

기후변화개론

05. 기후변화와 부문별 영향 - 수자원



1. 전 지구적 물순환

물이란 기후시스템의 한 요소이며 동식물의 생명을 유지하게 하는 즉, 모든 생명체에 있어 필수적인 것입니다. 인간 시스템 유지에 있어서도 필수적인 물은 농업, 산업, 보건, 에너지 생산, 교통, 위락, 폐기물 등에 사용됩니다. 물순환과 기후, 그리고 인간의 관계를 살펴보고자 하겠습니다. 전지구적 물순환에는 인간 및 경제성장 그리고 소비패턴의 변화가 큰 영향을 줍니다. 인구 및 경제성장 및 소비패턴의 변화가 식량생산 및 토지이용을 변화시키고 또한 온실가스 방출로 인한 기후변화를 가져옵니다. 이와 같은 주요 변화가 물 이용 패턴을 변화시키고 이로 인해 전지구적 물순환은 영향을 받게 되는 것입니다.

전 지구적 물순환은 어떻게 이루어지고 있는지 살펴보겠습니다. 해양에서 증산된 물과 식생에 의해 증발된 물은 대기에 올라가 구름이 되고 구름이 강수의 형태로 내려오게 됩니다. 강수가 육상에 도달하면 일부는 토양에서 토양수분의 형태로 저장되고 나머지는 지표면에 유출 되거나 지하수 저장고로 이동 하게 되는 것입니다. 그럼, 지구상의 물은 어떻게 분포가 되어 있는지 알아보겠습니다. 지구상의 물은 97%가 해양에 있고 나머지 3%가 담수입니다. 3%의 담수 중 약 77%는 빙하 등 설빙권에 존재하며 22%는 지하수형태로 존재하는데 오직 1% 만이 지표수형태입니다. 지표수 1% 가운데 호수가 약 61%를 차지하고 하천에는 1% 미만의 물이 있습니다. 즉, 전지구 물분포에 있어 인간이 의존하고 있는 수자원의 부분은 매우 한정적이라고 할 수 있습니다.

2. 수자원 요소별 기후변화 영향

강수의 전지구적 평균 추세부터 살펴보겠습니다. IPCC 4차 보고서에 따르면 기후변화에 의해 북반구 중위도 및 고위도 지역에서는 강수량이 증가하고 남반구 열대 및 아열대 지역에서는 강수량이 감소한다고 하였습니다. 그리고, 전반적으로 강수의 강도가 커지는 것으로 관찰되어 왔습니다. 기후변화 모형에 의한 강수의 추세는 전 지구적 강수량의 변화는 기후 모델별로 차이가 많습니다. 하지만 기후변화에 의한 강수량의 변화를 예측하기란 쉬운 일이 아닙니다. 왜냐하면 강수량은 자연적인 시간적 변동량이 크고 지역의 지형이나 기후에 의해 큰 영향을 받기 때문입니다. 평균적으로 볼 때 강수량의 변동 폭이 큰 지역은 고위도 지역, 몇 개의 적도 지역, 그리고 동남아시아라고 볼 수 있습니다.

육상에서의 증발이란 강, 호수, 토양, 식물의 증산 활동에서 일어나는 현상을 말합니다. 이러한 증발에 영향을 주는 요소로는 기상요소와 식생요소들이 있는데, 기상요소에는 복사량, 공기 중 습도, 풍속, 온도가 해당되며, 식생요소에는 식생 피복 정도와 형태가 있습니다. 기후변화는 식물생리학적 변화 등 증발의 여러 과정에 지대한 영향을 줄 수 있습니다. 여기서 식물생리학적 변화는 기공을 통해 이산화탄소와 물이 식물과 공기 사이를 교환하게 되는데, 대기 중 이산화탄소 농도의 증가는 기공을 열어놓는 시기를 단축 시켜 기공이 열림으로 인해 일어날 수 있는 식물체 내의 수분 증발을 감소시킴으로써 식물체의 물 사용 효율을 증가시키는 것입니다. 그러나 기후변화가 유역 수준에서 증발의 증감에 미치는 영향은 아직 불확실한 상태입니다.

토양수분은 농업토양에서는 작물의 생장에 필수 요소이고, 지하수를 충전하며 지표 유출수의 양을 결정하는 역할을 합니다. 기후가 변화함에 따라 대기 중 온실가스 농도의 증가로 인해 북반구 중위도 지역 여름의 토양수분 함량이 감소되었다고 예측되었는데, 이는 높은 기온과 감소된 적설량 때문에 겨울과 봄의 증발량이 크고, 여름에는 감소된 강수량의 영향으로 볼 수 있습니다. 토양수분의 변화는 지역 기후와 토양의 특성에 따라라도 달라지는데, 토양의 수분함유 능력과 침투능력은 토양의 열기-냉기 순환에 영향을 받습니다.

기후변화에 의해 지하수는 어떤 영향을 받게 되는지 알아보겠습니다. 첫째, 기후변화로 인하여 지하수에 대한 인간의 수요는 더 커질 것으로 예상됩니다. 이는 인구 증가로 인해 물 수요량은 계속적으로 증가하는 반면 기후변화로 인하여 강수량 변동성이 커져서 지표수에만 의존할 수 없게 되기 때문입니다. 그러나 기후변화가 지하수에 미치는 영향에 관한 연구는 많지 않은 실정입니다. 또한 기후변화는 지하수 충전율에 영향을 주는데, 강수량 분포의 변화로 인해 지하수 충전이 봄에 많이 일어나다가 겨울로 충전 계절로 변화되고 있고, 가뭄으로 인해 여름의 지하수 충전율은 대폭 감소되는 경향을 보입니다. 뿐만 아니라 기후변화는 지하수에 염수 침입이나 이에 의한 지하수 오염을 가속화시킬 수도 있습니다. 기온 상승으로 인한 증발량이 증가하고 해수면 상승으로 인해 해안지대 지하수를 오염시키는 것이 그 예입니다.

강 유량에 대한 지금까지의 관찰을 살펴보면 기후변화에 따른 변화는 강수량의 변화와 일관성 있는 추세를 보입니다. 즉, 강수량의 증가가 있는 곳에서는 강 유량이 증가하고 감소하는 곳에서는 강 유량 역시 감소하고 있습니다. 인간에 의한 간섭, 예를 들면 토지이용의 변화나 수자원 관리의 변화, 그리고 강수의 자연적 변이 요소들 때문에 기후변화에 따른 강 유량의 변화를 하나의 추세로 정리하기는 힘이 듭니다. 빙하와 만년설이 녹음으로 인해 이 지역의 유출량이 증가하고 예년보다 빠른 침투 유출량이 관측 됩니다. 기후변화에 따른 강 유량의 변화를 예측하려면 일반적으로 4차시에서 학습한 전 지구 순환모형에 의해 예측하게 되지만 전 지구 모형을 유역 수준으로 다운스케일링 시켜 정확한 유량 변화를 예측하기는 상당히 어렵습니다.

이번에는 호수에 대한 설명입니다. 호수 생태계는 기후변화에 매우 민감하게 반응할 수 있습니다. 강수, 증발산, 호수의 결빙 등은 모두 기온, 강수량 및 다른 기상요소들에 의해 민감하게 영향을 받기 때문입니다. 또한 호수 수위 및 호수 크기는 강수에 의한 유입과 증발산의 변화에 영향을 받습니다. 미국의 솔트레이크, 아프리카의 빅토리아 호의 경우는 최근 증가된 강수량으로 인해 호수 크기가 커졌고 중국의 쿵하이 호수는 강수량의 감소로 인해 크기가 줄어들고 있는 것이 그 예가 될 수 있습니다. 여기에 덧붙여 고위도 지방의 빙하가 녹음으로 인해 빙하호의 크기가 커지거나 새로운 빙하호가 만들어짐을 또 하나의 예로 들 수 있습니다. 기후변화에 따른 호수의 수질은 어떤 변화가 있을지 알아보면 대기 중 증가된 이산화탄소 농도로 인해 호수 내 탄산의 농도가 증가하고, 기온 상승으로 인해 호수의 수온 구조의 변화가 올 수 있습니다.

앞에서 언급된 수자원들의 변화로 인한 재앙 즉, 홍수의 빈도를 어떻게 예측하고 있는지 알아보겠습니다. 우선 전 지구 순환모형은 기후변화로 인해 물순환의 속도가 점점 가속화되

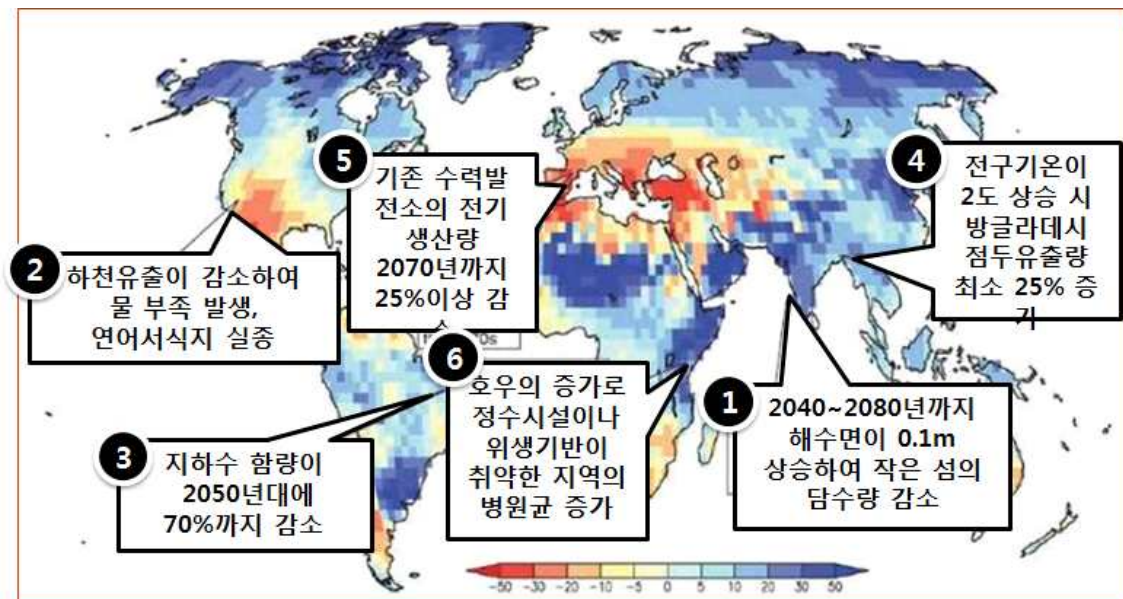
고, 이로 인해 가뭄, 홍수 등의 극한사상이 증가된다고 예측하고 있습니다. 그 원인으로는 강우의 세기와 지속시간이 긴 경우, 빙하나 만년설이 한꺼번에 녹는 경우, 제방이 무너진 경우, 눈사태나 산사태로 인해 한 지역이 막혀 물의 흐름이 방해 받는 경우로 보고 있습니다. 홍수의 유형에는 강 범람, 도시형 홍수, 연안 지대의 홍수 등이 있고, 이런 홍수에 영향을 주는 요인으로는 강우 강도, 강우량, 시기, 강의 평균 수위 등을 들 수 있습니다. 또한 전 지구 순환모형에 따르면 지구온난화로 인해 극한 강수사상이 증가될 것이라는 예측도 있습니다. 강수의 세기가 전지구적으로 증가하였으며, 특히 중위도 및 고위도 지역에서 더 많이 관찰되었습니다. 그리고 인간이 연안이나 강 하류에 정주함으로 인해, 홍수관련 계획이나 대응의 부재로 인하여 홍수의 위험은 더 커진다고 말할 수 있습니다. 그 사례로는 북구 유럽이나 동부유럽의 경우 홍수 빈도가 높아진다고 예측되고 있고 캐나다 온타리오 지역은 눈 녹음으로 인한 홍수는 감소되는 반면, 강우에 의한 홍수 빈도가 증가될 것으로 예측되고 있습니다. 유럽이나 아시아 몬순 지역에서의 강수량 자체의 증가로 인해 홍수 발발 가능성이 증가된다고 예측되었습니다.

가뭄이란, 홍수에 비해 정량적으로 정의하기 힘들고 물 사용 주체나 보는 관점에 따라 다음의 여러 유형으로 분류할 수 있습니다. 기상학적 가뭄이란 강수량이 평균 이하인 경우, 수문학적 가뭄은 강, 호수, 및 지하수의가 평균 이하인 경우, 농업적 가뭄은 토양 수분량이 작물 생장에 필요한 양 이하인 경우를 말합니다. 그리고 환경적 가뭄은 위의 모든 것을 포괄하는 개념입니다. 가뭄의 사회경제적인 영향은 토지이용이나 토지피복도, 수자원 수요량이나 이용량 등 인간에 의한 요인에 의해 변화될 수 있습니다.

가뭄의 빈도에 있어 지구 순환모형은 저위도 지역이나 중위도 내륙지역의 여름철에 가뭄의 빈도가 증가될 수도 있다고 예측하고 있습니다. 여름철 남부 유럽의 강수량 감소는 기온의 증가로 인한 증발량의 증가의 영향과 맞물려 극심한 토양수분의 감소를 가져왔고 이는 가뭄의 빈도와 세기가 더 심해질 수 있음을 보여주고 있습니다. 또한 고위도지역(연평균 기온이 0°C 이하)에서는 강수가 눈보다는 비의 형태로 더 많이 내리게 되고, 눈 녹음의 시기가 더 앞당겨짐에 따라 물 수요가 높은 여름과 가을에 눈 녹음으로 인해 유지되었던 호수나 저수지가 가뭄에 시달릴 수도 있다고 합니다.

이렇게 수량이 감소하고 증가함이 변하면 수자원의 수질은 어떤 영향을 받게 될지 알아보겠습니다. 높아진 수온과 유출수의 변화가 수질에 영향을 미침으로 인하여 인간 건강, 생태계 및 수자원 이용에 영향을 미치게 될 것입니다. 높은 수온에서는 휘발성 화합물인 암모니아, 수은, 다이옥신, 살충제 등이 다양으로 대기에 유입될 수 있습니다. 또한 적조를 촉진하고, 미생물 성장 촉진될 수 있으며 이로 인하여 수처리 시설의 업그레이드가 필요하게 됩니다. 수위에 따라서도 수질은 변하게 됩니다. 유출수의 증가가 토양으로부터 다량의 오염물질을 씻어내려 수체로 유입시키는 결과를 낼 수도 있고, 수위의 저하가 하천침적물의 재부유를 시키게 되어 수질에 영향을 줄 수 있습니다. 그리고 염분농도의 변화가 일어나는데 강수량 감소로 인해 강 유량이 감소하게 되면 연안지역에서 염수의 담수 침투가 생길 수도 있는 것입니다. 마지막으로 수인성 질병이 발생한다는 것입니다. 즉, 강우량 증가에 따른 수인성 질병의 증가와 가뭄이 극심한 지역에서도 설사나 다른 수인성 질병이 증가할 수도 있습니다.

아래 그림은 지속가능한 발전에 위협이 되는 담수에 대한 미래 기후변화의 영향을 SRES A1B시나리오를 사용하여 연간 유출의 평균변화를 보여주고 있습니다. 푸른색은 유출이 증가하는 지역이며, 붉은 색은 감소하는 지역입니다. 그럼, 각 지역별로 어떤 전망을 할 수 있을지 살펴보겠습니다. 첫 번째 지역은 2040~2080년까지 해수면이 0.1m 상승하여 작은 섬의 담수량을 감소시킬 것으로 전망되고 있습니다. 두 번째 지역은 하천유출이 감소하여 물 부족 발생, 연어식지 실종. 세 번째 지역은 지하수 함량이 2050년대에 70%까지 감소. 네 번째 지역은 전구기온이 2도 상승한다면, 방글라데시 점두유출량이 최소 25% 증가할 것입니다. 다섯 번째 지역은 기존 수력발전소의 전기 생산량이 2070년까지 25%이상 감소. 마지막 이 지역은 호우의 증가로 정수시설이나 위생기반이 취약한 지역에서 병원균이 증가할 것입니다.



[SRES A1B 시나리오 - 연간 유출의 평균 변화]

참고 문헌

Illustration by John M. Evans USGS, Colorado District
(<http://ga.water.usgs.gov/edu/watercyclegraphich1.html>)

