

## 지역기후모형 자료를 이용한 낙동강 권역의 논 관개용수 수요량 예측

### Prediction of Paddy Irrigation Demand in Nakdong River Basin Using Regional Climate Model Outputs

정상옥<sup>\*,†</sup>

Chung, Sang-Ok<sup>\*,†</sup>

#### ABSTRACT

The paddy irrigation demand for Nakdong river basin in Korea due to the climate change have been analyzed using regional climate model outputs. High-resolution ( $27 \times 27$  km) climate data for SRES A2 scenario produced by the Meteorological Research Institute (METRI), South Korea, and the observed baseline climatology dataset (1971-2000) were used. The outputs from the ECHO-G GCM model were dynamically downscaled using the MM5 regional model by METRI. Maps showing the predicted spatial variations of changes in climate parameters and paddy irrigation requirements have been produced using the geographic information system. The results of this study showed that the average growing season temperature will increase steadily by 1.5 °C (2020s A2), 3.2 °C (2050s A2) and 5.2 °C (2080s A2) from the baseline (1971-2000) 19.8 °C. The average growing season rainfall will change by -3.4 % (2020s A2), 0.0 % (2050s A2) and +16.5 % (2080s A2) from the baseline value 886 mm. Assuming paddy area and cropping pattern remain unchanged the average volumetric irrigation demands were predicted to increase by 5.3 % (2020s A2), 8.1 % (2050s A2) and 2.2 % (2080s A2) from the baseline value  $1.159 \times 10^6$  m<sup>3</sup>. These projections are different from the previous study by Chung (2009) which used a different GCM and downscaling method and projected decreasing irrigation demands. This indicates that one should be careful in interpreting the results of similar studies.

**Keywords:** Regional climate model; climate change; irrigation; Nakdong river; GIS

## 1. 서 론

기후변화는 시간적, 공간적으로 수자원 분포에 영향을 미칠 것으로 예상되며 (IPCC, 2007), 농업용수 수요량에도 영향을 미칠 것이다. 세계적으로 기후변화가 다양한 분야에 미칠 영향에 대하여 많은 연구를 하고 있다. 우리나라도 일부 연구를 하고 있지만 선진국에 비하여 미진한 실정이며 특히 기후변화가 농업용수 수요량에 미치는 영향에 대한 연구는 아주 초기 단계에 있다고 하겠다.

Tao et al. (2008)은 기후변화, 용수부족 등의 요인들로 인하

여 장차 벼 농사가 어려움을 겪을 것으로 예측하였다. Matthews et al. (1997)은 ORYZA1과 SIMRIW 벼 작물 모형을 이용하여 기후변화의 영향을 평가한 결과 아시아 전체 평균 벼 생산량이 3.8 % 감소할 것으로 예측하였으며, 벼 생산은 지구온난화에 매우 취약할 것으로 인식되고 있다. 그 외의 지금까지 국내에서 수행된 관련 연구는 Chung (2009)에 소개되어 있다.

기상연구소는 기후변화대응 사업으로 지역기후시나리오 산출 기술개발 및 활용기술개발연구를 수행하였다 (METRI, 2002-2005). 이 연구에서는 IPCC의 이미션 시나리오 특별보고서 (Special Report on Emissions Scenarios: SRES, IPCC, 2000) A2 시나리오에 대하여 ECHO-G GCM 모형 결과를 MM5의 초기 및 경계조건으로 이용하여 동아시아와 한반도의 기후를 모의하였다. MM5는 Pennsylvania State University/National Center for Atmospheric Research에서 개발한 지역기후모형이다. MM5가 모의한 값들이 ECHO-G가 모의한 값보다 관측값에 더 가까운 것으로 나타났다. 특히 ECHO-G의 해상도로

\* 경북대학교 농업토목공학과

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

Fax: +82-53-950-6752

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

2009년 4월 27일 투고

2009년 6월 26일 심사완료

2009년 7월 24일 게재확정

표현하지 못하는 복잡한 지형과 해안선이 많은 한반도와 일본에 대하여는 MM5 추정 값이 관측 값에 훨씬 가깝게 나타났다.

Kim (2008)은 기후변화 연구에서 고려하여야 할 사항으로 개별 GCM 시나리오의 불확실성을 지적하였으며, 다수의 시나리오를 이용하여 불확실성을 표현하여야 한다고 하였다. Kwon (2009)은 지금까지의 ECHO-G GCM 일변도의 연구에서 탈피하여 13개 GCM 결과를 통계적으로 상세화하여 다수모델 앙상블을 이용한 기후시나리오를 개발하였다.

Chang et al. (2007)과 Bae et al. (2008)은 기상연구소의 MM5 A2 시나리오 기후자료를 이용하여 기후변화가 우리나라 수자원에 미치는 영향을 예측한 결과, 유출량이 북부는 증가하고 남부는 감소하고, 시공간적 변동성이 증가할 것으로 예측하였다. Yoo and Kim (2007) 및 Han (2007)은 기상연구소의 SRES A2 시나리오에 대하여 CERES-rice 모형으로 벼 생산량 변화를 추정하였으며 2080s에는 우리나라 벼 생산량이 15% 정도 감소할 것으로 예측하였다. 기후변화가 논 관개요구량에 미치는 영향에 대하여는 최근 Chung (2009)이 HadCM3 (Gordon et al., 2000) GCM의 기후자료를 이용하여 SRES A2 및 B2 시나리오를 선정하여 낙동강 권역의 논 용수량 변화를 추정하였으며, 전체적으로 논 용수량이 감소할 것이며 시간적 공간적 변동성이 클 것으로 예측하였다. Hong et al. (2009)은 우리나라 9개 지점에 대하여 기상발생기를 이용하여 기후변화에 따른 논벼 증발산량을 산정한 결과 2085s까지 기준작물 증발산량이 꾸준히 증가할 것으로 예측하였다.

본 연구에서는 지역기후모형을 이용한 미래 기후변화 추정 값이 장기적으로 낙동강 권역의 농업용수 수요량에 미치는 영향을 분석하였다. 본 연구의 목적은 지역기후모형의 결과를 이용하여 낙동강 권역에서 기후변화가 농업용수의 수요량에 미치는 영향을 분석하여 장차 농업용수 장기 개발 및 관리계획 수립에 필요한 기초자료를 제공하는데 있다. 또한 본 연구와는 다른 GCM과 상세화 기법을 이용한 앞선 연구의 결과와 비교하고 GCM 모형과 상세화 방법 등의 차이로 인한 불확실성을 분석하였다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 대상지역

본 연구의 대상지역은 동해안과 남해안을 포함하는 낙동강 권역이며 Fig. 1과 같다. 낙동강 권역의 논 면적은 285,411 ha이며 이는 전국의 논 면적 1,800,470 ha의 15.9%에 해당한다. 낙동강 권역에서 대체적으로 벼 경작은 5월이 모대기이고 5월말 경에 이앙하고 그 후 9월말 까지 관개하고 10월말 경에 수확한다.

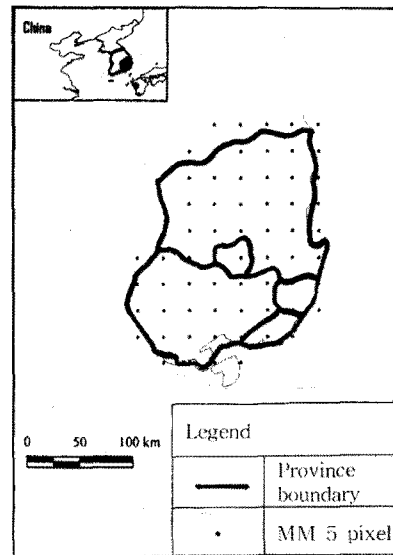


Fig. 1 Map of Nakdong river basin.

### 2. 지역기후모형 및 시나리오

본 연구에서 고해상도 기후예측 자료는 기상연구소에서 수행한 연구결과를 이용하였다. GCM은 독일 Max-Planck Institute for Meteorology에서 개발한 ECHO-G를 이용하였다. ECHO-G는 제4차 IPCC 평가보고서에서 이용된 23개 GCM 중 하나이다 (IPCC, 2007). GCM 모형은 격자망이 너무 크기 때문에 지역 기후를 모의하기 위하여 상세화 또는 지역화가 필요하다. 본 연구에서는 기상연구소에서 제공하는 MM5 지역기후모형 (Regional Climate Model, RCM)을 이용한 출력물을 이용하였다. 즉, ECHO-G 결과를 MM5의 경계조건으로 이용하여 역학적 상세화한 결과를 이용하였다. ECHO-G 모형 결과는 한반도에서 350 km의 해상도를 가지며 MM5로 상세화한 결과는 27 × 27 km 고해상도를 보여준다.

기상연구소는 2001년부터 2100년 까지 월평균 기온과 강수량 자료를 제공한다. 본 연구에서는 일반적으로 채택하는 30년 기간의 월 평균 값을 사용하였다. 즉 미래 예측 값을 30년 기간에 대하여 평균하였으며 이를 관례상 2020s (2010-2039), 2050s (2040 - 2069) 및 2080s (2070-2099)로 나타내고 이들에 대하여 분석하였다.

또한 기준년도에 대하여 상세화한 모형 예측치와 관측치가 일치하지 않으므로 이를 통계적으로 조정하여야 한다. 본 연구에서는 관측치와 모형예측치를 통계적으로 조정하기 위하여 간편한 kriging 방법을 이용하였다.

본 연구의 분석순서는 Fig. 2와 같다. 먼저 전 지구 대기-해양 결합모형 (AOGCM)인 ECHO-G 모형을 실행하여 미래 시나리오 자료를 얻고 이들 자료를 작은 격자망인 MM5 RCM을

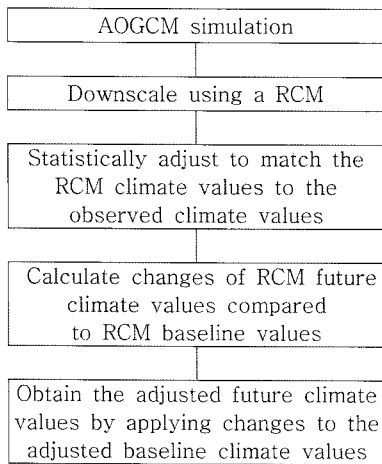


Fig. 2 Flowchart of the future climate projection.

이용하여 상세화한다. 이 두 단계는 기상연구소의 연구결과를 이용하였다. 다음에 낙동강 권역에 있는 22개 기상관측소의 기준년도 (1971-2000) 관측값을 kriging 기법을 이용하여 MM5 모형의 격자점에 대한 기준년도 기후 값으로 변환함으로써 통계적으로 조정한다. 다음에 MM5 모형의 각 격자점의 출력 자료를 이용하여 미래 시나리오 기후 값의 기준년도에 대한 변화율을 계산한다. 단 기온은 변화량을 계산한다. 그 다음 통계적으로 조정된 MM5 모형의 격자점에 대한 기준년도 기후 값에 미래 시나리오에 대한 변화율을 적용하여 미래 시나리오에 대한 기후 값을 산정한다.

### 3. 단위용수량 산정

본 논문에서 논 단위용수량은 단위면적당 순 용수량을 뜻한다. 이는 증발산량, 침침투량, 이양용수량, 못자리용수 및 유효우량을 포함한다. 관개요구량은 단위용수량에 면적을 곱한 체적을 나타낸다. ETo는 앞 절에서 산정한 MM5 모형 격자점에 대한 월별 기후자료를 이용하여 계산한다. 본 연구에서는 기상연구소에서 배포한 자료가 기온과 강수량뿐이므로 기온을 이용하는 방법인 Hargreaves 식을 이용하였다 (Allen et al., 1998).

$$E_{To} = 0.0023 (T_{mean} + 17.8) (T_{max} - T_{min})^{0.5} * Ra \quad (1)$$

여기서 ETo는 잠재증발산량 (mm/day), Tmean, Tmax, Tmin은 평균, 최고, 최저 기온 (°C), Ra는 수심으로 환산한 대기경계층의 태양복사량 (extraterrestrial radiation, mm/day)이며 다음 식으로 구한 Ra\*에 증발잠열 환산계수 (0.408)를 곱하여 수심으로 환산한다.

$$R_a^* = \frac{24(60)}{\pi} G_{sc} d_r [\sin(\phi)\sin(\delta) + \cos(\phi)\cos(\delta)\sin(\omega_s)] \quad (2)$$

여기서 Ra\*는 대기경계층의 태양복사량 (MJ/m<sup>2</sup>/d), Gsc는 태양상수 (0.0820 MJ/m<sup>2</sup>/min), dr는 지구-태양간 상대역거리 (inverse relative distance earth-sun), ϕ는 위도 (rad), δ는 태양경사각 (rad), 및 ωs는 일몰시각 각도 (rad)이다. 논 단위용수량은 FAO에서 개발한 CROPWAT (Smith, 1992)을 이용하여 산정하였으며, 월 유효강수량 산정은 CROPWAT의 4가지 방법 중 생략성 (default) 방법인 USDA-SCS 방법을 이용하였다.

$$P_{eff} = P_{tot} * (125 - 0.2 * P_{tot}) / 125 \text{ for } P_{tot} < 250 \text{ mm} \quad (3)$$

$$P_{eff} = 125 + 0.1 * P_{tot} \text{ for } P_{tot} > 250 \text{ mm} \quad (4)$$

여기서 P<sub>eff</sub>는 월 유효강수량 (mm), P<sub>tot</sub>는 월 총 강수량 (mm)이다.

본 연구에서는 많은 격자점에 대한 단위용수량을 산정하여야 하므로 CROPWAT 모형을 적용하는 Excel 계산표를 만들어 산정하였다. 월별 ETo, 강수량, 작물계수, 침침투량, 이양용수를 입력하면 모형이 각 격자점에 대한 월별 단위용수량을 산정한다. 농림부의 설계기준 (MOAF, 1998)에 따라 이양용수 140 mm와 못자리 면적은 전체 논 면적의 5 %를 적용하였다.

기준년도와 미래 시나리오에 대한 격자별 강수량과 단위용수량 자료를 GIS에 불러서 점 자료로 전환하여 래스터 그림을 그려 지역별 변화를 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 논 관개기간 (5-9월) 동안의 강수량 분포는 Fig. 3과 같다. Table 1은 관개기간 동안의 광역시, 도별 강수량을 보여준다. 시나리오별 관개기간 평균 강수량은 기준년도 886 mm에서 -3.4 % (2020s A2), 0.0 % (2050s A2) 및 +16.5 % (2080s A2) 변화할 것으로 예측되었다. 2080s A2 시나리오는 다른 시나리오에 비해 매우 큰 강수량을 보여주고 있다. 그러나 앞의 식 (3)과 (4)에서 보았듯이 월 강수량이 크

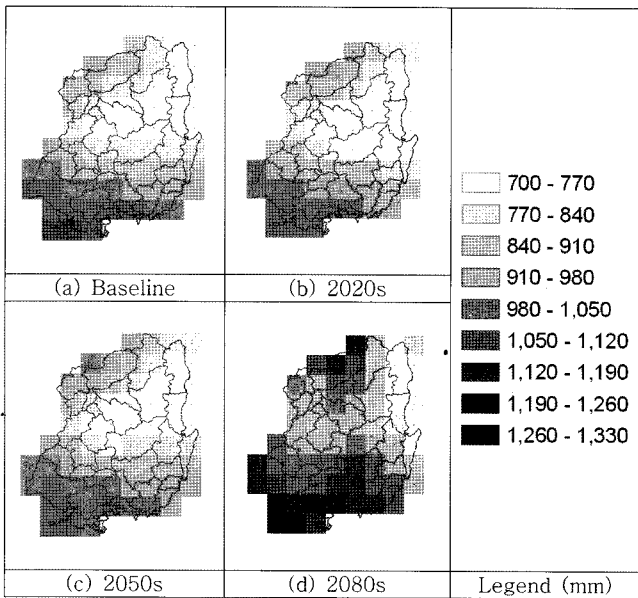


Fig. 3 Spatial variation in seasonal (May to September) rainfall for the baseline and future scenarios.

Table 1 Comparison of predicted rainfall during the growing season (May to Sept.) for the baseline (1971-2000) and future scenarios in the 5 provinces in Nakdong river basin

Province	Baseline mm	2020s mm (%)	2050s mm (%)	2080s mm (%)
Gyeongbuk-do	754	743 (-1.4)	755 (0.1)	970 (28.6)
Daegu-si	785	748 (-4.8)	777 (-1.0)	986 (25.6)
Gyeongnam-do	1,008	968 (-4.0)	1,003 (-0.5)	1,155 (14.5)
Ulsan-si	879	856 (-2.6)	902 (2.6)	948 (7.8)
Busan-si	1,003	965 (-3.8)	992 (-1.1)	1,103 (9.9)
Mean	886	856 (-3.4)	886 (0.0)	1,032 (16.5)

면 유효율이 감소하므로 유효우량은 -0.9 % (2020s A2), +2.0 % (2050s A2) 및 +10.7 % (2080s A2) 변화할 것으로 예측되었다. 강우량 분포는 2050s까지는 경북내륙 지방이 매우 작은 것으로 나타났다. 2080s의 강우량 증가는 대구/경북이 부산/경남 보다 훨씬 큰 것으로 나타났다.

벼 관개기간의 평균기온은 기준년도 19.8 °C에서 1.5 °C (2020s A2), 3.2 °C (2050s A2) 및 5.2 °C (2080s A2)씩 꾸준히 증가할 것으로 예측되었다.

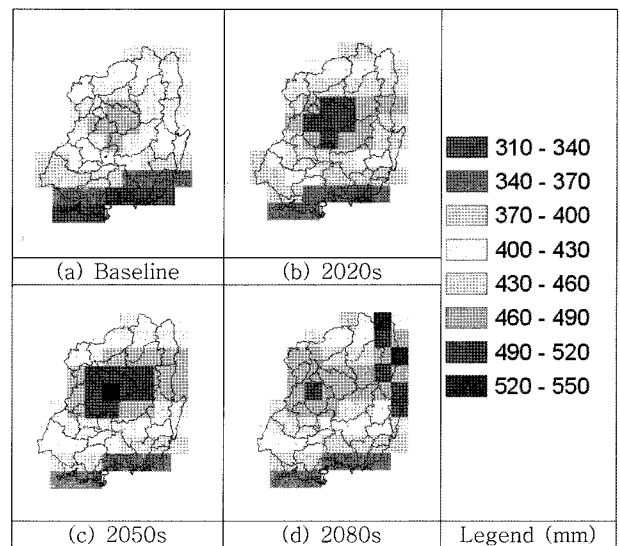


Fig. 4 Spatial variation in seasonal paddy irrigation requirements for the baseline and future scenarios.

Table 2 Comparison of predicted paddy irrigation requirement and volumetric irrigation demand for the baseline (1971-2000) and future scenarios in the 5 provinces in Nakdong river basin (Area data Source: MFAFF, 2008)

Province	Area (ha)	Paddy irrigation requirement (mm) Volumetric irrigation demand (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> ) Change from baseline (%)			
		Baseline	2020s	2050s	2080s
Gyeongbuk-do	150,028	467	487	505	462
		701	731 (4.5)	758 (8.1)	693 (-1.0)
Daegu-si	6,146	457	489	497	459
		28	30 (7.2)	31 (8.9)	28 (0.5)
Gyeongnam-do	111,445	343	366	370	369
		382	408 (6.7)	412 (8.0)	411 (7.6)
Ulsan-si	8,421	369	396	396	408
		31	33 (7.4)	33 (7.6)	34 (10.7)
Busan-si	5,400	314	339	346	343
		17	18 (8.1)	19 (10.0)	19 (9.3)
Total/Mean	281,440	390	416	423	408
		1,159	1,220 (5.3)	1,253 (8.1)	1,185 (2.2)

## 2. 관개요구량

본 연구에서는 기온과 대기중 탄산가스 농도가 작물생육에

미치는 영향은 고려하지 않았다. 낙동강 권역의 기준년도 평균 ETo는 508 mm이었으며, 미래 추정치는 3.8 % (2020s A2), 8.6 % (2050s A2) 및 13.8 % (2080s A2) 증가할 것으로 예측되었다. Fig. 4는 격자별 단위용수량의 분포를 보여준다. Table 2는 광역시, 도별 기준년도와 미래 시나리오에 대한 단위용수량과 관개요구량을 보여주고 있다. 작물 증발산량 증가량이 유효우량 증가량보다 크기 때문에 단위용수량과 관개요구량의 미래 시나리오에 대한 추정치가 증가할 것으로 예측되었다. 벼 재배면적과 영농방식 등의 변화가 없을 것으로 가정하면 낙동강 권역의 관개요구량은 기준년도  $1,159 \times 10^6 \text{ m}^3$ 에서 5.3 % (2020s A2), 8.1 % (2050s A2) 및 2.2 % (2080s A2) 증가할 것으로 예측되었다. 이는 장래 관개요구량이 감소할 것으로 예측한 앞선 연구 (Chung, 2009)와는 다른 결과로서, 이는 사용한 GCM, 상세화 방법 등에 따라서 매우 다른 결과를 나타낼 수 있다는 것을 보여주고 있으며 관련 연구의 결과를 해석할 때 유의하여야 할 것이다.

### 3. 월별 변화

관개기간 동안의 총 관개요구량만 중요한 것이 아니라 월별 값도 중요하다. Fig. 5는 기준년도와 미래 시나리오에 대한 월 평균 기온, 강우량, ETo 및 단위용수량의 비교를 보여주고 있다. 벼 관개기간의 평균기온은 미래로 갈수록 증가하였으며 월별 변화양상은 일정하였다.

월별강우량은 기준년도에 비해 6, 7월에는 감소하고, 8, 9월에는 증가할 것으로 예측되었다. 월별 ETo는 평균기온과 같은 양상으로 변화하였다. 5월에 강우량 증가는 거의 없을 것으로 예상되어 5월에 이양용수를 포함하는 단위용수량이 클 것으로 예상된다. 이는 지금까지 자주 겪어왔던 봄 가뭃의 피해가 미래 기후시나리오 하에서도 예견된다고 하겠다.

### 4. 불확실성의 분석

기후모형 연구에서 불확실성을 분석하기 위하여는 여러 SRES 시나리오와 여러 가지 모형결과를 이용하여 분석하는 방대한 연구가 필요하다. 이는 본 연구의 범위를 초과하므로 여기에서는 선행연구 (Chung, 2009) 결과와 비교하는 간략한 분석만 수행하였다. 그러나 본 연구의 결과와 선행연구의 결과와의 비교는 두 연구의 방법이 서로 다른 것을 감안하여야 한다. 기준년도도 다르고 ETo 계산식도 다르고 상세화 방법도 다르다. Table 3은 A2 2050s와 A2 2080s 시나리오에 대하여 두 연구결과의 비교를 보여준다. 기온은 두 연구에서 모두 꾸준히 상승하므로 ETo 값은 기온으로부터 계산하는 Hargreaves식

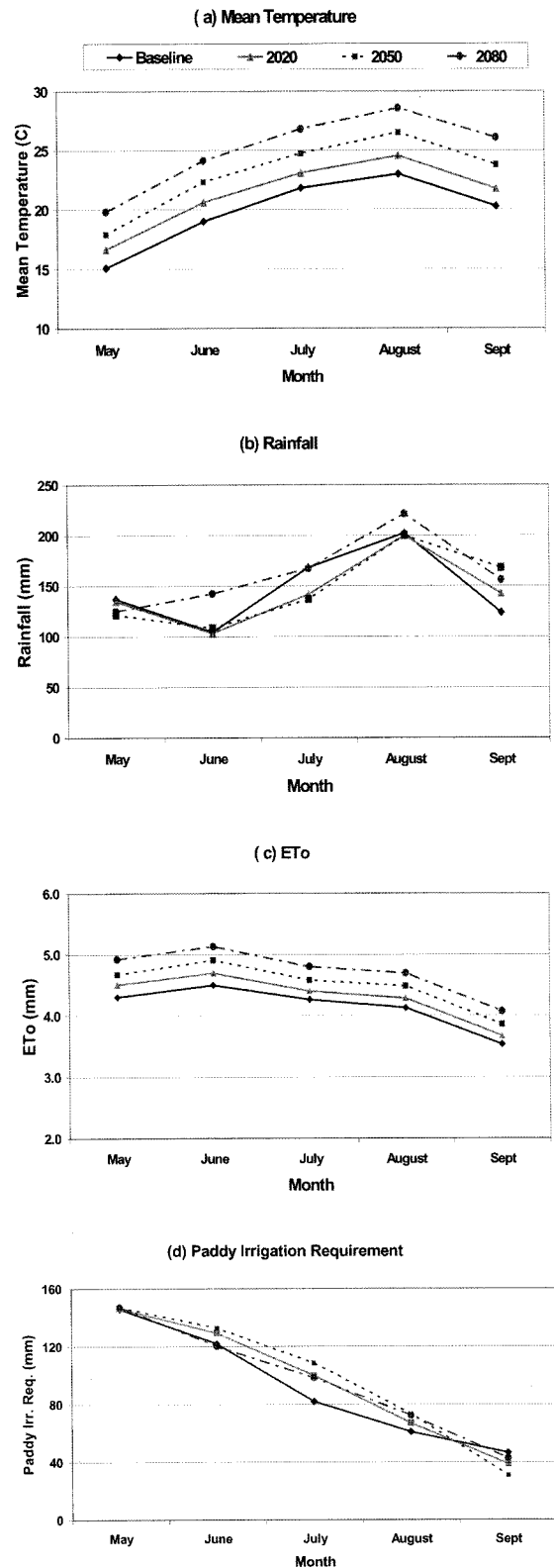


Fig. 5 Comparison of monthly mean temperature, rainfall, ETo and paddy irrigation requirement for the baseline and future scenarios for Nakdong river basin.

**Table 3 Comparison of present study and previous one by Chung (2009)**

Category	Chung (2009)	Present	Remarks
GCM	HadCM3	ECHO-G	
Baseline	1961-1990	1971-2000	
Downscale	statistical	dynamic	
ET <sub>0</sub> Eq.	Penman-Monteith	Hargreaves	
Growing season ET <sub>0</sub> (mm)	524/537	552/578	A2 2050s/A2 2080s
Growing season rainfall (mm)	1,037/1,237	886/1,032	A2 2050s/A2 2080s
Irrigation requirement (mm)	415/373	423/408	A2 2050s/A2 2080s

이 훨씬 큰 값을 나타내었다. 벼 생육기간의 강우량은 HadCM3 모형이 ECHO-G보다 훨씬 큰 값을 보여준다. 따라서 선행연구와 비교할 때 본 연구에서 더 적은 강우량과 더 큰 ET<sub>0</sub>를 보여주므로 더 큰 관개요구량을 나타낸다.

본 연구방법의 한계점은 Chung (2009)에 소개한 것과 비슷하다고 하겠다. 기온과 대기 중 탄산가스 농도가 작물 생육에 미치는 영향은 고려하지 않았다. 또한 본 연구는 한발빈도에 따른 설계기준년이 아니라 평균년에 대한 용수량을 산정하였으며 각종 물 손실은 고려하지 않았다.

#### IV. 결 론

본 연구는 고해상도 지역기후모형의 예측결과를 이용하여 낙동강 권역에서 기후변화가 농업용수 수요량에 미치는 영향에 대하여 분석하였다. 기상연구소의 SRES A2 시나리오에 대한 27 × 27 km 격자의 MM5 출력자료를 이용하여 미래 기후예측에 대한 논 용수 수요량을 예측하였다. 낙동강 권역의 22개 기상관측소의 기준년도 (1971-2000) 월평균 기후 값을 kriging 기법을 이용하여 모형의 기준년도 격자망에 대한 값으로 통계적으로 조정하였다. 강우량과 단위용수량 분포를 GIS를 이용하여 분석하였으며 낙동강 권역 전체의 용수량의 변화를 예측하였다.

본 연구의 결론은 다음과 같다.

1. 낙동강 권역의 벼 관개기간 (5-9월) 동안의 평균 강우량은 기준년도 886 mm에서 -3.4 % (2020s A2), 0.0 % (2050s A2) 및 +16.5 % (2080s A2) 변화할 것으로 예측되었다. 유효용수량은 -0.9 % (2020s A2), +2.0 % (2050s A2) 및 +10.7 % (2080s A2) 변화할 것으로 예측되었다.

2. 벼 관개기간의 평균기온은 기준년도 19.8 °C에서 1.5 °C (2020s A2), 3.2 °C (2050s A2) 및 5.2 °C (2080s A2)씩 꾸준히 증가할 것으로 예측되었다.

3. 낙동강 권역의 평균 관개요구량은 기준년도  $1,159 \times 10^6$  m<sup>3</sup>에서 5.3 % (2020s A2), 8.1 % (2050s A2) 및 2.2 % (2080s A2) 증가할 것으로 예측되었다.

4. 본 연구 결과는 장래 관개요구량이 감소할 것으로 예측한 앞선 연구 (Chung, 2009)와는 다른 결과로서, 이는 사용한 GCM, ET<sub>0</sub> 식, 상세화 방법 등에 따라서 다른 결과를 나타낼 수 있다는 불확실성을 보여주고 있으며 관련 연구의 결과를 해석할 때 유의하여야 할 것이다.

본 논문에서 사용된 MM5 기후예측 자료는 국립기상연구소의 연구결과임

#### REFERENCES

- 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, 296.
- 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.
- Chang, H., J. Franczyk, E. S. Im, W. T. Kwon, D. H. Bae, and I. W. Jung, 2007. Vulnerability of Korean water resources to climate change and population growth. *Water Science & Technology* 56(4): 57-62.
- Chung, S. O., 2009. Climate change impacts on paddy irrigation requirement in the Nakdong river basin. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 51(2): 35-41 (in Korean).
- 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.
- Han, H. J., 2007. Climate change impact assessment and development of adaptation strategies in Korea (III), Korean Environment Institute Report 2007/RE-01. 432 (in Korean).
- 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 Korean Society of Agricultural Engineers* 51(3): 25-35 (in Korean).
8. IPCC, 2000. Special Report on Emissions Scenarios, Cambridge University Press, Cambridge, UK, 570.
  9. IPCC, 2007. Climate Change 2007: The Physical Science Basis, Cambridge University Press, Cambridge, UK, 966.
  10. Kim, Y. O., 2008. Things to be considered in the climate change research. Sustainable Water Resources Research Center, Korea. *Water & Tech.* 5: 19-21 (in Korean).
  11. Kwon, W. T., 2009. Development of climate scenarios for the water resources impact assessment. Sustainable Water Resources Research Center, Korea. News Letter 278 (in Korean).
  12. Matthews, R. B., M. J. Kropff, T. Horie, and D. Bachelet, 1997. Simulating the impacts of climate change on rice production in Asia and evaluating options for adoption. *Agricultural Systems* 54(3): 399-425.
  13. 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).
  14. METRI (Korea Meteorological Research Institute), 2005. The Application of Regional Climate Change Scenario for the National Climate Change Report (I, II), Seoul, Korea. (in Korean).
  15. MFAFF (Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries, Korea), 2008. Statistical yearbook of land and water development for agriculture. 26p (in Korean).
  16. MOAF (Ministry of Agriculture and Forestry, Republic of Korea), 1998. Farmland improvement projects design standards-Irrigation. Seoul, Korea. (in Korean).
  17. Smith, M., 1992. CROPWAT-A computer program for irrigation planning and management. *FAO Irrigation and Drainage paper* 46, Rome, Italy, 126.
  18. 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.
  19. Yoo, G. Y., and J. E. Kim, 2007. Development of a methodology assessing rice production vulnerabilities to climate change, Korean Environment Institute Report 2007/R.