

■ 차시명: 기후변화가 수자원에 미치는 영향

■ 학습목표

- 수문학의 정의 및 수문순환과 우리나라 수자원에 대한 전반적인 이해도를 높인다.
- 물과 관련된 자연재해인 홍수와 가뭄에 대해 알아본다.
- 우리나라 수자원에 대한 기후변화 영향을 이해한다.

■ 학습목차

1. 수문학과 수자원
2. 물관련 재해(홍수와 가뭄)
3. 수자원에 대한 기후변화의 영향

■ 도입사례

‘<연합시론> 효율적인 물관리 대책 필요하다’

지구온난화에 따른 기후변화로 전세계적으로 물부족 문제가 심각해지고 있는 가운데 우리나라도 물부족에 따른 고통이 커지고 있다. 현재 전국적으로 제한 급수를 받는 주민이 40개 시군 12만1천여명에 달한다고 한다. 특히 지난해부터 이어지고 있는 가뭄으로 강원도 태백 지역은 두달 넘게 제한 급수를 실시하고 있으며 영남지방에서는 낙동강을 둘러싼 지자체 간 '물 분쟁'이 벌어지고 있다. 이달에는 평년보다 비가 적게 내리고 4월과 5월은 비슷할 것이라는 기상청 예보로 볼 때 가뭄에 따른 물부족 고통은 당분간 이어질 것으로 보인다. 이 같은 현상이 올해에 그친다는 보장은 없다. 지금 추세대로라면 앞으로 물부족 현상이 더욱 악화될 가능성은 충분히 있다. 예로부터 치수는 국가경영에서 가장 중요한 부분이었다. 정부 차원에서 다각적인 대책 마련이 시급하다.

국토해양부에 따르면 우리나라의 수자원 총량은 2003년 기준 1천240억t이다. 인구 규모와 산업규모 등을 고려하면 모자라는 것은 아니나 이중 절반 가량이 자연적으로 손실돼 실제 이용량이 적다는 것이 문제다. 국제인구행동연구소(PAI)는 자연하천수에 물 공급을 의존하고 광범위한 지역에서 물 공급 문제가 발생하는 나라를 '물 스트레스' 국가로 규정하고 있는데 우리도 이에 해당한다. 특히 우리나라는 하천수 취수율이 36%에 달해 가뭄이 심해지면 곧바로 물 이용에 차질을 빚게 되고 수질관리도 어렵게 된다. 우리나라는 홍수기에 수자원을 확보해야 하는데 물을 저장할 댐이 태부족한 것이 현실이다. 댐이 모자라 아까운 물을 흘려보내고 물부족에 시달리고 있는 것이다. 신규 댐을 건설해야 한다는 목소리가 높지만 환경단체 등의 반발로 지난 10년 동안 댐다운 댐을 하나도 짓지 못한 상황이다.

어느 분야에서나 개발과 환경보존은 대립하기 마련이다. 환경파괴가 무서워 갈수록 심각해지는 물부족 사태를 방관만 할 수는 없다. 환경파괴를 최소화하는 선에서 대책을 마련해야 할 것이다. 환경을 생각한다면 대규모 댐 대신 중소규모의 댐을 짓는 것이 바람직할 것이다. 신규 댐 건설과는 별도로 기존에 설계됐던 댐의 저수 용량을 늘리고 전국적으로 1만8천여개에 달하는 농업용 댐을 개조하는 방안도 추진할 수 있다. 농업용 댐 개조 작업은 신규댐 건설과 달리 보상비를 지급해야 할 부담이 없고 사회적 저항도 덜할 것으로 보인다. 누수를 막는 일도 시급하다. 대도시는 누수율이 10% 이하지만 지방에서는 누수율이 40% 이상인 곳이 17군데나 된다고 한다. 상수도관 정비부터 서둘러야 할 것이다. 정부는 하천정비, 수도관 개선, 수질보존 인프라 확충, 해수담수화 등의 대책을 내놓고 있는데 시급히 시행해야 할 것이다.

물부족 현상을 완화하기 위해서는 국민들의 의식 변화도 필요하다. "물 쓰듯 하다"라는 표현에서 볼 수 있듯이 우리는 물이 아껴야 하는 소중한 자원이라는 의식이 별로 없었던 것이 사실이다. 우리나라가 물부족 국가이며 이대로 가다가는 우리 후손들이 엄청난 고통을 당하게 된다는 사실을 인식하고 일상 생활에서 아무 생각없이 물을 펄펄쓰는 일은 삼가야 한다. 정부는 이를 위해 지속적으로 대국민 캠페인을 벌이는 것이 필요하다. 대규모 시설에서 빗물을 이용하거나 한 번 쓴 물을 재활용하도록 제도적인 장치를 마련하는 것도 도움이 될 것이다. 22일은 유엔이 정한 '세계 물의 날'이다. 지난 16일부터 터키 이스탄불에서는 제5회 세계 물포럼이 열려 전세계적인 차원에서 물부족 문제가 논의되고 있다. 물의 소중함과 물부족의 심각성을 생각하는 계기가 돼야 할 것이다.

(자료: 연합뉴스, 2009.3.20)

이와 같은 기후변화로 인한 효율적인 물관리 대책이 시급한 시점에서 기후변화에 대한 이해와 이에 대한 수자원의 영향을 파악하는 것은 무엇보다 중요하다 하겠다.

■ 학습내용

1. 수문학과 수자원

1) 수문학의 정의와 수문순환

인간은 인간 삶에 필수불가결한 물을 찾고 관리하기 위하여 물의 순환과정을 과학적으로 규명하려는 노력을 기울여 왔다. 수문학(水文學)은 “물의 학문”으로 이러한 물의 순환과정(수문순환)과 관련하여 지구상에서 물의 생성, 분포, 이동, 특성 등을 규명하는 것으로 정의 할 수 있다.

수문순환 과정은 대기 중의 수증기가 응결되어 구름을 형성하고, 형성된 구름이 비,

눈, 우박 등의 형태로 강하하며, 수면이나 지표면으로부터 증발이 발생하고, 식물들의 증산작용으로 대기 중으로 수증기화 하게 된다. 한편 지상에 떨어진 물은 지하로 침투되어 지하수 흐름을 발생하거나 두께가 얇은 표층수로 가까운 하천이나 강으로 흘러들어가게 되고 최종적으로 바다로 흘러들어가게 되는데 이러한 현상을 각각 지표수 및 지하수 유출이라고 한다. 그림 1은 이러한 수문순환을 보여주고 있다.

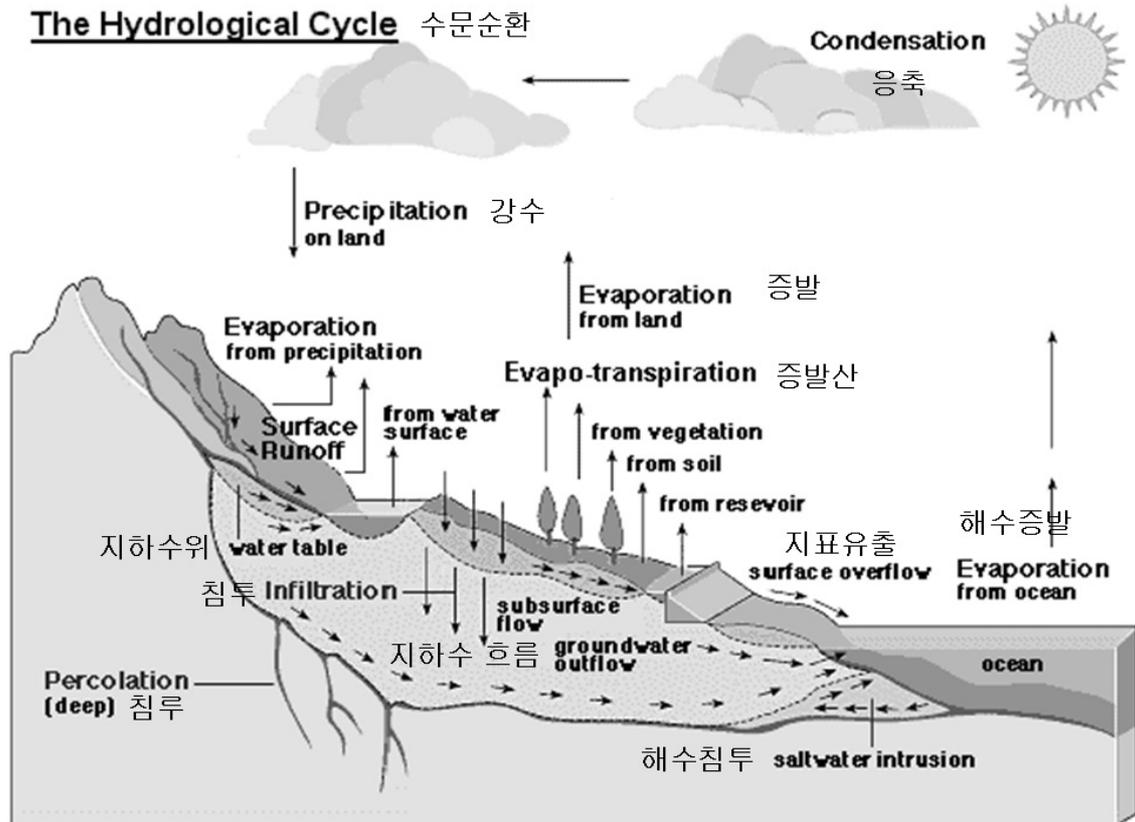


그림 1 수문순환

2) 지구상의 물

지구상에 존재하는 물의 분포는 아래 표와 같으며 표에서 보는바와 같이 해양의 총 저장량이 지구 상의 총수량의 97.5%에 달하며 우리가 사용할 수 있는 담수(fresh water)량은 약 2.5% 밖에 되지 않는다. 그러나 이중에서도 인간이 비교적 쉽게 사용할 가능한 양은 저수지, 강 등으로 한정되어 있으며 그 양은 0.64%에 지나지 않는다.

표 1 지구 상의 물의 분포

구분	저장량(1000 km ³)	분포(%)
대기층	13	0.0001
해양	1,350,000	97.54
호소(염수/담수)	105 / 125	0.007/0.009
강	1.7	-
저수지	2.5	-
빙하	25,000	1.806
식생	무시	-
지하수 및 토양수	8,822	0.635
합계	1,384,000	100

3) 수자원부존량과 이용현황

물은 인간의 삶을 영위하는데 있어서 필수 불가결한 존재로 자원으로 취급하여 수자원이라 칭한다. 일반적으로 수자원은 인간이 이용 가능한 수자원량의 개념으로 수자원 부존량이란 표현을 사용하게 되는 데 강수량의 많고 적음에 따라 크게 영향을 받게 된다. 우리나라의 연평균 강수량은 1,283 mm로 세계 평균 973 mm의 약 1.3 배이나 인구 1인당 연강수 총량은 2,705 m³으로 세계 평균 약 26,800 m³의 약 1/10에 불과하여 1인당 강수량과 이용 가능한 수자원이 적음을 알 수 있다. 아래 그림 2는 세계 주요 국가별 수자원 현황을 보여주고 있다.

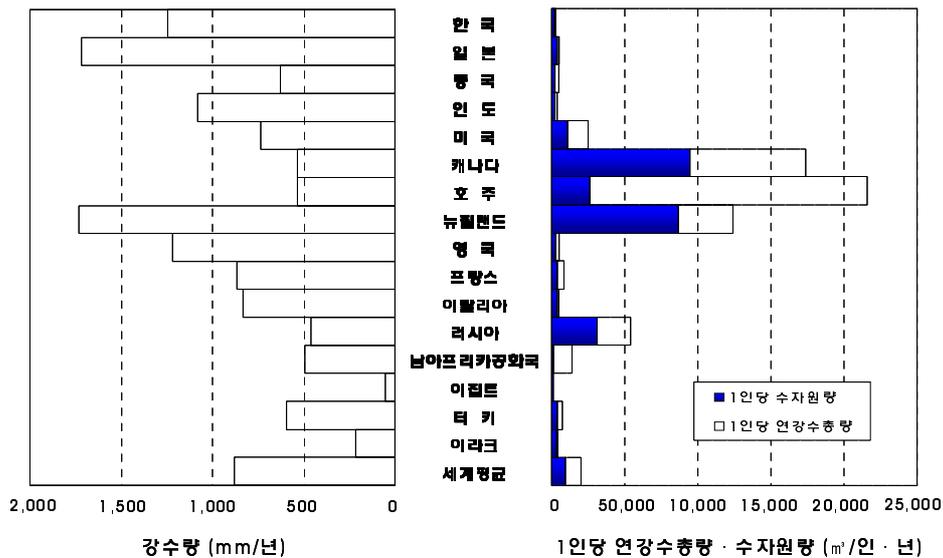


그림 2 세계 주요 국가별 수자원 현황 (수자원장기종합계획, 2006)

우리나라의 수자원 최상위 계획인 수자원장기종합계획(2006-2020)에 의한 2003년 기준의 수자원 부존량과 용수이용 현황을 그림 3에서 보여주고 있다. 그림에서 연평균 강수총량 1,240억 m^3 이고 이중 58%에 해당하는 양이 하천유출량이며 나머지 42%가 손실되는 양임을 알 수 있다. 그림에서 수자원 총량은 남한의 연평균강수량과 국토면적을 곱한 수량이며 하천유출량은 화천댐 상류의 북한지역 유입량 434백만 m^3 과 임진강의 북한유역에서 유입되는 역외유입량 1,700백만 m^3 이 포함된 수량이다. 지하수 이용량의 경우는 제주도 지하염수 이용량 1,472백만 m^3 이 제외된 수량이다.

주목할 만한 사실은 하천유출량 중 72%에 해당하는 522백만 m^3 이 홍수시 유출되어 수자원관리가 하천수와 지하수 보다는 댐에 대한 의존도가 높은 편으로 총 용수공급량의 52.5%가 댐에 의해 공급되고 있다. 이와 같은 용수수요에 대한 공급 상황을 살펴보면 하천수이용량은 123억 m^3 으로 강수총량의 10%를 차지하고 있으며, 댐에 의한 공급량은 177억 m^3 으로서 강수총량의 14%를 차지하여 이 두 가지가 수자원이용량의 대부분을 차지하고 있음을 알 수 있다. 또한 지하수 이용량은 37억 m^3 으로 강수총량의 3%, 전체 수자원 이용량의 11%정도를 차지하고 있다.

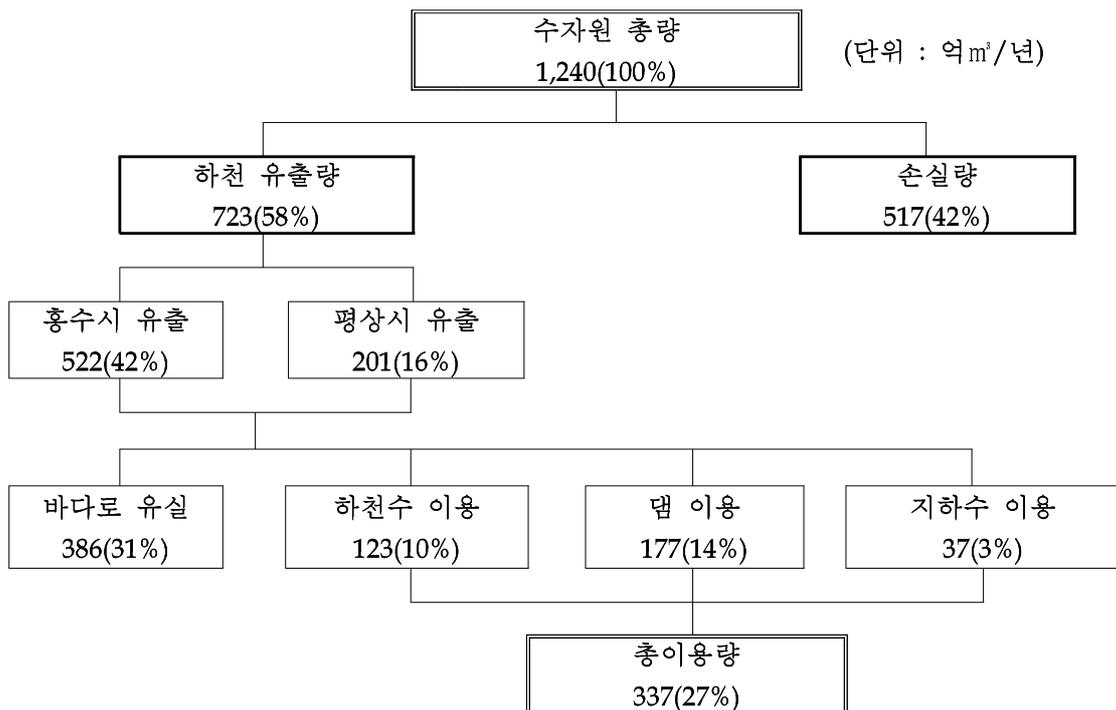


그림 3. 우리나라의 수자원 부존량과 용수이용현황(수자원장기종합계획, 2006)

4) 용수수요의 변화추이

그림 3에서 보는 바와 같이 337억^m의 물을 각종 용수로 이용되고 있으며 이 양은 연평균 강수총량 1,240억^m의 27%이고, 유출량 723억^m의 47%에 해당된다. 용도별로 살펴보면 농업용수가 160억^m으로서 총 용수이용량의 47%로 가장 많고 생활용수가 76억^m으로 23%이며, 공업용수는 8%인 26억^m을 사용하고 있는 것으로 나타났다. 한편 하천의 기능을 유지할 수 있도록 공급하고 있는 유지용수는 총 용수이용량의 22%인 75억^m을 이용하고 있다.

한편, 1965년도부터 2003년까지 수자원 이용의 변화를 살펴보면, 강수총량의 경우 1965년 1,100억^m이 2003년 현재 1,240억^m으로 1965년도에 비하여 140억^m이 증가하였다. 또한 총 이용량의 경우는 1965년 51.2억^m, 1980년 153억^m, 1990년 249억^m, 1994년 301억^m, 1998년 331억^m, 그리고 2003년 현재 337억^m으로 1965년도에 비해 약 286억^m이 증가하여 이용량의 비약적인 증가를 가져왔다. 연도별 수자원 부족량 및 이용현황의 변화는 아래 그림과 같으며 생활패턴의 변화와 경제성장, 하천환경에 대한 국민의 관심 등의 증가로 용수 패턴도 상당히 변화하고 있음을 알 수 있다.

표 2. 용수수요의 변화 추이 (단위 : 억^m/년)

구분 \ 연도	1965년	1980년	1990년	1994년	1998년	2003년
수자원 총량	1,100	1,140	1,267	1,267	1,276	1,240
총 이용량	51.2(100%)	153(100%)	249(100%)	301(100%)	331(100%)	337(100%)
생활용수	2.3(4%)	19(12%)	42(17%)	62(21%)	73(22%)	76(23%)
공업용수	4.1(8%)	7(5%)	24(10%)	26(8%)	29(9%)	26(8%)
농업용수	44.8(88%)	102(67%)	147(59%)	149(50%)	158(48%)	160(47%)
유지용수	-	25(16%)	36(14%)	64(21%)	71(21%)	75(22%)

2 물관련 재해 (홍수와 가뭄)

1) 홍수

일반적으로 홍수란 하천의 물이 불어 하천 제방이나 자연적으로 하천변에 형성된 독을 넘는 현상과 이로 인해 발생하는 피해를 말한다. 최근 세계적으로 가장 많은

재난을 일으키는 자연재해이며 일차적으로 인명과 재산(개인 또는 공공재산)의 피해를 발생시키며 이차적으로 사회간접자본의 피해, 수질오염, 질병, 사회기반시설의 피해에 따른 생산력 감소 등을 유발시키고 있다.

홍수 발생 원인은 고온다습한 기류가 유입되어 산맥에 부딪칠 때 국지적으로 발생하거나 태풍이나 저기압이 발달하여 발생하는 집중호우나 봄 또는 여름철 기온 상승으로 인해 발생하는 용설에 기인하는 것이 보통 이지만 높은 조수나 바람의 영향으로 바닷물이나 호수가 넘쳐 홍수가 나기도 하고 댐이나 방조제의 유실로 발생하기도 한다.

홍수는 ① 하상퇴적물의 누적으로 인한 하천의 유송능력과 저수능력이 저하된 상태에서 집중호우 시 발생하는 하천범람형 홍수 ② 강우량이 도심 배수망의 처리능력을 초과할 때 유수가 역류하여 발생하거나 불투수역의 증가로 침투량이 줄고 침투홍수량이 증가하는 현상하여 발생하는 도시형 홍수 ③ 의정부나 동두천과 같은 분지형지역에서 유수가 다량으로 유입될 때 발생하는 분지형 홍수 ④ 급경사의 계곡에 집중호우가 발생할 때 순식간에 계곡의 수위가 증가하여 발생하는 돌발홍수 ⑤ 집중호우 발생 후 하천의 최고홍수위와 해수의 만조가 겹칠 때 흔히 발생하는 해안홍수로 구분할 수 있다.

일반적으로 홍수에 대한 저감 대책은 구조적인 대책과 비구조적 대책으로 나눌 수 있다. 구조적 대책으로는 하천의 원활한 홍수소통 능력을 향상시키기 위하여 하천의 직선화 및 하도의 굴착 및 준설, 제방을 축조하는 하천정비사업과 강변저류지, 홍수조절지, 저류지 등의 면적 개념의 유역종합치수계획사업이 이루어지고 있으며, 내수배재시설인 배수펌프장, 댐 및 홍수조절지 건설 하는 홍수방어시설 성능 및 개선의 유지관리 사업이 포함되어 있다. 비구조적 대책으로는 홍수 발생 시 일차대응 방안인 구조적 대책의 한계를 극복하기 위하여 구조적 대책과 함께 수행되어야 할 방안들로 홍수터 관리계획, 홍수에경보 개선 계획, 풍수해 보험제도, 수해흔적도 및 침수에상도 작성, 국가 재난구조시스템 강화 등이 검토되거나 시행되고 있다.

한편 최근에 우리나라에서 발생하고 있는 대규모의 홍수를 “이상홍수”라는 용어를 이용하여 표현하고 있으며 이상홍수로 인한 피해가 커짐에 따라 이에 대한 저감대책 및 방안 마련이 필요한 실정이다. 이상홍수에 대해서 김규호(2003)는 “극한홍수 또는 이상홍수는 우리가 쉽게 보기 어려운 극히 이례적으로 평상시 물과 접하지 않은 지역이 물로 잠기거나 넘쳐 일어나는 자연현상”으로 정의하였고, ‘이상기후에 대비한 시설기준강화 연구단’(2006)에서는 “설계홍수량을 기준으로 하였을 때 수문사상이 설계수문량을 초과할 때 재해와 재난을 발생시킬 수 있는 여지가 있으므로 설계홍수량을 초과하는 홍수사상을 의미한다.”라고 정의하였다. 여기서 설계홍수량은 홍수 특성, 홍수 빈도 및 홍수 피해 가능성을 사회, 경제적 요인 등을 함께 고려하여 최종 수공 구조물의 설계 기준으로 채택하는 첨두 홍수량 또는 유출용적으로 하천구조물의 설계 및 댐 설계 시에 사용되고 있는 계획홍수량과 동일한 개념으로 볼 수 있다.

2) 가뭄

일반적으로 가뭄은 어느 지역의 인간생활 및 사회경제활동 또는 동식물 생육 등에 피해를 가져올 정도로 강수량 부족이 장기화되는 비정상적인 기상수문학적 현상으로 정의되어 진다. 미국 해양기상청(NOAA)에서 선정한 20세기 최대의 자연재해 10개 중 세계 각지에서 발생한 4개의 가뭄이 상위 5위안에 랭크된 바 있듯이 가뭄은 홍수보다 그 피해와 영향력은 막대하다. 가뭄의 피해로는 생활, 공업, 농업 용수의 부족으로 인한 농작물의 피해, 공업생산량의 감소, 생활 및 상업상의 불편 등이 있다.

가뭄을 정의 하기 위해서는 강수량의 통계적 수치이외에도 우리의 물 이용습관이나 생활환경, 토양수분부족, 하천유량부족 등 물 부족을 기초로 하여 접근하고 있다. 이러한 관점에서 가뭄은 ① 기상·기후학적 가뭄(강수량이 평년 값과 비교하여 작은 경우), ② 농업 가뭄(농작물의 성장 단계에 따라 필요한 수분량이 부족한 경우), ③ 수문학적 가뭄(강수의 부족으로 지표수 및 지하수 양이 줄어든 경우), ④ 사회경제 측면의 가뭄(물부족으로 인해 용수 및 전력공급에 차질이 발생하여 인간의 경제활동에 피해를 주는 경우)로 구분할 수 있다.

매년 발생하는 홍수와는 달리 국내의 가뭄은 거의 5년-10년마다 발생되고, 일부 지역에 빈번하게 발생되어 재해로써 위험에 대한 인식 부족으로 가뭄관리에 소홀해 온 것이 사실이다. 또한 가뭄 특성상 홍수와는 달리 진행속도가 느려 빠른 대처와 관리를 할 수 있다면 피해경감효과를 기대할 수 있다. 가뭄을 조기에 발견하고 대처하기 위해서는 강수, 용설, 하천유량, 저수지 저류량 등 다양한 수문성문들을 고려하여 산정된 가뭄지수를 사용하여 가뭄관리에 유용하게 사용할 수 있다. 가뭄지수 산정방법은 다양한 방법이 있으나 <http://www.drought.re.kr>에서 제공하고 있는 가뭄지수를 중심으로 간략히 소개하면 다음과 같다 (<http://www.drought.re.kr>).

① 표준강수지수(SPI)

McKee 등(1993)에 의하면 가뭄은 물의 수요에 비하여 상대적으로 물의 부족을 초래하는 강수량 감소에 의하여 발생된다는 점에 착안하여 SPI를 개발하였다. 즉, 강수량이 부족하면 용수공급원인 지하수량, 적설량, 저수지 저류량, 토양함유수분, 하천유량 등에 각기 다른 영향을 미친다는 점으로부터 표준강수지수를 개발하였다. SPI는 특정한 시간에 대한 즉, 계산 시간단위를 3, 6, 9, 12개월로 설정하고 시간단위별로 강수부족량을 산정하여 각각의 용수공급원이 가뭄에 미치는 영향을 산정하는 것이다.

② Palmer 가뭄심도지수(PDSI)

Palmer(1965)는 가뭄을 장기간의 이상습윤부족 상태라고 정의하였으며, 이상습윤부족을 정상적인 기후에서 현저하게 벗어난 비정상적인 습윤부족기간으로 정의하였다. 이러한 가뭄을 지수화하기 위해서는 정상적인 기후조건 하에서 주어진 지역의 일정기간 동안 필요한 강수량을 산정하고 실제 발생한 강수량과 비교하여 기후적으로 필요한 강수량으로부터 벗어나는 습윤공급량의 크기를 산정한다.

③ 지표수공급지수(Surface Water Supply Index, SWSI)

SWSI는 광범위한 토양수분조건이 지형적으로 변화가 심한 산악지역의 용설에 적용하는데 따르는 PDSI의 한계를 보완하는 과정에서 제안된 지수로서 Shafer와 Dezman(1982)에 의해 개발되어 미국 콜로라도 유역에 최초로 적용되었다. SWSI는 가뭄에 영향을 미치는 인자로 표면유출인자(강수, 적설, 하천유출, 저수지 저수량)를 고려하였으며, 각 인자를 통계학적으로 해석하고 각각의 기여도를 결정하여 가중치로 이용함으로써 유역의 수분상황을 대표하는 하나의 지수를 얻는 절차를 거친다.

④ 표준물공급능력지수(Standard Water Supply Capacity Index, SWSCI)

극심한 기상조건하에서 각 저수지가 수요량에 대해 어느 정도 기간 용수를 공급할 수 있는가를 평가할 수 있는 정량적 지표로 개발된 WSCI는 이동률 등(2005)에 의해 새롭게 개발되었으며 이는 현재의 저수지 저수량과 향후 공급해야하는 수요량과의 물수지 평가를 수행함으로써 저수지에서 향후로 공급 가능한 시간을 정량화한 지수로 개월(month)의 단위를 가진다.

3 수자원에 대한 기후변화의 영향

1) 기후변화와 기후변동성

기상청의 기후변화 용어사전에 따르면 기후변화는 장기간에 걸친 기간(대체로 수십년 또는 그 이상) 동안 지속되면서, 기후의 평균 상태나 그 변동 속에서 통계적으로 의미 있는 변동으로, 자연적인 내부 과정이나 외부의 강제력에 의해서, 또는 대기의 구성에 있어서나 또는 토지 이용도에 있어서 끊임없는 인위적 변화에 의해서 일어날 수 있는 것으로 정의하고 있다. 또한, 기후변화협약(UNFCCC) 제 1조에서는 전지구 대기의 구성을 변화시키는 인간의 활동이 직접적 또는 간접적으로 원인이 되어 일어나고, 충분한 기간 동안 관측된 자연적인 기후변동성에 추가하여 일어나는 기후의 변화로 정의하여 대기 구성을 변화시키는 인간 활동에 의해 야기되는 “기후변화”와 자연적 원인에 의해 야기되는 “기후변동성”을 구분하고 있다.

반면, 기상청의 기후변동성(Climate Variability)은 개개의 날씨 사건의 평균 상태와 기타 통계를 넘어서 모든 공간-시간규모 상의 기후의 평균 상태와 기타 통계(표준편차, 극한값의 발생 빈도 등과 같은 것)에 있어서의 변동과 관련되는 것으로 기후시스템 내에서 자연적인 내부 과정에 의할 수도 있고(내부변동성), 또는 자연적이거나 인위적인 외부강제력의 변동(외부 변동성)에 기인할 수도 있다고 정의하고 있다. 그림 4는 1777년부터 2008년까지 서울지역에서의 연강수량 변화를 도시한 것으로 1777년부터 1907년은 측우기 관측 값(임규호 & 정현숙, 2002)이며 1908년부터 2004년은 현대 강수량 관측기법 도입 이후 관측된 강수량 기록으로 1950년 9월부터 1953년 11월까지 결측 기간이 존재한다. 그림에서 분홍색 실선은 실제 관측된 연강수량의 장주기 변동을 보기 위해 지수가중치법에 의한 25년 이동평균값을 보여

주고 있다. 한국의 연평균 강수량은 1820년대에 큰 값들을 나타내다가 1900년을 전후하여 대단히 낮은 값들을 보여주고 있으며 최근의 경향은 과거 50년과 크게 다르지 않은 것으로 보인다. 그림에서 1777년부터 2008년까지의 서울지점 연강수량의 평균값은 1,239 mm이고 표준편차는 377.6 mm에 이를 만큼 대단히 큰 변동 폭을 보이고 있다. 1884년부터 1910년 사이의 가뭄기간의 연평균강수량은 전 기간에 비해 현저히 낮은 것으로 볼 수 있으며 이러한 기후 변동성에 의해 미래의 어느 시점에서 19세기 말과 같은 가뭄이 도래할 가능성도 예상해 볼 수 있다.

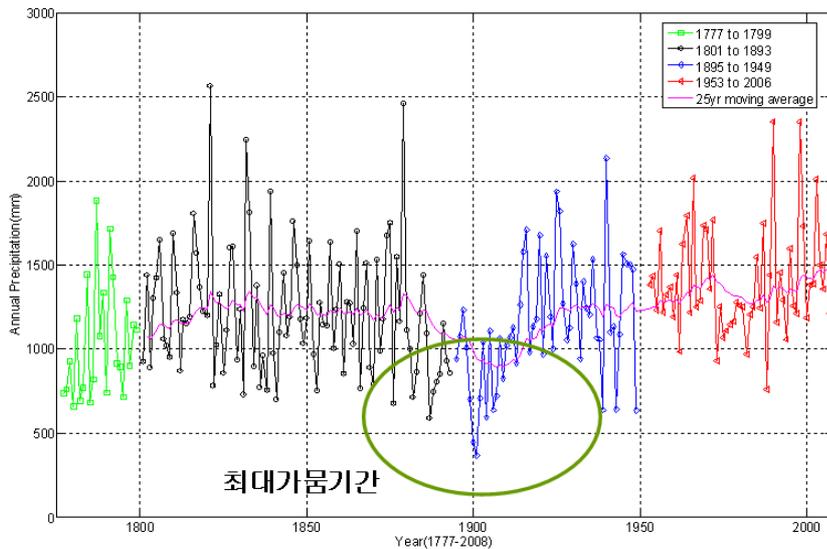


그림 4. 측우기 자료를 포함한 서울 기상관측소의 연강수량 변화 추이

2) 기후변화가 한반도에 미치는 영향

전세계적으로 대기과 해양이 연결된 전 지구적 규모의 **General Circulation Models (GCMs)**가 기후에 대한 미래의 변화를 모의하기 위해 사용되고 있으며 해상도가 수백 km이기 때문에 전 지구적 규모나 남반구·북반구 또는 대륙적 규모와 같이 공간적 규모가 매우 큰 경우의 기후변화 분석에는 어느 정도 정확한 예측 결과를 예상 할 수 있다. 우리나라의 국립기상연구소에서도 독일 막스플랑크 연구소에서 개발한 대기-해양결합모델 **ECHO-G** (약 350 km 격자규모)를 사용하여 IPCC의 고배출(A2), 중배출(A1B), 저배출(B1) 온실가스 시나리오1)에 대하여 20세기말 (1971-2000년)과 21세기말(2071-2100년)에 대한 고해상도 전지구 기후변화 시나리오를 산출하였다. 배출 시나리오는 기후변화를 유발할 수 있는 사회경제적 요소(인구통계, 경제성장, 에너지 사용효율, 과학기술 등)를 종합적으로 반영하여 추정된 미래 온실가스 배출량 정보로, IPCC 4차 평가보고서에서는 표준 시나리오로 **A2(2100년 이산화탄소 농도, 830 ppm), A1B(720 ppm), B1(550 ppm)**을 채택하였으며 괄호 안의 ppm 수치는 2100년의 이산화탄소 농도를 의미한다.

수백 km의 해상도를 갖는 GCM의 기후변화는 수자원 관점에서 적용하려는 유역 규모의 기후변화를 분석하기에는 무리가 있으며 이를 극복하기 위하여 소위 이야기하는 지역상세화(down-scaling) 연구가 수행되어 오고 있다. 지역상세화 기법으로는 아주 단순한 모형에서 매우 정교한 모형, 통계적 기법을 이용하는 기법에서 물리역학적 기법을 이용하는 방법으로 매우 다양하다. 일반적으로 통계학적(추계학적) 기법에서는 일기발생기(daily weather generator)라 불리는 기법이 사용되어 오고 있으며 역학적 기법은 지구 기후변화모델 결과를 입력자료로 하여 지역기후모델을 수행함으로써 지역규모의 상세한 지형과 물리과정을 고려한 기후정보를 얻어내고 있다.

국립기상연구소에서는 ECHO-G의 20C3M(1971-2000년) 및 A1B 시나리오(2001-2100년)의 결과를 입력자료로 하는 지역기후모델 MM5(약 27 km 격자규모)를 이용한 역학적 규모축소를 통해 한반도지역의 상세 기후변화 시나리오를 산출하여 미래 한반도 기후전망 분석에 활용하여 보고서를 발간하였다(국립기상연구소, 2009). 보고서는 지난 100년간의 관측자료로 부터 분석된 우리나라의 기후변화 현황과 IPCC 온실가스 배출 시나리오에 따른 21세기 기후변화 전망으로 기온, 강수, 극한 기후, 사계절 등의 변화를 포함하고 있으며, 엘니뇨, 라니냐, 태풍, 동아시아 몬순 등의 대표적인 기후현상의 변화와 한반도 주변에 미치는 영향을 평가하고 있다.

보고서에 의한 주요 내용 중 기온은 약 100년간(1912~2008년) 6개 관측지점(서울, 인천, 강릉, 대구, 목포, 부산)의 평균기온 상승률이 1.7°C로 전지구 평균기온 상승률($0.74\pm 0.03^{\circ}\text{C}$)에 비해 높은 것으로 나타났으며, 기온 상승값의 약 20-30%는 도시화 효과로 추정하였다. 사계절 중 겨울에 가장 크게 증가한 반면 여름철 평균 기온 상승 경향은 뚜렷하지 않은 것으로 나타났다. 강수는 약 100년간(1912-2008년) 6개 관측지점의 평균 연강수량의 변동성이 증가한 것으로 나타났으며, 계절적으로는 여름철 7-8월에, 공간적으로는 태백산맥 주변지역에서 집중호우의 강도 증가에 의해 뚜렷하게 나타나고 있다. 반면 겨울철 강수량의 변화는 뚜렷하지 않으나 온난화에 의해서 강설에서 강우로 나타나는 비율이 점차 높아지고 있는 것으로 나타났다.

이처럼 우리나라에서도 기후변화와 지구온난화의 사실여부는 이제 더 이상의 논쟁 꺼리가 되지 않으며 이에 적응에 대한 문제에 관심을 돌리고 있다. 특히, 수자원 분야에서의 기후변화는 수문 현상에 많은 영향을 미쳐, 물 순환 과정의 정확한 파악을 더욱 어렵게 하고 있으며 안정적인 물 공급이 더욱 어려워 질 것으로 전망된다..

3) 수자원시스템의 취약성 평가

가뭄의 경우 기후변화로 인한 수자원의 영향을 평가하는 방법으로는 과거 자료를 분석하여 기후변화에 대한 시스템의 적응능력을 평가하고 취약성 정도를 정량화하는 방법과 기후모델을 결정하고 전지구모델과 지역상세화 기법을 이용하여 생산된 결과를 취약성 평가 모형을 통해 기후변화에 따른 취약성의 미래 변동성을 평가하

는 방법이다. 전자의 경우는 주로 관측자료를 이용하여 기후변화의 징후나 증거의 분석에 이용되는 방법으로 이러한 관측치 만으로는 불확실성이 큰 미래 기후변화에 대한 영향을 분석하기에는 한계가 있다. 일반적으로 수자원시스템의 취약성을 평가하기 위해서는 후자의 경우처럼 기후모델의 결과를 유출모형을 이용하여 유역별 기후변화에 의한 유출량을 산정하고 이를 수자원평가모형을 통해 최종적으로 취약성을 평가하게 되는 것이다. (그림 5 참조)

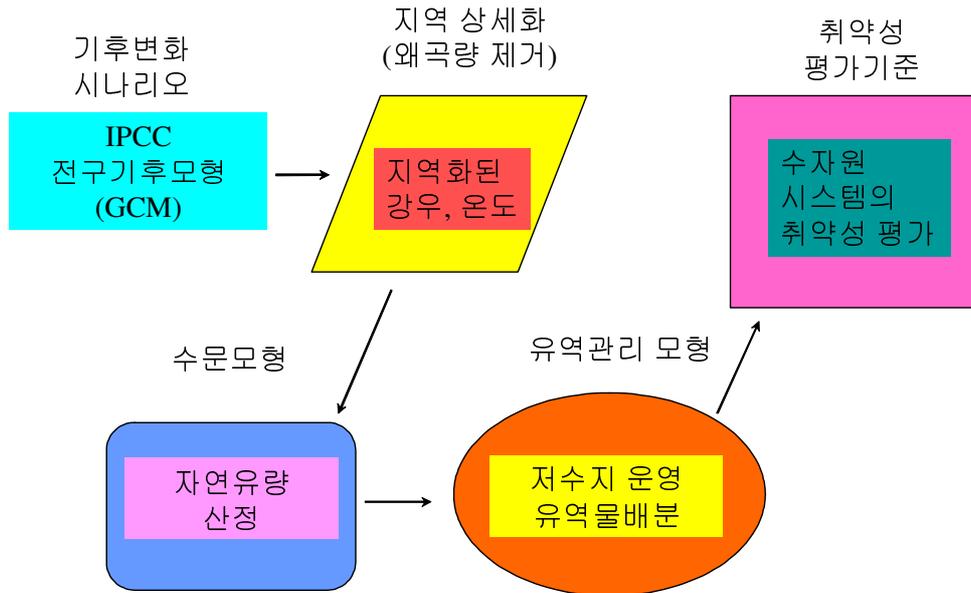


그림 5. 기후변화에 의한 수자원 시스템의 취약성 평가 절차

한편 기후변화 시나리오에 의한 수자원의 영향을 분석하기 위해서 불확실성이 존재하기 때문에 다음과 같은 문제를 선형적으로 해결해야 할 것으로 보인다.

- 인간활동과 관련된 요소를 관측된 유량으로 구별해 낼 수 있을 까? (가용자료의 불확실성 - 자연유량의 산정)
- 미래의 인간활동에 의한 토지피복의 변화와 물 사용량을 기후변화와 관련하여 구별할 수 있을 것인가? (미래 인간 활동의 불확실성)
- 기후변화에 대한 수문현상과 유출량에 대한 영향을 어떻게 반영할 것인가? (기후 모형의 불확실성)
- 수자원 시스템의 취약성 평가에 어떻게 기후변화를 반영할 것인가? (자료의 불확실성 + 모형의 불확실성 + 인간활동의 불확실성)

■ 생각해 볼 문제

1. 다음 중 수문순환의 요소가 아닌 것은?

- ① 강우 ② 침투 ③ 증발 ④ 홍수

정답: ④ 홍수

2. 우리나라 수자원 중 용수 공급에 기여하는 바가 가장 큰 것은?

- ① 하천수 ② 지하수 ③ 해수의 담수화 ④ 댐

정답: ④ 댐

3. 다음 중 IPCC의 온실가스 배출시나리오 중 가장 비관적인 시나리오는?

- ① A1B ② A2 ③ B1 ④ GCM

정답: ② A2

4. 수자원의 취약성 평가에서 가장 영향을 미칠 기상 인자는?

- ① 강수 ② 기온 ③ 습도 ④ 증발산량

정답: ① 강수

■ 학습정리

1. 기후변화에 의한 수자원부분의 영향평가를 위해서는 수문학을 이해하는 것이 필요하며 수문학은 물의 순환과정과 관련하여 지구상에서 물의 생성, 분포, 이동, 특성 등을 규명하는 물의 학문이다.

2. 지구상의 물중 해양의 저장량이 97.5%에 이르며 담수량은 2.5%이며 이중 인간이 쉽게 이용할 수 있는 저수지, 강 등으로 한정되어 0.64%밖에 되지 않는다.

3. 우리나라 용수이용량 중 하천수 이용량은 강수총량의 10%이고 댐 이용량은 14%, 지하수 이용량은 3%이다.

4. 가뭄에 대한 수자원시스템의 취약성을 평가하기 위해서는 기후모델의 결과를 유출모형을 이용하여 유역별 기후변화에 의한 유출량을 산정하고 이를 수자원평가모형을 통해 최종적으로 취약성을 평가하게 된다.