

기후변화가 기상학적 가뭄과 홍수에 미치는 영향 Climate Change Impacts on Meteorological Drought and Flood

이 동 루* / 김 응 태** / 유 철 상***

Lee, Dong Ryul / Kim, Ung Tae / Yoo, Chulsang

Abstract

Recent increase of green house gases may increase the frequency of meteorological extremes. In this study, using the index and meteorological data generated by the Markov chain model under the condition of GCM predictions, the possible width of variability of flood and drought occurrences were predicted. As results, we could find that the frequency of both floods and droughts would be increased to make the water resources planning and management more difficult. Thus, it is recommended to include the effect of climate change on water resources in the related policy making.

Keywords : Green house goses, GCM, Markov chain, random generation, index, drought, flood, water resources

요 지

최근 온실기체의 증가로 인한 극기상현상의 발생빈도가 증가할 것으로 예상된다. 본 연구에서는 이미 연구된 여러 가지 GCM 모의결과와 마코프 연쇄를 이용하여 기후변화를 고려한 수문자료의 모의발생을 실시하였다. 또 적절한 지수를 이용하여 미래시점의 가뭄과 홍수 발생의 변동 가뭄폭을 예측하였다. 그 결과 시나리오에 따라 극심한 가뭄과 홍수의 발생빈도가 증가할 것으로 예상되어 현재 상태보다 수자원의 계획과 관리에 많은 어려움이 닥칠 것으로 보인다. 향후 수자원정책에는 기후변화가 수자원에 미치는 영향이 포함되어야 할 것이다.

핵심용어 : 온실기체, GCM, 마코프 연쇄, 모의발생, 지수, 가뭄, 홍수, 수자원

* 한국건설기술연구원 수자원연구부 수석연구원
Research Fellow, Water Resource Research Department, Korea Institute of Construction Technology
2311, Daewha Dong, Ilsan-Gu, Goyang-Si, Gyeonggi Do, 411-712, Korea
(E mail: dryj@kict.re.kr)

** 고려대학교 부설 방재과학기술연구센터 선임연구원
Senior Researcher, Research Center for Disaster Prevention Science and Technology, Korea University
1, 5-ka, Anam dong, Sungbuk-ku, Seoul, 136-701, Korea
(E mail: hydro71@chol.com)

*** 고려대학교 공과대학 사회환경시스템공학과 부교수
Associate Professor, Department of Civil Engineering, Korea University
1, 5 ka, Anam dong, Sungbuk ku, Seoul, 136-701, Korea
(E mail: envchul@korea.ac.kr)

1. 서론 및 연구배경

화석연료 사용의 증가로 인해 대기중의 온실기체 농도가 증가하여 지구 온난화에 따른 악기상의 발생이 빈번해 지고 있다. 대기중의 CO₂ 증가는 과거보다 그 증가속도가 빨라지고 있어 이에 대비한 대책마련이 시급하다. 어느 한 나라만 대기중의 온실가스 양을 줄인다고 해서 지구 온난화가 예방되는 것은 아니기 때문에 전 세계가 화석연료의 사용을 자제하여 온실가스의 발생을 근본적으로 감소시켜야 할 것이다. 미래시점의 CO₂ 증가에 따른 기후변화에 관한 연구는 꾸준히 계속되고 있으며 최근에는 GCM(General Circulation Model)을 이용하여 기후예측을 시도하고 있는데 대기중 CO₂의 양이 증가할수록 홍수와 가뭄이 빈번히 발생할 것이라는 예상이 지배적이다(Rind, 1993; Rowntree, 1993). 우리나라에서도 1994~1995년의 가뭄과 1995, 1996, 1998, 1999년의 홍수 등 최근 극기상 현상의 발생이 잦아지고 있다(한국건설기술연구원, 2000). 즉 가뭄과 홍수라는 극단적인 기상현상이 발생하여 수자원의 계획과 관리에 많은 어려움을 주고 있는 실정이다. 또 최근 자연생태계의 보존 등 여러 가지 제약 때문에 댐건설 등의 수자원 개발 및 보존 사업에 많은 어려움이 있다. 향후 수자원의 계획 및 관리는 시설물에 의한 전형적인 방법보다는 수요 관리와 비구조물적 방법에 보다 많은 관심이 집중되고 있다. 이러한 소프트웨어적인 수자원의 계획과 관리를 위해서는 무엇보다도 현재 및 미래시점에 있어서 가용 수자원의 변동성을 파악하는 것이 가장 중요하다.

이에 본 연구에서는 미래시점의 기후상태를 모의한 기존의 GCM(General Circulation Model) 결과를 이용하여 강수와 기온을 모의발생하고 가뭄과 홍수를 적절히 나타낼 수 있는 지수를 선정하여 미래시점의 가뭄과 홍수의 변동경향을 파악함으로써 장래 수자원의 계획 및 관리에 유용한 정보를 제공하고자 한다.

기후변화를 고려한 미래시점의 강수와 기온 등 각종 수문·기상자료의 예측은 주로 GCM을 이용하는데 GCM의 종류와 모형에서 도입한 가정 및 경제조건에 따라 상이한 결과를 주는 것이 일반적이다. 따라서 본 연구에서는 현재상태 및 이들 GCM 결과의 평균치, 최

소치, 그리고 최대치를 고려함으로써 미래시점의 강수와 기온 그리고 가뭄 및 홍수를 대표하는 지수들의 변동가능폭을 제시함으로써 각 GCM 모의결과의 상이성을 보완하였다.

2. GCM 시나리오 및 수문자료의 모의 발생

2.1 GCM 시나리오의 결정

기후변화 시나리오는 IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change, 1990)에 의해 제안된 시나리오 중 가장 유력한 시나리오는 시나리오 C로 알려져 있다. 통상 지구온난화에 대한 영향을 평가하는 이 시나리오에 근거하는 것이 일반적이며 대략 60여년 후에 이산화탄소의 농도가 현재의 두 배(배중 CO₂ 상태)에 이를 것으로 추정되고 있다. 다른 시나리오에 근거하더라도 이산화탄소의 농도가 현재의 두 배가 되는 것은 피할 수 없으며 다만 그 시기가 언제가 되는가 만이 다를 뿐이다.

배중 CO₂ 상태의 예측에는 일반적으로 GCM이 이용된다. 그러나 GCM은 기후변화관련 연구에 있어서 만능의 도구는 아니며, 특히 수문관련 연구에 있어서는 몇 가지 문제점을 나타내고 있다(Lettenmaier와 Sheer, 1991). 첫째, GCM의 공간해상도 문제 둘째, 어느 GCM을 사용하느냐의 문제 그리고 셋째, 각 기후변수에 따라 모의결과의 정도 차이가 아주 크다는 것이다. 본 연구에서는 기존의 한반도를 대상으로 수행된 연구결과를 이용하여 강우의 경우 변화율, 기온의 경우 변화량을 반영하였다.

배중 CO₂ 상태의 기상상황을 모의하기 위해서는 GCM을 이용하여야 하는데 한국과학기술연구원(1995)에서는 5개의 GCM(GFDL-R30, CCC, GISS, UKMO와 GFDL) 모의결과에 근거하여 표 2와 같이 한반도의 연강수량 변화를 추정하였으며, 배중 CO₂에 따라 연강수량은 약 -5~+13%, 월별로는 -30~+70%의 변화율을 제시하였다. 또한, 강인식(1993)은 표 3과 같이 배중 CO₂에 따른 한반도의 계절별 기온은 최소 +2.7℃, 최대 +4.7℃의 상승예측 결과를 제시하였다. 이들 결과는 GCM결과와 과거 관측자료를 다중회귀 분석을 이용한 축소(downscaling)기법으로 얻은 것이다.

표 1. IPCC의 기후변화 시나리오

번호	시나리오 내용
시나리오 A	현재상태로 진행
시나리오 B	에너지원은 저탄소원료 및 천연가스로 전환, 에너지 효율증대, 산림복구
시나리오 C	재생가능한 에너지 및 핵연료로 전환 (21세기 후반기)
시나리오 D	재생가능한 에너지 및 핵연료로 전환 (21세기 전반기)

표 2. GCM별 현상태 CO₂ 와 배증 CO₂ 상태의 강수량 변화율

월	R30	CCC	GISS	UKMO	GFDL	평균	최소	최대
1	1.10	0.70	1.00	1.00	1.00	0.96	0.70	1.10
2	1.10	0.60	1.10	1.10	0.90	0.96	0.60	1.10
3	1.00	0.90	1.10	0.80	1.10	0.98	0.80	1.10
4	1.10	1.00	1.20	1.30	0.90	1.10	0.90	1.30
5	1.00	1.00	1.40	0.80	1.20	1.08	0.80	1.40
6	0.90	1.20	0.70	0.80	0.80	0.88	0.70	1.20
7	1.00	1.20	0.90	1.50	1.10	1.14	0.90	1.50
8	1.20	1.00	1.20	0.80	1.00	1.04	0.80	1.20
9	1.70	1.50	1.20	1.20	0.90	1.30	0.90	1.70
10	1.20	1.40	1.00	0.90	0.80	1.06	0.80	1.40
11	1.20	0.70	0.90	0.90	1.00	0.94	0.70	1.20
12	1.30	0.70	1.20	1.10	1.00	1.06	0.70	1.30
년	1.13	1.04	1.06	0.99	0.94	1.03	0.94	1.13

표 3. GCM별 현상태 CO₂ 와 배증 CO₂ 상태의 기온 변화(°C)

계절	CCC	GISS	UI	GFDL	평균	최소	최대
봄	4.2	3.5	4.3	4.8	4.2	3.5	4.8
여름	4.5	3.5	4.4	3.6	4.0	3.5	4.5
가을	3.7	3.0	4.9	4.3	4.0	3.0	4.9
겨울	3.1	2.7	4.7	4.7	3.8	2.7	4.7
년	3.9	3.2	4.6	4.3	4.0	3.2	4.6

본 연구에서는 표 2와 표 3의 배증 CO₂ 상태의 시나리오를 이용하였으며, 표 4와 같이 여러 가지 GCM결과의 평균(GCM-AVG.), 최소치(GCM-LOW) 및 최대치(GCM-HIGH)에 대하여 수문자료 모의를 수행하여 현상태(BASE)에 대한 불확실한 미래상황의 변동가능폭을 추정해 볼 수 있도록 하였으며 또한 과거 관측치(HIST.)와의 비교를 실시하였다.

2.2 수문자료의 모의 발생

수문자료의 모의발생은 강수의 경우 강수와 무강수 사이의 전이확률을 고려한 마코프 연쇄와 표 2의 월강수량의 변화율을 반영하여 월별로 모의한 후 다시 연자료(100년분 일단위)로 재구성하였고, 기온자료는 표 3의 정량적인 변화를 주단위로 고려하고 아울러 강수유무와의 상관관계를 반영하여 모의발생 하였다(유철상과 이동률, 2000; 건설교통부, 2000).

표 4. GCM 시나리오의 설정

시나리오	설 명
BASE	현상태의 CO ₂ 상태가 향후 100년 동안 그대로 유지
GCM-AVG.	배증 CO ₂ 상태의 GCM-LOW와 GCM-HIGH 시나리오의 평균
GCM-LOW	배증 CO ₂ 상태의 GCM 시나리오 중 가장 낮은 값을 가지는 경우
GCM-HIGH	배증 CO ₂ 상태의 GCM 시나리오 중 가장 높은 값을 가지는 경우

2.3 대상 관측소의 선정 및 자료수집

대상 관측소의 선정기준은 첫째, 자료의 보유기간이 고 둘째, 관측소의 위치인데 자료의 보유기간은 수문자

료의 모의발생시 그 지점의 특성을 잘 나타내기 위함이고 관측소의 위치는 선정된 관측소가 비교적 주변지역을 대표할 수 있게 하기 위해서다. 위와 같은 기준으로 선정된 관측소는 표 5 및 그림 1과 같다.

표 5. 기상관측소의 선정 및 자료기간

지점	번호	강수량자료	기온자료	결 추	대표지역
강릉	105	1912~1998	1912~1998	1950년 9~10월 1951년 1~8월	중부지방 동부
서울	108	1908~1996	1908~1998	1950년 9월~12월 1951년, 1952년	중부지방 서부
대구	143	1909~1998	1909~1998		남부지방 동부
전주	146	1919~1998	1919~1998	1940년	남부지방 서부
부산	159	1904~1998	1904~1998		남동부 해안
목포	165	1906~1998	1906~1998		남서부 해안

주) 자료수집 : 한국건설기술연구원 수문자료 DB, 월강수량결측 보완 : 과학기술처(1990)

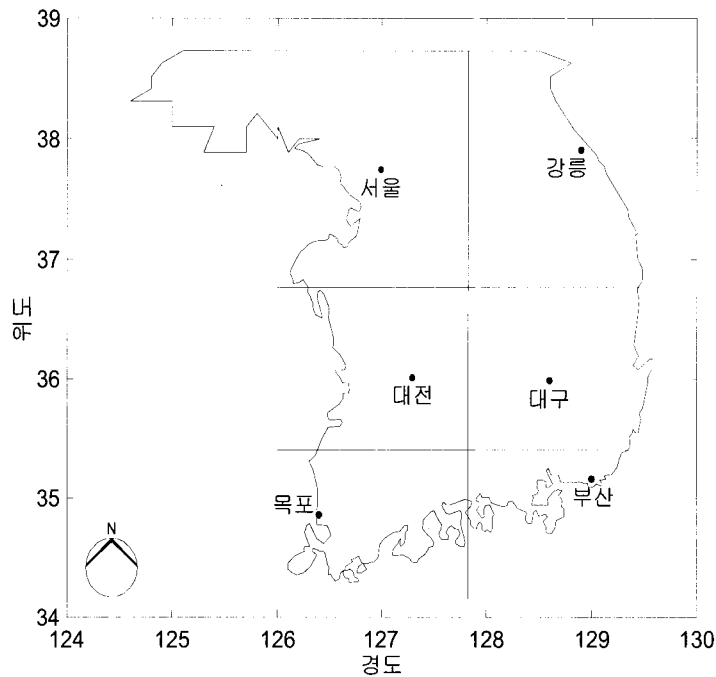


그림 1. 선정된 관측소의 위치

표 6은 각 지점별 자료보유기간 동안의 월 및 연평균 기온을 나타낸 것인데 선정된 지점의 연평균 기온은 약 11~14 °C 정도이고 6개 지점의 평균은 기온 12.7 °C로서 이는 산악지역을 제외한 남한 평균기온 11~16 °C와 비교할 때 비슷하다. 지점별로는 연평균 기온의 경우 부산과 목포가 비교적 높고 서울이 낮으며 월별 편차의 경우는 서울이 가장 크게 나타났다.

그리고 표 7은 각 지점별 일 강수량자료를 이용하여

보유기간동안의 월 및 연평균 강수량을 나타낸 것인데 연평균 강수량의 경우 부산이 가장 많고 대구가 가장 적었고 월별 편차의 경우 서울 지점이 가장 크게 나타났다. 6개 지점의 연평균 강수량은 1,233.1 mm로서 이는 정관영 등(1997)이 여러 가지 방법을 통해 구한 남한의 연평균 강수량 1,249 mm보다 약 16 mm 적은 값이다.

표 6. 각 지점 월, 연평균 기온(℃)

월 \ 지점	강릉	서울	대구	전주	부산	목포
1	-0.6	3.9	-1.1	-1.4	2.2	1.2
2	0.6	1.4	1.0	0.3	3.4	2.1
3	5.0	4.0	6.0	5.2	7.4	5.9
4	11.6	11.1	12.5	11.9	12.6	11.7
5	16.8	16.6	17.8	17.2	16.8	16.6
6	20.0	21.1	21.9	21.6	20.0	20.7
7	23.8	24.6	25.5	25.6	23.8	24.7
8	24.4	25.4	26.0	26.0	25.5	26.1
9	19.7	20.3	20.7	20.7	21.7	21.9
10	14.5	13.7	14.6	14.2	16.7	16.3
11	8.7	6.2	7.9	7.8	10.9	10.1
12	2.6	-0.9	1.6	1.6	5.0	4.1
연평균	12.3	11.4	12.9	12.6	13.8	13.4
표준편차	9.0	10.5	9.7	9.8	8.1	8.9
변동계수	0.73	0.92	0.75	0.78	0.59	0.66

표 7. 각 지점 월, 연평균 강수량(mm)

월 \ 지점	강릉	서울	대구	전주	부산	목포
1	56.8	22.4	19.8	30.8	35.0	35.7
2	63.4	23.2	26.3	36.1	41.3	40.3
3	69.0	46.8	45.3	57.6	78.4	54.0
4	73.7	78.3	72.4	86.5	135.8	89.3
5	73.6	90.9	72.5	88.8	140.6	90.2
6	116.2	142.9	132.8	152.1	209.5	150.5
7	222.1	366.1	215.9	285.2	267.8	197.4
8	228.5	268.7	176.2	243.5	193.5	165.5
9	189.8	141.9	137.4	143.6	179.3	130.9
10	95.2	49.5	42.2	56.5	65.6	52.9
11	77.1	46.4	34.1	51.6	51.8	47.6
12	50.2	26.3	19.6	34.4	30.1	35.6
평균	109.6	108.6	82.9	105.6	119.1	90.8
표준편차	65.5	107.9	66.6	84.6	79.9	56.7
변동계수	0.60	0.99	0.80	0.80	0.67	0.62
연평균	1,315.4	1,303.2	994.5	1,266.8	1,428.8	1,090.1

3. 가뭄지수

3.1 가뭄지수의 선정

가뭄은 기상학적 가뭄, 수문학적 가뭄, 사회경제학적 가뭄 등 목적에 따라 정의하는 내용이 다르며 이들을 표현하는 방법 및 그 지수도 다양하다. 현재 전세계적

으로 사용되고 있는 가뭄지수의 종류는 100가지가 넘는 데 각 지수마다 매개변수와 그 사용범위 그리고 적용지역 등이 상이할 수 있으므로 목적에 맞는 가뭄지수의 선정이 중요하다. 본 연구에서는 기온과 강수량을 매개변수로 하여 토양습윤상태가 합리적으로 표현되고 기상학적인 가뭄의 분석에 적합한 Palmer가뭄심도지수를 선정하였다.

3.2 Palmer Drought Severity Index(PDSI)

Palmer 가뭄심도지수(PDSI : Palmer Drought Severity Index)는 기상학적 가뭄의 지수로서 현상화에 기후적으로 필요한(Climatically Appropriate For Existing Conditions, CAFEC) 강수량과 정상강수량의 누가편차로 산정된다. PDSI를 계산하기 위한 입력자료는 단지, 강수량, 기온 및 유효 토양수분량(Available Water Content, AWC)으로서 매우 간단하다. 그러나, PDSI을 얻기 위해서는 사전에 증발산량, 함양량, 유출량 및 손실량 그리고 잠재증발산량(Potential Evapotranspiration, PE), 잠재함양량(Potentail Recharge, PR), 잠재유출량(Potential Runoff, PRO), 및 잠재손실량 (Potential Loss, PL)을 물수지 계산모형(water balance accounting model)를 이용하여 유도해야 한다(안재현, 1995; 이동률, 1998). 최근 국내에서 수행된 PDSI에 대한 연구는 안재현(1995), 이동률(1998), 김상민(1999), 류재희(2000) 등 다수가 있으며 여기에는 PDSI 산정과정의 자세한 소개되어 있다.

표 8은 Palmer(1965)에 의해 제시된 가뭄과 홍수를 나타내는 PDSI의 분류이다(Johnes, 1984).

표 8. PDSI 분류

PDSI		분류
	≥ 4.0	극한 습윤
0.0	to 4.0	습한 습윤
2.0	to 3.0	보통 습윤
1.0	to 2.0	약한 습윤
0.5	to 1.0	습윤 시작
-0.5	to 0.5	거의 정상
-1.0	to -0.5	가뭄 시작
-2.0	to -1.0	약한 가뭄
-3.0	to -2.0	보통 가뭄
-4.0	to -3.0	심한 가뭄
	≤ -4.0	극심 가뭄

선정된 지점의 과거 강우와 기온자료를 이용하여 추정된 각 지점별 기후계수는 한국건설기술연구원(2000)의 결과를 그대로 이용하였으며 이를 이용하여 유도된 각 지점의 PDSI 방정식은 표 9와 같은데 이 방정식은 미래시점의 가뭄지수를 산정하는데 이용된다.

표 9. 각 지점의 PDSI 방정식

지점	PDSI 방정식
강릉	$X_i = 0.939 * X_{i-1} + Z_i / 84.427$
서울	$X_i = 0.846 * X_{i-1} + Z_i / 61.533$
대구	$X_i = 0.858 * X_{i-1} + Z_i / 76.506$
전주	$X_i = 0.872 * X_{i-1} + Z_i / 66.386$
부산	$X_i = 0.857 * X_{i-1} + Z_i / 62.671$
목포	$X_i = 0.861 * X_{i-1} + Z_i / 72.473$

3.3 과거 PDSI의 평가

표 9에서와 같이 PDSI 값이 -1 이하일 때 약한 가뭄(Mild Drought)이므로 각 지점별로 산정된 매월의 PDSI를 이용하여 (PDSI ≤ -1)인 상태가 3개월 이상 지속된 경우를 하나의 가뭄기간이라 가정하고 표 10에서와 같이 각 가뭄기간의 심도와 지속기간을 분석하였다.

표 10에서 각 지점 가뭄기간동안의 최대 가뭄심도들의 평균은 약 -3.1정도, 평균 가뭄심도들의 평균은 약 -2.3정도로 계산되었는데 이것은 보통 가뭄정도의 심도이다. 가뭄 지속기간은 지점별로 차이가 있지만 짧게는 3개월 길게는 3년 가까이 지속되었는데 평균 7~13개월 정도 지속되는 것으로 나타났다. 본 연구에서는 PDSI가 -1이하인 상태가 3개월 이상 지속된 기간은 가뭄이라 보았으므로 PDSI의 판단 기준에 따라 가뭄의 심도 및 판단 기준은 달라질 것으로 보인다.

가뭄심도별 발생비율은 표 11에서 알 수 있듯이 가뭄기간동안에 약한 가뭄과 보통 가뭄이 약 70 %를 차지하고 있었다. 각 지점별 자료보유기간이 다르므로 상대적인 비교를 위해 전체 자료보유기간에 대한 가뭄기간의 비율을 비교한 결과 6개 지점이 평균 32 %의 가뭄기간을 경험했다는 것을 알 수 있으며 심도별로 볼 때

표 10. 각 지점별 가뭄기간중 가뭄심도 분석

지점	자료기간(개월)	최대PDSI 평균심도	PDSI 평균심도	가뭄기간(개월)				
				약함	보통	심함	극심	합계
강릉	1044	-3.23	-2.37	127	118	71	51	367
서울	1092	-2.88	-2.17	132	95	52	30	309
대구	1080	-3.20	-2.18	136	127	47	32	342
전주	960	-3.08	-2.31	83	78	56	41	258
부산	1140	-3.21	-2.28	135	161	75	48	419
목포	1116	-2.96	-2.19	140	126	73	41	380
평균	1072	-3.09	-2.25	126	118	62	40	346

약하거나 보통인 가뭄이 주로 발생한 것으로 나타났다.

표 11. 각 지점 가뭄심도별 발생비율

구분	지점	발생비율(%)				
		약함	보통	심함	극심	합계
가뭄 기간 기준	강릉	35	32	19	14	100
	서울	43	31	17	10	100
	대구	40	37	14	9	100
	전주	32	30	22	16	100
	부산	32	38	18	11	100
	목포	37	33	19	11	100
평균		36	34	18	12	100
보유 기간 기준	강릉	12	11	7	5	35
	서울	12	9	5	3	28
	대구	13	12	4	3	32
	전주	9	8	6	4	27
	부산	12	14	7	4	37
	목포	13	11	7	4	34
평균		12	11	6	4	32

표 13. 각 지점 홍수심도별 발생비율(%)

구분	지점	발생비율(%)				
		약함	보통	심함	극심	합계
가뭄 기간 기준	강릉	30	35	18	17	100
	서울	36	26	13	25	100
	대구	46	24	14	16	100
	전주	43	26	13	18	100
	부산	33	29	19	19	100
	목포	37	33	16	14	100
평균		38	29	16	18	100
보유 기간 기준	강릉	8	9	5	5	27
	서울	7	5	2	5	19
	대구	12	6	4	4	26
	전주	7	4	2	3	17
	부산	8	7	4	5	24
	목포	9	8	4	3	24
평균		9	7	4	4	24

표 12. 각 지점별 홍수기간중 홍수심도 분석

지점	자료기간 (개월)	최대PDSI 평균심도	PDSI 평균심도	홍수기간(개월)				
				약함	보통	심함	극심	합계
강릉	1044	3.57	2.45	85	99	51	48	283
서울	1092	4.43	2.86	74	54	26	50	204
대구	1080	3.64	2.44	130	69	39	44	282
전주	960	3.74	2.66	70	42	22	30	164
부산	1140	3.82	2.61	91	81	51	52	275
목포	1116	3.87	2.63	101	88	42	39	270
평균	1072	3.85	2.61	551	433	231	263	1478

홍수의 경우 PDSI가 1이상인 경우 약한 습윤상태이므로 이러한 상태가 3개월 이상 지속된 경우를 하나의 홍수기간이라 가정하고 표 12와 같이 각 가뭄기간을 분석하였다. 표 12에서 알 수 있듯이 주로 약한 습윤과 보통 습윤상태가 많은 비중을 차지하였다. 또 홍수심도별 발생비율은 표 13과 같이 전체 자료보유기간을 기준으로 볼 때 약 24 %의 기간이 홍수를 경험하였는데 이는 가뭄의 경험기간 32 %보다 낮은 수치이며 우리나라는 홍수보다 가뭄 경험기간이 더 길다는 것을 암시한다.

4. 시나리오별 모의결과 및 고찰

4.1 시나리오별 수문자료 모의결과

시나리오에 따른 강수량의 모의발생결과는 표 14와 같은데 연평균 강수량을 살펴보면 BASE 시나리오의 경우 과거 관측값보다 약간 크게 모의되었으나 지점별 통계특성은 비교적 잘 재현하고 있음을 알 수 있다. 따라서 BASE 시나리오를 기준으로 동일한 조건에서 각 시나리오별 모의결과를 고찰하기로 한다. 연평균강수량에 있어 GCM-HIGH 시나리오의 경우 약 400 mm의 증가, GCM-LOW 시나리오의 경우 약 115 mm의 감소, 그리고 GCM-AVG. 시나리오의 경우 약 50 mm의 증가를 보였는데 이는 BASE 시나리오를 기준으로 각각 +4 %, -9 %, 그리고 +32 %의 변화율에 해당한다. 월별로 볼 때 GCM-AVG.와 GCM-HIGH 시나리오는 9월의 강수량이 가장 많이 증가하였다.

우리나라의 경우 월별 강수량의 차이가 심하므로 표 15와 같이 BASE 시나리오에 대한 계절별 강수량의 변화율을 나타내었다. GCM-HIGH 시나리오의 경우 모든 계절에 강수량이 증가하지만 GCM-LOW 시나리오의 경우 모든 계절에 감소하였으며 GCM-AVG. 시나리오의 경우 겨울에만 강수량이 감소하였다.

표 14. 시나리오별 강수량의 모의발생 결과(mm)

지점	시나리오	월												평균	표준 편차	변동 계수
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
강릉	BASE	50.8	64.1	78.1	64.7	73.1	112.2	217.4	206.0	194.9	99.4	73.4	48.3	1282.4	62.3	0.59
	GCM-AVG.	57.2	58.6	67.4	67.5	65.1	121.8	247.1	247.1	221.3	111.0	67.7	53.5	1385.3	77.4	0.67
	GCM-LOW	50.4	43.6	62.4	69.5	72.8	94.8	205.2	201.7	186.7	99.4	52.6	39.6	1178.7	62.9	0.64
	GCM-HIGH	62.9	67.0	68.2	83.4	85.6	135.6	319.3	256.1	356.5	149.6	68.0	67.1	1719.3	106.8	0.75
서울	BASE	18.9	19.8	54.4	75.1	91.1	134.6	367.3	276.1	152.1	56.2	51.7	30.2	1327.5	108.7	0.98
	GCM-AVG.	19.4	21.2	46.3	78.3	98.4	139.8	402.3	261.7	161.9	59.6	57.4	27.2	1373.5	114.9	1.00
	GCM-LOW	19.1	21.9	46.8	64.9	76.8	121.9	365.8	230.8	143.4	49.1	43.0	28.7	1212.2	103.7	1.03
	GCM-HIGH	19.7	21.5	52.4	86.6	116.7	177.2	606.7	332.5	236.5	71.9	52.2	28.6	1802.5	172.9	1.15
대구	BASE	21.4	32.7	51.8	73.2	68.5	135.7	229.4	184.0	152.3	33.5	30.5	16.6	1029.6	71.6	0.83
	GCM-AVG.	24.9	27.6	45.5	78.2	71.7	119.9	239.8	188.2	188.1	38.2	28.3	17.4	1067.8	76.8	0.86
	GCM-LOW	15.3	25.3	49.9	72.1	64.6	115.0	189.7	173.9	145.4	30.1	24.9	15.0	921.2	63.5	0.83
	GCM-HIGH	22.9	34.0	44.8	86.4	91.6	171.7	328.4	202.6	257.9	50.3	34.2	16.7	1341.5	103.8	0.93
전주	BASE	30.0	36.3	55.5	82.5	85.7	148.4	300.9	246.9	140.4	55.2	55.4	34.7	1271.9	88.0	0.83
	GCM-AVG.	30.0	31.9	51.5	90.7	82.5	140.0	309.9	265.7	167.6	52.0	54.3	28.8	1304.9	94.6	0.87
	GCM-LOW	27.5	29.9	44.1	81.6	73.2	118.1	270.9	222.9	138.8	48.4	44.3	31.0	1130.7	80.1	0.85
	GCM-HIGH	31.2	36.9	51.0	96.6	112.8	175.5	412.5	265.5	226.5	58.7	53.2	38.2	1558.6	118.7	0.91
부산	BASE	34.4	42.5	82.3	130.3	135.0	194.2	293.2	197.1	196.1	49.7	40.5	27.0	1422.3	86.5	0.73
	GCM-AVG.	33.8	43.9	79.1	141.8	148.5	174.8	269.1	204.0	227.6	46.6	42.1	28.5	1439.8	85.2	0.71
	GCM-LOW	29.8	33.6	73.2	135.8	114.5	162.9	252.9	188.6	204.7	43.4	36.2	19.4	1295.0	80.2	0.74
	GCM-HIGH	31.6	41.8	81.2	165.7	192.8	244.8	447.1	225.1	341.6	55.2	52.0	28.4	1907.3	136.4	0.86
목포	BASE	35.7	44.2	51.9	80.9	78.2	141.6	204.1	153.1	139.7	52.4	49.0	38.3	1069.1	56.1	0.63
	GCM-AVG.	35.2	39.9	46.7	98.2	85.8	138.9	200.2	187.1	152.9	60.3	43.5	33.4	1122.1	61.4	0.66
	GCM-LOW	31.5	33.7	49.0	88.2	76.8	110.8	184.8	136.6	140.8	44.4	41.5	30.5	968.6	51.8	0.64
	GCM-HIGH	32.6	41.0	53.6	115.8	117.8	191.1	293.2	203.7	256.7	62.9	52.9	39.1	1460.4	92.1	0.76

표 15. BASE 시나리오에 대한 계절별 강수량 변화율(%)

시나리오	지점	계절	강수량					평균	
			강릉	서울	대구	전주	부산		
GCM-AVG.		봄	-7.4	1.1	1.0	0.4	6.3	9.3	1.8
		여름	15.0	3.3	-0.2	2.8	-5.3	5.5	3.5
		가을	8.8	7.3	17.7	9.1	10.5	6.5	10.0
		겨울	3.7	-1.6	-1.1	-10.2	2.2	-8.9	-2.7
GCM-LOW		봄	-5.2	-14.6	-3.6	-11.1	-6.9	1.4	-6.7
		여름	-6.3	-7.6	-12.8	-12.1	-11.7	-13.4	-10.7
		가을	-7.9	-9.4	-7.4	-7.8	-0.7	-6.0	-6.5
		겨울	-18.1	1.2	-21.4	-12.5	-20.3	-15.9	-14.5
GCM-HIGH		봄	9.9	15.9	15.1	16.4	26.5	36.1	20.0
		여름	32.7	43.5	28.0	22.6	34.0	37.9	33.1
		가을	56.1	38.7	58.3	34.8	56.8	54.5	49.9
		겨울	20.7	1.3	4.1	5.2	-2.0	1.3	5.1

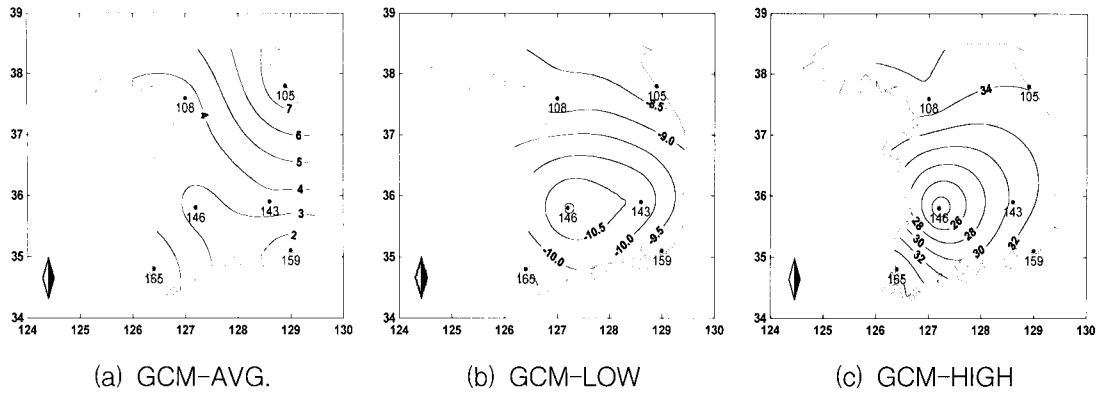


그림 2. BASE 시나리오에 대한 연평균 강수량의 공간적 변화율(%)

표 16. 시나리오별 기온자료의 모의발생 결과(°C)

지점	시나리오	월												평균	표준 편차	변동 계수
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
강릉	BASE	0.6	1.7	5.4	12.0	16.8	19.6	23.3	24.1	20.0	14.8	9.2	3.6	12.6	8.40	0.67
	GCM-AVG.	4.5	5.7	9.3	15.8	20.8	23.6	27.3	28.0	24.0	18.9	13.2	7.6	16.6	8.40	0.51
	GCM-LOW	3.8	4.9	8.6	15.0	20.0	22.7	26.5	27.3	23.2	18.1	12.4	6.8	15.8	8.40	0.53
	GCM-HIGH	5.2	6.3	10.0	16.6	21.3	24.2	28.0	28.6	24.7	19.4	13.8	8.3	17.2	8.40	0.49
서울	BASE	-2.2	0.0	5.3	11.9	17.2	21.4	24.3	25.3	20.7	14.3	7.2	0.6	12.2	9.90	0.81
	GCM-AVG.	1.7	4.1	9.2	15.8	21.2	25.4	28.3	29.2	24.6	18.4	11.2	4.6	16.1	9.80	0.61
	GCM-LOW	1.0	3.3	8.5	15.0	20.4	24.6	27.5	28.5	23.9	17.6	10.5	3.9	15.4	9.80	0.64
	GCM-HIGH	2.4	4.7	9.9	16.5	21.8	26.0	29.0	29.8	25.3	18.9	11.8	5.4	16.8	9.80	0.58
대구	BASE	0.5	2.6	7.1	13.8	18.2	21.9	25.2	26.1	21.2	15.4	9.1	2.9	13.7	9.10	0.67
	GCM-AVG.	4.4	6.6	11.0	17.7	22.3	25.9	29.1	30.0	25.2	19.5	13.1	6.9	17.6	9.10	0.52
	GCM-LOW	3.7	5.8	10.3	16.9	21.5	25.1	28.3	29.2	24.5	18.6	12.3	6.1	16.9	9.10	0.54
	GCM-HIGH	5.1	7.2	11.7	18.4	22.8	26.5	29.8	30.6	25.9	20.0	13.7	7.6	18.3	9.10	0.50
전주	BASE	0.6	1.1	6.0	12.5	17.6	21.9	25.2	26.0	21.0	14.6	8.3	2.2	13.0	9.50	0.73
	GCM-AVG.	3.4	5.2	9.9	16.4	21.7	25.9	29.2	29.9	25.0	18.7	12.3	6.2	17.0	9.50	0.56
	GCM-LOW	2.7	4.4	9.2	15.6	20.9	25.0	28.4	29.2	24.2	17.9	11.5	5.4	16.2	9.50	0.59
	GCM-HIGH	4.1	5.8	10.7	17.1	22.2	26.5	29.9	30.5	25.7	19.2	12.9	6.9	17.6	9.50	0.54
부산	BASE	3.4	4.8	8.4	13.5	17.2	20.3	23.7	25.8	22.0	17.2	11.8	6.1	14.5	7.70	0.53
	GCM-AVG.	7.3	8.9	12.3	17.4	21.2	24.3	27.7	29.7	26.0	21.3	15.8	10.1	18.5	7.70	0.42
	GCM-LOW	6.6	8.1	11.6	16.6	20.4	23.4	26.9	28.9	25.2	20.5	15.1	9.3	17.7	7.70	0.43
	GCM-HIGH	8.0	9.5	13.0	18.1	21.7	24.9	28.4	30.3	26.6	21.8	16.4	10.8	19.1	7.70	0.40
목포	BASE	1.5	2.5	6.6	12.5	17.0	20.8	24.3	25.9	21.9	16.5	10.4	4.2	13.7	8.70	0.63
	GCM-AVG.	5.5	6.6	10.5	16.4	21.1	24.8	28.3	29.8	25.8	20.6	14.4	8.2	17.7	8.60	0.49
	GCM-LOW	4.7	5.8	9.8	15.6	20.3	24.0	27.5	29.1	25.1	19.7	13.7	7.4	16.9	8.70	0.51
	GCM-HIGH	6.1	7.2	11.2	17.1	21.6	25.5	28.9	30.4	26.5	21.1	15.0	8.9	18.3	8.60	0.47

우리나라는 연평균 강수량의 지역별 편차가 비교적 크기 때문에 BASE 시나리오에 대한 상대적인 변화율의 공간적인 분포를 살펴보면 그림 2와 같다.

그림 2에서 알 수 있듯이 GCM-AVG. 시나리오의 경우 남부지방은 약 +3 %, 중부지방은 약 +6 % 정도의 강수량 변화가 모의되었고 GCM-HIGH 시나리오의 경우 남부지방은 약 +30 %, 중부지방은 약 +35 % 정도, 그리고 GCM-LOW 시나리오의 경우 전국적으로 약 -8~-10 %의 연평균 강수량 변화가 모의되었다.

GCM 시나리오별 전체적인 강수량의 변화양상은 계절별로 볼 때 여름과 가을의 강수량은 대부분 증가하는 반면 겨울과 봄의 강수량은 별로 증가하지 않거나 감소하는 경향이 보이며, 지역별로 볼 때 남부지방은 봄과 가을에 강수량이 증가하고 중부지방의 여름과 겨울에 강수량이 증가하는 경향을 나타내는데 이는 남부지방의 겨울철 가뭄, 그리고 중부지방의 여름철 홍수발생가능성이 증가될 확률이 있음을 나타낸다.

표 16는 GCM 시나리오별로 모의된 일평균기온을 이용하여 산정한 연평균 기온인데 현상태를 기준으로 약

+3.2~+4.6 °C의 증가를 보이고 있으며 GCM-AVG. 시나리오의 경우 GCM-LOW 시나리오와 GCM-HIGH 시나리오의 중간값을 유지하고 BASE 시나리오의 경우 과거 관측치와 유사하다. 지점별로 보면 서울의 변동계수가 가장 크고 부산이 가장 작는데 이것은 기온의 모의발생결과가 과거 관측자료의 통계적인 특성을 잘 반영하는 결과라 사료된다.

4.2 GCM 시나리오에 따른 PDSI

2.2절에서 모의발생 된 각 지점의 향후 100년 동안의 월 강수량과 월 평균기온을 이용하여 산정한 PDSI를 각 GCM 시나리오별로 정리하면 표 17과 같다. BASE 시나리오의 경우 100년 평균 PDSI가 -0.2정도로써 6개 지점 관측 평균치 -0.39와 비슷하며 이는 정상적인 습윤상태이다. GCM-HIGH 시나리오의 경우 0.83으로서 BASE 시나리오보다 약간 더 습윤한 상태를 나타내며 GCM-LOW 시나리오의 경우 -2.8을 나타내고 있어 보통 가뭄을 나타낸다. GCM-AVG. 시나리오의 경우 평균 -1.51로 추정되었는데 이는 약한 가뭄의 상태이다.

표 17. 시나리오별로 추정된 PDSI의 평균치

시나리오 \ 지점	강릉	서울	대구	전주	부산	목포	평균
BASE	-0.38	-0.01	0.02	-0.20	-0.39	-0.19	-0.19
GCM-AVG.	-1.47	-1.18	-1.77	-1.63	-1.40	-1.64	-1.51
GCM-LOW	-3.52	-1.99	-3.15	-2.83	-2.36	-2.97	-2.80
GCM-HIGH	1.64	0.93	0.58	0.04	0.76	1.04	0.83

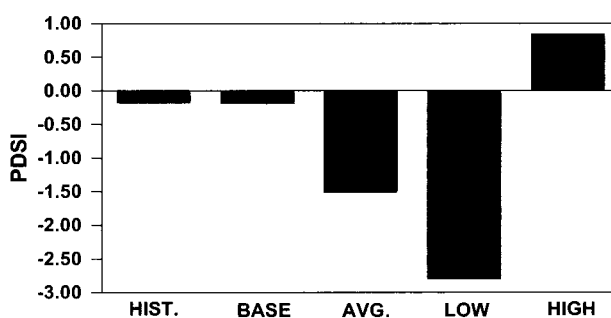


그림 3. 관측치와 시나리오별 연평균 PDSI 비교

표 18. BASE 시나리오에 대한 연평균 PDSI의 증감

시나리오 \ 지점	강릉	서울	대구	전주	부산	목포	평균
GCM-AVG.	-1.09	-1.17	-1.79	-1.43	-1.01	-1.45	-1.32
GCM-LOW	-3.14	-1.98	-3.17	-2.63	-1.97	-2.78	-2.61
GCM-HIGH	2.02	0.94	0.56	0.24	1.15	1.23	1.02

추정된 PDSI의 100년 평균은 홍수와 가뭄의 영향이 모두 평균되어 도출된 결과이므로 표 19와 같이 BASE 시나리오와 계절별 평균의 증감을 비교하는 것이 효과적이다. 표 19에서 GCM-HIGH 시나리오의 경우 BASE 시나리오와 비교할 때 여름과 가을의 PDSI 증가가 봄과 겨울보다 큰데 이는 봄과 겨울의 강수량 증가율이 여름과 가을보다 더 낮고 또 기온의 증가에 따른 증발산 증가율이 더 높을 것이라는 의미로 해석할 수 있다. GCM-LOW 시나리오의 경우 모든 계절의 PDSI가 BASE 시나리오에 비해 낮아지며 GCM-AVG. 시나리오의 경우 모든 계절에 대해 약 -1.1~-1.5 정도의 감소를 보였다. 전반적으로 GCM-HIGH 시나리오에 의한 여름과 가을의 홍수발생 가능성과 GCM-LOW 시나리오의 가뭄발생 가능성으로 요약할 수 있다.

시나리오별로 모의된 자료에 의한 향후 100년 동안의 PDSI에 대하여도 -1 이하가 3개월 이상 지속되는 기간을 가뭄기간이라 보고 이 기간동안의 가뭄심도 및 발생비율을 분석하여 표 20과 표 21에 나타내었다. BASE 시나리오의 경우 가뭄기간 중 최대심도의 평균이 -2.83인데 이는 표 9의 실측값 -3.05와 비슷하다. 그러나 GCM-LOW 시나리오의 경우 최대심도의 평균

이 -4.0이상으로서 가뭄이 발생할 경우 매우 극심한 가뭄이 발생하는 것으로 모의되었으며 GCM-HIGH 시나리오의 경우 극심한 가뭄보다는 약하거나 보통인 가뭄이 주로 발생하는 것으로 모의되었다. GCM-AVG. 시나리오의 경우 BASE 시나리오보다 가뭄의 심도가 약간 깊어지고 가뭄기간도 길어지고 있어 향후 배증 CO₂ 상태에서 현재보다 가뭄의 발생빈도가 약간 증가할 것으로 보인다.

시나리오별 가뭄의 시작과 종료일의 비율은 그림 4에서 보는 바와 같이 가뭄의 시작은 주로 6~8월이며 가뭄이 종료되는 월은 특별한 경향을 보이지 않았다. 가뭄의 시작과 종료의 특성은 과거 관측치와 유사한 결과를 보이고 있다. 이는 기후변화에 따라 가뭄의 심도, 지속기간, 발생빈도 그리고 계절별 가뭄의 양상은 변하지만 가뭄이 발생하는 시기와 종료되는 시기는 변하지 않는다는 것을 나타내고 있다. 가뭄의 지속기간에 있어서는 지점에 따라 다르지만 BASE 시나리오의 경우 평균 6~14개월, GCM-AVG. 시나리오의 경우 평균 12~22개월, GCM-LOW 시나리오의 경우 평균 16~89개월, 그리고 GCM-HIGH 시나리오의 경우 7~12개월의 지속기간을 나타내었다.

표 19. BASE 시나리오에 대한 계절별 PDSI의 증감

시나리오	지점	계절	지점					평균	
			강릉	서울	대구	전주	부산		목포
GCM-AVG.		봄	-1.15	-0.87	-1.48	-1.16	0.69	-1.29	-1.11
		여름	-1.16	-1.28	-2.19	-1.71	-1.42	-1.38	-1.52
		가을	-1.00	-1.39	-1.89	-1.49	-1.02	-1.55	-1.39
		겨울	-1.09	-1.31	-1.73	-1.47	-0.94	-1.60	-1.36
GCM-LOW		봄	-2.82	-1.53	-2.58	-1.99	-1.69	2.34	2.16
		여름	-3.23	-2.13	-3.50	-3.01	-2.31	-2.83	-2.84
		가을	-3.35	-2.38	-3.63	-3.04	-1.98	-3.13	-2.92
		겨울	-3.29	-2.21	-3.18	-2.76	-1.94	-2.94	-2.72
GCM-HIGH		봄	1.60	0.29	0.15	0.07	0.68	0.77	0.59
		여름	1.73	1.43	0.50	0.24	1.39	1.39	1.11
		가을	2.76	1.49	1.15	0.52	1.77	1.86	1.59
		겨울	2.15	0.64	0.65	0.16	1.02	1.12	0.96

표 20. 시나리오에 따른 가뭄기간중 가뭄심도 분석

시나리오	최대PDSI 평균심도	PDSI 평균심도	가뭄기간(개월)				
			약함	보통	심함	극심	합계
BASE	-2.90	-2.09	161	122	64	28	373
GCM-AVG.	-3.90	-2.55	195	208	163	155	720
GCM-LOW	-4.90	-2.90	158	234	228	342	961
GCM-HIGH	-2.81	-2.02	122	78	35	19	253

주) 6개 지점 평균

표 21. 각 시나리오의 가뭄심도별 발생비율(%)

비교	시나리오	약함	보통	심함	극심	합계
가뭄 기간 기준	BASE	43	33	17	7	100
	GCM-AVG.	27	29	23	22	100
	GCM-LOW	16	24	24	36	100
	GCM-HIGH	48	31	14	7	100
100년 기준	BASE	13	10	5	2	31
	GCM-AVG.	16	17	14	13	60
	GCM-LOW	13	19	19	29	80
	GCM-HIGH	10	6	3	2	21

주) 6개 지점 평균

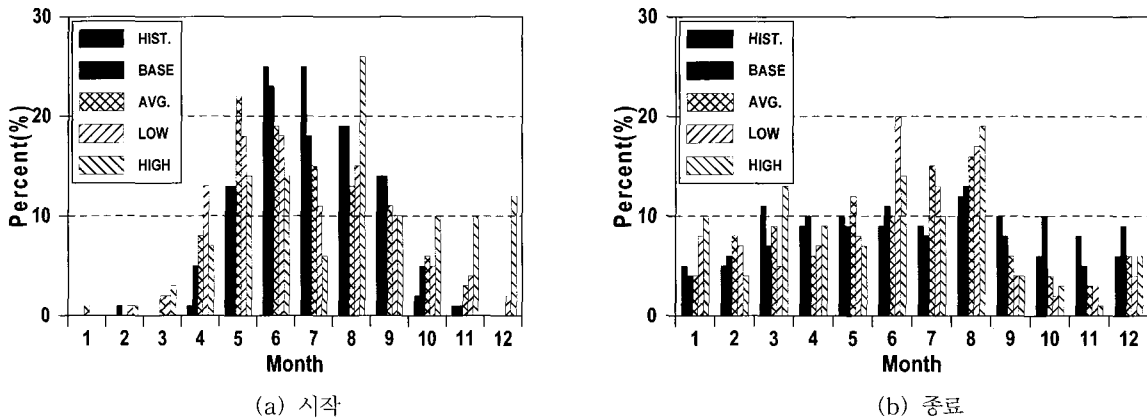


그림 4. 시나리오별 가뭄의 시작과 종료월의 비율

홍수의 경우도 가뭄과 같은 방법으로 향후 100년 동안의 PDSI에 대하여 +1 이하가 3개월 이상 지속되는 기간을 홍수기간이라 보고 이 기간동안의 홍수심도 및 발생비율을 분석하여 표 22와 표 23에 나타내었다. BASE 시나리오의 경우 홍수기간 중 최대심도의 평균이 -3.34인데 이는 표 12의 실측값 +3.85와 비슷하다. 그러나 GCM-HIGH 시나리오의 경우 평균최대심도 및 평균심도가 BASE 시나리오에 비하여 큰 폭으로 증가

하는 것을 알 수 있는데 이는 극한 습윤상태가 발생할 가능성이 많음을 나타낸다. 그러나 나머지 시나리오의 경우 극한 홍수보다는 약하거나 보통인 홍수의 발생비율이 더 높은 것을 알 수 있다. 또 그림 5에서와 같이 홍수는 주로 7~8월에 시작하고, 종료는 특별한 경향을 보이지 않는다. 이는 과거 관측자료에 의한 분석결과와 유사하다.

표 22. 시나리오에 따른 홍수심도 분석

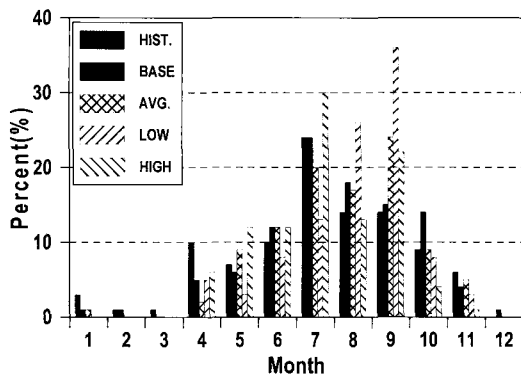
시나리오	최대PDSI 평균심도	PDSI 평균심도	홍수기간(개월)				
			약함	보통	심함	극심	합계
BASE	3.34	2.32	103	74	39	37	253
GCM-AVG.	3.29	2.42	40	35	18	17	110
GCM-LOW	2.62	2.04	18	8	3	2	31
GCM-HIGH	5.06	3.18	106	111	90	148	455

주) 6개 지점 평균

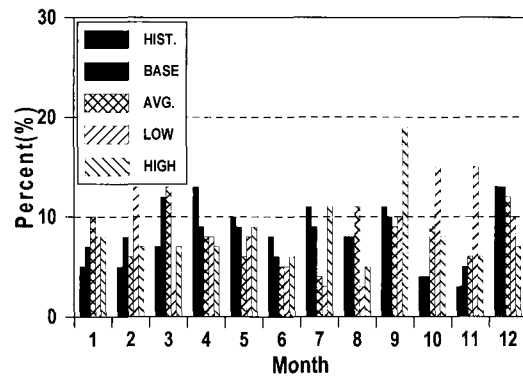
표 23. 각 시나리오의 홍수심도별 발생비율(%)

비교	시나리오	약함	보통	심함	극심	합계
가뭄 기간 기준	BASE	41	29	15	15	100
	GCM-AVG.	38	32	16	14	100
	GCM-LOW	62	24	9	5	100
	GCM-HIGH	24	25	20	31	100
100년 기준	BASE	9	6	3	3	21
	GCM-AVG.	3	3	2	1	9
	GCM-LOW	2	1	0	0	3
	GCM-HIGH	9	9	7	13	38

주) 6개 지점 평균



(a) 시작



(b) 종료

그림 5. 시나리오별 홍수의 시작과 종료월의 비율

6. 결 론

본 연구에서는 배증 CO₂ 상태의 GCM 모의결과와 이들의 변동폭을 반영하여 작성한 시나리오에 따라 수문자료를 모의하였으며 이들을 이용하여 PDSI를 계산함으로써 기후변화가 미래시점의 가뭄과 홍수에 어떠한 영향을 줄 것인가 고찰하였다. 우선 어떠한 GCM을 선택하느냐에 따라 기후변화의 예측결과는 달라지게 되는데 여기서는 기존 GCM 모의결과 중 최대와 최소 그리고 이들의 평균값을 현재상태와 비교함으로써 GCM 선택에 따른 문제점을 보완하였다.

가. 자료의 보유기간과 지역적인 분포를 고려하여 선정된 기상청 관할 강릉, 서울, 대구, 전주, 부산, 그리고 북포 관측소의 기온과 강수 자료는 남한 지역의 평균적인 기온과 강수특성을 잘 묘사하고 있어 기후 변화에 따른 이들 변수의 영향을 분석하기에 적합한 지점임을 확인하였다.

나. 선정된 6개 관측지점의 자료특성과 GCM 결과를 이용하여 모의 발생된 기온과 강수 자료 중 현상태가 계속 유지된다는 BASE 시나리오에 의한

자료는 원자료 계열의 특성을 잘 재현하고 있어 동일한 비교조건에서 배증 CO₂ 상태의 GCM-HIGH, GCM-LOW, 그리고 GCM-AVG. 시나리오와의 상대적인 비교가 가능하였다.

다. 각 시나리오별 연평균기온의 변화율은 최저 +3.2 °C에서 최고 +4.6 °C를 보였으며 계절별로 보면 봄과 겨울의 기온상승율이 여름과 가을보다 높게 나타났다. 연평균강수량의 경우 최저 -9 %에서 최고 +32 %의 변화율을 보였다. 계절별 강수량의 변화율은 시나리오별로 차이가 있는데 GCM-HIGH와 GCM-LOW 시나리오의 평균인 GCM-AVG. 시나리오의 경우 겨울에는 약 -3 %, 나머지 계절에는 +2~+10 %의 변화율을 보여 겨울에는 강수량이 감소하고 봄, 여름, 그리고 가을에는 강수량이 증가하는 경향을 보였다.

라. 모의발생된 수문자료를 이용하여 계산된 PDSI를 분석한 결과 GCM-AVG. 시나리오의 연평균 강수량이 BASE 시나리오에 비해 증가하였음에도 불구하고 PDSI는 감소하였는데 그 이유는 기온의 증가율에 비해 강수의 증가율이 낮기 때문인

것으로 사료된다. 즉 강수량의 증가보다 온도증가에 의한 증발산의 증가가 더 크기 때문이다.

바. 각 시나리오에 따른 가뭄심도별 발생비율은 GCM-AVG. 시나리오의 경우 BASE 시나리오에 비해 심한 가뭄과 극심 가뭄의 비율이 증가하였으며 가뭄 발생비율도 BASE 시나리오보다 30% 정도 증가하였다. GCM-HIGH 시나리오의 경우 주로 약한 가뭄이나 보통 가뭄이 발생하였고 가뭄의 발생율도 낮아졌는데 극한 홍수의 발생비율이 BASE 시나리오에 비해 큰 폭으로 증가하였다. GCM-LOW 시나리오의 경우 심한 가뭄과 극심 가뭄이 많이 발생하였고 가뭄의 발생율도 50% 이상 증가하였다.

전반적으로 시나리오에 따라 다르지만 극심한 가뭄과 극심한 홍수의 발생이 증가할 것으로 예상되어 우리나라와 같이 수자원의 계절적 편중이 심한 나라에서는 수자원의 계획 및 관리에 상당한 어려움이 있을 것으로 예상되며 이를 실무에 반영하기 위한 다각적인 연구가 필요할 것으로 보인다.

참 고 문 헌

- Blake, R., Khanbilvardi, R., and Rosenzweig, C. (2000). "Climate change impacts on New York city's water supply system.", *Journal of AWWA*, Vol. 36, No. 2, pp. 279-292.
- Budykom M.I., (1982). "The Earth's Climate: Past and Future. International Geographics Series." Academic Press, New York, Vol. 29, pp. 307-308.
- International Panel on Climate Change(IPCC) (1990). "Climate Change." The IPCC Scientific Assessment, Cambridge University Press, Cambridge, U.K.
- Jones, K.H. (1984). "An evaluation of the Palmer Drought Index in Southern Saskatchewan." Scientific Services Regina, Saskatchewan, NO. CSS-R84-01.
- Lettenmaier, D. P., and Sheer, D. P. (1991). "Climatic Sensitivity of California Water Resources." *Journal of Water Resources Planning and Management*, Vol. 117, No. 1, pp. 108-125.
- Palmer, W.C. (1965). "Meteorological Drought." U.S. Weather Bureau research paper, NO. 45.
- Rind, D. (1993). "Models see hard rain, drought if CO₂ doubles." *Climate Alert Newsletter*, Vol. 6, No. 2, pp. 120-125.
- Rowntree, P. (1993). "Climate Change and extreme weather events." Workshop on Socio-Economic Aspects of changes in Extreme Weather Events, Free University, Amsterdam. pp. 15-18.
- Weatherald, R.T., and Marabe, S. (1975). "The effects of changing the solar constant on the climate of a general circulation model" *Journal of Atmospheric Science*, Vol. 32, pp. 2044-2059.
- 강인식 (1993). "기온변화 예측." 기후변화가 한반도에 미치는 영향에 관한 심포지움, 기상청, pp. 3-33.
- 김상민 (1999). 우리나라 주요 지점에 대한 가뭄지수의 산정과 비교. 석사학위논문, 서울대학교.
- 류재희 (2000). 가뭄평가를 위한 가뭄지수의 비교연구. 석사학위논문, 고려대학교.
- 안재현 (1995). Palmer의 방법을 이용한 가뭄의 분석. 석사학위논문, 고려대학교.
- 오재호, 홍성길 (1995). "대기중 CO₂ 증가에 따른 한반도 강수량 변화." 한국수자원학회지, 한국수자원학회, 제 28권, 제3호, pp. 143-157.
- 유철상, 이동률 (2000). "기후변화에 따른 강수일수 및 강수강도의 변화연구." 대한토목학회논문집, 대한토목학회, 제20권, 제4-B호, pp. 535-544.
- 이동률 (1999). **한국과 미국대륙의 가뭄에 대한 엘니뇨의 영향**, 한국건설기술연구원, 건기연 98-078, pp. 10-20.
- 정관영, 송명덕, 엄원근, 홍성길 (1997). "남한지역 연평균 면적강수량 추정." 기상연구논문집, 기상학회, 제14권, 제4호, pp 41-46.
- 한국건설기술연구원 (2000). **수자원계획의 최적화 연구 (IV) : 기후변화에 따른 수자원 계획의 영향 평가**. 건설교통부, 한국수자원공사, pp. 344-347.
- 한국과학기술연구원 (1995). **지구환경감시 및 기후변화 예측 기술 : 기후변화 영향평가 및 영상처리 기술개발 연구**. 제1단계 3차년도 단계보고서, 환경부, 과학기술처, pp. 120-122.

(논문번호:04-04/접수:2003.11.19/심사완료:2004.03.25)