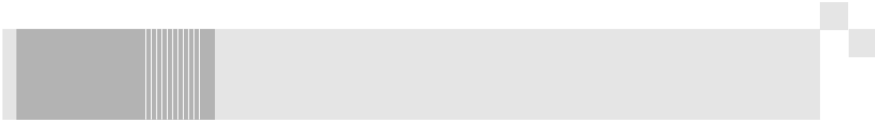


정책연구보고 2011-04

## 기후변화에 따른 극한가뭄대책 및 수자원확보 방안





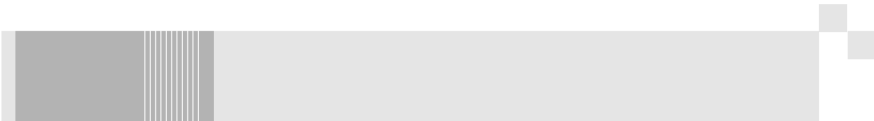
# 목차

목차 .....	i
표목차 .....	v
그림목차 .....	ix
연구요약 .....	x iii
제1장 서론 .....	1
제1절 연구배경 및 목적 .....	5
1. 연구의 배경 .....	5
2. 연구의 목적 .....	6
제2절 연구범위 및 방법 .....	8
1. 연구의 범위 .....	8
2. 연구 방법 .....	9
제2장 가뭄 정의 및 정책동향 .....	11
제1절 가뭄의 정의 .....	15
1. 통상적 의미 .....	15
2. 가뭄의 분류 .....	16
제2절 가뭄 정책동향 .....	22
1. 국내·외 연구동향 .....	22
2. 가뭄관리 .....	24

제3장 기후변화에 따른 수자원분야 영향 .....	53
제1절 기후변화와 물 .....	57
제2절 수자원분야에 미치는 영향 .....	59
1. 기후변화가 수문사상에 미치는 영향 .....	60
2. 기후변화가 하천에 미치는 영향 .....	60
3. 기후변화의 각 부문별 영향 .....	63
4. 기후변화에 따른 지역별 수자원 영향 .....	66
제3절 기후변화와 수자원이용 가능성 .....	68
1. 공급측면 .....	69
2. 수요 측면 .....	70
제4장 강원도 가뭄현황 분석 .....	73
제1절 강원도 가뭄현황 조사 .....	77
1. 국내 가뭄피해 및 대책 .....	77
2. 강원도 가뭄현황 .....	79
제2절 가뭄지수에 의한 가뭄분석 .....	92
1. 가뭄지수 .....	92
2. 시군별 가뭄지수 분석 .....	100
제3절 기후변화 시나리오에 따른 가뭄예측 .....	114
1. 기후변화 시나리오 .....	114
2. 시군별 기후변화 시나리오 생성 .....	122
3. 시군별 SPI 예측 .....	127
4. SPI 비교분석 .....	137
5. 기후변화 대비 가뭄관리 대상 선정 .....	142
제5장 극한가뭄대책 및 수자원확보 방안 .....	147
제1절 가뭄대책 총론 .....	151
1. 가뭄대책 방법론 .....	151

2. 가뭄대책 기술 및 정책분류	152
3. 용수 수요관리	154
4. 용수 공급관리	163
5. LID 및 대체기술	177
제2절 가뭄대책 정책 실현가능성 평가	185
1. 정책실현가능성 및 수자원확보 방안	185
2. 법적 실현가능성 검토	187
3. 정치·행정·기술적 실현가능성 검토	200
4. 실현가능성 평가결과	214
제3절 관련 특허 동향	216
1. 최근 특허출원 동향	216
2. 수자원 확보기술관련 특허	218
3. 관련 특허 동향	231
제6장 가뭄대책 적용성 검토	233
제1절 연구대상 지역	237
1. 속초시 현황	237
2. 학사평 저수지	239
3. 쌍천 지하댐	241
제2절 물 수요 예측	243
1. 급수보급률 추정	243
2. 장래 인구 및 물 수요 예측	244
제3절 수자원확보 방안 적용	248
1. 물공급 시나리오	248
2. 유출량 산정 및 물수지 분석	250
3. 물 공급 시나리오	254
4. 저수지 모의	256

제7장 결론 및 정책제언 .....	267
제1절 결론 .....	271
제2절 정책제언 .....	274
참고문헌 .....	279
부록 A. 과거 SPI 산정 결과(1982~2011) .....	285
부록 B. 2030년대 SPI 산정 결과(2020~2050) .....	302
부록 C. 2080년대 SPI 산정 결과(2071~2100) .....	319



# 표목차

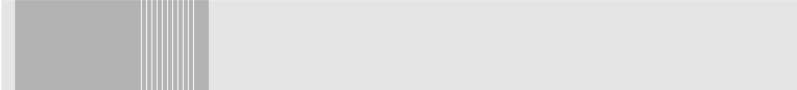
<표 2.1> 가뭄의 분류별 주요정의 .....	17
<표 2.2> 나라 별 기상학적 가뭄 정의 .....	19
<표 2.3 > 부처별 주요 가뭄대책 .....	24
<표 2.4> 중앙부처의 가뭄관리계획 .....	26
<표 2.5> 생활·공업용수의 가뭄단계별 대책 .....	28
<표 2.6> 농업용수의 가뭄단계별 대책 .....	29
<표 2.7> 국토해양부 가뭄대책 관련업무 .....	30
<표 2.8> 국토해양부 가뭄상황별 단계구분 및 대처요령 .....	30
<표 2.9> 환경부 가뭄대책 관련업무 .....	31
<표 2.10> 농림수산식품부 가뭄대책 관련업무 .....	32
<표 2.11> 가뭄단계별 용수 관리계획 .....	33
<표 2.12> 지식경제부 가뭄대책 관련업무 .....	34
<표 2.13> 국방부 가뭄대책 관련업무 .....	34
<표 2.14> 기상청 가뭄대책 관련업무 .....	35
<표 2.15> 소방방재청 가뭄대책 관련업무 .....	36
<표 2.16> 가뭄재난 관리대책 .....	37
<표 3.1> 유역별 기후변화의 영향 .....	63
<표 3.2> 기후변화에 따른 부문별 영향 .....	64
<표 3.3> 지역별 기후변화에 따른 수자원 영향 .....	67
<표 4.1> 국내 가뭄발생 대표적 현황 및 실시대책 .....	78
<표 4.2> 태백시 아파트 세대별 물 사용량의 변화 .....	84
<표 4.3> 가뭄 시 물 사용 생활변화 .....	85

<표 4.4> 태백지역의 가구당 2월 평균 고통비용 .....	85
<표 4.5> Palmer 값에 의한 분류 .....	94
<표 4.6> SPI 값에 의한 분류 .....	98
<표 4.7> 기상관측소 현황 .....	101
<표 4.8> 관측소별 기간별 강수 비교 .....	105
<표 4.9> 시군별 면적비 .....	107
<표 4.10> 30년간 시군별 강수량 통계 .....	108
<표 4.11> 시군별 기간별 가뭄심도별 발생 횟수 .....	111
<표 4.12> IPCC 발간 기후변화 평가보고서 .....	114
<표 4.13> 온실가스 배출시나리오의 배출인자별 특성 비교 .....	117
<표 4.14> 통계적 축소법과 동적 축소법의 장단점 .....	122
<표 4.15> A1B시나리오에 의한 시군별 강우량 .....	128
<표 4.16> 2000년대 대비 시군별 강우량 증가량(A1B) .....	129
<표 4.17> 2030년대 시군별 기간별 가뭄심도별 연평균 발생 개월 .....	131
<표 4.18> 2080년대 시군별 기간별 가뭄심도별 연평균 발생 개월 .....	135
<표 4.19> 시군별 3-SPI 비교 .....	138
<표 4.20> 시군별 6-SPI 비교 .....	139
<표 4.21> 시군별 9-SPI 비교 .....	140
<표 4.22> 시군별 12-SPI 비교 .....	141
<표 4.23> 기간별 시군별 가뭄관리지수 순위 .....	143
<표 4.24> 가뭄관리 주의 및 우려 지자체 선정 .....	144
<표 5.1> 가뭄대책 및 수자원확보 방안 분류 .....	153
<표 5.2> 지방자치 단체별 상수도 통계 .....	155
<표 5.3> 물 공급 시설별 에너지 소비량 .....	157
<표 5.4> 절수기기별 장·단점 분석(수도꼭지) .....	158
<표 5.5> 절수기기별 장·단점 분석(샤워기) .....	159
<표 5.6> 국내 기존댐 재개발 사례 최병규 댐재개발을 통한 수자원활용 .....	165
<표 5.7> 실현가능성 분석을 위한 수자원확보 요소기술 및 정책 .....	187
<표 5.8> 상수도 누수방지관련 법조항 .....	188



<표 5.9> 중수도 설치에 대한 경제적 지원제도 현황 .....	189
<표 5.10> 수도관리 체제의 검토 및 개선관련 법조항 .....	192
<표 5.11> 절수형 산업, 농업 구조 형성관련 법조항 .....	193
<표 5.12> 신규댐 및 기존댐 재개발 관련 법조항 .....	194
<표 5.13> 지하수 개발 관련 법조항 .....	195
<표 5.14> 광역상수도의 확충 관련 법조항 .....	196
<표 5.15> 기존 저수지의 용수공급능력 재평가 및 용도전환 검토 관련 법조항 .....	196
<표 5.16> 지표수와 지하수의 연계이용 관련 법조항 .....	197
<표 5.17> 기상예보 시스템을 적용한 유역통합 물관리 체제 구축 관련 법조항 .....	198
<표 5.18> 단계별 절수 관련 법적 규정 내용 .....	199
<표 5.19> LID 및 대체기술관련 법조항 .....	199
<표 5.20> 쌍대비교 값 .....	202
<표 5.21> 쌍대비교 행렬 구성 .....	202
<표 5.22> N×N 쌍대비교행렬에서 무작위지수 .....	203
<표 5.23> 설문을 통한 쌍대비교행렬 구성 .....	207
<표 5.24> 수자원확보 방안별 설문 결과 .....	208
<표 5.25> AHP분석결과 실현가능성 우선순위 .....	213
<표 5.26> 수자원확보방안 정책실현 효과 .....	214
<표 5.27> 상수 및 하수의 국제특허분류 .....	217
<표 5.28> 2000년 이후 E03분야 특허출원 .....	218
<표 6.1> 속초시 급수 현황 .....	238
<표 6.2> 속초시 정수장별 상수도 시설용량 및 생산실적 .....	239
<표 6.3> 학사평 저수지 수계현황 .....	240
<표 6.4> 수리시설물 현황 .....	240
<표 6.5> 학사평 저수지 내용적 .....	241
<표 6.6> 쌍천 지하댐 현황 .....	242
<표 6.7> 속초시 상수도 급수 현황 .....	243
<표 6.8> 최근 25년 속초시 인구 통계자료 .....	244
<표 6.9> 인구 및 필요급수량 추정 결과 .....	247

<표 6.10> 유출특성계수 .....	250
<표 6.11> 월별 보정유량 .....	251
<표 6.12> 저수지 월별 증발 변환계수(CF) .....	253
<표 6.13> 속초시 생활용수공급 부담률(정상시) .....	255
<표 6.14> 속초시 물 공급 시나리오(2020년) .....	255
<표 6.15> 저수지 모의 분류 .....	256
<표 6.16> case 1: 증고 전, 비탄력적 운영의 경우 .....	263
<표 6.17> case 2: 증고 후, 비탄력적 운영의 경우 .....	264
<표 6.18> case 3: 증고 전, 탄력적 운영의 경우 .....	265
<표 6.19> case 4: 증고 후, 탄력적 운영의 경우 .....	266



# 그림목차

<그림 2.1> 가뭄영향 순서도 .....	18
<그림 2.2> 단계별 가뭄대응 방안 .....	25
<그림 2.3> 도·시·군 가뭄관리 체계 .....	38
<그림 2.4> 가뭄상황관리 체계도 .....	40
<그림 3.1> 기후변화가 영향을 주는 물분야 .....	59
<그림 3.2> 지구온난화가 물 분야에 미치는 영향 .....	61
<그림 3.3> 기후변화가 하천 유역 환경에 미치는 영향 도식화 .....	62
<그림 4.1> 지역별 가뭄판단 지수 현황(2011, 10월, 기상청) .....	80
<그림 4.2> 지역별 강수현황 (2011.8.21.~2011.10.9.) .....	81
<그림 4.3> 산불 발생빈도가 높은 지역과 피해가 컸던 지역 (1991~2007년) .....	82
<그림 4.4> 2008년 태백 강수량의 비교 .....	87
<그림 4.5> 광동댐 수위변화의 비교 .....	88
<그림 4.6> 전국 비상급수 받은 주민 수의 변화 .....	89
<그림 4.7> 미국 NOAA의 PDSI 분포도(2003년 8월 30일) .....	94
<그림 4.8> PDSI 가뭄지수 산정 예 .....	95
<그림 4.9> 우리나라 10분위 강수량 .....	96
<그림 4.10> SPI 산정 절차 .....	98
<그림 4.11> 강원도내 관측소별 강수량 변화 .....	102
<그림 4.12> 티센망도 .....	106
<그림 4.13> 최근 30년간 시군별 강우량 통계 .....	109
<그림 4.14> 연평균 강수량 변화 .....	109
<그림 4.15> 고성군-속초시의 SPI 지수 산정결과 .....	110

<그림 4.16> SRES 시나리오 개요 .....	116
<그림 4.17> 시나리오별 지표온도 상승 전망 .....	117
<그림 4.18> IPCC 평가 보고서; FAR(1990), SAR(1996), Tar(2001), Ar4(2007)에서 사 용된 기후모델의 세대별 지리적 해상도 특징 .....	118
<그림 4.19> DAI Portal에서 제공하는 GCM 격자 .....	123
<그림 4.20> 한반도 주변 GCM 지점 .....	124
<그림 4.21> SDSM 초기화면 .....	124
<그림 4.22> SDSM 상세화 과정 .....	125
<그림 4.23> A1B시나리오에 의한 시군별 강우량 변화 .....	127
<그림 4.24> 2030년대 고성-속초의 기간별 SPI .....	130
<그림 4.25> 2080년대 고성-속초의 기간별 SPI .....	134
<그림 4.26> 단기 가뭄관리지수 기준 .....	142
<그림 4.27> 2030년대 가뭄관리 요구 지자체 .....	144
<그림 4.28> 2080년대 가뭄관리 요구 지자체 .....	145
<그림 4.29> 강원도 가뭄관리 주의 지자체 .....	145
<그림 5.1> 지방자치단체별 우수율, 무수율 및 1인 1일 사용량 비교 .....	156
<그림 5.2> 캘리포니아 Fountain Valley 지역의 살수에 의한 인공함양 .....	169
<그림 5.3> 강변여과 모식도 .....	171
<그림 5.4> RRFS 예측강우자료 설정화면 .....	175
<그림 5.5> 댐유입량에 따른 목표저수위 조정하는 물수지 네트워크 .....	175
<그림 5.6> 주거지역의 LID BMPs .....	178
<그림 5.7> 도로에서의 LID BMPs .....	178
<그림 5.8> 국내 빗물관리 시설 도입 현황(시설용량) .....	179
<그림 5.9> 공동주택, 공공시설 또는 학교 및 녹지 빗물관리(안) .....	180
<그림 5.10> 단지 주차장 빗물 유입 도랑 .....	180
<그림 5.11> 학교 운동장, 주택 등의 빗물 및 우수통 .....	181
<그림 5.12> 커널시티(canal city) 수변공간조성을 통한 복합상권형성 사례 .....	182
<그림 5.13> 하코자기 지구 하천수 이용 지역냉난방 사례 .....	183
<그림 5.14> 수자원 활용 냉난방시스템 사례 .....	183

<그림 5.15> 강변여과수 온도 분포 .....	184
<그림 5.16> 이동형 상수공급 시스템 주요공정 .....	184
<그림 5.17> AHP 분석과정 .....	201
<그림 5.18> 분석을 위한 계층구조 .....	205
<그림 5.19> 설문 대상자 업무분야 및 전문분야 이해도와 연관성 .....	206
<그림 5.20> 수자원확보 방안 정책 실현가능성 평가결과 .....	215
<그림 5.21> 종류별 지식재산권 출원통계 .....	216
<그림 5.22> 산업별 지식재산권출원통계 .....	217
<그림 5.23> 본 발명에 따른 하상 여과 시스템(단면도 및 평면도) .....	220
<그림 5.24> 강변여과수 현장처리 시스템의 개념도 .....	221
<그림 5.25> 인공수로가 설치된 강변여과수 현장 처리시스템의 평면도 .....	223
<그림 5.26> 빗물 저장탱크의 설치 예시도 .....	224
<그림 5.27> 요금관리시스템 연계 우수율제고시스템의 전체 구성 .....	226
<그림 5.28> 누수 절감형 친환경 수위 조절 장치의 구성도 .....	228
<그림 5.29> 다중 수원에 대하여 중수도 활용을 위한 중수처리 시스템 .....	230
<그림 6.1> 연구대상 지역 .....	237
<그림 6.2> 물리적 연계 방법 .....	249
<그림 6.3> 비물리적 방법 .....	249
<그림 6.4> 수체의 검사체적 .....	252
<그림 6.5> 저수지 수위 변화(1개월 가뭄지속기간) .....	257
<그림 6.6> 저수지 수위 변화(2개월 가뭄지속기간) .....	259
<그림 6.7> 저수지 수위 변화(3개월 가뭄지속기간) .....	260
<그림 6.8> 저수지 수위 변화(4개월 가뭄지속기간) .....	261
<그림 6.9> 저수지 수위 변화(5개월 가뭄지속기간) .....	262





## 기후변화에따른 극한가뭄대책 및 수자원확보 방안

기후변화는 사회전반에 걸쳐 피해비용을 발생시키고, 이러한 피해비용의 대부분은 수자원(홍수, 가뭄 등)문제가 직간접적 원인이 되어 발생하고 있다. 이러한 기후변화 수자원분야 피해비용 규모는 계속해서 증가 추세로 2009년 3월 극심한 가뭄을 겪은 태백지역 가뭄의 가뭄고통비용은 1인당 약90만원으로 추정된다. 기후변화에 대한 수자원분야의 영향은 결국 극치사상에 의한 영향으로서 극한홍수와 극한가뭄의 형태로 구분되어 나타난다. 극한홍수의 경우 단기적 피해 형태로 나타남에 따라 관련연구와 대책 수립이 상대적으로 용이한 반면 극한가뭄의 피해는 그 발생 예측이 홍수에 비하여 어렵고 장기적 피해 형태로 나타남에 따라 관련연구와 대책수립이 미비한 실정이다. 특히 강원도는 전국 평균에 비해 가뭄이 빈번히 발생하고 있으며 강원내륙지역의 피해는 정기적 피해 형태를 보인다. 따라서, 중장기적인 강원도의 기후변화 적응을 위해 도내 가뭄분석을 통한 극한가뭄 대책 및 적절한 수자원 확보방안 마련 및 관련 정책방향 제시가 필요하다.

가뭄은 물 공급이 부족한 시기를 일컫는 말로 일반적으로 평균 이하의 강수량이 지속적으로 보이는 지역에서 이 현상이 나타난다. 이는 강수 등의 자연현상이나 인위적 행위에 의해 영향을 받는 물의 공급과 수요 간의 상호작용으로 발생하며 경제적, 환경적 그리고 개개인의 고통 등 사회에 많은 영향을 미친다. 가뭄은 여러 가지 기준에 의해 정의되며, 크게 기상학적, 수문학적, 농업적, 사회경제적 가뭄으로 분류 할 수 있다.

수문학적인 측면에서 보면 강수량 부족으로 인해 물의 주요 공급원인 하천유출과 저수지 저수량의 결핍현상이 주된 인자가 되며, 따라서 기상학적 측면의 강수량 부족과 그로 인한 유출량 결핍을 가뭄의 주요 지표로 삼는다. 농업 및 임업 등 관개측면에서 보면 토양수분변화와 식물의 한계 성장조건 등이 주된 인자가 되지만, 홍수 발생시기에도 평년 이상의 홍수량보다 작은 양의 홍수가 발생하는 경우 가뭄으로 간주하게 된다. 이러한 가뭄의 다양한 정의는 대기 중 물순환에 따라 영향을 받게 되는데 먼저 기후의 변화에 따라 강수량 감소하거나 증발산량이 증가하는 등은 기상학적 가뭄에 영향을 미치게 되고, 기상학적 가뭄이 지속되면 토양 함수량의 감소로 이어져 작물 생산량 감소 등 동식물의 삶에 영향을 주게 되어 농업적 가뭄을 일으키게 된다. 이후 하천유출 감소나 저수지, 댐 등의 유입량 감소로 이어지는 수문학적 가뭄이 발생하게 되고, 최종적으로 환경 및 지역의 경제에 영향을 미치게 되는 사회경제적 가뭄이 발생하게 된다.

가뭄은 자연의 무시할 수 없는 재해중의 하나이며, 상대적으로 장기간에 걸쳐 넓은 지역에 대해 발생하는 특성이 있다. 또한 가뭄은 홍수처럼 단기간에 발생하는 것이 아니라 서서히 다가가기 때문에 가뭄의 정도를 확실히 인식할 수 없어 사전에 대책을 수립하기가 어려우며, 피해의 정도는 간접적이기는 하나 커다란 경제적인 손실을 유발시킨다. 이처럼 가뭄은 뚜렷한 대책 없이 맞이할 경우 큰 피해를 발생하기 때문에 가뭄의 정도를 정량화 할 수 있는 가뭄지수가 가뭄 분석으로 많이 이용되고 있다. 일반적으로 많이 이용되고 있는 가뭄지수로는 PDSI(Palmer Drought Severity Index), SPI(Standard Precipitation Index), SWSI(Surface Water Supply Index) 등이 있으며, 각각의 특징에 따라 선택되어 활용되고 있다. 본 연구에서는 SPI지수를 활용하여 가뭄을 분석하였다.

본 연구에서는 과거 강우자료에 근거한 가뭄지수 산정을 유역단위가 아닌 행정구역 단위의 분석을 시도하였다. 이는 가뭄을 비롯한 수자원과 관련된 정책들이 유역단위로 이루어져야 하나, 국가하천 규모에서 고려되어질 뿐 실제 가뭄과 관련된 많은 정책들은 시군 단위로 이루어지고 있는 실정이다. 따라서 강원도 가뭄정책에 도움을 주고자 본 연구에서는 유역단위가 아닌 행정구역단위의 강수량을 활용하여 가뭄지수를 산정하였다. 이를 위해 강원도내 위치하는 11개 관측소에 대해 과거 최대 1981년까지의 강



수량자료를 수집하였다. 이를 바탕으로 티센망도에 의해 강원도내 18개 시군의 일별강우자료를 생성하여 가뭄지수를 산정하였다. SPI는 3개월, 6개월, 9개월, 12개월에 대해 산정했으며, 18개시군 전체에서 보통가뭄은 1~2년에 한번씩 발생하고 있으며, 극한가뭄은 30년 동안 평균 1~2회 정도 발생하는 것을 알 수 있었다.

기후변화에 따른 미래 가뭄지수 산정을 위해 GCM자료를 통계적 방법으로 상세화하여 2100년까지 기후변화 A1B시나리오에 따른 시군별 일강수량자료를 생성하였다. 생성된 강수량은 과거에 비해 최대 20%까지 변동성을 가지고 증가하는 것으로 나타났다. 생성된 강수량 자료를 2030년대(2021~2050), 2080년대(2071~2100)로 구분하여 SPI 지수를 산정하였다. 과거(1982~2011)와 2030년대, 2080년대의 장단기 SPI 결과를 비교분석한 결과, 단기 SPI에서는 약한 가뭄의 발생빈도가 증가하지만 보통가뭄의 발생빈도는 줄어들고 있다. 하지만 장기 SPI에서는 약한가뭄 및 보통의 가뭄 발생빈도가 증가하는 경향이 있었으며, 이는 강수량은 약 20%정도 증가하지만 특정기간 집중해서 강우가 발생하고 통계적 상세화에 따라 무강우 일수가 현저히 줄어드는 등 미래 강우 패턴의 변화와 기후변화 시나리오 생성에 따른 영향으로 보인다. 하지만 확신할 수 있는 것은 미래로 갈수록 장기간 가뭄의 발생이 늘어날 것이라는 예측이 가능하다는 것이다.

기후변화 시나리오(A1B)에 의해 2100년까지 예측된 시군별 일강수량자료에 근거하여 예측한 기간별 가뭄지수(SPI)에 따른 강원도내 18개 시군의 장단기 가뭄지수로 가뭄관리지수를 정의하였다. 정의된 가뭄관리지수로 미래 장단기 가뭄관리가 필요한 지자체를 선정하였다. 가뭄관리지수는 3, 6, 9, 12 개월 SPI의 상대적 가뭄발생 출현빈도를 활용하였으며 2030년대(2021~2050)과 2080년대(2071~2100)의 30년간 보통가뭄 발생빈도를 기준으로 단기지수는 3-SPI를 기준, 장기지수는 12-SPI를 기준으로 산정하였다. 가뭄관리지수에 의한 2030년대, 2080년대 장단기 가뭄관리 주의, 우려 지자체를 선정하였다.

#### <2030년대>

- 가뭄주의 : 단기(고성-속초, 동해, 태백, 정선), 장기(동해, 고성-속초, 철원)
- 가뭄우려 : 단기(영월, 평창, 삼척, 양양, 철원), 장기(정선, 태백, 강릉, 영월, 홍천)

<2080년대>

- 가뭄주의 : 단기(태백, 정선, 고성-속초, 동해), 장기(고성-속초, 양양)
- 가뭄우려 : 단기(평창, 양양, 강릉, 홍천, 원주), 장기(정선, 태백, 홍천, 원주)

가뭄대비 방안은 용수 수요관리 측면과 공급 측면에서 접근이 가능하다. 본 연구에서는 가뭄대책 및 수자원확보 방안으로서 14개 요소기술 및 정책을 제시하고 이에 대한 정책 실현가능성을 분석하였다. 14개 요소기술로는 용수 수요관리 측면에서 A-1. 상수도 누수방지, A-2. 중수도 확대, A-3. 절수기기 보급 확대, A-4. 수도요금의 적절한 조정, A-5. 수도 체제의 검토 및 개선, A-6. 절수형 산업, 농업 구조 형성, 용수 공급관리 측면에서 B-1. 신규댐 및 기존댐 재개발, B-2. 지하수개발, B-3. 광역상수도의 확충, B-4. 기존 저수지의 용수공급능력 재평가 및 용도전환 검토, B-5. 지표수와 지하수의 연계이용, B-6. 기상예보를 적용한 유역통합 물관리 체제 구축, B-7. 단계별 절수, 제한급수 및 단수 등이 제시되었으며, 추가로 C. LID 기술적용 대책을 제시하였다. 제시된 14개 요소기술 및 정책에 대해 법전문가 자문에 의한 법적실현가능성 검토와 공무원 설문조사를 통한 정치적-행정적-기술적 실현가능성 분석을 실시했다. 공무원 설문은 상대적 실현가능성 순위 산정을 위해 AHP 방법을 활용하였다. 법적 실현가능성과 정치적-행정적-기술적 실현가능성에 대한 분석결과 수자원확보 방안에 대한 정책 실현가능성 평가에서 A-1(상수도 누수방지), B-3(절수기기 보급확대) 등이 현행 법체계에서 실현가능성을 확보하고 있는 것으로 확인되었다. 이에반해 B-4(기존 저수지의 용수공급능력 재평가 및 용도전환 검토)는 정치적-행정적-기술적 실현가능성과 더불어 추가적인 법적 조치가 필요한 방안으로 실현가능성이 낮은 대안으로 평가되었다. A-2(중수도 확대), B-2(지하수 개발) 등은 필요성과 요구는 많으나 여러 여건들에 의해 정책적 실현가능성이 낮은 것으로 나타났다. 실현가능성 검토와 더불어 제시된 수자원확보 방안과 관련된 관련 기술들의 특허 현황을 조사 제시하였다.

가뭄대책 적용성 검토를 위해 지표수-지하수 연계이용 방안에 대해 속초시 쌍천지하댐과 학사평저수지의 Case Study를 실시하였다. 속초시의 물수요 예측을 통해 2020년 필요 급수량 산정 및 유출량 및 물수지 분석 실시하였으며 이를 바탕으로 저수지 운영 시나리오에 근거하여 각 방안에 대해 모의한 결과 학사평저수지의 증고에 의해 1~2

개월 추가 물공급 가능하며, 증고 및 지표수-지하수의 탄력적 운영에 의해 4~5개월 추가 물공급 가능성을 확인 할 수 있었다. 이로써 지하수개발에 의해 기존 지표수원과 탄력적 운영을 하게 되면 효율적으로 물부족에 대처할 수 있는 훌륭한 대안임을 확인할 수 있었다.

지자체 단위에서 극한가뭄을 극복하기 위해서는 무엇보다 가뭄에 대한 인식전환이 우선되어야 하겠다. 특히 누수를 제고와 증수도 활용을 위한 지자체 단위의 장기적 마스트 플랜 수립과 점검이 요구되며, 현실적으로 대규모 수자원 확보 방안보다는 효율적 물배분을 위한 수요관리가 필요하다. 가뭄은 홍수와 달리 그 피해를 짐작할 수 있고 인근 지자체의 가뭄고통 분담에 의해 충분히 극복 가능한 재해이다. 따라서 가뭄 관련 교육·홍보 계획을 수립하여 고통분담을 위한 도민 전체의 의식전환 계기 마련이 필요하다. 저소득층에 피해가 전가되는 경향이 큰 가뭄은 국민의 보편적 복지 차원에서 접근해야 하며, 교육과 홍보를 통해 국민적 관심과 이타심 발현을 기대할 수 있고, 이를 통해 지역적 가뭄은 쉽게 해결이 가능할 것이다.

▣ 키워드 : 기후변화, 가뭄 취약성, 수자원 확보방안, 가뭄대책



# 제 1 장

# 서 론

제 1 절 연구배경 및 목적

제 2 절 연구범위 및 방법



## Chapter Summary

### 제 1 장 서론

---

- 연구배경
  - 기후변화 피해비용 상당부분 수자원(홍수 가뭄 등)문제 기인
  - 기후변화에 의한 홍수 및 가뭄피해 발생 증가 예상
  - 수자원분야 업무 및 연구 극한홍수분야 집중
  - 홍수에 비해 가뭄은 지속적 피해비용 발생
  - 강원도 전국 평균에 비해 가뭄 빈번히 발생
- 연구목적
  - 기후변화에 따른 수자원분야 영향 정의
  - 강원도 시군별 가뭄분석
  - 기후변화 시나리오에 따른 시군별 가뭄예측
  - 가뭄대책 및 수자원확보 방안 정책 수집 및 실현가능성 분석
  - 가뭄대책 적용성 검토를 위한 Case study
  - 강원도 정책방향 제시
- 연구범위
  - 강원도내 18개 시군
  - 과거 30개년(1982~2011), 미래 2100년까지





## 제 1 장

## 서론



## 제1절 연구배경 및 목적

## 1. 연구의 배경

지구 온난화로 인한 기후변화로 전 세계적으로 기상이변이 잇따르고 있으며 우리나라도 기상이변으로 인한 자연재해 빈발로 막대한 재산 및 인명피해가 속출하는 등 극단적인 위험기상이 일상화됨에 따라 기상재해 경감대책을 위한 대책 마련에 대한 목소리가 높아지고 있다. IPCC 제4차 보고서(2007)에 따르면 전세계적으로 평균기온 상승 등 극한 기상현상이 심화추세로 현재 1900년대보다 지구의 온도는 평균 0.74℃ 상승했고, 이것은 전 지구적인 온난화를 가속시키고 있어서 이번 세기말까지 최대 6.4℃ 상승이 전망되고 있다. 우리나라의 경우도 세계평균 기온상승의 2.3배인 1.7도 상승하고 있으며, 이번세기말까지 4도 상승을 전망되어 그로인해 각 부문에 많은 영향을 미칠 것으로 판단된다. 최근 기후변화로 인해 기상이변이 속출하고 있을 뿐만 아니라 기상재해도 더욱 다양화·대형화되고 있는 추세로 이에따라 기상재해 경감대책을 위한 대책 마련에 대한 목소리가 높아지고 있다. 이와 관련해 방재기준 재정립과 기상 등 기술발전 방향을 점검, 범국가적 위기관리 대응체계 구축기반에 대한 논의가 진행되고 있다.

기후변화는 평균온도의 상승 뿐 아니라 강수량의 변화와 같은 물 순환의 교란을 초

래한다. 이러한 물순환의 교란은 홍수와 가뭄과 같은 재해로 이어지게 되는데, 실제 근래 들어 이러한 자연재해의 빈도와 강도가 증가하여 전 세계적으로 많은 피해를 초래하고 있다. 우리나라의 경우 80년대 이후 강수량은 증가하였으나 강수일수는 줄어들어 강우강도는 오히려 더 강해졌다 이러한 강우패턴의 변화는 홍수와 가뭄과 같은 자연재해에 대한 취약성을 증가시켜 가용수자원의 확보에 어려움을 초래할 수 있다. 이러한 상황에서 홍수의 경우에는 국가 차원의 여러 가지 대책이 마련되고 있으나, 가뭄에 대해서는 체계적인 종합대책 마련이 미비한 실정이다. 가뭄은 불가피성과 반복성을 가진 자연현상이므로 가뭄 발생 전 사전대비계획과 가뭄발생시 가뭄관리체계 구축을 통해 그 피해를 최소화해야 한다. 물 관리에 있어 선진국으로 불리는 미국이나 일본 등의 경우는 가뭄의 진행에 따른 단계별 대응체계가 수립되어 있으며, 가뭄심도의 정량적 평가 및 가뭄예측을 위한 모니터링시스템이 구축 및 관련연구가 활발히 진행되고 있다. 따라서 본 연구에서는 최근 기후변화로 인해 큰 가뭄피해가 발생한 강원도 지역을 중심으로 가뭄현황 분석 및 정량적인 심도 분석을 통한 가뭄지수 산정, 기후변화시나리오에 따른 가뭄예측, 가뭄관리대책 및 수자원 확보 방안 등을 제시하고자 한다.

## 2. 연구의 목적

본 연구는 강원도 시군별 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 수행하고자 한다.

본 연구에서의 주요 연구목적은 다음과 같다.

- 기후변화에 따른 수자원분야 영향 정의
  - 기후변화가 물관리에 미치는 영향
  - 기후변화에 의한 수자원분야 피해 원인 제시

- 강원도 시군별 가뭄분석
  - 관측소 강수량 자료를 활용한 시군별 강수량 조정
  - 가뭄지수(SPI)를 통한 시군별 가뭄분석
  
- 기후변화에 따른 시군별 가뭄예측
  - GCM의 Downscaling 기법에 의한 시군별 기후변화 시나리오 생성
  - 기후변화 시나리오(A1B)에 의한 시군별 가뭄예측
  
- 가뭄 대책 및 수자원 확보 방안 정책 수집 및 정책 실현가능성 분석
  - 수요-공급측면과 구조물-비구조물적 가뭄대책 정책 수집
  - 시군 담당 공무원 및 전문가 설문을 통한 대책별 정책실현 가능성 분석
  
- 가뭄대책 적용성 검토
  - 속초지역의 수자원 확보 방안 적용
  - 미래 물 수요 예측
  - 저수지 운영 및 물공급 시나리오 작성
  - 지표수-지하수 연계이용을 통한 추가 수자원 확보량 정의



## 제2절 연구범위 및 방법

### 1. 연구의 범위

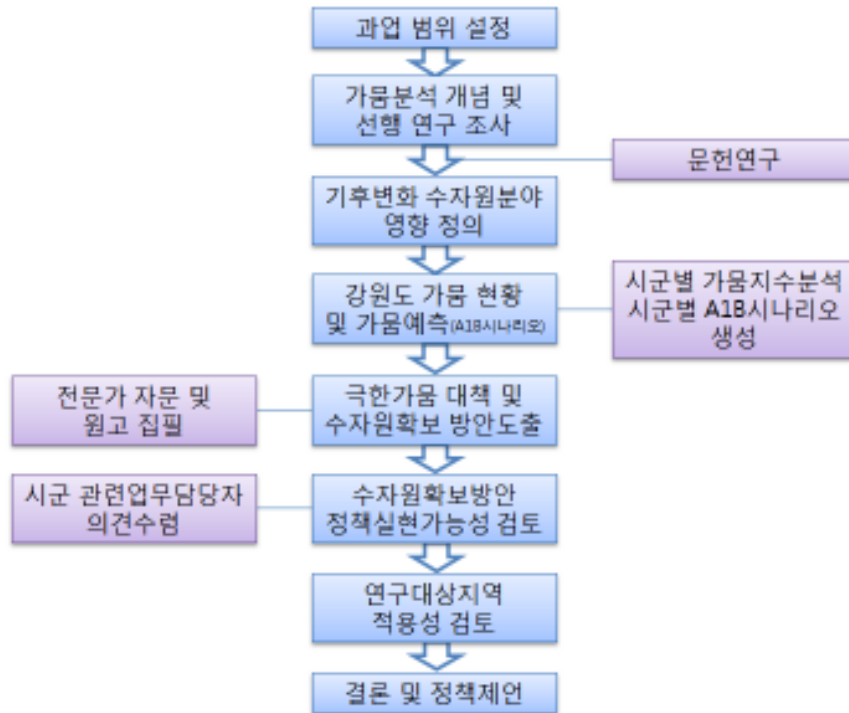
기후변화에 따른 강원도내 가뭄 분석을 통한 극한 가뭄대책 및 수자원 확보 방안에 대한 정책 방향 제시를 위해 도내 가뭄현황과악, 가뭄지수산정 및 기후변화 시나리오에 따른 가뭄예측, 수자원 확보방안에 대한 정책실현 가능성 분석 및 적용 가능성 검토 등의 연구를 수행하였다.

본 연구의 내용적 범위는 ① 국내외 문헌 조사를 통한 기후변화의 수자원분야 정의 및 가뭄분석 개념 정립, ② 국가 및 강원도 시군별 가뭄 현황 및 대책 조사, ③ 기상관측소의 강수량자료를 시군별로 변환 후 PSI(Standardized Precipitation Index) 가뭄지수를 활용한 강원도내 가뭄 분석, ④ 기후변화 시나리오 상세화에 의한 시군별 가뭄예측, ⑤ 용수 수요 및 공급에 따른 구조물적 비구조물적 극한가뭄 대책 및 수자원 확보방안 정책 조사 및 정책실현가능성 분석, ⑥ 극심 가뭄 지역 대상 Case Study로 요약할 수 있다.

이와 같이 총 6개의 세부연구를 통하여 가뭄 극복을 위한 강원도 내 적용 가능한 다양한 정책 발굴을 통한 대안들을 제시하였다. 연구대상 지역의 범위는 강원도 내 18개 시군을 이수단위구역으로 구분하였다. 시간적 범위로는 1982년 1월부터 2011년 12월 까지 기상청 및 국토해양부 강우자료가 존재하는 13개의 지점을 바탕으로 Thiessen망 경계를 설정하여 시군별 일별 강수량자료를 생성하여 활용하였다.

## 2. 연구 방법

본 연구를 수행하기 위해 부분적으로 관련분야 전문가(기후변화관련, 가뭄분석, 지하수 활용) 자문 및 원고 집필을 통한 극한가뭄 대비 강원도 대책 및 이를 위한 수자원확보 방안에 대해 종합적이고 체계적인 연구를 수행한다. 강원도 농산지원과(농업기반담당), 맑은물보전과(상수도담당), 수자원관리팀(수자원정책담당) 등을 비롯한 도내 18개시군 지자체 정책담당부서의 지속적 참여를 통한 의견수렴을 통해 도내 정책반영 가능성을 향상시킨다. 연구추진체계는 다음 그림과 같다.





제 2 장

# 가뭄 정의 및 정책동향

제 1 절 가뭄의 정의

제 2 절 가뭄 정책동향





## Chapter Summary

### 제 2 장 가뭄 정의 및 정책동향

---

- 가뭄의 정의
  - 통상적 의미 : 물공급이 부족한 시기, 평균이하의 강수량이 지속적으로 보이는 지역, 기간
  - 가뭄의 영향 범위에 따라 기상학적 가뭄, 농업적 가뭄, 수문학적 가뭄, 사회경제적 가뭄으로 분류
- 가뭄 정책동향
  - 중앙정부 가뭄 예방, 대비, 대응, 복구 분야로 구분하여 지원방침 마련
  - 기상청, 소방방재청, 농림수산식품부, 환경부, 국토해양부, 행정안전부, 지식경제부 등에서 가뭄대책 업무 관할
  - 도/시군 단위의 가뭄관리는 가뭄시작 단계와 가뭄확산 단계로 나누어 관리
  - 18개 시군 가뭄재난 관리대책 부서 및 업무 현황 조사



## 제 2 장

## 가뭄 정의 및 정책동향



## 제1절 가뭄의 정의

## 1. 통상적 의미

가뭄은 물 공급이 부족한 시기를 일컫는 말로 일반적으로 평균 이하의 강수량이 지속적으로 보이는 지역에서 이 현상이 나타난다. 이는 강수 등의 자연현상이나 인위적 행위에 의해 영향을 받는 물의 공급과 수요 간의 상호작용으로 발생하며 경제적, 환경적 그리고 개개인의 고통 등 사회에 많은 영향을 미친다.

가뭄은 여러 가지 기준에 의해 정의되며, 크게 기상학적, 수문학적, 농업적, 사회경제적 가뭄으로 분류할 수 있다. 수문학적인 측면에서 보면 강수량 부족으로 인해 물의 주요 공급원인 하천유출과 저수지 저수량의 결핍현상이 주된 인자가 되며, 따라서 기상학적 측면의 강수량 부족과 그로 인한 유출량 결핍을 가뭄의 주요 지표로 삼는다. 농업 및 임업 등 관측측면에서 보면 토양수분변화와 식물의 한계 성장조건 등이 주된 인자가 되지만, 홍수 발생시기에도 평년 이상의 홍수량보다 작은 양의 홍수가 발생하는 경우 가뭄으로 간주하게 된다.

가뭄이 발생함에 따라 우선적으로 인간들은 물의 부족함을 느끼고, 이를 해소하기 위해 사회시스템이나 사회기반시설을 변화시키기 위한 노력을 한다. 예를 들어 물의 부족함을 해소하기 위해 중소규모의 하천에서 취수원으로 지방과 간이 상수도의 안정

적인 물 공급이 이루어 질 수 있도록 노력을 한다. 또한 지하수를 개발하고 과잉취수에 의한 고갈을 줄여 균형 있는 용수공급과 대체수원으로 활용할 수 있는 방법을 개발하기 위해 지속적인 위한 노력을 하고 있다.

하지만 이와 같은 지속적인 노력을 통해서도 물의 부족을 해소할 수 없는 상황이 길어지게 되면, 결국 인간은 극심한 가뭄으로 인한 고통을 느끼게 되는 것이다. 그러므로 인간들이 필요로 하는 물의 수요에 만족할 수 있을 만한 양의 물을 공급만 할 수 있으면 가뭄이 보다 해결되었다고 느낄 것이다. 좀 더 구체적으로 말하면, 우리나라의 각 행정구역의 시·군·구의 용수수요량 및 공급량을 조사하고, 이를 비교하여 지역별 용수과·부족량 산정에 대한 연구가 우선적으로 필요할 것이다. 이는 가뭄을 사회경제학적 개념에서 정의하였을 경우와 같은 개념이라는 것을 알 수 있다(이재수, 2006).

미국 기상국에 따른 가뭄의 개념적 정의는 어느 지역의 동식물 생육에 저해를 가져올 수 있을 정도로 강수의 부족이 매우 심각하게 장기간 지속되는 상태이거나 생활용수와 수력발전에 필요한 용수를 정상적으로 확보하지 못한 상태로 정의하고 있다(방재연구소, 2002). 가뭄을 정량적(절차적, 실제적)으로 정의하기 위해서는 어느 기간 동안 강수나 다른 기후 인자가 평균치에서 얼마나 벗어나는지 등 관련된 여러 인자를 분석하여 가뭄의 시작과 끝, 심도를 규정해야 한다. Dracup 등(1980)은 가뭄이 지속기간, 크기, 심도로 구성되어 있으며 물 부족 성질을 분석하기 위하여 필요한 Run이론, 원자료를 이산화 시키기 위하여 이용되는 시간간격, 가뭄과 다른 사상을 구별하는 절단 수준(truncation level) 그리고 가뭄의 지역성을 분석하는 방법을 제시하였다. 이러한 정의를 통해 가뭄에 대한 반응과 피해 저감대책 및 가뭄계획 수립에 매우 유용하게 사용할 수 있다.

## 2. 가뭄의 분류

가뭄의 상태는 강수량의 통계적 수치만으로 취급하는 것보다는 토양수분부족, 하천유량부족 등 물 부족의 기초 개념에 의하여 정의하는 것이 합리적인 방법일 것이다. 가뭄은 강수현상과 물의 용도에 따라 <표 2.1>과 같이 구분되어 진다.

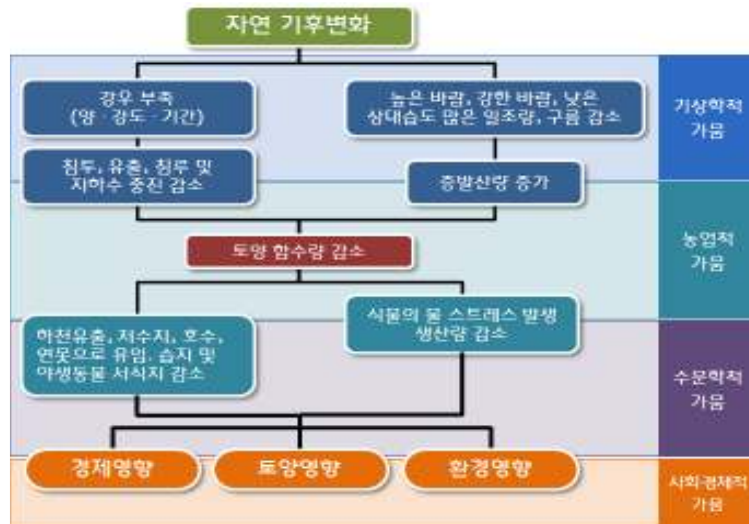
〈표 2.1〉 가뭄의 분류별 주요정의 (Wilhite &amp; Glantz, 1985)

분류	저 자	년 도	정 의
기상 학적 가뭄	Condra	1944	강한바람, 적은 강수량, 높은 기온 그리고 일반적으로 상대적으로 낮은 습도를 가지는 기간
	Levitt	1958	대기 가뭄을 공기중의 증기압 부족에 비례하는 것으로 정의
	Linsley et al	1958	상당 양의 강우없이 지속되는 기간
	Downer	1967	부족한 기간과 크기 모두 고려되는 기준값 이하의 물 부족
	McGuire & Palmer	1957	정상상태의 어떤 일정을보다 적은 월이나 연강수 기간
	Palmer	1965	주어진 지점에서 실제수분공급이 기후적으로 필요한 수분공급보다 적은 수개월 또는 수년의 기간이 지속되는 현상
	Gibbs & Maher	1967	월과 연강수 총량에 순위를 매기고 누적도수분포로부터 10분위수를 결정함으로써 가뭄측정 시스템 개발
	Lee	1979	가뭄으로 발전하는 시기를 결정하기 위해 강수의 10분위수를 수용하는 오스트리아의 가뭄 감시 시스템 개발, 극심한 가뭄을 서너달 이상 5분위를 넘지 않는 것으로 정의
	Changnon	1980	강수량과 경제상에서 날씨의 영향을 비교함으로써 가뭄을 측정
농업적 가뭄	Barget et al	1949	가뭄의 심도를 곡물수확에 대한 영향과 결부
	Kulik	1958	식물의 물수요량과 이용 가능한 토양의 수분함량량 사이의 차이를 측정함으로써 가뭄의 강도를 결정
	Palmer	1968	비정상적인 증발산 부족의 크기의 기초한 가뭄의 심도를 결정하는 곡물수분지수를 개발
	Heathcote	1974	인간의 농업활동에 해로운 물부족
수문 학적 가뭄	Linsley et al	1975	주어진 물관리시스템하에 기존의 수요량을 충족시키지 못하는 하천유수
	Whipple	1966	총 유출이 장기간의 평균유출보다 작은 양
	Dezman et al	1982	과거기록자료와 현재의 저수용량, 하천유수 그리고 강수를 이용하는 지표수공급지수(surface water supply index)개발
사회 경제적 가뭄	Hoyt	1936	강수가 기준의 인간 활동의 수요를 충족시키지 못할 때
		1942	경제발전상에서 정상적으로 이용가능한 물보다 많은 수요를 창출할때
	Gibbs	1975	동식물과 인구분포, 생활양식 그리고 토지이용상태에 의존하는 것
	Standford	1979	가뭄을 강수뿐만 아니라 공급에 영향을 주는 요소들 그리고 수요의 변동이나 경향을 연계

이러한 다양한 가뭄의 영향은 시간적인 차이를 가지고 발생한다. 가뭄이 시작될 때 농업분야는 저류된 물에 대한 큰 의존성 때문에 일반적으로 먼저 영향을 받는다. 건조 기간이 장기화되는 동안 토양수는 급격히 감소하며 강우 부족이 계속되면 다른 근원의 물에 의존하는 사람들은 물부족 영향을 서서히 느끼게 될 것이다. 이렇듯 가뭄은 가뭄을 바라보는 시각에 따라 정의가 다양하듯 가뭄의 피해를 느끼는 시기와 위치도 개인이나 지역구성원의 구성에 따라 다양할 것이다. 즉, 하천을 이용하기 위한 시설(저수지, 댐)이나 지하수를 이용하면 가뭄에 의한 영향을 나중에 받게 되는데 이는 사회경제적인 기술과 능력이 있어 가뭄의 영향을 늦게 그리고 적게 받게 되는 것이다.

이러한 가뭄의 다양한 정의는 대기 중 물순환에 따라 영향을 받게 되는데 이는 <그림 2.1>과 같은 순서로 영향을 받는다(이재수, 2010). 먼저 기후의 변화에 따라 강수량 감소하거나 증발산량이 증가하는 등은 기상학적 가뭄에 영향을 미치게 되고, 기상학적 가뭄이 지속되면 토양 함수량의 감소로 이어져 작물 생산량 감소 등 동식물의 삶에 영향을 주게 되어 농업적 가뭄을 일으키게 된다. 이후 하천유출 감소나 저수지, 댐 등의 유입량 감소로 이어지는 수문학적 가뭄이 발생하게 되고, 최종적으로 환경 및 지역의 경제에 영향을 미치게 되는 사회경제적 가뭄이 발생하게 된다.

이러한 이유로 약한 가뭄의 경우는 농촌지역은 피해를 느끼기 시작하나 도시에서는 가뭄의 피해를 느끼지 못하게 된다.



<그림 2.1> 가뭄영향 순서도

## 2.1. 기상학적 가뭄의 정의

기상학적 가뭄이란 주어진 기간의 강수량이나 무강수 계속일수 등으로 정의하는 가뭄으로 일반적으로 정상상태 또는 평균적인 개념과 비교하여 건조한 정도와 건조한 상태의 지속기간을 바탕으로 정의된다. 기본적으로 좁은 범위의 자연현상에 의한 가뭄 정의로서 기상학적 가뭄의 정의에서 강우의 결핍을 초래하는 대기상태는 지역에 따라 상당히 변하기 때문에 특정 지역에 근거하여 고려하여야 한다. 예를 들어 기상학적 가뭄의 어떤 정의는 특정한 기준보다 작은 강우일수를 바탕으로 가뭄의 기간을 정의한다. 이러한 정의는 열대강우림, 습한 아열대기후 또는 습한 중위도기후와 같이 연중 강우가 내리는 지역에 대해서 적절하며 마나우스(브라질), 뉴올리언즈와 루이지애나(미국), 런던(영국)과 같은 지역이 그 예라고 할 수 있다. 하지만 오마하와 네브라스카(미국), 포탈레자(브라질), 다윈과 북부지역(호주)과 같이 오랫동안 강우가 없는 지역인 경우 특정한 기준보다 작은 강우일수에 의한 정의는 비현실적이다. 오히려 월, 계절, 년 시간 단위의 강우 평균치에 대한 실제 강우의 차이가 더 적절할 수가 있다.

서로 다른 기간에 서로 다른 나라에서 정의하는 기상학적 가뭄의 다양성은 한 지역에서 설정된 가뭄의 정의를 다른 곳에서 적용하는 것을 어렵게 한다. <표 2.2>는 여러 나라에서 서로 다르게 사용하고 있는 기상학적 가뭄의 정의를 보여주고 있다(소방방재청, 0009).

<표 2.2> 나라 별 기상학적 가뭄 정의

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 180mm 이하인 경우
인도(1960)	실제 계절강우량이 평균 편차의 2배보다 부족한 경우
인도네시아(1964)	비가 없는 날이 6일 이상 계속될 경우

## 2.2. 농업적 가뭄의 정의

농작물 생육에 직접 관계되는 토양수분으로 표시하는 가뭄으로 가뭄이 시작될 때 농업분야는 저류된 물에 대한 큰 의존성 때문에 일반적으로 가장 먼저 영향을 받는다. 기상학적 가뭄의 다양한 특성을 강우부족, 실제와 잠재증발산간의 차이 토양수분 부족 저수지 또는 지하수위의 저하 등과 같은 점에 초점을 맞추어 농업적 영향에 연결시킨다. 식물의 물 수요는 지배하는 기후상태, 특정한 식물의 생물학적 특성, 식물의 성장 단계, 토양의 물리적 및 생물학적 특성에 의존한다. 농업적 가뭄의 올바른 정의는 싹틈에서 성장까지 곡물 발달의 여러 단계 동안 곡물의 물에 대한 다양한 민감성을 충분히 고려할 수 있어야 한다. 씨를 뿌릴 때 토양 상부층에서의 수분의 부족은 발아를 방해하고 단위면적당 적은 곡물밀도를 초래하며 최종적인 생산량을 감소시킨다. 하지만 성장 초기단계에서 토양 상부층에서의 수분이 충분하다면 이 단계에서의 표면 아래층에서의 수분의 부족은 만일 성장기에 수분이 공급되거나 곡물에 필요한 강우가 내린다면 곡물의 최종 생산량에는 영향을 미치지 않는다.

## 2.3. 수문학적 가뭄

하천, 저수지, 지하수 등의 가용 수자원의 양과 기준이 되는 수치와의 비교로 정의하는 가뭄으로 지표나 지표하 수분(하천유출, 저수지나 호수위, 지하수) 공급에 대한 강우(강설도 포함) 부족기간의 영향과 관련이 있다. 수문학적 가뭄의 빈도와 심한 정도는 유역단위 규모로 정의된다. 비록 모든 가뭄이 강우의 부족으로 기인하지만 수문학자들은 이러한 부족이 어떻게 수문학적 시스템을 통하여 전개되어 영향을 미치는지에 더 관심이 있다. 수문학적 가뭄은 일반적으로 기상학적 및 농업적 가뭄의 발생시기와 어느 정도 시간적인 지체를 가지게 된다. 강우부족이 토양수분, 하천유출, 지하수와 저수지수위와 같은 수문학적 시스템의 요소에서 나타나기까지는 시간이 더 걸린다. 따라서 여러 서로 다른 물의 사용분야는 그들의 물 공급에 대한 근원에 의지하기 때문에 가뭄의 영향은 다른 경제적인 분야와 시기가 다르다. 예를 들어 강우부족은 농업학자들이 거의 즉각적으로 인식할 수 있는 토양수분의 급격한 감소를 야기할 수 있지만 저수위에 있어서의 이러한 강우부족의 영향은 수개월 동안 수력발전량이나 여가활동에 영향을 주지 않을 수도 있다. 또한 수문학적인 저류시스템에서의 물은 다목적 또는 경



쟁적인 목적, 관개, 여가, 주운, 수력발전으로 사용되므로 영향의 순서와 크기를 더욱 복잡하게 한다. 이러한 저류시스템에 있어서의 물에 대한 경쟁은 가뭄기간에 더욱 확대되고 물 사용자들 사이의 갈등은 상당히 증가한다.

비록 기후가 수문학적 가뭄의 주된 원인 제공자이지만 토지이용 및 이에 따른 산림훼손, 토지침식, 댐의 건설과 같은 모든 것이 유역의 수문학적 특성에 영향을 미친다. 여러 지역에 수문학적 시스템에 의해 서로 연결되어 있기 때문에 기상학적 가뭄의 영향은 강우부족 지역의 경계를 훨씬 넘어 확장 될 수도 있다. 하지만 미조우리강과 그의 지류들이 이들 지역으로부터 남쪽으로 흐르므로 하류에 심각한 수문학적 영향을 줄 수가 있다. 이와 비슷하게 상류에서의 토지이용의 변화는 침투, 유출율과 같은 수문학적 특성을 변화시킬 수가 있으므로 하천유출을 더욱 변화시키며 하류의 수문학적 가뭄의 발생을 높인다. 예를 들어 방글라데시는 국내와 인접국에서 토지 이용의 변화가 있었으므로 최근에 물 부족의 빈도증가를 보이고 있다. 토지이용 변화는 기상학적 가뭄의 빈도 변화가 없었음에도 불구하고 물 부족 빈도를 변화시키는 인간 활동의 한 예라고 볼 수 있다.

### 2.3. 사회경제적 가뭄

사회경제적 가뭄은 다른 측면의 가뭄을 모두 고려한 넓은 범위의 가뭄정의로 경제재(물)의 수요와 공급을 기상학적, 수문학적, 그리고 농업적 가뭄의 요소와 관련시켜 정의한다. 가뭄으로 인한 건조기간이 장기화되는 동안 토양수는 급격히 감소하며 강우부족이 계속되면 물에 의존하는 사람들은 물 부족의 영향을 차차 느끼기 시작할 것이다. 예를 들면, 지표수(저수지나 호수)와 지표하의 물(지하수)에 의존하는 사람들은 일반적으로 가장 나중에 영향을 받게 된다.

사회경제적 가뭄의 발생은 가뭄의 정의와 분류를 위해 수요와 공급의 시간 및 공간적인 과정에 의존하기 때문에 앞에서 언급한 가뭄의 형태와 다르다. 물, 곡물, 물고기, 수력발전과 같은 많은 경제재의 공급은 기상에 의존한다. 기후의 자연적인 변화로 인해 어떤 해에는 물의 공급이 충분한 반면 어떤 해에는 사람과 환경적인 필요량에 미치지 못하게 된다. 사회경제적 가뭄은 기상과 관련된 물 공급의 부족으로 인해 경제재의 수요가 공급을 초과할 때 발생한다.



## 제2절 가뭄 정책동향

기후변화로 인한 기상학적 극한사상의 빈도와 그 규모가 커지고 있는 시점에서 홍수에 대한 연구는 활발히 진행되고 있는 반면 가뭄에 대한 연구는 상대적으로 미미한 것이 현실이다. 이는 가뭄의 경우 홍수와 달리 그 피해가 단시간 내에 나타나는 것이 아니기 때문이며 또 그 피해양상을 정량적으로 표현하기 어렵기 때문이다. 그러나 1990년대 이후 가뭄의 발생빈도가 점점 증가하고 있으며 그에 따라 사회적 피해 또한 증가하고 있으므로 가뭄피해를 경감시키기 위한 보다 심도 깊은 연구가 필요하다. 또한, 우리나라를 포함한 세계 각국은 물 관리에 대한 기본 대책을 수립하고 있으나, 가뭄에 대한 구체적인 대안을 수립한 경우는 생각보다 많지 않다. 이 중에서 물 관리에 있어 선진국으로 불리는 미국이나 일본 등의 경우는 가뭄의 진행에 따른 단계별 대응체계가 수립되어 있으며, 가뭄심도의 정량적 평가를 위한 모니터링시스템이 구축되어 있다. 따라서 본 장에서는 가뭄모니터링 기법과 가뭄전망, 가뭄관리대책 및 가뭄모니터링 시스템에 대한 기존 연구 사례를 살펴보고자 한다.

### 1. 국내·외 연구동향

가뭄지수의 평가 및 비교분석을 통한 연구를 살펴보면, 류재희 등(2002)은 가뭄평가를 위하여 다양한 가뭄지수를 비교하였다. PDSI, SPI, SWSI를 낙동강 유역에 대하여 산정하여 적용한 결과, 각각의 지수들은 다른 가뭄형태를 재현하므로 가뭄지수들의 장·단점을 파악하여 가뭄을 평가하는 것이 효과적이라고 판단하였다. 권원태 등(2001)은 미국 기상학회에서 발간한 기상학사전을 예로 가뭄을 ‘비정상적으로 건조한 날씨가 계속되어 심각한 수문학적 불균형을 이룬 기간(A period of abnormally dry weather sufficiently long enough to cause a serious hydrological imbalance)’으로 정의하였다. 2001년 봄 가뭄은 기상 관측 이래 최대로 서울지점의 3월부터 5월까지 강수량은 평년대비 20%에 불과하며 봄철 강수량이 100mm 이하인 경우는 1910, 1917,

1950, 1965, 1978, 1984년으로 분석하였다. 또한, 가뭄의 원인으로는 엘니뇨와 남방진동이 계절에 따라 우리나라의 기후에 영향을 끼치는 것으로 나타났으나 가뭄에 관한 영향은 뚜렷하지 않다고 평가하였다. 이는 우리나라가 지구상에서 가장 큰 대륙의 동안에 위치하고 있으므로 남·북간의 기온차이가 크고 서쪽에 위치한 티베트고원의 영향을 받으므로 한 가지 요인에 대한 시그널을 분리해 내는 것은 매우 어렵기 때문이며 동아시아 지역은 기후 예측성이 가장 낮은 지역 중의 하나로 결론을 내렸다(권원태, 2001).

임경진 등(2001)은 낙동강 유역에 대하여 강우지표와 PDSI로서 가뭄을 평가하였다. 짧은 기간의 가뭄상태를 재현하는 데는 6개월 미만의 강우지표와 유출지표면 충분하고 장기간의 가뭄상태에는 9개월 이상의 강우지표 및 PDSI가 적당하다고 제시하였다. 또한, 이러한 지표들은 가뭄모니터링의 구축을 위한 하나의 지표로서, 여러 가지 가뭄을 표현하고 정량화 할 수 있는 보다 정확한 가뭄지수의 산정이 필요하다고 평가하였다. 이환기 등(2001)은 가뭄피해 및 전국 기상 수문 현황과 함께 가뭄의 심도분석을 통해 기상학적, 농업적, 수문학적 차원에서 평가하였다. 2001년 가뭄은 기상학적으로 5-100년 빈도, 농업가뭄으로는 2-5년 빈도, 수문학적 가뭄으로는 10-50년 빈도에 해당한다고 평가하였다.

한편, 국외에서 진행된 연구를 살펴보면, Edwards 등(1997)은 SPI의 정의와 산정방법을 기술하였으며, 미국 Kansas의 McPherson지방을 대상으로 1911년부터 1995년까지의 3, 12, 48개월 SPI를 계산하였다. Guttman (1998)은 스펙트럼 분석을 이용하여 미국 전역을 대상으로 PDSI와 SPI를 비교하였다. McKee 등(1995)은 미국의 Colorado지방을 대상으로 다양한 시간간격에 대한 SPI를 계산하고, 이로부터 시간간격에 대한 가뭄의 시·공간적 변화를 고찰하였으며, Colorado의 Fort Collins지방을 대상으로 PDSI와 SPI의 상관성을 분석하였다. Palmer(1965)는 가뭄을 “장기간의 이상 수분부족”으로 정의하였으며, 이상습윤부족은 “정상적인 기후에서 현저하게 벗어난 비정상적인 습윤부족기간” 이라고 정의하였으며, 기후적으로 상이한 미국 중부 Kansas지역과 중서부 Iowa의 두 지역을 선정하여 시공간적으로 비교가 가능한 Palmer의 가뭄지수 PDSI를 개발하였으며 Rao 등(1982)은 Kansas지역과 Iowa지역의 PDSI를 대상으로 시계열 특성분석을 실시하고, 이로부터 시계열모형을 구성하여 PDSI를 모의발생 시켰다.

## 2. 가뭄관리

### 2.1. 국가 가뭄관리

우리나라의 물 관리 업무는 여러 부처에서 담당하고 있다. 대표적인 물 관리 부처는 국토해양부, 환경부, 농림수산식품부 등이 있다. 국토해양부는 수량관리, 환경부는 수질 관리, 농림수산식품부는 농업용수관리를 담당하고 있다. 우리나라에 주요 가뭄이 발생하면, 중앙재해대책본부를 중심으로 각 부처별 가뭄상황 관리 체계가 구성된다. 이때 부처별 주요 가뭄대책관리 업무현황은 <표 2.3>과 같다.

<표 2.3 > 부처별 주요 가뭄대책

부 처	가 뭄 대 책
국토해양부	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 광역상수도 확충 및 다목적 댐 등 수자원 관리대책</li> <li>· 상수도 전용댐 건설추진 및 예비용수 공급시설 확충 등</li> </ul>
환경부	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 가뭄지역 생활용수 대책</li> <li>· 농어촌지역 상수도 시설 확충 및 간이상수도 개선</li> <li>· 갈수기 수질오염 방지대책 및 수질환경사범 단속 강화</li> <li>· 제한급수지역 현황관리 및 식수원 개발사업 촉진 및 조기완공</li> </ul>
지식경제부	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 가뭄대책 전기시설비 및 전기료 감면 관계부처 협의</li> <li>· 공업단지 공업용수 확보 및 조업단축 등에 대비한 장·단기 대책</li> </ul>
행정안전부	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 지방자치단체와 연계한 가뭄대책 추진 및 지원</li> <li>· 도서 해안, 고지대 등 식수난 지역에 소방장비 행정 급수선 지원운반 급수</li> <li>· 가뭄대비 절수운동 전개 및 홍보</li> <li>· 지방상수도 사업 조기완공 및 지원</li> </ul>
농림수산식품부	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 관정, 양수장비 및 수리시설 점검정비 조기완료 추진</li> <li>· 농업용수관리 및 봄철 영농대비 물관리대책 추진</li> <li>· 시·군·구 보유 관수용 양수장비 지원(무상임대 포함)</li> </ul>
국방부	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 군 재난의 예방·대비·대응·복구 계획의 수립·조정</li> <li>· 국가 재난시 정부 관련부처 업무 협조 및 지원                         <ul style="list-style-type: none"> <li>· 자연재난, 인적재난 대책 업무 및 군의 대민지원에 관한 계획의 수립·조정</li> </ul> </li> </ul>
소방방재청	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 자연재난 관련 법령 및 제도의 운영</li> <li>· 각종 자연재난 대책의 수립·조정 및 지도</li> <li>· 중앙재난안전대책본부의 운영</li> </ul>
기상청	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 기상전망 및 강수 등 기상자료 제공</li> </ul>

출처 : 가뭄기록조사보고서(건설교통부, 2002)의 자료로부터 발췌 및 재정리

2004년 6월 ‘재난 및 안전관리기본법’ 시행으로 이전의 방재계획과 재난관리계획을 ‘안전관리계획’으로 통합하여 중앙부처의 기본계획과 집행계획, 시,도 및 시, 군,구 안전관리계획, 재난관리 책임기관의 세부집행계획으로 구분하여 수립하고 있으며, 행정안전부는 재난 및 안전관리분야 총괄부서로 가뭄을 비롯한 국가 재난 및 안전관리를 총괄하고 있다(중앙안전관리위원회, 행정안전부, 2009).

	중앙:국가안전관리기본계획 (부처별 안전관리집행계획)	'시·도' 안전관리계획	'시·군·구' 안전관리계획
예방	-가뭄관리 책임마련, 중앙계획 수립, 교육훈련, 재정보완	-가뭄대책 마련, 갈수록 수질오염예방	
대비	-연구개발 및 조사 용역지원 -가뭄발생 예상지역 관리	-가뭄 우려지역, 확산단계 대책	
대응	-단계별 제한급수대책 수립, 긴급용수 공급, 홍보 및 알선	-가뭄발생지역, 발생 이후 관리계획 수립 -상황관리체 운영시 - 가뭄지역 - 확인	
복구	-복구비 지원, 가뭄대책 연구개발	-복구비(농업, 영농유지, 경영활동 등) 집행, 농업기 계층농업단체의 지원	

<그림 2.2> 단계별 가뭄대응 방안

출처: 국가안전관리 기본계획(2010-2014) 별책, pp. 54-61 정리.

재난 및 안전관리 기본법의‘국가안전관리기본계획’에 따라 각 중앙부처는 연차별로 안전관리집행계획을 수립하여 이행하고 있다. 국가안전관리집행계획에서는 부처별로 가뭄대책을 수립하고 있으며, 주관부처는 소방방재청, 주요 관련부처는 국토해양부, 환경부, 농림수산식품부 등이며, 그 밖에 기상청, 국방부, 지식경제부 등도 가뭄과 관련된 대책을 수립하고 있다.

중앙정부차원에서는 소방방재청은 가뭄재난 대책 주무기관으로써 종합대책을 마련하며, 가뭄예방대책으로 관련부처의 중장기 가뭄 대응계획 수립을 지원한다. 또한 가뭄 대비단계에서는 가뭄대응책 홍보, 빗물모으기, 가뭄 예상지역 관리 등에 대해 업무를 지원한다. 가뭄이 발생한 대응 단계에서는 상황관리체계를 총괄하며, 부처의 단계별 제한급수대책 수립을 지원한다. 그리고 가뭄 복구 단계에서는 피해복구비 지원, 가뭄복구 장비의 구입비 지원, 생활자금/경영활동 지원 등을 주관한다.

소방방재청이 전반적인 가뭄재해 대책을 조정·지휘하는 역할을 수행하는 한편, 관계 중앙부처는 업무영역에 맞는 가뭄대책집행계획을 수립하고 있다. 가뭄 예방단계에서

농림수산식품부는 농업용수 대응대책을 추진하고 중장기 계획을 수립한다. 그리고 농업용수 모니터링을 지속적으로 수행한다. 환경부는 갈수기 수질오염사고 예방대책을 추진하면서 수질 모니터링을 지속한다. 국토해양부는 대체수자원 개발, 광역상수도 확충 등 수량확보업무를 수행하면서 수자원 모니터링을 지속한다. 이렇게 가뭄이 없을 경우는 각 관련부처는 본연의 물관리와 직접 연계된 업무영역이 존재한다.

그러나 가뭄에 대비해서는 공통적으로 부처별로 연구개발을 활성화하고 가뭄예상지역을 관리한다. 이 경우 연구개발 활동이나, 예상지역 관리에 있어서 업무중첩이 일어날 수 있다. 이 경우는 부처간 협력을 통해 보다 효율적인 업무추진이 필요할 것이다.

<표 2.4> 중앙부처의 가뭄관리계획

	소방방재청	농림수산식품부	환경부	국토해양부
예방	<ul style="list-style-type: none"> <li>가뭄종합대책수립</li> <li>중장기계획수립지원</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>농업용수대책추진</li> <li>중장기계획수립</li> <li>물절약대책추진</li> <li>농업용수 모니터링</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>물절약대책 추진</li> <li>갈수기 수질오염사고 예방대책 추진</li> <li>수질모니터링</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>댐관리, 지하수개발</li> <li>대체수자원확보</li> <li>광역상수도 확충</li> <li>수자원모니터링</li> </ul>
대비	<ul style="list-style-type: none"> <li>가뭄대비 홍보활동</li> <li>빗물모으기</li> <li>연구개발지원</li> <li>가뭄예상지역관리</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>연구개발 활성화</li> <li>가뭄예상지역관리</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>연구개발 활성화</li> <li>가뭄예상지역관리</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>연구개발 활성화</li> <li>가뭄예상지역관리</li> </ul>
대응	<ul style="list-style-type: none"> <li>상황관리체계 총괄</li> <li>단계별 제한급수대책 수립 지원</li> <li>긴급용수개발추진</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>가뭄대책 단계(시기)별 대책추진</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>상황관리체계 확립</li> <li>단계별 제한급수추진</li> <li>긴급식수원확보/공급</li> <li>절수운동(홍보)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>상황관리체계 확립</li> <li>단계별 제한급수추진</li> <li>긴급용수원확보/개발</li> <li>절수운동 (홍보)</li> </ul>
복구	<ul style="list-style-type: none"> <li>복구비 지원</li> <li>장비구입비 지원</li> <li>생활/경영활동 지원</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>유류 및 전기료 지원</li> <li>장비구매지원</li> <li>관정설치비 지원</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>비상용수원 관리방안</li> <li>수질관리 강화</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>지속적 수자원개발</li> </ul>

출처: 국가안전관리집행계획, 2008, 행정자치부, 부처별 계획에서 정리

가뭄의 직접적인 피해를 최소화하기 위해서는 가뭄단계에 맞는 적절한 대응계획이 마련되어야 할 것이다. 가뭄이 발생하여 대응을 하는 단계에서 소방방재청은 중앙정부 차원의 상황관리체계를 총괄 수립하며, 유관부처별로 상황관리체계를 수립하고 있다. 또한 가뭄단계에 맞는 단계별 제한급수 대책을 추진하고 있다. 단계별 제한급수 대책은 부처별로 수립하며, 소방방재청은 제한급수 대책 수립을 지원한다. 가뭄단계에 따른

제한급수는 각 부처별로 서로 상이하며, 가뭄지역 지방자치단체에 적용할 경우 지역특성을 반영하여 유연하게 수립할 것을 권장하고 있다(행정자치부, 2008).

우리나라의 가뭄단계별 조치는 용수의 용도별로 생활·공업용수에 대한 대책과 농업용수에 대한 대책으로 구분하고 있다. 각각의 가뭄 대책은 총 4단계로 구분되어 있으며 단계별 기준 및 대책은 차이가 있다. <표 2.5>에서 보듯이 생활·공업용수에 따른 가뭄은 가뭄의 발생 시점에서 종점까지를 4개의 단계로 구성하고 있으며 <표 2.6>의 농업용수에 따른 가뭄은 시점과 종점 외에도 준비단계와 마무리 단계를 포함한 4개의 단계로 구성되어 있다.

또한 생활·공업용수의 가뭄단계 기준은 감량 공급 비율, 농업용수의 가뭄단계 기준은 가뭄우려 및 확산 등으로 구분되고 있다. 이는 정량적인 기준으로 보기 힘들며 이 기준에 따라 가뭄을 구분하고 대책을 수립하기에는 어려움이 있을 수 있다.

〈표 2.5〉 생활·공업용수의 가뭄단계별 대책

구 분		기 준	제한급수계획	다목적댐 관리계획
1 단계	1-1단계	10% 감량공급시	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 방송, 캠페인 등을 통한 절수 홍보</li> <li>· 상수도 수질관리 강화</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 물부족지역 등 가뭄지역 현황 파악</li> <li>· 절수 홍보</li> </ul>
	1-2단계	10~30% 감량공급시	<ul style="list-style-type: none"> <li>· ‘비상급수대책상황실’운영</li> <li>· 절수확대 및 영업단축</li> <li>· 식수용 지하수 개발</li> <li>· 제한급수 실시</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· ‘가뭄재해대책상황실’운영</li> <li>· 댐 용수공급능력 및 용수공급 재검토</li> <li>· 상수원 및 정수장 수질관리 강화</li> </ul>
2단계		30~50% 감량공급시	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 물다량 사용업소 자율 휴무 실시</li> <li>· 식수용 관정개발, 민방위 관정 이용</li> <li>· 군부대 인력, 장비 지원</li> <li>· 비상급수</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 가뭄대책상황실 설치 및 운영</li> <li>· 지자체 요청시 댐방류량 조정</li> <li>· 물통 및 비상급수차량 운행</li> </ul>
3 단계	3-1단계	50~60% 감량공급시	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 실정에 따라 3~5일제 급수</li> <li>· 산업용수 공급 감축 및 중단</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 비상급수차량 운행 확대</li> <li>· 다목적댐의 용수공급 위주 운영</li> </ul>
	3-2단계	60%이상 감량공급시	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 최소한의 생활용수만 공급</li> <li>· 수도물 다량사용업소 격일제 영업</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 다목적댐 시수용량 활용 공급</li> <li>· 생·공용수전용댐 일정 비율 조절 방류</li> </ul>
4단계		급수중단	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 먹는샘물 공급</li> <li>· 최소한의 식수배급제 실시</li> <li>· 개인관정 공통이용</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 다목적댐 시수용량 활용 공급</li> <li>· 우선순위에 따른 용수 공급 실시</li> <li>· 다목적댐의 일정비율 조절 방류</li> </ul>

출처 : 행정자치부, 2001



〈표 2.6〉 농업용수의 가뭄단계별 대책

구 분	내 용
1단계: 가뭄대책 준비,계획 단계	· 수리시설,관정,양수장비 점검,정비 계획수립 및 실시 · 장단기 저수율 분석 및 간이용수원 등 용수개발 계획 수립
2단계: 가뭄우려초기 단계	· 용수대책상황실 설치 운영 · 영농대비 용수확보 대책 추진
3단계: 가뭄확산 단계	· 가뭄대책상황실로 개편 확대편성 운영 · 민,관,군 가뭄대책 장비 및 인력 총동원
4단계: 가뭄대책마무리 단계	· 가뭄대책사업의 조속 마무리 및 평가,보고 · 가뭄피해 농업인의 피해지원대책 수립,추진

출처 : 농림부, 2001

## 2.2. 부처별 가뭄대책 부서 및 추진체계

### 가. 국토해양부

국토해양부에서는 건설·수자원정책실 산하에 수자원정책, 수자원개발, 하천계획 및 운영 등의 물관리와 관련된 부서를 두고 있다. 이들 부서에서는 수자원정책 및 지하수법, 지하수관리 기본계획, 지하수 조사 및 관리, 지하수관측사업 관리, 지하수법 보조, 지하수 관련 민원, 녹색성장, 기후변화, 대체수자원 등과 관련된 업무를 수행하고 있다. 또한 4대강 살리기 추진본부를 두고 4대강 하천 유지관리 및 수질환경 개선을 등을 목표로 4대강사업을 추진하였다. 국토해양부는 가뭄과 관련하여 생·농·공 용수의 수급대책 등을 모두 총괄적으로 수립·운영 한다(표 2.7). 국토해양부의 기후변화 대응 물 관리 및 가뭄대책 관련된 주요부서 및 업무에 관한 내용이다.

〈표 2.7〉 국토해양부 가뭄대책 관련업무

관련부서	국토해양부 건설·수자원정책실 (수자원정책과, 수자원개발과, 하천운영과)
관련업무	· 수자원 정책의 입안 및 수자원 장기계획 수립 · 댐건설계획 총괄 및 광역상수도 계획 등의 수립·시행 · 각종 수해방지대책 및 내륙주요 관련 사항을 총괄
가뭄부문	생활용수 / 농업용수 /공업용수

국토해양부는 대체수자원 개발, 광역상수도 확충 등 수량 확보를 위한 업무들을 수행하면서, 기상청(기상자료)과 환경부(제한급수지역현황), 한국수자원공사(댐 수문자료)의 자료를 활용하여 가뭄 상황의 판단 및 대책수립을 하고 있다. 가뭄이 심화되면 국토해양부 가뭄대책반을 편성하여 대처하며, 가뭄상황에 따라 단계별로 구분하여 가뭄대책을 시행한다. 가뭄상황은 지방상수도 및 간이상수도의 감량공급을 기준으로 <표 2.7>과 같이 총 6단계로 구분하고 있다.

〈표 2.8〉 국토해양부 가뭄상황별 단계구분 및 대처요령

단계	가뭄상황	대 처 요 령
1단계	10% 감량공급	· 가뭄극복 현수막 설치 · 물 부족지역 등 가뭄지역 현황 파악
2단계	10~30% 감량공급	· 수공본사 및 각 현장사업단에 가뭄재해대책상황실 운영 · 댐 용수공급능력 및 용수공급 방안 재검토 · 상수원 및 정수장 수질관리 강화
3단계	30~50% 감량공급	· 가뭄대책상황실 설치·운영 · 지자체 요청 시 댐 방류량 조정지원 · 가뭄지역 파악 및 지원방안 협의 · 물통 및 비상급수차량 운행
4단계	50~60% 감량공급	· 용수공급시설을 이용한 물 부족 해소방안 검토 · 비상급수차량 운행 확대 · 다목적댐의 용수공급 위주 운영 · 다목적댐 사수용량 활용방안 강구
5단계	60% 이상 감량공급	· 다목적댐 사수용량 활용 공급 · 생·공용수 전용댐의 일정비율 조절 방류
6단계	취수원 고갈	· 다목적댐 사수용량 활용 공급 · 다목적댐 용수공급 우선순위에 따른 용수공급 실시 · 다목적댐의 일정비율 조절 방류

나. 환경부

환경부에서는 환경정책국 소속 수도정책과, 생활하수과, 토양지하수과에서 상수도 기본정책 수립 및 물수요 관리시책 추진하고 있다. 또한 물산업 육성 및 지원대책 추진 및 하수도 및 생활오수처리에 관한 기본정책, 토양·지하수 보전을 위한 종합대책 등을 수립하고 있다.

또한 환경정책실 기후변화협력과 에서는 기후변화 적응 마스터플랜의 수립·추진 및 기후변화 적응대책 등을 마련하고 있다. <표 2.9>는 환경부의 기후변화 대응 물관리 및 가뭄대책 관련된 주요부서 및 업무에 관한 내용이다.

<표 2.9> 환경부 가뭄대책 관련업무

관련 부서	물환경정책국 (수도정책과, 토양지하수과)	환경정책실 (기후변화협력과)
관련 업무	상수도에 관한 기본정책의 수립 물 수요관리에 관한 사항 대체정수원의 개발에 관한 사항 물산업 육성 및 지원대책 추진 하수도 및 생활오수처리에 관한 기본정책 수립 토양·지하수 보전을 위한 종합대책 수립 물환경관리기본계획 수립 수계별 영향권역별 수질관리대책 수립 수질오염총량관리, 수생태계 복원 공장폐수, 가축분뇨 및 비점오염원 관리	기후변화 취약성지도의 작성에 관한 사항 부문별 적응대책의 총괄 업무 기후변화에 관한 전문가 협의체의 운영 중앙정부와 지방자치단체간 기후변화 정책협의회의 운영 기후변화 대응 시범도시의 지정 및 관리 지방자치단체 기후변화에 관한 대응정책 수립 지원 및 협력프로그램 운영 기후·대기 연계 예측모델의 개발 기후변화로 인한 영향의 모니터링에 관한 사항
가뭄 부문	생활용수 / 공업용수 / 농업용수	생활용수 / 농업용수

다. 농림수산식품부

농림수산식품부는 농업정책국 내에 농업기반과와 재해보험팀을 두고 농촌용수 및 기반 조성에 관한사항이나 수리시설 유지관리 개발 수립 및 조정, 농업재해 피해복구 에 관한 업무를 수행하고 있다(표 2.10). 농림수산식품부 가뭄대책 관련된 주요업무에 관한 내용이다.

〈표 2.10〉 농림수산식품부 가뭄대책 관련업무

관련 부서	농업정책국 (농업기반과, 재해보험팀)	농어촌정책국 (4대강새만금과)
관련 업무	농촌용수 개발 및 기반조성 수리시설개보수 수리시설 유지관리 계획수립 및 조정 농업생산기반설용 국유재산관리 농업생산기반에 관한 기술 농업생산기반정비 다목적농촌용수개발 지하수자원관리 농업재해대책 및 재해보험 농어업재해대책법 법령정비 및 제도개선 농업재해 피해복구에 관한사항	새만금 간척종합개발사업 업무총괄 및 사업관리 4대강사업의 계획, 시행, 관리 농업분야 4대강사업 영산강하구둑 구조개선사업 추진
가뭄 부문	생활용수 / 농업용수	생활용수 / 농업용수 / 공업용수

농림수산식품부는 발생 가능한 가뭄에 대비하고 가뭄발생이 예상될 시 수리시설을 이용한 농업용수를 최대한 확보하고, 가뭄 단계별 용수대책을 강구한다. 또한, 기상분석을 통해 가뭄상습지를 관리하고 용수대책을 추진하는 사전단계를 거쳐 가뭄이 확산되어 대책을 수립하기까지의 대책단계로 진행된다. 용수대책 추진계획은 총 4단계로 구분하여 각 지역별 기상상황, 가뭄전망에 비추어 급수대책을 수립하도록 하였으며, 단계별 가뭄기간은 기상예보, 강수량, 저수율, 가뭄상황 등에 따라 설정되어 추진되고 있다. <표 2.11>은 가뭄단계별 농업용수 관리계획이다.

〈표 2.11〉 가뭄단계별 용수 관리계획

구 분	내 용
1단계 (가뭄대책 준비, 계획 단계)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 장단기 기상예보 · 저수율 분석</li> <li>• 저수지 물 관리 철저</li> <li>• 수리시설 · 관정 · 양수장비 점검 · 정비 계획수립 및 실시</li> <li>• 암반관정, 간이용수원 등 용수개발 계획 수립</li> <li>• 대 · 중규모 용수개발, 대단위 농업종합개발 등 공사 중인 지구의 조기급수대책 수립</li> </ul>
2단계 (가뭄우려초기 단계)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 용수대책상황실 설치 운영</li> <li>• 영농대비 용수확보 대책 추진</li> <li>• 가뭄대비 용수개발 예산단계별 지원계획 수립 지원</li> <li>• 암반관정 및 간이용수원 등 용수개발 적극 추진</li> <li>• 가뭄대책용 장비 및 인력동원 계획 수립 추진</li> </ul>
3단계 (가뭄확산 단계)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 가뭄대책상황실로 개편 확대편성 운영</li> <li>• 정부 관련부처와 협조체계 유지 및 지원 강화</li> <li>• 가뭄극복 비상령 발동</li> <li>• 급수대책총력추진 및 용수원 개발적극 확대</li> <li>• 가뭄극복 3대 운동(저수·절수·용수개발) 전개 및 홍보 활동 강화</li> <li>• 가뭄지역 지원을 위한 주재관 현지 파견</li> <li>• 민·관·군 가뭄대책 장비 및 인력 총동원</li> </ul>
4단계 (가뭄대책마무리 단계)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 가뭄대책용 장비 및 시설 점검·정비 후 관리</li> <li>• 가뭄대책사업의 조속 마무리 및 평가·보고</li> <li>• 항구적인 가뭄대책 수립</li> <li>• 가뭄피해 농업인의 피해지원대책 수립 · 추진</li> <li>• 가뭄대책업무를 풍수해대책 등 일상업무체제로 전환 추진</li> </ul>

#### 라. 지식경제부

지식경제부는 가뭄대책과 관련된 전기시설비 및 전기료 감면을 관계부처와 협의를 통해 추진하는 등 가뭄관련 장·단기 대책을 마련하고 있다.

〈표 2.12〉 지식경제부 가뭄대책 관련업무

관련부서	비상안전계획관 (재난안전관리팀)
관련업무	국가비상사태에 대비한 제반계획의 수립·종합 및 조정 재난안전관리대책 재난관리체계 평가 종합상황실 안전재해 상황관리 안전재해 위기관리
가뭄부문	생활용수 / 농업용수

마. 국방부

국방부는 군 재난의 예방·대비·대응·복구 계획의 수립·조정 등을 통해 국가 재난시 정부 관련부처 업무 협조 및 지원 등 가뭄 등의 자연 및 인적재난에 대비하고 있다.

〈표 2.13〉 국방부 가뭄대책 관련업무

관련부서	전력자원관리실 (재난관리지원과)
관련업무	군 재난관리정책 및 계획의 수립·조정 군 재난의 예방·대비·대응·복구 계획의 수립·조정 국가 재난시 정부 관련부처 업무 협조 및 지원 군의 대민지원에 관한 계획의 수립·조정 자연재난 및 인적재난 대책 업무 국가기반체계보호 업무의 지원 및 협조 군 대체기능인력 양성 및 대외기관 협조 국방부 재난대책본부 및 상황실 운영 국방 재난관리정보시스템 운영
가뭄부문	생활용수 / 농업용수

## 바. 기상청

기상청은 기후변화정보센터내의 기후정책과에서 기후변화 감시와 엘니뇨 등의 이상 기후 감시체계 구축을 통해 가뭄 등의 기후변화에 대응을 위한 예측시스템 개발 등의 업무를 수행하고 있다.

〈표 2.14〉 기상청 가뭄대책 관련업무

관련부서	기후변화정보센터 (기후정책과)
관련업무	기후변화 감시 : 기후변화로 인한 재해를 피하기 위한 기후변화에 대한 정확한 진단과 예측  이상기후 감시 : 엘니뇨와 라니냐 발생 조기 탐지, 이상기후에 대비할 수 있는 예측모델 감시체계 개발운영, 미래 기상재해 대비 위성과 해양 관측자료를 분석하여 해양상태 변화를 감시 전지구 해수면온도 예측모델을 통해 예측 정보 생산·분석, 홈페이지를 통해 예측 정보 제공
가뭄부문	생활용수 / 농업용수 / 공업용수

## 사. 소방방재청

소방방재청은 행정자치부 ‘민방위재난통제본부’를 전신으로 하여 1990년대이후 해마다 되풀이되는 대형재난으로부터 국민의 생명과 재산을 보호하기 위해 2004년 6월 1일에 개청되었다.

소방방재청에는 본청 1관 3국 21과 3팀과 3개의 소속기관에 본청 348명, 소속기관 210명 등 558명이 근무하고 있으며, ‘자연재해대책법’ 등 19개 법률의 집행을 통해 각종 재난으로부터 국민의 생명과 재산을 보호하는 국가 재난관리 업무를 중추적으로 수행하고 있다. 방재관리국 소속의 방재대책과, 복구지원과, 재해경감과, 기후변화대응과, 재해영향분석과 등에서 재난관리평가, 기후변화종합계획, 재해영향분석 등의 업무를 수행하고 있다.

〈표 2.15〉 소방방재청 가뭄대책 관련업무

관련 부서	방재관리국 (방재대책과)	방재관리국 (기후변화대응과)
관련 업무	자연재난 관련 법령 및 제도의 운영 각종 자연재난 대책의 수립·조정 및 지도 중앙재난안전대책본부의 운영 및 지역재난 안전대책본부의 운영 지원 중앙수습지원단의 구성·운영 및 수습요원 의 파견·인력관리 자연재난에 대한 표준 대비·대응 방법의 개발 및 보급 자연재난의 사전대비·대응 및 수습 총괄 자연재난 관련 재난사태의 선포·해제에 관한 사항 자연재난에 대비한 인적·물적 동원계획의 수립 및 수방자재의 개선에 관한 사항 재난상황관리에 대한 지원 자연재난 분야 방재대책과 관련된 유공자 및 단체 등의 포상 자연재난 분야의 비상대처계획 수립·총괄 지역자율방재단 지원 등 자율방재기능의 강화에 관한 사항 자연재난 예보·경보 전달체계의 구축 및 예보·경보 발령의 지원 재난관리체계와 재난의 예방·대비·대응 및 복구에 대한 평가 재난관리기금의 적립·운용 및 관리 재난위험정보의 활용·관리 및 제공 자연재난 기록의 보존 및 관리·활용 신국가방재시스템 및 범정부적 수해방지대 책의 추진사항 관리 가뭄대책 추진상황 관리의 총괄 재해사전예측시스템의 구축·지원 및 상황 판단회의의 운영 산간마을 등 위험지역에 대한 조기경보체 계의 구축·운영	우수(雨水)유출저감대책의 수립 및 우수유 출저감시설 기준의 마련·운영 내설·내풍 설계기준의 제정·운영 및 지도 지구단위홍수방어기준의 설정·운영 자연재해저감기술진흥계획의 수립 자연재난 분야 산업의 육성, 연구개발, 신 기술 활용 등에 관한 사항 자연재해 저감을 위한 전문교육의 실시 자연재난 관련 산업의 육성·지원 자연재해저감 신기술의 개발 촉진 및 활용 방재안전대책수립 대행자의 등록·변경 및 관리 방재업무 대행비용 산정기준의 제정·관리 에 관한 사항 방재 분야 종사자에 대한 특수전문교육 등 의 진흥에 관한 사항 자연재난 분야 국제협력 증진에 관한 사항 기후변화에 따른 국가방재목표의 설정 및 중장기 전략의 수립 재해환경 변화에 따른 재난예측·대응, 국 제협력 업무의 수행 기후변화에 대비한 방재기준의 재설정 기후변화에 따른 취약 분야 재난관리시스 템의 강화 자연재난관리 표준화 프로그램의 개발·보 급 상습가뭄재해지역의 관리 및 중장기대책의 수립 가뭄·황사·폭염 종합대책의 추진 및 상황 관리의 총괄 재해경감대책협의회 관리·운영 국립방재연구원의 국제공동연구 지원에
가뭄 부문	생활용수 / 농업용수	생활용수 / 공업용수



2.3 지방자치단체 가뭄관리

국가안전관리기본계획에 따라 각 중앙정부는 안전관리 집행계획을 수립하고, 시·도 및 시·군·구 지방자치단체는 안전관리계획을 수립하도록 하고 있다(재난 및 안전관리기본법 제23조, 제24조). 지방자치단체의 가뭄대책은 안전관리계획에 포함되어 수립된다. 본 연구에서는 강원도의 안전관리대책의 가뭄관리계획을 중심으로 지방자치단체의 가뭄관리계획을 살펴보기로 한다.

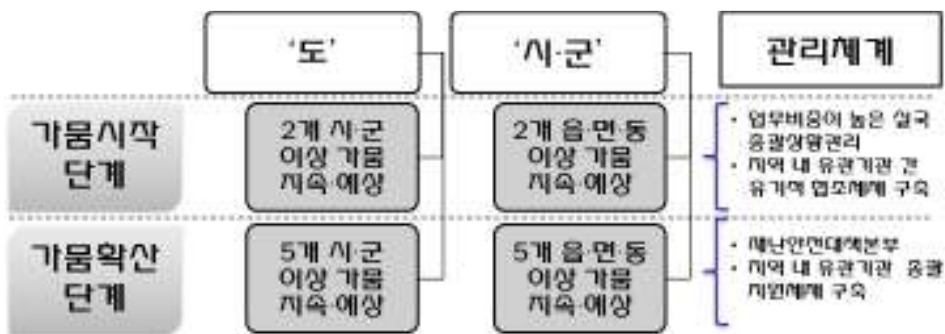
〈표 2.16〉 가뭄재난 관리대책

예방대책	대비대책	대응대책	복구대책
농업용수대책 추진 수리시설, 양수장비 점검, 부족장비 보완, 논물 가두기, 간이보 설치, 용수확보 대책 사전점검, 용수 부족지역 농산물 선별 피종 지하수개발 및 사후관리 강화 개발 지하수 준공신고제 운영, 지하수 D/B 구축, 관측소 설치 상습가뭄지역해소 중장기계획 수립추진 효율적 빗물관리 방안, 댐 건설, 광역상수도 확충 등 수자원확보노력, 도서지역 생활용수 공급대책 확대, 중수도 시 지방상수도 확장, 수리시설 확충 보강 물 절약대책 추진 물 다량 사용업소, 유절 지원, 초·중·고·대학 수교육 및 절수기 설치유도, 일정규모이상 건축물 및 물 다량 사업업소 중수도 및 절수기 설치 갈수기 수질오염사고 예방대책 추진 갈수기 환경오염물질 배출단속 강화, 수계별 오염우려 업소 집중단속	가뭄대책 관련 연구 개발 활성화 가뭄대책 자료축적, 연구시설 확충, 가뭄방재 연구개발 수행 가뭄발생 예상지역 관리 한해 장비 점검·정비(월 1회 이상), 양수장비보충 기상분석 및 생육상황 관찰, 가뭄대비 농작물 관리 및 재배요령 지도 가뭄우려 및 확산단계 대응조치 점검, 이행	가뭄발생직전 대책 가뭄 대응 활동체제 수립 재난 예경보 신속 전파 기상상황 및 재난상황 전달 재난발생 직후 상황관리체계 확립 각 유관부처별 특성에 따라 설치, 운영 전국 2개도, 10개 시·군 이상 가뭄발생시 중앙부처 단계별 제한급수 실정에 맞도록 단계별 급수대책 수립 생활용수, 농업용수 등 단계별 대책 수립, 적용 단계별 상황관리체계 구축 평시, 가뭄시작단계, 가뭄 확산단계로 구분 긴급식수원 확보 및 생활용수 공급 유희우물 또는 농업용 관정 등 기존시설 최대 활용 범국민적 절수운동전개, 대국민 홍보 가뭄발생지역 긴급 용수원 개발 추진(암반관정, 집수정개발, 하상굴착, 이동식 양수시설 등) 부처 소관별 가뭄극복 추진대책 군부대, 소관부처, 유관기관의 장비동원, 인력지원, 자금지원 등	피해농작물 복구비 지원 해당지역 농작물 피해면적 50ha 이상(농어업재해대책법 제4조 1항, 시행규칙 제2조 1항) 가뭄대비 장비 구입비 등 지원 유류대 및 전기료 지원 양수기 등 장비구입비 관정설치비 지원 가뭄피해농가 생계안정과 경영유지를 위한 지원 중·장기가뭄종합대책 추진 ‘도’ 제3차 농촌용수 10개년 계획 추진(2002~2011) ‘시·군’ 상습가뭄재해지역 지정 및 상습가뭄 해소를 위한 대책 수립

출처: 경상남도 안전관리계획(2008) pp. 285~317 중 관련 항목 요약 정리



도 및 시·군·구의 가뭄대비 단계별 계획도 <표 2.16>과 같이 예방, 대비, 대응, 그리고 복구 단계로 구분하여 수립된다. 지방자치단체의 가뭄계획은 평시단계라 할 수 있는 예방 및 대비단계에서 보다 상세한 계획이 수립된 것으로 확인된다. 특히 도서지역을 포함한 시군은 가뭄에 대비한 관정개발, 장비확보, 간이보 마련 등 농업용수 확보를 위한 대책이 상세하다. 또한 현재 자연재해대책법상 각 시·군·구 자치단체장은 상습가뭄재해지역 지정·고시가 가능하며, 동 지구에 대한 상습가뭄재해지역 해소를 위한 중·장기대책을 수립하도록 하고 있다. 따라서 시·도의 가뭄계획에서는 가뭄의 예방단계 및 가뭄피해발생 후 복구단계에서 상습가뭄재해지역에 대한 대책마련과 계획수립을 추진하고 있다. 가뭄발생 시 대응단계에서의 계획은 개별 지방자치단체의 실정에 맞는 절수대책, 상황관리체계를 마련하고 있다. 그러나 가뭄수준에 대한 기준과 정의가 미비한 상태에서 자치단체별로 적절한 대응책을 이행할 수 있는지는 명확하지 않다. 특히 절수대책은 중앙부처가 수립한 단계별 대책을 각 자치단체 실정에 맞도록 가뭄대응 지침으로 활용하고 있다. 그러나 환경부, 국토해양부 등이 제공하는 단계별 대책은 정부차원의 비상 물공급 계획과 물절약 홍보 및 유도 등 자발적 대책 위주이며, 단계구분의 기준도 명확히 구분되지 않는다. 또한 각 지역의 저수용량, 물 공급여건 등은 차이가 있다. 따라서 가뭄수준에 맞는 대책도 가뭄의 정도에 따라 지역별로 상이하게 적용되어야 한다. 특히 물 절약으로 인한 가뭄대응책이 실효성을 갖기 위해서는 물 수요자의 사용규제에 대한 구체적인 대책이 마련되어야 하겠다. 이를 위하여 중앙부처의 절수대책에 지방정부가 실행 가능한 구체적인 안이 제시될 필요가 있다.



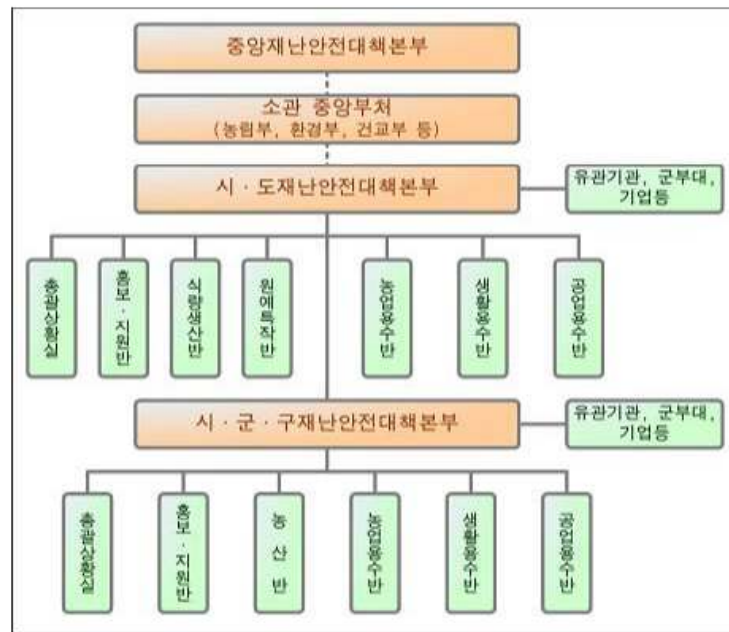
<그림 2.3> 도·시·군 가뭄관리 체계

현재 우리나라 지방자치단체는 가뭄관리체계 단계를 시작단계와 확산단계로 구분하여 관리대책을 마련하고 있다. ‘도’단위 자치단체의 가뭄시작단계에서는 가뭄현상이 2개 시·군 또는 2개 분야(방재, 농업, 생활용수 분야) 이상 가뭄이 나타나고 가뭄지속이 예상될 때 가뭄대책 업무를 도 재난안전대책본부에서 관장하되, 업무비중이 높은 실·과에서 총괄 상황관리하고, 관련 실·과별 상황관리에 들어간다. 또한 지역관내 유관기관(기상대, 농진청, 농협, 농기공, 수공, 지방 국토관리청, 한전 등) 및 군부대, 각종단체 등과 유기적인 협조체제 구축하여 추진하고, 가뭄현상과 지방자치단체 특성에 맞도록 상황관리 체계를 조정하여 시행한다. ‘시·군’단위 자치단체의 가뭄시작단계에서는 가뭄현상이 2개 읍·면·동 또는 2개 분야 이상 가뭄이 나타나고 가뭄지속이 예상될 때 가뭄대책 업무를 시·군 재난안전대책본부에서 관장하되, 업무비중이 높은 실·과에서 총괄 상황관리하고, 관련 실·과별 상황관리를 실시한다. 또한 지역내 유관기관과의 협조체제 구축도 동일하게 시행된다.

‘도’단위 자치단체의 가뭄확산단계에서는 가뭄현상이 5개 시·군 이상 나타나거나 장기기상 전망에 가뭄 지속이 예상될 때 가뭄대책 업무를 도 재난안전대책본부에서 총괄하고 각 실·국별 상황관리 또는 재난안전대책본부 합동근무를 실시한다. 이때는 지역관내 유관기관과 가뭄극복 총력지원체계를 구축하여 추진하도록 계획하고 있다. ‘시·군’단위 자치단체의 가뭄확산단계에서는 가뭄현상이 5개 읍·면·동 이상 나타나거나 장기기상전망에 가뭄지속이 예상될 때 가뭄대책업무를 시·군 재난안전대책본부에서 총괄하고, 관련 실·과별 상황관리 또는 재난안전대책본부 합동 근무를 실시한다. 물론 이 경우도 유관기관과의 총력지원체제가 구축되고 가뭄의 현상과 지방자치단체의 특성에 맞도록 상황관리가 이행되도록 하고 있다.

지방자치단체의 가뭄관리계획에서는 가뭄상황에서 가뭄의 성격에 따라 또는 지역실정에 따라 주관부서가 달라진다. 그러나 가뭄수준에 대한 평가와 정의·기준 등이 명확하지 않고 지역실정에 따라 응급대처 방식의 대책이 시행되기 때문에 사전예방과 적절한 대응 및 복구에 대한 계획이 미흡한 상황이다. 따라서 가뭄계획의 기본전략과 추진 계획에서도 나타나듯이 모니터링 시스템 및 정보화 관리, 가뭄예방 기술개발, 평가기준 마련이 필요하다. 추가적으로 현재 수립 중인 시군 안전관리계획은 국가안전관리기본 계획 및 도 안전관리계획과의 정합성이 떨어지며 형식적으로 수립되는 면이 있다. 특히 내용적 변화가 크지 않아 매년 동일한 수준의 보고서가 작성되고 전년도 계획은 폐

기되는 비효율이 발생하기도 한다. 또한 국토의 계획 및 이용에 관한 법률에 의한 도시기본계획, 도시관리계획상의 방재계획과 국가안전관리계획상의 재난 대책 등 방재계획이 서로 연계되지 못한 점은 보완되어야 할 것이다(최충익, 2007).



참고] '05년 가뭄종합대책 추진계획, 소방방재청 중앙재난안전대책본부

<그림 2.4> 가뭄상황관리 체계도

2.4 강원도 시군별 가뭄재난 관리대책 부서 및 업무현황

강원도 18개 시군에서는 용수수요에 따라 관련부서에서 가뭄관련 업무를 담당하고 있으며, 종합적이고 체계적인 관리는 이루어지지 않고 있는 것으로 판단된다. 다음은 각 시군의 가뭄관련 업무담당 부서 및 업무현황을 보여주고 있다.

○ 횡성군

관련부서	건설방재과 (안전관리 담당)	상수도사 업소 (상수도관리담당)
관련업무	재해예방종합계획의 수립 및 풍수해 대책 방재시설물 점검 관리 국가재난대응 종합훈련 실시 재해 예·경보시설 관리 운영 재난상황 종합관리 및 평시보고 체제 구축 지역단위 재난예방 및 안전관리계획 수립·집행 안전관리위원회 및 사고대책본부 구성운영 시설물 및 건축물 안전점검 계획수립 및 점검실시 사회단체 및 유관기관 관련업무 재난관련 조례제정 및 개정 사전재해영향성 검토 협의 및 검토위원회 운영 각종 재해위험지역 조사 및 개선사업 재해복구계획의 수립 사유재산피해 재난보상금 지급 재난대비 물자, 자원, 장비파악 및 재난단체, 규모, 유형별 동원계획 수립운영 재해예방계획 수립 및 사전대비업무 안전점검 콜센터 운영 재난관리기금 적립·관리	광역상수도 수도시설관리 상수도수탁급수공사 외선보수관리 마을상수도관리 소규모급수시설관리 상수도수질검사 배수지, 취정수장관리 상수원보호구역관리 상수도누수탐사관리
가뭄부문	생활용수 / 농업용수	생활용수 / 공업용수

○ 평창군

관련부서	상하수도사업소 (상수도시설 담당)	건설방재과 (하천, 재난, 방재 담당)	환경과 (수질 담당)
관련업무	상수도 신설 및 확장 노후관 개량사업 추진 상수관망선진화사업 수도정비기본계획 수립 시행 주요민원업무 및 누수 탐사 상수원보호구역관리 및 주민지원사업 추진 저수조, 급수설비 관리 저수조 청소업 신고, 운영요원 교육관리 절수설비 설치 및 빗물 이용시설 설치 수돗물 수질평가위원회 운영 및 품질보고서 발 간 누수탐사 상수도 신설 및 확장, 노후관 개량사업 추진 상수관망선진화사업 상수도 원인자 부담금 업무 전용상수도 인가 및 관 리 수도시설 기술진단, 누 수탐사, 재해업무, 물수 요관리 소규모수도시설 추진 및 유지관리 소규모수도시설 소독약 품 관리 농촌농업생활용수개발 사업 추진 및 관리 누수탐사	하천기본계획 및 소하천 정비종합계획수립 총괄 하천 및 소하천 정비공사 업무 총괄 주요민원 및 소송사건 수 행 하천준설계획 수립 및 시 행업무 하천 및 소하천 수해복구 총괄 <재난> 안전관리 유관기관, 재난 구조단체 지원·협조 시특법 대상시설 관리 배수펌프장 운영·관리 안전문화운동(안전점검의 날, 재난취약가구 계절·시기별 인적재난분야 안전대책 수립·추진 <방재> 자연재해위험지구 지정 관 리 및 정비사업 추진 서민밀집지역 정비사업 추 진 자연재해 공공시설 집계 총괄, 복구 상황 관리 풍수해저감 종합계획 및 재해분석평가 재해위험지구 등 보상 업 무 자연재난(재해)사전대비 및 인명피해최소화 종합대 책 수립·추진 및 행동메뉴 얼 작성	비점오염관리 통합 물 관리(계획)추진 수질오염총량관리 추진 지하수이용부담금 부과· 징수 지하수시공업 및 지하수 영향조사기관 관리 지하수방치공(폐공)처리 사업 등 지하수관리 공공수역관리(하천 정기 측정망 운영) 지하수 개발·이용(변경)신 고 및 준공 미신고시설 양성화 지하수 개발·이용(변경,연 장)허가 및 사후관리 지하수 수질검사 및 수질 측정망 관리 굴착행위(종료) 신고 중권역 물 환경관리(평창 강, 남한강 상류)
가뭄부문	생활용수 / 농업용수 /공업용수	생활용수 / 농업용수	농업용수 / 생활용수

○ 정선군

관련부서	건설방재과 (하천관리, 재해예방 담당)	건설방재과 (수도시설 담당)
관련업무	<하천관리> 하천관리기본계획수립 치수사업(하도준설) 및 하천 사 업업무 수해복구추진 <재해예방> 김영도 재해예방업무 총괄 시설안전계획수립 추진 특정관리대상 시설물관리	상수도사업 계획 및 조정 상수도사업 중장기 계획수립 누수방지 및 보수사업 총괄 상수도 중,장기계획 및 수립 약품 및 계량기수급 관리 및 구입 수도시설 통계업무 상수도 계량기 수급관리 상수도관련 일반사무 (월동, 재난, 기타업무) 시설물 유지 관리 상수도 및 간이상수도 수질관리 상수도시설 유지관리 및 보수 (전기, 기계, 계장, 기타 시설) 상수도시설 자동화업무 전용상수도 인허가 약품투입설비 관리 각종 시설공사 감독 상수도사업계획 시행 및 공사감독 맑은물 공급대책, 유수율 제고, 시설확장사업 추진 누수탐사 도로점용 인,허가 관리 취, 정수장 및 배수지 시설공사
가뭄부문	생활용수 / 농업용수	생활용수 / 공업용수

○ 영월군

관련부서	재난방재과 (복구지원 담당)	상수도사업소 (상수도 담당)
관련업무	배수·빗물펌프장운영 관리 수문유지관리 재해영향평가 협의제도 사전재해영향성 검토	마을상수도관리 소규모급수시설관리 상수도수질검사 배수지, 취정수장관리
가뭄부문	생활용수 / 농업용수 / 공업용수	생활용수 / 농업용수 / 공업용수

○ 철원군

관련부서	재난안전관리과 (재난관리, 복구지원, 하천관리, 비상계획 담당)	환경수도과 (수도행정, 상수도관리 담당)	농업정책과 (농업기반조성 담당)
관련업무	재난관리 및 대책 업무 복구지원 업무 하천관리 업무 비상계획수립 및 관리 업무	수도행정 관련업무 상수도 관리업무	농업기반조성 관련업무
가뭄부문	생활용수 / 농업용수	생활용수 / 공업용수	농업용수

○ 화천군

관련부서	건설방재과 (재난관리, 하천 담당)	환경수도과 (상수도담당)
관련업무	재난관리 업무 하천관련 업무 관정·양수장 정비 한해대책 수리시설관리 지방하천정비 및 기본계획 수립 소하천정비사업 수리시설개보수 한발대비사업 등 기반조성업무	누수방지 및 보수사업 총괄 상수도 중,장기계획 및 수립 약품 및 계량기수급 관리 및 구입 수도시설 통계업무 상수도 계량기 수급관리
가뭄부문	생활용수 / 농업용수 / 공업용수	생활용수 / 농업용수 / 공업용수

○ 양구군

관련부서	건설방재과 (건설방재 담당)	클린환경과 (상수도 담당)
관련업무	재난관리 업무 건설관리 업무 방재관리 업무	수도정비기본계획 수립 통합상수도사업 추진 동면 상수도 관리 소규모수도시설 개량사업 상수도 통계관리
가뭄부문	생활용수 / 농업용수	생활용수 / 공업용수



○ 인제군

관련부서	건설방재과 (하천관리, 재난관리 담당)	
관련업무	<재난방재 담당> 재난안전대책본부 운영, 재난상황 전파 및 대책 수립 자연재난예방 및 종합계획 수립 자연재난 보고 및 복구계획 수립 재난관리기금 운용 자연재난 취약시설의 지도 점검 및 수해복구 추진실태 확인 점검 <하천관리 담당> 지방하천, 소하천 중장기 계획수립 하천 환경정비사업 계획수립 지방하천, 소하천 지정(변경, 폐지) 관리 지방하천소하천 관리 하천내 시설물 관리 지방하천소하천 내 폐시설물 정비	
가뭄부문	생활용수 / 농업용수	

○ 원주시

관련부서	안전도시과 (재난안전관리 담당)	수도과 (누수방지 담당)
관련업무	재난안전관리대책 업무 자연재난예방 및 종합계획 수립 자연재난 취약시설 점검	수도관리 및 누수방지 업무 상수도사업계획 시행 및 공사감독
가뭄부문	생활용수 / 농업용수	생활용수 / 공업용수

○ 고성군

관련부서	건설방재과 (농업기반, 재난방재 담당)	
관련업무	<농업기반 관련업무> 관정, 배펌프장, 저수지 등 관리 <재난방재 관련업무> 홍수, 가뭄 등 대책 및 복구	
가뭄부문	생활용수 / 농업용수 / 공업용수	

○ 강릉시

관련부서	재난관리과 (방재 담당)
관련업무	방재업무, 수해복구업무, 자연재해(가뭄)업무 풍수해보험 관리, 방재의날 침수흔적도조사및제작, 해일재해지도제작 재해위험지구관리, 재해영향성평가협의 및 사전재해영향성검토 우수유출저감대책수립, 인명피해종합대책수립 재난예방시설설치 및 위험지역지정, 관리 인명피해종합대책수립 여름철자연재난사전대비및 종합계획 수립 지역자율방재단 구성 운영, 재해복구 추진상황 관리 겨울철자연재난 사전대비및 종합계획수립,
가뭄부문	생활용수 / 농업용수 / 공업용수

○ 태백시

관련부서	재난관리과 (재난관리, 복구지원 담당)
관련업무	재난관리 및 복구지원 업무 하천관리 업무 농정산림과 . 농업재해대책추진 자연재해(지진, 가뭄 등)예방 복구
가뭄부문	생활용수 / 농업용수 / 공업용수

○ 양양군

관련부서	건설방재과 (방재복구 담당)
관련업무	자연재난대책 및 수립 가뭄방지대책수립 재난관리기준설정 재해위험지구지정.관리 및 정비사업, 소하천정비사업추진 풍수해보험가입홍보, 겨울철 수도관리 방재 복구업무총괄, 재해취약시설점검관리, 위험지구관리
가뭄부문	생활용수 / 농업용수 / 공업용수



○ 속초시

관련부서	재난산림관리과 (재난지원 담당)	재난산림관리과 (복구 담당)
<p>관련업무</p>	<p>재해영향평가 및 사전재해 영향성 검토                      재해 사전대비 총괄조정, 지도 방재교육, 훈련계획 수립, 시행                      안전대책본부운영 구성, 운용                      안전관리위원회 구성, 운영                      국가기반체계보호 업무 전반                      재해대책 종합상황관리 총괄조정, 피해상황 보고                      재해대비 비상대책계획(EAP) 수립, 추진                      자동우량경보시설 확충 등 첨단시스템 구축에 관한 사항                      재난·재해 상황 종합관리 및 보고                      재난예방에 관한 교육 및 홍보                      재난, 재해 상황접수 및 전파, 언론보도, 확인정리                      재난, 재해관련 주민동향 파악                      종합상황실 장비운용 및 장비관리                      재난관리계획 수립, 시행                      재해, 재난관리기금 운용관리                      안전문화운동 추진                      국가안전관리정보시스템 관리, 운영                      안전중장기 종합계획 수립, 추진                      안전관리에 관한 자원봉사자의 육성, 지원                      민간안전문화협의회 구성, 운영                      시설물 안전관리계획 수립 및 안전점검, 정비                      재난 및 안전관리기본법에 의한 특정 관리대상 시설물 안전관리                      시설안전 분야에 관한 정보, 자료관리</p>	<p>재난, 재해복구계획의 수립 및 복구예산에 관한 사항                      풍수해 저감종합대책 수립, 운영                      침수방지 대책                      재해위험지구 중장기계획 수립 및 정비 사업 추진                      재난구호 및 복구비용의 부담기준과 피해액 산정의 설정운영                      재난의 피해조사 및 원인분석에 관한 사항                      재난대비 응급 대응체제 구축 운영                      재난안전지역의 설정, 운용대책 수립                      재난대처계획 수립 및 대처시스템 개발                      재난대비물자, 자원, 장비동원계획 수립                      수습대책본부 운영지원 및 유관기관 공조·연계체계 구축                      사고수습 인력, 장비등 지원관리                      방재 정보시스템 운영, 관리                      재해복구계획 수립, 추진                      복구사업에 따른 보상업무                      침수흔적, 예상도 제작활용                      기타 복구지원에 관한 사항</p>
<p>가목부문</p>	<p>생활용수 / 농업용수</p>	<p>생활용수 / 공업용수</p>

○ 삼척시

관련부서	재난안전관리과 (재난안전 담당)	재난안전관리과 (복구지원 담당)
관련업무	재해위험지구 보상업무 수방자재관리및 인력.장비지원업무 흥진리 지반침하 업무 재난피해자 심리지원,피해사실확인서 발급 업무 황사,폭염,가뭄대비 관련 업무 풍수해보험사업 업무추진 업무 여름철,겨울철 자연재해 사전대비 업 무 인명피해 최소화 대책수립 지역자율방재단 운영관리 특정관리대상 및 시특법대상 시설물 관리 겨울철,여름철등 계절별 취약 시기별 안전관리 재난안전대책본부 편성 및 운영 지역축제,행사 안전관리 안전관리자문단 운영 산간계곡 자동경보시설 운영관리 기상관측시스템 설치 및 관리 재난영상CCTV 운영 관리 재난종합상황실내 정보통신 시설장비 유지관리 재난안전네트워크 운영관리 방재우수사례 작성 인적재난등 재난대응 훈련 재난상황관리업무	자연재해 피해및 수해복구상황 총괄 재해위험지구 사업 계획 총괄 긴급복구사항 관리업무 총괄 풍수해보험사업 업무 총괄 자재및 인력.장비지원 업무 총괄
가뭄부문	생활용수 / 농업용수	생활용수 / 공업용수

## ○ 동해시

관련부서	건설방재과 (재난관리 담당)	건설방재과 (환경지원, 수질보전 담당)
관련업무	<p>지역안전관련계획 종합수립 시행            각종 재난대비 교육훈련 실시            교량, 터널 등 공공시설물 안전관리에 관한 사항            시설물 안전관리 지도 및 특별법상 시설물 총괄업무            지하도, 지하철등의 지하시설물, 궤도, 삭도및유회사시설물안전지도            유선및 도선 안전관리            시 안전대책위원회 및 사고대책본부 구성운영            재난상황 종합관리 및 평시 보고체계 구축            인적재난 업무            지진해일 경보단말 점검정비            자동유량경보시스템 운영            국가재난관리시스템 운영            재난종합관제시스템 운영            재해안전대책본부 운영            재난대비 물자, 자원, 장비파악 관리            재난단계, 규모, 유형별 동원계획 수립운영            재난관리 책임기관 및 긴급구조구난 기관간 협조            도시가스, 항만, 화학물질, 원자력 등 안전점검에 관한 협의            지역협력에 관한 사항            재난대비 장비, 인력관리            안전문화 정착을 위한 사업추진            풍수해보험</p>	<p>&lt;환경지원&gt;            대기환경 보전업무 전반            소음·진동 업무 전반            환경기술관리감리에 관한 사항            천연가스차량(NGV)보급 추진            유해화학물질관리 업무 전반            폐수배출업소 업무 및 지도단속            수질관리업무 전반            토양환경관리 업무 전반            해양 및 하천오염 방지에 관한 사항            먹는물 관리 업무 전반            지정 폐기물 관리            맑은물 보전 업무 전반            폐수종말처리시설 사업계획 수립            폐수종말처리시설 민간위탁업체 지도감독</p> <p>&lt;수질보전&gt;            개인하수처리시설 설계·시공업, 관리업, 제조업 관리            오수처리시설 및 정화조 지도·점검            개인하수처리시설 제조제품 유통관리            분뇨수집·운반업 관리            분뇨 재활용 신고            가축분뇨관리 기본계획 수립            가축분뇨 배출·처리시설 관한 사항            가축사육제한 지역에 관한 사항            가축분뇨관련 영업에 관한 사항            공중화장실 지도점검, 수급계획, 관리인 교육 등에 관한 사항            개방화장실 지정 및 관리            간이화장실, 이동식 화장실 유지관리</p>
가뭄부문	생활용수 / 공업용수	생활용수 / 공업용수 / 농업용수

○ 춘천시

관련부서	수도과(수도관리 담당), 건설과(하천 담당)	방재과 (재난관리 담당)
관련업무	<p>&lt;수도관리&gt; 먹는물 수질관리계획 수립 및 시행, 상수원수(냄새, 조류, 흙탕물)경보사 무 원격수질감시반 표준화, 단계별 수 질사고 발령에 관한 사항, 정수약 품 수불관리 정수처리 공정개선 업무 상수도 확 충(소규모) 공사 계획수립 및 시행 정액급수(수탁)공사 외 수탁공사 추 진 도로굴착허가 등 관련부서 업무 협 의 소규모수도시설 공사 계획, 집행 관리, 소규모수도시설 수질관리 수도관리 주요업무 추진계획 수립 예산편성 및 집행관리 총무, 재난재해 예방책 수립 각종 계약처리, 일상경비출납에 관 한 업무(주요업무보고), 예산, 회계 업무 처리</p> <p>&lt;하천&gt; 소규모(수리시설 등) 수해복구 사업 접경지역 및 대주변사업 지원업무 한해대책, 한발대비 농업용수 개발 사업 농업기반시설 유지 관리 소규모 기반조성 사업 국·공유재산관리 및 사용수익허가 읍면동지역 비법정도로 유지관리 4대강 살리기 관련 업무 하천·소하천 정비계획 수립 및 시행 하천재해예방사업 추진 하천·소하천공사 설계, 감독 하천·소하천 정비공사 편입토지 보 상업무 오염 소하천 정비사업 추진 하천 인·허가 관련 타부서 업무 협 의 하천 내 불법행위 단속 및 민원처 리 하천·소하천·공유수면 점·사용허가 업무 하천사용료 부과징수 및 체납관리</p>	<p>안전관리 계획 수립 및 시행, 안전 문화운동 및 안전점검의 날 행사 운영관리 재난관리기금 운용, 회계, 예산 재난대응 종합훈련에 관한 사항 재해·재난관리 종합계획 수립 재난대비 물자·자원·장비 운용 및 재난단계·규모·유형별 동원계획에 관한 사항 재난취약시설물 안전관리 및 지도 점검에 관한 사항 재난·재해 복구계획 수립 및 집행에 관한 사항 자연재해위험지구 정비계획 수립 및 사업계획 수립 추진 재난·재해의 피해복구에 관한 사항 재해위험지역 조사 및 해소사업 추 진에 관한 사항</p> <p>지진 및 설해·폭염대책, 풍수해 저 감대책에 관한 사항 사전 재해 영향성 검토 협의 및 위 원회 구성·운영 민방위 집행계획 수립 및 조정 민방위대 조직편성관리 동원 및 교 육훈련 민방위 시설(대피호, 비상급수시설) 및 장비 유지관리 국가 비상상태 및 전시 인력동원 계획의 수립 및 시행에 관한 사항 인력동원 자원조사 및 훈련 유도선, 수상레저 안전관리계획 수 립 및 추진 수상레저·자가 선착장·유도선 허가 처분 면허·신고 유도선 및 수상레저사업 등록 유도선 및 수상레저사업장 운영 지 도 및 안전관리 마을도선 운영비 지원사업 추진 국가기반, 재난 재해 시 종합상황 실 운영 및 유지관리 재난·재해발생 및 기상특보 시 비상 발령 및 상황관리 재해(민방위) 경보시스템 운영 및 재난대비 시설·장비 점검관리 재난·재해 상황 예찰 재난안전네트워크 운영 재난관리시스템(NDMS)관리</p>
가뭄부문	생활용수 / 농업용수	생활용수 / 공업용수

○ 홍천군

관련부서	건설방재과 (건설방재 담당)
관련업무	황사, 폭염, 가뭄, 설해대책 관련사무 풍수해보험사업 관련사무 자연재난시 사유시설 피해관련 사무 사유재산 피해 재난지원금 지원관리 자연재난 피해 수습 관련사무 지역안전도 평가 지역자율방재단, 풍수해감시인, 자연재해지원센터 관련사무 수방자재 및 장비 관리 자연재난 기상통보(PEN-NDP) 관련사무 기계확경작로 확포장사업 추진 수리시설 수해대책 업무 개간허가 및 관리 한계농지정비사업 추진 저수지 및 수리시설 유지관리 수리시설 개보수 및 농업기반 정비사업 자체사업 측량,설계,감독
가뭄부문	생활용수 / 농업용수 / 공업용수





제 3 장

기후변화에 따른  
수자원분야 영향

제 1 절 기후변화와 물

제 2 절 수자원분야에 미치는 영향

제 3 절 기후변화와 수자원이용 가능성



## 제 3 장 기후변화에 따른 수자원분야 영향

• 기후변화가 수자원에 미치는 영향

원인	강우패턴 변화, 기온상승, 수온상승
1차 영향	집중호우증가, 강우강도증가, 적설량감소, 유량변화, 유수의 환경변화, 갈수빈도증가, 하천수온상승, 호수/늪/저수지 수온증가, 해수면/해수온 상승
2차 영향	삼림식생변화, 물질순환변화, 사면붕괴재해, 농지환경변화, 도시열섬화, 하도변화, 해충증가, 해안침식, 천해지역 생태계 영향
3차 영향	유출토사량 변화, 생물환경변화, 곡물생산량변화, 하천호소 수질변화, 질병/전염병 변화, 해안종의 변화

• 기후변화 하천유역별 영향

유역분류	내용
상류역	-강수량 및 집중 호우 증가, 태풍 격화 등은 토사재해나 풍도목 재해 증가 -토사유출의 증대로 하류의 홍수조절시설에 퇴사로 인해 치수, 이수 기능의 지장 초래, 탁수의 장기화 예상
중류역	-강수량 및 집중호우 증가, 상류부에서의 홍수와 토사유출 급증 등에 따른 하천제방 결계로 범람이나 침수 피해 빈번 -대규모 홍수와 다량의 토사유출이 빈발할 경우 하상의 안정성이 저하되어 교량 등 시설물 파괴나 제방 결계로 이어져 더 큰 홍수피해로 확대
하류역 해안역	-강수량 및 집중호우의 증가, 해수면 상승, 태풍 격화, 중류부의 홍수 범람 등과 맞물려 제방 결계로 인한 범람 침수 피해 빈번 -몇몇 해안지역에서는 토사공급량의 감소로 인해 해안침식이 진전되고 있으며 해수면 상승과 태풍의 격화는 해안침식의 가속화와 모래사장 소실을 야기 -이상기후로 인한 가뭄은 하류역, 해안역 도시용수 공급에 심각한 문제를 야기



## 제3장

## 기후변화에 따른 수자원분야 영향



## 제1절 기후변화와 물

1992년 「한계를 넘어서(Beyond the Limits)」 보고서에는 20년 전 보고서인 「성장의 한계(The Limits to Growth)」에서 지적한 환경파괴 후 경제성장의 무의미성을 뛰어 넘어 이미 세계는 성장하는 산업에 제공할 수 있는 자원의 한계를 초과하였으며 이런 현재의 추세가 유지될 경우 다음 세기 중에 지구가 파멸할 수 있음을 경고하고 있다. 그러나 이 보고서의 핵심은 불길한 예고가 아닌 인류가 향후 존속 가능성을 위해 내려야 하는 발전적 선택을 권고하는 것에 있다고 볼 수 있다.

이러한 견지에서 현재 인류에게 가장 큰 이슈로 다가온 환경문제 중 하나는 기후변화이다. 1980년대 들어 이상기후로 인한 자연재해가 세계 각지에서 빈발하면서 지구온난화에 대한 논쟁이 본격화되었으며 이에 대한 원인으로 인류활동에 의한 이산화탄소 증가라는 전문가들의 아젠다가 형성되기 시작하였다. 이러한 움직임에 전 세계적으로 지구온난화에 관한 과학적 근거가 필요하다는 인식이 확산되면서 1988년 UNEP와 WMO가 공동으로 설립한 국제과학자 그룹인 기후변화에 관한 정부간 패널(IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change)이 활동을 시작하였고 1989년 UNEP 각료 이사회에서 조약교섭, 1990년 세계기후회의 각료선언으로 이어졌다. 그리고 증가되는 지구온난화에 대한 과학적 자료의 증가와 함께 범지구적 차원의 노력이 필요하다는 인식의 전환으로 인해 UN 주관으로 1992년 브라질 리우데자네이루에서 열린 환경

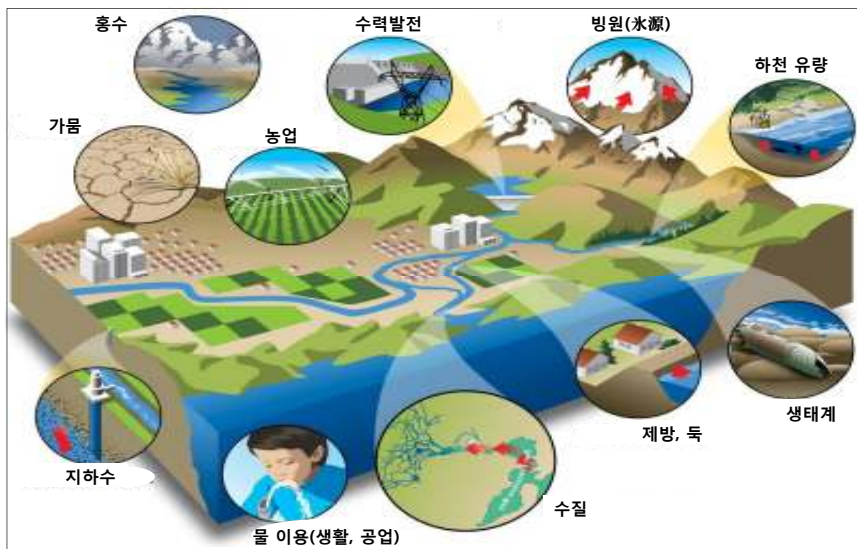
회의에서 기후변화에 관한 국제연합기본협약(UNFCCC)이 채택되어 1994년 발효되었으며 2004년 188개국이 가입하였다. 기후변화가 물에 미치는 영향은 세계 각국에서 지속가능한 사회의 실현과 안전과 밀접하게 관계함에도 불구하고 여타의 분야에 비해 상대적으로 주목받지 못하였으나 최근 들어 기후변화와 물의 관련성을 밝히려는 구체적인 움직임들이 나타나고 있다. 2007년 5월 고베에서 열린 G8 환경부 장관 특별 심포지엄은 '기후변화와 물'을 주제로 진행되어 에너지, 토지이용, 식량생산, 자연 환경 보전, 물 관련 재해 관리 등 다른 정책 분야와의 관련성 등을 강조하였다. 또한 2008년 발간된 IPCC 보고서는 기후변화가 인간사회 및 생태계에 미치는 광범위한 영향이 담수 자원에도 심각한 영향을 미칠 높은 가능성을 제시하고 있다. 오늘날 전 세계의 11억 명이 안전한 식수를 구하는데 어려움을 겪고 있으며, 매해 30억 명이 물과 관련된 질병으로 고통 받고 있으며 이는 기후변화, 인구증가, 물수요 등의 복합적인 관계에 대한 국제적인 인식을 불러일으키고 있다. 예컨대 2002년 UN은 새천년목표(Millennium Development Goals)에 식수와 위생을 포함시켰으며 2005년에서 2015년을 물을 위한 10년(International decade for Water Action)으로, 2008년을 위생의 해(International Year of Sanitation)로 지정하였으며 2008년 세계경제포럼(World Economic Forum)에서도 물은 중요한 의제로 등장하였다(정성호, 2008).

기후변화와 물에 관한 국제적 논의는 크게 두 가지로 나누어 생각해 볼 수 있다. 하나는 기후변화가 물에 미치는 영향을 과학적으로 검토하는 것이며 다른 하나는 그러한 영향 관계를 과학적으로 밝히는 것에 덧붙여 다학문적(interdisciplinary)으로 해석하는 방식을 들 수 있다. 이러한 관점에서 본보고서는 기후변화가 물에 미치는 영향을 후자의 방식을 빌어 접근하는데서 출발한다. 이 논의는 기후변화와 물, 그리고 물과 관련된 여타의 부문이 자연적 혹은 물리적 영향관계 뿐만 아니라 사회경제적 체계와의 영향관계를 밝히는데 그 목적이 있다고 볼 수 있다.



## 제2절 수자원분야에 미치는 영향

OECD(2008) '2030 환경전망보고서(Environmental Outlook to 2030)에 따르면 온실가스 배출 상황이 현재와 같은 상태를 유지했을 경우, 그 배출량은 2030년까지 37%, 2050년까지 52%까지 증가하고 이로 인한 이상 기후 현상과 물 부족으로 인류의 극한 생존 경쟁이 발생할 것으로 전망하고 있다. 이러한 맥락에서 기후변화의 영향과 그 대응을 위한 새로운 발상과 패러다임이 필요하다는 인류 공동의 인식과 함께 인간의 생존에 필수불가결한 물에 대한 관련성 논의는 중요한 의미를 지니게 된다. 현재까지 수자원에 관한 이슈들은 기후변화에 관한 분석과 정책적 방안 구축에 중요하게 고려되지 않았으며 마찬가지로 기후변화 또한 수자원 분석, 운영 및 정책적 함의에 중요한 고려사항이 아니었다. 그러나 이제 수자원에 대한 이용가능성 및 질적인 수자원 확보는 기후변화가 가져오는 사회·환경적 변화에 중요한 영향을 받고 있다(정성호, 2008).



<그림 3.1> 기후변화가 영향을 주는 물분야(권형준, 2010)

## 1. 기후변화가 수문사상에 미치는 영향

IPCC 제4차 평가보고서에 기술된 지구온난화가 물 분야에 미치는 영향에 대해 살펴보면 대기 중 온실가스 농도 및 열 흡수 증가로 전지구 평균 기온 및 해수면의 상승이 진행되며 이는 빙하·빙모·남극빙상의 용해, 바닷물의 열팽창, 증발산량의 증가, 적설량의 감소 등의 1차적인 결과를 일으키게 될 것으로 예상하고 있다. 이러한 현상들은 다시 큰 폭의 해수면 상승, 집중호우와 태풍의 증가, 극심한 가뭄 등 과거 데이터와 경험만으로는 예측할 수 없는 사태를 발생시킨다. 또한 그러한 기후변화는 수문패턴을 다양한 방식으로 변화시키는데 그 촉발제로 대기와 해양의 온난화를 꼽을 수 있다. 이 온난화는 다시금 주요 기후 시스템을 변화시켜 일시적이며 산발적인 강우량의 변화를 가져오게 되며 유출량과 지표수 및 지하수, 유량흐름의 변화를 가져오게 된다. 결과적으로 이 모든 것들은 다양한 방식으로 홍수나 가뭄과 같은 극단적 기후현상으로 나타나게 된다(그림 3.2).

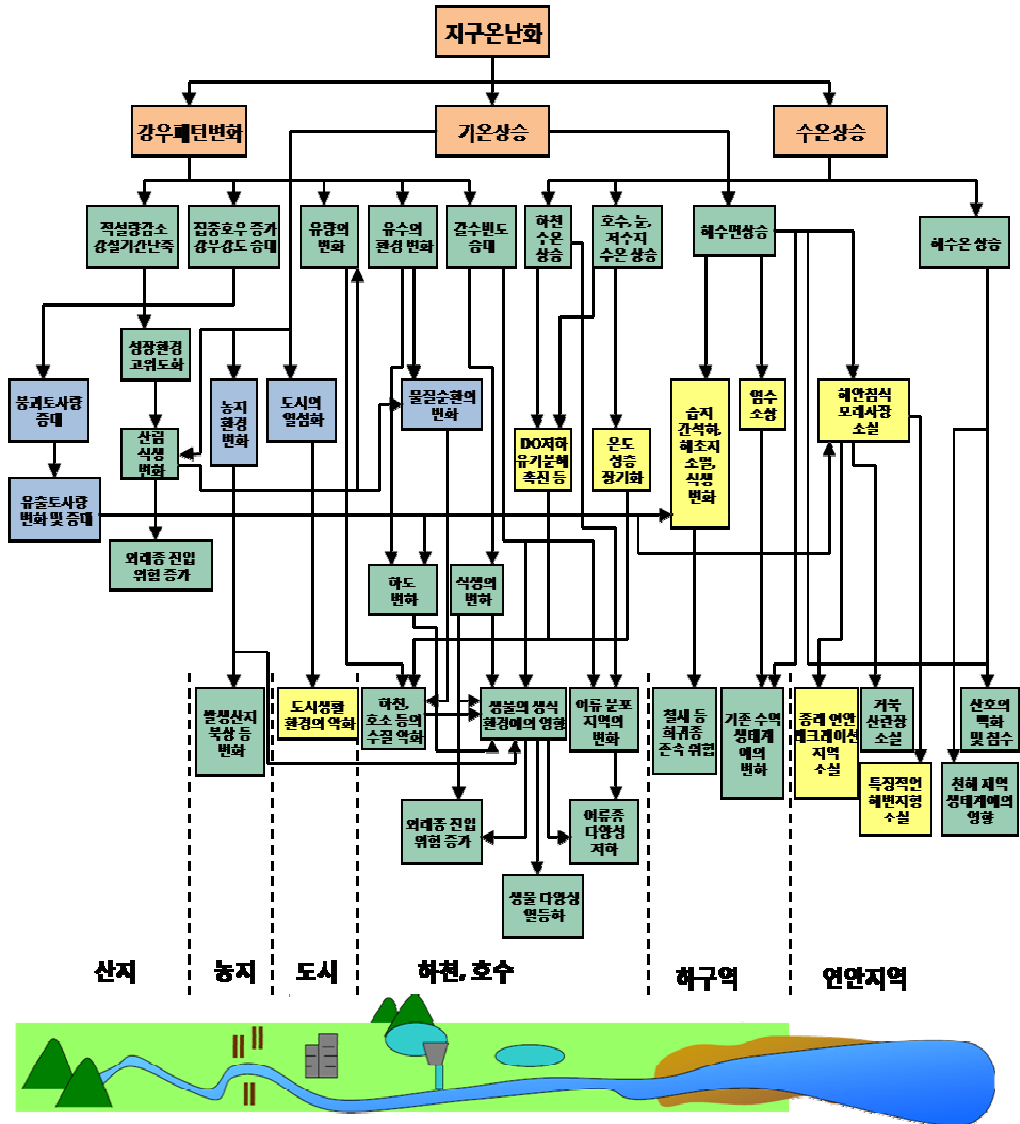
## 2. 기후변화가 하천에 미치는 영향

더욱이 하천과 해안 환경은 온도, 수질, 유황(流況), 토사유출, 유역·연안지역 외부환경 등 기후변화로 인한 다양한 환경적 요소의 변화로부터 크게 영향을 받으며 인간 활동의 변화 또한 하천과 해안 환경에 영향을 미치는 중요 요소로 작용하고 있다(그림 3.3).





<그림 3.2> 지구온난화가 물 분야에 미치는 영향(국토교통성, 2008)



<그림 3.3> 기후변화가 하천 유역 환경에 미치는 영향 도식화(국토교통성, 2008)

유역 내에서 지형이나 하천형태, 사회생활 여건 등에 따라 기후변화의 영향은 다르게 나타나게 되는데 이에 대한 기후변화의 영향을 살펴보면 다음과 같다.

〈표 3.1〉 유역별 기후변화의 영향

유역분류	내용
상류역	-강수량 및 집중 호우 증가, 태풍 격화 등은 토사재해나 풍도목 재해 증가 -토사유출의 증대로 하류의 홍수조절시설에 퇴사로 인해 치수, 이수 기능의 지장 초래, 탁수의 장기화 예상
중류역	-강수량 및 집중호우 증가, 상류부에서의 홍수와 토사유출 급증 등에 따른 하천제방 결계로 범람이나 침수 피해 빈번 -대규모 홍수와 다량의 토사유출이 빈발할 경우 하상의 안정성이 저하되어 교량 등 시설물 파괴나 제방 결계로 이어져 더 큰 홍수피해로 확대
하류역 해안역	-강수량 및 집중호우의 증가, 해수면 상승, 태풍 격화, 중류부의 홍수 범람 등과 맞물려 제방 결계로 인한 범람 침수 피해 빈번 -몇몇 해안지역에서는 토사공급량의 감소로 인해 해안침식이 진전되고 있으며 해수면 상승과 태풍의 격화는 해안침식의 가속화와 모래사장 소실을 야기 -이상기후로 인한 가뭄은 하류역, 해안역 도시용수 공급에 심각한 문제를 야기

### 3. 기후변화의 각 부문별 영향

이렇듯 기후변화는 수자원의 이용 및 질과 양에 직접적인 영향을 미치며 인간의 삶에서 물과 관련되지 않은 분야를 찾는 것이 더 힘들 정도로 인간을 둘러싸고 있는 모든 부문들이 물과 관련되어 있다고 볼 수 있다. 이는 기후변화로 인한 이상기후 현상의 영향을 인간의 삶 전반에 걸쳐 광범위하게 받고 있다는 결론에 이를 수 있다. 이상기후로 인한 수자원, 농업, 보건, 산업 부문의 영향은 <표3.2>와 같다(IPCC, 2007b).

〈표 3.2〉 기후변화에 따른 부문별 영향

	수자원	농업, 생태계	보건	산업, 사회
폭우 및 폭설	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 홍수</li> <li>- 하수역류로 인한 지표수와 지하수 수질에 악영향</li> <li>- 공급 수자원 오염</li> <li>- 물 부족 현상의 경감</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 농작물 피해</li> <li>- 토양 침식</li> <li>- 토양 침식으로 인한 경작지 유실</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 사망자 및 물리적 부상, 감염, 호흡기질환, 피부병 발생 증가</li> <li>- 정신질환 발생 위험</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 홍수와 이주로 인한 거주지, 상업, 교통, 사회의 붕괴</li> <li>- 도심 지역과 지방의 기반시설에 대한 압박</li> <li>- 자산 손실</li> </ul>
가뭄	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 유출량의 변화</li> <li>- 물압박(water stress) 증가</li> <li>- 낮은 용해율의 침전물과 영양분, 용존유기 탄소, 병원균, 살충제, 열공해, 염분화로 인한 수자원 오염</li> <li>- 연안 대수층의 염분화</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 토질 악화</li> <li>- 낮은 경작률 / 작물 피해 증가</li> <li>- 가축사망을 증가</li> <li>- 산불 위험 증가</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 식량 위험 증가 및 물 부족</li> <li>- 영양부족 위험 증가</li> <li>- 물과 식량으로 인한 질병 위험 증가</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 거주지, 산업, 사회의 물부족 현상</li> <li>- 수력발전소 가동 가능성 감소</li> <li>- 인구 이동 가능성 증가</li> </ul>
기온 증가	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 수온 증가</li> <li>- 증발량 증가</li> <li>- 조기 용설</li> <li>- 영구토 융해</li> <li>- 지표층 영양소 집중으로 장기화 된 호수층화와 심해층의 산소 고갈</li> <li>- 부영양화 및 어류의 유실을 일으키는 수체의 용존산소율 감소를 발생시키는 조류 성장의 증가</li> <li>- 혼합 방식과 자체 정화력의 변화</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 요구되어지는 농업용 수량에 비해 낮은 가용수율</li> <li>- 작물 생산량의 변화</li> <li>- 작물 성장 계절의 변화</li> <li>- 종구성과 유기체량, 생산성 변동 및 생물 계절의 변화</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 매개체감염 질환의 변화</li> <li>- 열파장으로 인한 치사율 증가, 개별 생산성 감소</li> <li>- 오존과 꽃가루로 인한 호흡기 질환 및 피부병 증가</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 영구동토층의 기반시설 위험 증가</li> <li>- 담수 수질의 저하</li> </ul>

이와 같이 IPCC(2007b)에서 제시한 기후변화에 따른 수자원 부문을 더 자세히 기술하면 다음과 같다.

○ 빙하 및 적설 있는 물 저장량이 감소하여 현재 세계 전체인구의 1/6이상이 살고 있는 지역에서 여름과 가을의 유량을 감소시킬 가능성이 매우 높다.

- 유출수 및 물 가용성이 고위도 지역과 동부 및 남동 아시아의 인구밀집지역을 포함하는 열대 습윤 지역에서 증가하고, 현재 물 부족을 겪고 있는 지역인 열대 건조 지역 및 중위도의 많은 지역에서 감소할 가능성이 매우 높다.
- 가뭄의 영향을 받는 지역들이 증가하고, 빈도 및 강도가 증가할 가능성이 있는 극심한 강수현상이 홍수의 위험을 증가시킬 것이다. 증가한 홍수 및 가뭄의 빈도와 강도는 지속가능한 발전과 밀접한 관련이 있을 것이다.
- 세계 인구의 20% 이상이 지구 온난화의 과정으로 2080년까지 증가할 홍수의 위험에 의해 영향을 받을 가능성이 있는 강 유역에서 거주한다.
- 다수의 반건조 지역들(예, 지중해 유역, 미국 서부, 남부 아프리카 및 브라질의 북동부)이 기후변화에 의한 수자원 감소로 고통 받게 될 것이다.
- A2 시나리오에 따르면, 스트레스 요인의 영향을 심각하게 받는 강 유역에 거주하는 사람의 수는 1995년에 14-16억 명이었던 수가 2050년에는 43-69억 명으로 늘어날 것으로 예측된다.
- 해수면 상승은 지하수와 강주변의 염화 지역들을 확대시켜, 해안지역의 사람들과 생태계를 위한 담수 가용성을 감소시키는 결과를 가져올 것이다.
- 지하수 함양(groundwater recharge)은 종종 인구 및 물수요의 빠른 증가에 의해 취약성이 가속화되어 이미 물 부족을 겪고 있는 지역에서 심각하게 감소할 것이다.
- 더 높아진 수온, 증가된 강우강도 및 길어진 저류 기간은 다양한 형태의 수질 오염을 가속시키고, 생태계, 인류 보건 및 수계의 신뢰성 및 운영 비용에 영향을 미칠 것이다.

○ 불확실성은 평가되고, 그에 대한 해석은 개선되었으며, 그것들의 특성에 맞게 새로운 방법(예, 조화된(ensemble-based) 접근법 등)들이 개발되었다. 그럼에도 불구하고, 강 유역범위의 강수량, 유량 및 수위 변화에 대한 정량적 예측은 여전히 불확실하다.

○ 기후변화는 현존하는 물 관리 기술들 뿐만 아니라 물 기반시설의 기능 및 운영에 영향을 미친다. 수자원 부문을 위한 적응 절차들과 위기관리 방법들은 수문학적 변화에 대한 예측의 불확실성을 인지한 몇몇의 국가와 지역에서 개발되고 있다.

○ 담수계에 미치는 기후변화의 부정적 영향들은 긍정적인 영향을 능가한다.

○ 유출수의 감소가 예상되는 지역들은 수자원에 의해 제공되던 서비스들의 유용성 감소에 직면할 것이다. 다른 지역들에서 증가한 연간 유출수의 긍정적인 영향들은 물 공급, 수질 및 홍수의 위험에 미치는 증가한 강수량 변동 및 계절적 유출수 이동의 부정적 영향에 의해 감소될 것이다.

#### 4. 기후변화에 따른 지역별 수자원 영향

지역별 기후변화의 영향으로 인한 수자원이용가능성 평가는 각 학자별로 약간의 차이를 보이고 있으나 결과적으로 기후변화로 인한 제한적인 수자원 이용가능성을 말하고 있다.

&lt;표 3.3&gt; 지역별 기후변화에 따른 수자원 영향

지역	수자원에 미치는 영향
아프리카	- 많은 국가에 물부족으로 인한 압박 급증 - 2020년까지 75~220만 명이 물부족에 직면할 것으로 예측
아시아	- 대규모 강유역을 중심으로 사용 가능 수자원량의 감소로 인해 수만명의 인구가 물 부족 현상에 직면할 것으로 예측 - 빙하소멸에 따른 사면의 불안전성으로 인해 발생하는 홍수의 심각성과 빈도 증가
라틴아메리카	- 2020년까지 7~77백만 명에 가까운 사람들이 물 부족 현상에 직면할 것으로 예측 - 많은 지역에서 빙하의 퇴각과 감소로 인한 유출량과 물공급에 문제를 겪을 것으로 예측 - 잦은 홍수와 가뭄으로 인해 수질의 악화
군소도서국가	- 해수면 상승, 강우량 변화, 증발산량의 증가로 이용가능 수자원의 극감 예측 (2050년까지 태평양 지역 평균 강우량의 10% 감소는 Tarawa Atoll, Kiribati의 담수 크기 20% 감소 초래 )

출처: Water and Climate Change Adaptation, 2009, SIWI

Arnell(2006)의 연구에서는 지중해, 남아프리카, 남미와 같은 비교적 건조한 지역은 지구 기온이 2℃ 증가하면 년 강수량의 30% 정도가 감소하고, 4℃ 증가하면 강수량의 40~50% 감소할 것으로 예측하였으며, 남아시아, 북유럽, 러시아는 기온이 2℃ 증가하면 물 이용가능성이 약 10~20% 증가하는 것으로 나타났다. Burke 등(2006)의 연구에서는 기온이 3~4℃ 증가하면 가뭄의 영향을 받는 지역이 10~40% 증가할 것이며, 극심한 가뭄의 영향을 받는 지역은 3~30% 증가할 것으로 예측하였으며, 남부유럽은 현재와 같은 기후가 지속되었을 시 전지구의 온도가 10년마다 3℃ 증가하게 되어 극한 가뭄을 경험하게 될 것으로 예측하였다. Warren(2006)의 연구에 따르면, 2℃의 온도상승으로 10억~40억에 이르는 사람들이 물 부족현상을 경험하게 될 것이며, 이는 특히 아프리카, 중동, 남부유럽 및 중남미의 일부지역에서 극심할 것이고 반면 남아시아, 동아시아의 10억~50억의 사람들은 풍요로운 물 환경에 처해질 것으로 예측하였다. 그러나 이 지역들 또한 우기동안은 물이 풍부한 반면 건기에는 물이 부족하여 해빙과 산설의 감소는 우기 동안의 홍수의 위험을 증가시키고, 건기 동안 물 공급을 감소시켜 세계인구의 1/6 (주로, 인도 소대륙, 중국의 일부, 남아메리카의 안데스 산맥)을 위협할 것이다.



### 제3절 기후변화와 수자원이용 가능성

IPCC의 ‘기후변화와 물’의 기술보고서에 따르면 ‘기후변화와 기후변화 관련 정책을 언급하는데 있어 수자원 문제는 충분히 다루어지지 않았다.’ 라는 사실을 지적하고 있다. 이것은 인류와 자연계에 미치는 기후변화의 영향을 충분히 이해할 수 있는 연구의 부족과 정책결정자들이 지역별로, 국가별로, 혹은 국제적으로 기후변화와 관련한 정책 입안에 요구되어지는 연구가 미비함을 의미한다.

기후변화는 인간의 생존 특히 자산(asset)에 직접적인 영향을 미치게 되는데, 그러한 주요 자산으로는 인간의 건강, 부, 안전에 영향을 미치는 농업, 물공급, 위생과 관련되어져 있다. 또한 수요측면에서, 인구증가 및 수입의 증가 혹은 감소에 따라 수자원에 대한 수요는 공간적으로나 시간적으로 변화하게 된다. 이러한 공급과 수요측면의 순영향을 합한 것은 생태계와 인류의 유지에 요구되어지는 미래 수자원관리에 큰 도전을 불러일으킨다. 요즘 책정 메커니즘, 물 저장, 곡물 생산기술과 같은 수단을 통해 지속 가능한 수준에서 취수량을 조절하려는 목적으로 시행하는 수요관리는 각 부문 사이에 발생하는 물부족과 이로 인한 경쟁이 증가하는 영역에서는 더욱 더 중요하게 될 것이다. 또한 공급 측면 관리는 자원이용가능성이 급변하고 인구가 더 취약한 지역에 우선시 되어야 할 것이다. 일반적으로 공급관리는 증가된 수자원 저장 능력, 수로에서의 취수량, 강수량 보존과 이용 및 물저장에 대한 인센티브 제고를 통해 공급을 증가시키는 것을 포함하게 된다.

이러한 견지에서 기후변화가 영향을 미치는 물관리 분야 중 우리가 알고 있는 것은 무엇이며, 모르고 있는 것은 무엇인지에 대한 고찰이 선행되어야 할 것이다. 물관리 분야에서 기후변화의 영향은 크게 알려진 것과 알려지지 않은 것으로 나누어 생각해 볼 수 있다. 수문사상(주로, 기온, 강수량, 증발산량 및 해빙 등)의 변화들은 유거수에 영향을 미쳐 가뭄과 홍수 사상을 일으키고 이는 상대적으로 다른 부문에 비해 기후변화 영향의 불확실성에서 다소 자유롭다고 볼 수 있다. 그러나 수문학 주기 내에서 기후변화의 부정적 영향을 최소화하기 위해 어느 분야에, 그리고 어떻게 개입할 것인가에 관한 결



정은 사회적 혹은 물리적 시스템 내에서 불확실성을 포함하는 가장 긴급한 영역이라고 할 수 있다. 기후변화에 따른 수자원 체계의 예상되는 변화를 다룬 IPCC 보고서에는 기후변화가 인간사회 및 생태계에 미치는 광범위한 결과는 담수 자원에도 심각한 영향을 미칠 가능성이 높다는 사실을 뒷받침해 주는 관찰 기록과 기후 예측들을 제시하고 있다. IPCC는 이를 공급과 수요 측면에서 다루고 있는데 그 영향 평가 결과는 다음과 같다.

## 1. 공급측면

### (1) 강수량 변화

강수량의 지역적 패턴과 시기는 변화할 것이고, 매년 집중 강우량이 증가할 것이다. GCM(General circulation models) 모형 적용에 의하면 지구 평균기온이 1.5°C~4.5°C 상승할 때 평균 강수량은 3~15% 증가할 것이다. 또한 강수량의 지역적 편차는 불확실하나 위도 상 높은 지역과 겨울에 증가할 것이다. 위도 상 높은 지역에서 증가하는 강수량으로 인해 매년 유출량이 증가하지만 이와 대조적으로 위도 상 낮은 지역의 일부 유역에서는 증발량의 증가와 감소하는 강수량으로 인해 물 부족 현상이 두드러지게 된다. 이렇게 강수량의 변화는 평균 강수량과 비교하였을 때 극단적 현상에 대한 예측면에서 더 확실성을 가지고 있는 것으로 평가받고 있다. 강수량의 감소로 인해 자연적으로 혹은 인위적인 원인으로 인해 발생하는 오염원을 희석시킬 수 없게 되어 수질문제가 악화될 것이다.

### (2) 동토층 변화

전 지구적으로 이미 대부분의 지역에서 동토층 감소 증거가 나타나고 있으며 이는 계절적으로 봄과 여름에 강하게 드러난다. 기후모형을 이용하여 남극의 기후변화 영향 평가를 실시하였을 때 B2 시나리오 하에서 매년 평균 북반구의 동토층이 9~17% 감소하였다. Schneeberge(2003)의 연구에 따르면 다양한 지역의 11개 빙하층의 시물레이션에서 2050년까지 전체 빙하층의 60%가 감소할 것으로 추측되고 있다.

### (3) 가능증발산량(ET) 변화

기온의 상승과 함께 가능증발산량(ET)이 증가하며, 그 결과 강수량이 증가하는 지역에서 또한 높은 증발산량은 유출량의 감소를 가져오며 이는 재생수의 공급 감소를 의미한다. 이와 관련한 데이터는 양적인 면에서 다소 부족하여 경향분석에 다소 어려움이 따르는 것이 사실이나 사실상 인류의 생존과 밀접한 연관을 가지고 있는 식생에 가장 폭넓은 영향을 주는 요인이라고 볼 수 있다.

### (4) 홍수와 가뭄 변화

기후 시나리오에 따르면 증가하는 양은 불확실하나 많은 지역에서 홍수 빈도는 증가할 것이며, 그 영향력은 유역마다 다양할 것이다. 가뭄의 빈도와 강도는 총 강우량의 감소로 인해 증가할 것이며, 건기가 잦을수록, 가능증발산량은 높아질 것이다. 건조지역과 반건조 지역의 수문은 기후변화에 특히 민감하여, 기온과 강수량의 작은 변화에도 높은 유출량의 변화를 가져올 수 있으며 이는 가뭄과 홍수의 증가 가능성을 함의한다. 다양한 국가에서 이와 관련한 분야의 연구가 이루어지고 있는데, Agrawala 등(2003)은 네팔에 위치한 빙하호의 홍수 가능성의 증가에 대해 연구하였고, Conway 등(2008)은 역사적으로 강수패턴이 강도면이나 기간면에서 다양성을 가지고 있는 에티오피아와 같은 지역에서의 증가하는 홍수 사례를 언급하고 있다. IPCC(2008)은 여름기간의 유출량의 감소가 5~12%까지 발생하며 이는 물공급에 심각한 영향을 줄 수 있다고 언급하였다. 이와 유사하게 영국의 Hadley Centre의 Met Office는 기후변화로 인해 방글라데시의 해수면 상승과 아시아 지역의 Brahmaputra와 Meghna 강의 계절적 홍수를 일으켜 인명피해를 속출할 수 있음을 강조하고 있다. 또한 2000~2046년 사이에 가뭄지수가 급격히 증가할 것으로 예측하고 있다.

## 2. 수요 측면

인구 증가, 토지사용의 변화, 경제 성장, 기술의 발전 등과 같은 수많은 원인으로 인하여 수자원 수요 측면에는 큰 변화가 발생하고 있다.

### (1) 관개용수

기후변화에 가장 민감한 부문으로 미국의 지표수와 지하수의 취수량의 41%와 총 소비량의 81%를 차지한다. 기온과 강수량의 변화만을 변수로 설정하였을 때, 2°C 기온 상승과 20%의 강수량 증가로 인해 관개수의 수요는 증가한다. 식물수분은 기온보다 기공(氣孔)저항력의 변화에 더 민감하여, 이 부문은 강수량의 변화 없이 기공저항력의 20%의 증가와 2°C의 기온 상승으로 그 수요가 감소하게 된다. 이렇듯 수요측면에서 가장 큰 변화는 기후변화와 관련된 농업부문의 변화로 강수량, 유출량, 가능증발산량의 변화로 인하여 미래 물 수요가 증가할 것으로 예상되어지고 있다. 예를 들어 2030년까지 관개수의 수요는 0.4~0.6% 증가할 것으로 국제연합식량기구(FAO)가 발표하였다. 그러나 만약 예상되어지는 기후변화의 영향이 더해진다면 2080년까지 5~20% 증가할 것이다.

### (2) 가정용수

일상생활을 위한 가정용수는 미국의 취수량의 8%와 총 소비량의 6%를 차지하며 기온과 강수량의 변화에 상대적으로 덜 민감한 변화를 보인다. 1%의 기온상승은 가정용수 사용량의 0.02%~3.8%의 증가를, 1%의 강수량의 감소는 0.02%~0.31%의 증가를 보이게 된다. 그러나 이 부문은 계절에 따른 편차가 심해, 2.2°C의 기온상승에 기여하는 높은 가능증발산량은 가정용수 수요를 여름에 2.8% 증가시키며, 특히 6월에는 8%까지 증가될 수 있다. 또한 4.4°C의 기온 상승은 가정용수의 수요를 여름에 5%, 6월에는 16%까지 증가시킨다.

### (3) 산업 및 열전력 사용수

제조업시설 관련 물사용은 미국 내 취수량의 7%, 총소비량의 4%를 차지하며, 열전력 가동을 위한 물사용은 취수량의 39%, 총소비량의 4%를 차지한다. 이 부문의 취수량은 95%정도가 지하수와 지표수로 돌아가 재사용되기 때문에 총소비량의 증가에 영향을 미치는 양이 극미하다. 그러나 수생태계는 지구온난화나 냉각을 위한 환원수의 고온화로 인해 위협을 받으며 이러한 이유로 이 용도의 사용은 엄격한 환경규제에 영향을 받게 된다.

#### (4) 하천수

온난화로 인한 유출량의 양, 질, 시기의 변화는 수력발전, 항해, 레크레이션, 생태계 유지와 같은 부문의 하천수 사용에 직·간접적으로 영향을 미친다. 예를 들어 하천수 기온의 변화는 실질적이거나 잠재적인 수력발전의 방식을 변화시키며, 이는 대체전력에 대한 수요에 영향을 미치게 된다. 이는 열냉각 취수량의 가장 큰 부분 중 하나이며 수력발전 생산의 변화는 유역 내 물 수요에 중요한 영향을 미치게 된다.

수자원 이용에 미치는 기후변화 영향은 여전히 불확실성을 기반으로 있으며 기후변화와 수문학적, 사회경제적 시스템의 복잡성, 많은 모델과 영향평가 기법의 복잡한 성격, 원인과 결과에 대한 상대적인 가중치 부여 여부에 따라 상이한 결과를 얻을 수 있다. 이는 국가적으로나 그 하위 단위로나 물로 인한 스트레스(물리적 혹은 경제적 부족)를 유발하게 된다. 기후변화로 인한 물스트레스는 증가하거나 감소할 것이다. 이러한 변화들은 수문학체계에서의 기후변화 영향의 직접적인 원인이 된다. 예를 들어 Arnell (2006)은 기후변화가 전지구적으로 유출량 감소를 일으켜 물스트레스를 증가시킬 것으로 예측하였고, Menzel 등(2007)은 물로 인한 스트레스를 극심하게 겪는 인구가 1995년 23억 명에서 2020년에는 52억 명에서 68억 명으로 증가할 것으로 예측하였다. 이러한 현상의 주요 원인으로는 물이용가능성의 감소보다는 인구증가와 경제상황의 발전으로 인한 결과로 취수량의 증가에 기인한다고 볼 수 있다. 현재 남부 아시아와 동부 아시아를 포함한 지역은 기후변화 영향으로 유출량은 증가하나 일인당 물이용가능성의 증가에 비해 가정용수나 농업용수를 위한 수자원 저장능력이 부족하여 물스트레스를 받고 있다. 이런 관점에서 볼 때 충분한 기후변화 적응대책 없이는 우기에 발생하는 홍수와 건기에 발생하는 가뭄의 빈도와 강도의 피해에서 자유로울 수 없을 것이다.

제 4 장

## 강원도 가뭄현황 분석

- 제 1 절 강원도 가뭄현황 조사
- 제 2 절 가뭄지수에 의한 가뭄분석
- 제 3 절 기후변화 시나리오에 따른 가뭄예측



## Chapter Summary

### 제 4 장 강원도 가뭄현황 분석

---

- 강원도 가뭄 현황
  - 2011년 10월 철원·화천·양구·홍천·평창 ‘매우 위험’, 춘천·인제 ‘가뭄’ 단계
  - 대규모 산불 피해 발생(전국 산불피해 규모 상위 1~4위 강원도)
  - 2010년 여름 대관령 감자 생육지연 등 농업피해 속출
  - 2008년 태백가뭄 2월 가구당 가뭄고통비용 80만원 이상 발생
- 가뭄지수 분석(과거)
  - 강원도내 11개 기상관측소 최대 과거 30개년 일강수량 자료 수집 및 분석
  - 1980년 대비 2000년대 강수량 최대 13.73% 증가, 강수일수 최대 20.06일 증가
  - 티센망에 의한 18개 시군 최근 30년(1982-2011) 강수 시계열 자료 생성
  - 시군별 강수량 분석 결과 동고서저, 남고북저의 강수량 분포
  - SPI 산정결과 2~3개월 간격 보통가뭄 발생, 8년 정도에 한번 심한가뭄 발생
- 기후변화 시나리오 생성
  - GCM을 통계적 상세화하여 시군별 2100년까지 일강수시계열 생성
  - 2020년대 철원(8.8%) 증가율이 가장 낮으며, 평균 20%정도의 강수량 증가 예측
- 기후변화 시나리오에 따른 SPI 분석
  - 단기(3-SPI)간 가뭄예측의 발생빈도 및 심도 증가
  - 장기로 갈수록 지속적 약한가뭄 발생, 이는 통계적 상세화에 근거한 것으로 판단





## 강원도 가뭄현황 분석



### 제1절 강원도 가뭄현황 조사

#### 1. 국내 가뭄피해 및 대책

우리나라는 1900년대 이후부터 5~10년마다 극심한 가뭄을 겪어왔고, 1990년 이후로는 지역에 따라 크고 작은 가뭄을 거의 매년 경험하고 있다.

본 연구에서는 근대의 가뭄피해 사례와 대책에 있어 위에서 살펴본 바와 같이 신문 등에서 가뭄발생에 따른 대표적인 현황과 대책을 살펴보고자 하였다. 과거 가뭄발생에 대한 국가차원의 대책을 살펴봄으로써 향후의 가뭄대책에 대한 정보로 활용하고자 하였다. 예전부터 가뭄에 대한 많은 관심과 우려 때문에 가뭄 발생 시에는 지역주민들의 민심이 동요하는 것을 방지하기 위하여 국가적인 차원에서 세금면제, 학생 수업료 면제, 급식실시 등 적극적인 정책을 실시하였음을 알 수 있었다. <표 4.1>에 1920년대부터 2009년 최근까지 가뭄발생으로 인한 현황과 국가에서 정책적으로 펼친 사항들을 요약 정리하였다. <표 4.1>에서 알 수 있듯이 오래전부터 가뭄으로 인한 피해가 발생하고 있지만 정부차원에서 할 수 있는 것은 세금면제, 양수지 지원, 관정개발 등 매우 한정적임을 알 수 있다. 가뭄으로 인한 피해의 양상은 예전이나 최근이나 비슷하지만 그에 따른 대책의 변화는 예전에는 하지 못했던 관정개발 등을 하고 있으며 예전에 실시하였던 조세감면 등의 정책은 최근에는 실시하지 않고 있다. 또한 도서지방의 경우 생활용수의 확보를 위해 해수담수화 시설 등의 보급을 고려할 수 있겠다.

〈표 4.1〉 국내 가뭄발생 대표적 현황 및 실시대책

기간	현황	대책
1926-1928	· 농업용수 관련 일부 식수부족 · 물싸움으로 목을 매 자살(1926년) · 물싸움으로 살인 (1927년)	· 재해지역 세금면제 · 재해지역 토목공사 실시
1937-1939	· 주로 농업용수 관련 부족 · 가뭄에 의한 불가 불안 발생 · 미미하지만 식수부족 우려 · 쌀 생산량의 37% 감소	· 가뭄협의를 위해 각 도에 기술자 파견 · 무 강우를 대비 한 선후 대책 강구 · 학생들에게 급식실시, 학용품 배분 · 저수지 설치 및 부업 장려 · 한해발생지역에 조세감면
1958-1959	· 주로 농업용수 · 발전용수의 관련이 많음 · 수력 발전소 가동 중단(1958년) · 서울은 극도의 식수난(1958년)	· 항구대책으로 예산안 수정 · 발전시설 확장(10년 계획안 작성) · 제한급수 실시 · 양수기 유류대 지원
1967-1968	· 발전용수 사할 급감 · 서울 등 대도시 지역 식수난 심각 · 호남지방 가뭄으로 인해 이농사태 · 쌀 생산량의 18% 감소	· 제한급수 실시 · 가뭄지역 양수기 동원과 농자금 지원/ 지하수 개발 · 상수도 시설 전면 개혁 발생 · 농지세 감면/ 타 지역 유학생 학자금 감면
1976-1978	· 주로 농업용수/ 생활용수 관련 · 발전용수를 식수로 전용 · 종합적인 가뭄대책 필요성 대두	· 양수기 무상대여/ 간이용수원 개발 · 제한급수/ 가뭄 상습지 예산 투입 · 수원이 없는 논의 밭 전환
1981-1982	· 저수지 및 하천고갈 신문기사 · 미 농무성의 세계농업기상청 농업 기상책임자가 비 올 것을 예보 · 도시용수 부족	· 제한급수 실시 · 도로 가로수에 급수작전(주 1회) · 저수지   소류지 적극개발
1994-1995	· 생활용수 관련사항 증대 · 수질악화 우려/ 하천유지용수 관심증대	· 해수담수화 등 대체수자원 개발로 다각적인 가뭄대처 방안 모색
2001	· 생활용수/ 농업용수 곤란 · 물 마른논과 밭작물 가뭄발생	· 가뭄대책 추진을 위한 예산지원 · 도서지역 식수지원/ 암반관정개발 · 상수도 전용댐 건설추진 · 공업용수 제한급수(67% 조업) · 괴산 수력발전소 발전 중지
2008-2009	· 생활용수 곤란(태백시/ 남부지방) · 특별재난지 역선포 요청 · 태백시 가뭄백서 작성 · 샘플업체와 지자체에 태백시장이 '사랑의 생명수' 지원요청	· 1일 3시간 제한급수(태백시 -75일간) · 관정개발, 이동 화장실 설치 · 광동댐 비상용수 개발사용 · 상수도간 비상관로 용수연결 · '사랑의 생명수', 304만 여병 지원

## 2. 강원도 가뭄현황

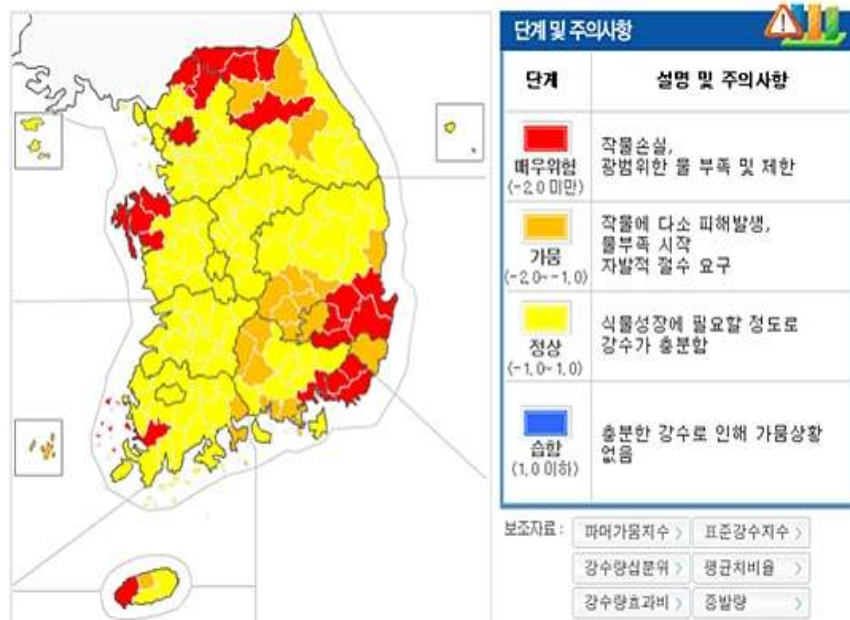
우리나라는 강수량이 계절적으로 여름철에 집중하고 다른 계절에는 강수량이 상대적으로 매우 적으므로 물을 둘러싸고 많은 분쟁이 발생하고 있다. 공공재이면서 유한재인 물을 둘러싸고 이러한 분쟁이 이러니는 것은 당연한 일이라고 볼 수 있다. 그러나 우리나라는 물 분쟁이 터지면 조정할 권한을 가진 기관이 없다. 어떤 경우는 정치권으로 옮겨가 줄다리기가 벌어지기도 한다.

우리나라는 하천의 등급에 따라 규제하는 법과 관리 주체가 다르다. 하천법은 국토해양부, 소하천 정비법은 소방방재청, 한강/ 영산강·섬진강, 금강, 낙동강 법률은 환경부가 집행하고 있으며, 하천의 제방은 국토해양부 소관이지만 하천과 댐의 수질보전 관련사항은 환경부가 맡고 있다.

이렇게 복잡하다보니 물 관련 전문가들은 물 관련 법령의 개선과 통합을 제기하고 있다. 노무현 대통령 재임시 물 관련 기본법은 입법예고까지 되었으나 국회회기 만료로 인해 제정되지 못했으며 지금도 국회에 계류 중이다. 현재 진행 중이거나 과거에 발생했었던 강원도지역의 물 관련 분쟁 및 가뭄 발생사례를 정리하였다.

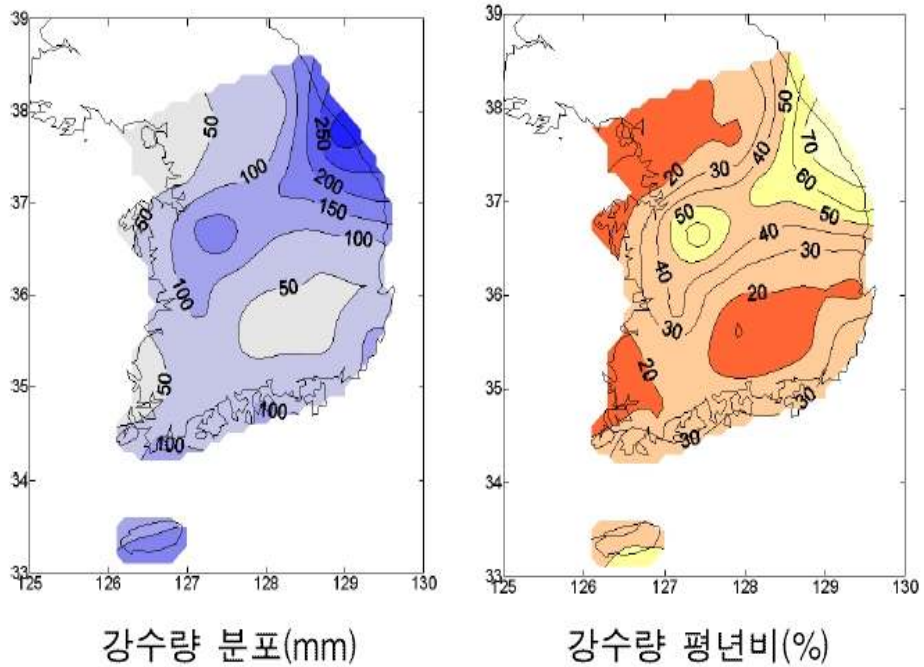
### 2.1 강수량 부족

2011년 10월 현재 강원도의 철원, 화천, 양구, 홍천, 평창 지역은 가뭄 판단 지수가 가장 심각한 '매우 위험' 수준으로 조사되었다. 춘천과 인제는 두 번째로 높은 '가뭄' 상태이다. '매우 위험' 단계에서는 제한급수와 작물 피해가 발생할 수 있으며, '가뭄' 단계에서는 물 부족이 시작되면서 작물에 피해가 발생하며, 자발적인 절수가 요구된다. 올 가을에 발생한 가뭄은 지난여름 집중호우로 인한 댐과 저수지의 수위조절 후 강수량이 부족하여 일어난 것으로, 8월 21일부터 강원도에 내린 비는 136.6mm로 예년의 38.3%밖에 되지 않는다(<http://www.climate.go.kr>).



<그림 4.1> 지역별 가뭄판단 지수 현황(2011, 10월, 기상청)

또한 강원도는 2010년 11월부터 2011년 2월6일까지 영동 지방의 강수량이 47.6mm로 1971년 최저치를 기록한 이후 가장 적은 강수량을 기록했다. 이 기간에 강수량이 가장 적은 곳은 28.9mm를 기록한 태백이었으며, 강수량 부족으로 인해 건조일수가 증가하여 영동 지방이 평년보다 48.5일 더 많은 67일을 기록했다. 건조일수가 가장 많은 도시는 73일을 기록한 속초로 평년 19일보다 54일이 더 많았다.



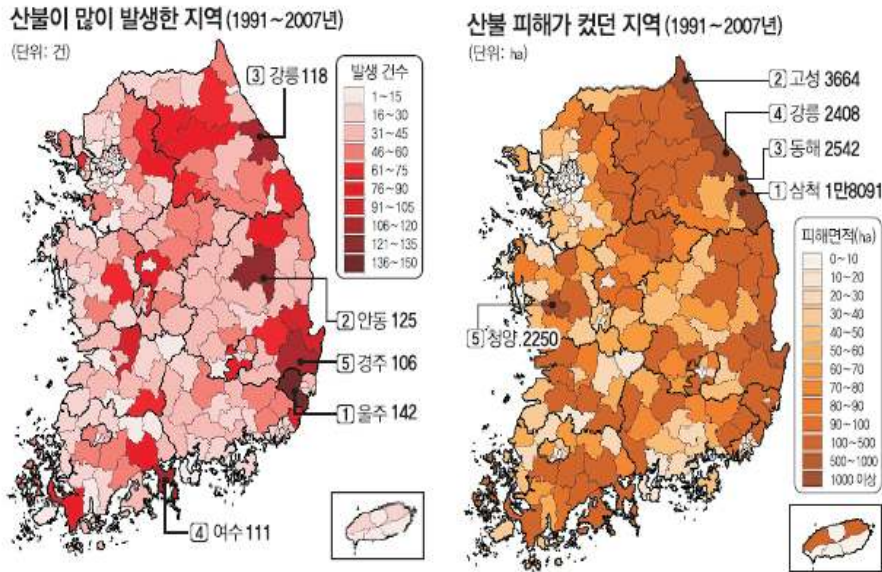
<그림 4.2> 지역별 강수현황 (2011.8.21.~2011.10.9.)

현재의 상황뿐만 아니라 강원도는 과거 계속해서 가뭄에 시달려왔다. 특히 강원도의 가뭄은 2009년에 심각한 수준 이었는데, 2009년 1월 6일부터 4월 2일까지 태백을 중심으로 강원남부지역에서 발생한 가뭄으로 인해 태백 시민은 3개월 동안 하루 3시간 씩 제한 급수에 시달렸다. 씻지도 못하고 아기 분유를 먹일 물도 없어 전국 각지에서 생수가 공수되는 최악의 가뭄 사태를 겪었다. 고지대 지역 주민들은 급수차 34대로 하루 1200톤 지원되는 물로 2009년 가뭄을 견뎌내야 했다.

## 2.2 가뭄으로 인한 유출수와 산불 피해 현황

강원도의 계속되는 강수량 부족으로 인하여 현재 대부분의 강원지방 하천은 장마철을 제외하고는 대부분이 건천화 상태를 유지하고 있다. 대표적인 건천화 하천으로는 남대천, 임곡천, 군선천, 등이 있으며 이들 하천은 짧은 하천구간과 주변 유역이 산악

지루 구성되어 있는 점 때문에 강우사상 발생과 함께 많은 양의 토사, 유출수가 수 시간 내로 동해로 빠져나가게 된다. 따라서 건천화 주변 지역의 황폐화는 가속화되고 있는 실정이다.



<그림 4.3> 산불 발생빈도가 높은 지역과 피해가 컸던 지역 (1991~2007년)

그리고 최근의 강원도에서 발생한 산불은 물 부족으로 인해 발생한 단적인 사례들로 볼 수 있다. 강원도의 가뭄지속기간이 길어짐에 따라 낮 동안 습도감소는 산불을 가속 시키고, 식생의 기름성분 또한 산불에 영향을 준다. 특히 강릉과 양양, 삼척과 동해지역은 상록수의 군락이 많이 분포되어 있는 지역으로 자연발화 가능성이 높는데, 건조하고 상대적으로 온도가 높은 기상조건이 산불발생을 더욱 용이하게 하고 있다. (김영진 등, 2009)

### 2.3 가뭄으로 인한 농업의 피해

2010년 6월 1일부터 17일까지 대관령 일대에서는 지난해보다 64mm 적은 2.5mm

의 비가 내려 감자의 생육이 늦어지면서 농민들의 애를 태웠으며, 이러한 날씨 속에 감자의 생산량이 30% 이상 감소하는 등 농민들의 경제에 직접적인 타격을 주었다.

2010년 6월~7월 강원 영동지방 강수량은 평년의 38%에 불과한 115mm가 내렸다. 1972년 이후 38년 만의 최악의 가뭄으로 저수지도 드러났고, 10개 지역 160여 가구가 비상급수에 의지하였다. 이러한 가뭄에 차양광 밑에 심어둔 장뇌는 잎이 누렇게 마르면서 열매가 제대로 여물지 못하였으며 수확을 앞둔 고랭지 배추는 누렇게 타서 쓰러졌다. 이와 같이 가뭄으로 인해 가뭄으로 농민들은 경제적으로도 심각한 피해를 입었다.

중앙재해대책본부에서 집계된 자료에 의하면 2001년 5월 강원도의 모내기 용수부족 면적은 철원이 567ha, 고성 337ha, 횡성 246ha, 양양 173ha, 홍천 151ha, 춘천 73ha, 강릉 68ha로 총 1615ha로 나타났다. 그리고 2001년 6월까지의 가뭄으로 인한 밭작물 피해현황은 3640ha로 나타났다.(이재준, 2003)

농어업재해대책법 시행규칙 제2조 1항의 2에 의하면 한해, 수해, 풍해, 냉해, 조해, 동해, 병충해 기타 농어업재해대책법 제5조 제1항의 규정에 의한 농업재해대책심의위원회가 인정하는 자연현상으로 인하여 농작물 또는 산림작물에 피해가 있을 경우 그 피해면적이 50 헥타르 이상인 경우에 한하여 국가의 보조 및 지원대상이 된다. 또한 동 규칙 2조의 2(한해예방 및 피해경감대책지원), 1항에 따르면 국가는 법 제4조 제1항의 규정에 의하여 가뭄이 동시 또는 연속적으로 발생하고 농가에서 가뭄으로 인한 피해를 예방, 경감하기 위하여 투입한 비용(한해 대책비)이 시, 군별로 3억 원 이상인 경우 재해 대책비를 투입한 농가에 대하여 보조 및 지원을 실시하도록 할 수 있다고 규정하고 있다. 가뭄으로 인한 농작물의 피해는 농가 개개인에게 피해를 줄 뿐 아니라 국가의 재정에도 피해를 주고 있다.

#### 2.4 가뭄고통비용

가뭄의 경우 피해대상 시설물이 없고 비가 내리면 가뭄의 흔적이 거의 남지 않고 해소되기 때문에 피해규모 산정에 어려움이 있다. 따라서 가뭄 재해가 발생했을 때 피해 시설물 설치비용 대신 가뭄 고통비용이라는 개념을 적용하여 피해 정도를 판단할 수 있는데, 이 가뭄 고통비용은 기상학적 가뭄이나 물 관리 사고로 인하여 생활용수공급

량 감소에 따라 생활용수 수용자들이 체감하는 삶의 고통을 계량화한 것이다. 즉 가뭄 고통비용이란 생활용수를 사용하지 못하여 발생하는 모든 비용을 뜻한다.

2008년도의 가뭄은 많은 사람들에게 고통을 안겨주었다. 특히/ 강원도 태백시에 생활용수 등을 공급하고 있는 광동댐(한국수자원공사 관리)의 저수량이 부족해 태백시에 생활용수 공급이 부족하여 많은 주민들이 물 부족으로 인한 고통을 겪어야만 했다. 2008년 7월 이후 강원도 태백, 대관령, 동해지방은 평년대비 65% 정도밖에 내리지 않았다.

2007년 11월~2008년 2월과 2008년 11월~2009년 2월의 물 사용량을 태백시 삼수동 및 상장동 소재 아파트 43세대를 대상으로 공식적으로 검침한 물 사용량 자료를 분석하였다.

<표 4.2> 태백시 아파트 세대별 물 사용량의 변화(검침 월 기준)

	물 사용량(m3)			
	11월	12월	1월	2월
2007.11-2008.2(A)	13.1	13.1	12.4	12.2
2008.11-2009.2(B)	11.6	10.6	11.2	7.64
비율(B/A)	0.884	0.808	0.9	0.628

<표 4.2>에서 보면 알 수 있듯이 가뭄으로 인한 태백시 주민들의 제한급수와 자발적 급수로 인하여 2007년과 비교해보면 전반적으로 감소하였다. 특히 제한급수가 시행된 2월에는 전년대비 63%정도 밖에 되지 않았다. 주민들의 물 사용량 감소는 생활의 불편으로 이어진다. 물을 사용하는 많이 사용하는 목욕과 빨래를 평상시와 가뭄일 때를 비교해 본 <표 4.3>을 보면, 아파트와 단독주택은 가뭄일 때 목욕을 하는 횟수는 평상시의 66.1%로 감소하였고 빨래는 아파트가 55.3%, 단독주택이 67.7% 감소하였다. 감소율은 평상시의 횟수에서 가뭄일 때의 횟수를 빼준 후 평상시일 때의 횟수로 나눠준 다음 백분율로 바꿔 준 것으로 수식으로 정리하면  $(A-B)/A \times 100$ 으로 나타낼 수 있다.



〈표 4.3〉 가뭄 시 물 사용 생활변화

구분		1주당 물 사용 횟수		1일당 식사 횟수	세대별 가족수
		목욕	빨래		
아파트	평상시(A)	4.28	3.49	2.91	3.21
	가뭄(B)	1.45	1.56	1.34	
	감소율(%)	66.1	55.3	54.0	
단독주택	평상시(A)	5.0	4.4	3.40	3.23
	가뭄(B)	1.62	1.42	1.61	
	감소율(%)	67.6	67.7	52.6	

가뭄은 평상시보다 식사횟수도 52~54% 감소하게 하였다. 물의 감소로 인한 생활의 고통은 더욱 산정 할 수 있겠지만 객관성이 인정될 수 있는 위의 세 가지를 기준으로 고통비용을 산출하였다. 비용 산출 기준으로는 1주당 목욕횟수를 목욕 1회당 4000원, 1주당 빨래횟수는 빨래를 1회당 3000원, 1일당 조리 및 설거지는 조리 및 설거지를 1회당 4000원으로 고통비용을 산출한 다음 고통비용을 알아본 결과는 <표 4.4>와 같다 (박상덕 등, 2009).

〈표 4.4〉 태백지역의 가구당 2월 평균 고통비용

구분	고통비용(원)			
	목욕	빨래	식사	합계
아파트	139907	23163	559628	722698
단독주택	190745	35723	659228	885696
평균	165326	29443	609428	804197
1일당 고통비용	5905	1052	21765	28721

태백지역의 가뭄으로 인한 가구당 평균 고통비용은 약 80만4천원이고 1인당 고통비용은 약 2만 8천원으로 산출되었다. 또한 아파트보다 단독주택이 약 16만원 더 많은

고통비용이 든 것으로 나타났다.

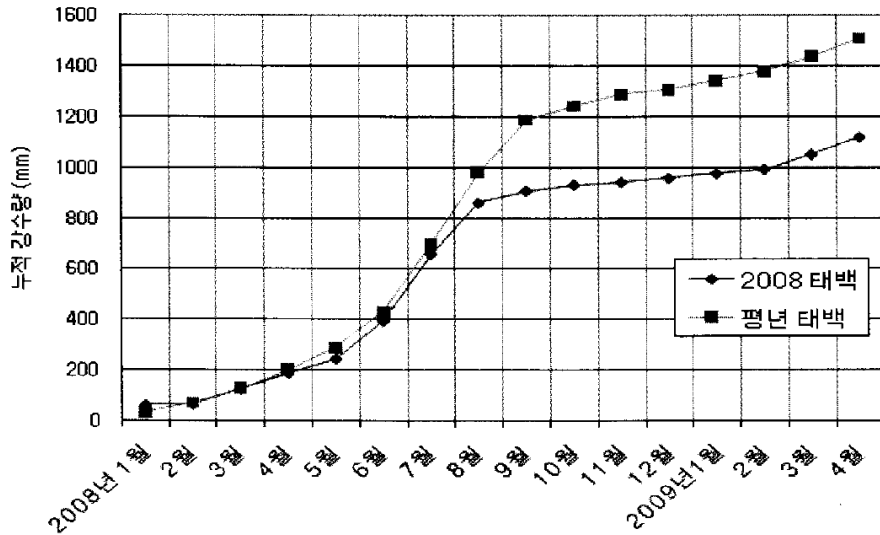
이렇듯 강원도의 가뭄은 식수원 고갈 등의 문제로 그 지역 주민들의 생활에 커다란 피해를 주며 농작물의 고사로 인한 경제적 손실, 가뭄으로 인해 발생한 산불로 인해 경제적, 자원적 손실 등이 발생된다.

강원도의 가뭄은 기상학적으로 강수량 부족이 원인인 경우가 많으나 정부의 미흡한 대책과 부실한 댐 관리로 인한 가뭄의 양상을 보여주기도 한다.

## 2.5 태백가뭄분석

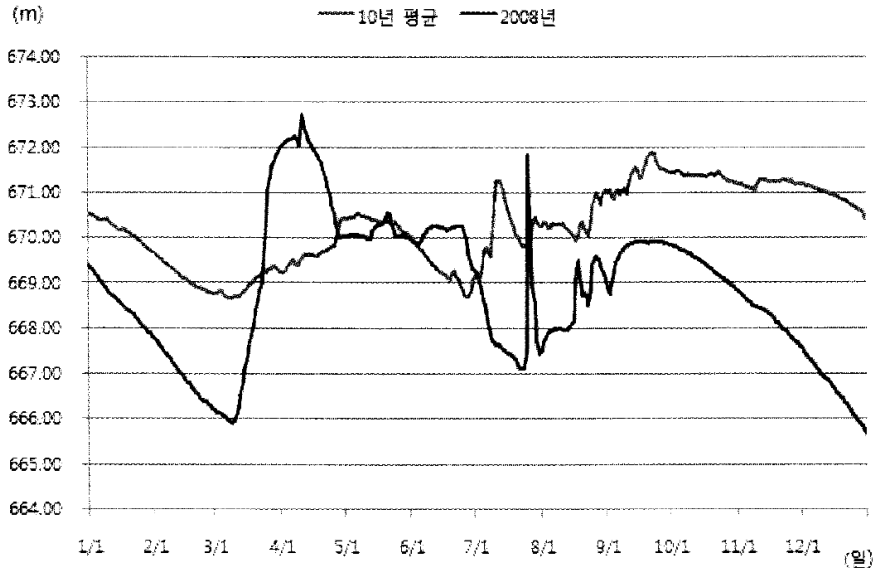
### 가. 가뭄발생 원인

2008년의 경우 8월부터 평년의 강수량보다 적게 내렸으며 가을 강수량으로 인한 홍수가 없어 가뭄발생을 예상할 수 있게 하였다. <그림 4.4>에 태백시 관측소에서 관측된 평년 강수량과 2008년도 태백시 강수량의 비교를 위해 월별누적강수량을 나타내었다. <그림 4.4>에서 알 수 있듯이 2008년도에는 태백지역에 8월경부터 강수량이 적게 내리고 있음을 알 수 있다. 또한 주민들 입장에서는 8월부터 평년강수량과 2008년 외 강수량 차이가 있음을 알 수 있었기 때문에 댐을 관리하는 한국수자원공사 측에서 생활용수 등의 안정적인 공급을 위해 댐의 운용 등에 좀 더 세심한 주의를 기울였다면 태백시 일대 지역주민들은 가뭄으로 인한 고통이 줄어들었을 것으로 생각할 수 있다.



<그림 4.4> 2008년 태백 강수량의 비교

강원도 태백지역의 경우 2008년 8월부터 강수량 값이 적게 내리기도 하였지만 주 수원인 광동댐의 운영에도 개선의 여지가 있을 것으로 판단되었다. 한국수자원공사가 인터넷을 통해 공개하고 있으며 <그림 4.5>에 광동댐의 최근 10년 평균수위와 2008년도 수위자료를 제시하였다.

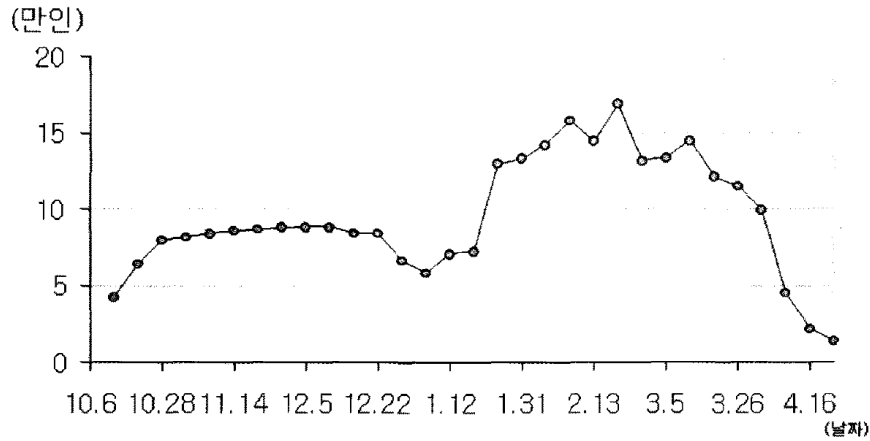


<그림 4.5> 광동댐 수위변화의 비교

위 그림에서 보면 7월 말의 강우로 인하여 댐 수위의 급상승이 있었으나 곧바로 방류를 하여 수위를 낮추었으며 그 이후에도 2번 더 방류하여 댐 수위를 낮추는 상황이 발생하였음을 알 수 있다.

나. 가뭄피해 현황

2008년에는 특히 강원도 태백시의 경우 한국수자원공사에서 관리하는 광동댐이 주 수원이지만 댐의 저수량이 부족하여 태백시 5만명 이상의 인구에 대하여 1일 3시간 제한급수를 2009년 1월 15일부터 75일간 실시하기도 하였다. 전국적으로 생활용수의 비상급수(제한급수 또는 운반급수)를 받은 주민수의 변화를 나타내면 <그림 4.6>과 같다.



<그림 4.6> 전국 비상급수 받은 주민 수의 변화

위 <그림 4.6>에서와 같이 주민들의 비상급수 공급을 위하여 2009년 2월 5일 태백 시장은 샘물업체와 지방자치단체에 생수지원을 요청하였으며 이에 ‘사랑의 생명수’는 304만 여병이 지원되었다. 태백시민들은 용수공급부족으로 인한 장기간의 고통에 대하여 가뭄극복 결의대회를 개최하여 정부에 조속한 가뭄대책을 촉구하기도 하였다. 가뭄극복 결의대회에서는 다음과 같은 사항을 요구하기도 하였다. (1) 중·장기 수자원확보 방안 조속히 강구, (2) 노후 상수도 관로 전면교체, (3) 시민의 물적·정신적 피해보상 마련, (4) 공정한 감사 실시 등 이다.

## 2.6 기타 강원도 가뭄사례

### 가. 제천-영월 간 물 분쟁 사례

제천시는 생활·공업용수 공급을 위해 1991년 12월 건설부로부터 상수도 사업인가를 받았다. 사업개요는 충청북도 제천군 송악면 장곡리(평창강 유역)에 하루 5만3천톤의 시설용량을 가진 취수장을 170억원을 투자하여 건설하기로 하였다. 제천과 영월은 취수보 공작물 설치협의를 1992~1993년에 걸쳐 3차례 진행하였으나, 1993년 6월

강원도 의회는 제천 상수원지 이전촉구 결의문을 건설부에 전달하였다. 강원도의 계속되는 건의와 진정에 같은 해 12월 건설부 주관으로 관계관회의를 갖고, 1994년 청와대(민정수석) 주관으로 관계관회의가 개최되었다. 결국 1994년 5월 환경부, 제천시, 영월군은 3자 관계관회의를 개최하여 용역을 시행하여 그 결과에 따르기로 합의하였다. 용역기관은 양 시·군 공동 용역으로 대한토목학회가 하기로 결정하였으며 6월 23일부터 9월 9일까지 실시하여 평창강 장곡지점의 물 수지 분석과 취수 가능량을 제시토록 하였다. 대한토목학회의 결과에 따르기로 양쪽이 합의하고 이후 분쟁발생시 내무부에서 지방자치법에 의해 조정하기로 했다. 이러한 용역결정을 하기까지 양쪽의 주장을 보면 영월군에서는 제천 장곡취수장이 설치되면, 제천시와 공동상수원으로 사용하고 있는 평창강 유량의 증가된 수요(3만2천톤/일→5만톤/일)로 인해 갈수시 하류지역에 피해가 발생하며, 상수원 보호구역내 주민이 피해를 입기 때문에 영월군은 충주호로 취수장을 이전하라고 요구하고 있는 것이다.

이에 대해 제천시는 영월군과 물 분쟁이 있기 전 1988년 강원도지사가 공고한 「평창강 하천정비 기본계획」 중에 1일 5만3천톤을 취수하더라도 5만4천 톤이 남으므로 물 부족이 없을 것이며, 하천유지 유량은 별도로 고려치 않는다는 내용을 근거로 하여 제천상수도 취수원으로 정하는 적합성이 인정되어 결정된 것이라고 주장하고 있다.

강원도 영월군과 충청북도 제천시는 지자체의 상수원 젓줄인 평창강을 사이에 두고 물 분쟁을 벌인 것이다. 제천시의 경우 기존 주천강의 취수장 수원이 부족해지고 지역 개발에 따른 인구증가와 생활수준의 향상으로 물 수요가 증가함에 따라 1991년 상수도시설 확장계획을 수립하여 제천시는 건설교통부로부터 영월군 내 평창강 취수원을 이용한 상수도 확장사업을 인가 받아 1992년 3월에 착공하였다.

그러나 영월군은 장곡취수장이 들어설 경우 하천유지유량 부족으로 하천고갈 등으로 인한 하천의 생태계 파괴는 물론이고 상수원보호구역 지정에 따른 각종 규제로 지역 주민들의 불이익이 초래될 것으로 판단되어 승인을 거부했다. 현재 제천시는 취수장 주변에 대한 상수원보호구역 지정 없이 취수를 계속하고 있으며 영월군은 취수로 인한 직접적인 영향이 나타나지 않고 있어 조치는 취하지 않고 주시하고 있다. 그러나 하류 지역의 용수량 부족과 가뭄 등으로 하천수의 부족현상 등이 발생할 시 상수원 분쟁은 언제라도 다시 불거질 여지를 남겨놓고 있는 것이다.

## 나. 춘천 - 한국수자원공사 소양강 물 값 공방

강원도 춘천시와 한국수자원공사간의 물 값 공방은 1992년 소양정수장이 이전·건설되면서 시작됐다. 새 소양정수장이 한국수자원공사의 관할인 소양강댐하류 2km지점에 설치돼 소양강댐에서 방류된 물을 직접 취수하게 되었다. 이에 대해 한국수자원공사는 한국수자원공사법 제16조 1항의 규정에 의거해 춘천시에 물 사용 계약의 체결을 요구했다.

## 한국수자원공사법 제16조(요금 등의 징수) 제1항

「공사는 수자원개발시설이나 수도시설에 의하여 공급되는 물·수자원개발시설이나 그 수변 또는 하수종말처리시설을 사용하는 자로부터 해당 시설의 건설 및 운영·관리에 필요한 비용을 고려하여 사용자가 사용하는 물의 양 또는 시설이나 그 수변의 사용 정도와 배출된 하수의 양과 오염도에 따라 요금 또는 사용료를 징수할 수 있다.

그러나 춘천시를 비롯해 춘천시 경실련/춘천시 의회 등은 “자기지역을 흐르는 하천에서의 취수는 상류에 댐이 있건 없건 간에 과거로부터 내려온 관행이므로 댐 준공(1973년) 이전부터 사용해 온 하루 2만 톤의 물 값(연간 2억 3천만원)을 낼 수 없다”며 수자원공사가 요구하고 있는 물 값의 납부를 거부해왔다.

물 값 논쟁이 해결기미가 보이지 않자 한국수자원공사는 2000년 7월 춘천시를 상대로 물 사용에 따른 부당이익금 및 가산금 청구 민사소송을 대전지법에 제기했으며 춘천시 경실련은 댐건설 및 주변지역지원 등에 관한 법률 중 물 값 징수조항이 헌법에 위배된다고 같은 해 9월 헌법소원을 내기도 했다.

춘천시와 한국수자원공사는 “춘천시가 취수하는 용수의 사용 계약량은 1일 10만  $m^3$ (기본사용수량 1일 2만  $m^3$ 은 별도)로 하고 물 값은 한국수자원공사가 춘천시에 지원할 다음 년도의 특별지원금 또는 댐 주변지역 지원비에서 우선 공제토록 한다”는 내용의 협약안을 2003년 12월 마련하였다. 이에 대해 춘천시 의회는 “동의 대상이 아니다”며 심의를 미루다 2004년 4월에 이 문제를 한시적으로 다루기 위한 물 값 특위를 구성하여 진행시키고자 하였으나 법정으로 비화되어 더 이상 진행된 바는 없으며 현재는 답보상태에 있다.



## 제2절 가뭄지수에 의한 가뭄분석

### 1. 가뭄지수

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

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

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

국내에서는 가뭄에 대한 대비 및 연구가 부족한 실정이었으나, '90년대 들어오면서 기상연구소(1993), 윤용남 등(1997)이 우리나라에 PDSI를 적용하였으며, 김선주 등(1995, 1997)이 미국의 서부지역에서 개발된 SWSI를 우리나라에 특성에 맞게 변화하여 WSI(Water Supply Index)를 제시하였으며, 김상민(1999), 유원희(2000)는 SPI를 국내에 적용하였다.

가뭄지수는 가뭄의 진행 상태나 심한 정도를 객관적인 수치로 표현할 수 있는 하나의 지표이다. 가뭄에 대한 기준이 여러 가지가 있어 물 공급지표, 유출, 강우, 적설량



등 서로 다른 단위·성질을 갖는 수많은 자료들로 가뭄지수들을 구할 수 있다.

가뭄지수는 무차원 수이며, 의사결정을 위해 실측 자료 보다 더욱 유용하게 사용되며 이들 중 몇몇 지수들은 주어진 기간에 대한 강우량으로 결정된다. 이것은 때때로 과거의 가뭄상황을 재현하였을 때 설정된 기준치와 일치하지 않을 수 있다. 또한 광범위하게 사용되는 가뭄지수들이 다른 지수들보다 뛰어나다고 할지라도, 특수한 목적에 사용하기 위해서는 적절하지 않을 수 있다(임경진 등, 2001).

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

### 1.1 PDSI

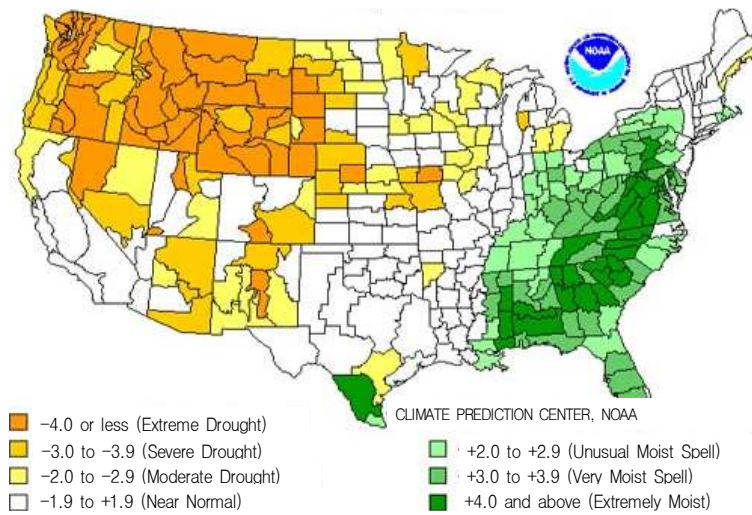
Palmer(1965)는 가뭄을 “주어진 지점에서 실제수분공급이 기후적으로 필요한 수분공급보다 적은 수개월 또는 수년의 기간이 지속되는 현상”으로 정의하였다.

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

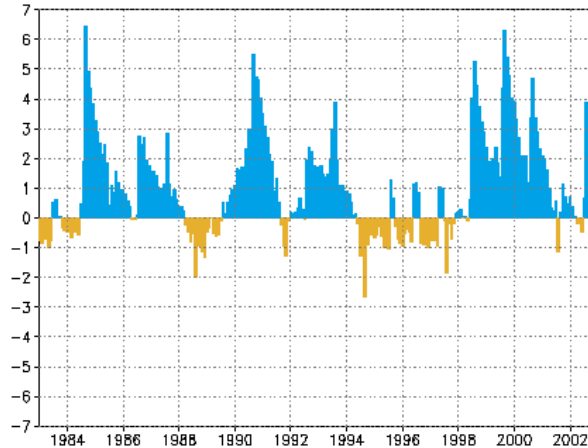
<표 4.5>는 미국의 중앙 Iowa 지역과 서부 Kansas 지역의 분석 자료를 기초로 하여 만든 가뭄 분류이며, <그림 4.7>은 미국 NOAA에서, <그림 4.8>은 우리나라 가뭄정보센터에서 제공하고 있는 속초시의 PDSI 가뭄지수를 나타낸 것이다.

<표 4.5> Palmer 값에 의한 분류

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



<그림 4.7> 미국 NOAA의 PDSI 분포도(2003년 8월 30일)



<그림 4.8> PDSI 가뭄지수 산정 예

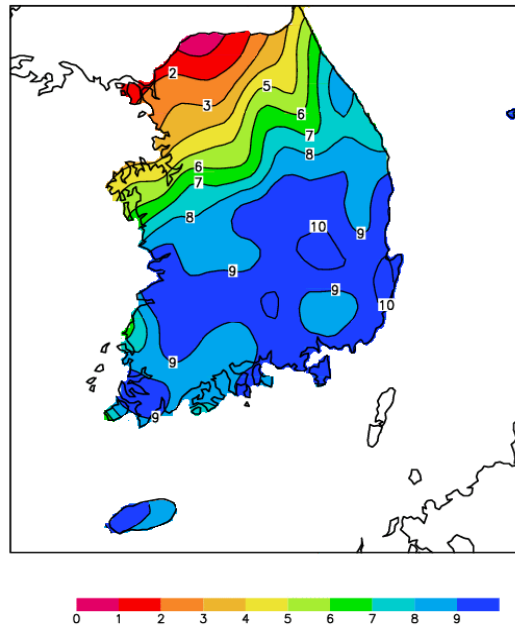
### 1.2 10분위 강수량

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

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

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

<그림 4.9>는 우리나라 2002년 9월 1일부터 2003년 8월 28일까지의 10분위 강수량을 나타낸 것이다.



<그림 4.9> 우리나라 10분위 강수량  
(2002년 9월 1일~2003년 8월 28일)

### 1.3 SWSI

SWSI(표면유출공급지수)는 Palmer 지수에서 토양 수분 조건에 대한 영향을 보완하기 위해 Shafer와 Dezman에 의해 개발되어 미국 콜로라도 유역에 최초로 적용되었다. SWSI는 본래 “산악 수 의존유역에서 용수 유용성을 지시기가 될 것, 예측 할 수 있을 것, 그리고 한해 평가가 가능하도록 유역에서의 용수 공급상태의 비교가 가능할 것”을 전제로 하고 있다.

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

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

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

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

#### 1.4 SPI

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

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

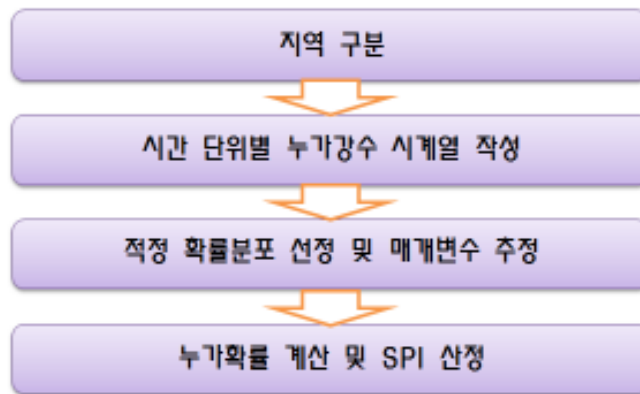
SPI는 강수 부족에 선형적으로 비례하고 강수확률, 누가강수평균백분을 그리고 누가 강수 부족량을 고려한다. 산정된 SPI는 확률분포형을 도입하였기 때문에 가뭄뿐만 아니라 가뭄이 끝나기에 필요한 강수의 확률을 결정하는 것을 가능하게 한다(McKee 등 1993).

McKee 등(1993)은 SPI의 결과로부터 얻은 가뭄 심도를 정의하기 위해서 <표 4.6>과 같은 분류체계를 이용하였다.

〈표 4.6〉 SPI 값에 의한 분류

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

SPI의 산정 절차는 다음과 같다(그림 4.10, 유원희, 2000).



<그림 4.10> SPI 산정 절차

(1) 지역 구분

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

(2) 시간 단위별 추가강수 시계열 작성

이동 누적에 의한 방법으로 월 강수량을 시간 단위에 따라 연속적으로 중첩하여 구

한다.

### (3) 적정 확률분포 선정 및 매개변수 추정

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

Pearson Type III분포는 다음 식과 같다.

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

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

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

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

### (4) 누기확률 계산 및 SPI 산정

각 월의 확률분포함수에서 누기확률을 계산할 수 있으며, 이 값이 표준정규분포의 누기확률 값과 같아지는 값이 SPI가 된다.

## 2. 시군별 가뭄지수 분석

### 2.1 티센망구성

본 연구에서는 과거 강우자료에 근거한 가뭄지수 산정을 유역단위가 아닌 행정구역 단위의 분석을 시도하고자 한다. 이는 가뭄을 비롯한 수자원과 관련된 정책들이 유역 단위로 이루어져야 하나, 국가하천 규모에서 고려되어질 뿐 실제 가뭄과 관련된 많은 정책들은 시군 단위로 이루어지고 있는 실정이다. 따라서 강원도 가뭄정책에 도움을 주고자 본 연구에서는 유역단위가 아닌 행정구역단위의 강수량을 활용하여 가뭄지수를 산정하였다.

일반적으로 수문분석에서 한 유역내에 있는 여러 관측소에서 측정되는 강수량은 서로 같지 않다. 이에따라 수문학에서는 유역내 대표 강수량이 필요한 경우가 많고 이러한 경우를 위해 공간평균 즉 면적평균 강수량을 산정하여 대표 값으로 사용한다(윤태훈, 1999). 본 연구에서는 언급한 바와 같이 행정구역별 SPI지수를 산정하기 위해 시군별 대표 강수량이 필요하며 이를 위해 면적평균 강수량을 산정하였다. 면적평균 강수량 산정법에는 산술평균, Thiessen 방법, 등우선법, 고도-면적곡선법, 격자점법, 유한요소법, Kriging 등 많은 방법이 있다. 특징들은 다음과 같다.

- 산술평균법 : 유역내만의 지점강우량을 산술평균한 값, 산악효과, 계측망 분포 상태 미고려, 평야지대에 적합
- Thiessen 망 : 각 관측점의 지배면적과 전체유역면적의 비를 해당 관측점의 강우량에 곱하고 이들을 합산한 값, 산악효과 미고려, 계측망 분포 상태 고려
- 등우선법 : 대상유역의 지형도상에 등우선을 작성하고 등우선간의 면적과 전체유역면적의 비를 해당 등우선간의 평균우량에 곱하여 이들을 합산하여 산정, 산악효과 고려, 가장합리적인 방법

살펴본 바와 같이 등우선법에 의한 대표강우량 산정이 가장 합리적이거나 분석 대상이 최근 30년(1982년~2011년)자료의 일강수량을 산정하기 불가능하므로 본 연구에서는 티센망을 작성하여 30년간 시군별 대표 일강우량을 산정하였다.

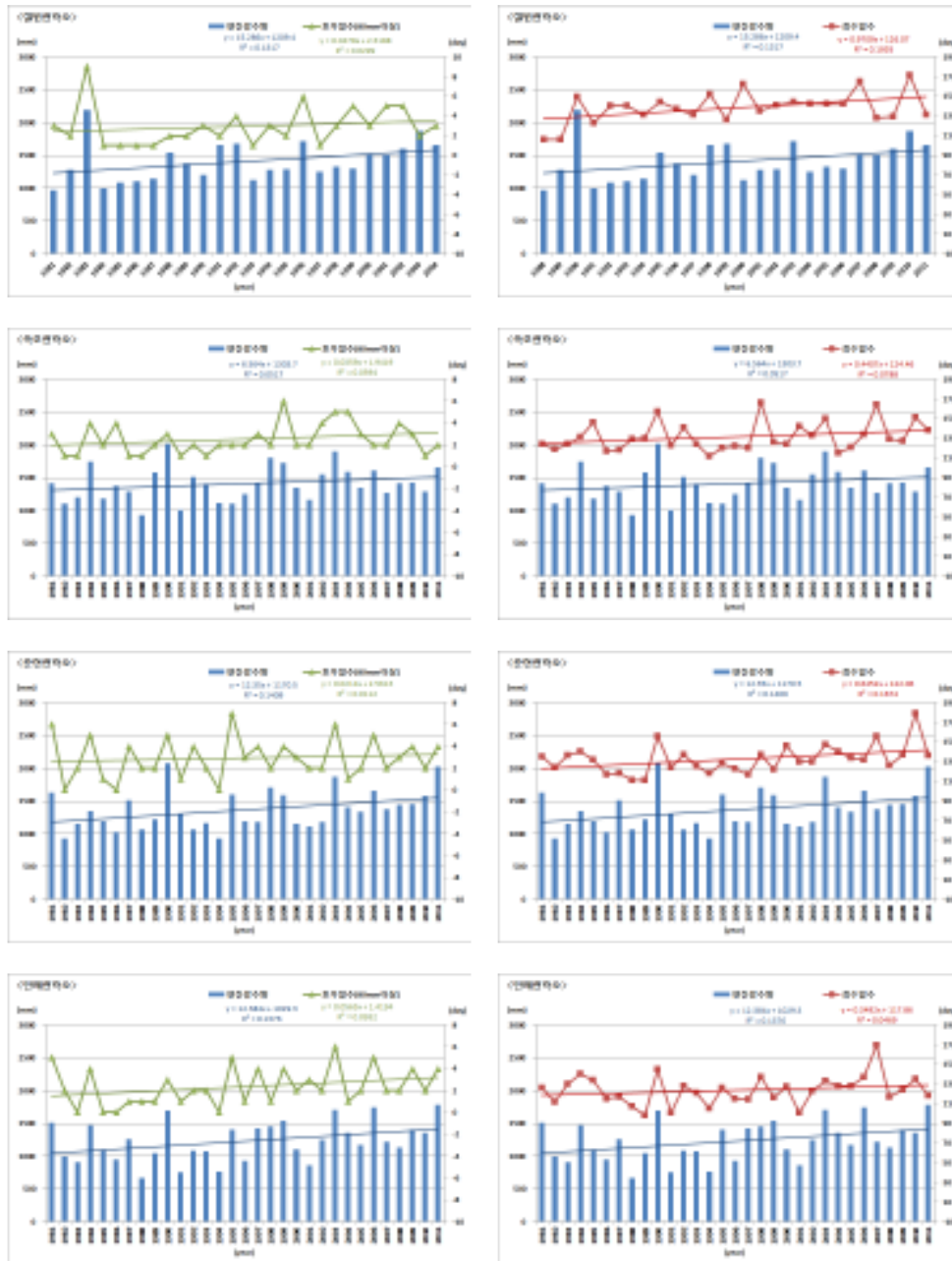


이를 위해 강원도내 기상관측소에 대해 조사를 실시하였다. 또한, 1982년부터 일강우량 자료가 없고 강원도내 관측소로 보간이 힘든 철원(1988 관측시작)과 영월(1995 관측시작)의 일강우량 보간을 위해 서울, 영주 관측소에 대한 자료도 수집하였다. 다음 <표 4.7>은 조사대상 관측소 현황을 보여주고 있다.

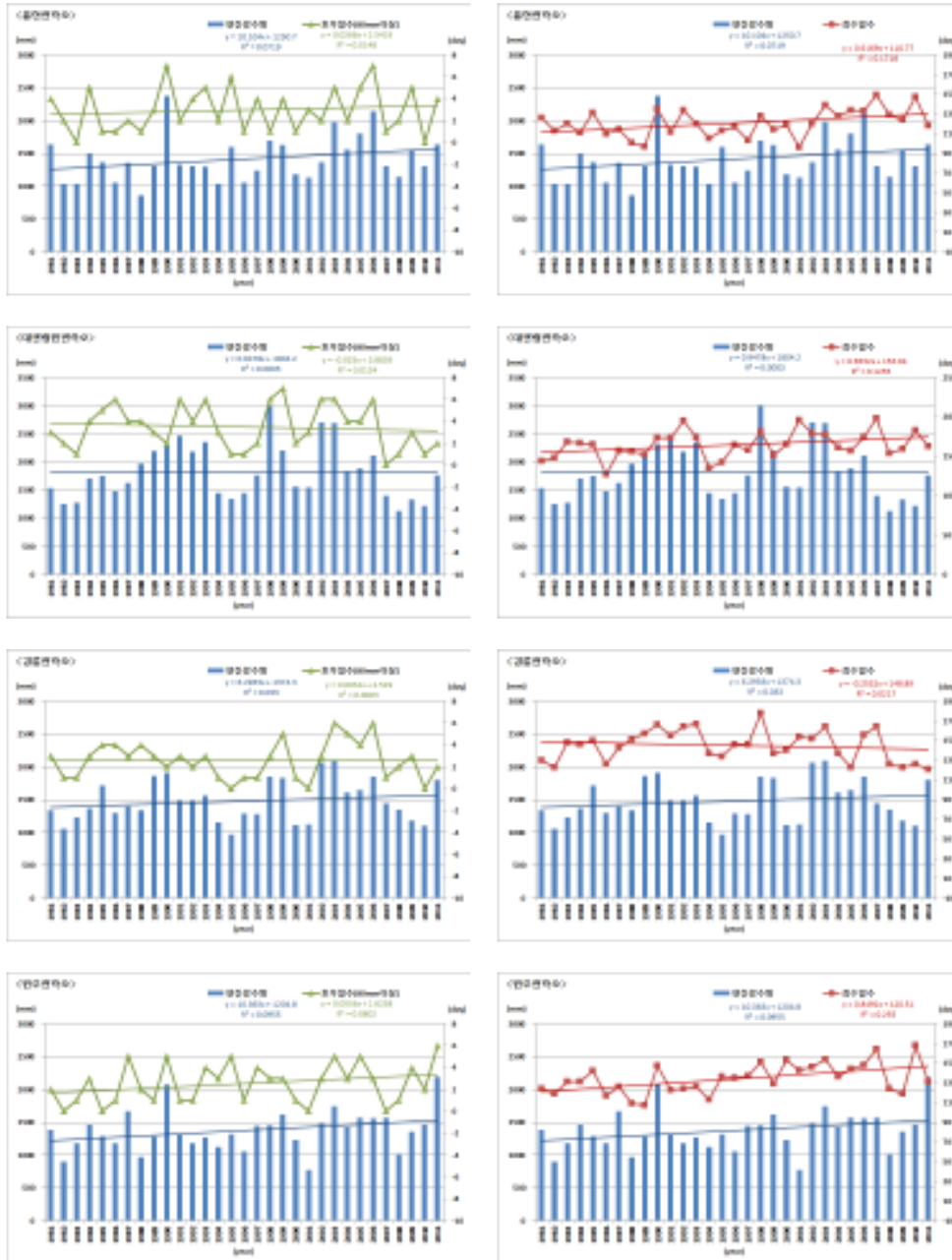
<표 4.7> 기상관측소 현황

순번	관측소명	관리기관	관측개시	관측기종	해발고(EL.m)	위도	경도
1	서울	기상청	1907.10	일반	85.5	37° 34'	126° 58'
2	철원	기상청	1988.01	일반	154.9	38° 9'	127° 18'
3	속초	기상청	1968.01	일반	22.9	38° 15'	128° 34'
4	춘천	기상청	1966.01	일반	76.8	37° 54'	127° 44'
5	인제	기상청	1971.12	일반	198.7	38° 4'	128° 10'
6	홍천	기상청	1971.09	일반	146.2	37° 41'	127° 53'
7	대관령	기상청	1971.07	일반	772.4	37° 41'	128° 43'
8	강릉	기상청	1911.10	일반	26.1	37° 45'	128° 53'
9	원주	기상청	1971.09	일반	150.7	37° 20'	127° 57'
10	영월	기상청	1994.12	일반	239.7	37° 11'	128° 27'
11	태백	기상청	1985.08	일반	714.2	37° 10'	128° 59'
12	동해	기상청	1992.05	일반	39.5	37° 30'	129° 7'
13	영주	기상청	1972.11	일반	210.5	36° 52'	128° 31'

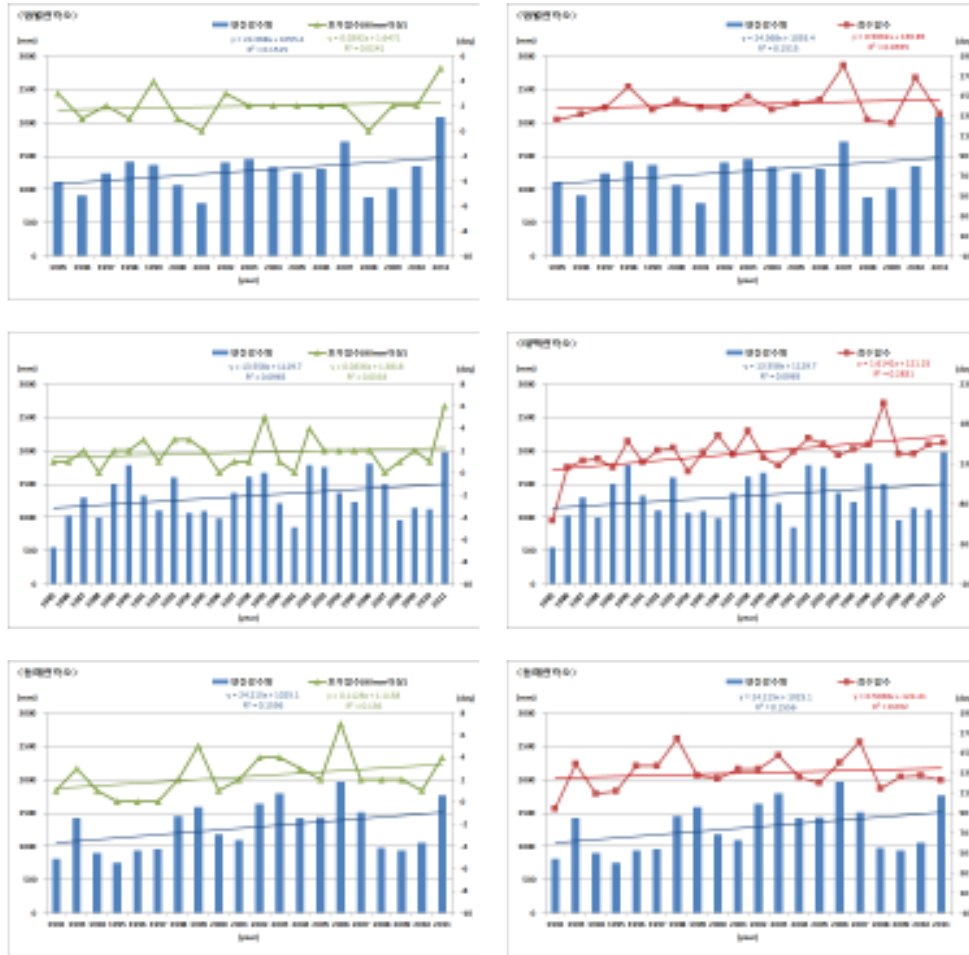
조사된 13개 관측소 중 강원도내 위치하는 11개 관측소에 대하여 과거 최대 1981년까지의 강수량 자료 변화와 강수일수와 호우일수에 대해 분석하였다(그림 4.11). 대부분의 관측소에서 강수량과 호우일수 및 강수일수가 모두 증가하고 있음을 알 수 있었다. 하지만 강수량 증가량보다 강수일수의 증가량이 완만한 것으로 추측하는데 이는 강수의 집중이 심해지고 있음을 반증한다고 하겠다.



<그림 4.11> 강원도내 관측소별 강수량 변화



<그림 4.11> 계속



<그림 4.11> 계속

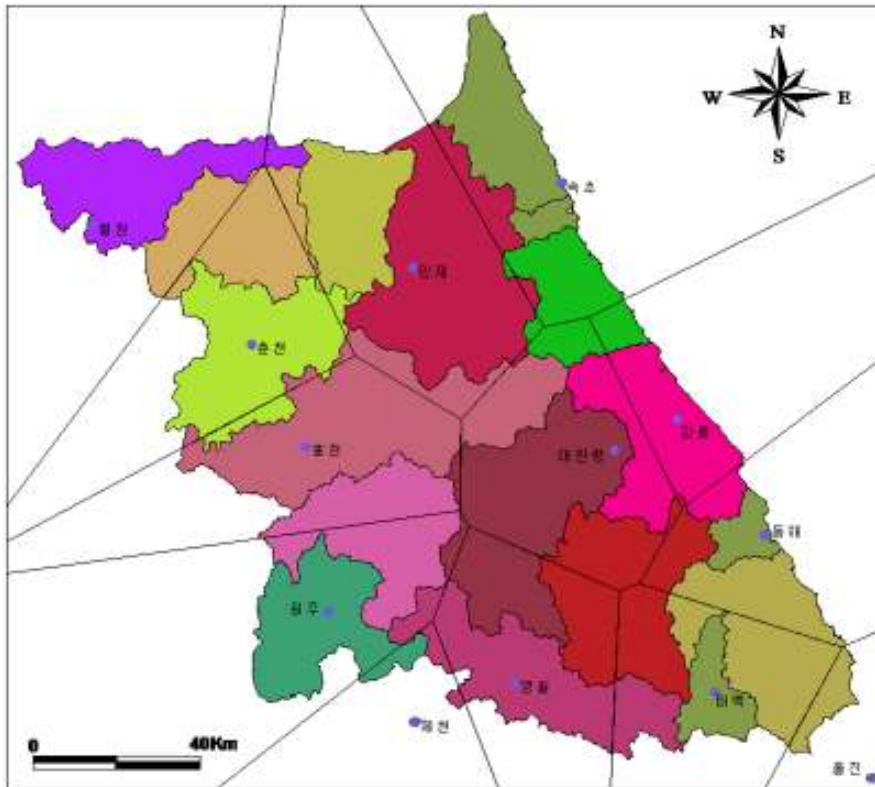
강원도내 11개 관측소 중 1980년대부터 자료가 존재하는 7개 관측소에 대한 연대별 연평균강수량과 강수일수 및 호우일수 변화를 분석한 결과는 <표 4.8>과 같다. 강수일수는 년 중 비가 온 날(0.0mm 포함)을 호우일수는 년중 비가 80mm이상 온 날을 의미한다.

&lt;표 4.8&gt; 관측소별 기간별 강수 비교

관측소	분류	1980s	1990s	2000s	80년대비 증가
춘천	연강수량(mm/day)	1313.31	1285.38	1439.58	9.61(%)
	강수일수(day)	128	127.7	141.55	13.55(day)
	호우일수(day)	2.7	3	2.91	0.21(day)
홍천	연강수량(mm/day)	1352.12	1335.72	1526.6	12.9(%)
	강수일수(day)	115.8	116.5	128.91	13.11(day)
	호우일수(day)	2.6	3	3	0.4(day)
인제	연강수량(mm/day)	1158.65	1150.91	1317.77	13.73(%)
	강수일수(day)	122.4	119	129.27	6.87(day)
	호우일수(day)	1.7	2.2	2.82	1.12(day)
원주	연강수량(mm/day)	1336.85	1297.48	1395.96	4.42(%)
	강수일수(day)	125.3	132.7	145.36	20.06(day)
	호우일수(day)	2	2.6	2.45	0.45(day)
속초	연강수량(mm/day)	1382.78	1364.96	1454.25	5.17(%)
	강수일수(day)	129.5	127.8	135.45	5.95(day)
	호우일수(day)	2.2	2.3	3	0.8(day)
대관령	연강수량(mm/day)	1707.75	1973.64	1782.32	4.37(%)
	강수일수(day)	155.7	163.8	173	17.3(day)
	호우일수(day)	3.4	3.8	3.27	-0.13(day)
강릉	연강수량(mm/day)	1450.12	1396.28	1545.71	6.59(%)
	강수일수(day)	144	150.4	142.27	-1.73(day)
	호우일수(day)	2.8	2	2.82	0.02(day)

1980대비 2000년대에는 강수량은 최대 13.73%(인제관측소)가 증가했으며 모든 관측소에서 그 증가하여 강수량의 증가가 지속되고 있음을 알 수 있었다. 또한 1년중 비가 내리 날을 나타내는 강수일수는 강릉(-1.73일)을 제외하고 모든 관측소에서 증가했으며, 원주의 경우 20.06일이 증가하였다. 1일 강수량이 80mm이상인 호우일수의 경우도 약간의 증가추세를 나타내고 있음을 알 수 있었다.

<표 4.7>에서와 같이 조사된 13개 기상관측소 중 보간을 위해 조사한 서울(1982-1998), 영주(1981-1994)를 제외한 11개 관측소와 더불어 강원도에 지리적으로 근접한 제천, 울진관측소를 포함하여 <그림 4.12>와 같이 티센망을 작성하였다.



<그림 4.12> 티센망도

작성된 티센망도를 활용하여 18개 시군별 전체면적에 대한 해당 관측소의 면적비를 산정하였다(표 4.9). 산정에서 삼척시에 영향을 미치는 울진관측서와 원주시와 영월군에 영향을 미치는 제천의 경우 그 영향이 미미하여 이를 제외하고 11개 관측소에 대한 면적비(%)를 산정하였다.

<표 4.9> 시군별 면적비(%)

관측소 시군	90 속초	95 철원	100 대관령	101 춘천	105 강릉	106 동해	114 원주	121 영월	211 인제	212 홍천	216 태백
속초	100										
고성	100										
원주							100				
양구								100			
춘천				100							
철원		100									
화천		35.8		54.0					10.1		
인제	11.6								88.4		
양양	61.1		22.2		16.7						
홍천			19.2						13.0	67.8	
횡성							55.2			44.8	
평창			69.0					31.0			
강릉			38.6		51.2	10.2					
정선			29.2			14.9		28.9			27.0
삼척						41.2					58.8
영월								77.7			22.3
태백											100
동해						100					

2.2 시군별 일별강우량 산정

<그림 4.12>와 <표 4.9>를 통해 산정된 티센망에 의한 면적가중법을 통해서 11개 기상관측소의 일강우자료를 활용하여 18개 시군별 일강우자료를 생성했다. 속초-고성은 속초기상관측소에 포함되는 동일한 수문영향권으로 총 17개의 1982년부터 2011년까지 30개년의 일강우자료를 생성했다.

30년간의 시군별 강우량의 기본통계치는 <표 4.10>, <그림 4.13>과 같다.



〈표 4.10〉 30년간 시군별 강수량 통계

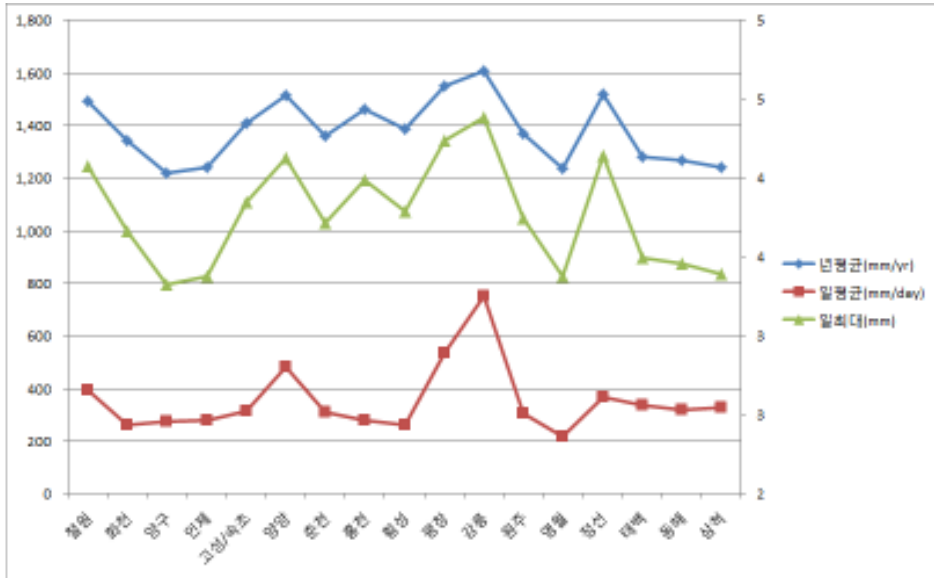
시군	철원	화천	양구	인제	고성/속초	양양
년평균 (mm/yr)	1491.2	1342.8	1218.0	1240.1	1408.5	1513.7
일최대 (mm)	394.1	262.5	275.8	279.0	314.2	484.1
일평균 (mm/day)	4.0723	3.6664	3.3281	3.3791	3.8464	4.1265
시군	춘천	홍천	횡성	평창	강릉	원주
년평균 (mm/yr)	1359.3	1462.1	1385.8	1549.2	1606.6	1370.3
일최대 (mm)	308.5	280.8	261.9	534.1	753.3	305.0
일평균 (mm/day)	3.7125	3.9905	3.7860	4.2340	4.3872	3.7437
시군	영월	정선	태백	동해	삼척	
년평균 (mm/yr)	1236.6	1516.7	1279.4	1266.3	1241.5	
일최대 (mm)	218.5	369.0	338.5	319.5	329.3	
일평균 (mm/day)	3.3771	4.1389	3.4942	3.4604	3.3910	

권역별 주요 대표 시군의 연평균 강수량 변화는 <그림 4.14>와 같다. 변화패턴은 유사했으며, 영동지역이 영서지역에 비해 강수량이 많았으며, 남쪽이 북쪽에 비해 강수량이 많은 경향을 보이고 있다.

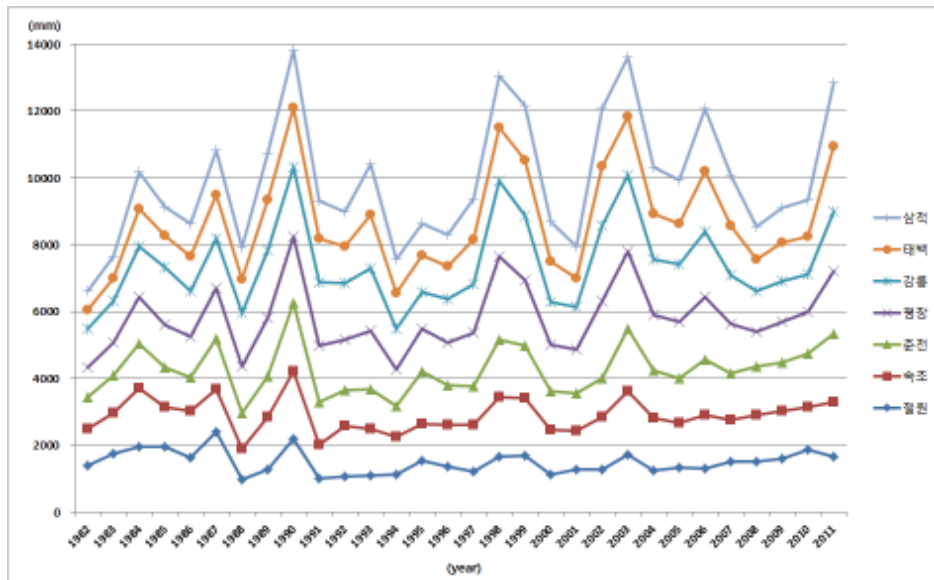
### 2.3 시군별 SPI 분석

시군별 생성된 30년간 일별강우자료를 활용하여 시군별 SPI지수를 산정하였다. SPI는 3개월, 6개월, 9개월, 12개월에 대해 산정했으며, 자세한 산정결과는 <부록 A>에 수록하였다. 18개시군 전체에서 보통가뭄은 1~2년에 한번씩 발생하고 있으며, 극한가뭄은 30년 동안 평균 1~2회 정도 발생하는 것을 알 수 있었다. <그림 4.15>는 속초-고성의 기간별 SPI 지수 산정결과를 보여주고 있으며, <표 4.11>에는 시군별 기간별 가뭄심도에 따라 발생하는 평균 개월 수를 보여주고 있다.

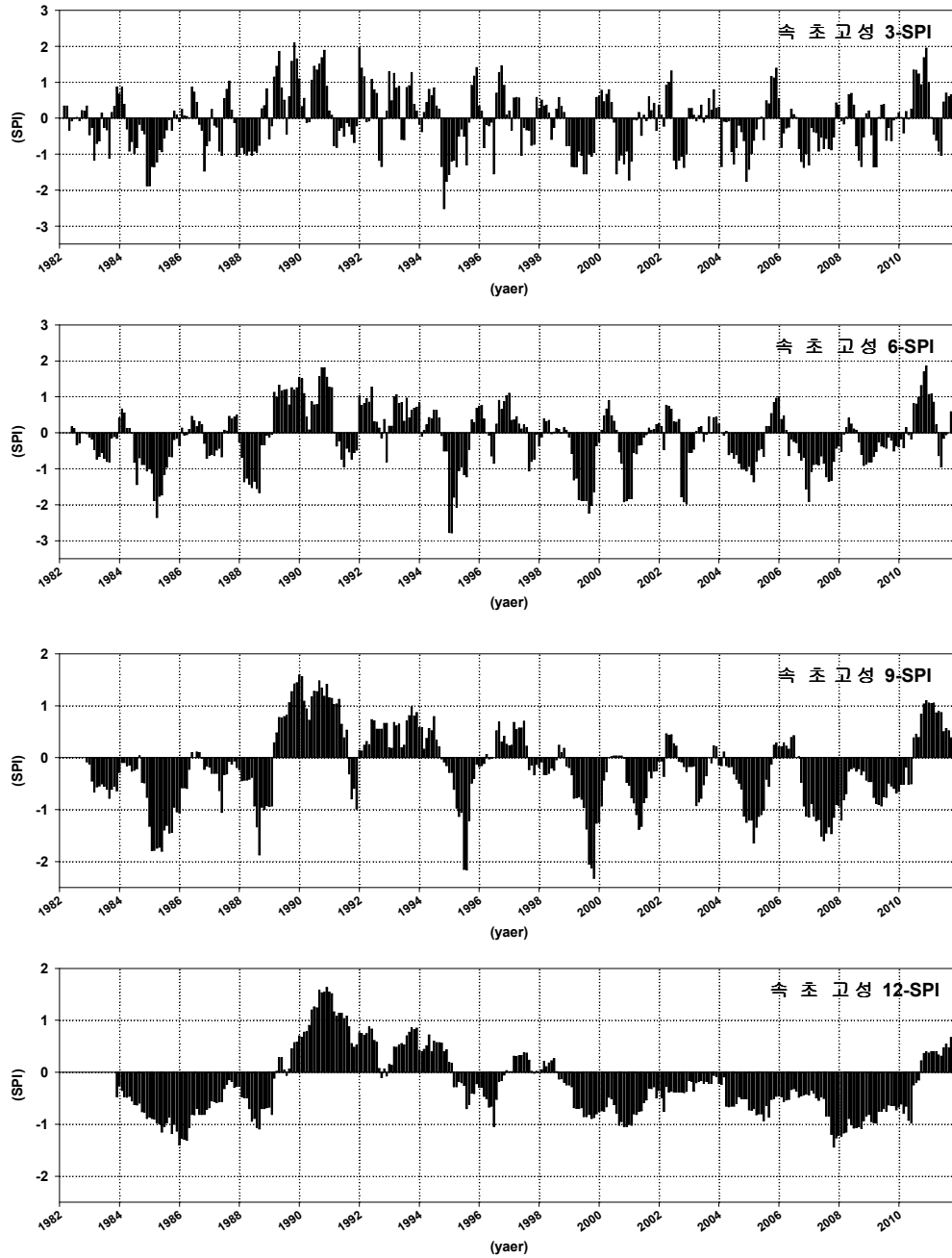




<그림 4.13> 최근 30년간 시군별 강수량 통계



<그림 4.14> 연평균 강수량 변화



<그림 4.15> 고성군-속초시의 SPI 지수 산정결과

〈표 4.11〉 시군별 기간별 가뭄심도별 발생 횟수

구분	기간	≥ -0.5	≥ -1	≥ -1.5	≥ -2.0	< -2.0
철원	3-SPI	2.93	1.83	1.7	0.37	0
	6-SPI	2.43	2.3	1	0.8	0.03
	9-SPI	3.2	2.33	1.2	0.43	0.1
	12-SPI	4.47	2.63	0.83	0.27	0
화천	3-SPI	3.1	2.5	1.07	0.53	0.03
	6-SPI	3.37	2.73	1	0.27	0
	9-SPI	6.07	2.07	0.77	0.03	0
	12-SPI	6.7	3	0.1	0	0
양구	3-SPI	3.53	2.47	0.93	0.43	0.07
	6-SPI	3.9	2.93	0.73	0.17	0.17
	9-SPI	5.5	2.67	0.67	0.13	0
	12-SPI	6.17	2.87	0.13	0	0
인제	3-SPI	3.63	1.9	1.23	0.5	0.07
	6-SPI	3.73	2.63	0.8	0.2	0.17
	9-SPI	5.67	2.3	0.83	0.07	0
	12-SPI	5.83	3.47	0.1	0	0
고성-속초	3-SPI	2.63	1.93	1.43	0.33	0.03
	6-SPI	2.57	2.2	0.77	0.7	0.2
	9-SPI	3.63	2.07	1.2	0.3	0.17
	12-SPI	3.07	3.8	0.93	0	0
양양	3-SPI	2.6	1.3	1.8	0.57	0.1
	6-SPI	2.37	2.3	0.87	0.73	0.27
	9-SPI	2.9	2.5	1.27	0.37	0.1
	12-SPI	3.37	2.87	1.4	0.03	0
춘천	3-SPI	3.4	2.37	1.07	0.53	0.03
	6-SPI	3.53	2.5	1.13	0.17	0.1
	9-SPI	6.4	2.4	0.6	0.03	0
	12-SPI	6.83	2.9	0.1	0	0

〈표 4.11〉 계속

구분	기간	$\geq -0.5$	$\geq -1$	$\geq -1.5$	$\geq -2.0$	$< -2.0$
홍천	3-SPI	2.83	1.77	1.5	0.47	0.03
	6-SPI	3.37	1.83	1.23	0.37	0.13
	9-SPI	4.63	2.33	0.8	0.23	0
	12-SPI	5.17	3.8	0.17	0	0
횡성	3-SPI	2.7	2.67	1.37	0.4	0
	6-SPI	3.37	2.27	1.5	0.3	0
	9-SPI	6.13	2.37	0.8	0.03	0
	12-SPI	6.87	3.07	0.1	0	0
평창	3-SPI	2.4	1.9	1.47	0.67	0.13
	6-SPI	2.47	1.73	1.73	0.67	0
	9-SPI	2.63	1.7	1.37	0.7	0
	12-SPI	2.8	2.93	0.2	0.67	0.03
강릉	3-SPI	2.63	1.63	1.33	0.83	0.1
	6-SPI	1.8	2.6	0.83	0.8	0.23
	9-SPI	2.63	2.4	1.33	0.6	0
	12-SPI	3.1	2.67	1.5	0.13	0
원주	3-SPI	3.37	1.93	1.6	0.3	0
	6-SPI	3.83	2.43	1.3	0.2	0
	9-SPI	6	2.97	0.53	0.03	0
	12-SPI	6.6	3.13	0.07	0	0
영월	3-SPI	3.33	1.97	1.3	0.43	0.07
	6-SPI	3.37	2.87	0.93	0.43	0.03
	9-SPI	5.27	2.7	0.53	0.23	0
	12-SPI	6.4	2.33	0.57	0.07	0
정선	3-SPI	2.7	1.87	1.4	0.7	0.07
	6-SPI	2.77	1.93	1.4	0.53	0.1
	9-SPI	3.17	2.67	1.33	0.27	0
	12-SPI	4.5	3.07	0.6	0.3	0

〈표 4.11〉 계속

구분	기간	$\geq -0.5$	$\geq -1$	$\geq -1.5$	$\geq -2.0$	$< -2.0$
태백	3-SPI	2.67	2.3	1.47	0.3	0
	6-SPI	3.5	1.97	1	0.7	0.03
	9-SPI	3.9	2.17	0.9	0.37	0.1
	12-SPI	5.77	2.1	0.3	0.43	0
동해	3-SPI	2.93	1.83	1.7	0.37	0
	6-SPI	2.43	2.3	1	0.8	0.03
	9-SPI	3.2	2.33	1.2	0.43	0.1
	12-SPI	4.47	2.63	0.83	0.27	0
삼척	3-SPI	2.6	2.07	1.77	0.33	0
	6-SPI	2.5	2	1.2	0.73	0.03
	9-SPI	3.27	1.9	0.87	0.63	0.1
	12-SPI	6.6	1.3	0.23	0.57	0.03



### 제3절 기후변화 시나리오에 따른 가뭄예측

#### 1. 기후변화 시나리오

기후변화에 대한 예측과 그 영향에 대한 연구의 근본목적은 기후변화와 연관된 분야 즉, 넓게는 기상에서 임상병리학 까지 산림과 같은 식생에서 농작물까지 그리고 수자원에서 미시경제학까지의 영향을 파악하여 예측하므로 우리에게 예견된 미래를 설계 하도록 하는 것이 그 목적 이며, 기후변화 예측은 과거의 관측자료 분석에 의한 경험적 통계방법과 GCM 같은 수치모델을 이용하는 방법으로 크게 나누며, 현재 약 20년 전 부터 선진국에서 GCM을 이용한 온실기체 증가에 기인하는 기후변화에 대한 예측을 실시하여 온 바 있으며, 기후시나리오는 인간에 기인한 잠재적 영향을 조사하는데 사용되기 위해서 구성된 미래기후의 표현이다. 세계 각국에서 기후변화에 관한 보고서는 정부 간 기후변화 협의체(IPCC)에서 작성되며, IPCC는 1988년 설립된 이래 세 차례(1990, 1995, 2001)의 평가 보고서를 발행하였으며, 2007년에는 제4차 보고서를 발간하였다. 2013년 5차 보고서 발간될 예정이다.

<표 4.12> IPCC 발간 기후변화 평가보고서

IPCC 보고서	발간연도	영문약어
1차	1990	FAR
2차	1995	SAR
3차	2001	TAR
4차	2007	AR4

IPCC 기후시나리오의 개발은 working group I의 기후변화 과학에 관한 평가, working group II에서는 기후변화의 영향, 적응, 취약성 평가, working group III에서

는 배출시나리오를 전담하고 있다.

IPCC에서는 인구 통계 및 사회 경제적 발달 등에 따른 온실가스 농도의 변화를 예측하여 온실가스 배출 시나리오를 제공하고 제공 하고 있다. IPCC의 특별보고서로부터 SRES(Special Report on Emission Scenarios) 시나리오를 발표하고 있다. 시나리오는 1995년 2차 보고서에서 SAR(1995) IS92 scenarios로, 2001년 3차보고서에서 TAR(2001)SRES scenarios로, 2007년 4차보고서에서 AR4(2007) SRES scenarios로 발전시켜 오고 있다. 이러한 배출 시나리오를 기반으로 전 세계 기관에서 기후전망을 예측하고 있다.

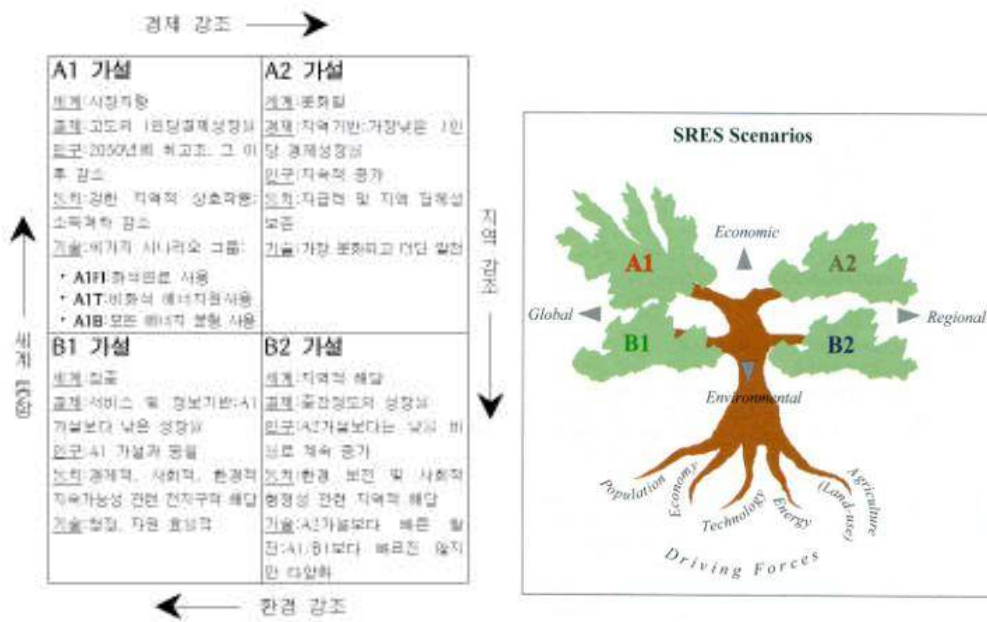
FAR의 배출시나리오는 온실가스(CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, CFCs, CO, NO<sub>x</sub>) 기체들의 2100년까지의 배출을 포함하는 것으로, 경제성장과 인구는 네 가지 시나리오(A, B, C, D)에서 동일하게 가정되고, business-as-usual 시나리오(시나리오 A)하에서 에너지 공급이 석탄에 집중되어 있으며, 2100년까지 대기 중 CO<sub>2</sub> 배출 농도가 6.84Wm<sup>-2</sup>로 될 것으로 예상하는 시나리오이며, 시나리오 B는 온실가스 배출 역제가 낮은 시나리오로 2100년 까지 대기 중 CO<sub>2</sub> 배출 농도가 4.43Wm<sup>-2</sup>로 될 것으로 예상 하였다. 시나리오 C는 2100년 까지 3.624Wm<sup>-2</sup>의 배출을 예상 하였으며, 시나리오 D는 2.904Wm<sup>-2</sup> 까지 될 것으로 예상 하였다.

SAR에서 사용된 IS92 시나리오(IS92a ~ f)들은 1990년부터 2100년에 대하여 인구와 경제성장, 토지이용도, 기술변화, 에너지 활용도, 연료혼합물에 관한 가정에 기초를 두고, 온실기체와 에어로솔 전구물질의 범위를 달리 하였다. IS92a 시나리오는 2100년에 전 세계 인구를 113억, 2.3%의 경제성장, CO<sub>2</sub> 배출 농도 733ppm 을 예상한 시나리오이며, IS92c시나리오는 2100년에 전 세계 인구는 64억, 경제성장은 1.2%증가, CO<sub>2</sub> 배출 농도는 485ppm이고, IS92e 시나리오는 2100년까지 전 세계인구 113억, 경제성장 3.0%, CO<sub>2</sub> 배출 농도는 986ppm으로 예상한 시나리오이다.

1996년 IPCC는 IS92시나리오를 대체하는 새로운 시나리오를 개발하기 시작하여, TAR이후부터 사용되어 오고 있으며, A1, A2, B1, B2의 네 가지 SRES배출 시나리오군을 개발하여, 미래의 온실가스와 황산염 에어로솔을 인구통계, 경제, 기술적 측면에서 다루며, 이중 A1 시나리오는 저인구 성장에 기초한 고도 경제성장 시나리오로 세계지역간의 벽은 축소되고, 지역간의 사회구조 1인당 소득도 점차 어느 방향으로 수렴되는 사회를 기술하며, 에너지에서의 기술 변화 방향성에 의해 경제의 급속한 성장, 최고의

지구촌 인구, 기술의 급속한 발전을 가정하며, 에너지 시스템의 기술변화 대응 방안에 따라 화석의 존형 시나리오로서 2100년까지 대기 중 CO2 배출 농도가 970ppm을 예상하는 시나리오(A1F1), 자원균형 형으로 2100년까지 CO2 배출 농도 540ppm을 예상하는 시나리오(A1B), 비화석형 연료형으로써 2100년까지 CO2 배출 농도가 720ppm을 예상하는 시나리오(A1T)의 3개 그룹으로 나누고 있다.

A2 시나리오는 지역주의가 높은 시나리오로서 각 지역은 블록화하고, 인구의 지속적 증가하여 세기말 약 150억 정도를 가정하고, 경제발달이 느리고, 기술 진보도 상대적으로 느린 세계를 설명하는 것으로 2100년까지 CO2 배출 농도가 830ppm을 예상하는 시나리오이며, B1 시나리오는 지구 인구의 경우 A1과 같지만 부가적인 기후 이니셔티브 없이 개선된 형평성을 포함하여, 경제, 사회, 환경 분야의 지속 가능성에 대한 전지구적 해결점을 강조하는 시나리오로서, 2100년 CO2 배출 농도가 550ppm을 예상한다. B2 시나리오는 인구와 경제성장이 A1과 B1의 중간 단계정도이며, 경제적, 환경적, 사회적 지속 가능성에 대한 지역적 해결을 강조하며, 2100년 CO2 배출 농도가 600ppm을 예상한 시나리오이다.



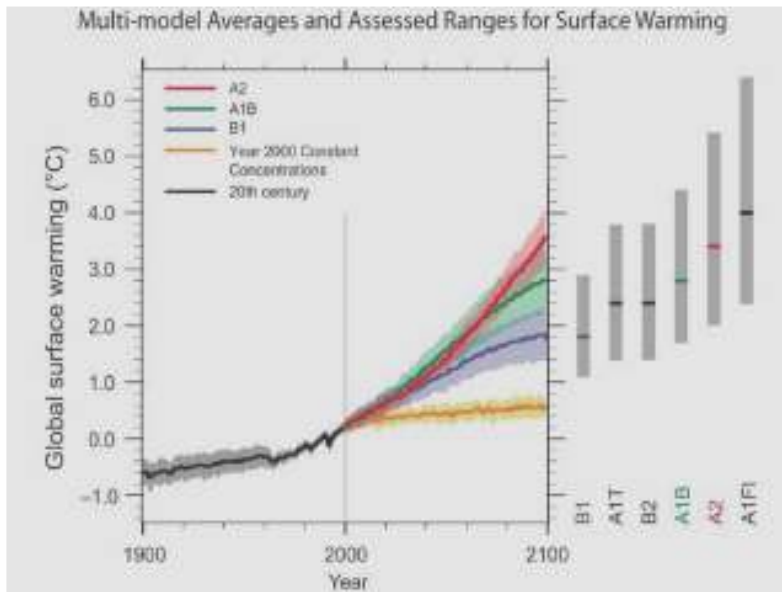
<그림 4.16> SRES 시나리오 개요



<표 4.13> 온실가스 배출시나리오의 배출인자별 특성 비교(Tar)

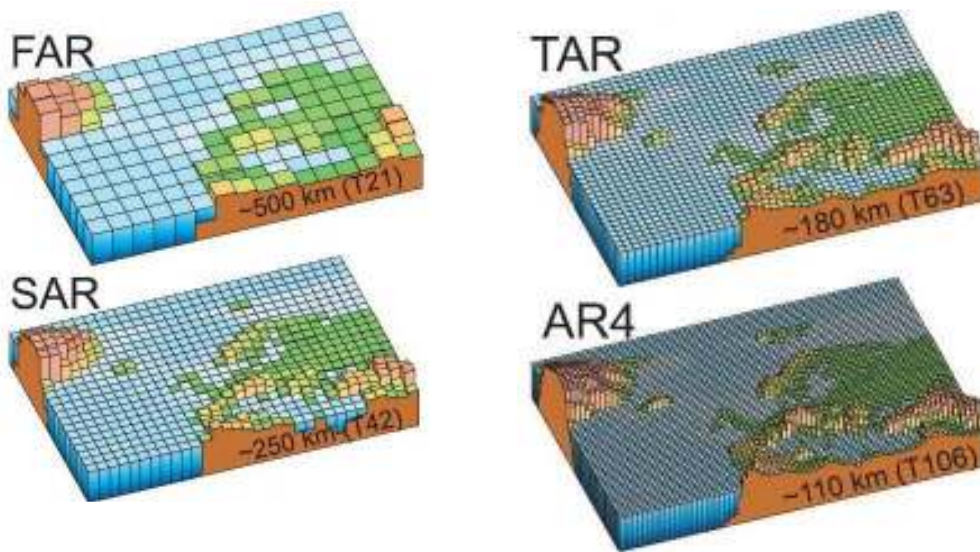
시나리오	SRES						
	A1						
시나리오 그룹	A1C	A1G (석탄)	A1B (석유)	A1T	A2	B1	B2
인구성장	낮음	낮음	낮음	낮음	높음	낮음	중간
경제성장	매우 높음	매우 높음	매우 높음	높음	중간	높음	중간
에너지 수요	낮음~중간	낮음~중간	낮음	낮음	높음	낮음	중간
토지사용변화	높음	높음	중간	중간	중/소	높음	중간
에너지자원 사용가능성	높음	높음	중간	중간	낮음	낮음	중간
기술 변화	빠름	빠름	빠름	빠름	느림	중간	중간
기술변화의 방향성	석탄	석유 및 가스	균형	비화석 연료	지역적	효율성 및 탈물질	보통의 Dynamic

출처 : 전성우 외 2004. 기후변화영향평가모델 재인용



<그림 4.17> 시나리오별 지표온도 상승 전망

이러한 기후시나리오는 사용하는 수치 모델에 따라 좌우되며, 지난 수십 년간 이러한 모델의 연속적인 변천은 1070년대부터 현재까지 30년 동안 대략 100만 배로 증가된 슈퍼컴퓨터의 연산능력 증가로 발전해 오고 있으며, 이러한 연산과정은 모델의 복잡성, 모사기간, 공간분해능의 증가를 가능하게 하였으며, 따라서 미래기후를 전망하는 모델들은 시간의 경과와 함께 발전되어 왔다(그림 4.18).



<그림 4.18> IPCC 평가 보고서; FAR(1990), SAR(1996), Tar(2001), Ar4(2007)에서 사용된 기후모델의 세대별 지리적 해상도 특징(2007 IPCC보고서 기후변화 과학적 근거)

기후모델은 1970년대에는 대기모델로만 구성된 전구순환모델(General Circulation Model, GCM), 1980년대는 지표모델, 1990년대 초는 해양-해빙 모델이 추가 개발되어 급속히 발전한다. 1990년대 중반이후 황순환 및 에어로솔 모델, 탄소모델이 추가되어 인위적 기후변화를 예측하기 위한 적합 모델로서 진보되고 있다.

1990년 Far에서의 대기-해양 결합은 매우 초보적인 단계로서, 대부분 Atmospheric-Ocean Mixed layer model을 사용하였으며, 비역학 slab 모델과 대기 모델을 결합한 결과에 의존하였기 때문에 ENSO(엘리뇨-남방진동, El nino-Southern

Oscillation) 와 관련된 변동성을 모의 할 수 없었다.

1995년 SAR에서는 결합모델이 급격히 가속되기 시작하였고, BMRC, CCC, COLA, CSIPO, GFDL, GISS, IAP, MPI, MRI, NCAR, UKMO. 총 11개의 결합모델이 사용되어, 기후의 대규모 특징들이 평균적으로 잘 모의 되었으며, 반구, 대륙 등의 큰 공간 규모의 모의가 지역규모 결과보다 정확 하게 모의되기 시작 하였다. 일부 AOGCM(Atmospheric-Ocean General Circulation Model)에서 ENSO를 닮은 변동성이 CO2증가에 따라 거의 변화가 없으나 적도상 동태평양에서 해수면 변동성의 감소를 보였고, ENSO와 같은 변동성이 포함된 전 지구 AOGCM은 열대지역 동서평균 하층대류권의 기온에서 연간 변동성이 주로 열대성대륙에 미치는 영향으로 증가 할 수 있다고 제기 하고 있다.

2001년 TAR에서는 미래기후 예측을 위한 모델의 능력에 대한 신뢰도가 증가 하였으며, 이 시기에도 모델은 기후의 모든 양상은 모의 할 수 없고, 특히, 구름, 구름-복사, 구름-에어로솔간의 상호작용에는 불확실성이 있었음, 몇 모델에서는 열과 수증기 플럭스의 비물리적인 보정없이 최근 기후에 대한 모의 결과를 생산하여 만족스러운 결과를 보였고, 이 시기에 이르러 결합모델을 이용한 ENSO 모의 능력이 개선되었지만, 엘리뇨와 관련된 해수면 온도의 최대 변동 지역은 서쪽으로 옮겨져 나타났고 강도는 약하게 나타났다. 이전까지 결합모델에서 모의 하지 못했던 몬순과 북대서양 진동(NAO)을 포함한 다른 현상들이 TAR에서 다루어지기 시작하였고, 총 21개 ARPEGE/OPA2, BMRCa, CCSR/NIES, CCSR/NIES2, CSM1.0, CSM1.3, ECHHAM/OPYC, GFDL\_R15\_a, GFDL\_R15\_b, GFDL\_R15\_c, GISS2, GOALS, HadCM#, IPSL-CM2, MRI1, MRI2, DOE, PCM의 GCM 모델이 사용되었다.

2007년 AR4 WG1 SPM에서는 다양한 모델로부터 가능한 시뮬레이션수가 보장된 관측 자료를 바탕으로 미래 기후변화 추정에 대한 정량적 근거를 제공하였으며, TAR 이후 AOGCM은 다양한 시간 규모대에서 대규모 변동을 더 잘 묘사 할 수 있으며, AR4의 모델들은 북반구와 남반구 연동 모드, PDO(태평양 10년 주기 진동(Pacific Decadal Oscillation, PDO), PNA(Pacific North America)등의 중위도 패턴을 잘 묘사 할 수 있게 되었으며, 적도에서는 엘리뇨의 주기와 공간 패턴 등이 향상 되었으나, Seasonal phase locking, 엘리뇨-라니냐간의 비대칭성 등은 여전히 보완할 문제점으로 남아 있다. AR4에서는 총 23개의 BCC-CM1, BCCR-BCM2.0, CCSM3,

CGCM3.1(T47), CGCM3.1(T63), CNRM-CM3, CSIRO-MK3.0, ECHAM5/MPI-OM, ECHO-G, FGOALS-g1.0, GFDL-CM2.0, GFDL-CM2.1, GISS-AOM, GISS-EH, GISS-ER, INM-CM3.0, IPSL-CM4, MIROC3.2(hires), MIROV3.2(medres), MRI-CGCM2.3.2, PCM, UKMO-HadCM3, UKMO-HadGEM1 GCM 결합모델이 사용되어 미래기후 변동을 예측하였다.

이러한 모델로 산출된 자료들은 공간적으로 전 지구를 시간적으로 장기간이 포함되기 때문에 공간 해상도가 약 400km으로 매우 넓다. 지구규모의 기후변화는 결과적으로 지역기후의 변화로 나타날 것이므로 이를 지역차원에서 예측하는 지역기후모형(Regional Climate Model, RegCM)이 필요하다. 지역기후모형은 GCM 모의 결과를 직접 분석하거나 통계모형 또는 3차원의 역학모형을 이용하여 산출할 수 있다. IPCC는 여러 개의 GCM으로 모의한 결과를 종합 분석하여 미 대륙중북부, 동남아시아, 아프리카 사하라지역, 남부 유럽, 호주 대륙의 기후변화를 유추하였다.

컴퓨터의 계산능력이 상당히 증가하였지만, 현재도 CGCM의 수평해상도는 매우 낮기 때문에 복잡한 지형을 가진 지역에서 지역적 강제력 효과를 잡아낼 수 없기 때문에 낮은 해상도의 GCM 모의 결과로부터 고해상도 지역기후 정보를 만드는 다운스케일링(Downscaling)방법이 제안되었고, 통계적 방법과 역학적인 지역기후모의 모형이 사용되고 있다.

20세기 후반 들어 기후변화가 환경, 사회, 경제에 미치는 영향을 평가하는데 있어 고해상도 정보를 요구하기에 이르렀다. 하지만 지역기후모델의 고해상도 자료를 생산하는 데에는 빠른 계산 능력을 지닌 컴퓨터가 필요하나 과거의 컴퓨터 능력은 제한적이었다. 그래서 과거에 고해상도 수치모델 자료는 주로 단기간의 일기예보를 목적으로 사용되어왔다. 이와 같은 컴퓨터 계산 능력의 제한 때문에 전지구모델에서 저해상도시나리오 자료를 생산하는 데에도 많은 제약을 받았다. 이에 저해상도결합 GCM안에 고해상도 지역 모델을 내삽(nesting)하는 기법이 개발되고, 최근 컴퓨터 성능이 향상됨에 따라 영국, 미국, 일본, 독일, 캐나다 등을 중심으로 고해상도 지역기후모델을 사용하여 장기간에 걸친 미래 기후변화 시나리오 자료를 생산하기 위한 노력들이 활발하게 진행되고 있다. 결론적으로 최근에는 전지구 기후모델들이 생산한 기후변화 시나리오 자료가 어느 정도 분석됨에 따라 고해상도의 상세한 지역에서의 미래 기후변화 시나리오 자료 생산으로 그 초점이 바뀌어 가고 있다.

이전에 언급되었던 기후모델들은 즉, 지구 순환모델(global circulation model, GCM)들은 대략 크기가 300km의 수평해상력을 가지는 것으로, 격자 크기와 비교하여 규모가 큰 기상과 기후는 상당히 잘 묘사하고 있지만, 지역규모의 격자 크기를 가지는 규모에서는 지구모델의 결과로는 상당한 한계를 가지고 있기 때문에 지역규모에서 실질적으로 나타나는 현상들을 설명하기에는 부족하다. 이러한 한계를 극복하기 위하여 개발된 것이 지역기후모델(regional climate model)이다. 수평해상도로 보면 대략 25km, 50km에서 지역을 적절하게 다룰 수 있는 모델이 지구모델에서 동지격자화(nested) 될 수 있다. 지구모델은 RCM을 위하여 대규모 강제력에 의한 대기 순환의 방응과 경계 정보의 병화를 제공하며, 강제력과 관련되는 물리적 정보는 지역규모의 격자에 입력되고 상세 순환의 변화는 RCM에 나타난다. RCM은 GCM에 포함된 것 보다 더 작은 규모의 강제력(특히 지형과 피복의 비 동질성에 기인)을 설명할 수 있으며, 더 작은 규모에서 대기 순환과 기후변수들을 모의 할 수 있다(John Houghton, 2004).

또한, 통계적 규모 축소법(Downscaling)은 전지구 기후모델은 표현 할 수 없는 상세한 예측 값을 산출하기 위해 사용된다. 규모축소방법으로는 통계적 방법과 역학적 방법이 있는데, 통계적 방법은 장기간의 관측 자료를 이용하여 대규모 기후변화와 국기 기후변수간의 관계를 이용하여 산출하여 보정하는 것으로 산출된 관계는 전지구 기후모델의 결과로부터 국지 변수를 계산하는데 사용된다. 역학적 방법은 전지구 기후모델 결과에서 주어지는 시간중속 경계조건을 가지고 지역기후모델을 이용하는 방법이다.

오성남 등(1995)은 지구환경 감시 및 기후변화 예측 기술 보고에서 5개의 GCM에서 모사된 1× CO<sub>2</sub> 기후의 남한지역의 강수량을 분석한 결과 GCM이 남한지역과 같은 소규모 지역의 강수량을 모의 하는데는 상당한 어려움과 불확실성이 존재하며, 배증 CO<sub>2</sub> 에 기인하는 남한지역의 강수량 변화는 사용된 모델에 따라 크게 다르며 이러한 결과들은 GCM의 낮은 공간 분해능과 강수량을 결정하는 물리적 과정이 모델의 공간 분해능보다 작은 소규모 현상이라는 점에 기인한다고 볼 수 있으며, 의미 있는 그리고 일관성 있는 결과를 얻기 위해서는 GCM이 적어도 중규모(mesoscale)기상 현상을 모의 할 수 있도록 모델의 공간 분해능이 높아질 필요가 있다고 하였다.

## 2. 시군별 기후변화 시나리오 생성

### 2.1 통계적 상세화(downscaling)을 위한 자료수집

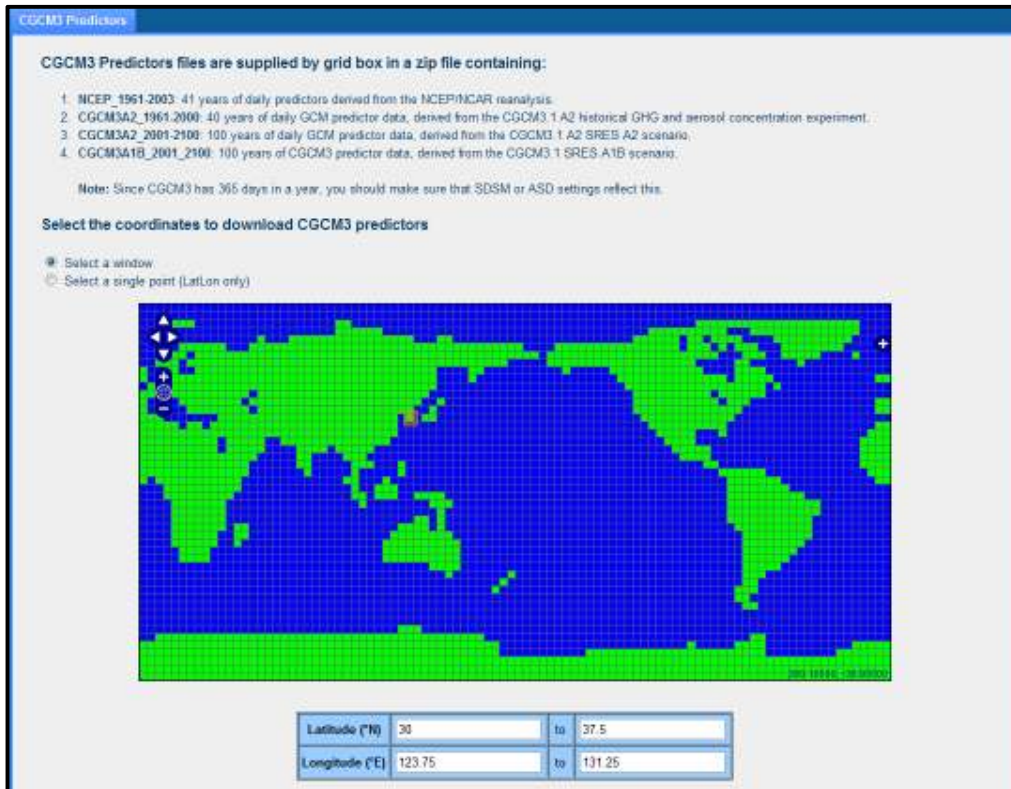
기후변화 SRES시나리오에서의 격자는 110km 이상으로 본 연구와 같이 강원도 시군을 대상의 기후시나리오는 생성되어 있지 않다. 특히나 시군별 일별 강수량 예측은 제공되는 GCM자료를 활용하여 상세화 후 활용하는 방법을 사용해야 한다. GCM 자료는 전지구적인 기후예측 모델로써 광역규모의 기후예측에는 좋은 모델이나 각 지역별 즉, 지역규모의 기후예측 모델로써는 넓은 격자로 인하여 자세하게 모사할 수 없는 단점이 존재하고 있다. 이에 지역별 기후예측을 위해서는 축소법이 사용되게 된다. 축소법의 종류로는 통계적 축소법(Statistical Downscaling)과 동적 축소법 (Dynamical Downscaling) 으로 나눌 수 있으며, 두 방법은 <표 4.14>와 같이 각각의 장·단점이 존재하고 있으므로, 각각의 방법에 적합한 축소법을 적용하여 사용하는 것이 좋다. 본 연구에서는 지역규모의 관측자료와 광역규모의 GCM 자료들 간에 통계적 관계를 도출하고 이를 통해 지역규모의 고해상도 자료를 얻을 수 있는 통계적 축소법을 사용하였다.

<표 4.14> 통계적 축소법과 동적 축소법의 장단점

	통계적 축소법	동적 축소법
장점	<ul style="list-style-type: none"> <li>- GCM에서 지점 단위의 기후정보 습득 가능</li> <li>- 다양한 지역을 대상으로 사용가능</li> <li>- 관측지 자료 직접사용 가능</li> <li>- 통계학적 이론에 근거</li> <li>- 계산이 빠르고 비용이 저렴함</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- GCM 결과값으로 인하여 10-50km 정도의 고해상도 자료추출 가능</li> <li>- 물리적 진행과정이 고려됨</li> </ul>
단점	<ul style="list-style-type: none"> <li>- GCM 경계조건의 현실성에 의존</li> <li>- 장기간의 관측자료 필요</li> <li>- 사용변수에 따라 결과치 달라짐</li> <li>- 지역과 계절의 영향이 이론에 직접 영향을 미침</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- GCM 경계조건의 현실성에 의존</li> <li>- 계산이 느리며 많은 비용 필요</li> <li>- 사용가능 시나리오의 숫자가 적음</li> <li>- GCM결과의 영향력이 큼</li> </ul>

본 연구에서는 사용된 전지구모형(GCM)은 캐나다 CCCMA(Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis)에서 제공한 CGCM3.1 T47 모델을 사용하였다. 모델에 대한 입력자료와 상세화를 위한 프로그램은 DAI Portal(<http://loki.qc.ec.gc.ca/DAI>)

에서 제공하고 있으며 CGCM3.1 자료의 기간은 2001~2100년 이며, 격자의 간격은 가로, 세로 각각 3.75°로 큰 격자 간격을 보인다.

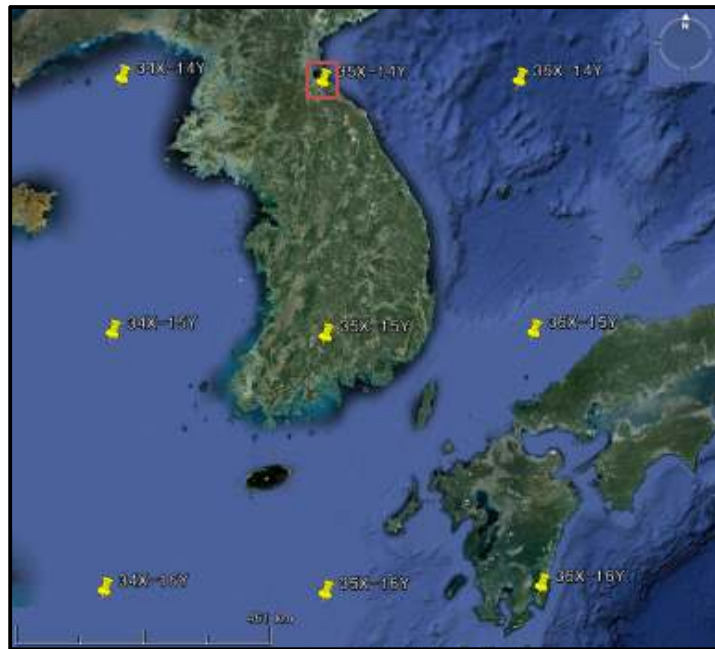


<그림 4.19> DAI Portal에서 제공하는 GCM 격자

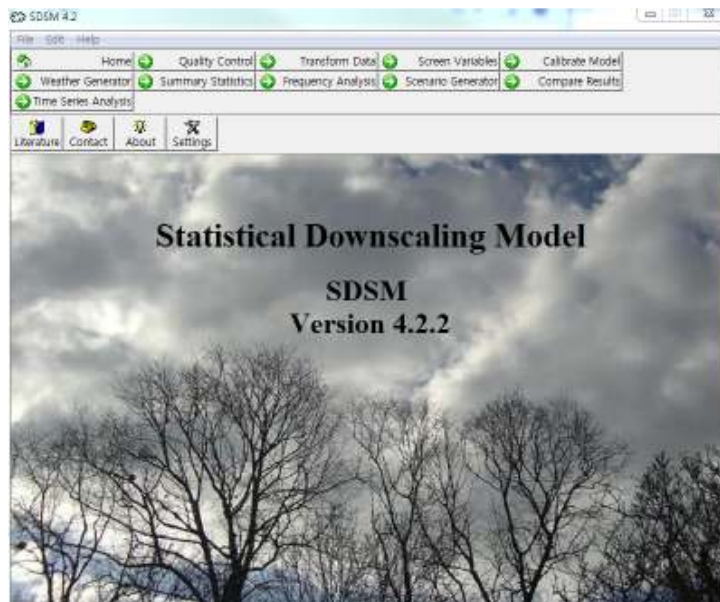
본 연구에서는 한반도 인근의 9개(그림 4.19)의 GCM 격자점 중 강원도와 가장 가까운 35X-14Y 지점(그림 4.20)의 자료들을 중선형 회귀분석을 통하여 선형회기식을 생성하여 강우자료를 생성하였다.

본 연구에서는 전절에서 사용한 강원도내 18개 시군 강우자료를 DAI Portal에서 제공하는 SDSM(Statistical Downscaling Model, 그림 4.22)을 사용하여 시군별 미래 강우자료를 생성했다.

SDSM에서는 <그림 4.22>와 같이 7단계를 거쳐 통계적으로 상세화된 기후 시나리오를 생성해 준다.

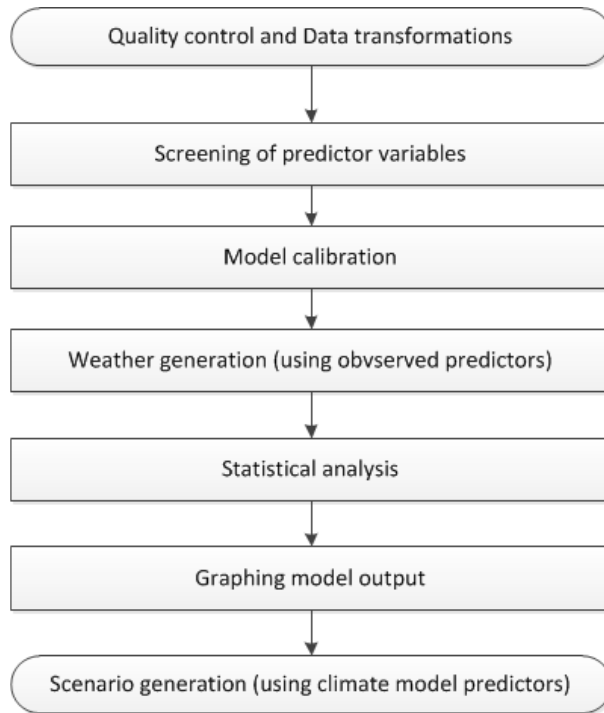


<그림 4.20> 한반도 주변 GCM 지점



<그림 4.21> SDSM 초기화면





<그림 4.22> SDSM 상세화 과정(Wilby 등, 2007)

## 2.2 통계적 축소법의 개요

전지구 모형(GCM)은 모델의 격자 간격, 모수화의 불완전으로 인하여 지역 규모의 상세한 기후 분포보다는 광역규모의 대기변동을 예측하는데 유리하다[4]. 또한 위에서 명시한바와 같이 CGCM의 위도·경도는 각각  $3.75^\circ$ 로 지역 규모의 즉, 우리나라의 세부 지역까지 완전하게 기상현상을 표현 할 수 없으므로 고해상도의 자료를 얻기 위해서 통계적 축소법이 사용된다.

통계적 축소법을 이용하여 고해상도의 지역규모 기상데이터를 잘 모사하기 위해서는 광역규모의 독립변수(Predictor)와 지역규모의 종속변수(Predictand)간의 상호 밀접한 연관성이 필요하다. 여기서 Predictor는 통계적 축소법에 의한 회기분석 모형을 만들기 위해 입력되는 데이터로서 GCM 등 광역규모의 데이터를 말한다. Predictand는 출력 데이터로써 실제측정이 가능한 온도, 강수 등의 지역 규모의 변수들이 사용된다 (Benestad 등, 2008).

$$\vec{y} = f(\vec{x}) \quad (4.1)$$

식(4.1)은 Predictor와 Predictand의 관계를 나타내는 식으로  $\vec{x}$ 는 Predictor를 나타내고  $\vec{y}$ 는 Predictand를 의미한다(Benestad 등, 2008).

### 2.3 선형회귀분석

회귀분석이란 여러 개의 변수들간의 관계를 함수식으로 모형화 하기위한 분석방법으로써 종속변수를 1개 이상의 독립변수들의 선형함수모형으로 표현한다. 독립변수가 2개 이상인 경우 선형회귀모형을 중선형 회귀모형 (MRL, Multiple Linear Regression Model)이라 한다(염준근, 2005). 본 연구에서는 독립변수가 2개 이므로 중선형 회귀분석식은 식(4.2)와 같다.

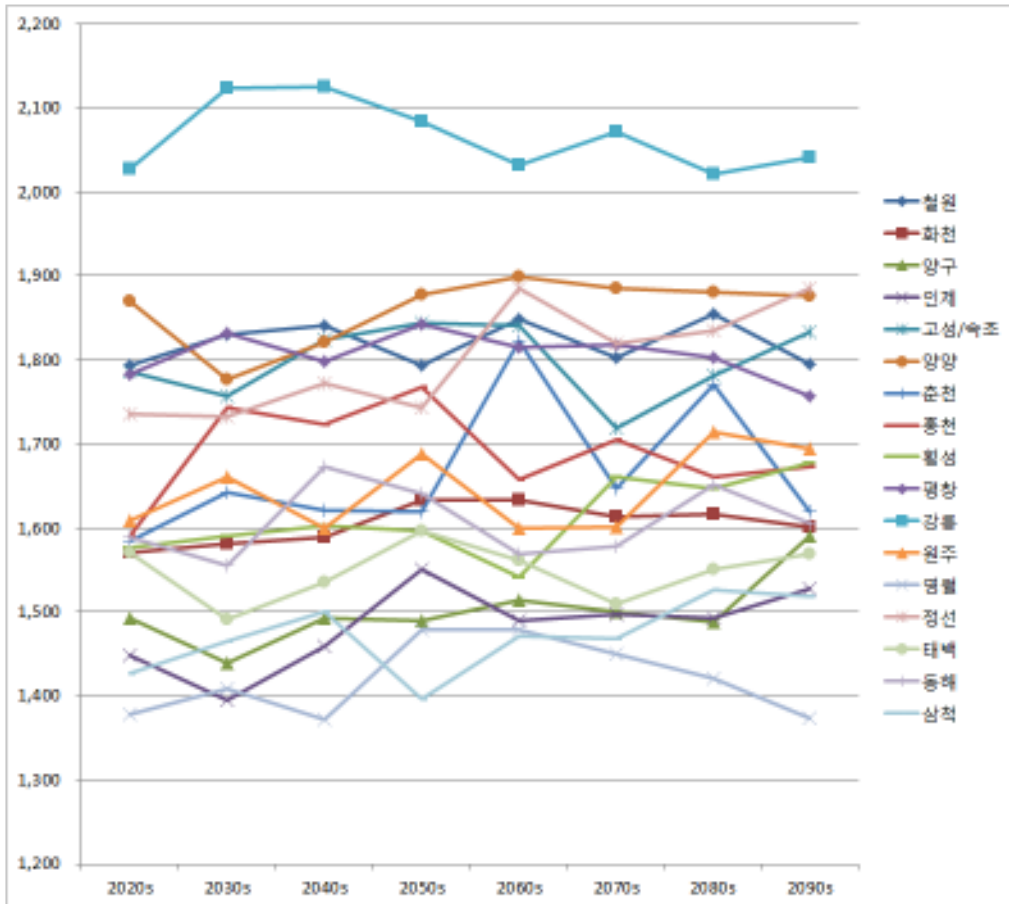
$$y_j = \beta_0 + \beta_1 x_{1j} + \beta_2 x_{2j} + \epsilon_j \quad (4.2)$$

식(4.2)에서  $y_i$ 는 예측된 변수이고,  $\beta_0, \beta_1, \beta_2$ 는 모집단의 회귀계수로서의 모수이며,  $x_{1j}$ 과  $x_{2j}$ 는  $i$ 번째 주어진 독립변수  $x_1, x_2$ 의 고정된 값이다. 또  $\epsilon_i$ 는  $i$ 번째 측정된  $y_i$ 의 오차항 이다. 중선형 회귀분석법의 목적은 다수의 독립변수의 변화에 따른 종속변수의 변화를 예측하는데 그 목적을 두고 있다. 또한 기록된 기후 파라미터들을 사용하여 Predictor를 시뮬레이션 할 수 있는 확률모델인 Weather Generation 기법을 사용하였다.

### 3. 시군별 SPI 예측

#### 3.1 강우자료 생성

시군별 SPI를 산정하기 위해 시군별 과거 30년간 강우시계열 자료를 근거로 GCM자료의 통계적 상세화를 통해 2100년까지 A1B시나리오의 시군별 강우자료를 생성했다. 예측된 강수량의 변동이 10년 단위별 평균에서도 지속적인 증가가 아니라 변동을 가지는데 이는 기후인자와 과거 통계량에 근거한 통계적 상세화 기법을 활용한데 기인한 것으로 판단된다.



<그림 4.23> A1B시나리오에 의한 시군별 강우량 변화

〈표 4.15〉 A1B시나리오에 의한 시군별 강우량

	2020s	2030s	2040s	2050s	2060s	2070s	2080s	2090s
철원	1,794	1,830	1,841	1,794	1,849	1,803	1,855	1,795
화천	1,570	1,582	1,588	1,633	1,634	1,614	1,616	1,601
양구	1,493	1,439	1,492	1,490	1,514	1,501	1,488	1,591
인제	1,448	1,395	1,459	1,551	1,490	1,497	1,493	1,528
고성/속초	1,786	1,757	1,824	1,844	1,842	1,719	1,782	1,834
양양	1,870	1,777	1,821	1,878	1,899	1,886	1,881	1,877
춘천	1,585	1,642	1,622	1,620	1,822	1,648	1,772	1,620
홍천	1,591	1,744	1,723	1,768	1,658	1,705	1,661	1,673
횡성	1,577	1,591	1,602	1,597	1,542	1,660	1,647	1,678
평창	1,783	1,832	1,799	1,842	1,816	1,819	1,802	1,757
강릉	2,028	2,124	2,125	2,084	2,033	2,072	2,021	2,041
원주	1,608	1,660	1,600	1,688	1,600	1,601	1,715	1,694
영월	1,378	1,409	1,372	1,479	1,480	1,450	1,421	1,373
정선	1,736	1,732	1,772	1,744	1,885	1,820	1,835	1,885
태백	1,571	1,492	1,536	1,597	1,562	1,510	1,550	1,570
동해	1,589	1,556	1,673	1,641	1,570	1,578	1,652	1,606
삼척	1,427	1,465	1,501	1,397	1,472	1,468	1,526	1,519

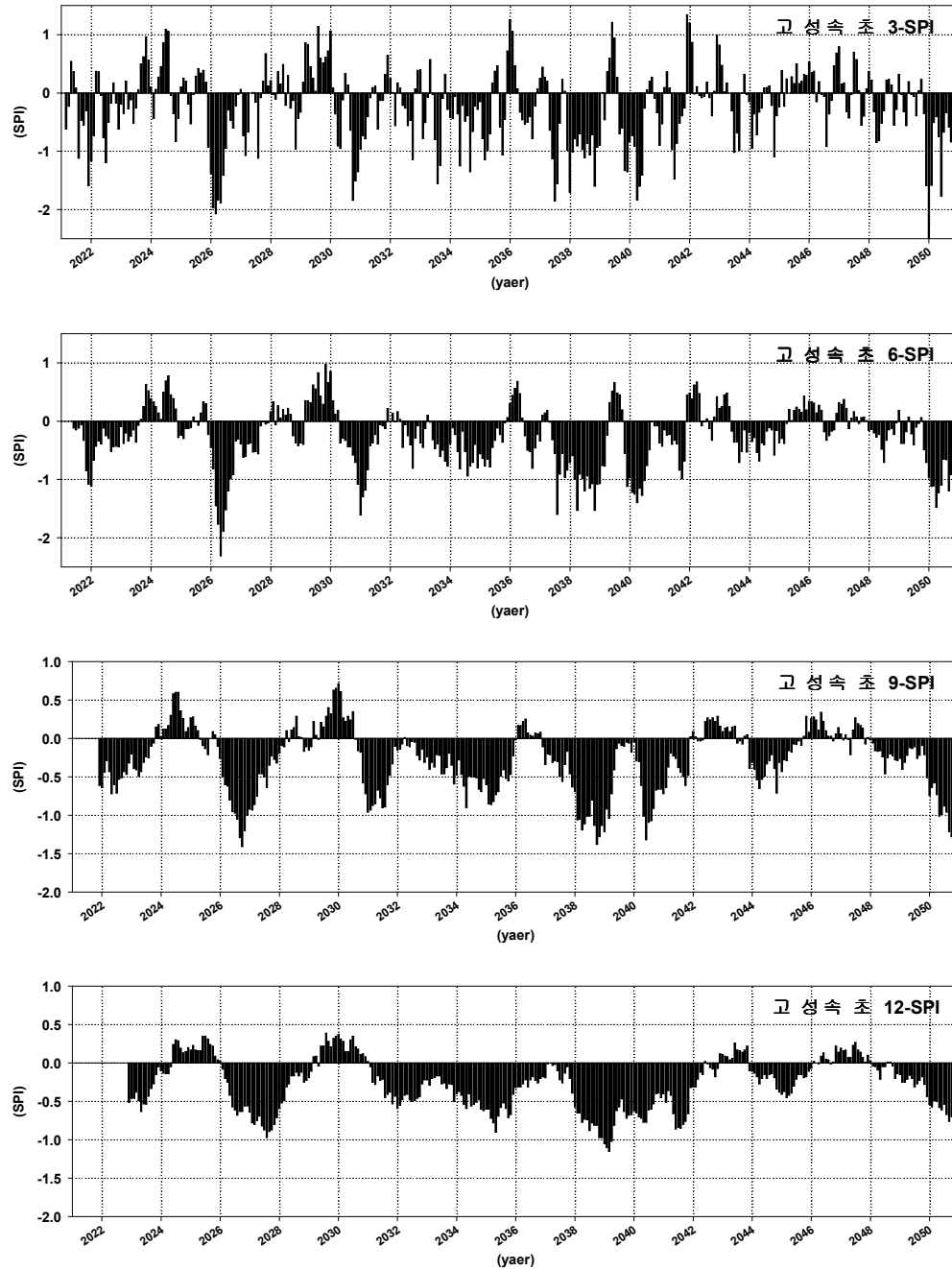
〈표 4.16〉에서는 과거 2000년대 연평균강수량대비 증가량을 보인 것이다. 시군별 증가량 최소치는 8.8%이지만 대부분의 시군에서 20%에 가까운 강우량 증가를 보이고 있다. 다만 동적상세화에 의한 지속적 증가가 아닌 변동성을 가지는 증가를 보이고 있는 특성이 있다.

〈표 4.16〉 2000년대 대비 시군별 강우량 증가량(A1B)

	2000s (mm/yr)	2020s (%)	2030s (%)	2040s (%)	2050s (%)	2060s (%)	2070s (%)	2080s (%)	2090s (%)
철원	<b>1,491</b>	20.3	22.8	23.5	20.3	24.0	20.9	24.4	20.4
화천	<b>1,343</b>	16.9	17.8	18.3	21.6	21.7	20.2	20.3	19.2
양구	<b>1,218</b>	22.6	18.1	22.5	22.3	24.3	23.2	22.2	30.6
인제	<b>1,240</b>	16.8	12.5	17.6	25.1	20.1	20.7	20.4	23.2
고성/속초	<b>1,408</b>	26.8	24.8	29.5	30.9	30.8	22.0	26.5	30.2
양양	<b>1,514</b>	23.5	17.4	20.3	24.1	25.5	24.6	24.3	24.0
춘천	<b>1,359</b>	16.6	20.8	19.3	19.2	34.0	21.2	30.3	19.2
홍천	<b>1,462</b>	8.8	19.3	17.9	20.9	13.4	16.6	13.6	14.4
횡성	<b>1,386</b>	13.8	14.8	15.6	15.3	11.3	19.8	18.9	21.1
평창	<b>1,549</b>	15.1	18.3	16.1	18.9	17.2	17.4	16.3	13.4
강릉	<b>1,607</b>	26.2	32.2	32.2	29.7	26.5	29.0	25.8	27.0
원주	<b>1,370</b>	17.4	21.2	16.7	23.2	16.7	16.8	25.2	23.6
영월	<b>1,237</b>	11.4	13.9	10.9	19.6	19.7	17.3	14.9	11.0
정선	<b>1,517</b>	14.5	14.2	16.8	15.0	24.3	20.0	21.0	24.3
태백	<b>1,279</b>	22.8	16.6	20.0	24.8	22.1	18.0	21.2	22.7
동해	<b>1,266</b>	25.5	22.8	32.1	29.6	24.0	24.6	30.5	26.8
삼척	<b>1,241</b>	14.9	18.0	20.9	12.5	18.5	18.2	22.9	22.4

## 3.1 2030년대(2021~2050)

A1B기후변화 시나리오에서 2021년부터 2050년까지 30년동안 SPI 가뭄지수를 산정했다. 결과는 <부록 B>에 수록하였으며, <그림 4.24>는 속초-고성의 2030년대 SPI가뭄지수 그래프이며, <표 4.17>은 2030년대 시군별 기간별 가뭄심도별 발생현황을 보이고 있다.



<그림 4.24> 2030년대 고성-속초의 기간별 SPI

〈표 4.17〉 2030년대 시군별 기간별 가뭄심도별 연평균 발생 개월

구분	기간	≥ -0.5	≥ -1	≥ -1.5	≥ -2.0	< -2.0
철원	3-SPI	3.83	2.3	0.43	0.27	0
	6-SPI	6.1	2.4	0.9	0.27	0
	9-SPI	6.33	2.9	0.37	0	0
	12-SPI	6.63	3.17	0.1	0	0
화천	3-SPI	1.17	0.93	0.13	0.1	0.03
	6-SPI	4.87	2.27	0.47	0.13	0
	9-SPI	6.77	3.13	0.43	0	0
	12-SPI	6.73	3.17	0	0	0
양구	3-SPI	1.37	0.6	0.3	0.1	0
	6-SPI	3.17	1.2	0.67	0.2	0
	9-SPI	6.1	2.27	0.8	0.1	0
	12-SPI	7	2.17	0.77	0	0
인제	3-SPI	1.77	0.7	0.3	0.13	0
	6-SPI	3.73	1.17	0.57	0.27	0
	9-SPI	6.53	2.93	0.47	0.1	0
	12-SPI	8.27	2.07	0.1	0	0
고성-속초	3-SPI	3.43	2.37	0.83	0.53	0.07
	6-SPI	5.1	2.17	0.83	0.23	0.03
	9-SPI	5.33	2.37	0.8	0	0
	12-SPI	5.37	3.07	0.13	0	0
양양	3-SPI	4.1	2.6	0.87	0.23	0.03
	6-SPI	5.7	2.87	0.43	0.1	0
	9-SPI	7.47	2.53	0	0	0
	12-SPI	9.1	1.37	0	0	0
춘천	3-SPI	1.7	1.07	0.2	0.13	0
	6-SPI	5.23	2.03	0.23	0.1	0
	9-SPI	7.63	2.73	0.23	0.07	0
	12-SPI	8.6	2.3	0	0	0

〈표 4.17〉 계속

구분	기간	≥ -0.5	≥ -1	≥ -1.5	≥ -2.0	< -2.0
홍천	3-SPI	4.8	2.27	0.17	0.17	0
	6-SPI	6.6	2.1	0.43	0.47	0
	9-SPI	8.53	1.97	0.6	0	0
	12-SPI	7.9	2.97	0	0	0
횡성	3-SPI	5.07	1.23	0.37	0.1	0
	6-SPI	6.23	2.57	0.6	0.03	0
	9-SPI	7.07	3.27	0.07	0	0
	12-SPI	7.97	2.73	0	0	0
평창	3-SPI	4.1	2.57	0.97	0.27	0
	6-SPI	5.17	3.2	0.57	0	0
	9-SPI	6.77	2.47	0.2	0	0
	12-SPI	7.87	2.07	0	0	0
강릉	3-SPI	3.83	1.97	0.83	0.4	0.17
	6-SPI	4.6	2.27	1.03	0.17	0.03
	9-SPI	5.87	2.73	0.43	0	0
	12-SPI	8.17	1.83	0	0	0
원주	3-SPI	4.83	0.77	0.73	0	0
	6-SPI	5.43	2.87	0.47	0.03	0
	9-SPI	7.23	2.93	0.27	0	0
	12-SPI	8.17	2.53	0.03	0	0
영월	3-SPI	4.4	1.9	0.9	0.23	0
	6-SPI	4.73	2.37	0.87	0.27	0
	9-SPI	6.87	2.53	0.5	0	0
	12-SPI	7.07	3	0	0	0
정선	3-SPI	4	2.4	0.77	0.53	0
	6-SPI	4.57	3	0.63	0.23	0
	9-SPI	5.3	3.3	0.4	0	0
	12-SPI	6.4	2.9	0.07	0	0

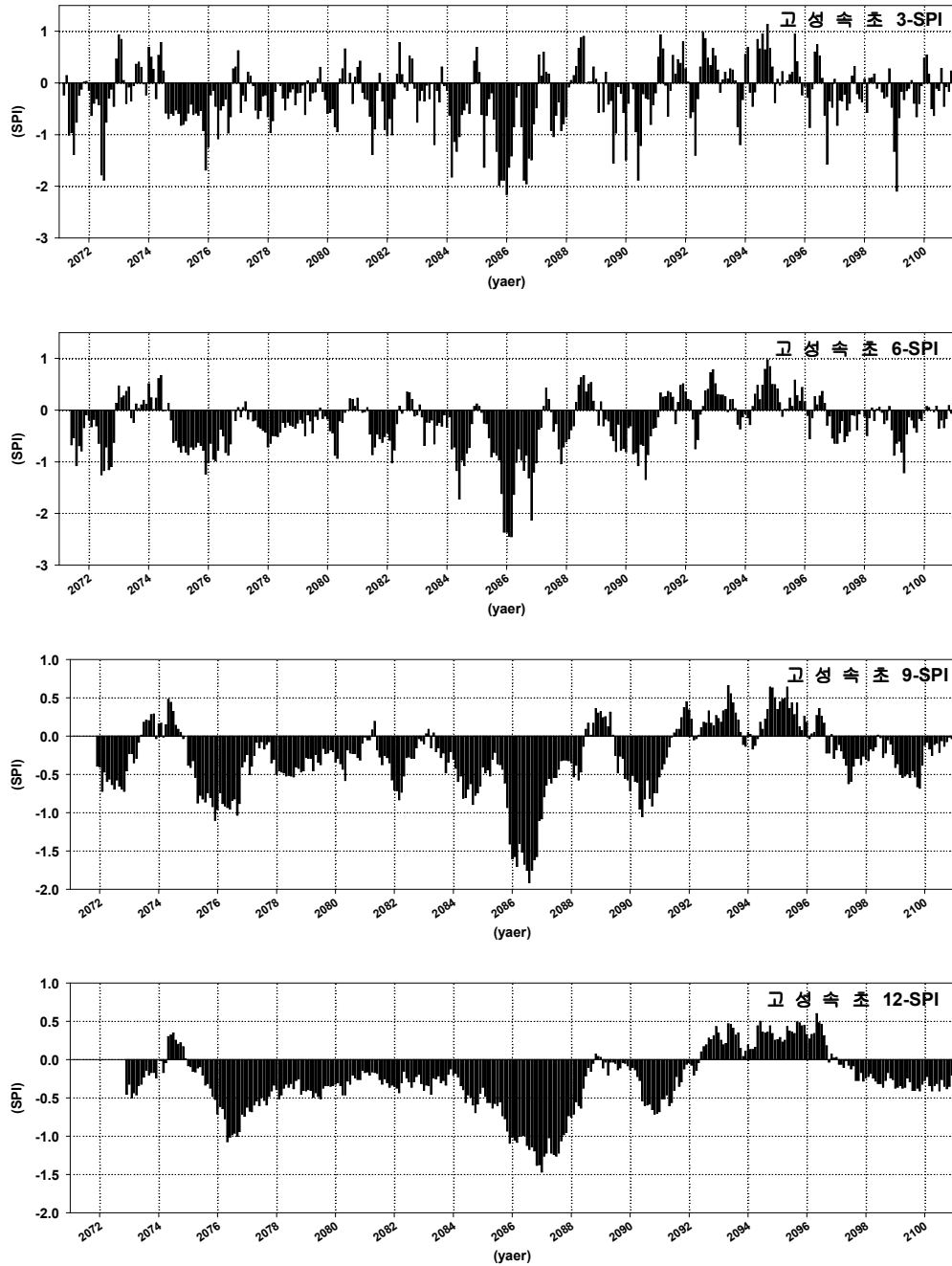


〈표 4.17〉 계속

구분	기간	$\geq -0.5$	$\geq -1$	$\geq -1.5$	$\geq -2.0$	$< -2.0$
태백	3-SPI	4.43	2.1	1.03	0.13	0.07
	6-SPI	5.47	2.2	0.87	0.2	0.03
	9-SPI	6.53	2.67	0.53	0	0
	12-SPI	6.2	3.23	0	0	0
동해	3-SPI	3.83	2.1	0.87	0.53	0.07
	6-SPI	4.27	2.6	0.7	0.27	0
	9-SPI	5.47	2.43	0.63	0	0
	12-SPI	6.87	2.03	0.3	0	0
삼척	3-SPI	4.23	2.63	0.6	0.57	0
	6-SPI	5.27	2.9	0.57	0.13	0
	9-SPI	6	3.4	0.07	0	0
	12-SPI	7.47	2.6	0.03	0	0

### 3.1 2080년대(2071~2100)

A1B기후변화 시나리오에서 2071년부터 2100년까지 30년동안 SPI 가뭄지수를 산정했다. 결과는 <부록 C>에 수록하였으며, <그림 4.25>는 속초-고성의 2080년대 SPI가뭄지수 그래프이며, <표 4.18>은 2080년대 시군별 기간별 가뭄심도별 발생현황을 보이고 있다. 장기를 나타내는 10, 12-SPI로 갈수록 약한가뭄이 지속적으로 발생하는 것으로 확인되는데 이는 통계적 상세화에 의해 생성된 강수자료를 활용함에 있어 강우자료생성시 화이트노이즈를 발생시키기는 하나 추측치가 오래될수록 평균에 가깝게 수렴하기 때문에 장기간 SPI의 결과에 대한 신뢰는 크지 않을 것으로 판단된다.



<그림 4.25> 2080년대 고성-속초의 기간별 SPI

&lt;표 4.18&gt; 2080년대 시군별 기간별 가뭄심도별 연평균 발생 개월

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

〈표 4.18〉 계속

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