

기후변화 영향평가 및 적응

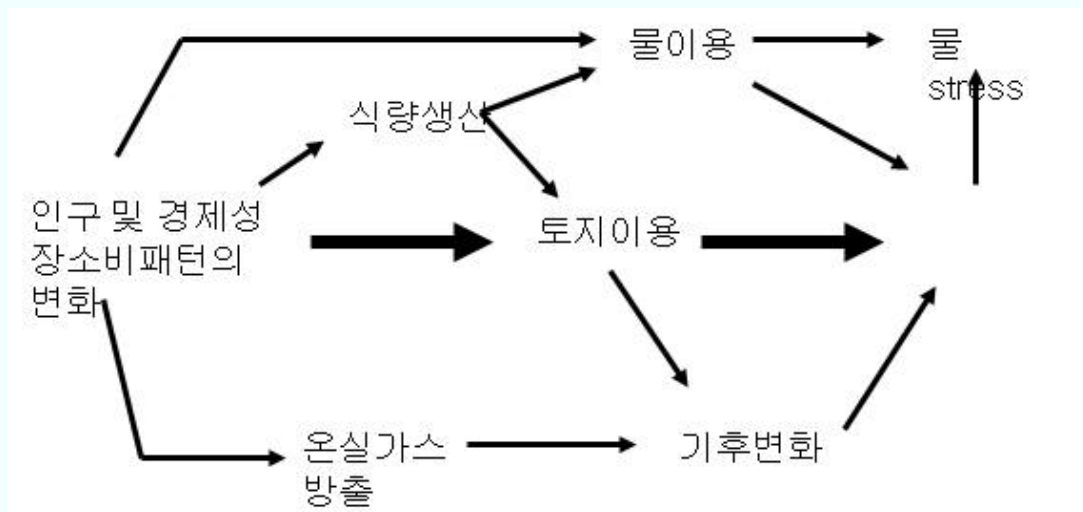
09. 수자원부문의 기후변화 취약성 및 적응



1. 전지구적 물순환

1.1 물의 중요성

- 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

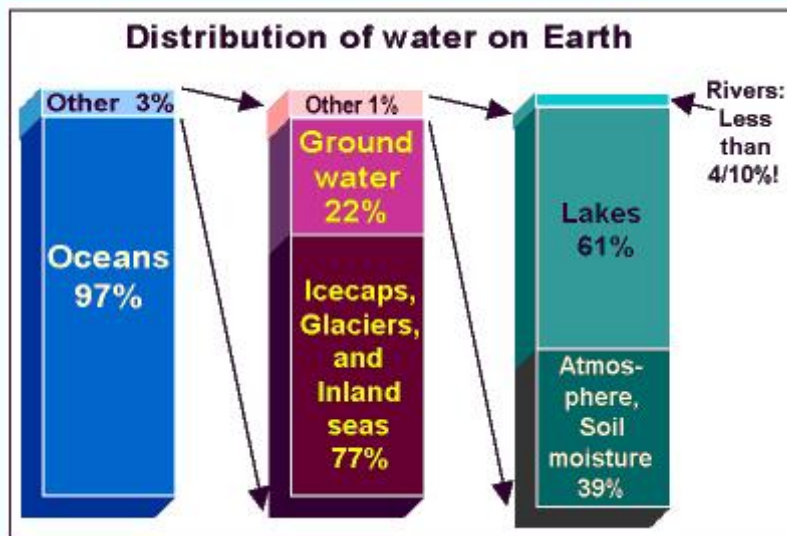


<그림 9-1> 물순환 과정 및 요인별 영향 관계

<그림 9-1>은 물순환에 **관여하는** 여러 요인들 간의 관계를 보여준다. 인구 및 경제성장은 식량 생산, 토지이용 및 온실가스 배출에 영향을 주고, 이 세 가지 모두가 토지이용의 변화나 기후변화를 통해 물순환에 영향을 주게 된다.

1.2 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 지표수형태로 존재하는 것임
- 지표수 1% 가운데 호수가 약 61%를 차지하고 하천에는 1% 미만의 물이 있음
- 전지구 물 분포에 있어 인간이 의존하고 있는 수자원의 부분은 매우 한정적임



<그림 9-2> 전지구상의 물 분포

1.3 전지구 물순환의 설명

- 증발된 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

2. 수자원 요소별 기후변화의 영향

2.1 강수

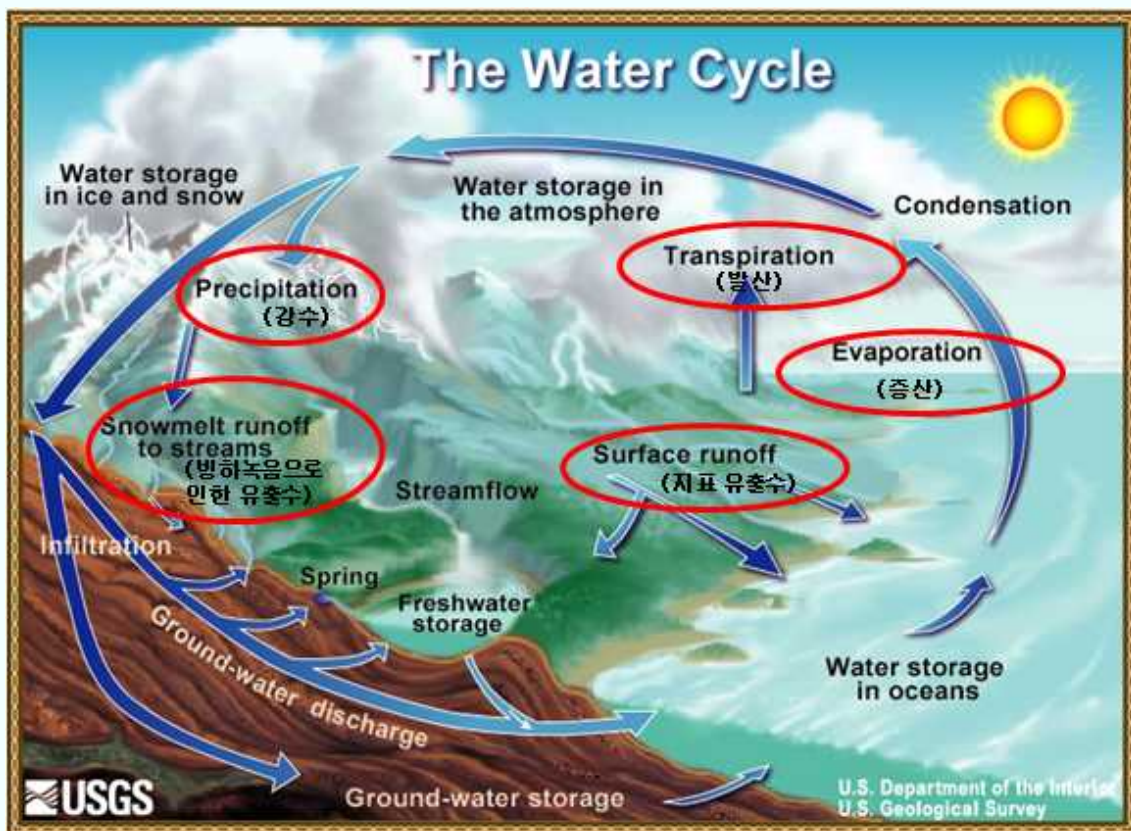
- 전지구적 평균 추세
 - 지금까지의 관찰을 종합하면, 북반구 중위도 및 고위도 지역에서의 강수량 증가
 - 북반구 및 남반구 열대 및 아열대 지역에서의 강수량 감소
 - 전반적으로 강수의 강도 (한번에 내리는 강수량)가 커지는 것으로 관찰됨

- 기후변화 모형에 의한 지식

전지구적 강수량의 변화는 기후 모델별로 차이가 많다. 하지만 기후변화에 의한 강수량의 변화를 예측하기란 쉬운 일이 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 동남아시아라고 볼 수 있다.

- 기후변화에 의한 영향

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



<그림 9-3> 물순환

2.2 증발산

- 육상에서의 증발

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

- 증발에 영향을 주는 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, 대기 중 이산화탄소 농도의 증가는 기공을 열어놓는 시기를 단축시켜 기공이 열림으로 인해 일어날 수 있는 식물체 내의 수분 증발을 감소시킴으로써 식물체의 물사용 효율을 증가시킬 수 있음. 그러나 대기 중 높은 이산화탄소의 농도는 식물 성장을 촉진시켜 더 많은 잎 면적을 만들어 내므로 물사용 효율의 증가와 식물체의 생물량의 증가는 서로 역 비례 관계에 있음
- 기후변화가 유역 수준에서 증발의 증감에 미치는 영향은 아직 불확실한 상태임

2.3 토양 수분

- 토양수분의 중요성
 - 농업토양에서는 작물의 생장에 중요, 지하수 충전, 지표 유출수의 양을 결정
- 기후변화에 따른 변화
 - 대기 중 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

2.4 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 가속화시킬 수도 있음
 - 기온 상승으로 인한 증발량의 증가
 - 해수면 상승으로 인한 해안지대 지하수의 염수 오염

2.5 강 유량 (river flows)

- 현재까지의 관찰
 - 강 유량의 기후변화에 따른 변화는 강수량의 변화와 일관성 있는 추세를 보임

- 강수량의 증가가 있는 곳에서는 강 유량이 증가하고 감소하는 곳에서는 강 유량 역시 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

2.6 호수

- 호수 생태계는 기후변화에 매우 민감하게 반응할 수 있음
 - 강수, 증발산, 호수의 결빙 등은 모두 기온, 강수량 및 다른 기상 요소들에 의해 민감하게 영향을 받기 때문임
- 호수 수위 및 호수 크기
 - 강수에 의한 유입과 증발산의 변화가 호수 수위 및 크기에 영향을 줌
 - 미국의 솔트레이크, 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 생성됨
- 호수 수질
 - 대기 중 증가된 이산화탄소 농도로 인해 호수 내 탄산의 농도가 증가
 - 기온 상승으로 인해 호수의 수온 구조의 변화

2.7 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 영향 주는 요인: 강우 강도, 강수량, 시기, 강의 평균 수위 등
- 전지구 순환모형에 따르면 지구온난화로 인해 극한 강수사상이 증가될 것이라고 예측함
 - 강수의 세기(총강수량/강수일자)가 전 지구적으로 증가하였으며, 특히 중위도 및 고위도 지역에서 더 많이 관찰됨
 - 인간이 연안이나 강 하류에 정주함으로 인해, 또 홍수관련 계획이나 대응의 부재로 인해 홍

수의 위험은 더 커진다고 할 수 있음

- 사례

- 북구 유럽이나 동부유럽의 경우 홍수 빈도가 높아진다고 예측됨
- 캐나다 온타리오 지역은 눈 녹음으로 인한 홍수는 감소되는 반면, 강우에 의한 홍수 빈도가 증가할 것으로 예측됨
- 유럽이나 아시아 몬순 지역에서의 강수량 자체의 증가로 인해 홍수 발생 가능성 증가함

2.8 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 가속화시킬 수 있음

- 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 0℃ 이하)에서는 강수가 눈보다는 비의 형태로 더 많이 내리게 되고, 눈 녹음의 시기가 더 앞당겨짐으로 인해 물수요가 높은 여름과 가을에 눈 녹음으로 인해 유지되었던 호수나 저수지가 가뭄에 시달릴 수도 있음

2.9 수질

- 높아진 수온과 유출수의 변화가 수질에 영향을 미침으로 인하여 인간 건강, 생태계 및 수자원 이용에 영향을 미치게 될 것임

- 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 낳을 수도 있음

- 수위의 저하가 하천침적물의 재부유를 시키게 되어 수질에 영향을 줄 수 있음
- 염분농도의 변화
 - 강수량 감소로 인해 강 유량이 감소하게 되면 연안지역에서 염수의 담수 침투가 생길 수도 있음
- 수인성(물 관련) 질병
 - 강수량 증가에 따른 수인성 질병의 증가
 - 가뭄이 극심한 지역에서도 설사나 다른 수인성 질병이 증가할 수도 있음