

기후변화가 낙동강 권역의 논 관개용수 수요량에 미치는 영향

Climate Change Impacts on Paddy Irrigation Requirement in the Nakdong River Basin

정상옥

Chung, Sang-Ok

ABSTRACT

The impacts of climate change on paddy irrigation requirements for Nakdong river basin in Korea have been analyzed. The HadCM3 model outputs for SRES A2 and B2 scenarios and International Water Management Institute 10'x10' pixels observed data were used with kriging method. Maps showing the predicted spatial variations of changes in climate parameters and paddy irrigation requirements have been produced using the GIS. The results showed that the average growing season temperature was projected to increase by 2.2°C (2050s A2), 0.0°C (2050s B2), 3.7°C (2080s A2) and 2.9°C (2080s B2) from the baseline (1961-1990) value of 21°C. The average growing season rainfall was projected to increase by 15.2% (2050s A2), 24.2% (2050s B2), 41.4% (2080s A2) and 16.7% (2080s B2) from the baseline value of 900 mm. Average volumetric irrigation demands were projected to decrease by 3.7% (2050s A2), 7.0% (2050s B2), 10.2% (2080s A2) and 1.4% (2080s B2) from the baseline value of $1.25 \times 10^9 \text{ m}^3$. These results can be used for the agricultural water resources development planning in the Nakdong river basin for the future.

Keywords: Climate change; agricultural water; nakdong river basin; GIS

1. 서 론

근래 온실가스 등으로 인한 기후변화가 세계적인 관심을 받고 있다. 기후변화는 해수면, 기온, 강수량과 증발산량에 영향을 주어 작물생육과 농업용수 수요량에 영향을 미친다. 본 연구에서는 여러 가지 시나리오에 따른 기후변화를 예측하고 예측된 기후변화가 장기적으로 낙동강 권역(동남해안 유역 포함)의 농업용수 수요량에 미치는 영향을 분석하였다.

기후변화가 다양한 분야에 미칠 영향에 대하여 세계적으로 많은 연구가 이루어지고 있다. 우리나라에서도 일부 연구를 하고 있지만 선진국에 비하여 미진한 실정이며 특히 기후변화가 농업용수 수요량에 미치는 영향에 대한 연구는 수행되지 않고 있다.

지금까지 국내외에서 수행된 연구는 다음과 같다. UN 산하 정부간 기후변화 협의체(Intergovernmental Panel on Climate Change: IPCC)는 4차에 걸쳐 기후변화 평가보고서를 발행하여 기후변화의 전망, 영향, 저감대책 등을 제시하고 있다. Doll (2002)은 기후변화가 세계의 관개용수량에 미치는 영향을 분석하여 1995년 현재 관개되고 있는 세계 농지의 2/3에서 관개요구량이 증가할 것으로 예측하였다. De Silva 등 (2007)은 기후변화가 스리랑카의 논 용수량에 미치는 영향에 대한 연구에서 2050s에 강수량은 감소하고 관개용수량은 증가할 것으로 예측하였다. Thomas (2008)는 중국의 월별 관측 기후자료와 회귀분석을 이용하여 2030년대의 관개요구량이 공간적 시간적 변동이 크며 전반적으로 증가할 것으로 예측하였다. Matthews 등 (1995)은 ORYZA1과 SIMRIW의 두 개의 벼 생육 모형을 이용한 연구에서 아시아 국가별로 차이가 있지만 전반적으로 기온상승이 불임율을 증가시켜 벼 생산량이 감소할 것으로 예측하였다.

Tao 등 (2008)은 지구온난화, 용수부족 및 다른 요인들로 인하여 벼 농사가 어려움을 겪을 것으로 예측하였다. 벼 생산은 지구온난화에 매우 취약할 것으로 인식되고 있으며, 여러

* 경북대학교 농업토목공학과

† Corresponding author. Tel.: 82-53-950-5734

Fax: 82-53-950-6752

E-mail address: sochung@knu.ac.kr

2009년 1월 8일 투고

2009년 3월 23일 심사완료

2009년 3월 26일 게재확정

가지 작물생육 모형과 기후변화 시나리오를 이용한 연구가 많이 수행되어 왔다 (Matthews 등, 1995; Yao 등, 2007).

우리나라의 기후변화 관련 연구는 주로 기상연구소에서 슈퍼컴퓨터를 이용하여 수행하여 왔다. METRI (2002, 2003, 2004)는 기후변화대응 1단계 사업으로 지역기후 시나리오 산출기술 개발연구를 하였으며, 2단계 사업으로 지역기후 시나리오 활용 기술개발연구를 수행하였다 (METRI, 2005, 2006). 1단계 사업에서 IPCC의 배출 시나리오 특별보고서 (Special Report on Emission Scenarios: SRES, IPCC, 2000) A2 및 B2 시나리오에 대하여 ECHO-G GCM 모형 결과를 MM5 지역기후모형 (Regional Climate Model, RCM)의 초기 및 경계조건으로 이용하여 동아시아와 한반도의 기후를 모의하였다. MM5가 모의한 값들이 ECHO-G가 모의한 값보다 관측 값에 더 가까운 것으로 나타났다. 2단계 사업에서는 온실가스 농도의 영향만 고려하는 ECHO-G 모형에 황산염 에어러솔 농도의 영향을 포함하는 ECHO-G/S 모형을 이용하여 과거 140년간 (1860-2000)에 대하여 전 지구 기후변화 실험(20C3M) 앙상블 적분을 수행하였으며, IPCC의 4차보고서를 위한 시나리오(A1B, A2) 장기적분 결과를 이용하여 동아시아의 몬순을 분석하였다.

Ministry of Environment (2002)는 전 지구 대기순환 모형 (General Circulation Model, GCM)인 YONU 모형을 개발하였으며 중규모 지역 기후예측 모형인 미국 NCAR의 RegCM2 모형에 결합하여 60km 격자 규모의 동아시아 기후 모의능력을 평가하였다. 또 MM5 중규모 지역기후모형에 NCAR의 지면모형을 접합하여 SNU/RCM이라는 지역기후모형을 개발하였으며, YONU와 SNU/RCM을 결합하여 50 km 수평격자망에 대하여 동아시아 지역 기후를 모의하였다. Bae 등 (2008)은 기상연구소의 MM5 A2 시나리오 자료를 이용하여 기후변화가 우리나라 수자원에 미치는 영향을 연구하였는데 유출량이 북부는 증가하고 남부는 감소할 것으로 예측하였다.

우리나라도 기후변화에 대처할 준비를 하여야 하며, 특히 수자원관리 분야에 대한 준비가 매우 필요하다. 본 연구의 목적은 낙동강 권역에서 기후변화가 농업용수의 수요량에 미치는 영향을 분석하여 변화추이를 전망하고, 농업용수의 장기 개발 및 관리계획 수립에 필요한 기초자료를 제공하는데 있다.

II. 재료 및 방법

1. 대상지역 및 벼 재배

본 연구의 대상지역은 동해안과 남해안을 포함하는 낙동강 권역이며 Fig. 1과 같다. 낙동강 권역의 논 면적은 285,411ha 이며 이는 전국의 논 면적 1,084,024 ha 의 26.3%에 해당한다

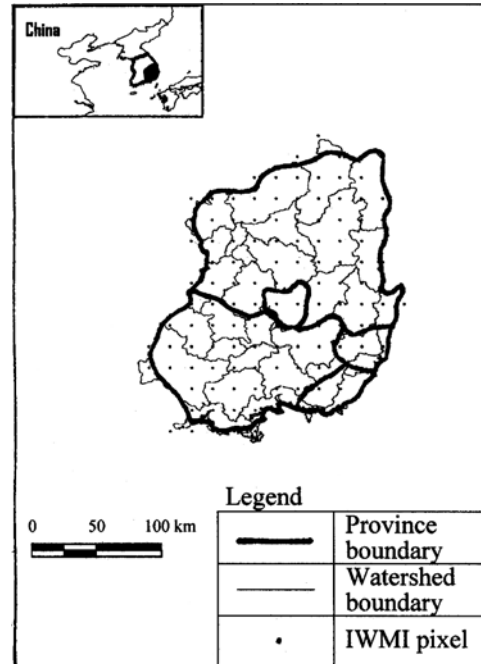


Fig. 1 Map of Nakdong river basin

(MOAF, 2007). 낙동강 권역에서 대체적으로 벼 경작은 5월초에 파종하고 5월 말경에 이앙하고 그 후 9월말 까지 관개하고 10월 말경에 수확한다.

2. 기후변화 시나리오

본 연구에서는 영국 Hadley 기후변화연구소에서 개발한 HadCM3 GCM (Gordon 등, 2000)의 모형 자료를 이용하였다. HadCM3은 2.5° × 3.75° (위도 및 경도, 한반도 상 280 × 340 km 해상도) 격자망 크기를 갖고 있으며 IPCC 4차 평가보고서에서 사용한 23개 GCM 중 하나이다 (IPCC, 2007). SRES에는 인구, 사회, 경제, 기술, 환경 개발 등에 따라 4가지의 기본 시나리오가 있으며 어느 특정 시나리오가 최적이라고 볼 수는 없다. A2는 경제성장에 비중을 두고 B2는 환경보전에 비중을 두고 있으며, 둘 다 지역화에 비중을 두고 있다 (IPCC-TGICA, 2007). 본 연구에서는 A2 및 B2 시나리오를 선정하였다. HadCM3 모형과 A2 및 B2 시나리오는 다른 연구에서도 많이 이용되었다 (De Silva 등, 2007). HadCM3의 요약자료는 30년 기간의 월 평균 값이며, 2020s (2010-2039), 2050s (2040-2069) 및 2080s (2070-2099)의 값을 제공한다. 본 연구에서는 2050s 및 2080s에 대하여 분석하였다.

GCM 모형자료를 사용하기 위해서는 Fig. 2와 같이 상세화 (downscaling) 또는 지역화 (regionalization)와 통계적 조정을 거쳐야 한다. 상세화는 GCM자료의 격자가 너무 크기 때문에

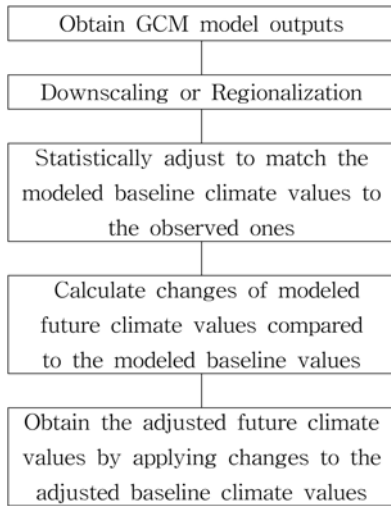


Fig. 2 Flowchart of the future climate projection

지역기후를 모의하는 데는 한계가 있으므로 작은 격자 자료로 조정하는 과정이다. 상세화 방법은 크게 경험적/통계적 방법과 역학적 방법으로 나눈다. 경험적/통계적 방법에는 최인근 격자법 (nearest grid box method), 보간법, 기상 타이핑 법 (weather typing), 추계학적 기상생성기 (stochastic weather generator) 및 전환함수법 (IPCC-TGICA, 2007; Wilby & Dawson, 2007) 등이 있다. 최인근 격자법과 보간법이 가장 간단하다. 역학적 방법은 GCM의 큰 격자망 안에 작은 격자망의 지역기후모형 등지를 이용한다. Wilby & Dawson (2007)은 여러 가지 상세화 기법의 장단점을 비교하였다. 상세화 기법의 선정은 연구목적과 기타 제약조건에 따라 다를 수 있다. 본 연구에서는 통계적 상세화 방법의 일종인 kriging 방법을 이용하였다. 이 방법은 간단하며 다른 연구에서 성공적으로 이용되었다 (De Silva 등, 2007). 본 연구에서 상세화 격자는 국제 물관리연구소 (International Water Management Institute, IWMI) 기후자료와 같은 10' × 10' 격자망 (한반도 상 18 × 15 km 해상도)을 선정하였다.

통계적 조정은 상세화된 기후 값을 관측값과 비슷하도록 만드는 과정이다. 먼저 기준년도 (1961-1990)의 상세화된 기후 값을 관측값에 맞도록 조정하여야 한다. 본 연구에서 기준년도 관측값으로 IWMI의 10' × 10' 격자망 기후자료를 이용하였다 (New et al., 2002). 이 기후자료는 30년간 (1961-1990)의 월 평균 기온, 강수량, 습도, 일조시간, 풍속을 포함하며, 우리나라 58개 기상관측소 자료와 비교한 바, 월 평균 기온은 $r^2=0.98$, 월 평균 강수량은 $r^2=0.96$ 등으로 잘 일치하였다. 본 연구에서는 기준년도 모형값과 관측값이 상당한 차이를 보였으며, 기준년도 관측값을 통계적으로 조정된 기준년도 기후값으로 이용하였다.

그 다음에 상세화된 각 격자점의 미래 기후값의 상세화된 기준년도 기후값에 대한 변화율 (기온은 변화량)을 계산하여 통계적으로 조정된 기준년도 기후 값에 곱하거나 더하여서 통계적으로 조정된 미래 시나리오에 대한 기후 값을 산정한다. 이 기후값을 이용하여 잠재증발산량을 계산한다.

3. 관개요구량 산정

본 연구에서 논 단위용수량은 단위면적당 순 용수량을 뜻한다. 이는 증발산량, 심층침투량, 이양용수량, 못자리용수 및 유효강우량을 포함한다. 잠재증발산량은 2절에서 구한 IWMI 격자점에 대한 월별 기후자료를 이용하여 국제적으로 이용되는 Penman-Monteith 식으로 구하였다 (Allen 등, 1998). 관개요구량은 단위용수량에 면적을 곱한 체적을 나타낸다. 논 단위용수량은 FAO에서 개발한 CROPWAT (Smith, 1992)을 이용하여 산정하였다. CROPWAT에는 네 가지 월 유효강우량 산정법이 있다. 본 연구에서는 다음의 USDA-SCS 방법을 이용하였다.

$$P_{eff} = P_{tot} * (125 - 0.2 * P_{tot}) / 125 \text{ for } P_{tot} < 250\text{mm} \quad (1)$$

$$P_{eff} = 125 + 0.1 * P_{tot} \text{ for } P_{tot} > 250\text{mm} \quad (2)$$

여기서 P_{eff} 는 월 유효강우량 (mm), P_{tot} 는 월 총 강우량 (mm)이다. 본 연구에서는 여러 격자점에 대한 단위용수량을 산정하여야 하므로 CROPWAT 모형을 적용하는 Excel 계산표를 만들어 산정하였다. 기준년도와 미래 시나리오에 대한 월별 잠재증발산량, 강수량, 작물계수, 심층침투량, 이양용수를 입력하면 모형이 각 격자점에 대한 월별 단위용수량을 산정한다. 농업생산기반정비사업조사설계지침-관개편 (MOAF, 1998)에 따라 이양용수 140 mm와 전체 논 면적의 5%를 못자리 면적으로 하였다.

기준년도와 미래 시나리오에 대한 격자별 강우량과 단위용수량 자료를 GIS에 불러들여 점 자료로 전환하여 레스트 그림을 그려 지역별 분포를 분석하였다. 광역시, 도별로 논 농사 지역을 선정하여 이 지역에 포함되는 격자점에 대하여 평균 단위용수량을 구하고 여기에 논 면적을 곱하여 관개요구량을 산정하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 기후변화 예측

낙동강 권역의 벼 관개기간 (5-9월) 동안의 강우량 분포는

Fig. 3과 같다. Table 1은 관개기간 동안의 광역시 및 도별 강우량을 보여준다. 시나리오별 관개기간 평균 강우량은 기준년도 900 mm에서 15.2% (2050s A2), 24.2% (2050s B2), 41.4% (2080s A2) 및 16.7% (2080s B2) 증가할 것으로 예측되었다. 2080s A2 시나리오는 다른 시나리오에 비해 약 2배 큰 강우량을 보여주고 있다. 그러나 식 (1), (2)에서 보았듯이 월 강우량이 크면 유효율이 감소하므로 유효우량은 2.4% (2050s A2), 6.4% (2050s B2), 9.2% (2080s A2) 및 5.0% (2080s B2) 증가할 것으로 예측되었다. 강우량의 증가는 경상북도가 가장 큰 것으로 나타났다. 년 평균기온은 기준년도 11.8°C에서 2.4°C (2050s A2), 0.0°C (2050s B2), 3.9°C (2080s A2)

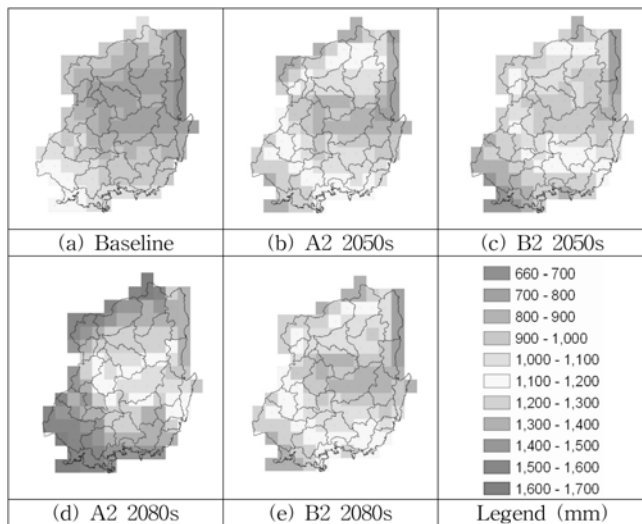


Fig. 3 Spatial variation in mean seasonal rainfall (May to Sept.) for the baseline (1961-1990) and future scenarios

Table 1 Comparison of predicted rainfall during the growing season (May to Sept.) for the baseline (1961-1990) and future scenarios in the 5 provinces in the Nakdong river basin

Province	Baseline mm	A2 2050s mm (%)	B2 2050s mm (%)	A2 2080s mm (%)	B2 2080s mm (%)
Gyeongbuk-do	800	1,016 (27.0)	1,021 (27.6)	1,223 (52.9)	1,005 (25.7)
Daegu-si	819	926 (13.1)	1,009 (23.2)	1,151 (40.5)	944 (15.2)
Gyeongnam-do	966	1,088 (12.7)	1,193 (23.6)	1,344 (39.2)	1,106 (14.6)
Ulsan-si	912	1,026 (12.5)	1,124 (23.2)	1,255 (37.6)	1,052 (15.4)
Busan-si	1,004	1,128 (12.3)	1,242 (23.7)	1,389 (38.3)	1,146 (14.1)
Mean/Total	900	1,037 (15.6)	1,118 (24.2)	1,273 (41.4)	1,051 (16.7)

및 2.9°C (2080s B2) 증가할 것으로 예측되었다. 벼 관개기간의 평균기온은 기준년도 21°C에서 2.2°C (2050s A2), 0.0°C (2050s B2), 3.7°C (2080s A2) 및 2.9°C (2080s B2) 증가할 것으로 예측되었다.

2. 관개요구량

낙동강 권역의 기준년도 평균 잠재증발산량은 522 mm이었으며, 미래 추정치는 0.4% (A2 2050s), 1.7% (B2 2050s), 2.9% (A2 2080s), 및 3.4% (B2 2080s) 증가할 것으로 예측되었다. Fig. 4는 격자별 단위용수량의 분포를 보여준다. Table 2는 광역시 및 도별 기준년도와 미래 시나리오에 대한 단위용수량과 관개요구량을 보여주고 있다. 유효강우량의 증가량이 증발산량 증가량 보다 크기 때문에 단위용수량과 관개요구량의 미래 시나리오에 대한 추정치가 감소할 것으로 예측되었다. 낙동강 권역의 평균 관개요구량은 기준년도 $1.25 \times 10^9 \text{ m}^3$ 에서 3.7% (A2 2050s), 7.0% (B2 2050s), 10.2% (A2 2080s) 및 1.4% (B2 2080s) 감소할 것으로 예측되었다. 강우량 증가가 가장 큰 A2 2080s 시나리오의 관개요구량이 가장 많이 감소할 것으로 추정되었다.

3. 월별 변화

관개기간 동안의 총 관개요구량만 중요한 것이 아니라 월별 값도 중요하다. Fig. 5는 기준년도와 미래 시나리오에 대한 월 평균 기온, 강우량, 잠재증발산량 및 단위용수량의 비교를 보여준다. 벼 관개기간의 평균기온은 미래로 갈수록 증가하였

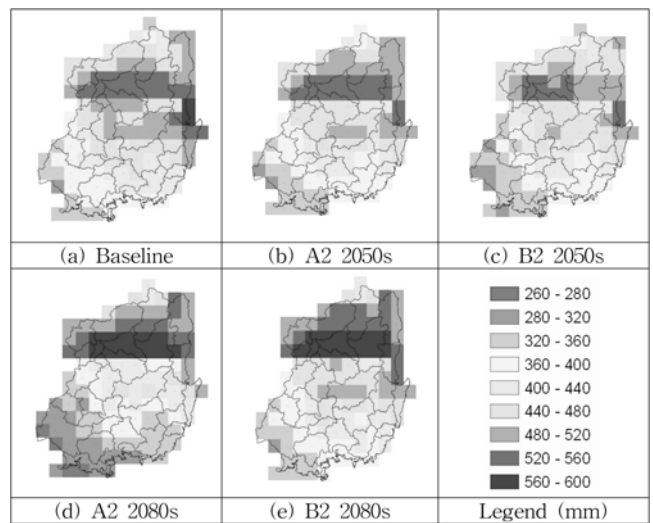


Fig. 4 Spatial variation in seasonal paddy irrigation requirements for the baseline and future scenarios

Table 2 Comparison of predicted paddy irrigation requirement and volumetric irrigation demand for the baseline (1961–1990) and future scenarios in the 5 provinces in the Nakdong river basin (Area data Source: MOAF, 2007)

Province	Area (ha)	Paddy irrigation requirement (mm) Volumetric irrigation demand (10 ⁶ m ³) Change from baseline (%)				
		Baseline	A2 2050s	B2 2050s	A2 2080s	B2 2080s
Gyeongbuk-do	151,855	459.8 683.0	437.0 (-2.8)	414.2 (-7.9)	429.7 (-4.5)	450.9 (0.3)
Daegu-si	6,286	483.2 30.4	462.7 (-4.3)	450.1 (-6.9)	413.3 (-14.5)	465.4 (-3.7)
Gyeongnam-do	112,958	418.4 472.6	399.2 (-4.6)	394.4 (-5.7)	345.8 (-17.4)	405.8 (-3.0)
Ulsan-si	8,556	438.3 37.5	416.9 (-4.9)	409.9 (-6.5)	369.2 (-15.8)	419.5 (-4.3)
Busan-si	5,756	381.1 21.9	358.2 (-6.0)	355.5 (-6.7)	305.9 (-19.7)	347.4 (-8.8)
Total	285,411	434.2 1,245.4	414.8 (-3.7)	404.8 (-7.0)	372.8 (-10.2)	417.8 (-1.4)

며 월별 기온은 일관성있게 변화하였다.

월별강우량은 7, 8월에 크게 증가할 것으로 예측되었다. 월별 잠재증발산량은 평균기온과 같은 양상으로 변화하지 않았으며, 이는 Penman-Monteith식에서 온도 이외의 변수들이 많기 때문인 것으로 사료된다. 잠재증발산량은 5, 6월에 많이 증가할 것으로 예측되었다. 5월에 강우량 증가의 거의 없을 것으로 예상되어 5월에 이양용수를 포함하는 단위용수량이 클 것으로 예상된다. 이는 지금까지 자주 겪어왔던 봄 가뭄의 피해가 미래 기후시나리오 하에서도 예견된다고 하겠다.

4. 연구방법의 한계 점

본 연구에서는 미래에 기온이나 강우량 등이 변하더라도 벼 재배면적과 재배방법 등은 변하지 않을 것으로 가정하였으며, 기온과 대기 중 탄산가스 농도가 작물 생육에 미치는 영향은 고려하지 않았다. 본 연구는 한발빈도에 따른 설계기준년이 아니라 평균년에 대한 용수량을 산정하였으며 각종 물 손실은 고려하지 않았다.

본 연구에서는 한 개의 GCM 모형 (HadCM3)과 SRES A2 및 B2 시나리오를 이용하였으며, SRES 시나리오와 GCM 모형의 불확실성은 분석하지 않았다. 따라서 다른 GCM과 SRES

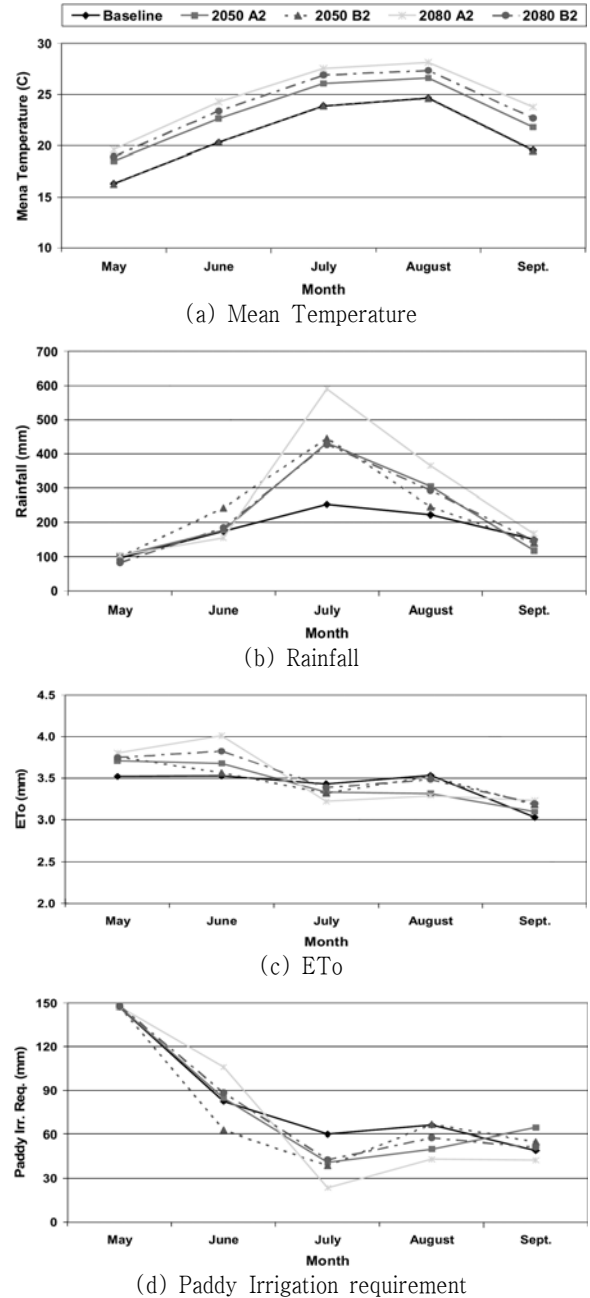


Fig. 5 Comparison of monthly mean temperature, rainfall, ETo and paddy irrigation requirement for the baseline and future scenarios for the Nakdong river basin

시나리오를 이용한다면 다른 결과를 보여 줄 것이다. 그리고 kriging 기법으로 상세화하는 과정에서 왜곡이 있을 수도 있을 것이다.

그러나 본 연구는 이러한 여러 가지 한계점을 고려하더라도 장래의 기후변화가 낙동강 권역의 농업용수 수요량에 미치는 영향에 대한 전반적인 이해를 돕는 것은 물론 앞으로 우리 나

라의 수자원 계획과 관리에 참고자료를 제공할 것이다.

IV. 결 론

본 연구는 낙동강 권역에서 기후변화가 농업용수 수요량에 미치는 영향에 대하여 분석하였으며 결론은 다음과 같다.

1. 낙동강 권역의 벼 관개기간 (5-9월) 동안의 시나리오 별 평균 강우량은 기준년도 (1961-1990) 900 mm에서 15.2% (A2 2050s), 24.2% (B2 2050s), 41.4% (A2 2080s) 및 16.7% (B2 2080s) 증가할 것으로 예측되었다. 그러나 유효강우량은 2.4% (A2 2050s), 6.4% (B2 2050s), 9.2% (A2 2080s) 및 5.0% (B2 2080s) 증가할 것으로 예측되었다.

2. 년 평균기온은 기준년도 11.8°C에서 2.4°C (A2 2050s), 0.0°C (B2 2050s), 3.9°C (A2 2080s) 및 2.9°C (B2 2080s) 증가할 것으로 예측되었으며, 벼 관개기간의 평균기온은 기준년도 21°C에서 2.2°C (A2 2050s), 0.0°C (B2 2050s), 3.7°C (A2 2080s) 및 2.9°C (B2 2080s) 증가할 것으로 예측되었다.

3. 낙동강 권역의 평균 관개요구량은 기준년도 1.25×10^9 m³에서 3.7 % (A2 2050s), 7.0 % (B2 2050s), 10.2 % (A2 2080s) 및 1.4 % (B2 2080s) 감소할 것으로 예측되었다. 강우량 증가가 가장 큰 2080s A2 시나리오의 관개요구량이 가장 많이 감소할 것으로 추정되었다.

이 논문은 2008학년도 경북대학교 연구교수 연구비에 의하여 연구되었음

REFERENCES

1. Allen, R.G., L.S. Pereira, D. Raes and M. Smith, 1998. Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage paper 56, Rome, Italy, 296pp.
2. Bae, D-H., I.W. Jung and H. Chang, 2008. Potential changes in Korea water resources estimated by high-resolution climate simulation. *Climate Research* 35: 213-226.
3. De Silva, C.S., E.K. Weatherhead, J.W. Knox and J.A. Rodriguez-Diaz, 2007. Predicting the impacts of climate change- A case study of paddy irrigation water requirements in Sri Lanka, *Agricultural Water Management* 93(1-2): 19-29.
4. Doll, P., 2002. Impact of climate change and variability on irrigation requirements: a global perspective. *Climate Change* 54: 269 - 293.
5. Gordon, C., C. Cooper, C.A. Senior, H. Banks, J.M. Gregory, T.C. Johns, J.F.B. Mitchell, and R.A. Wood, 2000. The simulation of SST, sea ice extents and ocean heat transports in a version of the Hadley Centre coupled model without flux adjustments. *Climate Dynamics* 16: 147-168.
6. IPCC, 2000. Special Report on Emissions Scenarios. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 570pp.
7. IPCC, 2007. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 966pp.
8. IPCC-TGICA, 2007. General Guidelines on the Use of Scenario Data for Climate Impact and Adaptation Assessment. Version 2, 66pp.
9. Matthews, R.B., M.J. Kropff, D. Bachelet and H.H. van Larr, 1995. (eds.) *Modeling the Impact of Climate Change on Rice Production in Asia*. CAB International, Oxon, UK, 289pp.
10. METRI (Korea Meteorological Research Institute), 2002, 2003, 2004. *The Development of Regional Climate Change Scenario for the National Climate Change Report (I, II, III)*. Seoul, Korea (in Korean).
11. METRI (Korea Meteorological Research Institute), 2005, 2006. *The Application of Regional Climate Change Scenario for the National Climate Change Report (I, II)*. Seoul, Korea (in Korean).
12. Ministry of Environment, Korea, 2002. *Development of Monitoring, Projection and Impact Assessment of Climate Change*. Final report Vol. 1 and 2. Yonsei University, Seoul Korea (in Korean).
13. MOAF (Ministry of Agriculture and Forestry, Republic of Korea), 1998. *Farmland improvement projects design standards-Irrigation*. Seoul, Korea.
14. MOAF (Ministry of Agriculture and Forestry, Republic of Korea), 2007. *Statistical yearbook of land and water development for agriculture*. Seoul, Korea, 26p.
15. New, M., D. Lister, M. Hulme and I. Makin, 2002. A high resolution data set of surface climate over global land areas. *Climate Research*, 21: 1-25.
16. Smith, M., 1992. CROPWAT-A computer program for

- irrigation planning and management. FAO Irrigation and Drainage paper 46, Rome, Italy, 126pp.
17. Tao, F., Y. Hayashi, Z. Zhang, T. Sakamoto and M. Yokozawa, 2008. Global warming, rice production, and water use in China: Developing a probabilistic assessment, *Agricultural and Forestry Meteorology* 148: 94-110.
 18. Thomas, A., 2008. Agricultural irrigation demand under present and future climate scenarios in China. *Global and Planetary Change* 60(3-4): 306-326.
 19. Wilby, R.L. and C.W. Dawson, 2007. Statistical Downscaling model SDSM Version 4.2 User manual, 94pp. <https://co-public.lboro.ac.uk/cocwd/SDSM>. Accessed 17 Oct. 2008.
 20. Yao, F., Y. Xu, E. Lin, M. Yokozawa and J. Zhang, 2007. Assessing the impacts of climate change on rice yields in the main rice areas of China. *Climate Change* 80: 395-409.