

8가지 GCM에 따른 기후변화에 대한 잠재적인 미래 식생 반응의 수문학적 영향

Hydrological Impact of the Potential Future Vegetation Response to Climate Change Projected by 8 GCMs

I. 서론

대기의 구성, 기후와 식생의 상호작용은 다방면에 걸쳐 인지된다. 일반적으로 대기 CO₂ 증가의 복사 영향이 수문학적 결과를 수반한 지표 온도 증가를 야기한다고 받아들여지고 있다 (IPCC, 2007). CO₂ 증가에 따른 식생의 생리학적 반응(대기 CO₂ 증가에 따른 증산 감소로 식물의 용수효율 증가)는 수문학적 조건과 온도에 더욱 영향을 끼칠 수 있다. 식생의 구조적 변화는 LAI, 기공 저항, 뿌리 길이, 표면 조도와 반사율(Foley et al., 2000) 같은 지표 특성과 에너지와 수분 플럭스에 대한 수문 순환과 기후의 피드백(Arora and Boer, 2003)과 지표 탄소 저장능의 영향을 함축하고 있다. 대기생물권의 상호작용에 대한 과거 연구는 수문 순환을 포함한 식생과 기후 사이의 기계적 연관성에 관한 연구가 많았다(Xue and Shukla, 1993; Betts et al., 2007, 2004; Levis et al., 1999; Xue et al., 2001; Snyder et al., 2004). 그러나 대부분 기후 예측은 IPCC AR4를 기초하고 있어 기후변화에 따른 식생의 변화는 포함하고 있지 않다. 그러므로 대기 CO₂에 따른 기후와 식생이 미래 기후 양상과 생물권의 조건이 어떠한 상호

작용을 할지 충분히 알려지지 않았다.

IPCC에서 제공하는 8가지 GCM으로 예측된 미래 기후의 온실가스 생성 변화가 잠재적인 식생의 지구적 분포 모의를 충분히 바꾸는 것으로 보여 왔다. 본 논문은 '기후변화에 따른 구조적 식생 반응이 기후변화의 수문학적 영향을 변화시키는가?' 라는 의문에 대한 답변을 찾고 있다. 동적인 식생이 포함되지 않은 IPCC의 모델을 사용한 기후 예측의 잠재적인 영향 때문에 이러한 물음은 중요하다. 본 연구에서는 CO₂ 반응에 대한 정확한 매개변수를 정하여서 모형의 신뢰성이 확립된 모델링에 기초하여 CO₂의 생리학적 영향을 포함하고 미래 기후 변화시 지표 수문에 대한 식생의 역할을 증명할 것이며, 식생의 피드백 영향이 완전히 결합된 모의의 이해에 기초를 제공할 것이다.

본 연구는 8가지 GCM으로 예측된 기후변화와 각 GCM의 기후 예측에 맞게 모의된 잠재적인 자연 식생 함수가 포함된 지표 모델을 구동하고 이에 따른 수문학적 영향을 평가한다. 모의된 미래의 자연 식생 변화가 지표 온도, 증발산량, 토양수분, 유출량 같은 지표 수문 조건에 어떻게 영향을 미칠 것인가에 초점을 두었다. 상대적인 비교를 위해 대기 CO₂ 농도 증가와

CO₂와 기후 변화의 복합적인 영향에 따른 수문학적 변화와 지표 식생의 구조적 변화에 따른 기여도로 분리하였다.

영향에 따른 식생 차단 감소를 나타내는 개선된 식생 수문 조건을 포함하고 있다.

II. 방법

1. 지표 모형

본 연구에서는 NCAR(National Center for Atmospheric Research)의 CLM3.0(Community Land Model 3.0[Oleson et al., 2004])를 이용하여 기후에 따른 식생의 구조적 변화에 따른 지표 수문 영향을 평가하였다. Oleson et al. (2004)의 설명에 따르면 모형은 지표와 플럭스 모의 상태의 대기과 지표 사이에 CO₂, 모멘트, 물, 에너지의 교환을 나타낸다. CLM3.0은 1개의 식생층, 10개의 토양층, 융설 깊이에 따른 5개 설층을 가진다. 식생은 외형적 특성, 잎의 모양과 수명에 따라 PFTs(Plant Functional Types) 차이로 설명된다. CLM3.0에서 16개의 PFTs으로 식생이 고려될 때 10개의 PFTs만이 CLM-DGVM에서 모의된다. 본 연구에서 식생을 온대성 침엽수, 북방 상록 침엽수, 열대성 상록활엽수, 온대성 상록활엽수, 열대성 낙엽활엽수, 온대성 낙엽활엽수, 북방 낙엽활엽수, C3 극지방초본, C3, C4로 나뉜다. 모형은 대기인자와 지표 경계 조건으로 구동된다.

Community Atmosphere Model과 결합했을 때 CLM3.0의 구동으로 Dickinson et al.(2006)은 식생 차단, 토양 수분 저장능, 유출, 증산을 아마존에서 정량화할 때 이러한 요소들의 건조한 경향을 개선할 것으로 연구하였다. 본 연구에서 CLM3.0 버전은 각 격자별 강우의

2. 대기 조건과 지표 자료

본 연구의 대기조건 자료는 Alo and Wang(2008)이 사용한 것과 동일하다. 이 자료는 IPCC AR4의 8가지 GCM으로 SRESA1B와 Preindustrial Control Simulations(PICNTRL)의 기후학적 월 자료를 기초로 하였다. PICNTRL은 대기 CO₂ 농도가 275ppm에 고정되고 SRESA1B 시나리오일 때는 2000년부터 2100년까지의 CO₂ 농도는 2100년 720ppm까지 된다(Nakicenovic and Swart, 2000). 월별 자료는 시간 해상도를 높이기 위해 기후 생성기를 이용하여 일별 자료를 구축하고 시별 값은 선형 내삽하였다(Foley et al., 1996). 본 연구에서 사용된 8개 GCM은 미국립기상연구센터의 CCSM3(CCSM), 미지구물리 유동 역학 연구소의 GFDL-CM2.1(GFDL), 미국 고다스 우주연구소의 GISS-ER(GISS), 영국 하들리 기후예측연구소의 UKMO-HadCM3(HadCM), 독일 막스프랑크 기상연구소의 ECHAM5/MPI-OM(ECHAM), 일본 기후연구센터의 MIROC3.2(MIROC), 캐나다 기후 모델링 및 분석 센터의 CCCma-CGCM3.1/T47(CGCM)과 중국의 대기물리연구소의 FGOALS-g1.0(FGOALS)이다. SRESA1B 조건의 기간은 2071년에서 2100년이다.

잠재적 자연 식생 구조와 분포는 다양한 GCM의 SRESA1B와 PICNTRL의 기후 자료를 이용한 CLM-DGVM의 모의에 따라 200년동안 구축하였다. 이 자료는 CLM3.0를 이용하여 지표 수문 모의에 따른 식생을 규정하고, 이전에

CLM-DGVM으로 구축된 초기 조건을 입력하여 200년 모의와 구동을 실시하였지만 매년의 식생 구조 업데이트는 불가능하다. 식생 구조와 분포는 정해지지만 LAI의 계절적 추이는 생물 기후학의 설계하에 예측된다.

현재 논문의 초점은 수문학적 과정과 LAI가 이러한 과정에서 어떤 역할을 하는지를 밝히는 것이며, 현실적으로 모의된 LAI 변화 값을 얻기 위해 본 연구에서는 CLM3.0 모의가 10회를 초과하지 않도록 하였다. Fig 1은 사용된 PICNTRL에서부터 8개 GCM의 상응하는 SRESA1B의 LAI 변화의 격자 평균의 공간적 분포를 나타낸다. HadCM 시나리오(는 남미와

남아프리카에서 LAI가 강하게 감소하는 것을 보임)를 제외하고, 모든 GCM에서 전 지구적으로 광범위하게 LAI가 증가하였다. 다른 GCM과 대조적으로 GISS는 북방 고위도의 넓은 부분에서 LAI 변화가 없었다. 비록 전 지구적이고 모든 GCM에 걸쳐 LAI가 증가하였다더라도 수분 스트레스 때문에 열대의 활엽수 우위 지역의 침엽수 부분이 감소하는 것은 중요하다. 고위도 부분에서 높은 온도와 긴 식생 기간은 초지보다는 상록 침엽수나 활엽수의 증가에 일반적으로 유리하다. 관찰 연구는 온난화에 따라 과거 50년동안 아프리카의 관목의 광범위한 증가를 보인다 (Sturm et al., 2001; Tape et al., 2006).

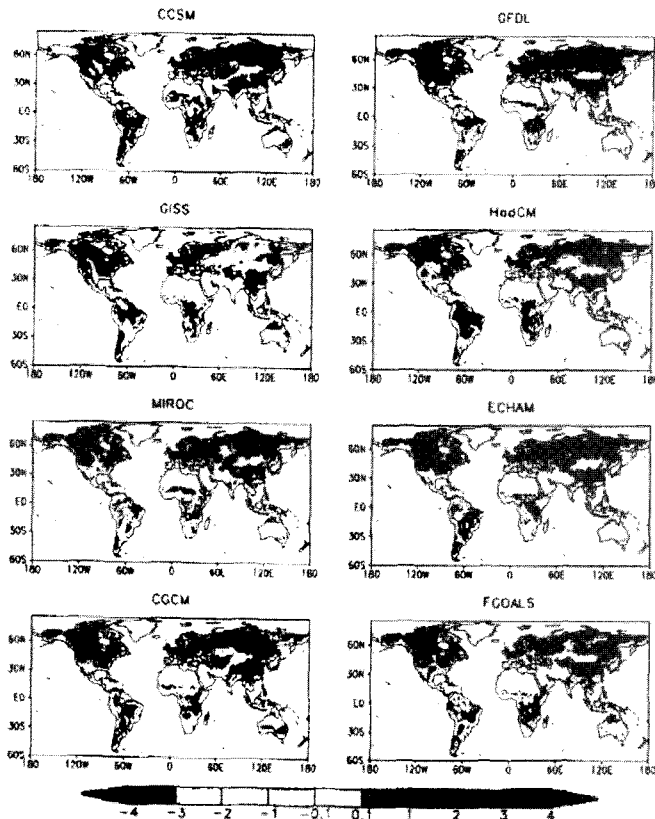


Fig 1. 8개 GCM SRESA1B의 상응하는 LAI 변화의 격자 평균의 공간적 분포

모의	기후	CO ₂	잠재 식생
PIC	Preindustrial	275 ppm	Preindustrial
A1B	SRESA1B 2100	720 ppm	SRESA1B 2100
A1B_PICVEG	SRESA1B 2100	720 ppm	Preindustrial

3. 모의 계획

3가지 모의는 8가지 GCM의 관련된 식생과 기후 조건에 따라 Table 1과 같이 CLM3.0로 모의되었다. PIC의 모의에 따라 CLM3.0는 PICNTRL의 기후, 275ppm의 대기 CO₂ 농도와 PICNTRL CO₂ 농도와 기후에 따른 잠재 자연 식생 상태로 모의되었다. A1B의 경우, 모형은 2100년의 SRESA1B 기후, 720ppm의 대기 CO₂ 농도와 그에 따른 잠재 자연 식생 상태로 모의되었다. A1B_PICVEG 모의는 2100년의 SRESA1B 기후, 720ppm의 대기 CO₂ 농도와 PICNTRL CO₂ 농도와 기후에 따른 잠재 자연 식생 상태가 입력된다. 따라서 총 24번이 모의되었다. CLM3.0은 T42 공간 해상도(2.8° × 2.8°)와 30분 단위로 10년동안 구동되었다. 초기 5년간의 모의 결과의 모형의 초기 구동기간으로 설정하고 결과는 마지막 5년간의 평균을 기초하였다. 이러한 모의 계획은 기후변화와 CO₂ 생리화학적 영향에 따른 복합적인 식생 구조 변화에 대한 영향을 분리하여 작성하였다. A1B_PICVEG와 PIC의 차이는 기후변화와 수문 과정의 생리학적 반응의 복합적인 영향을 보이며, A1B와 A1B_PICVEG의 차이는 구조적 식생 피드백의 영향을 나타낸다.

III. 결 과

1. 지표 온도

HadCM을 제외하고 GCM과 CO₂ 증가의

복합적인 반응에 따른 지표 온도는 일정한 공간적 양상을 갖는다. Fig 2a의 좌행은 CO₂ 생성, 기후변화와 식생 생리학적 반응을 기반으로 한 겨울(12월~2월)과 여름(6월~8월)의 지표 온도 변화가 계절과 지역적인 요소의 의존하여 2°C에서 6°C까지 범위로 변화하는 것으로 나타났다. HadCM를 제외한 7개의 GCM의 차이는 거의 없었다. CO₂ 농도는 전 지구적으로 상당히 동일하지만 온난화는 같은 지역의 다른 계절과의 관계와 같은 계절의 다른 지역의 관계 모두 DJF의 북방 고위도에서 두드러지게 나타난다. 추가적으로 고위도의 DJF 기간의 온난화는 전 지구적 온난화에 따른 용설 피복 감소로 인한 낮은 지표 반사율의 결과이다.

이러한 계절적이고 공간적인 차이는 식생의 구조적 변화가 고려될 때 더욱 커졌다(Fig 2a의 우행). DJF 기간의 식생 피드백은 눈이 피복된 고위도에서 더욱 따뜻해진다. 이러한 지역에서 LAI의 높은 증가는 용설의 차폐를 증가시켜 낮은 반사율과 온난화를 야기한다(Betts et al., 2000). 동과 중앙아시아와 서와 중앙미국 지역의 높아진 LAI로 인한 증발산량의 증가에 따른 구조적 식생 영향으로 약한 냉각효과가 나타난다. JJA 기간에는 LAI 증가에 따라 증발산량 증가가 중, 고위도의 넓은 부분의 강한 냉각효과를 야기한다. 북 러시아와 알라스카는 PICNTRL 기후의 초지였던 지역이 일반적인 LAI 변화에 따라 미래 기후에서는 상록 침엽수로 바뀌게 된다. 북 러시아는 LAI 증가와 온난화에 따른 증발산량 증가로 인한 냉각효과와 초지보다 상록

침엽수의 반사율이 낮아 순 방사량의 증가가 서로 상쇄되어, JJA 기간에 이 지역의 지표온도에 따른 구조적 식생 피드백의 영향은 미미하다. 알래스카 지역의 JJA 기간의 식생 피드백에 따른 온난화는 반사율의 효과로 나타난다. 기후변화와 CO₂ 생리화학적 효과의 복합적인 비교에 따른 식생의 구조적 변화는 중, 고위도의 지표온도의 영향은 약하게 영향을 끼치며, DJF 기간에는 ~6% 증가(평균적으로 4°C), JJA에는 ~8% 감소(-0.3°C)한다.

HadCM의 모의 시에 온도는 다른 GCM의 예측과는 다르게 나타났다. DJF에 높은 LAI 증가는 고위도의 다른 GCM(0.4°C)보다 높은 0.7°C로 온난화가 더욱 강하게 진행되었다. 그러나 JJA 기간에는 높아진 증발산량에 따른 냉각효과로 중, 고위도에서 상쇄가 일어난다. 다른 GCM과는 반대로 HadCM은 남아메리카와 아프리카는 LAI의 감소로 넓은 지역에 걸쳐 온난화가 DJF 기간과 JJA 기간에서 모두 일어난다.

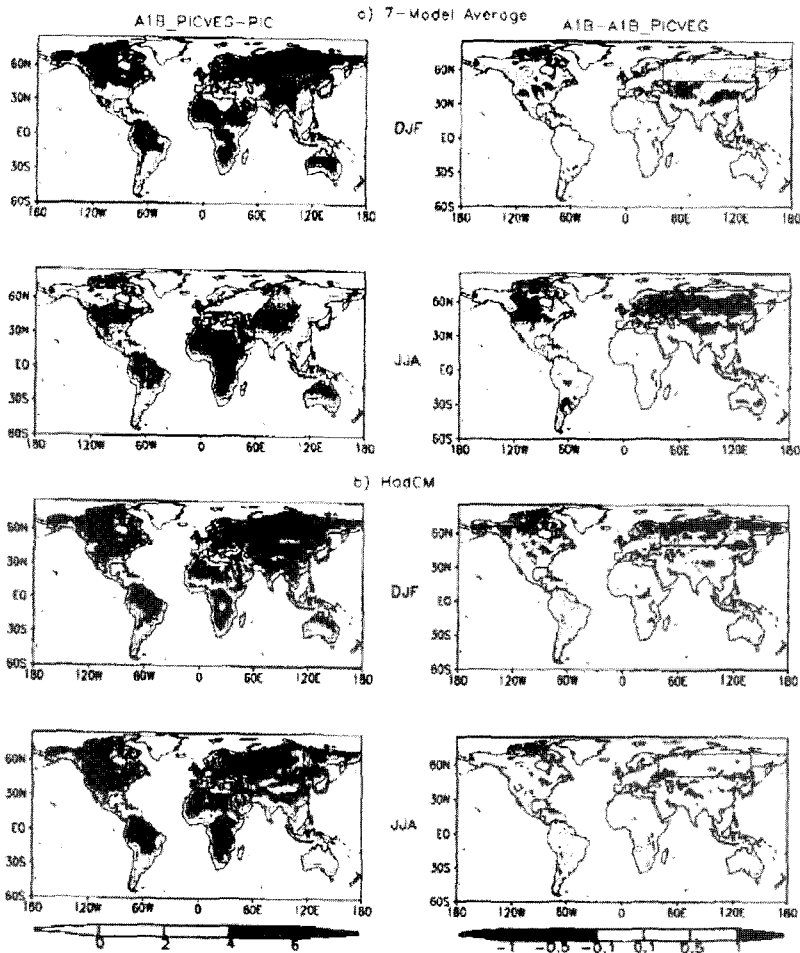


Fig 2. 기후와 CO₂ 변화의 복합적인 영향(좌)과 식생의 구조적 변화(우)에 따른 지표 온도의 공간적 분포

2. 지표 수문 반응

가) 증발산량

식생의 구조적 변화 차이에 따른 연중 증발산량의 3가지 요소에 대한 결과는 Fig 3과 같다. 예측된 것과 같이 차단 손실량 변화의 공간적인 분포는 LAI 변화 분포와 거의 일치하였다. 하지만 HadCM의 경우 LAI 감소에 따른 열대 우림의 붕괴에 따라 남아메리카와 중앙아프리카는 차단 손실량이 감소하여 다른 모형의 결과와 차이를 보였다. 몇몇 GCM에서는 LAI 감소에 따라 북방 남아메리카와 남서쪽의 북아메리카와 서아프리카북부의 차단 손실량이 감소하였다.

중, 고위도 지역의 식생 변화에 따라 증산량은 증가하지만 압도적인 LAI의 증가에 따라 시나리오 간에 차이는 미미하게 나타난다. 대부분의 중, 고위도 지역은 강우의 증가가 없거나 작고(Fig 4) 높은 LAI 값을 가진 잎들은 식생 차단을 증가시키고 토양으로 수분 침투가 작아져 유효토양수분 감소를 야기한다. 이러한 양상은 위의 지역의 미래 기후 변화에 따른 LAI 증가에도 불구하고 preindustrial 비율에 가까운 수준의 증산량을 유지한다. 이러한 차이가 없는 식생 증산량은 모든 GCM에 걸쳐 중, 고위도의 많은 지역에서 나타난다. 일반적으로 HadCM을 제외하고, 식생의 구조적 변화에 따른 증산량의 감소는 모든 GCM 시나리오의 열대 지방에서 넓게 나타난다. 이것은 활엽수 우의와 침엽수의 쇠퇴에 따른 토양수분 스트레스가 원인이 되었다. 반면 HadCM 모의시 열대 지방의 대부분 침엽수가 초지로 변하고 이러한 지역은 LAI 감소에도 불구하고 식생 증산량의 증가가 나타난다. 침엽수보다 초지의 엽면적당 방사량의 경쟁이 작아지고 초지의 차단 감소에 따라 지표의 수분 도달이 많아지고 증산량이 증가한다.

각 GCM 시나리오에서 식생의 구조적 변화에 따른 지표수 증발의 공간적 분포는 LAI 변화와 그에 따른 차단 손실 변화와 일치한다. LAI의 증가(감소), 더(덜) 지표수 지역은 영향을 받고 마찬가지로 지표수 증발도 감소(증가)한다.

식생 지역에서 차단은 강수 후 일어나는 수문 과정에 우선적이고 식생의 구조적 변화에 따른 총 증발산량 반응은 식생 차단 손실의 따라 결정된다(Fig 5의 우행). 그러므로 전체적으로 식생의 구조적 변화에 따른 증발산량 증가를 나타내지만 HadCM의 경우 열대의 대부분 지역이 식생 저하와 LAI 감소에 따라 증발산량이 감소한다. 일반적으로 증발산량의 변화는 지표수 증발과 식생 증산의 변화에 부분적으로 상쇄된 차단 손실 변화보다 매우 작다. Lawrence et al.(2007)는 관측된 기후에 따라 CLM3.0의 모의하여 전 지구적 증발산량 중 13%는 증산, 44%는 지표수 증발, 43%는 증발 손실로 나누는 것을 연구하였다. 본 연구의 PIC 모의의 7개 모형의 평균적으로 지구적인 증발산량 중 27%는 증산, 40%는 지표수 증발, 33%는 증발 손실로 나누는 것으로 나타났다.

CO₂ 생성과 생리학적 변화(Fig5, 좌행)에 따른 증발산량의 패턴의 GCM 시나리오간 차이는 GCM에 따라 예측된 강수와 온도의 차이를 주요하게 반영한다. 중, 고위도의 광범위한 부분의 강한 온난화와 강수량 증가에 따라 GISS와 GFDL을 제외한 모든 GCM에서 높은 증발산량이 나타난다. 이 두 모형은 북방 중, 고위도의 많은 지역의 수분 스트레스나 CO₂ 생성 기공의 폐쇄에 따른 증산량 감소에 증발산량의 온난화 영향 가속에 큰 영향을 주거나 상쇄하게 된다. GFDL의 경우 높아진 강우 밀도에 따른 유출 증가로 인해 증발산량이 감소하게 된다. 습한 열대 지역은 수분 스트레스가 거의 일어나지 않으며

모든 GCM에서 증발산량이 증가하고 강수량이 변하여도 온도는 중요한 영향인자이다. 열대 지방의 상대적으로 건조한 지역과 준 열대 지역의 증발산량은 수분에 제한적이다. 기후변화와 CO₂의 생리화학적 영향에 의한 증발산량 변화의 공간적인

양상은 간단하게 강수량의 변화 양상을 따라간다. 실제 증발산량 감소 지역은 대부분 GCM이 북서방의 북아메리카와 북아프리카, 남아프리카, 오스트레일리아이다. 이러한 건조 지역의 증발산량 감소량은 강수량 감소를 반영한다.

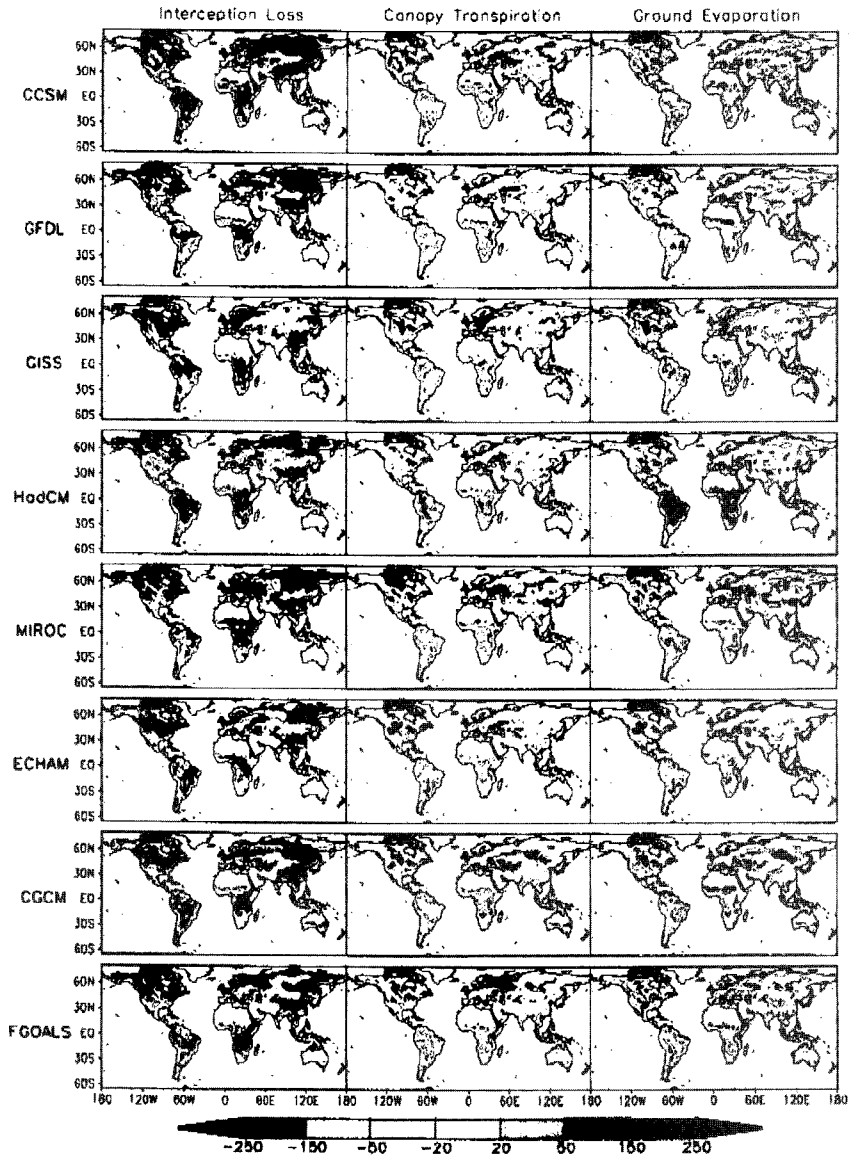


Fig 3. 8가지 GCM의 식생 구조적 변화에 따른 preindustrial과 미래의 연 증발산량 요소 변화: 식생 차단수(좌), 증산(중)과 지표 증발(우)

나) 유출량

Fig 6의 좌행은 기후변화와 CO₂의 생리학적 영향에 의한 총 연 유출량을 보여준다. 북방 중, 고위도 지역의 경우 GISS와 HadCM의 경우 그 증가가 약하거나 감소하였지만 나머지 GCM에서는 강수량과 강우 강도의 증가에 따라 유출량이 증가하였다. 건조 지역의 경우 강수량은 잠재 증발량보다 작아 유출량은 0이 된다.

식생의 구조적 변화에 따라 유출량은 모든 지역에서 감소하였다(Fig 6, 우행). 유출량의 감소는 LAI 증가에 따른 식생 차단 증가로 일어난다. 반대로 HadCM의 북아프리카와 중앙아프리카 지역의 LAI의 큰 감소는 유출량의 증가를 야기한다.

다) 토양수분

기후변화와 식생의 구조적 변화에 따른 토양 수분의 계절적 차이를 조사하였다. 계절적 차이는 의외로 미미하다. Fig 7은 DJF의 결과를 보여준다. 식생의 구조, 기후변화와 CO₂를 고려하지 않았을 때 모든 GCM에서 북방 중, 고위도의 넓은 지역에서 습한 토양을 나타낸다. 그러나 식생의 구조적 변화를 고려하였을 때 미래 기후의 중위도에서 건조한 토양이 생기게 된다. 건조한 토양은 LAI 증가에 따른 증발산량의 증가로 나타나는 구조적 식생 피드백의 결과이다. 그러나 열대 지역의 대부분 시나리오는 강수량 감소와 증발산량의 증가는 건조한 상태를 야기하고(Fig 7, 중간 열), 식생 피드백의 영향은 대단히 작았다. 전체적으로 예측된 토양 수분 변화는

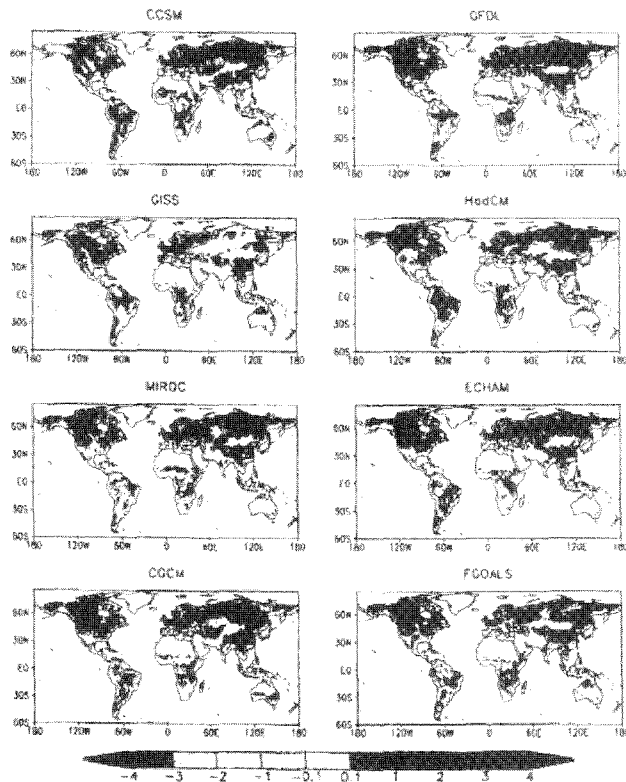


Fig 4. 예측된 연강수량의 변화(SRESA1B minus PICNTRL)

중위도에서는 식생의 구조적 변화가 열대 지역에서는 기후변화와 CO₂의 생리학적 변화가 주요 요인이다.

3. 지표 수문 반응의 전체적인 양상

모의된 식생의 구조적 변화에 따른 증발산량과

유출량은 8개 GCM 중 7개가 대체적으로 일치하였다. 토양 수분의 경우는 특히 열대 지방에서의 계절적 차이에 일치도가 낮았다. Fig 8(좌)은 7개 모형의 수문학적 반응의 평균적이고 전체적인 양상 변화를 나타낸다. HadCM 모의시에는 부분적으로 열대지역에서 극단적이고 상반되는 값이 예측되었다.

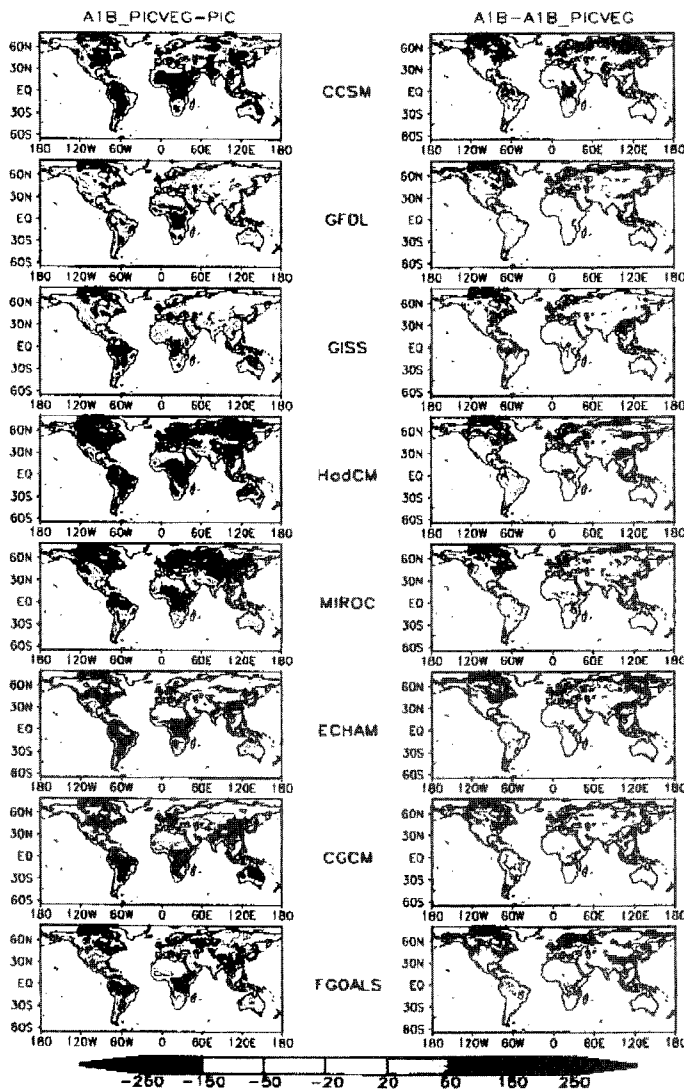


Fig 5. 기후와 CO₂ 변화의 복합적인 영향(좌)과 식생의 구조적 변화(우)에 따른 preindustrial과 미래의 연 증발산량의 공간적 분포

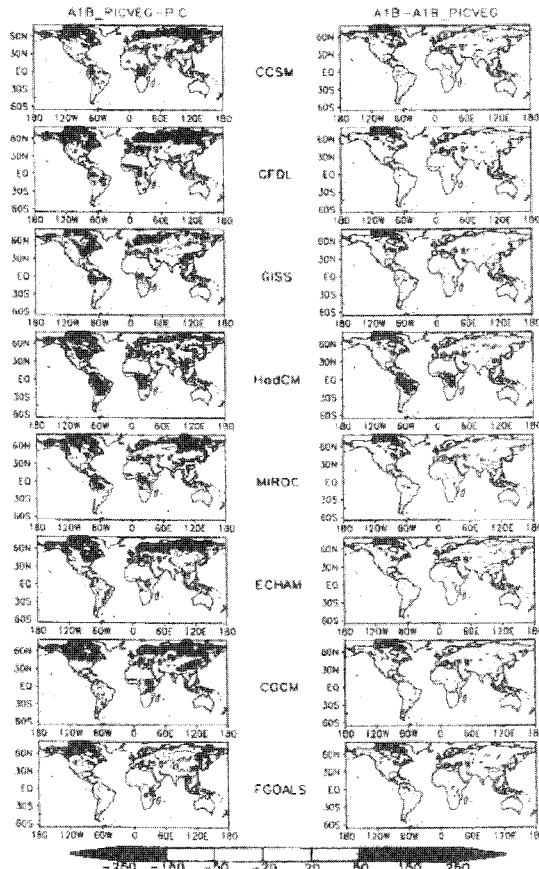


Fig 6. 기후와 CO₂ 변화의 복합적인 영향(좌)과 식생의 구조적 변화(우)에 따른 preindustrial과 미래의 연 유출량의 공간적 분포

CO₂ 생성에 따른 기후와 생리학적 변화 결과 식생 차단 손실은 열대 지역(특히 우림 지역)은 중, 고위도의 미미하게 감지할 수 있는 변화를 보인다. 구조적 식생 피드백은 전 지구적으로 식생 차단 손실이 증가한다. 기후와 CO₂의 생리학적 효과로 열대와 준열대 지역(특히, 북서방 북아메리카, 북방 북아메리카, 서아프리카와 북아프리카)에서 증산량은 감소하였다. 식생의 구조적 변화에 따라 중위도 지역에서 증산이 증가하고 대부분 열대 지역에서는 감소한다. 지표수 증발은 기후와 CO₂의 생리학적 변화의

복합적인 요인으로 중위도와 열대 지역에서 광범위하게 증가된다. 그러나 식생의 구조적 변화는 서아프리카의 몇몇 지역을 제외하고 전 지구적으로 지표수 감소를 야기하였다. 기후와 CO₂의 생리학적인 변화의 복합적인 영향에 따른 총 증발산량은 습한 열대 지역에서 증가하고, 준열대 지역에서는 감소하고, 고위도에서의 영향은 미미하다. 식생의 구조적 변화는 전 지구적으로 주요한 부분을 포함한 북위도 45°N에 가까운 지역과 북아메리카, 열대 아프리카, 남서아시아의 총 증발산량을 증가시킨다. 지구적으로

평균된 식생의 구조적 변화에 따른 증발산량 증가는 기후와 CO₂ 변화에 따라 변화된 값과 비교할 수 있다. 식생 피드백은 미래 기후변화의 지구적 수문 순환의 대기적인 부분을 더욱 가속시킨다.

북방 고위도에서의 유출량은 증가하고 기후와 CO₂의 생리학적 영향에 의해서 감소한다. 증발산량과는 대조적으로 식생 피드백에 따른 유출량은 감소한다. 토양수분은 북방의 중,

고위도에서 증가하지만 기후와 CO₂의 생리학적 영향에 따라 대부분의 열대 지역에서는 감소한다. 식생 피드백에 따라 고위도의 습도는 높아지지만 중위도의 건조함은 증가된다.

IV. 결론 및 고찰

지표 모형을 사용하였고 8가지 GCM의 기후

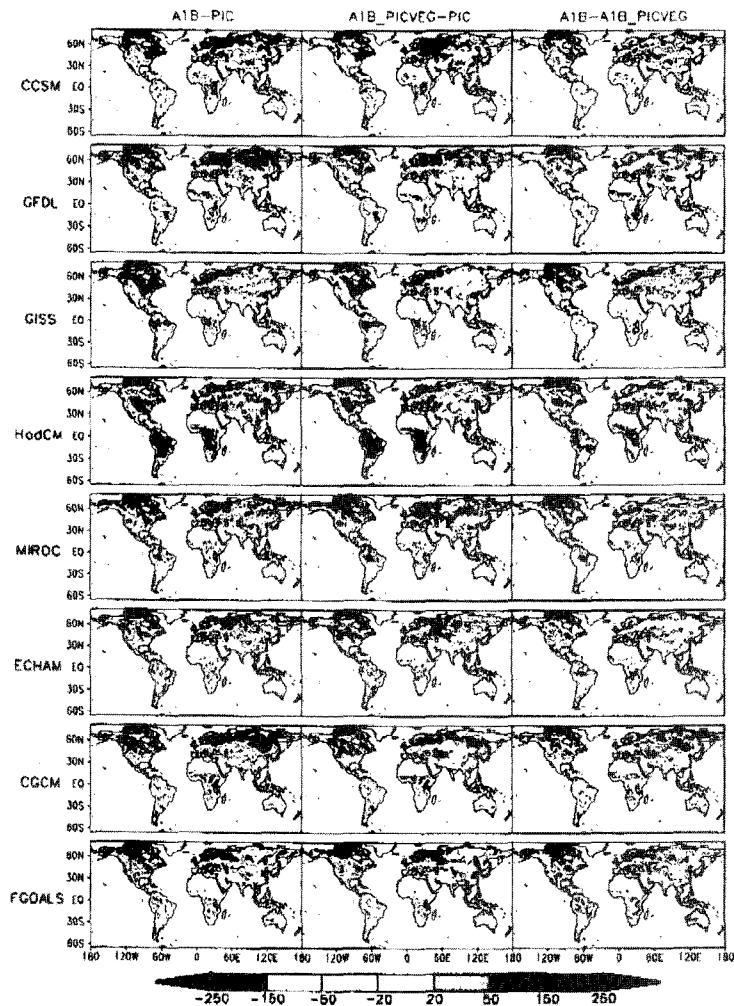


Fig 7. 기후와 CO₂ 변화(좌), 기후와 CO₂ 변화의 복합적인 영향(중)과 식생의 구조적 변화(우)에 따른 preindustrial과 미래의 토양수분의 공간적 분포

변화 예측을 하고 모의된 잠재적 자연 식생 조건은 기후 예측과 일치하도록 구축하여 기후변화에 따른 구조적 식생 반응이 기후변화의 수문학적 영향을 변화시키는가? 라는 의문에 대한 답변을 찾을 수 있도록 하였다. 일반적으로 이러한 식생 피드백은 북방 중, 고위도 지역의 DJF 기간에는 온도가 증가하고, JJA 기간에서는 온도가 감소하지만 기후와 CO₂의 생리학적 복합적인 영향과 비교하였을 때 다소 작았다.

수문학적 반응에 이러한 영향은 기후의 열 상태보다 매우 강하다. 구조적 식생 피드백은 지구적으로 증발산량 증가와 유출량 감소를 나타내고 수문 순환의 대기적인 부분을 더욱 가속화함을 연구하였다. 모든 GCM은 식생 구조의 변화로 북방 고위도 지방의 토양수분이 습해지고 중위도에서는 광범위하게 건조해진다. 열대 지역에서 이러한 영향은 GCM의 불일치 때문에 불확실하다.

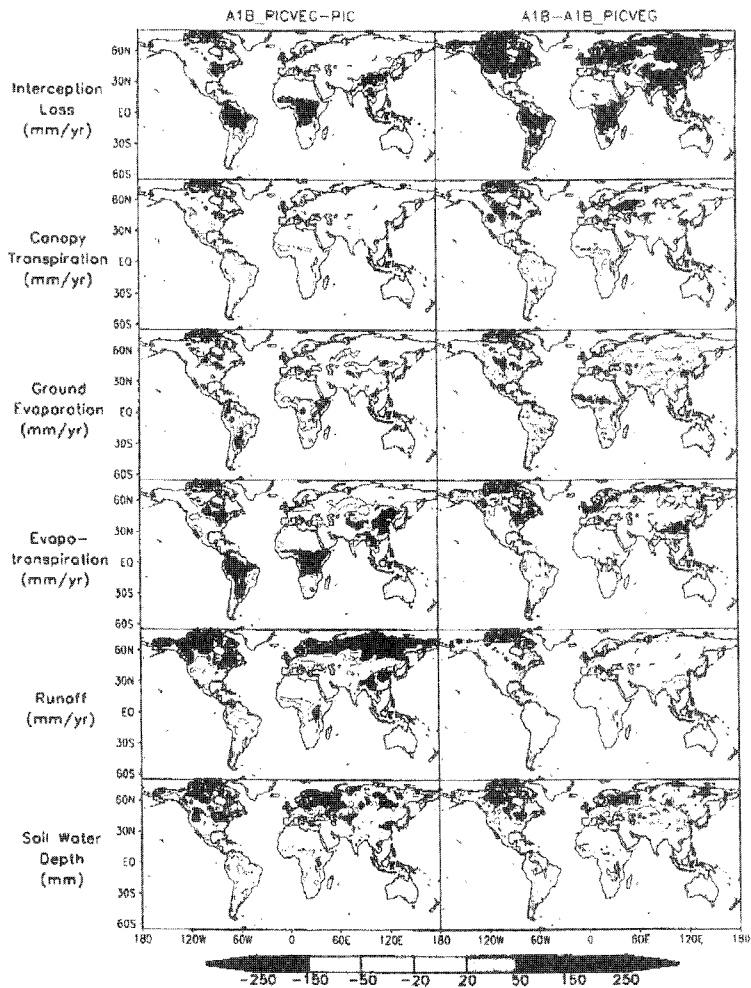


Fig 8. 기후와 CO₂ 변화의 복합적인 영향(좌)과 식생의 구조적 변화(우)에 따른 preindustrial과 미래의 연 지표수와 증발산량의 각 구성요소의 공간적 분포

본 연구는 이전의 모델링 증명 연구를 보완하는 최근 다중 모형 기후 예측에 사용된다.

예를 들어 구조적 식생 피드백의 고려가 없을 때 기후변화와 CO₂의 생리학적 영향은 북방 중위도의 영향이 작지만 식생이 고려되면 건조해진다. 또한 기후변화와 CO₂의 생리학적 영향에 따라 열대 지역의 유출량은 감소하고 증발산량은 증가하고 구조적 식생의 피드백이 고려되면 열대의 대부분 지역에서 유출량이 감소한다.

CO₂ 증가에 따른 광합성의 영향과 CLM-DGVM의 기공전도도는 모의된 식생의 구조적 변화와 결과적으로 모의된 지표 수문에 불확실성을 잠재적인 원인이 된다.

여러 GCM에 의한 분석은 기후와 CO₂의 생성에 따른 식생 변화는 가능한 지표 수문 반응의 추세와 양의 일차적인 예측 값을 제공하고 구조적 식생 피드백은 지구적, 지역적 기후와 CO₂는 수문학적 조건 반응에 상당히 영향을 끼친다.

2. Arora, V. K., and Boer, G. J., 2003. A representation of variable tool distribution in dynamic vegetation model. *Earth Interactions* 7(6), pp.1~19.
3. Betts, R. A., Cox, P. M., and Woodward, F. I., 2000. Simulated responses of potential vegetation to doubled CO₂ climate change and feedback on surface temperature. *Global Ecol. Biogeogr.* 9, pp.171~180.
4. Dickinson, R. E., Oleson, K. W., Bonun, G., Hoffman, F., Thoraton, P., Vertenstein, M., Yang, Z. I., and Zeng, X., 2006. The community land model and its climate statistics as a component of the community climate system model. *J. Clim.* 19, pp.2302~2324.
5. Foley, J. A., Prentice, I. C., Ramankutty, N., Levis, S., Pollard, D., Sitali, S. and Haxeltine A., 1996. An integrated biosphere model of tend surface processes, terrestrial carbon balance and vegetation dynamics. *Grobal Biogeochem. Cycles* 10, pp.603~628.
6. Foley, J. A., Levis, S., Costa, M. H., Cramer, W., and Pollard, D., 2000. Incorporation dynamic vegetation cover within global climate models. *Ecol. Appl.* 10, pp.1620~1632.
7. IPCC, 2007. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

참고문헌

1. Alo, C. A. and Wang, G., 2008. Potential future chane of the terrestrial ecosystem based on climate projections by eight general circulation models. *J. Geophys. Res.* 113, G1004, doi: 10.1029/2007JG00052N.

출 처

Clement Aga Alo and Guiling Wang
Journal of Geophysical Research
 Biogeosciences 2008. 3. 20