기후변화에 의한 가뭄 발생전망과 물관리 시사점

'19.03. 국가기후변화적응센터

I. 서 론

기후변화는 전 지구적으로 강수량 및 유출량의 발생빈도 및 강도의 변화를 초래할 것으로 전망되며, 온실가스 증가로 인한 온도상승과 함께 강수량 변화를 일으킬 것으로 우려된다 (Trenberth et al., 2014). 이와 같은 변화로 인해 발생하는 주요 자연재해로 가뭄을 들 수 있으며 가뭄은 사회경제적 지속가능성을 저하시키고 반복적으로 막대한 환경피해를 입힌다. 가뭄은 "일정기간동안 비정상적으로 부족한 강수현상(WMO, 1992)" 으로 정의되나 강수량의 감소는 토양수분 부족, 하천유량 부족으로 이어지기 때문에 가뭄의 진행정도에 따라 기상학적 가뭄, 농업가뭄, 수문학적 가뭄으로 구분된다 (Choi et al., 2013; Dai, 2011; Dracup et al., 1980; 김대하, 2016). 가뭄은 과거로부터 지금까지 지속적으로 물관리의 핵심논제로 부각되어왔으며, 최근에는 기후변화에 따른 미래 가뭄의 발생전망을 고려하여, 기후변화 적응 물관리를 수행할 필요가 있다는 인식이 증가하고 있다 (김연주 외, 2013). 본 이슈리포트에서는 기후변화와 가뭄과의 관계, 주요 가뭄 피해의 국내외 최신 발생동향에 주목하였으며, 특히 기후변화 적응을 고려한 물관리 시사점을 서술하였다.

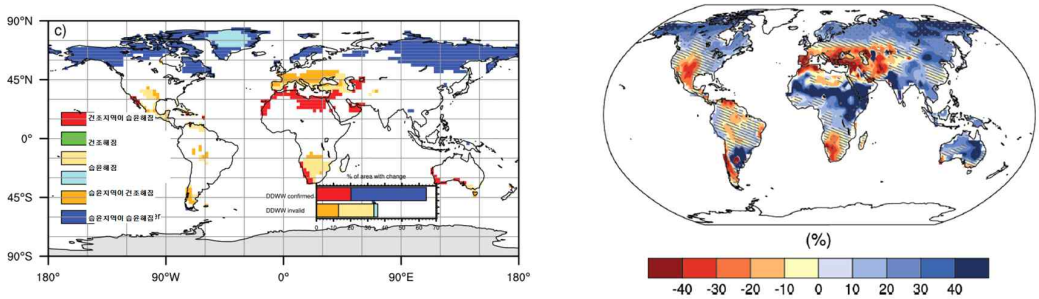
II. 기후변화와 가뭄

1950년대 이후로 가뭄은 지속적으로 증가하는 경향을 보여 왔다 (Dai et al., 2011; Dai et al., 2013). 이러한 지속적인 가뭄 발생의 증가경향이 기후변화로 인한 것인지 혹은 다른 요인에 기인한 것인지에 대해서는 아직 여러 가지 한계로 인해 명확하게 밝혀진 바가 없다 (Trenberth et al., 2014). 가뭄과 기후변화와의 관계, 가뭄발생에 대한

원인규명은 관측정보의 부족, 가뭄의 불균형한 지리적 분포 등으로 인해 수행되기 어렵기 때문이다. 그럼에도 불구하고 명백한 이론적 메커니즘에 의해 온실가스 증가가 가뭄의 증가를 초래할 것이라고 일반적으로 제시되고 있다 (IPCC, 2014). 이것은 온실가스의 증가로 인해 대기의 증발산량이 증가할 것으로 강하게 예측되며, 이와 같은 증발산량의 증가는 연강수량의 변동을 초래하고, 가뭄 등 물 관련 재해의 증가로 이어질 것으로 판단되기 때문이다 (Trenberth et al., 2014). 이와 관련하여 IPCC 제5차 보고서 및 특별보고서는 온실가스가 계속해서 증가할 경우 전 세계적으로 강수량의 빈도 및 강도의 변화가 심화될 것이며, 재생가능한 지표수와 지하수 자원의 고갈이 초래될 것임을 명시하였다 (IPCC, 2014, IPCC, 2018). 이처럼 가뭄과 기후변화에 대한 최신의 보고를 고려할 때 결과적으로 기후변화는 강수량 및 강수일수의 극심한 변동을 초래할 것으로 사료되며 이용가능한 수자원의 보전에 부정적인 영향을 미칠 것이라 판단된다.

기후변화에 의한 전 지구적 가뭄의 발생전망과 물관리 영향

전 지구적으로 가뭄의 발생은 심화될 것으로 판단된다 (Zhao and Dai, 2017). IPCC 제5차 보고서는 RCP8.5 시나리오 하에서 2100년까지 가뭄 발생이 증가할 것이며, 특히 지중해와 서아프리카에서 가뭄의 발생이 심화될 것이라 제시하였다(IPCC, 2014). 또한, 기후변화에 의해 건조한 곳은 더 건조해지고 습한 곳은 더 습해지는 현상이 일어날 것으로 전망되었다(Greve and Seneviratne, 2016) [그림 1].



건조 및 습윤지역의 변화 　　유출량의 변화

자료(좌): Greve and Seneviratne (2016), 자료(우): IPCC(2014)
주(우):빨강(피해심화지역), 파랑(양호지역)

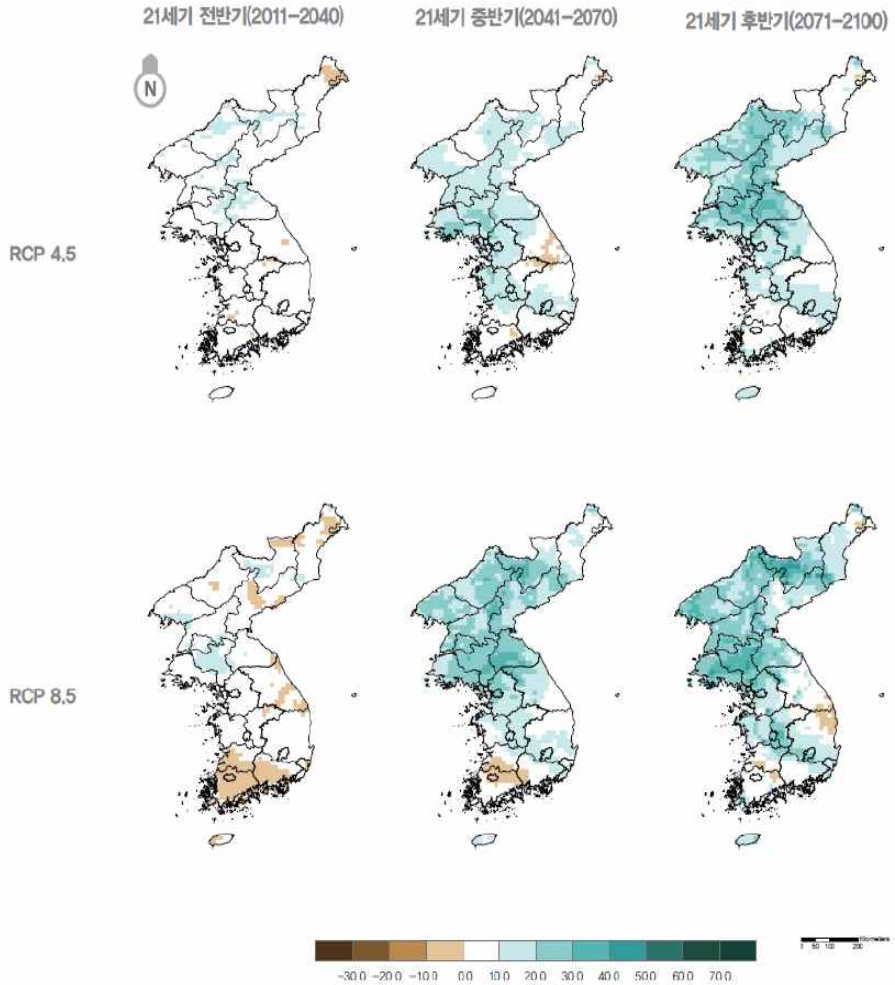
[그림 1] 기후변화에 의한 전 지구적 가뭄 발생전망

가뭄의 발생은 물부족 외에 퇴적물 증가, 영양소 및 오염물질 부하량의 증가 등을 야기하여 수질에도 부정적 영향을 미칠 것으로 판단된다. 따라서 서아프리카 등 기존 건조 지역의 가뭄 증가는 이용가능한 수자원 부존량의 감소를 초래하여 기존의 물부족 문제를 더욱 심화시킬 것으로 전망된다(IPCC, 2014). 2018년에 발표된 IPCC 특별보고서의 가뭄 발생 전망은 제5차 보고서의 발생전망과 유사하며 전 지구적으로 1.5℃의 온도가 증가할 경우, 가뭄의 발생 빈도、강도의 증가가 일어날 수 있다고 명시하고 있다(IPCC, 2018).

한편 UNESCO(2009)는 1900년~2006년 사이 발생한 주요 재해를 분석하여 90% 이상에 해당하는 재해가 물 관련 재해였음을 명시한 바 있다 (UNESCO, 2009; 김연주 외, 2013). 홍수, 가뭄 등 물 관련 재해는 직접적으로 인간생활에서 물이용에 어려움을 야기하며 막대한 사회경제적 피해비용이 발생할 수 있다. 따라서 상기 기후변화 전망에 의거한 가뭄의 확산은 과거의 물 관련 재해 발생보다 더 큰 사회적 문제로 다가올 수 있어 우려되는 실정이다.

기후변화에 의한 우리나라의 가뭄 발생전망

우리나라의 경우, 기후변화가 가속화됨에 따라 평균 강수량이 대체적으로 증가할 것으로 전망되고 (국립기상연구소, 2012), 이는 최근 발표된 IPCC의 특별보고서(IPCC, 2018)와도 일치한다. 평균 강수량이 증가함에도 불구하고 우리나라의 가뭄발생은 줄어들지 않을 것으로 판단된다. 평균 강수량이 증가해도 강수의 시、공간적인 변동성은 가중되어, 가뭄, 홍수와 같은 물 관련 극한기후의 발생이 더욱 심화될 것으로 전망되기 때문이다. 결과적으로 우리나라의 가뭄은 그 발생빈도가 증가하고 주기적으로 발생할 것으로 우려되며, 평균 강수량은 증가하나 반대로 강수일수는 감소할 것으로 전망된다 (김연주 외, 2013).



자료: 김연주 외(2013)

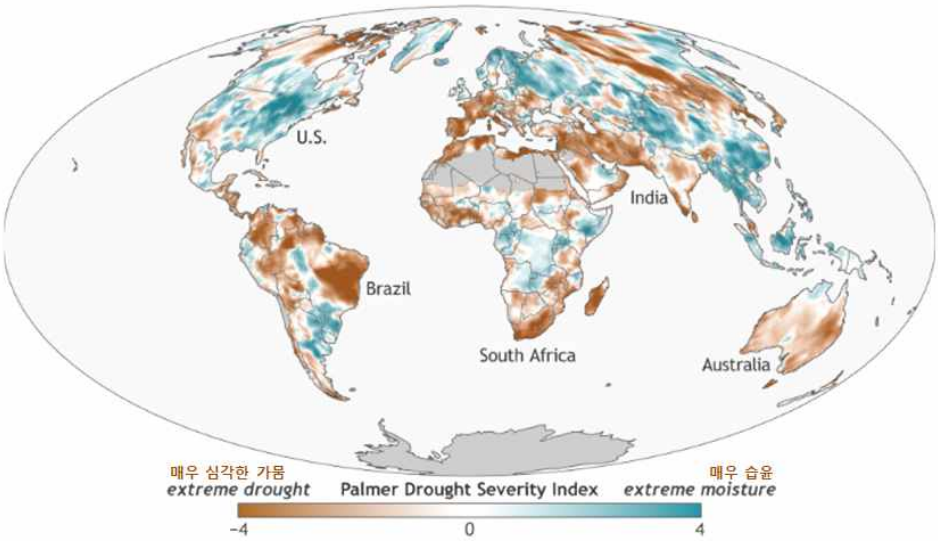
[그림 2] 기후변화에 의한 우리나라의 가뭄 발생전망

영국의 HadGEM3-AO 기후모형에 기반한 RCP4.5 및 RCP8.5 시나리오에 의거하여 기후변화 발생경향을 살펴보면, 우리나라의 가뭄은 특히 전라도, 경상도, 강원도에서 심화될 수 있다(국립기상연구소, 2012; 김연주 외, 2013) [그림 2]. RCP4.5에 비해 RCP8.5 시나리오에서 보다 뚜렷하게 가뭄 발생이 증가할 것으로 전망되었으며, 온실가스의 증가에 따라 가뭄의 공간적 발생범위도 넓어질 것으로 전망되었다. 이와 같은 기후변화

전망은 이용가능한 수자원의 감소와도 직접적으로 결부되는 사안으로 상기 취약지역은 용수공급 문제가 발생할 수 있다.

III. 최근 가뭄 피해 발생현황

2017년, 전 지구적으로 뚜렷하게 가뭄의 발생강도가 증가하는 현상을 보였다. NOAA(미국 국립해양대기국)의 2017년 가뭄발생 경과지도[그림 3]에 따르면 가뭄의 발생은 전 세계적으로 널리 분포하는 경향을 살펴볼 수 있다. 다수의 국가에서 가뭄 발생이 심화된 현상이 관측되었으며, 특히 스페인, 포르투갈, 이탈리아 등 국가에서는 저수량이 급격하게 감소하고 이에 따른 농작물 피해 등으로 피해강도가 매우 큰 가뭄이 발생하였다(행정안전부, 2018) [표 1].



자료: NOAA(미국 국립해양대기국), www.climate.gov

[그림 3] 2017년 가뭄피해 발생현황

[표 1] 2017년 주요 가뭄발생현황 (해외)

발생국	발생시기	발생현황
스페인	2017년, 수개월 가뭄 지속	· 138만ha의 농작물 피해 · 저수지 22년만에 최저 저수량 기록
포르투갈	2017년 여름	· 12년만의 가뭄 · 저수지의 저수량이 정상 대비 40% 수준을 기록
이탈리아	2017년 7월	· 60년만의 최악의 가뭄 · 강수량이 평년의 1/3 수준 · 로마 테베레강은 1800년 이래 최저 저수량을 기록
소말리아	2017년 3월	· 이틀간(3.3.~3.4.) 110여명 사망 · 36만 여명 영양실조

자료: 행정안전부(2018)

우리나라의 경우, 일반적으로 가뭄은 10월~2월 사이, 3월~5월 사이 발생하며, 겨울가뭄과 봄가뭄이 주로 발생한다(오국열 외, 2014). 강우특성상 6월~9월 사이 집중적인 풍수기를 가지며, 풍수기에 충분한 강수량이 충족되지 못할 경우 봄과 겨울에 가뭄이 발생하는 특성을 지닌다. 우리나라는 최근 40년 동안 5~8년 주기로 극심한 가뭄이 관측되었으나 1990년 이후에는 전국적으로 1~2년 주기로 크고 작은 가뭄이 발생하는 경향을 보여왔다(오국열 외, 2014). 2000년 이후 발생한 가뭄의 주요 피해는 [표 2]와 같았으며 1~2년 주기로 지속적으로 가뭄이 발생하여 생활용수, 농업용수 공급과 관련된 피해가 발생하였다. 1990년 이후 발생한 주요 가뭄의 피해 건수를 집계한 결과, 가뭄피해가 가장 빈번하게 발생한 지역은 전라도, 경상북도, 충청북도, 경기도 등으로 나타났다(국가가뭄정보분석센터, 2019) [그림 4].

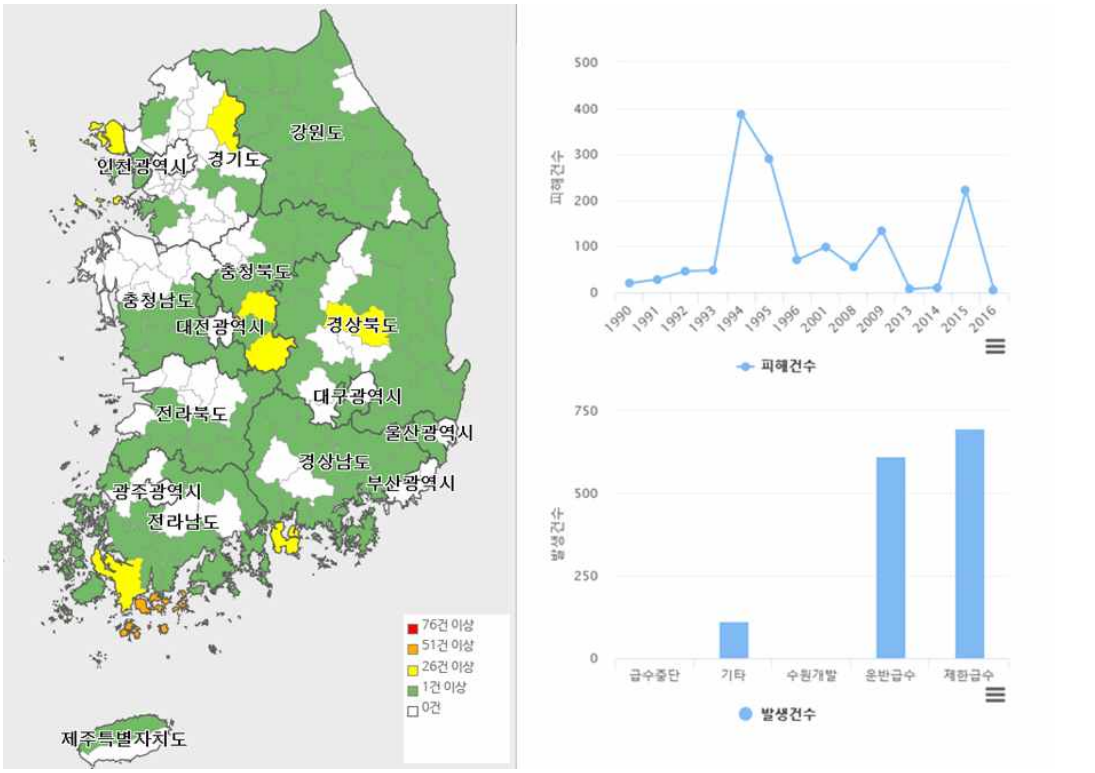
[표 2] 2000~2014년 우리나라 주요 가뭄피해 현황

연도	가뭄시기	가뭄지역	가뭄면적(천ha)	가뭄 발생현황
2000	2~5월	영·호남	58(보리)	• 평년강수량 16~43% 수준 • 저수율 : 82~94% • 전남지역 보리피해 우심
2001	5~6월	경기·강원 충북·경북	3(밭작물)	• 평년강수량(3월 이후)의 45% 수준 • 저수율 81%(평년대비 △7%)

[표 2 계속] 2000~2014년 우리나라 주요 가뭄피해 현황

연도	가뭄시기	가뭄지역	가뭄면적(천ha)	가뭄 발생현황
2006	10월	충북·전남북·경남	대책 추진중 강우로 피해는 없었음	• 평년강수량(8~10월)의 30% 수준 • 저수율 67%(평년대비 △8%)
2008~ 2009	2008년 9월 ~2009년 2월	전남·경남·강원	대책 추진중 강우로 피해는 없었음	• 전국 평균 강수량 평년대비 46.4% • 남부34%, 강원58%(태백32%), 충북35.5% • 전국 평균저수율 58%(평년대비 △25%)
2012	5~6월	경기, 충남, 전북, 전남	대책 추진중 강우로 피해는 없었음	• 전국 평균 강수량 평년대비 32% • 경기 15%, 충남 19%, 전북 21%, 전남 23% • 전국 평균저수율 40%(평년대비 △47%)
2013	7~8월	경남, 제주도	1.2(농작물) 생활용수 제한급수	• 제주도 강우량 평년대비 25% 수준 • 울산, 부산 강우량 평년대비 38, 48% 수준
2014	7월	강원, 경기, 충청일부	생활용수 제한급수	• 서울, 경기, 충청 강우량 평년대비 50~61% 수준

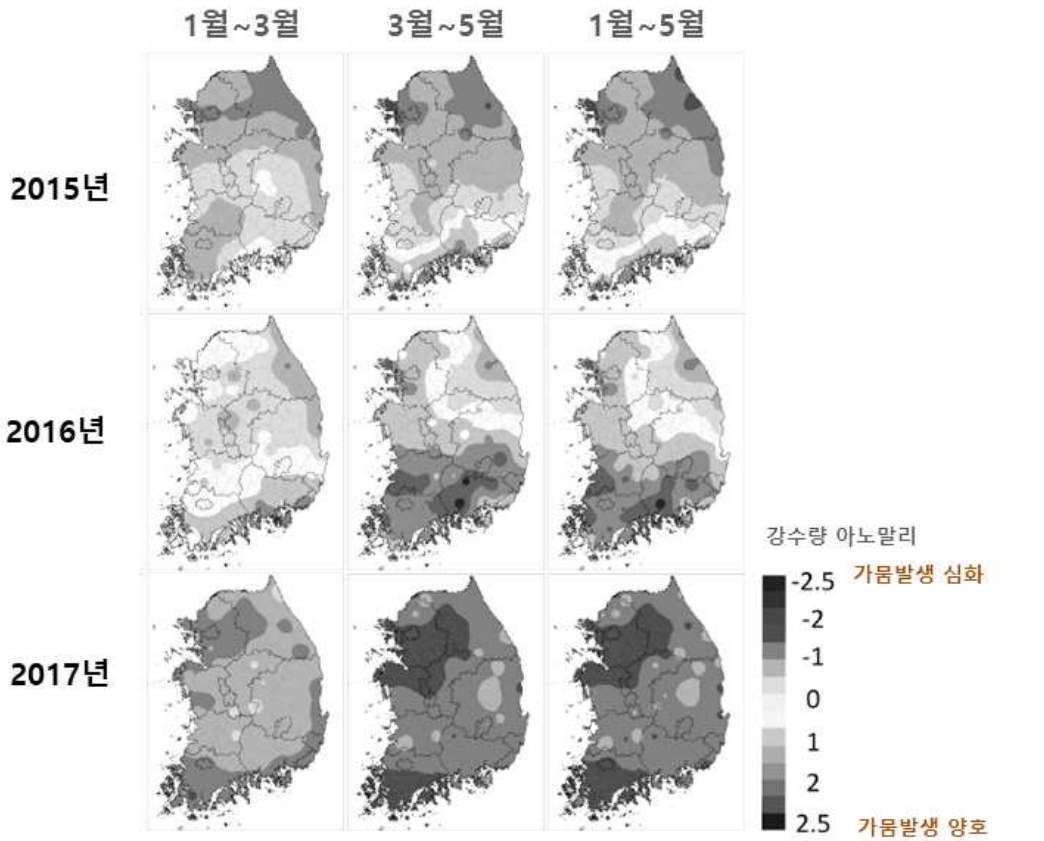
자료: 행정안전부(2018)



자료: 국가가뭄정보분석센터, http://drought.kwater.or.kr/

[그림 4] 2000~2016년 우리나라의 누적 가뭄피해건수

특히 2017년의 경우, 우리나라는 극심한 봄 가뭄이 발생한 바 있다. 2017년, 우리나라의 1월부터 5월까지의 누적 강수량은 평년(1990~2010) 대비 48%인 181.50mm(전국평균)로 이는 1973년 이후 두 번째로 적은 강수량이다. 그 해 극심한 봄 가뭄으로 인해 경기도 남부, 충남 서부 등 지역에서 저수율의 감소 및 농업피해가 발생한 바 있다 (방나경 외, 2018). 이외에도 6월에는 평년(1990~2010) 대비 적은 38%의 강수량을 보였으며 1973년 이후 3번째로 적은 수치이다(행정안전부, 2018). 또한, 2017년 1월에는 속초의 제한급수 장기화, 울산, 전남 일부 섬, 경북에서 용수부족 피해사례가 보고된 바 있다(기상청, 2018). 우리나라의 봄 가뭄 발생경향을 2015~2017년에 대해서 분석한 결과, 경기도 및 충청도에서 지속적으로 발생하였다 (방나경 외, 2018) [그림 5].



자료: 방나경 외(2018)

[그림 5] 2015~2017년 우리나라의 봄 가뭄 발생경향

결과적으로 봄 가뭄에 대비하여 취약지역에 대한 적극적 물 관리 정책의 추진이

필요하다고 사료된다. 또한, 우리나라는 1990년 이후 지속적으로 크고 작은 가뭄이 주기적으로 발생하였으며, 이와 수반된 용수공급 피해사례가 지속적으로 보고되고 있으므로, 전국적으로 가뭄에 대비하여 기존의 용수공급 체계를 개선할 필요가 있다.

Ⅳ. 기후변화 적응을 위한 물관리 시사점

가뭄은 용수공급, 농수축산업에 대한 사회경제적 피해, 사회적 갈등 조장, 건강피해, 생물종 및 서식처에 대한 생태적 피해, 대기질 하락, 심미성 하락 등을 초래한다(김연주 외, 2013). 가뭄에 의한 용수공급 관련 피해특성은 [표 3]과 같으며, 가뭄의 발생이 농업용수 공급차질 외에도 에너지 수급 문제, 산업체의 경제적 손실 문제, 위생비용 증대 피해로 확산되는 것을 살펴볼 수 있다. 결과적으로 이러한 연쇄피해를 방지하고 가뭄발생에 대비하기 위해 구체적으로 아래와 같은 노력이 필요하다.

[표 3] 가뭄에 의한 용수공급 피해

한국수자원공사(2002)	Wilhite와 Grants(1985)	UNDP(2011)
에너지 관련 피해 (가뭄으로 인한 발전량의 감소, 대체전력 확보을 위한 고비용 발생 등)	가뭄 관련 전력삭감으로 인한 산업체의 경제적 손실	수력발전 등 발전비용 증가 및 이용불가 공공용수 제한급수 급수 및 위생비용 증대

자료: 김연주 외(2013)

첫째, 기후변화 적응을 위해 우선적으로 물인프라를 확충하여 유연한 용수공급체계를 꾀해야 한다. 구체적으로 김연주 외(2013)는 가뭄에 대응한 기후변화 적응형 물관리 대책의 우선순위를 전문가 델파이조사를 통해 제시한 바 있으며 [그림 6], 기후변화 적응을 위해 특히 광역상수도 및 저수시설 관리、확충, 비상급수 공급, 노후관 계량, 용수간 조정을 허용하는 인프라 구조 개발 등에 주목할 필요가 있음을 명시하였다. 반면, 물 관련 사업 민영화 등은 기후변화 적응과 관계성이 적은 항목으로 우선순위에서 배제되었다. 이처럼 기후변화 적응을 위해 우선적으로 용수공급체계의 확충 및 유연성 강화를 도모하여야하며 장기적인 관점에서는 생태계 기반 적응(ecosystem-based adaptation)[1]을 도모하고 지속가능한 수자원의 확보를 꾀해야한다 (김연주 외, 2013).

1) 생태계의 자연적인 적응력과 회복력 향상에 기반을 둔 적응

자료: 김연주 외(2013)

[그림 6] 가뭄 대응 기후변화 우선순위 적응대책

둘째, 용수공급체계의 고도화와 관련하여 최근 통합 물관리 수행전략에 기후변화 적응 개념이 적극적으로 반영되어야 한다. 기존 환경부, 국토교통부 등으로 분산되었던 물관리 기능이 환경부로 일원화되었으며, 수량관리, 수질관리, 수자원 개발 등의 일원화된 관리가 가능한 체계로 전환되었다. 또한 수자원법, 댐건설법, 친수구역법 등 수자원의 개발 및 이용과 관련된 주요 법률과 관리체제가 이관되었으며, 이에 따라 우선순위 적응대책으로 제시된 광역상수도 등 물 인프라의 확충과 물 인프라 간 유연한 용수공급을 수행할 수 있는 역량이 증가하였다고 사료된다. 따라서 통합 물관리 체제하에서 보다 유연한 용수공급 체계로의 전환이 요구되며, 기후변화에 따른 강우량의 빈도、강도 변화결과가 반영된 통합 물관리 전략의 발굴이 필요하다.

셋째, 기후변화에 의한 가뭄 발생에 적응하기 위한 방법으로 생활 속 물 절약 실천을 통한 물 사용량의 감소를 꾀할 수 있다. 그 실천방법으로 절수형 샤워기의 사용, 양치컵 및 설거지 통의 사용, 샤워시간의 감소, 허드렛물 재사용 등 다양한 생활 속 실천방안이 있다. 기후변화에 적응하기 위한 물관리 방안으로 우리의 생활습관 또한 변화가 필요하며, 국민 개개인이 생활 속에서 자원의 효율적인 이용을 도모할 필요가 있다. 2018년 환경부에서도 물관리에 대한 국민참여를 독려하기 위하여 “지속가능한 물관리 정책” 아이디어를 공모하고, 국민이 참여하고 실천할 수 있는 정책발굴을 도모하였다.

Ⅴ. 결론

기후변화에 의해 향후 전 세계 뿐만 아니라 우리나라에서도 가뭄의 발생강도와 발생빈도가 더욱 심화될 것이라 많은 연구가 제시하고 있다. 특히, 기존의 물부족 취약지역에서 가뭄 발생이 심화될 것이라고 전망되어, 가뭄으로 인한 사회경제적 피해는 더욱 심화될 것이라 예측된다. 우리나라의 경우, 1990년 이후 가뭄 발생빈도가 증가하고 이에 수반된 사회경제적 피해가 1~2년 주기로 지속적으로 발생하였다. 또한, 최근 봄 가뭄으로 인한 지속적인 농업 피해가 관측되었으며, 향후 기후변화로 인해 가뭄 발생 빈도 및 강도가 증가할 것으로 예상되어 이에 대응할 수 있는 물관리체제로의 전환이 필요하다. 기후변화 적응 개념을 도입한 물관리는 궁극적으로 심각한 가뭄발생에도 이용가능한 수자원을 보전하고 안정적인 용수공급을 가능하게 한다. 따라서 기후변화 적응 물관리를 위해 증가하는 가뭄발생 위협에 대비하여 지속적으로 그 필요성이 제기되어온 광역상수도 등 인프라 확충, 물 인프라 간 유연한 용수공급 체계 구축을 실현하고 기후변화에 의한 가뭄발생 취약지역을 사전에 고려하여 적응대책을 시행할 필요가 있다. 장기적인 관점에서는 생태계 기반 적응을 도모하고 지속가능한 수자원의 보전을 추진해야 한다. 또한, 한정된 수자원의 보전을 위해 국민 개개인의 생활 속 물절약을 유도하고 효율적인 자원 활용을 촉진하며 기후변화 적응을 생활화할 꾀할 필요가 있다.

| 참고문헌 |

[국내문헌]

기상청. 2018.「2018년 이상기후보고서」.

김대하. 2016.「한국의 가뭄특성 분석 및 가뭄과 물 부족에 대한 기후변화 영향평가」.

김연주 외. 2013.「가뭄 유형별 기후변화 적응정책 연구」.

방나경 외. 2018. “2017년 극심한 봄 가뭄의 기상학적 특성 및 통계학적 가뭄빈도해석”, 한국농공학회, 60(4): pp. 37-48.

오국열 외. 2014. “우리나라 봄철 가뭄의 피해현황과 대책”, 한국방재학회지, 14(2): pp.4-9.

행정안전부. 2018.「2017 재해연보」.

한국수자원공사. 2002.「가뭄관리 종합 대책 수립 연구」.

[국외문헌]

Choi, M. et al. 2013. "Evaluation of drought indices via remotely sensed data with hydrological variables". Journal of Hydrology. 476, 265-273.

Dai, A. 2011. "Drought under global warming: a review". Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change 2(1), pp.45-65.

Dai, A. 2013. "Increasing drought under global warming in observations and models." Nature Climate Change 3(1), pp.52.

Dracup, J.A. 1980. "On the definitions of droughts". Water Resources Research. 16(2), pp. 297-302.

Gudmundsson, L. et al. 2016. "The sensitivity of water availability to changes in the aridity index and other factors—A probabilistic analysis in the Budyko space." Geophysical Research Letters, 43(13), pp.6985-6994.

Trenberth, Kevin E., et al. 2014. "Global warming and changes in drought." Nature Climate Change 4(1), pp.17.

IPCC. 2014. "Climate Change 2014 Impacts, Adaptation, and Vulnerability."

IPCC. 2018. "Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty".

UNDP. 2011. “Mainstreaming Drought Risk Management: A Primer”.

UNESCO. 2009. “Global Trends in Water-Related Disaster: an insight for policymakers”.

Wilhite, Grants. 1985. “Understanding the Drought Phenomenon: The Role of Definitions”. Water International 10(3), pp.111-120.

WMO. 1992. “International Meteorological Vocabulary“.

Tianbao, Z. and Dai, A. 2017. "Uncertainties in historical changes and future projections of drought. Part II: model-simulated historical and future drought changes." Climatic Change 144(3), pp.535-548.

[온라인 자료]

NOAA, www.climate.gov

국가가뭄정보분석센터, http://drought.kwater.or.kr/