect. The analysis of the duration flow curve was shown that the mean of averaged low flow was increased while the averaged wet and normal flow were decreased under climate change scenario.

Key words: RCP 8.5, SLURP, NDVI, flow duration curve

* Tel. +82-10-8886-3666. Fax. +82-10-5008-0267. E-mail. climate@kangwon.ac.kr

** Tel. +82-10-8886-3666. Fax. +82-61-462-2510. E-mail. hydrokbs@kangwon.ac.kr

*** Tel. +82-10-4121-3797,. E-mail. kwjun@kangwon.ac.kr

**** Corresponding author, Tel. +82-10-9172-9056,. E-mail. jichoi@kangwon.ac.kr

Submission & Publication Process

Received: Feb. 5, 2014 / Revised: Feb. 17, 2014 / Accepted: Feb. 22, 2014

국문초록

많은 기후변화 연구들은 극한 기온과 집중호우가 발생할 가능성이 증가하고 가까운 미래에는 강력한 태풍 발생 가능성이 증가할 것으로 전망하고 있다. 현재 기후변화 시나리오는 기후변화를 고려할 수 있는 가장 적절한 방법으로 받아들여주고 있다. 본 연구의 목적은 기후변화가 수문순환과정에 미치는 영향을 분석하고 이를 통한 유역규모의 수자원에 미치는 영향을 전망하는 것이다. 본 연구에서는 기상청에서 제공하는 고해상도의 RCP8.5 기후변화시나리오와 준분포형 수문모형, SLURP 모형을 이용하였다. 분석결과 6월 달의 월유출량은 감소하고 8월과 9월의 유출량은 증가하는 것으로 분석되었다. 또한, 유황 분석을 통해 평균지수량은 증가하고 풍수량과 평수량은 감소하는 것으로 전망되었다.

주제어: RCP 8.5, SLURP, NDVI, flow duration curve

I. 서론

현재 전 세계적으로 기후변화와 관련한 연구 및 프로젝트가 활발히 진행되고 있으며, 미래의 기후가 변화함에 따라서 이에 수자원 분야에서는 갖가지 대응책과 대비책을 마련하고 있다. 2000년대 초반부터 우리나라는 국지성 집중호우, 가뭄 등과 같은 과거와 다른 기후 패턴으로 인한 피해가 빈번히 발생하였으며, 최근 2012년 여름에는 아열대성 강우 패턴을 보이면서 가뭄과 큰 홍수 피해를 동시에 발생시키기도 하였다. 이는 기후변화는 더 이상 예측으로 끝나는 것이 아닌 실제 살아가는 생활의 일부로 받아들여야 한다.

[1]는 “기후변화”라는 요소가 기온 증가, 강우강도 및 빈도 변화와 이들로 인한 증발산의 변화, 유출량의 시·공간적 변동을 초래하여 수자원의 효율적 관리 및 안정적인 공급에 어려움을 증대시킬 것으로 전망하였다. 극한사상 강도 및 출현빈도 증가, 강우 발생일수의 감소는 홍수와 가뭄의 동시 발생 가능성으로 예측할 수 있으며, 따라서 앞으로 가속화될 것으로 전망되는 기후변화에 대비하고 적절한 대응 방안 모색하기 위한 수자원 변동성 평가가 요구된다. 이에 따라 세계 각국은 미래 기후에 대한 보다 정확한 정보를 얻기 위하여 IPCC 권장 시나리오인 SRES(Special Report on Emission Scenario)기반의 GCM(General Circulation Model)과 RCM(Regional Circulation Model)을 이용하고 있으며 특히, 최근에는 고해상도 자료를 생산함으로써 국부지역에 대한 지형학적 특성을 효과적으로 모의할 수 있는 RCM 모형을 이용한 많은 연구가 진행되고 있다[2].

본 논문에서는 기상청에서 제공하는 RCP 8.5 시나리오자료를 일기발생기법을 이용하여 상세화 하였고 이를 기반으로 하여 준분포형 장기유출 모형인 SLURP 모형에 입력하여 2011년부터 2100년까지 영산강 유역의 유출을 모의하고 과거와 미래 유출량을 월별로 비교, 유황분석을 실시함으로써 미래의 영산강 유역의 수자원 변동성을 평가하였다.

II. 이론적 배경

1. RCP 기후변화시나리오

IPCC 5차 평가 보고서에서는 인간 활동이 대기에 미치는 복사량으로 온실가스 농도를 정하였다. RCP시나리오는 최근 온실가스 농도 변화경향을 반영하였으며 최근 예측모델에 맞게 해상도 등을 업데이트 하였다. 기존 온실가스 시나리오(SRES)는 인위적인 기후변화 요인 중에서 온실가스와 에어로졸의 영향에 의한 강제력만 포함하였으나, RCP 시나리오는 토지이용변화에 따른 영향을 포함하여 제시되었다. RCP 시나리오에서 제시하는 4가지 대표 온실가스 농도는 2.6, 4.5, 6.0, 8.5이며 온실가스 농도 산출과정에서 사회경제적 가정을 미래사회 구조 기반에서 기후변화 대응정책 수행여부로 변경하였다. RCP2.6은 인간활동에 의한 영향을 지구 스스로가 회복 가능한 경우이며, 4.5는 온실가스 저감정책이 상당히 실현되는 경우, 6.0은 온실가스 저감정책이 어느 정도 실현되는 경우, 8.5는 현재 추세로 온실가스가 배출되는 경우를 의미한다. RCP시나리오에서의 숫자는 복사강제력, 즉 온실가스 등으로 에너지의 평형을 변화시키는 영향력의 정도를 의미하는 양으로서 단위는 W/m^2 지상에 도달되는 태양복사가 약 $238W/m^2$ 이므로 RCP 8.5/6.0/4.5/2.6의 복사강제력은 입사 태양복사량의 약 3.6%, 2.5%, 1.9%, 1.1%에 해당된다. Table 1은 SRES와 RCP 시나리오별 CO2 농도를 나타낸 것이다. 현재 국내에 기상청에서 제공되고 있는 시나리오는 RCP 8.5를 제공하고 있기 때문에 본 연구에서는 기상청에서 제공하는 RCP 8.5 시나리오를 이용하여 분석을 실시하였다.

<Table 1> CO2 Concentration of SRES and RCP Scenario

시나리오 종류 (PPM농도)	새로운 시나리오(RCP)				기존 시나리오(SRES)		
	2.6	4.5	6.0	8.5	B1	A1B	A2
CO2기준(ppm)	420	540	67	940	550	720	830

2. 일기발생모형

축소기법으로 사용되는 일기발생모형은 지점 관측자료의 통계학적 특성에 근거하여 추계학적으로 발생시키는 방법이다. 이러한 일기발생기는 크게 천이확률과 강수량의 확률밀도함수를 이용하여 강수를 발생시키는 부분과 강수가 발생하였을 때를 조건부로 하여 기타 관심 있는 습도, 온도, 반사도 등을 모의하는 부분으로 나뉘게 된다. 이러한 개념은 [3]에서 처음으로 제안되어 Richardson-type로 불리고 있으며, 농업 수자원, 환경 분야에서 매우 활발하게 적용되고 있다[4].

지점별 월 총강수량으로 축소된 강수를 기준으로 일 강수량을 발생하기 위해서는 월 강수량의 조건에 해당하는 매개변수를 이용하여 일 강수를 발생시키기 위한 모형이 필요하게 된다. 본 연구에서는 [4]에서 제안한 2-state markov chain모형을 사용하였다.

일반적으로 강수를 발생시키는 단계는 2단계로 강수발생시점을 결정하는 단계와 강우량을 결정하는 단계로 나눌 수 있다. 이중 강수발생을 위한 천이확률은 월 총강수량을 기준으로 다음과 같이 결정된다.

$$p_{ij}^m - \Pr(X_{k+1}^m = j | K_k^M = I) \quad (1)$$

여기서 p_{ij}^M 은 월 총강우량에 해당하는 천이확률을 나타내며 2X2형태의 매트릭스 형태로 구성되어 월 총강우량에 따라서 다르게 산정되며, 우변은 월 총 강우량에 해당하는 천이확률을 계산하기 위한 조건부 확률을 나타낸다.

Markov chain 모형에서 강우량을 발생시키는 경우, 식 (2) 와 같은 Gamma-2 분포를 사용하는 것이 일반적이다. 실제로 강우량에 대한 경험적 확률밀도함수는 왼쪽으로 치우친 분포를 따르게 되며, Gamma-2 분포는 이러한 강우량을 잘 재현할수 있는 확률밀도함수를 가지기 때문이다[4]. 이러한 Gamma-2 분포는 최근 [5]에서 비정상성 Markov chain 모형을 이용한 축소기법을 개발하는 과정에서 적용되었다.

$$f(x) = \frac{1}{\alpha^\beta \Gamma(\beta)} x^{\beta-1} e^{-(x/\alpha)} \quad (2)$$

여기서, x, α, β 는 모두 0보다 크며, α 는 규모매개변수(Scale Parameter)를 β 는 형상매개변수(Shape parameter)를 나타낸다.

3. SLURP 모형

SLURP모형은 적용 유역면적이 250km², 7,500~35,000km², 1.8×106km² 등으로 소유역에서 대유역까지 적용성이 높은 것으로 알려져 있다[6][7]. 따라서 전 국토의 약 23%를 차지하는 한강 유역면적(임진강 유역을 제외한 유역면적 26,355km²)과 다수의 댐, 기후변화 요소와 토지피복, 식생변화 등을 고려할 수 있다는 점에서 SLURP모형이 가장 적합할 것으로 분석되었다. 이에 본 연구에서는 기후변화를 고려한 유출 모의를 위하여 SLURP모형을 선정하였다. SLURP모형은 SSARR모형과 같은 복잡한 모형의 대안으로 중규모 유역에 사용하기 위하여 1975년 처음 개발되고 이후 12차례에 걸쳐 개선되어왔다[8][9][10]. 초기에는 SLURP(Simple Lumped Reservoir Parametric)으로 개발되었으나 이후 준분포형 모형인 SLURP(Semi-distributed Land Use-based Runoff Proceses)로 변환되었으며, 이 모형은 준분포형 모형이지만 분포형 모형으로 사용이 가능한 물리적 해석모형으로 강수사상을 강우와 강설사상으로 분리하여 고려할 수 있다[9].

SLURP모형은 전체 유역에 대한 소유역 구분 시 ASA(Aggregated Simulation Area)라는 소유역 개념을 도입하여 전체유역을 분할하며 이 때, 토지피복 상태에 따라 각 소유역별로 세분화한다. 일 단위(daily time step)유출 모의를 위하여 온도, 강수를 포함한 기상학적 시계열 자료 외에도 ASA의 평균고도, 하도길이, 토지피복특성과 같은 지상학적 매개변수와 침투율 등의 물리적 매개변수를 입력 자료로 요구한다. SLURP모형은 ASA별 연직방향 물수지(vertical water balance)를 분석하고, 다시 각 ASA들에 대한 하도추적을 통해 전체 유역 출구지점에서의 유출

량을 모의하게 된다.

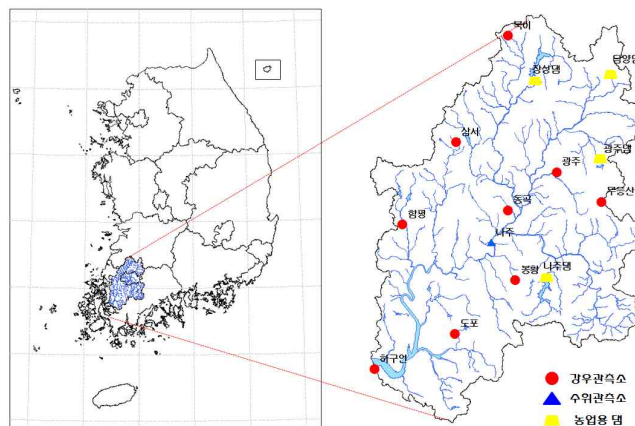
III. 입력자료 수집 및 모형 구축

1. 대상유역의 개황

영산강 유역은 전라도에 위치하고 있으며, 유역면적은 3,469.58 km^2 으로 20,336.6 km^2 인 전라도의 17.06 %를 점유하고 있으며, 주하천 유로연장은 4,991.25 km 이다. 영산강은 용추봉에서 발원하여 담양호에 유입한 뒤, 담양읍을 지나 담양군 봉산면에서 오례강과 합류한다. 다시 봉산면 삼지리에서 증암강과 합류하여 광주광역시로 들어가는데, 이 구간에서부터 극락강이라고도 부른다. 그리고 광산구 송대동에서 황룡강과 합류하는데, 황룡강은 전라북도 정읍시와 전라남도 장성군의 경계를 이루는 입암산 등에서 발원하여 장성호에 흘러든 뒤 남서 방향으로 흐르다가 영산강과 합류한다. 또한 나주시 노안면에서 남평읍을 지나온 지석천과 합류한뒤 서해로 유출된다. 강우량은 44개년 평균 면적강우량이 1,313 mm 이다.

1) 강수량 및 수문 기상자료

영산강유역의 강수량 자료는 광주댐, 나주댐, 도포, 동곡, 무등산, 북이, 삼서, 하구언, 함평, 광주, 장성댐으로 총 11개 관측소의 강수량자료, 평균기온, 평균풍속, 일조시간, 상대습도 자료는 WAMIS에서 제공 받아 사용하였다. <Fig 1>는 영산강유역의 강우관측소와 분석지점인 나주 관측소와 영산강유역의 4개의 댐인 광주댐, 나주댐, 담양댐, 장성댐의 위치를 나타낸 것이다.



<Fig 1> Location of Rainfall Station, and Dam in Youngsan River

2) 수위자료

영산강 유역 내 수위관측소인 나주수위표는 1915년에 수위 관측을 개시한 이래 WAMIS에서

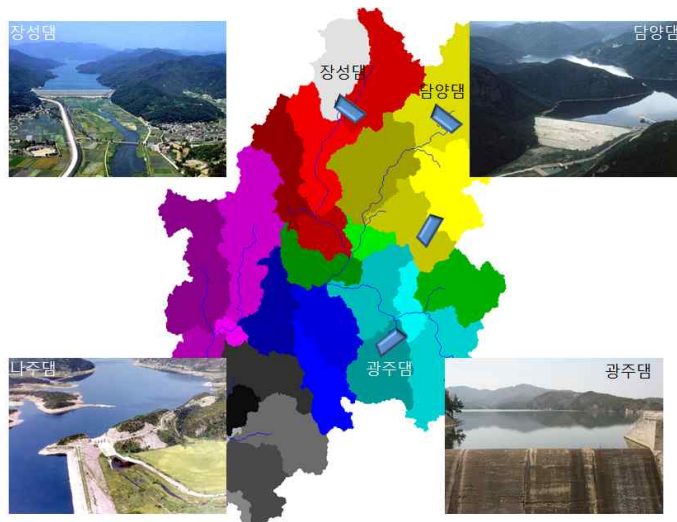
수위 자료를 제공하고 있으며, 수위-유량관계곡선식[11]에서 제공하는 수위-유량 관계 곡선식을 사용하였다(<Table 2>).

<Table 2> Stage-discharge Curve in Naju Station(한국수문조사연보)

수위-유량 관계곡선식		이용자료 연도/자료수	비고
H(h): m	Q: m ³ /sec		
$0.08 \leq h \leq 0.25$	$Q = 75.019 \times (h + 0.185)^{1.74}$	2004	
$-0.20 \leq h \leq 0.25$	$Q = 95.912 \times (h + 0.200)^{2.059}$		
$0.25 < h \leq 1.20$	$Q = 125.651 \times (h - 0.100)^{1.009}$	2007/5	0.14m이하 외삽 5.53m이상 외삽
$1.20 < h \leq 2.00$	$Q = 70.772 \times (h + 0.110)^{2.482}$	2007/6	
$2.00 < h \leq 10.75$	$Q = 392.002 \times (h - 0.830)^{0.901}$		
$0.80 \leq h \leq 1.20$	$Q = 42.706 \times (h - 0.800)^{1.369}$	2007/10	1.11m 이하 외삽 (H=h+1) 7.99m 이상 외삽
$1.20 < h \leq 3.00$	$Q = 127.280 \times (h - 0.998)^{1.467}$	2008/2	
$3.00 < h \leq 6.00$	$Q = 60.001 \times (h + 0.062)^{1.682}$	2009/4	
$6.00 < h \leq 11.69$	$Q = 23.220 \times (h + 1.530)^{1.882}$	2009/9	

3) 농업용 저수지

영산강유역에는 4개의 농업용 저수지가 위치한다. 광주댐, 나주댐, 담양댐, 장성댐으로 1973년 농업용수 개발사업으로 대규모 취수지를 포함하여 건설된 댐이다. 4개댐 모두 농업용수 공급이 주목적이고, 본 논문에서는 4개의 댐으로인해 하류지역 유출에 미치는 영향을 평가하고자 한다. <Fig 2>에 영산강유역의 4개의 댐인 광주댐, 나주댐, 담양댐, 장성댐의 위치와 모습을 나타내었다.



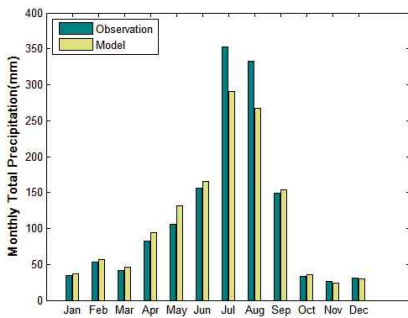
<Fig 2> Figures of Agriculture Dam in Youngsan River

2. 모형의 입력자료 구축

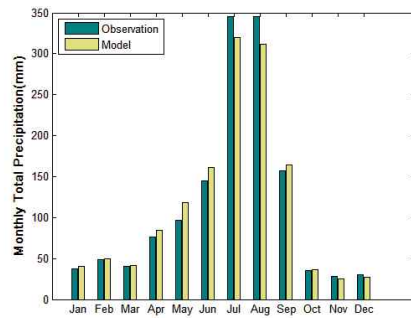
본 연구에서는 영산강 유역의 유출을 모의하기 위하여 사용된 준분포 수문모형인 SLURP 모형의 입력 자료로 요구되는 일(daily)단위 기상 자료(강우, 온도, 풍속, 일조시간과 상대습도), 지형학적 분석을 위한 토지피복 자료를 수집하였다. 그리고 TOPAZ 분석을 통해 SLURP 모형의 소유역 단위인 ASA로 분할한 후 증발산에 영향을 미치는 NDVI 값과 영산강 유역에 위치한 댐의 면적/체적-수위곡선을 고려하여 모형을 구축하였다.

1) RCP기후변화시나리오 기반의 일 강수 시계열 생성

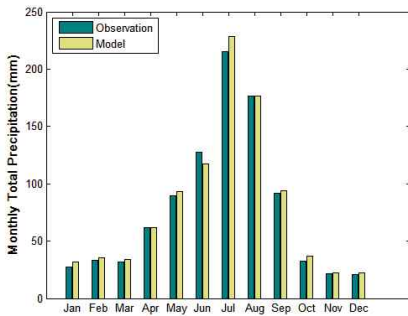
영산강 유역의 11개 관측지점을 대상으로 일 강수 발생 모형을 이용하여 축소된 월 총강수량으로부터 일 강수량 시계열을 500회 모의 발생시켰다. 모의 발생된 일 강수 시계열 자료들의 중간값을 추출하여 영산강유역의 장기유출 모의를 수행하였다. 또한 월별 습윤기간과 월별 건조기간을 Base Line 와 Climate change를 비교하여 모의의 완성도를 확인한 결과, Base Line (기후변화자료: 1981~2010) 와 Climate change(기후변화자료: 2011~2100)가 상당히 유사한 것으로 분석되었다. 따라서 일 강수 발생 모형을 기반으로 축소된 일 강수 시계열 자료가 정상적으로 모의가 된 것을 확인하였다.



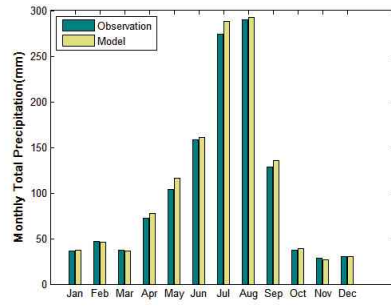
(a) Gwangju



(b) Gwangjudam

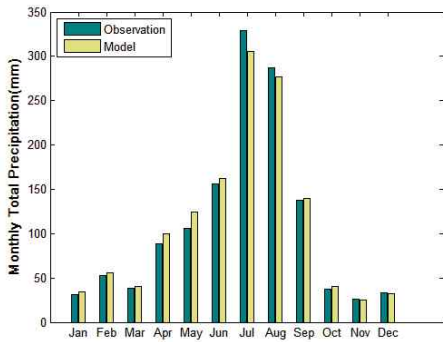


(c) Najudam

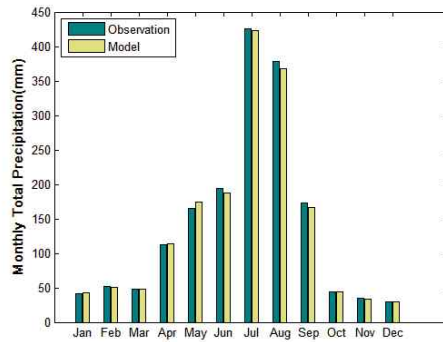


(d) Dopo

<Fig 3> Monthly Total Rainfall Generated by Weather Generator Model



(e) Dongdok

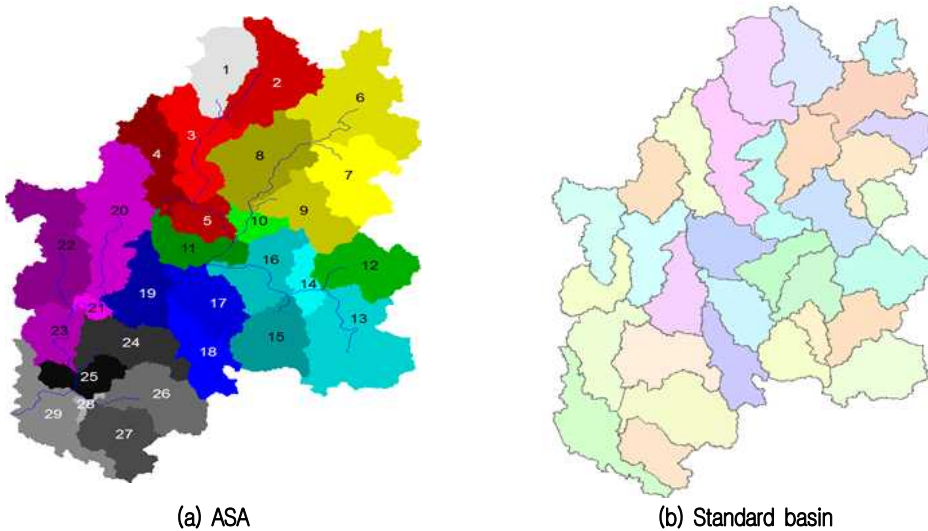


(f) Mudeungsan

<Fig 3> Monthly Total Rainfall Generated by Weather Generator Model(Continue)

2) 지상학적인자 추출 및 ASA분할

본 연구에서는 대상유역을 ASA로 분할하여 SLURP 모형의 지상학적 매개변수(ASA 평균고도, 하도길이, 물리적 매개변수를 추출하기 위하여 수치지형분석모형(digital terrain analysis model)인 TOPAZ를 이용하였다[10]. 본 논문에서는 [12]에서 제공하는 수치고도자료와 토지피복도를 이용하였으며, 대상유역의 면적을 고려하여 수치고도자료의 크기를 30m에서 100m로 재구성하였다. TOPAZ분석결과 영산강유역은 <Fig 4(a)>와 같이 총 29개의 ASA로 분할되었으며, 영산강유역의 표준유역(31개)과 비교를 해보았다(<Fig 4(b)>).



(a) ASA

(b) Standard basin

<Fig 4> Comparison of Sub-basin Between ASA and Standard Basin

3) 토지피복자료 구축

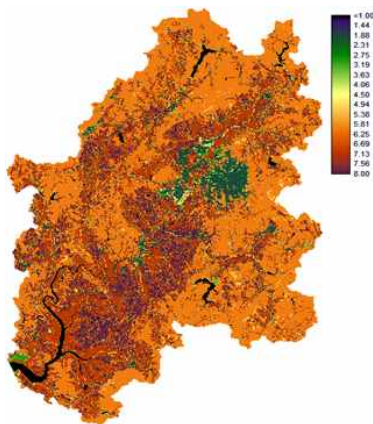
[12]에서 제공하는 영산강유역의 8분류 토지피복도(2005)를 이용하였으며, 영산강유역의 토지

피복을 살펴보면, 영산강유역은 산림지가 54.4%, 논이 28.90%를 차지하고 있으며, 시가지화와 수역이 8.24%, 4.0%를 차지하는 것으로 나타났다(<Fig 5>).

영산강유역의 토지피복은 과거로부터 지속적인 변동을 나타내었으며, [12]에서 제공하는 바탕으로 변동성을 확인해 보았다(<Table 3>). 전체적으로 영산강유역은 수역, 시가지화, 나지, 습지, 초지, 산림지, 논과 밭으로 시가지화가 급격히 증가하였으며, 산림지가 1995년 까지 감소하다고 2000년에 들어 다시 증가하였다. 이는 영산강유역의 경우 1970년에서 1995년까지 도시화가 급격히 발전하여 산림지가 줄어들었으나, 2005년에 들어서 토지이용 변화 흐름이 일정하게 수렴하는 경향을 보였다.

<Table 3> Ratio of Land Use in Youngsan River(%)

분석연도	수역	시가지화	나지	습지	초지	산림지	논	밭
1975	4.05	0.56	1.82	0.58	3.09	53.40	36.49	
1980	3.74	1.57	2.10	0.69	2.05	52.21	37.64	
1985	2.66	2.64	1.01	0.03	1.47	53.88	38.31	5.22
1990	2.67	4.38	1.14	0.04	2.35	54.01	35.42	6.92
1995	2.45	5.21	1.47	0.03	2.91	49.81	38.13	6.22
2000	2.84	6.74	2.32	0.02	1.50	49.92	36.66	4.71
2005	4.00	8.24	1.39	0.00	3.05	54.42	28.90	17.39



(a) Landuse(2005)



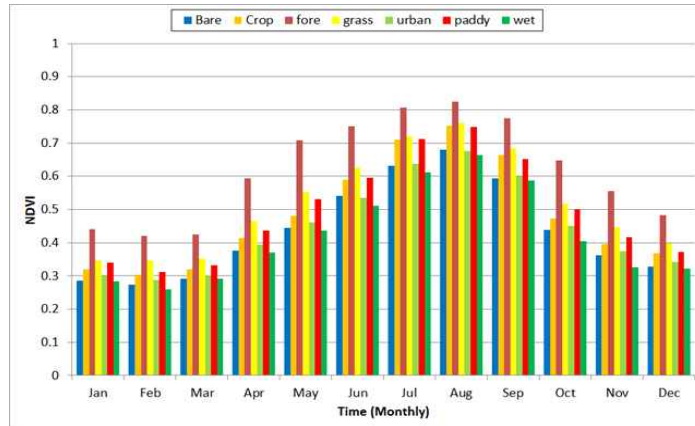
(b) Ratio of Landuse

<Fig 5> Landuse in Youngsan Basin

4) 정규식생지수 구축

수문순환과정에서 증발산은 유역에 내린 강수량의 62-75%를 차지하며[13], 식생 종류 및 공간적 분포 유형과 같은 정보에 따라 영향을 받게 된다. 즉, 증발산은 유역의 식생 종류와 분포에 의한 영향을 받으며[14], 식생의 양과 활성도를 정량적으로 표현하기 위하여 [15]이 정규식생지수(Normalized Difference Vegetation Index, NDVI)를 개발하였으며 이 자료는 인공위성 NOAA에 탑재되어 있는 AVHRR(Advanced Very High Resolution Radiometer)로부터 구할 수 있다. SLURP 모형에서는 작물에 의한 강수 차단을 고려하고 토양과 작물로부터의 증발량,

작물로부터의 증산을 분리하기 위해서 LAI(Leaf Area Index)를 사용하며 SiB(Simple Biosphere Model) 작물 계수로부터 분류된 월별 NDVI로부터 모형 내에서 계산된다[16]. NDVI 값이 클수록 지점에서의 식물 양이 많고 활성도가 높은 것을 의미한다. <Fig 6>는 영산강 유역의 월별 NDVI를 토지피복별로 정리한 것이며, 모든 토지분류에 대하여 5월부터 8월까지의 상승하고 9월부터 대체적으로 감소하는 경향을 보였다.



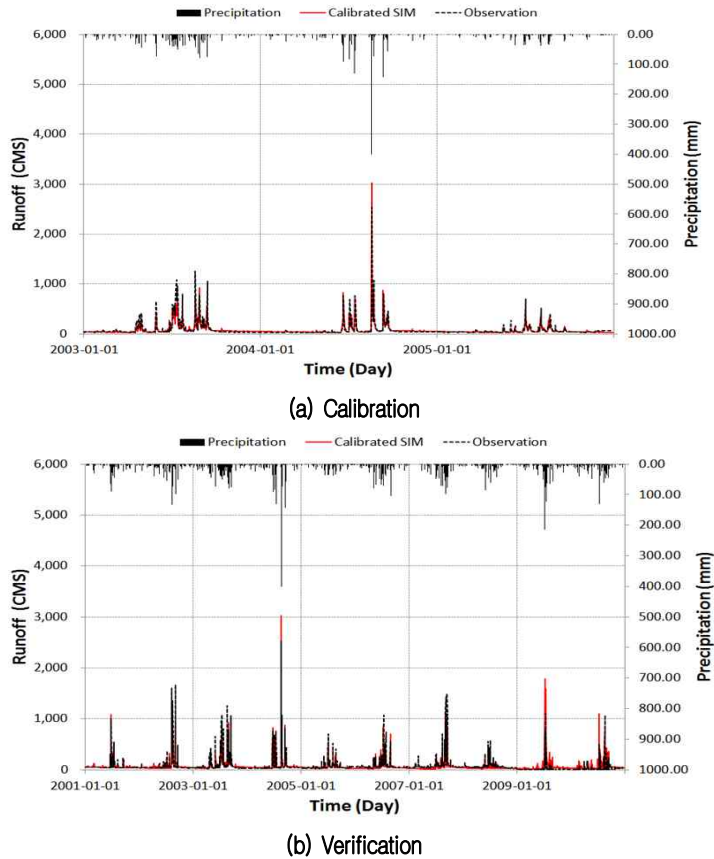
<Fig 6> Monthly NDVI

4. 모형의 검정 및 모의 결과

본 논문에서는 영산강 유역에 위치한 12개 기상관측소와 각 지형자료를 SLURP모형에 적용하여 영산강 유역을 대상으로 장기유출을 모의하였으며, 영산강유역의 나주 수위관측소를 최종 유출 모의 지점으로 선정하였다. 또한 각 댐 정보 입력 시 월별 실측 방류량 자료가 이용 되었으며, 나주 수위관측소의 실측 유출량(2003년~2005년)과 모의 유출량(2003년~2005년)을 비교 분석하고 모의 결과에 따라 모형 보정을 수행하였다. 또한 2001년~2010년 사상을 대상으로 검증을 수행하였다(<Fig 7>). <Table 4>에 매개변수 전과 후의 결과를 정리하였다.

<Table 4> Results of Calibration and Verification

구분	나주 수위표		
	(a) 보정전	(b) 보정 후	(c) 검정 후
모형 분석기간	2003년~2005년		2001년~2010년
일 평균 계산 유출량(m3/sec)	40.37	88.82	64.79
일 평균 관측 유출량(m3/sec)	80.18	80.18	67.36
평균오차	-39.81	8.64	-2.57
평균오차(m3/sec)/ 일평균 관측 유출량(m3/sec)	-0.49	0.11	-0.04

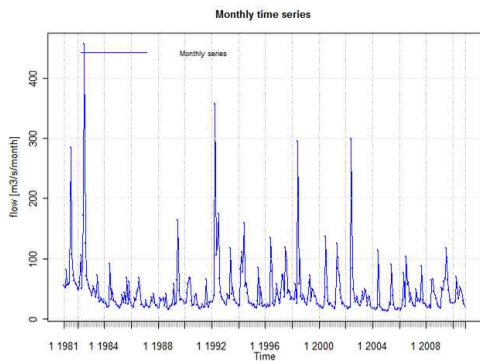


<Fig 7> Result of Hydrograph

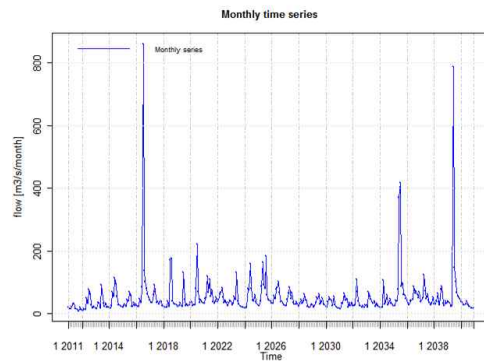
5. 기후변화가 장기유출에 미치는 영향 평가

1) 기후변화가 영산강 유역의 하천유황에 미치는 영향 분석

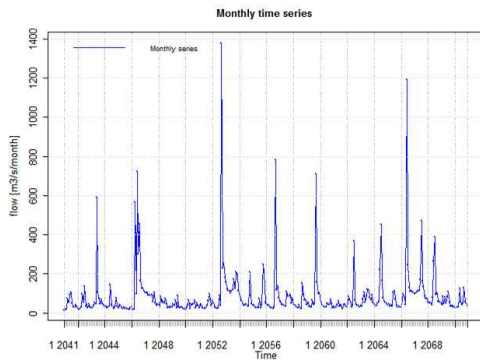
본 논문에서는 유황 모의 결과(Current: 1981~2010, Future 1: 2011~2040, Future 2: 2041~2070, Future 3: 2071~2100)를 활용하여 미래 영산강유역에서의 유출 변동성과 유황 분석을 수행하였다. <Fig 8>은 월별 평균 유출량을 비교한 결과 이다. 미래로 갈수록 월별 평균 유출량은 많아지고, Future 2 일 때 유출량이 가장 증가 할 것으로 전망되었다. 또한 월별 총 유출량의 Box-Plot과 확률분포도를 확인한 경우 미래로 갈수록 극치값이 현재보다 자주 발생하리라 전망되었다(<Fig 9>).



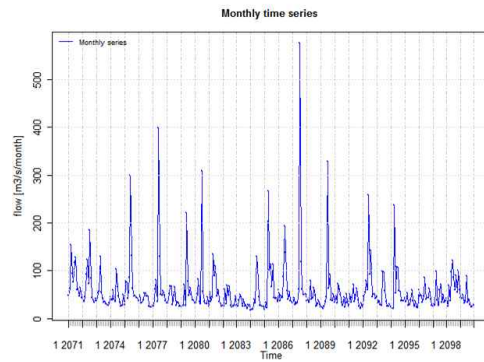
(a) Current



(b) Future 1

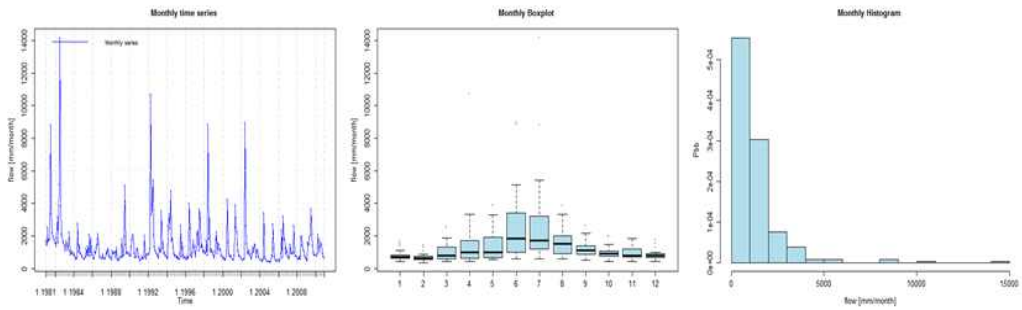


(c) Future 2

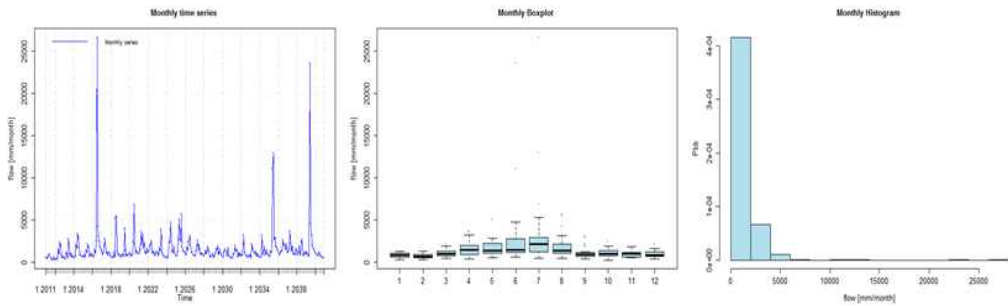


(d) Future 3

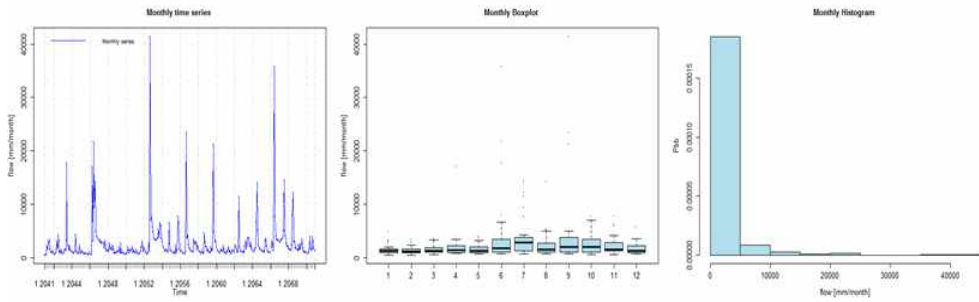
<Fig 8> Comparison of Monthly Mean Daily Streamflow



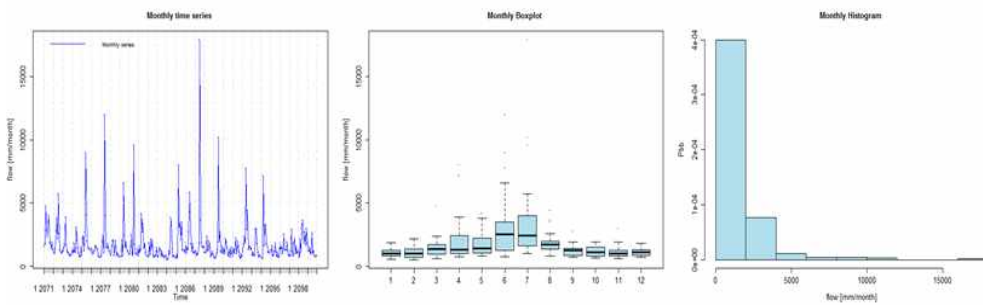
(a) Current



(b) Future 1

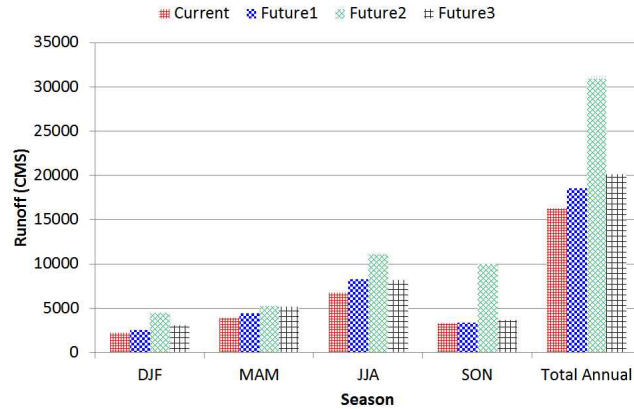


(c) Future 2



(d) Future 3

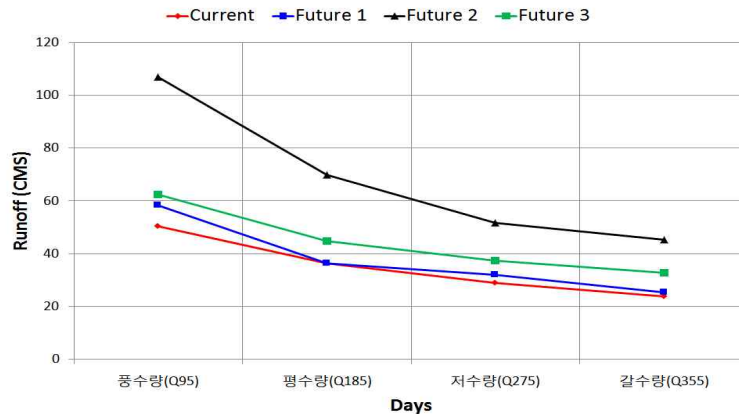
<Fig 9> Box-Plot and Probability Distribution of Monthly Total Stramflow



<Fig 10> Comparison of Seasonal Streamflow Between Current and Futures

<Fig 10>은 기간별 계절 변동성 분석을 통해 영산강유역에서의 미래 유출량 변화를 분석하였고 연중 유출량과 비교하였다. 그 결과 여름철에 유출이 가장 많이 발생하리라 전망되었고, Future3보다 Future2일 때 유출이 더 많이 발생하리라 전망되었다.

유황분석을 통해 미래의 하천의 유황의 변화를 전망하였다(<Fig 11>). 그 결과 미래로 갈수록 풍수량과 갈수량이 증가하리라 전망되었고, Future2기간일 때 가장 많이 증가하리라 전망되었고, 풍수량과 갈수량의 경향성 분석을 통해 미래로 갈수록 풍수량과 갈수량이 증가하는 것을 확인 할 수 있었다.



<Fig 11> Comparison of Duration Curve Between Current and Futures

IV. 결론

본 논문은 장기유출모형을 이용하여 영산강유역을 대상으로 장기유출 모의를 통해 기후변화

가 영산강유역의 수문순환의 변화에 미치는 영향을 분석하였다. 분석을 위해 WAMIS에서 지형 자료 및 강수량 및 수문 기상자료를 제공받았으며, 영산강유역의 4개 농업용 댐을 적용 시켰다. 2003년~2005년의 기상자료와 관측 유출량을 이용하여 매개변수를 보정하고, 2001년~2010년의 기상자료와 관측 유출량을 대상으로 검증 결과 모의치가 관측치를 잘 따라가는 것을 확인하였다. 보정한 매개변수를 이용하여 RCP기후변화시나리오(1981년~2099년)을 대상으로 장기유출 분석 수행하였다. 그 결과 미래로 갈수록 유출량이 증가하리라 전망되었고, Future 2일 때 유출량이 가장 많이 발생하리라 전망되었다. 또한 하천 유통분석을 통해 갈수기, 저수기, 평수기, 풍수기의 변화를 파악하였다.

References

- [1] IPCC. 2001. *Climate Change*. 2001. The Scientific Basis. Contribution of Working Group to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Houghton et. al. eds. Cambridge University Press, UK.
- [2] Kwon, Hyun Han and Young-II Moon. 2007. Development of Statistical Seasonal Rainfall Model Considering Climate Information and Typhoon Characteristics. *Journal of Korean Society of Civil Engineers*. 27(1B): 45-52.
- [3] Richardson, C. W. 1981. Stochastic Simulation of Daily Precipitation, Temperature and Solarradiation. *Water Resources Research*. 17(1): 182-190.
- [4] Kyoung, Minsoo. 2010. *Assessment of Climate Change Effect on Standardized Precipitation Index and Frequency Based Precipitation*. Inha University Graduate School Civil Engineering. Doctorate Thesis.
- [5] Kwon, Hyun-Han, Young-II Moon, Byung Sik Kim, and Seok Young Yoon. 2008. Parameter Optimization and Uncertainty Analysis of the NWS-PC Rainfall-Runoff Model Coupled with Bayesian Markov Chain Monte Carlo Inference Scheme. *Journal of Korean Society of Civil Engineers*. 28(4): 383-392.
- [6] Kim, Byung Sik. 2005. *Impact Assessment of Climate Change on Hydrologic Component and Water Resources in Watershed*. Inha University Graduate School Civil Engineering. Doctorate thesis.
- [7] Ministry of Science. 2007. *Sustainable Water Resources Research: Technology for Integrated Basin-wide Water Budget Analysis and Water Resources Planning: 21st Century Frontier R&D Program*. Ministry of Science.
- [8] Kite, G. W. 2000. Using a Basin-scale Hydrological Model to Estimate Crop Transpiration and

- Soil Evaporation. *Journal of Hydrology*. 229: 59-69.
- [9] Kim, Byung Sik, Byung Ha Seoh, Hung Soo Kim, and Nam Won Kim. 2003. Tion of Daily Streamflows Using SLURP Model. *Journal of Korean Society of Civil Engineers*. 23(4B): 289-303.
- [10] Kim, Byung Sik, Hung Soo Kim, Byung Ha Seoh, and Nam Won Kim. 2004a. Impact of Climate Change on Yongdam Dam Basin. *Journal of Korea Water Resources Association*. 37(2): 185-193.
- [11] Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs. 2008. *Stage-discharge Curve*. Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs.
- [12] WAMIS. <http://www.wamis.go.kr/>.
- [13] Kim, Joo Hun, Kyung Tak Kim, and Sha Chul Shin. 2003. Estimation of Potential Evportranspiration Using R/S and GIS. *Proceedings of Korean Society of Civil Engineers*. 2003(10): 2512-2515.
- [14] Kim, Byung Sik, Hung Soo Kim, and Byung Ha Seoh. 2004b. Evaluation of the Evapotranspiration Models in the SLURP Hydrological Model. *Journal of Korea Water Resources Association*. 37(9): 745-758.
- [15] Rouse, J. W., R. H. Haas, J. A. Schell, and D. W. Deering. 1974. Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS, Proceedings. Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium. Greenbelt. *NASASP*. 351: 301-317.
- [16] Kite, G. W. 1995. Scaling of Input Data for Macroscale Hydrologic Modeling. *Water Resources Research*. 31(11): 2769-2781.

참고문헌 (References in Non-roman Script)

- [2] 권현한, 문영일. 2007. 기상정보 및 태풍특성을 고려한 계절 강수량의 확률론적 모형 구축. 대한토목학회 논문집. 27(1B): 45-52.
- [4] 경민수. 2010. 기후변화가 표준강수지수 및 확률강수량에 미치는 영향 평가. 인하대학교 박사학위논문.
- [5] 권현한, 문영일, 김병식, 윤석영. 2008. Bayesian Markov Chain Monte Carlo 기법을 통한 NWS-PC 강우-유출 모형 매개변수의 최적화 및 불확실성 분석. 대한토목학회논문집. 28(4): 383-392.
- [6] 김병식. 2005. 기후변화에 따른 유역의 수문요소 및 수자원 영향평가. 인하대학교 박사학위논문.

- [7] 과학기술부. 2007. 21세기 프론티어연구개발사업 -수자원 지속적 확보기술개발사업- 유역통합 물수지 분석 및 수자원 계획기술개발.
- [9] 김병식, 서병하, 김형수, 김남원. 2003. SLURP모형을 이용한 하천유출량 모의. 대한토목학회논문집. 23(4B): 289-303.
- [10] 김병식, 김형수, 서병하, 김남원. 2004a. 기후변화가 용담댐 유역의 유출에 미치는 영향. 한국수자원학회 논문집. 37(2): 185-193.
- [11] 국토해양부. 2008. 국토해양부 수위-유량관계곡선식.
- [12] 국가수자원관리종합정보시스템. WAMIS: <http://www.wamis.go.kr/>.
- [13] 김주훈, 김경탁, 신사철. 2003. 원격탐사 및 GIS에 의한 잠재증발산량 산정. 대한토목학회 2003년 정기학술대회 논문집. 2003(10): 2512-2515.
- [14] 김병식, 김형수, 서병하. 2004b. SLURP모형의 증발산 모형에 대한 평가. 한국수자원학회논문집. 37(9): 745-758.

정세진: 강원대학교에서 공학석사학위(논문제목: RCP8.5 기후변화시나리오 기반의 기후변화가 극한사상과 장기유출에 미치는 영향평가)를 취득하였다. 주로 수자원 및 기후변화 영향평가 분야를 연구한다(climate@kangwon.ac.kr).

김병식: 인하대학교에서 공학박사학위(논문제목: 기후변화에 따른 유역의 수문요소 및 수자원 영향평가)를 취득하였다. 또한 최근“Evaluation of flash flood severity in Korea using the modified flash flood index(2013, SCD)”논문을 등재, 현재 강원대학교 교수로 재직 중이며 주로 수문해석 및 기후변화 영향평가 분야를 연구한다(hydrokbs@kangwon.ac.kr).

전계원: 충북대학교에서 공학박사 학위를 취득하고(논문: 홍수유출과 수질예측을 위한 Web기반 시스템의 개발, 2004. 2), 현재 강원대학교 방재전문대학원에서 부교수로 재직중이다. 관심분야는 풍수해 방재, 산지재해 방재, 자연재해관리 등이며, 자연재해란 무엇인가?(공저, 2008) 등의 저서와 주요 논문으로 “산악지역돌발홍수 기준우량 결정에 관한 기초연구(2010)”, “지상 LiDAR를 이용한 토석류 발생량 추정에 관한 기초연구(2010)” 등이 있다(kwjun@kangwon.ac.kr).

최종인: 현재 강원대학교 교수로 재직 중이며 주로 수공설계 및 수문학 분야를 연구한다(jichoi@kangwon.ac.kr).