

전략연구 2016-34

충청남도 기후변화 시나리오에 따른 가뭄분석

이 상 신

발 간 사

수자원에 의한 재해는 집중호우로 인한 홍수피해를 떠올리지만, 홍수는 상대적으로 좁은 지역에 단기적으로 피해가 발생하여 역사적으로도 피해에 의한 사회경제적 파급효과를 비교적 가볍게 다루고 있었습니다. 하지만, 가뭄은 홍수와 달리 광범위한 지역에 지속적으로 피해가 발생하는 특징이 있어 가뭄이 길어지면 사회지배층의 붕괴를 가져올 정도의 영향력을 가지고 있었으며, 고대문명이 사라진 원인 중 장기극한가뭄을 중요한 원인으로 꼽기도 합니다.

이렇듯 가뭄은 문명을 바꿀 수 있는 중요한 재해임에도 불구하고 우리는 홍수에 비해 소홀히 다루는 경향이 있습니다. 충청남도에서는 2015년 가을부터 보령댐에서 용수를 공급받는 충남 서부지역의 극심한 가뭄으로 인해 제한급수 등의 피해가 발생했으며, 국가 근간산업인 화력발전소 발전시설 가동을 조절하기도 하는 등 충남 뿐만 아니라 국가 에너지산업에도 영향을 미칠 수 있음을 확인하였습니다.

미래 기후변화 시나리오에서는 기후변화에 의한 지구온난화와 더불어 강수량이 증가할 것을 전망하고 있으나 강수일수가 확연히 줄어들어 홍수와 가뭄 발생빈도와 강도가 점점 강해질 것을 예측할 수 있습니다. 이러한 이유로 국가 및 광역지자체의 기후변화 적응대책이 수립되거나 기후변화에 따른 다양한 수자원 관리 정책이 제시되고는 있으나, 기후변화에 따른 지자체 차원의 체계적인 수자원 관리대책, 특히 가뭄대책은 미흡한 실정입니다. 더욱이 기존 기후변화에 따른 가뭄분석 관련 연구나 정책들은 국가차원의 분석이나 유역차원의 분석이 주를 이루고 있어 지자체 차원의 정책수립을 위한 자료로 즉시 활용하기 어려운 점이 있었습니다. 물론 물관리 측면에서는 유역단위 분석이 타당하나 행정운영 측면에서는 유역단위 연구결과를 직접 사용하는데 한계가 있어 행정구역 단위로 변환하여 적용하고 있습니다.

우리 연구원에서는 도내 시·군단위 가뭄분석 및 기후변화 시나리오에 따른 가뭄전망 자료를 생산하고, 미래 가뭄위험도를 제시함으로써 충남도 및 15개 시·군의 미래 중장기 가뭄정책을 수립하는데 본 연구가 기여할 것으로 기대합니다.

2016년 12월 31일
충남연구원장 강 현 수

연구 요약

1. 서론

IPCC 제5차 기후변화 평가보고서(2013)에 따르면 전세계적으로 평균기온 상승 등 극한 기상현상이 심화되고 있으며, 지난 133년간(1880~2012) 지구 평균온도는 0.85℃ 상승하였고 2100년까지 4℃이상의 기온상승이 예측되고 있어 기후변화 대응 필요성이 절실히 지고 있다. 2015년 UN 기후변화협약 제21차 당사국총회(COP21)에서 신기후체계(Post-2020)를 위한 온실가스감축분야의 포괄적인 협정에 더하여 기후변화 적응에 대한 공동대응과 적응의 주류화에 대한 논의가 함께 진행되었다. 이는 현재 배출된 온실가스로 인해 지금 당장 온실가스 배출을 멈추더라도 향후 100년 이상 기후변화 현상은 지속될 것임으로 완화와 더불어 기후변화 적응이 더욱 필요하며, 기후변화 적응 분야 중 물분야 적응은 피해저감을 위한 중요한 분야로 인식되고 있다. 충청남도의 경우 2015년 가을 극심한 가뭄으로 제한급수 등 어려움을 겪었으며, 이러한 극한가뭄은 기후변화 심화로 점점 빈번히 발생할 것으로 예상되어, 기후변화에 대비한 도 단위 가뭄정책 지원을 위한 기초자료 생산이 필요한 상황이다. 따라서, RCP 기후변화 시나리오에 따른 충남지역 가뭄분석을 통해 기후변화를 고려한 충청남도 중장기 가뭄정책 수립을 지원하기 위한 연구가 시급하다.

본 연구의 목적은 최근 충남지역 가뭄피해 지역을 중심으로 가뭄현황 조사와 정량적인 심도 분석을 통한 가뭄지수 산정, 기후변화 시나리오에 따른 가뭄예측과 이를 통한 도내 시·군별 가뭄관리 우선지역을 선정하여 기후변화에 따른 도내 가뭄정책 수립시 활용 가능한 기초자료 제공과 충청남도 차원의 기후변화 적응역량 강화를 위한 극한가뭄 중장기 대책을 제시하는데 있다.

2. 주요 연구내용

1) 국가 및 지자체 가뭄 관리

「재난 및 안전관리기본법」, 「자연재해대책법」, 「국가위기관리 기본지침(대통령훈령 제342호)」 등을 근거로 2015년 9월 정부합동으로 「가뭄 재난」 위기관리 표준매뉴얼을 발표하였다. 매뉴얼은 범정부적 위기관리 체계 및 가뭄 발생 시 기관별 활동 방향을 규정한 것으로, 가뭄재난 위기관리 업무 관련 모든 정부 부처와 기관의 단계별 활동과 피해 저감을 위한 예방대책 수립, 피해최소화를 위한 대책 및 지원체계 가동, 가뭄으로 인한 피해가 예상되거나 발생한 때 적용한다. 가뭄재난 위기관리 활동은 예방-대비-대응-복구로 구분되고, 경보수준은 관심(Blue), 주의(Yellow), 경계(Orange), 심각(Red)으로 구분된다. 위기경보는 국민안전처에서 가뭄과 관련된 징후 포착 또는 위기 발생이 예상되는 경우 중앙재난안전대책본부 상황판단회의를 거쳐 발령한다.

재난 및 안전관리 기본법에 근거한 안전관리기본계획에 따라 중앙정부는 안전관리 집행계획을 수립하고, 시·도 및 시·군·구 지방자치단체는 안전관리계획을 수립하도록 하고 있다(재난 및 안전관리기본법 제23조, 제24조). 지방자치단체의 가뭄대책은 안전관리계획에 포함하여 수립한다. 충청남도가 최근 수립한 안전관리기본계획의 종류에는 가뭄과 관련된 내용이 포함되어 있지 않으며, 지방하천정비사업 종합계획 등 주로 물관리와 관련된 계획에 일부 가뭄과 관련한 내용이 포함되어 있으나, 대부분 홍수관리에 대한 내용들이 주를 이루고 있는 실정이다.

2) 기후변화에 따른 충남지역 가뭄전망

IPCC 제5차 기후변화보고서에 활용된 RCP 기후변화 시나리오(RCP8.5)에 따라 시·군별 강우량을 분석하였으며, 이를 바탕으로 SPI 가뭄지수를 산정하여 미래 가뭄을 전망하였다. 가뭄지수 산정은 2021년부터 2050년까지를 2030년대 가뭄으로 2071년부터 2100년까지를 2080년대 가뭄으로 선정하여 가뭄을 전망하였으며, 가뭄지속시간은 3-SPI ~ 12-SPI로 단기가뭄부터 장기가뭄에 대해 검토하였다. 과거자료와 2030년대, 2080년대의 장단기 SPI 결과를 비교한 결과 단기 SPI에서는 약한 가뭄의 발생빈도가 증가하지만 보통가뭄의 발생빈도는 줄어들고 있다. 하지만 장기 SPI에서는 약한가뭄 및 보통의 가뭄 발생빈도가 증가하는 경향이 있었다.

SPI 분석 결과에 따르면 미래로 갈수록 장기간 가뭄 발생 증가 예측이 가능하다.

3) 충청남도 가뭄관리 방향

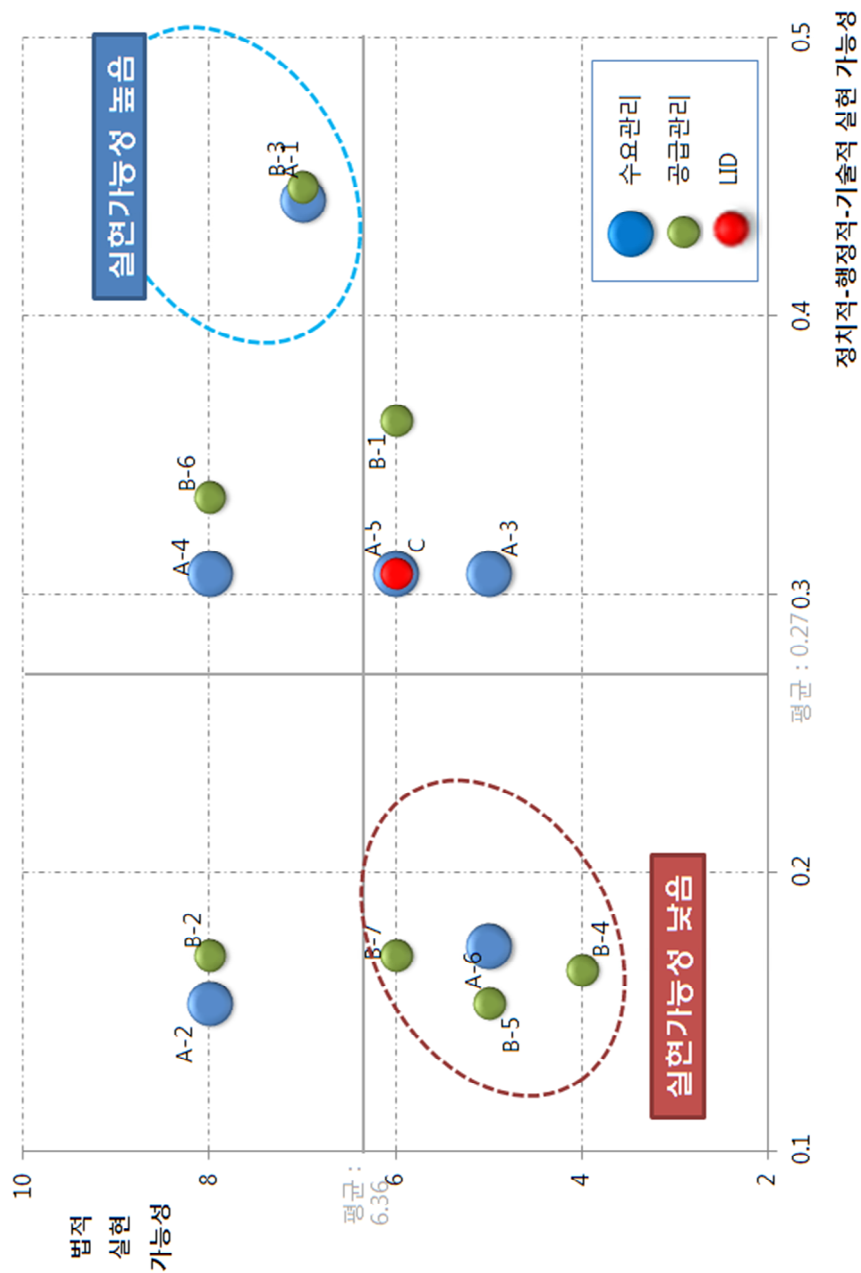
본 연구에서는 기존 연구(이상신, 2011)에서 제시된 가뭄대책과 정책실행 가능성에 대한 연구결과를 인용하여 충청남도 가뭄관리 방향에 참고하고자 한다. 문헌연구에 의하면 가뭄대책과 및 수자원확보 방안에 대한 분류는 용수 수요관리와 공급관리, LID 기술적용대책으로 제안하고 있는데 다음 표 1과 같이 정책실행가능성 평가를 위해 14가지 기술을 평가하였다. 정책 실행가능성은 정치력, 행정력, 기술력의 계층을 구축하여 AHP 방법을 통해 분석하였으며, 법적 실행가능성은 관련 전문가의 정성적 평가를 기준으로 판단하였다.

[표 1] 실행가능성 분석을 위한 수자원확보 요소기술 및 정책

적용	분류	요소 기술 및 정책
A. 용수 수요관리	구 조 물 적용대책	A-1. 상수도 누수방지 A-2. 중수도 확대 A-3. 절수기기 보급 확대
	비구조물 적용대책	A-4. 수도요금의 적절한 조정 A-5. 수도 체제의 검토 및 개선 A-6. 절수형 산업, 농업 구조 형성
B. 용수 공급관리	구 조 물 적용대책	B-1. 신규댐 및 기존댐 재개발 B-2. 지하수개발 B-3. 광역상수도의 확충
	비구조물 적용대책	B-4. 기존 저수지의 용수공급능력 재평가 및 용도전환 검토 B-5. 지표수와 지하수의 연계이용 B-6. 기상예보를 적용한 유역통합 물관리 체제 구축 B-7. 단계별 절수, 제한급수 및 단수
C. LID기술 적용대책	LID 기술 적용대책	C. 다양한 LID 기술 적용에 의한 수질 및 수량 관리

평가결과는 그림 1과 같으며, 상수도 누수방지, 광역상수도 확충이 상대적으로 실행가능성이 높은 정책으로 나타났으며, 기존 저수지의 용수공급능력 재평가와 용도전환 검토 등은 실행가능성이 낮은 것으로 나타났다.

수자원확보 방안 정책 실현가능성 평가



[그림 1] 수자원확보 방안 정책 실현가능성 평가결과

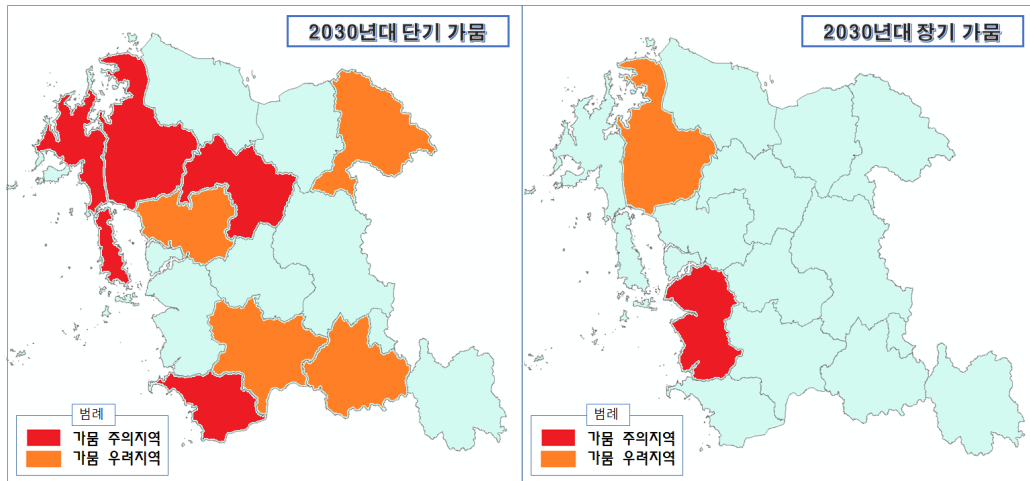
충청남도 가뭄전망과 가뭄대책에 대한 정책실현가능성 평가 결과 활용을 위해 충청남도 가뭄관리 기본방향을 ‘기후변화 적응역량 강화를 위한 가뭄대응체계 구축’으로 선정하였으며, 가뭄관리 방향 도출을 위해 가뭄인식 전환, 지역특화사업 발굴, 수리권 재편을 제안하였다.

4) 가뭄관리 지역 선정

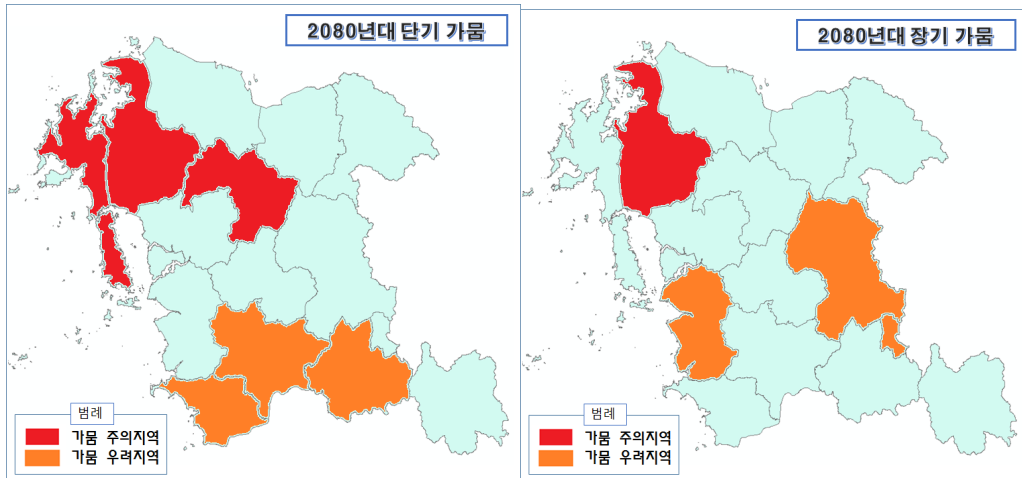
기후변화 시나리오에 의해 2100년까지 예측된 시·군별 일강수량자료로 충청남도 15개 시·군 장단기 가뭄지수를 산정하고 산정된 가뭄지수를 활용하여 가뭄관리지수를 정의하였다. 이를 바탕으로 미래 장단기 가뭄관리가 필요한 지자체를 선정하였다. 가뭄관리지수에 의한 2030년대, 2080년대 장단기 가뭄관리 주의, 우려 지자체는 표 2와 같다. 서산은 전기간에 대해 가뭄관리가 요구되는 것으로 판단되었으며, 태안, 예산은 단기가뭄에 보령은 장기간의 가뭄에 주의를 기울여야 하는 것으로 나타났다. 표 2에서 지정된 가뭄관리 주의대상과 우려대상 지자체는 지역의 사회경제적 여건 등은 고려되지 않고 오직 RCP기후변화 시나리오 따른 SPI 지수만에 의한 판단임을 밝혀둔다.

[표 2] 가뭄관리 주의 및 우려 지자체 선정

	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



[그림 2] 2030년대 가뭄관리 요구 지자체



[그림 3] 2080년대 가뭄관리 요구 지자체

5) 충청남도 가뭄대책 사업제안

충청남도 가뭄관리 기본방향에 따라 가뭄인식 전환과 지역특화 사업발굴, 수리권 재편방안을 목표로 설정하고 각 목표별 충청남도 가뭄대책 사업을 제안한다. 가뭄인식 전환을 위한 단기 사업으로는 수요관리 인식전환을 위한 범도민 운동 전개 등 단기 3개사업, 중기 1개사업을 제안하며, 지역특화 사업발굴을 위해 단기·중기 사업을 , 수리권 재편을 위해 중기·장기 사업 등 총 12개 사업을 제안한다.

	가뭄인식 전환	지역특화 사업발굴	수리권 재편
단기	<ul style="list-style-type: none"> - 수요관리 인식전환을 위한 범도민 운동 전개 - 용수분야별 통합 가뭄대응 장기 로드맵 수립 - 가뭄분야 충청남도 안전관리계획 수립 	<ul style="list-style-type: none"> - 물통합 관리 시스템 재정립 	
중기	<ul style="list-style-type: none"> - 물관리 분야 기후변화 적응 협의체 역할 증대 	<ul style="list-style-type: none"> - LID 기술 적용을 위한 지역특화 사업 발굴 - 지역 상수공급 특성에 맞는 누수방지사업 추진 	<ul style="list-style-type: none"> - 지방상수도 유지방안 마련
장기		<ul style="list-style-type: none"> - 지역 특수성을 고려한 상수도 요금제도 개선 	<ul style="list-style-type: none"> - 물이용 총량제 모델 개발 및 적용방안 마련 - 지역 댐 장기 활용계획 수립 - 지역 수도관리 체계 개선방안 마련

[그림 4] 충청남도 가뭄대책 사업분류

3. 결론 및 제언

1) 요약 및 정책제언

본 연구는 충청남도 시·군별 기후변화 시나리오에 따른 가뭄분석을 통해 기후변화에 따른 가뭄대응 정책 수립에 활용 가능한 가뭄관리 주의지자체와 우려지자체를 2030년대와 2080년대 단기, 장기가뭄에 대해 제시하였다. 이와 더불어 기존 연구에서 제안되었던 가뭄대책에 해당하는 정책이나 사업의 정책실현가능성과 법적 실현가능성 분석 결과를 바탕으로 충청남도 기후변화 적응역량 강화를 위한 가뭄대응체계를 구축할 수 있도록 단기, 중기, 장기 사업을 제안하였다.

가뭄은 기상학적가뭄, 농업적 가뭄, 수문학적 가뭄, 사회·경제적 가뭄으로 분류할 수 있으며, 국가 단위의 가뭄분석 연구는 활발히 진행되고 있으나 충남지역에 국한된 가뭄분석이나 예측연구는 미진하다. 본 연구에서는 충남 및 시·군 행정에서 활용 가능하도록 충청남도 15개 시·군별 기상학적 가뭄을 분석하였다. 미래 RCP 기후변화 시나리오에 따른 시·군별 가뭄지수를 산정하고 그 결과에 따라 가뭄우선 관리지역을 선정하였는데 그 결과 2030년대, 2080년대 모두 충남 서부 지역이 주로 가뭄에 취약한 것으로 나타났다. 특히 서산의 경우 강수량에 국한된 가뭄지수로 판단했을 때 미래 기후변화에 따른 가뭄이 가장 심각할 것으로 나타났다.

본 연구를 통해 제시된 시·군별 가뭄지수와 더불어 기후변화 현황과 전망분석 자료는 향후 충청남도 가뭄정책 수립시 유용하게 활용할 수 있는 기초자료로 활용할 수 있을 것이며, 제시

된 가뭄대책에 대해서는 단기, 중기, 장기적으로 고려되어야 할 정책사업들로 미래 충청남도 기후변화 대응 극한가뭄 대책을 위해 추진여부를 고려해야 할 것이다.

특히, 가뭄대응을 위해서는 가뭄이 '선택적 재해'임을 인지하고 물복지 차원에서도 고려하여 정책을 추진해야 할 것이며, 이를 위해서는 우선적으로 가뭄에 대한 인식전환이 최우선적으로 이루어져야 한다. 또한 가뭄대응 주체는 가뭄피해 당사자임을 인지하고 그 피해에 대한 관리책임과 정책추진에 있어 지자체의 역할이 중요함을 인식하여 정책추진주체가 이를 고려할 수 있어야 한다.

2) 연구의 한계 및 향후 과제

본 연구에서 제시한 충청남도내 시·군별 가뭄관리 요구지자체는 기상학적 가뭄만 고려된 SPI 가뭄지수를 바탕으로 산정되어 지역적 특성(수원의 보유, 가뭄에 대한 적응능력 등)이 고려되지 않아 농업적 가뭄이나 사회경제적 가뭄으로 확대해석하기에는 다소 무리가 있다. 다만, 연구결과로 제시된 미래 가뭄관리가 요구되는 지자체의 경우 가뭄의 근본 원인인 강수량 부족이 지속적으로 유지될 수 있으므로 기후변화 취약성(기후변화 취약성 = 기후노출 + 기후민감도 - 적응능력) 차원에서 살펴보면, 기후노출이 취약하다는 의미임으로 기후적응능력을 높일 수 있는 정책을 준비할 필요가 있음을 말한다.

또한, 본 연구는 가뭄관리 지자체 선정에 집중된 연구로 충청남도 가뭄대책 사업으로 제안된 단기, 중기, 장기 사업에 대해서는 정책 아이디어 차원의 제안에 머물고 있어, 향후 사업별 구체적 추진계획이나 연구가 필요할 것이다.

목 차

제1장 서론	1
1. 연구배경 및 필요성	1
2. 연구범위 및 방법	2
3. 연구 목적	2
제2장 가뭄관리 이론 및 관련 정책동향	3
1. 가뭄의 정의	3
2. 가뭄지수	9
3. 가뭄 정책동향	16
4. 가뭄피해 사례	29
5. 시사점 및 연구의 관점	34
제3장 충남지역 가뭄분석 및 전망	35
1. 과거 가뭄분석	35
2. 시·군별 가뭄지수 전망	40
제4장 충청남도 가뭄대응 전략	53
1. 충청남도 가뭄관리 방향	53
2. 가뭄관리 지역 선정	60
3. 충청남도 가뭄대책 사업제안	64
제5장 결론 및 제언	68
1. 요약 및 정책제언	68
2. 연구의 한계 및 향후 과제	69

표 목 차

[표 2-1] 가뭄의 주요정의	3
[표 2-2] 분야별 가뭄의 정의	5
[표 2-3] Palmer 값에 의한 분류	10
[표 2-4] SPI 값에 의한 분류	14
[표 2-5] Literature Review Scope	17
[표 2-6] 수자원 관련 국내 기후변화에 따른 미래 수자원 전망에 대한 보고서 및 연구논문 비율	17
[표 2-7] 문헌조사에 따른 가뭄지수별 활용비율	18
[표 2-8] 위기경보 수준	20
[표 2-9] 부처별 주요 가뭄대책	23
[표 2-10] 대전광역시 대덕구 생활용수 분야 단계별 추진대책	25
[표 2-11] 가뭄재난 관리대책	28
[표 3-1] 시·군별 기상관측소 현황	36
[표 3-2] 시·군별 연평균 강수량	36
[표 3-3] 시·군별 기간별 가뭄심도별 발생 횟수	37
[표 3-4] 기존 기후변화 시나리오 비교	42
[표 3-5] RCP8.5 시나리오에 따른 시·군별 강수량 증가량	46
[표 3-6] 2030년대 시·군별 기간별 가뭄심도별 연평균 발생 개월	47
[표 3-7] 2080년대 시·군별 기간별 가뭄심도별 연평균 발생 개월	50
[표 4-1] 가뭄대책 및 수자원확보 방안 분류	54
[표 4-2] 실현가능성 분석을 위한 수자원확보 요소기술 및 정책	55
[표 4-3] 기간별 시·군별 가뭄관리지수 순위	61
[표 4-4] 가뭄관리 주의 및 우려 지자체 선정	62

그 림 목 차

[그림 2-1] 가뭄영향순서도	6
[그림 2-2] 미국 NOAA의 PDSI 분포도 예	11
[그림 2-3] PDSI 가뭄지수 산정 예	11
[그림 2-4] 우리나라 10분위 강수량 예	12
[그림 2-5] SPI 산정 절차	14
[그림 2-6] 국가재난관리(NDMS) 상황전파시스템 개념도	22
[그림 2-7] 대전광역시 대덕구 농업용수 분야 단계별 추진대책	26
[그림 2-8] 도·시·군 가뭄관리 체계	27
[그림 2-9] 2015년 가뭄현황	29
[그림 2-10] 2015년 가뭄당시 보령댐 현황	32
[그림 3-1] 분석 대상 기상관측소 위치도	35
[그림 3-2] 시·군별 강수량 통계	37
[그림 3-3] 제5차 평가보고서 발간 현황	40
[그림 3-4] RCP 시나리오에 따른 전망	41
[그림 3-5] RCP 시나리오별 이산화탄소 배출량 추이	43
[그림 3-6] RCP8.5에 따른 2100년 한반도 계절변화	43
[그림 3-7] 기후변화 시나리오 산출과정	44
[그림 3-8] 기상청 기후변화 시나리오 조회 결과	45
[그림 4-1] 실현가능성 분석을 위한 계층구조	56
[그림 4-2] 수자원확보 방안 정책 실현가능성 평가결과	57
[그림 4-3] 충청남도 가뭄관리 방향설정	59
[그림 4-4] 단기 가뭄관리지수 기준	60
[그림 4-5] 2030년대 가뭄관리 요구 지자체	62
[그림 4-6] 2080년대 가뭄관리 요구 지자체	62
[그림 4-7] 충청남도 가뭄대책 사업분류	67

제1장 서론

1. 연구배경 및 필요성

IPCC 제5차 기후변화 평가보고서(2013)에 따르면 전세계적으로 평균기온 상승 등 극한 기상현상이 심화되고, 지난 133년간(1880~2012) 지구 평균온도는 0.85℃ 상승하였고 2100년까지 4℃이상의 기온상승이 예측되고 있어 기후변화 대응 필요성이 절실해 지고 있다. 2015년 UN 기후변화협약 제21차 당사국총회(COP21)에서 신기후체제(Post-2020)를 위한 온실가스감축분야의 포괄적인 협정에 더하여 기후변화 적응에 대한 공동대응과 적응의 주류화에 대한 논의가 함께 진행되었다. 이는 현재 배출된 온실가스로 인해 지금 당장 온실가스 배출을 멈추더라도 향후 100년 이상 기후변화 현상이 지속될 수 있어, 우리는 기후변화 완화 노력과 더불어 기후변화 적응 노력도 기울여야 한다. 많은 기후변화 적응 전문가들은 기후변화 적응 분야 중 물관리 분야 적응이 기후변화 인한 피해저감의 중요한 분야로 인식되고 있다.

다시 말해, 기후변화가 사회전반에 걸쳐 미치는 영향에 의해 피해비용을 발생시키고 있으며, 이러한 피해비용의 대부분은 수자원(홍수, 가뭄 등) 문제가 직간접적인 원인이 되어 발생하고 있다는 것을 의미한다. 물순환의 교란이 홍수, 가뭄과 같은 재해로 이어지고 있으며, 실제 근래 이러한 자연재해의 빈도와 강도가 증가하여 전 세계적으로 많은 피해를 초래하고 있다. 우리나라의 경우도 강수량은 증가하고 있으나 강우일수가 줄어들어 강우강도가 오히려 증가하고 있으며, 이러한 강우패턴의 변화는 홍수, 가뭄과 같은 자연재해 취약성을 증가시켜 가용수자원 관리에 어려움을 초래할 수 있다. 홍수 대응의 경우 그 피해가 즉시 나타남에 따라 가뭄에 비해 관련 연구가 활발하나 이에 반해 가뭄 연구는 비미한 실정이다. 또한, 지자체 차원의 기후변화에 따른 가뭄연구는 그 예를 찾기가 더욱 힘들다.

충청남도의 경우 2015년 가을 극심한 가뭄으로 제한급수 등 어려움을 겪었으며, 이러한 극한가뭄은 기후변화로 인해 점점 빈번히 발생할 것으로 예상되어, 기후변화에 대비한 도 단위 가뭄정책 지원을 위한 기초자료 생산이 필요한 상황이다. 따라서, RCP 기후변화 시나리오에 따른 충남지역 가뭄분석을 통해 기후변화를 고려한 충청남도 중장기 가뭄정책 수립 지원을 위한 연구가 시급하다.

2. 연구범위 및 방법

본 연구는 충청남도의 가뭄정책 자료 활용을 목적으로 유역단위가 아닌 행정구역단위(시·군별)의 가뭄분석을 실시하였다. 연구의 공간적 범위는 충청남도 전역을 포함하고 있으며, 시간적 범위는 과거 19년 관측값과 미래 2100년까지의 기후변화 시나리오 자료를 활용하였다. 연구의 내용적 범위로는 충청남도 가뭄현황 및 가뭄정책 분석과 기후변화 시나리오에 따른 충남도내 가뭄분석을 바탕으로 가뭄관리 우선지역을 선정하여 제시하였으며, 극한 가뭄을 극복하기 위한 대책 및 수자원 확보방안에 대한 정책실행 가능성을 이 연구사례를 통해 제시하였다.

연구결과 도출을 위한 연구방법으로는 문헌연구를 통해 가뭄관련 이론 및 정책 동향을 파악하고 SPI 가뭄지수를 통해 과거 충남도내 시·군별 가뭄지수에 의한 가뭄분석과 기후변화 시나리오(RCP8.5)에 의한 SPI 가뭄전망을 제시하였다. 이를 바탕으로 가뭄우선 관리지역을 선정하고 가뭄관리 기본방향으로 제시되는 다양한 정책에 대한 실현가능성을 기존 연구결과에 기반하여 제시하였으며, 충남지역의 극한가뭄 관리를 위한 중장기 사업을 제안하였다.

3. 연구 목적

본 연구의 목적은 최근 충남지역 가뭄피해 지역을 중심으로 가뭄현황 조사와 정량적인 심도 분석을 통한 가뭄지수 산정, 기후변화 시나리오에 따른 가뭄예측과 이를 통한 도내 시·군별 가뭄관리 우선지역을 선정하여 기후변화에 따른 도내 가뭄정책 수립시 활용 가능한 기초자료 제공과 충청남도 차원의 기후변화 적응역량 강화를 위한 극한가뭄 중장기 대책을 제시하는데 있다.

제2장 가뭄관리 이론 및 관련 정책동향

1. 가뭄의 정의

1) 통상적 의미

가뭄의 정의는 표 2-1과 같이 19세기 후반 Russel이후 최근까지 많은 학자들에 의해 정의 되었으며, 그 정의는 개념적으로 이해하는데 도움이 되는 개념적 정의(conceptual definition)와 가뭄의 시작 및 종료, 심각한 정도의 이해 및 규정에 도움이 되는 운영상 정의(operational definition)로 구분된다(강인주, 2000). 개념적 정의의 경우 장기간동안 평균 이하의 강우 부족현상이 지속되어 곡물 등에 대규모 피해를 발생시켜 생산량 감소를 초래하는 것을 의미하며, 자연적 요인과 인위적 요인에 의하여 발생한다. 운영적인 정의는 일정기간 동안의 과거 가뭄 빈도(frequency), 강우강도(rainfall intensity), 지속시간(duration) 등의 기상인자들의 평균 이상의 값을 분석하는데 이용되는데 일반적으로 현재와 과거 30년간 평균(예년치)과의 비교 시 활용된다.

[표 2-1] 가뭄의 주요정의 (Salas, 1986)

저 자	년 도	정 의
Henry	1906	10일 이상의 총강우량이 5mm보다 작은 기간
Cole	1933	21일 이상의 강우량이 그 지역 평균의 30%이하인 기간
		극한가뭄(extreme drought) : 21일 동안의 강우량이 정상적인 경우의 10%에도 미치지 못하는 경우
British Rainfall Organization	1936	연강수량이 정상적인 경우의 75%이하 또는 월강수량이 정상적인 경우의 60% 미만일 경우
Hoyt	1938	절대가뭄(absolute drought) : 적어도 연속되는 15일 동안의 강우량이 0.25mm이하인 경우
		부분가뭄(partial drought) : 적어도 29일 동안의 평균강우량이 0.25mm/day에 미치지 못하는 경우
		건조기간(dry spell) : 연속되는 15일 동안의 강우량이 1mm이하인 경우
Blumenstock	1942	3개월 이상의 기간 동안 강우량이 평균의 50%이하인 상태
Conrad	1944	총 강수량이 2.5mm미만인 적어도 48시간 이상의 기간
Condra	1944	미국, 3월에서 9월을 포함한 계절 동안 하루 6.4mm미만의 강수량이 지속된

저 자	년 도	정 의
		20일(또는 30일) 이상의 기간
Van Bavel and Verlinde	1953	가용 토양함수량이 대표적 작물의 만족스러운 성장에 필요한 수량이하로 떨어지는 날이 계속될 때 가뭄이 발생
	1956	가용 토양수분의 양이 가용용량의 몇가지 특정 %에도 못 미치는 날
Mcguire and Palmer	1957	월 강우량 또는 연강우량이 정상적인 경우의 몇가지 특정 %보다 작은 기간
Alpatev and Ivanova	1958	공급 가능량이 장기간의 평균보다 25% 감소된 해
Kulik	1958	준가뭄(Semi-drought) : 10일동안 처음에 20cm였던 토양함수량이 20mm로 감소한 경우
		가뭄(drought) : 10일 동안 처음에 20cm였던 토양함수량이 10mm로 감소한 경우
Ramdas	1960	계절 강우량이 평균편차의 2배보다 작은 경우
Tomas	1962	강수량이 장기간의 평균보다 작고 용수부족이 인류에게 큰 타격을 줄 정도로 긴 기상학적 현상
Hudson and Hazen	1964	미국 기상청 (U.S. Weather Bureau) 조사한 가뭄이 인지도 - 가뭄의 개념을 주어진 지역의 물 수요량을 고려하지 않은 물 공급량이 비정상적으로 낮은 기간으로 언급
Palmer	1966	주어진 지점에서 실제 수분공급이 기후적으로 필요한 수분공급보다 적은 수개월 또는 수년 동안의 기간이 지속되는 현상
Richard	1966	근근역(root zone)의 토양수분이 영구시들점(permanent wilting point)이하에 머무는 기간. 이 상태는 일 증발산량보다 많은 강우가 내릴 때까지 계속된다.
Russell	1986	비가 거의 내리지 않는 수개월 또는 수년의 기간

2) 가뭄의 분류

가뭄 관련 국외 선진 연구기관인 미국의 National Drought Mitigation Center(NDMC)에서는 가뭄의 범주를 물리적 특성에 따라 기후학적 또는 기상학적 가뭄(meteorological droughts), 농업적 가뭄(agricultural droughts), 수문학적 가뭄(hydrological droughts)으로 분류하고 있으며, 물 수요공급에 따른 영향을 고려한 사회경제적 가뭄(socio-economic droughts)을 추가하여 4가지 범주로 분류한 방법을 준용(Wilhite and Glantz, 1985)하고 있으며, 용도에 따라 표 2-2과 같이 구분한다. 기상학적 가뭄은 기후학적 가뭄의 강수량 외 증발량 및 증산량 등을 고려하며, 강우가 계절 평균이하의 상태로 지속되어 피해가 생기는 것을 의미한다. 농업적 가뭄이란 작물생육에 필요한 일정 수분이 부족하여 피해가 생긴 경우를 의

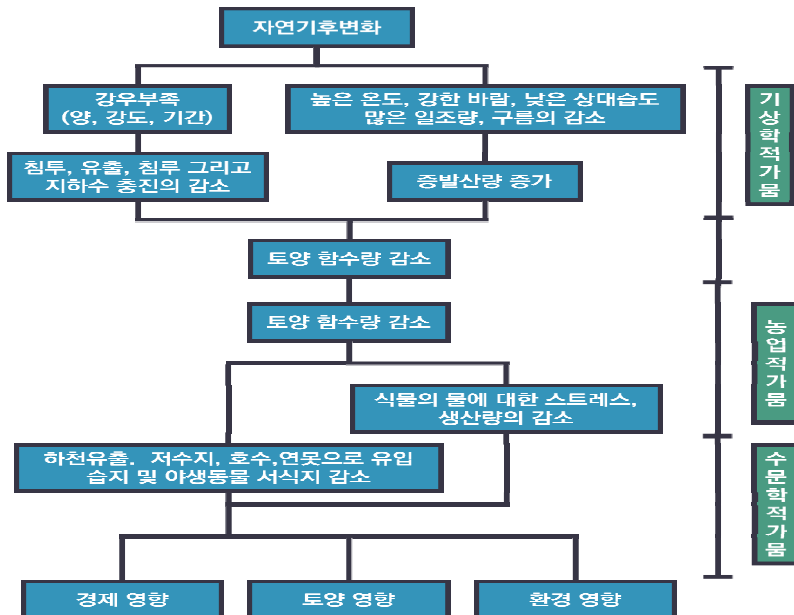
미한다. 수문학적 가뭄은 강우 부족으로 수자원이 감소하는 것을 의미하며, 유역단위로 정의된다. 토양의 경우 수문학적 시스템과 연관되어 있어 기상학적 가뭄은 국소적인 가뭄부족 지역 외에도 훨씬 더 광범위한 지역까지 영향을 미칠 가능성이 있다. 이와 관련하여 상류 내 토지이용의 변경은 침투(infiltration), 유출률(runoff rate) 등의 수문특성을 변화시켜 하천유량의 변량 증가와 하류의 수문학적 가뭄 발생을 초래한다. 사회경제적 가뭄은 생활용수, 공업용수, 농업용수 수요와 공급의 부족으로 인하여 피해가 발생하는 것을 의미한다.

가뭄은 대기 중 물 순환에 따라 영향을 받게 되는데 그림 2-1과 같은 순서로 영향을 받는다(이재수, 2010). 가뭄영향순서도에 의하면 우선적으로 강우부족으로 인한 수자원 감소 및 증발산량 증가의 기상학적 가뭄이 발생하고 토양함수량 감소로 인한 식물 생산량 감소 등 농업적 가뭄이 2차적으로 발생한다. 다음으로 하천유출, 습지 감소 등의 3차적 수문학적 가뭄이 발생하고 이후 마지막으로 경제 및 토양, 환경 등에 영향을 미치는 사회경제적 가뭄이 발생하게 된다. 따라서 도서산간지역과 도시에서 느끼는 가뭄 체감 정도와 그 피해는 상이할 수 밖에 없다. 이러한 가뭄의 피해를 저감시키기 위한 가뭄 발생원인 규명을 위한 연구 시 자연 상태의 대기 순환을 연구하는 것이 아니라, 인간이 물을 남용한 과정, 수요가 증가한 이유 등을 조사해야 한다(변희룡, 2009).

[표 2-2] 분야별 가뭄의 정의(Glantz, 1987)

분류	저 자	년 도	정 의
기상 학적 가뭄	Condra	1994	어떤 기간 동안의 강한 바람, 적은 강우량, 높은 온도 및 낮은 상대 습도, 이와 같은 정의는 특히 대평원 지역의 가뭄 상태에 적용한다.
	Levitt	1958	공기 중의 증기압 부족량에 상당하는 대기 가뭄으로 표현
	Linsley et al	1958	주목할 만한 강우 없이 지속되는 시기
	Downer	1967	유의해야 할 만한 부족량과 부족기간 하의 기준치 이하의 물 부족
	McGuire & Palmer	1957	평수기보다 특정한 양 이하의 월 및 연 강우량을 기록하는 시기
	Palmer	1957	더욱 건조한 조건을 향하는 평균 기후로부터의 일시적인 이탈
		1965	실제 강우와 증발산의 강우 요구량 간의 축적된 가중 차이에 가뭄 심도를 연관시킨 Palmer 가뭄 심도지수(PDSI)로 전개
	Gibbs & Maher	1967	월 및 연 강우 총량으로 순위를 매기고 분포의 누가빈도로부터 10등급을 결정함에 의해 가뭄측정 시스템 전개. 즉 10등급 중 1등급은 분포의 가장 낮은 10%에 속하는 강우치를 나타낸다.
	Lee	1979	가뭄이 전개되고 있을 때를 결정할 10등급의 강우량을 이용한

분류	저 자	년 도	정 의
			오스트레일리아 강우 경계 시스템 전개, 심한 가뭄은 3개월 이상의 기간에 걸쳐 5번째 등급영역을 초과하지 않는 건조기간으로 명시된다.
	Changnon	1980	정상 상태에서부터 경제에 영향을 미치는 날씨까지 강수량의 일탈량을 비교하여 가뭄 측정
농업적 가뭄	Barget et al	1949	곡물에 대한 영향을 가뭄 심도로 연계
	Kulik	1958	식물 수분 요구량과 토용이용 수량 간의 차이를 측정하여 가뭄강도 산정
	Palmer	1968	비정상적인 증발산 부족량에 근거하여 가뭄의 심도를 결정하는 작물 습윤지수 개발
	Heathcote	1974	인간의 농업활동에 악영향을 미칠 정도의 물 부족
수문학적 가뭄	Linsley et al	1975	기존 물관리 시스템하에서 용수를 공급할 수 없을 정도의 하천수 부족기간
	Whipple	1966	홍수 유출량이 장시간 평균 유출량보다 적은 년도를 가뭄해로 정의
	Dezman et al	1982	과거 자료와 저류량, 하천수, 고지대의 강수량 등의 현재 수치를 이용한 지표수 공급 지수
사회경제적 가뭄	Hoyt	1936	인간의 활동을 위해 필요한 수요에 미치지 못하는 강수량인 시기
	Gibbs	1975	식물, 동물 및 인간과 그들의 생활방식과 토지이용을 위해 공급되어야하는 수요량의 의미를 확장
	Standford	1979	강우분만이 아니라 수요의 경향과 유동성에 영향을 미치는 다른 요소를 가뭄과 연계



[그림 2-1] 가뭄영향순서도

(1) 기상학적 가뭄(meteorological droughts)

기상학적 가뭄이란 주어진 기간의 강수량이나 무강수 계속일수 등으로 정의하는 가뭄으로 일반적으로 정상상태 또는 평균적인 개념과 비교하여 건조한 정도와 건조한 상태의 지속기간을 바탕으로 정의된다(이상신, 2012). 보통 예년치와의 비교로 이루어지며, 통상적으로 기온 상승 또는 대기 건조로 인한 증발량 증가, 수지원의 자연적 손실 또한 고려해야한다. 특정지역에서 독립적인 개념으로 활용되며, 지역적인 기상 변화에 따른 정의가 상이하므로 타 지역과의 직접적인 비교는 삼가야한다. 장기간에 걸친 조사 자료의 미비로 추측하여 계산하므로 실효성이 적고 PDSI(Palmer Drought Severity Index)가 여기에 속한다(최홍식, 김상문, 2009). 예를 들면, 미국(1942)의 경우 48시간 내에 강우가 2.5mm보다 적은 경우, 영국(1936)은 일 강우가 2.5mm보다 작은 날이 연속으로 15일 이상인 경우, 리비아(1964)는 연 강우량이 180mm 이하인 경우, 인도(1960)는 실제 계절강우량이 평균 편차의 2배보다 부족한 경우, 발리(1964)는 비가 없는 날이 6일 이상 계속될 경우 등으로 가뭄을 정의한다.

(2) 농업적 가뭄(agricultural droughts)

농업적 가뭄은 강우 부족 관련 기상학적 가뭄 인자인 증발산량 실측치 및 잠재량간의 차, 토양수분 결핍 정도, 지표 및 지하수위의 저하 등으로 인한 농업적인 영향으로 정의한다. 농작물은 기상요소, 식물의 생물학적 특징, 성장단계, 토양의 생물화학적 조건에 따른 물 수요량이 다르므로 발아에서부터 완숙(추수)기까지 전과정에 걸친 물에 대한 민감성을 고려해야한다. 또한, 표토의 수분 부족은 발아율 감소로 연결되어 식물 밀도를 줄이고 최종적으로 생산량 감소로 연결되므로 농업적 가뭄은 농작물의 최종 생산량에 미치는 영향의 정도를 기준으로 하고 있으며, 농작물 임계값 지표 SMDI(Soil Moisture Drought Index)를 사용한다.

(3) 수문학적 가뭄(hydrological droughts)

수문학적 가뭄이란 지표 및 지하수 등이 부족한 상태를 의미하며, 하천수, 호소수, 저수지 등의 지표수 또는 지하수의 공급원이 되는 강우 부족량과 지속시간에 의한 가문학적 가뭄 빈도의 심한정도로 결정된다. 기상기후는 수문학적 가뭄에 가장 크게 기여하는 자연적인 요소이지만 산림훼손 등의 토지이용 및 저급화(degradation) 등의 인위적인 요소 또한 수문학적 특성에 중대한 영향을 미치는 요소이다. 수문학적 가뭄은 강우부족 현상이 토양 내 함유되어 있

는 수분량, 하천 유출, 저수지 및 지하수량 및 수위 등 수문학적 시스템 요소에 영향을 주기까지의 시간이 상대적으로 길어 일반적으로 기상 및 농업적 가뭄 발생시기 보다 시간적으로 지체되는 특성을 갖는다. 이러한 결과로 인하여 경제에 미치는 가뭄의 영향도 시간 간격이 있는데 농업의 강우 부족은 토양 수분 고갈로 직결되어 즉각적인 피해가 발생하는 반면, 전력생산 또는 휴양시설 역할을 하는 저수지의 경우 수위변동에 느린 반응을 보임으로 일정시간 경과 후에 피해가 발생하기도 한다. 따라서 가뭄 시에 물에 대한 갈등 및 경쟁은 더욱 가속화된다.

(4) 사회경제적 가뭄(socio-economic droughts)

사회경제적 가뭄이란 다른 측면의 가뭄 전체를 고려한 광범위한 가뭄으로 기상 관련 수자원 공급 부족으로 인한 경제재의 수요가 공급을 초과할 경우 발생하며, 기상학적, 농업적, 수문학적 가뭄 요소와의 상관관계로 정의할 수 있다. 경제재 수요의 경우 인구 증가, 1인당 물 소비량 증가 등으로 인하여 지속적으로 증가세를 보이고 있으며, 공급의 경우 생산 효율의 극대화, 기술개발, 우수저류시설 보급 및 확대, 댐 건설 등을 통하여 증가시킬 수 있다. 수요와 공급이 동시다발적으로 증가할 경우 상대변화율(relative rate of change)이 제한요소로 작용하는데, 수요의 증가 폭이 공급보다 클 경우 가뭄 취약성이 높아지는 있음을 의미한다.

2. 가뭄지수

가뭄은 자연의 무시할 수 없는 재해중의 하나이며, 상대적으로 장기간에 걸쳐 넓은 지역에 대해 발생하는 특성이 있다. 또한 가뭄은 홍수처럼 단기간에 발생하는 것이 아니라 서서히 다가오기 때문에 가뭄의 정도를 확실히 인식할 수 없어 사전에 대책을 수립하기가 어려우며, 피해의 정도는 간접적이기는 하나 커다란 경제적인 손실을 유발시킨다(이재수, 2010).

이처럼 가뭄은 뚜렷한 대책 없이 맞이할 경우 큰 피해를 발생하기 때문에 가뭄의 정도를 정량화 할 수 있는 가뭄지수가 가뭄 분석으로 많이 이용되고 있다. 일반적으로 많이 이용되고 있는 가뭄지수로는 PDSI(Palmer Drought Severity Index), SPI(Standard Precipitation Index), SWSI(Surface Water Supply Index) 등이 있으며, 각각의 특징에 따라 선택되어 활용되고 있다.

가뭄에 관한 정량적 연구를 최초로 시도한 사람은 Koppen으로 식생에 필요한 강수량을 기준으로 전세계의 강수량을 조사하여 기후구를 분류하였으며, Palmer(1965)는 시·공간적으로 비교 가능한 PDSI를 개발하였다. 또한 McKee 등(1993, 1995)은 시간간격에 따른 가뭄의 빈도와 지속기간의 관계에 대한 연구에서 정규화된 SPI의 정의와 특성을 설명하였으며, 시간간격과 가뭄의 빈도, 지속기간, 강도의 관계를 비교하였다.

국내에서는 가뭄에 대한 대비 및 연구가 부족한 실정이었으나, 1990년대 들어오면서 기상연구소(1993), 윤용남 등(1997)이 우리나라에 PDSI를 적용하였으며, 김선주 등(1995, 1997)이 미국의 서부지역에서 개발된 SWSI를 우리나라에 특성에 맞게 변화하여 WSI(Water Supply Index)를 제시하였으며, 비교적 SPI를 국내 적용한 연구는 다수 존재한다.

가뭄지수는 가뭄의 진행 상태나 심한 정도를 객관적인 수치로 표현할 수 있는 하나의 지표이다. 가뭄에 대한 기준이 여러 가지가 있어 물 공급지표, 유출, 강우, 적설량 등 서로 다른 단위·성질을 갖는 수많은 자료들로 가뭄지수들을 구할 수 있다. 가뭄지수는 무차원 수이며, 의사결정을 위해 실측 자료 보다 더욱 유용하게 사용되며 이들 중 몇몇 지수들은 주어진 기간에 대한 강우량으로 결정된다. 이것은 때때로 과거의 가뭄상황을 재현하였을 때 설정된 기준치와 일치하지 않을 수 있다. 또한 광범위하게 사용되는 가뭄지수들이 다른 지수들보다 뛰어나다고 할지라도, 특수한 목적에 사용하기 위해서는 적절하지 않을 수 있다(임경진 등, 2001).

국내에서 적용·연구되어온 가뭄지수로는 PDSI(Palmer Drought Severity Index), 10분위 강수량(Deciles of Normal Precipitation), SPI(Standard Precipitation Index), SWSI(Surface Water Supply Index) 등이 있다. 여기서 PDSI와 10분위 강수량은 우리나라 “가뭄정보센터”에서 가뭄을 모니터링 하기 위해서 이용하고 있는 가뭄지수이다.

1) PDSI

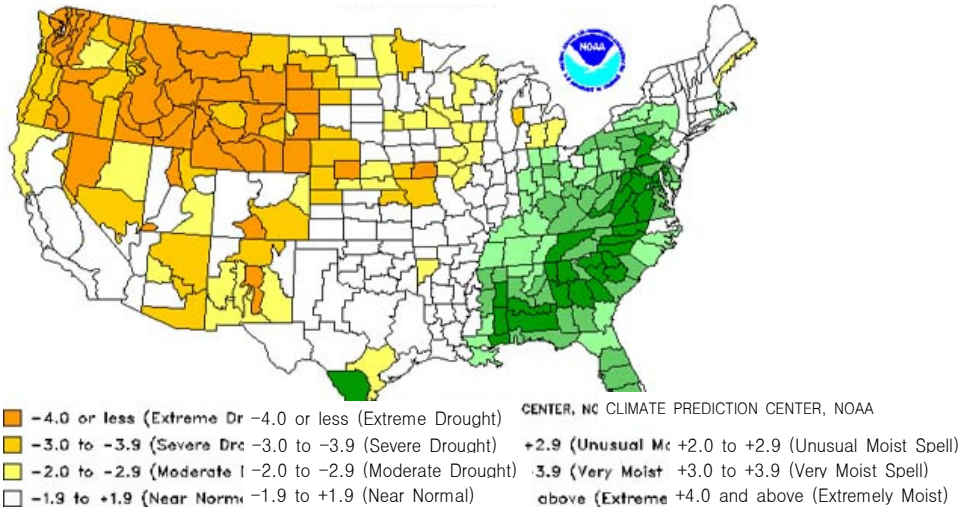
Palmer(1965)는 가뭄을 “주어진 지점에서 실제수분공급이 기후적으로 필요한 수분공급보다 적은 수개월 또는 수년의 기간이 지속되는 현상”으로 정의하였다.

PDSI는 미국에서 여러 가지 목적으로 사용되고 있으며, 농업과 같은 토양수분상태에 민감한 영향을 측정하는데 효과적이다. 또한 미국의 농림부, NOAA와 많은 정부 부서들에서 이용하여 가뭄을 분석 및 전망하였으나 단기예보와 산악지형에서의 이용에는 부적합하다는 단점이 있다. 그러나 이는 특정지역의 강수량이 예년평균을 밀도는 지속기간의 강수량을 누적하여 지수화 한 것으로 특히 장기가뭄의 예보에 효과적이다.

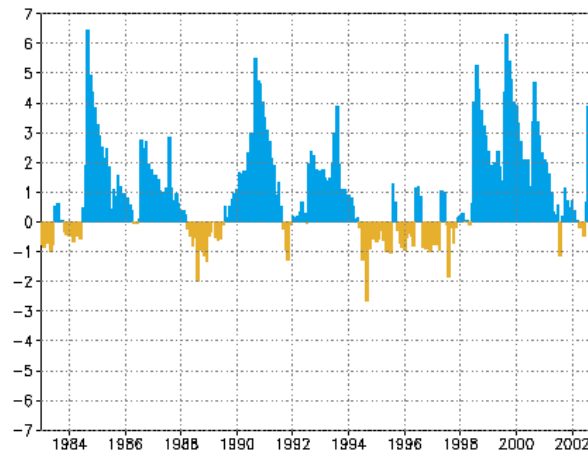
표 2-3은 미국의 중앙 Iowa 지역과 서부 Kansas 지역의 분석 자료를 기초로 하여 만든 가뭄 분류이며, 그림 2-2은 미국 NOAA에서, 그림 2-3는 우리나라 가뭄정보센터에서 제공하고 있는 PDSI 가뭄지수의 예를 나타낸 것이다.

[표 2-3] Palmer 값에 의한 분류

Palmer 지수	Classifications	Palmer 지수	Classifications
4.0 or more	Extremely Wet	-1.0 to -0.5	Incipient Drought
3.0 to 4.0	Very Wet	-2.0 to -1.0	Mild Drought
2.0 to 3.0	Moderately Wet	-3.0 to -2.0	Moderately Drought
1.0 to 2.0	Slightly Wet	-4.0 to -3.0	Severe Drought
0.5 to 1.0	Incipient Wet Spell	-4.0 or less	Extreme Drought
-0.5 to 0.5	Near Normal		



[그림 2-2] 미국 NOAA의 PDSI 분포도 예



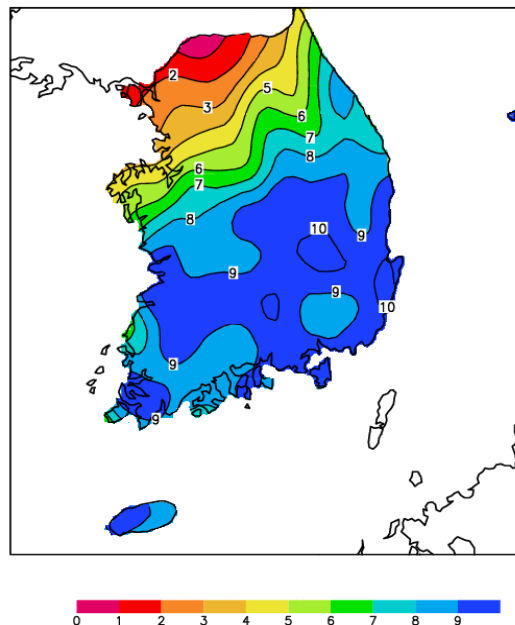
[그림 2-3] PDSI 가뭄지수 산정 예

2) 10분위 강수량

월 강수 자료를 10분위로 배열하는 가뭄 감시 기법으로서 정상 강수백분율의 약점을 피하기 위하여 Gibbs와 Maher에 의해서 개발되었다.

이 기법은 장기간의 강우 자료로부터 구축된 발생 분포 곡선을 각각 10%씩 나누는 것으로 이들 범주를 “10분위” 이라 부른다. 첫 번째 10분위는 강우발생의 가장 낮은 10%보다 초과되지 않는 강우량을 말하고, 두번째 10분위는 가뭄 정도가 10%보다 높고 20%를 초과하지 않는 강우량을 의미한다. 이러한 10분위는 10번째 10분위에 의해 규정되는 강우량이 장기간 기록에 있어서 최대 강우량이 될 때까지 계속된다. 정의에 의하면 5번째 10분위가 중앙치이고 이것은 강우기록동안 발생의 50%가 초과되지 않는 강우량을 말한다.

10분위 방법은 상대적으로 계산이 간편하고, Palmer 지수보다 적은 자료와 가정을 필요로 하기 때문에 ADWS(Australian Drought Watch System)에서 가뭄 측정방법으로 선택되었다.



[그림 2-4] 우리나라 10분위 강수량 예

3) SWSI

SWSI(표면유출공급지수)는 Palmer 지수에서 토양 수분 조건에 대한 영향을 보완하기 위해 Shafer와 Dezman에 의해 개발되어 미국 콜로라도 유역에 최초로 적용되었다. SWSI는 본래 “산악 수 의존유역에서 용수 유용성을 지시기가 될 것, 예측 할 수 있을 것, 그리고 한해

평가가 가능하도록 유역에서의 용수 공급상태의 비교가 가능할 것”을 전제로 하고 있다.

이 지수의 기본적인 개념은 각 인자들의 비초과확률(nonexceedance probability)을 사용하는 것으로 지역별 물 공급 능력의 비교를 가능케 하며, 모든 지역을 하나의 동일한 기준으로 비교할 수 있다.

SWSI는 4개의 수문특성인자 즉, 적설량, 하천 유출량, 강수량 그리고 저수지 저류량의 비초과확률을 누적하고, 가중치를 둔 합계로서 수식화 하여 다음 식으로 계산된다.

$$SWSI = \frac{aP_{snow} + bP_{prec} + cP_{strem} + dP_{resv} - 50}{12}$$

여기서, a , b , c , d 는 각 수문특성인자의 가중치($a + b + c + d = 1$)이며, P 는 각 인자로부터 선정된 적정확률분포형의 비초과 확률(%)을 나타낸다.

4) SPI

McKee 등(1993)은 강수량이 부족하면 용수 공급원인 지하수량, 적설량, 저수지 저류량, 토양 함유 수분, 하천 유출량 등에 각기 다른 영향을 미친다는 것으로부터 SPI를 개발하였다. SPI는 사용자의 요구에 따라 다양한 시간축척(1, 3, 6, 12, 24개월 등)에 대해 강수 부족량을 측정하여 개개의 용수공급원이 가뭄에 미치는 영향을 산정 하는 것이다. 이렇게 특정 시간단위로 산정된 SPI는 각 시간단위에 따라 여러 관심에 따른 분야에 사용될 수 있다. 예를 들면, 단기간의 시간축척은 농업적 관심에 사용될 수 있으며, 비교적 장기간의 시간축척은 수자원공급관리 등에 사용될 수 있다(유원희, 2000; 경기개발연구원, 2002).

또한 가뭄은 위에서 언급한 용수 공급원 중 하나 혹은 그 이상의 요소의 부족으로부터 시작되며, 강수가 시작되어 물을 이용할 수 있을 때까지의 기간은 요소에 따라 다르다. 그러므로 강수 부족이 지속되는 시간 단위는 매우 중요하고 이 시간 단위에 의해서 가뭄의 양상이 분리될 수 있다.

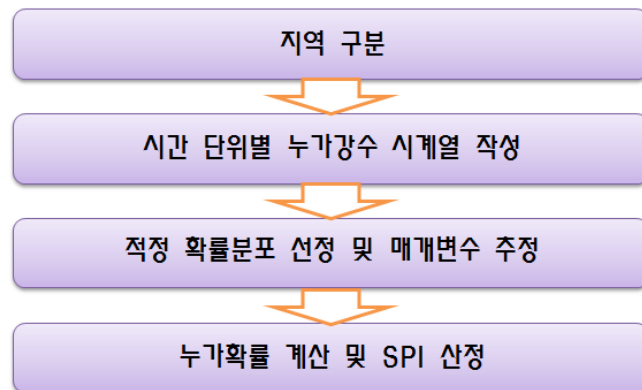
SPI는 강수 부족에 선형적으로 비례하고 강수확률, 누가강수평균백분율 그리고 누가강수 부족량을 고려한다. 산정된 SPI는 확률분포형을 도입하였기 때문에 가뭄뿐만 아니라 가뭄이 끝나기에 필요한 강수의 확률을 결정하는 것을 가능하게 한다(McKee 등 1993).

McKee 등(1993)은 SPI의 결과로부터 얻은 가뭄 심도를 정의하기 위해서 표 2-4와 같은 분류체계를 이용하였다.

[표 2-4] SPI 값에 의한 분류

SPI	Classifications
2.0 and more	Extremely Wet
1.5 to 2.0	Very Wet
1.0 to 1.5	Moderately Wet
-1.0 to 1.0	Near Normal
-1.0 to -1.5	Moderately Dry
-1.5 to -2.0	Severe Dry
-2.0 and less	Extremely Dry

SPI의 산정 절차는 다음과 같다(그림 2-5, 유원희, 2000).



[그림 2-5] SPI 산정 절차

(1) 지역 구분

기후 특성 및 지형적 특성이 유사하고 지리적으로 인접한 지역으로 구분하며, 일반적으로 하천 수계에 따라 소유역 별로 나누게 된다.

(2) 시간 단위별 누가강수 시계열 작성

이동 누적에 의한 방법으로 월 강수량을 시간 단위에 따라 연속적으로 중첩하여 구한다.

(3) 적정 확률분포 선정 및 매개변수 추정

Guttman(1998)에 의하면 SPI를 산정하기 위한 적정 확률분포형은 Pearson Type III분포라고 했으며, 유원희(2000)는 Pearson Type III분포와 기타 다른 확률분포형을 사용하여 그 결과를 비교하였을 때 큰 차이가 없다고 하였다. 따라서 SPI를 산정하기 위한 적정 확률분포형으로 Pearson Type III분포를 선정하였으며, 모멘트법을 사용하여 각 월별 매개변수를 산정하였다.

Pearson Type III분포는 다음 식과 같다.

$$f(x) = \frac{1}{a\Gamma(\beta)} \left(\frac{x - x_0}{a} \right)^{\beta-1} \exp\left(-\frac{x - x_0}{a}\right)$$

여기서 $\Gamma(\beta)$ 는 감마함수, a 는 규모 매개변수, β 는 형상 매개변수, x_0 는 위치 매개변수이다. a 가 양수일 때는 $x_0 \leq x < \infty$ 이고, a 가 음수일 때는 $-\infty < x \leq x_0$ 이며, $\beta > 0$ 이다. 매개변수는 다음과 같다.

$$a = \frac{S C_s}{2}, \quad \beta = \left(\frac{2}{C_s} \right)^2, \quad x_0 = \bar{x} - a\beta$$

여기서 S 는 표준편차, C_s 는 왜곡도 계수이며 \bar{x} 는 평균강수량이다.

(4) 누가확률 계산 및 SPI 산정

각 월의 확률분포함수에서 누가확률을 계산할 수 있으며, 이 값이 표준정규분포의 누가확률 값과 같아지는 값이 SPI가 된다.

3. 가뭄 정책동향

1) 가뭄 관련 연구·정책 특성

지속되는 기후변화로 인하여 이상기후와 극한사상 빈도 및 규모, 피해정도가 증가하고 있는 현 시점에서 수자원 확보 및 홍수 관련 연구는 활발히 진행되고 있으나 가뭄 관련 연구는 상대적으로 미흡하다. 이를 증명하듯 국토교통부는 금년 보완 및 수립되는 수자원장기종합계획을 통하여 맑은 물의 안정적 공급, 홍수에 안전한 국토기반 구축, 생명이 살아있는 친수환경 조성, 수자원 기술개발 및 산업 육성의 4대 목표와 95개의 세부 추진계획을 마련한다. 즉, 홍수에 관한 연구는 부처차원에서 활발히 진행하고 있으나 구체적이고 심도 있는 가뭄 관련 연구는 미비한 것이 현실이다. 이는 홍수의 경우 수반되는 영향 및 피해가 단시간 내에 즉각적으로 나타나는 반면, 가뭄의 경우 잠복성 재해로서, 느리게 발달하여 잠복성을 지니므로 피해규모 및 정도를 명확하게 계량적으로 측정하는 것이 현실적으로 어렵기 때문이다. 충청남도를 비롯한 국내에서는 1990년대 이후 가뭄 발생빈도가 지속적으로 증가하고 있으며, 극한가뭄의 빈도 또한 증가 양상을 보이고 있어 피해 경감을 위한 다각적인 연구가 필요하다. 미국, 영국, 캐나다 등의 주요 선진국에서는 국가 차원에서 기후변화를 비롯한 극한사상(가뭄, 홍수, 태풍, 호우 등)에 대한 체계적인 표준 대응체계 및 모니터링시스템이 확충되어 있어 효과적으로 관리하여 피해 경감에 주력하고 있다.

2) 국내외 연구동향

국내에서 가뭄에 대한 관심을 갖기 시작한 것은 1960~70년대로 가뭄대책기구의 조직화가 처음 이루어졌다. 1980~90년대는 종합적인 가뭄정책에 대한 태동기로 현재와 같이 다각적으로 가뭄대책을 수립하기 시작한 것은 2000년대 이후이다. 최근에는 기후변화에 따른 가뭄에 대한 관심이 높아지면서 표 2-5~7과 같이 가뭄 판단 방법론인 가뭄지수 산정, 기후변화 시나리오에 따른 중장기 전망 등 미래 예측에 대한 연구가 증가하고 있는 추세다. 일반적으로 시나리오 기반의 연구는 IPCC(Intergovernmental Panel On Climate Change)에서 제시한 온실가스 배출시나리오를 바탕으로 GCM(Global Climate Model), RCM(Regional Climate Model) 등의 기후모델과 지수를 이용하여 미래 가뭄을 전망하고 있다(박범섭 외, 2013). 장연규 등(2006)은 기상청 산하 59개 우량관측소의 1973~2001년까지 29개년의 일 강수량 자료를 이

용하여 SPI 가뭄지수를 산출하고 이를 경험적 직교함수(Empirical Orthogonal Function, EOF)분석을 통하여 가뭄의 시·공간적인 특성을 연구하였다(국립재난안전연구원, 2013). 기후변화 대응 미래 수자원전략 보고서(2010)는 향후 100년간 극한가뭄의 발생 빈도는 2배, 가뭄 지속기간은 6배 증가할 것으로 전망하며, 21세기 중반 국내를 비롯한 중위도 지역은 현재보다 하천유량이 약 10~30% 정도 감소될 것으로 예측하고 있다.

[표 2-5] Literature Review Scope(이주현 외, 2010)

Journal/ Research Report	연도	2000~2010년 / 2001~2010년
	총 편수	약 43년 / 18편
	저널명	대한토목학회, 한국수자원학회, 한국기상학회, 한국수문학회, 한국환경영향평가학회, 대한환경공학회, 한국지역지리학회, WRR, IJC, AG, CC, JGR(2)
주요 내용		기후변화 시나리오, 가뭄 지수, 가뭄 모니터링, 가뭄 전망, 가뭄 빈도해석, 하천 건천화, 평가지표, 평가기법, 방지대책, 물수지 분석flood, IDF 등
키워드		climate change scenario, drought index, drought monitoring, drought outlook, forecast, drought frequency analysis, 등

[표 2-6] 수자원 관련 국내 기후변화에 따른 미래 수자원 전망에 대한 보고서 및 연구논문 비율(이재경 외, 2012)

구분	기상인자			수분인자			
	강수	온도	증발산량	지표수	지하수	홍수	가뭄
프로젝트 보고서(%)	86.0	62.0	18.7	83.1	-	82.0	28.2
연구논문(%)	98.0	73.4	15.3	52.6	-	51.3	17.8

가뭄지수는 수문 및 기상상태를 반영하여 가뭄의 진행 단계와 강도 등을 시·공간적으로 정성적 또는 정량적으로 제시하는 지표(한국환경정책·평가연구원, 2013)가 되는데, 가뭄지수 평가 및 비교분석 관련 연구를 살펴보면, 기후변화 대응 물안보 위기관리 정책 연구(한국환경

정책평가연구원, 2012)에서는 RCP 8.5 시나리오를 통하여 SPEI(표준강수 증발산지수)값이 -1을 하회하는 경우인 극한가뭄 발생빈도가 한강유역에서 전반적으로 증가할 것이라고 예측하였다. 기후변화를 고려한 농업가뭄지수 활용 및 적용 기초연구(한국환경정책·평가연구원, 2012b)에서는 가까운 미래의 SPI(표준강우지수)와 SPEI는 변동성이 유사했으나 시간의 경과에 따라 초반에는 SPI의 가뭄 발생 비율이 높았으나 후반부로 진행될수록 SPEI의 가뭄 발생 예측치가 높은 결과를 나타내었다.

표준강수 증발산량지수(SPEI)와 대표농도경로(RCP)를 이용한 남한지역 미래 가뭄의 변화전망(김병식 외, 2013)은 시간규모 6개월의 SPI와 SPEI를 활용하여 과거 가뭄 발생사례 및 미래 RCP 8.5 시나리오를 기반으로 가뭄을 예측하였다. 결과적으로 미래로 갈수록 강수와 증발산 모두 증가하는 경향이 나타나지만, 강수량에 대한 증발산량의 비율이 미래로 갈수록 커지는 것으로 나타났다(김병식 외, 2013).

국토교통부(2013)의 문헌조사 결과 가뭄지수에 대한 보고서 및 다양한 문헌들에서 나타나는 가뭄지수별 활용비율을 보면 SPI 가뭄지수가 가장 많이 활용되고 있었으며, PDSI, SWSI, NDVI, EDI 등 다양한 가뭄지수들이 연구에서 활용되었음을 알 수 있었다(이상신, 2012).

[표 2-7] 문헌조사에 따른 가뭄지수별 활용비율(국토교통부, 2013)

구분	가뭄지수							
분류	SPI	PDSI	(M)SWSI	NDVI	EDI	DDI	SMI	PN
비중 (%)	37	31	12	6	4	4	4	2
변수	강수량	강수량 기온 유효토양 수분량	강수량 용설량 하천유량 저수지 저류량	근적외선 밴드의 분광반사 도 적외선 밴드의 분광반사 도	강수량	강수량	강수량 기온 습도 풍속	강수량

최근까지 진행된 국내 가뭄 관련 연구는 지점 관측자료 기반의 추계 및 통계학적 공간분석 연구로 방법론의 불확실성으로 인하여 선진국에서 진행되고 있는 인공위성 활용 가뭄분석 연구가 확대되고 있는 전망이다. 가뭄 관련 연구는 타 극한기후 관련 연구에 비하여 차지하는 연구비중이 높은 편은 아니지만 지속적으로 증가하고 있으며, 증가폭이 높지 않은 반면, 다양한 분야에서 이루어지고 있다.

한편, 국외에서 진행된 연구사례를 살펴보면 EU의 Institute for Environment and Sustainability(IES), European Drought Center(EDC) 등의 기관에서 유럽 전체 또는 국가별 가뭄 관련 연구와 모니터링을 시행하고 있다. Bernhard Lehner et al.(2008)은 100년 빈도 가뭄의 심한정도를 유럽전역 지도에 표시하였으며, 2070년대 일부 지역에서 10~50년 빈도가 증가할 것으로 전망하였다. Luc Feyen et al(2009)의 경우 유량산정 수문모형을 통하여 모든 계절 온도는 전반적으로 증가하며, 강우량의 경우 frost-free 시즌에만 증가한다고 예측하였다.

M. WeiB et al(2007)은 북아메리카를 대상으로 수문모형을 통하여 일부 지역 과거시간의 100년 빈도에 해당하는 가뭄이 2070년 10년 빈도로 나타날 것으로 예측하였다. 미국의 경우 국공립을 비롯한 산학연구소 간 공동 위성 이용 가뭄예보 및 감시 연구를 진행 중이며, 네트워크를 통하여 국민들에게 정보공개를 시행하고 있다. 미 농무성(United States Department of Agriculture, USDA)에서는 가뭄 모니터링을 실시하여 지역별 가뭄상황에 대한 명확한 정보를 실시한 제공하여 극한가뭄 위험관리를 매뉴얼을 활용하고 있다. Anderson et al.(2011)에서는 10년 간 생장기를 대상으로 ESI를 공간지도 산정하여 가뭄을 분석하였다.

중국 수리부에서는 2005년 1월부터 SAS의 데이터 마이닝 기술이 결합된 SAS 비즈니스 분석 플랫폼을 도입, 홍수방지·조절 및 수자원 관리정보시스템(이하 FCD & WRMDMS : Flood Control Dispatching & Water Resources Management Information System)을 구축하였다(이동률 등, 2013).

3) 국가 가뭄관리

우리나라의 물 관리 업무는 여러 부처에서 담당하고 있다. 대표적으로 국토교통부, 환경부, 농림축산식품부 등이 있으며, 국토교통부는 수량관리, 환경부는 수질관리, 농림축산식품부는 농업용수관리를 담당하고 있다. 가뭄 발생 시 정부 위기관리 활동에 있어 주된 책임을 지는

중앙행정기관에는 국민안전처, 환경부, 농림축산식품부, 국토교통부가 있다.

「재난 및 안전관리기본법」, 「자연재해대책법」, 「국가위기관리 기본지침(대통령훈령 제342호)」 등을 근거로 하여 2015년 9월 정부합동으로 「가뭄 재난」 위기관리 표준매뉴얼을 발표하였다. 매뉴얼은 범정부적 위기관리 체계 및 가뭄 발생 시 기관별 활동 방향을 규정한 것으로, 가뭄재난 위기관리 업무 관련 모든 정부 부처 및 기관의 단계별 활동과 피해 저감을 위한 예방대책 수립, 피해최소화를 위한 대책 및 지원체계 가동, 가뭄으로 인한 피해가 예상되거나 발생한 때 적용한다.

가뭄재난 위기관리 활동은 예방-대비-대응-복구로 구분되고, 경보수준은 관심(Blue), 주의(Yellow), 경계(Orange), 심각(Red)로 구분된다. 위기경보는 국민안전처에서 가뭄과 관련된 징후 포착 또는 위기 발생이 예상되는 경우 중앙재난안전대책본부 상황판단회의를 거쳐 발령한다. 위기경보를 구분하는 기준은 표 2-8과 같다.

[표 2-8] 위기경보 수준

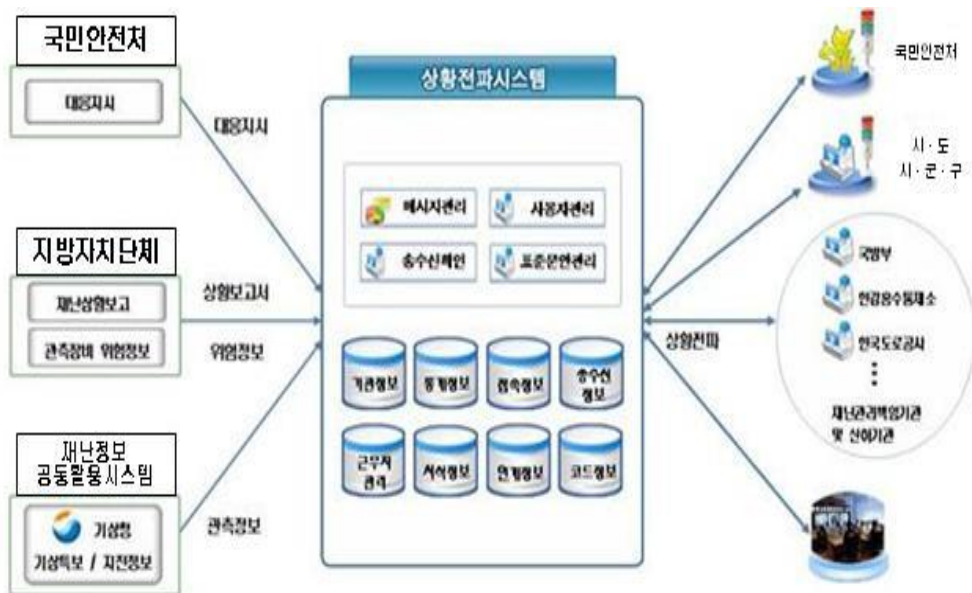
구 분	판 단 기 준	비 고
관심 (Blue)	<ul style="list-style-type: none"> · 최근 2개월 해당지역 누적강우량 평년대비 80% 미만, - 해당지역 지방상수도 공급량 10~30 미만 감량 공급 - 해당지역 저수지 저수율 80~71% 또는 밭 토양 유효수분율 80~61% · 댐 용수 : 실수요량으로 감축 공급 	징후 감시활동
주의 (Yellow)	<ul style="list-style-type: none"> · 최근 2개월 해당지역 누적강우량 평년대비 70% 미만, - 해당지역 지방상수도 공급량 30~50 미만 감량 공급 - 해당지역 저수지 저수율 70~61% 또는 밭 토양 유효수분율 60~41% · 댐 용수 : 하천유지용수 추가감량 공급 	<ul style="list-style-type: none"> · 협조체계가동 · 대비태세점검
경계 (Orange)	<ul style="list-style-type: none"> · 최근 2개월 해당지역 누적강우량 평년대비 60% 미만, - 해당지역 지방상수도 공급량 50% 이상 감량 공급 - 해당지역 저수지 저수율 60% 이하 또는 밭 토양 유효수분율 40% 이하 · 댐 용수 : 농업용수, 생·공용수 추가감량 공급 	대응태세 돌입
심각 (Red)	<ul style="list-style-type: none"> · 전국적인 대규모 가뭄피해가 발생하였거나, 발생 우려가 있는 경우 	대응조치 강화

우리나라에서는 주요 가뭄이 발생하면, 중앙재난안전대책본부를 중심으로 각 부처별 가뭄 상황 관리 체계가 구성된다. 정부부처 및 기관은 매뉴얼 내 위기수준별, 단계별 추진사항 및 활동내용에 따라 업무를 수행한다. 대비단계에서는 관계부처 및 지자체간 대비 체계 구축, 용수 확보 및 공급대책 추진 등을 수행한다. 대응단계에서는 신속한 가뭄대책 시행과 장비 및 인력 신속 지원, 민·관·군 급수차량·인력 비상지원체계를 강화한다. 복구단계에서는 피해 복구비 지원, 가뭄 피해조사 및 복구, 가뭄관리시스템 보완 등을 수행한다.

표 2-9는 가뭄재난 위기관리 활동 중 실제 가뭄 발생 시인 ‘대응’ 단계에서의 기관의 임무·역할이다. 추진사항 및 활동내용은 정량적인 기준으로 보기 힘들며 이 기준에 따라 활동하기에는 어려움이 있어 방재활동에 명확한 기준이 필요하다.

대국민 위기상황 홍보·전파 방법으로는 재난문자전송서비스(CBS), 재난방송온라인시스템(EDBS)이 있다. 재난문자전송서비스는 국가재난관리(NDMS) 상황전파시스템을 활용해 송출 내용을 요청하거나 CBS를 활용해 사용기관이 메시지를 중앙재난안전실로 송출 요청 시 기지국 단위로 시·군·구 지역별로 휴대폰 가입자를 대상으로 실시간 동시 전달하여 휴대폰으로 재난정보를 수신할 수 있도록 하는 서비스이다. 재난방송온라인시스템은 재난 및 재해가 발생하거나 발생 우려가 있을 경우 재난상황을 전국 방송사에 실시간 자동 통보하는 시스템으로 재난방송을 통해 위기상황 및 대국민 행동요령 전파하여 재난으로 인한 피해를 예방하거나 최소화하기 위해 자막문자방송시스템을 활용한 홍보·전파 체계이다.

국가재난관리(NDMS) 상황전파시스템은 재난상황을 실시간 전파하여 신속하게 대응체계를 구축할 수 있도록 재난발생 상황전파에 가장 유용한 방법이다.



[그림 2-6] 국가재난관리(NDMS) 상황전파시스템 개념도

[표 2-9] 부처별 주요 가뭄대책

기 관		가 뭄 대 책
국민안전처 (주관기관)		<ul style="list-style-type: none"> · 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
주 관 기 관	공통	<ul style="list-style-type: none"> · 가뭄대응 중앙사고수습본부 가동(기관별) · 분야별 가뭄 발생 단계의 조치사항 이행 · 유관기관과 실무기관간의 유기적 연계지원
	농림축산 식품부	<ul style="list-style-type: none"> · 종장비 지원, 용수원 개발 예산 지원 등 가뭄대책 추진체제 전환 · 용수원 확대 개발(관정, 하상굴착, 간이보 등) · 양수 장비 및 인력 총동원 급수 추진
	환경부	<ul style="list-style-type: none"> · 지방 환경청별로 지역 상황반 운영 · 긴급 용수원 개발, 수도시설 재가동시 수질분석 · 지역실정에 맞는 단계별 급수대책 추진
	국토교통부	<ul style="list-style-type: none"> · 지하수 탐사 기술지원 및 비상급수용 공공지하수시설, 지하수관 측정을 활용한 용수 공급 · 댐 용수공급능력 확보를 위한 단계별 용수공급 조정 · 광역↔광역 또는 지방상수도 간 비상급수 지원
산업통상자원부		<ul style="list-style-type: none"> · 국가산업단지 공업용수 현황 모니터링 및 절수운동 전개 · 가뭄대책 양수시설 전기공사 우선 가설 지원 · 발전용댐 비상방류를 위한 연계운영 강화
국방부		<ul style="list-style-type: none"> · 군부대 급수차 등 장비 활용 급수 지원
행정자치부		<ul style="list-style-type: none"> · 자원봉사자 등 인력 지원 관리 · 공무원 비상근무 발령(필요시)
경찰청		<ul style="list-style-type: none"> · 식·용수 공급시 질서유지 · 급수차 등 장비 활용 급수 지원
기상청		<ul style="list-style-type: none"> · 강수량 분석 및 예측 등 가뭄 관련 기상정보를 재난관리기관에 제공 · 가뭄 관련 기상상황 전파 및 대국민 홍보
지자체		<ul style="list-style-type: none"> · 해당지역 재난안전대책본부 운영 · 해당지역 단계별 제한(운반) 급수 실시 및 상황보고 · 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

4) 지방자치단체 가뭄 관리

재난 및 안전관리 기본법에 근거하여 안전관리기본계획에 따라 중앙정부는 안전관리 집행 계획을 수립하고, 시·도 및 시·군·구 지방자치단체는 안전관리계획을 수립하도록 하고 있다 (재난 및 안전관리기본법 제23조, 제24조). 지방자치단체의 가뭄대책은 안전관리계획에 포함 하여 수립된다.

충청남도가 최근 수립한 안전관리기본계획의 종류에는 가뭄과 관련된 내용이 포함되어 있지 않으며, 지방하천정비사업 종합계획 등 주로 물관리와 관련된 계획에 일부 가뭄과 관련한 내용이 포함되어 있으나, 대부분 홍수관리에 대한 내용들이 주를 이루고 있다.

광역 및 기초지자체의 가뭄대비 단계별 계획은 예방, 대비, 대응, 복구 단계로 수립되는데, 지방자치단체의 가뭄계획은 실제 가뭄이 발생하지 않은 평시에 보다 상세한 계획을 수립·추진 한 것으로 확인하였다. 특히 도서지역이 포함된 시·군은 관정개발, 장비확보, 간이보 마련 등 가뭄에 대비한 농업용수 확보 위주의 대책이 상세하게 계획하였다. 또한 현재 자연재해대책법에 근거하여 각 시·군·구 자치단체의 장은 상습가뭄재해지역 지정·고시가 가능하며, 지정·고시 된 지역에 중장기대책 수립을 통해 상습가뭄재해지역 해소하도록 하고 있다. 이에 따라 시·도의 가뭄계획은 가뭄의 예방단계에서의 대책마련과 가뭄피해발생 후 복구단계에서 상습가뭄재해지역에 대한 계획 위주로 추진되고 있다.

실제 가뭄이 발생했을 때 대책을 계획한 대응단계 계획은 지방자치단체의 실정에 따른 절수 대책, 상황관리체계, 용수 공급대책 등을 마련하고 있다. 그러나 가뭄의 기준과 정의가 불분명 하여 지방자치단체의 적절한 대응책 시행이 명확하지 않다.

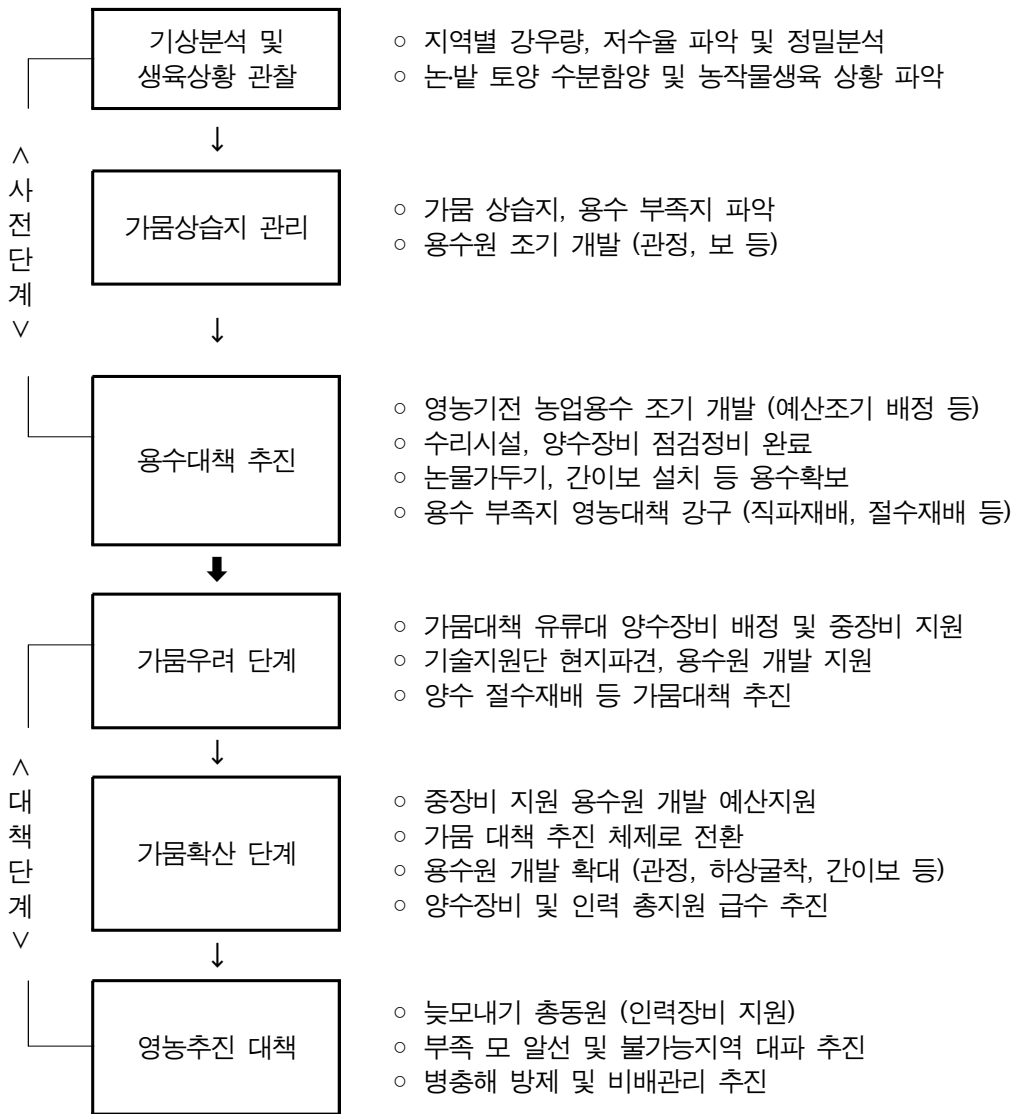
특히 절수대책의 경우 중앙부처에서 수립한 단계별 대책을 지방자치단체에서 가뭄대응 지침으로 활용하고 있지만, 각 지역의 저수용량, 물 공급여건 등의 차이와 정부차원의 비상 용수 공급 계획, 물 절약 홍보 및 유도 등 자발적인 대책에 의한 것이기 때문에 지방자치단체에 일 반적으로 적용하기에는 실효성이 부족하다. 또한 환경부, 국토해양부 등이 제공하는 단계별 대책은 정부차원의 비상 물공급 계획과 물절약 홍보 및 유도 등 자발적 대책 위주이며, 단계구 분의 기준도 명확히 구분되지 않는다. 따라서 이를 위한 중앙부처의 절수대책에 지방정부가 실행 가능한 구체적인 안이 제시될 필요가 있다.

대전광역시 대덕구의 경우 생활용수와 농업용수에 대한 대책으로 구분하여 수립하였다. 생활용수는 4단계로 구분하여 단계별 추진대책을 수립하였다. 농업용수는 크게 사전단계와 대

책단계로 나누어 사전단계에서는 기상분석 및 생육상황 관찰, 상습가뭄피해 발생지 관리, 용수대책 등을 추진하고, 대책단계에서는 실제 가뭄 발생우려가 있을 때 혹은 가뭄이 발생했을 때와 발생한 이후의 대책으로 세분화하여 수립하였다. 다만 가뭄단계 기준이 생활용수의 경우 지방상수도 공급량 감량 비율, 농업용수의 경우 가뭄 우려 및 확산 등으로 구분하고 있어 정량적인 기준으로 보기 힘들며 이로 인해 가뭄의 구분에 어려움이 따를 것으로 판단된다.

[표 2-10] 대전광역시 대덕구 생활용수 분야 단계별 추진대책

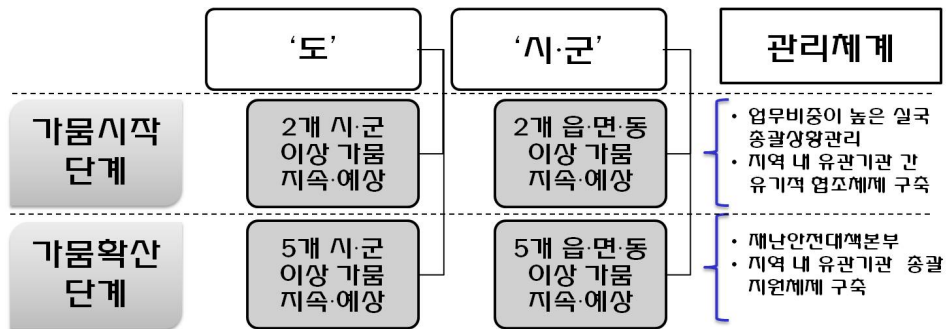
구 분		기 준	내 용
제2단계	제2단계	30~50% 감량 공급 시	<ul style="list-style-type: none"> · 인근 지자체간 긴급급수지원 · 물 다량 사용업소 자율 휴무실시 · 식수용 관정개발 확대 · 민방위 비상관정 이용 · 수돗물 다량사용 공장 조업 단축 · 군부대 인력·장비 지원 비상급수
제3단계	제3-1단계	50~60% 감량 공급 시	<ul style="list-style-type: none"> · 실정에 따라 3~5일제 급수 · 산업용수 공급 감축중단 · 개인 및 민방위 관정, 전용상수도 공동이용 확대
	제3-2단계	60% 이상 감량 공급 시	<ul style="list-style-type: none"> · 최소한의 생활용수만 공급 · 수돗물 다량사용업소 격일제 영업
제4단계	제4단계	급수 중단	<ul style="list-style-type: none"> · 먹는 샘물 공급 · 최소한의 식수배급제 실시 · 개인관정 공통이용



[그림 2-7] 대전광역시 대덕구 농업용수 분야 단계별 추진대책

현재 우리나라의 가뭄관리 체계는 가뭄시작단계와 가뭄확산 단계로 구분하여 ‘도’단위에서는 2개 시·군 또는 2개 분야 이상 가뭄이 예상될 경우 가뭄 시작단계로 규정하여 업무비중이 높은 실국에서 총괄 상황관리체계를 통한 지역 내 유관기관 협조체제를 구축한다. 5개 이상 시·군 또는 가뭄이 지속될 경우 확산단계로 가뭄단계를 격상시켜 가뭄관리를 재난안전대책본

부에서 담당하여, 지역 내 유관기관 총괄 지원체제를 구축하여 관리한다.



[그림 2-8] 도·시·군 가뭄관리 체계

지방자치단체의 가뭄 발생 시 주관부서는 가뭄의 성격에 따라 또는 지역실정에 따라 달라진다. 그러나 가뭄수준에 대한 평가와 정의·기준 등이 명확하게 규정되어 있지 않고 지역 실정에 따라 자체적으로 응급대처 수준의 대책 시행으로 인해 사전예방, 대응 및 복구에 대한 계획이 미흡하다. 기초지자체별 안전관리계획은 국가안전관리기본계획 및 광역지자체 안전관리기본계획과 연계성이 부족하고 형식적으로 수립되는 면이 있다. 특히 매년 유사한 안전관리계획 수립하고 이전 안전관리계획은 폐기하는 비효율이 발생하기도 한다. 또한 국토의 계획 및 이용에 관한 법률에 의한 도시기본계획, 도시관리계획상의 방재계획과 국가안전관리계획상의 재난 대책 등 방재계획이 서로 연계되지 못한 점은 보완되어야 할 것이다(최충익, 2007).

[표 2-11] 가뭄재난 관리대책


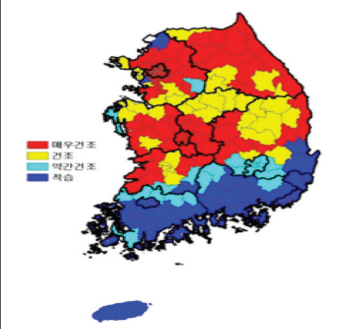

예방대책	대비대책	대응대책	복구대책
<ul style="list-style-type: none"> · 가뭄발생 예상지역의 가뭄대책장비 점검·정비 · 상습가뭄재해지역 해소 중·장기 대책 수립 · 생활·농업·공업용수 분야별 대책 수립 · 물 절약 대책 및 갈수기 수질오염사고 예방대책 수립 · 가뭄 시 조경·소방·청소용수로 활용도록 우수저류시설, 빗물이용시설, 천변저류지 등 확충 및 수자원 재활용 계획 수립 · 도서지역 및 농어촌 지역의 지방상수도 확충 · 가뭄취약 도서지역에 대한 안정적 생활용수 시설 확충 <ul style="list-style-type: none"> - 빗물저장시설 확대설치, 물자금융합(재난관리기금 활용) - 운반급수가 불가피한 지역에 대한 상시운반체계 구축 · 효율적 빗물관리 방안, 댐 건설, 광역상수도 확충 등 수자원 확보노력 · 물 다량 사용업소, 유치원, 초·중·고·대학 절수교육 및 절수기 설치 유도 	<ul style="list-style-type: none"> · 단계별 제한급수 대책 수립 · 지역방송매체를 통한 절수운동 등 전개 · 지역별 강수상황, 농업용 저수지 저수율 등 상시 파악 · 자체 보유 장비에 대해 월 1회 이상 점검·정비 실시 · 민방위 비상급수 시설 점검 · 논·밭의 토양 수분함량 및 농작물 생육 상황 파악 · 기 설치된 우수저류시설, 빗물이용시설, 천변저류지 등을 활용한 저류 및 시설 점검·관리 · 관정, 하상굴착, 간이보 등 용수원 확대 개발 	<ul style="list-style-type: none"> · 해당지역 재난안전대책본부 운영 · 해당지역 단계별 제한(운반) 급수 실시 및 상황보고 · 기 설치된 우수저류시설, 빗물이용시설, 천변저류지 등 대체 수자원 적극 활용 · 전국 2개도, 10개 시·군 이상 가뭄발생시 중앙부처 가뭄상황실과 연계 · 단계별 제한급수 · 실정에 맞도록 단계별 급수대책 수립 · 생활용수, 농업용수 등 단계별 대책 수립, 적용 · 단계별 상황관리체계 구축 · 평시, 가뭄시작단계, 가뭄확산단계로 구분 · 긴급식수원 확보 및 생활용수 공급 · 유희우물 또는 농업용 관정 등 기존시설 최대 활용 · 범국민적 절수운동전개, 대국민 홍보 · 가뭄발생지역 긴급 용수원 개발 추진(암반관정, 집수정개발, 하상굴착, 이동식 양수시설 등) · 부처 소관별 가뭄극복 추진대책 · 군부대, 소관부처, 유관기관의 장비동원, 인력지원, 자금지원 등 	<ul style="list-style-type: none"> · 위기경보 “심각” 단계 전파 등 대국민 홍보 강화(재난 대응과) · 피해지역 주민 등 자발적인 복구 작업 및 구호 등 지원협조 홍보 · 재난피해 합동조사 및 복구계획 수립 · 중앙지원 대상에서 제외된 가뭄피해에 대한 복구 · 가뭄 농가의 생계안정과 경영유지 지원

출처: 경상남도 안전관리계획(2008, 2016) 중 관련 항목 요약 정리

4. 가뭄피해 사례

1) 우리나라

2015년 6월, 우리나라는 심각한 가뭄으로 인하여 물부족이 발생했다. 이는 2014년부터 누적되어온 강수량의 부족으로 기인한 것으로, 기상청의 발표에 따르면 2015년 1월부터 6월까지 서울, 경기와 강원도 지역의 강수량은 평년의 절반수준에 미쳤다고 하였다. 또한 1978년 6월 24일의 151.93 m를 기록한 이후 최저 수위에 도달하고 있는 소양호는 바닥이 일부 드러나기도 했다. 2015년 강우량의 절대 부족으로 인해 여러 분야에서 피해가 발생하였다. 농업 분야의 경우 5개 시·도, 39개 시·군의 논·밭 7,358ha에서 가뭄이 발생하여 가뭄발생지에 252억 원 국비지원과 긴급용수 대책비로 121억 원이 소요되었으며, 또한 충남지역의 경우 간척지 농업용수의 염도 상승으로 인해 5,978ha 농작물(벼) 피해가 발생하여 복구비로 13.37백만 원이 소요되었다. 더불어 에너지산업 분야는 발전기를 가동하기 위한 담수 확보에 비상이 겠었으며, 강물을 이용하는 단양의 소수력발전소는 발전을 중단되기도 하였다. 이외에도 산림분야에서는 가뭄으로 인해 단풍이 들기도 전에 낙엽이 지거나 심한 경우 고사한 개체들도 나타났고, 적은 누적 강수량과 이상고온으로 인해 녹조 및 큰빛이끼벌레가 급증하는 피해사례가 있었으며, 생활용수의 경우 74개 마을 2,951세대는 운반급수를, 83개 마을 48,294세대는 제한급수가 실시되었다.

		
<p>바닥을 드러낸 보령댐 수문 (Premium Chosun, 10.24)</p>	<p>토양수분 상태지도 (2015 이상기후보고서)</p>	<p>한강에서 발생한 녹조 (한겨레 신문, 8.31)</p>

[그림 2-9] 2015년 가뭄현황

2015년 봄철 심각한 가뭄으로 인해 저수량이 평균 14억6,500만 m^3 에 달하던 소양강댐의 경우 10억3,500 m^3 으로 떨어졌으며, 횡성댐의 경우 1월 평균 저수량의 60% 수준에 불과하였음. 건조한 날이 이어진 영향으로 1월부터 2월 사이에 크고 작은 14건의 산불이 발생하여 강원도의 59.35ha의 산림이 소실한 것으로 알려졌으며, 이는 지난해 같은 기간에 비해 48배가 넘는 것으로 나타났다.

2015년은 연강수량이 평년대비 72%로 역대 최저 3위를 기록하면서 가뭄 현상이 지속되었다. 3월 및 연강수량의 절반 이상을 차지하는 5월에서 9월까지의 강수량이 평년보다 적어 연강수량이 평년(1307.7mm)대비 72%로 역대 최저 3위를 기록했다. 지역별로 보면, 제주도와 남해안지방을 제외한 대부분 지방에 강수량이 적었으며, 수도권을 중심으로 60% 미만의 강수량을 보였다. 2015년부터는 대가뭄 발생의 주기에 접어들었다는 주장이 나오기도 해 더욱 이슈화되었다. 2015년과 같은 가뭄은 이미 10여년 전인 2007~2008년에 경고가 나왔는데도 불구하고 실제로 대비는 미흡한 상태였다. 부경대학교 환경대기과학과 변희룡 교수는 가뭄이나 강수량 문제는 5개 정도의 주기가 존재하는 데, 제일 큰 주기가 124년이고 극대 가뭄기라고 하고, 그 다음 주기가 대 가뭄기인데 38년 주기가 있다고 밝힌 바 있다. 2015년은 38년 주기의 대 가뭄과 124년마다 오는 극대 가뭄이 시작하는 위치에 있다"고 분석했다. 2015년의 가뭄피해보험금은 2001년 농작물재해보험 도입 이후 가장 많이 지급될 것으로 보이는데 농식품부는 5,978ha 규모의 농작물 피해가 발생한 충남 서산 등 5개 시·군에 재해복구비 13억 3,700만원을 긴급 지원하였고, 2015년 10월 23일 현재 가뭄에 의한 피해 농가는 1,625가구, 피해면적은 4,644ha로 추정되고, 예상되는 보험 지급액은 35억 7,300만원으로 나타났다.

2014년 전국 평균 강수량은 1173.7mm로 평년(1307.7mm) 대비 90%를 보였으나, 강원영서를 비롯한 중부 북부지방을 중심으로 강수량이 적었다. 서울·경기, 강원영서 지역 평년대비 65% 이하(1973년 이래 최저 강수량)였으며, 특히 5-7월 강원, 충북, 경상도 지역은 평년대비 50%의 강수량을 기록하여, 일부지역에 가뭄피해가 있었다. 5-7월 강원도 누적강수량은 평년대비 40%, 전년대비 30%로 매우 적었다. 2014년 7월 충북 단양군의 마늘 수확량은 지난해 대비 7% 감소한 1,822톤이 될 것으로 추산되고, 괴산군에서 생산되는 감자도 평당(3.3 m^3) 수확량이 평균 10kg에서 8kg 아래로 추락할 것으로 예상되었다. 강원 영서와 경북 동해안 및 경기 중북부 지역은 심각한 수준의 가뭄이 나타나, 우리나라 3대 겨울축제 중의 하나인 인제 빙어축제가 16년 만에 처음으로 취소됐다. 유례없는 겨울 가뭄으로 소양강댐 상류 지역의 물

이 말라 강바닥이 드러나 축제에 필요한 20만㎡의 얼음 벌판을 만들 수 없었기 때문이다.

2013년 제주도에서는 7월 한 달간 평년 강수량의 6% 수준인 14.7mm에 그쳐 90년 만에 최저 강수량으로 관측되는데, 이러한 영향으로 제주지역 2개 시·군에서 당근·콩 등 1,200ha 농작물이 고사하여 피해액이 3,111백만 원에 달하였으며, 국내 당근의 60%가량이 제주지역에서 생산되는데 가뭄의 영향으로 인해 당근의 도매가는 20kg 33,800원으로 전년대비 3,600원 상승하였다. 고흥지역은 2013년 6월부터 이번 달 중 강우량이 284mm로써 평년의 38%밖에 되지 않은데다 고온 지속으로 벼 출수기 물 부족과 콩, 고구마 등 밭작물 생육부진이 늘어나 당해 5월부터 가뭄대책 상황실을 운영하였다. 또 지난 2005년 이후 주춤했던 벼멸구 등 비래해충이 고온이 지속돼 발생빈도가 높아져 피해가 우려됨에 따라 농업인 자가 예찰을 강화하고 피해가 확산되기 전에 적기 방제할 수 있도록 홍보 지도를 강화하였다. 고흥군은 2013년 6월까지 가뭄발생 면적은 도덕 신양지구 등 벼 294ha와 콩, 고추, 고구마 등 밭작물 746ha으로 나타났다.

가뭄의 영향은 농업 분야에서 가장 가시적인 피해를 나타내지만, 그 영향은 농업에 국한되어 있지 않고 나타나고 있다. 2014년 철원군의 저수지에서 극심한 가뭄으로 인한 20%에 불과한 저수율과 수온의 상승으로 인한 용존산소의 급감이 주된 요인으로 추정되는 떡붕어의 집단 폐사가 있었으며, 래프팅으로 유명한 봉화 이나리강 일대와 계곡 등에서도 피서객이 지난해 같은 기간보다 30%이상 줄어 지역경제에 큰 영향을 미치기도 했다. 2013년 전남에서 발생한 소나무 재선충병 피해목은 1만 214그루로 지난해의 5배에 이르고 있는데, 산림 당국은 이상 고온과 가뭄 등으로 재선충 번식이 활발해지는 환경이 조성된 것으로 파악하고 있다.

2) 충청남도

2015년 가뭄이 가장 심했던 충남도의 경우 보령댐의 저수율이 예년대비 22.1%까지 떨어짐에 따라 농업분야에 큰 피해가 있었는데, 태안군 전체 벼 재배면적 중 8%에 해당하는 738ha가 가뭄으로 인해 모내기를 실시하지 못하기도 했다.



중부지역이 사상 최악의가뭄가뭄으로 주민들의 식수원인 보령댐이 바닥을 드러내면서 제한 급수를 실시하는 등 식수 확보에 비상이 걸렸다. 사진은 1996년 댐 완공 이후 가장 낮은 22.1%의 저수율을 보이고 있는 보령댐의 모습. 보령시제공

[그림 2-10] 2015년 가뭄당시 보령댐 현황

2015년 10월까지 충남의 누적강수량은 548.7mm로 평년(1천245.8mm)의 44% 수준을 나타냈다. 보령댐의 저수율은 21.5%까지 떨어졌고, 지역 저수지의 저수율도 32%에 불과하다. 극심한 가뭄으로 이 지역에는 제한급수가 이어지고, 서천화력발전소는 10월 초부터 1,700m³의 물을 사용 하였는데, 이는 하루 500m³을 줄인 양으로 이 가운데 400m³은 발전 후 버려지는 물을 재활용한 것임. 당진화력발전소 역시 용수 공급처를 대청댐으로 바꾸었고, 보령화력발전소는 인근 하수종말처리장에서 물을 길어오는 대책을 마련하기도 했다. 수력발전소의 경우 상황이 더욱 열악하였는데 보령댐의 방류량을 줄인 결과 발전기 가동이 중단되었다.

가뭄은 지역 주민의 복지에도 영향을 미쳐 서산국민체육센터 수영장은 극심한 가뭄으로 인해 10월 전면 휴관하였으며, 우리나라 쌀 생산량의 1%를 차지하는 천수만 AB지구와 대호간척지는 가뭄으로 인해 염도의 증가로 인해 벼가 고사되면서 20~70%가량의 피해를 보였다(2015년 10월 8일 충청투데이).

2012년 6월, 충남의 5월 강수량이 14.6mm로 평년대비 9% 수준으로 보령지역의 경우 68개 저수지 중 19개 저수지의 저수율이 급격하게 떨어져 농업용수공급에 차질이 생겼으며, 농작물 파종, 생육, 수확에 영향이 큰 5~6월 가뭄이 충남 전역에 국지적으로 심하게 발생하여 이 지역 농작물 파종(모내기 등), 생육(밭작물), 수확(마늘, 양파, 감자 등)에 피해를 입혔다.

또한, 충남 태안 568ha, 홍성 644ha 등 2,493ha의 논밭이 가뭄으로 인해 피해가 발생하였는데, 당시 가뭄의 영향으로 인해 대파, 양파의 도매가격은 70~166% 가량 가격이 올라 피해를 보기도 했다.

5. 시사점 및 연구의 관점

충청남도는 2015년 서북부 가을가뭄 발생시 그 심각성을 인지하고 다양한 대책들을 짧은 기간에 수립하고 이행하였으나, 지역사회가 주도적 의사결정을 할 수 있는 시간적 여유가 없어 국가단위 결정에 이끌려 가는 단기적 대책에 머물 수밖에 없는 한계를 나타냈다. 특히, 지역의 정책단위인 시·군별 장기 가뭄예측 활용에 한계가 있어 정책단위의 맞춤형 연구로 시·군별 장기 가뭄전망이 필요함을 알 수 있었다.

또한, 국가단위나 지자체 단위의 가뭄대응 체계가 비교적 잘 갖춰져 있으나, 홍수와 달리 가뭄은 장기적, 지속적 피해가 가중되는 특징에 따라 대응체계의 실질적 가동시점, 즉 강도 높은 가뭄대응체계 가동 시점에 대한 해석이 불분명 한 점이 있다.

가뭄의 정의 입장에서 살펴보면 도민의 요구나 정책의 목표는 사회경제적 가뭄 수준의 분석 결과가 필요하나, 현실적으로 가뭄분석 기술은 기상학적 가뭄수준에 머물러 있어 현재 가뭄관련 연구결과를 정책에 직접적으로 활용하기에는 한계가 있다. 특히 분석은 기상학적 가뭄 수준에서 이루어지고 그 영향과 파급효과는 사회경제적 가뭄까지 문제를 일으킴으로 현재 수준에서 가능한 기상학적 가뭄 분석결과의 한계가 분명 존재하나 본 연구와 더불어 모든 가뭄관련 정책연구는 사회경제적 문제까지를 포함한 모든 범위에 대해 언급해야 하는 것이 타당한 것으로 판단된다.

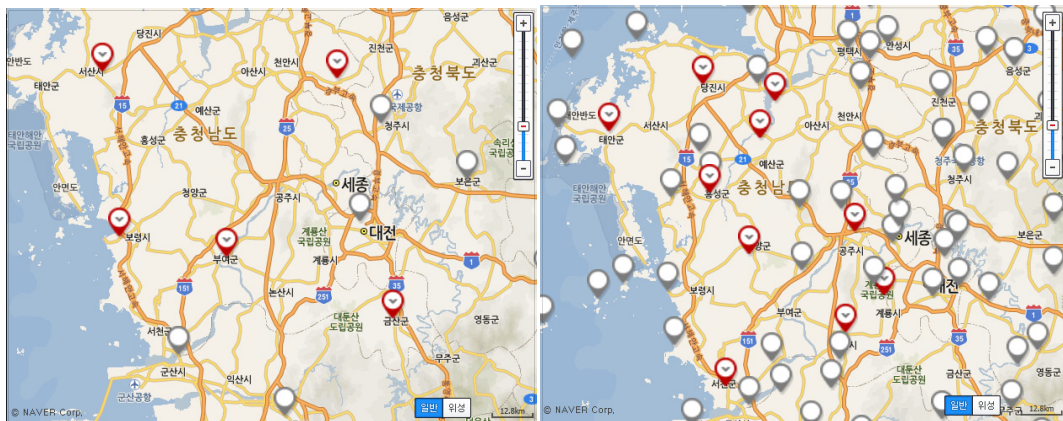
본 연구에서도 분석의 범위는 기상학적 가뭄에 국한되나 제시되는 가뭄대책 중장기 사업은 사회경제적 가뭄의 관점에서 제시하는 것이 바람직할 것이다.

제3장 충남지역 가뭄분석 및 전망

1. 과거 가뭄분석

1) 기상관측자료 현황

대전, 세종을 포함한 충남지역에는 6개의 종관기상관측장비(ASOS)가 있으며, 39곳의 방재기상관측소(AWS)가 운영 중에 있다. 충청남도 지역의 강수량 분석을 위해 시·군을 대표할 수 있는 5개의 ASOS와 10개의 AWS를 지정하여 시·군값으로 사용하였다.(그림 3-1, 표 3-1). 이렇게 지정된 지역 대표 관측장비의 19년간(1997~2015)의 강수량 자료를 분석에 활용하였다.



[그림 3-1] 분석 대상 기상관측소 위치도(출처 : 기상자료개방포털)

[표 3-1] 시·군별 기상관측소 현황

지역	관측소명	위도	경도	관측시작일	비고
천안	천안	36.76	127.29	1972.01.08	ASOS
공주	공주	36.49	127.14	1990.01.07	AWS
보령	보령	36.33	126.56	1972.01.24	ASOS
아산	아산	36.85	126.87	1993.10.22	AWS
서산	서산	36.78	126.49	1968.01.01	ASOS
논산	논산	36.21	127.11	1990.06.05	AWS
계룡	계룡	36.31	127.24	1993.10.08	AWS
당진	당진	36.89	126.62	1991.11.14	AWS
금산	금산	36.11	127.48	1972.01.09	ASOS
부여	부여	36.27	126.92	1972.01.09	ASOS
서천	서천	36.06	126.70	1992.05.12	AWS
청양	청양	36.42	126.78	1991.11.16	AWS
홍성	홍성	36.59	126.64	1990.06.14	AWS
예산	예산	36.74	126.81	1992.11.17	AWS
태안	태안	36.76	126.30	1992.11.17	AWS

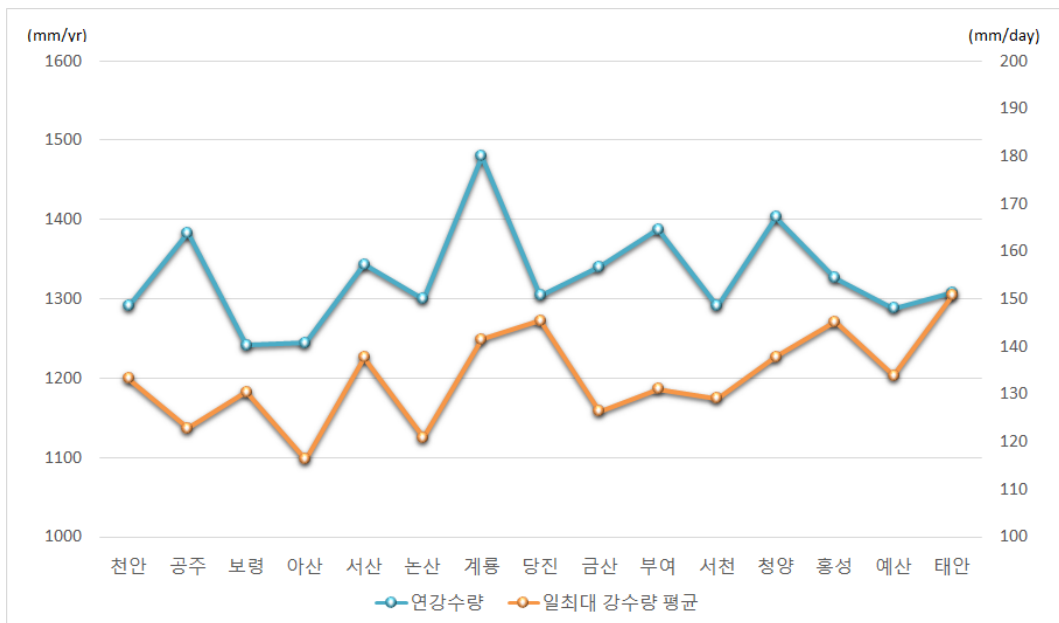
[표 3-2] 시·군별 연평균 강수량(1997년 ~ 2015년, 19년간)

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 대푯값을 의미하지는 않음

2) 시·군별 SPI 지수 산정

시·군별 생성된 일별강우자료를 활용하여 시·군별 SPI지수를 산정하였다. 분석기간은 19년(1997년~2015)으로 SPI는 3개월, 6개월, 9개월, 12개월에 대해 산정하였다. 15개 시·군 전체에서 보통가뭄(SPI -1.0 내외)은 1~2년에 한번씩 발생하고 있으며, 극한가뭄(SPI -2.0 이하)은 분석대상 기간 평균 1~2회 정도 발생하는 것을 알 수 있었다. 그림 3-2는 시·군별 강우량 통계를 보여주고 있으며, 표 3-2는 시·군별 기간별 가뭄심도에 따라 발생하는 평균 개월 수를 보여주고 있다.



[그림 3-2] 시·군별 강우량 통계

[표 3-3] 시·군별 기간별 가뭄심도별 발생 횟수

구분	기간	≥ -0.5	≥ -1	≥ -1.5	≥ -2.0	< -2.0
천안	3-SPI	2.32	2.00	1.58	0.68	0.11
	6-SPI	3.00	1.89	1.05	0.47	0.58
	9-SPI	1.79	3.32	1.21	0.63	0.00
	12-SPI	5.26	3.47	0.58	0.00	0.00

[표 3-4] 계속

구분	기간	≥ -0.5	≥ -1	≥ -1.5	≥ -2.0	< -2.0
공주	3-SPI	1.95	2.37	1.95	0.47	0.00
	6-SPI	2.42	1.42	1.05	0.79	0.42
	9-SPI	3.05	2.47	1.21	0.37	0.16
	12-SPI	3.79	3.89	0.58	0.00	0.00
보령	3-SPI	2.16	1.89	1.47	0.63	0.16
	6-SPI	2.89	1.89	0.89	0.58	0.42
	9-SPI	3.42	2.47	1.05	0.32	0.32
	12-SPI	4.68	3.05	1.00	0.05	0.00
아산	3-SPI	1.74	2.68	1.74	0.21	0.00
	6-SPI	2.84	1.63	1.42	0.58	0.32
	9-SPI	4.11	2.42	1.32	0.42	0.00
	12-SPI	3.74	4.11	0.68	0.00	0.00
서산	3-SPI	2.11	2.11	1.89	0.53	0.00
	6-SPI	2.32	2.05	1.26	0.58	0.37
	9-SPI	2.89	2.37	1.11	0.63	0.26
	12-SPI	2.21	4.32	0.95	0.05	0.00
논산	3-SPI	1.53	2.53	1.42	0.53	0.21
	6-SPI	2.63	1.26	1.00	0.79	0.53
	9-SPI	2.95	2.00	1.32	0.47	0.37
	12-SPI	2.37	3.00	1.21	0.42	0.00
계룡	3-SPI	2.26	2.11	1.89	0.53	0.00
	6-SPI	2.32	1.53	1.16	0.63	0.42
	9-SPI	3.11	2.53	1.21	0.16	0.42
	12-SPI	3.68	3.79	0.84	0.00	0.00
당진	3-SPI	2.16	2.68	1.53	0.26	0.00
	6-SPI	2.95	1.16	1.11	1.05	0.26
	9-SPI	3.11	2.05	0.95	0.63	0.26
	12-SPI	4.89	3.00	1.11	0.00	0.00

[표 3-4] 계속

구분	기간	≥ -0.5	≥ -1	≥ -1.5	≥ -2.0	< -2.0
금산	3-SPI	2.16	2.11	1.47	0.68	0.11
	6-SPI	2.21	1.58	1.11	0.53	0.53
	9-SPI	3.16	2.68	1.11	0.21	0.26
	12-SPI	3.79	3.42	0.95	0.00	0.00
부여	3-SPI	2.32	2.11	1.79	0.53	0.00
	6-SPI	2.42	1.47	1.05	0.74	0.53
	9-SPI	3.11	2.11	1.53	0.16	0.37
	12-SPI	2.89	2.58	1.42	0.21	0.00
서천	3-SPI	2.16	2.16	1.53	0.63	0.11
	6-SPI	2.89	1.53	1.05	0.74	0.37
	9-SPI	3.53	2.68	0.89	0.47	0.21
	12-SPI	3.95	3.84	0.84	0.00	0.00
청양	3-SPI	2.05	1.74	2.11	0.42	0.00
	6-SPI	3.05	1.74	0.89	0.84	0.26
	9-SPI	3.32	2.11	1.79	0.37	0.00
	12-SPI	4.95	3.37	0.95	0.00	0.00
홍성	3-SPI	2.26	2.79	1.16	0.53	0.00
	6-SPI	2.68	1.58	0.74	0.95	0.42
	9-SPI	3.58	1.68	0.68	0.74	0.32
	12-SPI	3.68	3.26	0.89	0.32	0.00
예산	3-SPI	2.32	1.63	2.32	0.21	0.00
	6-SPI	3.16	1.58	0.95	0.68	0.42
	9-SPI	2.95	2.63	1.11	0.74	0.00
	12-SPI	3.37	4.26	0.58	0.00	0.00
태안	3-SPI	2.26	2.26	1.95	0.42	0.00
	6-SPI	2.21	1.89	1.05	0.47	0.63
	9-SPI	2.89	2.16	1.00	0.84	0.21
	12-SPI	2.84	4.11	1.16	0.00	0.00

2. 시·군별 가뭄지수 전망

1) 기후변화 시나리오

2013년 9월 IPCC Working Group I은 Climate Change 2013: The Physical Science Basis에서 새로운 기후변화 시나리오인 RCP 시나리오 결과를 승인하고 공표하였다. 제5차 평가보고서 과학적 증거는 2014쪽의 본보고서와 더불어 정책결정자를 요약보고서 등을 발간하였고, 259명 주 저자와 600명의 기여저자가 참여하여 5만 건이 넘는 코멘트 등을 통해 검증·승인 후 발간되었다.



Climate Change 2013: The Physical Basis

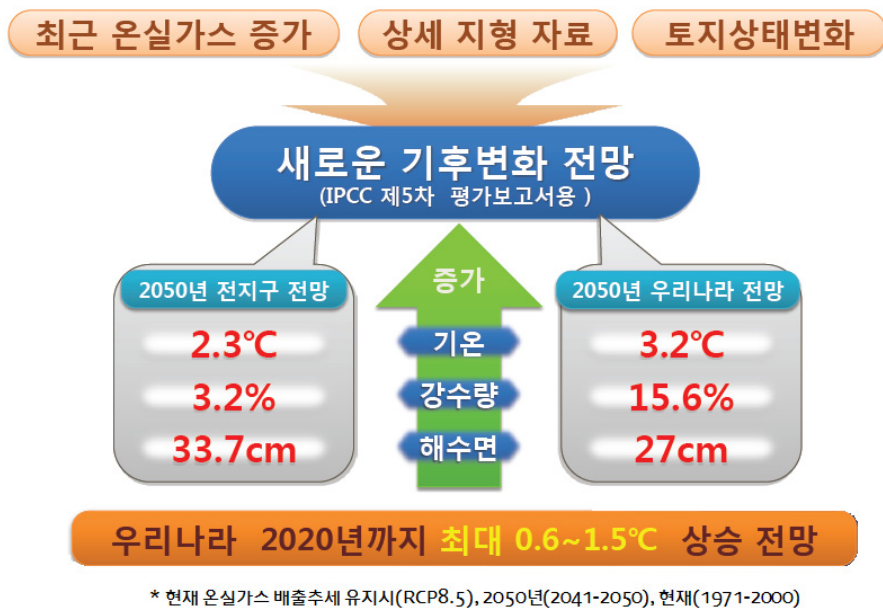
IPCC Working Group I is pleased to announce the launch of the new website www.climatechange2013.org as a part of the working group I contribution to the IPCC Fifth Assessment Report.

Climate Change 2013: The Physical Science Basis 259 lead authors & 600 contributing authors

	Pages	Figures
Summary for Policymakers	22	9
Technical Summary	78	44
14 Chapters	1405	485
Supplementary Material	222	24
3 Annexes	87	79
Supplementary Material	200	612
Total Draft Pages and Figures	2014	1250
	1 st Order Draft Review	2 nd Order Draft Review
Comments	21'400	31'422
Experts	659	800
Governments		26

[그림 3-3] 제5차 평가보고서 발간 현황

제5차 기후변화 평가보고서에 제시된 RCP 기후변화 시나리오는 우리나라 기상청을 비롯하여 14개국 기관들이 시나리오를 생성하고 이를 국가 간 비교·검증을 거쳐 발표되었으며, 이에 앞서 우리나라에서는 2011년 RCP 기후변화 시나리오에 기반한 국가 표준 기후변화 시나리오를 발표하였는데, 이에 따르면 우리나라 기온은 2020년까지 1.1℃~1.5℃ 상승이 전망되고, 최악의 경우 지난 100년간 일어난 기온변화인 1.8℃ 상승이 2020년 내에 발생할 가능성이 있다고 발표하였다.



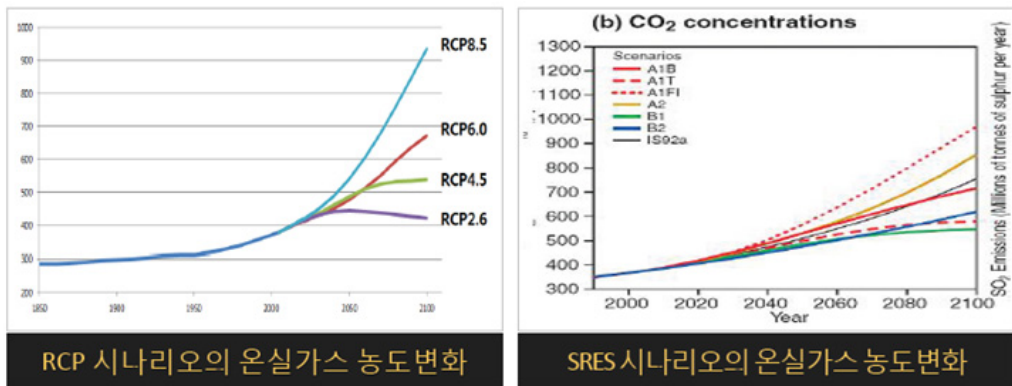
[그림 3-4] RCP 시나리오에 따른 전망

기후변화 시나리오는 온실가스, 에어로졸, 토지이용 상태 등의 변화와 같이 인간 활동에 따른 인위적인 원인에 의한 기후변화가 언제, 어디서, 어떻게 일어날 지를 예측하기 위해 기후변화예측모델(지구시스템 모델)을 이용하여 계산한 미래기후(기온, 강수, 습도 바람 등)에 대한 예측정보를 말하는데 기존의 SRES시나리오에서는 사회·경제유형별 온실가스 배출량을 설정 후 기후변화 시나리오를 산출한데 반해, 새로운 RCP시나리오는 온실가스 농도를 설정 후, 기후변화 시나리오를 산출하여 그 결과의 대책으로 사회·경제 분야별 온실가스 배출을 저감하는 정책 결정에 활용하게 되었다(기상청 기후정보포털, 2016).

[표 3-4] 기존 기후변화 시나리오 비교

내용		IPCC4차(2007)	IPCC5차(2013)
인위적 기후변화 요인	온실가스	O	O
	에어로솔	O	O
	지표이용	X	O
모델 분해능	전지구	400 km	135 km(약9배)
	한반도	27 km	12.5 km(약4배)
	남한	10 km	1 km(약100배)
온실가스 시나리오	시나리오명	SRES A1B	RCP8.5
	2100년 CO ₂ 농도	720 ppm	940 ppm

새로운 온실가스 시나리오는 CO₂ 기준(ppm)에 따라 RCP(대표경로)로 표시되며 RCP2.6은 420 ppm, RCP4.5은 540 ppm, RCP6.0은 670 ppm, RCP8.5은 940 ppm을 각각 의미한다. 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 경우, RCP8.5는 최악의 경우로 현재 추세(저감 없이)로 온실가스가 배출되는 경우로 BAU 시나리오를 가정하고 있다.



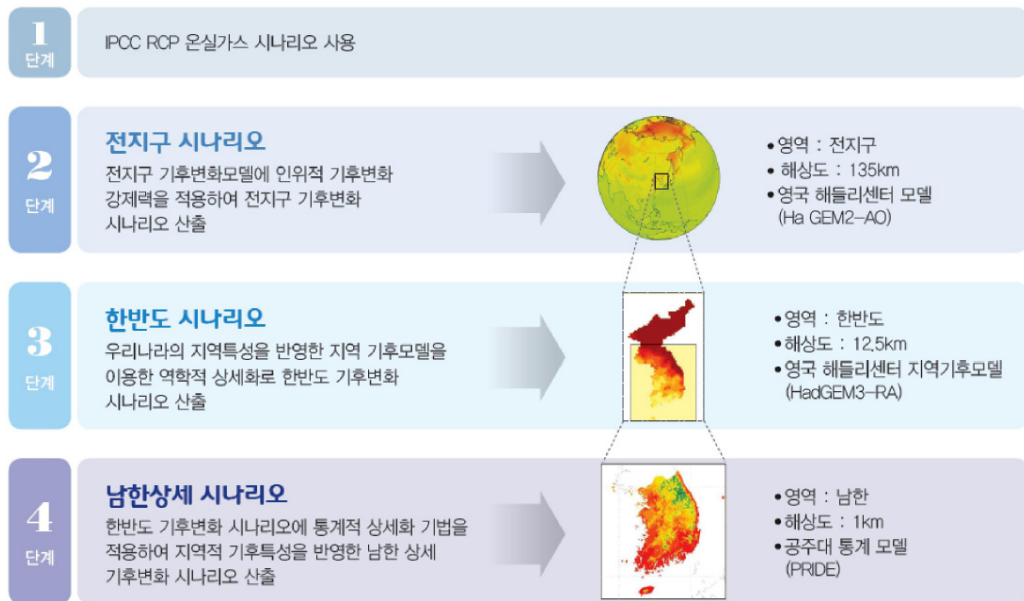
시나리오 종류 PPM 농도	새로운 시나리오(RCP)				기존 시나리오(SRES)		
	2.6	4.5	6.0	8.5	B1	A1B	A2
CO ₂ 기준(ppm)	421	538	670	936	550	720	830

[그림 3-5] RCP 시나리오별 이산화탄소 배출량 추이

새로운 기후변화 시나리오 산출과정은 그림 3-7과 같으며, 기상청에서 발표한 한반도 미래 기후 전망에서는 2100년 겨울이 44일 줄고 여름은 39일 증가하며 RCP8.5시나리오에서 세기 말 강원일부지역을 제외하고 전국이 아열대 기후구로 변하는 것으로 전망되고 있다.



[그림 3-6] RCP8.5에 따른 2100년 한반도 계절변화



[그림 3-7] 기후변화 시나리오 산출과정

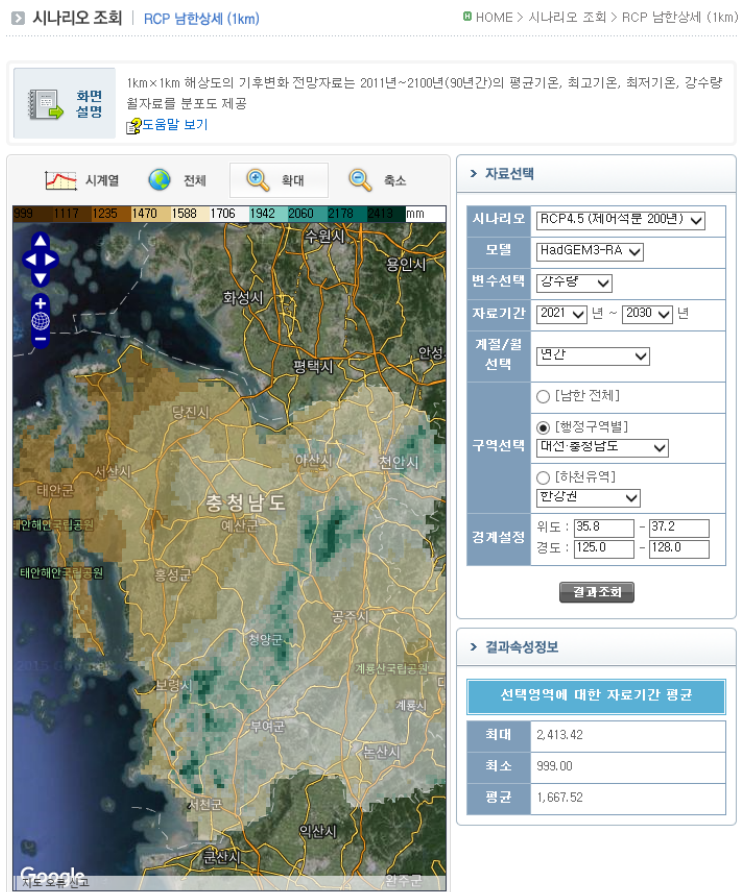
충청남도의 미래 기후변화 전망 결과 기온은 지속적으로 상승하고, 강수량도 증가하며, 여름일수의 증가와 폭염일수의 증가가 뚜렷하게 나타난다.

기상청(2012)에 의하면 충남지역의 평균기온은 RCP 4.5 시나리오에서 21세기 후반기에 현재 기후값보다 2.2℃ 상승하여 약 14.0℃ 이상으로 전망되었으며, RCP 8.5 시나리오에서는 21세기 후반기에 현재 기후값보다 4.8℃ 상승하여 RCP 4.5 시나리오에 비해 2℃ 이상 높은 약 16.0℃ 이상으로 전망된다. 충남지역에서 21세기 후반기 평균기온이 가장 많이 상승하는 지역은 태안으로 RCP 4.5 시나리오에서는 2.5℃, RCP 8.5 시나리오에서는 5.1℃ 상승하는 것으로 나타났으며, 연강수량의 경우 현재 연강수량 1,264.2mm 대비 21세기 후반기에 최대 로 증가하여 RCP 4.5 시나리오에서는 1,750.0mm 이상 전망되나, RCP 8.5 시나리오에서는 21세기 중반기 증가율은 RCP 4.5보다 크나, 21세기 후반기 강수량이 약간 감소하여 RCP 4.5 보다 작을 것으로 전망되고 있다. 여름일수는 RCP 4.5 시나리오에서 21세기 후반기에 현재 114.5일 보다 28.4일 증가하여 연간 140일 이상, RCP 8.5 시나리오에서는 현재보다 51.1일 증가하는 것으로 나타났으며, 열대야 일수는 RCP 4.5 시나리오에서 21세기 후반기에 현재 1.8일 보다 23.1일 증가하여 연간 24일 이상, RCP 8.5 시나리오에서는 현재보다 53.7일 증가

하는 것으로 나타났다. 폭염일수의 경우 RCP 4.5 시나리오에서 21세기 후반기에 현재 7.9일 보다 15.8일 증가하여 연간 23일 이상, RCP 8.5 시나리오에서는 현재보다 55.7일 증가하는 것으로 나타났다.

2) 시·군별 연대별 가뭄지수 예측

시·군별 가뭄지수(SPI)를 예측하기 위해서 기상청에서 국가표준기후변화 시나리오의 2100년까지의 일별 강수량 전망 자료를 활용하였다(<http://www.climate.go.kr>).



[그림 3-8] 기상청 기후변화 시나리오 조회 결과

기후정보포털(<http://www.climate.go.kr>)에서 제공받은 강우량 자료 분석결과 2000년대 대비 증가율은 표 3-5와 같다. 평균강수량으로 살펴보면 서천, 보령이 강수량 총량 증가가

두드러지며, 계룡, 금산이 상대적으로 증가량이 작은 것으로 나타났다.

[표 3-5] RCP8.5 시나리오에 따른 시·군별 강수량 증가량(2000년대 대비, %)

	2010s	2020s	2030s	2040s	2050s	2060s	2070s	2080s	2090s
충남	24.4	21.9	16.4	30.4	40.9	33.5	37.1	32.8	31.9
천안	23.3	18.7	14.7	29.5	38.2	31.3	33.3	34.3	30.0
공주	22.3	21.3	19.0	31.2	38.5	34.7	35.6	34.7	29.8
보령	30.0	30.9	20.5	35.8	52.0	43.5	48.2	36.5	45.0
아산	27.1	17.8	15.6	32.6	39.5	31.5	35.7	37.3	29.6
서산	26.6	21.1	12.7	24.4	38.7	27.0	34.9	29.3	31.9
논산	24.9	21.4	20.7	35.6	35.6	35.6	38.9	30.6	25.6
계룡	21.7	17.8	18.3	30.9	28.0	28.5	28.3	27.6	20.0
당진	27.3	19.3	14.5	27.1	39.3	26.4	34.1	38.4	27.1
금산	10.5	12.1	10.4	22.2	21.0	24.0	20.4	15.4	14.6
부여	23.2	24.0	14.8	31.0	37.8	38.2	33.5	33.9	28.7
서천	25.5	29.2	20.6	36.5	54.5	44.5	45.2	36.2	44.1
청양	28.2	39.7	22.1	41.6	61.7	48.5	55.5	41.9	52.7
홍성	24.1	26.3	20.4	31.6	47.7	37.1	42.8	35.9	39.2
예산	25.2	20.2	11.9	27.5	41.2	32.4	38.5	30.6	30.0
태안	23.1	18.3	14.3	29.5	41.2	30.8	34.0	34.8	31.1

표 3-5의 경우 시·군의 월 평균값을 활용하여 분석하였으나, 가뭄분석을 위해서는 일강수량 자료를 활용해야 한다. 따라서, 가뭄분석에 활용된 시계열은 과거분석에 활용된 측정소가

위치한 주변 지역의 셀을 선택하였다. 이는 시·군 전체 셀의 평균값을 활용할 경우 극값의 출현빈도가 줄어들어 극한홍수나 극한가뭄을 표출하는데 부적절하기 때문에 주변지역 일부 셀의 값만 선택하여 사용하였다.

3) 2030년대(2021~2050)

RCP기후변화 시나리오에서 2021년부터 2050년까지 30년동안 SPI 가뭄지수를 산정하였다. 전술한 바와 같이 분석에 사용된 자료는 표 3-6은 2030년대 시·군별 기간별 가뭄심도별 발생 현황을 보이고 있다.

[표 3-6] 2030년대 시·군별 기간별 가뭄심도별 연평균 발생 개월

구분	기간	≥ -0.5	≥ -1	≥ -1.5	≥ -2.0	< -2.0
천안	3-SPI	3.83	2.3	0.43	0.27	0
	6-SPI	6.1	2.4	0.9	0.27	0
	9-SPI	6.33	2.9	0.37	0	0
	12-SPI	6.63	3.17	0.1	0	0
공주	3-SPI	1.17	0.93	0.13	0.1	0.03
	6-SPI	4.87	2.27	0.47	0.13	0
	9-SPI	6.77	3.13	0.43	0	0
	12-SPI	6.73	3.17	0	0	0
보령	3-SPI	1.37	0.6	0.3	0.1	0
	6-SPI	3.17	1.2	0.67	0.2	0
	9-SPI	6.1	2.27	0.8	0.1	0
	12-SPI	7	2.17	0.77	0	0
아산	3-SPI	1.77	0.7	0.3	0.13	0
	6-SPI	3.73	1.17	0.57	0.27	0
	9-SPI	6.53	2.93	0.47	0.1	0
	12-SPI	8.27	2.07	0.1	0	0

[표 3-6] 계속

구분	기간	≥ -0.5	≥ -1	≥ -1.5	≥ -2.0	< -2.0
서산	3-SPI	3.43	2.37	0.83	0.53	0.07
	6-SPI	5.1	2.17	0.83	0.23	0.03
	9-SPI	5.33	2.37	0.8	0	0
	12-SPI	5.37	3.07	0.13	0	0
논산	3-SPI	4.1	2.6	0.87	0.23	0.03
	6-SPI	5.7	2.87	0.43	0.1	0
	9-SPI	7.47	2.53	0	0	0
	12-SPI	9.1	1.37	0	0	0
계룡	3-SPI	1.7	1.07	0.2	0.13	0
	6-SPI	5.23	2.03	0.23	0.1	0
	9-SPI	7.63	2.73	0.23	0.07	0
	12-SPI	8.6	2.3	0	0	0
당진	3-SPI	4.8	2.27	0.17	0.17	0
	6-SPI	6.6	2.1	0.43	0.47	0
	9-SPI	8.53	1.97	0.6	0	0
	12-SPI	7.9	2.97	0	0	0
금산	3-SPI	5.07	1.23	0.37	0.1	0
	6-SPI	6.23	2.57	0.6	0.03	0
	9-SPI	7.07	3.27	0.07	0	0
	12-SPI	7.97	2.73	0	0	0
부여	3-SPI	4.1	2.57	0.97	0.27	0
	6-SPI	5.17	3.2	0.57	0	0
	9-SPI	6.77	2.47	0.2	0	0
	12-SPI	7.87	2.07	0	0	0
서천	3-SPI	3.83	1.97	0.83	0.4	0.17
	6-SPI	4.6	2.27	1.03	0.17	0.03
	9-SPI	5.87	2.73	0.43	0	0
	12-SPI	8.17	1.83	0	0	0

[표 3-6] 계속

구분	기간	≥ -0.5	≥ -1	≥ -1.5	≥ -2.0	< -2.0
청양	3-SPI	4.83	0.77	0.73	0	0
	6-SPI	5.43	2.87	0.47	0.03	0
	9-SPI	7.23	2.93	0.27	0	0
	12-SPI	8.17	2.53	0.03	0	0
홍성	3-SPI	4.4	1.9	0.9	0.23	0
	6-SPI	4.73	2.37	0.87	0.27	0
	9-SPI	6.87	2.53	0.5	0	0
	12-SPI	7.07	3	0	0	0
예산	3-SPI	4	2.4	0.77	0.53	0
	6-SPI	4.57	3	0.63	0.23	0
	9-SPI	5.3	3.3	0.4	0	0
	12-SPI	6.4	2.9	0.07	0	0
태안	3-SPI	4.43	2.1	1.03	0.13	0.07
	6-SPI	5.47	2.2	0.87	0.2	0.03
	9-SPI	6.53	2.67	0.53	0	0
	12-SPI	6.2	3.23	0	0	0

4) 2080년대(2071~2100)

기후변화 시나리오에서 2071년부터 2100년까지 30년 동안 SPI 가뭄지수를 산정하였으며, [표 3-7]은 2080년대 시·군별 기간별 가뭄심도별 발생현황을 보이고 있다. 장기를 나타내는 10, 12-SPI로 갈수록 약한가뭄이 지속적으로 발생하는 것으로 확인된다.

[표 3-7] 2080년대 시·군별 기간별 가뭄심도별 연평균 발생 개월

구분	기간	≥ -0.5	≥ -1	≥ -1.5	≥ -2.0	< -2.0
천안	3-SPI	5.17	1.97	0.13	0	0
	6-SPI	4.97	3	0.73	0.23	0
	9-SPI	6.43	3.07	0.43	0	0
	12-SPI	6.5	3.47	0	0	0
공주	3-SPI	1.5	0.3	0	0	0
	6-SPI	5.47	0.8	0.43	0	0
	9-SPI	6.13	2.2	1.3	0	0
	12-SPI	5.67	3.43	0	0.37	0
보령	3-SPI	0.83	0.67	0	0	0
	6-SPI	5.23	1.6	0	0	0
	9-SPI	8.03	0.17	1.73	0	0
	12-SPI	7.33	2.9	0	0.3	0
아산	3-SPI	2.17	0.9	0	0	0
	6-SPI	5.8	1.1	0.77	0	0
	9-SPI	6.43	3.27	0	0.47	0
	12-SPI	6.5	4.1	0.03	0	0
서산	3-SPI	4.2	2.47	0.67	0.47	0.07
	6-SPI	4.5	2.63	0.63	0.1	0.17
	9-SPI	5.43	2.67	0.23	0.33	0
	12-SPI	6.4	1.9	0.7	0	0
논산	3-SPI	3.77	2.63	1.03	0.23	0
	6-SPI	4.67	3.17	0.6	0	0
	9-SPI	5.87	3.13	0.13	0	0
	12-SPI	6.27	2.17	0.23	0	0
계룡	3-SPI	1.9	0.77	0	0	0
	6-SPI	4.83	2.17	0.33	0.07	0
	9-SPI	6.37	2.93	0.1	0.47	0
	12-SPI	7.3	2.8	0.43	0	0

[표 3-7] 계속

구분	기간	≥ -0.5	≥ -1	≥ -1.5	≥ -2.0	< -2.0
당진	3-SPI	5.17	1.47	0.33	0	0
	6-SPI	5.33	2.5	0.9	0.1	0
	9-SPI	6.4	3.27	0.53	0	0
	12-SPI	6.83	3.43	0	0	0
금산	3-SPI	3.03	1.67	0	0	0
	6-SPI	5.63	2.47	0.53	0.13	0
	9-SPI	6.4	4.1	0.07	0.03	0
	12-SPI	7.47	3.13	0.1	0	0
부여	3-SPI	5.1	1.97	0.93	0.43	0
	6-SPI	6	2.87	0.37	0.03	0
	9-SPI	6.87	3	0.03	0	0
	3-SPI	8	2.3	0	0	0
서천	6-SPI	4.7	2.63	0.6	0.3	0.03
	9-SPI	6.07	2.1	0.53	0.13	0.03
	12-SPI	8.13	1.8	0.3	0.03	0
	12-SPI	8.67	2	0	0	0
청양	3-SPI	4.8	1.33	0.13	0.1	0
	6-SPI	7.33	1.33	1.27	0.1	0
	9-SPI	7.2	3.4	0.2	0	0
	12-SPI	7.5	3.3	0	0	0
홍성	3-SPI	4.8	2.17	0.3	0	0
	6-SPI	5.7	2.7	0.43	0.33	0
	9-SPI	7.23	2.9	0.27	0	0
	12-SPI	9.1	1.93	0	0	0
예산	3-SPI	4.5	2.37	0.9	0.4	0
	6-SPI	5.4	2.73	0.77	0.07	0
	9-SPI	6.2	3.13	0.3	0	0
	12-SPI	7.1	2.77	0.13	0	0

[표 3-7] 계속

구분	기간	≥ -0.5	≥ -1	≥ -1.5	≥ -2.0	< -2.0
태안	3-SPI	4.5	4.27	2.2	1.27	0.13
	6-SPI	5.4	5.43	2.5	0.5	0.4
	9-SPI	6.2	6.63	2.5	0.5	0.03
	12-SPI	7.1	6.9	2.93	0	0

5) SPI 비교분석

과거자료와 2030년대, 2080년대의 장단기 SPI 결과를 비교한 결과 단기 SPI에서는 약한 가뭄의 발생빈도가 증가하지만 보통가뭄의 발생빈도는 줄어들고 있다. 하지만 장기 SPI에서는 약한가뭄 및 보통의 가뭄 발생빈도가 증가하는 경향이 있었다. SPI 분석 결과에 따르면 미래로 갈수록 장기간 가뭄의 발생이 늘어날 것이라는 예측이 가능하다.

제4장 충청남도 가뭄대응 전략

1. 충청남도 가뭄관리 방향

1) 가뭄대책과 정책실행가능성

본 연구에서는 기존 연구(이상신, 2012)에서 제시된 가뭄대책과 정책실행 가능성에 대해 요약·정리하여 충청남도 가뭄관리 방향에 참고하고자 한다.

국내에서 잦은 봄가뭄의 특징은 장기간의 기상학적 가뭄에 이은 농업가뭄이라 할 수 있으나, 더욱 악화될 경우, 국가 전체적인 사회경제적 가뭄으로 확산되는 것을 감안할 때, 가뭄대책은 농업뿐만 아니라 국가의 총력을 기울여야 하는 사안으로 기술적, 제도적, 행정적 대책을 수반한다. 따라서 가뭄업무를 수행함에 있어서 장기간에 걸쳐 충분한 대책을 수립하여 시행할 경우 그 피해를 충분히 예방 또는 최소화시킬 수 있으나 장기간가뭄이 지속되어 피해가 확산 일로에 있게 되면 그 대책 또한 큰 효과를 기대할 수는 없다. 그러므로 소관부처별로 예방대책을 위한 중장기대책을 수립하고 적극적인 사업을 추진함으로써 재해가 발생치 않도록 사전예방에 중점을 두어야 한다. 소관부처의 예방적 기능과 역할이 더욱 강조될 수밖에 없는 실정을 감안하여 업무추진 체계를 수립하여야 한다.

가뭄에 대비하는 방안으로는 기상예측을 적용한 유출예측기능의 강화, 영농의 강화, 용수절약방안, 용수개발, 대체수자원 개발 등이 있으며 가뭄의 예상 및 발생시에 피해를 최소화 할 수 있는 행정체계의 대처 및 문제점을 해결하는 것 등의 방법이 있다.

가뭄대책은 크게 수요측면과 공급측면으로 용수수요관리대책과 용수공급관리대책 두 가지로 나눌 수 있으며, 각각의 관리대책 아래에는 단기대책과 중장기 대책이 있으며 다시 구조물 대책과 비구조물 대책으로 나눈다. 여기에 더하여 최근 지속적으로 주목받고 있는 개념인 LID(Low Impact Development) 기법을 적용한 강우 유출수 관리와 도시개발 등 유역 물순환 구조 개선을 위한 단순하면서도 효과적인 방안 등으로 구분할 수 있다.

[표 4-1] 가뭄대책 및 수자원확보 방안 분류

적용	분류	요소 기술 및 정책
A. 용수 수요 관리	구조물 적용 대책	상수도 누수방지 중수도 확대 절수기기 보급 확대
	비구조물 적용대책	수도요금의 적절한 조정 수도 체제의 검토 및 개선 절수형 산업, 농업 구조 형성 급수제한 단계별 각 주체별 가뭄관리 시스템 구성 급수제한 시 최소 공급량 결정을 위한 절수 목표별 최저 기준량 제시
B. 용수 공급 관리	구조물 적용 대책	신규댐 및 기존댐 재개발 지하수개발 광역상수도의 확충 - 저수지 부용용량활용 이상 가뭄에 대비한 기존 저수지의 효율적 운영률 개발
	비구조물 적용대책	기존 저수지의 용수공급능력 재평가 및 용도전환 검토 지표수와 지하수의 연계이용 기상예보를 적용한 유역통합 물관리 체제 구축 단계별 절수, 제한급수 및 단수 지하수 개발 관행의 시정과 폐공 재활용
C. LID 및 대체 기술	LID 기술 적용대책	LID 기술을 이용한 도시유역의 유출수 관리(분산형 빗물관리시스템 적용 및 우수관로내 정화, 저장 시스템적용) LID 기법에 의한 비점오염원 저감모델링 (물순환 시스템과 연계한 비점오염원 관리기술) LID기법 적용 친수 공간확보를 통한 도시내 물순환 개선 도시의 대표적 불투수면 도로의 물순환 개선을 위한 공간계획, 도로 공간의 Dead Space를 활용한 LID기법 적용
	기타 대체기술 적용대책	재이용수의 용도에 따른 물질별 저감 기술 및 적정 처리 조건 도출 초고속 담수화 기술 및 해수 및 지표수 겸용 정수 시스템 기술 개발 나노버블 및 고도산화처리(Advanced Oxidation Process) 기술을 이용한 이동형 상수 시스템 개발 재이용 겸용 및 원수수질 맞춤형 이동식 정수시스템 기술 개발 분산공유형 우수, Greywater 처리 및 재이용 신재생에너지 활용 이동형 정수처리 시스템 개발

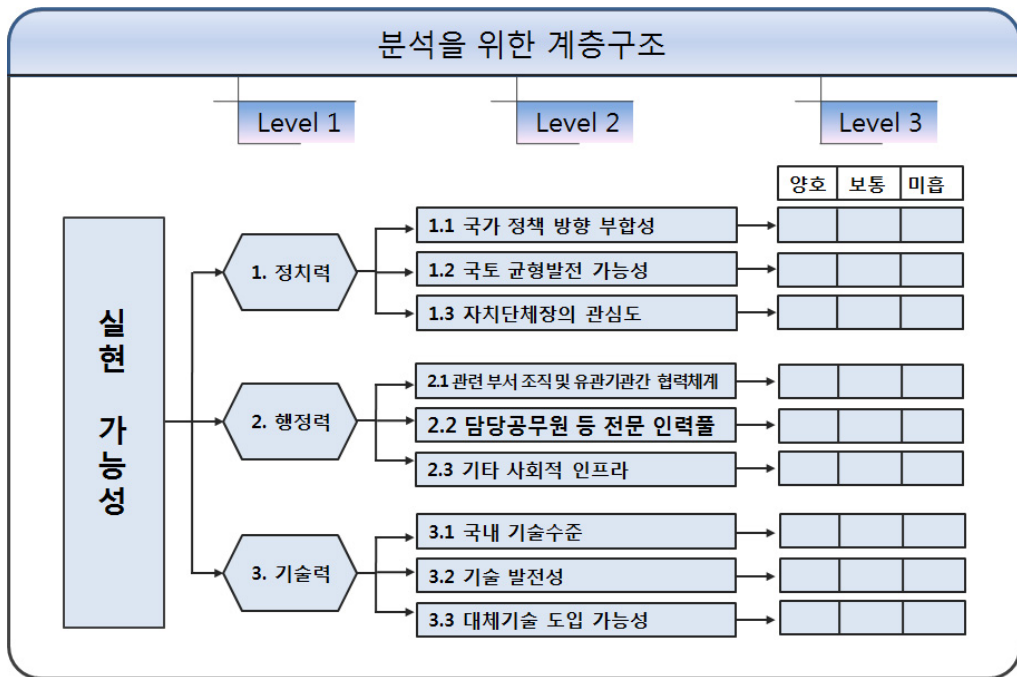
2) 정책 실현가능성 평가

본 절에서는 이상신(2012)에서 제시된 가뭄대책에 대한 실현가능성 평가 결과를 요약 수록하였다. 이를 통해 충청남도 가뭄정책 수립시 정책의 실현가능성과 법적 실현가능성 순위를 참고하여 정책을 수립하는데 참고할 수 있을 것이다.

실현가능성 분석을 위한 평가 대상 수자원확보 요소기술 및 정책은 표 4-2와 같으며, 정책 실현가능성은 정치력, 행정력, 기술력의 계층을 구축하여 AHP 방법을 통해 분석하였으며, 법적 실현가능성은 관련 전문가의 정성적 평가를 기준으로 판단하였다.

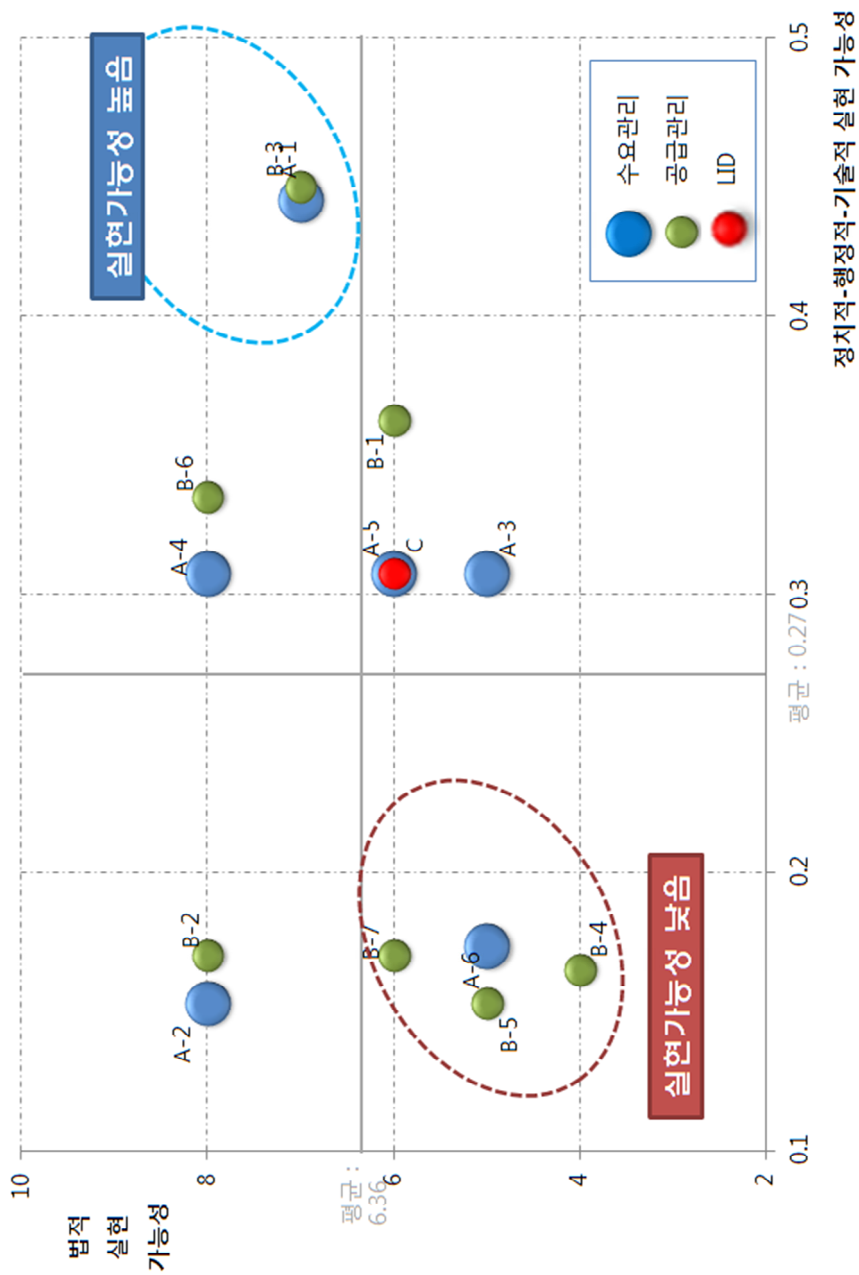
[표 4-2] 실현가능성 분석을 위한 수자원확보 요소기술 및 정책

적용	분류	요소 기술 및 정책
A. 용수 수요관리	구 조 물 적용대책	A-1. 상수도 누수방지 A-2. 중수도 확대 A-3. 절수기기 보급 확대
	비구조물 적용대책	A-4. 수도요금의 적절한 조정 A-5. 수도 체제의 검토 및 개선 A-6. 절수형 산업, 농업 구조 형성
B. 용수 공급관리	구 조 물 적용대책	B-1. 신규댐 및 기존댐 재개발 B-2. 지하수개발 B-3. 광역상수도의 확충
	비구조물 적용대책	B-4. 기존 저수지의 용수공급능력 재평가 및 용도전환 검토 B-5. 지표수와 지하수의 연계이용 B-6. 기상예보를 적용한 유역통합 물관리 체제 구축 B-7. 단계별 절수, 제한급수 및 단수
C. LID기술 적용대책	LID 기술 적용대책	C. 다양한 LID 기술 적용에 의한 수질 및 수량 관리



[그림 4-1] 실현가능성 분석을 위한 계층구조

수자원확보 방안 정책 실현가능성 평가



[그림 4-2] 수자원확보 방안 정책 실현가능성 평가결과

3) 충청남도 가뭄관리 방향

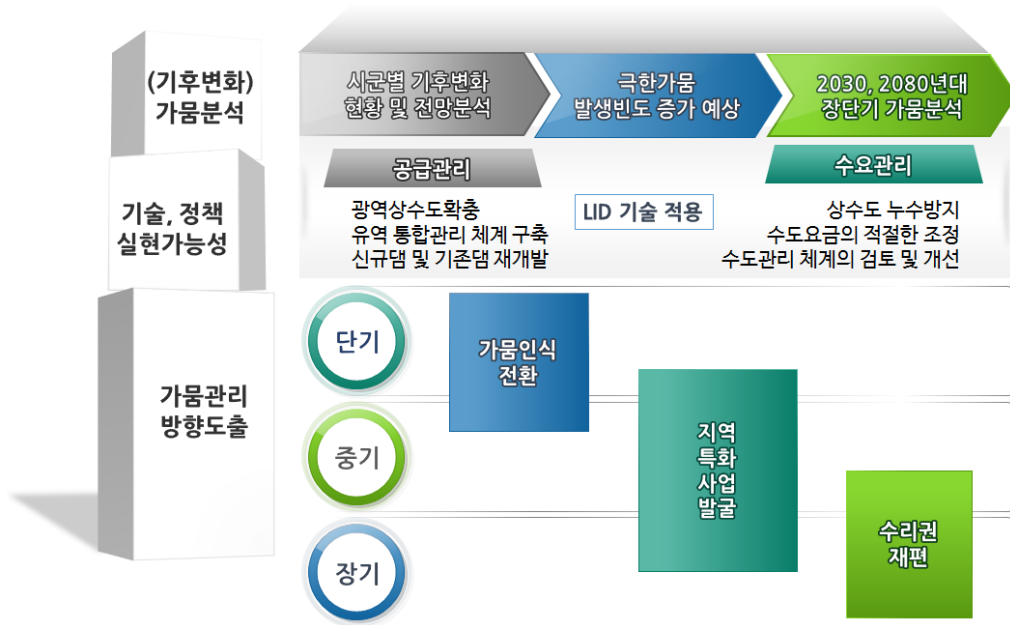
전절에서 제시한 가뭄관리 대책은 기존 연구(이상신, 2012)에서 제시된 가뭄대책을 참고하기 위해 요약·정리한 것으로 이를 바탕으로 충청남도의 가뭄관리 기본방향 설정이 필요하다.

본 연구에서 진행한 기후변화에 따른 가뭄분석과 기술적·정책적·법적 실현가능성에 대한 문헌연구 결과에 근거하여 충청남도 가뭄관리 기본방향을 ‘기후변화 적응역량 강화를 위한 가뭄 대응체계 구축’으로 설정하였다.

연구결과에 의하면 기후변화에 따라 가뭄발생지역에 대한 단계 조정이 필요한 것으로 판단된다. 따라서, 다음 절에서는 가뭄우선 관리지역 선정에 위한 방법론을 제시하고 이에 따라 시기별 가뭄 우선 관리지역을 선정하고자 한다.

또한, 정책실행가능성 분석을 위해 제시된 사업들은 문헌에서 제시하는 주요 가뭄대책 사업들로 충청남도의 가뭄관리를 위해서는 추가적으로 가뭄인식 전환과 지역특화 사업발굴, 장기적으로 수리권 재편을 위한 방안에 대한 사업개발이 필요하다고 판단된다. 이외 에도 물관리 체계 개편이나 농법의 전환, 화력발전소 이용용수 저감을 위한 에너지 전환 등 다양한 측면에서 접근할 수 있으나, 본 연구에서의 충청남도 가뭄관리 방향은 가뭄인식 전환, 지역특화 사업발굴, 수리권 재편의 측면에서 단기, 중기, 장기로 사업을 제안하는 것이 바람직한 것으로 판단된다.

“기후변화 적응역량 강화를 위한 가뭄대응체계 구축”

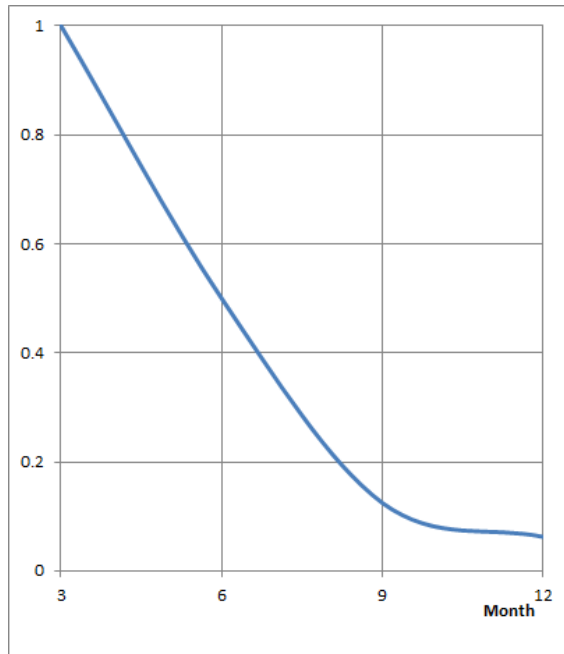


[그림 4-3] 충청남도 가뭄관리 방향설정

2. 가뭄관리 지역 선정

기후변화 시나리오에 의해 2100년까지 예측된 시·군별 일강수량자료에 근거하여 예측한 기간별 가뭄지수(SPI)에 따른 충청남도 15개 시·군의 장단기 가뭄지수로 가뭄관리지수를 정의하였다. 정의된 가뭄관리지수로 미래 장단기 가뭄관리가 필요한 지자체를 선정하였다.

가뭄관리지수는 3, 6, 9, 12 개월 SPI의 상대적 가뭄발생 출현빈도를 활용하였으며 2030년대(2021~2050)와 2080년대(2071~2100)의 30년간 보통가뭄 발생빈도를 기준으로 단기지수는 3-SPI를 기준으로 상대적 출현빈도가 $\frac{1}{2^n}$ (n : 월)로 영향을 미친다고 가정(그림 4-4)하고 산정하였으며, 장기지수는 12-SPI를 기준으로 산정하였다(이상신, 2012).



[그림 4-4] 단기 가뭄관리지수 기준

[표 4-3] 기간별 시·군별 가뭄관리지수 순위

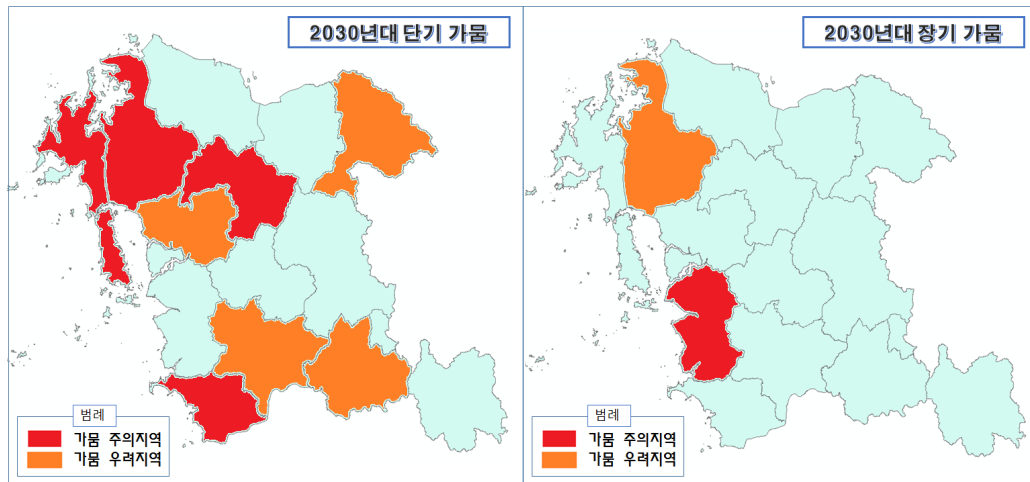
구분 시·군별	2030년대				2080년대			
	단기		장기		단기		장기	
	지수	순위	지수	순위	지수	순위	지수	순위
천안	1.045	8	0.383	3	0.424	10	0.236	10
공주	0.464	14	0.199	11	0.293	11	0.749	2
보령	0.778	10	1.129	1	0.235	13	0.733	3
아산	0.718	11	0.374	4	0.253	12	0.244	9
서산	1.811	1	0.556	2	1.549	3	1.028	1
논산	1.263	7	0.137	13	1.441	5	0.416	5
계룡	0.450	15	0.137	13	0.198	14	0.623	4
당진	0.640	12	0.284	9	0.646	7	0.278	8
금산	0.636	13	0.126	15	0.184	15	0.208	13
부여	1.408	6	0.199	11	1.464	4	0.143	15
서천	1.761	2	0.349	6	1.144	6	0.227	12
청양	0.891	9	0.206	10	0.598	8	0.236	10
홍성	1.478	5	0.338	8	0.524	9	0.181	14
예산	1.569	4	0.359	5	1.556	2	0.391	6
태안	1.571	3	0.347	7	1.691	1	0.333	7

[표 4-3]에서 산정된 가뭄관리지수 순위에 따라 충청남도의 기후변화에 따른 가뭄관리 주의대상 지자체와 가뭄관리 우려대상 지자체를 선정하였다.

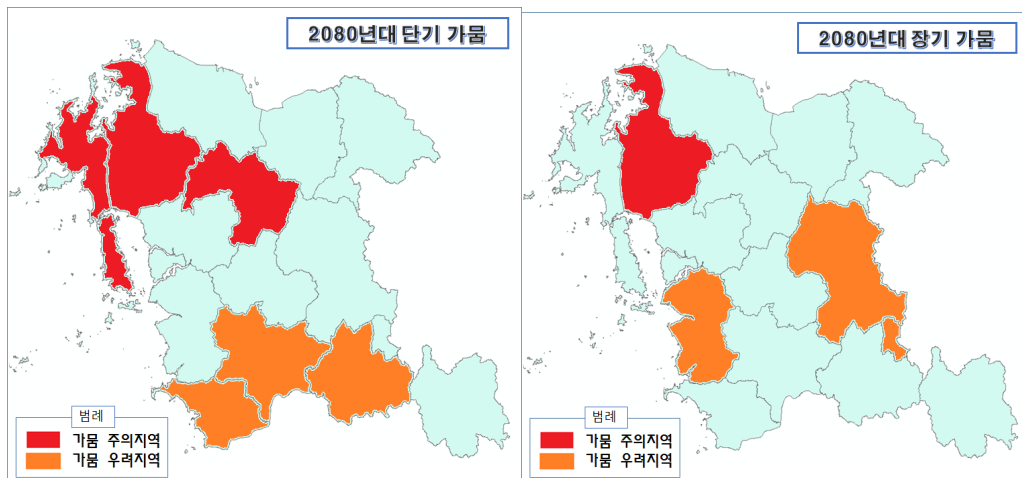
가뭄관리지수에 의한 2030년대, 2080년대 장단기 가뭄관리 주의, 우려 지자체는 [표 3-11]과 같으며, 서산은 전기간에 대해 가뭄관리가 요구되는 것으로 판단되었으며, 태안, 예산은 단기가뭄에 보령은 장기간의 가뭄에 주의를 기울여야 하는 것으로 나타났다. [표 3-11]에서 지정된 가뭄관리 주의대상과 우려대상 지자체는 지역의 사회경제적 여건 등은 고려되지 않고 오직 RCP기후변화 사나리오 따른 SPI 지수만에 의한 판단임을 밝혀둔다.

[표 4-4] 가뭄관리 주의 및 우려 지자체 선정

	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



[그림 4-5] 2030년대 가뭄관리 요구 지자체



[그림 4-6] 2080년대 가뭄관리 요구 지자체

본 연구결과에서 제시하고 있는 지표는 앞서 언급한 바와 같이 SPI 지수만에 의한 판단지수로 기상학적 가뭄에 기인한 결과이다. 따라서, 농업적 가뭄, 수문학적 가뭄이나 사회경제적 가뭄 측면에서 분석이 가능하다면 본 연구에서 제시한 결과와 상이한 결과가 나타날 수도 있음을 인지하고 정책에 활용해야 할 것이다.

3. 충청남도 가뭄대책 사업제안

본절에서는 1절에서 제시한 충청남도 가뭄관리 방향에 따라, 가뭄인식 전환과 지역특화 사업발굴, 수리권 재편방안에 따라 충청남도 가뭄대책 사업을 제안하고자 한다. 각 목표에 따른 사업에 대해 다음과 같이 간략히 요약정리 하였다.

1) 가뭄인식 전환

- 수요관리 인식전환을 위한 범도민 운동 전개

기존의 가뭄관리는 중앙정부 중심으로 용수 부족량에 대해 공급량을 맞추는 공급관리로서 대응이 주를 이루고 있다. 하지만 건전한 물순환을 달성하려면 공급 측면의 물관리 뿐만 아니라 물의 효율적인 활용을 위한 수요관리의 중요성에 대한 연구와 제도를 개선하려는 움직임이 필요하다. 가뭄 극복을 위해 우리는 언제나 수요관리의 중요성을 홍보하고 있으나, 잠재적 가뭄피해 당사자는 현재 용수 이용에 불편함이 없어 이에 대한 중요성을 놓치는 경우가 많다. 따라서, 평소 효율적인 물소비를 위한 인식전환을 위해 체계적인 범도민 인식전환 운동의 전개가 필요하다.

- 용수분야별 통합 가뭄대응 로드맵 수립

지역에 가뭄이 발생하면 농업용수로부터 공업용수, 생활용수 순서로 제한급수 등의 조치가 이루어지고 있다. 가뭄대응 또한 용수분야별 주무부처나 부서가 주관이 되어 정책을 수립하고 진행하고 있는 실정이다. 가뭄은 지속적인 피해를 비교적 넓은 지역에 유발함으로 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 할 것이다.

- 가뭄분야 충청남도 안전관리 계획 수립

문헌연구에서 조사한 바와 같이 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 할 것이다. 특히, 최근 안전관련 다양한 계획이 수립되고 있으므로 유사 계획에 통합되어 계획이 수립되고

관리·운영하는 방안도 검토할 수 있다.

－ 물관리 분야 기후변화 적응협의체 역할 증대

2016년 충청남도에서는 우리나라에서는 처음으로 ‘충청남도 기후변화 적응 협의체(물관리 분야)’를 구성하고 운영하기 위한 노력을 기울이고 있다. 물관리 협의체는 치수적인 측면보다 이수 측면의 역할이 더 기대되고 있는 실정임으로 단기적인 협의체 구성 및 운영에 더하여 중장기적으로 협의체 역할을 증대하고 지역 가뭄문제 해결을 위한 중추적인 거버넌스 역할을 수행 할 수 있도록 발전시켜 나가야 할 것이다.

2) 지역특화 사업 발굴

－ 물통합관리 시스템 운영방향 재정립

현재 충청남도에서 구축·운영하고 있는 물통합관리 시스템은 지자체에서 추진하는 선도적 사업으로 지역 물통합관리를 위한 기초자료 제공 등 충청남도 물관리 정책을 위한 중요한 기초자료를 제공하고 있다. 현재 제공되는 내용은 각종 통계자료, 측정망 운영자료, 오염원자료 및 부하량 자료를 위주로 이루어져 있어 수량적 측면보다는 수질적 측면을 중심으로 구축되어 있다. 물통합관리는 수량, 수질을 아우르는 의미로 수량면에서 자료 축적이 필요해 보이며, 특히 가뭄관리 차원에서는 수질관리 이전에 수질을 관리할 수 있는 수량부족 문제임으로 물통합 관리 본연의 의미에 맞게 유역을 통합관리 할 수 있는 체계 유지를 위한 노력도 필요하다. 지난 2015년 가뭄으로 인한 금강수원의 보령댐 도수로 사업과 같이 충남지역차원에서도 개개의 유역을 묶어 통합적으로 관리·운영할 수 있도록 관련 정보를 포함한 시스템 완성도를 높이고 활용성 제고를 위한 운영방안을 재정립 할 필요가 있다.

－ LID 기술 적용을 위한 지역특화 사업발굴

가뭄관리를 위한 기술 중 LID 기술은 가뭄관리에 중요한 기술로 고려되고 있으나, 대부분 표준화된 기술로 국가 사업 일환으로 진행되고 있다. 이에 따라 중장기적으로 지역특성에 맞는 LID기술 개발을 위한 투자를 통해 국비를 확보하고 이를 통한 가뭄대응 능력 향상을 고려할 필요가 있다.

－ 지역 상수공급 특성에 맞는 누수방지사업 추진

인지하는 바와 같이 우리나라는 상수도 공급에 있어 누수율 제고는 최우선 과제로 인식되어 있다. 제한급수를 경험한 지자체의 누수율이 40%가 넘어서는 등 누수방지사업에 대한 필요성

은 지속적으로 증가하고 있다. 하지만, 대부분의 지자체에서는 누수율 제고를 위한 사업에 대해 예산상의 문제로 근본적인 접근조차 하지 못하고 있는 실정이다. 누수율 제고를 위해서는 우선적으로 지역 상수공급 특성에 대한 전면적인 조사와 분석이 선행되어야 하지만 예산의 범위에서는 조사·분석보다는 현장사업을 먼저 진행하고 있어 이에 대한 정책개선이 필요하다.

– 지역 특수성을 고려한 상수도 요금제도 개선

국내외적으로 다양한 상수도요금제도 개선에 대한 연구가 진행되었으며, 상수도 요금은 복지문제와도 연관되어 있어 민감한 문제로 인식되고 있다. 하지만, 가뭄대응에 대한 근본적인 문제 해결을 위해서는 가뭄은 공급량이 제한됨에 따라 발생하는 사안임으로 수요 조절이 필요하며, 수요 조절을 위한 궁극적인 해결방안은 요금제도 개선에 있음을 인지하고 지역적 특성을 고려한 차별적 상수도 요금제도 개선을 적극 고려해야 한다.

3) 수리권 재편

– 지방상수도 유지 방안 마련(지방상수도 확충)

지방자치제가 시작되면서 광역상수도 보급이 급격히 증가하였으며, 현재도 지방상수도가 광역상수도로 교체되고 있다. 광역상수도는 관리의 전문성 등 많은 장점을 가지고 있으나, 가뭄문제는 수원 부족 원인이 절대적임으로 지역의 물안보 측면에서도 지방상수도를 일정부분 유지하는 것이 필요하다. 따라서, 수리권 재편에 있어 장기적으로 지방상수도 확충 등을 통해 지역의 물안보를 위해 필요한 최소한의 지방상수도 유지 방안 마련이 시급하다.

– 지역 댐 장기 활용 계획 수립

우리나라 수자원 공급의 중요한 역할은 대규모 댐이 담당하고 있음으로 지역 대규모 수원인 댐에 대한 활용 계획을 재검토하고, 댐의 수자원 분배에 있어 댐운영 주체와 함께 지자체가 적극적으로 참여할 수 있도록 재검토가 필요하다.

– 충청남도 물이용 총량제 모델개발 및 적용 방안 마련

물은 상류로부터 하류로 이동하며 기득수리권에 의해 물을 활용하고 있는 실정이다. 하지만, 미래에는 물이용 총량 개념 도입이 예상됨으로 장기적으로 이에 대한 대응방안 마련이 필요하다.

– 지역 수도관리 체계 개선방안 마련

제안한 사업에 대해 단기, 중기, 장기 사업으로 분류하면 [그림 4-7]와 같다.

	가뭄인식 전환	지역특화 사업발굴	수리권 재편
단기	<ul style="list-style-type: none"> - 수요관리 인식전환을 위한 범도민 운동 전개 - 용수분야별 통합 가뭄대응 장기 로드맵 수립 - 가뭄분야 충청남도 안전관리계획 수립 	<ul style="list-style-type: none"> - 물통합 관리 시스템 재정립 	
중기	<ul style="list-style-type: none"> - 물관리 분야 기후변화 적응 협의체 역할 증대 	<ul style="list-style-type: none"> - LID 기술 적용을 위한 지역특화 사업 발굴 - 지역 상수공급 특성에 맞는 누수방지사업 추진 - 지방상수도 유지방안 마련 	
장기		<ul style="list-style-type: none"> - 지역 특수성을 고려한 상수도 요금제도 개선 	<ul style="list-style-type: none"> - 물이용 총량제 모델 개발 및 적용방안 마련 - 지역 댐 장기 활용계획 수립 - 지역 수도관리 체계 개선방안 마련

[그림 4-7] 충청남도 가뭄대책 사업분류

제5장 결론 및 제언

1. 요약 및 정책제언

본 연구는 충청남도 시·군별 기후변화 시나리오에 따른 가뭄분석을 통해 기후변화에 따른 가뭄대응 정책 수립에 활용 가능한 가뭄관리 주의지자체와 우려지자체를 2030년대와 2080년대 단기, 장기가뭄에 대해 제시하였다. 이와 더불어 기존 연구에서 제안되었던 가뭄대책에 해당하는 정책이나 사업의 정책실행가능성과 법적 실행가능성 분석 결과를 바탕으로 충청남도 기후변화 적응역량 강화를 위한 가뭄대응체계를 구축할 수 있도록 단기, 중기, 장기 사업을 제안하였다.

가뭄은 기상학적가뭄, 농업적 가뭄, 수문학적 가뭄, 사회·경제적 가뭄으로 분류할 수 있으며, 국가 단위의 가뭄분석 연구는 활발히 진행되고 있으나 충남지역에 국한된 가뭄분석이나 예측연구는 미진하다. 본 연구에서는 충남 및 시·군 행정에서 활용 가능하도록 충청남도 15개 시·군별 기상학적 가뭄을 분석하였다. 미래 RCP 기후변화 시나리오에 따른 시·군별 가뭄지수를 산정하고 그 결과에 따라 가뭄우선 관리지역을 선정하였는데 그 결과 2030년대, 2080년대 모두 충남 서부 지역이 주로 가뭄에 취약한 것으로 나타났다. 특히 서산의 경우 강수량에 국한된 가뭄지수로 판단했을 때 미래 기후변화에 따른 가뭄이 가장 심각할 것으로 나타났다.

본 연구를 통해 제시된 시·군별 가뭄지수와 더불어 기후변화 현황과 전망분석 자료는 향후 충청남도 가뭄정책 수립시 유용하게 활용할 수 있는 기초자료로 활용할 수 있을 것이며, 제시된 가뭄대책에 대해서는 단기, 중기, 장기적으로 고려되어야 할 정책사업들로 미래 충청남도 기후변화 대응 극한가뭄 대책을 위해 추진여부를 고려해야 할 것이다.

특히, 가뭄대응을 위해서는 가뭄이 ‘선택적 재해’임을 인지하고 물복지 차원에서도 고려하여 정책을 추진해야 할 것이며, 이를 위해서는 우선적으로 가뭄에 대한 인식전환이 최우선적으로 이루어져야 한다. 또한 가뭄대응 주체는 가뭄피해 당사자임을 인지하고 그 피해에 대한 관리책임과 정책추진에 있어 지자체의 역할이 중요함을 인식하여 정책추진주체가 이를 고려할 수 있어야 한다.

2. 연구의 한계 및 향후 과제

본 연구에서 제시한 충청남도내 시·군별 가뭄관리 요구지자체는 기상학적 가뭄만 고려된 SPI 가뭄지수를 바탕으로 산정되어 지역적 특성(수원의 보유, 가뭄에 대한 적응능력 등)이 고려되지 않아 농업적 가뭄이나 사회경제적 가뭄으로 확대해석하기에는 다소 무리가 있다. 다만, 연구결과로 제시된 미래 가뭄관리가 요구되는 지자체의 경우 가뭄의 근본 원인인 강수량 부족이 지속적으로 유지될 수 있으므로 기후변화 취약성(기후변화 취약성 = 기후노출 + 기후민감도 - 적응능력) 차원에서 살펴보면, 기후노출이 취약하다는 의미임으로 기후적응능력을 높일 수 있는 정책을 준비할 필요가 있음을 말한다.

또한, 본 연구는 가뭄관리 지자체 선정에 집중된 연구로 충청남도 가뭄대책 사업으로 제안된 단기, 중기, 장기 사업에 대해서는 정책 아이디어 차원의 제안에 머물고 있어, 향후 사업별 구체적 추진계획이나 연구가 필요할 것이다.

참 고 문 헌

- Bernhard Lehner, P. Döll, J. Alcamo, T. Henrichs, F. Kaspar. (2008). Estimating the impact of global change on flood and drought risks in Europe: a continental, integrated analysis. *Climatic Change*. 75(3), pp. 273-299.
- Glantz, M.H. (1987). *Drought and hunger in Africa*. Cambridge University Press.
- IPCC (2013), *Climate change 2013 : The physical Basis*.
- Luc Feyen, Rutger Dankers. (2009). Impact of global warming on streamflow drought in Europe. *J. of Geophysical research*.
- M. Weiß, M. Florke, L. Menzel, and J. Alcamo. (2007). Model-based scenarios of Mediterranean droughts. *Advances in Geosciences*. 12, pp. 145-151.
- Martha C. Anderson, Christopher Hain, Brian Wardlow, Agustin Pimstein, John R. Mecikalski, and William P. Kustas. (2011). Evaluation of drought indices based on thermal remote sensing of evapotranspiration over the continental united states. *DigitalCommons@University of Nebraska - Lincon*.
- McKee, T.B., N. J. Doesken and J. Kleist. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales. *Preints, 8th Conference on Applied Climatology*. 17-22 January, Aneheim, CA. pp. 179-184.
- Salas, J.D. (1986). State-of-the-art of statistical techniques for describing drought characteristics. *International Seminar on drought analysis*. Perugia, Italy.
- Wilhite, D. A., M. H. Glantz. (1985). Understanding the drought phenomenon:The role of definition. *Water International*, 10, pp.111-120.
- 강인주 (2000). 가뭄관리를 위한 수문학적 의사결정에 관한 연구. 고려대학교.
- 경기개발연구원 (2002). 경기도 지역을 중심으로 한 가뭄의 재현 및 지속특성 분석.
- 국토교통부 (2013). 기후변화에 의한 수문 영향분석과 전망 보고서.
- 기상연구소 (1993). 우리나라 가뭄에 관한 연구.
- 기상청 (2012). 대전·충청남도 기후변화 전망보고서

- 김병식·성장현·정세진 (2013). 표준강수증발산량지수를 이용한 RCP 8.5 기후변화시나리오 기반의 기후변화가 가뭄발생에 미치는 영향평가. 한국방재학회 학술발표대회논문집.
- 김선주·이광야·이동원 (1995). 관개용 저수지 한발지수산정. 한국농공학회지. 37(6), pp. 103-111.
- 김선주·이광야·양용석 (1997). 저수지규모 및 지역별 용수공급지수(WSI) 조사분석. 한국관개 배수지. 4(2), pp. 48-61.
- 박범섭·이주현·김창주·장호원 (2013). 다양한 기후변화 시나리오와 기후모델에 의한 남한지역 미래가뭄의 확률론적 전망. 대한토목학회논문집. 33(5), pp. 1871-1885.
- 변희룡 (2009). 가뭄진단 및 그 시스템들의 비교분석. 한국방재학회지.
- 유원희 (2000). 유출량 계열을 이용한 가뭄지수 산정. 인하대학교.
- 윤용남·안재현·이동률 (1997). Palmer의 방법을 이용한 가뭄의 분석. 한국수자원학회논문집. 30(4), pp. 317-326.
- 이동률·황석환·문자원·노성진·오병화·황교택·김현준·최시중·강성규·백승협 (2013). 원격탐사 기반 선진형 홍수관리 및 가뭄대응 기반기술 개발.
- 이상신 (2012). 기후변화에 따른 극한가뭄대책 및 수자원확보 방안. 한국기후변화대응연구센터.
- 이재경·김영오·강노을 (2012). 한반도 수자원분야 기후변화 연구동향 분석. 한국기후변화학회지.
- 이재수 (2010). 자연재해의 이해. 구미서관.
- 이주현·김창주 (2010). 기후변화를 고려한 극한가뭄 전망 최신 연구동향. 물과 미래.
- 임경진 (2001). 다양한 시계열 자료를 이용한 가뭄지표의 산정 인하대학교.
- 장연규·김상단·최계운 (2006). SPI 가뭄지수의 EOF 분석을 이용한 가뭄의 시공간적인 특성 연구. 한국수자원학회논문집. 39(8), pp. 691-702.
- 최충익 (2007). 시·군 안전관리계획 수립 실태와 개선방안, 충남발전연구원.
- 최홍식·김상문 (2009). 가뭄재난의 정의, 개념정립 및 명확화. 물과 미래.
- 한국환경정책·평가연구원 (2012a). 기후변화 대응 물안보 위기관리 정책 연구.
- 한국환경정책·평가연구원 (2012b). 기후변화를 고려한 농업가뭄지수 활용 및 적용 기초 연구.
- 한국환경정책·평가연구원 (2013). 가뭄 유형별 기후변화 적응정책 연구.

■ 집 필 자 ■

연구책임 · 이상신 충남연구원 전임책임연구원

전략연구 2016-34 · 충청남도 기후변화 시나리오에 따른 가뭄분석

글쓴이 · 이상신

발행자 · 강현수 / 발행처 · 충남연구원

인쇄 · 2016년 12월 31일 / 발행 · 2016년 12월 31일

주소 · 충청남도 공주시 연수원길 73-26 (32589)

전화 · 041-630-3921(기후변화대응연구센터) 041-840-1114(대표) / 팩스 · 041-840-1129

ISBN · 978-89-6124-378-0 03350

<http://www.cni.re.kr>

© 2016. 충남연구원

- 이 책에 실린 내용은 출처를 명기하면 자유로이 인용할 수 있다.
무단전재하거나 복사, 유통시키면 법에 저촉된다.
- 연구보고서의 내용은 본 연구원의 공식 견해와 반드시 일치하는 것은 아닙니다.