



기후변화가 논 필요수량에 미치는 영향

Climate Change Impacts on Paddy Water Requirement

윤동균* · 정상옥**·† · 김성준***

Yun, Dong Koun* · Chung, Sang Ok**·† · Kim, Seong Joon***

ABSTRACT

The aim of the study is to predict potential evapotranspiration and crop water requirement using meteorological data from MIROC3.2 with A1B scenario. Increase of evapotranspiration due to temperature rise can be observed out of the analysis, while effective rainfall decreased. The evapotranspiration elevation results in large amount of crop water requirement in the paddy farming. It can be seen that rainfall intensification at non-irrigation period brings effective rainfall decrease, while contributes to higher demand of crop water at irrigation period. It is necessary to secure additional water resources to adapt the climate change. It is expected that estimation on potential evapotranspiration in this study can be used for formulation of master plan of water resources.

Keywords: Climate change; GCM; LARS-WG; Change Factor; paddy rice; water requirement

I. 서 론

산업혁명 이후 과학기술의 급진적인 발전과 산업화로 인류의 삶의 질은 급속도로 향상된 반면, 생태계의 파괴와 환경악화로 인한 피해가 급증하고 있다. 화석연료 (석탄, 석유, 가스)의 연소로 인한 온실가스 (이산화탄소, 메탄, 일산화질소 등) 농도 증가는 지구온난화를 가속시켜 이로 인해 지구 곳곳의 기후를 변화시킴으로써, 인류사회와 자연생태계에 많은 영향을 미치고 있다. 이러한 기후변화가 지구환경에 미치는 영향의 중요성이 구체적으로 인식됨에 따라 선진국들은 기후변화 문제를 21세기에 최우선적으로 해결해야 할 문제로 다루고 있다.

인간 활동이 기후에 영향을 미치기 시작한 것은 산업 혁명 초기인 18세기 중엽부터이며, 1970년부터 2004년 사이에 지구 온실가스 배출량은 70 %나 증가하였다. 이로 인한 온실효과 (Greenhouse effect)로 지구온난화의 지표인 지구표면온도는 지난 100년 동안 (1906~2005) 0.74 ± 0.18 °C 상승하였다 (IPCC, 2007).

최근 국내에서도 기후변화가 국내 수자원에 미치는 영향에 대한 연구는 지속적으로 진행되어 왔으며, Bae et al. (2007)와 Jung et al. (2007)은 LARS-WG (Long Ashton Research Station - Weather Generator)를 이용하여 유역별 시나리오를 생산하고 관측치와 비교하고 이 시나리오에 따라 국내 유출량의 변화를 추정하였다. 또한 Hong (2009)은 LARS-WG를 이용한 기후변화에 따른 논벼 증발산량을 산정한바 있으며, Chung (2009)은 기후변화가 낙동강 권역의 논 관개용수 수요량에 미치는 영향에 관한 연구를 하여 기후변화에 따른 증발산량 추정 및 농업수자원 분야에 미치는 영향평가를 시행한바 있다. 이와 관련하여 기후변화에 따른 수자원변화를 예측하기 위하여 많은 연구를 진행되고 있으나 현재 농업용저수지 필요수량 변화분석은 이루어지고 있지 않은 실정이다. 따라서 본 연구에서는 18,000 여개의 농업용저수지 중 8개 대상지역을 선정하여 기후변화에 따른 증발산량 및 필요수량 변화를 예측하고자 한다.

II. 재료 및 방법

1. 대상관측소 및 저수지 선정

기후변화에 따른 우리나라 농업용수 영향평가를 하기 위해 각 도별 대표 관측소를 선정 하였다. 대상 관측소는 증발량을 관측하는 관측소, 관측자료가 많이 축적되어 있는 곳, 도심지에서 떨어진 곳 등을 고려하여 8개의 대상관측소를 선정하였다.

대상저수지는 전국 약 18,000여개의 농업용 저수지 중 각 도

* 한국농어촌공사 농어촌연구원

** 경북대학교 농업생명과학대학 농업토목공학과

*** 건국대학교 생명환경과학대학 사회환경시스템공학과

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

Fax: +82-53-950-6752

E-mail: sochung@knu.ac.kr

2010년 12월 27일 투고

2011년 6월 13일 심사완료

2011년 7월 13일 게재확정

Table 1 Weather stations and reservoirs used in this study

Region	Gang-won	Gyeong-gi	Gyeong-nam	Gyeong-buk	Jeon-nam	Jeon-buk	Chung-nam	Chung-buk
weather station	Chun-cheon	Su-won	Jin-ju	Po-hang	Yeo-su	Jeon-ju	Seo-san	Cheong-ju
weather data period	39 ('70~'08)	42 ('67~'08)	39 ('70~'08)	42 ('67~'08)	42 ('67~'08)	42 ('67~'08)	41 ('68~'08)	42 ('67~'08)
Reservoir	Won-chang	Ma-dun	Nam-seong	Ma-buk	Dae-po	Baek-suk	Go-pung	Won-nam
Basin area (ha)	1,300	1,240	392	1,600	1,440	10,625	2,590	3,655
Irrigation area (ha)	305.8	529.5	72.4	650.7	260.6	374.2	1,293.8	1,080.0
Infiltration (mm/day)	6.5	4.0	4.1	5.0	4.0	5.0	10.0	5.5
Conveyance losses (%)	20.0	10.0	15.0	15.0	15.0	10.0	10.0	15.0
Active storage capacity (1,000m³)	3,214	3,486	1,622	6,160	1,380	1,461	7,191	8,690
Completed year	1990	1975	1984	1999	1934	1964	1975	1988

별로 100 만³ ~ 1,000 만³에 해당하는 저수지를 대상으로 하였으며, 그 중 농업형태가 과거와 큰 변화가 없는 지역, 관측소 인근 저수지, 티센망도, 산간지역, 내용적도의 정확성 등을 고려하여 선정하였다. 본 연구에 이용된 기상관측소 및 저수지는 Table 1 과 같다.

2. 기후모형 및 시나리오

본 연구에서는 총 23개 전지구기후모형 (Global Climate Model, GCM) 중 기상청에서 많이 사용된 4개의 GCMs (MIROC3.2, ECHAM5-OM, HadCM3, ECHO-G)를 선정하였으며, 온실가스 배출시나리오는 하나의 특정한 에너지원에 지나치게 의존하지 않고 모든 에너지원의 균형사용에 해당하는 A1B를 이용하였다. ECHO-G의 경우 우리나라 기상연구소에서 지역 기후모델 (Regional Climate Model, RCM)로 구축된 MM5 (Mesoscale Model Version 5) 기상자료를 이용하였다. 선정된 모형의 과거 기상자료를 경기도 수원관측소의 과거 38년 (1971 ~ 2008) 기상자료와 비교분석 하한 결과 MIROC3.2가 1,342 mm로 수원관측소 1,304 mm와 가장 비슷하게 예측되었으며, 나머지 3개 모형의 경우 720 mm ~ 830 mm로 예측되었다. 따라서 본 연구에서는 일본에서 개발한 MIROC3.2를 사용하는 것으로 결정하였으며, MM5의 경우는 과거자료와는 차이는 있지만 우리나라 기상연구소에서 상세화한 기상자료임을 감안하여 본 연구에 사용하였다.

3. 편이보정

본 연구에서 이용하는 MM5, MIROC3.2 A1B 결과자료들은 한 국가와 전 세계의 미래 기후를 모의하지만, 그 값의 정확성은 불확실하다. 왜냐하면, 개발한 나라와 얼마나 멀리 위치해 있는지 또는 공간해상도가 얼마나 되느냐에 따라 연구대상지역에 대한 자료의 정확성이 상이하게 때문이다. 따라서 본 연구

에서는 Alcamo 등 (1997)이 사용했던 식 (1), 식 (2)와 같은 편이보정 (Bias-Correction)법을 이용하여 강우와 기온에 대한 편이보정을 실시하여 불확실성을 최소화 하였다.

$$P'_{GCM,fut} = P_{GCM} \times (\bar{P}_{meas,his} / \bar{P}_{GCM,his}) \quad (1)$$

여기서, $P'_{GCM,fut}$ 는 보정된 미래 강우량, P_{GCM} 는 GCM에서 모의된 미래 강우량, $\bar{P}_{meas,his}$ 는 과거 30년 (1971~2000) 동안의 관측 연평균 강우량, $\bar{P}_{GCM,his}$ 는 과거 30년 동안 모의된 GCM 연평균 강우량을 의미한다.

$$T'_{GCM,fut} = T_{GCM} + (\bar{T}_{meas,his} - \bar{T}_{GCM,his}) \quad (2)$$

여기서, $T'_{GCM,fut}$ 는 보정된 미래 온도, T_{GCM} 는 GCM에서 모의된 미래 온도, $\bar{T}_{meas,his}$ 는 과거 30년 동안의 관측 연평균 온

Table 2 The correction of temperature and rainfall climate change scenarios in 8 regions during forecast (1971~2000) weather data

Scenarios	ECHO-G(RCM-MM5)		MIROC3.2		
	A1B		A1B		
	Weather Station	Rainfall	Temperature (°C)	Rainfall	Temperature (°C)
Chun-cheon	1.65	2.98	0.97	-1.21	
Su-won	1.79	2.98	1.06	-1.63	
Seo-san	1.76	1.60	1.04	-1.72	
Cheong-ju	1.58	3.06	0.94	-1.19	
Po-hang	1.32	5.17	0.86	0.58	
Jeon-ju	1.54	3.69	1.07	-1.24	
Yeo-su	1.39	3.43	1.09	-1.28	
Jin-ju	1.55	3.09	1.14	-2.40	

도, $\bar{T}_{GCM,his}$ 는 과거 30년 동안 모의된 GCM 연평균 온도를 의미한다.

편이보정한 결과 MM5 경우 강우량과 온도가 과거 30년의 관측 자료에 비해 일률적으로 과소 추정된 것으로 나타나 강우량의 경우 최소 1.32에서 최대 1.79를 곱하여 보정하였으며, 기온의 경우 최소 1.60 °C에서 최대 5.17 °C를 더해 주어 보정 하였다. MIROC3.2의 경우 강우량과 온도가 일률적으로 더 크게 추정되어 강우량은 최소 0.97에서 최대 1.14를 곱하여 보정하였으며, 기온은 최소 0.58 °C에서 최대 -2.40 °C 만큼 더하거나 빼주어 보정하였다. 이 기법에 의해 추출된 강우량과 온도에 대한 보정값은 Table 2와 같다.

4. 상세화

기후변화 영향에 대한 정량적 평가를 위해서는 일반적으로 기후수치모형인 GCM에서 모의한 기후변화 시나리오별 결과를 사용하고 있다. 그러나 GCM모형은 종류가 매우 다양할 뿐만 아니라 모형의 특성과 사용된 입력 자료에 따라 모의결과가 상이하게 나올 수 있다. IPCC의 GCM모형 평가결과는 대체로 “현재의 기후모형들은 관측된 대규모 (전 지구 혹은 대륙규모) 기후의 여러 양상들을 비교적 정확히 예측할 수 있지만 지역규모 예측에서는 정확성이 떨어진다”고 지적하고 있다 (IPCC, 2001). 따라서 GCM 모형에서 예측한 기상자료를 한반도에 적용하기 위해서 역학적방법과 또는 통계학적방법을 이용하고 있다. 기상연구소에서 분석한 MM5의 경우 역학적 방법을 이용하여 상세화한 결과이다. 본 연구에서 선택된 MIROC3.2의 경우 2가지 통계학적 상세화 방법을 적용하고 비교 분석 하였다. 통계적 상세화 방법에는 Diaz-Nieto와 Wilby (2005)가 사용했던 방법인 CF (Change Factor)방법과 무강우일과 (dry day) 강우일 (wet day)이 지속된 일수에 대한 준경험적분포형 (semi-empirical distribution)을 이용하여 분석하는 LARS-WG방법을 이용하여 상세화 하였다.

CF방법은 과거 30년 (1979~2008) 기상자료들을 관측소별로 월평균 자료로 추출하고 GCM 시나리오별 미래 기상자료들 또한 2020s (2011~2040), 2050s (2041~2070), 2080s (2071~2100)의 월평균 자료를 추출하였다. 이 월평균 과거 자료와 미래자료간의 차이 값을 비율로 분석하여 과거 30년 평균 강우량 자료와 가장 비슷한 년도는 2005년도이며, 2005년도를 기준년도로 산정하여 각 기상자료에 미래 기상자료를 재추출하였다.

LARS-WG방법의 경우 단일 사이트에서의 기상변수 모의를 위한 모형이다. 통계학적 기상 발생기의 개발 목적은 첫째, 확실한 통계적 특성과 함께 총체적 기후발생을 모의하는 것을 준

비하는 것을 의미한다. 이는 수문학적 또는 농업적 적용에서 위해 성 평가를 위해 오랫동안 사용되어 왔다. 두 번째 목적은 미 계측 지역에 기후발생 모의에 있다. GCM 결과는 기후변화 시나리오와 같이 시공간적인 저해상도의 문제로 직접적으로 사용할 수 없는 경우가 많다. 그러나 기후 발생기는 기후요소와 평균 기후의 변화를 합쳐 일단위 multiple-year 기후변화 시나리오 생산이 가능하다.

5. 추가 기상자료 생성 프로그램 구축 및 검정

잠재증발산량 산정은 강우량, 온도, 습도, 일조시간, 증발량, 풍속 6가지 자료가 필요하지만 기후모형에 의해서는 강우량과 기온만이 생성되므로 나머지 기상자료를 생성하기 위해 기상자료 생성 프로그램을 구축하고 프로그램의 신뢰성을 확인하기 위해 프로그램에서 모의된 기상자료와 실제 관측자료와의 상관분석을 실시하였다. 그 결과는 Table 3과 같다.

프로그램의 자료검색 범위는 춘천관측소 1970~2003년 (34년)까지의 기상자료를 이용을 하고 미래 기상자료 생성은 2004~2008년 (5년)까지 생성 후 과거 실제 관측자료와 비교하였다. 상관계수의 결과 범위는 0.2 이하는 ‘매우 낮음’, 0.2~0.5는 ‘낮음’, 0.5~0.8은 ‘높음’, 0.8~1.0은 ‘매우 높음’으로 구분하여 분석하였다 (Yun, 2010).

그 결과 상관계수에서 4개의 기상자료 중 증발량이 0.877로 매우 높은 상관성을 보였으며, 습도, 일조시간, 풍속은 각각 0.702, 0.611, 0.655의 상관성을 보였다. 따라서 본 연구에서 구축된 기상자료 생성 프로그램은 4가지 모두 신뢰성이 높은 것으로 나타나 기상자료생성을 적합한 것으로 사료된다.

6. 기상자료 생성

가. MM5 기상자료 생성

MM5의 기상자료에 대하여 편이보정을 실시한 강우량과 기온자료를 이용하여 물수지에 필요한 4가지 (습도, 일조시간, 증발량, 풍속)기상자료에 대해 프로그램을 이용하여 생성하였다.

Table 3 Correlation between simulated and observed data

Year	Humidity	Sunshine hours	Evaporation	Wind speed	Correlation coefficient
2004	0.611	0.563	0.871	0.530	
2005	0.810	0.564	0.852	0.677	
2006	0.594	0.804	0.941	0.684	
2007	0.652	0.551	0.890	0.774	
2008	0.842	0.574	0.831	0.610	
Average	0.702	0.611	0.877	0.655	
					~0.2 : Very Low 0.2~0.5 : Low 0.5~0.8 : High 0.8~1.0 : Very High

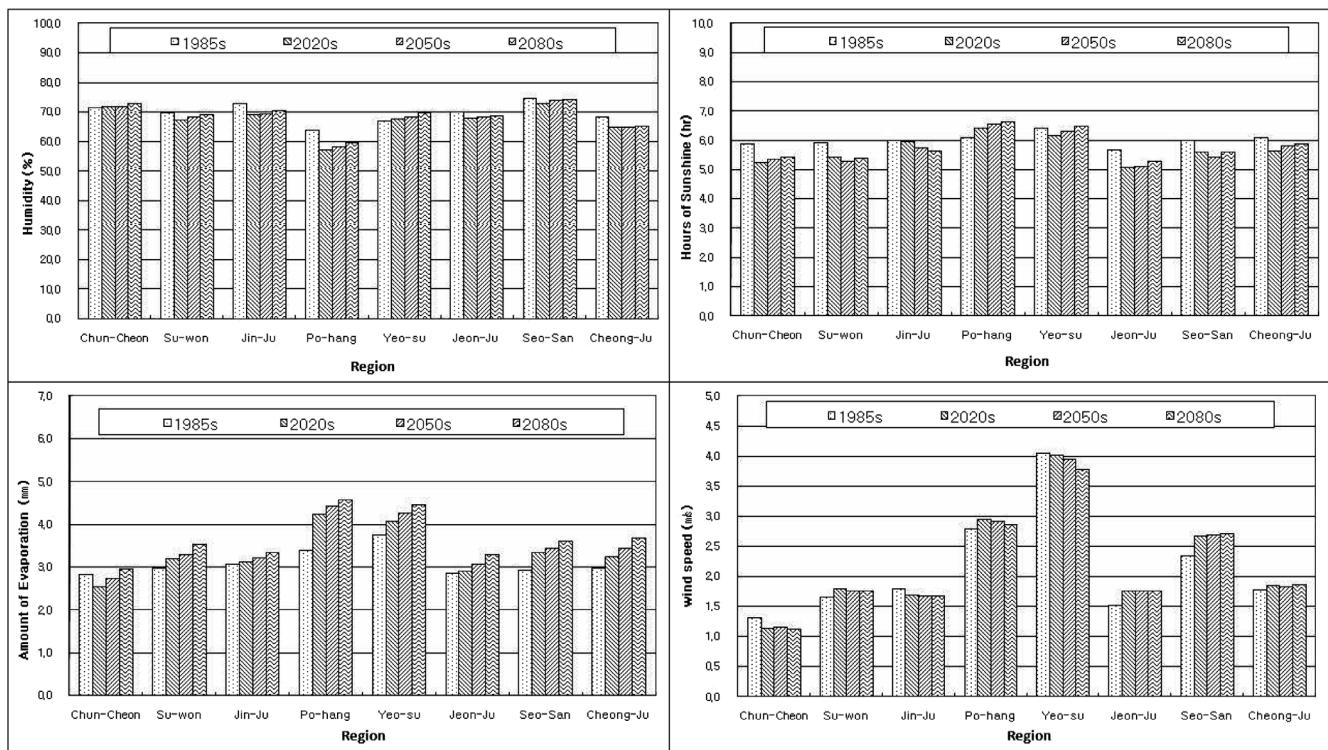


Fig. 1 Comparison of average climate data using MM5 in 8 regions during baseline periods (1979~2008) and 2010~2100 year

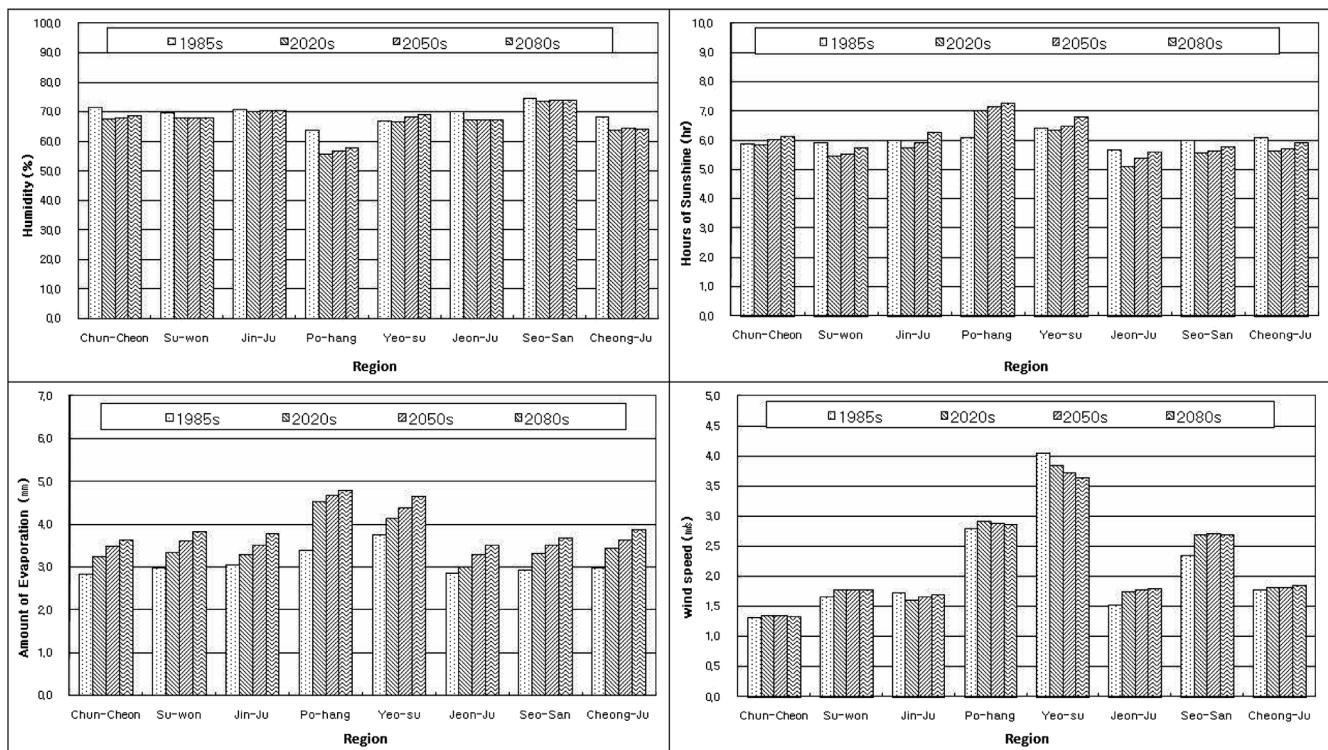


Fig. 2 Comparison of average climate data using CF in 8 regions during baseline periods(1979~2008) and 2010~2100 year

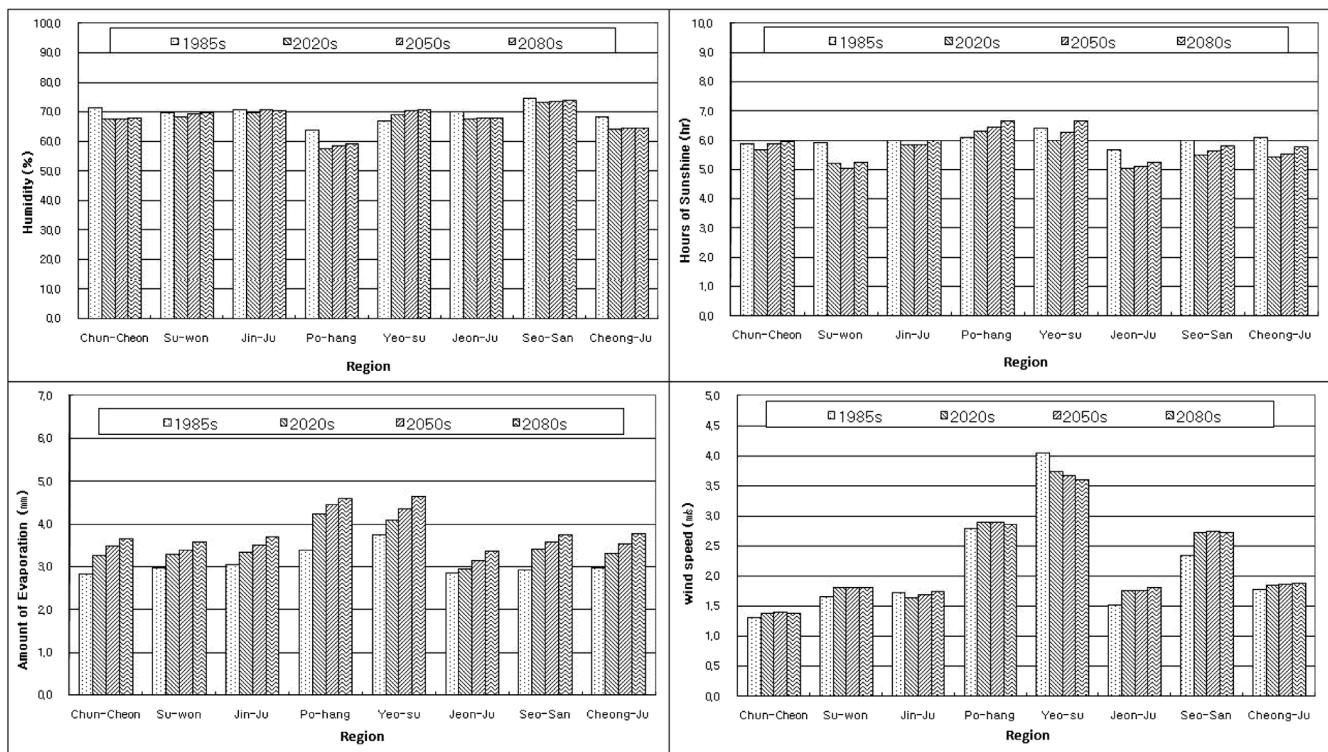


Fig. 3 Comparison of average climate data using LARS-WG in 8 regions during baseline periods (1979~2008) and 2010~2100 year

생성한 자료는 30년 단위로 2020s (2010~2040), 2050s (2041~2070), 2080s (2071~2100)로 평균내어 기준년도인 1985s (1979~2008)와 비교하였다.

생성된 기상자료를 분석한 결과 습도의 경우 포항지역이 2020s에 57.0 %로 가장 낮게 나타났으며, 서산지역이 2080s에 74.3 %로 가장 높게 나타났다. 일조시간은 전주지역이 2020s에 5.1 hr로 가장 낮게 나타났으며, 포항지역이 2080s에 6.6 hr로 가장 높게 나타났다. 증발량은 춘천지역이 2020s에 2.5 mm로 가장 낮게 나타났으며, 포항지역이 2080s에 4.6 mm로 가장 높게 나타났다. 풍속은 춘천지역이 2020s, 2080s에 1.1 m/s로 가장 낮게 나타났으며, 여수지역이 2020s에 4.0 m/s로 가장 높게 나타났다.

나. CF 기상자료 생성

MIROC3.2의 기상자료에 대하여 편이보정을 실시하고 CF방법을 이용하여 생성된 강우량과 기온자료를 MM5와 같은 방식으로 분석하였다.

습도의 경우 포항지역이 2020s에 55.5 %로 가장 낮게 나타났으며, 서산지역이 2080s에 73.9 %로 가장 높게 나타났다. 일조시간은 전주지역이 2020s에 5.1 hr로 가장 낮게 나타났으며, 포항지역이 2080s에서 7.3 hr로 가장 높게 나타났다. 증발

량은 전주지역이 2020s에 3.0 mm로 가장 낮게 나타났으며, 포항지역이 2080s에 4.8 mm로 가장 높게 나타났다. 풍속은 춘천지역이 2020s, 2050s, 2080s에서 1.3 m/s로 가장 낮게 나타났으며, 여수지역이 2020s에 3.8 m/s로 가장 높게 나타났다.

다. LARS-WG 기상자료 생성

MIROC3.2의 기상자료에 대하여 편이보정을 실시하고 LARS-WG방법을 이용하여 생성된 강우량과 기온자료를 MM5와 같은 방식으로 분석하였다.

습도의 경우 포항지역이 2020s에 67.4 %로 가장 낮게 나타났으며, 서산지역이 2080s에 73.9 %로 가장 높게 나타났다. 일조시간은 수원지역이 2050s에 5.0 hr로 가장 낮게 나타났으며, 포항지역이 2080s에서 6.7 hr로 가장 높게 나타났다. 증발량은 전주지역이 2020s에 2.9 mm로 가장 낮게 나타났으며, 포항지역이 2080s에 4.6 mm로 가장 높게 나타났다. 풍속은 춘천지역이 2020s, 2050s, 2080s에서 1.4 m/s로 가장 낮게 나타났으며, 여수지역이 2020s, 2050s에 3.7 m/s로 가장 높게 나타났다.

라. 상세화 기법 선정

우리나라의 기상관측소 76개소에 대한 30년 (1979~2008)

평균 기온을 보면 연 평균기온은 10~17 °C이며, 가장 무더운 달인 8월은 23~28 °C, 5월은 16~19 °C, 10월은 11~19 °C, 가장 추운 달인 1월은 -6~7 °C이다. 연 강우량은 중부지방은 1,100~1,500 mm, 남부지방은 1,000~1,800 mm로 경북지역은 1,100~1,600 mm이며, 경남해안 일부지역은 1,800 mm 정도, 제주도지방은 1,400~1,905 mm이다. 계절적으로는 6월부터 8월 중 연간 강우량의 60 % 이상이 집중적으로 내리고 연속 강우일수도 10일 이상인 때도 있다. 또한 8월 하반기에는 고온다습 즉, 온도가 높으면서 습도도 높은 것이 특징이다. 풍속은 일반적으로 겨울에 북서풍, 여름에는 남서풍이 강하며, 계절에 따른 변화가 뚜렷하다. 9월과 10월은 바람이 비교적 약하나, 해안지방에는 해류풍의 영향이 뚜렷하다. 습도는 7, 8월이 높아 전국 평균 80 % 정도이고, 9, 10월은 70 %내외이다.

본 연구에서 3가지 상세화 방법을 이용하여 생성된 강우량과 기온자료를 이용하여 물수지분석에 필요한 4가지 기상자료를 추가로 생성하였으며, 그 결과 3가지 상세화 방법에서 우리나라 강우 특성과 상이한 결과가 도출되었다.

MM5의 경우 7월과 8월이 기준년도에 비해 낮게 예측되었고 기온은 8개 지역 모두 기준년도에 비해 상반기에는 낮게 예측되었으며 하반기에는 높게 예측되어 관측 자료와의 다른 경향으로 나타났다. 또한 CF방법의 경우 포항지역과 전주지역이 기준년도와 2005년도의 차이가 많이 나는 것으로 나타나 정확성이 낮은 것으로 판단된다.

반면, LARS-WG는 잠재증발산량과 필요수량에 가장 큰 영향을 미치는 기온과 강우량에 대하여 각 지역별 기상 관측값과 상세화 방법에서 생성된 값이 가장 비슷한 경향으로 예측되어 본 연구에서는 LARS-WG를 이용하여 생성된 기상자료를 이용하여 필요수량을 산정하는 것으로 하였다.

7. 물수지분석

저수지나 유역에서 일정 기간의 유입량과 유출량을 가지고 저류량의 시간적 변화를 계산하는 것을 물수지분석이라 한다. 물수지분석은 주로 저수지 등의 계획용량을 결정하기 위하여 실시하며 시설물의 규모를 가정하고 이 시설물에서의 유입량과 유출량 및 시설물의 특성자료 등의 영향인자를 모형화하여 시설물의 거동을 살펴봄으로서 시설물이 적정하게 운영되고 사용되어 질 것인지를 사전에 파악할 수 있으며 예상되는 문제점도 도출해 낼 수 있다. 따라서 본 연구에서는 농촌용수설계에서 필요수량 산정 등 농업용 저수지의 물수지분석에 적합한 수리시설물 모의조작 시스템인 HOMWRS (Hydrological Operation Model Water Resources System)를 이용하여 농업용저수지

필요수량 변화를 예측하였다 (RRI, 2001).

본 연구에서는 물수지변화에 대한 기준년도를 상세화과정에 적용한 2005년을 기준년도로 설정하고 2020s, 2050s, 2080s에 대한 필요수량 변화를 비교하였다. 또한 필요수량 산정에서는 6개 기상자료가 필요하므로 강우와 기온을 제외한 나머지 4개의 기상자료 (습도, 증발량, 일조시간, 풍속)는 과거자료와 유사한 LARS-WG를 이용하여 생성된 기상자료를 적용하여 분석하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 증발산량 산정 결과

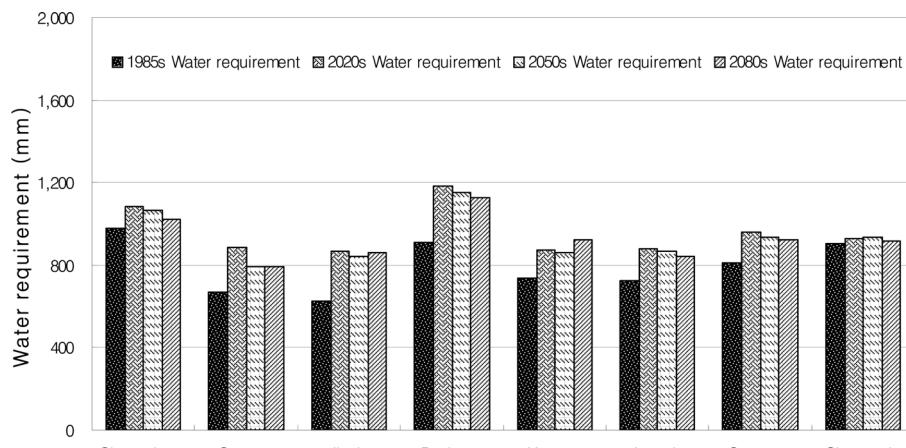
필요수량 산정을 위해 LARS-WG 방법의 기상자료를 이용하여 각 지역별 연평균 잠재증발산량과 실제증발산량을 산정하였으며, 그 결과는 Table 4와 같다.

Chung (2010)은 MM5 지역기후모형을 이용하여 잠재증발산량을 예측한 결과 2020s, 2050s, 2080s 모두 4 %, 8 %, 14 % 증가하는 것으로 예측한바 있으며, 본 연구에서도 그와 비슷한 결과를 나타냈었다. 각 지역별로는 청주지역이 2020s, 2050s, 2080s 모두 1985s의 682 mm보다 2 %, 7 %, 11 % 증가로 가장 높은 값을 보였으며, 가장 높은 지역은 포항지역으로 33 %, 38 %, 42 %가 증가하는 것으로 나타났다.

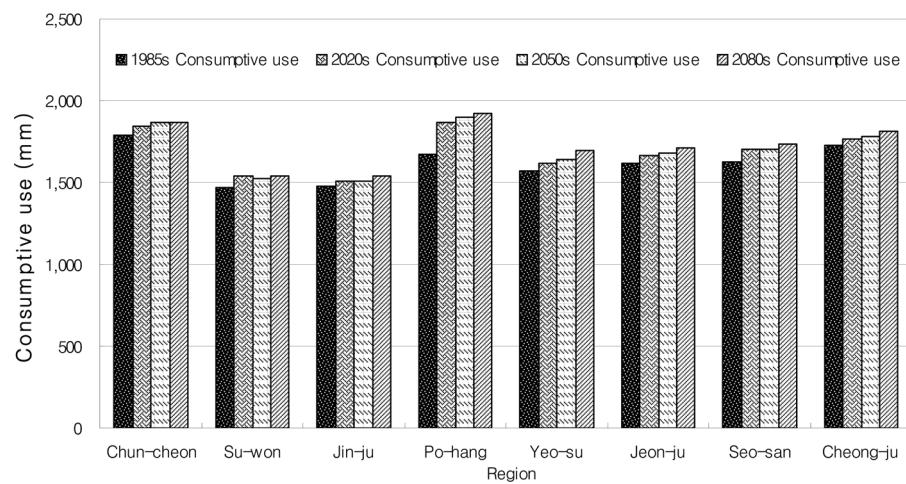
각 지역별 실제증발산량은 2020s에서 청주지역이 1985s의 738 mm보다 4 % 증가한 768 mm로 가장 크게 증가하는 것으로 나타났으며, 가장 많이 증가하는 지역은 포항지역이 1985s의 746 mm보다 22 % 증가한 951 mm로 나타났다. 2050s는 전주지역이 1985s의 664 mm보다 5 % 증가한 696 mm로 가장 크게 증가하는 것으로 나타났으며, 가장 많이 증가하는 지역은 포항지역이 1985s의 746 mm보다 24 % 증가한 979 mm

Table 4 Regional analysis of potential evapotranspiration and actual evapotranspiration

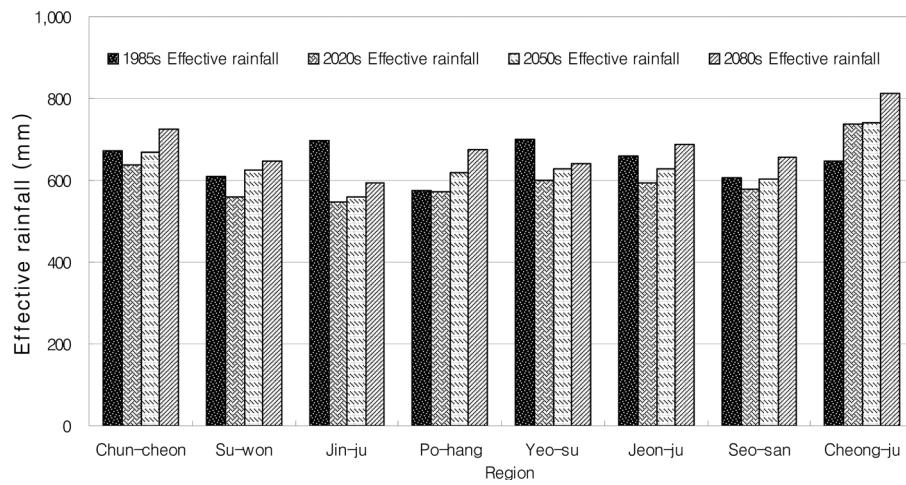
Region	Potential evapotranspiration (mm)				Actual evapotranspiration (mm)			
	1985s	2020s	2050s	2080s	1985s	2020s	2050s	2080s
Chun-cheon	610.8	650.1	672.5	674.8	658.7	712.8	737.9	741.0
Su-won	629.0	661.1	652.7	670.5	683.7	746.3	728.4	745.1
Jin-ju	617.4	638.6	640.7	667.3	664.2	697.8	695.8	728.8
Po-hang	699.6	879.4	903.6	923.1	745.7	950.8	978.6	1,004.0
Yeo-su	717.9	777.8	799.5	839.2	779.5	836.2	861.3	916.3
Jeon-ju	637.7	671.3	688.1	707.7	684.7	732.3	749.6	778.2
Seo-san	635.6	678.8	688.7	706.6	689.7	754.6	761.3	785.6
Cheong-ju	682.2	694.7	711.5	736.4	737.9	767.9	786.6	819.2



(a) Water requirement



(b) Consumptive use



(c) Effective rainfall

Fig. 4 Crop water requirement using LARS-WG

로 나타났다. 2080s은 수원지역이 1985s의 684 mm보다 8 % 증가한 745 mm로 가장 크게 증가하는 것으로 나타났으며, 가장 많이 증가하는 지역은 포항지역이 1985s의 746 mm보다 26 % 증가한 1,004 mm로 나타났다.

각 지역별 잠재증발산량의 변화는 여러 요인이 있을 수 있으나 작게 나타난 청주지역의 경우 기온과 증발량, 풍속이 다른 지역에 비해 낮은 것이 가장 큰 원인 것으로 판단되며, 가장 높게 나타난 포항지역의 경우 기온과 증발량이 가장 높게 나타난 것이 가장 큰 원인인 것으로 판단된다.

2. 필요수량 산정 결과

8개 지역에 대한 2020s, 2050s, 2080s의 필요수량은 모두 증가하는 것으로 나타났으며, 그 이유는 잠재증발산량 증가에 따른 필요수량도 증가하는 것으로 판단된다.

가장 크게 증가한 지역은 청주지역이 2020s에서 1 % 증가하는 것으로 나타났으며, 가장 많이 증가한 지역은 진주 지역으로 2080s에서 27 % 증가하는 것으로 나타났다. 잠재증발산량이 작은 지역은 필요수량이 가장 크게 증가한 지역과 동일한 청주 지역으로 나타났으나 잠재증발산량이 가장 많이 증가한 지역은 포항지역 이였으나 필요수량에서는 진주지역으로 나타났다. 그 이유는 포항지역이 유효우량이 2020s, 2080s, 2050s,에서 각각 -1 %, 7 %, 15 %로 증가함에 따라 필요수량이 감소하였고, 진주지역의 경우 유효우량이 5 %, -11 %, 4 %로 감소하여 필요수량이 증가하는 것으로 판단된다.

IV. 결 론

본 연구에서 기후변화에 따른 농업용수 필요수량 변화를 예측하기 위해 GCM 중ECHO-G와 MIROC3.2를 선정하였으며, ECHO-G의 경우 우리나라 기상연구소에서 상세화한 MM5 자료를 이용하여 분석하였다. 필요수량 분석에 대한 불확실성을 최소화하기 위해 MM5와 MIROC3.2에 대한 편이보정을 실시하였다. MIROC3.2의 경우 편이보정 된 자료를 CF방법과 LARS-WG방법을 이용하여 상세화 하여 미래 기상자료를 재추출하였다. 그 중 필요수량에 많은 영향을 미치는 기온과, 강우량이 각 지역별 기상 관측값과 상세화 방법에서 생성된 값이 가장 비슷한 경향으로 예측된 LARS-WG를 이용하여 필요수량을 산정하였다.

생성된 기상자료를 이용하여 물수지분석을 시행한 결과 전체적으로 잠재증발산량 및 필요수량이 증가하는 것으로 나타났다. 이는 기온증가로 인한 소비수량이 증가하고 강우량 또한 증가하는 것으로 예측되었으나 강우량이 기준년도에 비하여 6월~8월이 상당히 낮은 것이 가장 큰 영향을 주는 것으로 분석되었다.

본 연구에서 분석된 결과는 어느 모형 및 상세화 방법이 적합하다고 단정하긴 어렵다. MM5와 MIROC3.2에 대하여 과거 기상자료를 이용하여 편이보정, MIROC3.2의 경우 통계적 방법인 CF와 LARS-WG방법을 이용한 상세화 기법 등에 불확실성이 내포되어 있다. 따라서 기후변화에 따른 농업수자원 영향평가를 위해서는 상세화 및 기상자료 생성에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

본 연구는 2010년도 농림수산식품부 농촌개발시험연구사업비 및 한국연구재단의 지원으로 수행된 기초연구사업 (No. 2010-0007884)의 결과임.

REFERENCES

1. Alcamo, J., Do" ll, P., F. Kaspar and S. Siebert, 1997. Global change and global scenarios of water use and availability: an application of WaterGAP 1.0. Report. A9701, Center for Environmental Systems Research, University of Kassel, Germany.
2. Bae, D. h., I. W. Jung, and W. T. Kwon, 2007. Generation of high resolution scenarios for climate change impacts on water resources (I): Climate scenarios on each sub-basins. *Journal of Korea Water Resources Association* 40(3): 191-201 (in Korean).
3. 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): 35-44 (in Korean).
4. Chung, S. O., 2010. Simulating evapotranspiration and yield responses of rice to climate change using FAO-AquaCrop. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 52(3): 57-64 (in Korean).
5. Diaz-Nieto J, Wilby R. L., 2005. A comparison of statistical downscaling and climate change factor methods: impacts on low flows in the river Thames. United Kingdom. *Climatic Change*, 69: 245-268.
6. 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).
7. IPCC, 2001. Climate change 2001: The scientific basis.

- Contribution of working group I to the third assessment report of the intergovernmental Panel on climate change. Cambridge University Press, Cambridge, U.K.
8. IPCC, 2007. Climate change 2007: The physical science basis. Contribution of working group I to the forth assessment report of the intergovernmental Panel on climate change. Cambridge University Press, Cambridge, U.K and New York, NY, USA.
9. Jung, I. W., D. H. Bae, and E. S. Im, 2007. Generation of high resolution scenarios for climate change impacts on water resources (II): Runoff scenarios on each sub-basins. *Journal of Korea Water Resources Association* 40(3): 205-214 (in Korean).
10. Korea Agriculture and Rural Infrastructure Corporation, 2001. Hydrological Operation Model Water Resources System(manual) Ver.2.10. Uiwang, Gyeonggi: Korea Agriculture and Rural Institute Corporation.
11. Yun, D. K., 2010. Climate change impacts on paddy water requirement. Ph. D. dissertation, Kyungpook National University (in Korean).