



대표농도경로 시나리오에 의한 한반도 주요 평야지역 논벼 소비수량 추정

Projection of Paddy Rice Consumptive Use in the Major Plains of the Korean Peninsula under the RCP Scenarios

정상옥*†

Chung, Sang-Ok

ABSTRACT

The paddy rice consumptive use in the six plains of the Korean peninsula was projected with changing climate under the representative concentration pathway (RCP) scenarios. High resolution climate data for the baseline (1961-1990) was obtained from the International water management institute (IWMI) and future high resolution climate projection was obtained from the Korea Meteorological Administration. Reference evapotranspiration (ET) was calculated by using Hargreaves equation. The results of this study showed that the average annual mean temperature would increase persistently in the future. Temperatures were projected to increase more in RCP8.5 than those in RCP4.5 scenario. The rice consumptive use during the growing period was projected to increase slightly in the 2020s and then more significantly in the 2050s and 2080s. It showed higher values for RCP8.5 than for RCP4.5. The rice consumptive use after transplanting in the study areas would increase by 2.2 %, 5.1 % and 7.2 % for RCP4.5 and 3.0 %, 7.6 %, and 13.3 % for RCP8.5, in the 2020s, 2050s, and 2080s, respectively, from the baseline value of 534 mm. The results demonstrated the effects of climate change on rice consumptive use quite well, and can be used in the future agricultural water planning in the Korean peninsula.

Keywords: RCPs; climate change; consumptive use; rice

1. 서 론

근래에 기후변화의 영향이나 대응방안에 대한 연구가 많이 수행되고 있다. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)는 매 4-5년 마다 평가보고서를 발행하고 있으며 2007년의 제4차 평가보고서 발간에 이어 2013/14년에 제5차 평가보고서를 발간할 계획이다. IPCC는 보다 신뢰성 높은 기후변화 예측을 위하여 제5차 평가보고서 작성에는 기존의 배출시나리오인 Special Report on Emissions Scenarios (SRES)를 대체할 대표농도경로 (RCPs) 시나리오를 개발하여 기후변화 예측 연구에 사용하도록 하였다.

최근에 국내에서도 기후변화가 수자원 또는 농업용수 환경에 미치는 영향과 적응방안에 대한 연구가 많이 수행되었다. Chung

(2009)은 기후변화가 낙동강 권역의 논 관개용수 수요량에 미치는 영향에 대한 연구를 수행하였으며, HadCM3 GCM 모형과 SRES A2, B2 시나리오에 대하여 기온과 강수량은 지속적으로 증가하고 벼 관개요구량은 감소할 것으로 예측하였다. Hong et al. (2009)은 SRES A2 시나리오에 대하여 FAO Blaney-Criddle 식으로 우리나라 9개 지점에서 논벼 소비수량을 산정하였으며, 미래 세 개의 30년 기간 (2025s, 2055s, 2085s)의 10년 빈도 설계기준년의 소비수량은 기온의 상승으로 인하여 전 지점 평균 1.56 %, 5.99 % 및 10.68 % 증가할 것으로 예측하였다. Chung et al. (2011)은 A2, B2 시나리오에 대하여 HadCM3 GCM 모형결과를 통계학적으로 상세화한 고해상도 기후예측값을 이용하여 우리나라 도별로 논벼 필요수량의 공간적, 시간적 변화를 예측하였으며, 일반적으로 미래의 필요수량이 감소할 것으로 예측하였으나 공간적, 시간적 변동성이 큰 것으로 예측하였다. Chung and Nkomozepi (2012)와 Nkomozepi and Chung (2012)은 13개 GCM과 3개의 SRES 시나리오에 대한 자료를 이용하여 각각 기후변화로 인한 금호강 유역의 벼 필요수량 산정과 짐바브웨 옥수수 필요수량 산정의 불확실성을 분석하였다. 이들은 사용한 GCM과 SRES 시나리오에 따라서 작물 필요수량의 변동성이

* 경북대학교 농업토목공학과

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

Fax: +82-53-950-6752

E-mail: sochung@knu.ac.kr

2012년 4월 13일 투고

2012년 8월 10일 심사완료

2012년 8월 14일 게재확정

큰 것으로 보고하였다. Yun et al. (2011)은 SRES A1B 시나리오에 대하여 MIROC3.2 GCM 모형 결과를 이용하여 우리나라 8개 저수지 지역에 대하여 논벼의 필요수량을 분석하였으며 미래에는 필요수량이 증가할 것으로 예측하였다. Lee et al. (2012)은 수원지역에 대하여 CGCM3.1 GCM 기후자료를 LARS-WG 기상발생기로 일별 자료를 생성하여 CERES-Rice 작물모형으로 벼의 소비수량과 생산량을 모의하였다.

본 연구는 한반도 전역의 대표적인 서해안 평야지대 6개소를 선정하여 새로운 시나리오인 대표농도경로에 따른 기후변화 예측 값을 수집하여 논벼의 소비수량을 산정하고, 그 결과를 지역별, RCP 시나리오별, 시간대별로 비교분석하여 미래 통일 후의 한반도의 농업용수관리에 필요한 기초자료를 제공하고자 한다. 또한 기상청의 미래 강수량 자료를 이용하게 되면 이 지역에서의 논벼 필요수량 산정 연구에 이용될 수 있을 것이다.

II. 재료 및 방법

1. 대표농도경로

2007년 5월에 IPCC는 제5차 평가보고서 작성에 이용할 새로운 배출 시나리오를 준비하도록 요청하였다. 2007년 9월에 IPCC 전문가 회의에서 IPCC 5차 평가보고서에서 사용할 새로운 배출 시나리오로 대표농도경로를 제시하였으며, IPCC는 5차 평가보고서에 사용될 기후변화 예측, 영향, 적응 전략 등에 RCPs 시나리오를 사용하도록 하였다.

대표농도경로 (RCPs) 시나리오의 숫자는 복사강제력 (W/m^2), 즉 온실가스 등으로 에너지의 평형을 변화시키는 영향력의 정도를 나타내는 양이다. 종래의 SRES 시나리오와 대표농도경로 시나리오를 비교하면 Fig. 1과 같다. SRES에서는 미래의 사회 경제적 상태가 먼저 결정되고 이에 따른 배출량 시나리오로 온실가스 배출 (즉, CO_2 농도) 및 복사강제력을 산정하고 기후예측을 하였으나, 대표농도경로 방법은 먼저 인간활동이 대기에 미치는 복사강제력을 산정하고 그로부터 기후, 대기, 탄소 순환의 예측과 온실가스 배출 (CO_2 농도) 및 사회 경제적 변화를 동시에 예측한다. SRES에서는 분리된 각 시나리오 사이의 정보전달에

시간 지연이 일어나는 문제점이 있었으므로 대표농도경로 방법이 훨씬 나은 기후예측을 할 수 있을 것이다 (NIMR, 2011).

Table 1은 대표농도경로 시나리오의 종류를 보여준다. 지상에

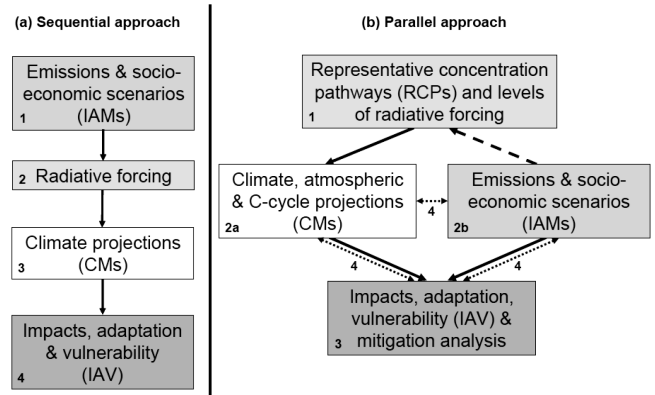


Fig. 1 Comparison of (a) sequential approach (SRES) and (b) parallel approach (RCPs) in climate research (after Moss et al., 2008)

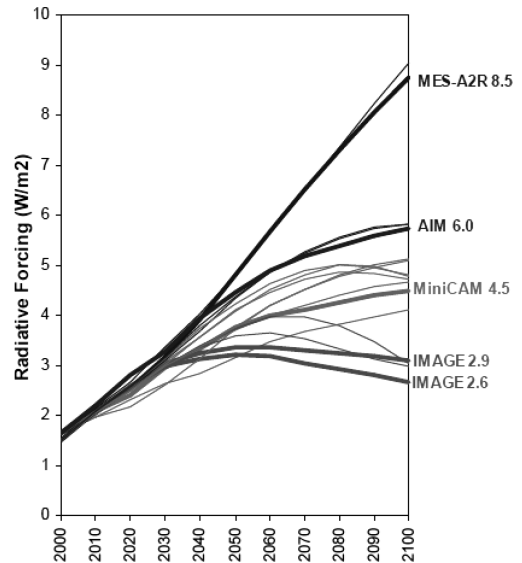


Fig. 2 Radiative forcing of RCPs (acronym before numbers represents research institute which performed the climate simulations) (after Moss et al., 2008)

Table 1 Types of representative concentration pathways (after Moss et al., 2008)

Description	Radiative forcing	Concentration* (CO_2 -eq. ppm)	Pathway shape	SRES-eq.
RCP8.5	> $8.5 W/m^2$ in 2100	940	rising	A2
RCP6.0	~ $6 W/m^2$ at stabilization after 2100	670	stabilization without overshoot	A1B
RCP4.5	~ $4.5 W/m^2$ at stabilization after 2100	540	stabilization without overshoot	B1
RCP2.6	peak at ~ $3 W/m^2$ before 2100 and then decline	420	peak and decline	-

* from CCIC (2012); eq. means equivalent

도달되는 태양복사량이 약 238 W/m²이므로 RCP8.5/6.0/4.5/2.6의 복사강제력은 입사 태양복사량의 약 3.6 %, 2.5 %, 1.9 %, 1.1 %에 해당된다 (CCIC, 2012). Fig. 2는 각 연구기관별로 예측한 2100년까지의 대표농도경로 시나리오별 복사강제력의 예측값을 보여준다. 여러 선은 여러 가지 상황설정에 따른 변동 내용이며 굵은 선이 최종적으로 선정된 복사강제력 예측값을 나타낸다. RCP8.5는 복사강제력이 계속 증가하여 2100년에 8.5 W/m²에 달한 후에도 계속 증가하는 형태이고, RCP6.0은 2100년에 6.0 W/m²에 달한 후 안정되며, RCP4.5은 2100년에 4.5 W/m²에 달한 후 안정되며, RCP2.6은 2050년경에 최고값 3.0 W/m²에 달한 후에 감소하여 2100년에는 2.6 W/m²가 된다. RPC와 SRES를 비교하면 RCP8.5, 6.0, 4.5는 각각 SRES A2, A1B, B1과 비슷하다고 하겠다.

2. 대상지역

본 연구의 대상지역은 평야의 면적과 위도별 분포를 고려하여 한반도 서해안의 대표적인 평야지대 6개소 (우리나라 3개소, 북한 3개소)를 선정하였다. 2010년 기준으로 북한의 논 면적은 570 천ha이며, 그중 황해남북도가 216 천ha, 평안남북도가 126 천ha로 북한 전체 논의 78 %를 차지하고 있다 (Kwon and Nam,

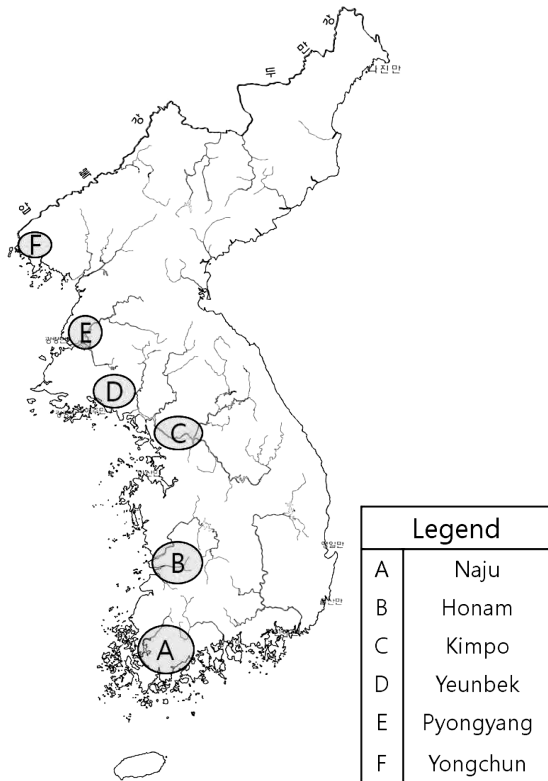


Fig. 3 Location of the selected plains in the Korean peninsula

Table 2 Information of the selected plains

Plain	River	Location (latitude; longitude)	Area (1,000 ha)
Naju	Yongsan	34.7-35.2; 126.5-127.0	218
Honam	Mangyong, Dongjin	35.7-36.0; 126.6-127.2	158
Gimpo	Han	37.5-37.8; 126.6-126.9	124
Yeunbek	Yesung	37.8-38.2; 125.8-126.5	115
Pyongyang	Daedong	38.9-39.2; 125.4-125.9	95
Yongchun	Aprock	39.8-40.0; 124.3-124.6	45

2011). Fig. 3은 본 연구에서 선정한 한반도 평야지대 분포도이며 Table 2는 6개 평야의 인접한 강, 위도와 경도, 면적 등을 보여주고 있다.

3. 한반도 기후자료

본 연구에서 한반도 기후자료는 International water management institute (IWMI)와 국립기상연구소에서 산출한 값을 이용하였다. IWMI는 전 세계 육지부에 대하여 기준년도 (1961-1990)에 대한 10'×10' 해상도 (16.7 km 격자망)의 월평균 기상자료를 제공한다 (New et al., 2002). 미래 기후예측 값은 국립기상연구소가 RCP 시나리오에 대하여 영국 Hadley 기후센터에서 개발한 GCM 모형인 HadGEM2-AO를 이용하여 전 지구에 대한 기후예측 (135 km 해상도)을 한 후에, 지역기후모형인 HadGEM3-RA 모형으로 7.5'×7.5' 해상도 (12.5 km 격자망)로 역학적 상세화한 결과를 이용하였다. GCM의 모의 성능을 평가하기 위하여 1971-2000년 동안의 관측값과 ECHO-G 및 HadGEM2-AO 예측값을 비교한 결과 동아시아 지역과 한반도 지역에서 모두 HadGEM2-AO가 관측값에 더 가까운 값을 보여주었다 (NIMR, 2011).

2012년 현재 한반도 자료는 RCP4.5와 8.5에 대해서만 제공되고 RCP2.6과 6.0에 대해서는 내년에 제공될 예정이다. 기상청은 인터넷에서 한반도 전역에 대하여 월별 기온, 상대습도 및 강수량 자료를 제공하고 있다 (NIMR, 2011). 기상청 국립기상연구소가 한반도 역학적 상세화한 모형자료는 1971-2000의 30년 평균과 2011년부터 2099년까지의 월별 기온, 상대습도, 강수량 자료를 제공한다. 기후자료는 Table 2에 소개한 각 평야의 위도 경도 자료를 이용하여 그 구역 내의 격자점에 대한 기후 값을 추출하였다. 시간적으로는 기후변화 관련연구에서 많이 채택하는 미래 30년간씩으로 구분하는 방법을 이용하였다. 즉, 2020s (2010-2039년), 2050s (2040-2069년), 2080s (2070-2099년)의 3개 구간에 대한 월평균 기상값을 이용하였다.

기준년도의 관측 값과 모형 추정값을 비교하여 그 편의를 보정해 주어야 한다. 본 연구에서는 관측값은 1961-1990년의 값을 사용하였으며 모형 추정값은 1971-2000의 자료를 이용하여

자료의 편의를 통계적으로 보정하였다. 원칙적으로 같은 기간의 기준년도를 사용하여야 하지만 얻을 수 있는 자료의 한계로 10년의 차이가 있으나 장기간에 걸친 자료이므로 큰 오차는 없을 것으로 판단된다.

4. 작물 소비수량 산정

벼의 생육기간은 농지의 고도 및 위도와 품종에 따라서 조금씩 다르다. 본 연구에서는 편의상 전 지역의 이앙일과 생육기간이 동일하다고 가정하였다. 이앙은 5월 중하순에 하고 9월 상순까지 관개하는 것으로 보고, 이앙 후 본답기 벼 소비수량(증발산량)은 6월부터 9월 상순까지 산정하였다. 기준작물 증발산량은 Penman-Monteith 식으로 구하는 것이 국제적인 경향이다. 그러나 기상연구소의 미래 기후자료는 기온과 상대습도만 있다. 또한 상대습도 값은 신뢰성이 그리 높지 않다. 따라서 본 연구에서는 기온 자료로 기준작물 증발산량을 산정하는 아래의 Hargreaves 식을 사용하여 구한 다음 Penman-Monteith 식으로 환산하였다.

$$ET_{o-Harg} = 0.0023 (T_{mean} + 17.8) (T_{max} - T_{min})^{0.5} \times R_a \quad (1)$$

여기서 ET_{o-Harg} 는 Hargreaves 식으로 산정한 기준작물 증발산량($mm \text{ day}^{-1}$), T_{mean} , T_{max} , T_{min} 는 월별 평균, 최고, 최저 기온이며 R_a 는 증발깊이로 환산한 외기복사량($mm \text{ day}^{-1}$)이다.

Hargreaves 식으로 산정한 ET_o 는 FAO (Allen, et al., 1998)에 따라서 같은 기간 (1961-1990)의 기상자료를 이용하여 Penman-Monteith 식으로 산정한 결과를 회귀분석하여 Penman-Monteith 식으로 구한 값으로 환산하여 사용하였다. 즉,

$$ET_o = a \times ET_{o-Harg} + b \quad (2)$$

여기서 ET_o 는 Penman-Monteith 식으로 환산한 기준작물 증발산량, ET_{o-Harg} 는 Hargreaves 식으로 산정한 기준작물 증발산

량, a와 b는 회귀계수이다. 본 연구에서 대상지역에 대한 기준년도 (1961-1990)의 월평균 기상자료로 산정한 기준작물 증발산량 값을 회귀분석한 결과 식은 다음과 같으며 결정계수 (R)는 0.84 이었다.

$$ET_o = 1.00 \times ET_{o-Harg} - 0.122 \quad (3)$$

벼 소비수량(증발산량)은 FAO Penman-Monteith 식으로 구한 기준작물 증발산량에 작물계수를 곱하여 구하였다. 논벼의 월별 작물계수는 FAO에 따라 6월부터 9월까지 1.13, 1.2, 1.2, 0.9를 사용하였다 (Allen et al., 1998). 기준작물 증발산량 산정에는 기준년도와 편의보정한 미래의 기온자료를 이용하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 기상자료

기준년도와 미래에 대한 6개 평야지역의 년 평균기온의 변화는 Table 3과 같다. 미래에 대한 자료는 편의보정한 값이다. 전 지역의 기준년도 (1961-1990)의 평균기온은 11.1 °C 이었으며, 2020s, 2050s, 2080s의 예측값은 RCP4.5에서는 12.9 °C,

Table 3 Comparison of predicted annual mean temperature for the baseline (1961-1990) and future scenarios in the 6 plains

Plain	Baseline (°C)	RCP4.5 (°C)			RCP8.5 (°C)		
		2020s	2050s	2080s	2020s	2050s	2080s
Naju	13.3	15.0	16.0	16.6	15.1	16.9	19.0
Honam	12.4	14.0	15.0	15.6	14.0	15.9	18.0
Gimpo	11.6	13.3	14.2	14.9	13.3	15.2	17.5
Yeunbek	10.7	12.4	13.4	14.0	12.4	14.4	16.6
Pyongyang	9.7	11.8	12.7	13.4	11.8	13.7	16.0
Yongchun	8.9	11.1	12.2	12.7	11.1	13.2	15.5
Mean	11.1	12.9	13.9	14.5	13.0	14.9	17.1

Table 4 Comparison of monthly mean temperature, relative humidity, wind speed and sunshine hours at the 6 plains for the baseline (1961-1990)

Plain	Temperature (°C)					Relative humidity (%)					Wind speed (m/s)					Sunshine hour/daytime hour (%)				
	May	June	July	Aug	Sept	May	June	July	Aug	Sept	May	June	July	Aug	Sept	May	June	July	Aug	Sept
Naju	17.1	21.4	25.3	26.3	21.5	73.7	78.9	84.3	81.8	79.2	4.3	3.5	3.0	2.8	3.1	55.3	46.3	41.8	53.6	52.7
Honam	17.1	21.7	25.3	25.9	20.7	72.6	77.4	82.9	81.1	79.4	4.3	3.6	3.1	2.9	3.2	59.3	51.5	44.9	54.8	55.8
Gimpo	17.2	21.3	24.6	25.3	20.4	67.9	74.7	82.2	80.8	75.0	4.7	3.7	3.1	2.8	3.2	57.3	50.6	38.6	45.9	54.7
Yeunbek	15.9	20.5	24.0	24.7	19.6	68.7	75.2	82.7	81.8	75.4	4.0	3.2	2.8	2.6	2.7	58.3	51.8	40.4	48.2	56.9
Pyongyang	15.8	20.9	24.4	24.8	19.4	65.8	71.8	80.7	80.4	74.1	3.6	2.9	2.6	2.4	2.5	58.6	52.2	41.4	48.2	57.9
Yongchun	15.0	19.8	23.5	23.9	18.4	61.0	70.1	80.4	80.0	71.4	3.9	3.1	2.8	2.5	2.6	59.7	54.1	44.1	50.4	60.7
Mean	15.8	20.8	24.4	24.8	19.4	68.2	74.7	82.2	81.0	75.7	4.1	3.3	2.9	2.7	2.9	58.1	51.1	41.9	50.2	56.5

13.9 °C, 14.5 °C 이었으며, RCP8.5에서는 13.0 °C, 14.9 °C, 17.1 °C 이었다. 기온은 기준년도와 미래 시간에 모두 북쪽으로 갈수록 낮아졌다. RCP 기준으로 보면 RCP4.5 보다 RCP8.5에서 기온 증가가 더 큰 것으로 나타났으며 미래로 갈수록 꾸준히 증가할 것으로 예측되었다. 이는 일반적으로 예측되는 경향과 같은 것으로 본 연구에서 사용된 기온 예측 자료가 적정한 것으로 판단된다.

기준년도에 대한 6개 평야지역의 월 평균 기온, 상대습도, 풍속, 일사량 자료는 Table 4와 같다. 월 평균기온의 분포는 년 평균기온의 분포와는 약간 다른 양상을 보여주었다. 즉, 위도에 따라 월 평균기온이 항상 낮아지는 않았으며, 6-7월은 호남평야가 가장 높았으며 6-8월은 연백평야가 평양평야 보다 낮았다.

2. 월별 소비수량의 변화

6개 평야지역의 5월부터 9월까지의 월별 소비수량 (작물 증발산량)의 변화는 Fig. 4와 같다. 소비수량은 전 지역에서 7월에 최대 값을 나타내었다. 시간대 별로 보면 기준년도에 비해서 2020s의 증가량은 미미했으며 2050s, 2080s로 가면서 점점 더 크게 증가하였다. RCP 기준으로 보면 RCP4.5 보다 RCP8.5에서 작물 증발산량 증가가 더 큰 것으로 나타났으며, 이는 기온의 증

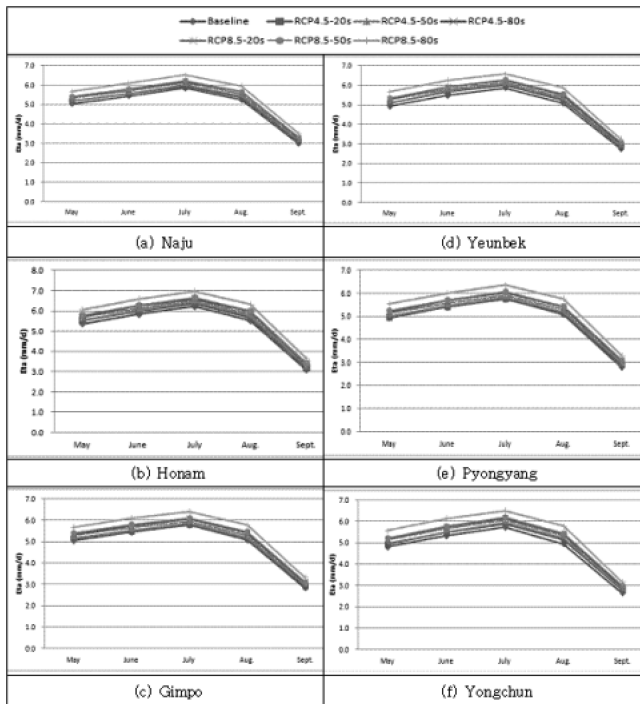


Fig. 4 Comparison of predicted monthly rice consumptive use (crop ET) for the baseline (1961-1990) and future scenarios in the 6 plains

가와 같은 추세를 나타낸다. 지역별 분포는 위도에 따른 뚜렷한 추세는 나타나지 않았으며 연백평야가 다른 평야들에 비하여 약간 작은 값을 나타내었으며, 이는 연백평야는 기준년도와 미래에 모두 6-8월에 더 북쪽인 평양평야 보다 낮은 기온 때문으로 판단된다. 전체적으로 보았을 때 작물 증발산량 추정값은 합리적인 것으로 판단된다.

3. 전 생육기간 소비수량의 변화

6개 평야지역의 이양 후 6월부터 9월 상순까지의 벼 소비수량의 산정결과는 Fig. 5와 같다. 전 지역의 기준년도 (1961-1990)의 평균 벼 소비수량은 534 mm이었으며, 2020s, 2050s, 2080s의 예측값은 RCP4.5에서는 546 mm (2.2 % 증가), 562 mm (5.1 % 증가), 573 mm (7.2 % 증가)이었으며, RCP8.5에서는 550 mm (3.0 증가), 575 mm (7.6 증가), 606 mm (13.3 증가)이었다. 벼 소비수량은 미래로 갈수록 꾸준히 증가할 것으로 예측되었으며, Hong et al. (2009)의 예측치와 비슷한 경향을 보여주고 있다. 이는 사용한 기후 시나리오나 기준작물 증발산량식이 다르더라도 벼 소비수량의 전반적인 변화양상은 미래로 갈수록 꾸준히 증가하는 경향을 나타내고 있다고 하겠다. RCP 기준으로 보면 RCP4.5 보다 RCP8.5에서 벼 소비수량 증가가 더 큰 것으로 나타났으며, 지역별로 보면 위도에 따른 뚜렷한 경향은 없었으며, 연백평야가 제일 작은 소비수량을 나타내었으며 호남평야가 가장 큰 소비수량을 나타내었다. 미래의 벼 소비수량 증가율은 연백평야가 가장 작고 용천평야가 가장 큰 것으로 나타났다.

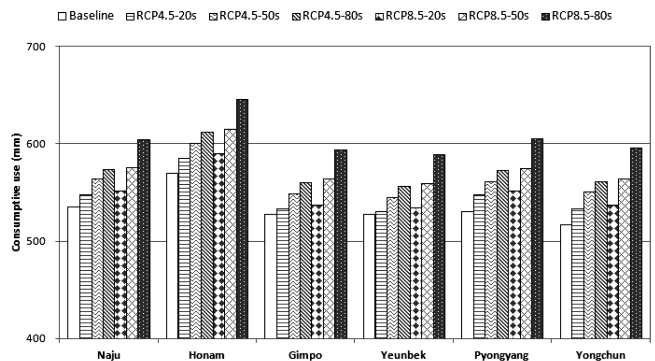


Fig. 5 Comparison of predicted rice consumptive use after transplanting for the baseline (1961-1990) and future scenarios in the 6 plains

IV. 요약 및 결론

본 연구에서는 기상연구소가 제공하는 2099년까지의 RCP4.5

와 8.5 시나리오에 대한 한반도 고해상도 기후자료를 사용하여 한반도 서해안의 위도별 주요 평야 6개 지역에 대한 벼 소비수량을 산정하고 비교분석하였다. 본 연구에서 기온 및 대기 중 이산화탄소 농도 변화가 작물생육에 미치는 영향을 포함시키지 않았고, GCM모형과 RCP 시나리오의 불확실성성을 분석하지 않은 점이 한계점이라 판단된다. 또한 자료의 제약으로 인하여 편오보정에 있어서 기준년도를 관측값 (1961-1990)과 모형값 (1971-2000)에서 시간적인 차이가 있는 것도 약간의 한계점이라 판단된다. 본 연구에서 도출된 연구결과는 다음과 같다.

1. 기상청에서 제공하는 한반도 상세 기온자료를 편오 보정한 결과, 년 평균기온은 시간이 갈수록 증가할 것으로 나타났으며, RCP4.5 보다 RCP8.5 시나리오에서 기온 상승이 더 클 것으로 나타났다.

2. 월 평균기온은 위도별로 일정한 추세를 나타내지 않았다. 그러나 남쪽에 있는 나주와 호남평야가 높은 기온을 나타내었으며, 북쪽으로 갈수록 낮아졌지만 연백평야는 북쪽의 평야보다 낮은 기온을 나타내었다.

3. 월별 벼 소비수량 변화는 전 지역에서 7월에 최대값을 나타내었다. 기준년도에 비해서 2020s의 증가량은 미미했으며 2050s, 2080s로 가면서 점점 더 크게 증가하였다. RCP4.5 보다 RCP8.5에서 소비수량 증가가 더 큰 것으로 나타났으며, 이는 기온의 증가와 같은 추세를 나타낸다. 지역별 분포는 위도에 따른 뚜렷한 추세는 나타나지 않았으며 연백평야가 다른 평야들에 비하여 약간 작은 값을 나타내었다.

4. 전체 6개 평야지역의 이앙 후 6월부터 9월 상순까지 전 생육기간의 벼 소비수량 산정결과 기준년도 (1961-1990)는 534 mm이었으며, 2020s, 2050s, 2080s의 예측값은 RCP4.5에서는 546 mm (2.2 % 증가), 562 mm (5.1 % 증가), 573 mm (7.2 % 증가)이었으며, RCP8.5에서는 550 mm (3.0 % 증가), 575 mm (7.6 % 증가), 606 mm (13.3 % 증가)로, 미래로 갈수록 꾸준히 증가할 것으로 예측되었다. RCP 기준으로 보면 RCP 4.5 보다 RCP8.5에서 벼 소비수량 증가가 더 큰 것으로 나타났으며, 지역별로 보면 위도에 따른 뚜렷한 경향은 없었으며, 연백평야가 제일 작은 소비수량을 나타내었으며 호남평야가 가장 큰 소비수량을 나타내었다.

본 연구의 결과는 앞에서 제시한 여러 가지 연구방법상의 한계점에도 불구하고 한반도 전역의 대표적인 평야에 대하여 기후변화에 따른 미래 벼 소비수량의 전반적인 변화양상을 제시한 것으로, 앞으로 이 지역의 관개용수량 산정연구에 이용될 수 있을 것이며, 통일 후의 한반도 농업용수 계획에 기초자료로도 활용될 수 있을 것이다.

이 논문은 2010년도 정부 (교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업 (No. 2010-0007884)과 2012학년도 경북대학교 학술연구비에 의하여 연구되었음. 한반도 RCP 기후예측자료는 기상청이 제공하는 자료를 이용하였음.

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, p.64.
2. Chung, S.-O., 2009. Prediction of paddy irrigation demand in Nakdong river basin using regional climate model. *Journal of the KSAE* 51(4): 7-13 (in Korean).
3. Chung, S.-O., and T. Nkomozepi, 2012. Uncertainty of paddy irrigation requirement estimated from climate change projections in the Geumho river basin, Korea. *Paddy and Water Environment*. 10(3): 175-185 DOI: 10.1007/s10333-011-0305-z.
4. Chung, S.-O., J. A. Rodriguez-Diaz, E. K. Weatherhead and J. W. Knox, 2011. Climate change impacts on water for irrigating paddy rice in South Korea. *Irrigation and Drainage* 60:263-273. DOI 10.1002/ird.559.
5. Hong, E. M., J. Y. Choi, S. H. Lee, S. H. Yoo and M. S. Kang, 2009. Estimation of paddy rice evapotranspiration considering climate change using LARS-WG. *Journal of the KSAE* 51(3): 25-35 (in Korean).
6. Lee, T., J.-Y. Choi, S.-H. Yoo, S.-H. Lee and Y.-G. Oh, 2012. Analyzing consumptive use of water and yields of paddy rice by climate change. *Journal of the KSAE* 54(1): 47-54 (in Korean).
7. Moss, R. et al., 2008. Towards New Scenarios for Analysis of Emissions, Climate Change, Impacts, and Response Strategies. Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva, 132pp.
8. National Institute of Meteorological Research (NIMR), 2011. *Climate Change Scenario report for the IPCC 5th assessment report*. Seoul, Korea. 117pp. (in Korean).
9. 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.
10. Nkomozepi, T. and S.-O. Chung, 2012. Assessing the trends and uncertainty of maize net irrigation water requirement estimated from climate change projections for Zimbabwe. *Agricultural Water Management* 111: 60–67.
 11. Yun, D. K., S. O. Chung and S. J. Kim, 2011. Climate change impacts on paddy water requirement. *Journal of the KSAE* 53(4): 39–47 (in Korean).
 12. Climate Change Information Center (CCIC), 2012. Climate change. <http://climate.go.kr>. Accessed on 9 March 2012.
 13. Kwon, T. J. and M. J. Nam, 2011. Food supply and demand forecast in north Korea for 2011. *KREI Quarterly Agricultural Trends in North Korea* 12(4): 3–41. Korea rural economic institute (in Korean).