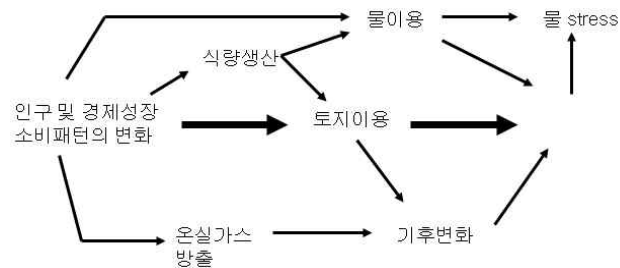


## &lt; 제5장 기후변화의 부문별 영향 - 수자원 &gt;

## 1. 전지구적 물순환

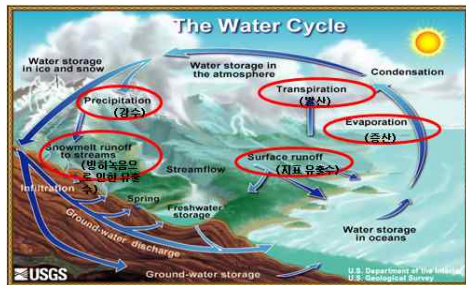
- ✓ 물은 모든 생명체에 있어 필수적
  - 기후시스템의 한 요소, 동식물 생명 유지
- ✓ 인간 시스템 유지에 있어서도 필수적
  - 농업, 산업, 보건, 에너지 생산, 교통, 위락, 폐기물 등



&lt;그림 1&gt; 물순환 개념도

## 가. 전지구 물 분포

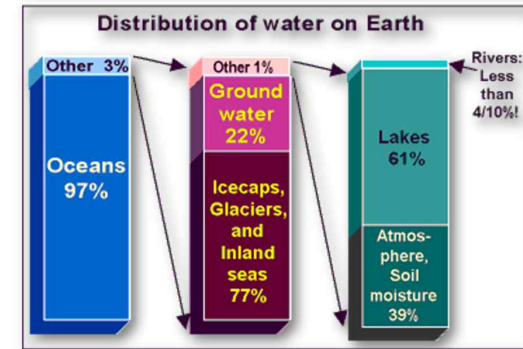
- ✓ 97%는 해양에 있고 나머지 3%가 담수임.
- ✓ 3% 중 약 77%는 빙하 등 설빙권에 존재하고 22%는 지하수형태로 존재하며 오직 1%만이 지표수 형태로 존재하는 것임
- ✓ 지표수 1% 가운데 호수가 약 61%를 차지하고 하천에는 1% 미만의 물이 있음
- ✓ 즉, 전지구 물분포에 있어 인간이 의존하고 있는 수자원의 부분은 매우 한정적임



&lt;그림 2&gt; 물 순환

## 나. 전지구 물 순환

- ✓ 해양에서 증산된 물과 식생에 의해 증발된 물(증발산)은 대기에 올라가 구름이 되고 구름이 강수의 형태로 내려오게 됨
- ✓ 강수가 육상에 도달하면 일부는 토양에서 토양수분의 형태로 저장되고 나머지는 지표면에 유출(runoff)되거나 지하수 저장고로 이동 (groundwater recharge) 하게 됨



&lt;그림 3&gt; 지구의 물 분포

## 2. 수자원 요소별 기후변화의 영향

## 가. 강수

- ✓ 전지구적 평균 추세
  - 지금까지의 관찰
  - 북반구 중위도 및 고위도 지역에서의 강수량 증가
  - 북반구 및 남반구 열대 및 아열대 지역에서의 강수량 감소
  - 전반적으로 강수의 강도 (한번에 내리는 강수량)가 커지는 것으로 관찰됨
- ✓ 기후변화 모형에 의한 지식
  - 전지구적 강수량의 변화는 기후 모델별로 차이가 많다. 하지만 기후변화에 의한 강수량의 변화를 예측하기란 쉬운일이 아니다. 왜냐하면 강수량은 자연적인 시간적 변동량이 크고 지역의 지형이나 기후에 의해 큰 영향을 받기 때문이다.
  - 평균적으로 볼 때 강수량의 변동 폭이 큰 지역은 고위도 지역, 몇 개의 적도 지역, 그리고 동남 아시아라고 볼 수 있다.

## ✓ 기후변화에 의한 영향

- 강수량 변동폭의 증가
- 집중 호우의 증가
- 강설량의 감소, 강우량의 증가

## 나. 강수

## ✓ 육상에서의 증발

- 강,호수, 토양, 식물의 증산 활동
- 기후변화는 증발의 여러 과정에 지대한 영향을 줄 수 있음

## ✓ 증발에 영향주는 요소

- 기상요소: 복사량, 공기 중 습도, 풍속, 온도
- 식생요소: 식생 피복 정도(임관의 개폐 정도), 식생의 형태(침엽수나 활엽수나)
- 식물 생리적 요소: 기공을 통해 이산화탄소와 물이 식물과 공기사이를 교환하게 되는데, 대기중 이산화탄소 농도의 증가는 기공을 열어놓는 시기를 단축시켜 기공이 열림으로 인해 일어날 수 있는 식물체 내의 수분 증발을 감소시킴으로써 식물체의 물사용효율을 증가시킬 수 있음. 그러나 대기중 높은 이산화탄소의 농도는 식물 성장을 촉진시켜 더 많은 잎면적을 만들어 내므로 물사용효율의 증가와 식물체의 생물량의 증가는 서로 역비례 관계가 있음
- 기후변화가 유역 수준에서 증발의 증감에 미치는 영향은 아직 불확실한 상태임

## 다. 토양 수분

## ✓ 토양수분의 중요성

- 농업토양에서는 작물의 성장에 중요, 지하수 충전, 지표 유출수의 양을 결정

## ✓ 기후변화에 따른 변화

- 대기중 온실가스 농도의 증가로 인해 북반구 중위도 지역 여름의 토양수분 함량이 감소되었다는 예측
- 높은 기온과 감소된 적설량 때문에 겨울과 봄의 증발량이 크고, 여름에 감소된 강수량 때문임

## ✓ 토양수분의 변화는 지역 기후와 토양의 특성에 따라서도 달라짐

- 토양의 수분함유 능력 (soil water holding capacity)과 침투능력(infiltration capacity)은 토양의 얼기-녹기 순환(freeze and thaw cycle)에 따라서도 영향을 받음

## 라. 지하수

## ✓ 기후변화로 인하여 지하수에 대한 인간의 수요는 더 커질 것으로 예상됨

- 이는 인구 증가로 인해 물 수요량은 계속적으로 증가하고 있는데 기후변화로 인하여 강수량 변동성이 커져서 지표수에만 의존할 수 없게 되기 때문임
- 그러나 기후변화가 지하수에 미치는 영향에 관한 연구는 많지 않은 실정임

## ✓ 기후변화는 지하수 충전율에 영향을 줌

- 강수량 분포의 변화로 인해 지하수 충전이 봄에 많이 일어나다가 겨울로 충전 계절이 변화되고 여름의 지하수 충전율은 가뭄으로 인해 대폭 감소되는 경향을 보임

## ✓ 기후변화는 지하수에 염수 침입이나 이에 의한 지하수 오염을 가속화 시킬수도 있음

- 기온 상승으로 인한 증발량의 증가
  - 해수면 상승으로 인한 해안지대 지하수의 염수 오염
- 마. 강 유량 (river flows)

## ✓ 지금까지의 관찰

- 강유량의 기후변화에 따른 변화는 강수량의 변화와 일관성 있는 추세를 보임
- 강수량의 증가가 있는 곳에서는 강 유량이 증가하고 감소하는 곳에서는 강유량역시 감소함
- 인간에 의한 간섭, 예를 들면 토지이용의 변화나 수자원 관리의 변화, 그리고 강수의 자연적 변이 요소들 때문에 기후변화에 따른 강 유량의 변화를 하나의 추세로 정리하기는 힘들
- 빙하와 만년설이 녹음으로 인해 이 지역의 유출량이 증가하고 예년보다 빠른 침투 유출량의 관측이 됨

## ✓ 기후변화에 따른 강 유량의 변화 예측

- 일반적으로 전지구 순환모형(기후모형)에 의해 예측하게 됨
- 전지구 모형을 유역 수준으로 다운스케일링 시켜 정확한 유량 변화를 예측하기는 상당히 어려움

## 바. 호수

## ✓ 호수 생태계는 기후변화에 매우 민감하게 반응할 수 있음

- 강수, 증발산, 호수의 결빙 등은 모두 기온, 강수량 및 다른 기상요소들에 의해 민감하게 영향을 받기 때문

## ✓ 호수 수위 및 호수 크기

- 강수에 의한 유입과 증발산의 변화가 호수 수위 및 크기에 영향을 줌
- 미국의 슐트레이크, 아프리카의 빅토리아 호의 경우는 최근 증가된 강수량으로 인해 호수 크기가 커짐
- 중국의 툰하이 호수는 강수량의 감소로 인해 크기가 줄어들음
- 고위도 지방의 빙하가 녹음으로 인해 빙하호의 크기가 커지거나 새로운 빙하호가 만들어짐

## ✓ 호수 수질

- 대기중 증가된 이산화탄소 농도로 인해 호수 내 탄산의 농도가 증가
- 기온 상승으로 인해 호수의 수온 구조의 변화

## 사. 홍수의 빈도

## ✓ 전지구 순환모형은 기후변화로 인해 물순환의 속도가 점점 가속화되고, 이로 인해 가뭄, 홍수 등의 극한사상이 증가된다고 예측하고 있음

## ✓ 홍수의 원인:강우의 세기와 지속시간이 긴 경우, 빙하나 만년설이 한꺼번에 녹는 경우, 제방이

무너진 경우, 눈사태나 산사태로 인해 한 지역이 막혀 물의 흐름이 방해받는 경우

- ✓ 홍수의 유형: 강범람, 도시형 홍수, 연안 지대의 홍수 등
- ✓ 홍수에 영향주는 요인: 강우 강도, 강우량, 시기, 강의 평균 수위 등
- ✓ 전지구 순환모형에 따르면 지구온난화로 인해 극한 강수사상이 증가될 것이라고 예측하고 있음
  - 강수의 세기(총강수량/강수일자)가 전지구적으로 증가하였으며, 특히 중위도 및 고위도 지역에서 더 많이 관찰됨
  - 인간이 연안이나 강하류에 정주함으로 인해, 또 홍수관련 계획이나 대응의 부재로 인하여 홍수의 위험은 더 커진다고 말할 수 있음
- ✓ 사례
  - 북구 유럽이나 동부유럽의 경우 홍수 빈도가 높아진다고 예측됨
  - 캐나다 온타리오 지역은 눈녹음으로 인한 홍수는 감소되는 반면, 강우에 의한 홍수 빈도가 증가될 것으로 예측됨
  - 유럽이나 아시아 몬순 지역에서의 강수량 자체의 증가로 인해 홍수 발발 가능성이 증가됨

#### 아. 가뭄의 빈도

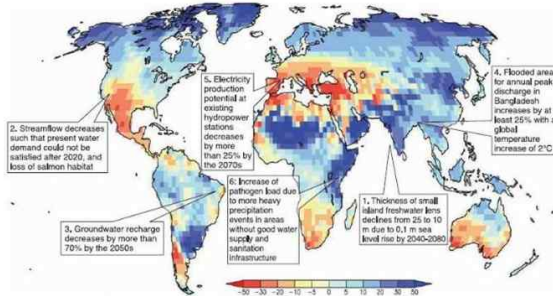
- ✓ 가뭄은 홍수에 비해 정량적으로 정의하기 힘들고 물 사용 주체나 보는 관점에 따라 다음의 여러 유형으로 분류할 수 있음
  - 기상학적 가뭄: 강수량이 평균 이하인 경우
  - 수문학적 가뭄: 강, 호수, 및 지하수의가 평균 이하인 경우
  - 농업적 가뭄: 토양 수분량이 작물 생장에 필요한 양 이하인 경우
  - 환경적 가뭄: 위의 모든 것을 포괄하는 개념
- ✓ 가뭄의 사회경제적인 영향은 토지이용이나 토지피복도, 수자원 수요량이나 이용량 등 인간에 의한 요인에 의해 변화될 수 있음
  - 예를 들어 지나치게 물을 많이 뽑아 쓰면 가뭄을 가속화 시킬수도 있는 것임
- ✓ 전지구 순환모형은 저위도 지역이나 중위도 내륙지역의 여름철에 가뭄의 빈도가 증가될 수도 있다고 예측하고 있음
- ✓ 여름철 남부 유럽의 강수량 감소는 기온의 증가로 인한 증발량의 증가의 영향과 맞물려 극심한 토양수분의 감소를 가져왔고 이는 가뭄의 빈도와 세기가 더 심해질 수 있음을 보여줌
- ✓ 고위도지역(연평균 기온이 0oC 이하)에서는 강수가 눈보다는 비의 형태로 더 많이 내리게 되고, 눈녹음의 시기가 더 앞당겨짐으로 인해 물수요가 높은 여름과 가을에 눈녹음으로 인해 유지되었던 호수나 저수지가 가뭄에 시달릴 수도 있음

#### 자. 수질

- ✓ 높아진 수온과 유출수의 변화가 수질에 영향을 미침으로 인하여 인간 건강, 생태계 및 수자원 이용에 영향을 미치게 될 것이다
- ✓ 높은 수온
  - 휘발성 화합물(암모니아, 수은, 다이옥신, 살충제 등)이 높은 수온으로 인해 더 많은 양이 대기로 유입될 수 있음
  - 적조(algal bloom)를 촉진, 미생물 성장 촉진
  - 수처리 시설의 업그레이드가 필요
- ✓ 수위의 변화에 따른 수질의 변화
  - 유출수의 증가가 토양으로부터 다량의 오염물질을 씻어내려 수체로 유입시키는 결과를 낼 수도 있음
  - 수위의 저하가 하천침적물의 재부유를 시키게 되어 수질에 영향을 줄수있다
- ✓ 염분농도의 변화
  - 강수량 감소로 인해 강 유량이 감소하게 되면 연안지역에서 염수의 담수 침투가 생길 수도 있음
- ✓ 수인성(물관련) 질병
  - 강우량 증가에 따른 수인성 질병의 증가
  - 가뭄이 극심한 지역에서도 설사나 다른 수인성 질병이 증가할 수도 있음

#### 차. 담수에 대한 기후변화 전망

- ✓ 이 그림은 지속가능한 발전에 위협이 되는 담수에 대한 미래 기후변화의 영향을 SRES A1B시나리오를 사용하여 연간 유출의 평균변화를 보여주고 있다.
- ✓ 푸른색은 유출이 증가하는 지역이며, 붉은 색은 감소하는 지역으로 각각 다음과 같은 전망을 설명하고 있다.
  - a) 2040~2080년까지 해수면이 0.1m 상승하여 작은 섬의 담수량을 감소시킬 것으로 전망되고 있다.
  - b) 하천유출이 감소하여 물 부족이 발생하고 연어서식지가 사라질 것으로 전망되고 있다.
  - c) 지하수 함량이 2050년대에 70%까지 감소될 것으로 전망되고 있다.
  - d) 전지구온이 2도 상승한다면, 방글라데시 점두유출량이 최소 25% 증가할 것이다.
  - e) 기존 수력발전소의 전기 생산량이 2070년때까지 25%이상 감소할 것이다.
  - f) 호수의 증가로 정수시설이나 위생기반이 취약한 지역에서 병원균이 증가할 것이다.



<그림 4> 담수 기후 전망도

#### 카. 극한사상에 따른 영향 전망

✓ 기후변화에 따른 수자원 변동은 다음표에 볼 수 있듯이 농업, 임업, 생태계, 수자원 등 여러 부문에 영향을 미치게 되는 것으로 전망되고 있다.

현상*과 경향	SRES 시나리오를 이용한 21세기 전망에 근거한 미래 경향 가능성	부문별 전망되는 주요 영향의 예			
		농업, 임업, 생태계	수자원	보건	산업, 거주, 사회
대부분의 지역에서 호우빈도 증가	매우 가능성 높음	농작물 손상; 토지침식, 토지 침수로 인한 재배지 축소	지표 및 지하수질 저하; 염수 침입 (수급)문제 증가	사망, 상해, 전염병, 호흡기질환, 피부질환 위험 증가	홍수에 의한 거주, 상업, 운송, 사회 붕괴; 도시 및 시골 기반시설문제 가중; 재산피해
가뭄 지역의 증가	가능성 있음	불모지 증가, 저생산/농작물 손상과 실패; 가축사육 증가; 화재위험 증가	물(수급)문제의 확대	식량 및 물 부족 증가; 영양부족 위험 증가; 수인성 및 식량매개 질병 위험 증가	거주, 산업, 사회부문 물 부족; 수자원 발생 가능성 감소; 인구이동 가능성
강한 열대저기압 활동의 증가	가능성 있음	농작물 손상; 바람에 의한 나무의 뿌리째 뽑힘; 산사호 손실	공용물 공급 정지	사망, 상해, 수인성 및 식량매개 질병 위험 증가; 외상으로 인한 질병	홍수와 강풍에 의한 붕괴; 개인적 복구에 취약한 지역의 위험 증가; 인구이동 가능성; 재산피해
이상 고조위 발생의 증가 (쓰나미 제외)	가능성 있음 <sup>d</sup>	관개용수, 조수의 출입이 있는 강어귀, 민물계의 염수침입	염수 침입으로 인한 민물용수 감소	역사 및 상해 위험 증가; 이주에 의한 보건영향	토지이용 재배지비용 대비 해안지역보호비용; 인구 및 기반시설 이동 가능성; 열대저기압 현상과 유사

<그림 5> 기후변화에 따른 여러 분야의 변화 전망