

전략연구 2016-33

# 보령댐 급수능력 평가 및 가뭄대응방안 연구

정우혁·노선희·김영일



# 발 간 사

우리나라 물 관리 정책은 그동안 지속적인 시설투자와 공급능력 개선으로 수자원 확보 및 관리가 어려운 자연조건에서도 급성장하는 다양한 산업의 수요를 꾸준히 뒷받침 해주었습니다. 1990년대 이후에는 물이 부족해서 산업시설의 입지를 포기하거나, 도시계획이 무산되거나, 농업을 포기하는 사태가 없이 안정적인 수자원 관리가 지속되었다고 볼 수 있습니다.

그러나 최근 2000년대의 기후 현상은 과거 전통적인 기후의 특성을 벗어나는 연속되는 가뭄으로 1년 단위의 수자원활용 계획에 따라 이루어진 기존의 물 관리 방식에 많은 한계점이 노출되고 말았습니다. 특히 충남 서부지역에 2014~2015년간 이어진 가뭄은 광역적인 물 부족 현상을 초래하였으며, 유효저수량이 약 1억톤/년의 비교적 작은 규모의 보령댐에 8개 시·군과 3개의 화력발전소가 수원을 의존하고 있는 현실은 우리가 그동안 여름에 온 강수를 잘 보관하여 다음해 봄까지 활용하겠다는 기존의 수자원 관리 패러다임을 개선해야하는 상황에 이르게 되었습니다.

이와 같은 가뭄에 의한 물 부족사례에도 불구하고 수자원은 단순히 수요에 따라 무한하게 공급능력을 증대할 수도 없고, 수생태계와 유역 물 순환의 건전성을 훼손하면서 댐 증설을 유일한 해결방안으로 보기에에는 유역 전체의 상황을 총체적으로 보지 못하는 시선으로 지적되기도 합니다.

우리는 이러한 시점에서 기존의 수자원 공급시설의 공급능력을 재검토 해보고, 과연 어느 정도 수준의 물 공급이 적절한 수준이며, 이를 수용할 수 없는 가뭄이 발생했을 때, 어떠한 대응전략을 갖고 있어야 하는지에 대해서 심도 있는 고민을 해봐야 한다고 생각합니다.

본 연구는 충남 서부지역의 보령댐이 갖고 있는 평상시 수자원 공급 능력을 평가해 보고 어느 정도 수준의 가뭄까지 용수공급이 가능할 것이며, 가뭄 수준에 따른 수자원 관리 목표를 제시해 주는 연구사례가 될 것이며, 앞으로 충청남도의 수자원 관리 정책의 발전에 초석이 되기를 바랍니다.

2016년 12월 31일  
충남연구원장 **강 현 수**





# 연구 요약

## 1. 배경 및 목적

2015년 충청남도에는 지역 기상관측에 최악의 가뭄으로 기록될 만한 가뭄이 찾아왔다. 2014년부터 시작된 가뭄은 2015년까지 지속되었다. 특히, 보령댐의 저수율이 8월 5일 32.8% 시점에서 '주의'단계를 발령하고 8월 15일 30.8% 시점에서 '경계'단계로 오른 후 8월 18일 30.1% 시점에서 '심각'단계로 격상하였다. 당초 보령댐의 설계시 22개년에 1회 물 부족을 허용하는 연간단위 기간신뢰에 따른 이수안전기준을 적용하였으나, 댐이 준공된 지 불과 16년 만에 가뭄의 취약성이 나타나고 말았다.

우리나라는 여름철에 강우가 편중되어 발생하는 기상학적 여건과 좁은 반도의 지형으로 대수층이 발달하지 못한 지형학적 여건 때문에 가뭄에 매우 취약할 뿐만 아니라, 기후변화로 인한 장마와 태풍패턴의 변화로 최근과 같이 여름 홍수기에 큰 비가 내리지 않는 마른장마는 장기간의 극한가뭄이 발생할 위험을 크게 증가시키고 있다. 가뭄 대응 방안으로 지속적인 용수개발 투자에도 불구하고 아직까지도 가뭄에 안전한 용수 공급 기반은 미흡한 실정이며 수리시설이 없는 논에서는 자연강우에 의존하는 천수답으로 영농기 농업용수 공급에 많은 어려움을 겪고 있고 기존 수리시설도 노후화로 가뭄·홍수 등 자연재해에 취약한 실정이다.

본 연구에서는 최근 기후변화로 인해 큰 가뭄피해가 발생한 보령댐 광역상수도의 영향을 받는 충남 서북부 지역을 중심으로 가뭄현황과 댐의 운영 현황을 분석하여 가뭄에 대응의 취약점을 평가하였다. 그리고 정량적인 심도 분석을 통해 목표 가뭄강우 산정, 가뭄강우에 따른 댐 유입량 예측, 가뭄시 유입량에 따른 수자원 공급 가능량을 예측하고 기존의 수리시설 인프라의 효율적인 활용 등을 반영한 가뭄대응 정책방안 제시하고자 한다.

## 2. 연구범위 및 방법

가뭄현상 발생에 따른 보령댐 유역의 가뭄 분석을 통한 가뭄대책 및 수자원 공급 가능량 확보 방안에 대한 정책 방향 제시를 위해 보령댐 용수공급 현황파악, 가뭄시

댐 유입량 예측, 수자원 공급 가능량에 대한 정량적 분석 및 목표 설정과 정책적 대안을 제시하였다.

본 연구의 공간적 범위는 보령댐 유역으로 설정하였으며, 내용적 범위는 ① 가뭄의 정의와 특성 개념 정립, ② 국내·외 가뭄관리 정책사례 조사를 통한 가뭄 현황 및 대책조사, ③ 보령댐 준공 후 운영 및 용수공급 현황 조사, ④ Arc SWAT모델에 의한 보령댐 유역 유입량 분석, ⑤ 확률가뭄강우량 산정 및 목표가뭄강우량에 따른 가뭄유입량 예측, ⑥ 목표가뭄 및 연속가뭄 예측, ⑦ 장래 가뭄예측에 따른 수자원 관리 방안 제안으로 요약할 수 있다.

### 3. 보령댐 운영 현황과 수자원 공급 능력

보령댐 광역상수도는 보령시, 서산시, 당진시, 서천군, 청양군, 홍성군, 예산군, 태안군의 8개 사군에 용수를 공급하고 있으며 2014년에 70,026,586 m<sup>3</sup>/년 취수하였고, 전량 생활용수로 71,613,242 m<sup>3</sup>/년 공급하며 지자체에 연간 6.0천만m<sup>3</sup>/년(84.02%), 공장 및 기타에 연간 1.1천만m<sup>3</sup>/년(15.98%)을 공급하였다.

보령댐 유역의 수문분석을 위하여 준분포형 장기유출모형인 SWAT모형을 구축하고 검·보정하였으며 보령댐 유역에 큰 영향을 미치는 보령기상대의 가뭄빈도분석을 통해 목표 가뭄강우량을 산정하였다. 5년, 10년, 20년, 50년, 100년, 200년의 재현빈도별 목표 가뭄강우량에 따른 보령댐 유역의 가뭄에 따른 예측유입량을 산정하였고, 월간 단위의 용수 수급현황을 모의하여 유역유출 해석을 수행하였다.

가뭄 대응 대책을 반영하지 않았을 때 5년 및 10년 빈도의 가뭄이 발생할 경우, 가뭄 대응 대책이 수반되지 않더라도 용수공급 조정기준의 경계단계 이상의 저수율을 유지할 수 있는 것으로 평가되었으나, 20~50년 빈도의 가뭄이 발생하는 경우, 경계단계 미만으로 저수율이 낮아질 수 있으며, 가뭄이 발생한 차년도 봄에는 10% 미만의 극심한 가뭄을 겪게 될 것으로 전망되었다.

가뭄이 발생하여 보령댐 용수공급 조정기준의 경계단계에 진입한 경우, 발전수량을 최소화하고 금강-보령댐 도수로 11,5천m<sup>3</sup>/일을 이송 공급하며 상수원수 10% 절감의 가뭄 대응 대책을 도입할 시에는 20년 빈도의 가뭄이 올지라도 경계수준 이상의 저수율을 유지할 수 있도록 댐 운영이 가능한 것으로 평가되었다. 5년~50년 빈도의 가뭄에는 수자원 공급이 가능할 것으로 전망되었다. 하지만 100년과 200년 빈도의

극심한 가뭄이 발생할 경우에는 수요량에 미치는 수자원 확보에 어려움이 따를 것으로 평가되었다.

이에 보령댐의 가뭄대응 수자원 관리 목표를 수립하다면 50년 빈도 미만의 가뭄에는 안전한 수질의 원수를 지속적으로 공급하는 것을 목표로 할 필요가 있으며, 50년 빈도 이상의 가뭄대해서는 도수로 활용, 수요절감, 가뭄 사전 대응 등의 다양한 가뭄 대응전략이 필요한 것으로 분석되었다.

#### 4. 안정적인 수자원 공급을 위한 정책 제언

보령댐 유역과 광역상수도 공급 지역의 안정적인 수자원 공급을 위한 정책을 비구조적 방안과 구조적 방안으로 구분하여 각각의 방안들을 유역단위 장·단기정책과 댐 운영 및 구조개선과 관련한 방안으로 구분하였다.

유역단위 단기정책의 비구조적 방안으로는 상수원 수준의 안전한 금강 수질관리, 비상 급수조절 계획 수립, 근거리 물수송 계획 수립, 물 절약 주민 홍보 및 교육이고 구조적 방안으로는 노후 불량 관거 누수율 개선, 상수원 개발 및 지방상수도 보수, 충남 상수도(병물) 생산 및 저장 거점 조성, 물 재이용을 통한 용수확보, 모듈형 정수처리시설 도입을 제안하였다.

유역단위 장기정책의 비구조적 방안으로는 효율적 물 수요관리계획 수립, 가뭄에 따른 수돗물 차등 적용, 가뭄보험제도 도입, 농경지 대체작물 전환을 제안하였고, 구조적 방안으로는 광역상수도 신규개발 조기시행, 해수 담수화 도입, 지하저류댐 도입, LID시설 도입, 농업용수 계측관리, 농업용수 공급 및 사용 효율화를 제안하였다.

댐 운영 및 구조개선과 관련해서는 수면관리권 및 수리권 재조정, 도수관로의 광역상수도 이송 전환, 비상방류시설 보완 및 신설, 다목적 저류시설, 본댐 증축 또는 조정지 설치를 제안하였다.



# 목 차

제1장 서론 .....	1
1. 연구 배경 및 목적 .....	1
2. 연구범위 및 방법 .....	5
제2장 가뭄의 이론 및 정책동향 .....	7
1. 가뭄의 정의 및 특성 .....	7
2. 가뭄 국내·외 정책 동향 .....	12
3. 선행연구 검토 .....	43
제3장 보령댐 운영 현황 분석 .....	47
1. 보령댐 운영 현황 .....	47
2. 보령댐 용수 공급 현황 .....	49
3. 보령댐 문제점 .....	66
제4장 보령댐 유역 수문 분석 .....	72
1. 유역 모형 구축 .....	72
2. 목표 가뭄 설정 .....	85
3. 가뭄유출 예측 .....	99
4. 가뭄시 수자원 공급 모의 .....	101
제5장 가뭄 대응 정책방안 .....	108
1. 가뭄 대응 정책 .....	108
2. 유역단위 단기 정책방안 .....	109
3. 유역단위 장기 정책방안 .....	115
4. 댐 운영 및 구조개선 방안 .....	122
제6장 결론 및 정책 제언 .....	126
1. 결론 .....	126
2. 정책 제언 .....	130

# 표 목 차

[표 1] 가뭄의 정의 .....	8
[표 2] 나라 별 기상학적 가뭄의 정의 .....	8
[표 3] 가뭄의 분류별 가뭄지수 .....	11
[표 4] 가뭄대책과 관련된 『자연재해대책법』 조항 .....	13
[표 5] 국토교통부의 가뭄상황별 대응계획(담) .....	15
[표 6] 국가안전관리 기본계획 중 가뭄관련 주요대책 .....	21
[표 7] 과거 우리나라 가뭄피해 사례 및 대응정책 .....	25
[표 8] 콜로라도 가뭄 단계별 대처방안 .....	28
[표 9] 캘리포니아의 단계별 가뭄대응 대책 .....	31
[표 10] 캘리포니아 물 관리 계획(CWP)에 포함된 주요 가뭄대비 정책 .....	32
[표 11] 영국의 단계별 가뭄 대응 .....	33
[표 12] 호주의 가뭄단계 중 예외적인 상황 .....	35
[표 13] 일본의 가뭄 대처방안 .....	37
[표 14] 보령댐 운영현황 .....	47
[표 15] 보령댐 평균 유입량 현황 .....	48
[표 16] 2014년보령댐 광역상수도 공급현황 .....	49
[표 17] 보령댐 월별 계획공급량 현황 .....	52
[표 18] 경계단계 댐 농업용수 감축율 .....	55
[표 19] 기존댐 건설시 이수안전도 .....	60
[표 20] 보령댐 설계시 방법 적용시 및 저수지 모의운영시 용수공급능력 .....	62
[표 21] 보령댐 설계시 및 준공후 유출율 검토 .....	62
[표 22] 이수안전도 분석 결과 .....	63
[표 23] 보령댐 준공 후 19개년간 연별 수위 및 유량변화 .....	67
[표 24] 보령댐 방류량 기준에 따른 총 초과방류량 .....	70
[표 25] 토지피복분류와 SWAT Landuse의 명칭 .....	77
[표 26] 기상자료 구축 관측소 .....	78
[표 27] 모형분석시 활용되는 공식 .....	78
[표 28] 보령댐유역의 토지피복도 구성 및 면적 .....	79

[표 29] SWAT 매개변수 민감도 순위 .....	81
[표 30] SWAT 모형의 매개변수 .....	82
[표 31] 유출모의 결과 보정전·후의 통계분석 비교 .....	83
[표 32] 보령기상대 최근 10년간 연도별 기상개황 .....	86
[표 33] 보령기상대 최근 10년간 월별 기상개황 .....	88
[표 34] 보령기상대 월별 강수량 현황 .....	90
[표 35] 보령기상대 과거 43개년간 연총강우 .....	93
[표 36] FARD2006의 적용분포형 .....	95
[표 37] 무작위성을 위한 예비해석 결과 .....	95
[표 38] 확률가중모멘트법추정에 의한 분포형별 적합성결과 .....	96
[표 39] 최적확률분포형 선정을 위한 상대제곱근오차분석 .....	97
[표 40] 확률가중모멘트법 추정의 Gumbel분포형 확률가뭄강우량 .....	98
[표 41] 확률가뭄강우량의 빈도별 월강우 .....	98
[표 42] 목표 가뭄강우에 따른 보령댐 예측유입량 .....	99
[표 43] 연속 가뭄강우에 따른 보령댐 차년도 예측유입량 .....	100
[표 44] 가뭄대응 단기·장기 정책방안 .....	108
[표 45] 8개시군의 대형관정과 정수장 보수 및 관로보수공사 추진현황 .....	111

## 그림 목 차

[그림 1] 연구 추진체계 .....	6
[그림 2] 가뭄 정의 구분 .....	7
[그림 3] 한국농어촌공사 가뭄대책 관리 체계 .....	16
[그림 4] 수자원장기종합계획의 비전 및 목표 .....	18
[그림 5] 4대강 살리기 사업의 비전, 목표 및 전략 .....	19
[그림 6] 가뭄 모니터링 시스템 구축현황 .....	23
[그림 7] 미국 캘리포니아주 Oroville 호수 전경 .....	30
[그림 8] 소양호 상류 인공위성 사진 .....	39
[그림 9] 충주호 상류 인공위성 사진 .....	40
[그림 10] 바닥을 드러낸 보령댐 수문 .....	41
[그림 11] 2014년 상수도 통계에 의한 보령댐 방류 및 공급량 .....	50
[그림 12] 충청남도 공급계통별 생공용수 공급 현황(2015) .....	51
[그림 13] 보령댐 용수공급 조정기준 .....	53
[그림 14] 댐 용수공급 감량규모 .....	54
[그림 15] 최근 보령댐 수위 및 저수율 변화 .....	59
[그림 16] 보령댐 반순단위 모의운영 결과 .....	63
[그림 17] 보령댐 도수로 건설공사 계획도 .....	65
[그림 18] 보령댐 19개년간 댐수위 및 저수율 변화 .....	66
[그림 19] 보령댐광역상수도 과거 10년간 연공급량 통계 .....	68
[그림 20] 충청남도 과거 10년간 취수시설용량 변화 .....	68
[그림 21] 2014년 충청남도 지방 및 광역상수도 이용률 분포현황 .....	69
[그림 22] 2014년 충청남도 지방 및 광역상수도 용수이용량 및 비율 현황 .....	69
[그림 23] 과거 2년간 총방류량 및 댐 저수율 .....	71
[그림 24] SWAT 모형의 물질수지 .....	73
[그림 25] HRU 및 소유역의 계산과정 모식도 .....	74
[그림 26] SWAT모형에 의한 보령댐유역 자동유역 분할 .....	76
[그림 27] 보령댐유역의 정밀토양도 구성 및 면적 .....	80
[그림 28] 보정 후 보령댐지점의 과거 관측 및 모의 일평균 유출비교 .....	84



[그림 29] 보령댐유역 인근 기상청관할 기상관측소 현황 .....	85
[그림 30] 보령기상대 최근 10년간 연도별 기상개황 .....	87
[그림 31] 보령기상대 최근 10년간 월별 기상개황 .....	89
[그림 32] 보령기상대 최근 10년간 월별 기상개황 .....	91
[그림 33] 보령기상대 과거 43개년 가뭄지수 현황 .....	92
[그림 34] 보령기상대 연총강우 및 치환절대총강우 .....	93
[그림 35] 강우빈도 해석 절차 .....	94
[그림 36] 가뭄 대응방안 미 도입시 가뭄 빈도에 따른 월간 저수율 변화 .....	102
[그림 37] 도수로 운영시 가뭄 빈도에 따른 월간 저수율 변화 .....	103
[그림 38] 도수로 운영 및 원수 수요절감시 가뭄 빈도에 따른 월간 저수율 변화 .....	104
[그림 39] 가뭄 대응방안 미 도입시 연속가뭄에 따른 월간 저수율 변화 .....	106
[그림 40] 도수로 운영시 연속가뭄에 따른 월간 저수율 변화 .....	107
[그림 41] 도수로 운영 및 원수 수요절감시 연속가뭄에 따른 월간 저수율 변화 .....	107
[그림 42] 도수로 취수지점의 녹조 현황 .....	109
[그림 43] 이동형 정수처리시설 사례 .....	113
[그림 44] 농촌용수 스마트 관수로 시스템 개념도 .....	120
[그림 45] 농촌용수 스마트 관수로 실시간 관망운영관리 시스템 개념도 .....	120



# 제1장 서론

## 1. 연구 배경 및 목적

### 가. 연구배경

- 최근 강수량 부족으로 가뭄현상이 지속되고 있으며 2015년 충청남도에는 지역 기상관측에 최악의 가뭄으로 기록될 만한 가뭄이 찾아왔다. 2014년부터 시작된 가뭄은 2015년까지 지속되었으며, 충청남도 서부 지역의 대표 상수 공급원인 보령댐과 농업용 저수지인 예당호가 바닥을 드러내기 시작하였다. 특히, 보령댐의 저수율이 8월 5일 32.8% 시점에서 ‘주의’단계를 발령하고 8월 15일 30.8% 시점에서 ‘경계’단계로 오른 후 8월 18일 30.1% 시점에서 ‘심각’단계로 격상하였다. ‘심각Ⅱ단계’로 상향되는 것에 대비하기 위해 제한급수 모의훈련 후 10월 8일부터 2016년 2월 15일까지 127일간 보령, 서천, 청양, 홍성, 예산, 서산, 태안, 당진 등 8개 시·군에 제한급수를 시행하였으며 404만 7,000톤을 절약하고 34억 1,000만원을 절수지원금으로 지급하였다.
- 당초 보령댐의 설계시 22개년에 1회 물 부족을 허용하는 연간단위 기간신뢰에 따른 이수안전기준을 적용하였으나, 댐이 준공된 지 불과 16년 만에 가뭄의 취약성이 나타나고 말았다.
- 특히 보령댐은 중부발전과 서부발전에 발전용수를 공급하고 있어 주요 국가기간 시설로서 안정적인 용수공급이 반드시 이루어져야 하는 시설이다.
- 상대적으로 충남 남·동부지역에서는 동일하게 농업용수 확보를 위한 비상체계에 돌입한 것은 동일하지만 보령댐이 아닌 대청댐과 용담댐에서 상수를 공급받고 있어 제한급수를 피할 수 있게 되었다.
- 우리나라는 여름철에 강우가 편중되어 발생하는 기상학적 여건과 좁은 반도의 지형으로 대수층이 발달하지 못한 지형학적 여건 때문에 가뭄에 매우 취약하다. 최근의 대도시 확대와 사회발전으로 인한 용수수요의 급증, 용수공급시설의 지역적 편중 등으로 국지적 또는 사회경제적 물 부족 상황이 발생할 위험이 커지고

있으며, 기후변화로 인한 장마와 태풍패턴의 변화로 최근과 같이 여름 홍수기에 큰 비가 내리지 않는 마른장마는 장기간의 극한가뭄이 발생할 위험을 크게 증가시키고 있다.<sup>1)</sup>

- 기후변화에 따른 강수량 변화전망에서 21세기 한반도의 연평균 강수량 증가율은 세계 평균보다 높을 것으로 전망하고 있다. RCP 4.5 시나리오의 경우 21세기중반기(2041년~2070년)에 10.3%, 후반기(2071년~2100년)에 19.6% 증가할 것으로 전망하였다. 동시에 지역적 편차도 크게 나타날 것으로 전망하고 있다. 실제로 지난 30년간 연강우량을 보면 2003년이 1,861mm로 가장 많았고, 1998년이 849mm로 가장 적어 그 변동 폭은 2.2배에 달하고 있다. 문제는 중장기 측면에서 전체적으로 우리나라 강우량이 증가한다고 예측하지만 실제 최근 30년 자료를 보면 7~8년 사이로 단기 갈수기가 주기적으로 반복되고 있으며, 단기 주기로 볼 때 2014, 2015, 2016년이 갈수년에 해당한다.
- 빈번해지는 가뭄은 다목적댐을 포함한 저수지의 핵심 역할인 안정적 용수공급을 위협하고 있다. 2014년 마른장마에서 시작된 중부 및 강원 영동지역의 가뭄은 소양강댐 수위를 역대 최저수위에 근접(125.25m)하게 만들었으며, 7월 상순까지 강원도 일대에 제한급수로 인한 사회경제적 피해를 야기했다. 2015년 9월 충청지역은 평균대비 54%의 강수량을 기록하여 1973년 관측 이래 최대 가뭄을 겪었고 이로 인해 충청지역 주요 수자원 공급원의 하나인 보령댐은 최상위 가뭄 대응체계인 ‘심각’단계로 기본계획공급량 감축 및 광역상수도 제한급수까지 시행하였다.
- 가뭄대응 방안으로 지속적인 용수개발 투자에도 불구하고 아직까지도 가뭄에 안전한 용수공급 기반은 미흡한 실정이며 수리시설이 없는 논에서는 자연강우에 의존하는 천수답으로 영농기 농업용수 공급에 많은 어려움을 겪고 있고 기존 수리시설도 노후화로 가뭄·홍수 등 자연재해에 취약한 실정이다.
- 가뭄은 불가피성과 반복성을 띠고 있어, 전면적 해소는 불가능할지라도 그 피해를 최소화해야 하는데 노력해야 할 것이다. 국내의 가뭄정책은 대체적으로 가뭄 발생 시 제한급수나 급수대안에 초점을 맞춘 정책들이 많은 것이 사실이다.

---

1) 김태웅, 박동혁, 2015, 우리나라 극한가뭄 대응 현황과 개선방안-2015년 가뭄을 중심으로, 대한토목학회지, 63(9), pp25-35

물 관리에 있어 선진국으로 불리는 미국과 영국은 가뭄에 대한 경감 및 대응은 물론 가뭄 모니터링, 조기경보, 영향 및 리스크 평가에 대한 정책관련 연구가 활발히 진행되고 있다.

- 따라서 본 연구에서는 최근 기후변화로 인해 큰 가뭄피해가 발생한 보령댐 광역 상수도의 영향을 받는 충남 서북부 지역을 중심으로 가뭄현황과 댐의 운영 현황을 분석하여 가뭄에 대응의 취약점을 평가하였다. 그리고 정량적인 심도 분석을 통해 목표 가뭄강우 산정, 가뭄강우에 따른 댐 유입량 예측, 가뭄시 유입량에 따른 수자원 공급 가능량을 예측하고 기존의 수리시설 인프라의 효율적인 활용 등을 반영한 가뭄대응 정책방안 제시하고자 한다.

## 나. 연구목적

- 본 연구는 보령댐 유역의 과거 유역현황과 용수공급을 분석하고 장래 가뭄의 발생에 따른 목표 가뭄의 기준을 설정하였다. 장래 가뭄발생에 따른 수자원 공급 가능량을 분석하고 향후 가뭄발생시 대책마련의 필요성을 인지하여 가뭄대책을 위한 관리대응 방안을 개선하기 위한 연구를 수행한다.
- 본 연구에서의 주요 목적은 다음과 같다.
  - 가뭄의 정의 및 국내·외 가뭄대응 정책동향 조사
    - 기상, 농업, 수문학, 사회경제적 분류에 따른 가뭄의 정의
    - 국내·외 가뭄관리대책의 정책 사례조사
    - 2015년 가뭄발생과 관련한 댐공급조절의 사례조사
  - 보령댐 운영현황 분석
    - 1988년 준공 후 운영현황 분석
    - 용수공급 및 저수현황과 도수로 건설공사현황 조사
    - 2015년 저수율 하강과 관련한 보령댐 문제점 분석

- 보령댐 유역현황 분석
  - 보령기상대 과거 43개년 기상개황 및 가뭄지수 조사
  - 빈도해석에 의한 확률가뭄강우량 산정
  - 목표 확률가뭄강우량에 따른 가뭄유입량 예측
  - 가뭄유입량에 따른 수자원 공급 가능량 예측
- 충청남도 장래 가뭄에 대응하기 위한 정책 제언
  - 유역단위 장·단기 정책방안
  - 댐 운영 및 구조개선 방안

## 2. 연구범위 및 방법

### 가. 연구범위

- 가뭄현상 발생에 따른 보령댐 유역의 가뭄 분석을 통한 가뭄대책 및 수자원 공급 가능량 확보 방안에 대한 정책 방향 제시를 위해 보령댐 용수공급 현황파악, 가뭄시 댐 유입량 예측, 수자원 공급 가능량에 대한 정량적 분석 및 적용 가능성 검토 등의 연구를 수행하였다.
- 본 연구의 공간적 범위는 보령댐 유역으로 설정하였으며, 내용적 범위는 ① 가뭄의 정의와 특성 개념 정립, ② 국내·외 가뭄관리 정책사례 조사를 통한 가뭄 현황 및 대책조사, ③ 보령댐 준공 후 운영 및 용수공급 현황 조사, ④ Arc SWAT모델에 의한 보령댐 유역 유입량 분석, ⑤ 확률가뭄강우량 산정 및 목표가뭄강우량에 따른 가뭄유입량 예측, ⑥ 목표가뭄 및 연속가뭄 예측, ⑦ 장래 가뭄예측에 따른 수자원 관리 방안 제안으로 요약할 수 있다.
- 총 7개의 세부연구를 통해 가뭄대응을 위한 보령댐 유역에 적용 가능한 가뭄관리 정책방안을 제시하였다.
- 분석을 위한 모델은 준분포형 모델인 Arc SWAT모형을 적용하였으며, 시간적 범위는 보령댐 준공 후 1988년 1월부터 2015년까지의 댐 운영자료를 활용하였고, 기상자료는 보령댐 유역 인근의 보령기상대의 1973년 1월부터 2015년 12월까지 총 43개년의 기상자료를 바탕으로 일별 강수자료를 활용하였다.

### 나. 연구방법

- 본 연구의 수행은 [그림 1]에 나타난 바와 같이 일차적으로 문헌조사를 통하여 가뭄에 대한 정의와 개념을 정립하고, 보령댐의 운영 및 용수 공급현황을 분석을 수행하였다. 보령댐의 용수 공급 능력을 재평가하기 위하여 유역현황과 유역 유출량을 분석하였으며, 최근의 가뭄을 고려하여 목표 가뭄강우량을 산정하였다.
- 목표 가뭄빈도에 따른 유출을 1년간의 가뭄과 2년간 연속되는 가뭄을 모의하여 보령댐 용수공급의 가능 수준을 검토하여 가뭄 빈도에 따른 목표를 설정하였다.

- 그리고 보령댐의 운영 및 공급능력을 검토한 결과와 지역적 여건을 고려하여 충남서북부지역의 용수공급능력을 개선할 수 있는 정책을 제안하였다.



[그림 1] 연구 추진체계

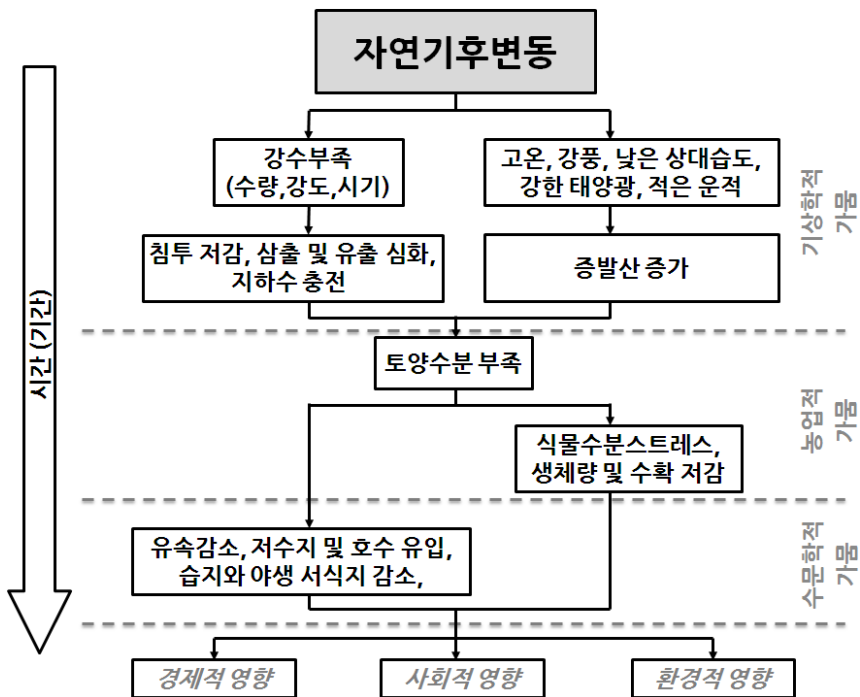


## 제2장 가뭄의 이론 및 정책동향

### 1. 가뭄의 정의 및 특성

#### 가. 가뭄의 정의

- 가뭄이란 어느 지역에서 일정 기간 이상 평균 이하의 강수로 인해 강수량 부족이 장기화되는 현상과 사회적으로 요구되는 용수의 확보가 어려운 상황을 통칭한다.  
판단 기준에 의해 기상학적·수문학적·농업적·사회경제적 가뭄으로 분류한다.



[그림 2] 가뭄 정의 구분<sup>2)</sup>

2) 김연주, 이진영, 장평화, 송재열, 2013, 가뭄 유형별 기후변화 적응정책 연구, 한국환경정책·평가연구원

[표 1] 가뭄의 정의<sup>3)</sup>

구분	설 명	비고
기상학적 가뭄 (Meteorological Drought)	일정기간 평균 강수량보다 적은 강수로 인해 건조한 날이 지속되는 것을 기상학적 가뭄이라고 하며, 정상상태와 비교하여 건조 정도 및 건조 상태의 지속 기간을 기초로 정의됨. 기상학적 가뭄은 강수 부족을 초래하는 대기 상태가 지역에 따라 상이하므로 각 지역에 따라 고려되어야 함.	강수량 부족, 고온, 풍속 강화, 일조시간·증발량 증가
농업적 가뭄 (Agricultural Drought)	작물의 생육에 필요한 수분 부족을 농업적 가뭄이라고 하며, 농업 분야에 영향을 미치는 강수량 부족, 실제 증발산량과 잠재증발산량의 차, 토양 수분 부족, 지하수 및 저수지량 부족 등과 같은 기상·수문 인자들과 관련되어 있음. 일반적으로 농업적 가뭄은 기상학적 가뭄 후에 따르며 농업적 가뭄 이후에는 수문학적 가뭄이 발생함.	토양수분 부족, 식물 수분량 부족, 작물 수확 감소
수문학적 가뭄 (Hydrological Drought)	전반적인 수자원 공급의 부족을 수문학적 가뭄이라고 하며 특히 댐이나 저수지, 하천 등의 수량 부족을 의미함. 하천수, 저수지 및 지하수 공급원에 해당되는 강수 부족량과 그 기간에 의해 가뭄의 빈도와 심도가 결정되며 인간의 물 수요에 따른 공급 부족이 수문학적 가뭄을 야기하기도 함. 일반적으로 수문학적 가뭄은 기상학적 가뭄이나 농업적 가뭄의 발생 시기보다 시간적으로 지체되는 특성을 있음.	하천·저수지 유입량 감소, 댐 저수율 감소
사회경제적 가뭄 (Socioeconomic Drought)	사회적으로 물의 수요가 증가하여 공급량을 초과하여 발생하는 농업·공업·생활용수 등의 부족을 사회경제적 가뭄이라고 하며 기상·농업·수문학적 가뭄인자와 함께 경제적인 물의 수요 공급과 연관되어 있음.	농업·공업·생활용수 부족

[표 2] 나라 별 기상학적 가뭄의 정의<sup>4)</sup>

미국(1942)	48시간 내에 강우가 2.5mm보다 작은 경우
영국(1936)	일 강우가 2.5mm보다 작은 날이 연속으로 15일 이상인 경우
리비아(1964)	년 강우량이 180mm이하인 경우
인도(1960)	실제 계절강우량이 평균 편차의 2배보다 부족한 경우
인도네시아(1964)	비가 없는 날이 6일 이상 계속될 경우

3) 기상청, 기상청 관측자료, <http://www.kma.go.kr>

4) 이상신, 2014, 2014년 강원도 마른장마현황과 향후 대책방안, 한국기후변화연구센터

## 나. 가뭄의 특성

- 가뭄은 홍수와 달리 진행속도가 느리므로 시·공간적으로 정확하게 판단하기 어려우며 상당기간 완만히 누적되어 나타나고 가뭄이 해갈된 후에도 수년 동안 파급효과가 나타날 수 있다. 가뭄은 정상적이면서 주기적으로 재발되는 기후의 한 특성으로 가뭄에 대한 경제적인 손실은 홍수에 비해서 2~3배정도 이다.
- 가뭄은 강수량이 평년에 비해 저조한 단순한 기상현상이지만, 지속기간이 증가되면서 자연과 사회에 심각한 영향을 미치는 자연재해로 발전되며 타 자연재해와 달리 다음과 같은 특징이 있어 관리상의 어려움을 발생시킨다. 첫째, 발생 시점의 불명확성과 초기 대응이 어렵다. 홍수기 말부터 서서히 심화되기 때문에 시작과 종료 시점을 정확히 결정하기가 힘들고 이로 인해 담당부처, 지자체, 수자원관리기관, 재난관리기관들은 가뭄진입의 신속한 판단이 어려운 경향이 있다. 위기상황 직전까지 특별한 대책의 도입을 결정하기 어렵기 때문에, 시기를 놓쳐 급수 제한 또는 중단으로 많은 주민들이 고충을 겪는 상황이 되면 사회에 큰 혼란과 함께 책임소재 갈등이 쉽게 발생된다. 둘째, 피해가 비가시적이다. 아무리 심각한 가뭄 피해를 겪더라도, 건축물, 가옥 등의 구조물이 붕괴된다든지 사람의 생명에 직접적으로 피해를 주지 않아 홍수, 호우, 지진, 산사태 등 타 자연재해에 비해 높은 관심을 받기 힘들다. 셋째, 피해기록 수집이 어렵다. 피해가 가시적이지 않아 집계가 쉽지 않을 뿐만 아니라 행정상의 관심이 낮아, 대부분 국가에서 가뭄 피해는 정기적으로 조사되지 않는다. 국가비상상태를 선포(state of national emergency)해 재난관리기관이 공식적인 상황보고서를 발표하거나 국제기구에 구호요청을 하지 않는 한, 일부 선진국들을 제외하고, 가뭄발생기록이나 위치는 비공식적인 자료조사 수집하기 어렵다. 넷째, 발생빈도는 낮지만 사회영향은 높다. 아프리카 대륙을 제외하고, 다른 자연재해에 비해 발생빈도가 낮지만 일단 발생하게 되면, 몇 주, 몇 달, 심지어는 다년간 동안 방대한 지역과 방대한 분야에 걸쳐 물 부족을 초래한다. 마지막으로, 정책, 실무, 연구의 기술과 경험의 축적이 부족하다. 발생빈도도 낮고 가시적이지 않으므로 과거의 피해가 정책결정자나 주민들의 기억에서 오랫동안 지속되기 힘들며 실제로 재난관리차원에서 실무나 정책에 있어서 가뭄이 중요시되는 국가는 많지 않다.<sup>5)</sup>

5) 이상은, 2015, 가뭄 위험도 평가기법 구축 및 정책적 활용에 관한 연구, 국토연구원

## 다. 가뭄지수 분류

- 가뭄은 서서히 다가오는 자연재해이며, 하천바닥이 마르고 식물이 시들며, 물 사용이 제한되기 전까지는 인식하기가 힘들다. 가뭄은 국지적 특성이 강하게 나타나므로 가뭄의 진행 상태나 심한정도를 정의할 수 있는 객관적인 정의나 기준이 필요하며, 이를 위해 가뭄지수(drought index)를 이용하고 있다. 가뭄지수는 가뭄의 심도를 객관적 수치로 표현한 것으로서 가뭄의 경향이나 그 정도를 파악하는데 유용한 수단이다. 현재까지 개발된 가뭄지수는 학문적 분류에 따라 기상학적, 농업적, 수문학적 가뭄지수가 개발되었다. 기상학적 가뭄지수는 강우부족에 의해 가뭄을 감지하며 가뭄의 발생순서에 따라 가장 먼저 발생하는 지수로서 가장 대표적인 가뭄지수는 파머가뭄심도지수(PDSI)와 표준강수지수(SPI)이다. 농업적 가뭄지수는 식생이나 작물이 받는 수분 스트레스를 잘 나타낼 수 있도록 지수가 개발되어져 왔다. 농업적 가뭄을 나타내는 지수는 SMI(Soil Moisture Index)와 함께 CMI(Crop Moisture Index)가 대표적이다. 수문학적 가뭄지수는 용수의 불균형에 의해 가뭄을 감지하며 대표적인 지수로는 SWSI(Surface Water Supply Index)가 있으며, 기존의 SWSI를 국내 실정에 맞게 수정한 MSWSI(Modified Surface Water Supply Index)가 있다. SWSI와 MSWSI는 유역단위로 용수의 공급량만을 고려하며 이를 보완하여 행정구역단위로 용수의 공급량 및 수요량을 고려한 WDSI(Water Demand and Supply Drought Index)가 개발되어졌다.<sup>6)</sup>

[표 3]

- 현재 기상청, 한국농어촌공사, 한국수자원공사 등에서 여러 가지 가뭄지수를 제공하고 있다. 기상청에서는 기상학적 가뭄지수, 파머가뭄지수를 제공하며, 한국농어촌공사에서는 농업가뭄정보시스템을 통하여 강수량, 저수율을 분석한 후 심도에 따라 4단계로 구분한 농업가뭄지수를 제공한다. 또한, 한국수자원공사에서는 가뭄정보시스템을 통하여 표준강수지수, 지표수공급지수, 수문학적 가뭄지수 등으로 가뭄을 파악하고 있다.

6) 오국열, 유인상, 2014, 우리나라 봄철 가뭄의 피해현황과 대책, 한국방재학회지, 14(2), pp4-9

[표 3] 가뭄의 분류별 가뭄지수<sup>7)</sup>

구분	가뭄지수	연구자
기상학적 가뭄	파머가뭄심도지수(PDSI) Palmer Drought Severity Index	Palmer(1965)
	표준강수지수(SPI) Standardized Precipitation Index	Mckee et al.(1993)
농업적 가뭄	토양수분가뭄지수(SMDI) Soil Moisture Drought Index	Hollinger et al.(1993)
	작물수분지수(CMI) Crop Moisture Index	Palmer(1968)
수문학적 가뭄	지표수공급지수(SWSI) Surface Water Supply Index	Shafer and Dezman(1982)
	수정지표수공급지수(MSWSI) Modified Surface Water Supply Index	Kwon(2006)

7) 오국열, 유인상, 2014, 우리나라 봄철 가뭄의 피해현황과 대책, 한국방재학회지, 14(2), pp4-9

## 2. 가뭄 국내·외 정책 동향

### 가. 국내 정책 사례

- 국내 가뭄관리대책은 안전관리 및 재난관리 측면에서 『재난 및 안전관리 기본법』과 『자연재해대책법』에 따라 수립된다. 『재난 및 안전관리 기본법』에 따라서 국무총리는 안전관리에 대한 기본계획을 수립하고 기본계획이 수립되면 각 부처 및 공공기관에서는 집행계획을 수립한 후 이를 더 확장시켜 세부집행계획을 수립하게 된다. 이에 따라 자연재난과 관련된 안전계획에는 풍수해대책, 가뭄대책, 지진대책 등이 포함되어야 하며, 예방·대비·대응·복구의 4단계로 집행계획을 수립하여야 한다. 『자연재해 대책법』에 의하면 재난관리책임기관에서는 자연재해 예방을 위한 업무에 해당하는 조치를 하여야 한다고 명시되어 있다. 이에 따라 가뭄과 관련해서는 행정자치부, 국토교통부, 농림축산식품부, 환경부, 국민안전처, 기상청 등 정부부처와 지방자치단체는 가뭄방재를 위한 조사·연구, 가뭄극복을 위한 제한급수 및 제한발전, 가뭄극복을 위한 시설의 유지·관리, 상습 가뭄재해지역 해소를 위한 중·장기대책 수립 등을 수행해야 한다. 현재 우리나라 중앙정부의 물 관리 기능은 국토교통부의 수자원 및 하천 관리, 농림축산식품부의 농업용수 관리, 산업통상자원부의 수력발전용수 관리, 환경부의 수질 및 상하수도 관리, 그리고 국민안전처의 풍수해 관리 등으로 분산되어 있으며, 각 부처마다 가뭄대책을 수립하고 있다. 예를 들면 수자원 및 하천 관련 사업을 시행하고 있는 국토교통부와 한국수자원공사의 경우, 안전관리 세부집행계획의 가뭄대책과 관련하여 댐과 광역상수도로 나누어 가뭄상황을 판단하고 대응계획을 수립하고 있다.<sup>8)</sup>

8) 김태웅, 박동혁, 2015, 우리나라 극한가뭄 대응 현황과 개선방안-2015년 가뭄을 중심으로, 대한토목학회지, 63(9), pp25-35

[표 4] 가뭄대책과 관련된 『자연재해대책법』 조항

관련법	내용
자연재해대책법 제3조(책무)	<p>② 법 제3조제5호에 따른 재난관리책임기관(이하“재난관리책임 기관”이라 한다) 의장은 자연재해 예방을 위하여 다음 각 호의 소관 업무에 해당하는 조치를 하여야 한다.</p> <p>5.가뭄대책</p> <p>가. 상습가뭄재해지역 해소를 위한 중·장기 대책</p> <p>나. 가뭄 극복을 위한 시설 관리·유지</p> <p>다. 빗물 모으기 시설을 활용한 가뭄 극복대책</p> <p>라. 그 밖에 가뭄대책에 필요한 사항</p>
자연재해대책법 제29조 (가뭄 방재를 위한 조사·연구)	<p>① 재난관리책임기관의 장은 가뭄 방재를 위하여 필요한 조사 및 연구를 하여야 한다.</p> <p>② 재난관리책임기관의 장은 가뭄 방재를 위한 전문적인 조사·연구를 위하여 관계행정 기관의 장이나 기상관측 연구기관의 장에게 가뭄의 현황, 가뭄의 피해상황, 가뭄의 극복 방안 등 필요한 자료를 요청할 수 있다. 이 경우 요청을 받은 관계행정기관의 장 및 기상관측 연구기관의 장은 특별한 사유가 없으면 요청에 따라야 한다.</p>
자연재해대책법 제30조 (가뭄 극복을 위한 제한급수·발전 등)	<p>① 관계 중앙행정기관의 장, 지방자치단체의 장 및 「한국수자원공사법」에 따른 한국수자원공사의 사장 등 수자원을 관리하는 자(이하 “수자원관리자”라 한다)는 가뭄으로 인한 재해를 극복하기 위하여 제한 급수 및 제한 발전 등의 조치를 할 수 있다.</p> <p>② 수자원관리자는 제1항에 따른 조치를 하려면 수혜자가 제한 급수 및 제한 발전 등에 관한 사실을 알 수 있도록 미리 공지하여야 한다.</p>
자연재해대책법 제31조 (수자원 관리자의 의무)	<p>수자원관리자는 지방자치단체의 장으로부터 가뭄 피해를 줄이기 위하여 수자원 관리와 관련한 협조 요청을 받았을 때에는 특별한 사유가 없으면 요청에 따라야 한다.</p>
자연재해대책법 제32조 (가뭄 극복을 위한 시설의 유지·관리 등)	<p>재난관리책임기관의 장은 댐, 저수지, 지하수자원 등의 수원함양 및 기능의 유지·향상을 위하여 소관 업무에 대하여 「산림보호법」에 따른 산림보호구역(산림유전 자원보호구역은 제외한다)의 지정·관리, 조림, 퇴적토 준설, 지하수자원 인공함양 및 순환 등 필요한 조치를 하여야 한다.</p>

[표 4] 가뭄대책과 관련된 『자연재해대책법』 조항(계속)

관련법	내용
<p>자연재해대책법 제33조 (상습가뭄재해지역 해소를 위한 중·장기 대책)</p>	<p>① 시장·군수·구청장은 가뭄 재해가 상습적으로 발생하였거나 발생할 우려가 있는 지구를 상습가뭄재해지역으로 지정·고시하고, 그 결과를 시·도지사를 거쳐 국민안전처 장관과 관계 중앙행정기관의 장에게 보고하여야 한다.</p> <p>② 시장·군수·구청장은 상습가뭄재해지역에 대하여 빗물 모으기 시설 설치 등 가뭄 피해를 줄이기 위한 중·장기대책을 수립·시행하여야 한다.</p> <p>③ 관계 중앙행정기관의 장은 시장·군수·구청장이 수립한 중·장기 대책에 필요한 사업비의 일부를 지원할 수 있다.</p> <p>④ 제1항에 따른 상습가뭄재해지역의 지정 및 해제의 요건, 절차, 관리 요령과 제2항에 따른 중·장기대책의 수립에 관한 세부 사항은 대통령령으로 정한다.</p>

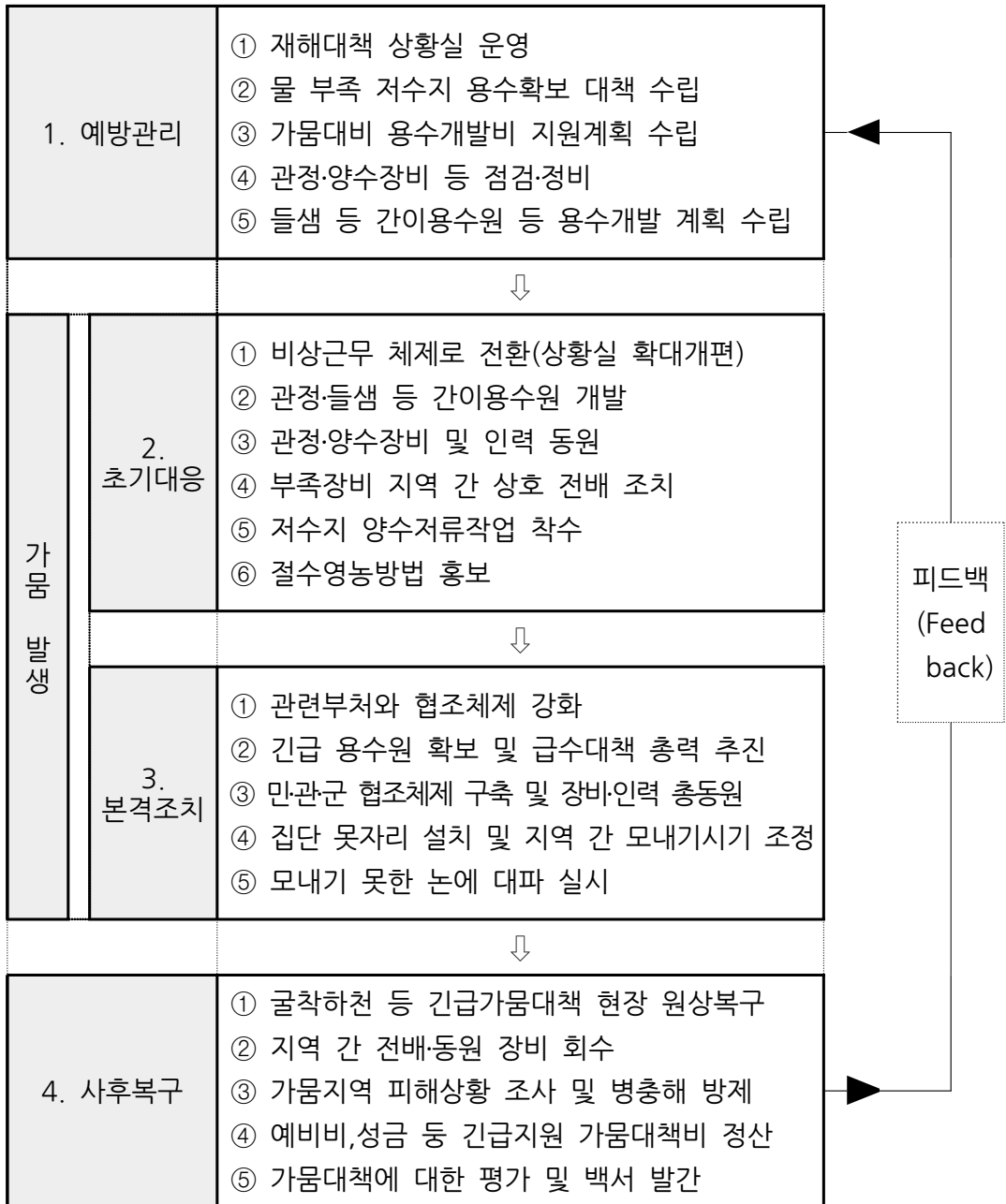


[표 5] 국토교통부의 가뭄상황별 대응계획(담)<sup>9)</sup>

단계	가뭄상황(용수공급기준)	대응계획
1단계 (관심)	기본계획공급량의 80-90% 공급 (생·공용수 실수요량, 농업용수, 하천유지용수 공급)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 가뭄극복 현수막 설치</li> <li>• 물 부족지역 등 가뭄지역 현황파악</li> <li>• 방송·캠페인, 홍보물 배포 등을 통한 절수 홍보</li> <li>• 다목적댐 및 용수댐 생·공용수 여유량 감량</li> </ul>
2단계 (주의)	기본계획공급량의 60-80% 공급 (생·공용수 실수요량, 농업용수 공급) (하천유지용수 감량공급)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 가뭄상황실설치·운영(국토부, K-water)</li> <li>• 가뭄지역 파악 및 지원방안 수립, 협조체계 구축</li> <li>• 비상급수차량 운행 및 병물 지원</li> <li>• 댐의 용수공급능력 및 공급방안 검토</li> <li>• 다목적댐 및 용수댐 하천유지용수 감량, 필요시 농업용수 감량</li> </ul>
3단계 (경계)	기본계획공급량의 50-60% 공급 (생·공용수 실수요량 공급) (농업용수, 하천유지용수 감량공급)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 댐 수혜지역 및 광역상수도 수수지자체 제한 급수</li> <li>• 지자체별 대체 수원 확보 요청</li> <li>• 지하수 등 비상취수원 가동</li> <li>• 다목적댐 및 용수전용댐 생·공용수 실수요량 공급, 필요시 생·공용수 실수요량 감량</li> <li>• 댐 비상용수 공급량 활용방안 검토</li> </ul>
4단계 (심각)	기본계획공급량의 50% 이하공급 (댐의 사수용량 활용 공급) (생·공용수 실수요량, 농업용수, 하천유지용수 감량 공급)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 댐 수혜지역 및 광역상수도 수수지자체 제한 급수</li> <li>• 지하수 등 비상취수원 가동</li> <li>• 다목적댐의 비상용수 공급량 활용 공급</li> </ul>

- 농업용수의 부족으로 인한 가뭄 대책은 농림수산식품부-한국농어촌공사와 지방자치단체 협동으로 이루어지나 대규모 농업용수시설의 관리를 맡고 있고 각 도와 시에 지사를 가지고 있는 한국농어촌공사가 주관이 되어 농업용수가뭄 대응이 이루어지며 [그림 3]과 같다.

9) 김태웅, 박동혁, 2015, 우리나라 극한가뭄 대응 현황과 개선방안-2015년 가뭄을 중심으로, 대한토목학회지, 63(9), pp25-35



[그림 3] 한국농어촌공사 가뭄대책 관리 체계

## 1) 수자원장기종합계획(2011~2020), 2011.12<sup>10)</sup>

- 수자원장기종합계획은 수자원의 안정적인 확보와 효율적 관리를 목표로 수립하는 수자원 최상위계획으로 이수, 치수, 하천환경 및 수자원 조사 연구개발의 미래 로드맵을 제시한다. 1960년대 이후 현재 7번째 계획이 수립 되었고 초창기에는 다목적댐 개발 등 수자원 개발 관리, 1990년대 이후에는 환경 친화적이고 건전한 물 활용에 중점을 두고 계획을 수립하였다.
- 수자원장기종합계획의 가뭄 관련 물 관리 정책은 다음과 같다. 첫째, 물 부족 대비 신규 수자원을 차질 없이 확보하는 것이다. 물 부족지역의 안정적인 수자원 확보를 위한 기존 댐 재개발, 다목적 저류지, 친환경 중소규모댐, 지하수 및 대체수원개발 등 다양한 대책을 추진한다. 지하수의 체계적 개발 및 이용을 위한 관리의 선진화를 통해 맑고 안전한 수자원으로 적극 활용하며 물 부족 지역별 맞춤형 대체수원 개발을 통한 수원을 다변화 한다.
- 둘째, 수자원의 공급 안정성을 강화하고 효율적으로 활용한다. 기존 물 공급 시설(수원, 정수시설, 도·송수시설)의 안전한 공급 시스템을 구축하고 물 공급 시설 간 비상연계 체계 구축으로 비상시 대응체계를 마련하며 권역별 상수도 급수체계조정 및 신규 확충을 통한 수자원 활용도를 제고한다. 또한, 댐-보-저수지 최적 연계운영 및 기존 댐의 다목적화를 통한 기존시설 활용도를 제고한다. 물 배분과 이용, 수자원의 개발과 관련한 사회적 갈등 조정시스템을 구축하고 도시 및 농어촌간 물 공급 형평성 확보를 위한 상수도 보급을 확대하며, 농·산간 및 도서·해안 등 상습 가뭄지역의 물 부족을 해소한다.
- 셋째, 건전하고 다면적인 물이용 체계를 확대한다. 물 수요관리 강화를 통한 물 절약형 사회기반을 구축하며 건전한 물 순환 등을 통한 국토 균형적인 하천유량 확보하고 정확성·신뢰성 기반의 물이용 평가 및 수요추정 체계를 구축한다.
- 넷째, 기후변화에 따른 극한가뭄 대처력을 제고한다. 기후변화를 고려한 수자원에 대한 영향평가 및 취약성을 분석하고 기후변화 대응을 위한 신규 시설물의 물 공급 예비율 도입을 검토하며 사회적 가뭄 대처력 제고를 위한 Smart 물 관리체계 구축과 홍보를 강화한다.

10) 국토해양부, 2011, 수자원장기종합계획(2011~2020)



[그림 4] 수자원장기종합계획의 비전 및 목표

## 2) 충남수자원종합계획 보고서, 2015.01<sup>11)</sup>

- 국가 수자원장기종합계획과 연계한 충청남도의 항구적인 물 부족 해소를 위한 수자원의 안정적인 확보와 하천의 효율적인 이용개발 및 보전계획을 위해 충남도의 물 관리 종합계획을 수립하였다. 2012년 충청남도 서부지역에 전국 최대의 가뭄피해가 발생함에 따라, 충청남도에서 물 부족 해소를 위한 수자원종합계획을 수립하였으며 충청남도의 안정적인 수자원확보와 하천의 효율적인 이용개발 및 보전을 위한 지역 맞춤형의 수자원종합계획을 수립하였다.
- 충청남도는 수량과 수질 양면에서 물의 위기에 직면하고 있으며 이러한 물의 위기는 앞으로 가속화될 전망이다. 현 추세대로 가면 2025년에 생·공용수는 정수 111.9천m<sup>3</sup>/일, 침전수 26.4천m<sup>3</sup>/일, 농업용수는 16,318천m<sup>3</sup>/일의 물 부족 사태에 직면할 것으로 전망하였다. 물 수요의 증가 추세에 비해 신규 용수개발은 각종 제약 때문에 둔화되고 있으며, 수질오염의 확대는 지표수는 물론 지하수에까지 미쳐 맑은 물의 확보가 더욱 어려운 실정이므로 물 부족 문제를 해결하기 위해서

11) 충청남도, 2015, 충남수자원종합계획

는 신규 수자원개발의 어려움을 감안하여 공급확대 못지않게 효율적인 물이용을 위해서 물 값 인상을 통한 절수유도, 물 재이용과 절수기기 보급 확대 및 물 절약 을 위한 홍보와 교육의 강화 등 적극적인 수요관리 정책의 필요성을 언급하였다.

- 충청남도의 물 수요관리 정책 중 대표적인 것은 장래 예상되는 물 부족사태에 대비하기 위해 수자원 정책의 기초를 종래의 공급위주에서 수요관리를 병행하는 정책 기초이다. 충청남도 물 수요관리 종합계획은 물 수요관리 강화를 위한 상수도 누수 절감 및 요금현실화, 하·폐수 재이용, 대체용수 개발 등의 대책으로 구성되어 있고, 목표 절감량은 도청이전 신도시지역을 포함하여 2025년도까지의 절감량을 50,426천m<sup>3</sup>/년(2012년~2025년 누적 절감량)으로 계획하였으며, 사업비는2조 3,611억 원이 소요될 것으로 계획되었고 2025년 연간 절감량은 3,878천m<sup>3</sup>/년(10,624m<sup>3</sup>/일)으로 분석되었다.

### 3) 4대강 살리기 마스터플랜, 2009.07<sup>12)</sup>

- 홍수조절과 물 확보 등을 위해 한강, 낙동강, 금강, 영산강 총4대강 본류에 시행 하는 사업으로 국토해양부·농림수산식품부·환경부가 주관하여 2011년 완료하였 으며 댐·저수지 등은 2012년 완료하였다.



[그림 5] 4대강 살리기 사업의 비전, 목표 및 전략

12) 국토해양부(현, 국토교통부) 4대강 살리기 추진본부, 2009, 4대강살리기 마스터플랜

- 장래 물 부족(2011년 8억m<sup>3</sup>, 2016년 10억m<sup>3</sup>)과 가뭄에 대비하기 위한 용수 확보량 13.0억m<sup>3</sup>을 증대하기 위하여 첫째, 준설과 보 설치로 용수확보 및 지하수위 저하 방지, 둘째, 중소규모댐 건설로 지역적 물 부족 해소, 셋째, 농업용 저수지 증고로 갈수기 지류 및 본류 유량 증대를 계획하였다.
- 첫째, 준설 및 다기능보 총 16개소를 설치하여 8.0억m<sup>3</sup> 용수를 확보하였다. 보를 이용한 물 확보는 평상시 풍부한 하천유지용수 공급 및 가뭄시 용수를 활용하고자 하였으며 하천 내에서 풍부하게 물을 확보하는 것을 목표로 하였다. 또한, 평상시 지하수위를 유지할 수 있으며 강변경관을 향상시킬 수 있는 넓은 수면과 수상활동에 적합한 수심을 확보하고 다기능보 상·하류의 수위차를 이용한 소수력 발전 시설을 갖추었다.
- 둘째, 낙동강 수계에 영주댐(경북 영주)과 보현댐(경북 영천)을 건설하고, 안동댐~임하댐 연결(경북 안동)을 추진함으로써 2.5억m<sup>3</sup>용수를 확보하였다.
- 셋째, 저수지 17,600여개 중 추가용수 확보가 가능하고 환경영향수몰면적이 적은 96개소를 증고하고, 갈수기 하천유지유량을 공급함으로써 2.5억m<sup>3</sup>용수를 확보하고자 하였다. 증고를 통해 확보되는 추가 저수량은 갈수기에 집중 방류하여 지류 및 본류 유량 개선에 활용하고자 하였으며, 증고방법은 기존 제체 및 여수로 조건 등이 고려되었다.

#### 4) 국가안전관리 기본계획(2015~2019), 2015<sup>13)</sup>

- 대한민국 『헌법』 제34조 제6항, 『재난 및 안전관리기본법』 제22조 및 시행령 제26조에 의거하여 각종 재난 및 사고로부터 국민의 생명·신체·재산을 보호하기 위하여 국가의 재난 및 안전관리의 기본방향을 설정하는 최상위 계획이다. 국가안전관리기본계획의 목적은 도시화·인구집중, 고령화, 기후변화, 신종감염병의 창궐 등 재난환경 변화에 대응하여 국가가 국민을 재난 및 안전사고로부터 보호하기 위함이며 향후 5년간 국가 재난 및 안전관리 정책을 통합적으로 운영할 수 있는 방안과 이를 이행하기 위한 중점 추진과제들을 제시하여, 중앙행정기관과 지방자치단체를 포함한 각종 재난관리책임기관들이 세부대책을 수립·운영할 수 있는 지침을 제공한다.

[표 6] 국가안전관리 기본계획 중 가뭄관련 주요대책

대책	주요내용
예방	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 가뭄발생시기 예측과 경보발령기준을 정량화, 물 절약 프로그램의 개발, 시설물별 용수관리시스템 개발, 가뭄의 평가와 예측 모형, 이수 및 절수관리 지침 등 가뭄 예방대책 관련 연구개발 추진</li> <li>• 효율적 빗물관리 방안 강구, 댐 등 수자원 시설의 효율적 활용, 다양한 수자원(지하수, 해수담수화 등) 확보 등 상습가뭄지역 해소를 위한 중·장기계획 마련</li> <li>• 수계별 댐저수 현황 및 용수공급전망 검토, 가뭄관리시스템 개선</li> </ul>
대비	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 재난관리책임기관의 가뭄방재를 위한 조사·연구개발과 가뭄대책에 관한 기초자료 집적, 연구시설 확충 등 관련 연구와 조사 활성화</li> <li>• 양수장비 적정 보유량 확보, 기상분석 및 생육상황 관찰 등 가뭄예상지역 관리</li> <li>• 가뭄 우려단계시 용수원 개발 지원, 양수·절수재배 등 가뭄확산 단계 조치사항 시행 및 가뭄대책 추진체제 전환 등 조치</li> <li>• 가뭄상황 실시간 모니터링 및 대응계획 수립, 기관 간 공조체계 구축</li> </ul>
대응	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 비상근무 및 재난대책본부 운영 등 가뭄 대응 활동체계 확립</li> <li>• 언론매체를 통한 대국민 홍보 등 주민에 대한 재난 예·경보 신속 전파</li> <li>• 유희우물, 비상급수시설, 인근 정수장, 간이 상수도, 전용상수도 등의 활용 및 농업·공업·발전용수 등 다른 수리시설 일시 전용, 비상급수를 위한 시설 장비·인력(군·소방) 확보, 먹는 샘물업체 긴급식수 공급 등 긴급대책 추진</li> <li>• 지역실정에 따라 1단계(10~30% 감량공급)4단계(급수 중단)로 구분 각급기관·지자체별로 단계별 급수대책 수립·추진</li> <li>• 가뭄 상황 전파 및 피해 최소화를 위한 지원 대책 시행</li> <li>• 경비합정 이용, 도서지역 긴급 식수 공급</li> </ul>
복구	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 피해 농작물 복구비 지원, 가뭄대책용 양수기, 양수용 관정 설치 등 지원 등</li> <li>• 가뭄 피해조사 및 복구 시행, 가뭄관리시스템 보완, 용수공급 대책 마련</li> </ul>

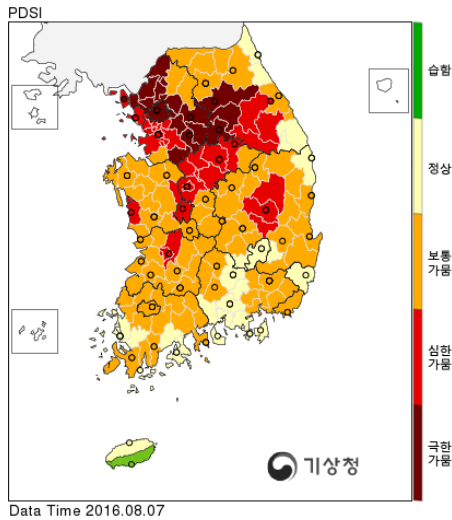
13) 중앙안전관리위원회 국민안전처, 2015, 국가안전관리기본계획(2015~2019)

## 5) 가뭄 모니터링 시스템 구축

- 기상청에서는 기상학적 가뭄지수인 파머가뭄심도지수(PDSI), 표준강수지수(SPI)와 두 지수를 통합한 가뭄 판단지수를 통하여 가뭄정보를 제공하고 있고, 가뭄단계는 극한가뭄, 심한가뭄, 보통가뭄, 정상, 습함 5가지 단계로 구분하여 일별로 가뭄을 평가하고 있다. 한국농어촌공사에서는 토양수분가뭄지수(SMI), 저수지가뭄지수(RDI), 통합농업가뭄지수(IADI)를 통해 가뭄 모니터링을 수행하고 있다. 가뭄단계는 극심한 가뭄, 매우심한가뭄, 심한가뭄, 보통가뭄, 보통건조, 정상상태 6단계로 구분되며 보통건조 단계부터 각각 2년, 5년, 10년, 20년, 50년 빈도의 가뭄에 해당한다. 한국수자원공사에서는 가뭄정보시스템은 웹기반으로 개발되었으며, 기상학적 가뭄(SPI, PDSI), 농업적 가뭄(SMI), 수문학적 가뭄(MSWSI, WADI)을 매일 실시간으로 산정하여 제공하고 있으며 극한습윤, 심한습윤, 보통습윤, 정상상태, 보통가뭄, 심한가뭄, 극한가뭄 등 총 7단계로 구분되며 실시간으로 가뭄을 평가하는데 이용되고 있다. 국민안전처는 수문학적 가뭄지수인 실시간가뭄지수(Real-time Drought Index, RDI)를 기반으로 국가 가뭄재해 상황관리 정보시스템을 개발 중에 있고, 실시간가뭄지수(RDI)는 행정구역별 용수공급량과 수요량의 불균형을 생활용수, 공업용수, 농업용수별로 가뭄평가가 가능하다. 행정구역별 용수별 공급량은 실시간 하천유량, 저수지 및 댐 저류량에 의해 산정되며 수요량은 수자원장기종합계획에 제시되어 있는 자료를 통해 산정 되고 국가 가뭄재해 상황관리 정보시스템에서는 행정구역별 하천, 댐, 저수지와 같은 수자원관리 시설의 기능이 고려된 실질적인 가뭄 평가가 가능하다.<sup>14)</sup>

14) 정상만, 2014, 국가 가뭄 모니터링시스템 개선을 위한 정책 제언, 한국수자원학회 수자원정책 비전, 2(1), pp16-23

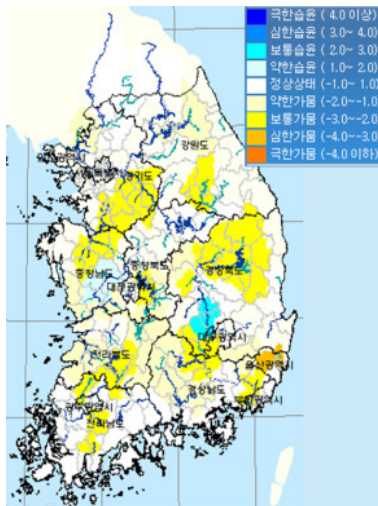




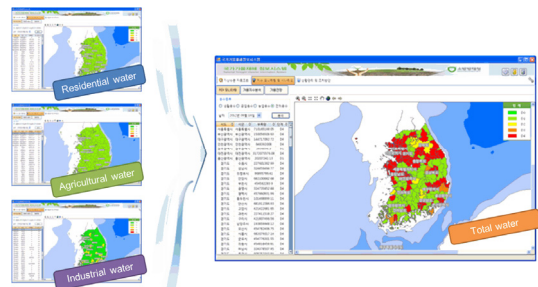
a) 기상청<sup>15)</sup>

2016-08-09(현재) 전국가뭄현황				법례
상태	지역	가뭄위험 저수지	저수량	
●	강원도	0	84	● 정상상태
●	경기도	0	74.6	● 보통건조
●	경상남도	0	65.9	● 보통가뭄
●	경상북도	24	63.9	● 심한가뭄
●	광주광역시	0	69	● 매우심한가뭄
●	대구광역시	0	64	● 극심한가뭄
●	대전광역시	0	84	
●	부산광역시	0	91.3	
●	울산광역시	0	71.9	
●	인천광역시	0	72.8	
●	전라남도	0	61	
●	전라북도	0	66.7	
●	충청남도	0	65.8	
●	충청북도	0	81.4	

b) 한국농어촌공사<sup>16)</sup>



c) 한국수자원공사<sup>17)</sup>



d) 국민안전처<sup>18)</sup>

[그림 6] 가뭄 모니터링 시스템 구축현황

15) 기상청, 기상청 관측자료, <http://www.kma.go.kr>

16) 한국농어촌공사, 농촌용수종합정보시스템, <https://rawris.ekr.or.kr>

17) 한국수자원공사, 가뭄정보시스템, <http://203.237.1.38>

18) 정상만, 2014, 국가 가뭄 모니터링시스템 개선을 위한 정책 제언, 한국수자원학회 수자원정책 비전, 2(1), pp16-23

## 6) 국내 주요 가뭄피해 사례에 따른 대응정책

- 우리나라의 가뭄 발생 자체는 1920년대부터 2010년대까지 큰 변화는 없지만, 가뭄에 대응하는 접근은 시대에 따라 많은 차이를 보여 왔다. 피해양상도는 1900년대 초기에는 농업 피해가 대부분이었고 대규모로 심각한 피해를 입었으며, 대응 정책도 피해 농가와 농민 구제 등 구호 위주였으나, 점차 대책기구가 조직화되며 적극적인 대응활동이 가능해지고 피해규모도 저감시켜 왔다. 특히 1900대 이후에는 가뭄시 환경적 위해성이 이전보다 주목되었고, 가뭄에 대한 캠페인 시행이나 국민성금 참여 등 대중의 참여가 강조되었다.<sup>19)</sup>

---

19) 김연주, 이진영, 장평화, 송재열, 2013, 가뭄 유형별 기후변화 적응정책 연구, 한국환경정책·평가연구원

[표 7] 과거 우리나라 가뭄피해 사례 및 대응정책<sup>20)</sup>

기간	주요지역	피해영향	대응
1927 ~1929	호남 및 영남	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 전국적으로 연속적인 과우 현상</li> <li>• 식수부족, 농업용수 부족으로 인한 농산물 피해</li> <li>• 가뭄으로 인한 살인</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 농민 세금 면제</li> <li>• 재해지 토목도로공사</li> <li>• 기우제</li> </ul>
1937 ~1939	호남 및 영남	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 지표수고갈</li> <li>• 농업용수 수급 지체로 인한 농업생산량 감소</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 각 도에 기술자 파견</li> <li>• 미강우에 대비한 선후대책 강구</li> </ul>
1942 ~1944	호남 및 영남	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 발전용수 고갈</li> </ul>	-
1948 ~1949	수도권 및 영동	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 농업용수 고갈로 인한 농산물 수확 반감</li> <li>• 발전량 저하</li> </ul>	-
1967 ~1968	수도권, 호남 및 영남	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 농작물 생산 13% 절감</li> <li>• 식수 및 생활용수 고갈</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 제2차 추가경정예산안 편성</li> <li>• 대통령 긴급지시</li> <li>• 상수도시설 전면개혁 계획</li> <li>• 관정개발 및 양수기 동원</li> </ul>
1973	호남 및 영남	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 식수난 심각</li> <li>• 농작물 피해</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 양수기 무상대여</li> <li>• 간이용수원 개발</li> </ul>
1976 ~1978	영남 및 전국	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 농업용수 및 공업용수 고갈</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 제한급수 시행</li> <li>• 간이용수원의 항구 시설화</li> <li>• 국회에서 농수산위원회 개최</li> </ul>
1981 ~1982	영남	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 연속적 과우로 수도작 감소</li> <li>• 저수지 및 하천 고갈</li> <li>• 도시용수 고갈</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 암반관정개발 시행</li> <li>• 제한급수 시행</li> <li>• 저수지 및 소류지 개발</li> </ul>
1987 ~1988	영남 및 전국	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 농수용수 부족, 농민 데모</li> <li>• 저수량 최저</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 제한급수 시행</li> <li>• 저류지 및 소류지 개발</li> </ul>

20) 김연주, 이진영, 장평화, 송재열, 2013, 가뭄 유형별 기후변화 적응정책 연구, 한국환경정책·평가연구원

[표 7] 과거 우리나라 가뭄피해 사례 및 대응정책(계속)

기간	주요지역	피해영향	대응
1991 ~1992	중부	<ul style="list-style-type: none"> <li>저수율 감소, 농작물 피해</li> <li>공업용수 부족, 식수난</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>가뭄대책강구에 대한 대통령 지시</li> <li>재해지역 보상신청에 장기처리 용자</li> </ul>
1994 ~1995	호남 및 영남, 일부 중부	<ul style="list-style-type: none"> <li>농작물 및 가축피해</li> <li>생활 및 공업용수 부족</li> <li>식수원 오염</li> <li>저수율 저하 및 저수지 고갈</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>범국민 가뭄극복대책위원회 발족 및 운용</li> <li>피해지역에 가뭄극복성금 배부</li> <li>착정업체와 양수장비 생산공장의 가동 및 판매 지원</li> <li>폐수 재이용과 지하수 개발 및 사용</li> <li>가뭄대책 수립에 대한 중·장기 대책 논의</li> </ul>
1996 ~1997	호남 및 영남, 일부 중부	<ul style="list-style-type: none"> <li>공업용수 부족</li> <li>낙동강 수질저하 및 산성비</li> <li>농수산물 피해</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>제한급수 시행</li> <li>저수지 준설과 관정개발 논의</li> <li>농수산부 상황실 설치 계획</li> </ul>
1999 ~2000	호남 및 영남, 수도권	<ul style="list-style-type: none"> <li>공업용수 부족</li> <li>낙동강 및 한강수질 악화</li> <li>농수산물 피해</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>긴급급수 시행</li> <li>가뭄지역 관정 개발 계획</li> <li>농수산부 상황실 설치 계획</li> </ul>
2001	관동 및 호서, 수도권, 경북	<ul style="list-style-type: none"> <li>농업용수 부족</li> <li>하천수질 악화</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>인공강우 실시</li> <li>비상용수 공급 수행</li> <li>국민성금 모금</li> <li>수질오염 특별 단속 실시</li> </ul>
2008 ~2009	관동	<ul style="list-style-type: none"> <li>식수난 심각</li> <li>농작물 및 가축 피해</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>제한급수</li> <li>사랑의 생명수 지원</li> <li>가뭄극복 결의대회 개최</li> </ul>
2012	수도권, 관동 및 호서, 경북 일부	<ul style="list-style-type: none"> <li>생활용수 및 농업용수 부족</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>특별교부세 및 가뭄대책 비지원</li> <li>지하수관정, 비상용수 공급</li> </ul>
2015	소양강댐, 충주댐, 보령댐, 임진강유역	<ul style="list-style-type: none"> <li>강우량 부족</li> <li>저수율 감소</li> <li>농업용수 공급부족</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>유지용수 방출감소</li> <li>제한급수 시행</li> <li>도수로 설치</li> <li>담수기간 연장</li> </ul>

## 나. 국외 정책 사례

- 20세기 동안 전 세계적으로 대규모 수자원개발 사업을 활발히 추진하면서, 많은 정부 담당자와 전문가들은 가뭄의 위협이 크게 감소할 것이라고 전망하였지만 실제로는 충분한 수자원 시설을 확충한 국가조차 극심한 가뭄으로 과거보다 더 큰 피해를 겪는 경우가 종종 발생하고 있다. 2012년 미국 전역에서는 옥수수 재배지 78%가 가뭄을 경험하였고 1천개 이상의 카운티가 재난을 선포하는 등 1988년 이후 최악의 가뭄 피해가 발생하였으며, 2014년에는 캘리포니아 북부에서도 저수용량 12억 톤을 상회하는 댐이 고갈되는 등 가뭄의 재현기간이 1,200년을 초과하였다. 비교적 기상조건이 온화한 것으로 알려져 있는 남유럽에서도 2012년 방대한 지역에 걸쳐 심각한 가뭄 피해가 발생했는데, 특히 포르투갈의 경우 전 국토의 80%가 영향을 받았으며 수력발전량의 64%가 감소해 에너지 수급에 큰 어려움을 겪은 바 있다. 가뭄의 발생이 잦지만 정확한 피해가 발표되지 않고 있는 소말리아, 에티오피아, 케냐 등 서북부 아프리카 지역의 경우, UN 인도지원조정실은 2010~2011년 기간 동안 가뭄이 기근으로 확대되어 약 1,200만 명이 인도적 지원을 필요로 하였고 소말리아에서만 약 75만 명이 건강 및 생명의 위협을 경험하였다고 파악한 바 있다.<sup>21)</sup>

### 1) 미국

- 미국은 오래 전부터 통합적인 국가가뭄관리정책 수립에 대한 요구가 있어왔지만 최근 마련된 국가가뭄정보통합시스템(NIDIS) 이외 별다른 진척이 보이지 않고 있다. 그 대신 각 주마다 가뭄관리 방안을 마련할 수 있도록 연방정부가 다양한 규제를 하고 있으며, 현재 44개의 주가 성공적으로 가뭄관리 정책을 도입하여 운영 중에 있다. 이 중 콜로라도 주의 가뭄 경감 및 대처 계획은 1981년 처음 모습을 갖추어 오랜 기간 수정 끝에 지금의 체계적인 시스템으로 자리 잡을 수 있었음을 알 수 있었다.<sup>22)</sup>

21) 이상은, 2015, 가뭄 위험도 평가기법 구축 및 정책적 활용에 관한 연구, 국토연구원

22) 소방방재청, 2013, 국가 가뭄재해 상황관리 정보시스템 구축

- 콜라라도 주는 이전부터 가뭄의 피해가 큰 지역으로 일찍이 가뭄관리정책을 발전시켜왔으며 1981년 최초의 계획이 채택된 이래 여러 번 개정을 거쳐 현재의 가뭄 대응 및 경감 계획(The Colorado Drought Response and Mitigation Plan)의 모습을 갖추었다. 콜로라도 주는 콜로라도 실정에 맞게 변형된 Palmer 가뭄지수(Colorado Modified Palmer Drought Index) 또는 SWSI 가뭄지수, 표준 강수지수(SPI)와 U.S. Drought Monitor를 기준으로 가뭄 강도를 6단계로 구분하고 이에 따른 대처 방안을 제시하고 있다.<sup>23)</sup>

[표 8] 콜로라도 가뭄 단계별 대처방안<sup>24)</sup>

가뭄단계	가뭄기준 (콜로라도형 PDI 또는 SWSI, SPI, USDM)	고려되어야 할 행동
정상단계	<ul style="list-style-type: none"> <li>• CMPDI : -1이상</li> <li>• SPI : -0.5이상</li> <li>• D0 비정상적건조</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• CWCB/WATF매달가뭄 상황을 모니터링하고 다양한 전문가와 논의</li> <li>• 장기 가뭄경감계획을 이행</li> <li>• ITF책임자는 매년 2회 가뭄경감계획의 이행사항을 검토하고 지난 가뭄에 대해 검토</li> </ul>
단계1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• CMPDI : -1 ~ -2</li> <li>• SPI : -0.6 ~ -1.0</li> <li>• D1 보통가뭄</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ITF책임자는 예상되는 가뭄에 대비</li> <li>• 가뭄상황에 따라 ITF 행동 개시 및 DTF 조직 여부에 대해 평가</li> </ul>
단계2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• CMPDI : -2미만</li> <li>• SPI : -1.0미만</li> <li>• D2 심각한가뭄</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 주지사령 가뭄비상사태 선포 준비</li> <li>• DTF, ITF활동 시작</li> <li>• ITF는 현 상황에 대해 언론 매체와 접촉</li> <li>• 각각의 주정부기관은 가용 자원 내에서 가뭄 피해 악화를 위한 행동 개시</li> </ul>
단계3	<ul style="list-style-type: none"> <li>• CMPDI : -2 ~ -3.9</li> <li>• SPI : -1.0 ~ -1.99</li> <li>• D3 극심한 가뭄/</li> <li>• D4 예외적 가뭄</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 주지사령 가뭄비상사태 선포</li> <li>• GDEC 활동 시작</li> <li>• 필요한 경우 대통령령 가뭄비상사태 선포 준비</li> <li>• 장기 피해복구 활동 시작</li> </ul>
단계2 복귀	<ul style="list-style-type: none"> <li>• CMPDI : 최저-1.6</li> <li>• SPI : -0.8</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 가뭄비상사태 종료 선포를 준비</li> <li>• 장기 피해복구 활동 유지</li> </ul>
단계1 복귀	<ul style="list-style-type: none"> <li>• D1 보통가뭄</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ITF는 평가를 마무리하고 최종보고서를 제출</li> <li>• DTF는 최종보고서를 승인하고 해산</li> </ul>
정상단계 복귀	<ul style="list-style-type: none"> <li>• CMPDI : 최저-1.0</li> <li>• SPI : -0.5</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• CWCB와 WATF는 가뭄모니터링 재시작</li> </ul>

23) 소방방재청, 2013, 국가 가뭄재해 상황관리 정보시스템 구축

24) 소방방재청, 2013, 국가 가뭄재해 상황관리 정보시스템 구축

- 캘리포니아는 2015년 기준으로 1,200년 빈도의 극한가뭄이 4년째 지속되는 비상 상황을 겪고 있다. 극심한 가뭄으로 저수지 등 수자원이 지속적으로 고갈되고 있으며, 캘리포니아 주 관계 당국에 따르면 주내 평균 저수량이 2009년 68% 수준에서 2013년 42%, 2015년 17% 수준까지 하락한 상태이다. 이에 캘리포니아의 주요 산업인 농업에 큰 피해가 발생하고 있다. 2014년에 물 부족으로 약 1,619ha 면적이 경작을 못하였으며, 이로 인해 1만 7000여 개의 일자리가 사라진 것으로 알려지는 등 전체적으로 20억 달러 규모의 경제적 피해가 발생한 것으로 나타났다. 또한 미국 와인 생산의 80% 가량을 차지하는 캘리포니아 와인도 가뭄에 따른 포도의 성장 부진으로 2014년~2015년 사이에 캘리포니아 주의 경제적 손실이 클 것으로 우려되었다.<sup>25)</sup>
- 캘리포니아에서는 미국 국립가뭄경감센터(National Drought Mitigation Center, NDMC)에서 제공하는 가뭄 모니터링 및 가뭄 전망 정보를 바탕으로 ① 가뭄지수를 통한 가뭄 조기 발견과 모니터링, ② 대중 교육, 캠페인 및 가뭄보고서를 통한 주민 참여 유도, ③ 장·단기 수자원 개발 계획을 위한 기관들의 협력 강화 등의 구체적인 가뭄 대응전략을 수립하여 대응하고 있다. 특히, 최근의 가뭄사태에 적극적으로 대응하기 위하여 Jerry Brown 주지사가 2015년 4월 1일 물 사용량을 25% 줄이는 강제절수 명령을 발동하고 수자원통제위원회(Water Resources Control Board)가 강제급수 제한조치를 시행하여 가뭄극복에 노력하고 있다. 또한 기후변화로 인한 수자원 부족에 대비하기 위하여 캘리포니아 수자원부(California Department of Water Resources, DWR)는 기후적응전략(California's Climate Adaptation Strategy)을 마련하였다. 이러한 기후적응전략은 기후변화에 따른 수자원 영향과 지역별 취약성을 고려하여 5단계로 가뭄을 구분하였으며, 단계별 가뭄 대응대책을 제시하였다.<sup>26)</sup>
- 캘리포니아에서는 수자원의 수요와 공급이 지역별로 차이가 있고, 높은 지하수의존 등의 특징을 고려하여 ‘캘리포니아 물 관리 계획(CWP)’을 매 5년마다 수립하고 있다. 계획에서는 주의 수자원부가 주축이 되어 지속가능한 수자원 확보를 위해 수자원 현황, 정보, 계획, 정책방향 등을 제시하고 있다. 캘리포니아 물 관리 계획의 주요관심 분야는 물 사용량 관련 분석도구 개발, 기후변화 대응 물 관리 전략, 지역 물 관리 및 분배, 시나리오에 따른 물수요 예측 등이 있다.

25) 김용탁, 김진영, 이정주, 권현한, 2015, 2015년 가뭄의 특성 및 재현기간 평가, 대한토목학회지, 63(9), pp14-24

26) 김태웅, 박동혁, 2015, 우리나라 극한가뭄 대응 현황과 개선방안-2015년 가뭄을 중심으로, 대한토목학회지, 63(9), pp25-35

또한, 2007년도 대가뭄을 겪으면서, 다양한 기후변화 관련 가뭄대응 대책들을 2009년도 물 관리 계획에서 제시하였다. 캘리포니아 물 관리 계획(2009)에는 다양한 가뭄대책들을 수록하고 있는데, 특히 기후변화에 대응하기 위해 토지이용과 연계한 관리, 지역 및 가뭄발생 정도에 따른 관리, 경제적 측면을 고려한 관리 등의 대책들이 많이 제시되었다. 토지이용 계획과 연계한 효율적 물 관리 계획 수립을 목표로 하고 있다. 구체적으로는 토지이용의 패턴, 개발의 정도, 인구 증가 등을 고려하여 물 관리 계획에 반영하고 자연·생태적 요소를 고려하여 농경지 등 보전지역을 관리하고 있다.<sup>27)</sup>



a) 2011년 Oroville 호수 전경



d) 2014년 Oroville 호수 전경

[그림 7] 미국 캘리포니아주 Oroville 호수 전경<sup>28)</sup>

27) 심우배, 김길, 한우석, 구형수, 2011, 기후변화 대응 물관리 정책방안 연구 -국토의 가뭄 취약성 및 정책 방안을 중심으로-, 국토연구원

28) 이기영, 송미영, 조영무, 한송희, 2015, 수도권, 가뭄으로부터 안전한가?, 경기연구원 이슈&진단



[표 9] 캘리포니아의 단계별 가뭄대응 대책<sup>29)</sup>

단 계	내 용
1단계: 이례적 건조기	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 수자원관리부에서 중앙대책을 위한 가뭄작전상황실 가동</li> <li>• 가뭄 모니터링위원회 소집</li> <li>• 주립시설의 수자원 보존을 위한 규제정책</li> <li>• 지역적 영향과 가뭄정보 수집</li> <li>• 대중매체를 통해 미주시설 물 사용에 대한 정보 출간</li> <li>• 급수시스템을 위한 기금 조성으로 지역 가뭄 대응과 유역시설 관리</li> </ul>
2단계: 가뭄 초기 단계	<ul style="list-style-type: none"> <li>• level 1 대책에 더하여 긴급행동강령 발표</li> <li>• 물 이용을 10%까지 감소 장려</li> <li>• 의무적 물 보존과 절수, 지표수 공급 준비</li> <li>• 다양한 주체자와의 소통과 워크숍, 가뭄 교육 강화, 물 보존 단체 지원</li> <li>• 기술자원과 긴급 인프라 등 제공으로 신속한 수자원 보충</li> <li>• 연방 및 주립 시설에서의 물 절약 강화</li> <li>• 물 절약 캠페인</li> </ul>
3단계: 극심한 가뭄 단계	<ul style="list-style-type: none"> <li>• level 1~2에 더하여 긴급가뭄 선언으로 가뭄 대책위원회 발족</li> <li>• 물 이용 20%까지 감소 장려</li> <li>• 협력적 대응을 통해 가뭄경감과 대응 원활화</li> <li>• 지속적으로 가뭄 상황 조사/보고</li> <li>• 미디어 매체를 통한 가뭄 교육 장려</li> </ul>
4단계: 극단적 가뭄 단계	<ul style="list-style-type: none"> <li>• level 1~3에 더하여 물 공급시설 준비 및 비상전력 공급</li> <li>• 수자원 재이용 시설 더욱 활성화</li> <li>• 불필요한 물 사용 감소(물 관련 기관과 야생보호를 위한 수자원 제외)</li> </ul>
5단계: 물 공급마저 중단된 이례적 가뭄	<ul style="list-style-type: none"> <li>• level 1~4에 더하여 물 공급 비상사태임을 선언</li> <li>• 캘리포니아 국가안보 활성화</li> <li>• 물 사용은 건강 및 안전을 위해서만 사용 가능</li> <li>• 심한 경우 인구 이주</li> </ul>

29) 김연주, 이진영, 장평화, 송재열, 2013, 가뭄 유형별 기후변화 적응정책 연구, 한국환경정책·평가연구원

[표 10] 캘리포니아 물 관리 계획(CWP)에 포함된 주요 가뭄대비 정책<sup>30)</sup>

물 관리정책	설명
토지이용 계획과 연계한 물 관리 계획	• 토지이용의 패턴, 개발의 정도, 인구증가 등을 고려하여 물 관리 계획에 반영
농경지 관리	• 자연적, 생태적, 사회적 요소를 고려하여 개발지와 보전지역 관리
물 수송	• 물이 풍부한 지역에서 부족한 지역으로 물 수송
지하수, 지표수 통합관리 및 지하수 확보	• 지하수와 지표수를 통합적으로 관리함으로써 상황에 따라 효율적으로 활용하는 방안 • 평상시 저류지 등 지하수 충전지역을 설치하여 충분한 지하수를 확보하고, 가뭄이 발생하여 생활용수가 부족할 경우 지하수로 생활용수를 대처하거나 농업용수를 생활용수로 전환 또는 지하수 충전수로 전환
해수담수화	• 물이 상습적으로 부족한 바닷가 지역에 해수담수화 시설설치 • 가뭄 피해지역에 일시적으로 이동식 해수담수화 시설 운영
가뭄정도에 따른 차등적 수도 요금제 적용(Drought Rate Structure)	• 가뭄정도에 따라 건물용도별, 물소비량별 차등적인 수도 요금제 적용
농업용수 소비 효율화	• 기술적, 재정적 지원을 통한 농업용수 소비 효율화 • 농작물 경제적 이득까지 고려한 농업용수 효율적 재분배
가뭄 물 은행(Drought Water Bank)	• 가뭄발생시 시장원리에 따른 효율적 물 재분배를 위해 '가뭄 물 은행(DWB)'을 운영하여 개인 간의 수리권 매매 활성화 유도
재활용수	• 재활용수 사용 활성화 유도
시스템 재운영	• FBO(Forecast-Based Operations)를 통한 공급, 수요의 불확실성을 예측하고, 예측에 맞게 다목적댐 운영
분수계 관리	• 분수계 효율적 관리를 통한 수자원 수질 및 수량 관리
통합 워크숍 계획	• 가뭄 대응 통합 워크숍 개최를 통한 부처들 간의 통합 대응방안 모색
가뭄 모니터링 및 예측	• 통합 데이터 관리를 통한 가뭄 모니터링 및 예측
주민홍보 및 교육	• 주민 홍보 및 교육 등 주민들의 인식변화를 통해 물소비관리
20X2020 Water Conservation plan	• 물 소비 패턴 인식, 인센티브 제공을 통한 소비관리, 물 공급 시스템 효율성 강화 등을 통해 도시지역 생활용수 소비를 2020년까지 20% 감소시키는 계획
조경용수 관리	• 조경 조례 강화 등을 통해 조경용수 소비관리
도시 생활용수 관리 계획	• 가뭄(단년 또는 다년)과 비상사태(지진, 전력부족 등)와 같은 다양한 상황에 따른 도시 생활용수 공급 시스템 대응반응을 분석하고 비상시 대응 생활용수 공급시스템 대책마련

30) 심우배, 김걸, 한우석, 구형수, 2011, 기후변화 대응 물관리 정책방안 연구 -국토의 가뭄 취약성 및 정책 방안을 중심으로-, 국토연구원

## 2) 영국

- 영국에서는 가뭄의 시작과 종료를 미리 알 수 없기 때문에 장·단기 대책을 통해 충분한 수자원을 확보하는 것이 중요하다는 것을 인식하고, 이를 실행에 옮길 광역 수도회사를 설립하였으며, 물 사용에 대한 허가를 정부가 제한하고 있다. 예를 들어, 잉글랜드와 웨일즈 지역의 가뭄관리는 상수도, 하수도 및 지하수를 포함하여 지역의 물 관리를 수행하는 수도회사(Water Company)와 환경식량농업부(Department for Environment, Food and Rural Affair), 환경청(Environment Agency)의 유기적 협조 아래 이루어지고 있다. 환경식량농업부와 환경청은 가뭄에 대한 판단을 하고, 환경청과 지역 수도회사가 전반적인 물 관리 및 가뭄대응을 실행하는 체계이다. 영국 수자원법상의 가뭄대책에 대한 사항은 통상가뭄명령(Ordinary Drought Order)과 비상가뭄명령(Emergency Drought Order)으로 구분하고 있다. 통상가뭄명령은 예외적인 물 부족이 일어나는 경우로 치수 허가에 대한 권한을 발효하여 하천수의 사용을 제한하고, 비상가뭄명령은 물 부족 현상이 사회·경제적으로 영향을 주었을 경우 급수용 물탱크에만 물을 공급하게 된다.<sup>31)</sup>

[표 11] 영국의 단계별 가뭄 대응<sup>32)</sup>

구분	통상가뭄명령	비상가뭄명령
가뭄상태	• 유량 부족 또는 내륙지역의 물 부족이 농작물에 영향을 미치는 상황	• 경제적, 사회적으로 물 부족으로 인한 피해가 발생하는 상황
판단기준	• 환경식량농업부와 환경청	• 환경식량농업부와 환경청
대응기관	• 환경청, 수도회사	• 환경청, 수도회사
대응방법	• 환경청에서 하천수의 사용을 제한함 • 수도회사에서 하천수의 취수, 사용량을 변경하거나 제한함. 하천수 이외의 수원에서 취수	• 환경청에서 통상가뭄명령의 대응과 동일 • 수도회사에서 탱크에만 물 공급, 수도회사의 물 공급을 금지함.

31) 김태웅, 박동혁, 2015, 우리나라 극한가뭄 대응 현황과 개선방안-2015년 가뭄을 중심으로, 대한토목학회지, 63(9), pp25-35

32) 김태웅, 박동혁, 2015, 우리나라 극한가뭄 대응 현황과 개선방안-2015년 가뭄을 중심으로, 대한토목학회지, 63(9), pp25-35

### 3) 호주

- 호주의 경우, 기상조건에 따라 가뭄을 판단하며, 일반적인 가뭄과 예외적인 가뭄으로 분류한다. 예외적인 가뭄은 20~25년 빈도의 재현기간으로 12개월 이상 지속되는 가뭄이어야 하며, 평상시의 위기관리로는 대응할 수 없고 가뭄 피해를 예측할 수 없는 상황에 선포된다. 일반적인 가뭄인 경우 농민과 개인들이 주도적이 되어 가뭄을 관리하여 대응하지만, 예외적인 가뭄이 선포되면 정부의 지원 아래 국가가 개입하여 재정적인 지원을 통해 가뭄을 극복하고 있다. 호주 퀸슬랜드 지역은 가뭄이 빈번하게 발생하는 지역으로 일반적인 가뭄에는 농민들이 자체적으로 가뭄관리를 하였으나, 심각한 가뭄상황에는 퀸슬랜드 정부에서 가뭄선언(Drought Declaration)으로 가뭄임을 공식적으로 공표함으로써 해당지역을 중심으로 재정적 지원(토지임대료 감면)을 비롯한 급수지원이 이루어진다. 또한 정부에서 가뭄선언지역으로 선정되지 못한 지역 내에서도 개인적으로 신청하여 개별적 물부족 지구(Individually Droughted Property)를 선정하고 동일한 지원이 이루어지도록 하는 방안으로 가뭄을 극복하고 있다.<sup>33)</sup>
- 호주의 가뭄정책은 농림수산식품부(Department of Agriculture, Fishery & Forest)에서 농업 정책의 일부로 다루고 있으며 현재 가뭄 정책은 1992년 설립된 국가가뭄정책(National Drought Policy) 법을 기반으로 하고 있다. 가뭄을 농사 경영 위기로 인식하여 평상시 농민이 가뭄 위기를 관리할 수 있도록 지원하고 예외적인 상황(Exceptional Circumstance) 발생 시 정부가 재정지원 한다. 예외적인 상황 발생 시 연방정부는 농촌 구조조정 프로그램(Rural Adjustment Scheme), 농가지원 프로그램(Farm Household Support Scheme)을 통해 금리 지원, 새로운 생계 활동 장려 등 시행한다. 이후 여러 번 개정을 통해 농민 복지를 가뭄 정책의 주요 고려 대상으로 인식, 가뭄구호 프로그램(Drought Relief Payment)을 신설하고 최근에는 기후변화 대비 가뭄정책 개정안을 준비 중이다. 호주의 국가 가뭄정책은 정량화된 가뭄지수를 활용하며 가뭄강도에 따른 적절한 가뭄대처 요령을 제공하지 않는다. 오히려 가뭄이 발생하였을 때 농민이 자립적으로 대처할 수 있도록 권고하고 극히 드문 ‘예외적인 상황’이 발생한 경우에만 주 정부의 지원 신청에 따라 국가가 개입하도록 하며 1999년 도입된 ‘예외적인 상황’에 대한 기준은 다음 [표 12]와 같다.<sup>34)</sup>

33) 김태웅, 박동혁, 2015, 우리나라 극한가뭄 대응 현황과 개선방안-2015년 가뭄을 중심으로, 대한토목학회지, 63(9), pp25-35

[표 12] 호주의 가뭄단계 중 예외적인 상황<sup>35)</sup>

조건	세부 내용
사건이 극히 드물고 심각한 경우	평균 20년에서 25년마다 발생하는 사건을 가리키며, 농가 경영의 심각한 손실을 초래하여 국가 개입이 불가피한 경우
사건이 심각한 농가 소득 하락을 장기간 초래한 경우	평상시 위기관리로 대응할 수 없을 정도의 심각한 농가 소득 하락이 초래되어 1년 이상 지속된 경우
사건이 평소 구조조정 프로그램을 통해 대비할 수 없었거나 예측 불가능한 경우	사건이 예측 가능하거나 평상시 위기관리로 대처할 수 있을 정도, 또는 여타의 다른 프로그램으로 지원이 가능한 경우 제외

#### 4) 일본

- 일본의 가뭄은 생활수준의 향상과 생산활동 확대 등으로 인해 수자원 개발이 물 수요를 따라가지 못해 발생하는 경우와, 적은 강수로 인한 이수 안전도 저하로 물수급이 어려운 지역을 중심으로 발생하고 있으며 하천유역별로 가뭄을 예측하고 수자원을 관리하는 저수관리 시스템을 운영한다. 일본 하천심의회에서는 기본적인 갈수대책 방침으로 갈수안전도 확보를 제시하고 있으며, 각 지역마다 적합한 종합 갈수대책 수립을 위해 안정된 수자원 확보와 물 이용의 합리화를 노력하고 있다. 또한 갈수대책의 효율적 진행을 위한 전체 계획을 수립하고 운영체제를 정비하고 있다. 하천심의회는 1995년 종합적인 갈수대책을 발표하여 국가, 지자체, 수도기업체의 공급자 측면과 이용자와 생활자를 포함하는 수요 측면, 구조물적 및 비구조물적 갈수대책으로 구분하여 관리하고 있다.<sup>36)</sup>
- 일본 국토교통성 하천부는 물 관련 재해의 관점에서 기후변화 적응 대책의 이행 방안을 통해 적응과 경감의 두 가지 접근 모두를 강조하였다. 적응과 경감은 서로 보완될 수 있으며, 사회적 요인 등을 고려한 융통성과 효율성이 있는 접근이어야 기후변화 리스크를 줄일 수 있다고 강조하였다. 핵심내용은 ① 물 절약

34) 이승호, 2014, 외국 가뭄단계 기준 및 대책 -미국, 호주, 영국 사례연구, 한국수자원학회 수자원정책 비전, 2(1), pp52-58

35) 이승호, 2014, 외국 가뭄단계 기준 및 대책 -미국, 호주, 영국 사례연구, 한국수자원학회 수자원정책 비전, 2(1), pp52-58

36) 김연주, 이진영, 장평화, 송재열, 2013, 가뭄 유형별 기후변화 적응정책 연구, 한국환경정책·평가연구원

사회를 구축하여 일상에서부터 물 수요 관리에 힘을 기울여 CO<sub>2</sub> 배출과 에너지 소비를 감소시켜야 한다. ② 대중이 가뭄 영향의 최소화에 직접 기여할 수 있도록 긴급 상황시 물 확보를 위한 적응 전략을 구조화하고 이행할 수 있어야 한다. ③ 가뭄에 대비하여 수자원을 체계적으로 관리하고 각 하천 시스템마다 협력하도록 하는 등, 미래 물이용은 사회구조 변화를 기반으로 이루어져 할 것이다. ④ 재해는 전 지구적 규모로 나타나므로 국제적 협력을 강조하였다.<sup>37)</sup>

---

37) 김연주, 이진영, 장평화, 송재열, 2013, 가뭄 유형별 기후변화 적응정책 연구, 한국환경정책·평가연구원

[표 13] 일본의 가뭄 대처방안<sup>38)</sup>

구분	대책	세부대책
공급측면 (국가· 지자체· 수도기업체)	안정적 수자원의 확보	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 댐사업의 추진과 불안정적 취수 해소</li> <li>• 갈수대책사업 추진</li> <li>• 수원의 다양화 추진</li> <li>• 수질보전대책 추진</li> </ul>
	수자원 효율화	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 효율적 유수관리 추진</li> <li>• 복수수원 및 광역네트워크화 추진</li> <li>• 정보수집체제 확립</li> <li>• 적절한 갈수조정체제 확립</li> </ul>
	물이용 합리화	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 갈수시 대응책 강화</li> <li>• 용도별 취수제한율 및 절수율 설정</li> <li>• 가격체계에 의한 수요관리</li> </ul>
	물 공급 정보의 전달	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 대중매체의 홍보기능 이용</li> <li>• 정보 네트워크 정비</li> <li>• 절수 캠페인</li> </ul>
수요측면 (이용자· 생활자)	절수 프로그램의 자율적 참가	• 절수기기도입, 변수제, 자주적 수요삭감
	우물 등 복수수원 보전 및 이용	-
	가격체제 도입 수용	-
	강제적 제한의 수용	-
	필요한 최소 수량만 이용	• 분수대 및 풀장의 사용 정지, 살수 및 세차 제한
구조물적및 비구조물적 갈수대책	구조적 갈수대책	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 갈수대책 댐 추진</li> <li>• 하천의 광역적 네트워크화</li> <li>• 지하수 개발 및 수원의 다양화</li> </ul>
	비구조적 갈수 대책	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 갈수 시 조정률 정비</li> <li>• 정보수집 및 전달체제 확립</li> <li>• 절수 프로그램 운영</li> <li>• 대국민 홍보 및 의식고취</li> </ul>

38) 김연주, 이진영, 장평화, 송재열, 2013, 가뭄 유형별 기후변화 적응정책 연구, 한국환경정책·평가연구원

## 다. 댐 공급 조절 사례

### 1) 2015년 소양강댐의 가뭄피해

- 2015년 9월 28일 자료에 따르면 소양강댐의 발표일 기준 수위는 E.L. 169.82 m (저수량 44.7%)로 역대 3위를 기록하였다. 개략적인 가뭄의 징후는 2014년 여름철 이후부터 발생되기 시작했는데 2014년 7월~9월의 강우총량은 368 mm였으며, 2014년 연강우총량은 608 mm밖에 되지 않는다. 특히 2015년 7월~9월 강우총량도 322 mm에 지나지 않아 2년간의 여름철 강수량 부족이 강원 영서지역의 가뭄을 심화시키고 있는 원인을 제공하고 있음을 알 수 있었다. 2013년 1월 소양댐의 저수위는 E.L. 181.06 m로 시작하여 6월에 E.L. 169.24 m로 저하되는데 이는 홍수기 제한수위를 유지하기 위한 조치로 보인다. 이후 2013년 7월 발생한 상류지역의 강수량이 유입되어 저수위는 다시 E.L. 180 m이상을 확보하여 정상적인 운영이 2014년 5월~6월까지 지속되었다. 그러나 2014년 여름철 강수가 발생하지 않고 가을철에도 별다른 강수사상이 발생되지 않게 됨으로써 2015년 1월은 E.L. 164.04 m의 저수위로 시작되었고 2015년 봄철 강수사상도 크게 발생되지 않아 급기야 2015년 6월에는 E.L. 153.21 m라는 역대 최저 월평균 저수위를 기록하게 되었다. 가뭄의 징후가 진행되기 시작한 2014년 9월부터 소양강댐은 약 30~40 m<sup>3</sup>/s의 방류량을 유지하였으며, 가뭄으로 인한 주의단계에 돌입한 2015년 5월부터는 유지용수를 급격히 감소시켜 약 월평균방류량 5m<sup>3</sup>/s 정도를 유지하였다. 따라서 2015년 7월부터의 저수위 상승은 강우로 인해 발생한 증가량이 아니라 댐에서의 용수공급량을 감량시킨 것으로부터 기인된 저수위의 상승으로 볼 수 있었다. 다만 2015년 5월과 6월에 시행한 40 m<sup>3</sup>/s의 방류는 충주댐 방류량의 감량 및 한강 서울구간의 녹조발생 대책 등이 연계되어 시행된 것으로 추정된다.<sup>39)</sup>
- 소양호 상류의 극심한 가뭄으로 강바닥 위로 고깃배가 세워져 있고, 어망이 그대로 들어나는 등 최악의 가뭄 상황이 발생하였으며 소양호 상류의 인공위성 촬영 사진에서도 2012년 12월 뚜렷하게 보이는 강줄기모습과 달리 강의 모래바닥이 드러나고 물줄기가 흐릿하게 보이는 것으로 조사되었다.

39) 김상욱, 2015, 소양강댐을 중심으로 살펴본 강원지역 가뭄현황 및 대책, 한국하천협회지, 11(4), pp23-29





a) 2012년 4월

b) 2015년 3월

[그림 8] 소양호 상류 인공위성 사진

## 2) 2015년 충주댐의 가뭄피해

- 2015년 충주댐의 저수율은 23.1%, 수위는 115.1m 안팎을 오르내렸다. 5월 수위가 1985년 댐 완공 이후 최저치를 기록한 데 이어 사상 최저수위인 112.3m(1994년 6월 29일)마저 위협하였다. 하천유지용수 방출량 감축에 들어간 충주댐은 가뭄이 계속될 경우 단계별로 농업용수와 생활용수 공급도 제한키로 했다.
- 경북지역의 2015년 3월~5월간 강수량은 평년대비 77%에 그쳤으며, 6월에도 가뭄을 해소할 만한 큰비가 내리지 않아 가뭄피해를 입었다. 경북도가 자체조사한 ‘도내 가뭄피해상황’에 따르면 안동 207ha, 영주 105ha, 울진 85ha, 봉화 80ha, 예천 27ha, 상주 38ha, 의성 15ha 규모의 논밭이 가뭄으로 메말라 농작물 시들음 현상이 발생하고 있는 것으로 조사됐다. 벼와 과수는 비교적 생육에 큰 지장이 없지만, 경사지 및 사질토양 일부 지역의 고추·담배 등 밭작물이 시들음 현상으로 피해를 입은 실정이다. 2015년 6월 중순까지는 봉화·울진 등 북부지역에 가뭄피해가 집중됐으나, 중순 이후 문경·영양·영덕 등 도내 전역으로 피해확산 양상을 보였다. 2015년 6월 기준 봉화·울진군의 18개 지역 7천230가구, 2만454명이 제한급수 대상이 됐으나 6월말로 갈수록 그 수가 증가했다.
- 2015년 가뭄으로 인해 충주호 상류는 바닥을 드러내며 실개천이 되어 흐르고, 댐 건설 당시 수몰되었던 단양군 단성면 일대는 옛 건물의 터가 드러났다.

유람선 관광객은 60% 감소하였고, 인근 식당이나 상점 또한 영향을 받아 관광산업체와 상인들 모두 가뭄으로 인해 생계의 위협을 받은 것으로 조사되었다.



a) 2013년 6월

b) 2015년 6월

[그림 9] 충주호 상류 인공위성 사진

### 3) 2015년 보령댐의 가뭄피해

- 보령댐유역의 2015년 일강우 누적 강우량은 1,022.8mm로 1988년부터 2014년까지 17년 평균 강우량 1414.4mm의 72.3%에 불과하였으며 2015년 1월 1일부터 11월 11일까지 충남 지역(대전·세종 포함)의 누적 강수량은 668.5mm로, 같은 기간 평년 1981년부터 2010년까지 강수량 1,221.9mm의 56.4%에 불과하였다. 2015년 10월 30일 기준으로 저수율 19.7%를 기록하였으며 예년의 33%(기준일 23.07백만 톤, 예년 70.2백만 톤)밖에 없었으며 과거 최저저수량 2014년 45백만 톤과 비교해서도 21.93백만톤이 부족하였다.
- 2015년 7~10월 마른홍수기가 진행됨에 따라 보령댐의 저수량 확보에 문제가 발생하기 시작하였으며 지속되는 가뭄으로 수위감소에 따라 용수 부족현상이 발생하고 생활용수 공급의 차질이 우려하고 있어 국토부, K-water, 해당 지자체가 합동하여 가뭄을 극복할 대책으로 댐 공급조정, 급수체계조정, 제한급수 등 단계별로 대응계획을 수립하고 추진하였다.

- 제한급수 단계는 총 3단계로 다음과 같으며 2015년 8월 18일 심각1단계에 돌입하여 실시하였으며 2016년 2월 15일까지 총 127일 만에 급수조정을 해제하였고 약 22일치에 달하는 규모의 404만 7,000톤을 절약한 것으로 집계되었다.
  - 1단계(심각 1단계) : 댐 공급(91%) 및 급수체계 조정(9%)으로 생·공용수 100% 공급
  - 2단계(심각 2단계) : 댐 공급(71%) 및 급수체계 조정(9%)으로 생·공용수 80% 공급
  - 3단계(저수위도달) : 댐 공급(66%) 및 급수체계 조정(9%)으로 생·공용수 75% 공급
- 2015년 11월부터 지속적으로 내린 비의 영향으로 11월부터 12월의 도내 강우량은 예년 대비 299%인 229.5mm로 집계됐으며 도민들의 물 절약 실천과 도와 시·군 등의 대체수원 개발 등 가뭄 대책 추진이 뒷받침되어 보령댐 저수율이 회복세로 돌아선 것으로 분석된다.



[그림 10] 바닥을 드러낸 보령댐 수문(2015년10월24일)

#### 4) 2015년 임진강유역 군남홍수조절지 담수 연장

- 2014년 1월 이후 임진강 유역의 강우량은 예년대비 41%에 불과한 실정이었다. 이에 따라 군남홍수조절지의 유입량은 예년 대비 20%에 불과하였고 2010년 군남홍수조절지 운영 이후 물 공급 여건이 최악의 상황을 보였다. 임진강 유량 감소로 인해 염해 피해가 발생함에 따라 본격적인 영농기가 시작되는 4월 10일 이후에는 임진강 중·하류 지역인 연천군, 파주시 등의 농업용수의 취수 장애가 예상되었다. 군남홍수조절지는 재해대책기간인 5월 15일부터 10월 15일까지 홍수 조절에 대비하여 완전히 비우고, 나머지 기간은 일정량 담수하여 유지용수를 공급하는데 임진강 유역의 강우 부족이 계속됨에 따라 관계기관 회의를 거쳐 군남홍수조절지의 담수기간을 5월 15일에서 6월 21일로 연기하여 가뭄 발생시 농업용수를 공급할 수 있도록 시스템을 개선하였다.<sup>40)</sup>

---

40) 국토교통부, 2015, “파주·연천 농업용수 확보 위해 군남홍수조절지 담수 연장”, 국토교통부 보도자료 (2015년 4월 8일)

### 3. 선행연구 검토

#### 가. 가뭄재난 관리를 위한 용수공급 피해 분석 및 대응 연구, 2014

##### 1) 주요 연구 내용

- 한국환경정책평가연구원 김연주 등(2014)은 가뭄으로 인한 용수공급 피해 및 대응 사례를 바탕으로 정책개선 방안을 도출하였으며 주요 연구 내용으로는 첫째, 가뭄관리 관련 국가 정책 및 법령을 연구하였다. 「국가안전관리 기본계획 (2015-2019)」을 비롯해 「자연재해대책법», 「하천법」 등을 통해 기존 가뭄관리를 위한 제도적, 정책적 기반을 연구하였다.
- 둘째, 2000년 이후 주요 가뭄 피해 및 대응 사례를 조사하고 분석하기 위하여 동두천시, 태백시, 서산시를 중심으로 용수공급 피해와 대응사례를 조사하였다. 그리고 지역에 충분한 수자원 가용량을 확보하고 있는가와 수자원 운용을 적절히 하고 있는가에 대한 논의와 가뭄 초기의 비구조적 대책의 강화가 필요하며 또한 적절한 제한 급수시작 시점에 관한 가이드라인이 필요하다고 제안하였다.
- 마지막으로, 도출된 시사점을 기반으로 관련 세부 정책을 확인하고 이의 개선에 관한 정책제언을 도출하였다. 저수량 등을 기준으로 한 가뭄 단계 기준을 설정하고, 이를 바탕으로 각 단계별 제한 급수량과 대책을 도출하는 방안이 필요하며 언제 감량 공급을 얼마나 하는지에 대한 정량적 가이드라인을 개발해야 하고 국회에서 계류 중인 갈수예보제의 시급한 시행을 제안하였다.

##### 2) 연구결과 검토

- 가뭄 정책들의 일반적인 나열과는 차별되어 유기적인 정책 개선 방안을 제시하였고, 주요 가뭄 사례를 깊이 있게 분석하였다. 가뭄에 대응하기 위한 정책방안을 찾기 위해 가뭄정보시스템, 가뭄 단계별 대응 정책, 갈수예보의 현황을 분석함을 통해 실질적인 가뭄대책 방안에 활용이 가능할 것으로 판단된다.



## 나. 국가 가뭄재해 상황관리 정보시스템 구축, 2013.04

### 1) 주요 연구 내용

- 국민안전처(전, 소방방재청, 2013)는 자연재해저감기술개발사업의 일환으로 전국단위 국가 가뭄재해 상황관리 정보시스템 구축하기 위해 2011~2012년까지 2년간 연구개발을 수행하였다. 1차년도에는 우리나라 가뭄관리 현황 조사분석을 통해 문제점을 도출하였고, 기후변화 시나리오를 분석하여 지역가뭄 평가를 위한 시나리오별 가뭄을 전망하였다. 섬진강, 영산강 유역에 대한 가뭄재해 관리 정보시스템을 구축하기 위해 각 유역에 맞는 실시간 RDI(전국의 실시간가뭄지수, Real time Drought Index) 계산모듈과 산출시스템을 구축하였다. 또한, 도서지역 및 마을 상수도 설치지역의 D/B를 구축하였다.
- 2차년도에는 시나리오 기반의 용수공급 부족량 추정기법을 개발하기 위하여 4개 대권역별 기후변화에 따른 물 수급 네트워크를 K-WEAP를 이용하여 물부족량을 추정하고 부족사상에 대한 지속기간을 회복도를 이용하여 평가하였다. 미래 물 부족량을 검토하기 위해 미래 2050년까지 50년간 권역별 부족량을 예측하였다. 전국을 대상으로 실시간가뭄지수(Real time Drought Index, RDI)의 정확성을 검증하기 위해 2008년 10월부터 2009년 3월까지 과거 가뭄기간에 대하여 RDI 등급 분류 기준에 따라 통합하여 산정하였다. 가뭄단계 기준 및 피해저감을 위한 수립방안으로 국내·외 가뭄단계별 대책사례를 조사하여 분석하였고 국가 가뭄관리센터 운영을 위한 법과 제도 활성화 방안의 필요성과 Action Plan을 작성하도록 제안하였다.

### 2) 연구결과 검토

- 우리나라의 강수특성을 고려한 통합 가뭄정보를 제공하고자 한국형 Drought Monitor(안)를 제시하였고 향후 효율적인 통합 가뭄관리에 활용하여 신뢰성 있는 통합가뭄정보를 생산함으로써 가뭄피해 저감대책에 활용하고 효율적인 가뭄관리를 할 수 있을 것이라 판단된다.

## 다. 기후변화 대응 물관리 정책방안 연구 —국토의 가뭄 취약성 및 정책방안을 중심으로—, 2011

### 1) 주요 연구 내용

- 국토연구원 심우배 등(2011)은 우리나라 수자원 현황 및 기후변화 영향을 전망하였는데 미래에 연평균 강수량은 전반적으로 증가할 것으로 전망되고 있으며, 낙동강유역이 가장 크게 증가할 것으로 예측하였다. 연평균 유출량은 한강과 낙동강권역에서 대체적으로 증가하는 반면, 금강과 섬진 영산강권역에서 감소할 것으로 전망하였다.
- 국내·외 가뭄대비 정책현황을 조사하였으며, 국내 가뭄대비 정책의 문제점으로 수자원장기종합계획, 기후변화 대응 미래 수자원 전략, 4대강 살리기 사업, 주요 지자체 수도정비기본계획 등 국내의 가뭄 정책현황을 검토하여 크게 4가지 문제점을 지적하였다.
- 첫째, 기후변화에 따른 지역별 가뭄 취약성을 고려한 정책, 둘째, 가뭄정책과 토지이용과의 연계, 셋째, 수자원 이용량 비중이 높은 농업용수 대책, 넷째, 유역차원의 종합적 수자원 계획이 부재하다고 검토하였다.
- 기후변화에 따른 국토의 가뭄 취약성 평가를 분석한 결과 미래(2100년대)의 기후노출은 수도권, 충청권, 영남권을 연결하는 경부축이 취약한 것으로 나타났고 현재보다 취약지역이 약 37% 증가하는 것으로 예측되었다. 가뭄 민감도는 광역상수도 미급수지역과 4대강 미취수지역인 경기도 북부, 강원도 및 전라남도 해안지역, 지리산 일대의 지자체가 취약한 것으로 분석하였다.

### 2) 연구결과 검토

- 기후변화에 따른 국토의 가뭄 취약성을 현재 취약성과 미래 취약성으로 구분하여 분석하였는데 미래의 토지이용에 따른 가뭄시스템의 변화를 예측할 수 있는 지표의 도출과 정량화가 필요할 것이며, 수자원모델분석을 통해 수자원 계획을 수립하는데 활용할 수 있도록 구체적 정책제언이 필요하다고 판단된다.

## 라. 기후변화에 따른 극한가뭄대책 및 수자원확보 방안, 2011

### 1) 주요 연구 내용

- 한국기후변화대응연구센터 이상신(2011)은 강원도 시·군별 가뭄현황 및 기후변화 시나리오에 따른 가뭄예측을 통해 가뭄을 극복하기 위한 다양한 정책들에 대해 조사 분석하여, 향후 가뭄에 대한 대책마련의 필요성을 인지하고 가뭄 대책을 위한 다양한 정책 개발을 위한 기초 연구를 수행하였다.
- 행정구역 단위의 과거 가뭄지수를 분석한 결과 보통가뭄은 1~2년에 한번씩 발생하고 있으며 극한가뭄은 30년 동안 평균 1~2회 정도 발생하였음을 분석하였다. 미래 기후변화 시나리오(A1B)에 따른 장·단기 SPI결과를 비교한 결과 단기 SPI에서는 약한 가뭄의 발생빈도가 증가하지만 보통가뭄의 발생빈도는 줄어들었으며 장기 SPI에서는 약한 가뭄 및 보통의 가뭄 발생빈도가 증가하는 경향을 분석하였다.
- 가뭄관리지수에 의한 2030년대, 2080년대 장·단기 가뭄관리 주의와 우려지역을 분석한 결과 고성군, 속초시, 태백시, 동해시는 전 기간에 대해 가뭄관리가 요구되는 것으로 판단하였으며, 정선군과 양양군은 단기가뭄에 홍천군은 장기간의 가뭄에 주의를 기울여야 하는 것으로 분석되었다.
- 가뭄에 대비하는 방안으로 14가지 수자원 확보방안을 모색하고 AHP분석을 통해 우선순위를 설정하여 법적, 정치-행정-기술적 실현가능성을 평가한 결과 상수도 누수방지와 절수기기 보급 확대방안이 가장 실현가능성이 높은 것으로 분석되었다.

### 2) 연구결과 검토

- 가뭄대책 사업으로 용수 수요관리, 용수 공급관리와 LID기술 적용대책 등 3개 분류 14개 사업에 대한 실현가능성 분석 실시하였으며 제시된 정책실현가능성 우선순위 적용시 기초지자체별 현황 및 주민요구사항 등을 고려하여 정책의 추진이 가능할 것으로 판단된다.



## 제3장 보령댐 운영 현황 분석

### 1. 보령댐 운영 현황

- 보령댐은 충청남도 서해안 지역의 부족한 수자원을 안정적으로 확보하기 위하여 1996년 10월 준공하였으며 충남 보령시 미산면 용수리와 주산면 동오리에 위치해 있다. 중심 코아형 석괴댐으로 전력생산을 동반하는 다목적댐이다. 높이 50m 길이 291m의 규모에 총저수량은 1억 1,690만 $m^3$ 이다.
- 유역면적은 163.6 $km^2$ 의 비교적 적은 규모로 보령시의 외산면, 미산면, 성주면이 해당된다. 연간용수 공급량은  $106.6 \times 10^6 m^3$ 이며 저수면적은 계획홍수위 기준으로 5.8 $km^2$ 이고, 계획홍수위는 75.5 EL.m, 상시만수위는 74.0 EL.m, 홍수기제한수위는 74.0 EL.m, 월류정표고는 64.0 EL.m이다.
- 유효저수량이  $108.7 \times 10^6 m^3$ 이며 연간용수공급량은  $106.6 \times 10^6 m^3$ 으로 연간용수공급량 대비 유효저수량 비율은 1.02의 규모이다.

[표 14] 보령댐 운영현황<sup>41)</sup>

구분	하천	형식 <sup>42)</sup>	높이(m)	길이(m)	정상표고(EL,m)	체적(천m³)
댐	웅천천	E.C.R.D	50	291	79	1,116.00
구분	유역면적(km²)			연간용수공급량(m³)		
유역	163.6			106.6		
저수지 <sup>43)</sup>	계획홍수위		상시만수위	홍수기제한수위	월류정표고	저수위
5.8 km²	75.5 EL.m		74.0 EL.m	74.0 EL.m	64.0 EL.m	50.0 EL.m
총저수량(10 <sup>6</sup> m³) <sup>44)</sup>			유효저수량(10 <sup>6</sup> m³)		홍수조절용량(10 <sup>6</sup> m³)	
116.9			108.7		10	

41) 한국수자원공사, [www.kwater.or.kr](http://www.kwater.or.kr)

42) 댐형식 : E.C.R.D : Earth Core Rock Fill Dam

43) 저수면적 산정 기준 : 다목적댐은 계획홍수위 기준, 용수댐은 상시만수위 기준

44) 총저수량 : 계획홍수위 기준 저수량

- 보령댐은 163.6km<sup>2</sup>의 상당히 적은 유역 면적에서 수원을 확보하여 2013년 기준 8개 시·군에 연간 9천만m<sup>3</sup>을 공급하고 있어 연간 약 1억 6백만m<sup>3</sup> 공급능력의 84%를 공급하였다. 보령댐의 용수공급능력과 유효저수용량이 거의 같아 안정적인 강우와 댐 유역의 용수 차집이 불가능한 경우, 1년의 한해로도 충청남도 서부 지역의 수자원 공급에 심각한 차질을 일으킬 수 있다.
- 보령댐 운영방식은 일정률 63% 일정량 1,198m<sup>3</sup>/s에서 2009년 치수능력 증대 사업이후 일정률 56.8% 일정량 1,154m<sup>3</sup>/s로 변경되었으며 200년빈도 홍수량 1,898m<sup>3</sup>/s과 무피해방류량 100m<sup>3</sup>/s을 초기방류로 운영하고 있다.
- 보령댐 설계시 작성된 보령댐 타당성조사보고서에 의하면 보령댐 규모는 용담수 위관측소의 실측자료로부터 산정하여 목표연도 2009년에 대하여 물부족량 106.6백만m<sup>3</sup>을 산정하였고, 경제성 분석을 통하여 116.9백만m<sup>3</sup>로 결정되었다. 보령댐 설계시 1967년부터 1988년까지와 댐 준공후 1998년부터 2015년까지 평균 유입량을 비교하면 댐 준공후 평균유입량은 설계 대비 5.03%(0.20m<sup>3</sup>/s) 증가하였다.

[표 15] 보령댐 평균 유입량 현황(단위 : m<sup>3</sup>/s)

구분		1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	평균
설계시 <sup>45)</sup> (1967~1988)		1.42	1.99	2.79	3.81	2.58	3.68	10.87	8.72	5.80	2.10	2.03	1.78	3.98
준공후 <sup>46)</sup> (1998 ~ 2015)	월 평균	0.63	0.98	1.07	2.21	2.92	3.83	14.47	12.17	8.20	2.17	0.73	0.74	4.18
	표준 편차	0.57	0.96	0.88	2.10	2.69	4.03	10.50	10.27	7.90	3.11	0.77	0.90	1.7
증(-)감		-0.79	-1.01	-1.72	-1.60	0.34	0.15	3.60	3.45	2.40	0.07	-1.30	-1.04	0.20

45) 국토교통부, 1990, 보령댐 타당성조사보고서

46) 한국수자원공사, ㈜홍익기술단, 2016, 기존 수자원 효율적 활용방안(한강수계, 보령댐) 자문보고서

## 2. 보령댐 용수 공급 현황

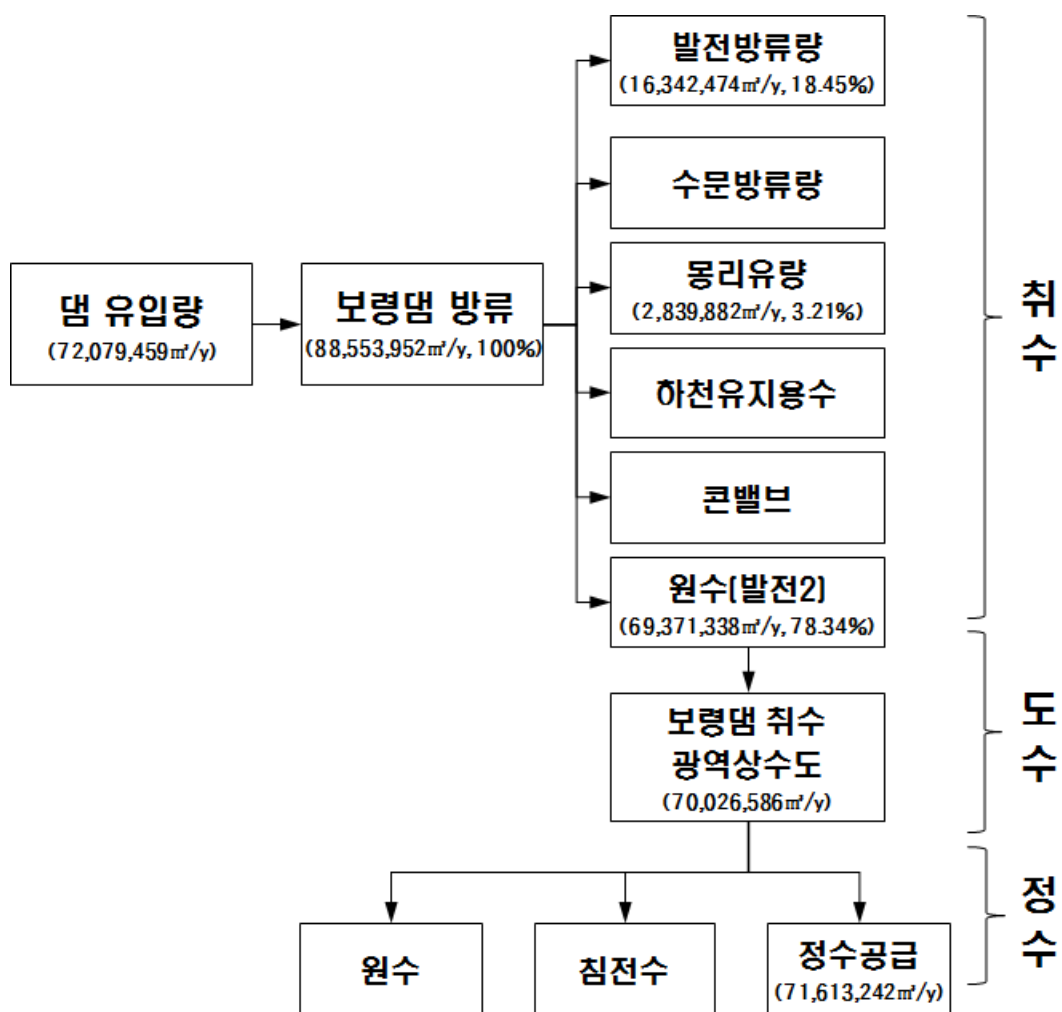
### 가. 보령댐 생·공용수 공급 현황

- 보령댐은 현재 보령시, 서산시, 당진시, 서천군, 청양군, 홍성군, 예산군, 태안군의 8개 시·군에 용수를 공급하고 있으며, 동서발전, 서부발전에 용수를 공급하고 있다. 시·군중에서는 서산시가 연간 1.8천만 $\text{m}^3$ 으로 가장 많은 수량이 공급되었으며 청양군이 1.2백만 $\text{m}^3$ 으로 가장 적게 공급되었다.
- 보령댐광역상수도는 2014년에 보령댐에서 70,026,586 $\text{m}^3$ /년 취수하였고, 전량 생활용수로 71,613,242 $\text{m}^3$ /년 공급하며 지자체에 연간 6.0천만 $\text{m}^3$ /년(84.02%), 공장 및 기타에 연간 1.1천만 $\text{m}^3$ /년(15.98%)를 공급하였다.

[표 16] 2014년보령댐 광역상수도 공급현황( $\text{m}^3$ /연)<sup>47)</sup>

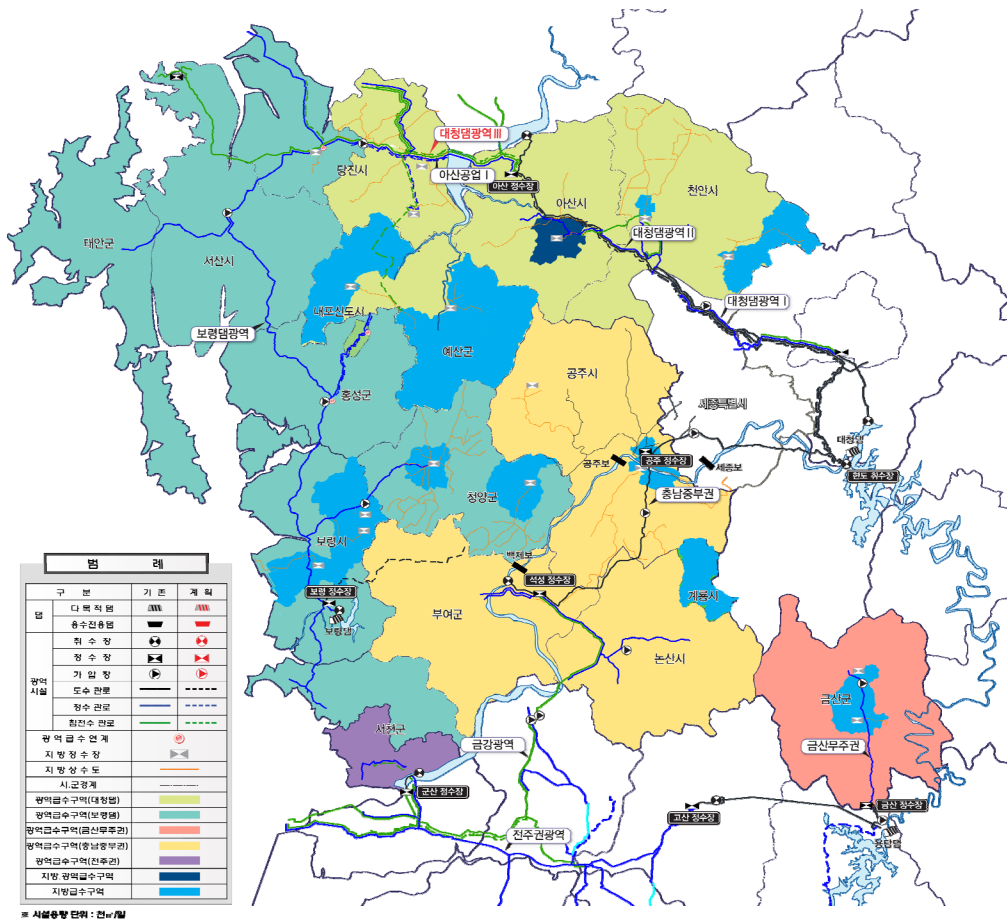
공급처	구분	배분계약량	실공급량
보령시	지자체	10,537,090	10,384,535
서산시	지자체	15,501,912	18,281,234
당진시	지자체	5,186,703	5,575,313
서천군	지자체	4,051,500	4,117,102
청양군	지자체	864,478	1,246,312
홍성군	지자체	7,738,000	11,174,394
예산군	지자체	1,671,700	1,883,150
태안군	지자체	6,778,200	7,507,798
동서발전 사택 등	기타	676,800	663,270
동서발전	공업	3,449,000	4,114,748
서부발전	공업	5,600,384	6,665,386
합계		62,055,767	71,613,242

47) 환경부, 2016, 2014년 상수도 통계연보



[그림 11] 2014년 상수도 통계에 의한 보령댐 방류 및 공급량

- 충청남도내 각 시군별 지방상수도와 광역상수도의 공급계통별 생공용수 공급 현황은 대청댐을 수원으로 하는 대청댐계통, 충남중부권 광역상수도, 용담댐을 수원으로하는 금산무주권광역, 전주권광역상수도 및 보령댐을 수원으로 하는 보령댐 광역상수도를 통해 공급받고 있다.



[그림 12] 충청남도 공급계통별 생공용수 공급 현황(2015)<sup>48)</sup>

48) 충청남도, 2015, 충남수자원종합계획

- [표 17]은 댐운영 계획의 이수부문인 월별 계획공급량으로 생·공용수는 2.9m<sup>3</sup>/s, 농업용수는 법정 홍수기 기간인 6월 21일부터 9월 20일까지 공급하였으며 하천 유지용수로 0.4m<sup>3</sup>/s씩 공급량을 계획하였다.

[표 17] 보령댐 월별 계획공급량 현황<sup>49)</sup>

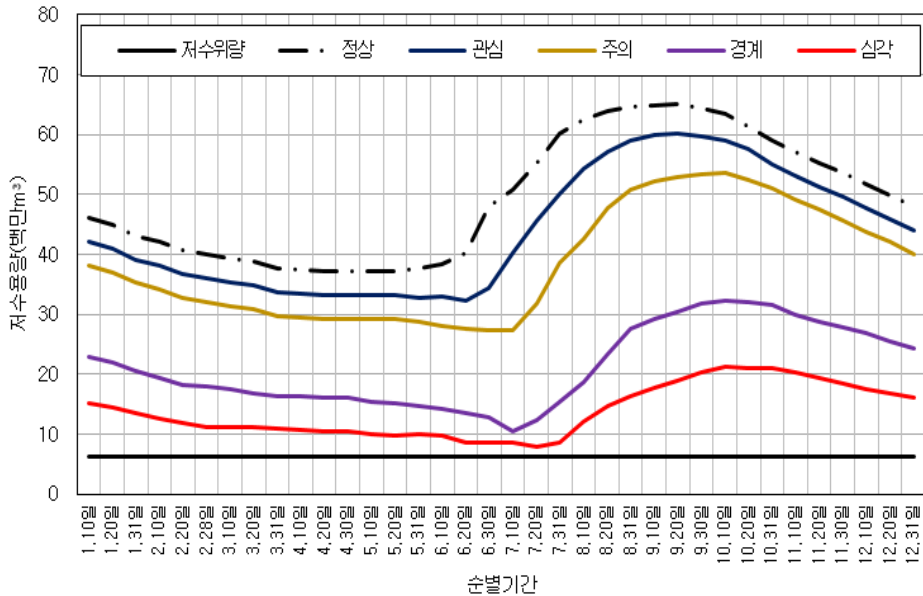
	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	평균/합계
생·공용수 (m <sup>3</sup> /s)	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9
농업용수 (m <sup>3</sup> /s)	0	0	0	0	0	0.7	0.4	0.5	0.3	0	0	0	0.2
유지용수 (m <sup>3</sup> /s)	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
계	m <sup>3</sup> /s	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	4.0	3.7	3.8	3.6	3.3	3.3	3.5
	백만m <sup>3</sup>	8.8	8	8.8	8.6	8.8	10.4	9.9	10.2	9.3	8.8	8.6	109.0

## 나. 보령댐 용수공급 조정체계

### 1) 용수공급 조정 기본 원칙

- 평상시 댐 용수공급의 기본방향은 수계 내 댐 간 연계운업을 통해 탄력적 댐 별 용수공급을 수행하여 용수공급능력에 부족이 발생하지 않도록 댐 간 균형을 맞추어 운영한다. 댐 저류량이 부족하여 댐 간 연계운업을 통해서도 수요량 공급이 어려울 경우, 단계별로 댐 공급량을 감량 조정하여 생·공용수 공급에 차질이 발생하지 않도록 조치해야 한다. 그러나 보령댐 유역에는 이와 같이 보조적·보완적 기능을 할 수 있는 다른 댐이나 수리시설이 존재하지 않고 있다.
- 댐 용수부족 시 대응단계는 4단계(관심, 주의, 경계, 심각)로 설정하고, 각 단계 별 기준저수량 및 용수공급 환원을 위한 기준저수량을 사전 설정하는데 용수 수요량이 크게 변동될 경우에는 기준저수량의 재설정이 필요하며 댐 별 시점별 기준저수량은 [그림 13]과 같다.

49) 한국수자원공사, ㈜홍익기술단, 2016, 기준 수자원 효율적 활용방안(한강수계, 보령댐) 자문보고서

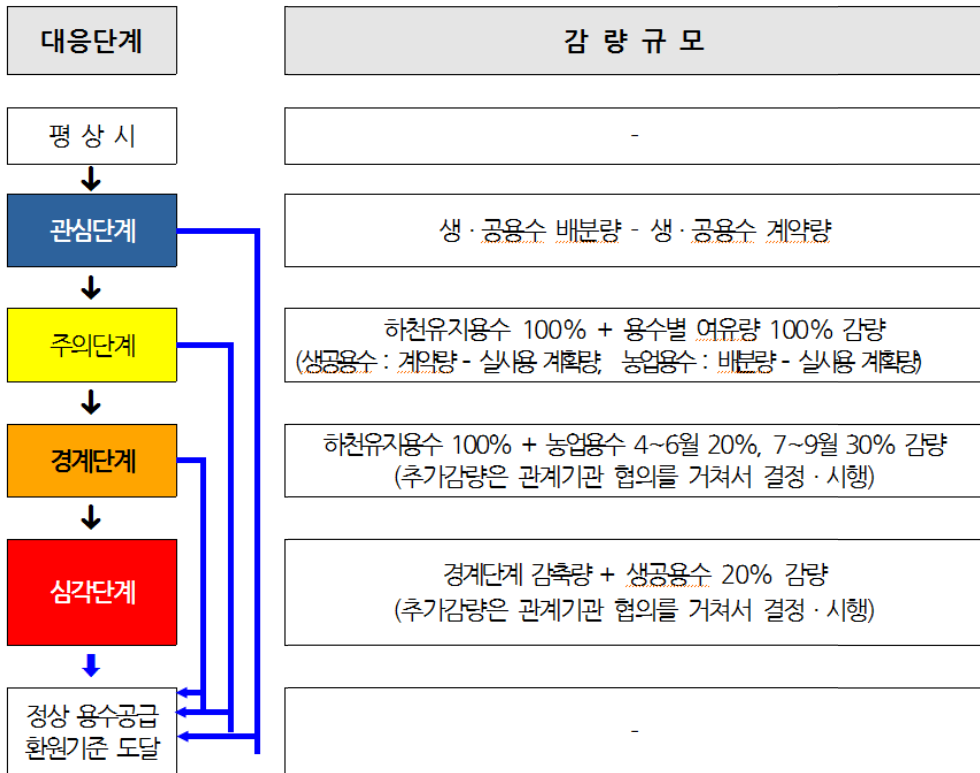


[그림 13] 보령댐 용수공급 조정기준<sup>50)</sup>

- 댐 별 확보저수량이 단계별 기준저수량에 도달할 경우에는 사전에 산정된 초기 감축량을 기준으로 수계별 ‘댐보연계운영협의회’에서 용수공급 감축량을 논의하여 용수공급 감량을 실시하고 비상용수공급 대응체제로 전환하는데 수계별 ‘댐보연계운영협의회’ 개최시에는 15일전에 협의회 참여기관과 협의 시행한다. 댐 관리자가 관계기관과 협의시에는 용수공급 필요 감축량과 예상되는 감축기간을 제시하고 각 기관의 의견을 수렴한다. 단계별 용수공급 조정순서는 [하천유지용수→농업용수→생·공용수] 순으로 한다.
- 주의단계 이상 발령으로 용수공급 감량조정이 시작되면, 이후 댐 저수량이 정상 용수공급 환원기준에 도달할 때 까지 감량을 지속하며 관계기관에서 감량분의 조정 요청이 있을 경우 수계별 ‘댐보연계운영협의회’에서 용수공급량 조정 여부를 결정시행한다.
- 감량조정 후에는 댐 저수량과 용수공급 가능기한을 상시 모니터링하여 관계기관과 공유하고 해당 내용을 한국수자원공사와 홍수통제소 홈페이지에 공시하며 댐 저수량이 정상 용수공급 환원기준 이상으로 비축될 경우에는 수계별 ‘댐보연계

50) 한국수자원공사 물관리센터 수자원개발과, 2016, 댐 용수부족 대비 용수공급 조정기준 개선 (안)

운영협의회'에서 용수공급의 정상 환원 여부를 결정·시행하고 각 대응단계 이상 기준 저수량 일부 회복에 따른 관계기관 생·공용수 및 농업용수 우선 환원 요청 시, '댐보연계운영협의회'에서 용수공급량 환원 여부를 결정·시행한다.



[그림 14] 댐 용수공급 감량규모<sup>51)</sup>

51) 한국수자원공사 물관리센터 수자원개발과, 2016, 댐 용수부족 대비 용수공급 조정기준 개선 (안)



## 2) 단계별 대응 조치

- 관심단계에서 댐 관리자는 댐 저수량이 관심단계 기준저수량으로 저하될 경우 댐 용수공급량중 생·공용수 미 계약량을 감량 조정한다. 댐 공급량은 생·공용수 계약량 + 농업용수 배분량 + 하천유지용수 배분량을 합한 양으로 댐 용수수급 상황(저수량, 유입량) 등 상시 모니터링 및 현황을 공유한다.
- 주의단계에서 댐 관리자는 댐 저수량이 주의단계 기준저수량에 도달할 경우, 국토교통부 장관에게 현황을 보고하고 사전에 산정된 필요 감축량을 기준(하천유지용수 100%와 댐별 용수여유량)으로 수계별 ‘댐보연계운영협의회’에서 용수공급 감축량을 논의하여 감량 공급 시행한다. 보령댐 운영여건에 따른 용수여유량 감축기준을 살펴보면 농업용수 여유량 전량을 감량하며 홍수통제소 허가량 등을 기준으로 농업용수 사용자의 선제적 추가감축 계획을 반영한다. 또한, 댐 용수공급 조정현황 등 보도자료를 배포(국토교통부·한국수자원공사)하며 감량 후 관계기관에서 공급량 감량분의 조정요청이 있을 경우에는 ‘댐보연계운영협의회’를 개최하여 감량조정 여부 및 조정량을 결정 및 시행하고 댐 용수수급상황 모니터링 및 필요시 용수수급상황실을 운영(국토교통부·한국수자원공사)한다.
- 경계단계에서 댐 관리자는 댐 저수량이 경계단계 기준저수량에 도달할 경우, 국토교통부 장관에게 현황을 보고하고 농업용수 초기 감축량을 기준(벼 생육기를 고려한 월별 초기감축율)으로 수계별 ‘댐보연계운영협의회’에서 용수공급 감축량을 논의하여 결정·시행한다.

[표 18] 경계단계 댐 농업용수 감축율

구 분	4월	5월	6월	7월	8월	9월
초기 감축율(%)	20%	20%	20%	30%	30%	30%

- 농업용수 초기감축량은 주의단계 감축기준인 실사용 계획량을 토대로 산정하며 월별 농업용수 총량 범위 내에서 원활한 양수가 가능한 하천수위 확보를 위해 필요시는 탄력적으로 증감 조절 운영한다. 보령댐 도수로는 보령댐 저수량이 경계단계 도달 예상시 사전 준비하여 경계단계 도달시 가동하고 보령댐 도수로 가동이 시작

된 후 관심단계로 댐 저수량 회복시 종료한다. 댐 용수공급량의 추가감량이 필요할 경우에는 국토교통부 장관에게 현황을 보고하고 수계별 ‘댐보연계운영협의회’에서 논의하여 추가 감량 시행하며 용수수급상황실을 운영(국토교통부·한국수자원공사)하고 댐 용수공급 조정현황 등 보도자료를 배포(국토교통부·한국수자원공사)한다. 감량 후 관계기관에서 공급량 감량분의 조정요청이 있을 경우에는 ‘댐보연계운영협의회’를 개최하여 감량조정 여부 및 조정량을 결정하고 시행하며 댐 관리자는 매일 댐 용수공급현황을 모니터링하여 국토교통부 장관에게 보고하고 관계기관에 공유한다. 댐 하류의 농업용수 이용상황에 대한 모니터링을 위해 한국농어촌공사 등 농업용수 사용자와 비상연락망을 유지·운영하고 농업용수 이용현황 공유한다. 저수량이 낮아져 심각단계 도달이 예상될 경우에는 댐 관리자는 국토교통부장관에게 현황을 보고하고, 관계기관의 생·공용수 감량 준비를 요청한다.

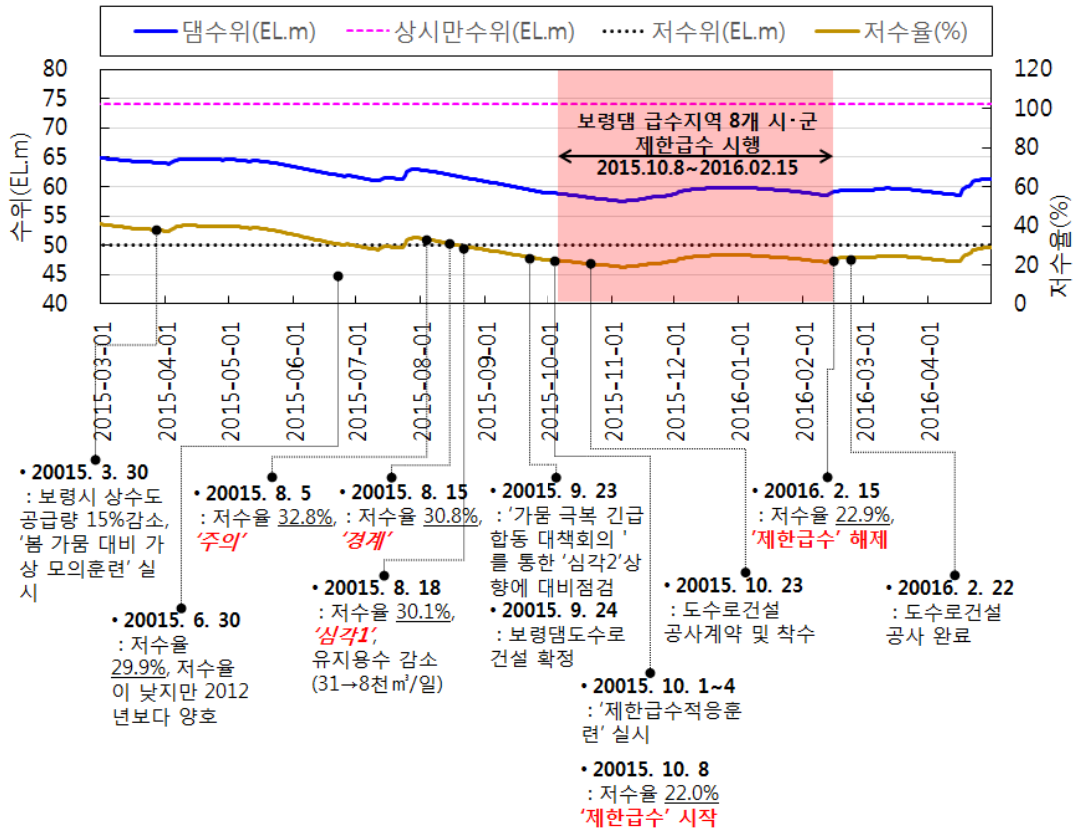
- 심각단계에서 댐 관리자는 댐 저수량이 심각단계 기준저수량에 도달할 경우, 국토교통부 장관에게 현황을 보고하고 수계별 ‘댐보연계운영협의회’에서 초기 감축량(생·공용수의 20%)을 기준으로 용수공급 감축량과 자율 급수조정 등 감축시행방안을 논의하여 댐 별 생·공용수의 감량 시행한다. 용수수급상황실을 운영(국토교통부·한국수자원공사)하고 댐 관리자는 매일 댐 용수공급현황을 모니터링하여 국토교통부 장관에게 보고하고 관계기관에 공유한다. 댐관리자는 심각단계 이후에도 지속적인 저수량 저하 또는 댐 저수위 도달이 예상될 경우 댐 저수위 이하의 댐 비상용량 활용을 위한 추가 대책을 마련하며 댐 용수공급량의 추가감량이 필요할 경우에는 국토교통부 장관에게 현황을 보고하고 수계별 ‘댐보연계운영협의회’에서 논의하여 추가 감량을 시행한다. 댐 용수공급 조정현황 등 보도자료를 배포(국토교통부·한국수자원공사)하며 댐 하류의 농업용수 및 생·공용수 이용상황에 대한 모니터링을 위해 댐의 용수공급조정으로 영향을 받는 구간은 취양수기관 관리자와 비상연락망을 유지·운영하여 매일 취양수현황을 공유한다. 저수량이 경계단계 이상 일부 회복될 경우, 생·공용수 우선 공급환원 여부는 수계별 ‘댐보연계운영협의회’에서 논의하여 결정한다.
- 용수공급 환원에서 댐 관리자는 감량 후 댐 저수량이 정상 용수공급 환원 기준저수량까지 비축될 경우 국토교통부 장관에게 현황을 보고하고 수계별 ‘댐보연계운영협의회’는 용수공급의 정상 환원 여부를 결정·시행하며 댐 상하류 홍수피해방지를 위한 수위조절이 필요할 경우 국토교통부 장관에게 현황을 보고하고 용수공급을 정상으로 환원한다.

## 다. 2015년 보령댐 저수 현황

- 2015년 3월 당시 충남도 내 223개 저수지의 평균 저수율은 92.7%로 최근 10년 평균 저수율(91%)보다 높았고, 5월 모내기 완료 시까지 농업용수 공급에 문제가 없을 것으로 판단했다.
- 3월 30일에는 보령시가 상수도 공급량을 15% 줄이는 상황과 예당저수지 저수율이 70%로 감소하여 농업용수 부족이 발생하는 상황을 가정하여 충남도 주관으로 ‘봄 가뭄 대비 가상 모의훈련’을 실시하였다
- 2015년 5월까지만 해도 심각한 가뭄이 우려되는 상황은 아니었다. 충남도 내 농업용저수지의 평균 저수율이 49.6%에 불과했으나 모내기가 대부분 완료된 상황 이었고, 댐저수율이 대청댐 43.9%, 용담댐 37.9%, 보령댐 33.7%로 낮았으나 7 월초까지는 안정적 용수공급이 가능할 것으로 판단했다.
- 보령댐의 저수율이 2015년 6월 1일 35.5%에서 6월 30일에는 29.9%로 낮아졌지만, 강수량이나 저수지 저수율 모두 2012년보다는 양호한 상황으로 판단했다.
- 충남도의 6~9월 평균강수량은 500~700mm 이상이었지만 2015년 6월부터 8월 25일까지 강수량은 300mm에도 미치지 못했다. 가을철(9~11월)의 강수량 또한 평년과 비슷한 수준으로 전망하여 댐 저수율이 크게 높아지는 것을 기대하기 어려운 상황이라고 판단했다.
- 8월 5일 32.8% 시점에서 ‘주의’단계를 발령했으며, 8월 15일 30.8% 시점에서 ‘경계’단계로 격상되어 농업용수의 탄력적 감량이 시작되었고, 지속적으로 저수율이 회복되지 못함에 따라 8월 18일 30.1% 시점에서 ‘심각I’단계로 격상하여 하천유지용수를 기존의 31천m<sup>3</sup>/일에서 8천m<sup>3</sup>/일로 줄여 방류하기 시작하였다.
- 8월 31에는 27.8%, 9월 22일에는 23.9%로 9월 23일 ‘가뭄 극복 긴급 합동 대책회의’를 개최하여 당시 ‘심각I단계’인 용수공급 위기단계가 10월에 ‘심각II단계’로 상향되는 것에 대비 가뭄대책을 점검하였다.
- 충남도는 10월 1일부터 가뭄대책본부를 가동하여, 제한급수가 실시되는 충남 8 개 시·군의 도민 피해 최소화를 위해 관련 부서 간 연계 및 정보 공유, 핫라인 유지 등의 역할을 수행하고 제한급수에 대비해 10월 1일부터 4일까지 제한급수에

대비해 제한급수적응훈련을 실시하였다.

- 10월 8일 저수율 22.0% 였으며 보령댐 급수지역 8개 시·군에 대한 급수조정을 시행하였다. 단수 없이 감압급수 방식으로 생·공용수 공급량을 22만톤/일에서 18만톤/일로 20% 감축하였다.
- 2015년 10월 중에도 보령댐 저수율은 계속 낮아져 11월 6일에는 18.9%까지 떨어졌지만 이후 11월부터 연이어 눈비가 내리면서 보령댐 저수율은 20% 수준으로 높아졌다. 11월~12월 충남도 강우량은 예년 대비 299%인 229.5mm에 달했으며 12월 말 보령댐의 저수율은 25.1%까지 높아졌고, 2016년 1월에도 20% 이상의 저수율을 유지하였다.
- 2016년 2월 15일에는 저수율이 22.9%로 회복되었으며, 심각 단계에서 경계 단계로 용수공급 조정기준이 완화되었고 2015년 10월 8일부터 2016년 2월 15일까지 총 127일 만에 급수조정을 해제하였고 급수조정 전 정상공급량이 1일 18만 2,500톤인 점을 감안하면, 22일치에 달하는 규모인 404만 7,000톤을 절약하였다. 또한, 절수지원금으로 2015년 11월부터 2016년 1월말까지 34억 1,000만 원을 지급하였다.



[그림 15] 최근 보령담 수위 및 저수율 변화(2015년 3월 1일~2016년 4월 30일)<sup>52)</sup>

52) 한국수자원공사, [www.kwater.or.kr](http://www.kwater.or.kr)

## 라. 보령댐 이수안전도

- 수자원 공급시설이 용수 수요를 충족시킬 수 있는 물 공급의 안정성 정도를 이수 안전도라 하며, 이수안전도 설정시 일반적으로 어떤 용량을 갖는 수자원 개발시설에 대하여 공급량을 크게 하면 안전도는 저하되고, 반대로 안전도를 크게 할 경우 공급량은 감소한다.
- 댐 계획시 분석조건에 따라 이수안전도를 서로 다르게 적용하고 있으며 보령댐 설계시 작성된 보령댐 타당성조사보고서에 의하면 이수안전도 검토기간은 1967년~1988년까지 22개년에 1회 물 부족을 허용하는 이수안전도로 시공되었다.<sup>53)</sup>

[표 19] 기존댐 건설시 이수안전도

댐명	준공년도	검토기간	이수안전도	비고
보령댐	2000	'67~'88(21)	22개년에 1회 물부족 허용	연간단위 기간신뢰도
소양강댐	1973	'15~'39(24)	갈수량증가분 36m <sup>3</sup> /s 공급조건	
충주댐	1986	'66~'83(17)	18개년에 1회 물부족 허용	연간단위 기간신뢰도
횡성댐	1999	'63~'88(25)	26개년에 1회 물부족 허용	연간단위 기간신뢰도
안동댐	1977	'58~'68(10)	'67년~'68년 갈수조건시 100% 보장공급	
대청댐	1981	'58~'70(12)	13개년 간 100%보장	
임하댐	1993	'63~'83(20)	100% 보장공급	
합천댐	1989	'69~'81(12)	'67년~'68년 갈수조건시 100% 보장공급	
광동댐	1989	'61~'83(22)	23개년에 2회 물부족 허용	연간단위 기간신뢰도
달방댐	1990	'53~'85(32)	33개년에 2회 물부족 허용	연간단위 기간신뢰도
남강댐	1999	'76~'86(10)	'77년 갈수조건시 100% 보장공급	
밀양댐	1999	'73~'87(14)	15개년에 1회 물부족 허용	연간단위 기간신뢰도
용담댐	1999	'63~'88(25)	'67~'68년, '82~'83년기준갈수에 대한 100%보장공급	
장흥댐	2006	'66~'93(27)	28개년에 2회 물부족 허용	연간단위 기간신뢰도
감포댐	2006	'66~'97(31)	32개년에 2회 물부족 허용	연간단위 기간신뢰도
평림댐	2007	'75~'96(21)	22개년에 2회 물부족 허용	연간단위 기간신뢰도
성덕댐	2014	'66~'02(36)	37개년에 1회 물부족 허용	연간단위 기간신뢰도
영주댐	건설중	'77~'08(31)	32개년에 2회 물부족 허용	연간단위 기간신뢰도

53) 한국수자원공사, ㈜홍익기술단, 2016, 기존 수자원 효율적 활용방안(한강수계, 보령댐) 자문보고서

## 1) 이수안전도 지표

- 이수안전도 검토를 위한 저수지 모의운영의 기본 개념과 신뢰도, 회복도, 무차원 취약도는 다음 식에 의해 계산하며 자료 입력기간에 대하여 순차적인 계산을 수행하게 된다. 저수지 모의운영에서 계획공급량 공급여부를 판단하여 계획공급량 미공급시 물부족으로 계산하게 된다.

$$St = St-1 + It - Ot \quad \text{여기서,} \quad \begin{aligned} St &: \text{저류량}(t \text{ 시점}) \\ St-1 &: \text{저류량}(t-1 \text{ 시점}) \\ It &: \text{유입량}(t \text{ 시점}) \\ Ot &: \text{방류량}(t \text{ 시점}) - \text{공급량 및 무효방류량} \end{aligned}$$

- 기간신뢰도(%) =  $\left[1 - \frac{\text{용수부족기간수}(Ts)}{\text{총 분석기간수}(Tn)}\right] \times 100\%$   
 $= \frac{\text{용수공급기간수}(Tsp)}{\text{총 분석기간수}(Tn)} \times 100\%$
- 공급량단위 신뢰도(%) =  $\left[1 - \frac{\text{공급부족량}(Qs)}{\text{계획공급량}(Qp)}\right] \times 100\%$   
 $= \frac{\text{용수공급량}(Qsp)}{\text{계획공급량}(Qp)} \times 100\%$
- 회복도( $\gamma$ ) =  $\max_j \text{용수부족기간}(j)^{-1}$
- 무차원 취약도( $\nu$ ) =  $\frac{\nu'}{\frac{\text{실패기간동안 계획공급량}}{\sum(\text{실패지속기간중 최대부족량})}}$   
 $= \frac{\nu'}{\text{실패사상의 수}}$

## 2) 용수공급능력 평가

- 용수공급능력은 설계시 및 댐 준공후 유입량 자료를 이용하여 과거 설계시 방법으로 산정되었고, 댐재평가 기준에 의하여 저수지 모의운영을 실시하여 비교 검토되었다. 과거 설계시 방법 적용시 용수공급능력은 저수지 모의운영 방법에 의해 산정되었다.

- 보령댐 용수공급능력 분석결과 설계시 유입량 적용시 110.7백만 $m^3$ /년으로 검토되었으며, 댐 준공후 유입량 적용시 105.3백만 $m^3$ /년으로 검토되어 5.4백만 $m^3$ /년 감소하였다. 이는 용수공급능력에 영향을 주는 최갈수기간평균 유입량이 설계시 2.67 $m^3/s$ 에서 댐 준공후 1.53 $m^3/s$ 로 1.14 $m^3/s$  감소하고, 비홍수기 유입량(2.31 → 1.43 $m^3/s$ , 감38%)이 감소한 것이 주요 원인으로 검토되었다.

[표 20] 보령댐 설계시 방법 적용시 및 저수지 모의운영시 용수공급능력<sup>54)</sup>

용수공급능력(백만m³/년)						연간 용수공급량 (기본계획 공급량)
설계시방법(월단위)			저수지 모의운영			
설계시 유입량	댐 준공후 유입량	증△감	설계시 유입량	댐 준공후 유입량	증△감	
107.3	105.7	△1.6(1.0%)	110.7	105.3	△5.4(5.0%)	106.6

- 용수공급능력 감소 원인을 파악하기 위하여 댐설계시에 비하여 댐 준공후 유출율을 검토한 결과 3.2% 감소하였다. 설계시 유출량은 수위관측소의 실측 수위자료를 미산식에 의하여 유출량으로 변환된 결과이다. 댐 설계시 유입량 산정은 앞서 검토한 것처럼 수위자료를 유량자료로 변환시 문제, 댐 준공후 증발량 증가, 상류유역 토지이용 변화로 유출특성 변화, 댐 침투량 발생 등 다양한 변수가 있으므로 향후 정밀한 원인분석이 필요할 것으로 검토하였다.

[표 21] 보령댐 설계시 및 준공후 유출율 검토<sup>55)</sup>

구분	강수량		유출량		유출율 (%)	증△감 (%)
	연평균강수량 (mm)	자료기간	평균 유출량 (백만 $m^3$ /년)	자료기간		
설계시	1,245.0	1972~1988	125.5	1967~1988	63.6	△3.2
댐 준공후	1,356.7	1998~2015	137.5	1998~2015	60.4	

54) 한국수자원공사, ㈜홍익기술단, 2016, 기준 수자원 효율적 활용방안(한강수계, 보령댐) 자문보고서

55) 한국수자원공사, ㈜홍익기술단, 2016, 기준 수자원 효율적 활용방안(한강수계, 보령댐) 자문보고서

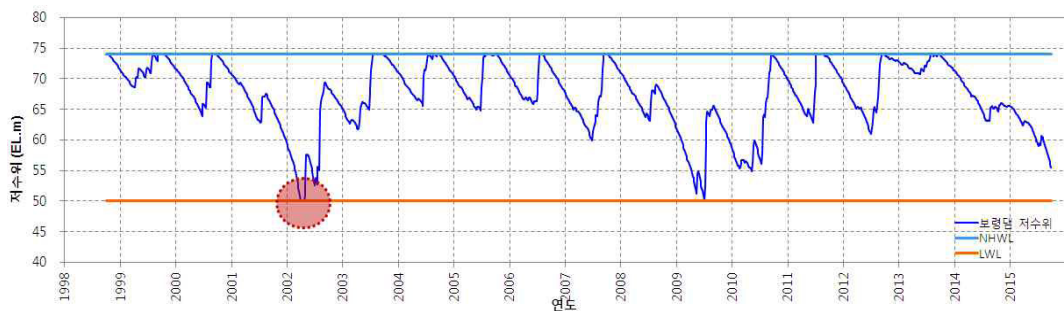


### 3) 이수안전도 분석

- 저수지 모의운영 방법에 대하여 이수안전도를 분석한 결과는 다음과 같다. 일반적으로 연간단위 신뢰도가 가장 널리 사용되고 있으나 물 부족량, 용수공급 실패 지속기간이나 부족심도를 나타낼 수 없다는 단점을 가지고 있으므로 공급량단위 신뢰도를 함께 검토되었다. 일반적으로 연간단위 신뢰도가 증가하면 공급량단위 신뢰도도 같이 증가하는데 보령댐의 이수안전도를 분석한 결과 공급량단위 신뢰도가 연간단위 신뢰도보다 크게 산정되었고, 댐에 대하여 계획공급량을 공급하는 조건으로 분석단위를 반순단위로 분석할 경우 수위변화를 분석한 결과 1회 물부족 구간이 발생하는 것으로 검토되었다.

[표 22] 이수안전도 분석 결과<sup>56)</sup>

시작	종료	전체기간 (반순)	총부족 기간 (반순)	부족횟수 (년)	부족량 (백만m <sup>3</sup> )	연간단위 신뢰도	공급량 단위 신뢰도	회복도	무차원 취약도
1998	2015	1224	4	1	3.6	0.944	0.998	0.25	0.249



[그림 16] 보령댐 반순단위 모의운영 결과<sup>57)</sup>

56) 한국수자원공사, ㈜홍익기술단, 2016, 기존 수자원 효율적 활용방안(한강수계, 보령댐) 자문보고서

57) 한국수자원공사, ㈜홍익기술단, 2016, 기존 수자원 효율적 활용방안(한강수계, 보령댐) 자문보고서

## 마. 보령댐 수자원 확보 대응 현황

- 보령댐 급수지역의 긴급한 수자원 공급을 위하여 국가정책조정회의가 2015년 9월 24일 국무총리실 주관으로 국무조정실, 기획재정부, 국토교통부 등 10개 부처 합동으로 개최되었으며, 보령댐 도수로 건설을 계획하였다.
- 취수장 1개소, 가압장 2개소, 도수관로 21km(D1,100mm)를 시공하며 금강 백제보 하류에서부터 보령댐 상류(반교천)까지 115천m<sup>3</sup>/일을 공급하기 위한 도수로를 설치한다. 총 사업비는 640억원으로 K-water에서 시공을 실시하였다.
- 2015. 9. 24 : 국가정책조정회의
  - 국무총리실 주관, 국무조정실, 기획재정부, 국토교통부 등 10개 부처
  - 보령댐 도수로 건설 확정
- 2015. 9. 24 : 국토교통부 주관 관계기관 실무회의
  - 도수로 공사 시행관련 인허가 협조 및 처리방안 협의
- 2015.10. 11 : 제1회 물관리협의회 개최
  - 국무조정실장 주재, 9개 부처
- 2015.10. 22 : 실시계획 승인 고시
- 2015.10. 23 : 공사계약 및 착수
- 2016. 2. 22 : 도수로 공사 완료 후 통수
- 2016. 3. 7 ~ 2016. 3. 31 : 보령댐 도수로 분기관로 설치공사 완료
  - 도수로 중간에 분기구 6개소 설치, 가뭄시 부여군(1,835ha)에 농업용수 공급

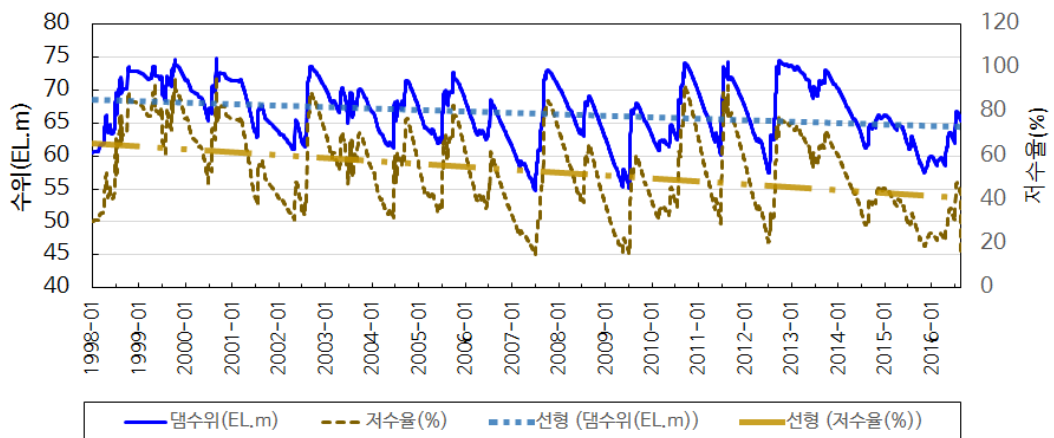


[그림 17] 보령담 도수로 건설공사 계획도

### 3. 보령댐 문제점

#### 가. 댐 저수율 감소변화

- 기상청에서는 2015년 7월23일 3개월 전국평균 기상전망을 실시하였는데 2015년 8월부터 10월까지 기온은 대체로 평년보다 낮은 경향을 보이고, 기온변화가 크고 8월에는 많은 비가 올 때가 있겠으나, 지역적인 차이가 크겠고, 9월과 10월에는 이동성 고기압의 영향으로 건조한 날이 많을 것으로 예측하였다.
- 하지만, 2015년 8월에서 9월 사이에 보령댐 유역의 강우량이 줄어들면서 저수율도 낮아졌으며 2007년 6월에 이어 역대 두 번째 최저수위를 기록하였다. 댐 준공년도인 1998년부터 최근 2016년 4월까지의 연평균 저수율을 분석한 결과 계속적으로 감소추세를 보이고 있으며 2015년 연평균 저수율이 2014년에 비해 25.2%감소한 것으로 조사되었다.



[그림 18] 보령댐 19개년간 댐수위 및 저수율 변화(1998년 1월~2016년 4월)<sup>58)</sup>

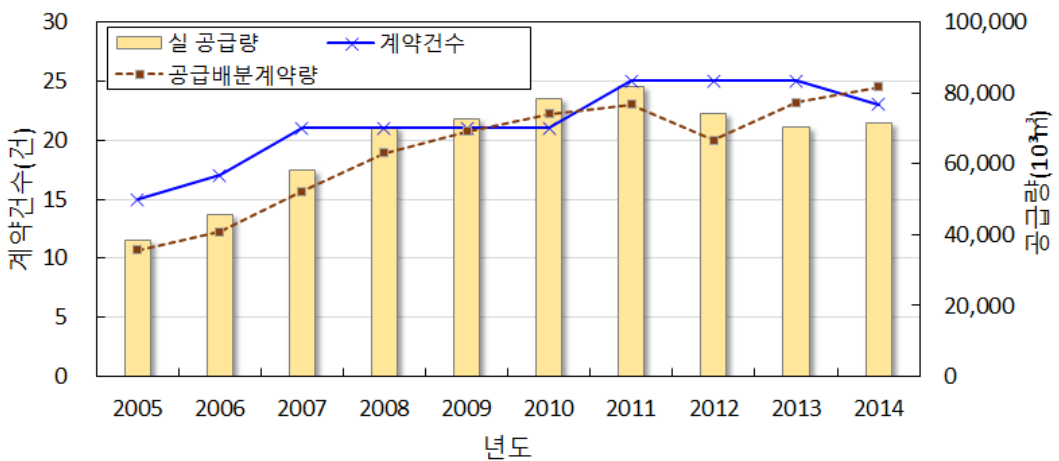
58) 한국수자원공사, [www.kwater.or.kr](http://www.kwater.or.kr)

[표 23] 보령댐 준공 후 19개년간 연별 수위 및 유량변화

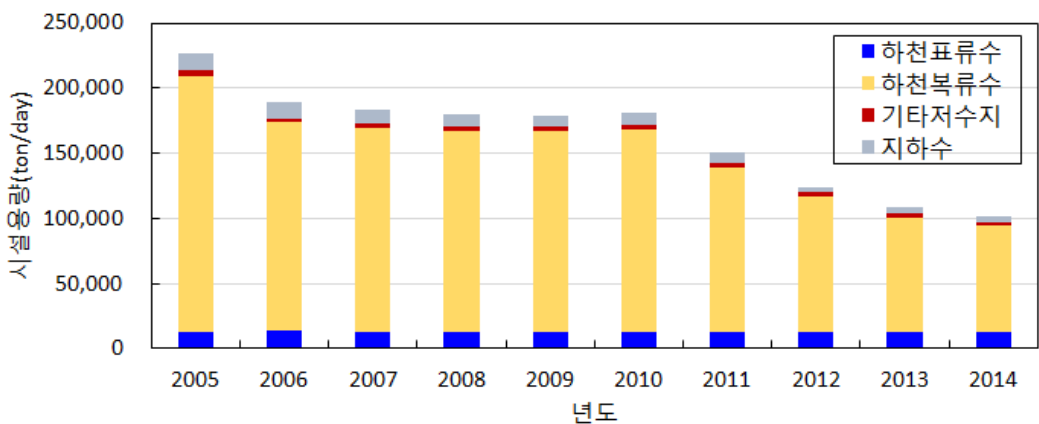
년도	저수위 (EL.m)	연평균 댐수위 (EL.m)	연평균 저수율 (%)	저수율 증감율 (%)	연평균 저수량 (백만m <sup>3</sup> )	연총 강우량 (mm)	연총 유입량 (m <sup>3</sup> )
1998	50	67.02	57.43	-	67	1,773.4	2,665.8
1999	50	72.06	80.42	40.0	93.93	1,550.2	1,921.0
2000	50	70.05	70.07	▼12.9	81.91	1,745.0	2,272.0
2001	50	67.09	56.39	▼19.5	65.92	868.0	589.5
2002	50	66.48	54.9	▼2.6	64.17	1,473.3	1,452.1
2003	50	68.32	61.44	11.9	71.81	1,441.3	2,309.2
2004	50	66.18	52.54	▼14.5	61.41	1,321.1	1,637.5
2005	50	66.92	55.91	6.4	65.35	1,628.3	2,031.3
2006	50	64.75	45.92	▼17.9	53.67	1,105.0	1,249.2
2007	50	63.32	43.93	▼4.3	50.99	1,510.7	1,682.2
2008	50	66.51	53.51	21.8	62.54	919.6	693.9
2009	50	61.9	36.57	▼31.7	42.75	1,233.4	1,067.2
2010	50	66.47	54.93	50.2	64.2	1,486.8	1,824.6
2011	50	67.76	59.83	8.9	69.86	1,971.6	2,812.2
2012	50	66.51	50.32	▼15.9	58.81	1,588.6	1,633.7
2013	50	71.57	65.55	30.3	76.63	1,338.6	1,228.9
2014	50	65.48	43.07	▼34.3	50.35	1,089.1	834.3
2015	50	62.18	32.23	▼25.2	37.67	1,022.8	697.8

## 나. 보령댐 광역상수도 용수 수요처 및 공급량 증가

- 충남지역은 내포 신도시와 발전소 및 산업단지 건설로 인해 용수 수요처와 공급량이 증가하고 있는 상황이며, 보령댐 광역상수도 과거 10년간 연공급량을 조사한 결과 2005년에 15개소에 38,253천m<sup>3</sup>/년의 용수를 공급하였지만 2014년에는 23개소에 71,613천m<sup>3</sup>/년의 용수를 공급하여 2014년의 공급량이 2005년에 비해 약 1.87배 증가하였으며 계약건수 또한 1.5배가 증가하였다.



[그림 19] 보령댐광역상수도 과거 10년간 연공급량 통계(2005년~2014년)

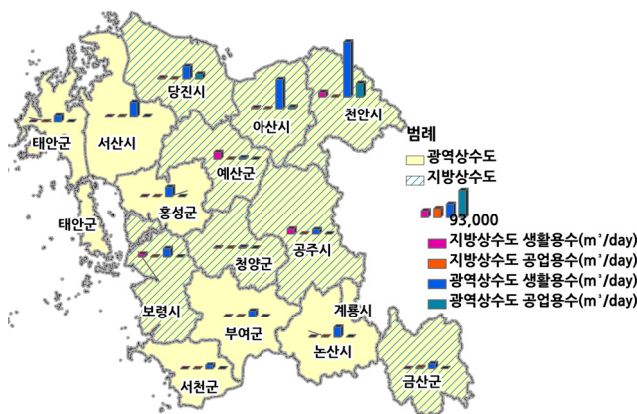


[그림 20] 충청남도 과거 10년간 취수시설용량 변화(2000년~2014년)

- [그림 20]에서 보는바와 같이 충청남도의 지방상수도 취수시설용량을 분석한 결과 2005년 227,250m<sup>3</sup>/일에서 2014년 101,700m<sup>3</sup>/일로 감소하여 광역상수도에 대한 의존도가 증가함을 알 수 있었다.
- 충청남도의 지방 및 광역상수도 급수현황을 살펴보면 2014년 기준 광역상수도 급수비율이 88.7%로 전국 광역자치단체 가운데 가장 높은 수준이며 8개 시·군(서산시, 논산시, 계룡시, 금산군, 부여군, 서천군, 홍성군, 태안군)은 광역상수도 급수비율이 100%를 차지하였다. 자체 정수시설을 가지고 있는 7개 시·군(예산군, 공주시, 보령시, 청양군, 천안시, 당진시, 아산시)가운데 예산군(82.4%)과 공주시(53.4%)만 50%를 상회하는 수준을 보인 것으로 조사되었다.[그림 21~22]



[그림 21] 2014년 충청남도 지방 및 광역상수도 이용률 분포현황



[그림 22] 2014년 충청남도 지방 및 광역상수도 용수이용량 및 비율 현황

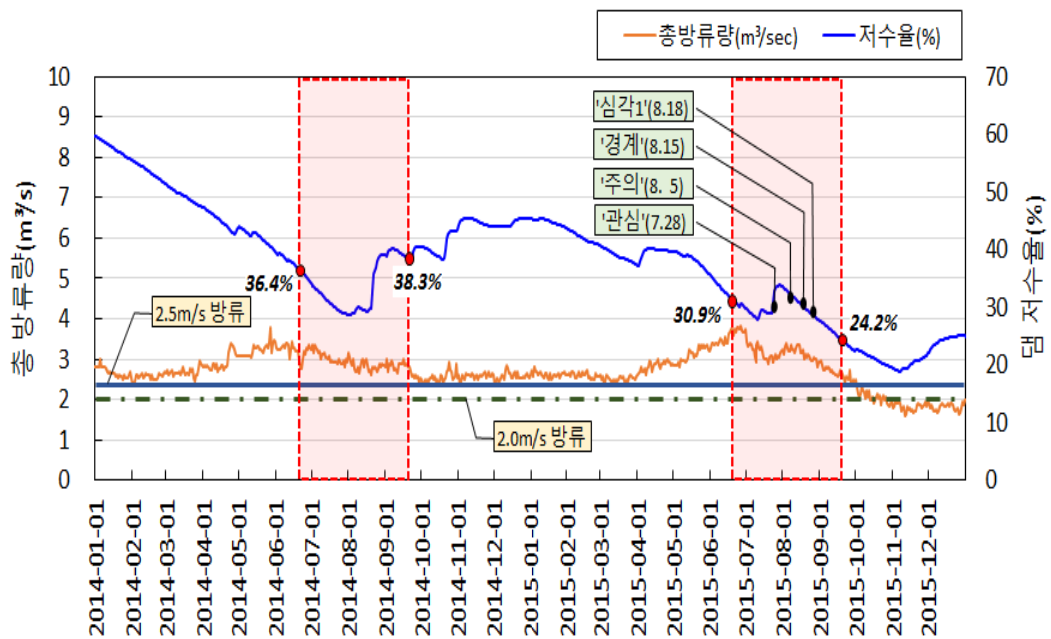
## 다. 홍수기 댐운영 적정성

- 법정 홍수기 기간인 6월 21일부터 9월 20일까지 홍수기 댐 운영의 적정성을 평가하기 위해 2.0m<sup>3</sup>/s와 2.5m<sup>3</sup>/s를 기준으로 초과 방류량을 산정하여 전체 저수량 대비 비율을 [표 24]와 같이 분석하였으며 유량기준 2.0m<sup>3</sup>/s일 당시에는 2014년보다 2015년 저수량대비 비율이 1.3 상승하였으며 유량기준 2.5m<sup>3</sup>/s일 인 경우에 2014년보다 2015년 저수량대비 비율이 1.3 상승하였다.
- 2014년보다 2015년에 홍수기 시작 시 저수율이 낮았고, 홍수기 저수량대비 비율이 상승하여 초과방류로 인해 저수율이 더욱 하강하였다. 이는 홍수기 주의단 계임에도 하천유지용수를 공급한 것으로 부적절한 댐운영이라 사료된다.
- 2015년 8월 5일 보령댐 저수율이 32.8% 시점에서 ‘주의’단계를 발령했음에도 보령댐에서 방류량은 계속되어 저수율 하강이 발생했으며 8월 18일 저수율 30.1% 시점에서 ‘심각’단계로 격상하여 하천유지용수를 기존의 31천m<sup>3</sup>/일에서 8천m<sup>3</sup>/일로 줄여 방류하기 시작하였다.
- 보령댐은 총 저류량 대비 연간 공급량이 크기 때문에 홍수기에 대비한 저수량관리와 하천유지용수 공급 및 수력발전용수 사용이 단기간에 급격히 발생하는 가뭄에 대비하기에 운영이 어려운 댐으로 볼 수 있다.

[표 24] 보령댐 방류량 기준에 따른 총 초과방류량

유량 기준	시기	총 초과 방류량(m <sup>3</sup> )	총 저수량 대비 비율(%)	비고
2.0m <sup>3</sup> /s	2014년 홍수기	7,486,992	6.4	총저수량 116,900,000m <sup>3</sup>
	2015년 홍수기	8,996,054	7.7	
2.5m <sup>3</sup> /s	2014년 홍수기	3,512,592	3.0	
	2015년 홍수기	5,021,654	4.3	





[그림 23] 과거 2년간 총방류량 및 댐 저수율

## 제4장 보령댐 유역 수문 분석

### 1. 유역 모형 구축

#### 가. 강우 유출모형의 개요

- SWAT 모형은 미국 농무성 농업연구소(USDA ARS, Agricultural Research Service)의 Jeff Arnold 등에 의해 개발된 유역모델(Arnold et al., 1998)로서 Soil and Water Assessment Tool의 약자이다. 대규모의 복잡한 유역에서 장기 간에 걸친 다양한 종류의 토양과 토지이용 및 토지관리 상태에 따른 물과 유사 및 농업화학물질의 거동에 대한 토지관리방법의 영향을 예측하기 위하여 1994년 최초로 개발되었다.
- 현재 이르기 까지 발전되어 현재 GIS 프로그램인 Arc GIS 최신버전을 이용하는 ArcSWAT으로 발전되었으며 Version 2012까지 기능이 확장되었다. 일 단위의 모의가 가능한 유역단위의 준분포형 장기강우-유출모형으로서 수문 부모형, 토양유실 부모형, 영양물질 부모형, 하도추적 부모형으로 구성되어있다.
- 유역은 지형특성을 반영하여 수 개의 소유역으로 구분되고 소유역내 토지피복 및 토양, 지형경사에 따라 소유역내 최소단위로 집중화된 수문반응단위(HRU, Hydrologic Response Unit)로 나뉘고 각 HRU에서 물수지식에 근거해 표면유출량, 지하수로의 침투량, 증발산량을 산정한다.
- 토양침식은 MUSLE(Modified Universal Soil Loss Equation)에 의해 계산되며 인, 질소, 그리고 살충제와 같은 유기성 화학물질의 이동량을 모의할 수 있다.
- SWAT 모형에서는 토지부분의 수문순환을 정확하게 예측하기 위하여 물수지 방정식에 근거를 두고 지표유출, 측방 지표하 유출, 침투, 지하수, 수로손실, 증발산 등으로 구성하며 여러 종류의 작물과 토양에서의 다양한 증발산을 반영할 수 있게 유역을 구분한다. 각 HRU에서 유출이 구분되어 계산되고 유역의 총 유출량을 얻기 위하여 흐름이 추적된다.

◦ 물수지 방정식은 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$- SW_t = SW_o + \sum_{t=0}^t (R_{day} - Q_{surf} - E_a - W_{seep} - Q_{gw})$$

-  $SW_t$  : 최종의 토양수분량(mm)

-  $SW_o$  :  $i$ 일의 초기토양수분량(mm)

-  $R_{day}$  :  $i$ 일에서의 강수량(mm)

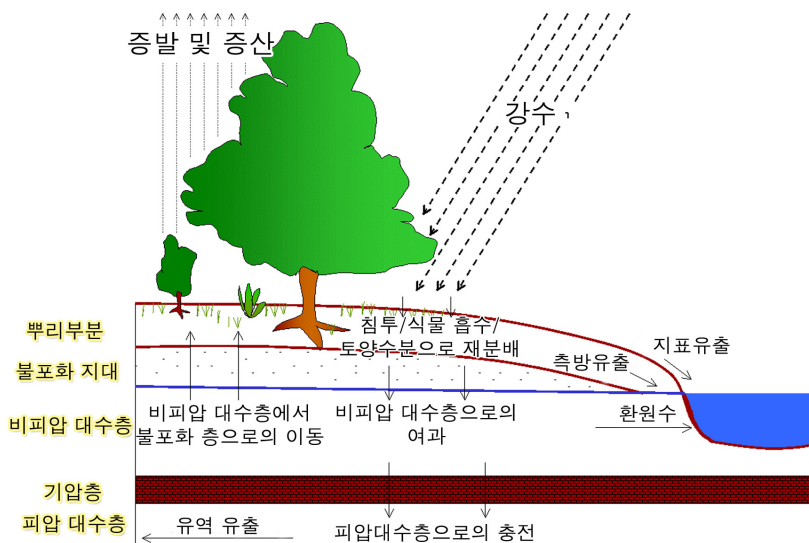
-  $Q_{surf}$  :  $i$ 일에서의 지표유출량(mm)

-  $E_a$  :  $i$ 일에서의 증발산량(mm)

-  $W_{seep}$  :  $i$ 일의 토양면으로부터 투수층으로의 투수되는 총량(mm)

-  $Q_{gw}$  :  $i$ 일의 회귀량(mm)

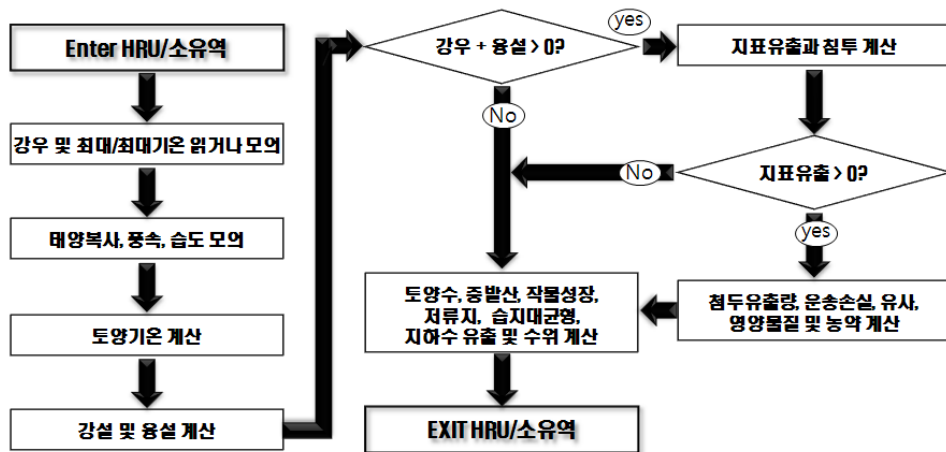
-  $t$  : 시간(일)



[그림 24] SWAT 모형의 물질수지<sup>59)</sup>

59) Neitsch, S.L., Arnold, J. G., Kiniry, J. R., Williams, J. R., and King, K. W., 2005, "Soil and Water

- SWAT 모형의 유역 수문순환의 토지부분 과정을 모의하기 위해 SWAT에서 사용된 계산과정은 다음 [그림 25]와 같다.



[그림 25] HRU 및 소유역의 계산과정 모식도<sup>60)</sup>

- SWAT모형을 적용한 국내 연구를 살펴보면, 이종문 등(2012)<sup>61)</sup>은 남강댐 유역에서의 기후변화에 대한 유출 영향을 SWAT모형에 적용하여 예측하였다. 남강댐 상류유역을 대상유역으로 산청지점에 대해 2011년부터 2100년까지 인공신경망 적용 결과를 통해 변수에 대한 예측을 실시하여 예측결과의 홍수기와 비홍수기의 월평균 모의값, 월별, 계절별 추세분석을 실시한 결과 2100년으로 갈수록 예측인자들의 값이 대체적으로 증가하는 경향을 보였다. 모형의 검보정을 위한 목적함수는  $R^2$ , RMSE, NSE를 사용하였고 CN, ESCO, GW 매개변수에 대해 민감했으며 상관성 판단결과 실측치보다 모의치의 유출이 높게 나타났으며 향후 추가적으로 보정이 필요하다고 언급하였다. 기후시나리오에 따른 유출 변화 예측결과 2100년으로 갈수록 여름철 댐 유입량이 증가할 것으로 분석되었으며 이에따라 홍수기시 강우의 증가로 저수지에 유입되는 고탁수의 증가로 인한 수질 문제와 평갈수기시 강우의 감소로 호소 내 유입하천의 수질이 악화될 것으로 예상하였다.

Assessment Tool Theoretical Documentation Version 2005.”, U.S Agricultural Research Service

60) Neitsch, S.L., Arnold, J. G., Kiniry, J. R., Williams, J. R., and King, K. W., 2005, “Soil and Water Assessment Tool Theoretical Documentation Version 2005.”, U.S Agricultural Research Service

61) 이종문, 김영도, 강부식, 이혜숙, 2012, 남강댐 유역에서의 기후변화에 대한 유출 영향, 한국수자원학회 논문집, 45(6), pp517-529

- 조형경 등(2012)<sup>62)</sup>은 충주댐 유역의 유출량에 대한 SWAT 모형의 예측 불확실성 분석을 실시하였다. 스위스 연방 연구소인 Eawag(Eidgenössische Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz)에서 개발된 SWAT-CUP모형으로 과거 1998년~2003년의 실측 유출량을 바탕으로 모형의 유출관련 매개변수에 대한 불확실성 분석을 실시하였다. 분석기법은 SUFI2, GLUE, ParaSol 3가지를 이용하여 자동 검·보정 및 불확실성 추정하였고, 각 알고리즘의  $R^2$ 과 NS모형효율을 분석한 결과 0.71~0.93, 0.59~0.90사이의 값을 나타내어 대체적으로 모의가 잘 이루어 졌다. 추가적으로 p-factor, R-factor을 분석하여 불확실성의 범위를 감소시켜야 예측의 신뢰성을 향상시킬 수 있다고 언급하였다.
- 최홍식(2013)<sup>63)</sup>은 섬강시험유역에 SWAT-CUP을 적용하여 SWAT모형의 매개변수를 추정하였다. 선행모의기간은 2003년~2009년으로 모의하였고, 모형내 매개변수들 중 유역과 유출에 민감한 매개변수인 CANMX, CN2, ESCO, GW\_REVAP, SOL\_ALB, SOL\_AWC, SOL\_K의 최대, 최소 범위를 통해 SWAT-CUP의 SUFI-2 모델의 반복 계산으로 7개의 매개변수에 대한 최적값을 추정하였다. 최적값의 판단을 위한 NS값은 0.92,  $R^2$ 값은 0.98로 유사한 값을 나타냈으며, p-factor는 0.85, R-factor는 0.06으로 모의값이 실측값과 유사하여 SUFI2에 의한 매개변수 사용은 강우-유출의 적용성에 높다고 판단하였다.

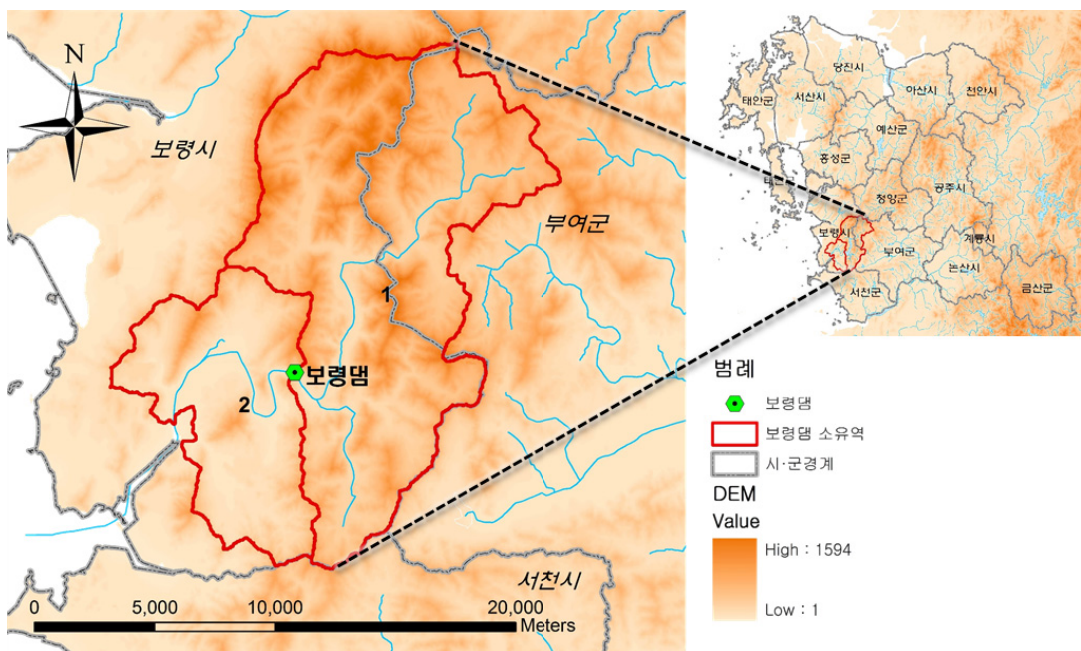
## 나. 보령댐 유역 Arc SWAT 모형 구축

- 보령댐유역에 SWAT을 적용시키기 위하여 먼저 수치표고모델의 입력을 통한 유역 분할을 수행하였다. SWAT모형은 경사도, 경사방향, 지형분석을 자동적으로 수행하는 자동유역분할기능으로 유역을 분할한다. Threshold Area를 5,000ha로 설정하였고, 총 2개 소유역과 41개의 HRU로 분할되었고 보령댐유역 1번 소유역 지점으로 생성하였다.

62) 조형경, 박종윤, 장철희, 김성준, 2012, 충주댐 유역의 유출량에 대한 SWAT 모형의 예측 불확실성 분석 기법 비교, 한국수자원학회논문집, 45(9), pp861-874

63) 최홍식, 2013, 섬강시험유역에서 SWAT-CUP을 이용한 SWAT모형 매개변수 추정, 대한토목학회논문집, 33(2), pp529-536

- 분할한 소유역을 토양도와 피복도를 이용해 소유역 내 수문반응단위수로 나누기 위해 환경부에서 제공하는 중분류 토지피복도와 농촌진흥청 국립농업과학원에서 제공하는 정밀토양도를 사용하였다.
- SWAT모형은 미국에서 개발된 모형으로 미국 토양특성에 맞게 설정되어 있기 때문에 환경부에서 제공하는 중분류 토지피복도를 사용하여 SWAT Landuse Lookup테이블로 변환한 후 각 중분류 항목에 맞는 SWAT Landuse를 출력하였다. 토양도 또한 우리나라의 토양에 맞는 Usersoil을 설정해 주기 위해 1:25,000 정밀토양도에 맞게 변환하였다.



[그림 26] SWAT모형에 의한 보령댐유역 자동유역 분할

[표 25] 토지피복분류와 SWAT Landuse의 명칭 (환경지리정보서비스)<sup>64)</sup>

대분류(7항목)		중분류(23항목)	
		SWAT Landuse Lookup	Landuse
시가화 건조	1	주거지역(URMD)	11
		공업지역(UIDU)	12
		상업지역(UCOM)	13
		위락시설지역(URLD)	14
		교통지역(UTRN)	15
		공동시설지역(UINS)	16
농업	2	논(RICE)	21
		밭(AGRR)	22
		하우스재배지(STRW)	23
		과수원(ORCD)	24
		기타재배지(AGRL)	25
산림	3	활엽수림(FRSD)	31
		침엽수림(FRSE)	32
		혼효림(FRST)	33
초지	4	자연초지(PAST)	41
		골프장(RNGB)	42
		기타초지(HAY)	43
습지	5	내륙습지(WETL)	51
		연안습지(WETN)	52
나지	6	채광지역(WPAS)	61
		기타나지(RNGE)	62
수역	7	내륙수(WATR)	71
		해양수(WATR)	72

64) 노선희, 2013, 미래 온실가스 시나리오(RCP)에 의한 금강유역의 용수공급 변화 전망, 충남대학교 공학석사 학위논문

- SWAT모형의 기상자료는 유출량 산정에 사용되는 기본적인 데이터로 강우, 최고·최저 기온, 태양복사량, 상대습도, 풍속 자료가 필요하며 WAMIS(수자원관리 종합정보시스템)으로부터 제공받아 모형의 기상입력 자료로 사용하였다.
- SWAT모형 내 기본 매개변수들을 쓸 수 있게 활성화가 되면 여러 변수들이 기본값으로 모의가 되는데 이 때, 조도계수는 0.014로 고정하여 수행하였다.
- 기상자료 및 저류지 자료를 입력하면 SWAT모형 모의 수행을 위한 SWAT Simulation창이 뜨며 앞서 입력한 기상자료의 기간 동안의 일별, 월별, 연별로 선택하여 출력값을 계산하였다.

[표 26] 기상자료 구축 관측소

기상자료	사용값	관측소명
강우	일강우	보령기상대 29개년(1988년 1월 1일 ~ 2016년 4월 30일)
기온	일최고·일최저	

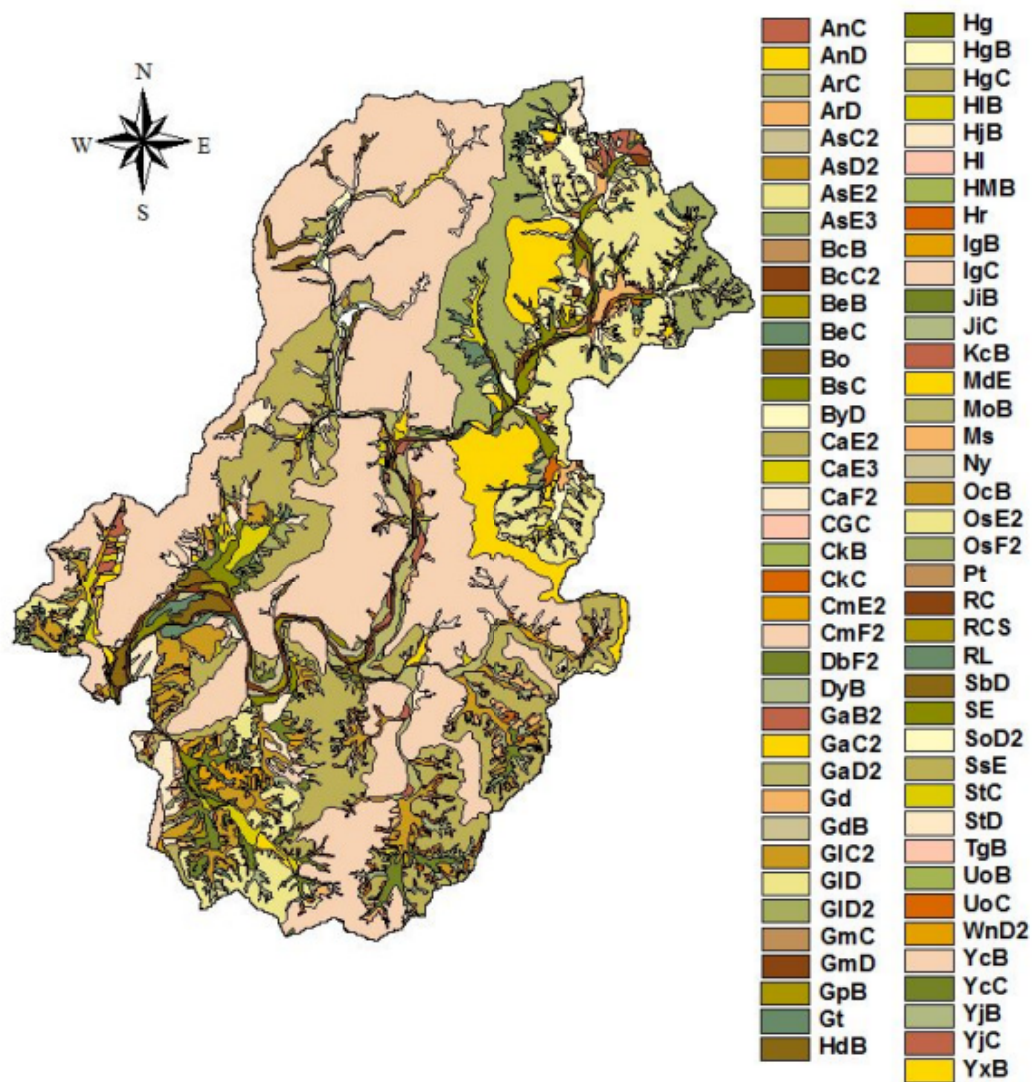
[표 27] 모형분석시 활용되는 공식

분류	활용공식	선택
Rainfall Distribution (강우분포)	Skewed Normal	◎
	Mixed Exponential	
Potential ET Method (잠재증발산량)	Priestley Talor Method	
	Penman Monteith Method	◎
	Hargreaves Method	
Channel Water Routing Method (하도추적)	Variable Storage	
	Muskingum Method	◎
Surface Runoff (지표유출)	SCS유출곡선법	◎
	Green & Ampt 침투법	



[표 28] 보령댐유역의 토지피복도 구성 및 면적

토지피복명 변환		면적(ha)	비율(%)
Residential-Medium Density	→ URMD	431.19	1.98
Industrial	→ UIDU	55.71	0.26
Commercial	→ UCOM	7.38	0.03
Residential-Low Density	→ URLD	2.61	0.01
Transportation	→ UTRN	154.17	0.71
Institutional	→ UINS	39.42	0.18
Rice	→ RICE	2,473.11	11.33
Agricultural Land-Row Crops	→ AGRR	1,178.64	5.4
Strawberry	→ STRW	44.28	0.2
Orchard	→ ORCD	59.04	0.27
Agricultural Land-Generic	→ AGRL	108.18	0.5
Forest-Deciduous	→ FRSD	4,513.32	20.68
Forest-Evergreen	→ FRSE	4,692.60	21.5
Forest-Mixed	→ FRST	6,713.82	30.75
Pasture	→ PAST	79.47	0.36
Hay	→ HAY	211.86	0.97
Wetlands-Mixed	→ WETL	202.68	0.93
Wetlands-Non-Forested	→ WETN	0.72	0
Winter Pasture	→ WPAS	167.22	0.77
Range-Grasses	→ RNGE	33.48	0.15
Water	→ WATR	659.7	3.02
총합		21,828.6	100.00



[그림 27] 보령댐유역의 정밀토양도 구성 및 면적

## 다. 모형의 검·보정

- 일반적으로 모형의 보정은 매개변수를 비교적 독립적인 특성을 가진 소그룹으로 분할하여 각 그룹에서 주요한 매개변수를 선정하여 보정하게 되며 오차가 크지 않은 매개변수 값을 상수로 하여 오차범위가 큰 매개변수를 오차범위가 작은 값으로 변동해가며 모든 매개변수의 오차가 더 이상 감소하지 않을 때까지 보정하게 되므로 주요 보령댐유역에 민감한 매개변수만 선정하여 모형의 검·보정을 실시하였다.<sup>65)</sup>
- 효율적인 보정 및 검증을 위해서 모의 항목별로 민감함 매개변수를 정확히 파악하는 것이 중요하며 보령댐유역의 매개변수의 종류와 순위를 분석하면 [표 29]와 같으며, 모형 내 모든 매개변수들의 상·하한치와 변수들의 특징을 [표 30]에 설명하였다.

[표 29] SWAT 매개변수 민감도 순위

순위	변수명	순위	변수명	순위	변수명
1	Gwqmn	10	Ch_K2	19	Sol_Alb
2	Canmx	11	Sol_K	20	Surlag
3	Esco	12	Slope	21	Smtmp
4	Sol_Awc	13	Timp	22	Ssubbsn
5	Sol_Z	14	Alpha_Bf	27	Sftmp
6	Revapmn	15	Gw_Delay	27	Smfmn
7	Gw_Revap	16	Biomix	27	Smfmx
8	Cn2	17	Epco	27	Tlaps
9	Blai	18	Ch_N2		

65) 박성우, 1995, 응용수문학

[표 30] SWAT 모형의 매개변수

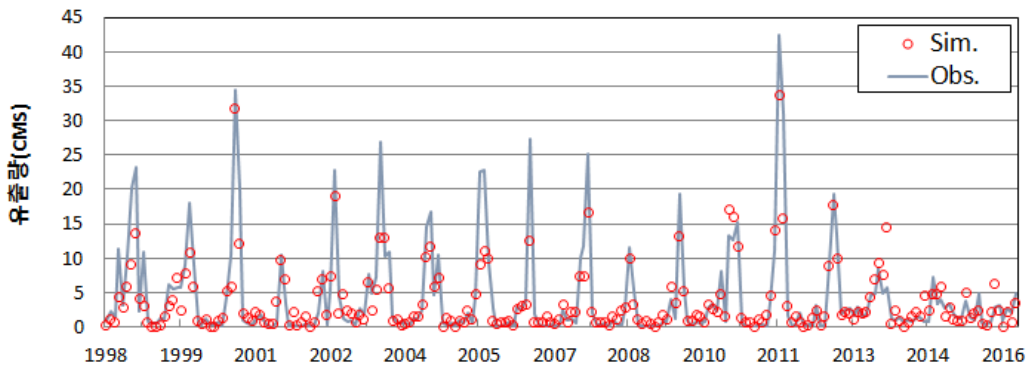
분류	매개변수	하한치	상한치	비고
Crop.dat	USLE_C	0.001	0.5	토지피복에 따른 피복 계수
Basin input	SMFMX	0	10	6월 21일의 융해 요소
	SMFMN	0	10	12월 21일의 융해 요소
	SPCON	0.0001	0.01	토사이동 방정식에서의 계수
	SPEXP	1	1.5	토사이동 방정식에서의 지수
	NPERCO	0	1	질산 침투 계수
	PRERCO	10	17.5	인산 침투 계수
	PHOSKD	100	200	토양의 인성을 구분하는 계수
Chemical	SOL_LABP	0	100	토양층에서의 초기 NO <sub>3</sub> 농도
	SOL_ORGN	0	10,000	토양층에서의 초기 산화질소 농도
	SOL_ORGP	0	4,000	토양층에서의 초기 산화인 농도
	SOL_NO3	0	5	토양층에서의 초기 NO <sub>3</sub> 농도
Ground water	ALPHA_BF	0	1	기저유출 감수 상수
	GWQMN	0	5,000	기저유량에 대한 얇은 대수층의 임계 수분량
	GW_REVAP	0.02	0.2	얇은 대수층의 REVAP 계수
	REVAPMN	0	500	침투에 대한 얇은 대수층의 임계 수분량
HRU General	ESCO	0	1	토양증발 보상계수
	SLOPE	0.0001	0.6	소유역의 평균 경사도 계수(%)
	SLSUBBSN	10	150	경사의 길이(m)
	N			조도계수
Soil	TLAPS	0	50	온도 변동 계수
	SOL_AWC	0	1	토양층 유효수분량
Main channel	CH_COV	-0.001	1	하천의 피복 요소
	CH_EROD	-0.05	0.6	하천의 침식성 요소
	CH_K2	-0.01	150	하천에서의 수리전도도 계수
Manage ment	BIOMIX	0	1	생물학적 혼합계수
	USLE_P	0.1	1	USLE 경험계수
	CN2	35	98	AMC-II 에서의 SCS 유출곡선지수

- 보령댐유역 월별 유출을 모의한 결과 [그림 28]과 같이 나타났으며 통계분석 결과 Pearson 상관계수값이 90.5%, RMSE값이 2.01로 비교적 잘 모의 되었다. 모형의 적합성을 더욱 높이기 위해 민감도 분석에 따른 매개변수 들 중 CN2, ESCO, SOL\_AWC는 지표수 흐름 모의에 지배적인 영향을 미치는 것으로<sup>66)</sup> 판단 되어 변수들을 선택 후 허용범위 내에서 변화시키면서 보정을 수행하는 시행착 오법을 사용하여 보정을 실시하였다. CN2를 3 감소하고, ESCO를 0.97로, SOL\_AWC를 0.2 증가시켜 주었으며 모형의 안정성을 위해 모의시작년도부터 3년간의 결과값을 제한 후 2001년부터 2016년까지 [표 31]과 같이 매개변수를 조절하여 통계분석을 실시한 결과 Pearson 상관계수값이 90.8%, RMSE값이 1.965로 모형의 검·보정을 수행하여 적합성이 잘 검토되었다.

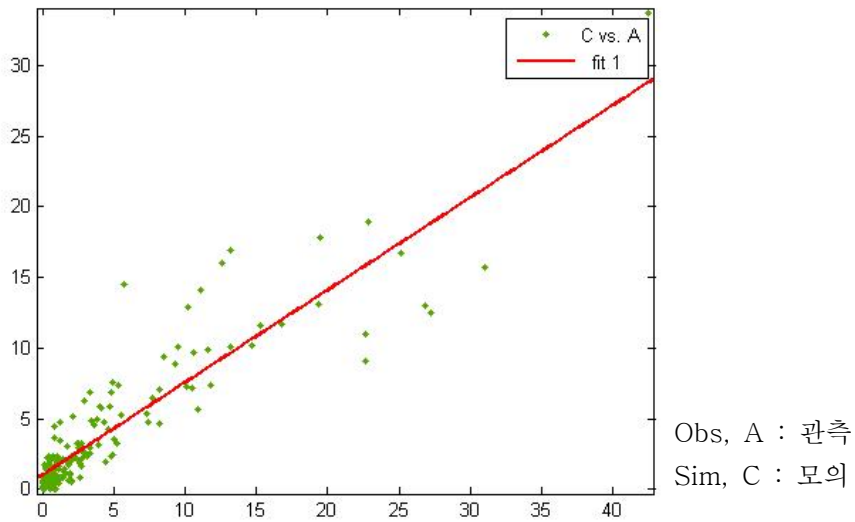
[표 31] 유출모의 결과 보정전·후의 통계분석 비교

특성		보정전	보정후
SPSS 통계분석	Pearson 상관계수	0.905	0.908
	유의확률 (양쪽)	0.000	0.000
	제곱합 및 교차곱	5,067.4	5,040.4
	공분산	27.691	27.543
	N	184	184
MATLAB 통계분석	R-square	0.819	0.824
	Adjusted R-square	0.818	0.8231
	RMSE	2.01	1.965

66) Van Liew, M.W., Veith, T.L., Bosch, D.D., and Arnold, J.G., 2007, "Suitability of SWAT for the Conservation Effects Assessment Project : Comparison on USDA Agricultural Research Service Watersheds.", Journal of Hydrologic Engineering, 12(2), pp173-189



a) 관측 및 모의값 비교



b) 관측 및 모의값 상관분석

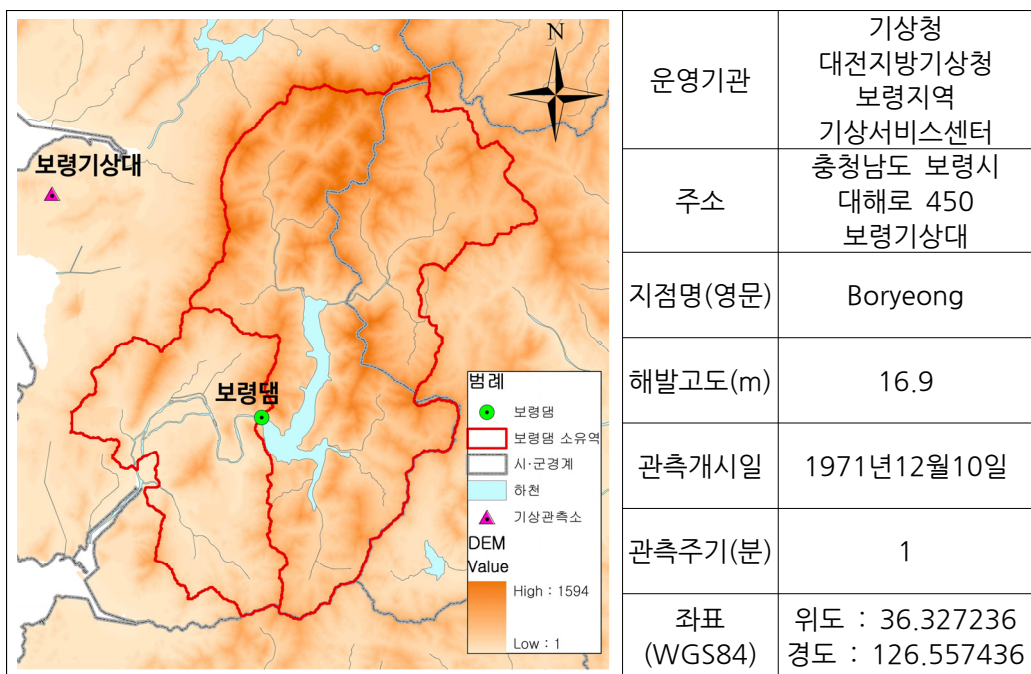
[그림 28] 보정 후 보령댐지점의 과거 관측 및 모의 일평균 유출비교

## 2. 목표 가뭄 설정

### 가. 보령기상대 기상개황

#### 1) 기상관측소 현황

- 강우분석을 위한 우량관측소는 자료 보유연한 및 위치 등을 종합적으로 고려하여 선정 하여야 한다. 보령댐유역과 가장가까운 관측소는 보령기상대이며 1971년부터 관측을 개시하였고 1973년부터 2015년까지 총 43개년의 기상자료를 분석하였다.



[그림 29] 보령댐유역 인근 기상청관할 기상관측소 현황<sup>67)</sup>

67) 기상청, 기상자료개방포털, <https://data.kma.go.kr>

## 2) 기상현황

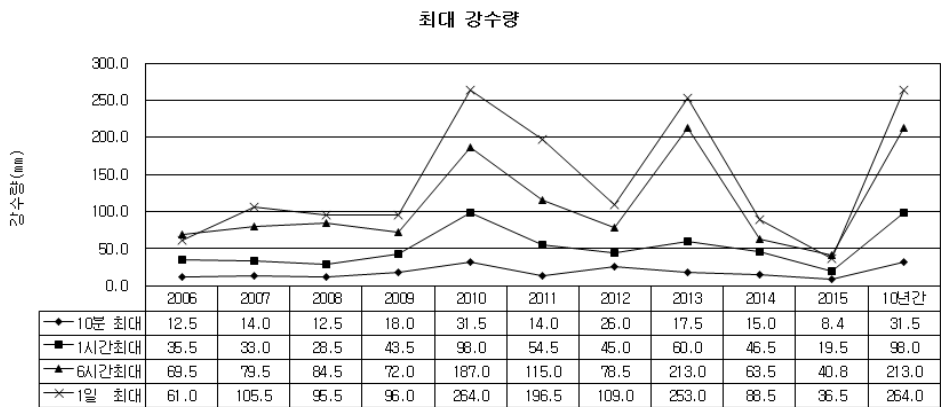
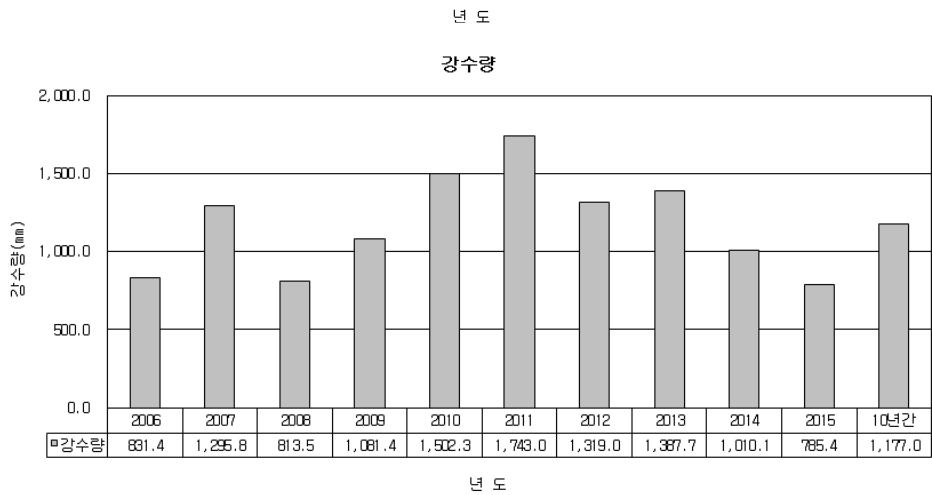
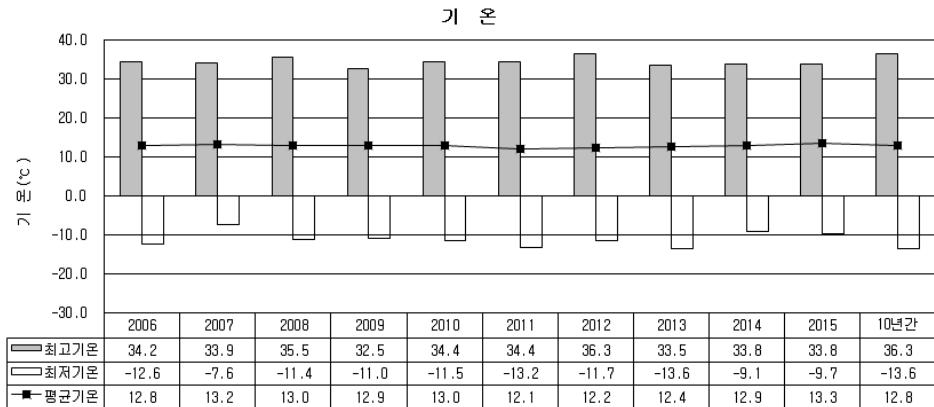
- 보령기상대의 최근 10년간(2006년~2015년)의 월도별 기상자료를 분석한 결과 연최고 기온은 36.3℃, 연최저 기온은 -13.6℃로 나타났으며, 일최대풍속은 20.2m/s를 기록하였으며, 연평균강수량은 1,177.0mm, 상대습도는 72%로 나타났다.

[표 32] 보령기상대 최근 10년간 연도별 기상개황<sup>68)</sup>

		년도										
		2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	10년간
기 온 (℃)	평균	12.8	13.2	13.0	12.9	13.0	12.1	12.2	12.4	12.9	13.3	12.8
	최고	34.2	33.9	35.5	32.5	34.4	34.4	36.3	33.5	33.8	33.8	36.3
	최저	-12.6	-7.6	-11.4	-11	-11.5	-13.2	-11.7	-13.6	-9.1	-9.7	-13.6
강 수 량 (mm)	총량	831.4	1,295.8	813.5	1,081.4	1,502.3	1,743.0	1,319.0	1,387.7	1,010.1	785.4	1,177.0
	10분 최대	12.5	14	12.5	18	31.5	14	26	17.5	15	8.4	31.5
	1시간 최대	35.5	33	28.5	43.5	98	54.5	45	60	46.5	19.5	98
	6시간 최대	69.5	79.5	84.5	72	187	115	78.5	213	63.5	40.8	213
	1일 최대	61	105.5	95.5	96	264	196.5	109	253	88.5	36.5	264
풍 속 (m/s)	평균	1.8	2.1	1.8	1.9	2.0	2.0	2.0	2.1	1.9	1.7	1.9
	최대	14.5	13.9	11.2	13.8	20.2	14.4	17.5	12.7	13.6	12.1	20.2
	(풍향)	SSW	SSW	SSW	SSW	WSW	S	S	SSW	S	S	WNW
상대습도(%)		70	70	71	71	71	72	71	73	76	77	72

68) 기상청, 2006~2015, 기상연보 2006~2015





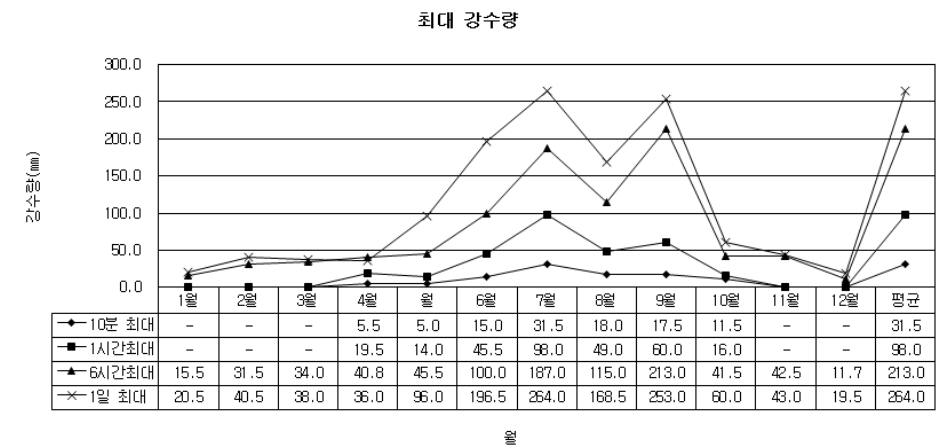
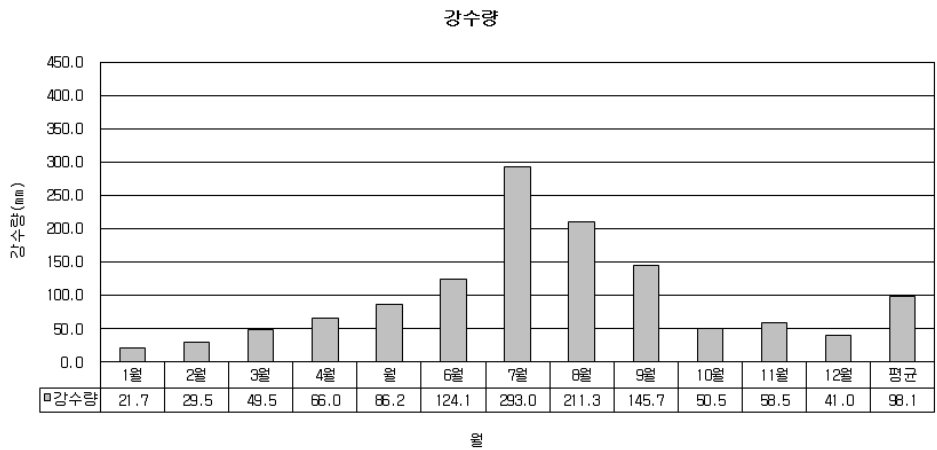
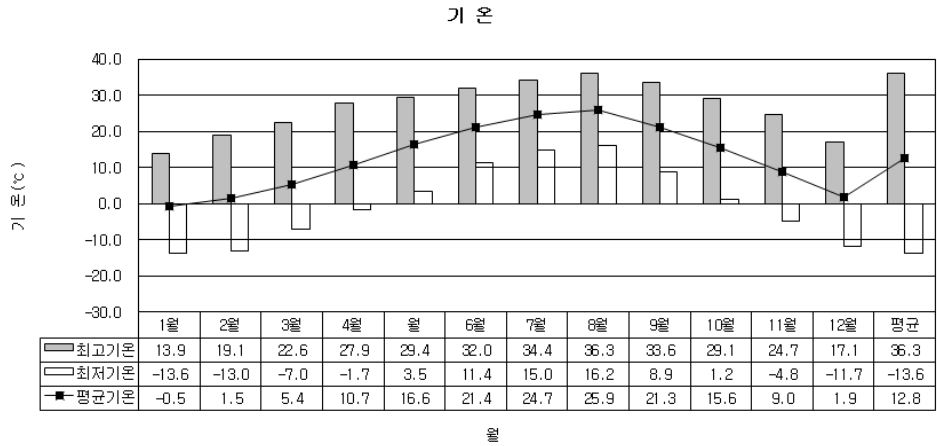
[그림 30] 보령기상대 최근 10년간 연도별 기상개황

- 보령기상대의 최근 10년간(2006년~2015년)의 월별 기상자료를 분석한 결과 월 평균 최고온도는 8월에 36.3℃, 최저온도는 1월에 -13.6℃로 나타났으며, 최대 풍속은 9월 20.2m/s를 기록하였고, 남남서풍(SSW)이 주로 불었다. 강수량은 293.0mm로 7월에 가장 높았으며 1일 최다강수량은 7월에 264mm로 나타났다.

[표 33] 보령기상대 최근 10년간 월별 기상개황<sup>69)</sup>

		1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	평균
기 온 (℃)	평균	-0.5	1.5	5.4	10.7	16.6	21.4	24.7	25.9	21.3	15.6	9.0	1.9	12.8
	최고	13.9	19.1	22.6	27.9	29.4	32	34.4	36.3	33.6	29.1	24.7	17.1	36.3
	최저	-13.6	-13	-7	-1.7	3.5	11.4	15	16.2	8.9	1.2	-4.8	-11.7	-13.6
강 수 량 (mm)	총량	21.7	29.5	49.5	66.0	86.2	124.1	293.0	211.3	145.7	50.5	58.5	41.0	98.1
	10분 최대	0	0	0	5.5	5	15	31.5	18	17.5	11.5	0	0	31.5
	1시간 최대	0	0	0	19.5	14	45.5	98	49	60	16	0	0	98
	6시간 최대	15.5	31.5	34	40.8	45.5	100	187	115	213	41.5	42.5	11.7	213
	1일 최대	20.5	40.5	38	36	96	196.5	264	168.5	253	60	43	19.5	264
풍 속 (m/s)	평균	1.8	1.7	2.0	2.1	2.2	1.8	2.4	2.1	1.6	1.6	1.9	2.0	1.9
	최대	8.6	12.2	13.9	14.5	11.5	13.2	13.8	17.5	20.2	10.4	9.3	10.9	20.2
	(풍향)	SSW	SSW	SSW	SSW	SSW	SSW	SSW	SSW	S	SSW	S	SSW	SSW
상대습도(%)		66.2	64.8	66.4	67.7	71.4	76.6	85.0	81.5	76.6	71.7	69.5	68.9	72.2

69) 기상청, 2006~2015, 기상연보 2006~2015



[그림 31] 보령기상대 최근 10년간 월별 기상개황

### 3) 강우현황

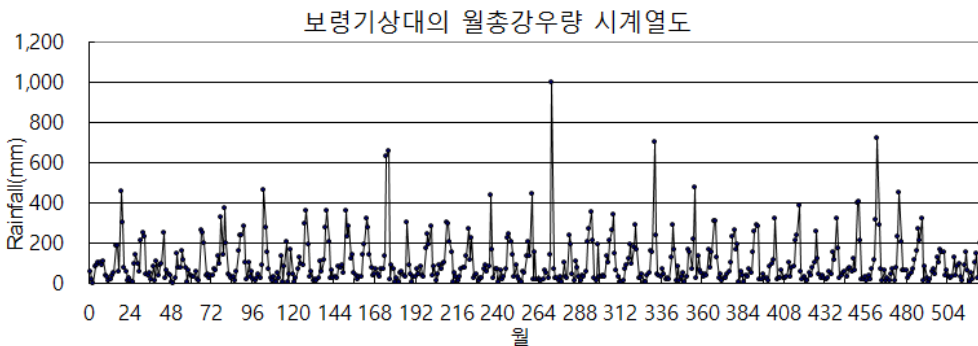
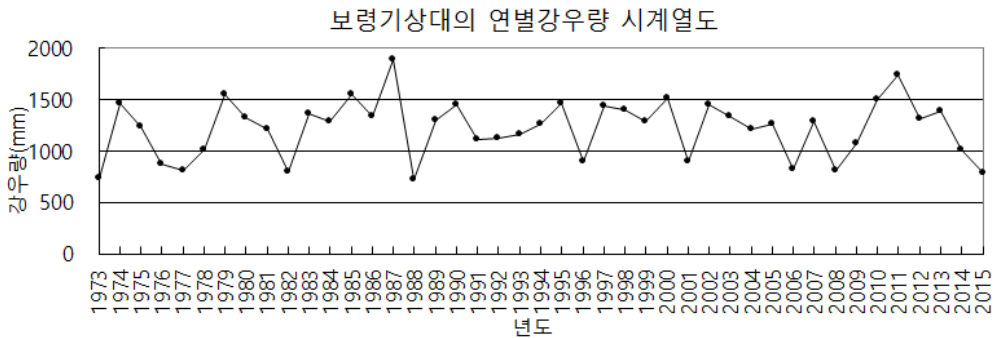
- 보령기상대의 43개년(1973년~2015년)의 강우자료에 대하여 연·월별 강우분석을 실시한 결과와 연·월별 강우량 시계열도는 다음과 같다.

[표 34] 보령기상대 월별 강수량 현황(단위:mm)

연도\월	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	전 년
1973	57.0	16.4	1.9	84.5	91.6	103.9	100.0	92.7	106.1	35.8	29.6	13.2	732.7
1974	17.4	39.7	48.2	186.0	185.6	60.3	459.0	305.5	79.1	55.2	11.7	23.9	1,471.6
1975	9.6	8.7	96.2	142.0	98.6	57.7	211.7	251.7	232.2	41.5	40.4	49.5	1,239.8
1976	17.1	85.0	10.5	111.2	40.7	90.9	93.4	250.2	26.5	66.0	45.7	37.7	874.9
1977	6.8	1.5	27.8	150.4	80.0	79.1	161.5	115.4	74.1	5.2	66.5	39.4	807.7
1978	29.2	30.8	60.7	16.4	10.0	263.3	254.0	198.6	39.7	45.5	23.3	36.1	1,007.6
1979	35.9	68.4	63.4	132.3	95.6	328.5	138.6	373.8	199.7	46.6	38.8	28.1	1,549.7
1980	30.8	13.3	56.1	163.2	237.6	236.1	283.5	102.1	17.0	103.0	31.2	56.7	1,330.6
1981	17.0	13.6	24.0	47.1	22.9	87.5	462.5	279.0	152.0	71.5	27.1	12.6	1,216.8
1982	29.3	7.3	52.0	25.8	133.0	4.8	81.0	207.5	3.7	44.5	164.5	46.6	800.0
1983	5.8	26.8	67.4	125.7	96.0	90.0	294.6	362.5	192.5	32.5	58.7	11.7	1,364.2
1984	17.0	13.3	22.9	107.2	56.0	116.9	279.0	360.2	203.8	25.8	61.3	24.5	1,287.9
1985	31.3	27.1	86.3	76.2	92.3	52.4	357.3	232.9	281.9	123.4	142.0	53.7	1,556.8
1986	40.9	18.3	32.6	29.6	138.1	190.0	322.3	275.4	138.6	74.4	39.2	45.5	1,344.9
1987	71.1	43.7	30.4	69.6	70.2	136.4	631.2	657.4	21.0	88.0	70.2	8.3	1,897.5
1988	23.3	4.4	49.6	56.9	39.8	30.2	304.4	92.7	45.5	8.6	34.8	34.8	725.0
1989	71.3	47.5	82.7	37.0	34.8	172.1	244.3	191.5	280.8	38.0	86.3	12.2	1,298.5
1990	43.0	88.7	71.5	97.8	103.4	301.7	299.0	204.2	151.4	4.2	53.5	32.6	1,451.0
1991	13.9	33.8	67.6	77.6	79.1	133.3	268.2	116.5	224.7	23.9	35.6	42.7	1,116.9
1992	9.5	24.4	23.6	67.6	89.6	60.6	84.9	435.0	168.1	27.4	73.0	68.6	1,132.3
1993	4.6	66.7	21.6	32.6	68.5	225.5	241.5	206.5	141.5	32.0	87.4	33.7	1,162.1
1994	17.9	6.0	58.2	51.5	135.5	207.0	137.0	443.5	21.0	155.0	17.5	18.9	1,269.0
1995	15.7	11.0	19.6	65.5	49.5	26.5	144.5	996.5	70.5	24.5	23.0	12.7	1,459.5
1996	33.4	6.8	104.5	34.0	22.5	235.0	192.5	44.5	14.0	106.5	74.2	31.7	899.6
1997	15.1	38.4	30.5	57.5	203.0	272.0	353.5	211.5	23.0	10.0	193.5	34.3	1,442.3
1998	29.9	40.2	30.5	138.0	100.0	209.5	263.0	341.7	150.3	61.0	29.3	3.8	1,397.2
1999	7.9	9.5	71.0	88.5	124.5	192.5	98.0	180.0	292.5	169.0	24.9	25.8	1,284.1
2000	42.1	3.2	7.0	35.0	53.5	159.5	155.0	701.5	241.0	46.0	39.5	32.1	1,515.4
2001	73.3	46.0	15.9	26.0	17.0	129.0	286.5	170.0	10.0	85.0	13.0	32.0	903.7
2002	50.8	5.5	32.0	169.0	155.5	72.0	217.5	477.0	27.0	134.0	61.1	51.8	1,453.2
2003	30.7	44.5	39.5	168.5	78.5	153.0	309.5	310.0	128.0	23.0	45.5	13.0	1,343.7

[표 34] 보령기상대 월별 강수량 현황(단위:mm)(계속)

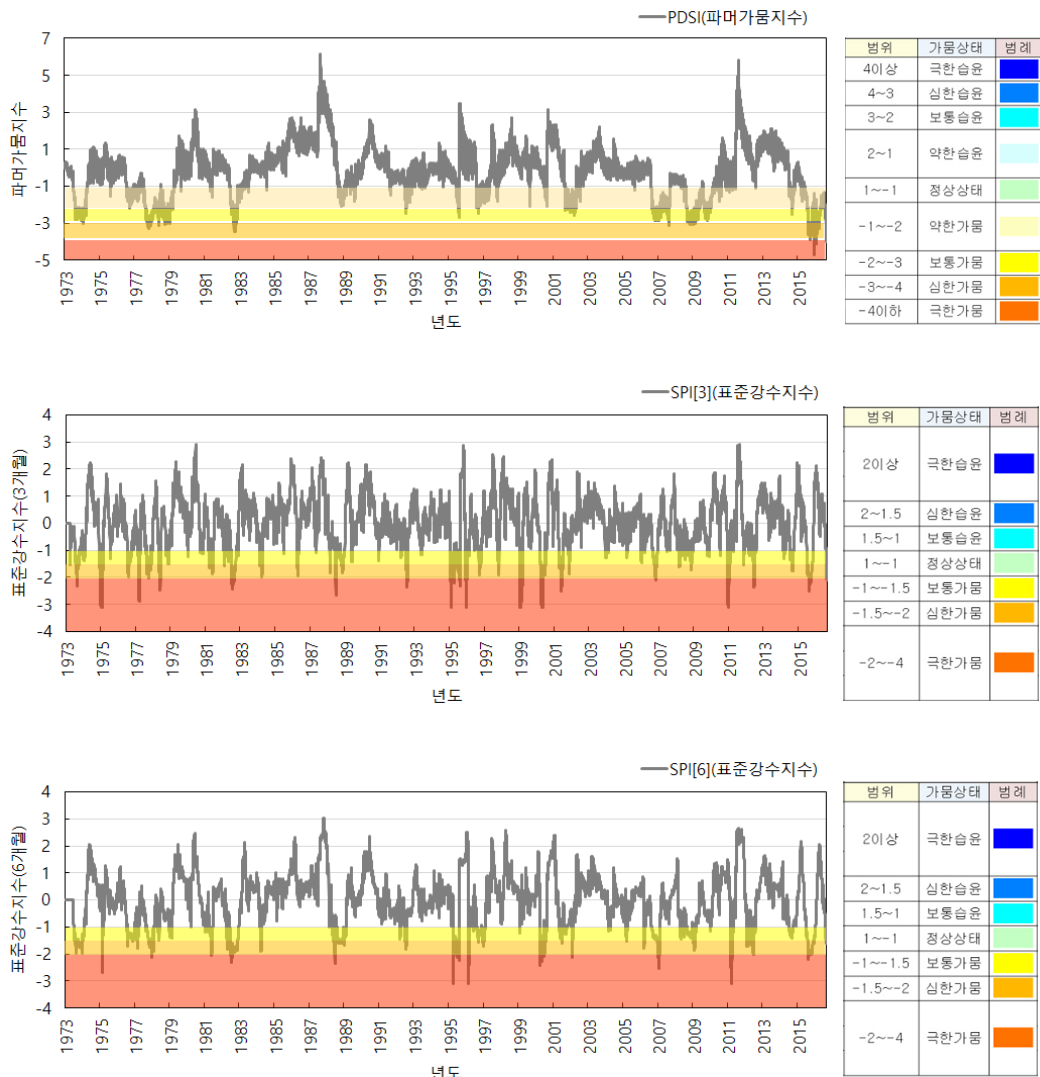
연도\월	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	전 년
2004	22.1	28.5	45.7	58.0	105.5	234.5	263.5	164.0	195.0	4.0	56.5	38.9	1,216.2
2005	5.8	35.8	30.0	73.5	48.5	156.0	260.5	291.5	282.5	21.0	18.0	43.4	1,266.5
2006	27.0	25.9	10.6	81.5	94.5	114.5	321.0	21.5	23.5	24.5	61.5	25.4	831.4
2007	23.4	29.8	102.0	29.5	79.0	85.0	214.0	239.5	384.0	59.0	17.5	33.1	1,295.8
2008	20.9	10.8	48.2	40.5	78.9	101.3	257.2	119.5	46.9	26.7	37.6	25.0	813.5
2009	18.5	23.3	55.1	41.5	154.5	115.1	320.9	176.6	25.5	39.5	52.9	58.0	1,081.4
2010	30.1	73.5	75.9	58.5	122.8	60.8	396.5	402.7	213.1	19.2	16.3	32.9	1,502.3
2011	11.1	37.5	18.0	72.1	115.3	318.0	723.1	289.4	70.8	13.9	61.3	12.5	1,743.0
2012	24.2	9.2	45.0	68.9	14.6	76.8	231.1	450.2	207.7	65.0	61.1	65.2	1,319.0
2013	28.4	40.7	53.4	68.2	116.6	159.9	267.5	214.6	320.0	10.9	81.1	26.4	1,387.7
2014	3.4	20.5	56.3	70.0	47.1	125.8	104.0	168.5	152.0	156.0	39.9	66.6	1,010.1
2015	29.9	23.4	30.9	129.7	38.9	83.9	94.7	30.2	13.3	90.0	155.6	65.0	785.5
2016	7.8	54.2	18.7	105.1	146.5	23.7	200.2						556.2
평 균	26.2	29.6	45.4	81.1	90.1	139.4	258.7	273.4	132.4	54.3	55.9	34.0	1,207.8



[그림 32] 보령기상대 최근 10년간 월별 기상개황

#### 4) 가뭄지수현황

- 보령기상대의 43개년(1973년~2015년)의 강우자료에 대하여 파머가뭄지수와 표준강수지수 3개월 및 6개월을 분석한 결과 2015년에 극한가뭄이 발생한 것으로 분석되었다.



[그림 33] 보령기상대 과거 43개년 가뭄지수 현황

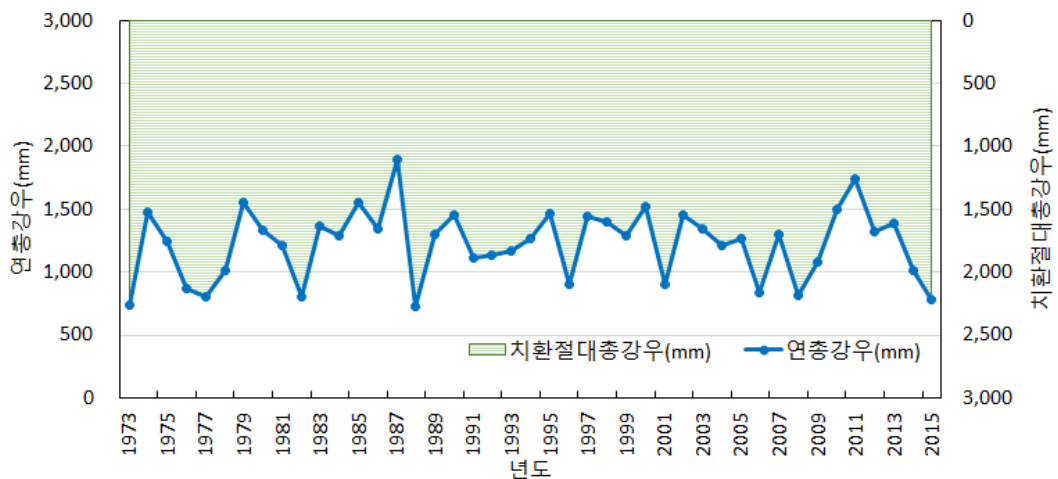
## 나. 확률가뭄강우량 산정

### 1) 연총가뭄강우량 산정

- 보령기상대의 43개년(1973년~2015년)의 연별 총강우량을 조사하였고 가뭄빈도를 분석하기 위해 최소 강우가 발생한 해의 강우량이 최대 가뭄심도해의 강우량이 되도록 치환하여 가뭄빈도 해석을 위한 치환절대총강우량으로 사용하였다.

[표 35] 보령기상대 과거 43개년간 연총강우(단위 : mm)

년도	연총강우	년도	연총강우	년도	연총강우	년도	연총강우
1973	732.7	1984	1,287.9	1995	1,459.5	2006	831.4
1974	1,471.6	1985	1,556.8	1996	899.6	2007	1,295.8
1975	1,239.8	1986	1,344.9	1997	1,442.3	2008	813.5
1976	874.9	1987	1,897.5	1998	1,397.2	2009	1,081.4
1977	807.7	1988	725.0	1999	1,284.1	2010	1,502.3
1978	1,007.6	1989	1,298.5	2000	1,515.4	2011	1,743.0
1979	1,549.7	1990	1,451.0	2001	903.7	2012	1,319.0
1980	1,330.6	1991	1,116.9	2002	1,453.2	2013	1,387.7
1981	1,216.8	1992	1,132.3	2003	1,343.7	2014	1,010.1
1982	800.0	1993	1,162.1	2004	1,216.2	2015	785.5
1983	1,364.2	1994	1,269.0	2005	1,266.5	-	-



[그림 34] 보령기상대 연총강우 및 치환절대총강우

## 2) 확률가뭄강우량 산정

- 강우현상은 기상 및 지형적인 요소에 의하여 시시각각 변화하기 때문에 이를 정확하게 예측하거나 파악하기는 매우 어렵다. 따라서 수문학적인 강우해석은 과거 해당지점의 관측자료를 근거로 통계학적인 기법을 이용하고 있으며, 다음 [그림 35]와 같이 강우빈도해석 절차에 의해 빈도해석을 실시하고 적합도검정 기법에 의하여 최적 분포형을 선정한 후 지속시간별 확률가뭄강우량을 산정하였다.



[그림 35] 강우빈도 해석 절차<sup>70)</sup>

70) 국토해양부, 2011, 확률강우량도 개선 및 보완 연구



- 확률가뭇강우량은 지속기간별로 수집된 자료계열을 여러 가지 확률분포형에 적용하여 검토한 후 이 중에서 가장 적합한 확률분포형으로 계산한 값을 채택하여 사용하게 된다.
- 확률가뭇강우량을 산정하기 위하여 소방방재청 국립방재연구소에서 개발한 FARD2006 모형을 이용하였고 모형에서는 일반적인 극치 수문사상의 확률분석에 많이 이용하는 14개 분포형에 대해 확률강우량을 계산하게 된다. 이에 따라 보령기상대의 43개년(1973년~2015년)간 치환총강우자료를 대상으로 14개 분포형을 적용하여 빈도해석을 실시하였다.

[표 36] FARD2006의 적용분포형

확률분포형	약어	확률분포형	약어
2변수 Gamma 분포	GAM2	3변수 Log-Normal 분포	LN3
3변수 Gamma 분포	GAM3	Log-Pearson Type III 분포	LP3
General Extreme Value 분포	GEV	2변수 Weibull 분포	WBU2
Gumbel 분포	GUM	3변수 Weibull 분포	WBU3
2변수 Log-Gumbel 분포	LGU2	4변수 Wakeby 분포	WKB4
3변수 Log-Gumbel 분포	LGU3	5변수 Wakeby 분포	WKB5
2변수 Log-Normal 분포	LN2	-	-

- 치환절대총강우의 기본통계치를 계산한 결과 평균 1,777mm, 표준편차 282.2mm, 변동계수 0.159, 왜곡도계수 0.094로 계산되었고, 자료의 무작위성을 분석하기 위해 예비해석을 실시하였으며 4개의 해석TEST 모두 무작위성을 갖는 것으로 분석되었다.

[표 37] 무작위성을 위한 예비해석 결과

해석종류	계산값	표값	체크
ANDERSON CORRELOGRAM TEST	0	0.5	OK
RUN TEST	0.295	1.96	OK
SPEARMAN RANK CORRELATION COEFFICIENT TEST	0.338	2.02	OK
TURNING POINT TEST	0.123	1.96	OK

- 확률분포형의 특성을 나타내는 매개변수 추정은 모멘트법, 최우도법, 확률가중모멘트법을 사용하는데, 모멘트법에 의하여 매개변수를 추정할 경우 최우도법이나 확률가중모멘트법으로 매개변수를 추정할 때보다 상대오차가 크며, 자료개수가 적을 경우 확률가중모멘트법이 최우도법보다 매개변수 추정에 적합하다고 알려져 있으므로 매개변수 추정법별로 적합도의 차이가 명확하지 않은 경우 확률가중모멘트법에 의하여 추정된 분포형을 적정확률분포형으로 선정하였다.<sup>71)</sup>
- 추정된 매개변수가 분포형의 매개변수 적합성 조건을 만족하는지 여부를 적합성으로 알 수 있으며 적합성 'OK'가 되어 있으면 선택한 매개변수 추정방법과 확률분포형을 적용했을 때 추정된 매개변수가 적합성 조건을 만족했음을 의미하고 이 자료에 대해 선택된 확률분포형을 활용하여 확률강우량을 산정할 수 있음을 알 수 있다. 총 14개의 매개변수들 중에서 확률가중모멘트법에 LGU3, LP3, WBU3, GPA분포를 제외한 10개의 분포형에서 적합성이 있다고 분석되었다.

[표 38] 확률가중모멘트법추정에 의한 분포형별 적합성결과

분포형 종류	XLO (위치매개변수)	XMIN (관측값)	XMAX (관측값)	XSC (규모매개변수)	XSH (형상매개변수)	적합성
NOR	1,777.009	1,102.5	2,275	284.184	0	OK
GAM2	0	1,102.5	2,275	45.732	38.857	OK
GAM3	250.347	1,102.5	2,275	53.364	28.608	OK
GEV	1,655.428	1,102.5	2,275	276.982	0.16	OK
GUM	1,643.496	1,102.5	2,275	231.313	0	OK
LGU2	0	1,102.5	2,275	1,631.291	8.024	OK
LGU3	0	1,102.5	2,275	0	0	NG
LN2	0	1,102.5	2,275	7.473	0.16	OK
LN3	-503.942	1,102.5	2,275	7.725	0.125	OK
LP3	0	1,102.5	2,275	0	504.902	NG
WBU2	0	1,102.5	2,275	1,895.157	7.33	OK
WBU3	1,110.086	1,102.5	2,275	751.507	2.521	NG
GLO	1,760.925	1,102.5	2,275	159.351	-0.061	OK
GPA	1,332.935	1,102.5	2,275	785.871	0.77	NG

71) 국토해양부, 2011, 확률강우량도 개선 및 보완 연구

- 최적확률분포형 선정 기준으로는 적합도 검정결과를 이용하며, 선정 기준값으로는 평균절대상대오차와 상대제곱근오차를 사용한다. 2개 이상의 확률분포형이 적합도 검정을 통과하는 경우에는 PPCC TEST(PPCC), CHI-SQUARE( $\chi^2$ ), KOLMOGOROV-SMIRNOV(K-S), CRAMER VON MISES(CVM)검정 순으로 오차가 작은 확률분포형을 최적확률분포형으로 선정한다.

[표 39] 최적확률분포형 선정을 위한 상대제곱근오차분석

매개변수명	상대제곱근오차			
	RRMSE-PPCC	RRMSE- $\chi^2$	RRMSE-KS	RRMSE-CVM
NOR	0.010	0.164	0.333	0.761
GAM2	0.000	0.744	0.444	0.826
GAM3	0.000	0.666	0.500	0.826
GEV	0.032	0.090	0.500	0.848
GUM	0.000	0.663	0.556	0.870
LGU2	0.051	0.771	0.992	0.826
LN2	0.010	0.342	0.500	0.848
LN3	0.010	0.142	0.500	0.826
WBU2	0.329	0.229	0.167	0.543
GLO	0.010	0.045	0.444	0.804
분포형 선정	GAM2, GAM3, GUM	GLO	WBU2	WBU2

- 상대제곱근오차를 사용하여 PPCC,  $\chi^2$ , K-S, CVM검정을 실시한 결과 1순위로 검정을 실시한 RRMSE-PPCC에서 GAM2, GAM3, GUM 3가지의 분포형이 적합한 것으로 검증되었다. 「확률강우량도 개선 및 보완 연구(2011, 국토해양부)」에서 제공하는 최종 확률분포형의 선정을 살펴보면 대체적으로 외국과 국내에서 Gumbel 분포가 가장 많이 널리 사용되고 대한민국 전국에 걸쳐 지배적인 분포형으로 설명하고 있다. 강우량을 심도로 표현하고자 치환한 치환총강우도 GAM2, GAM3, GUM 3가지 분포형 중 Gumbel 분포를 선정하여 확률가뭄강우량을 분석하였다.

- 치환총강우의 확률가중모멘트법 추정에 의한 Gumbel분포형 확률가뭄강우량에 치환을 상쇄시켜주기 위해 3,000mm를 감소하여 절대값으로 재설정된 확률가뭄강우량을 다음 [표 40]과 같다.
- 확률가뭄강우량을 일강우량으로 변환시키기 위해 가뭄빈도 해석에 따른 연간 총강우량을 최근 3년간의 강수 패턴을 적용하고 직접유출에 해당하는 유효강우를 분리하여 일 강수량 자료를 생성한 결과 빈도별 월총강우는 [표 41]와 같다.

[표 40] 확률가중모멘트법 추정의 Gumbel분포형 확률가뭄강우량

재현빈도	확률강우량(mm)	재현빈도	확률강우량(mm)	재현빈도	확률강우량(mm)
2	1,271.7	20	669.5	80	344.3
3	1,147.7	30	573.7	100	292.4
5	1,009.5	50	453.9	150	198.3
10	836	70	375.4	200	131.5

[표 41] 확률가뭄강우량의 빈도별 월강우

월별	재현빈도						2015년 (관측값)
	5년	10년	20년	50년	100년	200년	
1	16.0	13.2	10.6	7.1	4.6	2.1	35.6
2	19.9	16.5	13.2	9.0	5.7	2.6	27.4
3	41.0	34.0	27.3	18.4	11.9	5.3	40.3
4	84.7	70.2	56.4	38.1	24.7	10.9	134.8
5	64.7	53.6	43.1	29.1	18.8	8.5	52.5
6	124.3	103.0	82.6	55.8	36.1	16.1	104.9
7	150.0	124.1	99.5	67.7	43.4	19.5	224.5
8	135.6	112.1	89.9	60.8	39.4	17.8	23.1
9	165.3	136.9	109.7	74.3	48.0	21.5	9.7
10	81.0	67.0	53.6	36.3	23.4	10.5	132.0
11	82.8	68.6	55.0	37.1	23.9	10.7	166.4
12	44.0	36.4	29.2	19.8	12.7	5.5	71.6
연합계 (mm/y)	1,009.3	835.6	670.1	453.5	292.6	131.0	1,022.8

### 3. 가뭄유출 예측

#### 가. 목표 가뭄 예측

- 예측된 빈도별 목표가뭄강우량에 따른 보령댐유역의 예측유입량을 분석한 결과 다음과 같다. 2015년 관측값을 기준으로 빈도별 예측유입량을 비교해 본 결과 10년빈도와 유사한 예측가뭄으로 보령댐유역에 강우와 유입이 발생하였음을 확인할 수 있었다.

[표 42] 목표 가뭄강우에 따른 보령댐 예측유입량

월별	재현빈도						2015년 (관측값)
	5년	10년	20년	50년	100년	200년	
1	1,303,845	1,027,970	808,877	548,001	426,937	325,961	5,222,880
2	1,847,059	1,433,618	1,025,983	602,139	381,508	201,108	2,733,696
3	3,072,125	2,268,873	1,607,040	932,619	499,522	104,752	2,865,888
4	7,032,096	5,347,296	3,786,912	2,033,683	1,116,634	222,031	9,979,200
5	4,963,075	3,706,906	2,678,400	1,486,512	809,145	156,874	3,696,192
6	9,367,488	6,894,720	4,901,472	2,973,024	1,620,259	352,512	2,488,320
7	10,673,424	8,203,939	6,117,466	3,666,730	1,931,662	426,401	12,883,104
8	9,604,742	7,229,002	5,321,981	3,037,306	1,492,404	383,815	1,580,256
9	13,828,320	10,834,560	8,048,160	4,701,888	2,674,944	866,765	648,000
10	6,219,245	4,497,034	3,214,080	1,966,213	1,099,483	246,948	2,196,288
11	8,074,080	6,218,208	4,372,704	2,328,134	1,300,406	346,550	7,568,640
12	4,901,472	3,575,664	2,665,544	1,296,078	698,795	197,050	8,436,960
연합계 (m <sup>3</sup> /y)	80,886,972	61,237,788	44,548,618	25,572,326	14,051,699	3,830,768	60,299,424

## 나. 연속 가뭄 예측

- 예측된 빈도별 목표 가뭄 강우량을 5년과 5년, 5년과 10년, 5년과 20년, 10년과 10년 빈도의 가뭄강우량이 연속하여 발생하였을 때 보령댐 유역의 예측유입량을 분석한 결과 다음과 같다. 2015년 관측값을 기준으로 빈도별 예측유입량을 비교해 본 결과 10년 빈도의 가뭄강우가 2회 연속해서 발생하였을 경우, 차년도 예측유입량과 유사한 예측 가뭄으로 보령댐 유역에 강우와 유출을 적용하였다. 연속가뭄으로 인한 차년도 유입의 영향은 적용된 유역유입모델의 특성상 이전의 발생유입보다 강우량 자체적으로 더 큰 영향을 미치는 모델이므로 연속으로 가뭄발생시 유출변화의 영향은 크게 나타나지 않을 것으로 예측되었다.

[표 43] 연속 가뭄강우에 따른 보령댐 차년도 예측유입량

월별	재현빈도				2015년 (관측값)
	25년	50년	100년	100년	
	5 & 5년 빈도 연속	5 & 10년 빈도 연속	5 & 20년 빈도 연속	10 & 10년 빈도 연속	
1	1,443,122	1,133,231	873,962	901,282	5,222,880
2	1,741,582	1,321,125	953,407	1,185,166	2,733,696
3	2,938,205	2,200,841	1,559,364	2,158,523	2,865,888
4	7,205,760	5,303,232	3,760,992	5,147,712	9,979,200
5	4,877,366	3,685,478	2,676,793	3,631,910	3,696,192
6	9,530,784	6,975,072	4,940,352	6,889,536	2,488,320
7	10,823,414	8,236,080	6,149,606	8,195,904	12,883,104
8	9,441,360	7,295,962	5,386,262	7,274,534	1,580,256
9	14,813,280	10,842,336	7,998,912	10,824,192	648,000
10	5,386,262	4,505,069	3,106,944	4,475,606	2,196,288
11	7,765,632	6,000,480	4,269,024	5,969,376	7,568,640
12	4,550,602	3,358,714	2,451,807	3,342,643	8,436,960
연합계 (m <sup>3</sup> /y)	80,517,370	60,857,620	44,127,426	59,996,385	60,299,424

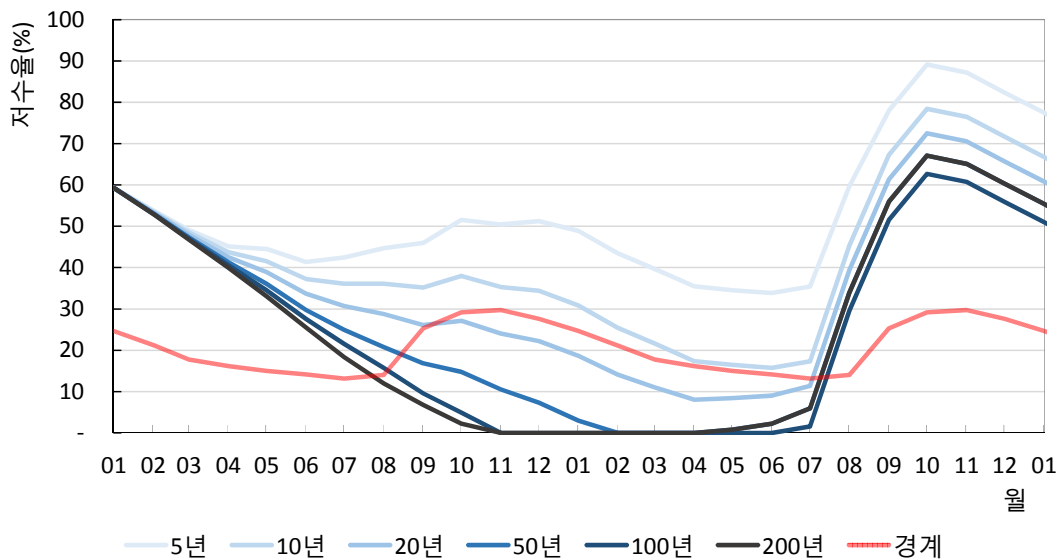
## 4. 가뭄시 수자원 공급 모의

### 가. 모의 방법

- 가뭄시 유역에서 댐으로 유입되는 유량은 5년, 10년, 20년, 50년, 100년, 200년 가뭄빈도의 유역유출 해석결과를 반영하였다. 그리고 보령댐의 경우, 유효저수량과 연간공급량이 1:1로 동일하여 1년간의 가뭄이 다음해에 까지 미치는 영향이 매우 크다. 따라서 2014에서 2015년 까지 이어진 가뭄이 연속되는 현상을 모의하기 위하여 연속 가뭄모의 결과를 반영하였다.
- 가뭄 종료된 이후 평년의 유량으로 회복되는 연간 총유입유량은 평년 강수량을 기준으로 하였으며, 일강우 패턴은 최근 5년간의 강우 자료를 활용하였다. 강우 자료의 기간 범위를 짧게 잡은 이유는 최근의 기후변화가 여름에 집중되었던 강우가 가을과 겨울로 분산되는 특성을 반영하고자 함이다.
- 용도별 용수공급계획에서 발전용수는 보령댐 전체 운영기간의 평균인  $0.53\text{m}^3/\text{s}$ 로 공급하되, 저수율이 가뭄시 용수공급 조정기준의 경계에 진입하는 경우,  $0.2\text{m}^3/\text{s}$  미만으로 운영하였으며, 저수율이 10% 미만인 경우에는 발전을 중지하는 것으로 모의하였다.
- 원수공급량은 생활용수와 공업용수를 합하여 2014년 최근 년도 기준 연평균 일공급량인  $2.25\text{m}^3/\text{s}$ 를 적용하였으며 저수율이 용수공급 조정기준 경계미만으로 떨어지는 경우, 10%의 절수를 시행하도록 모의하였다.
- 금강에서 유입되는 도수량은 용수공급 조정기준 경계미만인 경우에 가동하도록 하였으며, 도수용량은 시설용량인  $115\text{천m}^3/\text{일}$ 을 공급하는 것으로 모의하였다.
- 가뭄 진입단계 용수조정은 가장 먼저 발전용수를 감소하였으며, 경계단계 미만에서 도수로만 가동하는 경우와 도수로 가동과 원수사용 절감을 동시에 적용한 시나리오로 모의를 수행하였다.
- 총 모의 기간은 연속가뭄과 차년도의 용수수급현황을 판단하기 위하여 36개월을 수행하였으며, 월간 단위의 용수 수급현황을 모의하였다.

## 나. 단년 가뭄 모의 결과

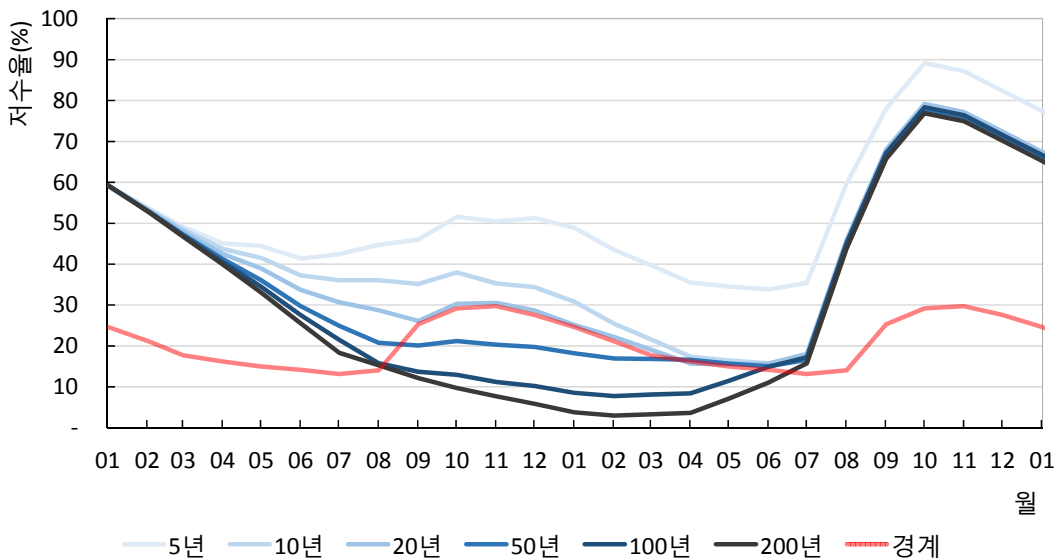
- 가뭄 대응 대책을 반영하지 않은 빈도별 댐운영 모의결과이다. 붉은선의 그래프는 보령댐 용수공급조정기준의 경계단계를 나타내고 있으며, 그래프 색깔별로 5년~200년 빈도 가뭄을 모의한 결과이다.
- 보령댐은 유효저수량과 연간용수공급량이 1:1로 가뭄에 매우 취약한 특성을 갖고 있다. 아래 모의 결과 5년 및 10년 빈도의 가뭄이 발생할 경우, 가뭄 대응 대책이 수반되지 않더라도 용수공급 조정기준의 경계단계 이상의 저수율을 유지할 수 있는 것으로 평가되었다.
- 그러나 20년 빈도의 가뭄이 발생하는 경우, 경계단계 미만으로 저수율이 낮아질 수 있으며, 가뭄이 발생한 차년도 봄에는 10% 미만의 극심한 가뭄을 겪게 될 수 있다.
- 또한 50년, 100년, 200년 빈도의 가뭄이 발생하는 경우, 가뭄 경계단계 진입 3개월만에 저수량이 완전히 바닥나고 용수공급이 불가능한 수준이 될 것으로 모의 되었다.



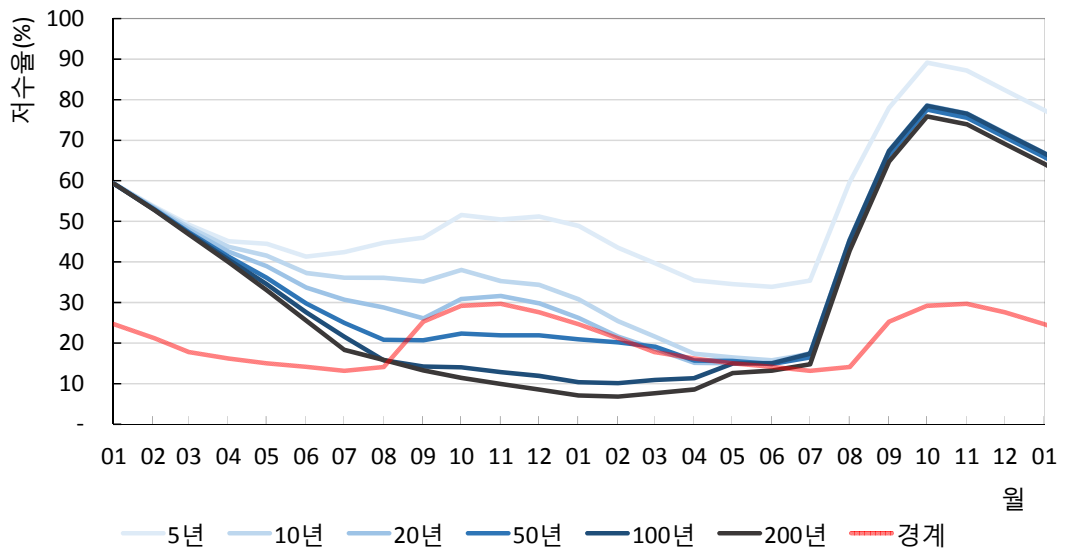
[그림 36] 가뭄 대응방안 미 도입시 가뭄 빈도에 따른 월간 저수율 변화



- 가뭄이 발생하여 보령댐 용수공급 조정기준의 경계단계에 진입할 경우, 발전수량을 최소화하고 금강-보령댐 도수로 11,5천m<sup>3</sup>/일을 이송하여 공급하는 가뭄 대응 대책을 도입하는 경우, 20년 빈도의 가뭄이 올지라도 경계수준 이상의 저수율을 유지할 수 있도록 댐 운영이 가능한 것으로 평가되었다.
- 또한 50년 빈도의 가뭄이 발생할지라도 경계 수준 미만의 낮은 저수율을 유지하고 있지만 여전히 상수 원수와 농업용수를 정상적으로 공급 가능할 것으로 모의되었다. 보령댐의 원수공급량이 600만m<sup>3</sup>/월인 것을 감안할 때, 금강-보령댐 도수로 공급되는 350만m<sup>3</sup>/월의 양은 원수 공급량의 50%이상을 충당할 수 있는 수준으로서 반대로 댐의 저수용량이 약 42% 증가된 것에 상응하는 효과를 내고 있다.
- 도수로가 정상가동시 50년 빈도에 이르는 가뭄까지 용수의 정상공급이 가능할 것으로 예측된다. 100년 빈도의 가뭄이 발생할 지라도 시나리오에 적용한 바와 같이 차년도 하절기 강우로 저수율이 회복된다면 용수공급이 전면 중단되는 최악의 상황은 막을 수 있을 것으로 예측된다. 200년 빈도의 가뭄이 발생할 경우에는 정상적인 용수공급은 불가능 할 것으로 판단된다.



[그림 37] 도수로 운영시 가뭄 빈도에 따른 월간 저수율 변화

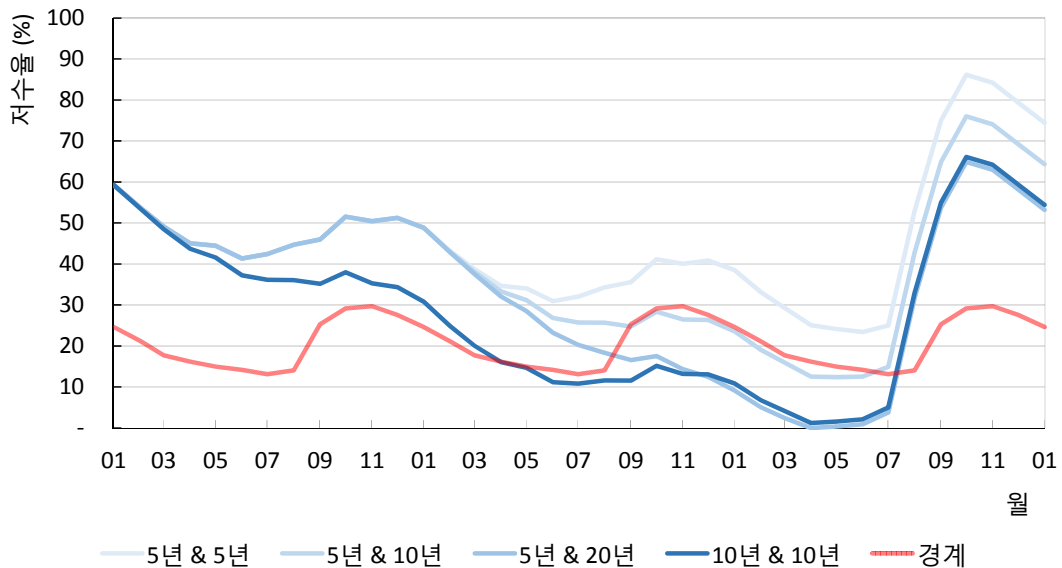


[그림 38] 도수로 운영 및 원수 수요절감시 가뭄 빈도에 따른 월간 저수율 변화

- 가뭄이 발생하여 보령댐 용수공급 조정기준의 경계단계에 진입할 경우, 발전수량을 최소화, 금강-보령댐 도수로 11,5천 $\text{m}^3$ /일을 이송 공급, 상수원수 10% 절감의 가뭄 대응 대책을 도입하는 경우, 20년 빈도의 가뭄이 올지라도 경계수준 이상의 저수율을 유지할 수 있도록 댐 운영이 가능한 것으로 평가되었다.
- 앞서 분석된 결과에 원수 10%절감 방안을 도입할 경우, 5년~20년 빈도의 가뭄에는 큰 변화가 없는 것으로 나타났으나, 100년과 200년 빈도의 극심한 가뭄이 발생할 경우에는 용수공급이 전면 중단되는 최악의 상황을 막는데 효과가 있을 것으로 모의되었다. 용수 절감의 총량이 크지 않아 20%이상의 저수율에서는 효과가 뚜렷이 나타나지 않지만, 극단적인 가뭄이 발생하여 도수로에 의한 용수공급으로도 원수공급량을 충당할 수 없는 경우에는 필히 원수 절수 대책에 도입되어야 할 것이다.

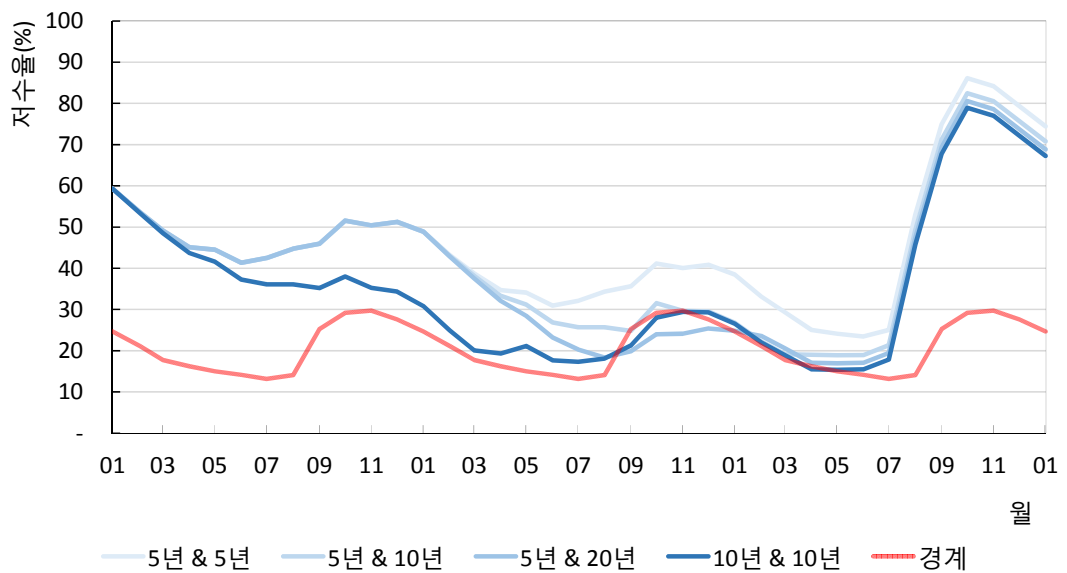
## 다. 연속가뭄 모의 결과

- 2년간의 연속되는 가뭄에 대한 모의한 결과 다음 그래프와 같이 보령댐 저수율이 유지 가능한 것으로 나타났다. 붉은색 그래프는 보령댐 용수공급 조정기준의 경계단계 저수율을 나타내고 있으며, 그래프 색깔별로 5년 빈도 가뭄이 2년간 연속되는 경우, 첫째 5년 빈도의 가뭄이 발생하고 차년도에 10년 빈도의 가뭄이 발생한 경우, 첫째 5년빈도의 가뭄이 발생하고 차년도에 20년 빈도의 가뭄이 발생한 경우, 첫째 10년 빈도의 가뭄이 발생하고 차년도에 10년 빈도의 가뭄이 반복해서 발생한 경우를 모의한 결과이다.
- 5년과 5년 빈도의 가뭄이 연속해서 오는 경우는 비초과확률상 25년 빈도의 가뭄에 해당하며, 5년과 10년 빈도의 가뭄이 연속해서 오는 경우는 50년 빈도의 가뭄에 해당하고, 5년과 20년 빈도와 10년과 10년의 가뭄이 연속해서 오는 경우는 100년 빈도의 가뭄에 해당한다.
- 빈도별 가뭄 발생시 용수 수급 및 공급 대책을 적용하지 않은 경우를 모의결과, 5년과 10년 빈도의 가뭄이 연속해서 오는 경우, 가뭄이 발생한 차년도에 용수공급 조정기준 경계 단계이하의 저수율로 떨어지지만 정상적인 용수공급이 가능할 것으로 모의되었다.
- 그러나 5년과 10년, 10년과 10년 빈도의 가뭄이 연속해서 오는 경우, 가뭄 발생 3년차 춘절기에 용수공급이 전면 불가능할 것으로 모의되었다.
- 5년 및 10년 빈도의 첫째 가뭄이 발생할지라도 용수공급에 지장없이 극복이 가능하지만 차년도에 10년 또는 20년 빈도의 가뭄이 연속해서 발생할 경우, 기존의 가뭄에 매우 취약한 보령댐의 특징을 모의 결과를 통하여 확인 할 수 있었다.

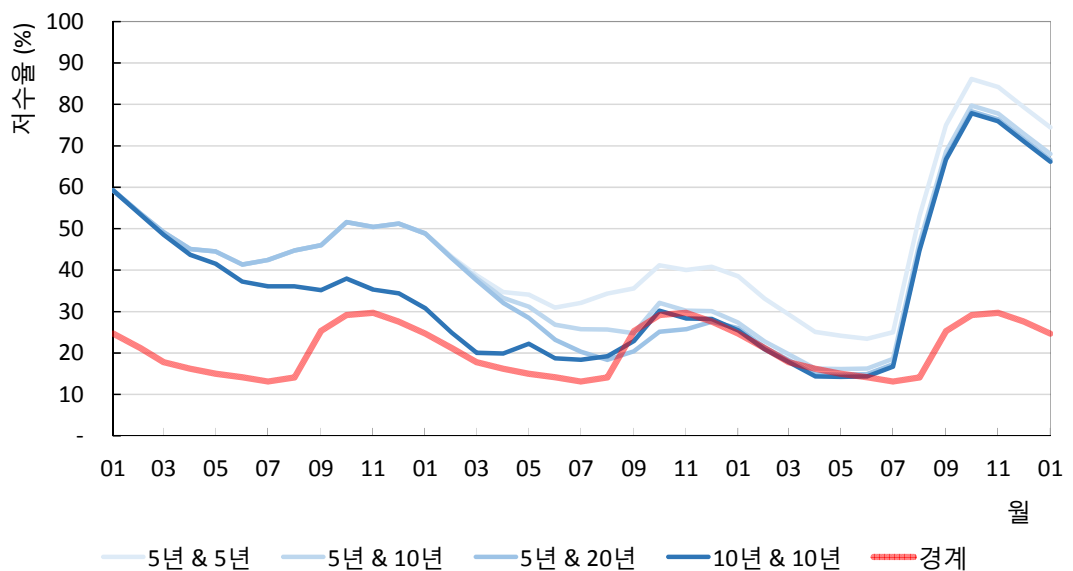


[그림 39] 가뭄 대응방안 미 도입시 연속가뭄에 따른 월간 저수율 변화

- 가뭄이 발생하여 보령댐 용수공급 조정기준의 경계단계에 진입할 경우, 발전수량을 최소화하고 금강-보령댐 도수로 11,5천 $m^3$ /일을 이송하여 공급하는 가뭄 대응 대책을 도입하는 경우, 5년과 10년, 10년과 10년 빈도의 연속된 가뭄이 발생하여도 용수공급조정기준의 경계단계의 유지가 가능하며, 정상적인 용수의 공급이 가능할 것으로 모의 되었다.
- 한편 상수원수 10% 절감의 추가 가뭄 대책을 도입하는 경우에, 저수율 회복에 큰 효과를 나타내지는 못하였지만, 긍정적인 효과를 갖고 있는 것으로 나타났다.
- 댐 저수지 모의 운영결과, 도수로에 의한 이송은 10년빈도 이상의 가뭄에 상당한 용수 수급효과를 갖고 있는 것으로 나타났으며 특히 단기간의 깊은 심도의 가뭄보다 장기간의 낮은 심도의 가뭄 대응 능력에 효과가 있는 것으로 나타났으며, 상수원수 절감 방안은 단기간 깊은 심도의 가뭄을 극복하는데 효과가 있는 것으로 나타났다.



[그림 40] 도수로 운영시 연속가뭄에 따른 월간 저수율 변화



[그림 41] 도수로 운영 및 원수 수요절감시 연속가뭄에 따른 월간 저수율 변화

## 제5장 가뭄 대응 정책방안

### 1. 가뭄 대응 정책 지류하천 모니터링(3/8)

- 가뭄으로 인한 물 부족에 대한 대책은 물 공급을 증대하거나 물 수요를 감소하는 수단으로 구분할 수 있다. 물 수요를 줄이는 수단은 가뭄기간이 비교적 단기간에 시행되는 비구조적인 점에서 단기대책으로 구분하며 비상재정지원과 같은 비상대책이 포함된다. 가뭄이 심해짐에 따라 물 사용 감소를 유도하는 활동과 병행하여 겪고 있는 가뭄의 영향을 감소하는 대책이다.
- 물 공급을 증대하는 수단의 대부분은 저수시설과 도수시설을 장기간에 걸쳐 준비해야하는 점에서 중·장기적 대책으로 구분한다. 장기대책은 수용자에게 신뢰할 수 있는 물 공급을 제공하는 항구적인 가뭄해소 대책으로서 단기대책의 필요성을 제한하고 비상대책이 요구되는 상황을 최소화하는 계획이어야 한다.

[표 44] 가뭄대응 단·장기 정책방안

구분	비구조적 방안	구조적 방안
유역단위 단기 정책	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 상수원 수준의 안전한 금강 수질관리</li> <li>• 비상 급수조절 계획 수립</li> <li>• 근거리 물수송 계획 수립</li> <li>• 물 절약 주민 홍보 및 교육</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 노후 불량 관거 누수율 개선</li> <li>• 상수원 개발 및 지방상수도 보수</li> <li>• 충남 상수도(병물) 생산 및 저장 거점 조성</li> <li>• 물 재이용을 통한 용수확보</li> <li>• 모듈형 정수처리시설 도입</li> </ul>
유역단위 장기 정책	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 효율적 물 수요관리계획 수립</li> <li>• 가뭄에 따른 수돗물 차등 적용</li> <li>• 가뭄보험제도 도입</li> <li>• 농경지 대체작물 전환</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 광역상수도 신규개발 조기시행</li> <li>• 해수 담수화 도입</li> <li>• 지하저류댐 도입</li> <li>• LID시설 도입</li> <li>• 농업용수 계측관리</li> <li>• 농업용수 공급 및 사용 효율화</li> </ul>
댐 운영 및 구조개선 방안	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 수면관리권 및 수리권 재조정</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 도수관로의 광역상수도 이송 전환</li> <li>• 비상방류시설 보완 및 신설</li> <li>• 다목적 저류시설</li> <li>• 본댐 증축 또는 조정지 설치</li> </ul>

## 2. 유역단위 단기 정책방안

### 가. 상수원 수준의 안전한 금강 수질관리

- 보령댐의 가뭄시 금강에서 용수를 공급하기 위한 목적으로 2016년 2월 통수가 시작되었다. 보령댐으로 공급되는 금강의 하천수는 생활용수로 활용함을 목표로 하고 있다. 하지만 도수시설의 취수지점인 금강 중·하류는 상수원수로는 다소 심미적 불안감을 해소하기에는 부족한 수질을 유지하고 있다.
- 매년 수온이 상승하는 하절기의 건기일이 지속되는 시기에 녹조가 번성하고 있으며, 녹조에는 독성물질을 배출하는 주요 남조류도 관측되고 있다. 특히 조류 발생은 강수량이 적어 하천의 유량이 감소하고 일조가 충분히 유지되는 시기에 집중적으로 발생하는 특성이 있어, 도수로의 활용이 요구되는 가뭄시기에 특히 취약할 것으로 예상된다.
- 가뭄시에도 8개 시·군에 안전한 상수원을 공급하기 위해서는 도수로 취수시설의 수처리 공정을 강화할 필요가 있으며, 조류와 냄새 제거를 위하여 보령정수장의 신속한 고도처리시설 도입이 요구된다. 아울러 금강 본류에서 반복적으로 발생하는 녹조의 제어를 위한 하천관리 방안이 도입되어야 할 것이다.



[그림 42] 도수로 취수지점의 녹조 현황(2016년 8월)

## 나. 비상 급수조절 계획 수립

- 보령댐 용수공급의 20% 절감이 가능하도록 가뭄시 비상 조절계획의 수립이 필요하다. 원수사용의 절감은 생·공업용수를 대상으로 하며, 공급 감소 및 중단시기를 대비한 비상용수 확보방안, 용수 자율 절감방안을 수립하여 가뭄 발생시 신속히 도입할 수 있도록 한다. 계획에는 용수절감시에 소요되는 예산, 시설, 장비가 준비될 수 있도록 수립되어야 할 것이다.
- 더 나아가 자율 절감으로도 가뭄의 극복이 어려울 시기에는 중앙부처, 광역자치단체에서 긴급 절수 명령을 발효 시킬 수 있도록 제도를 정비하여 용수활용 우선순위에 따른 제한공급 상황을 대비한 계획을 반영할 필요가 있다.

## 다. 노후불량 관거 누수율 개선

- 충청남도는 2015년 11월 기준으로 누수율 15.7%로 전국 평균 10.7%에 비해 높은 편이고 특히, 도내 서부지역 8개 시·군은 평균 25%에 달하며, 높은 곳은 부여 43.9%, 예산 36.4%로 소중한 물이 누수 되고 있다. 이에 그동안 국고지원에서 제외되어 왔던 상수도 유지관리 사업비도 국비로 지원될 수 있도록 중앙부처, 도, 시·군은 상수도사업에 관심을 갖고 협업을 통하여 누수율 제고에 노력해야 할 것이다.

## 라. 상수원 개발 및 지방상수도 보수

- 대형관정의 개발 및 정수장과 관로의 개보수를 통한 대체용수를 확보하여 서부지역 8개 시·군에 공사를 추진하며 [표 45]와 같이 약 60억원의 공사비가 산출되었다.
- 그동안 폐쇄 또는 예정중인 시·군 지방상수도의 적극적인 활용이 필요할 것이다. 단일 공급체계인 광역상수원수의 의존을 개선하기 위하여 용수량 20% 확보가 가능하도록 지역단위 중소규모 전용상수원 확보를 위한 자원과 대체수자원 개발 가능 수량 및 자원 조사(지하댐, 강변여과수 등)가 필요하다. 폐지예정인 지방상수도 시설은 복구하여 활용하고 단순 폐지가 아닌 비상급수 공급시설로 유지 방안을 검토하며 1개 시·군당 1개소 이상의 자체 수원을 확보하고 지방정수장 시설의 고도정수처리시설 도입으로 안정적인 운영 방안의 도입이 필요할 것이다



[표 45] 8개시군의 대형관정과 정수장 보수 및 관로보수공사 추진현황<sup>72)</sup>

시·군	사 업 량	사업비(백만원)		사업비 검토의견	비고
		건 의	조 정		
계	• 대형관정 64공 • 정수장 보수 및 관로 등	9,710	5,990		
보령시	• 대형관정 4공 - 물탱크 각 1식(30톤) / 급수 및 소독시설 • 청라정수장 보수공사 1식	1,000	560	• 대형관정 공당 9천만원 (관로 및 부속시설 포함) • 청라정수장 보수 2억	
당진시	• 행정배수지 송수관로 시설공사 (D300mm, L=900m )	450	450	• 대청댐 수계로 전환하기위 한 사업비로 지원필요	
서산시	• 대형관정 17공 • 대교천 유공관 매설 (D800mm)	5,800	1,680	• 대형관정 공당 9천만원 (관로 및 부속시설 포함) • 유공관매설 1억5천	
서천군	• 대형관정 4공	200	360	• 대형관정 공당 9천만원 (관로 및 부속시설 포함)	
청양군	• 대형관정 3공 (D200mm, L=3.5km)	600	600	• 대형관정 공당 9천만원 (관로 및 부속시설 포함) • 관로공사비 3억3천	
홍성군	• 대형관정 10공 • 기타 급수차 임차료 등	700	900	• 대형관정 공당 9천만원 (관로 및 부속시설 포함)	
예산군	• 관정개발 16공 (대형 6공, 중형 10공)	600	540	• 대형관정 공당 9천만원 (관로 및 부속시설 포함) • 중형관정 제외	
태안군	• 대형관정 10개소	500	900	• 대형관정 공당 9천만원 (관로 및 부속시설 포함)	

72) 충청남도 물관리정책과, 2015, 가뭄극복 방안

#### 마. 충남 상수도(병물) 생산 및 저장 거점 조성

- 가뭄에도 안정적으로 유지되고 있는 지방상수도 시설을 거점으로 선정하여 지방상수도 권역을 설정하고 비상 용수 공급을 위한 물은행 개념의 병물 생산 및 저장 거점을 조성한다. 생산한 병물은 일정량의 비축분을 상시 제고하고 특히 가뭄 발생의 기점이 되는 7월~9월 중에 비축량을 증가하여 가뭄 발생시 권역내의 단수 또는 제한급수 지역에 용수공급을 위한 거점으로 활용이 가능할 것이다.

#### 바. 근거리 물수송 계획 수립

- 하천유역 상하류 간 협력과 유역차원의 종합적 관점에서 물이 풍부한 지역으로부터 물수송이 필요하고, 상류의 도시개발은 하류의 안정적 수원확보에 영향을 주기 때문에 하천 유역 내 상하류 간 협력이 필요하다. 뿐만 아니라 유역으로 구분된 지역은 수자원 관리 특성이 다르고 인접지역의 가뭄이 발생하였음에도 불구하고 물 부족 현상이 다르게 나타날 수 있다.
- 때문에 비상용수의 이송을 위한 물 수송 계획의 수립이 필요하고, 이러한 방안은 가뭄 발생을 대비한 대기 비용이 비교적 적지만 큰 효과를 낼 수 있는 방안이다. 수자원이 풍부한 충남 중남부지역에서 물부족을 겪었던 서부지역 보령담광역상수도 권역으로 물수송(Water Conveyance)과 보령담광역상수도 급수 지역내의 물수송 방안을 계획할 필요가 있다.

#### 사. 물 재이용을 통한 용수확보

- 빗물 재이용을 통해 용수를 확보할 수 있다. 빗물은 수질이 양호한 청정 대체 수자원이며 연간 167천m<sup>3</sup>을 활용하여 청소, 조경용수 등으로 사용이 가능할 것으로 추정된다.
- 하폐수처리수 재이용을 통한 용수의 확보도 가능하다. 도내 공공하수처리시설은 2015년 기준으로 56개소(처리량 500m<sup>3</sup>/일 이상)이며 48,142천m<sup>3</sup>의 하수처리수를 농업용수 등으로 재이용 할 수 있다.
- 중수도 재이용도 용수의 확보가 가능하다. 대형 건물 등에서 사용한 수돗물을 자체 정수하여 청소, 조경용수 등으로 재활용해 수돗물 재이용을 추진한다.

## 아. 모듈형 정수처리시설 도입

- 모듈형 정수처리시설은 기존의 이동형 정수처리시스템과 유사하며, 다양한 정수처리시설 공정을 규격화하여 각 단계의 시설 또는 동일 단계의 시설이 직렬 또는 병렬로 신속하게 연계가 가능한 시설로 개발되고 있다.
- 기존의 이동형 정수처리시설은 한강시민공원 수영장, 축제현장, 재난 발생지역과 같이 단기간에 부지·설비의 확보가 어려운 지역에 깨끗한 물을 공급하기 위하여 활용되고 있다.
- 비상용 시설로 이동형 정수처리시설을 확보 및 관리함에 있어 비가뭄시 활용성이 떨어질 수 있는 점을 보완하기 위하여 평소 인구집중 유발 행사, 축제 행사장, 성수기 피서지 등의 지역에 활용하고 가뭄시에 물 부족지역의 정수처리 시설로 투입이 가능하다.



[그림 43] 이동형 정수처리시설 사례<sup>73)</sup>

73) 한국수자원공사, [www.kwater.or.kr](http://www.kwater.or.kr),

## 자. 물 절약 주민 홍보 및 교육

- 시민의 참여 없이 행정기관의 노력만으로는 가뭄대책의 효과는 반감되기 쉽고 시민들의 적극적 동참 없이는 가뭄대책의 실효성에 한계가 있을 수 있다. 물 부족이 걱정되는 보령담광역상수도 권역 주민들은 안정적 물 수급을 위해 행정기관과 협조하여 당분간은 물 절약에 대한 협력이 필요하다.
- 시·군 및 K-water에서 주민들을 대상으로 현재의 수자원에 대한 올바른 상황전달과 물 절약 홍보가 지속적으로 추진되어야 할 것이다. 일반주택은 물론 물을 많이 사용하는 리조트 등에 절수기기 보급과 함께 물절약 생활화를 유도하고 관내의 모든 학생에게 홍보할 수 있도록 학교와의 협조도 필요할 것이다.

### 3. 유역단위 장기 정책방안

#### 가. 효율적 물 수요관리계획 수립

- 기존의 수자원 관련 계획은 공급자 중심의 국가계획에 의하여 추진되었으나, 지속적으로 증가하는 물 수요량을 수용할 수 없는 한계의 상황이 다다를 수 있으므로 기존에 확보된 수자원을 효율적으로 활용하기 위한 수요관리 방안을 체계적으로 정립할 필요가 있다.
- 물 수요관리계획에는 물 수요를 관리하기 위한 생활용수, 공업용수, 농업용수 소비패턴 분석과 개선을 추진하고, 물 과다 사용지역과 부족지역을 조사하여 과다 사용의 원인과 절감방안을 도출하여 실행에 옮길 수 있는 방안이 반영되어야 할 것이다. 또한 물 절감을 위하여 노후관망 정비사업 추진(1,744억 원 투입)과 절수기기 보급, 2020년까지 하수처리수, 중수도, 빗물이용시설 등 설치(218백만  $m^3$ /년), 아산신도시 물 재이용사업(탕정 일반산업단지 공업용수 공급), 공공 및 가정부문, 빗물저금통, 저류시설을 지속적으로 추진할 수 있도록 중장기 로드맵을 통한 정책의 추진을 가능하게 해야 할 것이다.

#### 나. 가뭄에 따른 수돗물 차등 적용

- 극심한 가뭄 발생 시에는 차등적 수도 요금제도(Drought Rate Structure)를 적용한다. 가뭄이 발생할 시에 공급되는 수돗물은 비가뭄시에 막대한 비용을 투자하여 유지되는 경우가 대부분이며, 가뭄을 대비한 다양한 계획과 비상대응 방안의 수립을 통해서 만이 가능하게 된다. 이는 다시 말하면 물이 부족한 시기에 생산한 수돗물은 평시와 그 생산비용이 다른 것인 현실이며, 이에 대한 부담을 현실적으로 반영하고 지속적인 시설의 유지관리 및 대응방안 개선을 위한 비용은 어떠한 방법에 의해서든 확보되어야 할 것이다.
- 아직 물에 대한 경제적 가치의 인식이 부족한 우리나라에서는 가뭄시 수돗물 생산 및 공급을 위하여 증가되는 모든 비용을 수요자가 부담하는 것에는 받아들이기 어려운 부분이 있을 수 있으므로 비용 상승분의 일부를 용수절감 인식 확산 차원에서 적용이 가능할 것이다.
- 또한 물의 낭비적인 소모를 방지하기 위해 기준량 이상을 사용한 양에 대해서는 물 값을 차등부과 하는 요금체계를 적극 도입할 필요가 있다.

## 다. 가뭄보험제도 도입

- 식당, 농경지, 산업시설 등과 같이 소득을 위한 시설을 운영하는 경우, 용수공급의 전면 중단은 매우 심각한 경제적 파장을 가져올 수 있다. 특히 소규모 식당이나 농가의 경우, 당해 연도 생계를 유지하기 어려운 수준의 상황이 발생할 수 있으며, 대형 산업시설은 생산의 차질로 인하여 기업의 유지가 어려운 상황이 발생할 가능성이 있다. 이에 가뭄으로 인한 물 부족으로 발생하는 경제적 피해의 일부를 상쇄시킬 수 있도록 보험제도를 신설하여, 가뭄 발생에 따른 유·무형의 경제적 피해를 보완할 수 있도록 한다.

## 라. 광역상수도 신규개발 조기시행

- 2025 국가 수도정비기본계획<sup>74)</sup>에 확정·반영된 사업을 조기 시행하도록 요청하여 장래 용수부족을 미리 대비한다. 광역상수도 및 공업용수도 개발계획 중 금강북부권은 2개의 사업을 추진하였으며 대청댐계통 III단계 광역상수도사업과 충남 서부권 광역상수도사업이다.
- 대청댐계통 III단계 광역상수도사업은 천안시, 아산시 생활용수와 세종특별자치시, 청주시, 천안시, 아산시, 서산시, 당진시, 예산군 공업용수 부족을 해소하기 위해 대청댐광역 및 아산공업을 체계조정하고 606천m<sup>3</sup>/일(생활 84천, 공업 522천) 확장하는 사업이다. 총사업비 7,259억원으로 2013년부터 2019년까지 취수장 1개소(822천m<sup>3</sup>/일), 정수장 2개소(244천m<sup>3</sup>/일), 조절지 1개소, 가압장 3개소, 관로 130.8km를 시공한다.
- 충남 서부권 광역상수도사업은 서산시, 당진시, 홍성군, 예산군, 태안군 생활용수 부족을 해소하기 위해 충남서부권광역을 100천m<sup>3</sup>/일 공급하는 사업으로 100천m<sup>3</sup>/일(생활용수) 확장하는 사업이다. 총 사업비 2,807억원으로 2017년부터 2021년까지 저류조 1개소, 가압장 4개소, 관로 118.7km를 시공한다.

74) 국토교통부, 2015, 2025 수도정비기본계획(광역상수도 및 공업용수도) 변경 보고서

## 마. 해수 담수화 도입

- 해수담수화란 생활용수나 공업용수로 직접 사용하기 힘든 바닷물로부터 염분을 포함한 용해물질을 제거하여 순도 높은 음용수 및 생활용수, 공업용수 등을 얻어 내는 일련의 수처리 과정을 말한다. 해수탈염이라고도 하며, 해수를 담수로 생산하는데 사용되는 설비를 해수담수화 설비라고 한다.
- 담수화 설비는 지구상의 물 중 98%나 되는 해수나 기수를 인류의 생활에 유용하게 쓸 수 있도록 경제적인 방법으로 염분을 제거하여 담수로 만드는 설비이다. 담수화 방법으로 해수를 증발시켜 염분과 수증기를 분리하는 증발법, 물은 통과시키고 물속에 녹아 있는 염분은 걸러내는 역삼투압 방식 등이 있다. 증발법은 역삼투압법에 비해 에너지 소비량이 3배나 더 많기 때문에 원유 가격이 안정적인 중동 지역을 제외하면 주로 역삼투압 방식이 널리 퍼져 있다.
- 보령댐에서 광역상수도를 이용하여 공급되고 있는 서부권 중 해수담수화 사업을 통하여 100,000m<sup>3</sup>/일을 공급할 계획이 검토되고 있으며, 보령댐과 해수담수화 사업과 연계시 보령댐은 충분한 용수공급량을 확보할 수 있는 것으로 판단된다. 서부권 해수담수화 사업은 설계빈도 이상의 극한 가뭄을 극복할 수 있는 항구적이고 안정적인 용수공급 방안으로 물 안보에 기여할 수 있을 것으로 전망된다. 특히 보령댐 급수지역에서 당진화력, 태안화력, 대산국가산단과 같은 국가 기반 시설이 위치하고 있어, 비상시에 물 부족을 극복이 가능한 이원체제의 수원확보가 절실하다.

## 바. 지하댐(그린댐) 도입

- 지하댐(그린댐)은 댐 용도의 포괄적 기능에 따라 이수목적의 저수댐에 해당되며, 풍수기에 하천의 잉여수량을 저류하여 홍수량을 유역분담시키고 이상가뭄, 수질사고 등 비상시에 용수를 공급할 수 있는 댐이다. 국내의 지하댐은 총 6개소이며 충청남도 관내에 위치한 공주시 우성면 옥성리의 옥성지하댐은 농업용수 공급을 위해 27,900m<sup>3</sup>/일의 시설을 운영하고 있다.
- 지하에 물막이 댐과 방사상집수정 등의 구조물을 설치하여야 하므로 지형·지질적 제한을 받는 단점이 있으나, 이러한 조건을 충족할 경우, 대용량의 양질의 용

수를 얻을 수 있는 장점이 있다. 또한 지하수위 상승을 통해 지속적으로 문제가 지적되고 있는 하천의 건천화를 방지하는데 효과를 얻을 수 있고 방대한 부지의 수몰과 수생태계의 단절을 요구하는 기존 댐 건설의 수요 일부를 대체할 수 있는 지속가능한 물 저류시설로 꼽을 수 있다.

- 또한, 지상에 대형구조물을 설치하지 않아도 되므로 환경 피해를 최소화 할 수 있는 정성적 효과도 있다. 따라서 국가나 지역차원에서 용수수급 계획을 수립할 경우 실현 가능한 대안으로 지하댐을 적극 반영함으로써 국가단위나 지역단위의 수자원 초기 개발계획 단계에서부터 용수수급에 유연성을 제고하는 한편 지속 가능한 수자원 개발에 일익을 담당할 수 있을 것이다.

## 사. LID(Low Impact Development) 시설 도입

- LID는 현재 미국 환경부에서 국가정책 상으로 도시화에 따른 수문학적 영역의 변화로 인해 야기되는 문제점들에 대해 지역 내의 자연적 시설과 수문학적 기능을 보존하는 계획과 설계의 통합적인 접근 방법으로써 도시유역 내의 물순환을 개선하고자 하는 도시설계 방법이다.
- 대표적인 저영향개발 기술요소에는 식생체류지, 옥상녹화, 나무여과상자, 물재배 화분, 식생수로, 식생여과대, 침투도랑, 침투통, 투수성 포장, 모래여과장치, 빗물 통, 빗물정원, 인공습지 등 이 있고, 도시지역의 비점오염원 관리 및 건전한 물순환 체계확보를 위해 확대 적용되고 있는 실정이다.
- 현재 LID기법은 「자연재해 대책법」 제19조에 의거 개발사업의 시행시 우수유출저감대책을 수립하도록 되어있으며, 「물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 법률」 제8조에 의거 지붕면적 1천 $m^2$  이상인 공공건물, 건축면적 1만 $m^2$  이상인 공동주택 등에 빗물이용시설을 의무적으로 설치·운영하도록 규정되어 있으며, 각 지자체의 조례에 빗물이용시설에 대한 규정이 있다.

## 아. 농업용수 계측관리

- 기존의 농업용수 공급시스템은 개수로에 의한 공급이 대부분이며, 필요에 따라 인근 지선에서 수요지역에 수로를 연결하는 방식으로 확장됨에 따라 정확한 사용량과 공급량을 파악하기 어려운 것이 현실이다. 또한 현재 사용량을 정확히 알



수 없기 때문에 절감량과 방안을 도출하는데 한계가 있으며, 과학적인 농업용수 관리를 위해서는 용수의 저류량·이송량의 계측 및 전산 Network 시스템이 필수적이다.

- 가뭄피해를 최소화하기 위해서 첨단 계측장비 및 정보통신망 등을 이용한 적극적인 저수관리 시스템 Network가 필수적이거나 현재 대부분의 농업용 저수지는 최소한의 저수위 계측시설도 없는 상태에서 비과학적인 저수관리가 이루어지고 있으므로 지역적 가뭄에 대처하기 위해 첨단의 저수위 측정 장비와 컴퓨터 및 정보통신망을 활용하며 전국의 저수지를 총괄할 수 있는 과학적 계측관리시스템을 추진한다.

## 자. 농업용수 공급 및 사용 효율화

- 수자원 총량원 약 18.89%가 용수로 활용되고 있으며, 활용되는 용수의 54%가 농업용수로 공급되고 있다. 이와 같이 농업용수는 수자원 공급의 최대 수요처임에도 불구하고 현재까지 공급과 이용에 대한 정확한 계측자료가 매우 부족하다. 또한 이중에서 수질이 I~II등급에 해당하는 농업용 저수지는 비상시에 생활용수의 공급이 가능할 것으로 판단된다.
- 그러나 농업용수를 생활용수로 용도전환하기 위해서는 필요 농업용수량과 공급 가능한 농업용수량을 명확히 파악하고 생활용수로 용도전환이 가능한 여유수량이 있는지를 판단해야할 것이다. 하지만 현재까지 농업용수 관리 시스템에서는 정확한 수량을 결정하기에 정보가 부족하여 용수의 효율적인 활용이 불가능하다.
- 농업용수의 효율화를 위해서는 농어촌공사 및 시·군에서 운영하고 있는 농업용 저수지의 수위를 실시간 계측하고 수질 조사 빈도를 높일 필요가 있으며, 저수지에서 농경지로 공급되는 유량, 농경지에서 하천으로 방류되는 퇴수량을 계측하고 지능형 물정보시스템을 통한 효율화를 꾀하여야 할 것이다. 특히 지능형 물정보시스템은 정보의 수집, 분석, 운영현황을 인터넷과 모바일로 농업인과 지역 물관리자에게 제공하여 신속한 물관리 의사결정에 활용이 가능할 것이다.



[그림 44] 농촌용수 스마트 관수로 시스템 개념도<sup>75)</sup>



75) 한국농어촌공사 농어촌연구원, 김영화, 2016, 농촌용수 효율적 이용을 위한 스마트 물관리(관수로) 시스템 구축방향

## 차. 농경지 대체작물 전환

- 본 연구에서 분석된 원수공급은 20~50년빈도의 가뭄에도 용수공급이 가능할 것으로 전망하고 있으나, 평야지역이 넓게 형성되어 있는 서북부 지역은 연강수량 700mm 미만의 약 10년 한발빈도의 가뭄이 발생에도 농업용수 공급이 불가능한 지역이 매우 넓게 산재되어 있다.
- 가뭄과 고온으로 모내기를 하지 못하거나 모를 낸 논 가운데 물이 부족할 경우 대체작물로 전환하여 재배를 한다. 주요 대체작물로는 모내는 시기가 늦어 모를 심지 못한 논은 콩·팥·녹두·메밀·조·가을감자·엽채류(열무·배추)·사료작물(수수류) 등을 추천하며 대체작물을 심기 위해서는 우선 가뭄이 해소돼 물이 충분히 공급돼야 가능하므로 작물별 파종 한계기도 감안해야 할 것이다.
- 대체작물별 파종 한계기는 콩이 중북부 7월5일·남부 7월10일, 팥이 중북부 7월 20일·남부 7월30일, 녹두 중북부 7월25일·남부 7월30일 등이다. 또 수수류 사료작물은 8월10일까지 파종하면 되며 열무와 열갈이 배추는 중북부 지역의 경우 8 월까지 파종하면 40일 이후 수확이 가능하다.
- 7~8월은 가뭄 발생을 판단하기에는 다소 이른 시기이나 기존의 논 농경지의 대체작물 전환을 통해 농업용수 수요량을 절감할 수 있으며, 가뭄에 견디는 능력이 뛰어난 작물의 재배를 통하여, 농가의 안정적인 소득 보전에도 긍정적인 효과를 기대할 수 있다.

## 4. 댐 운영 및 구조개선 방안

### 가. 도수관로 광역상수도 이송 기능 전환

- 금강-보령댐 도수관로를 충남중부권 광역상수도-보령댐 도수관로로 용도변경할 필요가 있다. 가뭄시 수질의 관리가 어려운 금강 하천수이송하는 것이 아닌, 충남중부권 광역상수를 현재 건설된 도수로 취수장까지 연결하여, 양질의 수자원을 이송하는 시설로 용도 전환할 필요가 있다.
- 이러한 방안은 도수로 압송비용을 효율적으로 활용하고 대전·세종을 포함한 충청남도를 광역상수 원형 공급 그리드를 구축하여 안정적인 수자원 공급 체계를 형성할 수 있다.

### 나. 수면관리권 및 수리권 재조정

- 가뭄에 의한 물부족과 다양한 용도로 물자원을 이용하고자 하는 지역의 욕구가 높아지면서 물자원의 이용(배분) 및 이용에 요구되는 적절한 수질로의 관리를 둘러싸고 이해당사자 간 갈등과 분쟁이 더욱 부각되고 있다. 한정된 물자원의 이용과 보전을 둘러싼 이해와 갈등은 다양한 형태의 수리권에 대한 주장으로 제기되어 지역 간, 이해당사자 간 갈등으로 나타나고 있다.
- 우리나라의 수리권체계는 상이한 물이용 간의 갈등을 발생시킬 수 있는 구조를 가지고 있고 분산된 물관리 및 이용체계와 물자원 배분 및 조정의 원칙과 체계의 미비는 물자원의 효과적인 관리와 합리적인 이용을 저해하는 요소가 되고 있다.
- 그리고 댐의 용수량은 유역의 실제 수리권을 갖고 있는 이해당사자간의 의견 조정과 합의로 관리되어야 함에도 불구하고, 수면관리 및 댐 시설관리자의 판단에 의해서 수량관리가 되고 있어 수요자 중심의 수량관리 개념이 부족하다고 볼 수 있다.
- 댐에서 지속적으로 이용하고 있는 발전용량은 유역의 이해당사자, 용수 수리권자 등과의 협의나 합의 없이 활용되고 있다. 또한 도수로 가동을 판단하기 위한 기술적인 부분과 사회적 합의를 이끌어낼 수 있는 조직이 필요할 것이다. 용수가 충분히 공급 가능한 시기에는 문제가 되지 않지만, 용수 손실, 확보, 운영비용 등

의 많은 예산이 요구되는 가뭄시에는 매우 중요한 용수이용의 문제이므로 이에 대한 기술적 사항과 사회적 합의를 유도할 수 있는 제도가 필요할 것이다.

#### 다. 비상방류시설 보완 및 신설

- 비상방류시설은 여수로와는 별도로 여수로 웨어마루 이하의 저수용량을 배제시키는 시설물로써 저수지 초기 담수시 담수속도조절, 운영 또는 유지관리시 저수지를 비워야 할 경우, 가뭄시 비상공급 등을 위해 설치되어야 하는 시설물이다. 또한, 용도에 맞는 기능이 발휘될 수 있도록 충분한 방류능력을 가지고 있어야 한다.
- 댐설계기준(2011)에 의하면 큰 댐에서 이상가뭄 발생시 비상용수 공급을 위해서 저수위와 사수위 사이에 비상용수 방류관을 설치하는 것이 일반적이라고 기술되어 있다. 따라서 가뭄시 비상공급을 위해서 저수위와 비상용수 방류관 사이의 용량을 갈수용량으로 정의하고, 가뭄 등 비상시 활용할 수 있도록 방류시설 보완이 필요하다.
- 한국수자원공사 등(2016)<sup>76)</sup>이 보령댐 비상방류 가능량을 검토한 결과 8.0백만 m<sup>3</sup>으로 기본계획공급량의 7.5%에 해당하며 최대 27일까지 방류가 가능한 것으로 분석되었다.
- 비상방류시설의 방류능력 증가는 홍수기를 대비한 댐 저류량을 상향시킬 수 있기 때문에 홍수기 충분한 강우가 발생하지 못한 경우에 도래하는 가뭄을 대비하기 위하여 보다 많은 용수 저류가 가능하므로 한정된 수자원의 효율적인 활용차원에서 효과가 있다고 볼 수 있다.

#### 라. 다목적 저류시설

- 댐 저수구역내 다목적 저류시설 설치를 통해 물부족 대처 및 치수, 하천환경 등을 종합적으로 고려하는 방안이 필요하다. 다목적 저류시설 설치시 퇴사를 상류에서 차단함으로써 유사의 퇴적으로 인한 사수용량 감소량을 줄일 수 있고 댐의 저수용량과 비상용량의 증대 효과가 있다. 또한, 상류 저류공간으로 인한 저수공간 확보 및 수변공간 창출이 가능하다.

76) 한국수자원공사, ㈜홍익기술단, 2016, 기존 수자원 효율적 활용방안(한강수계, 보령댐) 자문보고서

- 우리나라 대부분 다목적댐은 취수를 목적으로 건설되어 상시 취수하고 있으므로 저류지에 퇴적되는 유사는 준설이 거의 불가능한 실정이다. 퇴적된 유사는 장기간 퇴적될 경우 저류공간을 차지하게 될 뿐 아니라 특정지역 특히 취수구 부근에 쌓일 경우 취수에 어려움을 유발시킨다. 이러한 유사를 사전에 상류지역에서 차단함으로써 저류지의 유사 퇴적을 방지하고 저수공간 확보 및 댐 운영에 문제가 발생되지 않는 다목적 저류시설의 설치는 취수구 주변에 퇴적되는 유사를 차단함으로써 원활한 취수 기능을 유지할 수 있도록 한다.
- 홍수기에 저류된 저수량을 가을부터 봄까지 활용할 경우 봄철 갈수기에는 물부족으로 인하여 저수지 수위가 저수위까지 내려가는 경우가 발생한다.
- 그 예로 국내 대규모 댐인 소양강 댐의 경우 평균 10m 이상의 차이를 발생하고 있으며, 광동댐의 경우 갈수로 인하여 저수지의 물이 부족하여 비상용수까지 사용한 적이 있다. 일반적으로 유입량보다 사용수량이 많아지면 저수지 수위가 저하되고 댐 수몰지가 드러나게 되는데, 이 부근은 불모지로 식생이 자라지 않는 부근으로 주변경관과 어울리지 않아 경관을 해치게 되는 결과를 초래한다.
- 수몰지가 드러나는 저수지 상류지역에 다목적 저류시설을 설치하게 되면 상류지역에 댐의 수위영향을 받지 않는 저류공간을 확보함에 따라 상시 수변공간을 창출하여 경관개선 등에 큰 도움이 될 것이다.
- 한국수자원공사 등(2016)<sup>77)</sup>이 기존댐 저수량 용량과 2010년 퇴사량조사시 산정된 용량을 비교한 결과 댐표고(EL.79m)기준으로 약 22백만 $m^3$ 이 줄어 퇴사위 이하 용량이 설계시보다 부족하게 분석되었다. 퇴사조사량이 18.97백만 $m^3$ 으로 퇴사위의 퇴사공간이 0.042백만 $m^3$ 을 초과하여 보령댐 토사준설이나 상류부 다목적 저류시설을 수몰지역내에 계획함으로 인해 사수위 이하 지역의 토사퇴적을 감소시키고 상류 다목적 저류시설에서 퇴적을 유도토록 하여 준설이 용이할 수 있도록 계획한 것이다. 수몰지역 중 저류공간 확보가 가능한 지역을 예시 지역으로 제시토록 하였으며 저류량이 약 0.6백만 $m^3$ 이상 가능할 것으로 예상하였다.

77) 한국수자원공사, ㈜홍익기술단, 2016, 기존 수자원 효율적 활용방안(한강수계, 보령댐) 자문보고서

#### 마. 본댐 증축 또는 조정지 설치

- 댐 재개발 사업은 목적별로 이수능력증대, 치수능력증대, 구조물의 안전성확보, 환경 생태적 대책으로 분류할 수 있으며, 이수능력 및 홍수조절용량 증대를 위한 댐 증고 또는 증축 방안이 있다.
- 댐 증고 또는 증축이 가능한 경우는 기존댐 중에서 수자원이용률(유입량 대비 연간 용수공급량)이 낮아서 유입량을 추가로 활용할 수 있는 댐에 해당된다. 또한, 증축을 위해서는 지형조건상 저수용량을 충분히 확보가 가능하고, 양안이 견고하여 안전하고, 차수성이 양호해야 하는 조건이 선행된다.
- 댐의 조정지는 한정된 수자원을 하류로 흘려보낼 때 손실량을 방지하고 다양한 치수 또는 비상시 상황을 대비하기 위하여 설치된다.
- 보령댐에는 조정지 댐이 없기 때문에 발전용수는 전량 하천 유지용수로 공급되고 있다. 적정한 규모의 조정지 댐이 보령댐 본댐 하류에 설치된다면, 유역에서 농업용수나 하천용수를 요구하는 이해당사자와 보령댐 시설 및 수면관리자의 이해관계간의 의견을 조정할 수 있는 물리적 유량 완충기능의 확보가 가능할 것이다.

## 제6장 결론 및 정책 제언

### 1. 결론

- 빈번해지는 가뭄은 다목적댐을 포함한 저수지의 핵심 역할인 안정적 용수공급을 위협하고 있다. 지속된 가뭄으로 2015년 보령댐의 저수율이 20% 이하로 낮아졌으며 최상위 가뭄대응체계인 ‘심각’단계로 돌입하면서 2015년 10월 8일부터 2016년 2월 15일까지 127일간 충남 서북부지역 8개 시·군인 청양, 홍성, 예산, 서산, 태안, 당진에 제한급수를 시행하여 사회경제적 피해를 야기했다.
- 가뭄에 대한 대응은 기후변화에 적응하기 위해 사회·경제 시스템이 취하는 모든 행동을 고려하여야 한다. 즉, 가뭄으로 인한 취약 분야를 검토하고 효과적인 대응 전략을 준비하여 사회·경제적 손실을 극복하기 위한 지속가능한 가뭄대책수립을 추진해야 한다.
- 가뭄은 경제·사회·환경에 심각한 영향을 미치는 재해이며 발생지역이 제한적이고 진행속도가 느려 홍수 등 다른 재해에 비해 상대적으로 관심이 부족한 실정이다. 이에 본 연구는 가뭄에 대응하여 댐 유역의 용수공급능력을 평가하여 수자원 공급 가능량을 모의하여 가뭄에 대응하기 위한 유역단위 장·단기 정책방안과 댐 운영 및 구조개선 방안을 모색하였다.
- 본 연구에서 도출된 결과 및 성과는 다음과 같다.
- 가뭄을 정의하기 위하여 기상·농업·수문학·사회경제적으로 구분하여 정의하였으며 국내의 가뭄관리대책의 계획 및 정책사례를 조사하여 과거 가뭄피해에 따른 사례별 대응정책을 분석하였다.
- 국외의 정책사례에서는 미국에서 오래 전부터 국가가뭄관리를 시행하고 있었으며 콜로라도와 캘리포니아의 물 관리 계획의 주요 가뭄대비 정책들을 국내에도 적용해야 한다고 판단하였다.
- 본 연구의 연구대상지인 보령댐은 1996년 10월에 준공하였으며 보령댐 타당성 조사보고서에 의하면 1967년~1988년까지 22개년에 1회 물 부족을 허용하는 이수안전도로 시공되었다.



- 보령댐 광역상수도는 보령시, 서산시, 당진시, 서천군, 청양군, 홍성군, 예산군, 태안군의 8개 시·군에 용수를 공급하고 있으며 2014년에 7천만 $\text{m}^3$ /년 취수하였고, 전량 생활용수로 7.2천만 $\text{m}^3$ /년 공급하며 지자체에 연간 6.0천만 $\text{m}^3$ /년(84.02%), 공장 및 기타에 연간 1.1천만 $\text{m}^3$ /년(15.98%)을 공급하였다.
- 저수지 모의운영 방법에 대하여 이수안전도를 분석한 결과 1998년부터 2015년까지 반순기간 1,224일로 총 부족기간 반순단위로 4번 부족하였고, 연간 1년으로 3.6백만 $\text{m}^3$  가량 부족할 것으로 조사되었다.
- 댐에 대하여 계획공급량을 공급하는 조건으로 분석단위를 반순단위로 분석할 경우 수위변화를 분석한 결과 1회 물 부족 구간이 발생하는 것으로 검토되었다.
- 보령댐의 문제점을 분석한 결과 2015년 강수량 부족으로 보령댐 저수율이 낮아졌을 뿐만 아니라 계속하여 저수율은 감소하고 있는 추세이며 보령댐 광역상수도의 용수 수요처 및 공급량이 증가하였음을 검토하였다.
- 보령댐 유역의 수문분석을 위하여 준분포형 장기유출모형인 SWAT모형을 구축하고 검토정하였으며 보령댐 유역에 큰 영향을 미치는 보령기상대의 가뭄빈도분석을 통해 목표 가뭄강우량을 산정하였다.
- 5년, 10년, 20년, 50년, 100년, 200년의 재현빈도별 목표 가뭄강우량에 따른 보령댐유역의 가뭄에 따른 예측유입량을 산정하였다.
- 월간 단위의 용수 수급현황을 모의하여 분석하기 위하여 가뭄시 유역에서 댐으로 유입되는 유량은 5년, 10년, 20년, 50년, 100년, 200년 빈도의 유역유출 해석결과를 반영하였고, 총 모의 기간은 36개월을 수행하였다.
- 가뭄 대응 대책을 반영하지 않았을 때 5년 및 10년 빈도의 가뭄이 발생할 경우, 가뭄 대응 대책이 수반되지 않더라도 용수공급 조정기준의 경계단계 이상의 저수율을 유지할 수 있는 것으로 평가되었다. 20년 빈도의 가뭄이 발생하는 경우, 경계단계 미만으로 저수율이 낮아질 수 있으며, 가뭄이 발생한 차년도 봄에는 10% 미만의 극심한 가뭄을 겪게 될 수 있다.
- 가뭄이 발생하여 보령댐 용수공급 조정기준의 경계단계에 진입하고, 발전수량을 최소화하고 금강-보령댐 도수로 11.5만 $\text{m}^3$ /일을 이송하여 공급하는 가뭄 대응 대책을 도입하는 경우, 20년 빈도의 가뭄이 올지라도 경계수준 이상의 저수율을 유지할 수 있도록 댐 운영이 가능한 것으로 평가되었다.

- 가뭄이 발생하여 보령댐 용수공급 조정기준의 경계단계에 진입하고, 발전수량을 최소화, 금강-보령댐 도수로 11.5만 $\text{m}^3$ /일을 이송 공급하며 상수원수 10% 절감의 가뭄 대응 대책을 도입한 후 20년 빈도의 가뭄이 올지라도 경계수준 이상의 저수율을 유지할 수 있도록 댐 운영이 가능한 것으로 평가되었다. 5년~20년 빈도의 가뭄에는 큰 변화가 없는 것으로 나타났으나, 100년과 200년 빈도의 극심한 가뭄이 발생할 경우에는 용수공급이 전면 중단되는 최악의 상황을 막는데 효과가 있을 것으로 모의되었다.
- 단기 가뭄에 대하여 보령댐의 수자원 공급 목표는 20년 빈도의 가뭄 이내에서는 안전한 수질의 원수를 공급하는 것을 목표로 해야 할 것이며, 50년 빈도의 가뭄 시에는 수요절감 계획을 수반하여 안전한 수질의 원수를 공급하는 것을 목표로 해야 할 것이다. 그리고 100년 빈도 이상의 가뭄에는 대응에 불가항력 적인 부분을 감안하여 가뭄의 피해를 최소화하는 전략을 수립해야 할 필요가 있다.
- 5년 빈도의 연속, 5년과 10년 빈도, 5년과 20년 빈도, 10년 빈도가 연속되는 2년간의 가뭄에 대한 목표 가뭄강우량에 따른 보령댐 유역의 가뭄 예측유입량을 산정하였다.
- 5년과 5년 빈도의 가뭄이 연속해서 오는 경우는 비초과확률상 25년 빈도의 가뭄에 해당하며, 5년과 10년 빈도의 가뭄이 연속해서 오는 경우는 50년 빈도의 가뭄에 해당하고, 5년과 20년 빈도와 10년과 10년의 가뭄이 연속해서 오는 경우는 100년 빈도의 가뭄에 해당한다.
- 빈도별 가뭄 발생시 용수 수급 및 공급 대책을 적용하지 않은 경우를 모의결과, 5년과 10년 빈도의 가뭄이 연속해서 오는 경우, 가뭄이 발생한 차년도에 용수공급 조정기준 경계 단계이하의 저수율로 떨어지지만 정상적인 용수공급이 가능할 것으로 모의되었다.
- 5년과 20년, 10년과 10년 빈도의 가뭄이 연속해서 오는 경우, 가뭄 발생 3년차 춘절기에 용수공급이 전면 불가능할 것으로 모의되었다.
- 5년 및 20년 빈도의 첫째 가뭄이 발생할지라도 용수공급에 지장 없이 극복이 가능하지만 차년도에 10년 또는 20년 빈도의 가뭄이 연속해서 발생할 경우, 기존의 가뭄에 매우 취약한 보령댐의 특징을 모의 결과를 통하여 확인 할 수 있었다.

- 가뭄이 발생하여 보령댐 용수공급 조정기준의 경계단계에 진입할 경우, 발전수량을 최소화하고 금강에서 보령댐까지 도수로 11,5천m<sup>3</sup>/일을 이송하여 공급하는 가뭄 대응 대책을 도입하는 경우, 5년과 20년, 10년과 10년 빈도의 연속된 가뭄이 발생하여도 용수공급조정기준의 경계단계의 유지가 가능하며, 정상적인 용수의 공급이 가능할 것으로 모의 되었다.
- 가뭄대응의 정책을 단기와 장기로 구분하였으며 단기 정책방안에는 비상 급수조절 계획 수립, 노후불량 관거 누수율 개선, 상수원 개발 및 지방상수도 보수, 근거리 물수소어 계획 수립, 물 재이용을 통한 용수확보, 물 절약 주민 홍보 및 교육이 필요성을 제안하였다.
- 유역단위 장기 정책방안으로는 효율적 물 수요관리계획 수립, 가뭄에 따른 수돗물 차등 적용, 가뭄보험 제도 도입, 광역상수도 신규개발 조기시행, 해수 담수화 도입, 지하댐 도입, LID 시설 도입, 농업용수 계측관리, 농업용수 공급 및 사용 효율화, 농경지 대체작물 전환이 필요할 것이다.
- 댐 운영 및 구조개선 방안마련을 위해 수면관리권 및 수리권 재조정, 비상방류시설 신설, 다목적 저류시설, 본댐 증축 또는 조정지 설치될 경우 보다 효과적인 수자원 관리가 가능할 것으로 판단된다.

## 2. 정책 제언

- 지구온난화와 엘니뇨현상으로 세계적인 가뭄, 홍수, 한파, 폭서 등 기상이변이 속출하고 있고 20세기에 들어서부터는 2년 연속 가뭄도 10년 주기로 자주 발생하여 주기가 빨라지고 있는 추세다. 가뭄은 진행속도가 완만하고 피해 또한 가시적이지 못하여 항구적 대책이 일과성으로 끝나고 있는 실정이므로 단기적·임시적 대책만으로는 매년 반복되는 재해 문제 해소에 한계가 있을 수 있다.
- 농업용수개발을 통한 충분한 용수공급량 확보가 필요하며 계획수립을 위한 내한 능력 조사와 장·단기 계획의 수립, 대응 체계의 정비, 그리고 이의 꾸준한 추진으로 가뭄의 피해는 상당히 경감시킬 수 있을 것으로 판단된다.
- 가뭄대책을 위한 체계를 개선하기 위해 농업 가뭄을 극복하기 위해서는 가급적 가뭄을 조기에 인지하고 미리 준비하여 대비할 수 있는 체계를 구축하는 것이 필요, 가뭄을 예측할 수 있는 기술의 개발, 가뭄 대책반을 매년 조기 가동(1월) 하고 장마 전 까지 상시 체계 유지하고 과거 가뭄에 대한 이력관리 및 대응 효과 평가를 통하여 이를 대입할 수 있도록 하는 것이 필요하다.
- 과거 보령댐의 가뭄 대응 능력은 설계기준 22개년에 한번의 물부족을 허용하도록 설계되어있으나, 최근의 변화된 기후환경에서는 20년 빈도의 가뭄은 경계 수준 미만으로 저수율이 낮아지고 50년 이상 빈도의 가뭄은 극복하기 어려울 것으로 평가되었다. 하지만 금강-보령댐 도수로로 적정하게 운영하고 수요관리를 실시할 경우, 20년 빈도의 가뭄에도 정상적인 운영이 가능할 것으로 평가되었고, 50년~200년 빈도의 가뭄에 경계 수준 미만으로 저수율이 낮아지더라도 용수공급이 전면 중지되는 상황은 피할 수 있을 것으로 판단된다.
- 2년간의 장기 가뭄 지속 과정에서 차년도에 10~20년 빈도의 가뭄이 발생할 경우, 과거에는 경계 수준 미만으로 저수율이 낮아질 것으로 전망되었으나, 도수로의 활용과 수요관리 실시로 경계 수준 이상으로 저수율을 유지할 수 있는 댐 운영 관리가 가능할 것으로 판단된다.
- 본 연구에 의하면 도수로가 설치됨에 따라 20년 미만의 가뭄에 대한 대응력이 상당히 개선된 것으로 평가되지만 깊은 심도의 100~200년 빈도의 가뭄에는 여전히 물부족을 극복하기 어려울 것으로 판단된다.

- 충청남도의 보령댐 광역 상수도 급수 지역의 가뭄시 물관리 목표는 20년 빈도 미만의 가뭄에는 깨끗하고 신뢰할 수 있는 수준의 안전한 물 공급을 유지하는 것이고, 50년 빈도의 가뭄에서는 댐 운영 및 수요관리 최적화를 통한 물공급 중단 사태를 방지하는 것을 목표로 볼 수 있으며, 100년 이상의 가뭄에는 물 공급이 원활하지 못한 상황에서도 사회적, 경제적 파장을 최소화하여 극복할 수 있는 대응 방안을 확보하는 것을 목표로 볼 수 있다.
- 강우특성 모의는 강우의 집중분포 시기에 따라 수자원 활용 패턴이 달라질 수 있다. 본 연구에서는 최근의 강우패턴을 고려하여 연간 강수 분포를 고려하였다. 그러나 기상현상은 과거의 패턴이나 예측과 다르게 나타날 수 있으며, 수자원 관리 및 운영에 있어 보다 악조건의 상황이 발생할 수 있다. 따라서 수자원 관리와 같이 리스크를 내포하고 있는 정책의 추진에는 충분한 안전율과 언제 어떠한 방식으로 나타날지 예측하기 어려운 리스크를 고려하여 추진되어야 할 것이다.

## 참 고 문 헌

- 국토교통부, 1990, 보령댐 타당성조사보고서
- 국토교통부, 2015, “파주·연천 농업용수 확보 위해 군남홍수조절지 담수 연장”, 국토교통부 보도자료(2015년 4월 8일)
- 국토교통부, 2015, 2025 수도정비기본계획(광역상수도 및 농업용수도) 변경 보고서
- 국토해양부(현, 국토교통부) 4대강 살리기 추진본부, 2009, 4대강살리기 마스터플랜
- 국토해양부, 2011, 수자원장기종합계획(2011~2020)
- 국토해양부, 2011, 확률강우량도 개선 및 보완 연구
- 기상청, 2006~2015, 기상연보 2006~2015
- 기상청, 기상자료개방포털, <https://data.kma.go.kr>
- 기상청, 기상청 관측자료, <http://www.kma.go.kr>
- 김상욱, 2015, 소양강댐을 중심으로 살펴본 강원지역 가뭄현황 및 대책, 한국하천협회지, 11(4), pp23-29
- 김연주, 이진영, 장평화, 송재열, 2013, 가뭄 유형별 기후변화 적응정책 연구, 한국환경정책·평가연구원
- 김용탁, 김진영, 이정주, 권현한, 2015, 2015년 가뭄의 특성 및 재현기간 평가, 대한토목학회지, 63(9), pp14-24
- 김태웅, 박동혁, 2015, 우리나라 극한가뭄 대응 현황과 개선방안-2015년 가뭄을 중심으로, 대한토목학회지, 63(9), pp25-35
- 노선희, 2013, 미래 온실가스 시나리오(RCP)에 의한 금강유역의 용수공급 변화 전망, 충남대학교 공학석사 학위논문
- 박성우, 1995, 응용수문학
- 소방방재청, 2013, 국가 가뭄재해 상황관리 정보시스템 구축
- 심우배, 김걸, 한우석, 구형수, 2011, 기후변화 대응 물관리 정책방안 연구 - 국토의 가뭄 취약성 및 정책방안을 중심으로-, 국토연구원

오국열, 유인상, 2014, 우리나라 봄철 가뭄의 피해현황과 대책, 한국방재학회지, 14(2), pp4-9

이기영, 송미영, 조영무, 한송희, 2015, 수도권, 가뭄으로부터 안전한가?, 경기연구원 이슈&진단

이상신, 2014, 2014년 강원도 마른장마현황과 향후 대책방안, 한국기후변화연구센터

이상은, 2015, 가뭄 위험도 평가기법 구축 및 정책적 활용에 관한 연구, 국토연구원

이승호, 2014, 외국 가뭄단계 기준 및 대책 -미국, 호주, 영국 사례연구-, 한국수자원학회 수자원정책 비전, 2(1), pp52-58

이종문, 김영도, 강부식, 이혜숙, 2012, 남강댐 유역에서의 기후변화에 대한 유출 영향, 한국수자원학회논문집, 45(6), pp517-529

정상만, 2014, 국가 가뭄 모니터링시스템 개선을 위한 정책 제언, 한국수자원학회 수자원정책 비전, 2(1), pp16-23

조형경, 박종윤, 장철희, 김성준, 2012, 충주댐 유역의 유출량에 대한 SWAT 모형의 예측 불확실성 분석 기법 비교, 한국수자원학회논문집, 45(9), pp861-874

중앙안전관리위원회 국민안전처, 2015, 국가안전관리기본계획(2015~2019)

최홍식, 2013, 섬강시험유역에서 SWAT-CUP을 이용한 SWAT모형 매개변수 추정, 대한토목학회논문집, 33(2), pp529-536

충청남도 물관리정책과, 2015, 가뭄극복 방안

충청남도, 2015, 충남수자원종합계획

한국농어촌공사, 농촌용수종합정보시스템, <https://rawris.ekr.or.kr>

한국수자원공사 물관리센터 수자원개발과, 2016, 댐 용수부족 대비 용수공급 조정기준 개선 (안)

한국수자원공사, [www.kwater.or.kr](http://www.kwater.or.kr)

한국수자원공사, 가뭄정보시스템, <http://203.237.1.38>

한국수자원공사, (주)홍익기술단, 2016, 기존 수자원 효율적 활용방안(한강수계, 보령댐) 자문보고서

환경부, 2016, 2014년 상수도 통계연보

Arnold, J.G., Srinivasan, R., Muttiah, R.S., and Williams, J.R., 1998  
“Large Area Hydrologic Modeling and Assessment Part I : Model  
Development.”, Journal of the American Water Resources  
Association, 34(1), pp73-89

Neitsch, S.L., Arnold, J. G., Kiniry, J. R., Williams, J. R., and King, K.  
W., 2005, “Soil and Water Assessment Tool Theoretical  
Documentation Version 2005.”, U.S Agricultural Research Service.

Van Liew, M.W., Veith, T.L., Bosch, D.D., and Arnold, J.G., 2007,  
“Suitability of SWAT for the Conservation Effects Assessment  
Project : Comparison on USDA Agricultural Research Service  
Watersheds.”, Journal of Hydrologic Engineering, 12(2), pp173-189



■ 집 필 자 ■

연구책임 · 정우혁    충남연구원 책임연구원

공동연구 · 노선희    충남연구원 연구원

김영일    충남연구원 연구위원

전략연구 2016-33 · 보령댐 급수능력 평가 및 가뭄 대응방안 연구

글쓴이 · 정우혁, 노선희, 김영일

발행자 · 강현수 / 발행처 · 충남연구원

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

주소 · 충청남도 공주시 연수원길 73-26 (32589)

전화 · 041-630-3933(물환경연구센터) ,041-840-1114(대표) / 팩스 · 041-630-3999

ISBN · 978-89-6124-377-3 03350

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

© 2016. 충남연구원

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