

기후변화시대, 충청남도 미래 가뭄관리 방안

이 상 신

충남연구원 기후변화대응연구센터 전임책임연구원

sinslee@cni.re.kr

이 연구는 반복되는 충남지역 가뭄을 기후변화 측면에서 접근하기 위해 미래 가뭄관리가 요구되는 지자체를 파악하고 기후변화 적응역량 강화를 위한 가뭄관리 방향을 제시하는데 목적이 있음.

CONTENTS

1. 가뭄관리 동향
2. 충남 지역 가뭄분석과 전망
3. 가뭄관리 지역 선정
4. 충청남도 가뭄관리 방향

요약

- ◀ 충청남도 시·군별 지난 19년간 가뭄지수분석 결과 시·군별 보통가뭄은 1~2년에 한번, 극한가뭄은 19년간 평균 1~2회 발생하였으며, 갈수록 장기간 가뭄 발생이 증가할 것으로 예측됨
- ◀ 시·군별 기후변화 현황과 전망분석결과 극한 가뭄 발생빈도 증가가 예상되고 있으며, 2030년대, 2080년대 장단기 가뭄분석결과와 기존 연구를 바탕으로 충청남도 가뭄관리 방향을 단기, 중기, 장기로 설정함
- ◀ 단기부터 중기 초기까지는 가뭄인식전환 정책에 집중해야 하고, 중기로 접어들면서 가뭄관련 지역특화사업 발굴이 필요하며, 중기 이후 장기적으로 수리권 재편을 위한 정책에 집중해야 함
- ◀ 가뭄인식전환 정책목표 달성을 위한 범도민 운동 전개, 용수분야별 통합 가뭄대응 로드맵 수립, 가뭄분야 충청남도 안전관리 계획 수립 등의 사업을 제안함
- ◀ 지역특화사업 발굴의 정책목표 달성을 위해 물통합관리 시스템 운영방향 재정립, LID 기술 적용을 위한 지역특화 사업 발굴, 지역 상수공급 특성에 맞는 누수방지사업 추진, 지역 특수성을 고려한 상수도 요금제도 개선 등의 사업을 제안함
- ◀ 수리권 재편의 정책목표 달성을 위해 지방상수도 확충, 지역 댐 장기 활용 계획 수립, 충청남도 물이용 총량제 모델개발 및 적용 방안 마련 등의 사업을 제안함

01

가뭄관리 동향

1. 가뭄의 정의와 분류

- 가뭄은 개념적으로 이해하는데 도움이 되는 개념적 정의와 가뭄의 시작 및 종료, 심각한 정도의 이해 및 규정에 도움이 되는 운영적 정의로 구분됨(강인주, 2000)
 - 개념적 정의 : 장기간 평균 이하의 강우 부족현상이 지속되어 곡물 등에 대규모 피해를 발생시켜 생산량 감소를 초래하는 것을 의미하며, 자연적 요인과 인위적 요인에 의하여 발생
 - 운영적 정의 : 일정기간 동안 과거 가뭄 빈도, 강우강도, 강우 지속시간 등 기상인자들에 대해 평균 이상의 값을 분석하는 것으로, 보통 현재와 과거 30년간의 평균과 비교하여 활용
- 가뭄은 물리적 특성에 따라 기상학적 가뭄, 농업적 가뭄, 수문학적 가뭄으로 분류하며, 추가적으로 수요공급에 따른 영향을 고려한 사회경제학적 가뭄을 포함하여 4가지 범주로 분류한 방법(Wilhite and Glantz, 1985)을 준용하고 있음
 - 가뭄은 대기 중 물순환에 따라 영향을 받게 되는데 가뭄영향순서도(이재수, 2010)에 의하면 강우 부족으로 수자원 감소와 증발산량 증가로 기상학적 가뭄이 발생하고, 이후 토양함수량 감소로 식물 생산량에 영향을 미치는 농업적 가뭄이 발생하며, 다음으로 수문학적 가뭄이, 마지막으로 경제, 토양, 환경 등에 영향을 미치는 사회경제적 가뭄이 발생함
- 가뭄의 분류측면에서 살펴보면 일반국민의 눈높이와 정책목표는 사회경제적 가뭄 수준의 가뭄분석을 요구하나, 현실적으로 가뭄분석 기술은 기상학적 가뭄 수준에 머물러 있어 가뭄관련 연구결과를 정책에 직접적으로 활용하기에는 다소 한계가 있어 가뭄분류를 고려한 정책적 판단이 요구됨

- 가뭄지수는 가뭄의 정도를 정량화하기 위한 가뭄분석 방법으로 다양한 가뭄지수들이 목적에 따라 활용됨
 - SPI(Standard Precipitation Index, 변수 : 강수량) : 강수 부족에 선형적으로 비례
 - PDSI(Palmer Drought Severity Index, 변수 : 강수량, 기온, 유효토양, 수분량) : 농업과 같은 토양수분 상태에 민감한 영향 측정에 유리
 - 10분위 강수량(변수 : 강수량) : 월 강수자료를 10분위로 배열하여 가뭄감시에 활용
 - SWSI(Surface Water Supply Index, 변수 : 강수량, 융설량, 하천유량, 저수지 저류량) : 지역별 물공급 능력 비교시 활용

2. 국가 및 지자체 가뭄관리

- 우리나라의 물 관리 업무가 국토교통부(수량관리), 환경부(수질관리), 농림축산식품부(농업용수관리) 등 여러 부처에 나누어져 있는 것과 같이, 가뭄 발생 시 정부 위기관리 활동도 행정안전부, 환경부, 농림축산식품부, 국토교통부, 기상청 등이 ‘재난 및 안전관리 기본법’, ‘자연재해대책법’ 등을 근거로 각 기관별로 진행함
- 재난 및 안전관리 기본법에 근거한 안전관리기본계획에 따라 중앙정부는 안전관리 집행계획을 수립하고, 시·도 및 시·군·구 지방자치단체는 안전관리계획을 수립하도록 하고 있고 있으며(재난 및 안전관리기본법 제23조, 제24조), 지방자치단체 가뭄대책은 이 안전관리계획에 포함하여 수립됨
- 충청남도가 최근 수립한 안전관리기본계획에는 가뭄관련 내용이 포함되어 있지 않으며, 지방하천정비사업 종합계획 등 주로 물관리와 관련된 계획 일부에 가뭄과 관련한 내용이 포함되어 있으나, 이러한 계획들은 홍수관리에 대한 내용들이 주를 이루고 있음

[표 1] 부처별 주요 가뭄대책

기 관		가 뭄 대 책	기 관	가 뭄 대 책
주 관 기 관	행정안전부 (주관기관) 舊, 국민안전처	· 지역별 위기상황 접수·보고 및 전파 · 관계부처 추진사항 확인 및 해당 지자체 피해 확인 · 유관기관 간 가뭄관련 업무 공조체제 가동 · 소방차량 등 소방력 동원하여 급수지원 · 가뭄대책을 위한 특별교부세 지원	산업통상자 원부	· 국가산업단지 공업용수 현황 모니터링 및 절수 운동 전개 · 가뭄대책 양수시설 전기공사 우선 가설 지원 · 발전용댐 비상방류를 위한 연계운영 강화
	공통	· 가뭄대응 중앙사고수습본부 가동(기관별) · 분야별 가뭄 발생 단계의 조치사항 이행 · 유관기관과 실무기관간의 유기적 연계지원	기상청	· 강수량 분석 및 예측 등 가뭄 관련 기상정보를 재난관리기관에 제공 · 가뭄 관련 기상상황 전파 및 대국민 홍보
			국방부	· 군부대 급수차 등 장비 활용 급수 지원
			舊, 행정자치부	· 자원봉사자 등 인력 지원 관리 · 공무원 비상근무 발령(필요시)
			경찰청	· 식·용수 공급시 질서유지 · 급수차 등 장비 활용 급수 지원
주 관 기 관	농림 축산 식품부	· 중장비 지원, 용수원 개발 예산 지원 등 가뭄대책 추진체제 전환 · 용수원 확대 개발(관정, 하상굴착, 간이보 등) · 양수 장비 및 인력 총동원 급수 추진	지자체	· 해당지역 재난안전대책본부 운영 · 해당지역 단계별 제한(운반) 급수 실시 및 상황 보고 · 기 설치된 빗물이용시설 등 대체 수자원 적극 활용 · 생활·농업·공업용수 분야별 급수대책 이행 · 지역방송매체를 통한 절수운동 등 확대 · 논·밭의 토양수분함량 및 농작물 피해상황 파악
	환경부	· 지방 환경청별로 지역 상황반 운영 · 긴급 용수원 개발, 수도시설 재가동시 수질분석 · 지역실정에 맞는 단계별 급수대책 추진		
	국토 교통부	· 지하수 탐사 기술지원 및 비상급수용 공공지하수 시설, 지하수관측정을 활용한 용수 공급 · 댐 용수공급능력 확보를 위한 단계별 용수공급 조정 · 광역간 또는 지방상수도 간 비상급수 지원		

02

충남지역 가뭄분석과 전망

1. 과거 강수량 분석

- 충남지역에는 종관기상관측장비(ASOS, 5개소)와 방재기상관측소(AWS, 39개)가 운영 중이며, 분석을 위해 시·군을 대표할 수 있는 기상관측소를 19년간(1997~2015) 분석함
 - 일 최대 강수량은 태안, 당진, 홍성 등에서 높게 나타났으며, 연강수량은 보령과 아산이 낮게 나타났는데 두 시·군을 비교하면 보령은 아산에 비해 일최대 강수량이 높게 나타나 상대적으로 홍수와 가뭄이 더 빈번함을 추정할 수 있음
 - 시·군별 생성된 일별강우자료를 활용하여 시·군별 SPI지수(3, 6, 9, 12개월) 분석결과 15개 시·군 전체에서 보통가뭄(SPI -1.0 내외)은 1~2년에 한 번씩 발생하고 있으며, 극한가뭄(SPI -2.0 이하)은 분석대상 기간 평균 1~2회 정도 발생함

[표 2] 시·군별 연평균 강수량(1997년 ~ 2015년, 19년간)

지역	연평균 강수량 (mm/yr)	일최대 강수량 평균(mm/day)	지역	연평균 강수량 (mm/yr)	일최대 강수량 평균(mm/day)
천안	1290.6	133.3	금산	1340.6	126.4
공주	1382.8	122.8	부여	1387.6	131.0
보령	1241.7	130.4	서천	1290.6	129.1
아산	1244.2	116.2	청양	1402.9	137.7
서산	1343.2	137.7	홍성	1326.5	145.2
논산	1299.5	120.8	예산	1287.8	133.9
계룡	1479.9	141.5	태안	1307.5	150.9
당진	1303.9	145.5	평균*	1328.6	133.5

※ 평균값은 충청남도 15개 시·군 평균값으로 충청남도 대표값을 의미하지는 않음

2. 기후변화에 따른 충남 가뭄분석

- 충남도내 시·군별 가뭄지수(SPI) 예측을 위해 기상청에서 제공하는 국가표준기후변화 시나리오(<http://www.climate.go.kr>)의 2100년까지 일별 강수량 전망자료를 활용함
 - 국가표준기후변화시나리오는 온실가스(CO₂) 기준(ppm)에 따라 대기에 미치는 복사강제력을 대표 경로(RCP, Representative Concentration Pathway)로 표시하며, RCP2.6(420ppm), RCP4.5(540ppm), RCP6.0(670ppm), RCP8.5(940ppm)으로 정의함
 - RCP2.6은 인간 활동에 의한 영향을 지구 스스로가 회복 가능한 경우로 실현 불가능한 가정이며, RCP4.5는 온실가스 저감 정책이 상당히 실현되는 경우, RCP6.0은 온실가스 저감정책이 어느 정도 실현되는 경우를 의미함
 - 본 연구에서 사용한 RCP8.5는 최악의 경우로 현재 추세(저감 없이)로 온실가스가 배출되는 경우로 BAU 시나리오를 가정하고 있음
- 평균강수량 증가량(2000년 대비 2100년)은 보령(45.0%), 서천(44.1%)의 강수량 증가가 두드러지며, 계룡(20.0%), 금산(14.6%)이 상대적으로 증가량이 작게 나타남
- 과거가뭄분석에 활용된 측정소가 위치한 셀의 일강수량 자료의 예측 시계열값을 활용하였는데, 이는 시·군 전체 셀의 평균값을 활용할 경우 극값의 출현빈도가 줄어들어 극한홍수나 극한가뭄을 포착하는데 부적절하기 때문에 주변지역 일부 셀의 값만 선택하여 사용함
- 미래가뭄지수는 2030년대(2021~2050), 2080년대(2071~2100)로 각각 SPI지수를 시·군별 기간별(3, 6, 9, 12개월)로 산정하였으며 장단기 SPI 비교결과 단기 SPI에서는 약한 가뭄의 발생빈도가 증가하지만 보통가뭄의 발생빈도는 줄어들고 장기 SPI에서는 약한 가뭄 및 보통 가뭄 발생빈도가 증가하는 경향이 있음. SPI 분석 결과 미래로 갈수록 장기간 가뭄의 발생이 늘어날 것이라는 예측이 가능함

03

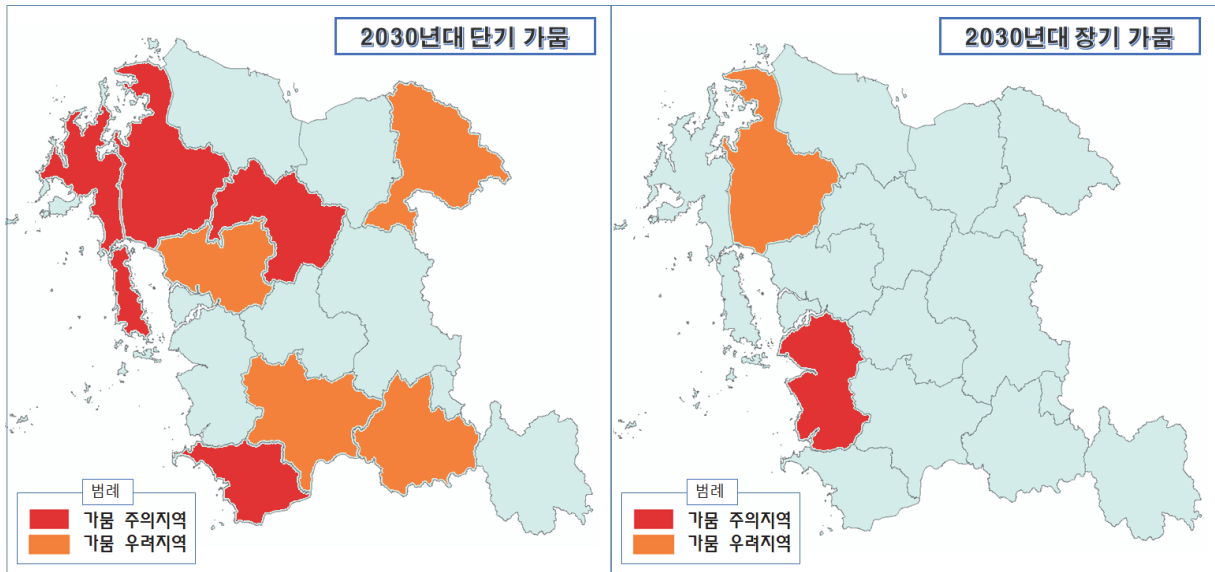
가뭄관리 지역 선정

- 기후변화 시나리오에 기반으로 2100년까지 예측된 시·군별 일강수량자료에 근거하여 예측한 기간별 가뭄지수(SPI)에 따른 충청남도 15개 시·군의 장단기 가뭄지수로 가뭄관리지수를 정의하고(이상신, 2012) 정의된 가뭄관리지수로 미래 장단기 가뭄관리가 필요한 지자체를 선정함
 - 가뭄관리지수에 의한 2030년대, 2080년대 장단기 가뭄관리 주의 및 우려 지자체는 <표 3>과 같음. 서산은 전기간에 대해 가뭄관리가 요구되며, 태안, 예산은 단기가뭄에, 보령은 장기간의 가뭄에 주의를 기울여야 하는 것으로 나타남
 - 가뭄관리 주의대상과 우려대상 지자체는 지역의 사회경제적 여건 등은 고려되지 않고 오직 RCP 기후변화 사나리오 따른 SPI 지수만에 의한 판단임

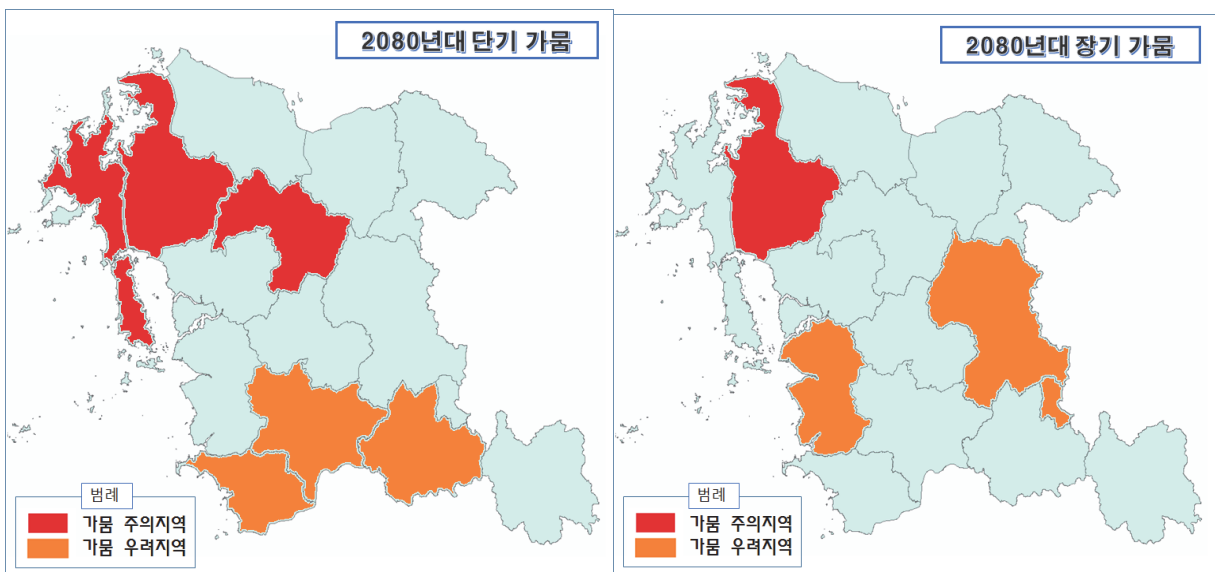
[표 3] 가뭄관리 주의 및 우려 지자체 선정

구분	2030년대		2080년대	
	단기	장기	단기	장기
주의	홍성, 부여, 논산, 천안	서산	부여, 논산, 서천	공주, 보령, 계룡.
우려	서산, 서천, 태안, 예산	보령	태안, 예산, 서산	서산

- 본 연구결과는 앞서 언급한 바와 같이 SPI 지수만에 의한 판단지수로 기상학적 가뭄에 기인한 결과로, 농업적 가뭄, 수문학적 가뭄이나 사회경제적 가뭄 측면에서 분석이 가능하다면 본 연구에서 제시한 결과와 상이한 결과가 나타날 수도 있음



[그림 1] 2030년대 가뭄관리 요구 지자체

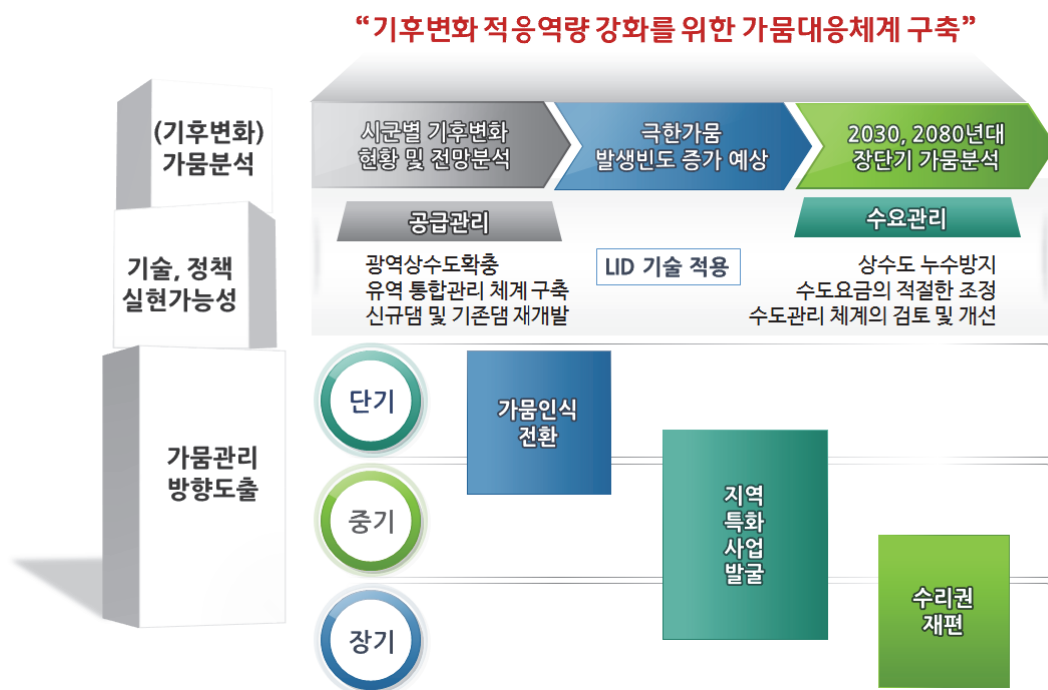


[그림 2] 2080년대 가뭄관리 요구 지자체

04

충청남도 가뭄관리 방향

- 시·군별 기후변화 현황과 전망분석결과 극한가뭄 발생빈도 증가가 예상되고 있으며, 2030년대, 2080년대 장단기 가뭄분석결과와 가뭄대책의 정책실행가능성을 평가한 기존 연구(이상신, 2012)를 바탕으로 충청남도 가뭄관리 방향을 단기, 중기, 장기로 설정함
 - 용수수요관리와 공급관리의 구조물적 대책과 비구조물적 대책 그리고, LID기술 적용대책에 대한 정치적, 행정적 실현가능성 평가를 위해 AHP 분석을 실시하여 정량화하고, 법적 실현가능성은 전문가 평가를 통해 정량화하여 가뭄 요소기술 및 정책의 실현가능성 평가를 실시함
 - 평가결과 LID 기술적용과 공급관리 측면(광역상수도 확충, 유역 통합관리 체계구축 등), 수요관리 측면(상수도 누수방지, 수도요금의 적절한 조정 등)이 실현가능성이 높은 것으로 나타남



[그림 3] 충청남도 가뭄관리 방향설정

- 단기부터 중기 초기까지는 가뭄인식전환 정책에 집중이 필요하며, 중기로 접어들면서 중장기과제로 가뭄관련 지역특화사업 발굴이 필요하며, 중기 이후 장기적으로 수리권 재편을 위한 정책집중이 필요함
- 가뭄인식전환 정책목표 달성을 위해 수요관리 인식전환을 위한 범도민 운동 전개, 용수 분야별 통합 가뭄대응 로드맵 수립, 가뭄분야 충청남도 안전관리 계획 수립, 물관리 분야 기후변화 적응협의체 역할 증대 등의 사업을 제안함
 - 수요관리 인식전환을 위한 범도민 운동 전개 : 용수부족에 대한 공급관리의 중앙정부 중심 대응에서 건전한 물순환 달성을 위해 수자원의 효율적인 활용을 위한 수요관리 중요성에 대한 홍보를 강화하고 있으나, 잠재적 가뭄피해 당사자는 현재 용수 이용에 불편함이 없어 평소 효율적인 물소비를 위한 인식전환을 위해 체계적인 범도민 인식전환 운동 전개가 필요함
 - 용수분야별 통합 가뭄대응 로드맵 수립 : 가뭄은 지속적인 피해가 광범위한 지역에서 발생함으로 지역내 용수분야별 가뭄대응 수립도 중요하지만, 각 분야별 대응들이 상호 유기적이고 지속가능한 체계를 이룰 수 있도록 수립되어야 하며, 가뭄 초기부터 농업용수 뿐만 아니라 공업용수, 생활용수의 수요조절 계획이 함께 수반되어 일정부분 용수분야별 상호 버프역할을 할 수 있도록 로드맵이 수립되어야 함
 - 가뭄분야 충청남도 안전관리 계획 수립 : 지자체 가뭄대응 체계가 마련되어 있으나 지침에 준하는 수준에 머무르고 있어, 충청남도는 가뭄으로 인한 용수공급 체계뿐만 아니라, 전염병 등 가뭄으로 인한 안전관리 항목을 재정비하고 이에 대한 체계적인 계획 수립이 병행되어야 함
 - 물관리 분야 기후변화 적응협의체 역할 증대 : 2016년부터 충청남도는 지자체 최초로 '충청남도 기후변화 적응 협의체(물관리 분야)'를 구성하고 운영하고 있으나 치수측면의 단기적 협의체 구성과 운영에 이수측면을 보강하여 중장기적으로 협의체 역할을 증대하고 지역 가뭄문제 해결을 위한 중추적인 거버넌스 역할을 수행할 수 있도록 발전시켜 나가야 할 것임
- 지역특화사업 발굴의 정책목표 달성을 위해 물통합관리 시스템 운영방향 재정립, LID 기술 적용을 위한 지역특화 사업 발굴, 지역 상수공급 특성에 맞는 누수방지사업 추진, 지역 특수성을 고려한 상수도 요금제도 개선 등의 사업을 제안함
 - 물통합관리 시스템 운영방향 재정립 : 충청남도에서 선도적으로 구축·운영하고 있는 물통합관리 시스템은 충청남도 물관리 정책을 위한 중요한 기초자료를 제공하고 있으나 수량적 측면보다는 수질적 측면을 중심으로 구축되어 있어 물부족 해결이 주목적인 가뭄대응 측면에서는 수량관리를 위한 자료의 지속적인 업데이트가 필요함.
 - LID 기술 적용을 위한 지역특화 사업 발굴 : 가뭄관리를 위한 기술 중 LID 기술은 가뭄관리에 중요한 기술로 고려되고 있으나, 대부분 표준화된 기술로 국가사업 일환으로 진행되고 있어 중장기

적으로 지역특성에 맞는 LID기술 개발을 위한 투자를 통해 국비를 확보하고 이를 통한 가뭄대응 능력 향상을 고려할 필요가 있음

- 지역 상수공급 특성에 맞는 누수방지사업 추진 : 우리나라는 상수도 공급에 있어 누수율 관리가 최우선 과제로 인식되어 있는데 제한급수를 경험한 지자체의 누수율이 40%가 넘어서는 등 누수 방지사업에 대한 필요성은 지속적으로 증가하고 있음. 누수율 제고를 위해서는 우선적으로 지역 상수공급 특성에 대한 전면적인 조사·분석이 선행되어야 하나 예산부족 등으로 현안사업 위주로 진행되고 있어 정책개선이 필요함
 - 지역 특수성을 고려한 상수도 요금제도 개선 : 가뭄대응 문제를 근본적으로 해결하기 위해서는 가뭄은 공급량이 제한됨에 따라 발생하는 사안임으로 수요 조절이 필요하고 수요 조절을 위한 궁극적인 해결방안은 요금제도 개선에 있음으로 지역적 특성을 고려한 차별적 상수도 요금제도 개선을 적극적으로 고려해야 함
- 수리권 재편의 정책목표 달성을 위해 지방상수도 유지 방안 마련(지방상수도 확충), 지역 댐 장기 활용 계획 수립, 충청남도 물이용 총량제 모델개발 및 적용 방안 마련, 지역 수도관리 체계 개선방안 마련 등의 사업을 제안함
- 지방상수도 유지 방안 마련(지방상수도 확충) : 지방자치제 전환 후 광역상수도 보급이 급격히 증가하였고, 현재도 진행 중에 있음. 광역상수도는 관리의 전문성 등 많은 장점을 가지고 있으나, 가뭄문제는 수원 부족이 절대적 원인임으로 지역의 물안보 측면에서도 최소한의 지방상수도를 유지하는 것이 필요함.
 - 지역 댐 장기 활용 계획 수립 : 우리나라 수자원 공급의 중요한 역할은 대규모 댐이 담당하고 있어 지역의 대규모 수원인 댐에 대한 활용 계획을 댐 운영 주체와 함께 지자체가 적극적으로 참여할 수 있도록 제도정비가 시급함
 - 충청남도 물이용 총량제 모델개발 및 적용 방안 마련 : 물은 상류에서 하류로 이동하며 우리나라는 기득수리권에 의해 물을 활용하고 있는 실정이나, 미래에는 물이용 총량 개념 도입이 예상됨으로 장기적으로 이에 대한 대응방안 마련이 필요함

- 본 연구를 통해 제시된 시·군별 가뭄지수와 더불어 기후변화 현황과 전망분석 자료는 향후 충청남도 가뭄정책 수립시 유용하게 활용할 수 있는 기초자료가 될 것이며, 제시된 가뭄대책은 충청남도 기후변화 대응 극한가뭄 대책의 주요사업들로 고려되어야 함

이 상 신

충남연구원 기후변화대응연구센터 전임책임연구원

041-630- 3921, sinslee@cni.re.kr

* 이 글은 충남연구원 2016 전략연구과제 ‘충청남도 기후변화 시나리오에 따른 가뭄분석’을 요약, 재구성한 것임

- 강인주 (2000). 가뭄관리를 위한 수문학적 의사결정에 관한 연구. 고려대학교.
- 이상신 (2012). 기후변화에 따른 극한가뭄대책 및 수자원확보 방안. 한국기후변화대응연구센터.
- 이재수 (2010). 자연재해의 이해. 구미서관.
- Wilhite, D. A., M. H. Glantz. (1985). Understanding the drought phenomenon: The role of definition. Water International, 10, pp.111-120.