Change of Temperature and Precipitation Rate by Global Warming and Their Correlation

Summer Internship Program

Climate Change, Postech

Prof. Seung-Ki, Min

Jisun, Noh

**Abstract**

지구 온난화에 의한 온도와 강수량의 변화 모델링의 목적은 현재 일어나고 있는 온도 상승과 강수량의 변화의 영향을 분석하고 과거와 현재의 기후를 비교함으로써 향후의 변화를 예측하기 위함이다. 인위적 혹은 자연적인 지구 온난화에 의해 지구의 기후변화를 보기 위해 NOAA의 모델링 프로그램을 사용하였다. 그 결과, 지구의 온도는 전지구적으로100년 기준으로 1.16˚C 오르고 있는 추세를 확인하였고 지역별, 대륙별, 나라별로 온도상승 정도에 차이가 있지만 모든 지역에서 과거에 비해 온도가 계속해 상승하고 있음을 확인 할 수 있었다. 그에 반해 강수량은 각각의 지역 마다 크게 다르기 때문에 강수량의 과거와 현재 변화를 전지구적 시계열로 보기에는 어렵다. 이를 통해 강수의 변화는 지구 온도 상승에 의해 무조건적으로 증가하거나 감소한다고 단정짓기에는 이르며 지역별로 강수량이 많은 곳은 더 증가하고 강수량이 부족한 곳은 더 감소하는 경향을 보인다.

**Introduction**

기후변화의 정의는 크게 IPCC와 UNFCCC에 의한 한 것으로 나눠진다. IPCC에 의하면, 통계분석과 같이 기후 특성의 평균이나 변동성의 변화를 통해 확인이 가능하며, 자연적 변동성이던 인간 활동이던 이에 따른 모든 변화를 뜻한다. UNFCCC에 의한 정의는 긴 기간 동안 직접적 또는 간접적인 인간활동에 의한 자연적 기후변동이 관측되는 것을 뜻한다.

전지구적으로 크게 지구 온난화에 의한 영향으로는 평균기온과 해수온도의 상승, 눈과 얼음의 융해, 지구 평균 해수면의 상승들이 관측되고 있다. 지구 온난화의 요인들로는 인위적인 것과 자연적인 것들로 나눠서 살펴볼 수 있다. 자연적인 요인으로는 태양에 의한 열파를 들 수 있고 인위적인 요인으로는 온실가스 배출을 들 수 있다. 온실가스란 CO2, 메탄(CH4), 아산화질소(N2O) 등이 있으며 이는 1750년 이후 인간활동의 결과로 현저하게 증가하여 왔으며 1970년경 산업화를 거처 배출량이 급증하였고 현재도 계속해서 상승하는 추세이다. 그리고 지구 온도변화가 이와 비슷한 상승 추세를 보임으로써 이러한 인간활동들이 지구 온난화에 큰 기여를 하고 있다고 확신되고 있다. 반면, 강수량은 작은 지역 단위 마다 변화가 차이가 많기 때문에 현재까지는 온도상승과 관련하여 강수량에 대한 높은 신뢰성이나 확실성에 대한 추세는 부족한 것이 현 상황이다. 그러나 과거부터 현재까지의 변화를 살펴본 결과, 온난화가 일어나면서 강수량 변화가 생겨왔고 향후에는 홍수가 많이 발생하던 지역은 홍수 피해가 더욱 증가할 것이고 강수가 적었던 지역은 향후 강수량이 더욱 감소할 것으로 보인다.

**Results**

1. 전 지구 연평균 온도변화

먼저 전 지구적인 시각에서 연평균 온도를 보자면 그림 1에서 볼 수 있듯이 1980-2010년까지 연평균 온도는 적도지방에 가장 높은 온도를 보이며 극지방으로 갈수록 온도가 낮은 것을 알 수 있다. 또한 그림 1을 통해 남부아메리카 서쪽 해안지역이 다소 낮은 온도를 보임을 알 수 있다. 다음으로 그림 2에서는 전 지구의 연평균 온도 변화를 시계월로 나타낸 것으로 점차적인 기온 상승을 확인 할 수 있으며 그림 3의 추세선을 통해 100년동안 1.16˚C 의 기온 상승이 있었음을 알 수 있다.

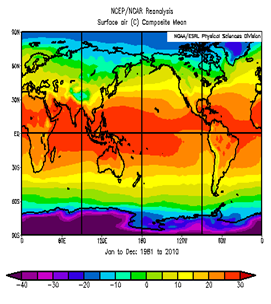


그림 1. 전 지구 연평균 온도 변화 공간 패턴 (1981-2010)

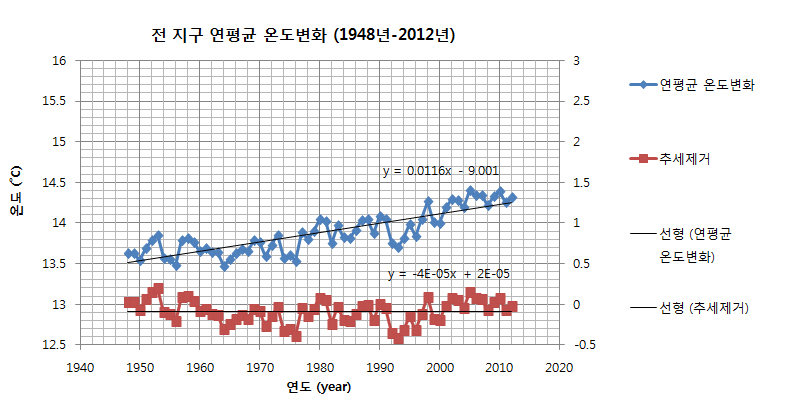
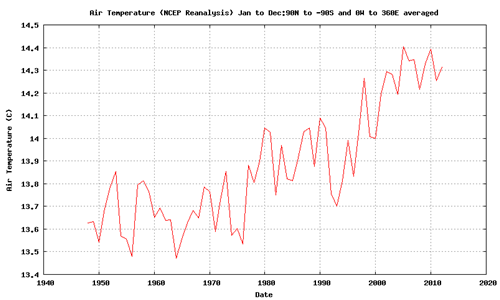


그림 2. 전 지구 연평균 온도 변화 시계월 (1981-2010)

그림 3. 전 지구 연평균 온도 변화 추세와 추세 제거

(1981-2010)

1. 전 지구 계절별 연평균 온도 변화

그림 4는 계절별 연평균 온도 변화를 공간 패턴으로 나타낸 것이다. 우선 가장 눈에 띄는 적도 부근의 붉은 띠는 적도 부근이 가장 온도가 높음을 나타낸다. 중요한 것은 이 띠가 계절에 따라 이동을 하는 양상을 보이는 것이다, 중앙에 위치하던 띠가 여름이 되면 북반구로 약간의 이동을 보이며 가을이 되어 다시 중앙에 위치하게 된다. 겨울에는 이전의 띠에 비해 연한 색을 가지며 이는 전반적인 온도가 감소했음을 나타낸다. 다음으로 관찰되는 것은 극지방의 온도 변화이다. 그림 4를 통해서 북극의 온도변화가 계절에 따라 큰 변화가 있으며 그에 반해 남극의 온도 변화는 적지만 차가운 지역의 크기가 변함을 알 수 있다.

그림 5는 1991-2010년 간의 온도 변화와 1951-1970년 간의 계절별 온도 변화 차이를 공간 패턴으로 나타낸 것이다. 전 지구적인 온도 변화를 보았을 때, 대체적으로 온도가 증가 함을 볼 수 있다. 가장 두드러진 변화를 보이는 것이 두 극지방이다. 북극의 경우, 4계절 모두 전 연도에 비해 온도가 상승했으며 남극의 경우, 전 연도에 비해 겨울철에 온도가 더욱 감소했음을 알 수 있다.

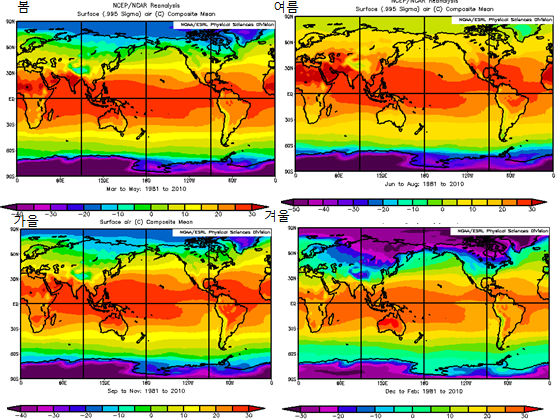


그림 4. 계절별 온도 변화 공간 패턴 (1981-2010)

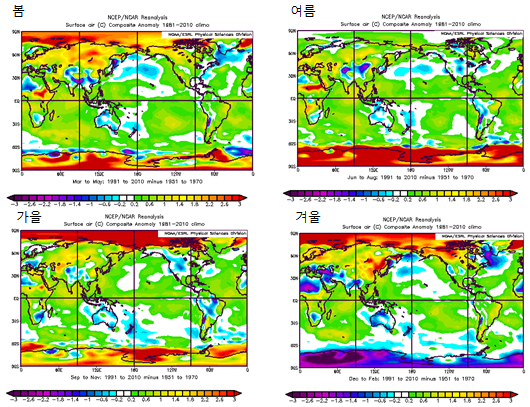
****

그림 5. 1991-2010년 간의 온도 변화와 1951-1970년 간의 계절별 온도 변화 차이 공간 패턴

1. 전 지구 반구별 연평균 온도 변화

그림 6은 북반구와 남반구의 연도별 온도 변화 시계월과 추세를 나타낸 그래프이다. 시계월을 분석해보면 연평균 온도의 범위가 남반구에 비해 북반구가 다소 높은 편이다. 또한 온도변화 폭을 비교하면 북반구의 경우, 100년에 1.23˚C 가 증가하고 남반구는 100년에 1.08˚C 정도 증가 할 것으로 예측된다. 추세 제거를 보면 북반구가 남반구에 비해 온도 변화 폭이 큰 것을 알 수 있다.

그림 7은 각 극지방의 온도 변화 차이를 공간 패턴으로 나타낸 것이다. 북극의 공간패턴을 보면 빙하 주변으로 붉은 지역이 넓게 분포한다. 그에 비해 남극은 북극과 비교했을 때 다소 적은 변화를 보이고 있다. 하지만 두 극 지방 모두 과거에 비해 전반적인 온도가 상승했음을 알 수 있다.

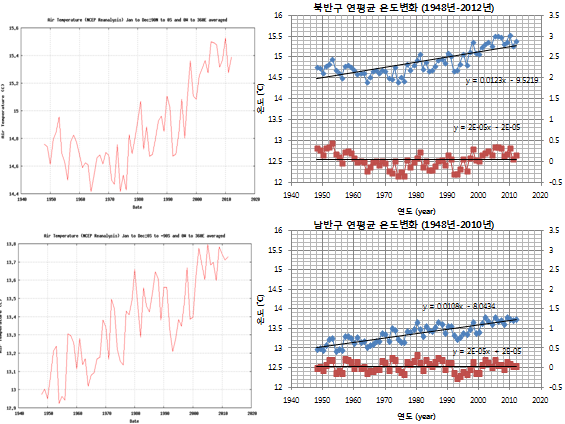


그림 6. 북반구 남반구 온도 변화 시계월과 추세(1981-2010)

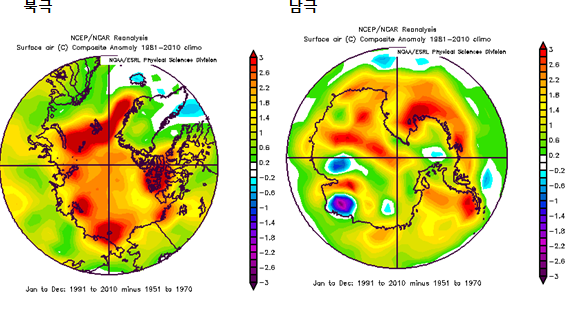


그림 7. 극지방의 온도 변화 차이 공간패턴

1. 북반구 위도별 연평균 온도 변화

많은 대륙이 분포하는 북반구를 선별하여 위도별 온도 변화를 기후 모델링한 결과는 그림 8과 같다. 고위도와 저위도의 시계월을 살펴보면 전반적으로 온도가 상승하는 추세를 보이고 있다. 그에 반해 중위도의 경우, 1950-1970년 경까지 연평균 온도가 하락하는 추세를 보이고 있다.

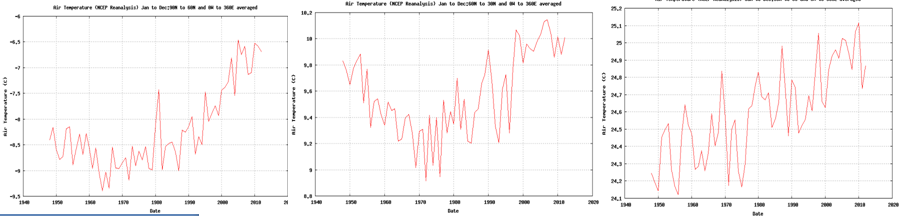


그림 8. 북반구 고위도 중위도 저위도 온도 변화 시계월(1980-2010)

1. 한반도의 연평균 온도 변화

한반도의 연평균 온도 변화 모델링을 통해 과거 온도 변화의 원인을 파악하여 여러 기후 변화를 이해할 수 있으며 앞으로의 한반도 온도 변화를 예측할 수 있다. 본 모델링에서는 한반도를 북위 34⁰-43⁰, 동서로 124⁰-131⁰를 기준으로 한다. 그림 9를 통해 한반도의 연평균 온도가 과거에 비해 상승했음을 알 수 있다. 그림 10은 1980-2010년간의 온도 변화를 기준으로 한 시계월과 추세이다. 한반도는 100년에 0.6˚C정도 온도가 상승할 것으로 예측되며 이 값은 전 지구적 온도 변화에 낮은 변화가 예상된다. 한반도 시계월의 가장 큰 특징은 연도별 평균 온도의 변화 폭이 매우 크며 일정하지 않은 패턴을 보인다는 점이다.

그림 10 의 시계월의 빨간 동그라미는 한반도의 급격한 온도 감소를 나타낸 구간이다. 우리는 대기 중 온도 변화와 성층권의 온도 변화와 연관하여 분석하고자 전 지구적인 범위에서의 성층권 온도 변화를 시계월로 나타내 보았다. 그 결과 1954-1957 년경, 1967-1969년경, 1978-1982년 경의 극심한 온도 변화 패턴이 일치함을 볼 수 있다. 이 패턴은 한반도의 온도가 급하강 하는 해에 성층권의 온도가 급상승하는 것을 말한다.

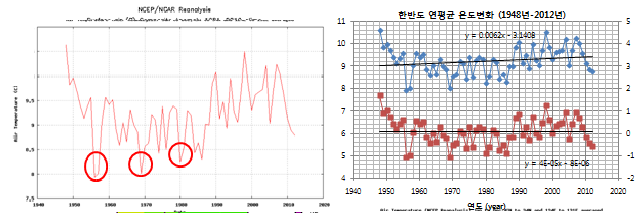
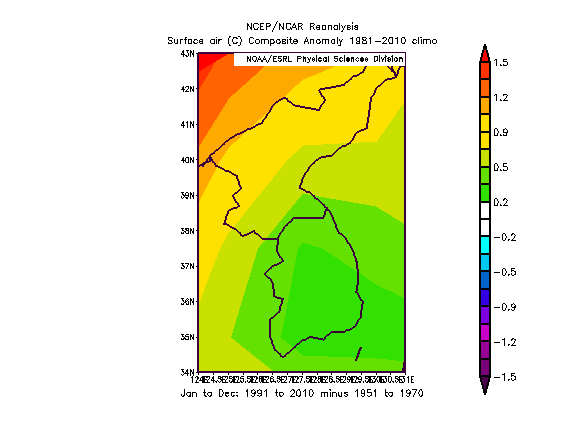


그림 9. 한반도 연평균 온도 차이 공간 패턴 그림 10. 한반도 연평균 온도 변화 시계월과 추세(1980-2010)

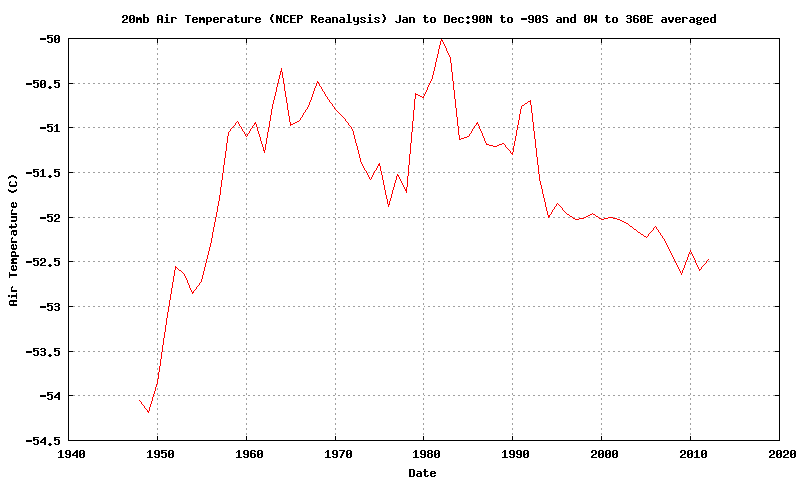


그림 11. 전 지구 연평균 성층권 온도 변화(1980-2010)

1. 강수량과 온도의 상관 관계

강수량과 온도는 밀접한 관련이 있다는 것은 많은 연구 결과를 통해 예측할 수 있다. 그에 따라 강수량과 온도의 관계를 비교하기 위해 두 지역을 선별하여 각각 강수량과 온도를 모델링 해보았다.

6.1) 동남아시아의 강수량과 온도 관계

그림 12는 동남아시아의 강수량과 온도 변화의 차이를 공간 패턴으로 나타낸 것이다. 이때 동남아시아를 북위 15⁰에서 남위 10⁰까지 동경 90⁰-130⁰까지를 기준으로 하였으며 최근 홍수 피해가 문제되고 있는 6월부터 8월까지의 변화를 모델링 하였다. 우선 강수량의 공간패턴을 보면 적도의 북쪽지역인 인도네시아와 말레이시아 부근 대륙의 강수량이 과거에 비해 현저하게 증가한 양상을 확인 할 수 있다. 또한 해안지역도 대체적으로 온도가 상승한 양상을 보인다. 다음으로 온도 차이 변화를 보면 동남아시아 대부분의 지역이 과거에 비해 온도가 증가함을 알 수 있다.

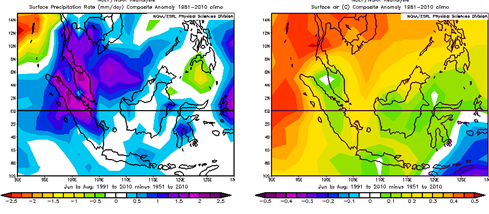


그림 12. 동남아시아의 강수량 변화와 온도 변화 차이 공간 패턴

6.2) 중부아프리카의 강수량과 온도 관계

그림13은 중부아프리카의 강수량과 온도 변화 차이를 공간 패턴으로 나타낸 것이다. 아프리카 대륙 전체를 모델링 하였으며 전 계절을 기준으로 하였다. 우선 강우량을 살펴보면 북부 아프리카의 강수량 변화는 거의 보이지 않으며 중부아프리카의 강수량 감소가 두드러지게 나타난다. 다음으로 온도에 대해 살펴보면 북부지방은 과거에 비해 온도가 하강하였고 중부지방은 과거에 비해 온도가 상승함을 알 수 있다.

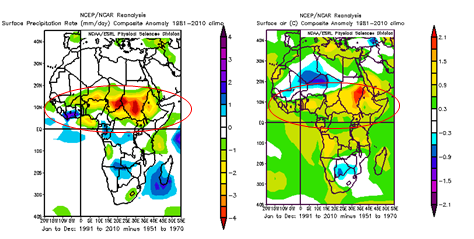


그림 13. 중부아프리카의 강수량과 온도 변화 차이 공간 패턴

1. 스페인과 사하라 사막의 상관 관계

그림 14는 지중해 연안의 전 계절 평균 온도의 변화와 온도 차이 변화를 공간 패턴으로 나타낸 것이다. 우선 왼쪽의 연평균 온도 공간 패턴을 보면 아프리카 북부가 연평균 가장 높은 온도를 유지하고 있으며 아프리카와 접한 지중해 연안의 국가들 또한 다소 높은 온도를 유지하며 북쪽으로 갈수록 낮은 온도를 보인다. 오른쪽의 과거와 현재의 온도 차이를 보면 아프리카 중부의 온도가 급격하게 증가하였으며 그에 반해 북부아프리카는 온도가 감소한 지역도 관찰 된다. 지중해 연안 지역은 대부분 과거에 비해 온도가 증가하였다. 스페인은 아프리카 대륙과 만나는 지중해 연안의 서쪽에 위치한 국가이며 사하라 사막은 북부아프리카의 대부분을 차지하는 지역이다.

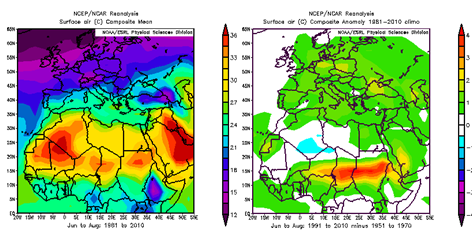


그림 14. 지중해 연안 지역의 온도 변화(1980-2010)과 온도 변화 차이 공간 패턴

**Discussion**

적도지역은 태양과 가장 근거리에 위치하는 지역이며 태양으로부터 연직으로 열을 받기 때문에 지구에서 가장 온도가 높은 지역에 속한다. 그의 반해 극지방으로 갈수록 적도에 비해 태양과의 거리가 멀어지고 태양으로부터 열을 점점 더 사선으로 받기 때문에 도달하는 열의 양이 감소함에 따라 추워진다. 그리고 적도지방의 높은 온도 지역을 나타내는 띠는 계절별 태양위치 변화에 따라 적도기준으로 매 계절마다 조금씩 위와 아래로 이동한다. 과거부터 현재까지의 자료를 바탕으로100년 기준 1.16˚C씩 온도상승 추세를 알 수 있고 이는 인위적인 요인과 자연적인 요인이 모두 온도상승의 원인으로 고려되고 있다. 전 지구적 계절별 연평균 온도는 상대적으로 여름이 가장 높고 다음으로 가을, 봄, 그리고 겨울로 나열 할 수 있다. 계절별 모델링의 결과들로만 따져 봤을 때는 겨울의 상승추세가 가장 더딘 것으로 나타나고 있지만, 대륙만을 고려해서 상승추세를 그려보면 겨울에 가장 높은 상승추세를 나타내는 것을 볼 수 있다. 즉 겨울은 다른 계절에 비해 온도가 더 빨리 상승하고 있는 것이다.

과거 20년과 현재 20년 비교 모델링을 통해 전 지구적 연평균 온도 변화 차이를 볼 수 있으며 이를 통해 과거에 비해 온도가 상승한 지역을 쉽게 파악할 수 있다. 또한 계절별 온도 변화 차이 공간 패턴을 통해 대체적으로 온도가 상승했음을 알 수 있다. 하지만 측정 자료의 부족으로 인해 몇몇 지역의 변화가 패턴과 불 일치하는 경우도 있음을 고려해야 한다. 과거와 현재를 비교한 여름과 겨울의 온도변화 공간패턴을 보면 여름엔 남극이 상대적으로 북극에 비해 큰 온도변화를 보이고 겨울엔 북극이 남극에 비해 큰 온도변화를 보이는 이유는 북반구와 남반구의 계절이 반대이기 때문이다. 즉, 겨울에 온도변화가 더 확연히 보인다는 점을 바탕으로 북반구가 여름일 땐 남반구는 겨울, 반대로 북반구가 겨울일 땐 남반구는 여름이기 때문에 겨울 날씨에 해당될 때 온도변화가 좀더 확연히 보이는 것이다. 그렇지만 양극지방에는 관측소가 많지 않아 측정 자료가 부족함으로 기후 모델링의 결과 극지방의 색깔의 진하기 정도는NOAA의 모델값으로 판단되는 경향이 있으므로 오차를 고려해야 한다. 본 기후 모델링에서 이론과 일치하지 않았던 결과로는 가을의 북극지방 혹은 겨울의 남극지방을 들 수 있다. 반구별로 온도상승을 비교해 봤을 때 북반구가 남반구보다 약 0.15˚C per century 높은 상승추세를 보이고 있는데 이는 북반구는 주로 대륙을, 남반구는 주로 해양을 많이 포함하고 있는 차이로 인한 것으로 판단된다. 또한 북극과 남극의 과거20년과 현재 20년의 온도변화를 보면 북극이 상대적으로 많이 상승했음을 알 수 있는데 이 이유는 북극은 주로 대륙으로 이뤄져 있고 남극은 해양으로 이뤄져 있기 때문이다. 그리고 북극의 빙하들은 계절마다 그 크기도 변하기도 하고 남극에 비해 상대적으로 빙하가 많이 녹고 있다 보니 빙하가 녹는 부분의 온도변화가 다른 부분보다도 더 심하게 나타나는 것이다. 반면, 남극대륙은 해양으로 둘러싸여 있고 남극대륙을 기준으로 원모양으로 돌고 있는 안정된 대기의 흐름에 의해 북극에 비해 온도 변화가 적은 것으로 보인다. 이 안정된 대기의 흐름은 남극대륙 주변을 계속 돌면 찬 공기가 바깥으로 빠져나가지 않도록 유지시켜 주며 따뜻한 공기가 안쪽으로 들어오지 않도록 막아 줌으로써 남극의 온도 변화를 최소화 할 수 있게 해주며 이로 인해 상대적으로 빙하의 융해도 적게 나타나는 것이다. 북반구의 위도별 온도 변화에서는 중위도가 가장 낮은 상승추세를 보이고 있고 다음으로 저위도, 고위도 순이다. 고위도는 북극으로 인해 상승추세가 높은 것이지만 저위도보다 중위도의 상승추세가 더딘 이유는 자세히 알려지지 않았다.

한반도 역시 지구 온난화에 따르는 여러 기후 변화에 영향을 받고 있다. 전반적으로 한반도의 연평균 온도는 100년 기준으로 0.62˚C로 상승한다. 하지만 본 기후모델링에서는 남한과 북한을 모두 포함한 한반도를 대상으로 하였기 때문에 우리가 예측할 수 있는 연평균 온도보다 다소 낮다. 북한의 경우, 중국과 연접하여 대륙에 가까운 지형이고 남한의 경우, 3면이 바다로 둘러싸인 지형이다. 이로 인해 남한과 북한의 온도 차이가 다소 있으며 남한만을 모델링하면 전 지구 연평균 온도와 유사한 패턴을 보인다. 대륙으로 갈수록 즉, 북반구의 극지방으로 갈수록 온난화로 인한 영향이 커짐으로 미래에는 남한과 북한의 온도 차이가 많이 줄어들 것으로 예측할 수 있다. 한반도의 연평균 온도 변화 차이를 시계월로 나타낸 그래프에서 1948년부터 2012년 사이에 몇몇 해는 상대적으로 온도가 급격히 낮은 것을 확인 할 수 있다. 최근에 발표된 연구 결과에 따르면 성층권의 온도 변화가 대륙의 온도 변화에 많은 영향을 준다는 사실을 알 수 있다. 대규모 화산이 폭발하는 경우, 용암과 여러 화산부산물이 성층권에 도달하게 되어 성층권의 온도를 상승시키고 한 달에서 두 달 정도 성층권의 온도 변화에 영향을 준다. 1961년, 1982년, 1991년에는 큰 화산이 폭발한 해로써 성층권에 화산재가 남아 대기 중에 전달되는 빛을 차단하여 대륙에 전반적인 cooling효과를 일으켜 연평균 온도가 급격하게 감소하는데 영향을 준다. 하지만 화산과 관계없이 기온이 급강하 하는 경우에는 여러 요인으로 인해 성층권의 온도가 올라가면 성층권을 돌며 북반구의 찬 공기를 잡고 있는 강한 소용돌이(polar vortex)의 세기가 약해져 찬 공기가 아래로 내려가게 되어 cooling 효과를 일으켜 온도가 급강하한다고도 볼 수 있다. 최근에 겨울철 극도의 한파의 영향은 이로 인한 것이라는 연구결과가 나왔다. 공간패턴을 살펴 보면 유럽 전 지역의 온도 또한 과거에 비해 상승하고 있다. 그러나 사하라 지역의 공간 패턴을 보면 다른 지역과 달리 온도가 하강한 것으로 보인다. 이것을 사하라의 기후를 관측하는 관측소가 적어 자료 값이 적을 뿐만 아니라 기록을 시작한지 오래 되지 않았으며 자료 값의 신빙성도 떨어진다는 분석이다. 그로 인해 모델 값에 의한 결과일 것이라는 추측이 된다. 그러므로 실제 사하라 지역의 온도는 다른 지역과 다르지 않게 계속 상승하고 있는 것으로 추측할 수 있다. 중부 아프리카 지역을 보다 심도 있게 다루어 보면 지중해 지역 나라와 중부 아프리카와의 관계를 이해할 필요성이 있다. 매 여름마다 스페인을 포함한 여러 나라에서 폭염을 겪고 있다. 이는 사하라에서 불어오는 바람에 의한 결과로 추정되고 있다. 여름철 사하라의 뜨겁고 건조한 바람이 동남 아시아의 저기압과 만나 강한 저기압과 모래바람을 동반하여 사하라 동부로 다시 불어오게 되고 이 바람이 북쪽으로 방향을 바꾸면서 지중해 지역에 영향을 미쳐 매우 고온 건조한 여름에 영향을 주는 것이다. 그러나 1948년부터 2010년 여름 동안의 스페인과 사하라의 시계열 온도변화를 살펴 보면 두 지역 다 상승하고 있음을 확인할 수 있지만 단순히 두 지역이 온도 상승을 보인다 해서 '스페인의 온도 상승은 사하라 사막 때문만이다' 라고 결론짓기에는 확실성이 낮다. 확실성이 낮은 이유는 상승한 정도의 경향선의 일치 정도가 낮기 때문이다.

강수량의 변화는 온도변화와는 달리 큰 지역 단위로는 변화 경향을 보기가 어렵다. 이는 도시 마다 강수량의 차이가 크고 그에 따른 과거와 현재의 강수량 변화의 차이도 크기 때문이다. 주로 강수량이 많은 지역은 적도 주변인 저위도 지역이고 극으로 갈수록 강수량이 적은 것으로 나오는데 이는 온도와도 관련이 있을 가능성이 있을 것으로 예측해보았다. 그 이유는 온도가 높은 지역에서는 대륙이나 해양으로부터의 수분증발량이 많아지고 그로 인해 상승 기류가 생기며 비가 내려 강수량이 증가한다는 이론을 연관 지은 것이다. 허나, 공기 중의 수증기가 응결핵을 만나서 비로 되기까지는 온도를 제외하고도 많은 복합적 요소들이 작용하고 복잡한 과정이 필요로 하기 때문에 단순히 온도가 높은 지역의 대기 수분 함량이 높다고 해서 그 지역에 비가 많이 내린다는 가정은 확실한 신뢰성은 주지 못한다. 그러나 지금까지의 강수량 변화 추세를 보면 강수량이 많은 지역은 향후에 더 많아질 전망이고 적은 지역은 향후에 더 적어질 전망이라는 것은 어느 정도의 신뢰성은 주고 있다. 이러한 강수량의 변화에 대한 예로 저위도에 위치한 동남아시아와 중부아프리카를 들 수 있다. 동남아시아는 과거에 비해 온도상승을 보이는 지역으로 본래 강수량이 많은 지역이기도 하다. 이 지역의 강수량의 변화를 살펴본 결과, 과거에 비해 강수량의 상승이 확인 되였고 실제로도 이 지역은 홍수로 인해 피해가 해를 거듭할수록 점점 더 증가할 것으로 보인다. 반면, 중부아프리카는 동남아시아와 같이 온도상승을 보이고 있으나 강수량이 적은 지역이며 과거에 비해 강수량이 더욱 감소한 것을 공간 패턴을 통해 알 수 있다. 이러한 변화들로 인해 중부아프리카의 사막화가 날이 갈수록 심해지고 있는 추세이다. 온도와 강수량의 상관 관계는 두 가지 요소만이 서로 영향을 주어 변하지 않음을 알 수 있다. 온도 증가라는 같은 조건에서 동남아시아는 강우량이 증가하였고 중부아프리카는 강우량이 감소하였다. 이를 통해 강수량은 다양한 요소에 의해 결정됨으로 이를 파악하는 것이 앞으로 기후 모델링을 함에 있어 가장 중요한 과제가 될 것이다.

**Conclusion**

본 기후 모델링의 결과, 가장 두드러진 내용은 지구온난화이다. 지역별, 반구별, 위도별, 계절별 등 다양한 기준에 따른 모델링을 통해 모두 점차적으로 온도가 상승할 것임을 확인 할 수 있었다. 본 모델링에 사용된 자료가 다소 부족하고 확실성이 떨어지는 관측 결과라 할지라도 이러한 패턴의 영향으로 지구 온난화로 인한 여러 자연 재해 등 기후 변화가 나타날 것으로 예측된다. 이번 모델링에서 온도와 함께 중심으로 다루었던 강수량의 경우, 인간 생활에 많은 영향을 주는 요소이며 기후 변화로 인해 많은 문제를 발생시키는 요소이지만 일정한 패턴을 가지고 있지 않아 미래 예측에 많은 난항을 초래하고 있다. 또한 온도와 강수량의 변화는 어느 한 지역에 국한되어 발생하는 것이 아니기 때문에 전 지구적 차원의 노력이 필요하다. 특히 온도와 강수량에 영향을 주는 요소를 파악하고 그 원인을 파악하고 상관성에 대하여 연구해야 하며 이러한 자료를 이용한 기후 모델링을 통해 미래 발생 가능한 문제를 예측하고 이를 대처하고 해결하기 위해 노력해야 한다. 기후 모델링에서 가장 중요한 실제 측정값을 많이 확보하기 위해 노력해야 하며 전 지구적 차원의 협력을 통해 기후 변화 문제에 접근해 나가야 할 것이다. 또한 기후 변화를 초래하는 인위적 요인과 자연적 요인을 모두 고려하여 보다 확실성 있는 접근이 필요할 것이다.

.

**Appendix**

1) Create a monthly/seasonal mean time series from the NCEP Reanalysis Dataset, NOAA

(http://www.esrl.noaa.gov/psd/cgi-bin/data/timeseries/timeseries1.pl)

2)Monthly/Seasonal Climate Composites, NOAA

(http://www.esrl.noaa.gov/psd/cgi-bin/data/composites/printpage.pl)