

기후변화 시나리오를 이용한 격자 기반 잠재증발산량 산정 및 제공



문 장 원 |
한국건설기술연구원 수자원연구실
수석연구원
jwmoon@kict.re.kr



정 충 길 |
한국건설기술연구원 수자원연구실
석사후연구원
wjd0823@kict.re.kr



이 동 루 |
한국건설기술연구원 수자원연구실
연구위원
dryl@kict.re.kr

구의 기후에 영향을 미치는 자연적인 요인으로는 대기, 해양 등 지구 내적 환경 변화와 태양과 지구의 상대 위치 등 외적 환경의 변화를 고려할 수 있으며, 인위적인 요인으로는 인간 활동에 따라 대기 중 이산화탄소의 증가, 도시화 및 산업화 등의 요소를 고려할 수 있다. 선진국의 경우에는 홍수 및 가뭄 등 물 관리에 있어 기후변화에 대한 취약성을 평가하고 이에 효과적으로 대응하기 위한 정책을 개발하여 추진하고 있으며, 이러한 노력은 우리나라에서도 최근 활발하게 이루어지고 있다(문장원 등, 2013a).

기후변화 시나리오에 따라 차이는 있으나 기후변화에 의해 미래 우리나라의 기온은 지속적으로 증가할 것으로 전망되고 있다. 기온의 증가와 같은 기후변화로 인해 가장 많은 영향을 받는 수문기상학적 인자는 증발산량이라 할 수 있으며, 기후변화로 인해 미래 증발산량 또한 증가할 것으로 예상되고 있다. 효율적인 물 관리를 위한 수자원계획이나 관개계획을 수립하고 유역의 수문기상학적 특성을 분석하여 수문순환 특성을 파악하는 과정에서 중요한 인자 중 하나는 증발산량에 대한 정량적 평가라 할 수 있다(문장원 등, 2013b). 증발산량은 지하수와 지표수에 대한 물수지 분석에 있어 매우 중요한 인자이며, 국지적 혹은 대륙적 규모의 기후변화나 환경변화를 예측하기 위해서도 정확한 측정과 정량적 분석이 필

1. 머리말

전 세계적으로 이슈화되고 있는 기후변화는 우리나라에서도 점차 현실화되어 나타나고 있는 것으로 평가되고 있으며, 기후변화로 인해 미래 물 관리 여건의 불확실성이 증가하고 홍수나 가뭄 등 물 관련 재해로 인한 피해 가능성 또한 증가할 것으로 전망되고 있다(국토해양부, 2010). 기후변화는 지구의 기후가 자연적 또는 인위적인 요인에 의해 점차 변화하는 현상을 의미한다. 지

수적이다(채효석 등, 1999). 특히 증발산량의 증가는 이용 가능한 수자원의 감소를 초래할 수 있으며, 미래 가뭄으로 인한 피해 가능성의 증가를 의미하는 것이라 할 수 있다. 따라서 기후변화에 효과적으로 대응할 수 있는 물 관리 계획을 수립하거나 효율적인 기후변화 적응 대책을 수립하기 위해서는 강수 및 유출에 대한 기후변화 영향 분석과 함께 증발산량에 대한 정량적인 변동 분석도 중요한 의미를 갖는다. 일반적으로 기후변화에 따른 미래 증발산량 변동 분석은 기온 등 기후변화 시나리오에 따라 도출된 기상요소를 이용하여 Penman-Monteith 방법이나 Hargreaves 공식 등 잠재증발산량 산정 공식에 적용하는 방법을 이용하고 있다. 기후변화의 불확실성으로 인해 정확한 값을 제시하기는 어렵기 때문에 현재 대비 어떠한 변동 양상을 보이는가에 대한 정보를 제시하게 되며, 이론적인 공식에 의해 산정된 잠재증발산량을 이용하여 미래의 변화를 분석하게 된다.

한편, 기후변화로 인한 영향에 효과적으로 대응하기 위하여 기상청에서는 국가 기후변화 시나리오를 생산하여 기후변화정보센터 홈페이지(www.climate.go.kr)를 통해 제공하고 있으며, 생산되는 시나리오를 지속적으로 업로드하여 일반 국민, 수자원 전문가 등을 대상으로 제공하고 있다. 이와 관련하여 기상청에서는 관련 연구개발사업을 수행하고 그 성과를 바탕으로 제공 정보의 다양성을 확보하기 위한 많은 노력을 기울이고 있다.

본 연구에서는 현재 기상청에서 생산된 12.5km 해상도의 RCP(Representative Concentration Pathway) 한반도 시나리오 6종(200년 제어적분 RCP 4.5 및 8.5 시나리오, 400년 제어적분 RCP 2.6/4.5/6.0/8.5 시나리오)을 이용하여 격자 단위로 미래 잠재증발산량을 산정하는 방법을 구축하였으며, 구축된 방법을 이용하여 격자 단위 잠재증발산량을 산정하였다. 산정된 잠재증발

산량은 격자 단위 자료와 함께 수자원단위지도의 중권역 단위 자료도 포함되어 있으며, 기후변화 정보센터 홈페이지(www.climate.go.kr)를 통해 2014년부터 제공될 계획이다.

2. RCP 시나리오

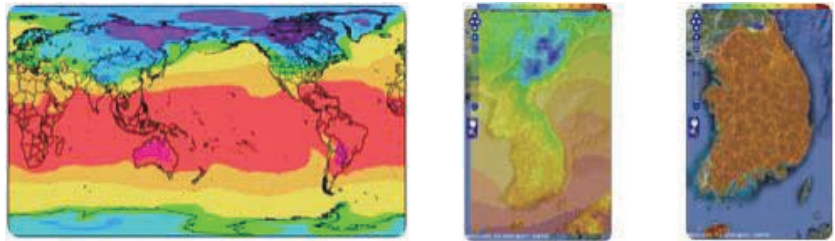
IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change) 5차 평가보고서에서는 인간 활동이 대기에 미치는 복사량으로 온실가스 농도를 정하였으며, 최근의 온실가스 농도 변화 경향을 반영하고 최근 예측모델에 맞게 해상도 등을 업데이트한 RCP 시나리오를 제시하고 있다. RCP 시나리오에서는 4가지 대표 온실가스 농도(2.6, 4.5, 6.0, 8.5)를 이용하였으며, 온실가스 농도 산출과정에서 사회경제적 가정을 미래사회 구조 기반에서 기후변화 대응정책 수행여부로 변경하였다(기후변화정보센터 홈페이지, www.climate.go.kr). 4차 평가보고서에서 제시된 SRES(Special Report on Emission Scenario) 시나리오와 RCP 시나리오에 대한 세부적인 내용은 표 1과 같다.

현재 기상청에서는 SRES 시나리오는 생산하고 있지 않으며, 기존에 생산된 시나리오 정보를 홈페이지를 통해 제공하고 있다. 이와 함께 2010년부터 생산하고 있는 RCP 시나리오는 현재에도 지속적으로 개발 중에 있으며, 1km 해상도의 고해상도 시나리오도 함께 생산하여 제공하고 있는 상황이다. 현재 기상청에서 생산하고 있는 RCP 시나리오에 대한 보다 상세한 정보는 표 2와 같이 정리할 수 있으며, 각 시나리오별 시공간 해상도에 따라 전지구, 한반도, 남한상세로 구분하여 제공하고 있다. 표 2와 같이 제공되고 있는 시나리오 중 본 연구에서는 12.5km 공간해상도의 한반도 전망자료 6종을 이용하여 격자 단위로 잠재증발산량을 산정하였다.

표 1. SRES 시나리오와 RCP 시나리오의 특징 비교

구분	SRES	RCP
Full name	Special Report on Emission Scenario	Representative Concentration Pathway
개발 시기	1990년대 후반	2010년
개발 개념	<ul style="list-style-type: none"> 미래 기후변화 시나리오 산출을 위해 온실가스 배출 증가 시나리오를 이용 각 시나리오 간 순차적인 방법으로 시나리오 작성 	<ul style="list-style-type: none"> 인간 활동이 대기에 미치는 복사량으로 온실가스 농도 사용 하나의 대표적인 복사 강제력에 대해 사회-경제 시나리오를 병행 적용함으로써 다양한 종류의 시나리오 작성
종류	<ul style="list-style-type: none"> B1 : (지속발전형 사회) 지역간 격차가 적고, 인구감소, 청정자원 절약기술 도입 A1B : (고성장사회) 화석 에너지와 비화석 에너지원 균형, 신기술, 고효율화 기술 도입 A2 : (다원화 사회) 인구증가, 경제성장은 낮고, 환경에의 관심도 상대적으로 낮음 	<ul style="list-style-type: none"> 2.6 : 인간 활동에 의한 영향을 지구 스스로가 회복 가능한 경우 4.5 : 온실가스 저감정책이 상당히 실현되는 경우 6.0 : 온실가스 저감 정책이 어느정도 실현되는 경우 8.5 : 현재 추세로 온실가스가 배출되는 경우

표 2. RCP 시나리오 상세 내용 및 제공 현황

구분	전지구 전망자료	한반도 전망자료	남한상세 전망자료	
온실가스 시나리오	200년 제어 적분	RCP 2.6, 4.5, 6.0, 8.5	RCP 4.5, 8.5	RCP 4.5, 8.5
	400년 제어 적분	RCP 2.6, 4.5, 6.0, 8.5	RCP 2.6, 4.5, 6.0, 8.5	RCP 2.6, 4.5, 6.0, 8.5
범위	공간	경도: 0~360 위도: -90~90	경도: 111.0~144.625 위도: 26.5~48.875	남한 지역
	시간	1860~2100년	1950~2100년(200년 제어적분) 1979~2100년(400년 제어적분)	2000~2100년
해상도	공간	약 135km	약 12.5km	1km
	시간	월	일, 월	일, 월
정보 종류	기온(최고, 최저, 평균), 강수, 상대습도, 바람 등	기온(최고, 최저, 평균), 강수, 상대습도, 바람 등	기온(최고, 최저, 평균), 강수	
제공 파일 종류	아스키(ASCII), 바이너리(Binary), ESRI ASCII GRID(ArcGIS 등의 프로그램에서 사용 가능한 파일 포맷) CTL(Data 환경 설정 파일로 파일의 시간적, 공간적, 변수 별 정보를 포함)			
제공 형태 (예)				

3. 기후변화 시나리오를 이용한 격자 단위 잠재증발산량 산정

12.5km 공간해상도를 갖는 RCP 한반도 시나리오를 이용하여 잠재증발산량을 산정하기 위해

Penman-Monteith 방법을 이용하였다. 이론적인 방법에 의해 잠재증발산량을 산정할 수 있는 방법은 현재까지 약 50여 가지 이상의 방법이 제시되었으며(Grismer et al., 2002), 이러한 방법 중 FAO-56 Penman-Monteith 방법(이

하 PM 방법)이 가장 널리 이용되고 있다. PM 방법을 적용하기 위해서는 기온, 풍속, 상대습도(또는 이슬점온도), 일사량 등의 기상자료가 필요하며, 이러한 정보는 RCP 시나리오를 통해 확보할 수 있는 정보들이다. 본 연구에서는 6종의 RCP 한반도 시나리오로부터 PM 방법 적용에 필요한 미래 기상자료를 수집하였으며, 그림 1과 같이 격자별로 자료를 구성하고 PM 방법을 적용하여 격자 단위 잠재증발산량을 산정하였다. 그림 2는 본 연구에서 적용한 절차를 나타낸 것으로 ASCII 포맷으로 기후변화 시나리오의 기상요소별 자료를 수집한 후 레스터 변환과 PM 방법의 적용 등을 수행한 일련의 과정을 나타내고 있다.

그림 1의 격자별 정보와 그림 2의 절차를 이용하여 PM 방법에 의한 격자 단위 잠재증발산량을 산정하였으며, 그림 3은 과거자료(1993년 8월 1일) 및 미래자료(2100년 8월 1일) 산정 결과의 사례를 나타낸 것이다.

기존 기후변화 시나리오를 이용한 분석의 경우에는 지점별로 추출된 정보를 이용하여 분석을 수행하는 경우가 많았으나 본 연구에서는 기후변화 시나리오의 격자 자료를 이용하여 격자별로 직접 잠재증발산량을 산정하는 방법을 채택하였다. 이러한 과정을 통해 RCP 한반도 전망자료를 기반으로 격자 자료 형태의 잠재증발산량 산정이 가능하며, 격자별 정보를 이용하여 중권역 등 유역 평균으로의 산정도 가능하다. 현재 한국건설

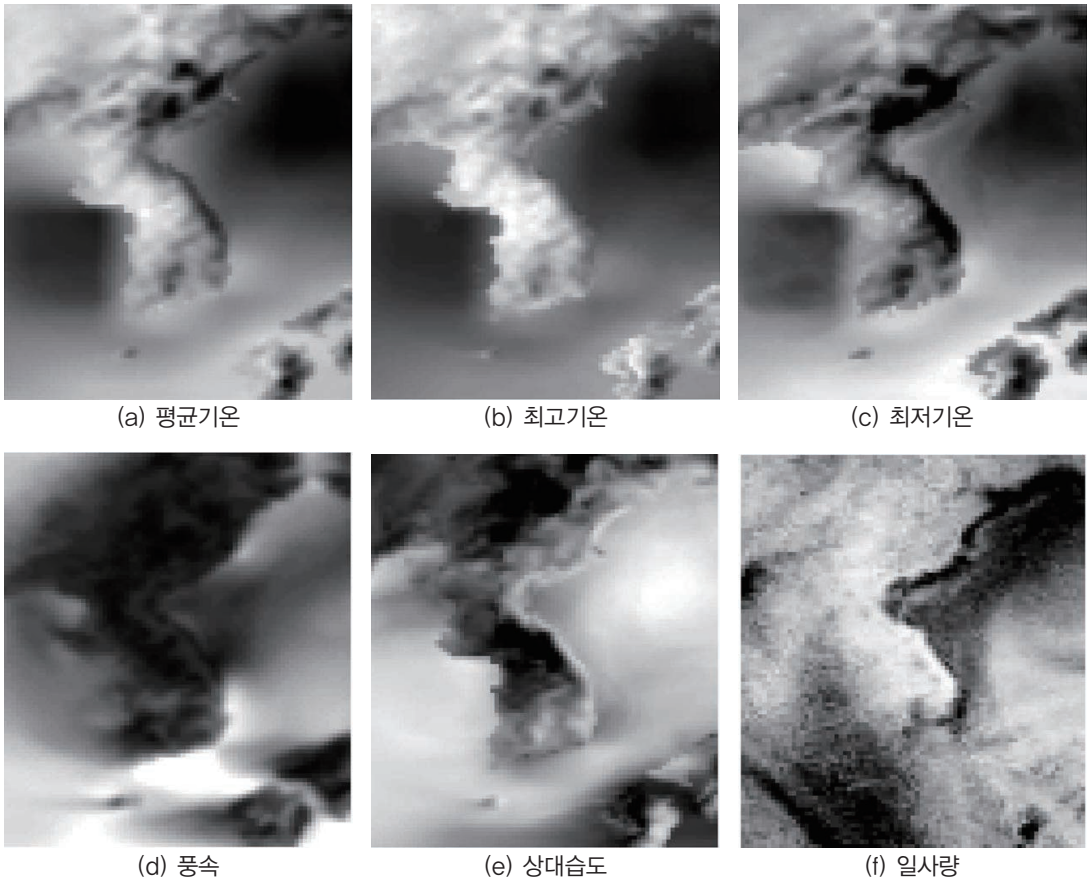


그림 1. PM 방법 적용을 위한 격자 단위 기초자료 구축

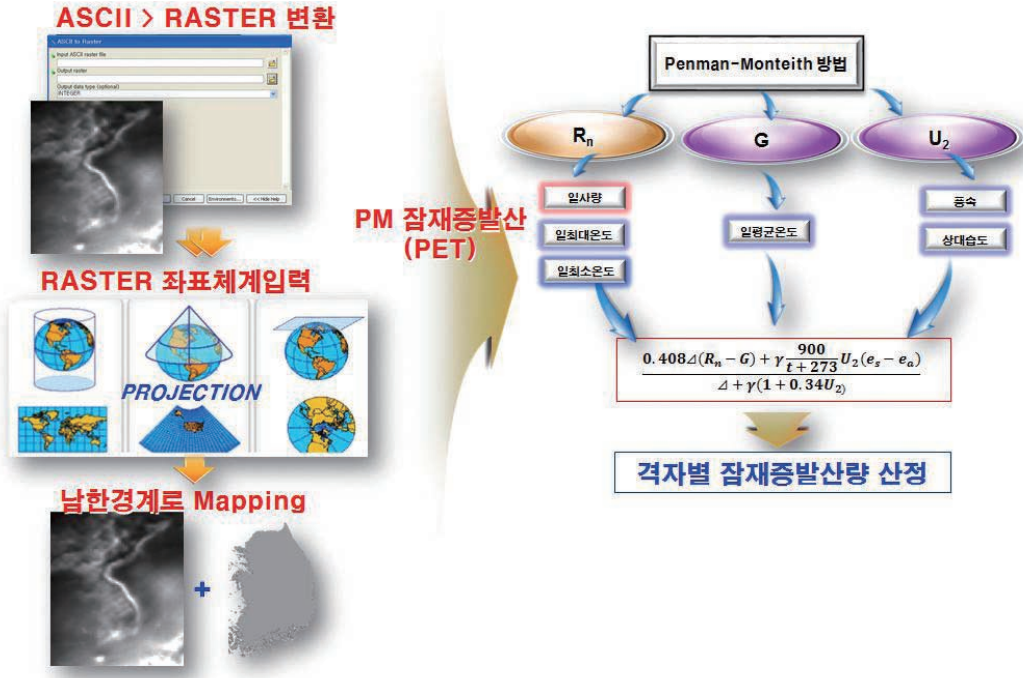


그림 2. RCP 한반도 시나리오를 이용한 격자 단위 잠재증발산량 산정 절차

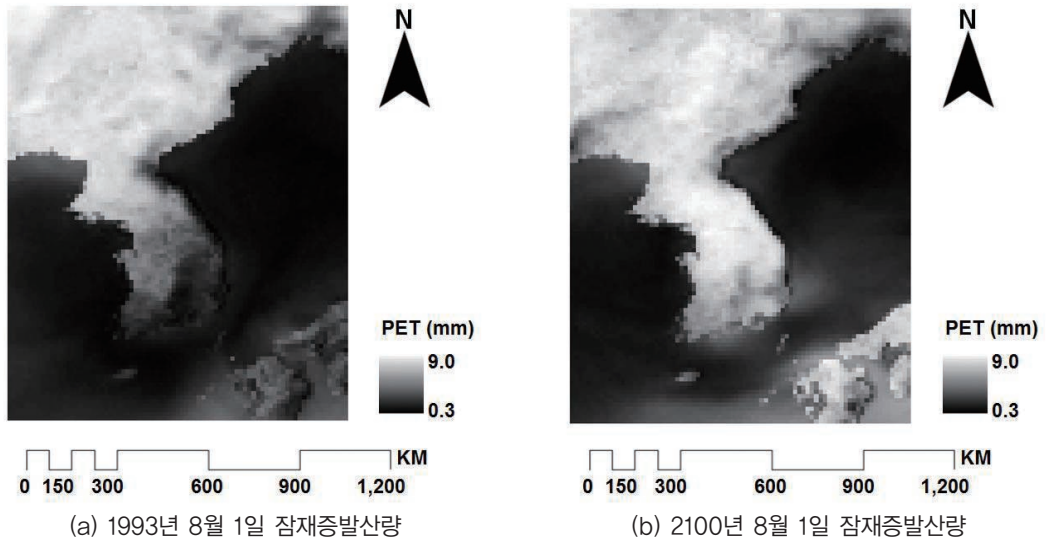


그림 3. RCP 한반도 시나리오를 이용한 격자 단위 잠재증발산량 산정

기술연구원에서는 6종의 RCP 한반도 시나리오를 이용하여 격자 단위 잠재증발산량을 산정하였으며, 이에 대한 세부 분석을 진행 중에 있다. 세부 분석이 완료될 경우 현재 대비 미래 우리나라

의 잠재증발산량 변동 양상을 정량적으로 제시할 수 있을 것으로 판단되며, 수자원 분야 기후변화 대응에 있어 유용한 정보로 활용이 가능할 것으로 기대된다.

4. RCP 시나리오 기반 미래 잠재증발산량 정보의 제공

기후변화 시나리오를 바탕으로 물 관리 관련 분야에 대한 영향을 평가하기 위해서는 일관된 기준을 고려하여 수문기상학적 분석을 수행하여야 한다. 지금까지 우리나라에서는 국가 표준 기후변화 시나리오가 명확하게 제시되지 못한 관계로 여러 가지 기후변화 시나리오를 이용하여 수문분석을 수행한 후 물 관리 관련 영향 평가가 이루어져 왔다. 그러나 연구자에 따라 어떠한 시나리오를 이용하는가에 따라 동일한 기후변화 영향 분석이라 하더라도 상반된 연구결과가 제시되는 등 한계가 존재하였던 것이 사실이다. 이러한 한계를 극복하기 위해서는 기상청에서 생산하여 제공하고 있는 기후변화 시나리오를 바탕으로 수자원 분야에 활용할 수 있는 응용정보를 생산하여 제공할 필요가 있다.

본 연구에서 생산한 RCP 한반도 시나리오 기반 격자 단위 잠재증발산량 정보 또한 이러한 목적에서 생산된 응용정보라 할 수 있으며, 격자 단위 잠재증발산량과 함께 수자원단위지도의 중권역별 강수량, 자연유량, 유형분석 결과 등에 대해서도 생산 작업을 진행 중에 있다. 표 3은 본 연구를 통해 2014년부터 제공하게 될 수자원 분야 응용정보 항목을 정리하여 나타낸 것이며, 2014년 상반기 기상청과의 협력을 통해 정상적인 자료 제공이 가능하도록 작업을 진행하고 있다. 제공 자료의 시간 범위는 2011~2100년에

해당하며, 공간적인 범위는 RCP 한반도 전망자료의 공간 범위와 동일하고 격자 및 중권역 단위의 정보가 생산되어 제공될 것이다.

5. 맺음말

기후변화는 더 이상 미래에 대비해야 할 현상이 아니라 실제 우리 삶에 영향을 미치고 있는 현실로 인식되어야 하는 상황에 직면하고 있다. 기후변화로 인한 영향은 기상 및 물 관련 재해뿐만 아니라 우리의 생활환경에도 많은 영향을 미치게 될 것이며, 이로 인해 주거, 음식, 의류 등 많은 부분에 변화를 초래할 수 있는 인자로 작용하게 될 것으로 예상된다. 특히 기후변화는 미래 우리나라의 물 관리 여건을 더욱 어렵게 만드는 요소로 작용할 수 있으며, 기후변화에 따른 미래 우리나라의 물 관리 여건을 정확하게 판단하고 이에 효과적으로 대응하기 위한 정책의 마련은 국가 물 안보 확보 차원에서 매우 중요한 요소일 것이다. 이러한 필요성에 따라 정부에서는 2010년에 시행된 저탄소 녹색성장기본법에 따라 최초의 법정 국가 적응대책인 “국가 기후변화 적응대책(2011~2015)”을 마련한 바 있으며, 이를 통해 건강, 재난/재해, 물 관리 등 10개 부문별로 기후변화에 따른 미래 상황에 효과적으로 대응하고자 노력하고 있다.

이와 같이 기후변화에 효과적으로 대응하기 위해서는 기후변화 시나리오에 대한 이해와 활용


표 3. 수자원 분야 기후변화 응용정보 생산 및 제공 항목

정보 항목	온실가스 시나리오	시간 단위	공간 단위
유역 평균 강수량	• RCP 4.5/8.5 (200년 제어적분) • RCP 2.6/4.5/6.0/8.5 (400년 제어적분)	• 일/월/년 • 일/월/년	• 중권역 • 중권역
잠재 증발산량	• RCP 4.5/8.5 (200년 제어적분) • RCP 2.6/4.5/6.0/8.5 (400년 제어적분)	• 일/월/년 • 일/월/년	• 격자/중권역 • 격자/중권역
유출 관련 응용정보	• RCP 4.5/8.5 (200년 제어적분) • RCP 2.6/4.5/6.0/8.5 (400년 제어적분)	• 일/월/년 • 일/월/년	• 중권역 • 중권역

이 필수적이다. 국가 표준 기후변화 시나리오를 바탕으로 미래 수문기상학적 환경 변화를 정량적으로 예측하고 그 결과를 기반으로 효과적인 대응을 추진할 필요가 있다. 기후변화 시나리오 및 다양한 응용정보를 쉽게 확보하고 활용할 수 있도록 관련 시스템 구축/개선 및 대국민 홍보를 지속적으로 강화해나가야 할 것이다. 본 연구에서 생산한 격자 단위 미래 잠재증발산량 정보는 잠재증발산량 산정 방법으로 가장 널리 이용되고 있는 Penman-Monteith 방법을 이용하였으며, RCP 한반도 전망자료(12.5km 공간해상도)를 기반으로 하고 있다. 따라서 향후 잠재증발산량 관련 연구를 수행하거나 미래 변동을 검토하고자 할 경우 유용하게 활용이 가능할 것이며, 이수기물 관리와 관련된 물수지 분석 등에 있어 기초자

료로 이용될 수 있을 것이다. 이와 함께 기상청 기후변화정보센터 홈페이지를 통해 기상청에서 생산된 기후변화 시나리오뿐만 아니라 여러 가지 분야별 응용정보를 함께 제공하게 되면 기후변화에 효과적으로 대응하기 위한 정책의 수립 등에 활용이 가능할 것이며, 기상 및 기후 관련 전문 기관으로서의 대국민 이미지 제고에 큰 역할을 할 수 있을 것이다.

감사의 글

본 내용은 기상청 기후변화 감시·예측 및 국가정책지원강화사업(CATER 2012-3090)의 지원으로 수행되었습니다. 

참고문헌

1. 국토해양부 (2010), 기후변화 대응 미래 수자원 전략.
2. 문장원, 나성준, 이동률 (2013a), 기후변화 시나리오 제공 웹 서비스 개선 및 수자원 분야 응용정보 생산, 물과 미래, 한국수자원학회, Vol. 46, No. 1, pp. 84-90.
3. 문장원, 정충길, 이동률 (2013b), 우리나라 기후특성을 고려한 Hargreaves 공식의 매개변수 지역화, 한국수자원학회 논문집, 한국수자원학회, Vol. 46, No. 9, pp. 933-946.
4. 채효석, 김성준, 정관수 (1999), 격자기반의 일 증발산량 추정모형 개발, 한국수자원학회 논문집, 한국수자원학회, Vol. 32, No. 6, pp. 721-730.
5. Grismer, M.E., Orang, M., Snyder, R., and Matyac, R. (2002), Pan Evaporation to Reference Evapotranspiration Conversion Methods, Journal of Irrigation and Drainage Engineering, ASCE, Vol. 128, No. 3, pp. 180-184.
6. 기후변화정보센터 홈페이지, <http://www.climate.go.kr>