creative commons
COMMONS DEED

저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:

저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.

변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 이용허락규약(Legal Code)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

Disclaimer

dCollection

博士學位論文

기후변화에 의한 제주도 가뭄특성 분석 및 농업용수 공급방안 연구

濟州大學校 大學院

土木海洋工學科

朴　在　奎

2020年 2月

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

기후변화에 의한 제주도 가뭄특성 분석 및 농업용수 공급방안 연구

指導敎授 楊 城 基

朴 在 奎

이 論文을 工學 博士學位 論文으로 提出함

2020年 2月

朴在奎의 工學 博士學位 論文을 認准함

審査委員長 김 상 진

委 員 김 남 형

委 員 오 세 욱

委 員 김 서 준

委 員 양 성 기

濟州大學校 大學院

2020年 2月

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Analysis of Drought Considering the Climate Change and Research of Agricultural Water Supply in Jeju Island

Jae-Kyu Park
(Supervised by professor Sung-Kee Yang)

A dissertation submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy in Civil Engineering

2020. 2.

This dissertation has been examined and approved by

Doctoral Committe

Professor	Sang-Jin Kim
Professor	Nam-Hyeong Kim
Doctor	Jae-Wook Ko
Professor	Seo-Jun Kim
Professor	Sung-Kee Yang

February. 2020

DEPARTMENT OF CIVIL & OCEAN ENGINEERING
GRADUATE SCHOOL
JEJU NATIONAL UNIVERSITY

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

목 차

目 次 ····· i
LIST OF FIGURES ····· v
LIST OF TABLES ····· vii
Summary ····· x

Ⅰ. 서 론 ····· 1
1. 연구 배경 ····· 1
2. 연구 동향 ····· 2
3. 연구 목적 ····· 5
4. 연구 자료 및 방법 ····· 6

Ⅱ. 이론적 배경 ····· 8
1. 기후변화 시나리오 ····· 8
1.1 기후변화 정의 ····· 8
1.2 기후변화 요인 ····· 9
1.3 기후변화 시나리오 ····· 12
1.3.1 Global Climate Model ····· 12
1.3.2 온실가스배출 시나리오 ····· 14
2. 가뭄 분류와 분석방법 ····· 18
2.1 가뭄의 정의 ····· 18
2.2 가뭄의 분류 ····· 18
2.3 가뭄 분석방법 ····· 20
2.3.1 가뭄지수의 종류 ····· 20
2.3.2 표준강수지수(SPI)의 가뭄분석 ····· 22
2.4 군집분석 ····· 27
2.4.1 계층적 군집분석 ····· 27
2.4.2 비계층적 군집분석 ····· 29

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

3. 농업용수 수요량 산정 및 수요예측 ····· 32
3.1 농업용수 수요량 산정방법 ····· 32
3.2 농업용수 단기 수요예측 ····· 33
3.3 농업용수 장기 수요예측 ····· 37
3.4 농업용수 수요량 적용 ····· 39
4. 우리나라 통합물관리 정책 ····· 41
4.1 통합물관리 정의와 필요성 ····· 41
4.2 물관리기본법 ····· 42
4.3 우리나라 통합물관리 정책 ····· 43
4.4 해외 통합물관리 정책 ····· 47

Ⅲ. 연구대상 지역 및 수자원 개발현황 ····· 52
1. 연구대상 지역 및 지형특성 ····· 52
1.1 연구대상 지역 ····· 52
1.2 지형 형상 및 특성 ····· 53
1.2.1 지질 특성 ····· 53
1.2.2 표고 분석 ····· 56
1.2.3 경사 분석 ····· 57
1.2.4 강수 특성 ····· 59
1.2.5 하천 특성 ····· 62
2. 제주도 수문분석 및 지하수 부존현황 ····· 63
2.1 수문분석 ····· 63
2.1.1 수문총량 ····· 63
2.1.2 강수량 ····· 67
2.1.3 증발산량 ····· 68
2.1.4 유출량 ····· 72
2.2 지하수 부존현황 및 함양량 ····· 73
2.2.1 지하수 부존현황 ····· 73
2.2.2 지하수 함양량 ····· 75

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

3. 수자원 이용 및 개발현황 ····· 77
3.1 수자원 이용현황 ····· 77
3.2 생활용수 개발현황 ····· 79
3.2.1 관정 개발 ····· 79
3.2.2 저수지 개발 ····· 82
3.2.2 용천수 개발 ····· 82
3.3 기타용수 개발현황 ····· 84
3.3.1 빗물이용시설 ····· 84
3.3.2 인공함양정 ····· 87
3.3.3 해수담수화시설 ····· 88
3.3.4 먹는샘물 ····· 90
4. 제주도 농업용수 개발현황 ····· 91
4.1 관정 개발 ····· 91
4.2 저수지 개발 ····· 94
4.3 용천수 개발 ····· 97
4.4 농업용수 통합광역화사업 ····· 100

Ⅳ. 기후변화에 의한 제주도 가뭄특성 분석 ····· 102
1. 기후변화 현황 ····· 102
2. 기후변화 예측 ····· 104
3. 가뭄발생 현황 ····· 107
4. 표준강수지수에 의한 가뭄분석 ····· 111
5. 가뭄특성 분석 ····· 119

Ⅴ. 가뭄에 대비한 농업용수 공급 및 통합물관리 방안 ····· 122
1. 제주도 농업용수 공급방안 ····· 122
1.1 농업용수 통합광역화사업을 통한 용수공급 ····· 122
1.1.1 동부권역 농업용수 통합광역화 시범사업과 문제점 ····· 123

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

1.1.2 제주 농업용수 통합광역화사업과 과제 ····· 126
1.1.3 통합광역화사업의 경제성 평가 및 개선방안 ····· 131
1.2. 농업용 저수지를 이용한 용수공급 ····· 134
1.2.1 농업용 저수지 개발 현황 ····· 134
1.2.2 저수지를 이용한 농업용수 공급 ····· 137
1.3. 상시하천수를 이용한 용수공급 ····· 137
1.3.1 상시하천 분포 현황과 유량 ····· 137
1.3.2 상시하천수를 이용한 농업용수 공급 ····· 138
1.4. 용천수를 활용한 용수공급 ····· 140
1.4.1 용천수 분포 현황 ····· 140
1.4.2 용천수를 활용한 농업용수 공급 ····· 141
1.5. 빗물이용시설을 활용한 용수공급 ····· 145
1.5.1 빗물이용시설 현황 ····· 145
1.5.2 빗물이용시설을 활용한 농업용수 공급 ····· 146
2. 제주도 통합물관리 방안 ····· 148
2.1 제주도 통합물관리를 위한 물관리체계 개선 ····· 148
2.1.1 제주도 물관리체계 현황 ····· 148
2.1.2 제주도 물관리체계 개선 필요성 ····· 155
2.1.3 제주도 물관리제도 개선방안 ····· 156
2.1.4 제주도 물관리조직 개편방안 ····· 158
2.2 효율적 통합물관리 기반구축을 위한 제주수자원조사연구원 설립 ····· 165
2.2.1 제주도 수자원조사 현황 ····· 165
2.2.2 제주도 수자원조사연구 필요성 ····· 167
2.2.3 제주수자원조사연구원 설립방안 ····· 168

Ⅵ. 결 론 ····· 171

참고문헌 ····· 174
부 록 ····· 180

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

List of Figures

Fig. 1.1 Flow chart on the study ····· 7
Fig. 2.1 Comprehension of climate change ····· 8
Fig. 2.2 Natural cause of climate change ····· 9
Fig. 2.3 Milankovitch Cycle ····· 10
Fig. 2.4 Greenhouse gas ····· 11
Fig. 2.5 Global anthropogenic CO_2 emissions ····· 11
Fig. 2.6 Initial and boundary conditions of GCM and GCM outputs(IPCC) ····· 12
Fig. 2.7 Description of A and B emission scenarios in SERS ····· 14
Fig. 2.8 Atmospheric CO_2 concentrations as observed at Mauna Loa from 1958 to 2008 (black dashed line) and projected under the 6SRES marker and illustrative scenarios(IPCC, 2007) ····· 16
Fig. 2.9 Facility reiteration sequence and expression region used in WADI ····· 21
Fig. 2.10 Time series of precipitation mass of SPI 3 ····· 23
Fig. 2.11 Distance linkage methods of the hierarchical cluster analysis ····· 27
Fig. 2.12 Procedure of the K-means method ····· 30
Fig. 3.1 Study area in Jeju-do ····· 52
Fig. 3.2 Geological maps of Jeju-do ····· 54
Fig. 3.3 The altitude of Jeju-do ····· 56
Fig. 3.4 The slope of Jeju-do ····· 58
Fig. 3.5 Annual precipitation characteristics in Jeju-do ····· 61
Fig. 3.6 Stream distribution in Jeju-do ····· 62
Fig. 3.7 Annual mean amount of water resources graph ····· 63
Fig. 3.8 The monthly mean amount of water resources in Jeju-do ····· 65
Fig. 3.9 The monthly mean amount of water resources in north of Jeju-do ····· 65
Fig. 3.10 The monthly mean amount of water resources in east of Jeju-do ····· 66
Fig. 3.11 The monthly mean amount of water resources in south of Jeju-do ··· 66
Fig. 3.12 The monthly mean amount of water resources in west of Jeju-do ····· 66
Fig. 3.13 Monthly correlation analysis of standard evapotranspiration in Jeju-do ····· 68
Fig. 3.14 Thiessen polygon in Jeju-do meteorological station ····· 69
Fig. 3.15 Mimetic diagram for endowment of ground water ····· 74
Fig. 3.16 Groundwater occurrence in Jeju-do ····· 74
Fig. 3.17 Groundwater status by usage in Jeju-do ····· 80
Fig. 3.18 Groundwater status by developing subject in Jeju-do ····· 80
Fig. 3.19 Spring water distribution map in Jeju-do ····· 83

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Fig. 3.20 The distribution chart of rainwater using facility installation ····· 84
Fig. 3.21 The distribution chart of artificial recharge well facility ····· 87
Fig. 3.22 The flow chart on saline water conversion facility ····· 88
Fig. 3.23 The facilities of Seongeup reservoir ····· 94
Fig. 3.24 Seongeup reservoir ····· 95
Fig. 3.25 Hamdok reservoir during excavation ····· 95
Fig. 3.26 Ongpo reservoir and pumping station ····· 98
Fig. 3.27 Seorim catchment area ····· 99
Fig. 3.28 The project of jeju agricultural water integration wide area ····· 100
Fig. 4.1 Change in global surface temperature 1901~2012 ····· 102
Fig. 4.2 Change in Korea temperature 1910~2000 ····· 102
Fig. 4.3 The 5 Annual mean precipitation of th Republic of Korea ····· 103
Fig. 4.4 Occurrence frequency of natural disaster time series ····· 104
Fig. 4.5 Global average surface temperature change ····· 105
Fig. 4.6 Change in average surface temperature and precipitation ····· 105
Fig. 4.7 The graph of SPI at Jeju, Gosan, Seogwipo, Seongsan weather station ····· 113
Fig. 4.8 The graph and trend line of SPI at Jeju, Gosan, Seogwipo, Seongsan weather station ····· 115
Fig. 4.9 Monthly standardized precipitation index showing SPI 6 and SPI 12 ····· 118
Fig. 4.10 The graph and trend line of annual precipitation characteristics ····· 120
Fig. 5.1 The project of Jeju-do agricultural water integration wide area ····· 123
Fig. 5.2 The demonstration project of east area agricultural water ····· 124
Fig. 5.3 The project of Jeju-do agricultural water integration wide area ····· 127
Fig. 5.4 The model of integration agricultural water project ····· 127
Fig. 5.5 The model of integration smart-water system ····· 128
Fig. 5.6 The office of smart-water system in KRC Jeju ····· 128
Fig. 5.7 The mimetic diagram of integration agricultural water project ····· 129
Fig. 5.8 The location of agricultural reservoir in Jeju-do ····· 134
Fig. 5.9 The map of regular stream in Jeju-do ····· 137
Fig. 5.10 The location of spring water in Jeju-do ····· 141
Fig. 5.11 The map of spring water and regular stream in Jeju-do ····· 141
Fig. 5.12 The map of rainwater utility facilities in Jeju-do ····· 145
Fig. 5.13 Prevention system of disasters organization in Jeju-do ····· 153
Fig. 5.14 Reorganization of the water management departments ····· 159
Fig. 5.15 The water budget analysis in Jeju-do ····· 165
Fig. 5.16 The organization of Jeju-do hydrological survey institute ····· 168

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

List of Tables

Table 2.1 Cause of climate change ····· 9
Table 2.2 Variables of GCM ····· 13
Table 2.3 Details of SRES different storylines ····· 15
Table 2.4 Median temperature anomaly over pre-industrial levels and SRES comparisons based on nearest temperature anomaly(IPCC, 2014) ····· 17
Table 2.5 Classification of drought intensity by using SPI ····· 26
Table 2.6 Demand expectation of agricultural water in Jeju-do in 2020 ····· 33
Table 2.7 Estimation of crops cultivation area in 2020 ····· 34
Table 2.8 Demand expectation of agricultural water in Jeju-do ····· 35
Table 2.9 Demand expectation of agricultural water in the sphere of Jeju-do ····· 36
Table 2.10 Comparison between A and B about Demand expectation of agricultural water in Jeju-do in 2020 ····· 37
Table 2.11 Comparison between Preliminary Feasibility survey and General Planning about Agricultural Area ····· 37
Table 2.12 Demand expectation of agricultural water in Jeju-do in 2030 ····· 38
Table 2.13 Comparison between 2020 and 2030 in agricultural water demand ····· 39
Table 2.14 Present condition of propose for water management fundamental law ····· 43
Table 2.15 Government organization for previously water management ····· 44
Table 2.16 Government organization for present water management ····· 45
Table 3.1 Subwatershed areas in Jeju-do ····· 53
Table 3.2 Specification of weather stations in Jeju-do ····· 53
Table 3.3 Geological system of Jeju-do ····· 55
Table 3.4 The altitude analysis result of Jeju-do ····· 57
Table 3.5 The slope analysis result of Jeju-do ····· 58
Table 3.6 Annual precipitation characteristics in Jeju-do ····· 59
Table 3.7 Annual mean amount of water resources from 1998 to 2017 ····· 63
Table 3.8 The monthly mean amount of water resources in Jeju-do ····· 64
Table 3.9 Annual mean amount of water resources from 1998 to 2018 ····· 67
Table 3.10 Annual standard precipitation in Jeju-do ····· 69

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Table 3.11 Land cover map production in Jeju-do ····· 70
Table 3.12 Monthly mean of Kc by using soil ····· 70
Table 3.13 Annual real precipitation in Jeju-do ····· 71
Table 3.14 The result of annual run off estimate ····· 72
Table 3.15 The result of ground water recharge estimate ····· 75
Table 3.16 The comparison of existing data estimate ····· 75
Table 3.17 The facilities of water resources development ····· 77
Table 3.18 The using situation of water resources ····· 78
Table 3.19 Status of ground water by developing subject and usage ····· 79
Table 3.20 Utilization of Groundwater by annual use ····· 81
Table 3.21 Status of spring water in Jeju-do ····· 82
Table 3.22 Status of spring water by use in Jeju-do ····· 83
Table 3.23 Status of rainwater facilities ····· 85
Table 3.24 Status of obligatory rainwater facilities ····· 86
Table 3.25 Status of artificial recharge well facilities ····· 87
Table 3.26 Status of water supply and facility in island area(2017) ····· 89
Table 3.27 Status of permission in drinking spring water ····· 90
Table 3.28 Status of ground water development and using for agricultural ····· 91
Table 3.29 Status of ground water well development and using ····· 92
Table 3.30 Status of regional ground water intake permission ····· 93
Table 3.31 Status of reservoir development ····· 94
Table 3.32 Status of rural water development project ····· 96
Table 3.33 Status of spring water in Jeju-do ····· 97
Table 3.34 Summary of Jeju agricultural water integration wide area project ····· 101
Table 4.1 Amount of damage for natural disaster[1960~2015] ····· 104
Table 4.2 Prediction for sea level increasing of the Korea (2010) ····· 106
Table 4.3 The damage of agricultural drought from 1967 to 2017 ····· 108
Table 4.4 Number of days of without rain in Jeju-do from 2007 to 2017 ····· 110
Table 4.5 Classification of drought intensity by using SPI ····· 111
Table 4.6 Summary of annual SPI 6 and SPI 12 at Jeju, Gosan, Seogwipo and Seongsan weather station(1986~2015) ····· 112

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Table 4.7 Result of classification of drought intensity by using SPI 6 and SPI 12 ····· 113
Table 4.8 Result of classification of between SPI 12, drought trend and precipitation trend ····· 119
Table 4.9 Total variance explained of components ····· 121
Table 4.10 Final cluster centers of weather stations ····· 121
Table 5.1 Main contents of agricultural water wide area in Jeju-do ····· 124
Table 5.2 The project of agricultural water wide area in Jeju-do ····· 126
Table 5.3 Economic analysis of agricultural water wide area in Jeju-do ····· 131
Table 5.4 Precondition for economic analysis of agricultural water wide area in Jeju-do ·· 131
Table 5.5 Plan of agricultural water in Jeju-do ····· 135
Table 5.6 Development project of agricultural water in Jeju-do ····· 136
Table 5.7 Comparison of agricultural reservoir for inland and Jeju-do ····· 136
Table 5.8 Result about outflow of regular stream in Jeju-do ····· 139
Table 5.9 Result about water quality of regular stream in Jeju-do ····· 139
Table 5.10 The result of spring water survey in Jeju-do ····· 140
Table 5.11 List of spring water in Seogwipo research area ····· 142
Table 5.12 Result about Outflow of spring water in Jeju-do ····· 143
Table 5.13 Result about water quality of spring water in Jeju-do ····· 144
Table 5.14 Status of rainwater utility facilities in Jeju-do ····· 145
Table 5.15 Status of water resources in Jeju-do ····· 148
Table 5.16 Status of ground water development by use in Jeju-do ····· 149
Table 5.17 The present department of water organization in Jeju-do ····· 151
Table 5.18 The office of primary responsibility by disasters and accident ····· 154
Table 5.19 Ordinance of integrated water management in Jeju-do ····· 157
Table 5.20 Comparison of Jeju-do water organization between present and alternative ····· 160
Table 5.21 The department of water organization in Jeju-do by alternative 1 ····· 162
Table 5.22 The department of water organization in Jeju-do by alternative 2 ····· 164
Table 5.23 The main business of Jeju-do hydrological sruvery institute ····· 170
Table 6.1 Main function of the office of primary responsibility by disasters ····· 180
Table 6.2 Assigned task of the office of primary responsibility by disasters ····· 181
Table 6.3 Cooperation system of emergency management agency in Jeju-do ····· 183

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Summary

The increasing frequency of unusual temperatures, droughts and torrential rains caused by severe climate change on the earth is raising issues that damage crops and even human life. In particular, Jeju Island has almost 2.6 times the farming population and 2.3 times the arable land per person compared to the inland areas of South Korea. Agricultural production which accounts for 11.2 percent of Jeju Special Self Governing Province's gross domestic product, has a lot of influence on the Jeju's economy. Therefore, it is necessary to study Jeju Island's agricultural water supply plan in case of drought. The Jeju Special Self Governing Province Water Management System needs to be improved and reorganized to manage integrated water supply in accordance with the national water management policy.

This paper analyzed the current state of drought in Jeju Island due to climate change and drought characteristics by East, West, South and North regions by SPI (Standardized Precipitation Index) and reviewed the demand and supply of agricultural water, and then suggested the efficient Agricultural water supply and Jeju Special Self Governing Province's integrated water management measures

According to the analysis of the climate of Jeju Island, the average annual precipitation is increasing, but there is a tendency to increase rainfall bias and the number of days without rainfall. This is why Jeju Island's field crops are frequently affected by drought damage due to the effects of meteorological drought and agricultural drought. Analysis of SPI over the past 30 years(1986-2015) of Jeju Island's precipitation showed that drought levels by region were severe dry in Seogwipo, Gosan, and moderately dry in Jeju, Seongsan.

There are four ways to supply agricultural water to Jeju Island. The first is to establish an integrated supply and demand system by region by examining the feasibility of individual wells excluded from the "Jeju Agricultural Water Integrated Wide Area Project." The second needs to revise design manual for Jeju-style reservoir and develop reservoir with 500,000㎥ in consideration of high permeability and sudden runoff. The third is Akguncheon and 5 places of spring water, which is a regular stream that is found to have good terrain conditions, amount of runoff and water quality, can be used as irrigation water.

Fourth, rainwater facilities need to be revised to designate facilities with a certain size or larger as mandatory installation targets.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

The Jeju Special Self Governing Province's integrated Resources water management measures is as follows. First, the improvement of the system was proposed to form and operate the "Integrated Water Resources Management Committee" by enacting the "Organization on Jeju Integrated Resources Water Management and Operation". Second, the reorganization of the water management division proposed the first plan for integrated operation of water policy and disaster response departments and the second proposal for integrating all water management departments. Third, Jeju Island should be set up as an independent basin by separating from the Yeongsan River basin, and it is necessary to establish the "Jeju Water Resources Survey Institute" to secure systematic research and scientific hydrological data.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

국문초록

기후변화로 인하여 전 세계적으로 이상기온, 가뭄, 집중호우 등 발생빈도가 증가하여 농작물 피해와 인류의 생명까지도 위협하는 심각한 문제가 대두되고 있다. 제주도는 내륙지역에 비하여 농가인구는 약 2.6배, 1인당 밭 경작면적은 약 2.3배에 달하고, 농업생산은 제주도 총생산의 11.2%로써, 산업·경제에 미치는 영향이 매우 크다. 따라서, 가뭄에 대비하여 제주도 농업용수 공급방안 연구는 필요하며, 우리나라 물관리기본법과 물관리일원화 정책에 부합된 제주도 통합물관리를 위하여 제주특별자치도의 물관리 제도개선 및 조직개편이 필요한 실정이다.

기후변화에 의한 제주도 가뭄발생 현황과 누가표준강수지수에 의한 동·서·남·북 지역별 가뭄특성을 분석하고, 농업용수의 수요·예측을 검토하여 효율적인 농업용수 공급방안과 물관리일원화 정책에 부합하는 제주도 통합물관리방안을 연구하였다.

제주도의 연평균 강수량은 증가 추세이나, 강우 편중과 무강우일수가 증가하는 경향으로, 제주도 밭작물은 기상학적가뭄과 농업적가뭄에 직접 노출되어 가뭄피해가 자주 발생한다. 최근 30년간(1986~2015) 표준강수지수 분석결과 가뭄은 서귀포, 고산이 심했고, 제주와 성산은 약했으며, 가뭄변화 추세는 제주, 서귀포가 심해지며, 고산과 성산은 약해지는 경향성을 나타냈다.

제주도 농업용수 공급방안은 통합광역화사업에서 제외된 사설관정의 정확한 실태조사와 연계 가능성을 종합적으로 검토하여 시설확충으로 권역별 통합급수체계 구축이 필요하며, 투수성이 큰 지질특성과 돌발성 유출의 특수한 수문환경을 고려하여 관측자료 기반의 제주형 저수지 설계기준 개정이 필요하고, 50만톤 내외의 소규모 저수지 위주의 개발이 효과적이라고 판단된다. 또한, 상시하천수 악근천과 용천수 속골물 등 5개소는 지형여건, 유출량, 수질이 양호하여 광역저수조에 임시 저류 후 용수관망을 통해 용수공급이 가능하며, 빗물이용시설은 재배작목별 용수 수요량과 강우빈도, 유출량을 분석하여 경제적 규모의 비닐하우스, 온실 등은 의무적 설치 대상으로 지정하는 조례개정이 필요하다.

제주도 통합물관리방안은 제주도 통합물관리 및 운영에 관한 조례를 제정하여 “통합물관리위원회”를 구성·운영하고, 물관리 조직 개편은 수자원관리국을 신설하여 물정책과, 재난대응과를 통합하고, 농업용수관리와 상하수도본부는 기존대로 운영하는 1안과 모든 물관리 부서를 통합하여 일원화하는 2안을 제안하였고, 제주도를 영상강·섬진강 유역에서 분리하여 독립적인 유역으로 설정하고, 체계적이고 지속적인 조사와 연구기반 마련 및 수문관련 자료 확보를 위하여 “제주수자원조사연구원” 설립 안을 제안하였다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Ⅰ. 서 론

1. 연구 배경

미국은 2017년 6월, 2015년 12월에 체결한 파리기후변화협정 탈퇴를 선언했다. 그러나, 최근 들어 기후변화 대응에 미온적인 정부들을 비판하는 스웨덴 환경운동가 그레타 툰베리(Greta Thunberg)의 영향으로 지구 기후변화가 세계의 관심사로 다시 떠오르고 있다. 하지만, 지구의 환경보다는 각국의 개발과 성장, 규제완화를 더 중요시하는 중국, 미국, 서유럽, 인도, 브라질 등의 온실가스 배출량 감축 둔화는 기후변화 대응을 더디게 하며 기후위기에 치닫게 하고 있다.

지구 온난화에 의한 기후변화(Climate Change)는 전 세계적으로 강수의 편중이나 이상기온 현상 등이 나타나며, 이로 인한 가뭄 및 태풍과 집중호우 등이 빈번하게 발생하고 있다. 기후변화의 광의적인 의미는 자연적·인위적인 요인에 의하여 현재의 기후계가 점차 변화하는 현상이며, 최근 기후변화의 중요한 요인은 인위적인 원인에 의한 기존의 기후변화 속도가 급격하게 증가하는 것으로 정의하고 있다(송성호 등, 2012).

산업혁명 이후 화석연료의 사용증가로 온실가스 농도가 증가해 지구의 평균기온이 지속적으로 상승하여, 지구는 지난 100년간(1906～2005) 평균기온이 0.74℃ 상승하였고, 금세기 말(2090～2099)은 평균기온이 최대 0.64℃ 상승할 것으로 예측되며, 지구 평균 해수면은 1961～2003년 동안에 매년 1.8mm씩 상승 하였고, 금세기 말은 59㎝ 상승할 것으로 예측하였다(IPCC, 2007).

2014년 IPCC 5차 보고서에 따르면, 지난 133년간(1880～2012) 지구 평균기온은 0.85℃ 상승으로 3차 보고서(2001)의 지난 100년간 0.6℃ 상승, 4차 보고서(2007)의 지난 100년간 0.74℃ 상승에 비하여 기온상승 정도가 점차 증가되고 있다.

기상청 국립기상과학원의 최근 연구 결과에 의하면, 우리나라는 1912～2017년까지 평균기온은 10년당 약 0.18℃씩 상승한 것으로 관측되어, 현재 기온이 100여년 전 보다 약 1.8℃ 상승 한 것으로 나타났고, 이는 지구 평균기온 상승 온도 0.85℃의 2배 이상 으로, 우리나라의 기온 상승 정도가 매우 크다고 볼 수 있다.

기온 상승은 폭염과 가뭄 심화, 집중호우, 태풍 활성화, 해수면 상승, 열대야 증가 등과 같은 이상기후를 유발하고, 이로 인해 발생한 자연재해는 농작물 피해는 물론 인류의 생명과 재산까지도 위협하는 매우 심각한 문제를 일으키고 있다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

제주도의 농가인구는 우리나라 전체 농가인구 2,315,000명의 3.57%에 해당하는 82,751명이며, 밭 면적은 59,321ha로 우리나라 전체 밭 면적의 7.90%이므로, 제주도 농가인구 1인당 평균 밭 경작면적은 0.72ha로써, 우리나라 전체 농가인구 1인당 평균 밭 경작면적인 0.32ha의 2배 이상을 차지하고 있어 밭관개의 중요성이 크다.

우리나라 내륙지역은 하천, 댐, 저수지 등으로부터 농업용수, 생활용수, 공업용수 등을 공급하는 반면, 제주도는 화산섬의 지형 및 지질 특성상 농업용수 공급은 약 96% 정도를 지하수에 의존하고 있으나, 발생빈도가 커지고 심화되는 가뭄으로 현재까지 개발 된 수원으로부터 용수공급에 많은 어려움을 겪고 있는 실정이다.

따라서, 기후변화에 의한 제주도 가뭄발생 현황과 가뭄특성을 분석하고, 장래의 농업용수 수요·예측을 검토하여 효율적인 공급방안과 대책이 필요한 시점이며, 정부의 통합물관리 정책 변화에 맞춰 제주도의 특수한 환경을 고려하고, 지역특성 등을 반영한 통합물관리체계 구축이 필요하다. 이와 같은 연구결과는 가속화되는 기후변화에 대비한 제주도의 효율적인 농업용수공급 정책과 통합물관리 정책 수립에 유용한 정보로 활용될 수 있을 것이다.

2. 연구 동향

지구온난화는 1972년 로마클럽보고서에서 최초로 제기되었고, 1985년 세계기상기구(WMO, World Meteorological Organization)와 국제연합환경계획(UNEP, United Nations Environment Program)은 온실가스 중 이산화탄소가 온난화의 주요 원인임을 지적하였다. 두 기관은 1988년에 기후변화 영향 및 대응정책에 관한 평가보고서 작성을 목적으로 기후변화에 관한 정부 간 패널(IPCC, Intergovernment Panel on Climate Change)을 설립하여 2018년까지 30년간 총 48번의 총회와 5권의 평가보고서를 작성하였다. 현재 IPCC 회원국은 195개국 이다.

기후변화에 관한 연구로는 김영오(1998)는 미국 Skagit 수력발전 시스템을 대상으로 기후변화 수자원시스템에 미치는 영향을 분석하였으며, 윤용남 등(1999)은 기후변화에 따른 홍수 및 가뭄발생 빈도의 변화를 분석하였고, 신사철(2000)은 기온과 강수량의 변화에 대한 유출량의 민감도를 분석하였다. 최성규(2007)는 기후변화 시나리오에 따른 다목적댐의 가용수자원 평가 및 최적운영 방안에 대한 연구를 수행하였으며, 송성호 등(2012)은 기후변화와 관련한 제주지역 농업용수의 효율적 활용방안을 연구하였고, 이재경(2013)은 수자원분야 기후변화 영향평가를 위한 시나리오

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

선정과 불확실성 정량화를 하였다. 또한, 송성호 등(2013)은 기후변화를 고려한 제주지역의 권역별 가뭄평가 및 농업용수에의 영향을 분석하였으며, 박종철 등(2014)은 미래 기후변화에 따른 제주도의 사면과 해발고도별 가뭄 예측을 연구하였고, 이준호(2016)는 기후변화 시나리오에 분위사상법을 적용하고 장기유출 모델인 SWAT 모형을 활용하여 제주도 북부와 남부지역의 미래 유출 시나리오와 표준가뭄지수를 이용하여 기후변화가 제주도 하천유출 및 가뭄에 미치는 영향을 분석하였다.

이재경(2013)은 IPCC의 제1차 평가보고서(1990)에서부터 제5차 평가보고서(2014)를 검토해보면 미래로 갈수록 기온 상승 폭이 증가 추세이며, 불확실성도 증가하고 있다고 하였다. 그 원인으로는 기후변화 연구의 특성상 GCM(Global Circulation Model), RCM(Regional Circulation Model), 상세화기법(Downscaling Technique), 수문모형(Hydrological Model) 등 여러 단계에 거쳐 수행되기 때문이라고 하였다.

가뭄에 대한 연구로는 강수량 부족이 물 공급원에 영향을 미치게 되어 가뭄이 발생하는 것으로 보고 강수량에 대한 확률분포를 기반으로 한 표준강수지수(SPI, Standardized Precipitation Index)를 개발하였다(Mckee et al, 1993). 송성호 등(2012)은 농업활동에 미치는 강수량 부족과 관련하여 전국 66개 기상관측소(제주도 4개소 포함)의 30년간 월평균 강수량(1981～2010)과 2012년 1월 ～ 6월 사이의 월평균 강수량의 편차를 계산한 결과, 5월과 6월에 각각 62.2mm와 85.5mm 감소로 예년 평균의 약 40%와 51%의 강수량이 기록되어 농업활동에 지장을 준 사례를 연구하였으며, 송성호 등(2013)은 농업용수의 지하수자원 의존성이 매우 크고 수문계 변화에 민감한 제주지역에 대하여 권역별로 과거 기상자료와 2100년까지의 미래 기후변화 예측자료를 이용하여, 미래 수문상황과 가뭄을 평가 한 후 이에 따른 농업용수에 미치는 영향을 연구하였다. 또한, 박재규 등(2016)은 SPI를 활용한 제주도 가뭄의 공간적 분류방법을 연구하였고, 박원배 등(2017)은 제주지역의 가뭄발생 특성과 중장기 대응방안을 연구하였다.

수자원에 관한 연구로는 최동진 등(2009)은 이수분야 정책목표를 기준으로 안정성, 효율성, 형평성 및 지속가능성으로 구분하여 핵심지표로 물공급 안전도, 가뭄시 물부족량, 환경유량 확보율, 물자급률, 취수율, 물이용 공평성 및 물 재정 건전성을 제시하였다. 또한, 남원호(2013)는 농업용 저수지의 합리적인 운용 및 관리, 용수공급 능력에 대한 정량적인 평가를 위하여 공급량과 수요량의 특성 및 불확실성을 분석하고 확률론 기반 농업용 저수지의 용수공급 지속가능성 및 운용성 평가에 대한 연

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

구를 수행하였다.

제주도 수자원에 관한 연구로는 최광준 등(2013)은 제주도 권역별 농업용수 수요량 산정에 대한 연구를 수행하였으며, 정우열(2013)은 제주도 하천 관측자료 기반 유출특성 매개변수 도출 및 홍수유출량 산정 연구를 하였다. 안중기 등(2015)은 다목적 용수를 고려한 제주도 농업용 지하수 이용량 모델 개발 연구를 하였고, 김민철(2018)은 제주도 지하수의 수리학적 유역설정과 유동특성 해석 연구를 하였다.

제주특별자치도와 제주연구원(2016)은 제주특별자치도 용천수 활용 및 보전에 관한 조례에 따라 '제주특별자치도 용천수관리계획'을 수립하였다. 또한, 한국농어촌공사 제주지역본부와 제주대학교(2017)는 용천수를 활용한 농업용 수자원 확보를 위하여 용천수 및 상시 하천수의 정량적인 수량 파악과 농업용 수질기준에 적합한 유출수를 선정하고, 농업용수광역화사업과 연계한 용수공급 방안을 모색하기 위하여 '용천수를 활용한 농업용수 공급방안'을 연구하였다.

제주연구원 박원배(2015)는 재해저감을 위한 제주지역 저류지의 효율적 관리방안, 박원배와 문덕철(2016)은 빗물관리시설의 효율적 개선방안, 박원배와 강봉래(2017)는 제주지역의 가뭄발생 특성과 중장기 대응방안, 박원배와 강봉래(2018)는 제주지역 2018년 봄철 기상전망에 따른 효율적 수자원관리 방안에 대한 연구를 수행하였다.

통합물관리에 관한 연구로는 박한규(2013)는 천안시 사례를 기반으로 장기적이고 종합적인 물수지 해석을 통해 확보 가능한 안정적인 수자원량을 해석하고, 경제성 있는 가능한 대안을 도출하여 미래 수요에 대응하는 새로운 지역사회의 관리방안을 제시하였다. 또한, 황소용(2015)은 Smart Water Grid 구축을 위한 효율적인 물관리 체계 구축과 경쟁력 제고 방안을 연구하였다.

김대원(2015)은 하천과 지하수 등 모든 물을 공공자원으로 보고 수자원으로서의 물 순환계를 지속 가능한 시스템으로 재생하기 위한 기본적인 개념의 정립이 필요한 것이며, 지구의 온난화 등 기후변화에 대응하는 법과 제도적인 측면에서 변화가 필요하므로 기후변화에 따른 통합 수자원기본법 입법방안에 관한 연구를 수행하였다.

경기연구원(2017)는 도민의 안전하고 건강한 물을 향유할 수 있도록 맑은 물 확보와 공급, 생태계 유지 등 지속가능한 물 순환을 위한 기본계획을 수립하고, 분산된 물 관리업무를 유기적으로 연계시킬 수 있는 통합방안을 제시하였다. 또한, 강원연구원(2017)는 정부의 통합물관리 정책, 물관리기본법 제정의 함의를 고찰하고, 물관리정책과 연계한 물관련 쟁점들을 분석하고 대응방안을 마련하여 적용하고 있다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

3. 연구 목적

우리나라를 비롯한 전 세계는 온실가스 농도 증가에 따른 지구 온난화에 기인한 엘리뇨, 라니냐, 라마마 등의 기상이변과 평균기온 상승, 극지방의 빙하 융해에 의한 해수면 상승, 중장기적인 가뭄, 국지적 집중호우 등의 기후변화(Climate Change)로 심각한 사회적, 경제적, 환경적인 문제에 직면하고 있고, 해가 갈수록 가속화되는 기후변화 속도에 대응하기 위하여 세계기상기구와 UN은 IPCC 등의 국제기구를 설립하여 온실가스 배출량 감축을 목표로 다양한 조사와 연구를 통해 각국에 대응방안 마련과 정책 수립 및 이행을 권고하고 있다.

급변하는 기후는 우리나라 사회와 경제 전반에 걸쳐 많은 영향과 가뭄 심화, 폭염 및 열대야 증가, 태풍활동 가속화, 폭우 및 집중호우 등 심각한 문제를 미치는 만큼 우리나라도 기후변화에 대한 종합적인 대책마련이 시급한 실정이다. 제주도 수자원 이용은 우리나라 내륙지역과 매우 다른 기상학적·수문학적인 특성과 절해고도라는 특수성으로 대부분을 지하수에 의존하고 있는 상태이다. 또한, 최근 빈번하게 발생하고 있는 가뭄현상으로 인해 현재까지 개발된 수원으로부터 용수공급에 많은 어려움을 겪고 있다. 특히, 가뭄에 대비하기 위한 농업용수의 확보와 이용 및 개발, 효율적인 농업용수 관리 정책수립이 필요한 실정이다.

제주도는 화산섬의 지질 특성상 먹는 물을 비롯한 생활용수, 농업용수의 주 수원으로 지하수를 개발하여 이용하여 왔으나, 급격한 도시화 및 인구증가, 국내외 관광객의 지속적인 증가에 따른 생활용수 부족현상이 발생하고 있어, 농업용수는 지표수 및 용천수, 빗물 이용 등 다양한 대체 수원 개발과 잉여수의 효율적 활용이 절실히 요구되고 있으며, 각 사업 목적에 따라 개발하여 이용하고 있는 수자원을 체계적으로 연계하고 광역화하여 통합적·효율적인 수요관리가 필요한 시점이다.

본 연구에서는 기후변화에 의한 제주도 가뭄발생 현황 분석 및 누가표준강수지수에 의한 가뭄 분석을 통해 지역별 가뭄특성에 따른 수자원의 합리적 이용과 농업용수 수요예측을 검토하여 농업용수 광역화사업, 저수지, 상시하천수, 용천수, 빗물이용시설의 대체수자원의 효율적인 농업용수 공급방안을 제시하였다. 또한, 정부의 2019년 6월 물관리기본법 시행에 따른 물관리 일원화정책에 부합하는 제주도의 특수한 환경과 지역특성을 고려한 물관리제도 개선 및 물관리 조직 일원화와 통합물관리 기반구축을 위하여 필요한 수자원 조사 및 연구기관 설립 방안을 제시하였다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

4. 연구 자료 및 방법

제주도는 전체 수자원의 96% 이상을 지하수에 의존하고 있어, 제한된 수자원의 보존과 효율적 이용, 수요·공급의 안정성 확보, 화산섬의 특수성 등을 고려한 심도 있는 연구가 필요한 지역이다. 전 지구적인 환경문제에 해당하는 기후변화로 해가 갈수록 가뭄의 빈도와 강도가 커지고 있어서, 제주도의 가뭄 피해 및 지하수 함양 등에 문제가 발생하고 있다.

이러한 문제를 해결하기 위해 본 연구에서는 제주도 전역을 대상으로 지질, 표고, 경사, 강수 등 지형 형상 및 특성을 조사하고, 강수량, 증발산량, 유출량, 지하수 부존 및 함양량 등 의 수문분석을 검토하였다. 또한, 제주도의 농업용수, 생활용수, 기타용수 등의 수자원 이용 및 개발현황은 제주도 수자원관리종합계획서(2013, 2018), 제주 동부권역 농업용수 통합 광역급수체계 기본계획서(2014), 제주 농업용수 통합광역화사업 기본조사 보고서(2017)와 각 종 용수개발 사업계획서, 선행연구 및 문헌조사를 통해서 자료를 조사·분석하여 정리하였다.

기후변화에 의한 월별 평균 강수계열의 확률분포함수를 추정하여 누가표준강수지수에 따른 가뭄기준에 맞게 분류한 제주도 각 지역의 가뭄특성을 분석하였으며, 가뭄특성 분석은 기후변화에 따른 제주도 수자원에 미치는 영향을 평가하기 위하여 대표적인 표준강수지수를 작성한 기준에 맞게 분류하고 제주도 동서남북의 대표 기상대인 제주기상대, 서귀포기상대, 고산기상대, 성산기상대의 자료를 분석하였다.

제주도 농업용수를 포함한 수자원 현황과 재배작물 변화 추세를 고려한 농업용수 수요 예측자료를 검토·분석하고, 농업용수 공급에 활용 가능한 아직 개발하지 않은 용천수 및 상시하천을 조사·분석한 연구 보고서(제주대학교, 2017)와 제주특별자치도 용천수관리계획(제주연구원, 2016) 등을 토대로 용수 공급의 활용성과 적정성을 검토하였다.

또한, 물관리기본법 시행과 물관리 기능 일원화 및 유역중심의 통합물관리 정책에 부합하는 제주도 통합물관리 방안을 제시하기 위하여 국내외 통합물관리 추진 사례와 현황을 조사 하였고, 제주도의 특수한 환경과 지역적 특성을 고려한 제주도 물관리제도 개선 및 물관리조직 개편 방안, 제주수자원조사연구원 설립방안을 제시하였다. 본 연구내용 흐름도를 정리하면 그림 1.1과 같다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

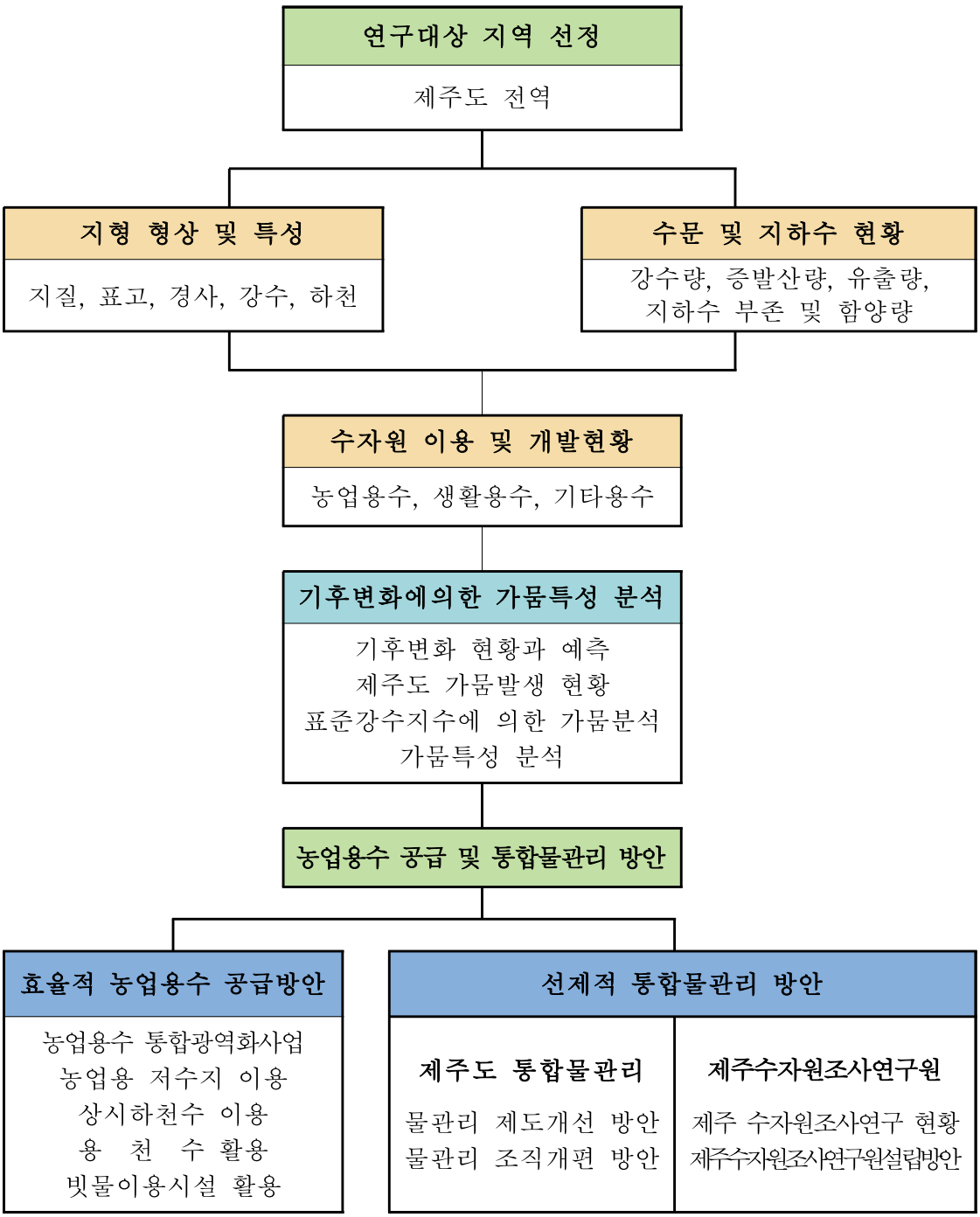


Fig. 1.1 Flow chart on the study

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Ⅱ. 이론적 배경

1. 기후변화 시나리오

1.1 기후변화 정의

기후변화란 사람의 활동으로 인하여 온실가스의 농도가 변함으로써 상당 기간 관찰되어 온 자연적인 기후변동에 추가적으로 일어나는 기후체계의 변화라고 정의하고 있다(저탄소녹색성장기본법, 2018).

우리나라 기상청은 한파, 대설, 폭우 등 다양하고 강도 높은 이상기후 현상이 빈번하게 발생하고, 사회 여러 분야에 피해와 영향이 증가하고 있어, 이상기후에 따른 분야별 영향을 평가하고, 효과적인 대응방안 모색을 위하여 2010년부터 매년 이상기후 보고서를 발간하고 있다.

기상(Weather)은 시시각각으로 변하는 순간적인 대기현상이며, 기후(Climate)는 대기현상이 시간 및 공간적으로 일반화 된 것이고, 기후변화(Climate Change)는 현재의 기후가 자연적 변동을 벗어나 자연적·인위적 요인에 의하여 점차 변화하는 것이라고 기상청은 정의하고 있으며, 이를 기상학적으로는 그림 2.1과 같이 나타낼 수 있다.

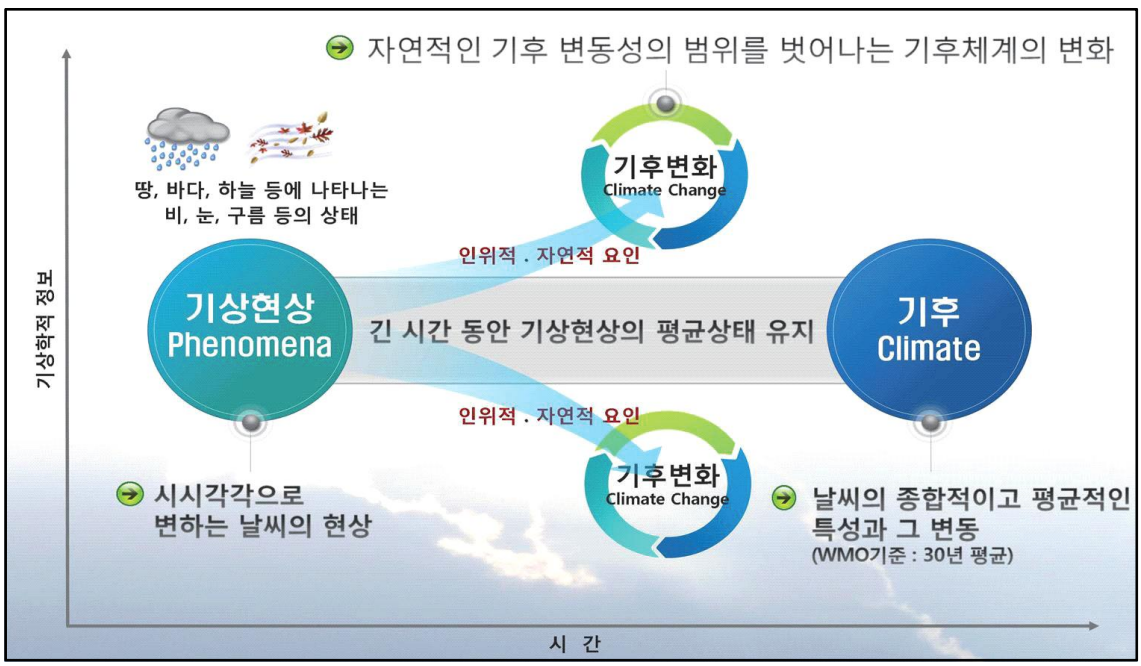


Fig. 2.1 Comprehension of climate change (기상청, 2017)

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

1.2 기후변화 요인

기후변화의 요인으로는 크게 자연적인 요인과 인위적인 요인으로 분류할 수 있으며, 산업혁명 이후 기후변화는 주로 인위적인 요인에 의해 많은 영향을 받고 있다. 자연적인 요인은 내적요인과 외적요인으로 구분하고, 인위적인 요인은 온실가스, 에어로졸, 토지피복변화, 삼림파괴로 세분할 수 있으며, 그 내용은 표 2.1과 같다.

Table 2.1 Cause of climate change (산림청, 2017)

구 분		내 용
자연적인 요 인	내적요인	대기, 해양, 바다얼음, 육지와 이들의 특징인 식생, 반사도, 생물체와 생태계, 적설, 육지얼음, 물수지 등의 상호 작용
	외적요인	화산분출에 의한 성층권의 에어로졸 증가, 태양활동 변화, 태양과 지구의 천문학적 상대위치 관계 등으로 태양 및 지구복사의 변동
인위적인 요 인	온실가스	화석연료, 질소비료 사용, 폐기물 소각, 냉매, 세척제 및 스프레이 사용 등에 의한 대기내 온실가스의 양적 변동
	에어로졸	인간 활동으로 인한 도시·산업화로 대기의 에어로졸 변화
	토지피복 변 화	공장부지, 주택단지 등 과잉 토지이용이나 장작과 숯채취 등으로 인한 토지이용변화, 고층 건축물의 등장 등
	삼림파괴	도로 건설, 벌목, 농업의 확장, 땔감 등으로 인한 산림파괴로 산림의 기후완화 및 물순환 기능 영향

대기권, 수권, 빙권, 지권, 생물권의 상호작용을 통해 끊임없이 변화하는 자연적인 요인에 의한 기후변화를 그림으로 표현하면 그림 2.2와 같이 나타낼 수 있다.

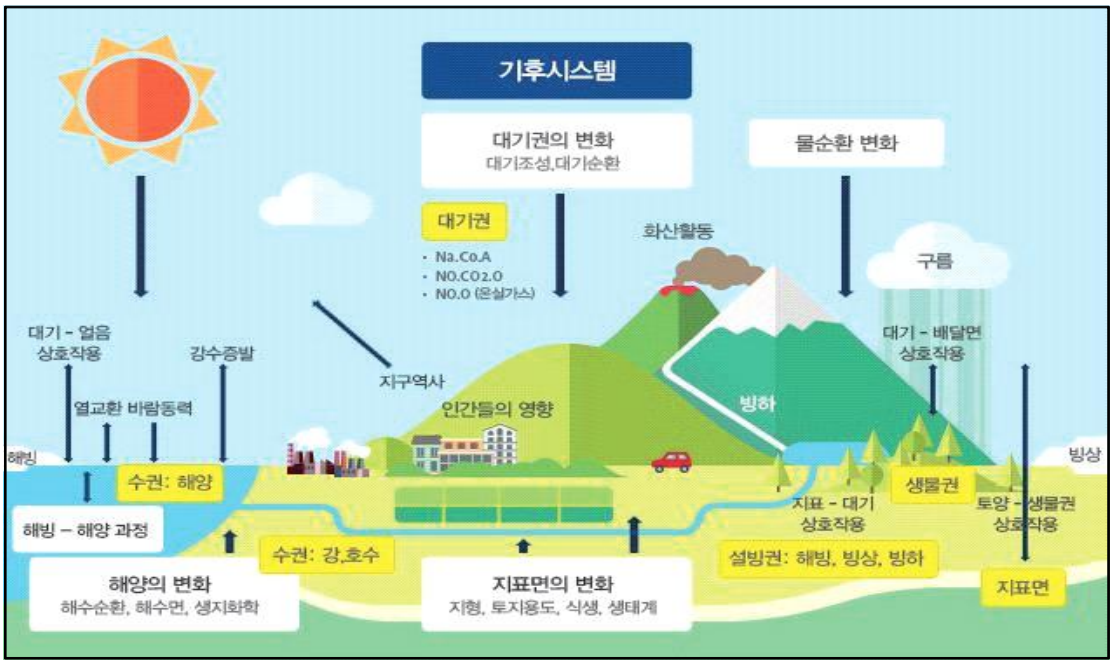


Fig. 2.2 Natural cause of climate change (산림청, 2017)

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

또한, 자연적인 요인으로는 태양 흑점수의 변화와 지구공전궤도의 변화가 태양 복사 에너지양의 변화를 유발 한다는 이론이 있다. 천문학자들은 지구와 1억 5천만 ㎞ 거리의 태양 흑점의 변화가 유럽, 북미 대륙의 경우에 태양 흑점이 많은 기간에는 온도가 감소하고, 흑점이 적은 기간에는 증가한다는 인과관계를 연구 중이며, 과거에 발생했던 중대한 기후변화의 원인을 밝히려는 지속적인 연구를 하고 있는 중이다.

밀루틴 밀란코비치(1879~1958, 세르비아)는 1930년 발표한 '기후의 수리과학과 기후변화에 대한 천문학적 이론'에서 지구의 기후를 변화시키는 지구 자체 운동의 집합적인 효과를 설명하는 밀란코비치 주기 이론을 설명 하였다. 밀란코비치 주기란 지구의 공전궤도의 이심률이 약 10만년을 주기로 변화하면서 태양 복사 에너지양의 변화를 유발하고 지구 자전축 기울기가 41,000년을 주기로 22.1°와 24.5°사이에서 변화하면서 각 위도에서의 일사량 변화를 유발한다는 것으로 그림 2.3과 같이 나타낼 수 있다.

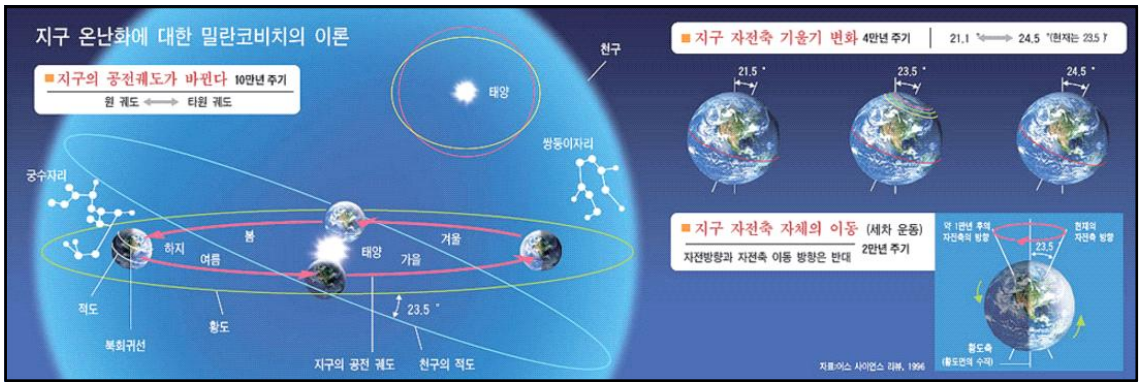


Fig. 2.3 Milankovitch Cycle(기상청, 2017)

기후변화의 인위적인 주요 요인은 온실가스가 주목 받고 있으며, 2005년 기후변화 협약에 대한 교토의정서의 규제대상 6대 온실가스는 이산화탄소(CO_2), 메탄(CH_4), 수소불화탄소(HFCs), 과불화탄소(PFCs), 육불화황(SF_6), 이산화질소(NO_2) 이다.

이산화탄소(CO_2)는 주로 산림벌채, 에너지사용, 석탄 및 석유 등 화석연료의 연소 등이 발생원인 이며, 메탄(CH_4)은 가축사육, 습지, 논, 음식물쓰레기 등이 발생원인 이고, 수소불화탄소(HFCs)는 에어컨 냉매, 스프레이 사용에서 비롯되며, 과불화탄소(PFCs)는 반도체 세정제 등에서 생성되고, 육불화황(SF_6)은 전기제품과 변압기 등의 절연제에서 발생하고, 이산화질소(NO_2)는 석탄, 폐기물 소각, 질소비료 등의 사용이 발생원인 으로 알려져 있다. 6대 온실가스의 비율은 그림 2.4와 같다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

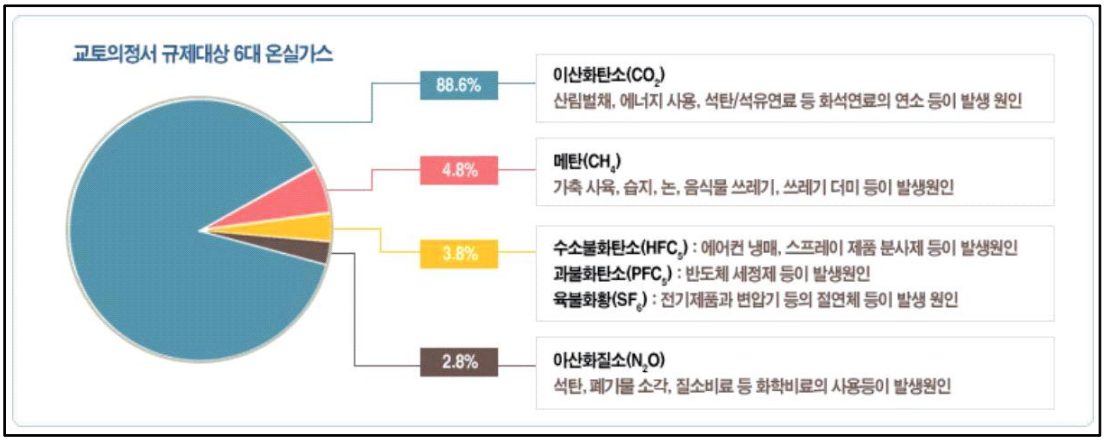


Fig. 2.4 Greenhouse gas(국토환경정보센터, 2017)

IPCC 제5차 보고서(2014)에 의하면, 전지구 평균 온실가스 농도 및 인위적 이산화탄소 배출량은 관측 이래 최고 수준이라고 분석 하였다. 그림 2.5에서 전 지구 인위적 이산화탄소 배출량은 1975~2011년의 화석연료, 시멘트 생산, 플레어링, 산림과 기타 토지사용으로 인한 연간 전지구 인위적 이산화탄소배출량($GtCO_2/yr$), 누적 배출량과 해당 불확실성은 오른쪽에 각각 막대로 제시 하였다(IPCC, 2014).

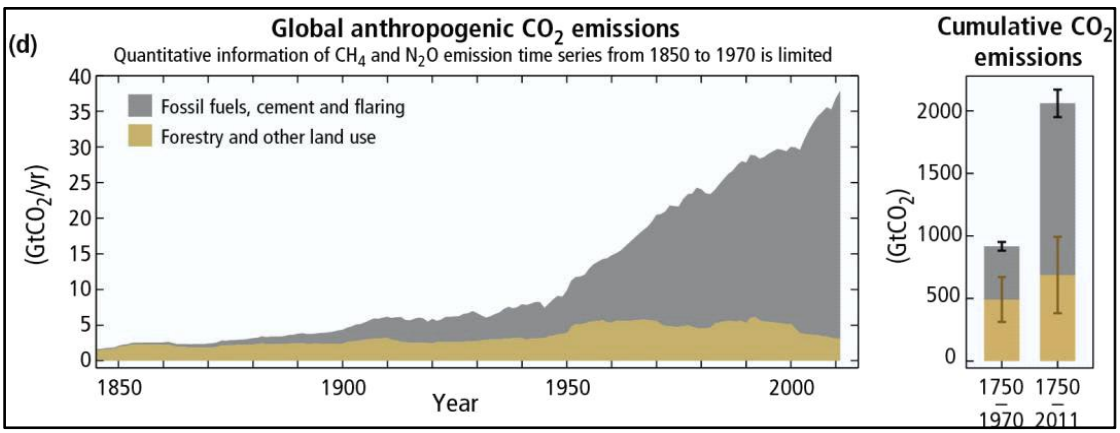


Fig. 2.5 Global anthropogenic CO_2 emissions(IPCC, 2014)

기후변화로 인하여 현재의 기후가 자연적 변동성을 벗어나 예기치 못한 기상이변과 자연재해가 발생하여 많은 피해를 유발하고 있는 실정이며, 전 세계적으로 인위적인 요인으로 지목되는 온실가스, 에어로졸 등의 감축 노력을 지속적으로 하지 않으면 가뭄, 홍수 등의 재해는 가속화 될 수 밖에 없는 상황이라고 볼 수 있다.

따라서, 제한된 수자원을 생활용수, 공업용수, 농업용수, 환경용수 등으로 효율적으로 이용하고 직접 또는 간접적으로 활용하기 위해서는 기후변화에 대응한 수자원 이용 전략과 대책이 절실하게 필요한 실정이다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

1.3 기후변화 시나리오

기후변화 시나리오를 작성하는 방법은 합성 시나리오(synthetic scenario), 상사 시나리오(analogues scenario), GCM 기반 시나리오(Global Climate Model based scenario)가 있으며, 일반적으로 GCM이 가장 많이 사용된다. 또한, IPCC는 1990년 제1차 회의 부터 2014년 제5차 회의까지 기후변화보고서를 발표하면서 시대별 환경변화를 고려하고, 시간경과에 따른 보완사항을 반영하여 SA90, SRES(Special Report on Emission Scenario), RCP(Representative Concentration Pathways) 등의 온실가스배출 시나리오를 적용하였다.

1.3.1 Global Climate Model

GCM(Global Climate Model)은 기후를 결정하는데 중요한 대기, 해양, 빙하권, 지표면에서 발생하는 물리과정의 상호작용을 동시에 고려하여 과거, 현재, 미래의 기후변화를 정량화하여 그 결과 값을 제공해 주는 시나리오이다. 또한, 지역적인 모델과 결합이 가능하며, 기후변화의 영향분석이 필요한 지역적 기후변화 측정과 일치하는 지리학적, 물리학적 정보를 제공하고 있다(한국환경정책평가연구원, 2004).

GCM은 지상관측소, 인공위성, 레이더 등으로부터 관측된 기온, 토양수분, 강우 등을 초기조건(initial condition)으로 하고 해수면기압, 지형, 토양수분, CO_2 등을 경계조건(boundary condition)으로 하여 구현하고자 하는 시점의 강수, 기온, 기압 등을 모의할 수 있다(그림. 2.6).

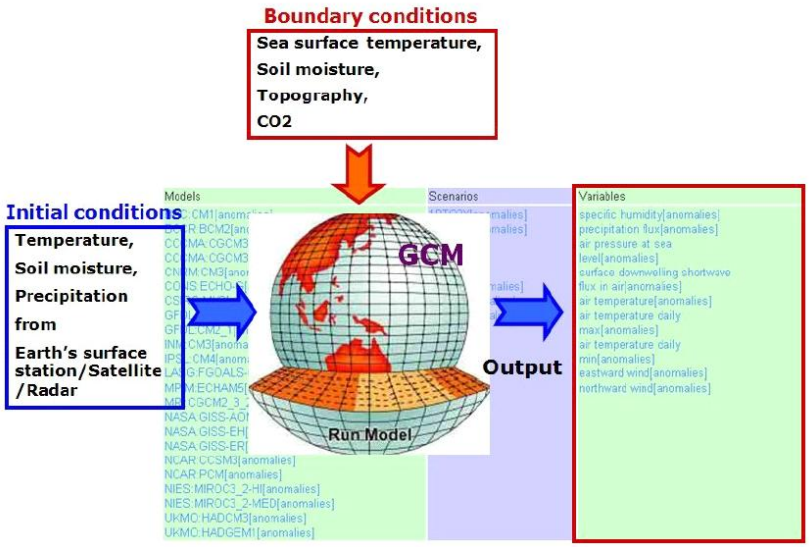


Fig. 2.6 Initial and boundary conditions of GCM and GCM outputs(IPCC)

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

또한, GCM은 모의 방식에 따라 크게 3가지로 분류 할 수 있으며, 첫째로 간단한 수평의 해양과 결합된 대기 GCMs와 단순한 지표면을 파라미터로 결합한 UKLO, UKHI 이며, 둘째로 해류와 열수송을 나타낼 수 있는 3차원과 단순한 지표면을 파리미터로 결합한 UKTR 이며, 셋째로 해수의 3차원 표현과 지표의 3차원 생물권과 결합한 HadCM2, HadCM3 등이 있다(이재경, 2013).

GCM 기반의 시나리오는 GCM을 바탕으로 다양한 미래 기후변화에 대하여 물리적으로 설명이 가능하다는 장점과 공간해상도가 너무 크며, 모형간 모의결과가 서로 다르다는 단점이 있다(한국환경정책평가연구원, 2004).

1969년 Manabe and Brian가 GCM을 최초로 개발하였고, 지구의 환경변화와 시간경과에 따른 시대적 여건변화를 수용하기 위하여 다양한 연구가 수행되었다. PCMDI에서는 총 25개의 GCM 모의결과를 제공하고 있으며, 표 2.2는 GCM의 대표적인 모의변수들을 제시하였다(이준호, 2016).

Table 2.2 Variables of GCM

Variable	Description	Unit
huss	surface specific humidity	fration
orog	surface altude	km
pr	total precipitation	$kg/m^2/s$
psl	sea level pressure	pa
rsds	surface downwelling shortwave flux in air	W/m^2
sftgif	land area fraction	%
tas	near surface air temperature	K
tasmax	2m mean max air temperature	K
tasmin	2m mean min air temperature	K
uas	zonal surface wind speed	m/s
vas	meridional surface wind speed	m/s

또한, IPCC에서도 전세계 기후변화 연구를 위하여 수십 개의 GCM 시나리오를 제공하고 있으며, 어떤 GCM 시나리오를 사용하는지 여부에 따라 다양한 결과가 도출되고 있으므로, 연구 대상지에 가장 적합한 GCM 시나리오를 채택하여 적용하는 것이 중요하다고 볼 수 있다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

1.3.2 온실가스배출 시나리오

IPCC는 기후변화를 분석하기 위하여 온실가스배출 시나리오를 적용하였다. 1990년 제1차 보고서에서는 SA90 시나리오를 사용하였으며, 1992년 보완 보고서(Supplementary Report of NO. 1)는 IS92a부터 IS92f까지 6개의 표준 배출시나리오를 제시하였다. IS92 시나리오 중 IS92a 시나리오가 가장 많이 사용되었으며, IS92a 시나리오는 1990년도 CO_2 농도는 약 350ppmv이고, 100년 후 인 2090년에는 약 670ppmv가 되어 지구 평균온도가 1.5~4.5℃범위 내에서 상승할 것으로 추정하였다(IPCC, 1992).

IPCC는 2000년 제3차 보고서에서는 IS92 시나리오의 결점을 보완하여 SRES (Special Report on Emission Scenario) 시나리오를 제시하였다. SRES 시나리오는 인구학, 사회-경제학, 기술 등 미래 온실가스 문제가 되는 원인을 포괄적으로 다루고 있으며, 경제발전에 대하여 A-B 축은 경제성장과 환경중시의 상대적 방향성을 나타내는 축으로 A는 경제 지향, B는 환경 중시를 의미하며, 1-2 축은 지구주의와 지역주의의 상대적 방향성을 의미하는 축으로 1은 지구주의적 경제발전 지향, 2는 지역주의적 경제발전 지향을 나타낸다(그림 2.7).

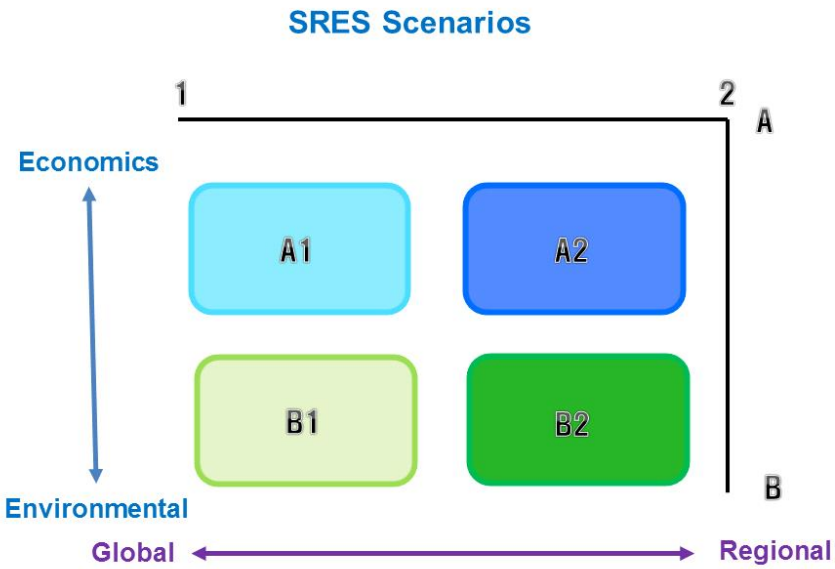


Fig. 2.7 Description of A and B emission scenarios in SERS

SRES 시나리오는 크게 4개의 그룹인 A1, A2, A3, A4로 나누어지며, A1은 A1C, A1G, A1B, A1T로 구분되고, 그 구체적인 내용은 표 2.3으로 나타내었다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Table 2.3 Details of SRES different storylines

Driver	A1				A2	B1	B2
	A1C	A1G	A1B	A1T			
Population growth	Low	Low	Low	Low	High	Low	Medium
GDP Growth	Very high	Very high	Very high	Very high	Medium	High	Medium
Energy Use	Very high	Very high	Very high	Very high	High	Low	Medium
Land-Use Change	Low-Medium	Low-Medium	Low	Low	Medium /High	High	Medium
Availability of Conventional and Unconventional Oil and Gas	High	High	Medium	Medium	Low	Low	Medium
Pace of Technological Change	Rapid	Rapid	Rapid	Rapid	Slow	Medium	Medium
Direction of Technological Change Favoring	Coal	Oil & Gas	Balanced	Non-fossils	Regional	Effciency & Dematerialization	"Dynamics as usual"

A1 시나리오에서 C, G, B, T는 각각 석탄 주도형, 가스 주도형, 밸런스형, 고효율 에너지 기수 주도형으로 나타낸다. A1의 시나리오는 미래의 세계가 매우 급격한 경제성장, 전 지구 인구는 최고점에 이르렀다가 이 후 감소하는 추세, 기존보다 좀 더 효율적인 기술의 급격한 도입 등으로 표현하며, A2는 지속적인 인구성장과 지역적으로 편중된 경제성장 등으로 표현한다. 또한, B1은 A1과 비슷한 세계 인구가 금세기 중반에 정점을 보이다가 감소하지만 서비스 및 정보경제로 급격하게 경제 구조가 변화하고 자원관리를 효율적인 기술의 도입이 이루어지는 것으로 하고 있으며, B2는 A2보다 낮은 비율로 지속적으로 인구가 증가하고 중간 수준의 경제성장, 상대적으로 비교적 느린 다양한 기술변화를 가정하고 있다(IPCC, 2000).

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

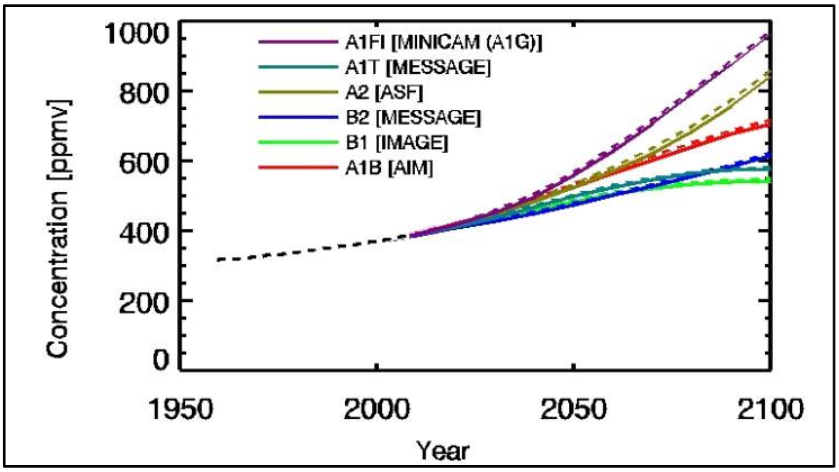


Fig. 2.8 Atmospheric CO_2 concentrations as observed at Mauna Loa from 1958 to 2008 (black dashed line) and projected under the 6SRES marker and illustrative scenarios(IPCC, 2007)

IPCC는 2007년 제4차 보고서에서 Non-SRES 시나리오인 5개 배출시나리오를 제공하고 있다. PICTLExperimental 시나리오는 산업사회 이전의 온실가스 상태가 지속된다고 가정한 시나리오이며, 20C3MEExperimental 시나리오는 20세기 동안 온실가스의 증가만큼 계속 증가한다고 가정한 시나리오이다. 또한, 산업사회 이전의 온실가스를 바탕으로 온실가스 증가에 따라 COMMITAn 시나리오, 1PTO2X 시나리오, 1PTO4X 시나리오가 있다(IPCC, 2007).

IPCC 제5차 보고서에서는 RCP(Representative Concentration Pathways) 대표농도를 적용하였다. 인간 활동이 대기에 미치는 복사량으로 온실가스 농도를 결정하였으며, 하나의 대표적인 복사강제력에 대해 사회, 경제 시나리오는 여러 가지가 될 수 있다는 의미에서 대표(Representative) 라는 표현과 온실가스 배출 시나리오의 시간에 따른 변화를 강조하기 위해 경로(Pathways)라는 표현을 사용하였다.

RCP 시나리오를 결정하기 위해 주요한 복사 강제력을 고려한 4개(MES-A2R, AIM, MiniCAM, IMAGE)에서 개별적으로 개발하였으며, 표 2.4와 같이 각각 RCP 8.5, RCP 6.0, RCP 4.5, RCP 2.6으로 구분하였다. 또한, RCP 8.5는 현재 추세로 온실가스가 지속적으로 배출되는 BAU(Business As Usual) 상황 이며, RCP 6.0과 RCP 4.5는 SRES 시나리오 생산이후 5년간 주요 관측값 변화와 사회현상의 변화를 고려하여 설정하였고, RCP 2.6은 지구시스템이 기후변화에 대하여 스스로 회복할 수 있는 최대 한계값으로 정해졌다(IPCC, 2014).

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Table 2.4 Median temperature anomaly over pre-industrial levels and SRES comparisons based on nearest temperature anomaly(IPCC, 2014)

Name	Radiative forcing	CO^2 (p.p.m.)	Temp anomaly (℃)	Rathway	SRES temp anomaly
RCP 8.5	8.5 w/m^2 in 2100	1,370	4.9	Rising	A1F1
RCP 6.0	6 w/m^2 in 2100	850	3.0	Stabilization without overshoot	B2
RCP 4.5	4.5 w/m^2 in 2100	650	2.4	Stabilization without overshoot	B1
RCP 2.6	3 w/m^2 in 2100	490	1.5	Peak and decline	-

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

2. 가뭄 분류와 분석방법

2.1 가뭄의 정의

IPCC(2012)는 가뭄을 어떤 지역의 작물 성장이나 물공급에 영향을 줄 정도로 물 수지에 심각한 불균형을 초래하는 비정상적으로 건조한 날씨가 오래 지속되는 상태라고 정의하였다.

가뭄은 개념적(conceptual) 정의, 운영상(operational) 정의 및 학문적인(scholarly) 정의로 구분 할 수 있으나, 가뭄은 본질적으로 강수량의 비정상적인 부족과 증발산량의 과다로 인해 발생되는 것으로 가뭄의 심도와 지속기간으로 정의된다.

개념적 정의로 가뭄은 “강우의 부족이 오랫동안 계속되어 작물에 심각한 피해를 주어 생산에 손실을 주는 것이다”라고 정의하고 있다.

가뭄에 대한 운영상의 정의는 가뭄의 발생 시작과 끝, 심함 정도를 규정하는데 도움이 된다. 가뭄의 시작을 결정하기 위한 운영상의 정의는 평균 강우로부터 벗어나는 정도 또는 어떤 기간에 대한 기후 변수를 사용하는데, 일반적으로 30년간의 기록을 바탕으로 한 과거의 평균치와 현재의 상태를 비교함으로서 이루어진다. 또한, 과거의 일정기간에 대해 가뭄의 빈도(frequency), 강우강도(rainfall intensity), 지속시간(duration)을 분석하는데 이용될 수 있다. 어떤 지역에 대해 가뭄과 관련한 기후학의 발달은 가뭄의 특성과 다양한 강우강도의 발생 가능성에 대한 이해를 제공하며, 이러한 형태의 정보는 가뭄에 대한 반응과 피해저감 대책과 계획을 세우는데 매우 유용하다.

가뭄의 학문적 정의는 기상학적, 수문학적, 농업적, 사회경제적 가뭄으로 나누어서 설명 할 수 있다.

2.2 가뭄의 분류

가뭄을 학문적으로 분류하면 기상학적, 수문학적, 농업적, 사회경제적 가뭄으로 구분 할 수 있으며, 기상학적 가뭄(Meteorological drought)은 수자원이 계절적 평균치에 미달하여 피해가 생기는 것이며, 강수량 부족이 주원인이다. 흔히 기온이 높아지거나 대기가 건조하여 증발량이 증가 또는 물의 자연적 손실이 많은 경우도 고려되어야 한다. 이는 장기간에 걸친 조사 자료의 미비로 추측하여 계산하므로, 실효성이 적으며, PDSI(Palmer Drought Severity Index)가 여기에 속하며, 지역적인 기상

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

상태의 변화에 따라 정의가 다르게 적용된다.

또한, 기상학적 가뭄은 최소한 1개월 이상의 기간에 걸쳐 강수량이 감소하여 발생하는 것이다. 기후의 급변이 아니라면 1개월의 증발량은 그 지역 평균치에서 큰 차이가 없다. 지구 기후가 돌변하여 그 효과가 직접 나타나기 전까지는 증발량은 고려하지 않아도 무방하다고 보았다(변희룡, 2009).

기상학적 가뭄 적용사례를 살펴보면, 미국(1942)은 48시간 내에 강우가 2.5mm보다 적은 경우이고, 영국(1936)은 일 강우가 2.5mm보다 작은 날이 연속으로 15일 이상인 경우이며, 리비아(1964)는 연 강우량이 180mm 이하인 경우에 해당하고, 인도(1960)는 실제 계절강우량의 평균 편차의 2배보다 부족한 경우를 적용하고 있다.

수문학적 가뭄(hydrological drought)은 수자원 전체가 계절적 평균치에 비하여 부족해서 피해가 생기는 경우를 말하는데, 하천 유출, 저수지나 호소수와 같은 지표수나 지하수 공급에 대한 강우 부족기간의 영향과 관련이 있으며, 일반적으로 기상학적 및 농업적 가뭄의 발생시기와 지체를 가진다. 또한, 상류에서의 토지이용 변화는 침투, 유출율과 같은 수문학적 이용을 변화시킬 수 있으므로 하천유출을 더욱 변화시켜 하류의 수문학적 가뭄을 초래하기도 한다(변희룡, 2009).

수문학적 가뭄은 단순히 기후뿐만 아니라 토지이용 및 이에 따른 산림훼손, 토양침식, 댐의 건설과 같은 모든 활용이 유역의 수문학적 특성에 영향을 미치고 있으며, 상류 유역의 개발에 따른 토지피복 변화는 유출율, 침투와 같은 물순환에 큰 영향을 미치고 있으므로 지표유출을 더욱 증가시키고 있다고 볼 수 있다(이준호, 2016).

농업적 가뭄(agricultural drought)은 강우의 부족으로 인하여 토양수분의 감소 및 농업용 저수지의 저수량 저하로 농작물 생육 및 수확량에 직접적인 영향을 미치는 것으로, 기상 또는 수문학적 가뭄이 농업에 미치는 영향을 고려하여 정의 된다. 농업적 가뭄은 식물의 싹틈에서부터 성장까지 곡물발달 동안 곡물의 다양한 민감성을 반영할 수 있도록 고려가 필요하다(이준호, 2016).

사회경제학적 가뭄(social economic drought)이란 생활용수, 공업용수, 농업용수의 부족으로 피해가 생기는 것을 말하는데 생활양식의 변화, 공업의 발달, 농업방식의 변화로 수요변화에 따른 공급의 부족을 말한다. 이 경우 가뭄연구는 농업, 공업의 발달 원인이나 생활 습관의 변화 원인을 찾아야 하는데, 이런 문제를 함께 해결하려면 가뭄의 원인은 밝혀지기가 더욱 어려워 질 것이다(변희룡, 2009).

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

2.3 가뭄분석 방법

2.3.1 가뭄지수의 종류

가뭄현상을 지수화하여 표현하는 가뭄지수를 이용하여 가뭄을 분석하는 방법으로 주로 사용하는 가뭄지수로 파머가뭄지수(PDSI), 표준강수지수(SPI), 수문학적 가뭄지수(MSWSI), 용수공급을 고려한 가뭄지수(WADI) 등이 있다.

파머가뭄지수(PDSI, Palmer Drought Severity Index)는 미국의 기상학자 웨인 파머(Wayne Palmer)가 제안한 가뭄지수로, 강수량, 기온, 일조시간, 유효토양수분량 등의 자료를 입력하고 기후적으로 필요한 강수량과 실제 강수량을 비교하여 가뭄을 정량적으로 나타내는 개념이다. 이 지수는 강수 수치를 표준화하여 -10(건조)에서 +10(습함) 범위 내에서 표현하며, 실제 장기간의 가뭄을 수량화하는 것이 가능하다. 또한, 온도 데이터와 물리적인 물 균형 모델을 사용하기 때문에, 잠재적인 가뭄의 변화를 통해 가뭄에 대한 지구 온난화의 기본적인 효과를 예측하는 데 사용될 수 있다.

표준강수지수(SPI, Standardized Precipitation Index)는 기상학적 가뭄지수로, 가뭄은 상대적으로 물의 수요에 비해 물의 부족을 유발하는 강수량의 감소에 의해 시작된다는 것에 착안하여 개발된 지수이다. 강수량이 부족하면 용수 공급원인 지하수량, 적설량, 저수지 저류량, 토양함유수분, 하천유출량 등에 각기 다른 영향을 미친다는 가정으로부터 개발한 것이다.(Mckee 등 1995) SPI는 특정한 시간에 대한 계산 시간단위를 3, 6, 9, 12개월 등과 같이 설정하고, 시간 단위별로 강수 부족량을 산정하여 개개의 용수공급원이 가뭄에 미치는 영향을 산정하는 방법이다. 이렇게 특정 시간단위로 산정된 SPI는 각 시간단위에 따라 여러 분야에 사용될 수 있다. 예를 들면, 단기간의 시간단위 농업적 관심에 사용 될 수 있으며, 비교적 장기간의 시간단위는 수자원공급관리 등에 사용 될 수 있다. SPI를 산정하기 위해서는 우선 시간단위별 누가강수 시계열을 구성하여야 하며, 이는 이동누가에 의한 방법으로 월 강수량을 시간단위에 따라 연속적으로 중첩하여 구한다. 즉, 각 월을 기준으로 하여 시간단위별에 해당하는 누가 강수 시계열을 산정하게 되며, 이를 누가된 월수로 나누어 이동평균 강수계열을 산정한다. 이러한 누가강수 시계열이 구성되면 적절한 확률분포형을 산정하게 되는데, SPI지수는 강수량만을 입력 자료로 사용하기 때문에 적절한 확률분포형으로 Gamma분포를 산정한다. 이러한 Gamma분포를 이용하여 개개의 변량에 대한 누가확률를 산정한 후 표준정규분포에 적용시킨 후 최

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

종적으로 SPI지수를 산정하게 된다.

수문학적 가뭄지수(MSWSI, Modified Surface Water Supply Index)는 기존의 가뭄지수인 PDSI, SPI는 기상자료를 중점적으로 사용하여 가뭄을 평가하기 때문에 지표 수문량에 영향을 받는 수문학적 가뭄평가에 어려움이 있었고, Shafer and Dezman가 1982년 개발한 SWSI(Surface Water Supply Index)는 융설량, 저류량, 하천유량, 강수량을 입력인자로 하여 가뭄을 평가하는데 기존의 개발된 가뭄지수 중 가장 수문학적으로 가뭄을 평가하는 가뭄지수 였으나, 복잡한 지형조건과 다양한 물공급 특성을 가진 우리나라의 수문학적 가뭄을 평가하기 위하여 SWSI를 보완하여 개발하였다.

용수공급을 고려한 가뭄지수는(WADI, Water Supply Drought Index) 실제 용수공급에 따른 가뭄을 정의하기 위해 개발된 가뭄지수로서 수리시설물별 표준화를 통해 산정된다. 전국의 수리 시설물 및 하천 유량을 파악하여 댐과 저수지 등 실제 사용하고 있는 용수공급 시설물의 공급 능력을 고려하여 개발된 신규 가뭄지수이다.(박지민 등, 2010; 박지민 등, 2011a; 박지민 등, 2011b) WADI의 정보는 전국 용수공급 수리시설물인 취수원(다목적댐, 용수전용댐, 하천), 지하수, 농업용 저수지, 하천유량의 현황자료이며, 시설물의 수자원 확보량에 따라 다르게 나타날 수 있는 가뭄상황의 한계를 극복하기 위해 전국 취수원의 용수공급까지 추가하여 개발되었다. WADI 산정방법은 그림 2.9와 같이 하천관측소의 전국 표준화 내삽 정보를 가장 하단에 구축하고, 댐상류 유역, 농업용 저수지의 내삽에 따른 결과가 표현된 농경지역과 수혜구역, 지하수위의 표준화 정보가 표현된 집수암거 수혜구역과 취수원의 수위로 표준화하여 표현된 시가지역 순으로 표현한다. 실제 영향을 미치는 수리시설물에 대한 정보를 지역에 직접 입력하여 체감 가뭄을 더욱 현실적으로 반영한다는 특징을 가지고 있다.

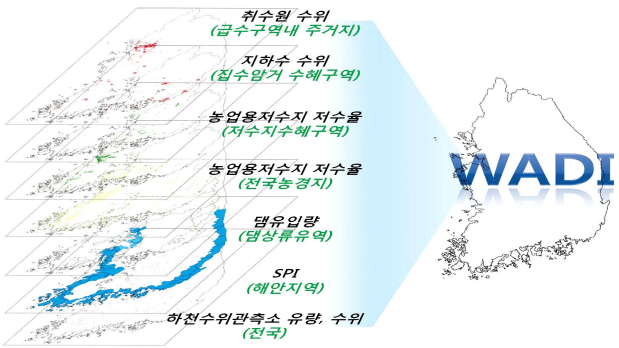


Fig. 2.9 Facility reiteration sequence and expression region used in WADI

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

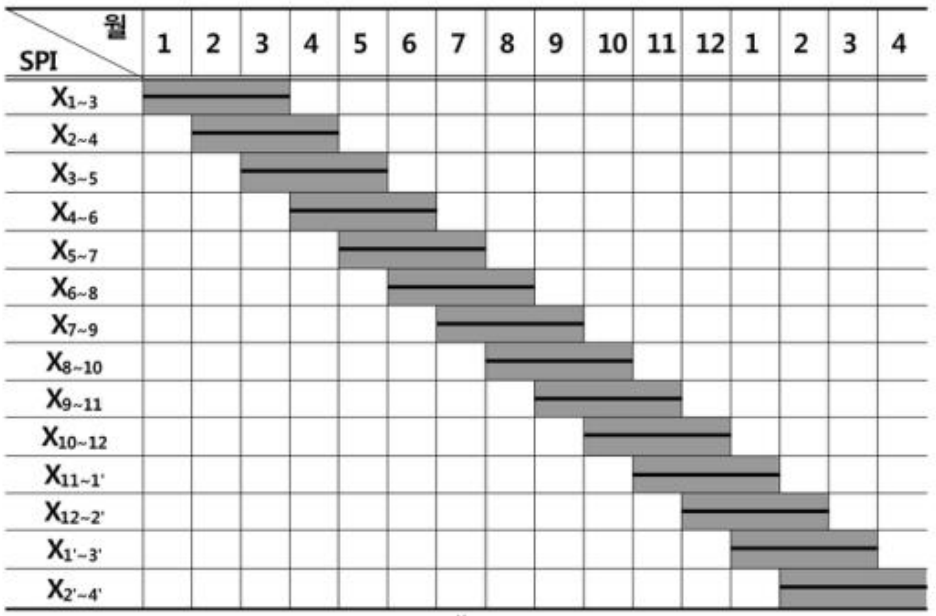
2.3.2 표준강수지수(SPI)의 가뭄분석

McKee et al.(1993, 1995)에 의해 개발된 SPI(Standardized Precipitation Index)는 전 세계적으로 가장 널리 사용되고 있는 가뭄지수로써 가뭄을 평가할 때 가장 많이 활용하고 있다. 특정 지역에 대한 장기간의 강수자료와 비교하여 단기의 강수 부족의 상태로 가뭄을 판단하는 방법으로 확률적인 분포에 의하여 심도를 정하는 지수이다. 최초 개발 이후 Guttman(1998, 1999)에 의하여 이전의 Palmer 가뭄지수와의 비교 검증을 통하여 그 우수성을 증명하였으며, 다양한 지역적 특성을 고려하여 Bordi et al.(2001)은 이탈리아, Bhuiyan et al.(2006)은 인도 지역에 SPI를 적용하고 이를 평가하였다.

강수의 부족이 지하수, 저수지, 하천유량, 토양 등에 영향을 주고 가뭄을 야기한다는 점을 착안하여 개발된 SPI는 특정지역의 강수자료만 사용하여 비교적 간단한 단순한 과정을 통하여 산정이 가능하며 3개월, 6개월, 9개월, 12개월의 다양한 지속기간에 대한 가뭄을 산정할 수 있는 장점을 가지고 있다. 여기서 단기간 지속기간인 1, 3개월의 SPI는 기상학적 가뭄 및 농업적 가뭄을 위해 이용되며, 장기간 지속기간인 9, 12개월의 SPI는 수자원 공급관리 등 수문학적 가뭄에 활용되고 있다. 일반적으로 짧은 지속기간에 대한 가뭄의 영향을 효과적으로 분석할 수 있다고 평가되고 있으며, 필요에 따라 연 단위의 장기적인 가뭄의 영향을 분석을 위해 사용되기도 한다. 그러나, 통계적인 분석을 위해서 30년 이상의 장기자료가 필요로 하다는 단점을 가지고 있다.

생성되는 SPI는 0을 기준으로 양과 음의 값을 가지는 지수를 산정하게 되고 이를 통해 가뭄의 정도를 평가한다. SPI 산정 절차는 다음과 같으며, 최초 SPI 산정을 위하여 시간단위별로 누가강수시계열을 구성한다. 이는 단위 시간별로 연속적으로 중첩해서 생성되는 이동 누가 방법이다(그림. 2.10).

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY



SPI	1월	2월	3월	4월	...	11월	12월
x년	-	-	$X_{1\sim3}$	$X_{2\sim4}$	...	$X_{9\sim11}$	$X_{10\sim12}$
x'년	$X_{11\sim1'}$	$X_{12\sim2'}$	$X_{1'\sim3'}$	$X_{2'\sim4'}$	...	$X_{9'\sim11'}$	$X_{10'\sim12'}$
...	...	...	...	...	...	...	...

Fig. 2.10 Time series of precipitation mass of SPI 3

또한, 누가강수시계열을 월별로 분류하여 각각의 월별로 지속시간별 시계열을 구한다. 생성된 지속시간별 시계열을 월별로 분석하여 적절한 확률분포형을 산정하게 되며, 다음 식 2.1 Gamma 확률분포함수를 사용한다.

$$g(x) = \frac{1}{\beta^{a}\Gamma(a)} x^{a-1} e^{-x/\beta} \tag{2.1}$$

여기서, x : 강수량, a : 형상매개변수(Shape parameter), β : 축척매개변수(Scale parameter), $\Gamma(a)$: Gamma 함수

각각의 지점과 지속기간인 3개월, 6개월, 9개월, 12개월에 따라 다른 값들이 추정되며, 추출된 표본자료가 나올 수 있는 확률이 최대가 되도록 매개변수를 선택하는 방법인 최우도법(Maximum Likelihood Method)을 이용하여 추정된다. 식 2.2와 식 2.3에 의하여 a, β에 대한 매개변수를 추정할 수 있다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

$$a = \frac{1}{4A}\left(1+\sqrt{1+\frac{4A}{3}}\right) \tag{2.2}$$

$$\beta = \frac{\overline{x}}{a} \tag{2.3}$$

$$A = \ln(\overline{x}) - \frac{\sum \ln(x)}{n} \tag{2.4}$$

여기서, A : 식 , n : 입력되는 자료의 수

$\Gamma(a)$는 Gamma 함수의 식 2.5와 같이 표현된다.

$$\Gamma(a) = \int_0^{\infty} y^{a-1} e^{-y} dy \tag{2.5}$$

Gamma 확률분포함수를 통하여 계산된 매개변수를 이용하여 각각의 대상지점의 시간간격에 대한 누가확률을 계산하게 된다.

$$G(x) = \int_0^{\infty} g(x)dx = \frac{1}{\widehat{\beta^a}\Gamma(\overline{a})} \int_0^{x} x^{\hat{a}-1} e^{-x/\hat{\beta}} dx \tag{2.6}$$

$t = x/\beta$로 치환하면 다음 식 2.7으로 표현할 수 있다.

$$G(x) = \frac{1}{\Gamma(\hat{a})} \int_0^{x} t^{\hat{a}-1} e^{-t} dx \tag{2.7}$$

Gamma 함수는 $x = 0$인 경우에서 정의되지 않지만 강수량의 경우 무강수가 발생하기 때문에 $x = 0$ 다음 식 2.8과 같은 혼합 분포형으로 나타낼 수 있다.

$$H(x) = q + (1-q)\, G(x) \tag{2.8}$$

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

여기서, $H(x)$는 누가확률 분포함수이고, q는 무강수의 확률로 강우 관측일수에 대한 무강일수의 비로 나타낼 수 있다.

$$q = m/n \tag{2.9}$$

마지막으로 각각의 지점에 대한 시간단위별 누가확률을 평균이 0이고 분산이 1인 표준정규분포의 임의의 변수로 적용시키는 과정이 필요하며, 식 2.10과 식 2.11을 통하여 표준정규분포로 변환된 임의의 변수 Z가 SPI 지수가 된다.

$$Z = SPI = -(t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3}), 0 < H(x) \leq 0.5 \tag{2.10}$$

$$Z = SPI = +(t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3}), 0.5 < H(x) \leq 1.0 \tag{2.11}$$

$$t = \sqrt{\lim(\frac{1}{(H(x))^2})}\ , \text{for}\, 0 < H(x) \leq 0.5 \tag{2.12}$$

$$t = \sqrt{\lim(\frac{1}{(H(x))^2})}\ , \text{for}\, 0.5 < H(x) \leq 1.5 \tag{2.13}$$

$$\begin{aligned} c_0 &= 2.515517\ c_1 = 0.802853\ c_2 = 0.010328 \\ d_0 &= 1.432788\ d_1 = 0.189269\ d_2 = 0.001308 \end{aligned} \tag{2.14}$$

위와 같은 방법으로 생성된 SPI는 총 7가지의 분류를 통하여 습윤과 건조의 정도를 나누고 있으며, 통상적으로 -1 이하의 값을 가뭄이라 판단한다. Table 2.5는 SPI의 분류에 따른 가뭄의 정도를 나타내었다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Table 2.5 Classification of drought intensity by using SPI

Classification	Drought Condition
over 2.00	Extremely wet
1.50 ~ 1.99	Very wet
1.00 ~ 1.49	Moderately wet
-0.99 ~ 0.99	Near Normal
-1.00 ~ -1.49	Moderately dry
-1.50 ~ -1.99	Severe dry
under -2.00	Extremely dry

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

2.4 군집분석

군집분석은 모든 시나리오들을 비슷한 특성을 가진 시나리오별로 그룹화 하는 것이며, 모집단 또는 범주에 대한 사전정보가 없는 경우에 주어진 자료들 사이의 거리 또는 유사성을 이용하여 전체를 몇 개의 집단으로 그룹화 하는 방법으로 계층적(hierarchical) 방법과 비계층적(non-hierarchical) 방법으로 구분할 수 있다(Wilks, 2006).

2.4.1 계층적 군집분석

계층적 군집분석은 크게 유사성이 높은 자료들끼리 묶으면서 단계적으로 나가는 병합방법과 유사성이 낮은 자료들을 하나씩 분리해 나가는 분할방법으로 나눌 수 있다(Wilks, 2006). 병합방법은 각 자료들이 별개 그룹에서 출발하므로 G개의 그룹에서 출발하나, 분할방법은 모든 자료들이 포함되는 하나의 그룹에서 출발한다.

계층적 군집분석의 그룹결과는 나무구조인 dendrogram형식으로 간단하게 나타낼 수 있으며, 이를 인용하여 전체 그룹들 간의 구조적 관계를 쉽게 파악 할 수 있다. 일반적으로 계층적 군집분석에서는 병합방법이 주로 사용되며, 그룹 사이의 거리를 측정하는 방법에 따라 그룹연결방법이 달라진다. 각 연결법은 그림 2.11과 같으며, 각 그룹연결 방법은 최단연결법(single-linkage method), 최장연결법(complete-linkage method), 평균연결법(average-linkage method), 중심연결법(centroid-linkage method)이 있다.

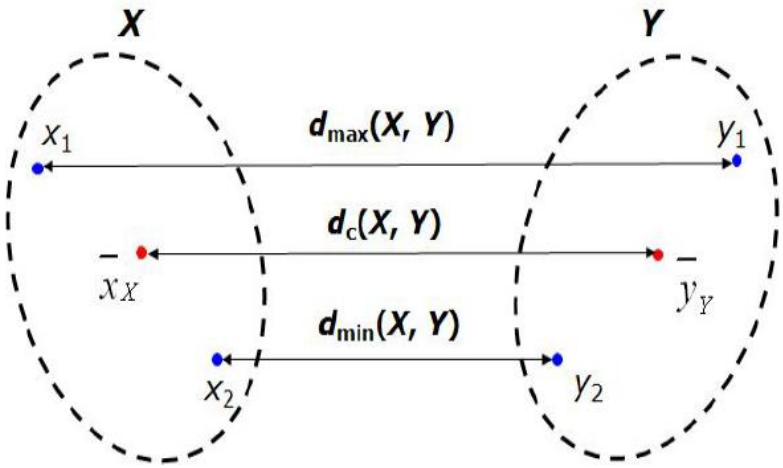


Fig. 2.11 Distance linkage methods of the hierarchical cluster analysis(Wilks, 2006)

* $d_{max}(X, Y)$: complete-linkage; $dc(X, Y)$: centroid-linkage; $d_{min}(X, Y)$: single-linkage

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

최단연결법은 차원이 N과 N'인 X와 Y 두 그룹간의 관측 변수에서 가장 가까운 자료의 거리를 측정하고 새로운 그룹을 생성한 후, 그 새로운 그룹에서 가장 가까운 자료의 거리를 측정하고 그룹을 다시 생성한다. 이러한 과정을 반복하게 되어 최종적으로는 하나의 그룹을 생성하게 되며, 이는 dendrogram으로 나타낼 수 있고,, 그 식은 2.15와 같다. 최단연결법의 특징은 관측 변수의 노이즈(noise) 및 이상치(outlier)에 매우 민감하게 거리가 측정된다.

$$d_{\min}(X, Y) = \min_{i \in X, j \in Y}(d_{i,j}) \tag{2.15}$$

최장연결법은 가장 먼 관측 변수간의 거리를 측정하여 그룹을 형성하는 방법이며, 그 식은 2.16과 같다. 최장연결법의 특징은 노이즈 및 이상치에 최단연결법에 비해 민감도가 작으나, 그룹의 크기 차이에 민감하게 거리가 측정된다.

$$d_{\max}(X, Y) = \max_{i \in X, j \in Y}(d_{i,j}) \tag{2.16}$$

평균연결법은 각 그룹의 관측 변수간의 거리를 식 2.17을 이용하여 평균하고, 평균거리에서 가장 가까운 자료들을 묶어 새로운 그룹을 생성하는 방법이다.

$$d_{ave}(X, Y) = \frac{1}{NN'} \sum_{i=1}^{N} \sum_{j=1}^{N'} (d_{i,j}) \tag{2.17}$$

중심연결법은 각 그룹의 중심값을 측정하여 이 거리를 이용하여 새로운 그룹을 생성하는 방법이며, 그 식은 2.18과 같다.

$$d_c(X, Y) = \| \overline{X} - \overline{Y} \| \tag{2.18}$$

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

2.4.2 비계층적 군집분석

계층적 군집분석은 어떤 자료가 특정한 그룹에 할당되면 다른 그룹에 재 할당 될 수 없는 단점이 있으나, 비계층적 군집분석은 초기에 할당이 잘못 되었더라도 다시 할당 할 수 있으며, 최종 그룹수가 미리 설정되어 있다고 가정한다(Wilks, 2006). 또한, 이 방법은 아래 세 가지 기준에 의하여 그룹할당이 달라질 수 있다.

① 초기 그룹을 어떻게 나눌 것인가?

② 개체를 어떤 기준에 의하여 그룹에 할당 할 것인가?

③ 특정 그룹에 속하는 개체의 일부 혹은 전체를 다른 그룹에 어떤 기준에 의하여 재 할당 할 것인가?

비계층적 군집분석은 가장 대표적인 K-means 방법과 K-means 방법의 단점을 보완한 Gaussian mixture model이 있다.

K-means 방법은 사전에 결정된 그룹 수 G를 기준으로 전체 자료들을 상대적으로 유사한 g개의 그룹으로 구분하는 방법이다. N차원을 가지는 I개의 자료가 있을 때, 각 자료는 초기에 설정된 G개의 그룹 중 어느 한 그룹에 할당된다고 가정한다. 이때 i번째 자료의 j번째 변수를 $X(i, j)$로 표시하고, g번째 그룹에 속한 I_c개의 자료들의 j번째 변수에 대한 평균을 $\overline{X}(g, j)$로 표시했을 때 i번째 자료와 g번째 그룹 사이의 거리를 Euclidean 거리를 이용하여 나타내면 식 2.19와 같다(성웅현, 2005; Wilks, 2006).

$$d(i,g) = (\sum_{j=1}^{N} [X(i,j) - \overline{X}(g,j)]^2)^{1/2} \tag{2.19}$$

또한, 각 자료를 g번째 그룹에 재 할당할 때 오차자승합 E는 식 2.20과 같다.

$$E = \sum_{i=1}^{N} [d(i,g(i))]^2 \tag{2.20}$$

여기서, $g(i)$는 그룹 g가 i번째 자료를 포함하고 있다는 것을 의미하며, $d(i,g(i))$는 i번째 자료와 그 자료를 포함하고 있는 그룹사이의 Euclidean거리를 나타낸다(Mirkes, 2011). 따라서, K-means 방법에서 그룹별로 자료를 할당하는 것은 오차자

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

승합 E가 최소화 될 때까지 반복하여 수행하게 된다. 일반적으로 k가 늘어나면 E는 줄어드는 경향이 있다(이재경, 2013).

K-means 분석 단계는 총 7단계 이며((Wilks, 2006). 순서는 그림 2.12와 같다(Mirkes, 2011).

① 자료들을 g개의 그룹에 임의로 할당한다.

② 각 그룹의 평균을 계산한다.

③ 각 그룹의 평균과 각 자료들 사이의 거리를 측정한다.

④ 만약 자료가 현재 할당되어 있는 그룹평균에 가장 가까우면 그대로 그룹에 할당하고, 다른 그룹평균에 가깝다면 다른 그룹에 다시 할당한다.

⑤ ②번으로 되돌아가서 각 그룹의 평균을 다시 계산한다.

⑥ ③~④번을 다시 수행한다.

⑦ 다시 할당되는 자료가 없을 때까지 ②~⑤번까지 다시 수행한다.

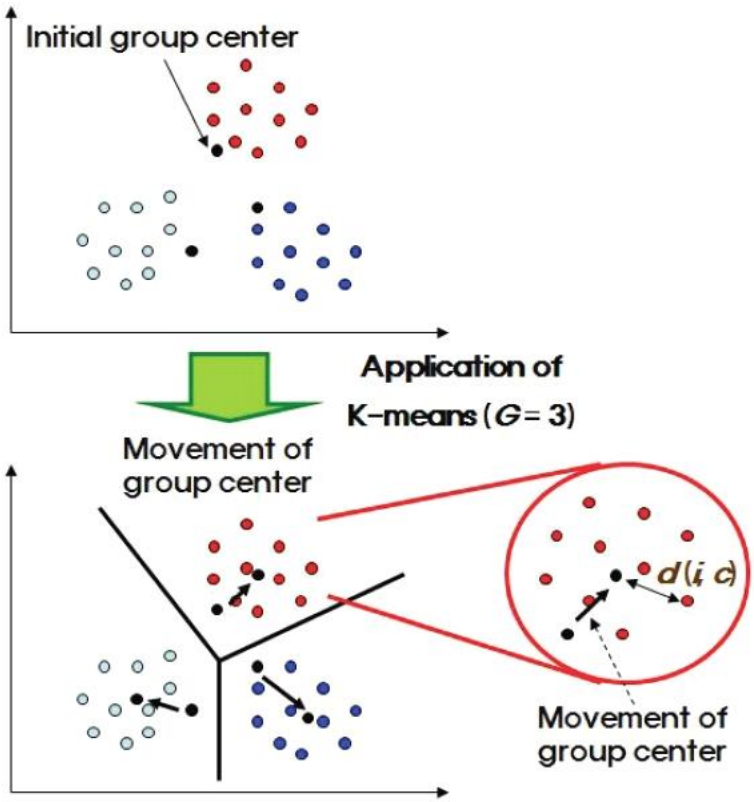


Fig. 2.12 Procedure of the K-means method(Mirkes, 2011)

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

K-means 방법의 결과는 초기 그룹 수 G의 결정에 매우 민감하게 반응하기 때문에 여러 가지의 g값을 선택하여 K-means 방법을 수행 한 후 가장 좋다고 생각되는 g값을 이용한다. 또한, 적절한 g값을 선택함에 있어서 가장 좋은 방법은 자료의 시각화를 통하여 최적 g값의 결정이며, 이는 각 그룹간의 자료들이 잘 할당이 되었는지 혹은 중복되는지를 그래프로 나타내어 분석하는 것이다.

Gaussian mixture model은 K-means 분석시 그룹이 겹치는 경우에 결과가 나쁘게 나타나며, 이상치에 민감하고 각 자료가 할당된 그룹에 속하지 않을 불확실성에 대한 측정치가 없는 단점을 보완하기 위해 제시된 방법이다(Pan et al, 2007).

이 방법은 자료를 각 그룹으로 가장 잘 할당 할 수 있는 최적의 평균과 분산을 추정하는 가장 중요한 부분이며, 이 방법의 최종 결과물은 각 자료가 각 그룹에 속할 확률이다. 주어진 자료 x에 대하여 Gaussian mixture model의 mixture distribution이 식 2.21과 같다고 한다면, 식 2.21의 log-likelihood는 식 2.22와 같다.

$$f(x|\mu,\sigma^2)=\sum_{g=1}^{G} w_g f_g(x|\mu,\sigma^2) \tag{2.21}$$

$$L(\mu,\sigma^2|x)=\log[\prod_{i=1}^{N}\sum_{g=1}^{G} w_g f_g(x_n|\mu_g,\sigma_g^2)] \tag{2.22}$$

여기서, N은 자료 수, G는 그룹 수, w_g는 g번째 그룹의 가중치, μ_g와 σ_g^2는 g번째 그룹의 평균과 분산이다. Gaussian mixture model은 log-likehood가 최소가 되는 G값이 가장 적절한 그룹 수가 된다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

3. 농업용수 수요량 산정 및 수요예측

제주도 농업용수의 수요예측은 제주특별자치도 수자원관리종합계획(제주특별자치도, 2013, 2018보완), 동부권역 농업용수 통합 광역급수체계 기본계획 및 기본설계(제주특별자치도, 2014), 제주특별자치도 농업용수 통합 광역화사업 예비타당성조사(한국개발연구원, 2016), 제주특별자치도 농업용수 통합 광역화사업 기본조사 보고서(한국농어촌공사, 2017) 등의 자료를 분석·검토하였다.

3.1 농업용수 수요량 산정방법

농업용수 수요량을 산정하는 방법은 사용수량을 직접 계측하는 방법, 대표작물의 단위수량으로 추정하는 방법, 증발산 이론을 이용하여 추정하는 방법 등이 있다. 농업용수 수요량은 양적인 개념으로 최대수요량을 대비하여 산정하여야 하며, 무강우시 최대 가뭄시기에 작물관개에 필요한 용수량으로 산정하여야 한다(한국농어촌공사, 2009).

사용수량을 직접 계측하는 방법은 각 작물별로 사용되는 농업용수를 직접 계측하는 것으로서 가장 정확하지만, 기상 및 지형조건에 크게 좌우되는 농업용수 특성을 반영한 전국적인 계측망과 장기적인 실측자료가 미흡하기 때문에 현실적으로 적용이 어려운 실정이며, 대표작물의 단위수량으로 추정하는 방법은 표본지구 및 대표작물의 실제 사용수량을 일정기간 계측한 자료를 바탕으로 관개지구 또는 지역을 확대 적용하여 추정하는 방법으로 직접 계측하는 것보다 현실적이지만 작물별, 지역별로 상이한 농업용수 사용특성을 반영하기 어려운 한계가 있다.

증발산 이론에 의한 추정방법은 작물생장에 필요한 증발산량을 산정하여 용수량을 추정하는 방법으로서, 실측자료가 없어도 농업용수를 추정할 수 있고, 기상자료와 농업용수의 지역별 특성을 반영할 수 있기 때문에 전국적으로 일관된 수요량 추정이 가능하다는 장점이 있다. 증발산량 산정방법은 기준작물에 대하여 잠재증발산량을 계산하여 이 값에 작물계수를 곱하여 산정한다.

잠재증발산량 계산방법은 Blaney-Criddle식과 Penman식, Penman-Monteith식이 있으며, Blaney-Criddle식은 미국 서부지방의 건조지대에서 밭작물의 증발산량계산식으로 만들어진 것으로서 증발산량은 주로 기온과 주간시간의 영향을 받는다는 사실에 근거하여 유도된 것이며, Penman식은 습윤지대에서 기온, 습도, 일사, 증기압, 풍속 등 기상요소를 변수로 이용하여 증발산위를 구하기 위해 제시한 것이다. 이

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

방법은 기상자료가 없는 곳에서는 이용하기 어렵고, 건조지역이나 저습도 지역에서는 잘 맞지 않는 단점이 있다.

Penman-Monteith식은 2000년대 이후, FAO에서 일반적으로 사용하고 있는 방법으로 상대습도, 이슬점온도, 평균풍속, 일조시간 등의 기상자료와 기준 초지면을 바탕으로 관측소별로 기준증발산량(ETo)을 산정하고, 토양수분에 의한 제한이 없다는 가정하에 토지이용별 작물계수(Kc)를 산정하여 각각에 반영한 작물증발산량(ETc)를 산정하는 방법이다.

밭 경지정리 방안과 효율적인 관개방법 개발연구(한국농어촌공사, 1997)에서 다양한 증발산량 계산식에 의한 계산정도를 비교하여 Penman-Monteith식이 가장 좋은 결과를 나타낸다고 평가하였으며, 제주특별자치도 수자원관리종합계획(2013, 2018), 제주특별자치도 농업용수 통합 광역화사업 기본조사 보고서(한국농어촌공사, 2017)에서 제주도 농업용수 수요량은 Penman-Monteith식을 적용하였다.

3.2 농업용수 단기 수요예측

제주도 2020년 농업용수 수요량 예측은 농경지 총면적은 54,142ha, 급수면적은 40,144ha이며, 농업용수 총 수요량은 1,214,039㎥/day, 1ha당 수요량은 30.2㎥/day/ha이다(제주특별자치도 수자원관리종합계획, 2013). 지역별로는 표 2.6과 같이 제주시의 농업용수 급수면적은 18,968ha이고, 1ha당 수요량은 27.0㎥/day/ha로 나타났다. 서귀포시의 농업용수 급수면적은 21,176ha, 1ha당 수요량은 33.2㎥/day/ha로 조사되어, 서귀포시가 제주시보다 급수면적은 1.12배 넓으며, 1ha당 용수 수요량도 6.2㎥/day이 더 많은 것으로 나타났다.

Table 2.6 Demand expectation of agricultural water in Jeju-do in 2020

구 분	농경지면적 (ha)	급수면적 (ha)	수요량 (㎥/day)	1ha당수요량 (㎥/day/ha)
계	54,142	40,144	1,214,039	30.2
제 주 시	27,576	18,968	511,362	27.0
서귀포시	26,566	21,176	702,677	33.2

제주특별자치도 수자원관리종합계획(2013)

또한, 향후 2020년의 농업용수 수요량 산정을 위한 재배면적 추정은 채소류, 감귤, 식량작물을 대상으로 산정하고, 농업용수 수요량이 적은 옥수수, 수수, 참깨, 유채 등 특수작물은 산정에서 제외하였다(제주특별자치도 수자원관리종합계획, 2013).

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

재배면적은 표 2.7과 같이 제주도 총 재배면적은 48,421.2ha이고, 제주시는 25,331.0ha, 서귀포시는 23,090.2h로 나타났고, 작목별로 구분하면 감귤이 18,500.0ha로서 가장 넓은 면적을 차지하며, 채소가 15,010.7ha, 식량작물이 14,910.5ha의 순으로 나타났다.

지역별로는 제주시 구좌읍이 6,334.7ha로 가장 넓으며, 한경면이 5,213ha, 대정읍이 4965.0ha, 남원읍이 4,809ha, 애월읍이 4,785.6ha의 순으로 나타났다. 재배면적이 가장 작은 지역은 안덕면 2,361.1ha로서 구좌읍에 비해 약 1/3의 면적을 보였다.

Table 2.7 Estimation of crops cultivation area in 2020(제주특별자치도, 2013)

구 분		재배면적				주요 재배작물 (채소류)
		총	감귤	채소	식량작물	
제주도 계		48,421.2	18,500.0	15,010.7	14,910.5	
제주시	소 계	25,331.0	5,599.7	8,786.1	10,945.2	
	동지역	2,798	1,679	220	899	무, 파
	한림읍	3,724	507	1,121	2,096	양배추, 양파, 마늘
	애월읍	4,786	1,303	2,122	1,361	양배추, 파, 양파, 수박, 마늘
	구좌읍	6,334.7	78.2	2,869.1	3,387.4	당근, 무, 감자, 마늘, 파, 양파
	조천읍	2,475	1,271	571	633	호박, 마늘, 무, 양파, 수박
	한경면	5,213	762	1,883	2,568	마늘, 양파, 양배추, 무, 파
서귀포시	소 계	23,090	12,900	6,225	3,965	
	동지역	4,386	4,357	17	12	-
	성산읍	3,908	845	2,574	489	무, 당근, 호박, 감자, 배추
	표선면	2,661	1,482	620	559	무, 호박, 감자, 당근
	남원읍	4,809	4,790	1	18	-
	안덕면	2,361	817	251	1,293	마늘, 감자, 파
	대정읍	4,965	609	2,762	1,594	마늘, 호박, 감자, 무, 양배추

제주특별자치도 농업용수 통합 광역화사업 예비타당성조사(한국개발연구원, 2016)는 제주특별자치도의 농업용수 공급체계를 통합 광역화 급수체계로 구축하여 물 부족 문제를 해결하고, 농업용수 사용의 공공성 확보와 지하수 난개발을 방지하기 위한 광역화사업에 대한 경제성과 정책성, 지역균형발전 분석을 수행하여 사업추진의 타당성 여부를 검토하는 것이다.

제주특별자치도 농업용수 통합 광역화사업 예비타당성조사(한국개발연구원, 2016)는 표 2.8과 같이 제주도 전체 1ha당 2020년 농업용수 수요량은 36.6㎥/day이고, 제주시는 36.3㎥/day, 서귀포시는 36.9㎥/day 로 나타났다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Table 2.8 Demand expectation of agricultural water in Jeju-do(한국개발연구원, 2016)

구 분	농경지면적 (ha)	급수대상면적 (ha)	급수면적 (ha)	수요량 (㎥/day)	1ha당수요량 (㎥/day/ha)
계	49,620	37,031	33,824	1,239,552	36.6
제 주 시	23,054	15,855	14,851	539,554	36.3
서귀포시	26,566	21,176	18,973	699,998	36.9

표 2.9는 농업용수 통합 광역화사업 예비타당성조사(한국개발연구원, 2016)에서 제주도를 총 11개 권역으로 나누고, 급수계획 면적은 33,824ha, 농업용수 수요량은 1,239,552㎥/day, 기 확보량은 919,659㎥/day, 총 부족량은 319,893㎥/day로 분석하였다.

지역별로 살펴보면 제주시 부족량은 133,407㎥/day, 서귀포시 부족량은 186,486㎥/day이었다. 또한, 제주시의 경우에는 동지역은 65,597㎥/day로 가장 많이 부족하였으며, 조천읍은 30,771㎥/day, 애월읍은 25,572㎥/day, 한림읍은 13,740㎥/day 순으로 부족한 것으로 나타났고, 한경면은 2,273㎥/day가 남는 것으로 나타났다. 서귀포시의 경우에는 남원읍은 60,942㎥/day로 가장 많이 부족하였으며, 동지역은 44,676㎥/day, 대정읍은 39,360㎥/day, 안덕면은 17,180㎥/day, 표선면은 13,394㎥/day, 성산읍은 10,934㎥/day 순으로 부족한 것으로 나타났다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Table 2.9 Demand expectation of agricultural water in the sphere of Jeju-do(한국개발연구원, 2016)

권 역		급수대상 면적(ha)	급수계획 면적(ha)	단위용수량 (㎥/day/ha)	농업용수 수요량(A) (㎥/day)	기 확보량 (B) (㎥/day)	과 부족량 (C=A-B) (㎥/day)
계		37,031	33,824	36.65	1,239,552	919,659	- 319,893
제주시	소 계	15,855	14,851	36.33	539,554	406,147	- 133,407
	동지역	3,062	2,636	46.91	123,652	58,055	- 65,597
	한림읍	2,602	2,470	34.76	85,856	72,116	- 13,740
	애월읍	4,888	4,586	28.49	130,653	105,081	- 25,572
	조천읍	2,084	1,986	40.28	79,995	49,224	- 30,771
	한경면	3,219	3,173	37.63	119,398	121,671	+ 2,273
서귀포시	소 계	21,176	18,973	36.89	699,998	513,512	- 186,486
	동지역	4,192	3,908	41.21	161,047	116,371	- 44,676
	성산읍	1,847	1,473	24.59	36,220	25,286	- 10,934
	표선면	2,438	2,192	26.79	58,722	45,328	- 13,394
	남원읍	5,547	4,510	37.97	171,244	110,302	- 60,942
	안덕면	1,857	1,646	34.93	57,459	40,279	- 17,180
	대정읍	5,295	5,245	41.05	215,306	175,946	- 39,360

표 2.10은 최근에 수행된 제주특별자치도 수자원관리종합계획(2013)과 농업용수 통합 광역화사업 예비타당성조사(2016)에서 농업용수 수요량의 차이를 비교·검토하였다. 제주도 전체는 광역화사업 예비타당성조사의 값이 수자원관리종합계획의 값보다 6.5㎥/day/ha 증가한 것으로 나타났고, 제주시가 9.3㎥/day/ha, 서귀포시는 3.7㎥/day/ha 더 많이 소요되는 것으로 나타났다. 따라서, 제주도의 양시에서는 농업면적의 증가와 작물체계의 변화에 의해 농업용수 수요량이 늘어나고 있으며, 제주시가 서귀포시에 비해 5.6㎥/day/ha가 증가하는 경향을 보이고 있다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Table 2.10 Comparison between A and B about demand expectation of agricultural water in Jeju-do in 2020

(단위: ㎥/day/ha)

구 분	1ha당 농업용수 수요량		
	수자원관리종합계획(A)	광역화사업 예비타당성(B)	증감(△)
제 주 도	30.1	36.6	6.5
제 주 시	27.0	36.3	9.3
서귀포시	33.2	36.9	3.7

3.3 농업용수 장기 수요예측

제주특별자치도는 제주 농업용수 통합광역화사업을 시행하기 위하여, 2016년 7월 기획재정부에 예비타당성조사 보고서를 제출하여 예비타당성 심의를 통과하였고, 2017년 12월 기본계획을 수립하여 2018년 7월 정부로부터 사업 승인을 받았다.

표 2.11과 같이 제주 농업용수 통합광역화사업 예비타당성조사(한국개발연구원, 2016) 보고서에는 제주도 농지면적을 제주특별자치도 수자원관리종합계획(2013, 2018)의 2011년도 자료를 인용하여 농지면적은 46,620ha로 적용하였고, 광역화사업 계획면적은 33,824ha를 적용하였으나, 제주 농업용수 통합광역화사업 기본계획(한국농어촌공사, 2017)에서는 제주특별자치도 2017년도 통계자료를 인용하여 농지면적은 46,968ha, 광역화사업 계획면적은 시범지구인 구좌읍 면적 2,084ha를 제외하고 32,755ha를 적용하였다. 이렇게 농지면적이 감소한 이유는 외국 기업의 대규모 개발사업 시행과 인구증가에 따른 도시화가 가속화하고 있기 때문인 것으로 판단된다.

Table 2.11 Comparison between preliminary feasibility survey and general planning about agricultural area

구 분	농지면적(ha)			광역화사업 계획면적(ha)		
	예비타당성 (A)	기본계획 (B)	증감(△) (C=B-A)	예비타당성 (A)	기본계획 (B)	증감(△) (C=B-A)
계	49,620	46,968	△2,652	33,824	34,755	△1,069
제 주 시	23,054	21,149	△1,905	14,851	14,851	0
서귀포시	26,566	25,819	△747	18,973	17,904	△1,069

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

제주도 2030년 농업용수 수요량 예측은 해당권역의 기상대로부터 계측된 과거 기상자료(2001～2016)와 기후변화 시나리오(RCP 4.5)로 계산된 미래기상자료(2017～2030)를 이용한 순별 강수량 및 잠재증발산량을 이용하였다(제주 농업용수 통합광역화사업 기본계획, 2017).

제주 농업용수 통합광역화사업 기본계획(한국농어촌공사, 2017)에 따르면, 표 2.12와 같이 광역화사업 계획급수면적에 대한 2030년도 제주도 전체 농업용수 수요량은 1,352,126㎥/day로 예측되었고, 제주시는 624,910㎥/day, 서귀포시는 727,216㎥/day로 나타났으며, 남원읍이 199,387㎥/day로 가장 크고, 성산읍이 36,928로 가장 적은 것으로 나타났다.

Table 2.12 Demand expectation of agricultural water in Jeju-do in 2030(한국농어촌공사, 2017)

구 분		농경지 면적(ha)	급수대상 면적(ha)	농업용수 수요량 (㎥/day)	단위용수량 (㎥/day/ha) (A)	광역화사업	
						계획급수 면적(ha) (B)	농업용수 수요량 (㎥/day) (C=A×B)
계		78,389	48,009	1,848,012	38.81	34,839	1,352,126
제주시	소 계	39,498	22,506	835,496	36.90	16,935	624,910
	동지역	7,838	3,957	203,490	51.42	2,636	135,543
	한림읍	4,201	2,532	77,967	30.79	2,470	76,051
	애월읍	8,086	4,281	144,158	33.68	4,586	154,456
	구좌읍	8,279	5,401	177,094	32.79	2,084	68,334
	조천읍	5,014	2,379	116,209	48.85	1,986	97,016
	한경면	6,080	3,956	116,578	29.47	3,173	93,508
서귀포시	소 계	38,891	25,503	1,012,516	40.61	17,904	727,216
	동지역	9,974	6,413	306,626	47.81	3,908	186,841
	대정읍	5,879	4,405	155,723	35.36	4,176	147,664
	남원읍	7,387	4,833	213,644	44.21	4,510	199,387
	성산읍	5,814	4,398	110,272	25.07	1,473	36,928
	안덕면	4,724	2,766	127,380	46.05	1,645	75,752
	표선면	5,113	2,688	98,871	36.79	2,192	80,644

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

3.4 농업용수 수요량 적용

제주 농업용수 통합광역화사업 기본계획(한국농어촌공사, 2017)에 따르면, 표 2.13과 같이 2020년 농업용수 단위용수량은 36.96㎥/day/ha이고, 2030년 농업용수 단위용수량은 38.81㎥/day/ha로 예측되어, 농업용수 단위용수량 2030년 예측값이 2020년 보다 1.85㎥/day/ha가 많은 것으로 분석되었다. 또한, 농업용수 수요량은 2020년이 1,287,586㎥/day이고, 2030년이 1,352,126㎥/day로 예측되어, 2030년 예측값이 2020년 보다 64,540㎥/day가 많은 것으로 분석되었다.

제주 농업용수 통합광역화사업 기본계획은 제주도의 시설작물 재배면적은 증가추세이나, 도시화에 따른 농경지 면적 감소, 용수관로 효율 개선 및 이용체계 재편 등을 감안하여 목표연도 2020년 농업용수 수요량을 적용하였다.

Table 2.13 Comparison between 2020 and 2030 in agricultural water demand

구 분		광역화사업 계획면적 (ha)	2020년(A)		2030년(B)		증감(C=B-A)	
			단 위 용수량 (㎥/day/ha)	수요량 (㎥/day)	단 위 용수량 (㎥/day/ha)	수요량 (㎥/day)	단 위 용수량 (㎥/day/ha)	수요량 (㎥/day)
계		34,839	36.96	1,287,586	38.81	1,352,126	1.85	64,540
제주시	소 계	16,935	37.29	631,494	36.90	624,910	-0.39	-6,584
	동지역	2,636	46.91	123,652	51.42	135,543	4.51	11,888
	한림읍	2,470	34.76	85,856	30.79	76,051	-3.97	-9,806
	애월읍	4,586	28.49	130,653	33.68	154,456	5.19	23,801
	구좌읍	2,084	44.19	91,940	32.79	68,334	-11.39	-23.758
	조천읍	1,986	40.28	79,995	48.85	97,016	8.57	17,020
	한경면	3,173	37.63	119,398	29.47	93,508	-8.16	-25,892
서귀포시	소 계	17,904	36.64	656,092	40.61	727,216	3.52	71,124
	동지역	3,908	41.21	161,047	47.81	186,841	6.60	25,794
	대정읍	4,176	41.05	171,400	35.36	147,664	-5.69	-23,736
	남원읍	4,510	37.79	171,244	44.21	199,387	6.42	28,143
	성산읍	1,473	24.59	36,220	25.07	36,928	0.48	708
	안덕면	1,645	34.93	57,459	46.05	75,752	11.12	18,293
	표선면	2,192	26.79	58,722	36.79	80,644	10.00	21,922

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

제주도 권역별 농업용수 수요량 산정에 대한 고찰에 따르면, 제주도 주요작물 재배면적에 대한 전망을 분석한 결과 식량작물의 재배면적은 점차 감소하는 반면 채소류의 재배면적은 시설재배작물의 꾸준한 수요증가에 따라 증가하는 경향이 나타나고 있으며, 주요작물 재배면적 감소의 주원인인 노지감귤 재배면적 감소분은 농업용수 수요량이 상대적으로 많은 시설감귤 및 시설과실류로 전환되고, 전체 채소류 재배면적은 감소하지만 수요량이 많은 시설채소류의 재배면적이 늘어날 것으로 전망됨에 따라 향후 농업용수의 수요량이 지속적으로 증가 할 것으로 판단된다(최광준 등, 2013).

향후, 제주도는 자유무역협정에 따른 농산물 개방으로 농업 경쟁력을 높이고, 생산성 향상을 위하여 고소득 특용작물 위주로 작부체계가 전환되어 농업용수 수요가 큰 시설재배 면적이 증가 할 것으로 전망된다. 또한, 농업용수 이용자들의 농업용수 이용에 대한 기대수준 향상과 기온상승, 가뭄심화 등 기후변화에 따른 안정적인 용수공급을 요구하므로 10년 한발빈도의 농업용수 공급 정책에도 변화와 개선이 필요한 실정이다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

4. 우리나라 통합물관리 정책

4.1 통합물관리 정의와 필요성

물관리기본법 제12조(통합물관리)는 통합물관리란 국가와 지방자치단체는 지표수와 지하수 등 물순환 과정에 있는 모든 형상의 물이 상호균형을 이루도록 관리하고, 정책을 수립·시행할 때에는 물순환 과정의 전주기를 고려하며, 물관리에 있어서 수량확보, 수질보전, 가뭄 및 홍수 등으로 발생하는 재해방지, 기후·토지·자원·환경·식생 등과 같은 자연환경, 경제·사회 등에 미치는 영향 등을 종합적으로 고려해야한다고 명기하고 있다.

통합물관리(Integrated Water Resources Management, IWRM)의 기본개념은 담수자원의 지속가능한 확보와 하천환경의 보전을 위해 지표수와 지하수, 수량과 수질, 물이용의 다양한 용도를 고려하여 토지와 물자원을 하천유역단위로 통합 관리하는 것이다(윤용남, 2015).

지난 2018년 5월 정부조직법 통과 전까지 정부의 물관리 조직체계는 여러 가지 문제점을 가지고 있었다. 공공수역에서의 수량관리는 국토교통부, 수질관리는 환경부로 이원화 되어있어서 수량·수질의 통합관리가 어려웠다. 용도별 관리측면에서는 국토교통부는 주로 생활용수, 공업용수를 관리하고, 환경부는 생활용수, 농림축산식품부는 농업용수, 산업통상자원부는 수력발전용수를 담당하여 관리주체가 다원화되어 개발계획 수립시 국가 예산의 중복투자 우려가 있었다.

재난 및 재해대책 측면에서는 행정안전부는 자연재해 발생시 방재대책업무와 도시지역의 우수유출 억제시설 관리, 국토교통부는 홍수예방 차원의 치수사업, 환경부는 우수관거시설 관리업무 등 관련 업무가 분산되어 있었고, 수량과 수질관리의 이원화, 물수요과 공급관리의 이원화로 인한 부처간 협의 지연과 주도권 다툼, 이견과 분쟁으로 인한 수자원관련 사업 추진의 차질, 중복투자로 인한 예산 낭비 및 재정손실이 가장 큰 문제점이라 할 수 있다(윤용남, 2015).

이러한 문제점들을 해결하기 위하여 물관리 일원화가 필요하며, 통합물관리는 각종 사업들을 보다 연계성 있고, 효율적이며, 공평성 및 지속성을 극대화하기 위하여 필요하다. 통합물관리는 기존 수자원시설을 최대한 활용함으로써 경제성 및 환경적 물의 가치를 실현하고, 지역간 물공급 불균형 해소를 위해 남는 물을 부족한 지역으로 지원하고, 수질·생태 등 환경을 배려함으로써 물 복지를 확대하며, 기후변화와 재난방지 및 미래 물이용의 지속성을 보장하는 것이다(박정수, 2014).

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

4.2 물관리기본법

우리나라 정부는 2018년 6월 물관리기본법을 제정하여, 물관리 정책의 기본방향을 제시하고 물관리에 필요한 기본적인 사항을 규정함으로써 물의 안정적인 확보, 물환경의 보전·관리, 가뭄·홍수 등으로 인하여 발생하는 재해의 예방 등을 통하여 지속가능한 물순환 체계를 구축하는 것을 목적으로 하고 있다.

물관리기본법은 물관리 기본이념, 물의 사용허가 및 사용료 부과, 국가·유역 물관리위원회 구성, 물관리 기본계획 수립 등 국가 물관리에 관한 최상위 기본법률에 해당되며, 물관리 일원화의 기본 틀을 제공하여 통합물관리 정책의 가시화를 이루기 위한 근거법이라 할 수 있다.

물관리기본법에서 물은 지구의 물순환 체계를 통하여 얻어지는 공공의 자원으로서 모든 사람과 동·식물 등의 생명체가 합리적으로 이용하여야 하고, 물을 관리함에 있어 그 효용은 최대한으로 높이되 잘못 쓰거나 함부로 쓰지 아니하며, 자연환경과 사회·경제 생활을 조화시키면서 지속적으로 이용하고 보전하여 그 가치를 미래로 이어가게 함을 기본이념으로 하고 있다.

물관리의 기본원칙으로 물의 공공성, 건전한 물순환, 수생태환경의 보전, 유역별 관리, 통합 물관리, 협력과 연계 관리, 물의 배분, 물수요관리, 물 사용의 허가, 비용부담, 기후변화 대응, 물관리 정책 참여를 제시하였다. 물의 공공성은 물은 공공의 이익을 침해하지 아니하고 국가의 물관리 정책에 지장을 주지 아니하며 물환경에 대한 영향을 최소화하는 범위에서 이용되어야 하며, 건전한 물순환은 물이 순환과정에서 지구상의 생명을 유지하고, 국민생활 및 산업활동에 중요한 역할을 하고 있는 점을 고려하여 생태계의 유지와 인간의 활동을 위한 물의 기능이 정상적으로 유지 될 수 있도록 하여야 한다고 명시하고 있다.

물관리를 위한 정책을 수립·시행하는 경우 생물 서식공간으로서의 물의 기능과 가치를 고려하여 수생태계 건강성이 훼손되는 때에는 이를 개선·복원하는 등 지속가능한 수생태환경의 보전의 노력도 포함하고 있으며, 물은 지속가능한 개발·이용과 보전을 도모하고 가뭄·홍수 등으로 인하여 발생하는 재해를 예방하기 위하여 유역 단위로 관리되어야 함을 원칙으로 하되, 유역 간 물관리는 조화와 균형을 이루어야 한다.

우리나라는 하천법, 지하수법, 농어촌정비법, 환경정책기본법, 수도법, 하수도법, 먹는물 관리법 등 기존 물관리 관련 개별 법률들 간의 중복성과 상충성을 배제하

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

고, 연계성을 강화하며, 지표수와 지하수 등 물순환 과정에 있는 모든 형상의 물이 상호 균형을 이루도록 관리하기 위하여 '물관리기본법'을 2018년 6월 12일 제정하고, 2019년 6월 13일부터 시행하였다.

1997년 제 15대 국회부터 의원 입법 및 정부 입법형태로 총 10건의 '물관리기본법안'이 발의 되었으나, 관련 부처와 물관련 단체들의 의견 차이로 모두 임기만료 폐기되었다. 제 20대 국회에서 1건의 물기본법안과 6건의 물관리기본법안이 발의되었고, 이번에 제정된 '물관리기본법'은 7건의 법률안에 대한 대안으로 마련되었으며, 국가 차원의 통합물관리에 필요한 기본적인 사항 등을 규정하고 있다.

표 2.14는 국회 회기별 물관리기본법안 발의현황을 정리하여 나타낸 것이다. 지난 22년 동안 총 6번의 발의를 하였으며, 의원입법은 5번, 정부입법은 1번 추진하였다. 국회에서는 제19대에 국회스마트물포럼, 제20대는 국회물관리연구회라는 관련조직을 구성하여 물관리기본법을 제정하기 위하여 노력하였다.

Table 2.14 Present condition of propose for water management fundamental law(국회, 2018)

국회 회기	년도	대표발의자	입법형태	비 고
제15대	1997	방용석	의원입법	
제17대	2006	건설교통부, 환경부	정부입법	
제18대	2009	김소남, 이윤성, 이병석	의원입법	
제19대	2013	함진규	의원입법	
제19대	2015	정우택, 박기춘	의원입법	국회스마트물포럼
제20대	2018	주승용	의원입법	국회물관리연구회

4.3 우리나라 통합물관리 정책

우리나라의 물관리는 크게 댐 및 보 등 하천관리의 '수량', 물환경 및 생태관리의 '수질', 태풍, 호우 및 폭설 등의 '재해' 분야로 구분하여 관리하여 왔다.

1990년대 초반까지 수량과 수질분야 물관리 업무는 대부분 국토교통부에서 담당하였으나, 1991년 낙동강 페놀유출, 1994년 낙동강 정수장 악취발생 등의 수질사고가 발생하자, 정부는 건설부와 보건사회부 소관 수질관련 기능을 환경처에서 수행하도록 조직을 개편하였고, 이때부터 수량과 수질 업무가 이원화되었다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

표 2.15와 같이 국토교통부는 수량・하천관리, 환경부는 수질・유역관리, 농림축산식품부는 농업용수, 산업통상자원부는 수력발전, 행정안전부는 방재・안전분야 업무를 수행하고 있었다. 그 결과 부처별 업무의 연계 부족으로 종합적인 물관리 정책의 수립・시행의 어려움과 중복사업으로 인한 예산낭비라는 문제점이 제기 되었다.

Table 2.15 Government organization for previously water management (정부, 2018)

구분	수량・하천				수질・유역						농업용수	수력발전	방재・안전	
부처	국토교통부				환 경 부						농림축산식 품 부	산업통상자 원 부	행정안전부	
소관 실국 (관)	수자원정책국				물환경정책국				상하수도정책관		식량정책관	에너지산업정책관	재난관리실	
담당 과	수자원정책과	수자원개발과	하천계획과	하천운영과	물환경정책과	유역총량과	수생태보전과	수질관리과	수도정책과	생활하수과	토양지하수과	농업기반과	전력산업과	복구총괄과	재난경감과
소속 기관	국토관리청		홍수통제소		유역지방환 경 청				수계관리위 원 회					
유관 기관	수자원공사				한국환경공단						농어촌공사	수력원자력	지방자치단체	

이러한 문제점을 해결하고자, 정부는 수량・수질관리의 일원화와 통합 물관리를 위하여 표 2.16과 같이 2018년 6월 8일자로 정부조직법을 개정하였다. 이번 개정된 정부조직개편은 생활용수, 공업용수, 하천 및 댐의 연계운영으로 치수관리 기능을 수행하는 국토부의 수자원정책국, 홍수통제소, 한국수자원공사를 환경부로 이관하여 환경부는 수량, 수질, 생태계 등을 포함하는 통합 물관리 기본체계를 갖추게 되었다.

그러나, 국토부에는 하천법 관련 하천점용허가와 하천공사 및 유지보수, 하천시설 관리 기능을 시행하는 하천계획과를 유지하도록 하였다. 또한, 농업용수, 수력발전, 방재・안전업무도 기존 시행부처인 농림축산식품부, 산업통상자원부, 행정안전부에

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

계속 수행하도록 유지하고 있다. 향후, 실질적인 통합물관리를 위하여는 물관리 부처간의 긴밀한 협의와 조율이 필요한 실정이다.

Table 2.16 Government organization for present water management (정부, 2019)

구분	하천	수량・수질・유역									농업용수	수력발전	방재・안전	
부처	국토교통부	환경부									농림축산식품부	산업통상자원부	행정안전부	
소관실국(관)	국토정책관	물환경정책국				상하수도정책관			수자원정책국		식량정책관	에너지혁신정책관	안전정책실	재난관리실
담당과	하천계획과	물환경정책과	유역총량과	수생태보전과	수질관리과	수도정책과	생활하수과	토양지하수과	수자원정책과	수자원개발과	수자원관리과	농업기반과	전력산업과	재난경감과	복구지원과
소속기관	국토관리청	유역지방환경청				수계관리위원회			홍수통제소					
유관기관		한국환경공단							수자원공사		농어촌공사	수력원자력	지방자치단체	

물관리기본법 제정에 따라 법에서 규정하고 있는 물관리 기본이념과 원칙 등에 근거하여 국가 물관리 정책이 시행 될 예정이며, 특히 부처 간 물관리 업무의 유기적인 업무추진을 위하여, 대통령 소속의 '국가물관리위원회'와 국가물관리위원회에 유역별로 유역물관리위원회를 설치하여 물관리에 관한 중요 사항을 심의・의결하도록 규정하였다.

10년 단위로 수립하는 국가물관리기본계획과 유역물관리기본계획은 국가 물관리 정책의 기본목표 및 추진방향, 물의 공급・이용・배분과 수자원개발・보전 및 중장기 수급 전망, 가뭄・홍수 등으로 인하여 발생하는 재해의 경감 및 예방에 관한 사항, 기후변화에 따른 물관리 취약성 대응 방안 등의 내용을 포함하고 있다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

과거 1994년 정부조직 개편에 따른 수량과 수질업무의 분리는 ‘수질사고 예방’을 위해 실시하였다면, 이번 물관리일원화는 국가차원의 ‘통합물관리’를 목적으로 하고 있다. 국토교통부 소관 댐건설 및 주변지역지원 등에 관한 법률, 수자원의조사·계획 및 관리에관한 법률, 지하수법, 친수구역활용에관한특별법, 한국수자원공사법은 환경부로 이관하여 국토교통부 수자원정책국의 수자원정책과, 수자원개발과, 수자원산업팀, 홍수통제소, 한국수자원공사, 한국수자원조사기술원 등은 환경부 소속으로 개편하였으나, 하천법, 하천편입토지보상 등에 관한 특별조치법은 국토교통부에 남게 되었다.

우리나라 내륙지역은 전체 수자원 이용량의 대부분인 89%를 하천을 통해 공급하고 있고, 이에 따라 물관리 업무에서 하천의 개발·이용 및 보전은 매우 중요한 부분을 차지하는데, 하천이라는 동일한 공간에 대하여 하천법을 기반으로 국토교통부와 환경부의 업무가 중복되고, 상충되는 문제점이 발생할 수도 있다.

수질·물환경·수생태보전을 중요시 하는 환경부의 업무 특성상 수량관리 업무가 우선순위에서 밀려서 정책수립 및 시행에 장애가 될 수도 있다고 판단된다. 그 사례로는 환경부에 보개방상황팀을 신설하고, 한강, 낙동강, 금강, 영산강의 수질개선을 위하여 지난 정권에서 4대강사업으로 준공한 ‘보’를 완전 철거·해체, 상시개방, 탄력적 개방 등이 바람직하다는 결과를 2019년 2월 발표하였다.

현재 진행 중인 보 해체와 상시개방 논의는 환경성과 경제성, 이수·치수 등을 종합적으로 평가하고, 각 분야별 학계, 전문가, 주민들의 의견수렴과 여론을 충분히 반영하여 현재와 미래의 가치를 고려한 합리적인 결론을 내려야 할 중요한 사안이다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

4.4 해외 통합물관리 정책

UN산하 담수관련 기구의 연합인 UN Water의 2012년 조사결과에 의하면 전세계 68%에 해당하는 국가가 통합물관리를 물관리 정책으로 도입하여, 세계 모든 국가의 물관리 목표로 자리 잡고 있다. 통합물관리를 반영한 물관리체계의 변화는 크게 3가지로 정리할 수 있으며, 물에 대한 원칙 정립을 위한 물기본법 제정, 유역단위 물관리 계획의 수립 및 시행, 국가차원의 물관리 주도이다(박정수, 2014).

EU 국가는 1950년대부터 국가별로 물 기본법을 제정하였는데, 독일은 1957년, 프랑스는 1964년, 영국은 1973년, 스페인은 1985년, 이탈리아는 1989년에 물에 대한 원칙을 정립하였으며, 2000년에는 물기본지침(Water Framework Directive)을 제정하여 27개국 전역을 대상으로 공동 도입을 추진하였다(박정수, 2014).

독일은 유럽차원의 가이드라인을 기준으로 실제적인 물관련 정책수립 및 집행은 지역상황에 맞도록 지방정부 차원에서 수립하고 있으며, 유역을 걸쳐있는 나라와 지방정부간의 협의는 강 중심의 협의체에 의해 조율하고 있다. 유역관리계획은 라인강 보존 국제위원회에서 수립하며, 강 하류에 위치한 네델란드의 의견을 최대한 반영하여 수립한다. 또한, 유역관리계획에는 홍수예방 및 방지를 위한 치수계획과 지하수 보호, 용수사용을 위한 수질 및 생태계의 개선을 위한 이수계획 및 환경계획이 모두 포함되어 있다. 계획 시행에 대한 총괄적인 조정은 라인강 보존 국제위원회에서 수행하고 있으며, 유역관리계획의 시행은 라인강 유역관리계획을 바탕으로 각 나라별 위원회에서 수행한다. 유역관리 계획의 모니터링 부분은 주로 환경계획에 초첨이 맞춰져 있으며, 화학적 및 생태학적 측면을 모두 고려하여 모니터링을 수행하고 있다(충남발전연구원, 2010).

프랑스는 수자원 및 환경관리 계획의 수립과 시행을 유역단위로 수행하는 대표적인 나라로서 1964년 제정된 수법(Water Acts, 물의 관리 및 배분과 물의 오염방지에 관한 법)에 의해 지역의원이나 다양한 물 이용자 대표들의 참여와 협동으로 공공의 성격을 가진 6개의 물관리청을 만들었으며, 각 관리청 산하에 공무원, 물사용자, 지방정부에서 지정한 사람으로 구성된 물 의회 또는 유역위원회를 구성하였다. 1992년에는 물관리청의 역할을 강화하고, 유역위원회에서는 하천유역 수준에서 균형적인 물 관리를 할 수 있는 도시계획과 수자원관리 지침을 제정하였고, 2000년 유럽연합(EU)에서 통합수자원관리(IWRM, Integrated water resources management)를 위한 기본적인 가이드라인인 WFD (water framework directive)를 제정하였다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

또한, 2008년 환경부를 생태, 지속발전, 국토정비라는 3개 부처를 하나로 통합하여 생태・에너지・지속가능개발부로 통합하여 개편하였으며, 주요 업무를 총 6개 유역으로 나누어 유럽차원의 가이드라인을 기준으로 계획을 수립하여 시행하고 있다(충남발전연구원, 2010).

프랑스의 유역통합관리의 특징은 유역위원회 및 유역관리공사 등 유역수자원관리기관들이 경제적으로 독립하고 있으며, 행정적 경계와 관계없이 유역기반 경계를 기초로 구역을 확정하였다는 것이다. 그로 인해 중안정부와 지방정부와의 수자원 이용을 둘러싼 이권분쟁이 종식되었다. 프랑스의 물관리는 국가차원에서는 환경성의 관할이지만 유역단위에서는 의사결정기관인 유역위원회와 재무적 원조를 위한 기관인 유역재정청이 대부분의 역할을 담당한다. 치수에 관해서는 1807년의 민법전에 홍수방어의 책임은 연안주민에 있다고 규정되어 있고, 국가는 홍수방어의 책임을 가지고 있지 않으며, 지방자치단체는 토지이용을 규제함으로써 치수에 관여한다(경기도 통합물관리기본계획 수립연구용역, 경기도연구원, 2017).

영국은 2008년 기후변화법을 제정하여 국가기반시설, 환경, 사회, 경제정책을 통합하는 정부차원의 종합적인 기후변화 대응정책의 필요성을 강조하고 있다. 이에 따라, 정부차원의 단계적 연구・모니터링 시스템구축 등 기후변화 대응전략을 펴고 있다. 2013년 기후변화에 민감한 보건, 농업, 수자원, 해양 등 부문의 리스크 평가 및 경제효과 분석을 통해 제1차 국가적응계획을 발표하였다. 최근에는 2100프로젝트를 수립하여 제방, 저류지, 수문증설 등을 추진하여 해수면상승으로 인한 홍수피해에 대응하고 있다(통합 물관리의 일원화정책과 주요국 추진사례, 환경부, 2018).

미국은 국토가 넓어 지역별 기후특성 및 수자원 여건이 매우 다양하다. 따라서, 수자원정책 총괄은 연방정부가 맡고 있지만, 실질적인 업무는 주정부가 담당하고 있다. 캘리포니아주는 5년 주기로 캘리포니아 Water Plan을 수립・시행하고 있고, 가뭄과 홍수에 대해 적극적으로 대응하고 있으며, 댐과 수로를 건설하여 북부와 남부의 강우량 차이로 인한 물 수급불균형을 해소하고 있다. 또한, 텍사스주는 갈수기를 대비하여 안정된 수자원확보를 목표로 물 관리 재정전략, 보전지역 계획 및 확정, 지표수 유역 간 이송, 환경용수 확보, 수자원보호, 법적 절차 개선, 수자원 재이용 등 다양한 물 산업 관련 정책을 시행하고 있다. 1991년에는 텍사스 맑은 강 법안을 제정하여 하천유역수질을 계획하고 평가하고 있다(통합 물관리의 일원화정책과 주요국 추진사례, 환경부, 2018).

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

미국의 유역관리의 대표적 사례는 델라웨어 강 유역위원회와 포토맥 강 유역위원회가 있다. 델라웨어 강 유역위원회는 1961년 케네디 대통령과 델라웨어, 뉴저지, 펜실베니아, 뉴욕의 주지사들이 행정구역의 경계에 상관없이 하천시스템을 관리하기 위한 통일적 접근을 할 수 있는 광역적 기관을 창설하는 법안에 서명함으로써 탄생하였다. 광역기구인 델라웨어강 유역위원회는 유역의 4개의 주지사와 연방정부의 대통령이 지명하는 대표로 구성된다. 위원회의 기능은 수질보호, 물공급 할당, 규제검토, 보전업무, 유역계획, 가뭄관리, 홍수통제, 레크리에이션 등 유역 물관리 업무 전반을 포괄한다. 또한, 포토맥 강 유역위원회는 포토맥 유역 주민들과 연방정부들이 광역적인 주 사이의 협력을 통해서 포토맥 강 유역의 수자원과 관련 토지자원을 보전하고 보호하는 활동을 개선할 수 있도록 1940년에 의회에 의해서 설립되었다. 위원회는 분기별로 회의를 개최하며, 회의에는 일반 시민이 참가할 수 있다(경기도 통합물관리기본계획 수립연구용역, 경기도연구원, 2017).

호주는 광활한 국토에 비하여 한정된 수자원을 가지고 있는 물부족 국가에 속한다. 이러한 영향으로 호주는 가뭄이 빈번하며, 일부 하천의 경우, 유량부족, 수질악화, 염화, 도시하수와 산업폐수 배출로 수질이 악화되어 호주 하천환경은 파괴되고 지속적인 용수이용에 위협을 받고 있다. 1980년대 호주 연방정부와 주정부의 지역공동체는 유역의 다양한 문제를 해결하기 위한 방안을 추진하였고, 지방의 농업문제에서 기초된 토지보살핌운동을 기반으로 환경문제와 수자원문제를 포괄하여 1987년 호주연방차원의 통합물관리체제(ICM, Intergrated Catchment Management)를 구축하였다. 또한, 호주의 유역관리는 유역내의 공동체와 정부의 노력을 통합하는 것이며, 기본목적은 생산적인 토지, 맑은 물, 식생과 야생생물의 다양성을 유지하도록 하는 것으로 주정부 중심으로 3단계 시행체제로 수립되어 있다. 유역관리를 책임지고 있는 1단계 시행체제는 주정부 차원의 조정역할을 담당하는 주유역관리조정위원회(SCMCC, State Catchment Management Coordinating Committee)에 의한 주정부 차원의 활동이며, 2단계 시행체제는 유역관리위원회(CMB, Catchment Management Board)나 유역재정위원회(CMT, Catchment Management Trusts)에 의한 수준의 활동이고, 3단계 시행체제는 실행단체나 지역주민에 의한 지역적 수준의 활동이다(한국수자원공사, 2007).

호주의 유역관리의 대표적 사례는 머레이-다링 강 유역운동(Murray-Darling Basin Initiative)이라는 정부와 공동체사이의 파트너쉽에 의해 대표되는데, 이 파트

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

너쉽은 1992년 머레이-다링 유역 협약을 실행하기 위해 세워졌다. 머레이-다링 협약은 유역통합관리를 위한 절차와 내용을 규정하고 있으며, 이를 실천하기 위한 조직의 설립에 대해서 규정하고 있다. 조직체계는 유역각료회의, 유역위원회, 공동체 자문위원회 등으로 구성되어 있다. 유역각료회의는 유역의 운동을 실행하는데 필요한 정책과 방향을 제공할 책임을 지는 기구이며, 회의는 각 협약에 참여한 정부 및 연방정부의 토지, 물, 환경자원의 책임을 지는 장관으로 구성되어 있다(경기도 통합물관리기본계획 수립연구용역, 경기도연구원, 2017).

일본은 2014년 물순환기본법 제정에 이어, 2015년 물순환기본계획을 발표하고, 물관리 정책을 시행하고 있다. 물순환기본계획을 통해 7대 시책인 유역협력, 저류 및 함양, 물의 유효이용, 교육, 민간단체 활동, 국제협력 및 연대, 인재육성 정책을 시행하고 있다. 물순환기본법 제정은 주도적인 물 제도개혁으로 평가받고 있긴 하지만, 물순환관리청과 유역연합의 설치가 무산되면서 통합 물관리를 위한 기본원칙과 방향이 일부 퇴색하였다. 2007년부터 물관리에 대한 사회적 공감대가 형성되면서 당초의 물순환기본법보다 훨씬 완화된 내용으로 법안이 조정되어 긍정적으로 평가받고 있다(통합 물관리의 일원화정책과 주요국 추진사례, 환경부, 2018). 또한, 2016년 5월에는 지속가능한 개발 목표(SDGs)에 관한 시책을 추진하고자 SDGs 추진본부를 설치하였다. 이는 관계 행정기관간의 긴밀한 협력을 도모하고 종합적이고 효과적으로 추진하기 위해 내각총리를 본부장으로 하고 전 국무장관을 구성원으로 하고 있다. SDGs 추진본부는 실시지침을 수립하여 SDGs이행을 위한 토대를 마련하였다. 이 지침을 기반으로 각각의 사회 구성원으로 하여금 지속가능한 개발이 이뤄질 수 있는 대응방안을 수립하는 계기가 되었다(통합물관리와 지속가능한 사회, 환경부, 2017).

일본에서는 1997년 하천법 개정에 따라 치수, 이수 이외에 하천 환경의 정비와 보전이 법의 목적에 추가되었다. 하천법 개정이후 도입된 대표적인 유역위원회가 요다가와 수계 위원회이며, 2001년 2월에 킨키 지방정비국에 설치되었다. 요다가와는 일본 최대 담수호인 비와호의 배수로에서 발원하여 교토분지와 오사카 평야를 지나 오사카만으로 흐르는 연장 75킬로미터의 하천이다. 요다가와 수계 위원회의 특징은 심의 원안이 작성되기 이전 단계부터 위원과 하천관리자가 함께 의논하고, 회의 및 회의자료, 의사록 등을 일반인에게 공개하며, 주민들로부터 광범위한 의견청취와 현지시찰 및 조사를 하는 것이다. 또한, 위원회 스스로의 심의 방식과 내용

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

을 결정, 운영에 관한 사무는 제3자인 민간기업에게 위탁하고 있는 것이다(경기도 통합물관리기본계획 수립연구용역, 경기도연구원, 2017).

해외 주요 선진국의 통합물관리 정책을 살펴 보면, 독일과 프랑스는 중앙정부는 유럽차원의 가이드라인을 토대로 관련 기준이나 지침을 수립하고, 주정부 및 유역 당국은 지역특성에 맞게 계획을 수립하여 통합물관리를 추진하고 있으며, 영국은 정부주도의 기후변화 대응전략과 국가차원의 적응계획을 수립하였다. 또한, 미국과 호주의 경우에는 연방정부에서 수자원정책을 총괄하지만, 실질적인 업무는 주정부가 담당하고, 일본은 정부주도로 물순환기본법 제정과 지속가능한 개발 목표를 위하여 통합물관리 정책을 펴 나가고 있다.

우리나라도 2019년 6월부터 물관리기본법 시행에 따라, 통합물관리정책과 물관리 일원화를 추진하고 있다. 해외 사례에서 보듯이 성공적인 통합물관리를 위해서는 국가물관리기본계획과 유역물관리종합계획 수립시 정부나 지방자치단체의 주도 보다는 지역주민, 관련단체, 이해당사자의 참여를 제도적으로 보장하고, 지속가능한 개발과 효율적인 유지관리가 될 수 있도록 종합적인 계획수립과 운영이 필요하다고 판단된다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Ⅲ. 연구대상 지역 및 수자원 개발현황

1. 연구대상 지역 및 지형특성

1.1 연구대상 지역

제주도는 중심부의 한라산(E.L.(+)1,950m) 백록담을 정점으로 완만한 구릉 모양을 이루는 원추형 순상화산(楯狀火山, shield volcano)의 특성을 보인다.(제주특별자치도, 2003). 본 도의 동·서간 거리는 73.262㎞이며, 남·북간은 41.12㎞, 부속 도서를 포함할 경우 동·서간 연장거리는 우도에서 차귀도까지 77.326㎞, 녹서에서 마라도까지 99.878㎞이다. 제주도의 전체 면적은 1,850.1㎢이며, 제주시가 978.6㎢로 52.9%, 서귀포시가 871.4㎢로 47.1%이다. 해안선의 길이는 총 551.78㎞이며, 본도의 해안선 길이는 415.56㎞, 부속도서의 해안선 길이는 136.22㎞이다(제주도특별자치도, 2018) (Fig. 3.1)

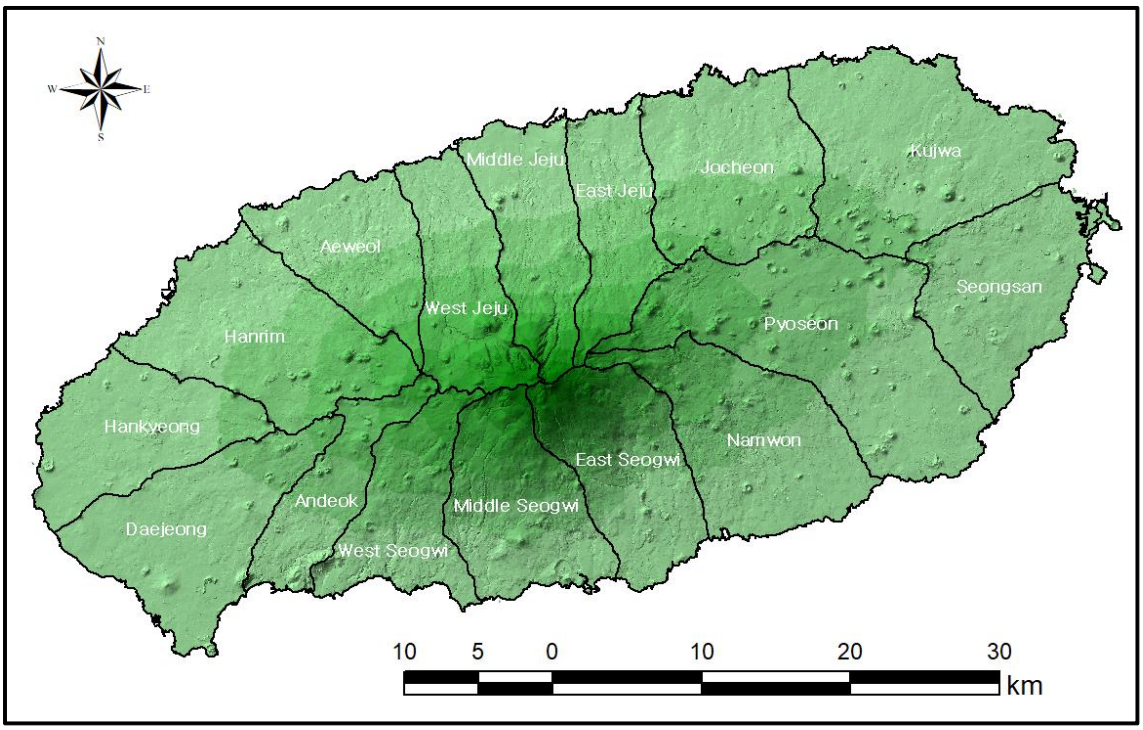


Fig. 3.1 Study area in Jeju-do

유역분류는 '제주도 수문지질 및 지하수자원 종합조사(Ⅲ)(2003, 제주도)'에서

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

1:5,000 수치지형도를 기반으로 분류한 4개의 중유역과 16개의 소유역으로 구분된다. 유역면적은 동부 표선유역이 207.3㎢으로 가장 넓고, 구좌 172.5㎢, 한림 141.7㎢, 남원 133.5㎢ 순이다(Table 3.1).

Table 3.1 Subwatershed areas in Jeju-do

M-Watershed	North					East		
S-Watershed	Ae-weol	E-Jeju	M-Jeju	W-Jeju	Jo-cheon	Ku-jwa	Seong-san	Pyo-seon
Area (㎢)	85.3	75.3	89.8	89.5	126.2	172.5	114.9	207.3

M-Watershed	South					West		
S-Watershed	Nam-won	E-Seogwi	M-Seogwi	W-Seogwi	An-deok	Dae-jeong	Han-kyeong	Han-rim
Area (㎢)	133.5	107.1	106.3	82.8	62.5	130.8	102.8	141.7

제주도의 관측소는 총 24개의 관측소를 설치해서 운영하고 있으며, 대표 관측소는 표 3.2와 같이 제주도 북쪽은 제주기상대, 남쪽은 서귀포기상대, 동쪽은 성산기상대, 서쪽은 고산기상대 이다.

Table 3.2 Specification of weather stations in Jeju-do

Weather station	Latitude	Longitude	E.L. (m)	Remarks
Jeju	33° 30′ 51.0″	126° 31′ 46.7″	20.5	1923. 5.
Seogwipo	33° 14′ 46.0″	126° 33′ 55.2″	47.0	1961. 1.
Seongsan	33° 23′ 13.6″	126° 52′ 48.7″	17.8	1971. 1.
Gosan	33° 17′ 37.7″	126° 09′ 61.1″	71.5	1988. 1.

Remarks: Commencement date of observation

1.2 지형 형상 및 특성

1.2.1 지질 특성

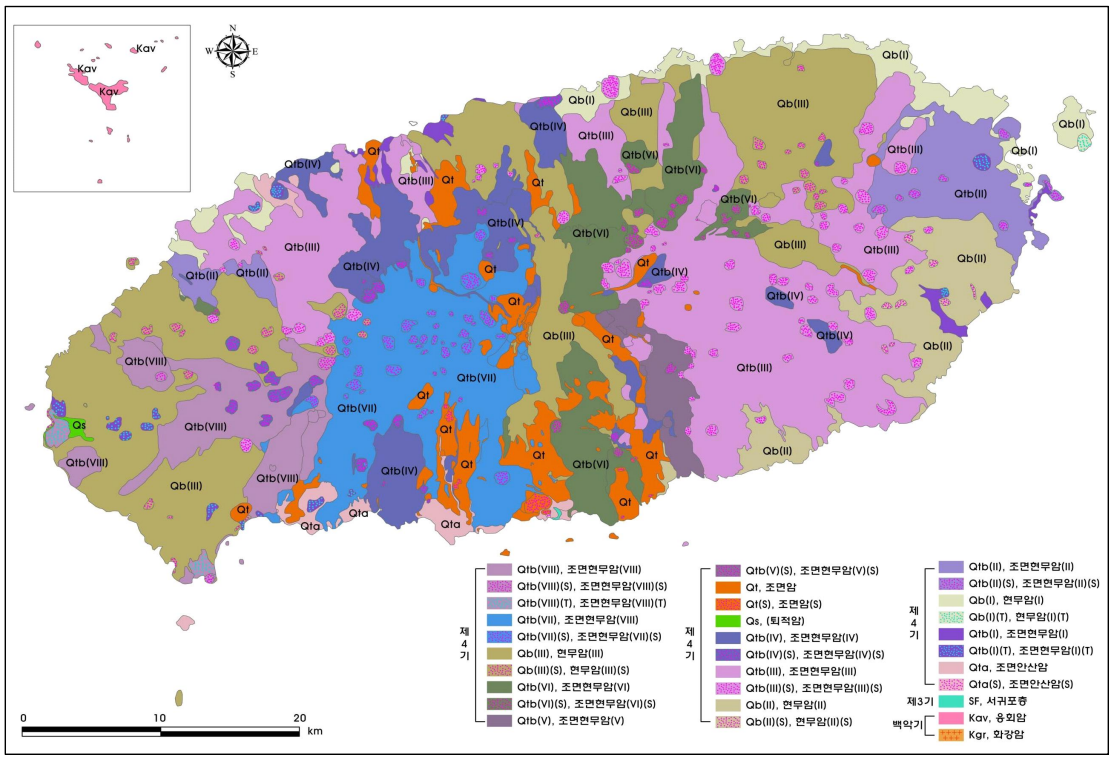
제주도의 층서는 화강암과 응회암, U층과 서귀포층이 하부지층을 형성하고, 상부지층은 신생대 제3기 말부터 4기 후기까지 지속된 화산활동에 따른 화산분출물로 이루어졌다. 현무암류는 제주도 전역의 약 90%를 차지하며, 화산분출 당시 점성이

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

낮아 넓은 지역을 피복하여 완만한 지형을 이루며, 제주도 동·서부에 주로 분포되어 있다. 특히, 현무암층은 분출시기에 따라 층상구조를 이루며, 층의 두께가 2m이하부터 수십m에 이르며, 각 층의 사이에는 화산쇄설층이 협재되어 있다.

화산쇄설암은 수성화산 분출과 스트롬볼리 분출에 의한 것으로 구분되어지는데, 수성화산 분출에 의한 유리질 쇄설암은 주로 해안에 분포하여 층리가 발달되어 있다. 특히, 서부지역과 남서부 지역의 송악산과 산방산 주변, 동남부지역인 표선과 우도 일대에 분포하고 있다. 화산쇄설층의 두께는 일반적으로 1~5m정도 이지만 20m이상 발달한 지역도 있으며, 화산재, 화산사, 화산력, 스코리아 등과 같은 화산쇄설물로 구성된다. 스트롬볼리 분출에 의한 화산쇄설암은 오름과 같은 분석구를 형성하는데 용암대지 주변에 발달한 분석구의 정상부에는 화구가 있는 경우와 한쪽면이 침식된 화구 등 다양한 모양을 보인다.

서귀포층은 고결 내지 준 고결된 해성층으로 화산성 역질사암, 사암, 사질이암, 이암, 유리질쇄설암으로 구성되며, U층은 미고결 퇴적층으로 서귀포층 하부에서 발견된다. 다음 그림 3.2는 제주도 지질도 이며, 표 3.3은 제주도 지질체계도 이다 (한국자원연구소, 2002; 김민철, 2018).



(1:250,000, 제주(백아도, 진남포) 지질도폭 설명서, 2000)

Fig. 3.2 Geological maps of Jeju-do

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Table 3.3 Geological system of Jeju-do

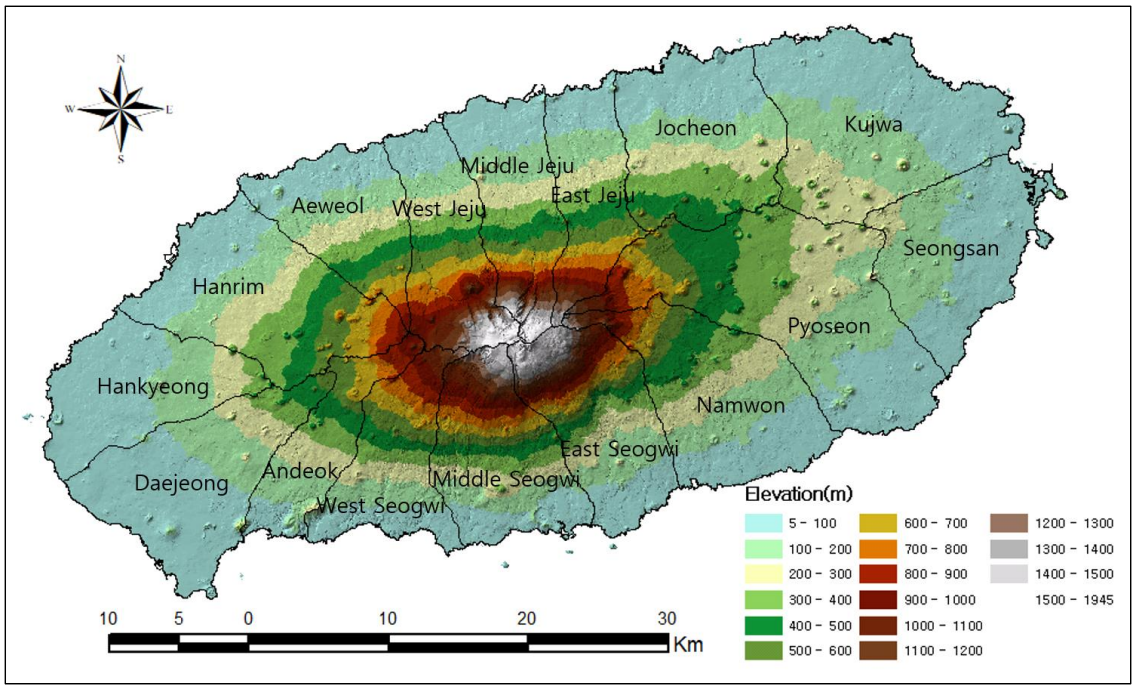
구분	구성암석	표식지별 암상
제4기	조면현무암(Ⅷ)-Qtb(Ⅷ)	왕이매조면현무암, 병악현무암질조면안산암, 송악산응회암
	조면현무암(Ⅶ)-Qtb(Ⅶ)	법정동조면현무암
	현무암(Ⅲ)-Qb(Ⅲ)	광해악현무암, 선흘리현무암질안산암, 덕천리현무암
	조면현무암(Ⅵ)-Qtb(Ⅵ)	시오름조면현무암
	조면현무암(Ⅴ)-Qtb(Ⅴ)	성널오름조면현무암
	조면암-Qt	한라산현무암, 영실조면암, 원만사조면암, 도순동조면안산암, 각수바위조면안산암, 영주교조면안산암, 신효동조면안산암, 사라오름조면안산암, 자파쇄각력암
	퇴적암-Qs	위미리역암, 범호촌역암, 입석동역암
	조면현무암(Ⅳ)-Qtb(Ⅳ)	대포동조면현무암
	조면현무암(Ⅲ)-Qtb(Ⅲ)	물장올조면현무암, 어도리현무암
	현무암(Ⅱ)-Qb(Ⅱ)	
	조면현무암(Ⅱ)-Qtb(Ⅱ)	수원리현무암, 부면동현무암, 금덕리현무암, 원동현무암
	현무암(Ⅰ)-Qb(Ⅰ)	귀덕리현무암, 신흥리현무암
	조면현무암(Ⅰ)-Qtb(Ⅰ)	고내봉응회암, 과오름현무암, 도두봉현무암, 당산봉응회암, 군산응회암
	조면안산암-Qta	소정방현무암질안산암, 정방동조면현무암, 천지연조면안산암, 강정동조면현무암
제3기	서귀포층-SF	
	미교결퇴적층-US	
백악기~쥬라기	응회암-Kav	
	화강암-Kgr	

(1:250,000, 제주(백아도, 전남포) 지질도폭 설명서, 2000)

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

1.2.2 표고 분석

제주도의 지형적 특성을 분석하기 위해 1/5,000 제주도 수치지형도를 이용하였으며, GIS(Geographic Information System)를 이용하여 표고분석을 수행하였다(Fig. 3.3). 제주도는 지형고도에 따라 표고 200m이하 지역을 해안저지대라 하고, 표고 200~600m 지역을 중산간지대라 하며, 표고 600m 이상 지역을 산악지대로 구분한다. 또한, 표 3.3과 같이 해안저지대 면적은 1,001.3㎢으로 제주도 전체 면적 대비 54.4%에 해당하며, 대부분 주거지와 농경지가 분포하고 있다. 중산간지대 면적은 593.2㎢으로 전체 면적대비 32.2%를 차지하고, 농경지와 목초지, 관광 위락시설 등이 분포하며, 산악지대 면적은 246.8㎢으로 전체 면적 대비 13.4%를 차지하고, 주로 산림지대로 구성되어 있다(제주특별자치도, 2018).



(제주특별자치도 수자원관리종합계획, 2018)

Fig. 3.3 The altitude of Jeju-do

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Table 3.4 The altitude analysis result of Jeju-do

Classification	altitude(m)	area(㎢)	rate(%)
Total		1,841.2	100.0
Coastal Area	Subtotal	1,001.3	54.4
	0 ~ 100	638.1	34.7
	100 ~ 200	363.2	19.7
Middle Mountainous Area	Subtotal	593.2	32.2
	200 ~ 300	232.0	12.6
	300 ~ 400	162.3	8.8
	400 ~ 500	119.4	6.5
	500 ~ 600	79.5	4.3
Mountainous Area	Subtotal	246.8	13.4
	600 ~ 700	59.6	3.2
	700 ~ 800	43.5	2.4
	800 ~ 900	34.3	1.9
	900 ~ 1,000	26.9	1.5
	1,000 ~ 1,100	23.3	1.3
	1,100 ~ 1,200	16.2	0.9
	1,200 ~ 1,300	11.8	0.6
	1,300 ~ 1,400	9.5	0.5
	1,400 ~ 1,500	6.7	0.4

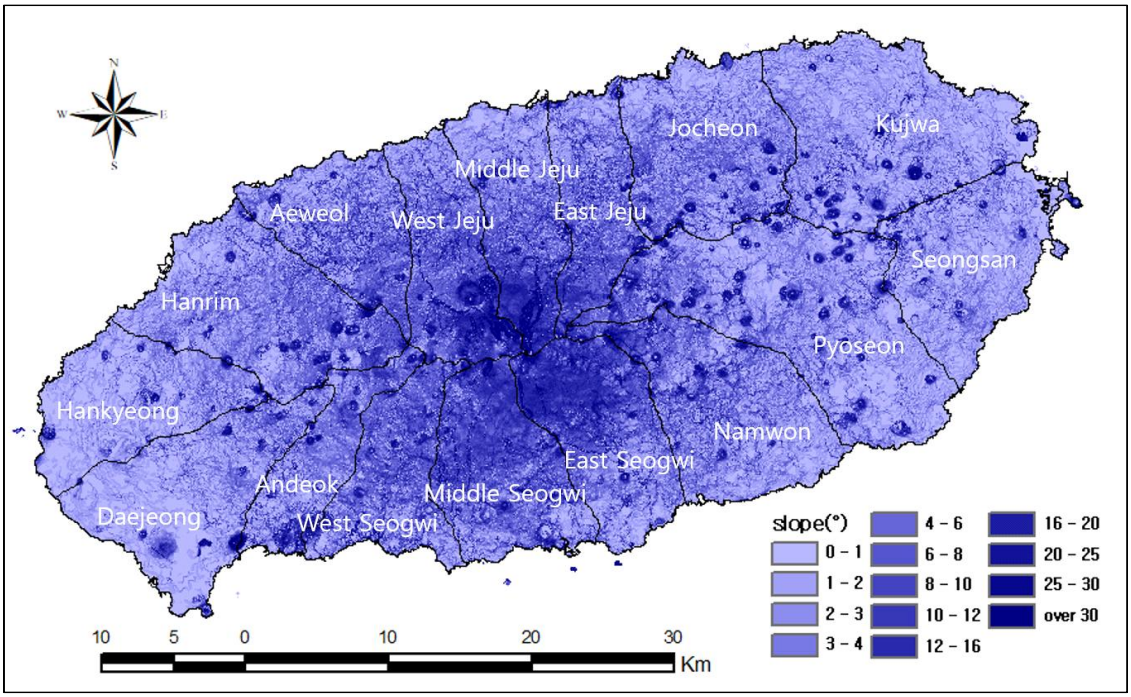
(제주특별자치도 수자원관리종합계획, 2018)

참고) 1:5,000 국가수치지형도의 GIS 분석 결과로 실제 제주도 지적면적과는 차이가 있으며, 부속도서를 제외한 면적임

1.2.3 경사 분석

제주도의 지형경사는 그림 3.4와 표 3.5와 같이, 1° 이하의 평탄지가 423.2㎢로 23.0%를 차지하고, 1~4°의 완경사지가 647.66㎢로 제주도 전체 면적 대비 35.2%로 가장 넓으며, 4~8°의 경사지가 389.6㎢로 21.2%로 분석되었다. 또한, 제주도 동부와 서부지역은 평탄지와 완경사지가 많은 반면, 북부 및 남부지역은 경사지와 준경사지가 상대적으로 우세하게 분포하고 있다. 한라산 및 오름이 위치한 지역은 급경사지 및 급준경사지가 주로 분포하고 있다(김민철, 2018).

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY



(제주도 지하수의 수리학적 유역설정과 유동특성 해석, 김민철, 2018).

Fig. 3.4 The slope of Jeju-do

Table 3.5 The slope analysis result of Jeju-do

slope(°)			area(㎢)	rate(%)
0	~	1	423.2	23.0
1	~	2	231.8	12.6
2	~	3	234.3	12.7
3	~	4	181.5	9.9
4	~	6	242.8	13.2
6	~	8	146.8	8.0
8	~	10	97.3	5.3
10	~	12	68.2	3.7
12	~	16	87.6	4.8
16	~	20	49.0	2.7
20	~	25	35.8	1.9
25	~	30	21.5	1.2
over 30			21.3	1.2
Total			1,841.2	100.0

(제주도 지하수의 수리학적 유역설정과 유동특성 해석, 김민철, 2018).

참고) 1:5,000 국가수치지형도의 GIS 분석 결과로 실제 제주도 지적면적과는 차이가 발생할 수 있음

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

1.2.4 강수 특성

제주도는 동서남북의 지역별, 고도별 강수량의 편차가 매우 크다. 제주, 고산, 성산, 서귀포 기상대의 1989년부터 2018년까지의 강수량을 분석한 결과, 30년간 연평균 강수량은 1,656.5mm로 나타났으며, 성산이 1,992.5mm로 제일 컸으며, 서귀포가 1982.2mm로 두 번째로 많고, 제주는 1,486.6mm, 고산은 1,164.8mm로 가장 적었다.

표 3.6은 1989년 ~ 2018년까지 제주도 4개 기상대의 연도별 강수량과 평균강수량을 나타낸 표이다. 평균 강수량대비 120%이상 강수가 발생한 해는 1999년, 2003년, 2007년, 2012년, 2015년으로, 1990년대 1회, 2000년대 2회, 2010년대 2회가 발생한 것으로 분석되었고, 평균 강수량의 80%이하로 발생된 해는 1996년, 1997년 2000년, 2005년, 2013년, 2017년으로, 1990년대와 2000년대, 2010년대의 10년 단위를 기준으로 각각 2회 씩 발생한 것으로 분석되었다.

또한, 1996~1997년은 강수량이 적었고, 1999년은 강수량이 많았고, 2000년에는 다시 강수량이 적어졌으며, 2003년에는 강수량이 커졌다가, 2005년에는 강수량이 줄었으며, 2007년에는 다시 많아지는 것으로 분석되었다. 이는 과우년과 다우년이 번갈아 가며 발생하는 경향성을 보이고 있다.

Table 3.6 Annual precipitation characteristics in Jeju-do

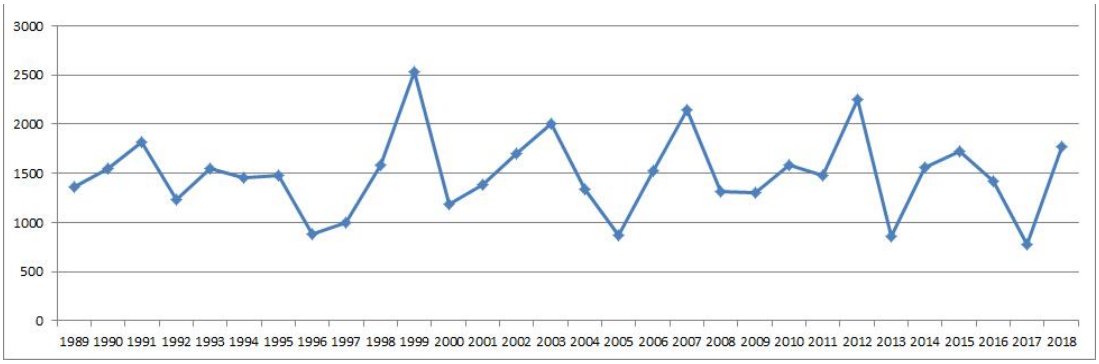
(단위: mm)

Year	Jeju	Gosan	Seongsan	Seogwipo	Average
1989	1,358.6	1,081.5	1,696.1	1,681.9	1,454.5
1990	1,544.5	1,162.3	1,952.3	2,398.6	1,764.4
1991	1,810.9	1,504.0	1,983.8	1,872.6	1,792.8
1992	1,232.9	1,107.6	1,981.4	1,827.5	1,537.4
1993	1,552.8	1,151.4	2,025.4	2,190.2	1,730.0
1994	1,448.9	834.3	1,509.3	1,626.0	1,354.6
1995	1,472.9	1,003.0	2,169.8	2,280.4	1,731.5
1996	881.1	837.4	1,757.9	1,656.0	1,283.1
1997	999.5	875.1	1,803.0	1,575.8	1,313.4
1998	1,581.1	1,050.4	2,235.9	2,091.9	1,739.8

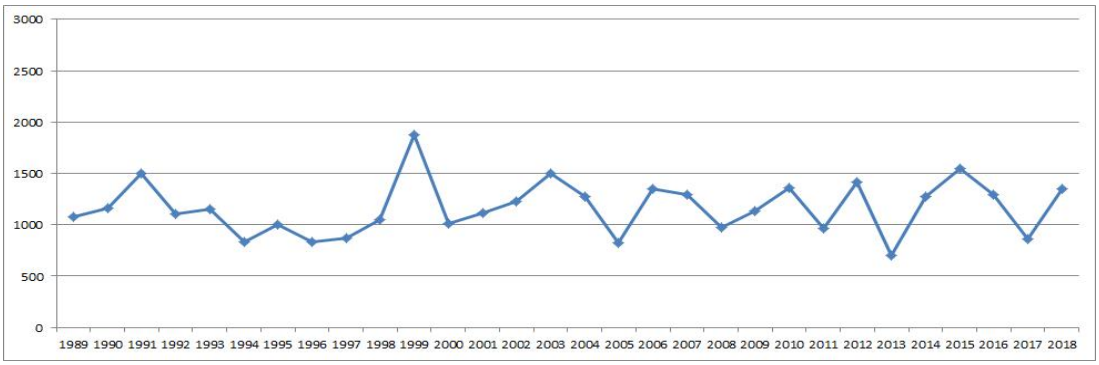
제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Year	Jeju	Gosan	Seongsan	Seogwipo	Average
1999	2,526.0	1,874.5	2,328.0	2,970.5	2,424.8
2000	1,189.4	1,013.6	1,370.0	1,368.5	1,235.4
2001	1,388.6	1,113.7	1,856.5	1,782.1	1,535.2
2002	1,704.1	1,225.8	1,781.5	1,877.2	1,647.2
2003	1,999.2	1,503.0	2,550.5	2,280.1	2.083.2
2004	1,333.8	1,269.9	1,962.5	2,018.0	1,646.1
2005	872.5	827.5	1,588.0	1,390.6	1,169.7
2006	1,527.4	1,350.3	2,238.0	1,757.6	1,718.3
2007	2,139.8	1,296.0	2,582.5	2,166.5	2,046.2
2008	1,308.8	972.3	1,770.7	1,661.4	1,428.3
2009	1,304.8	1,133.0	1,753.5	2,006.8	1,549.5
2010	1,584.9	1,361.8	2,086.8	2,393.3	1,856.7
2011	1,478.6	961.3	1,865.7	2,010.2	1,579.0
2012	2,248.3	1,418.1	2,458.4	2,700.8	2,206.4
2013	859.1	697.1	1,364.0	1,086.6	1,001.7
2014	1,563.4	1,271.6	2,240.9	2,473.2	1,887.3
2015	1,728.3	1,546.4	2,542.2	2,618.1	2,108.8
2016	1,416.4	1,293.1	2,255.9	2,204.5	1,792.5
2017	773.3	861.3	1,917.7	1,334.0	1,221.6
2018	1,769.5	1,345.8	2,146.7	2,166.2	1,857.1
30년평균	1,486.6	1,164.8	1,992.5	1,982.2	1,587.2

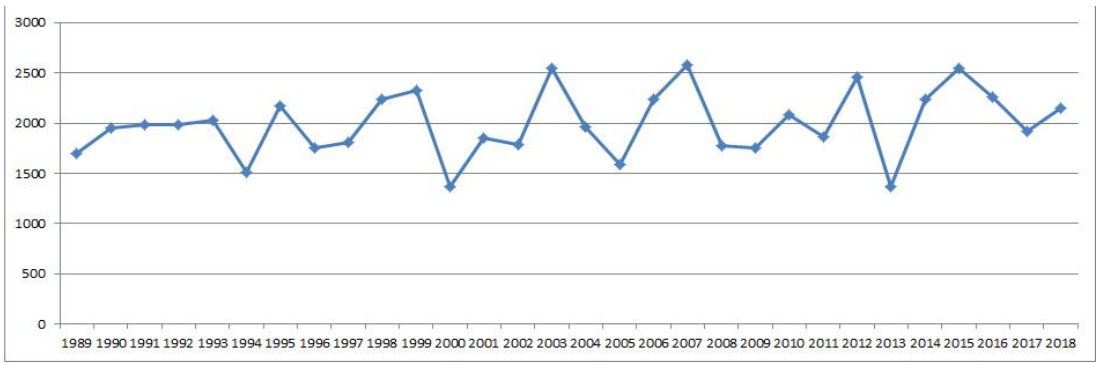
제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY



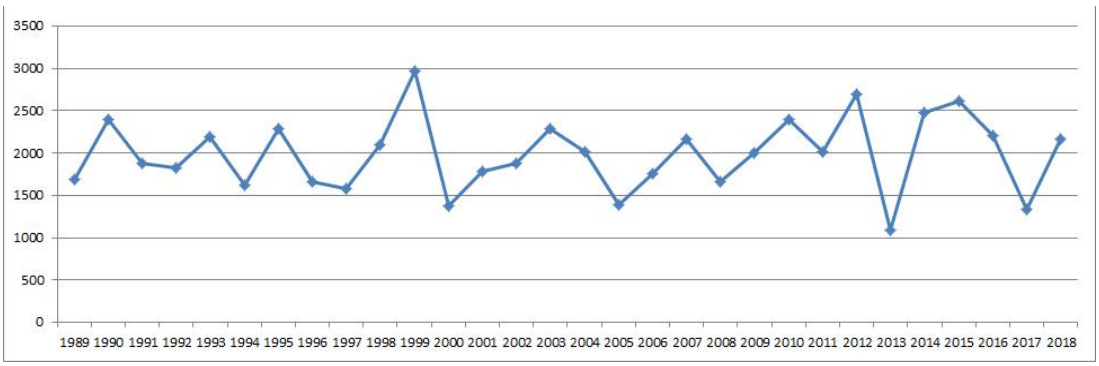
(a) 제주기상대 30년 강수량(mm)



(b) 고산기상대 30년 강수량(mm)



(c) 성산기상대 30년 강수량(mm)



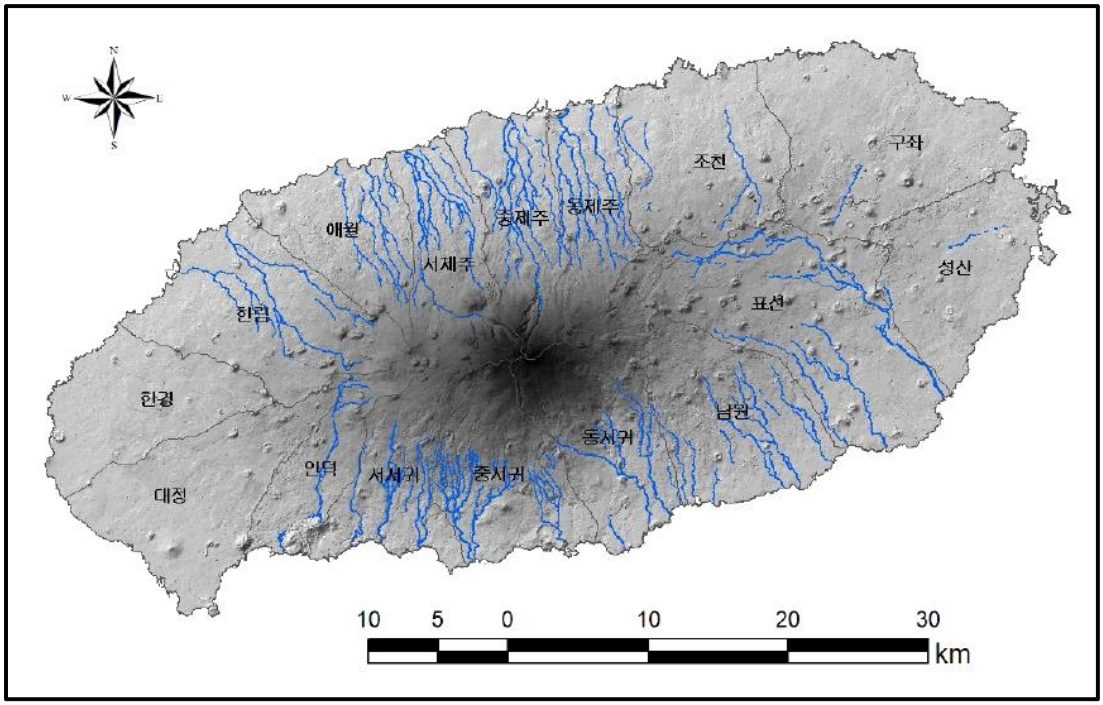
(d) 서귀포기상대 30년 강수량(mm)

Fig. 3.5 Annual precipitation characteristics in Jeju-do

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

1.2.5 하천 특성

제주도에는 총 60개의 지방하천이 분포하고 있으며, 제주시에는 26개, 서귀포시에는 34개가 위치하고 있다(Fig 3.6). 유로연장이 가장 긴 하천은 서귀포시의 천미천으로 25.7㎞이며, 창고천이 23.35㎞, 서중천이 22.43㎞, 가시천이 20.19㎞ 순서이다. 또한, 유역별로는 중서귀 유역은 12개의 지방하천이 분포하여 하천이 가장 많으며, 조천, 구좌, 성산, 한경, 대정 유역은 지방하천이 없다. 소하천은 도내 총 88개가 분포하며, 소하천의 연장은 총 271.4㎞이다.



(제주특별자치도 수자원관리종합계획, 2018)

Fig. 3.6 Stream distribution in Jeju-do

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

2. 제주도 수문분석 및 지하수 부존현황

2.1 수문분석

2.1.1 수문총량

제주특별자치도 수자원관리종합계획(2018)에 따르면, 기상자료 분석결과 표 3.7와 그림 3.7과 같이 제주도의 20년 평균 수문총량은 3,952백만㎥/년이며, 최대는 1999년도의 5,478백만㎥이며, 최소는 2017년도의 2,552백만㎥으로 나타났다.

Table 3.7 Annual mean amount of water resources from 1998 to 2017

연도	평균면적 강 수 량 (mm)	수문총량 (백만㎥/년)	관측소 (개소)	연도	평균면적 강 수 량 (mm)	수문총량 (백만㎥/년)	관측소 (개소)
평균	2,162	3,952					
1998	2,203	4,028	31	2008	1,568	2,866	24
1999	2,996	5,478	32	2009	1,816	3,321	67
2000	1,554	2,841	37	2010	2,397	4,383	66
2001	1,901	3,476	39	2011	2,037	3,724	68
2002	2,455	4,488	43	2012	2,831	5,175	68
2003	2,686	4,910	40	2013	1,531	2,800	71
2004	2,229	4,075	60	2014	2,455	4,488	73
2005	1,416	2,589	58	2015	2,416	4,418	74
2006	2,083	3,808	57	2016	2,663	4,869	86
2007	2,599	4,753	61	2017	1,396	2,552	86

(제주특별자치도 수자원관리종합계획, 2018)

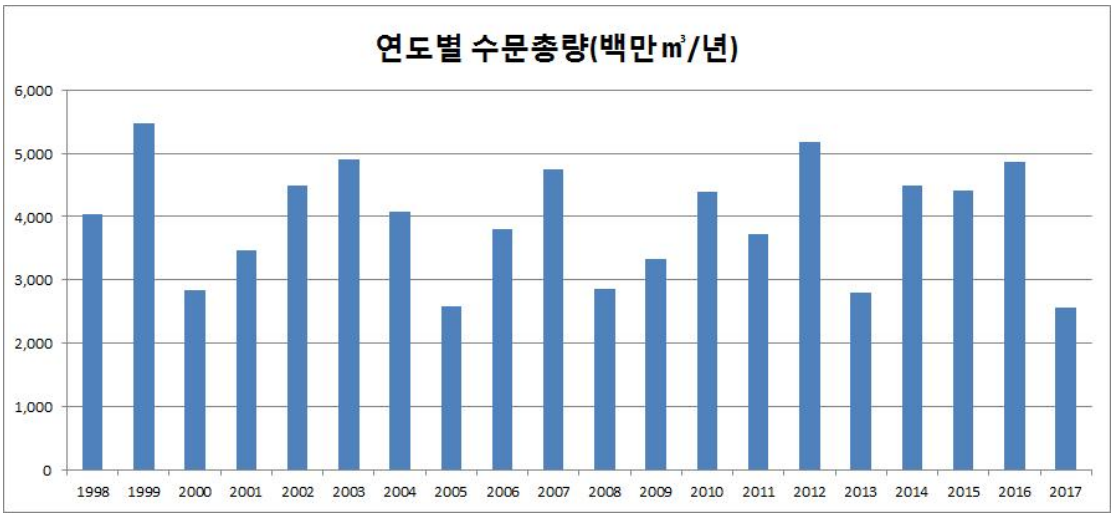


Fig. 3.7 Annual mean amount of water resources graph

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

또한, 표 3.8과 같이 지역별 평균 수문총량은 제주도 북부가 986.1백만㎥/년이고, 동부가 1,164.4백만㎥/년, 남부가 1,297.4백만㎥/년, 서부가 552.2백만㎥/년으로 나타났다. 이는 전체 수문총량 3,952백만㎥/년 중 남부가 32.83%로 가장 크고, 동부가 29.46%, 북부가 24.95%, 서부가 13.97%를 차지하고 있는 것으로 분석되어, 서부지역인 대정, 한경, 한림이 상대적으로 가뭄의 영향을 많이 받고 있는 것으로 판단된다.

Table 3.8 The monthly mean amount of water resources in Jeju-do

구 분		월별 수자원 총량(백만㎥/월)												
		계	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
계		3,952.1	145.9	169.6	237.9	343.1	362.1	465.8	535.0	668.2	453.3	239.8	181.2	150.3
북부	소계	986.1	36.4	42.3	59.4	85.6	90.4	116.2	133.5	166.7	113.1	59.8	45.2	37.5
	애월	131.9	4.9	5.7	7.9	11.5	12.1	15.6	17.9	22.3	15.1	8.0	6.1	5.0
	동제주	182.3	6.7	7.8	10.9	15.8	16.7	21.5	24.7	30.8	20.9	11.1	8.4	6.9
	중제주	204.5	7.6	8.8	12.3	17.8	18.7	24.1	27.7	34.6	23.5	12.4	9.4	7.8
	서제주	211.0	7.8	9.1	12.7	18.3	19.3	24.9	28.6	35.7	24.2	12.8	9.7	8.0
	조천	256.3	9.5	11.0	15.4	22.3	23.5	30.2	24.7	43.3	29.4	15.6	11.8	9.8
동부	소계	1,116.4	41.2	47.9	67.2	96.9	102.3	131.6	151.1	188.7	128.0	67.7	51.2	42.5
	구좌	323.9	11.9	13.9	19.5	28.1	29.7	37.2	43.9	54.8	37.2	19.7	14.9	12.3
	성산	237.0	8.8	10.2	14.3	20.6	21.7	27.9	32.1	40.1	27.2	14.4	10.9	9.0
	표선	555.4	20.5	23.8	33.4	48.2	50.9	65.5	75.2	93.9	63.7	33.7	25.5	21.1
남부	소계	1,297.4	47.9	55.7	78.1	112.6	118.9	152.9	175.6	219.3	148.8	78.7	59.5	49.4
	남원	386.0	14.25	16.6	23.2	33.5	35.4	45.5	52.3	65.3	44.3	23.4	17.7	14.7
	동서귀	330.2	12.2	14.2	19.9	28.7	30.3	38.9	44.7	55.8	37.9	20.0	15.1	12.6
	중서귀	274.5	10.1	11.8	16.5	23.9	25.2	32.4	37.2	46.4	31.5	16.7	12.6	10.4
	서서귀	182.1	6.7	7.8	10.9	15.8	16.7	21.5	24.7	30.8	20.9	11.1	8.4	6.9
	안덕	124.6	4.6	5.4	7.5	10.9	11.4	14.7	16.9	21.1	14.3	7.6	5.7	4.7
서부	소계	552.2	20.4	23.7	33.2	47.9	50.6	65.1	74.5	93.4	63.3	33.5	25.3	21.0
	대정	193.3	7.1	8.3	11.6	16.8	17.7	22.8	26.2	32.7	22.2	11.7	8.8	7.4
	한경	138.0	5.1	5.9	8.3	11.9	12.6	16.3	18.7	23.3	15.8	8.4	6.3	5.3
	한림	220.9	8.2	9.5	13.3	19.2	20.2	26.0	29.9	37.4	25.3	13.4	10.1	8.4

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

그림 3.8과 같이 제주도의 20년 평균 월별 수문총량은 8월이 668.2백만㎥으로 가장 크며, 두 번째는 7월로 535.0백만㎥이며, 세 번째는 6월의 465.8백만㎥으로 여름철에 강수량이 집중 되는 것으로 나타났다. 4월부터 6월까지 봄철이 943.1백만㎥/년이었고, 9월부터 11월까지 가을철이 874.3백만㎥/년으로 이었으며, 12월부터 2월까지 겨울철이 465.8백만㎥/년으로 가장 작은 값으로 분석되었다.

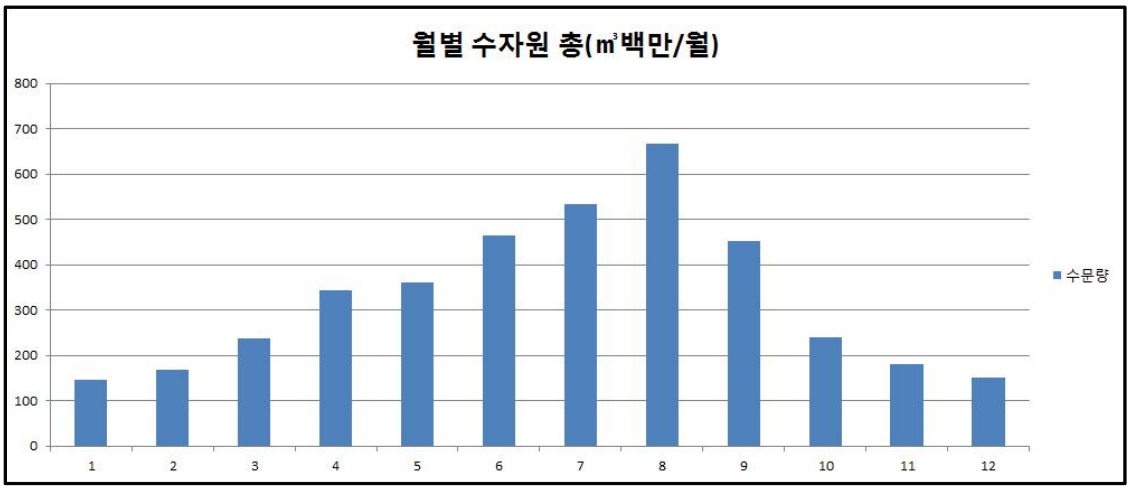


Fig. 3.8 The monthly mean amount of water resources in Jeju-do

그림 3.9와 같이 제주도 북부지역 중에는 조천이 256.3백만㎥/년으로 가장 크며, 서제주, 중제주, 동제주 순이었으며, 애월이 131.9백만㎥/년으로 가장 작은 것으로 나타났다.

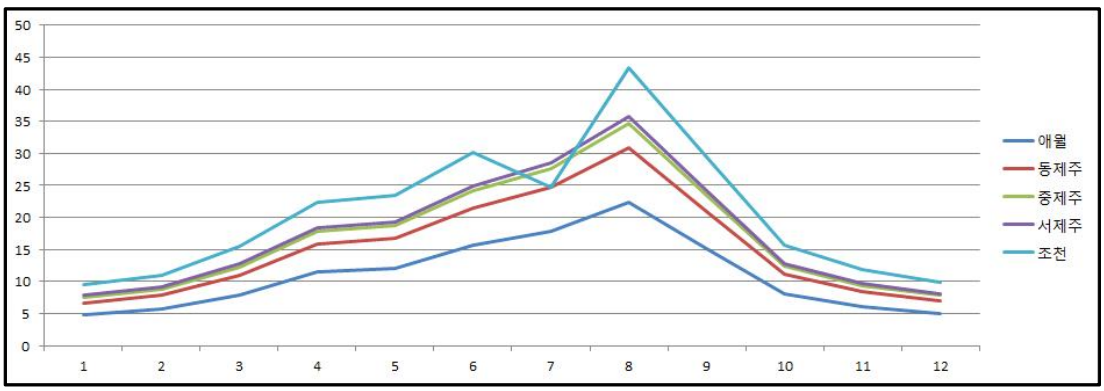


Fig. 3.9 The monthly mean amount of water resources in north of Jeju-do

그림 3.10과 같이 제주도 동부지역 중에는 표선이 555.4백만㎥/년으로 가장 크며, 구좌가 323.9백만㎥/년으로 두 번째이고, 성산이 237.0백만㎥/년으로 가장 작은 것으로 나타났다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

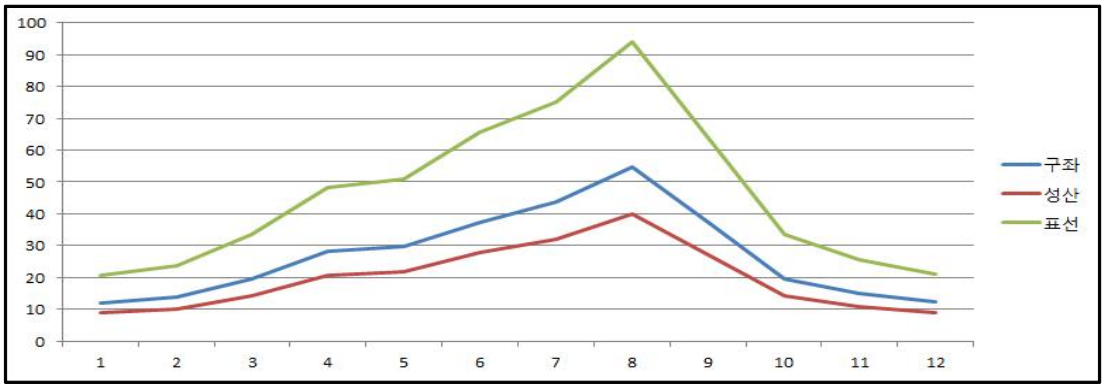


Fig. 3.10 The monthly mean amount of water resources in east of Jeju-do

그림 3.11과 같이 제주도 남부지역 중에는 남원이 386.0백만㎥/년으로 가장 크며, 동서귀, 중서귀, 서서귀 순이었으며, 안덕이 124.6백만㎥/년으로 가장 작은 것으로 나타났다.

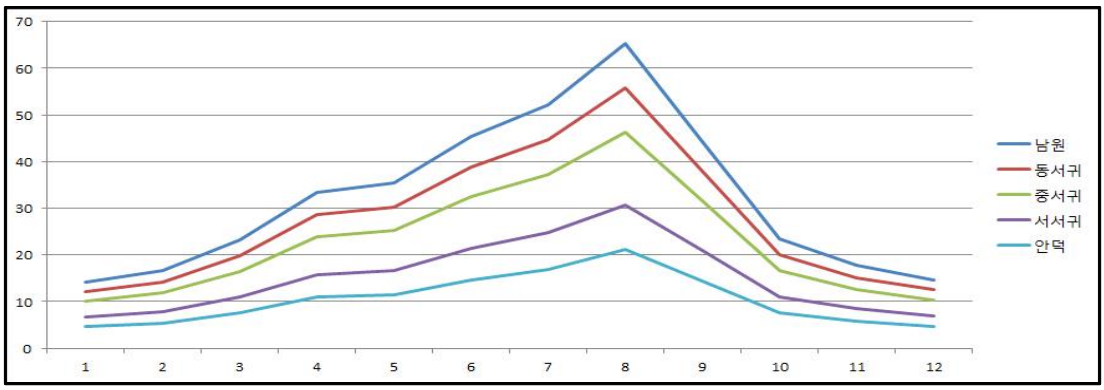


Fig. 3.11 The monthly mean amount of water resources in south of Jeju-do

그림 3.12와 같이 제주도 서부지역 중에는 한림이 220.9백만㎥/년으로 가장 크며, 대정이 193.3백만㎥/년으로 두 번째이며, 한경이 138.0백만㎥/년으로 가장 작은 것으로 나타났다.

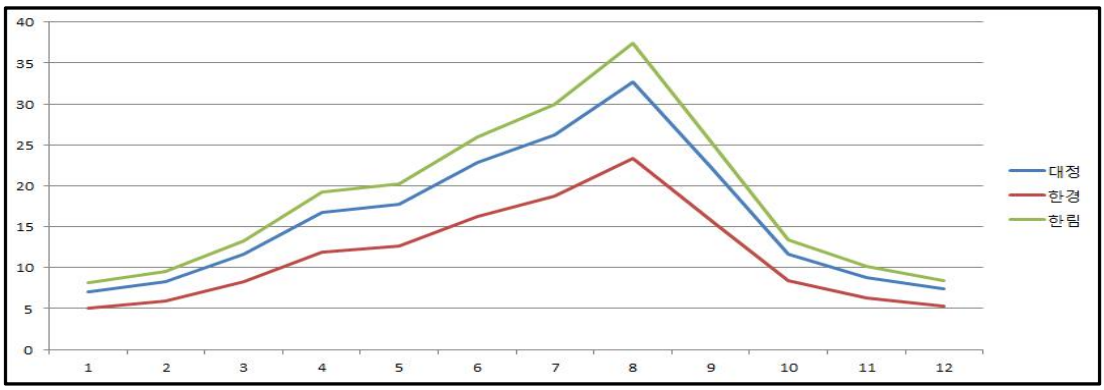


Fig. 3.12 The monthly mean amount of water resources in west of Jeju-do

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

2.1.2 강수량

제주도는 지형적인 특성으로 동·서·남·북에 따라 강수량의 편차가 매우 큰 편으로, 제주도내 4개 기상대를 기준으로 산정한 1989년부터 2018년까지 30년 연평균 강수량은 1,656.5㎜로 분석되었다. 지역별로는 성산은 1,992.5mm, 서귀포는 1,982.2㎜, 제주는 1,486.6㎜, 고산은 1,164.8㎜이다.

Table 3.9 Annual mean amount of water resources from 1998 to 2018

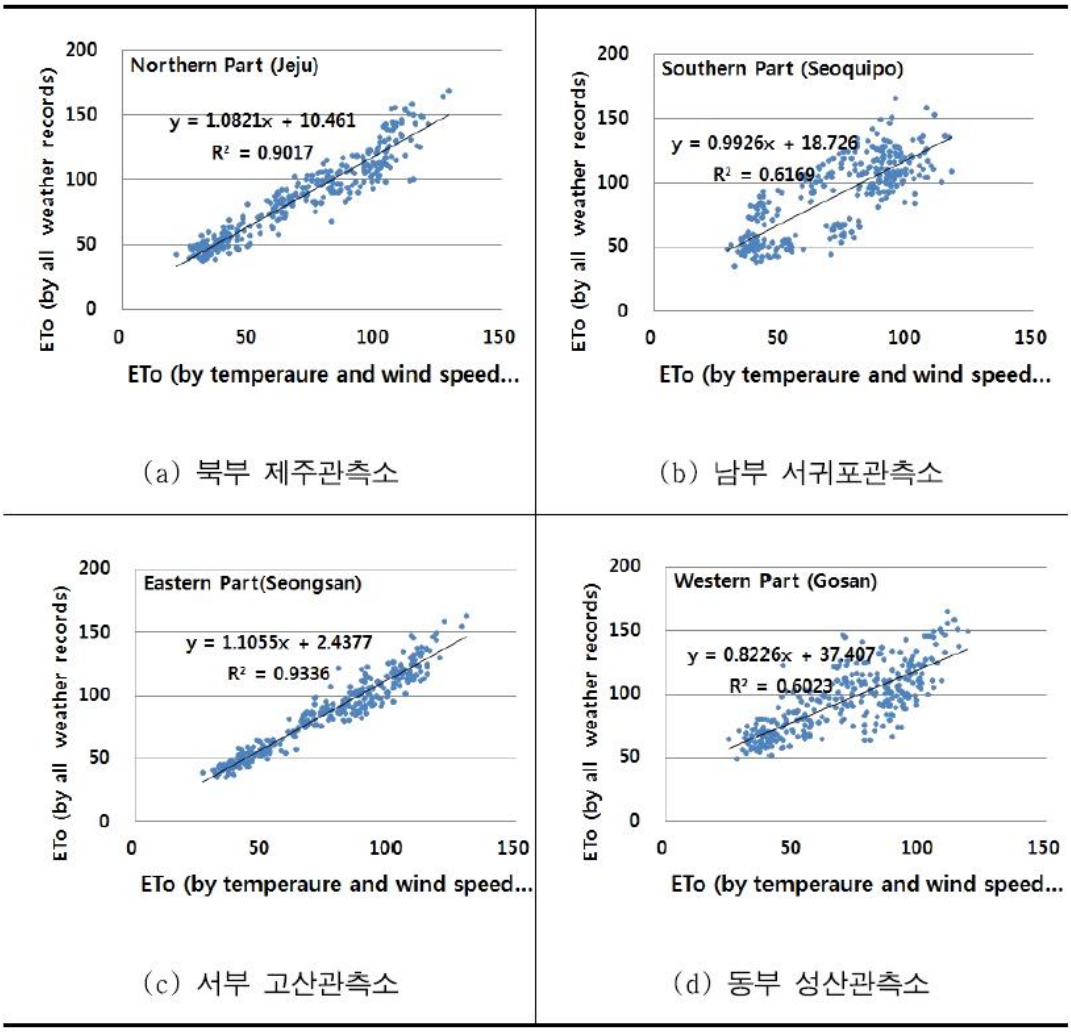
(단위:mm)

구 분	제주	고산	성산	서귀포
평균	1,486.6	1,164.8	1,992.5	1,982.2
1989	1,358.6	1,081.5	1,696.1	1,681.9
1990	1,544.5	1,162.3	1,952.3	2,398.6
1991	1,810.9	1,504.0	1,983.8	1,872.6
1992	1,232.9	1,107.6	1,981.4	1,827.5
1993	1,552.8	1,151.4	2,025.4	2,190.2
1994	1,448.9	834.3	1,509.3	1,626.0
1995	1,472.9	1,003	2,169.8	2,280.4
1996	881.1	837.4	1,757.9	1,656.0
1997	999.5	875.1	1,803	1,575.8
1998	1,581.1	1,050.4	2,235.9	2,091.9
1999	2,526	1,874.5	2,328	2,970.5
2000	1,189.4	1,013.6	1,370	1,368.5
2001	1,388.6	1,113.7	1,856.5	1,782.1
2002	1,704.1	1,225.8	1,781.5	1,877.2
2003	1,999.2	1,503	2,550.5	2,280.1
2004	1,333.8	1,269.9	1,962.5	2,018.0
2005	872.5	827.5	1,588	1,390.6
2006	1,527.4	1,350.3	2,238	1,757.6
2007	2,139.8	1,296	2,582.5	2,166.5
2008	1,308.8	972.3	1,770.7	1,661.4
2009	1,304.8	1,133	1,753.5	2,006.8
2010	1,584.9	1,361.8	2,086.8	2,393.3
2011	1,478.6	961.3	1,865.7	2,010.2
2012	2,248.3	1,418.1	2,458.4	2,700.8
2013	859.1	697.1	1,364	1,086.6
2014	1,563.4	1,271.6	2,240.9	2,473.2
2015	1,728.3	1,546.4	2,542.2	2,618.1
2016	1,416.4	1,293.1	2,255.9	2,204.5
2017	773.3	861.3	1,917.7	1,334.0
2018	1,769.5	1,345.8	2,146.7	2,166.2

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

2.1.3 증발산량

그림 3.13은 제주도내 4개 기상관측소인 제주, 서귀포, 성산, 고산의 기상자료와 무인기상관측소(AWS) 14개소의 자료를 활용하여 1998~2017년까지 20년간 기준증발산량을 산정하였으며, 무인기상관측소 자료 중 관측이 이루어지지 않는 습도와 일사량자료는 각각 일별 최저온도와 일별 온도차 자료로부터 추정하고, 4개 기상관측소의 일단위 상관성 분석을 통해 무인기상관측소자료 기준증발산량 값을 보정하였다(제주특별자치도 수자원관리종합계획, 2018).

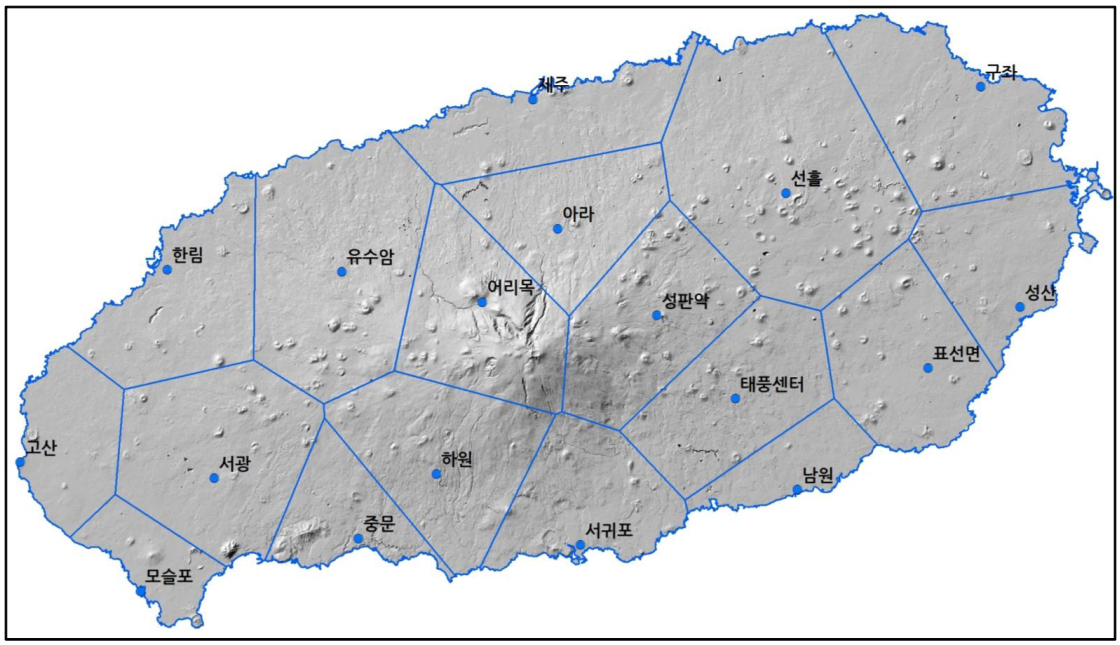


(제주특별자치도 수자원관리종합계획, 2018)

Fig. 3.13 Monthly correlation analysis of standard evapotranspiration in Jeju-do

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

기준증발산량 산정을 위하여 그림 3.14와 같이 기상관측소 및 무인기상관측소별 18개 티센 분할을 시행하였다. 그 결과, 1998~2017년까지 20년간 기준증발산량 평균은 표 3.10과 같이 2,020.74백만㎥/년으로 분석되었으며, 2011년 1,915.66백만㎥/년으로 가장 작은 값을 보이며, 2017년 2,108.34백만㎥/년으로 가장 큰 값을 나타냈다.



(제주특별자치도 수자원관리종합계획, 2018)

Fig. 3.14 Thiessen polygon in Jeju-do meteorological station

Table 3.10 Annual standard precipitation in Jeju-do

(단위 : 백만㎥/년)

year	precipitation	remark	year	precipitation	remark
평균	2,020.74				
1998	2,048.90		2008	2,001.49	
1999	1,931.22		2009	2,053.76	
2000	2,050.82		2010	1,975.36	
2001	2,085.24		2011	1,915.66	최소
2002	2,042.20		2012	1,973.02	
2003	1,993.42		2013	2,085.74	
2004	2,083.37		2014	1,948.97	
2005	2,046.84		2015	1,988.18	
2006	2,012.28		2016	2,034.69	
2007	2,035.32		2017	2,108.34	최대

(제주특별자치도 수자원관리종합계획, 2018)

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

기준증발산량을 토대로 토지이용도 및 농경지의 작물재배 특성을 반영하여 세부적인 작물증발산량을 산정하였다. 토지피복 분류는 환경부에서 제공하는 토지피복도를 사용했으며, 사용된 토지피복도는 표 3.11과 같다.

Table 3.11 Land cover map production in Jeju-do

구 분	자료기간	제작시기	지 역	원시영상	자료형식
대분류	'97~'99	2000년	전 국	Landsat TM	GeoTiff, 1:50,000
중분류	2004	2005년	영산강, 제주	SPOT-5(2.5m)	SHP 1:25,000
	'06~'07	2007년	전 국	SPOT-5(2.5m)	SHP 1:25,000
	2010	2013년	서울, 경기, 강원, 충청, 전라, 제주 등	항공정사영상 (1m)	SHP 1:25,000
세분류	'14~'15	2016년	제주, 전북	항공정사영상 (0.25m)	SHP 1:25,000

(제주특별자치도 수자원관리종합계획, 2018)

작물계수(K_c)는 재배작물별로 '신 기후변화 시나리오에 따른 농업용수 수급 예측 기술개발(농촌진흥청, 2014), '제주특별자치도 농업용수 종합계획(제주특별자치도, 2013)'에서 제시한 작물계수를 적용하였고, 농업지역 이외의 기타 토지이용지역은 국제연합 식량농업기구(FAO)에서 제시하는 작물계수를 표 3.12와 같이 적용하였다.

Table 3.12 Monthly mean of Kc by using soil

구분		1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
시가화 건조지역		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
농업 지역	논	0.60	0.65	0.37	0.51	0.45	0.38	0.36	0.48	0.51	0.51	0.46	0.25
	밭/ 하우스	0.30	0.39	0.42	0.49	0.56	0.55	0.57	0.67	0.77	0.54	0.34	0.35
	과수원	0.60	0.66	0.37	0.51	0.45	0.38	0.36	0.48	0.51	0.51	0.46	0.25
산림지역		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
초지		0.80	0.80	0.80	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.80
나지		0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
습지		1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
수역		1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05

(제주특별자치도 수자원관리종합계획, 2018)

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

표 3.13과 같이 작물증발산량은 평균 1,505.85백만㎥/년이며, 최대는 2004년의 1,571.48백만㎥/년, 최소는 2011년의 1,427.25백만㎥/년으로 분석되었으며, 실제증발산량은 평균 1,378.63백만㎥/년이며, 최대는 2009년의 1,446.59백만㎥/년, 최소는 2011년의 1,296.30백만㎥/년으로 분석되었다.

Table 3.13 Annual real precipitation in Jeju-do

(단위 : 백만㎥/년)

연도	작물증발산량	실제증발산량	연도	작물증발산량	실제증발산량
평균	1,505.85	1,378.63			
1998	1,523.05	1,388.51	2008	1,502.61	1,400.36
1999	1,446.76	1,366.09	2009	1,541.46	1,446.59
2000	1,520.57	1,333.42	2010	1,472.62	1,378.32
2001	1,545.62	1,384.79	2011	1,427.25	1,296.30
2002	1,516.03	1,408.91	2012	1,471.05	1,335.41
2003	1,480.12	1,394.56	2013	1,555.91	1,349.32
2004	1,571.48	1,418.28	2014	1,436.53	1,374.41
2005	1,542.21	1,356.05	2015	1,465.83	1,393.62
2006	1,517.12	1,394.93	2016	1,500.28	1,408.06
2007	1,527.58	1,423.51	2017	1,552.83	1,321.18

(제주특별자치도 수자원관리종합계획, 2018)

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

2.1.4 유출량

제주도의 최근 20년간 평균 직접유출량은 표 3.14와 같이 969.9백만㎥/년으로 평균 유출률은 24.54%이며, 최대 유출량은 2,267.3백만㎥/년(1999년), 최소 유출량은 308.8백만㎥/년(2005년)으로 최대년과 최소년의 유출량 차이가 크게 나타났다. 유역별 직접유출량은 북부유역 293.9백만㎥/년, 동부유역 265.8백만㎥/년, 남부유역 315.5백만㎥/년, 서부유역 94.7백만㎥/년으로 남부유역이 가장 많고, 서부유역이 가장 적게 나타났다.

Table 3.14 The result of annual run off estimate

(단위 : 백만㎥/년)

년 도	평균면적강수량(㎜)	수문총량 (A)	유출량 (B)	비율(%) (B/A)
평 균	2,161.64	3,952.13	969.90	24.54
1998	2,203.10	4,027.93	744.72	18.49
1999	2,996.44	5,478.40	2,267.26	41.39
2000	1,553.75	2,840.72	583.28	20.53
2001	1,901.16	3,475.90	528.36	15.20
2002	2,454.70	4,487.93	1,272.53	28.35
2003	2,685.53	4,909.95	1,529.28	21.15
2004	2,229.05	4,075.36	1,062.71	26.08
2005	1,416.07	2,588.99	308.80	11.93
2006	2,082.93	3,808.23	855.78	22.47
2007	2,599.42	4,752.52	1,356.87	28.55
2008	1,567.69	2,866.21	455.21	15.88
2009	1,816.32	3,230.79	568.48	17.12
2010	2,397.35	4,383.08	1,089.40	24.85
2011	2,036.79	3,723.87	907.28	24.36
2012	2,830.68	5,175.34	1,852.06	35.79
2013	1,531.29	2,799.65	385.22	13.76
2014	2,454.73	4,487.99	1,151.77	25.66
2015	2,416.20	4,417.54	1,099.71	24.89
2016	2,663.38	4,869.46	992.29	20.38
2017	1,396.01	2,552.32	386.96	15.16

주) 평균면적강우량은 연도별로 산정된 수문총량 결과를 제주본도의 면적으로 나누어 산정함

(제주특별자치도 수자원관리종합계획, 2018)

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

2.2 지하수 부존현황 및 함양량

2.2.1 지하수 부존현황

제주도의 지하수 부존형태는 담수와 해수의 관계, 지질분포 특성, 지하수위 분포 등에 따라 상위지하수, 기저지하수, 준기저지하수, 기반암지하수로 총 4가지로 분류된다(그림 3.15).

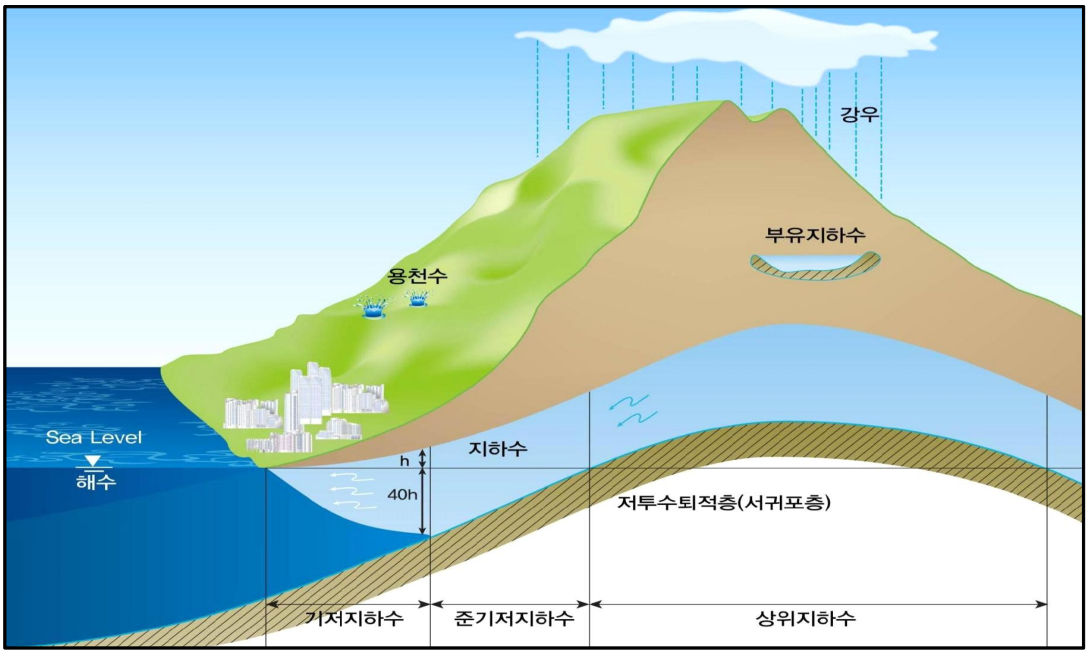
기저지하수는 염수와 담수의 비중차이에 의해서 담수가 염수 상부에 렌즈 형태, Ghyben-Herzberg 원리에 의해 부존하는 지하수이다. 일반적으로 담수의 밀도가 해수의 밀도보다 작아 해수지하수체는 담수지하수체 하부에 위치하며, 담수지하수는 상부의 지하수위 높이에 40배 만큼 깊이까지 부존 할 수 있다. 담수와 해수가 만나는 지역에는 저염지하수가 부존하는데, 점이대 또는 혼합대라고 하며, 혼합대 상부에 존재하는 담수지하수를 담수렌즈 또는 G-H 렌즈라 한다. 담수렌즈는 모든 지역에 항상 일정하게 분포하는 것이 아니며, 지하수 함양량, 조석 등의 요인에 따라 확장 및 수축 등이 반복된다. 제주도의 기저지하수체는 북부 조천읍에서 남부 남원읍에 이르는 해안지역과 서부 한림읍 해안지역, 모슬포 해안지역을 따라 부존하고 있으며, 제주도 동부지역은 G-H비 보다 훨씬 얇은 1:20의 비율을 보이는 지역이다(Kho, 2003).

준기저지하수는 지하의 투수성이 낮은 서귀포층이 담수지하수체와 해수를 차단하는 역할을 하고 있어 G-H원리가 적용되지 않는 지하수체를 의미하며, 평균 해수면을 기준으로 상부에 위치한 지하수는 상부 준기저지하수로, 하부에 위치한 지하수는 하부 준기저지하수로 세분화 된다. 상부 준기저지하수는 서귀포층의 상부 면을 따라 빠른 선형유속으로 유동하므로 풍시기와 갈수기의 수위변동 폭이 크게 나타난다. 하부 준기저지하수는 서귀포층이 해수면 하부에 분포하므로 서부지역 및 북부지역에 광범위하게 분포하며, 선형유속이 상부 준기저지하수보다 느리고, 지하수위의 변동 폭은 강수에 의해 지배되지만, 투수성이 낮은 서귀포층이 해수면 기준 60m 이하에 분포하는 지역에서는 조석의 영향이 발생된다.

상위지하수는 지표면에 내린 빗물이 중력에 의해 상부의 투수성 지층을 통해 지하로 침투되다가 점토층과 같은 저투수성 지층이나 불투수성 암석층에 의해 더 이상 침투되지 못하고 저투수층의 표면을 따라 유동하는 지하수이다. 특히, 저투수층의 표면을 따라 빠른 선형유속으로 유동되므로 풍수기(7~9월)와 갈수기(12, 1~2월) 간에 수위 변동 범위가 크게 나타나며, 양수에 의한 수위강하량이 크게 나타난다.

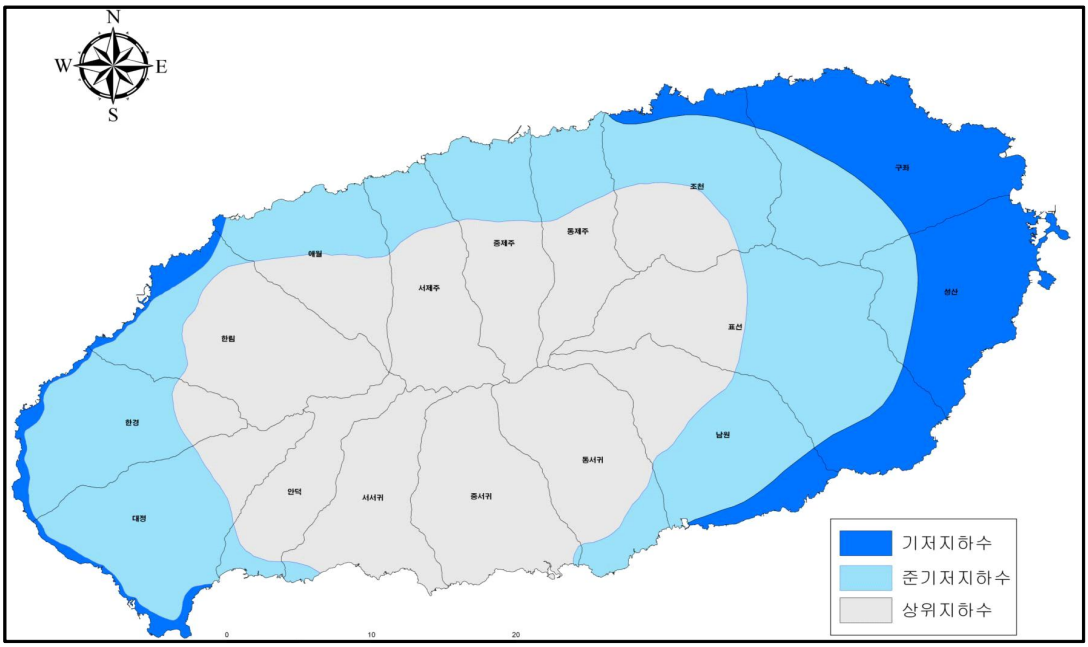
제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

기반암지하수는 시대미상의 미고결퇴적층(U층), 서귀포층 등과 같은 저투수성 퇴적층 하부의 대보화강암과 용결응회암 등의 기반암에 발달된 절리나 파쇄대 등의 공극사이에 부존하는 강수 기원의 심부지하수로 정의되며, 지하수의 수질이나 채수가능량은 기반암 지질구조의 발달 상태에 따라 영향을 받는 지하수체이다.



(제주특별자치도 수자원관리종합계획, 2013)

Fig. 3.15 Mimetic diagram for endowment of ground water



(제주특별자치도 수자원관리종합계획, 2013)

Fig. 3.16 Groundwater occurrence in Jeju-do

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

2.2.2 지하수 함양량

제주도의 20년 평균 지하수 함양량은 표 3.15와 같이 1,603.60백만㎥/년으로 전체 수문총량 3,952.13백만㎥/년의 40.58%로 나타났으며, 유역별로는 남부유역이 582.92백만㎥/년으로 44.93%를 차지하여 가장 크며, 동부유역이 464.90백만㎥/년으로 41.64%를 차지하고, 서부유역이 201.51백만㎥/년으로 36.49%이고, 북부유역은 354.27백만㎥/년으로 35.93%를 차지하여 가장 적은 것으로 나타났다.

Table 3.15 The result of ground water recharge estimate

(단위: 백만㎥/년)

구 분	면적 (㎢)	평균면적 강수량 (㎜)	수문총량 (A)	증발산량 (B)	지표 유출량 (C)	지하수 함양량 (D)	지하수 함양률 (D/A×100) (%)
계	1,828.30	2,161.64	3,952.13	1,378.63	969.90	1,603.60	40.58
북부	466.10	2,115.66	986.11	337.96	293.87	354.27	35.93
남부	494.70	2,622.64	1,297.42	398.99	315.51	582.92	44.93
동부	492.20	2,268.16	1,116.39	385.70	265.80	464.90	41.64
서부	375.30	1,471.38	552.21	255.98	94.72	201.51	36.49

(제주특별자치도 수자원관리종합계획, 2018)

제주도 지하수함양량은 표 3.16과 같이 1993년에는 1,494백만㎥/년, 2003년에는 1,581백만㎥/년, 2013년에는 1,676백만㎥/년 2018년에는 1,603.6백만㎥/년으로 분석되어, 1993년부터 2013년도 까지는 증가하였다가 2018년도에 소폭으로 감소하였으나, 또한, 함양률은 1993년은 44%이고, 2003년은 46%였다가, 2013년은 45%, 2018년은 41%로 감소한 것으로 나타났다.

Table 3.16 The comparison of existing data estimate

(단위: 백만㎥/년)

구 분	수자원개발 종합계획		제주도수문지질 및 지하수자원종합조사		수자원관리 종합계획		수자원관리 종합계획(보완)	
	1993년		2003년		2013년		2018년	
수문총량	3,388		3,427		3,769		3,952	
지하수함양량	1,494	44%	1,581	46%	1,676	45%	1,603.6	41%
증발산량	1,256	37%	1,138	33%	1,260	33%	1,379	35%
지표유출량	638	19%	708	21%	833	22%	970	24%

(제주특별자치도 수자원관리종합계획, 2018)

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

지하수함양량과 함양률 변동이 감소 추세로 나타난 것은 제주도 시가화 지역이 2010년에 118.22㎢에서 2015년 136.6㎢로 16% 증가되어 불투수 면적이 많아져서 강우시 지하침투 조건이 불리해지고, 도로포장공사 및 배수개선사업, 하천정비사업 등으로 인한 토지이용변화로 지표유출량이 커졌기 때문이라고 판단된다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

3. 수자원 이용 및 개발현황

3.1 수자원 이용현황

2017년도 제주도의 수자원 개발 현황은 표 3.17과 같이 총 시설수는 5,981개소 이며, 시설용량은 627,923천㎥/년 이고, 저류용량은 6,191천㎥이다. 지하수 시설은 4,818개소, 시설용량은 568,489천㎥/년으로 전체 시설용량의 90.53%를 차지하고, 용천수는 9개소, 47,412천㎥/년으로 전체 시설용량의 7.55%에 해당하며, 어승생저수지는 5,400천㎥/년으로 전체 시설용량의 0.86%를 차지한다.

대체 수자원은 빗물이용시설, 하수방류수 재이용시설, 해수담수화, 중수도를 포함하며 총 1,146개소, 시설용량 5,757천㎥/년으로 전체 시설용량의 0.92%를 차지하며, 온천은 3개소, 시설용량은 864천㎥/년으로 전체 시설용량의 0.14%에 해당하는 것으로 나타났다(제주특별자치도 수자원관리종합계획, 2018).

Table 3.17 The facilities of water resources development

수원별		시설수 (개소)	시설용량 (천㎥/년)	저류용량/ 계획량(천㎥)	산정기준	비율 (%)
계		5,981	627,923	6,191	-	100.00
지하수	지하수	4,818	568,489	-	허가량	90.53
용천수	상수원	9	47,412	-	시설용량	7.55
	농업용	-	-	-	-	-
어승생	어승생	1	5,400	-	시설용량	0.86
지표수	저수지	4	-	2,035	저류용량	-
대체수자원	빗물(의무)	49	-	4,008	저류용량	-
	빗물(권장)	1,076	-	148	저류용량	-
	하수방류 수재이용	2	3,600	-	시설용량	0.57
	담수화	3	621	-	시설용량	0.10
	중수도	16	1,536	-	시설용량	0.24
	소 계	1,146	5,757	4,156		0.92
온천	온천	3	864	-	허가량	0.14

(제주특별자치도 통계자료, 2017)

2017년도 제주도의 수자원 총 이용량은 표 3.18과 같이 299,013천㎥/년 이며, 수원별로 구분하면 지하수가 전체 수자원 이용량의 81.38%인 243,323천㎥/년으로 가장 많으며, 용천수가 42,550천㎥/년으로 14.23%를 차지하고, 어승생저수지의 경우 전체 수자원 이용량의 1.05%인 3,153천㎥/년을 이용하는 반면, 지표수인 농업용저수지 4

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

개소는 수질 등의 문제로 이용되지 않고 있다. 또한, 대체수자원은 빗물이용시설이 3.07%를 차지하고, 그 외 하수방류수재이용시설, 담수화시설, 중수도시설은 각각 0.07%, 0.09%, 0.05%이며, 온천은 0.06%로 182천㎥/년을 차지하는 것으로 나타났다 (제주특별자치도 수자원관리종합계획, 2018).

Table 3.18 The using situation of water resources

수 원 별		시설수 (개소)	시설용량 (천㎥/년)	이용량 (천㎥/년)	비율 (%)
계		5,981	627,923	299,013	100.00
지하수	지하수	4,818	568,489	243,323	90.53
용천수	상수원	9	47,412	42,550	7.55
	농업용	-	-	-	-
어승생	어승생	1	5,400	3,153	0.86
지표수	저수지	4	-	-	-
대체수자원	빗물(의무)	49	-	7,037	-
	빗물(권장)	1,076	-	2,140	-
	하수방류수 재이용	2	3,600	199	0.57
	담수화	3	621	269	0.10
	중수도	16	1,536	160	0.24
	소 계	1,146	5,757	4,156	0.92
온천	온천	3	864	182	0.14

(제주특별자치도 통계자료, 2017)

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

3.2 생활용수 개발현황

3.2.1 관정 개발

2017년말 기준 제주도의 총 관정은 4,818개소이며, 허가량은 1,579.1천㎥/일 이다. 생활용 관정이 1,432공으로 전체관정의 29.7%를 차지하며, 농어업용 관정은 3,231공으로 전체관정의 67.1%를 차지하고, 공업용은 148개소, 먹는샘물 제조용은 7공으로 각각 3.07%, 0.15%를 차지하는 것으로 분석되었다. 개발 주체별로는 공공관정이 1,389개소, 사설관정이 3,429개소로 공공관정이 차지하는 비율은 28.8%이며, 사설관정이 차지하는 비율이 71.1%이다. 표 3.19는 용도별 관정 현황을 나타내었다.

Table 3.19 Status of ground water by developing subject and usage

(단위: 개소, 천㎥/일)

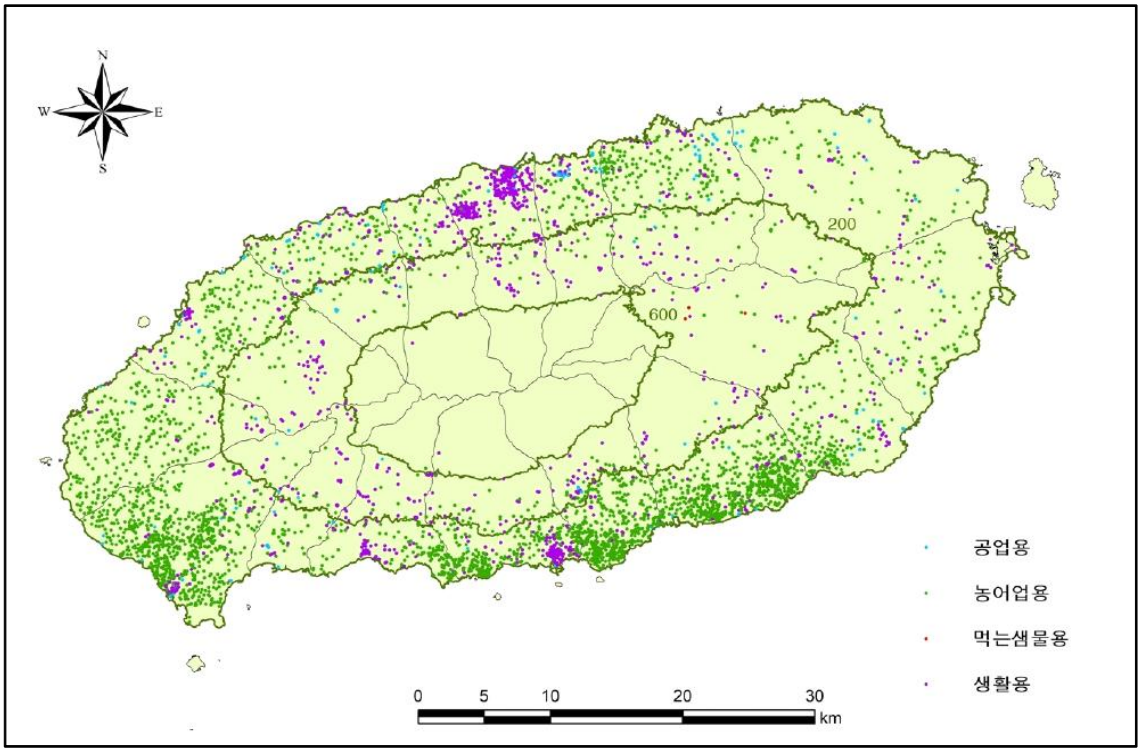
구 분		계	생활용	농어업용	공업용	먹는샘물
계	공 수	4,818	1,432	3,231	148	7
	허가량	1,579.1	642.5	906.0	26.8	3.8
공공관정	공 수	1,389	457	854	3	6
	허가량	1,217.6	503.4	438.9	1.4	3.7
사설관정	공 수	3,429	975	2,377	145	1
	허가량	361.5	139.2	467.0	25.4	0.1

(제주특별자치도 통계자료, 2017)

그림 3.17은 용도별 지하수 관정 위치를 나타내었는데, 생활용 관정은 인구가 밀집된 제주시와 서귀포에 많이 분포되어 있고, 농업용 관정은 남부와 남서부 지역에 많이 집중되어 있다. 생활용 관정 허가량은 전체 허가량의 40.7%를 차지하며, 농업용 관정 허가량은 57.4%를 차지한다.

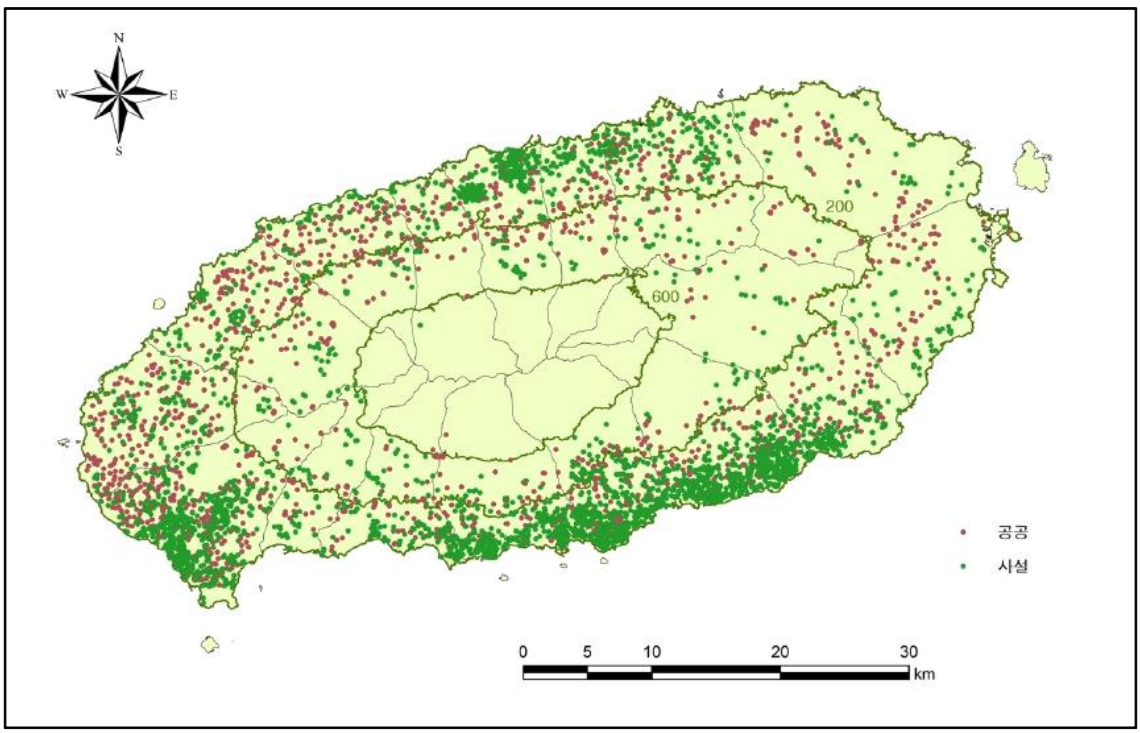
그림 3.18은 개발주체별 관정 위치이며, 공공관정은 제주도 전 지역에 고루 분포하고 있는 반면, 사설관정은 북부 일부지역과 남부, 남서부지역에 밀집되어 개발·이용되고 있는 것으로 나타났다. 공공관정의 허가량은 전체 허가량의 77.1%이고, 사설관정의 허가량은 22.9%를 차지하고 있어, 공공관정 허가량이 사설관정 허가량의 3.4배가 많은 것으로 분석되었다. 또한, 공공관정과 사설관정 허가량 중 가장 많은 것은 농어업용 허가량으로 공공관정은 58.2%이며, 사설관정은 54.4%를 차지하는 것으로 분석되었다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY



(제주특별자치도 수자원관리종합계획, 2018)

Fig. 3.17 Ground water status by usage in Jeju-do



(제주특별자치도 수자원관리종합계획, 2018)

Fig. 3.18 Ground water status by developing subject in Jeju-do

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

표 3.20은 연간 용도별 지하수 이용현황을 나타냈으며, 2017년 기준 총 허가량은 568,489천㎥/년으로 농어업용이 326,153천㎥/년으로 57.4%로 가장 크고, 생활용이 123,309천㎥/년으로 21.7%를 차지하며, 공업용이 9,660천㎥/년, 먹는샘물이 1,368천㎥/년을 나타내어 각각 1.7%, 0.2%를 나타내었다. 또한, 2017년 기준 연간 총 이용량은 243,323천㎥/년으로 생활용이 142,053천㎥/년으로 가장 많고, 농어업용이 97,546천㎥/년, 공업용이 2,631천㎥/년, 먹는샘물이 1,092천㎥/년으로 나타났다. 지하수 전체 허가량 대비 이용율은 생활용이 61.4%, 농어업용이 29.9%, 공업용이 27.2%, 먹는샘물이 79.8%로 분석되었다.

Table 3.20 Utilization of Groundwater by annual use

(단위: 개소, 천㎥/년)

구 분	계	생활용	농어업용	공업용	먹는샘물
공 수	4,818	1,432	3,231	148	7
허가량(A)	568,489	123,309	326,153	9,660	1,368
이용량(B)	243,323	142,053	97,546	2,631	1,092
이용율(C=B/A)	42.8%	61.4%	29.9%	27.2%	79.8%

(제주특별자치도 통계자료, 2017)

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

3.2.2 저수지 개발

어승생 저수지는 1967년 4월 착공하여 1971년 12월에 최종 완공되었으며, 저수용량은 107천㎥으로 Y계곡 및 선녀폭포에서 용출되는 고지대 용천수를 약 7.6㎞의 도수로를 이용하여 자연유하 방식으로 도수하여 정수처리 후 48㎞의 송수관로와 226㎞의 지선관로를 통하여 중산간 일원 8개 마을 60여개 목장에 1일 평균 8,682톤의 상수도를 공급하고 있다.

(단위: 천㎥)

저수지명	위 치	저수용량	용 도	비 고
어승생저수지	제주시 해안동	107	생활용	1971.12. 완공

3.2.3 용천수 개발

제주특별자치도 용천수관리계획(제주특별자치도, 2016)에 따르면, 제주도내 용천수는 총 661개소가 분포하며, 제주시에는 395개소, 서귀포시에는 266개소가 있다. 용천수는 표 3.21과 같이 해발 200m이하의 저지대에 600개소가 분포하고, 중산간지대에는 36개소, 산악지대에는 25개소가 분포하는 것으로 나타났다.

Table 3.21 Status of spring water in Jeju-do

구 분	계	저지대 (200m 이하)	중산간지대 (200~600m)	산악지대 (600m이상)
계	661	600	36	25
제 주 시	395	353	26	16
서귀포시	266	247	10	9

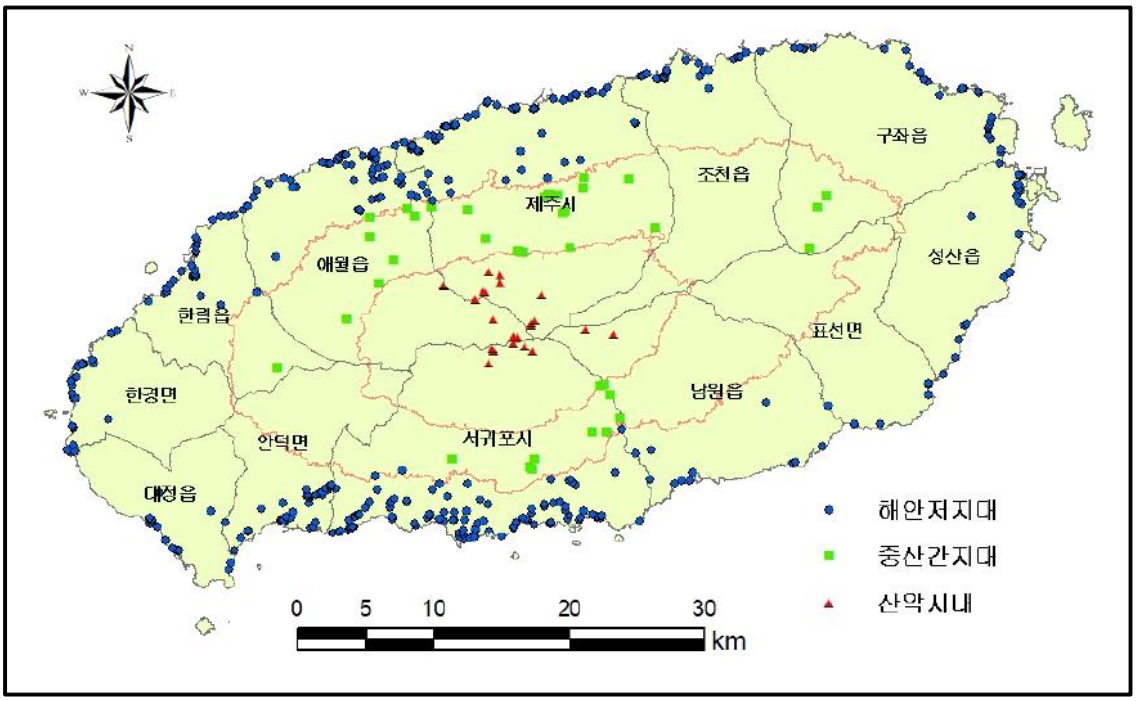
(제주특별자치도 용천수관리계획, 2016)

용천수는 지형경사가 완만하고, 현무암질 용암류가 대지상으로 분포하는 동서부의 중산간 지역에는 10여 개소이며, 조면암과 조면암질현무암류가 주로 분포하고 지형경사가 급한 남북지역의 중산간 및 산악지대에 용천수들이 많은 것으로 볼 때, 용암류에 의한 지형이 급하게 변하는 지점에 주로 발달하는 특징을 나타낸다.

그림 3.19와 같이 제주도 남·북사면에 분포하는 용천수들은 주로 하천변이나 그 주변 지역에 위치하는데 비하여 동·서부지역에서는 분석구의 주변이나 기슭에서 용출하고 있고, 북부지역에서는 외도천, 광령천, 산지천, 화북천을 중심으로 용천수들이 발달하고 있으며, 남부지역의 경우는 효례천, 연외천 등을 따라 분포하는 양상

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

을 보여주고 있다.



(제주특별자치도 수자원관리종합계획, 2018)

Fig. 3.19 Spring water distribution map in Jeju-do

제주도내 분포하는 용천수는 표 3.22와 같이 총 661개소이며, 이중 200개소는 사용 중인 것으로 나타났고, 461개소는 사용하지 않은 것으로 조사되었으며, 용도별로 분류하면 생활용은 147개소로 제일 많으며, 상수원은 32개소, 농업용이 21개소로 조사되었다.(제주특별자치도 용천수관리계획, 2016)

Table 3.22 Status of spring water by use in Jeju-do

구 분		계	이 용				미이용
			소계	생활용	상수원	농업용	
계	개수	661	200	147	32	21	461
	용출량	1,258,929	724,639	565,033	99,272	60,334	534,290
제 주 시	개수	395	113	82	24	7	282
	용출량	721,556	376,359	291,215	75,491	9,653	345,196
서귀포시	개수	266	87	65	8	14	179
	용출량	537,373	486,692	273,818	23,781	50,681	189,093

(제주특별자치도 용천수관리계획, 2016)

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

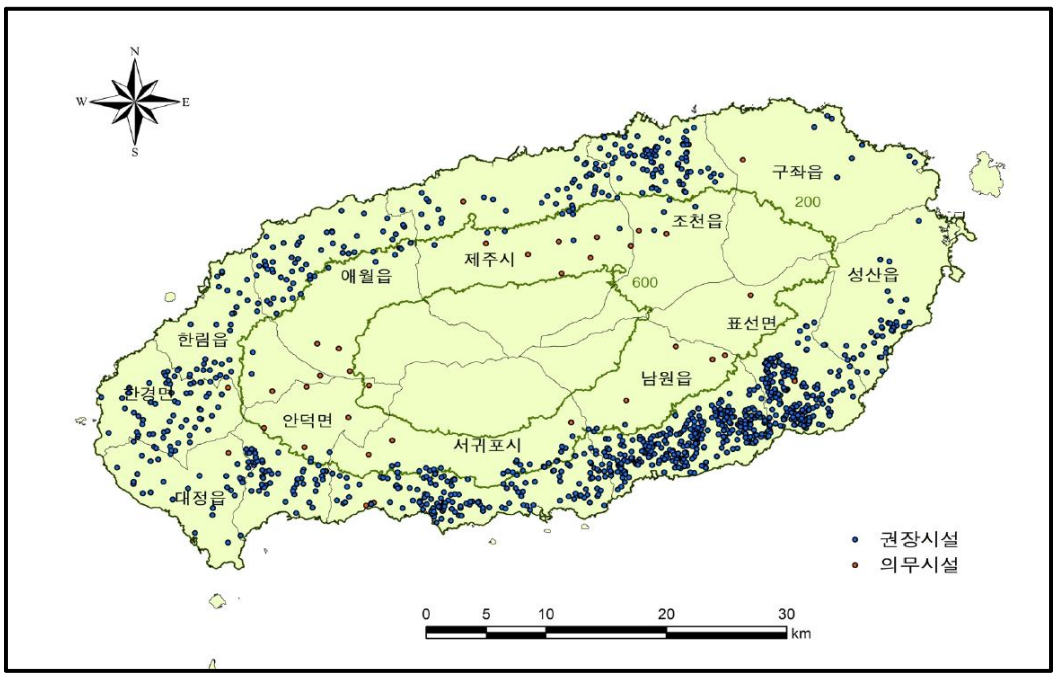
3.3 기타용수 개발현황

3.3.1 빗물이용시설

제주도는 제주특별자치도 설치 및 국제자유도시 조성을위한 특별법 제386조 및 제주특별자치도 지하수관리조례 제57조의 규정에 의하여 빗물이용시설을 설치하고 있으며, 의무시설과 권장시설로 구분되어진다.

의무적 빗물이용시설은 면적 또는 지하수 이용량이 일정규모 이상으로 지붕면적이 1천㎡ 이상인 운동장, 공공업무시설과 공공기관 청사, 건축면적이 1만㎡이상인 공동주택, 건축면적이 5천㎡이상인 학교, 유통산업발전법 제2조 제2호에 따른 대규모 점포, 체육시설의 설치 이용에 관한 법률 시행령에 의한 골프장, 관광진흥법 제2조 제6호 및 제7호에 따른 관광지 및 관광단지이며, 권장대상 시설은 비닐하우스 또는 온실, 축사, 창고 등 이다.

그림 3.20은 권장 빗물이용시설과 의무적 빗물이용시설 위치를 나타낸 것이다. 권장 이용시설은 주로 해발고도 200m미만 지역인 서귀포시 남원읍, 표선읍, 제주시 조천읍에서 집중적으로 이용하고 있는 것으로 나타났고, 의무적 빗물이용시설은 주로 해발고도 200m~600m사이에 위치한 골프장에 설치한 것으로 나타났다.



(제주특별자치도 수자원관리종합계획, 2018)

Fig. 3.20 The distribution chart of rainwater using facility installation

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

표 3.23은 연도별 권장 빗물이용시설 설치현황을 나타났으며, 대부분 농업용 비닐하우스 지붕에 내린 빗물을 집수하는 형태이다. 2017년 기준 총 1,076개소가 설치되어 있으며, 시설규모는 총 148,443㎥이고, 월간 빗물 이용 계획량은 총 505천㎥, 집수가능면적은 총 4,487천㎡이다.

Table 3.23 Status of rainwater facilities

시설년도	설치개소 (개소)	시설규모 (㎥)	월간이용 계획량(㎥)	집수면적 (㎡)
계	1,076	148,443	505,116	4,487,121
2005년	3	169	915	4,699
2006년	1	100	1,065	6,700
2007년	5	872	1,682	12,800
2008년	10	1,130	5,131	44,901
2009년	35	5,268	22,297	171,645
2010년	89	10,890	60,990	434,398
2011년	61	9,792	37,647	417,548
2012년	90	12,548	42,237	396,210
2013년	149	19,983	65,926	610,428
2014년	166	24,224	76,800	592,841
2015년	164	22,804	70,404	641,207
2016년	136	17,656	62,375	538,187
2017년	167	23,008	57,647	616,057

(제주특별자치도 수자원관리종합계획, 2018)

표 3.24는 의무적 빗물이용시설 이용현황을 나타냈다. 2017년 기준 빗물이용량을 확인 할 수 있는 의무적 빗물이용시설은 33개소로서 골프장 30개소, 호텔 3개소이며, 총 용수 이용량은 13,797천㎥/년이고, 이중 빗물 이용량은 70,037천㎥/년으로 총 용수 이용량의 51.0%를 차지하는 것으로 나타났다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Table 3.24 Status of obligatory rainwater facilities

(단위 : 천㎥/년)

구분	빗물 이용량 (2017년)				
	계	빗물	상수도 및 지하수	빗물이용률(%)	비고
합계	13,797	7,037	6,760	51.0	
나인브릿지	483	253	230	52.4	
더클래식	313	248	65	79.1	
라온CC	455	244	211	53.6	
라헨느CC	311	195	116	62.7	
레이크힐스CC	428	245	183	57.2	
롯데스카이힐CC	1,133	628	504	55.5	
봉개프라자	152	131	21	86.4	
부영CC	479	414	65	86.3	
블랙스톤	915	415	500	45.3	
사이프러스	526	413	113	78.5	
세인트포	815	386	429	47.3	
샤인빌	136	63	73	46.5	
스프링데일	147	100	47	68.1	
아덴힐	305	161	144	52.7	
에버리스	598	246	352	41.1	
에코랜드	177	71	107	39.9	
엘리시안	1,267	619	648	48.8	
오라CC	498	205	293	41.2	
우리들CC	165	91	74	55.2	
제주CC	239	103	136	43.0	
제주힐CC	87	40	47	45.8	
제피로스CC	394	197	197	50.1	
중문골프장	196	88	108	44.9	
캐슬렉스	261	116	145	44.3	
크라운	379	173	206	45.7	
타미우스	438	192	246	43.9	
테디벨리	357	153	204	42.8	
핀크스	883	438	446	49.5	
한라산	367	189	178	51.4	
해비치	348	208	139	59.9	
그랜드호텔	198	0	197	0.2	
롯데호텔	313	13	300	4.2	
신라호텔	35	1	34	1.4	

(제주특별자치도 수자원관리종합계획, 2018)

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

3.3.2 인공함양정

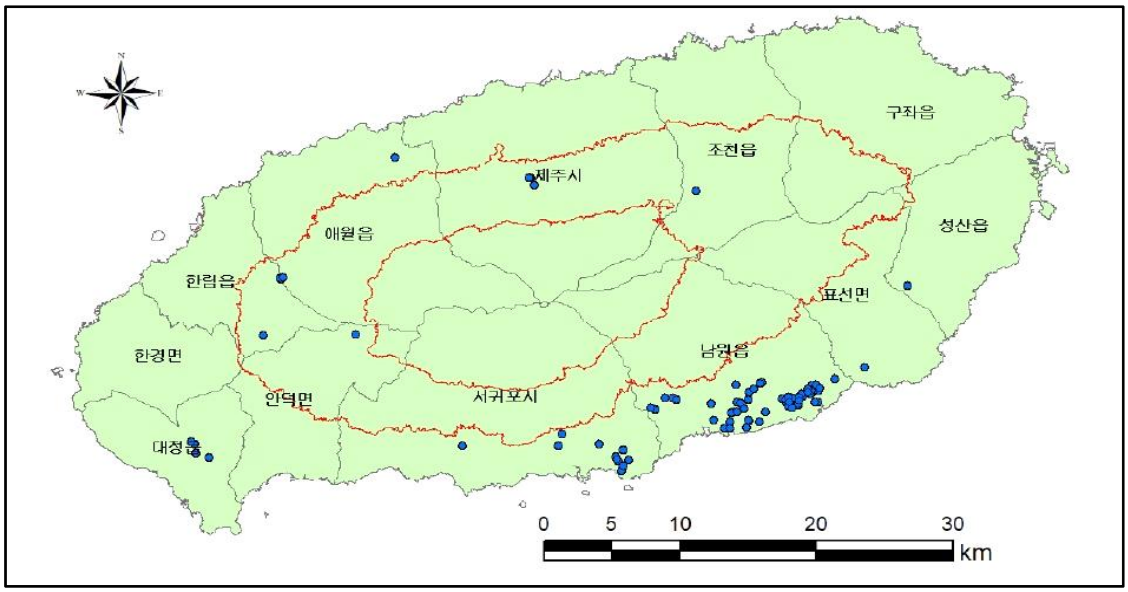
표 3.25는 제주특별자치도 인공함양정 설치현황이다. 제주도내 인공함양정은 2017년 기준으로 총 105개소가 설치되어 있으며, 사설시설은 81개소, 공공시설은 24개소이다. 농업용 비닐하우스 지붕에 내린 빗물을 집수하여 인공함양하는 시설은 81개소로서 집수면적은 379,243㎡이며, 연간 683,296㎥/년을 함양하도록 설계되었다. 하천 저류지에 20개소에서 연간 2,000천㎥/년 함양 할 수 있는 시설을 갖추고 있다.

Table 3.25 Status of artificial recharge well facilities

구 분			개소수	집수면적(㎡)	함양가능량(㎥)	비 고
합 계			105	425,596	2,754,547	
사설	소 계		81	379,243	683,296	
	농업용	감귤	75	356,934	649,844	
		기타(화훼 등)	5	19,970	31,131	
	골프장		1	2,339	2,321	-
공공	소 계		24	46,353	2,071,251	-
	조사·연구용	빗 물	3	44,035	66,200	-
		하천수	20	-	2,000,000	
	기 타		1	2,318	5,051	-

(제주특별자치도 수자원관리종합계획, 2018)

그림 3.21은 제주특별자치도 인공함양정 설치 위치이며, 해발고도 200m이하에 주로 설치되어 있으며, 남원읍에 가장 많은 것으로 나타났다.



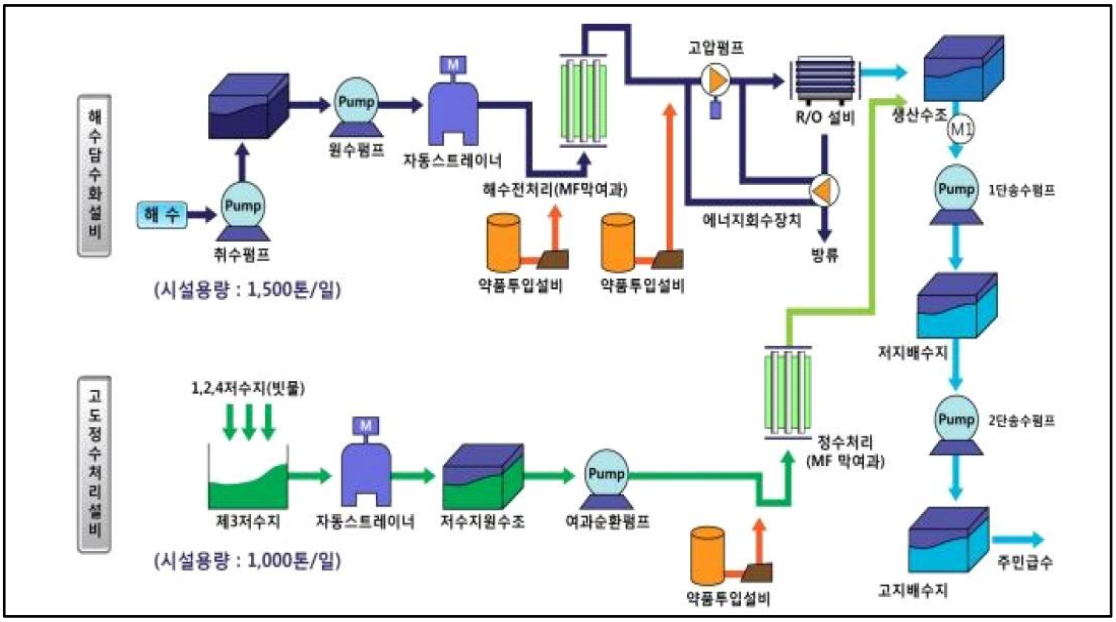
(제주특별자치도 수자원관리종합계획, 2018)

Fig. 3.21 The distribution chart of artificial recharge well facility

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

3.3.3 해수담수화시설

해수담수화는 그림 3.22와 같이 바닷물이나 염지하수에서 염분과 유기물질 등을 제거해 식수나 생활용수 등으로 이용할 수 있도록 담수를 얻는 것으로 물은 통과시키고 물 속에 녹아 있는 염분은 걸러내는 역삼투압 방식이 널리 이용되고 있다.



(제주특별자치도 수자원관리종합계획, 2018)

Fig. 3.22 The flow chart on saline water conversion facility

표 3.26은 제주특별자치도 2017년 도서지역 급수 및 시설현황이다. 제주도 도서지역 중 추자도, 가파도, 마라도의 3개 도서지역에 상수도 공급 목적으로 해수담수화 시설이 설치되어 운영 중이며, 시설용량은 추자도는 2,500톤/일이며, 가파도는 300톤/일, 마라도는 75톤/일 이다.

추자도의 담수시설은 해수담수 500톤/일 2기와 250톤/일 2기가 있으며, 빗물고도 500톤/일 2기가 있고, 가파도는 염지하수 150톤/일 2기, 마라도는 염지하수 25톤/일, 50톤/일이 각각 1기가 설치되어있다.

2017년도 생산량은 추자도가 해수담수 238,569㎥, 빗물고도 83,778㎥이며, 가파도는 34,545㎥, 마라도는 19,190㎥으로 나타났다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Table 3.26 Status of water supply and facility in island area(2017)

구 분			추자도		가파도	마라도
급수 인구	주민(명)		2,215(1,088가구)		227(131가구)	124명(66가구)
	연간 관광객 (천명)		2015년 44,786명 2016년 45,479명 2017년 35,588명		2015년 97,035명 2016년 62,124명 2017년 132,890명	2015년 217,239명 2016년 290,265명 2017년 408,193명
시설 현황	배수지시설		5,300톤(4개소)		500톤(2개소)	150톤(2개소)
	용량(㎥/일)		해수담수 1,500톤/일 빗물고도 1,000톤/일		300톤/일	75톤/일
	담수화시설		해수담수(500톤×2기, 250톤×2기) 빗물고도(500톤×2기)		150톤×2기	25톤×1기 50톤×1기
	도송수관(㎞)		1.1		7.6	4.3
	원수	수원	해수	빗물	염지하수(2공)	염지하수(1공)
		용량 (㎥/일)	4,500	1,050	400	250
공급개시			2012.12.21. (최초, 2000.10)		2006.01.	2004.03.
2017년 생산량			해수담수 238,569㎥ 빗물고도 83,778㎥		34,545㎥	19,190㎥
일평균생산량			883㎥		95㎥	53㎥

(제주특별자치도 수자원관리종합계획, 2018)

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

3.3.4 먹는샘물

제주도내 먹는샘물 제조·판매용 지하수 개발·이용허가는 「제주특별자치도법」에 의하여 엄격히 규제하고 있으며, 1995년 5월부터 먹는샘물 국내 판매가 전면 허용됨에 따라, 사기업의 진출과 이로 인한 무분별한 지하수 개발을 막기 위해 1995년 구 「제주도개발특별법」을 개정하여 사기업에 의한 먹는샘물 제도·판매 목적의 지하수 굴착·허가를 제한하고 있는 실정이다.

제주특별자치도개발공사는 1997년 12월, 지하수 이용허가 취득 후 1998년 2월 “제주삼다수” 제품을 생산하였고, 한국공항(주)은 1984년 「식품위생법」규정에 의하여 보건사회부로부터 보존음료수(먹는샘물) 제조영업허가를 받고, 1993년 「제주도개발특별법」규정에 의해 지하수 이용허가 취득을 하였다.

표 3.27은 제주특별자치도 먹는샘물 허가 현황을 나타내었다. 제주특별자치도개발공사는 심도 410~430m지점에서 6공을 착정하여 8,200㎥/day을 취수할 수 있는 시설을 갖추었으며, 월간 취수허가량은 111,000㎥, 1일 허가량은 3,700㎥이다. 또한, 한국공항(주)은 심도 325m지점에서 1공을 착정하여 1,080㎥/day을 취수할 수 있는 시설이 있으며, 월간 취수허가량은 3,000㎥, 1일 허가량은 100㎥이다.

Table 3.27 Status of permission in drinking spring water

업체	제주특별자치도개발공사	한국공항(주)
상품명	제주삼다수	제주퓨어워터
위치	제주시 조천읍 교래리	서귀포시 표선면 가시리
표고/심도	437~467m / 410~430m	335m / 325m
정호구경(토출구경)	250(100)mm	250(100)mm
공수/양수능력	6공 / 8,200㎥/day	1공 / 1,080㎥/day
이용허가량	- 3,700㎥/day - 111,000㎥/month	- 100㎥/day - 3,000㎥/month

(제주특별자치도 수자원관리종합계획, 2018)

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

4. 제주도 농업용수 개발현황

4.1 관정 개발

2017년도 제주도의 지하수 개발·이용시설은 총 4,818개소이며, 취수허가량은 1,579,137㎥/day이다. 표 3.28과 같이 제주도내 농업용수로 이용하는 지하수 관정은 총 관정의 65.5%인 3,157개소이고, 허가량은 57.0%인 899,930㎥/day이며, 지역별로 분류하면, 제주시는 제주시 총 관정 1,825개소의 44.7%인 817개소로 총 허가량의 51.8%인 436,466㎥/day를 차지하며, 서귀포시는 서귀포시 총 관정 2,993개소의 78.2%인 2,340개소로 총 허가량의 62.8%인 463,464㎥/day를 차지하고 있는 것으로 분석되었다. 또한, 서귀포시 지역의 농업용수로 이용·개발한 관정 수는 제주시 보다 1,523개소가 많은 2.8배 이고, 허가량은 26,998㎥/day 많은 1.06배에 해당하는 것으로 나타나, 서귀포시가 제주시보다 농업용수 이용율이 큰 것으로 분석되었다.

Table 3.28 Status of ground water development and using for agricultural

(단위: 공, ㎥/day)

구 분		총	농어업용					
			계		농업용		어업용	
계	공 수	4,818	3,231	67.1%	3,157	65.5%	74	1.5%
	허가량	1,579,137	905,981	57.3%	899,930	57.0%	6,051	0.3%
제 주 시	공 수	1,825	854	46.7%	817	44.7%	37	2.0%
	허가량	841,131	438,943	52.1%	436,466	51.8%	2,477	0.3%
서귀포시	공 수	2,993	2,377	79.4%	2,340	78.2%	37	1.2%
	허가량	738,007	467,038	63.2%	463,464	62.8%	3,574	0.4%

(제주특별자치도 통계자료, 2018)

제주도내 지역별 농어업용 관정 개발현황은 표 3.29와 같이 총 3,231개소 중 제주시가 26.4%인 854개소, 서귀포시는 73.6%인 2,377개소이며, 제주시 지역은 한경면이 213개소로 제일 많고, 애월읍이 160개소, 동지역이 153개소, 조천읍이 136개소, 한림읍이 119개소이고, 구좌읍이 73개소로 가장 작은 것으로 나타났고, 서귀포시는 동지역이 735개소로 제일 많고, 남원읍이 713개소, 대정읍이 607개소, 표선면이 144개소, 안덕면이 105개소이고, 성산읍이 73개소로 가장 작은 것으로 나타났다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Table 3.29 Status of ground water well development and using

(단위: 공)

구 분		계	농어업용	생활용	공업용	먹는샘물용
계		4,818	3,231	1,432	148	7
제주시	소계	1,825	854	871	94	6
	동지역	761	153	581	27	-
	구좌읍	126	73	41	12	-
	조천읍	224	136	66	16	6
	애월읍	296	160	112	24	-
	한림읍	185	119	53	13	-
	한경면	233	213	18	2	-
서귀포	소계	2,993	2,377	561	54	1
	동지역	1,060	735	319	6	-
	성산읍	106	73	30	3	-
	표선면	193	144	37	11	1
	남원읍	800	713	76	11	-
	안덕면	176	105	58	13	-
	대정읍	658	607	41	10	-

(제주특별자치도 통계자료, 2018)

또한, 농어업용 취수허가량 현황은 표 3.30과 같이 총 905,981㎥/일 중 제주시가 48.4%인 438,943㎥/일, 서귀포시는 51.6%인 467,038㎥/일이며, 제주시 지역은 한경면이 113,997㎥/일로 가장 많고, 애월읍이 109,968㎥/일, 한림읍이 66,301㎥/일, 동지역이 53,560㎥/일, 구좌읍이 49,261㎥/일, 조천읍이 45,856㎥/일 순으로 나타났고, 서귀포시 지역은 대정읍이 154,930㎥/일로 제일 크고, 동지역이 106,887㎥/일, 남원읍이 105,334㎥/일, 안덕면이 38,566㎥/일, 표선면이 37,818㎥/일, 성산읍이 23,501㎥/일 순으로 나타났다.

지역별 농어업용 관정 개소와 취수허가량의 상관관계를 분석해 보면, 한림읍의 경우 관정은 119개로 13.9%인 제주시 중 5순위이나, 허가량은 66,301㎥/일로 15.1%를 차지하여 3순위에 해당하고, 대정읍의 경우 관정은 607개로 25.5%인 서귀포시 중 3순위이나, 허가량은 154,930㎥/일로 33.22%를 차지하여 1순위에 해당하는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 지역별로 공공관정과 사설관정의 개발 비율이 다르고, 이 들 관정의 허가용량이 서로 달라서 나타난 현상이라고 판단된다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Table 3.30 Status of regional ground water intake permission

(단위: ㎥/일)

구 분		계	농어업용	생활용	공업용	먹는샘물용
계		1,579,137	905,981	642,524	26,833	3,800
제주시	소 계	841,131	438,943	384,455	14,033	3,700
	동지역	221,258	53,560	162,855	4,844	-
	구좌읍	91,295	49,261	41,097	937	-
	조천읍	99,938	45,856	48,191	2,190	3,700
	애월읍	204,049	109,968	90,780	3,301	-
	한림읍	87,503	66,301	19,258	1,944	-
	한경면	137,088	113,997	22,274	817	-
서귀포	소 계	738,007	467,038	258,069	12,800	100
	동지역	208,851	106,887	100,980	984	-
	성산읍	42,946	23,501	19,140	305	-
	표선면	52,350	37,818	12,995	1,436	100
	남원읍	187,576	105,334	78,645	3,597	-
	안덕면	87,268	38,566	43,764	4,939	-
	대정읍	159,015	154,930	2,545	1,539	-

(제주특별자치도 통계자료, 2018)

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

4.2 저수지 개발

제주도의 농업용저수지는 표 3.31과 같이 2018년까지 5개소가 있으며, 저수지별 수혜면적은 성읍저수지는 400ha, 귀엄저수지는 30ha, 용수저수지는 41ha, 광령저수지는 30ha, 두모저수지는 2ha이다. 현재 성읍저수지만 운영 중이고, 나머지 4개 저수지는 밭기반정비사업으로 관정이 개발되면서 한발대비용 보조수원공으로 일부 활용되고 있다.

성읍저수지는 2003년 12월 착공하여 2016년 12월 준공하였으며, 총 저수량 1,250천㎥의 저수지, 취입보 길이 50m, 높이 2.2m이며, 방수제 길이 2,248m, 폭 6m로 이루어져 있다. 그림 3.23과 3.24는 성읍저수지 부대시설과 저수지 전경 사진이다.

농축산용으로 개발된 제동목장저수지는 제동목장에서 농축용수를 공급하기 위하여 개발된 저수지로 160천㎥의 저수용량을 가지고 있다.

Table 3.31 Status of reservoir development

(단위: 천㎥, ha)

구분	위 치	준공연도	저수용량	유역면적	수혜면적	비고
계			2,239.3	22,344	503	
성읍	서귀포시 표선면 성읍리	2016	1,250	9,939	400	농촌용수
귀엄	제주시 애월읍 수산리	1960	681	1,550	30	한발대비
용수	제주시 한경면 용수리	1957	253	328	41	보조수원
광령	제주시 애월읍 광령리	1954	51	525	30	한발대비
두모	제주시 조천읍 교래리	1965	5.3	2	2	

(한국농어촌공사 제주지역본부, 2018)

(a) intake gate and diversion weir (b) intake tower

Fig. 3.23 The facilities of Seongeup reservoir

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Fig. 3.24 Seongeup reservoir

한국농어촌공사 제주지역본부에서 지표수개발 공사로 시행중인 함덕지구는 2011년에 착공하였으며 2018년까지 공정율 69.56%를 추진하였다. 총 저수량 849천㎥의 저수지 1개소, 90kw×300mm×3대의 양수장 1개소, 800㎥/day의 관정 1개소, 저류지 2개소(송당 690천㎥, 함덕 108천㎥), 용수로 27.39km의 공사를 시행 중에 있다. 그림 3.25는 저수지 터파기공사 전경이다.

Fig. 3.25 Hamdeok reservoir during excavation

또한, 다목적농촌용수개발사업으로 용천수를 개발하는 옹포지구와 서림지구도 시

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

행 중에 있으며, 표 3.32와 같다.

Table 3.32 Status of rural water development project

(단위: 천㎥, ha)

지구명	위 치	저수용량	수혜면적	공급량 (㎥/day)	이용시설
계		2,582	1,636	23,200	
함덕	제주시 조천읍 송당리 일원	1,647	800	2,100	저수지 1, 저류지 2, 양수장 1, 관정 1
옹포	제주시 한림읍 동명리 일원	642	600	6,100	저수지 3, 양수장 2
서림	서귀포 대정읍 무릉리 일원	293	236	15,000	저류지 1, 양수장 2

(한국농어촌공사 제주지역본부, 2018)

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

4.3 용천수 개발

2016년 제주특별자치도 용천수 관리계획에 의하면, 제주도내 용천수는 총 1,025개소이지만, 매립 또는 멸실, 소재가 불확실 한 지점을 제외하면 661개소로 나타났다. 표 3.33과 같이 용천수 661개소 중 생활용, 상수원, 농업용으로 활용되는 용천수는 30.3%인 200개소이며, 이용하지 않는 용천수는 69.7%인 461개소로 나타났다. 특히, 농업용수 활용이 가능한 용천수는 제주시에 7개소, 서귀포시에 14개소로 총 21개소가 있으나, 농가에서 일부 취수하여 농업용수로 이용하기도 하고, 이용하지 않은 용천수는 바다로 유출되고 있는 실정이다.

Table 3.33 Status of Spring water in Jeju-do

구 분		계	이 용				미이용
			소계	생활용	상수원	농업용	
계	개수	661	200	147	32	21	461
	용출량	1,258,929	724,639	565,033	99,272	60,334	534,290
제 주 시	개수	395	113	82	24	7	282
	용출량	721,556	376,359	291,215	75,491	9,653	345,196
서귀포시	개수	266	87	65	8	14	179
	용출량	537,373	486,692	273,818	23,781	50,681	189,093

(제주특별자치도 용천수관리계획, 2016)

한국농어촌공사 제주지역본부가 시행하는 용천수를 활용한 다목적농촌용수개발사업에 해당하는 옹포지구는 2005년 착공하여 2018년도에 준공하였으며, 서림지구는 2013년 착공하여 2018년까지 공정율 31.87%를 추진하였다.

옹포지구는 제주시 한림읍 동명리 일원의 용천수를 2단 양수하여 6천㎥의 월계지, 136천㎥의 동명지, 500천㎥의 상대지에 저류한 후 자연유하로 수혜면적 600ha에 용수를 급수하는 사업이다. 그림 3.26은 옹포양수장 및 저류지 3개소 전경이다.

서림지구는 서귀포시 대정읍 서림리 일원의 용천수를 이용하여 293천㎥의 저류지 1개소, 양수장 2개소(120kw×250mm×2대, 220kw×300mm×2대, 37kw×200mm×2대)와 토출수조 2개소(1,000톤, 300톤), 용수로 47.96km를 조성하는 공사로 2013년 사업을 착수하였다. 그림 3.27은 서림수원지 전경이다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

(a) pumping station building

(b) pump installation

(c) switchboard cubicle

(d) Wolgye reservoir

(e) Dongmyeong reservoir

(f) Sangdae reservour

Fig. 3.26 Ongpo reservoir and pumping station

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Fig. 3.27 Seorim catchment area

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

4.4 농업용수 통합광역화사업

제주특별자치도는 2013년 여름 가뭄피해가 가장 심했던 구좌읍 일원을 대상으로 동부권역 농업용수 통합광역화 시범사업을 시행하고, 이를 바탕으로 2016년 기획재정부에 농업용수 통합광역화사업 예비타당성조사결과를 제출하여 정부로터 경제성을 인정받아, 농업용수 통합광역화사업 시행을 확정하였다.

농업용수 통합광역화사업 목적은 광역 급수체계 구축으로 기후변화에 따른 가뭄을 선제적으로 대비하고, 다양한 농업용수원을 확보하여 지하수 의존율을 낮추며, 수원공 규모 확대, 저수조 증설, 관로 연계 등 시설체계를 재편하여 효율적인 농업용수 급수체계를 마련하고, 농업용수 공급시설의 자동화 등 스마트 물관리시스템 도입에 있다.

농업용수 통합광역화사업은 그림 3.28과 같이 제주특별자치도를 11개 대권역으로 구분하여 계획면적 32,755ha(신규 5,674ha, 보충 27,081ha)에 표 3.34와 같이 관정개발 58공, 용천수개발 6개소, 용수관로 470km, 광역저수조 54개소, 자동화시설 1개소 등을 설치하는 총 사업비 137,461백만원, 사업기간은 2017~2024년(8개년)으로 사업시행자는 제주특별자치도, 위탁시행자는 한국농어촌공사 제주지역본부이다.

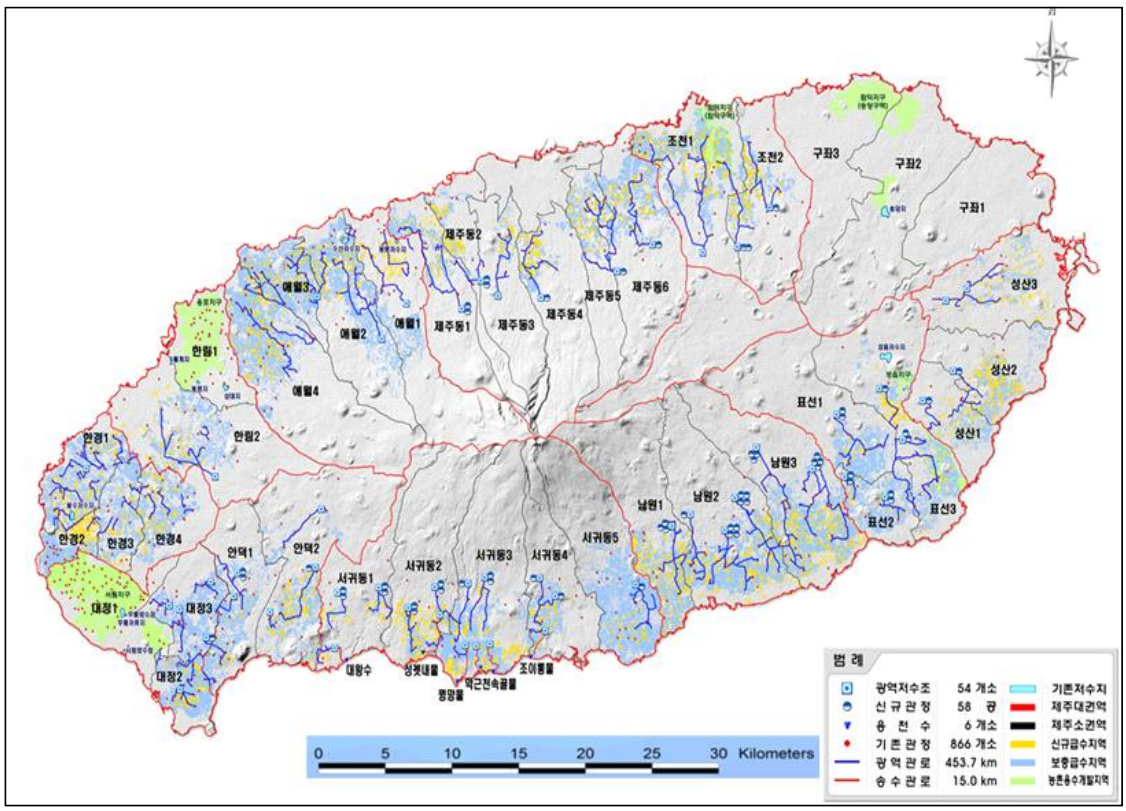


Fig. 3.28 The project of Jeju agricultural water integration wide area(KRC, 2017)

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Table 3.34 Summary of Jeju agricultural water integration wide area project

(단위 : 백만원)

구 분	금 액	사업 내용
총 사 업 비	137,461	
□ 공 사 비	122,816	
○ 순공사비	86,246	
- 관정개발	17,773	신규 관정 58개소
- 용천수개발	2,174	신규 용천수 개발 6개소
- 광역저수조	16,293	저수조 용량 1000㎥~3000㎥, 54개소(70기)
- 평야부	45,069	송수관로 및 급수관로 470㎞
- 자동화시설	4,041	TM/TC 1식
- 부대공사	896	가설사무실, 품질시험비 등
○ 관급자재비	33,301	저수조, 레미콘, 용수관, 밸브제어반 등
○ 기타공사비	3,269	폐기물처리비, 법정 경비
□ 보 상 비	3,544	
○ 직접보상비	3,126	용지매수비, 지장물 보상비 등
○ 간접보상비	418	감정평가비, 등기이전비 등
□ 시설부대경비	11,101	
○ 세부설계비	3,878	농어촌정비법 요율 적용
○ 감 리 비	6,127	농업촌정비법 요율 적용
○ 사업관리비	1,096	농업촌정비법 요율 적용

(제주 농업용수 통합 광역화사업 기본조사 보고서, 2017)

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Ⅳ. 기후변화에 의한 제주도 가뭄특성 분석

1. 기후변화 현황

IPCC 제4차 보고서에 의하면, 전 세계 평균기온이 지난 100년간(1906~2005) 0.74℃ 상승하고, 21세기말 평균기온은 최대 0.64℃ 상승할 것으로 예측하였고, 평균 해수면은 1961~2003년간 매년 1.8mm씩 상승한 것으로 분석하였다. 또한, 제5차 보고서는 지난 133년간(1880~2012) 지구 평균기온은 0.85℃ 상승한 것으로 분석하여 제3차 보고서의 100년간 0.6℃ 상승, 제4차 보고서의 100년간 0.74℃ 상승에 비하여 기온상승 정도가 점차 증가되고 있다.

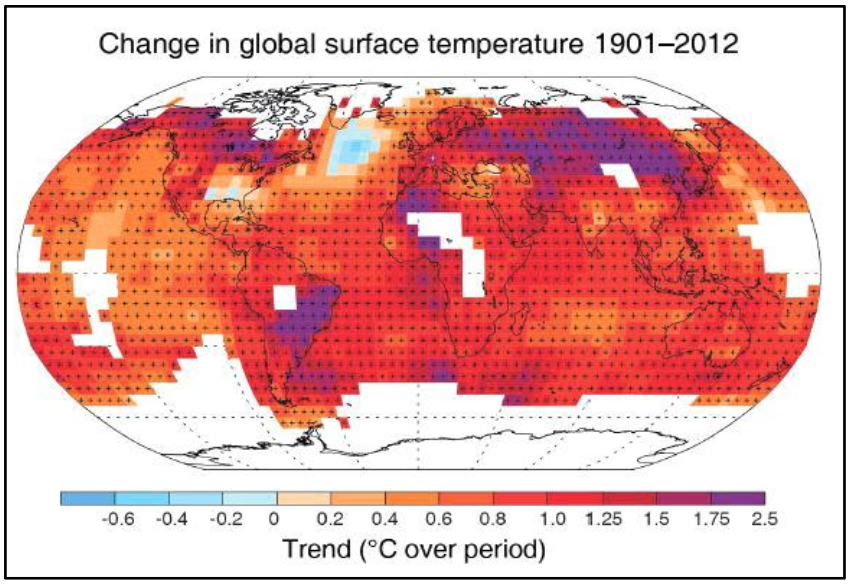


Fig. 4.1 Change in global surface temperature 1901~2012 (IPCC, 2014)

우리나라는 지난 30년간(1981~2010) 연평균 기온이 1.2℃상승 하였으며, 96년간(1912~2008) 평균 기온 상승률은 전 지구 평균기온 상승률 0.85℃의 2배인 1.7℃를 기록하고 있는 것으로 그림 4.2와 같이 분석되었다.

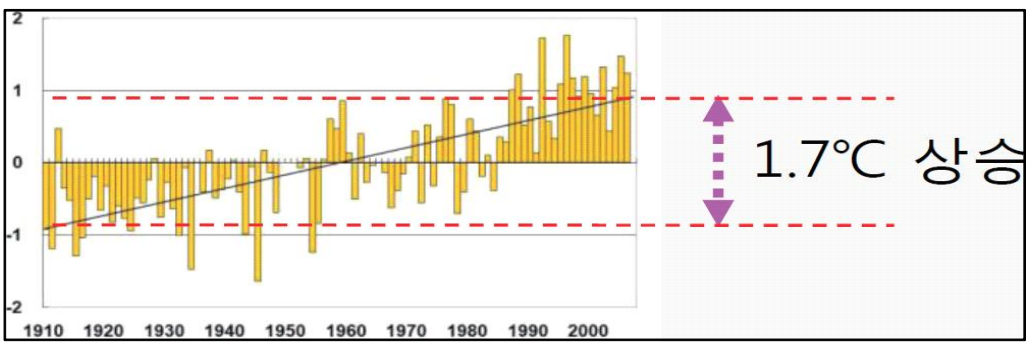


Fig. 4.2 Change in Korea temperature 1910~2000 (KRC, 2018)

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

전지구의 극한 강수현상의 빈도 및 강도 증가는 식량과 물 부족, 생물다양성 및 자연환경, 생태계를 훼손하고 있으며, 국립기상연구소에 따르면 우리나라의 지난 96년간(1912~2008) 서울, 인천, 강릉, 대구, 부산, 목포의 6대 도시 연평균 강수량은 그림 4.3과 같이 19% 증가 한 것으로 분석되었으며, 시간당 80mm 이상 집중호우 발생빈도는 최근 10년간 연평균 39일로 이전 10년간 보다 2배 이상 증가하였고, 1981~2010년 사이의 강수량 평균값이 1971~2000년 사이 평균값 대비 여름철 강수량은 증가하고, 봄철과 가을철 강수량은 감소하는 것으로 강우패턴 변화가 나타났다.

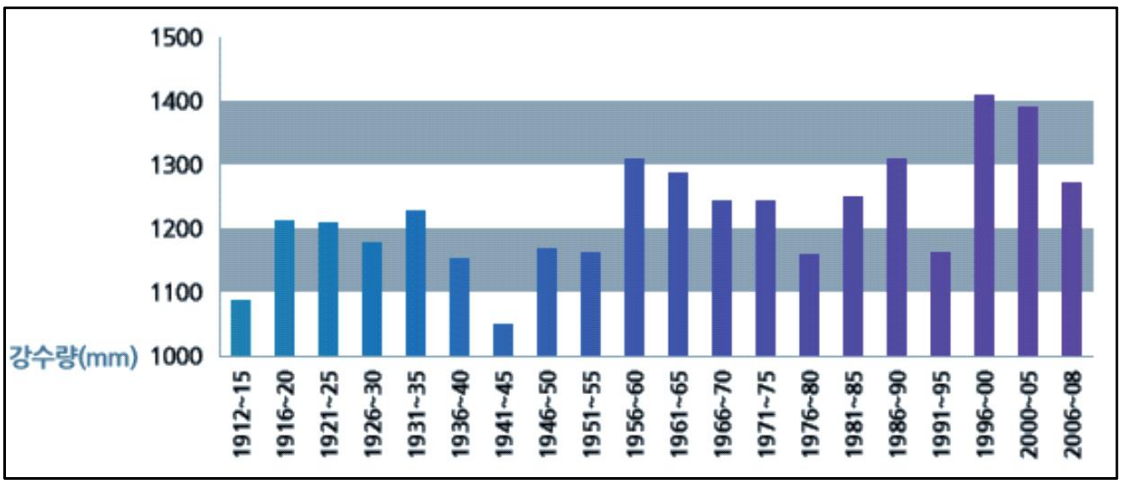


Fig. 4.3 The 5 Annual mean precipitation of th Republic of Korea (국립기상연구소, 2009)

전지구의 해양 온난화는 해양의 상층에서 가장 높고, 해양의 상층 75m를 기준으로 1971~2010년 사이 10년당 0.11℃(0.09~0.13) 상승하였으며, 국립수산과학원에 따르면 우리나라는 지난 46년간(1968~2013) 한반도 주변해역 해수온은 약 1.19℃ 상승하여 전세계 평균 표층 수온상승율인 0.37℃보다 3.2배 수준인 것으로 나타났다.

과거 110년(1901~2010) 동안 전 세계의 평균 해수면은 19㎝(17~21)상승하여 연평균 상승률은 1.7㎜이었으나, 지난 17년(1993~2010) 동안의 연평균 상승률은 3.2㎜로, 1970년대 이후 온난화가 급속도로 진행되어 해수면 상승이 가속화 되고 있는 것으로 분석되었다. 국립해양조사원에 따르면 1971~2010년 한반도 주변 해역 연평균 해수면 상승률은 2.64㎜로 같은 기간 전 지구 평균값인 2.0㎜보다 높게 나타났으며, 해역별로는 제주도를 포함한 남해 3.12㎜/yr, 동해 2.48㎜/yr, 서해 1.74㎜/yr로 상대적으로 남해안이 높은 것으로 분석되었다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

2. 기후변화 예측

지구온난화가 지속됨에 따라 가뭄, 홍수, 이상고온 등의 이상기후가 전 세계적으로 자주 발생하고 있으며, 이로 인해 인명피해, 농업, 관광업 및 서비스업 등에 부정적인 영향을 주어서 사회·경제적 피해액이 증가하는 추세가 지속될 것으로 전망된다.

그림 4.4는 2016년 아시아개발은행에서 발표한 자연재해가 경제에 미치는 영향 보고서에서 전망한 자연재해 발생 빈도 그래프이며, 표 4.1은 자연재해에 따른 피해액(1960~2015)을 나타내었다.

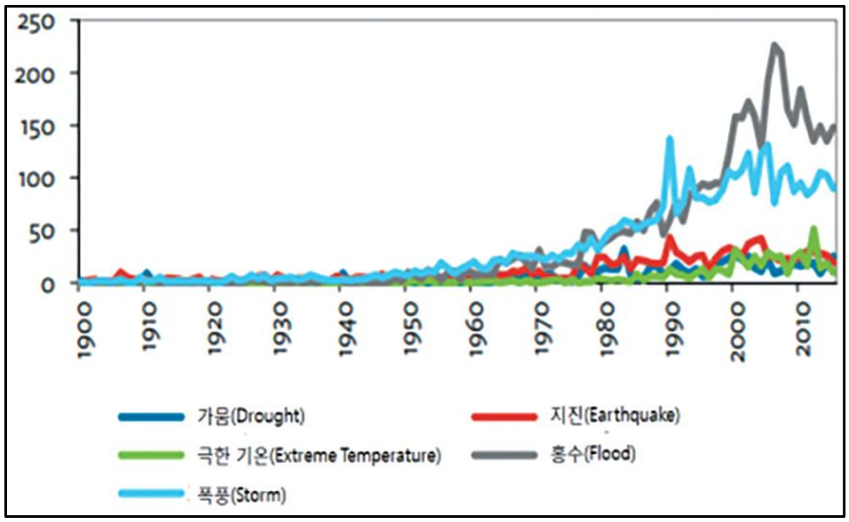


Fig. 4.4 Occurrence frequency of natural disaster time series (Asian Development Bank, 2016)

Table 4.1 Amount of damage for natural disaster[1960~2015] (Asian Development Bank, 2016)

Type of natural disaster	Total damage amount(billion dollars)
Storm	1,043
Earthquake	771
Flood	696
Extreme Temperature	60
Wildfire	58
Landslide	9
Drought	0.1

IPCC 제5차 보고서에 따르면, 전지구의 평균 지표온도 증가로 대다수 육지 지역에 극한 고온현상이 증가하고, 극한 저온현상이 감소하고 있으며, RCP8.5 시나리오를 적용하면 21C 후반(2081~2100)에는 전지구 평균기온은 3.7℃ 상승할 것으로 전망하고 있으며, 그림 4.5와 같이 나타내었다. 우리나라의 21C 후반 연평균 기온은 현재(1981~2010)보다 5.7℃ 상승할 것으로 전망하고 있다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

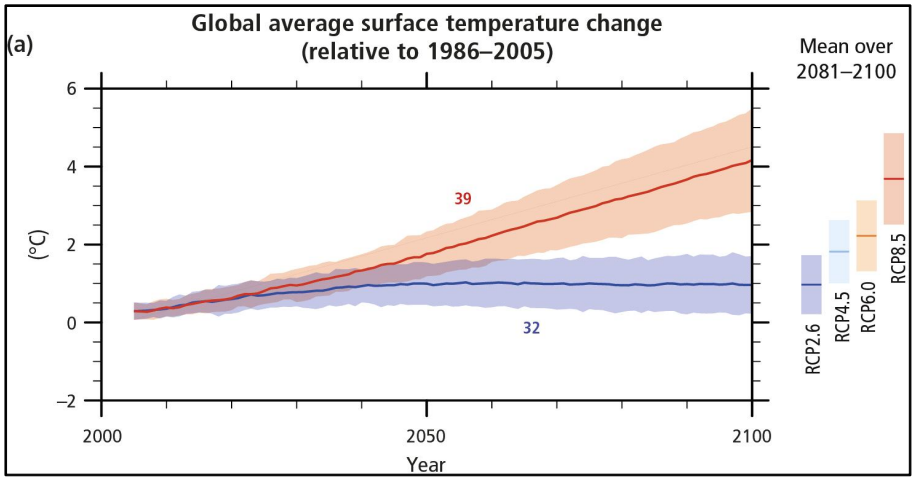


Fig. 4.5 Global average surface temperature change(IPCC, 2014)

강수량의 경우에는 RCP8.5 시나리오를 적용하면 지구는 중위도 및 아열대 건조 지역 평균 강수량은 감소하는 반면, 중위도 습윤지역 평균 강수량은 증가 할 것으로 전망하고 있으며, 대부분 중위도 대륙 및 열대습윤 지역에서는 극한 강수 현상의 빈도 및 강도가 증가할 가능성이 매우 높은 것으로 전망하고 있다. 그림 4.6의 (a)는 1986~2005년 대비 2018~2100년의 평균 지표온도 변화를, (b)는 1986~2005년 대비 2081~2100년의 평균 강수량 변화를 나타낸 것이다.

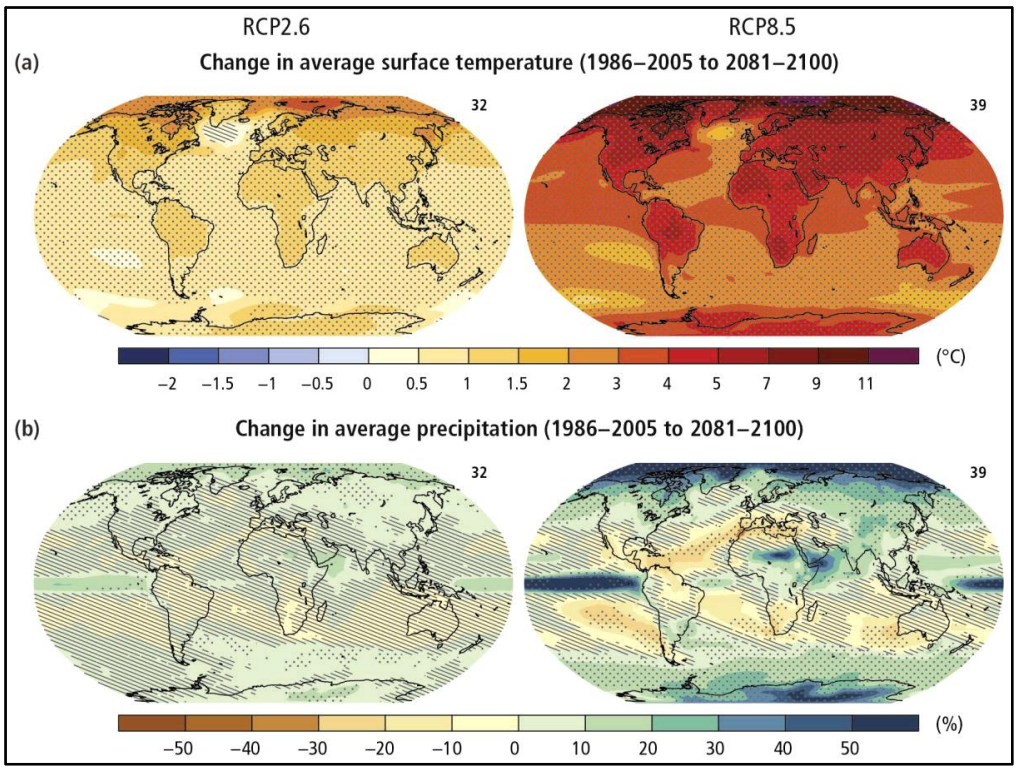


Fig. 4.6 Change in average surface temperature and precipitation(IPCC, 2014)

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

IPCC 제5차 보고서에 따르면, 기후변화로 인하여 폭풍 해일, 해수면 상승, 연안 지역 범람, 폭염이 야기하는 심각한 질병을 유발하며, 식량과 수자원 불안정 및 비도시 생계와 수입 손실의 위험과 생태계, 생물다양성, 생태계 기능 및 서비스 손실의 위험들이 나타날 것이라고 경고하고 있다(IPCC, 2014).

우리나라 국가기후변화적응대책(2010)에 따르면, 우리나라는 2008년도를 기준으로 한반도 전체평균 해수면 상승은 2050년에는 9.5㎝, 2100년에는 20.9㎝를 전망하고 있다. 표 4.2는 2050년 해수면 상승은 동해 9.6㎝, 남해 13.9㎝, 서해 5.0㎝가 될 것이며, 2100년에는 동해 21.2㎝, 남해 30.4㎝, 서해 11.0㎝로 기온이 높은 남해가 상대적으로 해수면 상승이 더 높을 것으로 전망하고 있다.

Table 4.2 Prediction for sea level increasing of the Korea (2010)

(단위: ㎝)

구 분	동해	남해	서해	평균
2050년	9.6	13.9	5.0	9.5
2100년	21.2	30.4	11.0	20.9

기상청 2017년 이상기후 보고서에 따르면, 2017년 전 지구 평균기온(1~11월)은 20세기 평균기온 14℃보다 0.84℃ 높아, 1880년 관측이래 2016년(1위), 2015년(2위)에 이어서 세 번째로 높은 것으로 나타났다.

우리나라는 1981~2010년간 연평균 강수량은 1,308㎜로 세계 연평균 강수량 807㎜의 약 1.62배 이지만, 지역별, 계절별, 연도별 강수량의 편차가 심하여 안정적인 용수확보에는 매우 불리한 조건이다.

따라서, 기후변화로 인해 강수량의 변동폭이 커져서 강수량은 많아지나, 농업용수로 활용 가능한 유효강수량은 적은 해가 많아 질 것으로 예측되고, 강수량 및 강우패턴의 변화와 증발산량의 변화로 인해 관개수량과 회귀수량이 영향을 받게 되어 안정적 수자원확보에 불확실성이 증가 할 것으로 판단된다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

3. 가뭄발생 현황

우리나라와 같은 벼농사 위주의 농업에서는 농업용수 부족은 심각한 상태에 직면하고 있으며, 특히 관개기인 봄(3~6월) 가뭄에 매우 취약하다. 농업용수 공급은 생활용수, 공업용수 등과 같이 일반적으로 그 전체 용량을 기준으로 하지 않고 단위면적 대비 관개량을 기준으로 하기 때문에 전체적으로 물이 풍부하더라도 관개시기인 봄과 여름에 가뭄으로 인해 물을 제대로 공급해주지 못하는 현상이 발생한다.

우리나라 농업적 가뭄 현황은 표 4.3과 같으며, 2000년 2~5월, 영남과 호남지역 58,000ha에 가뭄이 발생하였으며, 2001년 3~6월, 경기, 충청, 경북지역 19,000ha에 평년강수량 10~68% 수준으로 3월이후 강우량은 평년보다 228mm나 부족하였다. 2006년 9~10월, 광주, 전남지역에 평년강우량은 9월 36%, 10월 2.7%수준으로 가뭄이 극심하였으며, 2007년 4월에는 전국의 10년대비 평년강우량이 38%수준이었다. 2012년 5~6월, 서울, 인천, 경기, 충남지역 11,300ha에 가뭄이 들었으며, 5월 강우량이 36.2mm로 예년 평균 36.4%이었으며, 2014년 4~6~월, 경기, 강원, 경북지역 5,200ha에 가뭄이 발생하였고, 1~3월 강수량이 평년대비 37%수준인 32.2mm이었다. 2015년 6~7월, 강원, 충남, 충북, 전남, 전북, 경북지역과 2016년 8~9월, 제주, 충남, 전남, 전북, 경북지역에 전국 평균 강수량대비 62%로 가뭄이 매우 심각하였고, 2017년 5~6월, '73년 기상관측이래 강수량이 최저 수준으로 경기, 충남, 전남지역에 가뭄이 극심하였다(한국농어촌공사, 2018).

제주도의 농업용수 공급은 논관개가 아닌 밭관개로서, 기상변화에 직접 노출된 밭작물들에서 가뭄피해가 자주 발생하는 특징이 있으며, 1997년 8~9월, 강수량이 평년대비 22%수준으로 273mm가 부족하여 3,000ha에 가뭄이 발생하였다. 또한, 2013년 6~7월, 기상관측사상 최악의 가뭄으로 기록되었으며, 강수량이 평년대비 25%수준으로 농작물 피해액은 약 1,700억원으로 추정하였고, 2016년 8~9월에는 강수량이 평년대비 62%수준으로 가뭄이 극심하였다. 특히, 제주도는 중산간 지역(해발 200~600m)에 용수공급 불균형으로 급수량이 부족한 실정이며, 지하수위 저하 및 해수면 상승으로 인한 염지하수 유입으로 매년 염해 피해가 빈번하게 발생하고 있다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Table 4.3 The damage of agricultural drought from 1967 to 2017

(단위: 천ha)

연도	시기(월)	가뭄지역	가뭄면적	피해상황
1967	5~7	전남	-	70년만의 극심한 가뭄 전남도민 140만명 식수난
1968	1~6	전남	470	1~6월 평년 강수량의 50% 수준 가뭄피해액 7,009억원
1977	6~8	강원, 경북, 전남	14	평년 강수량 대비 140㎜ 부족 월평균 강수량의 50%수준
1978	1~5	전국	43	월평균 강수량의 45%수준 영남 27%, 전북 35%, 충남 38%
1982	1~5	경북, 전남	59	전국 평균 강우량 292㎜ 부족 5월 평균 저수율 34% 수준
1988	6~8	중부지방	1	전국 평균 강수량 425㎜ 부족 6월 평균 저수율 34 수준
1994	3~7	전국	372	평균 강수량의 76.4% 수준 남부지방 평년 강수량의 27% 전국 36만명 제한급수 실시
1997	8~9	제주	3	제주도 평년 강수량의 22% 수준 강수량 273㎜ 부족
2000	2~5	경남, 전남	58	평년 강수량의 16~43% 수준 18만명 제한급수 실시
2001	3~6	전국	19	평년 강수량의 10~68% 수준 전국 30만명 제한급수 실시
2006	9~10	전남, 광주	-	평년 강수량의 2.7~36% 수준 광주지역 가뭄 극심
2007	4	전국	-	최근 10년대비 강수량 30% 기록 녹조 발생, 산불 발생 증가
2008	5	강원	-	평년 강수량의 71% 수준 주민 30만명 비상 및 제한급수
2012	5~6	서울, 경기, 충남	11.3	평년 강수량의 36.4% 수준 저수율 39%, 가뭄 극심
2013	6~7	제주, 전남, 경남, 경북	7.4	제주도 평년 강수량의 25% 수준 경남북 평년 강수량의 38% 수준 제주 농작물 1,700억원 피해추정
2014	4~6	경기, 강원, 경북	5.2	5~7월 평년 강수량의 33% 수준 경기북부지역 모내기 곤란
2015	6~7	강원, 충남, 충북, 전남, 전북, 경북	7.4	전국 평년 강수량의 62% 수준 5개 시도, 39개 시군 가뭄 극심
2016	8~9	제주, 충남, 전남, 전북, 경북	39.8	평년 강수량의 62% 수준 9개 시도, 102개 시군 가뭄 극심
2017	5~6	제주, 경기, 충남, 전남	-	평년 강수량의 48% 수준 '73 기상관측이래 강수량 최저

(2018년도 수자원관리계획서, 한국농어촌공사)

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

제주연구원의 제주지역의 가뭄발생 특성과 중장기 대응방안(2017, 박원배 등) 연구에 의하면, 2007년부터 2017년까지 제주도의 1일 1mm이하의 강수량 20일 이상 연속되는 기간의 무강수 일수를 조사하여 가뭄특성을 분석한 결과, 농업용 지하수 이용량이 급증하게 되어 서부 해안지역의 경우 지하수위가 낮아져서 해수침투 문제가 발생 할 수 있다고 판단하였다.

2013년에는 강수량이 673mm로 평년대비 471mm가 부족하였으며, 9월 강수량은 9mm로 극심한 가뭄으로 인해 한경, 대정지역 공공 농업용 지하수 15개소에서 염분이 검출되어, 이 중 3개소는 폐쇄 후 대체 관정을 개발하는 상황까지 발생한 것으로 조사되었고, 2016년 동부지역의 경우에는 강수량이 2,256mm이고, 7. 14. ~ 8. 26.까지 46일 동안 60mm의 강우가 있었지만, 간헐적인 소나기로 유효강우량이 부족하여 작물 생육에는 별로 도움이 되지 않는 것으로 확인되었다. 또한, 2017년의 제주도 평균면적 강수량은 1,396mm이었으나, 어승생 수원지의 장기가뭄 발생으로 중산간지역에 1개월 넘게 제한급수를 실시하였다(제주연구원, 2017).

표 4.4는 2007년부터 2017년까지 11년간 제주기상대, 서귀포기상대, 성산기상대, 고산기상대의 기상 관측결과 20일 이상 무강수일수 현황을 나타낸 표이다. 무강수일 현황을 분석해 보면, 가장 장기간 무강수 일수는 42일로 2011년 12월 9일부터 2012년 1월 19일까지로 서귀포에서 발생했으며, 30일 이상의 무강수일은 2007년, 2009년, 2011~2012년, 2012년, 2013년에 나타났으며, 4개 기상대에서 비슷한 기간에 20일 이상의 무강수일이 발생한 해는 2007년, 2008년, 2010년, 2012년, 2013년으로 나타났다.

또한, 강수량과의 연관성을 분석하기 위하여 본 연구 제3장의 표 3.9와 비교해 보면, 4개 기상대 평균 강수량이 1,001.7mm인 2013년에 무강우 일수 30일 이상이 발생하였으며, 강수량이 1,400~1,600mm에 분포하는 2008년, 2009년에 무강우 일수 20일 이상이 나타났고, 강수량이 2,000mm 이상인 2007년, 2012년에도 무강우 일수가 30일 이상이 발생한 것으로 확인되었다. 따라서, 강수량과 무강우 일수는 비례하지 않는 경향성을 나타내고 있으며, 이러한 결과는 제주도 전역의 20일 이상 무강우 일수가 주로 10월~ 2월까지로 늦가을과 겨울 기간에 나타나고 있기 때문인 것으로 판단된다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Table 4.4 Number of days of without rain in Jeju-do from 2007 to 2017

연도	제 주			서귀포			성 산			고 산		
	시작	종료	기간	시작	종료	기간	시작	종료	기간	시작	종료	기간
2007	11.2	12.01	30	10.27	12.01	36	10.27	12.01	36	11.09	12.09	38
2008	2.03	2.24	22	2.03	2.24	22	2.03	2.24	22	1.29	2.24	27
	12.06	12.27	22	-	-	-	-	-	-	12.06	12.27	22
2009	3.23	4.12	21	3.23	4.12	21	-	-	-	3.23	4.12	21
	-	-	-	10.03	11.07	36	10.03	11.01	30	10.03	11.07	36
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11.19	12.08	20
'09~'10	-	-	-	12.21	1.11	22	-	-	-	12.20	1.11	23
2010	11.11	12.01	21	11.11	12.01	21	11.11	12.01	21	11.09	12.01	23
2011	-	-	-	1.17	2.07	22	-	-	-	1.12	2.07	27
	7.11	7.31	21	-	-	-	-	-	-	7.10	7.31	22
	9.20	10.13	24	-	-	-	-	-	-	8.27	10.12	47
'11~'12				12.09	1.19	42	-	-	-	-	-	-
2012	5.26	6.14	20	-	-	-	-	-	-	5.26	6.14	20
	9.18	10.21	34	9.18	10.21	34	9.18	10.21	34	9.18	10.21	34
'12~'13	12.31	1.20	21	12.31	1.19	20	-	-	-	12.31	1.20	21
2013	1.01	1.20	20	-	-	-	-	-	-	1.01	1.20	20
	7.05	7.25	21	7.07	8.03	28	-	-	-	7.07	8.03	28
	10.10	11.08	30	10.09	11.08	34	10.09	11.08	34	10.09	11.08	34
'13~'14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12.18	1.07	21
2014	1.09	1.28	20	1.09	1.28	20	-	-	-	-	-	-
2015	10.02	10.26	25	10.02	10.26	25	-	-	-	-	-	-
2016	7.13	8.02	21	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8.05	8.26	22
	-	-	-	11.27	12.18	22	-	-	-	11.27	12.18	22
2017	1.09	1.28	20	-	-	-	-	-	-	1.09	1.28	20
	5.13	6.05	24	-	-	-	-	-	-	5.13	6.05	24
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7.12	7.31	20

(제주연구원, 2017)

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

4. 표준강수지수에 의한 가뭄분석

표준강수지수는 특정한 시간에 대한 계산 단위를 3, 6, 9, 12개월 등과 같이 설정하고 시간단위별로 강수부족량을 계산하여 개개의 용수 공급원이 가뭄에 미치는 영향을 산정하는 방법이다. 월별 평균 강수계열의 확률분포함수를 추정하여 누가표준강수지수에 따른 가뭄 판정기준은 표 4.5와 같다.

Table 4.5 Classification of drought intensity by using SPI

SPI value	Classifications
2.00 <	Extreme wet
1.50 ~ 1.99	Very wet
1.00 ~ 1.49	Moderately wet
-0.99 ~ 0.99	Near normal
-1.00 ~ -1.49	Moderate drought
-1.50 ~ -1.99	Severe drought
-2.00 >	Extreme drought

제주도의 최근 가뭄분석을 위하여 제주도내 대표적인 제주기상대, 고산기상대, 서귀포기상대, 성산기상대에서 관측한 기상자료를 이용하여 1986년부터 2015년까지의 가뭄분석을 실시하였다. 표 4.6은 30년간(1986~2015) 제주도 4개 기상대 지속기간이 6개월과 12개월인 SPI 6, SPI 12의 가뭄지수를 산출하여, 표 4.5의 가뭄 판정기준에 따라 가뭄을 분류하였다.

표 4.7은 가뭄분류 결과를 정리하여 나타내었다. SPI 6의 경우 가뭄지수는 극한가뭄(-2.00>)은 서귀포(-2.64) 1개, 보통가뭄(-1.00~-1.49)은 고산(-1.2, -1.17) 2개, 정상수준(-0.99~0.99)은 성산(-0.96) 외 102개로 분류되었으며, SPI 12의 가뭄지수는 심한가뭄(-1.50~-1.99)은 고산(-1.71, -1.52) 2개, 서귀포(-1.53) 1개, 보통가뭄은 고산(-1.14, -1.11) 2개, 제주(-1.18) 1개, 정상수준은 성산(-0.98) 외 94개로 분류되었다.

또한, SPI 6이 SPI 12보다 더 극한 가뭄으로 분류된 것으로 나타났으며, SPI 6과 SPI 12 분류결과를 종합해보면, 서귀포와 고산이 상대적으로 가뭄이 심하며, 제주와 성산은 가뭄이 덜 한 것으로 나타났다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Table 4.6 Summary of annual SPI 6 and SPI 12 at Jeju, Gosan, Seogwipo and Seongsan weather station(1986～2015)

year	Jeju		Gosan		Seogwipo		Seongsan	
	SPI6	SPI12	SPI6	SPI12	SPI6	SPI12	SPI6	SPI12
1986	0.88	1.53	-	-	0.34	1.32	0.28	1.23
1987	0.96	1.31	-	-	0.47	0.36	0.75	0.69
1988	-0.32	0.18	-1.17	-1.71	-0.22	0.21	-0.89	-0.10
1989	-0.05	-0.34	-0.56	-1.14	-0.09	-0.17	-0.47	-0.98
1990	0.40	0.19	0.28	0.08	0.85	0.63	0.24	0.06
1991	1.02	1.00	1.06	0.89	0.54	0.85	0.48	0.44
1992	0.04	0.44	-0.19	0.42	0.07	0.04	0.31	0.35
1993	0.25	-0.16	0.01	-0.10	0.65	0.57	0.10	0.07
1994	0.25	0.39	-0.58	-0.45	0.09	0.36	-0.23	0.07
1995	0.45	0.45	-0.45	-0.92	0.88	0.59	0.49	0.00
1996	-0.85	-0.52	-1.20	-1.11	-0.20	0.38	-0.32	0.15
1997	-0.67	-1.18	-1.16	-1.52	-0.28	-0.44	-0.09	-0.26
1998	0.60	0.19	0.33	-0.18	0.81	0.62	1.04	0.92
1999	1.45	1.18	1.26	0.84	1.37	1.17	0.64	0.67
2000	-0.27	1.03	-0.67	0.85	-0.43	0.69	-0.96	-0.23
2001	0.25	0.12	0.00	-0.14	0.21	-0.11	0.00	-0.45
2002	0.65	0.39	0.28	0.08	0.23	0.03	0.11	0.00
2003	1.20	1.39	1.08	1.20	0.95	0.96	0.98	0.80
2004	-0.01	0.52	0.19	0.76	0.44	0.72	0.35	0.87
2005	-0.71	-0.49	-0.63	-0.32	-0.24	0.01	-0.22	-0.03
2006	0.38	-0.38	0.43	-0.21	0.17	-0.27	0.65	0.27
2007	0.78	0.80	0.01	0.43	0.29	0.09	0.57	0.68
2008	0.58	1.33	-0.09	0.28	0.23	0.62	0.39	1.18
2009	-0.04	-0.25	0.03	-0.28	0.53	0.41	0.01	-0.06
2010	0.56	0.36	0.75	0.45	0.95	0.92	0.43	0.27
2011	0.12	0.17	-0.76	-0.25	0.22	0.56	-0.20	-0.12
2012	1.29	1.24	0.80	0.33	1.27	1.27	0.97	0.80
2013	-0.41	0.55	-0.66	-0.19	-2.64	-1.53	-0.36	0.27
2014	0.33	-0.39	0.25	-0.67	0.84	-0.49	0.60	-0.01
2015	0.68	0.72	0.87	1.01	1.17	1.58	1.05	1.22

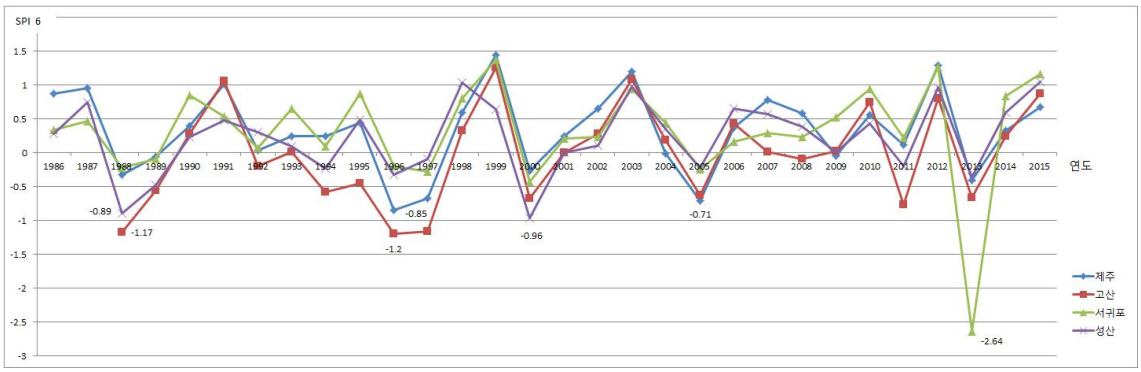
제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Table 4.7 Result of classification of drought intensity by using SPI 6 and SPI 12

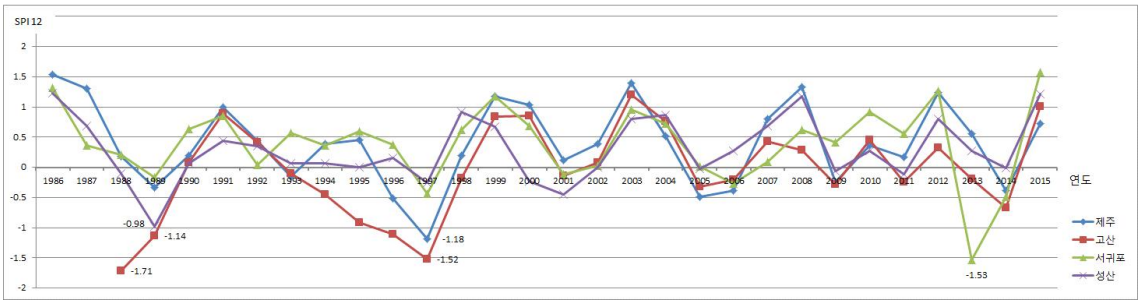
Classification	Extreme drought	Severe drought	Moderate drought	Near normal
SPI 6	Sgp -2.64	-	Gs -1.2, -1.17	Ss -0.96외 102개
SPI 12	-	Gs -1.71, -1.52, Sgp -1.53	Gs -1.14, -1.11, Jj -1.18	Ss -0.98외 94개

※ Sgp: Seogwipo, Gs: Gosan, Jj: Jeju, Ss: Seongsan

그림 4.7은 표 4.6의 제주, 서귀포, 성산, 고산기상대 SPI 6과 SPI 12의 가뭄지수 분석결과를 비교한 그래프이다.



(a) The graph of SPI 6

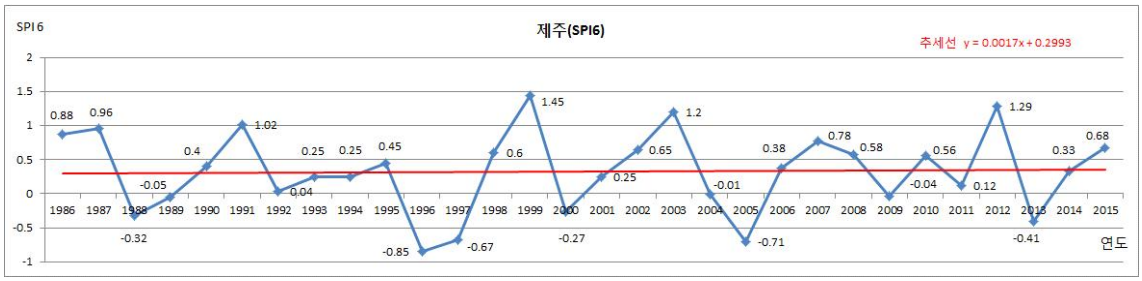


(b) The graph of SPI 12

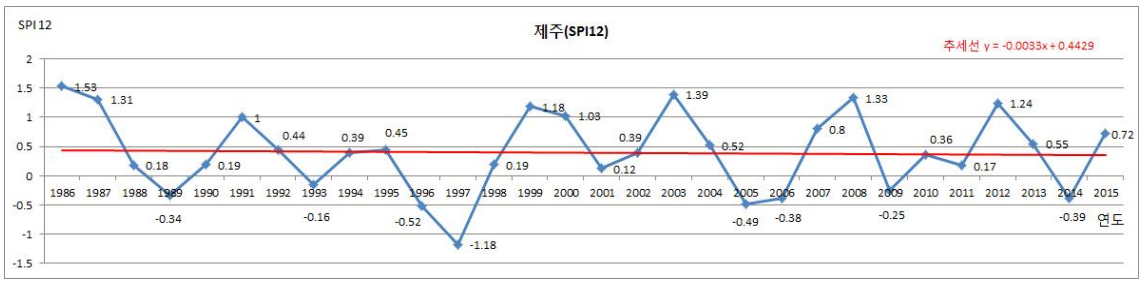
Fig. 4.7 The graph of SPI at Jeju, Gosan, Seogwipo, Seongsan weather station

그림 4.8은 제주, 서귀포, 성산, 고산기상대의 SPI 6과 SPI 12로 분석한 가뭄지수 분석결과와 추세선을 나타낸 그래프이다. (a), (b)는 제주 기상대의 SPI 6, SPI 12 가뭄지수와 추세선이며, (c), (d)는 고산 기상대의 SPI 6, SPI 12 가뭄지수와 추세선이고, (e), (f)는 서귀포 기상대의 SPI 6, SPI 12 가뭄지수와 추세선이다. 그리고 (g), (h)는 성산 기상대의 SPI 6, SPI 12 가뭄지수와 추세선이다.

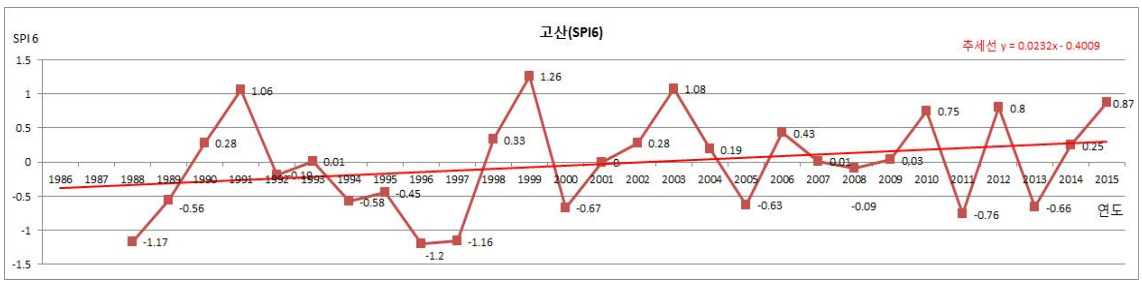
제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY



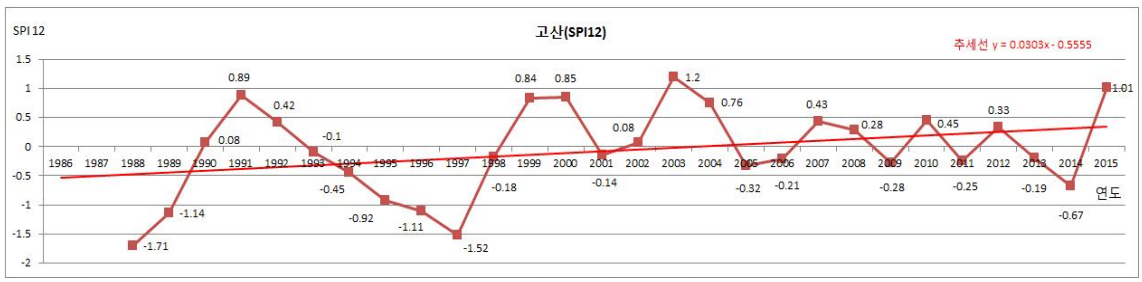
(a) The graph and trend line of SPI 6 at Jeju weater station



(b) The graph and trend line of SPI 12 at Jeju weater station

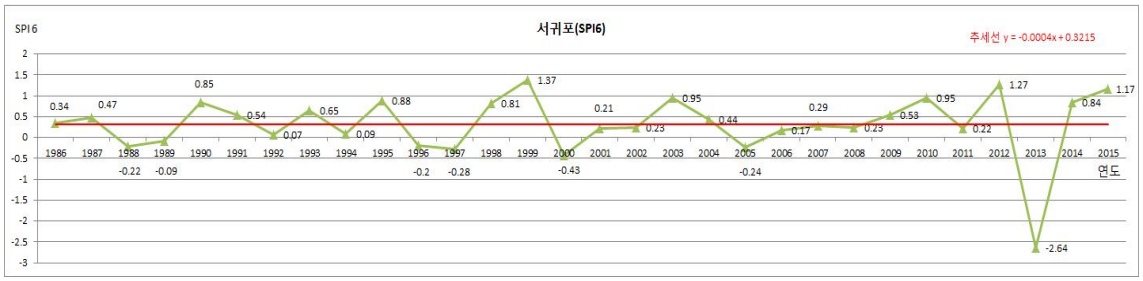


(c) The graph and trend line of SPI 6 at Gosan weater station

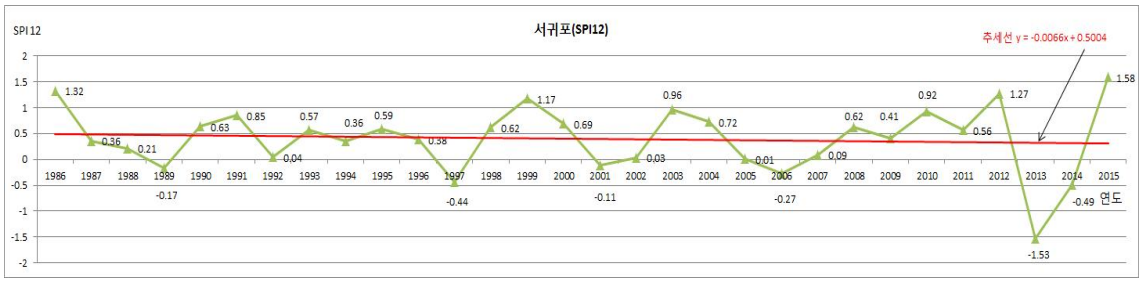


(d) The graph and trend line of SPI 12 at Gosan weater station

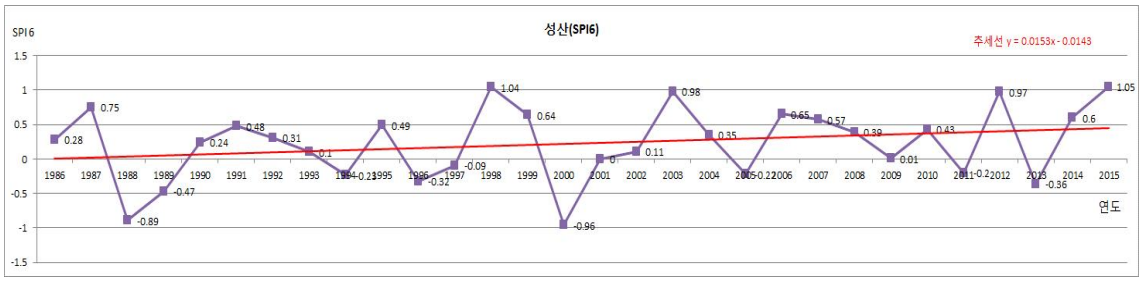
제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY



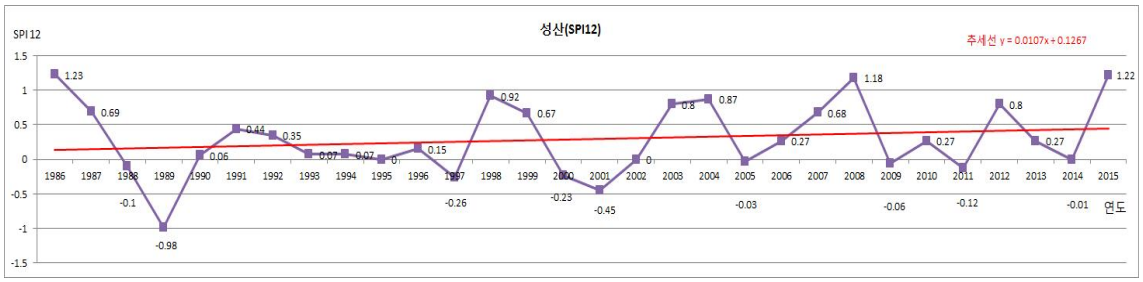
(e) The graph and trend line of SPI 6 at Seogwipo weater station



(f) The graph and trend line of SPI 12 at Seogwipo weater station



(g) The graph and trend line of SPI 6 at Seongsan weater station



(h) The graph and trend line of SPI 12 at Seongsan weater station

Fig. 4.8 The graph and trend line of SPI at Jeju, Gosan, Seogwipo, Seongsan weather station

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

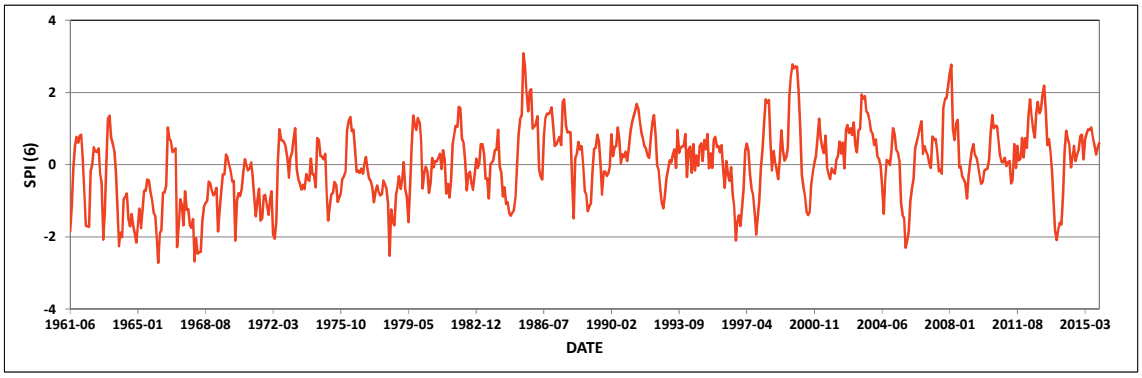
그림 4.8의 그래프에서 1986년부터 2015년까지의 30년간 가뭄변화 추세를 분석해 보면, 제주는 SPI 6의 경우에는 가뭄이 경감하고, SPI 12는 가뭄이 심해지는 경향성을 나타내며, 고산은 SPI 6과 SPI 12에서 가뭄이 경감하는 경향성을 보였고, 서귀포는 SPI 6과 SPI 12에서 모두 가뭄이 심해지는 경향성을 나타내며, 성산은 SPI 6과 SPI 12에서 모두 가뭄이 약화되는 경향성을 나타내고 있다.

표준강수지수를 활용한 제주도 가뭄의 공간적 분류방법 연구(박재규 등, 2016)에 의하면, 제주도 4개 기상대의 관측소별 표준강수지수를 살펴보면 SPI 6이 SPI 12에 비하여 더 큰 변동성 경향을 보이는 것으로 나타났으며, SPI 12에서 가뭄으로 나타나는 경우에는 가뭄 정도가 심함을 의미하고, 단기간일수록 변동성이 커지고 장기간일수록 변동이 적게 나타나는 것을 확인하였다.

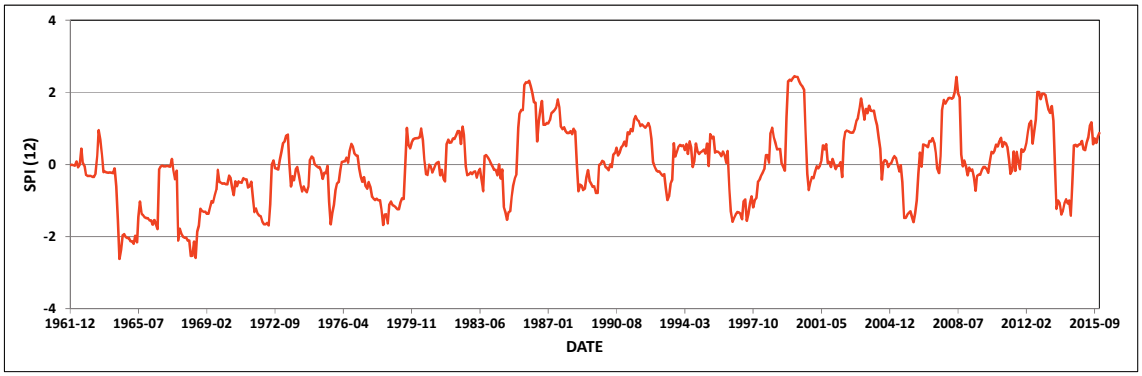
그림 4.9는 제주도 과거 가뭄현상 분석을 위하여 제주기상대와 서귀포기상대는 1961년부터 2015년까지, 고산기상대는 1988년부터 2015년까지, 성산기상대는 1973년부터 2015년까지 SPI 6과 SPI 12의 가뭄지수 분석결과를 나타낸 그래프이며, 북부지역인 제주기상대는 SPI 6은 1966년 2월 -2.72, SPI 12는 1964년 8월 -2.36 순으로 가뭄이 심했던 것으로 분석되었으며(a, b), 서부지역인 고산기상대는 SPI 6은 1977년 2월 -2.14, SPI 12는 1996년 7월 -2.1 순으로 가뭄이 심했던 것으로 나타났다(c, d). 또한, 남부지역인 서귀포기상대는 SPI 6은 2013년 6월 -5.21, SPI 12는 2013년 9월 -4.1 순으로 가뭄이 심했던 것으로 분석되었으며(e, f), 동부지역인 성산기상대는 SPI 6은 1978년 5월 -3.95, SPI 12는 1979년 3월 -3.06 순으로 가뭄이 심했던 것으로 나타났다(g, h), (박재규 등, 2016).

제주도 4개 기상대의 SPI 6, SPI 12의 가뭄지수를 분석한 결과, 가뭄이 심했던 해는 1964년, 1965년, 1968년, 1978년, 2013년으로 나타났으며, 1968년은 제주와 서귀포가 상대적으로 가뭄이 매우 심한 것으로 분석되었고, 1977년은 제주와 고산, 1978년은 제주와 성산이 가뭄이 극심한 것으로 분석되었다(박재규 등, 2016).

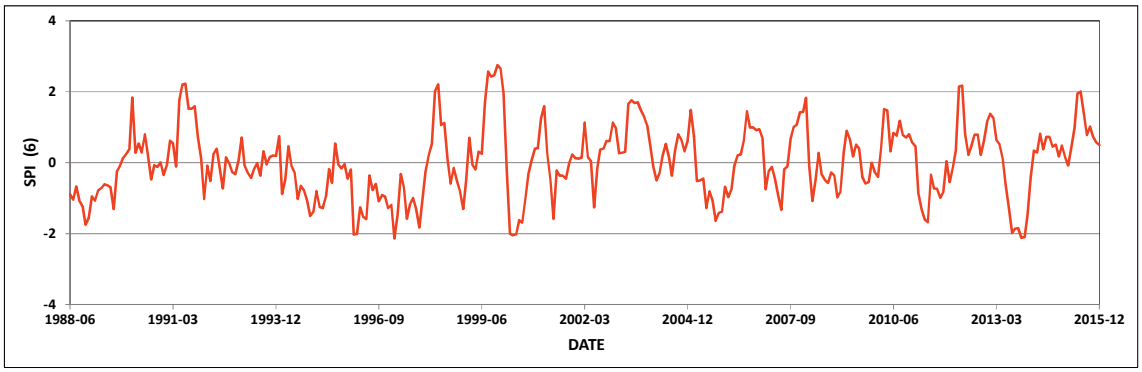
제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY



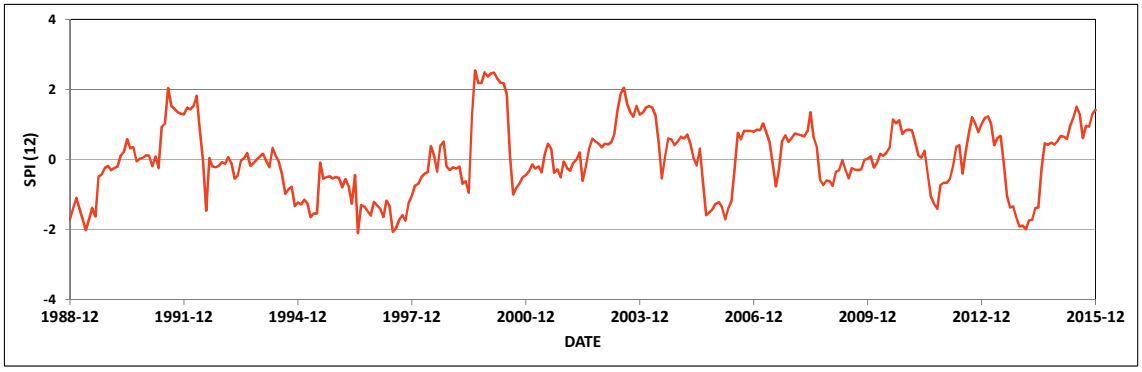
(a) Jeju weather station of SPI 6



(b) Jeju weather station of SPI 12

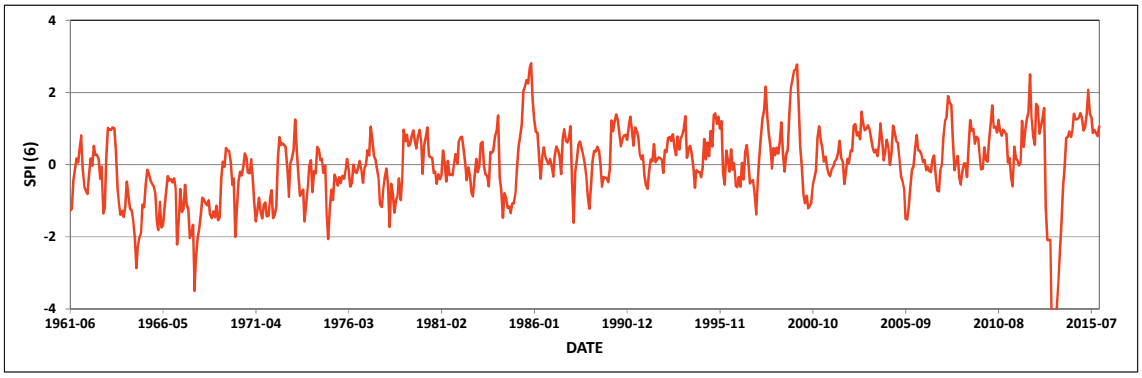


(c) Gosan weather station of SPI 6

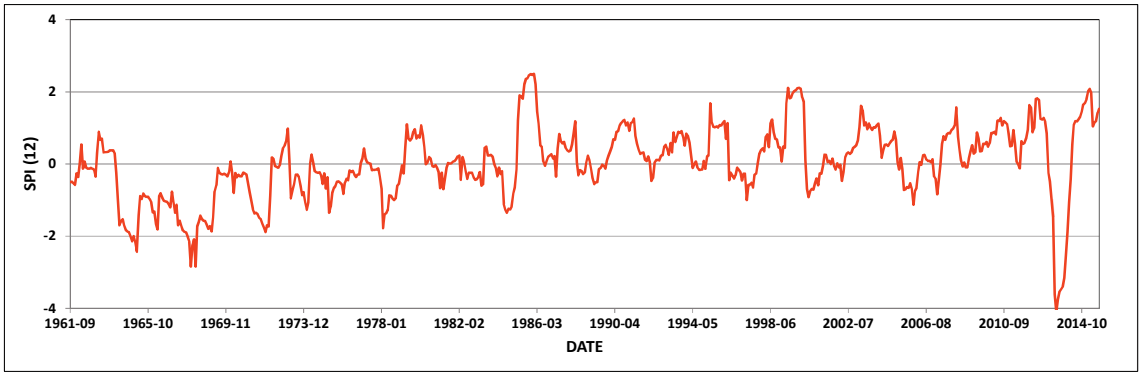


(d) Gosan weather station of SPI 12

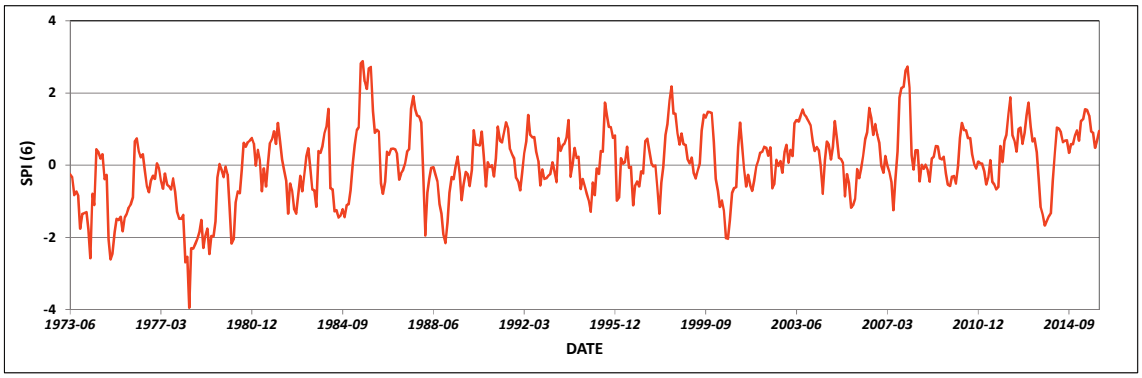
제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY



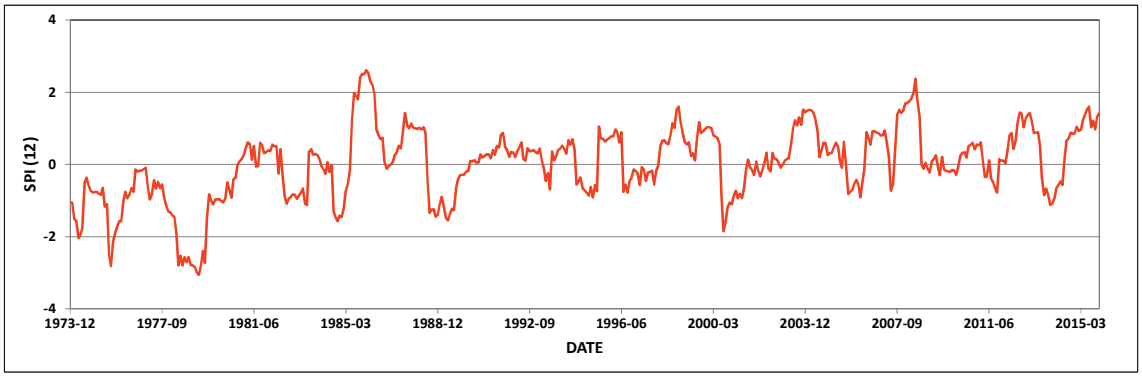
(e) Seogwipo weather station of SPI 6



(f) Seogwipo weather station of SPI 12



(g) Seongsan weather station of SPI 6



(h) Seongsan weather station of SPI 12

Fig. 4.9 Monthly standardized precipitation index showing SPI 6 and SPI 12.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

5. 가뭄특성 분석

제주도는 기상변화에 직접적으로 노출되는 밭작물과 동절기에도 농업용수를 공급해 주어야 하는 계절적 요인 및 투수성이 매우 양호한 지질특성 등으로 토양수분이 부족하면 농업적 가뭄이 빈번하게 발생하는 특징을 가진 지역이다.

제주도 4개(제주, 고산, 서귀포, 성산) 기상대 기상관측결과를 토대로 2007 ~ 2017년까지 가뭄현상을 분석해 본 결과, 농업적 가뭄피해가 발생하기 시작하는 20일 이상의 무강우 일수가 매년 발생하고 있으며, 제주도 동・서・남・북지역에 동일 기간에 20일 이상 무강우 일수 발생률은 45%로써 11년 동안 5개년에 거쳐서 나타냈다. 또한, 제주도 연평균 강수량과 무강우 일수 발생빈도는 비례하지 않아 상관관계는 미약 한 것으로 나타났는데, 이러한 결과는 우기 및 여름철에 강우가 집중되고, 늦가을 및 겨울에는 장기간 강우가 발생하지 않기 때문인 것으로 판단된다.

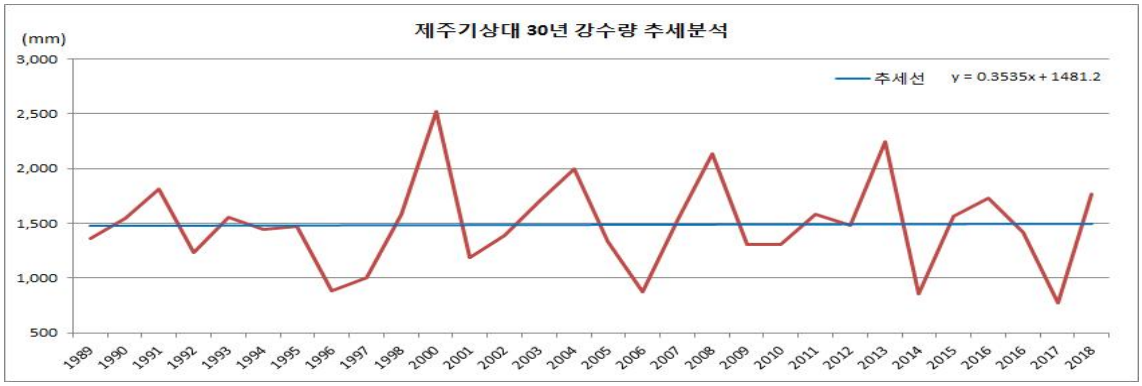
제주도 4개 기상대의 기상관측 자료를 이용하여 30년간(1986~2015) SPI 12 분석결과, 가뭄 정도는 서귀포와 고산이 심하며, 제주와 성산은 약한 것으로 분류되었고, 가뭄변화 추세 결과는 제주와 서귀포는 가뭄이 심해지고, 고산과 성산은 가뭄이 약해지는 경향성이 나타났다. 가뭄과 강수량과의 상관관계 분석을 위하여 그림 4.10과 같이 4개 기상대의 최근 30년간 평균 강수량 추세를 분석해 본 결과, 강수량 증가율은 성산이 제일 크고, 서귀포, 고산 순 이었으며, 제주가 가장 작은 것으로 나타났다.

4개 기상대의 SPI 12 가뭄분석, 가뭄변화 추세, 강수량 증가율 추세결과를 기반으로 지역별로 상관관계를 분석하면 성산을 제외한 제주, 고산, 서귀포는 공통된 특징이 결여되는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 가뭄 발생은 강수량 증가추세 만으로는 판단 할 수 없으며, 강수량 이외에 가뭄심도, 무강우 일수 지속기간과 같은 다른 영향 요소들이 가뭄 발생에 복합적으로 영향을 미친다고 볼 수 있다(표 4.8).

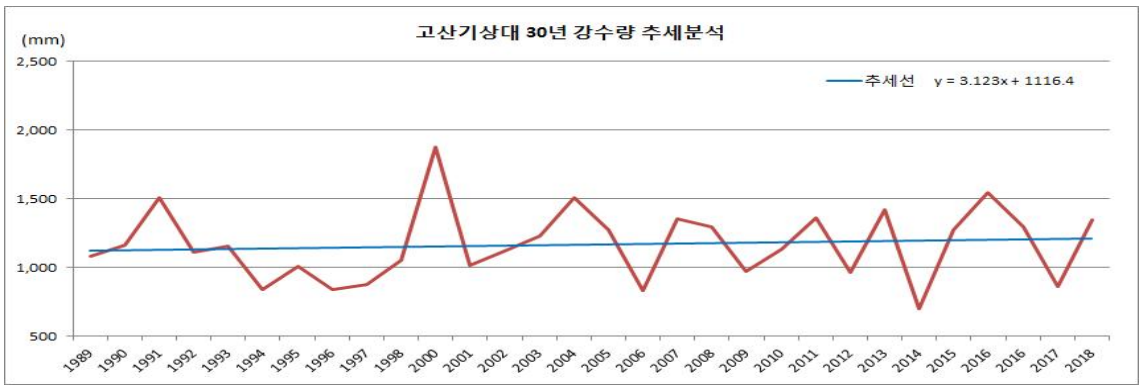
Table 4.8 Result of classification of between SPI 12, drought trend and precipitation trend

구 분	가뭄 정도		비 고
	심 함	약 함	
SPI 12 가뭄분석	서귀포, 고산	제주, 성산	1986~2015
가뭄변화 추세	제주, 서귀포	성산, 고산	1986~2015
강수량 증가율 추세	제주 < 고산 < 서귀포 < 성산		1989~2018

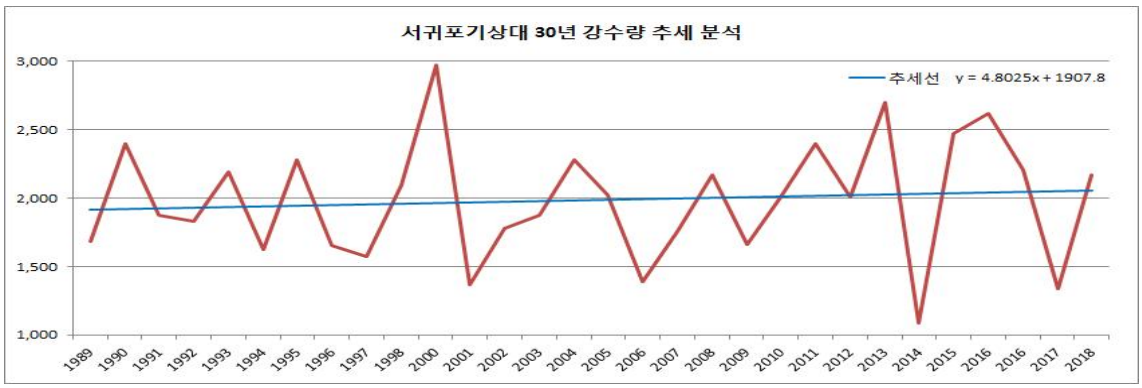
제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY



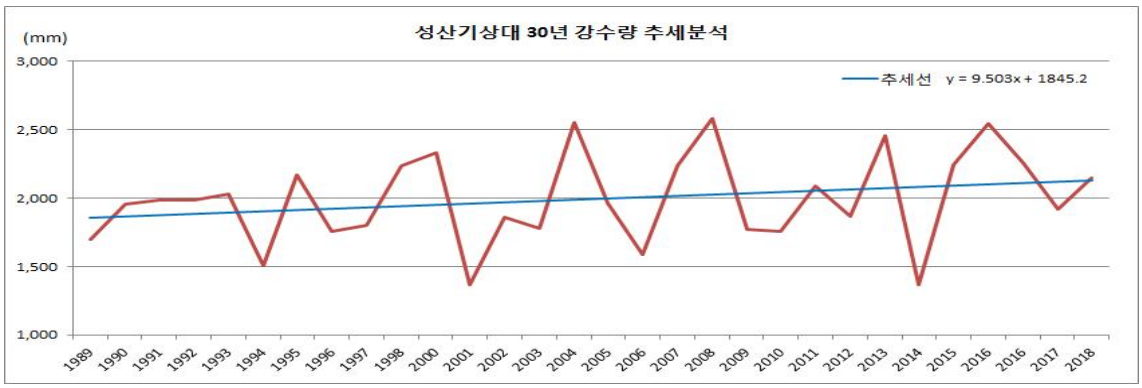
(a) Jeju weater station



(b) Gosan weater station



(c) Seogwipo weater station



(d) Seongsan weater station

Fig. 4.10 The graph and trend line of annual precipitation characteristics

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

따라서, 지역별 가뭄특성 분석은 표준강수지수 분석결과와 강수량과의 관계 분석 결과, 연관성이 미약하고 신뢰도가 부족하기 때문에 가뭄 속성 인자들 간의 상관관계가 높은 가뭄심도와 가뭄지속기간을 고려하여 분석을 수행하였다. 본 연구 제2장에서 기술한 비계층적 분석 방법인 K-means 군집분석을 실시하였다.

군집분석은 제주, 서귀포기상대는 1961~2015년, 고산기상대는 1988~2015년, 성산기상대는 1973년~2015년까지 표준강수지수 분석결과, 가뭄심도, 가뭄지속기간을 변수로 적용하고, 인자분석 후 주성분의 수를 결정 한 후, 가뭄 속성인자 12개의 변량을 71.776%를 설명해 주는 2개를 주요인으로 채택하였다(표 4.9).

Table 4.9 Total variance explained of components

Component	Initial Eigenvalues			Extraction Sums of Squared Loadings			Rotation Sums of Squared Loadings		
	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %
1	7.078	58.980	58.980	7.078	58.980	58.980	4.667	38.895	38.895
2	**1.536**	**12.796**	**71.776**	**1.536**	**12.796**	**71.776**	**3.946**	**32.881**	**71.776**
3	0.924	7.696	79.472						
4	0.750	6.250	85.722						

K-means 분석방법의 총 7단계 분석을 수행 후 최종적으로 표 4.10과 같은 2개의 군집이 형성되었다. 이 결과 값은 표 4. 8의 분석결과와는 다르게 도출되었다. 따라서, 가뭄과 상관관계가 있는 가뭄심도와 가뭄지속기간을 변수로 적용 한 결과, 가뭄특성이 비슷한 지역은 북부의 제주와 서부의 고산, 남부와 서귀포와 동부의 성산이 같은 그룹에 속하는 것으로 분류되었다.

Table 4.10 Final cluster centers of weather stations

Cluster	1	2
weather station	Jeju, Gosan	Seogwipo, Seongsan

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Ⅴ. 가뭄에 대비한 농업용수 공급 및 통합물관리 방안

1. 제주도 농업용수 공급방안

제주도 농업용수의 공급방안은 제주특별자치도 수자원관리종합계획(제주특별자치도, 2013, 2018), 동부권역 농업용수 통합 광역급수체계 기본계획 및 기본설계(제주특별자치도, 2014), 제주특별자치도 농업용수 통합 광역화사업 예비타당성조사(한국개발연구원, 2016), 제주특별자치도 농업용수 통합 광역화사업 기본조사 보고서(한국농어촌공사, 2017) 등의 자료를 분석·검토하였다. 또한, 지표수를 이용한 농업용수 저수지(성읍저수지, 함덕저수지, 용수저수지, 수산저수지, 광령저수지)와 상시하천 및 용천수(옹포저수지, 서림저수지 등), 빗물 이용시설을 이용한 자료를 조사·분석하여 가뭄에 대비한 효율적인 농업용수 공급방안을 제시하였다.

1.1 농업용수 통합광역화사업을 통한 용수공급

제주도는 농업용수 공급 불균형을 해소하고 안정적인 급수를 위해서 대용량 저수조와 기존 저수지, 용천수를 농업용 관정 급수관로에 연계하여 통합 급수체계를 구축하는 제주 농업용수 통합광역화사업을 제주특별자치도 농업용수 통합광역화사업 예비타당성조사를 근거로 하여 2017년 착수하여 2024년까지 완료할 계획이다.

또한, 제주특별자치도는 2013년 여름 가뭄피해가 가장 심했던 제주시 구좌읍 일원을 대상으로 2014년부터 2018년까지 동부권역 농업용수 통합광역화 시범사업을 시행하였다. 그 결과 농업용수 급수체계의 전환으로 효율성을 극대화 시키고, 용수공급관리의 과학화·전문화로 효율적 운영성과를 창출하여 제주 광역화사업 시행의 당위성을 확보하는 계기가 되었다.

통합광역화사업의 기본방향은 급수구역 이외의 지역은 밭기반정비사업으로 급수하고, 그 외 공공용수로 급수가 불가능한 지역과 소규모 농경지는 빗물이용시설 또는 물탱크 지원 사업을 추진하여 용수문제 해결이며, 통합광역화사업의 목적은 농업용수 광역 급수체계 구축으로 기후변화에 따른 가뭄에 효과적으로 대비하기 위하여 수원공 규모 확대, 저수조 증설, 용수관로 연계 등 시설체계를 재편하는 것이다. 또한, 용천수 등 다양한 용수원 확보를 통해 농업용수의 지하수 의존율을 낮추

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

고, 농업용수 공급시설의 자동화, 원격제어 등 스마트 물관리시스템을 도입하여 통합물관리가 가능하도록 하는데 그 목적이 있다.

그림 5.1은 제주도의 농지 중 급수면적과 비급수면적을 나타낸 것으로, 녹색구역은 급수면적(28,150ha), 황색구역은 비급수면적(8,881ha)을 나타낸다(한국농어촌공사, 2018).

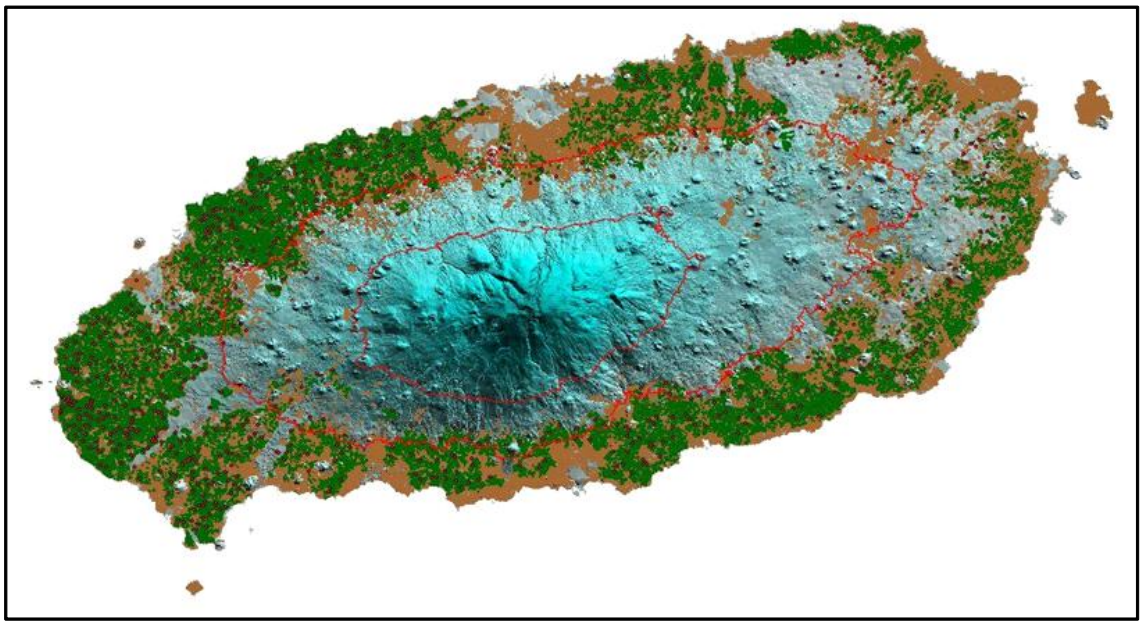


Fig. 5.1 The project of Jeju-do agricultural water integration wide area (한국농어촌공사, 2018)

1.1.1 동부권역 농업용수 통합광역화 시범사업과 문제점

제주특별자치도는 농업용수광역화사업의 통합용수공급 모델을 제시하기 위하여 2014년부터 2018년까지 동부권역 농업용수 통합광역화 시범사업을 수행하였다.

동부권역 농업용수 통합광역화 시범사업은 종달리와 덕천리에 대형 저수조(1,500~3,000㎥) 4개소를 설치하여 급수관로 41.4km(D 100~350mm)를 통해 종달리, 하도리, 상도리, 송당리, 덕천리, 평대리, 한동리, 김녕리, 동복리에 농업용수를 공급하는 계획이다(제주특별자치도, 2014). 이러한 시범사업은 가뭄피해 정도, 농업용 관정 분포도, 함덕지구 다목적 농촌용수개발사업과의 연계성 등을 종합적으로 고려하여 시행하였다. 표 5.1은 동부권역 시범사업과 통합광역화사업을 비교한 표이다.

Table 5.1 Main contents of agricultural water wide area in Jeju-do(한국농어촌공사)

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

구 분	동부권역 시범사업	통합광역화사업
사업위치	제주시 구좌읍	제주특별자치도 (구좌읍 제외)
사업기간	2014~2018년	2017~2024년
사 업 비	165억원	1,375억원(국비 80%, 도비 20%)
사업목적	통합용수공급 모델 제시	균등한 용수배분 및 항구적 가뭄극복
주요공사	저수조 4개소 급수관로 41.4km 관정 7개소 물관리 자동화 시설	광역저수조 54개소 용수관로 470㎞ 신규관정 58개소 용천수 취수장 6개소 용수관리 자동화 시스템
사업시행자	제주특별자치도(위탁시행 한국농어촌공사 제주지역본부)	

그림 5.2는 동부권역 농업용수 통합광역화 시범사업 사업계획도 이다(제주특별자치도, 2014).

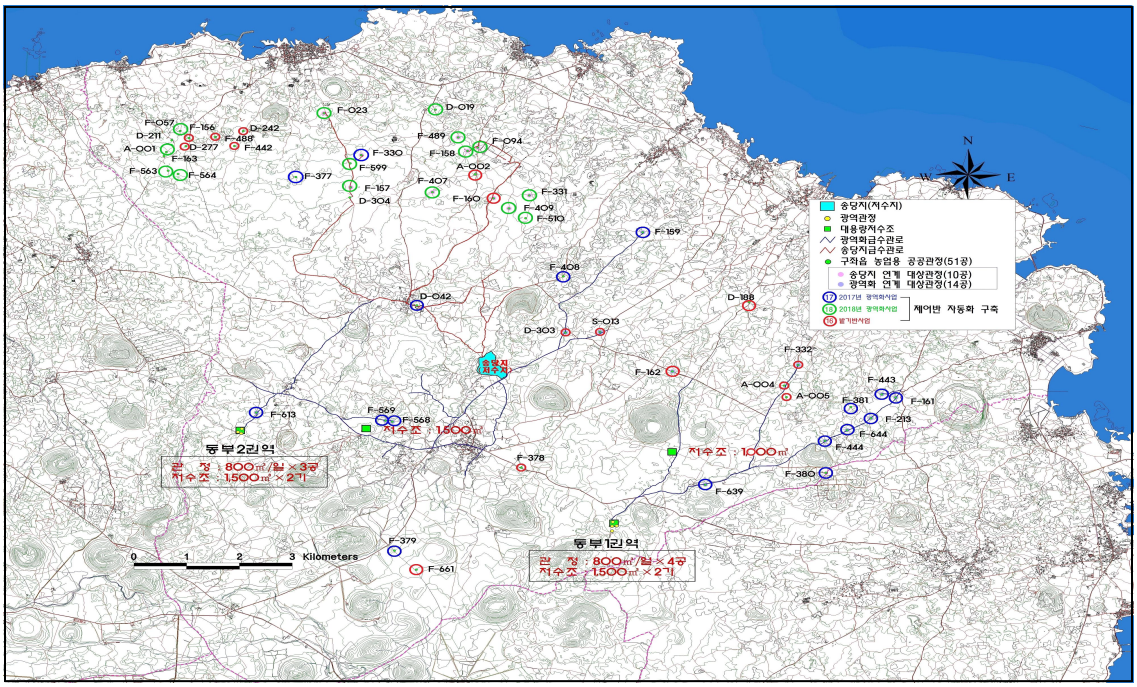


Fig. 5.2 The demonstration project of east area agricultural water(제주특별자치도, 2014)

동부권역 농업용수 통합광역화 시범사업 시행시 문제점은 세 가지였다. 첫 번째는 최근 지가상승에 따른 공사 편입부지 용지매수 지연과 이에 따른 문화재지표조사, 도로점용, 농지전용, 산지전용, 초지전용 등 인허가 기간 연장이었던 것으로 나타났다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 토지보상을 위한 감정평가시 향후 개발계획 및 지가상승요인을 충분히 반영하여 적정한 보상비를 책정하고, 착공 전 공

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

사편입부지 용지 매수를 완료 할 필요가 있다고 판단된다.

두 번째는 대용량 신설 저수조에서 기설관로에 급수관을 연결 할 경우에는, 높은 수압으로 인하여 노후화된 기설관로에 심각한 누수현상이 발생한 것으로 나타났다. 이를 개선하기 위한 방법으로는 수압을 크게 받는 위치에 감압정을 설치하고, 급수관로 말단부에는 감압밸브를 설치하여 수두압을 줄일 수 있는 장치를 추가로 설치할 필요가 있다.

세 번째는 저수조 공사 중 집중호우로 인하여 시설물이 손실되는 사례가 있었으므로, 광역화사업 시행시 대용량 신설 저수조가 설치되는 중산간지역(E.L. 200~600m)은 집중호우로 인한 피해를 방지하기 위하여 배수로 또는 임시 저류지 등도 병행하여 설치해야 호우피해를 예방할 수 있다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

1.1.2 제주 농업용수 통합광역화사업과 과제

제주특별자치도의 기존 급수체계는 수리계가 해당 지역내에 산재한 소규모 관정을 독점적으로 사용하여 왔으나, 취수량 부족과 낮은 수압으로 가뭄에 취약한 단점이 있었다. 이를 개선하기 위하여, 중대규모 관정을 관망으로 연결하여 수량이 풍부한 취수원에서 부족한 지역으로 용수를 공급하는 광역 급수체계를 구축할 계획이다.

제주 농업용수 통합광역화사업 기본계획(한국농어촌공사, 2017)에 따르면, 광역화사업은 사업기간이 2017년~2024년까지 이며, 총 사업비 1,375억원을 집행하여, 표 5.2와 같이 지하수 관정개발 58개소, 개발량 52,000㎥/일, 용천수 개발 6개소, 개발량 31,000㎥/일, 광역저수조 54개소, 총용량 139,000㎥, 용수관로 470km를 설치하는 사업이다.

Table 5.2 The project of agricultural water wide area in Jeju-do

구 분		지 하 수		용 천 수		광역저수조		용수관로 (km)
		관정	개발량 (㎥/일)	개소	개발량 (㎥/일)	개소	총용량 (㎥)	
합 계		58	52,000	6	31,000	54	139,000	470
제주시	계	10	8,700			14	20,500	216
	제주동	7	6,300			6	10,500	61
	한림읍					1	1,000	14
	애월읍					3	3,000	63
	조천읍	3	2,400			3	5,000	38
	한경면					1	1,000	41
서귀포시	계	48	43,300	6	31,000	40	118,500	254
	서귀동	14	12,200	6	31,000	15	65,500	68
	대정읍					5	5,000	30
	남원읍	19	18,900			6	29,000	72
	성산읍	2	1,900			4	4,500	26
	안덕면	4	2,900			5	5,500	18
	표선면	9	7,400			5	9,000	39

제주 농업용수 통합 광역화사업 기본계획(한국농어촌공사, 2017)

또한, 광역화사업의 급수관망도 계획은 그림 5.3과 같이 총 11개 대권역으로 구분하고, 제주시는 5개 권역, 서귀포시는 6개 권역으로 나눴으며, 제주시는 제주동, 한림읍, 애월읍, 조천읍, 한경면이고, 서귀포시는 서귀동, 대정읍, 남원읍, 성산읍, 안덕면, 표선면이다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

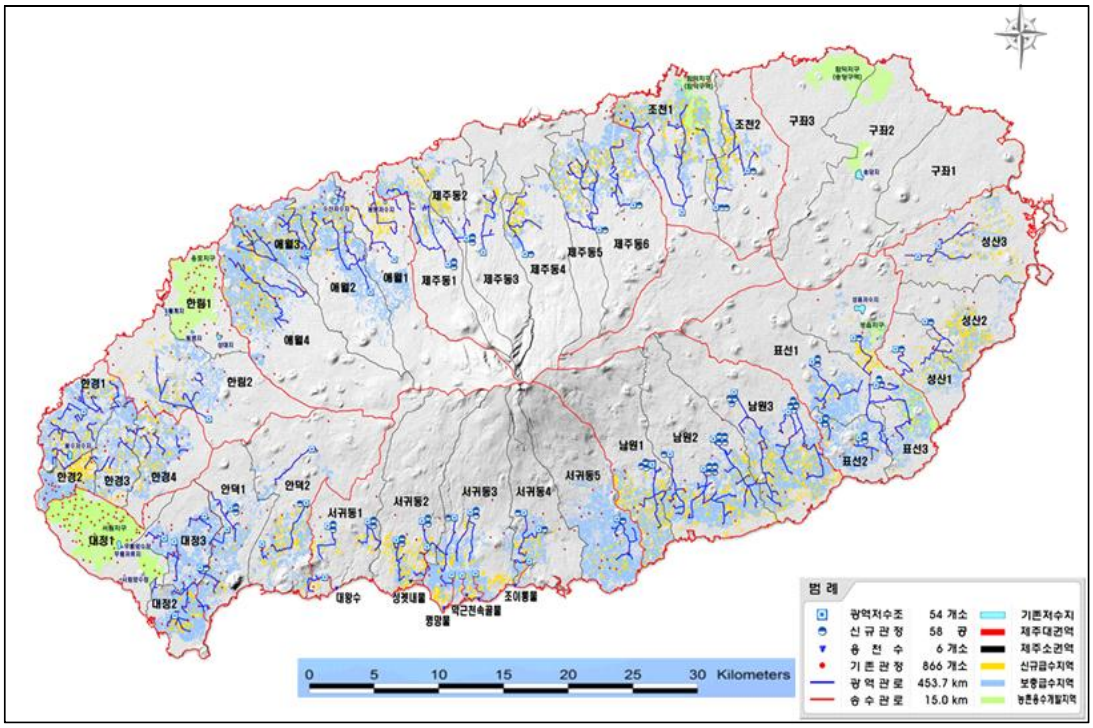


Fig. 5.3 The project of Jeju-do agricultural water integration wide area(한국농어촌공사, 2017)

그림 5.4는 제주특별자치도에 산재한 소규모 기존 관정단위 급수체계와 통합 광역화 급수체계의 개념도이다.

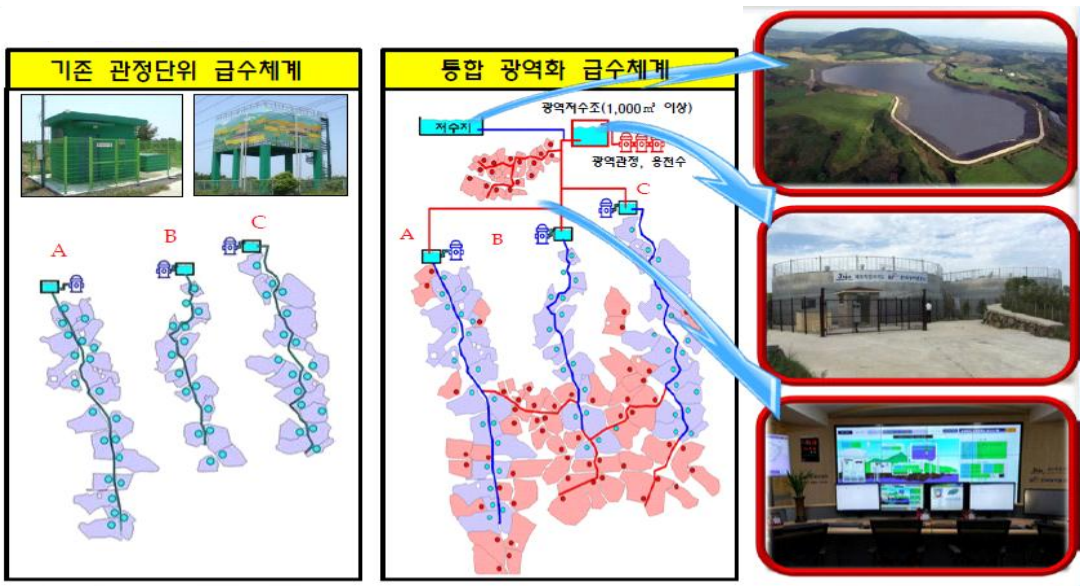


Fig. 5.4 The model of integration agricultural water project(한국농어촌공사, 2017)

광역화사업으로 시설물 원격제어시스템을 도입하여 ICT를 활용한 관로망 상태 확인과 과학적이고 안정적인 용수공급을 위하여 관정, 취수장, 저수조에 유량계, 수위계, 압력계 등을 설치하고, 그림 5.5와 같은 '스마트워터 시스템'을 그림 5.6과 같이

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

한국농어촌공사 제주지역본부에 설치하여 운영 및 관리하는 것이다.

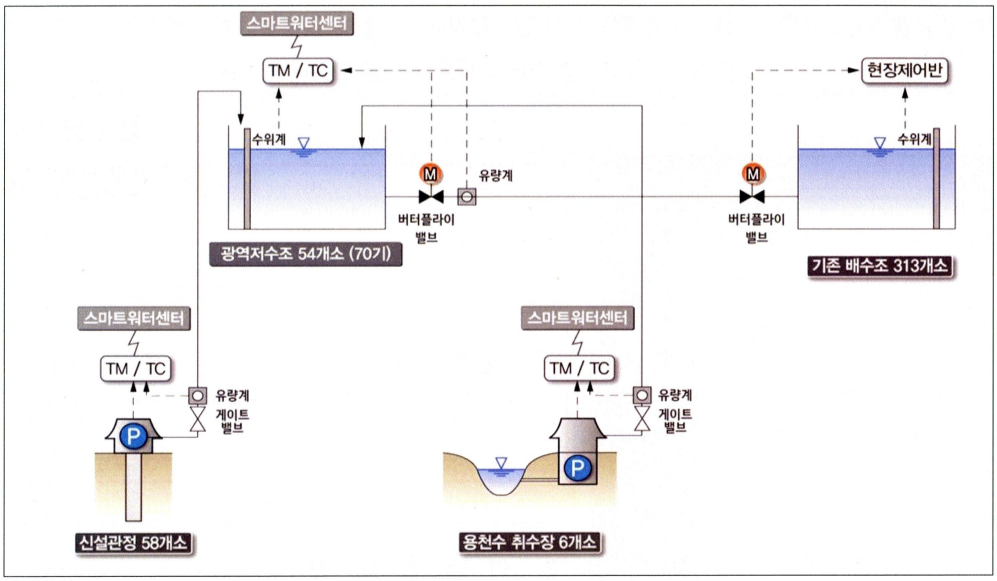


Fig. 5.5 The model of integration smart-water system(한국농어촌공사, 2017)

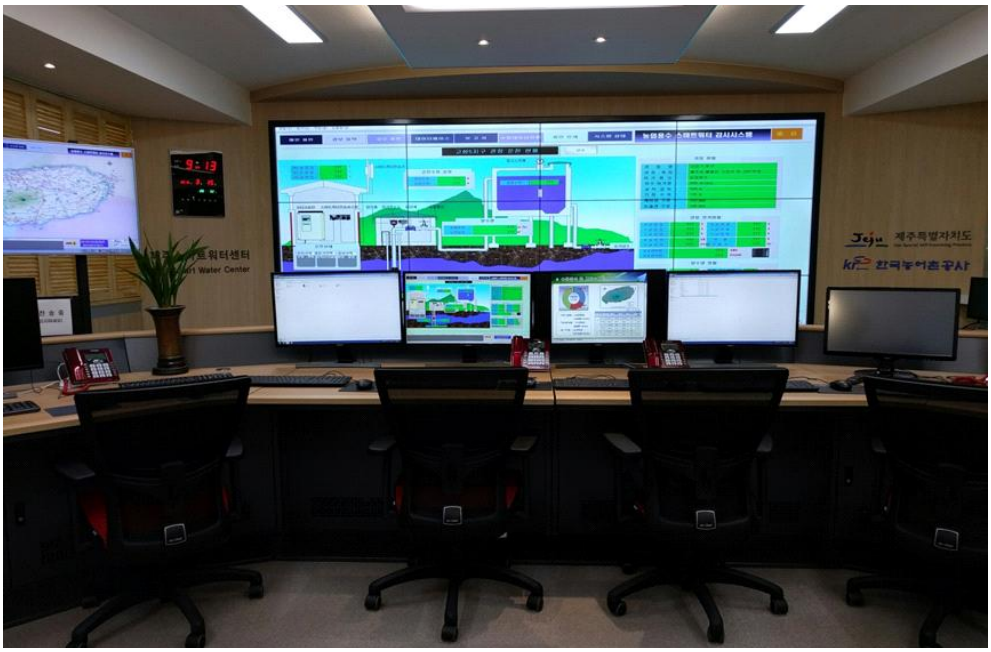


Fig. 5.6 The office of smart-water system in KRC Jeju(한국농어촌공사, 2018)

제주 농업용수 통합광역화사업 기본계획(한국농어촌공사, 2017)에 따르면, 지역특성에 맞는 용수공급을 위하여 관정, 용천수, 광역저수조, 기존 저수조간 연계형태에 따라 그림 5.7과 같이 4가지 유형의 용수공급 방안을 수립하고 있다.

첫 번째, A유형은 신규관정을 개발하여 광역저수조에 임시 저류한 후, 기존 저수

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

조에 공급하는 방안으로 제주 동권역 등 32개소에 적용 가능한 것으로 검토하였다.

두 번째, B유형은 기존관정에서 취수하여 광역저수조에 임시 저류한 후 기존 저수조에 공급하는 방안으로 대정권역 등 14개소에 적용 가능한 것으로 검토하였다.

세 번째, C유형은 기존 배수조간 용수 공유를 통해 부족한 저수조에 용수를 공급하는 방안으로 한경권역 등 26개소에 적용 가능한 것으로 검토되었다.

네 번째, D유형은 용천수에서 취수하여 광역저수조에 임시 저류한 후 기존 저수조로 공급하는 방안으로 서귀포 동권역 6개소에 적용 가능한 것으로 계획하고 있다.

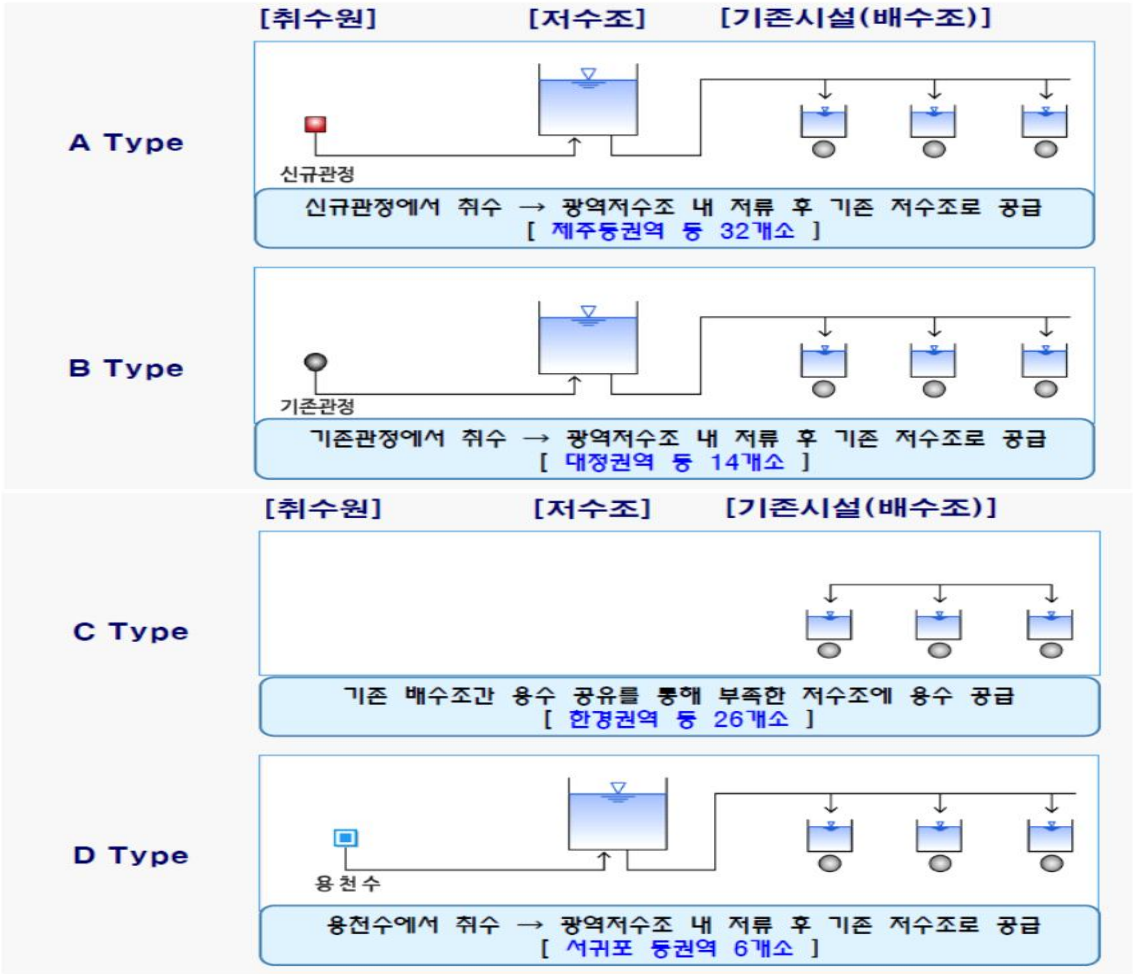


Fig. 5.7 The mimetic diagram of integration agricultural water project(한국농어촌공사, 2018)

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

제주 농업용수 통합광역화사업에 포함되지 않은 사설관정은 관정위치 및 관로망 전수 조사 자료가 없고, 공공관정에 비해 시설관리가 열악하여 시설상태에 대한 정확한 실태 파악이 어려운 실정이다. 향후, 제주도 수자원의 통합관리 차원에서 공공관정과 사설관정의 연계성 확보를 위한 추가적인 계획수립과 시설 확충도 필요하다. 또한, 이론적 필요수량과 실제 소비수량간의 상관관계 파악을 위해서는 간선 및 지선 관로망과 주요 분기점에 유량계를 설치하여 급수량을 실측하고, 자료를 분석하여 급수계획 수립시 공급량을 검토·반영 할 필요가 있다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

1.1.3 통합광역화사업의 경제성 평가 및 개선방안

광역화사업의 경제성 분석은 동부권역 농업용수 통합 광역급수체계 기본계획 수립(제주특별자치도, 2014)과 제주특별자치도 농업용수 통합 광역화사업 예비타당성 조사(한국개발연구원, 2016)에 의해 2회에 거쳐 수행되었다.

동부권역 농업용수 통합 광역급수체계 기본계획(제주특별자치도, 2014)에 따르면, 제주도의 경우 경제성장률을 고려할 경우 농업용수 통합 광역화사업의 경제성은 B/C(할인율 5.5%) 1.09, 순현재가치 NPV=16,575백만원, 내부수익율 IRR=6.30%로 분석되어 경제성이 있는 것으로 판단하고 있다. 또한, 제주특별자치도 농업용수 통합광역화사업 예비타당성조사(한국개발연구원, 2016) 결과도 B/C(할인율 5.5%) 1.04, 순현재가치 NPV=3,924백만원, 내부수익율 IRR=5.75%로 분석되어 사업타당성이 있는 것으로 나타났다.

경제성 분석결과는 표 5.3과 같이 모두 경제성 있음으로 나타났으나, 2014년도에 비해서 2016년도의 분석 값은 감소한 것으로 나타났다. 감소한 이유는 표 5.4와 같이 경제성 분석 전제조건인 사업기간, 사업비 등이 상이한 것이 원인으로 판단된다.

Table 5.3 Economic analysis of agricultural water wide area in Jeju-do

구 분	B/C	NPV(백만원)	IRR(%)	분석결과	비 고
2014년(A)	1.09	16,575	6.30	경제성 있음	제주특별자치도
2016년(B)	1.04	3,924	5.75	경제성 있음	한국개발연구원
증 감(C)	0.05	12,651	0.55		(C=A-B)

Table 5.4 Precondition for economic analysis of agricultural water wide area in Jeju-do

구 분	2014년도	2016년도
사업기간	2016~2025년(10개년)	2017~2024년(8개년)
사 업 비	2,200억원	1,447억원
주요공사	광역저수조 63개소 용수관로 540㎞ 신규관정 105개소 용천수 취수장 3개소 용수관리 자동화 시스템	광역저수조 54개소 용수관로 470㎞ 신규관정 58개소 용천수 취수장 6개소 용수관리 자동화 시스템

동부권역 농업용수 통합 광역급수체계 기본계획(제주특별자치도, 2014)에 따르면,

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

광역화사업의 기대효과는 제주도 농업용수 공급 불균형 해소, 가뭄 재해예방 기능 강화, 생산성 향상을 통한 소득증대, 영농편익 향상 등 이라고 명시하고 있다.

제주특별자치도 농업용수 통합광역화사업 예비타당성조사(한국개발연구원, 2016)에서 3가지 정책제언을 제시하고 있다. 첫 번째는 광역화사업 추진에 앞서 제주특별자치도의 지하수 공급 능력에 대한 현황을 파악한 후 사업을 추진할 필요가 있으므로, 용수원별 농업용수 공급능력을 파악한 후 용수부족량을 추가 검토해야 한다는 점이고, 두 번째는 광역화사업이 밭기반정비사업의 내용과 수혜지역이 중복되지 않도록 조정해서 예산 낭비가 없도록 해야 한다는 점이며, 세 번째는 용천수 개발 확대에 따른 기득 수리권 및 지역주민의 환경민원 등을 고려할 필요가 있다는 점이다.

광역화사업이 성공적으로 수행되어 완료 될 경우 기대되는 직접적인 효과는 지표수와 용천수 및 지하수의 효율적 이용, 안정적인 농업용수 공급에 따른 영농편의 및 생산성 향상, 공공관리 강화로 수자원 보호 등이 가능할 것으로 보인다. 이외에도 간접적인 효과는 지하수 공공관리 강화로 지하수자원 보존 및 오염방지, 안정적인 용수공급을 통한 생산·가공·유통·판매의 6차 산업 활성화, 수자원의 효율적 이용에 따른 제주형 물산업 육성에 기여할 것으로 기대된다.

농업용수 통합광역화 시범사업 시행시 발생한 문제점은 토지소유주 부동의에 따른 사업 편입토지 보상 지연, 신설 대용량 저수조와 연결되는 기설관로의 심각한 누수현상, 중산간 지역 신설 저수조의 침수피해 발생 등이다. 이러한 문제점 해결을 위한 방안으로는 사업 편입토지 감정평가시 지가상승요인을 충분히 반영한 보상비를 책정하여 토지소유주와 원만한 보상협의를 신속히 추진하고, 현장 조사를 통해 노후화가 심각한 기설관로는 교체 시공하며, 상태가 양호한 경우에는 수압을 크게 받는 위치에 감압정을 설치하거나, 용수관로 말단부에 감압밸브를 설치하여 수두압을 줄 일 수 있는 장치를 추가로 설치하는 것이다. 또한, 중산간 지역에 설치되는 대용량 저수조의 집중호우로 인한 피해 방지를 위하여 배수시설, 임시저류지를 설치하는 방안도 고려해 볼 만 하다.

제주특별자치도 수자원관리종합계획(2018)에 따르면, 농업용수 통합광역화사업 계획을 검토한 결과로 광역화사업 계획은 권역별로 수립되어 지속적으로 발생되는 용수 공급 불균형 문제에 적절한 대응이 어렵다는 점과 수원개발은 지하수에 주로 의존하고 대체수자원 활용 계획이 미흡하다는 점이다. 이러한 문제점들을 해결하기 위한 개선방안으로는 전천후 영농을 위해서 마을별 농업용수 공급시설을 관로로 연

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

계하는 광역화 2단계 사업추진을 제시하였고, 지역별로 비닐하우스 빗물을 집수하여 저장 할 수 있는 5,000㎥이상의 대용량 저류조를 설치하여 농업용수 광역 공급관로에 연계 공급하는 방법을 제안하였으며, 월정리와 판포리 하수처리장에 5,000㎥/일 규모의 막여과를 이용한 고도처리시설이 설치되어 있으므로 하수처리 방류수를 활용하는 방안도 제시하였다.

또한, 빗물이용시설, 하수처리수, 용천수 등을 활용한 공급가능량 재산정 필요성과 대형저수조를 활용한 용수 확보 및 대체수자원 활용, 농업용수 관수방법을 점적관수로 적용하는 방법, 기후변화에 따른 가뭄에 대응력이 강한 품종을 연구하여 재배작물을 개선하는 방법, 작물특성에 따라 용수공급시기를 다르게 하는 블록형 순환공급 방안을 제시하고 있다.

지속적으로 발생되는 용수공급 불균형 문제를 해소하기 위하여 마을별 농업용수 공급시설을 관로로 연계하는 방안은 수원이 풍부한 마을 및 수리계의 협조와 동의가 전제되어야 하므로 물이 풍족한 권역과 물이 부족한 권역 간의 물이용 갈등을 야기 할 수 있으며, 물이 풍부한 권역의 저수조가 물이 부족한 권역의 저수조보다 높게 위치하고 있어야 수두차에 의한 용수공급이 가능하고, 반대의 경우에는 양수펌프를 이용한 가압장을 설치하여 용수공급을 해야 하므로 경제성 측면에서 불리한 점이 있다. 따라서, 이번 농업용수 통합광역화사업에서 제외된 사설관정의 정확한 실태 파악을 통해 연계가능 여부를 조사하여, 추가적인 계획수립과 시설확충으로 우선은 권역별 통합 급수체계를 갖추는 것이 필요하다고 판단된다.

빗물이용시설 적정규모 산정방안 연구(제주연구원, 2018)에 따르면, 의귀지역에 30개소, 위미지역에 31개소의 빗물이용시설이 설치되어 있으며, 빗물 저류시설 규모는 농가 평균 137.7㎥이고, 집수면적은 하우스면적의 72.5 ~79.5% 수준으로 조사되었다. 따라서, 5,000㎥이상의 대용량 저류조에 빗물을 집수하기 위해서는 대규모의 비닐하우스 단지가 필요하고, 저류조 높이를 3m라고 가정하였을 경우에는 2,500㎡의 부지가 필요하다. 또한, 강우량과 강우빈도의 계절적 변동성과 빗물에 포함된 낙엽, 분진, 이물질에 의한 수질 확보의 불확실성으로 광역 공급관로에 연계하는 것은 안정적인 용수공급과 적정 수질확보 측면에서 불리하다고 판단된다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

1.2 농업용 저수지를 이용한 용수공급

1.2.1 농업용 저수지 개발 현황

2018년도 기준으로 제주도내에 농업용수 공급에 이용되는 저수지는 총 4개소로 성읍저수지, 용수저수지, 수산저수지, 광령저수지가 있으며, 성읍저수지는 주수원공으로 이용되고, 나머지 3개 저수지는 한발대비 및 보조수원공으로 활용되고 있다.

또한, 농촌용수개발사업으로 시행하는 옹포지구는 2018년 완공하고, 2019년도에 시범운영 중이며, 함덕지구 및 서림지구는 2019년 이후 완공이 되면 농업용수를 공급할 계획이다.

그림 5.8은 제주도내의 농업용 저수지와 농촌용수개발사업지구의 위치도이다.

Fig. 5.8 The location of agricultural reservoir in Jeju-do

1.2.2 저수지를 이용한 농업용수 공급

1957~1965년에 제주도에서 개발한 농업용 저수지인 용수저수지, 수산저수지, 광령저수지는 상시 유출수가 저수지로 유입되지 않아, 녹조가 빈번하게 발생하여 스플링클러가 막히는 문제점으로 시설 이용시 많은 지장이 있는 실정이다.

한편, 표 5.5와 같이 제주특별자치도 농촌용수 10개년 계획(농림축산식품부, 2002)에 의하면, 제주도 대·중규모 지표수 15개소, 급수면적 2,652ha를 개발하고, 소규모 지표수 9개소, 급수면적 370ha를 개발하며, 하수처리장 방류수 및 용천수를 이용한

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

양수저류사업지 9개소, 급수면적 1,360ha, 수계연결사업 1개소, 수리시설 개보수사업 9개소가 계획되었다.

Table 5.5 Plan of agricultural water in Jeju-do(농림축산식품부, 2002)

구 분		개소	유역면적 (ha)	급수면적 (ha)	유효저수량 (천㎥)	사업비 (백만원)	비고
계		43	34,786	5,395	8,738	416,371	
대규모	소 계	15	30,613	2,652	7,785	275,500	
	제주시	6	7,554	1,152	3,529	118,700	
	서귀포시	9	23,059	1,500	4,256	156,800	
소규모	서귀포시	9	4,173	370	953	38,900	
양수저류	소 계	9		1,360		83,820	용천수 및 하수처리장 재활용
	제주시	4		680		41,530	
	서귀포시	5		680		42,290	
수계연결	서귀포시	1		60		4,800	대평
개보수	소 계	9		953		13,351	
	제주시	5		181		6,411	
	서귀포시	4		772		6,940	

표 5.6은 농촌용수 10개년 계획에 따라, 한국농어촌공사에서 현재까지 농촌용수개발사업으로 추진하고 있는 함덕지구, 성읍지구, 옹포지구, 서림지구 사업현황이다.

함덕지구는 일 공급량 2,100㎥으로, 수혜면적 800ha에 용수를 공급할 계획이며, 성읍지구는 일 공급량 2,600㎥으로, 수혜면적 400ha에 용수를 급수하고, 옹포지구는 일 공급량 6,100㎥으로 수혜면적 600ha를, 서림지구는 일 공급량 15,000㎥으로 수혜면적 1,521ha에 용수를 공급할 계획이다.

제주도는 투수성이 높은 지질특성으로 인해 평상시 9개의 상시하천을 제외한 대부분의 하천은 건천이며, 지속적인 유출 발생은 없는 실정이다. 따라서, 제주도의 하천은 40~60mm이상의 강우시 에만 유출이 발생하기 때문에 우리나라 내륙부와 같이 지표수를 이용한 저수지 개발방식에는 한계가 있다. 이와 같은 제주도의 특이한 수문특성에 의해 지표수를 개발·이용하기에는 매우 불리한 여건이다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Table 5.6 Development project of agricultural water in Jeju-do(한국농어촌공사, 2018)

지구별	저 수 용 량						수혜면적 (ha)
	계	저수지(천㎥)		공급량 (㎥/day)	관정 (㎥/day)	저류지 (천㎥)	
		총	유효				
계	2,969	2,099	1,426	25,800	800	1,091	3,321
함덕지구	784	849	784	2,100	800	798	800
성읍지구	1,250	1,250	1,250	2,600			400
옹포지구	642		636	6,100		6	600
서림지구	293			15,000		293	1,521

표 5.7은 우리나라의 내륙부와 제주도의 농업용저수지의 형식과 위치선정 등의 특성을 비교하였다. 내륙부의 저수지는 주로 좁은 계곡에 천연재료인 암석, 자갈, 토사 등을 쌓아 올려서 제당을 축조하지만, 제주도는 지표수를 모을 수 있는 위치에 기반암 터파기를 하고 침투손실 방지 및 유효저수량 확보를 위하여 저수지 바닥과 경사면에 차수재를 포설해서 저수지를 조성 한다. 또한, 강우로 인한 유출발생시 하천수위를 상승시켜서 지표수를 저수지로 유입하기 위한 보와 상류하천의 퇴적물, 부유물질, 쓰레기 등이 저수지에 유입되는 것을 방지하기 위하여 침전 및 여과 기능을 위한 침전지가 필요하다.

제주도 농업용수저수지 개발을 위해서는 관측자료 기반의 제주형 홍수량, 투수계수 산정 등 저수지 설계기준 개정이 필요하며, 돌발성 홍수유출, 유달시간 등을 고려하여 50만톤 내외의 소규모 저수지 위주의 개발이 효과적이라고 판단된다.

Table 5.7 Comparison of agricultural reservoir for inland and Jeju-do

구 분	내륙부	제주도
저수지 형식	필댐	콘크리트댐
위치선정	계곡, 하천	하천 인근
급수대상지	논	밭, 과수원
기초처리	Curtain grouting, Consolidation grouting	차수재 포설
급수방식	개수로	개수로, 관수로
저수지 조성방법	암석, 자갈, 토사 축조	기반암 터파기
부속시설	물넘이, 정수지	보, 침전지

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

1.3 상시하천수를 이용한 용수공급

1.3.1 상시하천 분포 현황과 유량

제주특별자치도에는 지방하천과 소하천을 포함하여 총 143개의 하천이 분포하고 있으나, 기저유출 형태로 상시 흐르는 하천은 9개이며, 제주시에 위치한 외도천, 옹포천과 서귀포시에 위치한 창고천, 중문천, 예래천, 강정천, 악근천, 연외천, 동홍천이 있다. 이 중 외도천과 강정천은 1970년대부터 상수원으로 개발되어 이용되고 있으며, 이외 상시 하천수는 바다로 유출되고 있는 실정이다. 그림 5.9는 제주도 상시하천과 하천분포를 나타내었다.

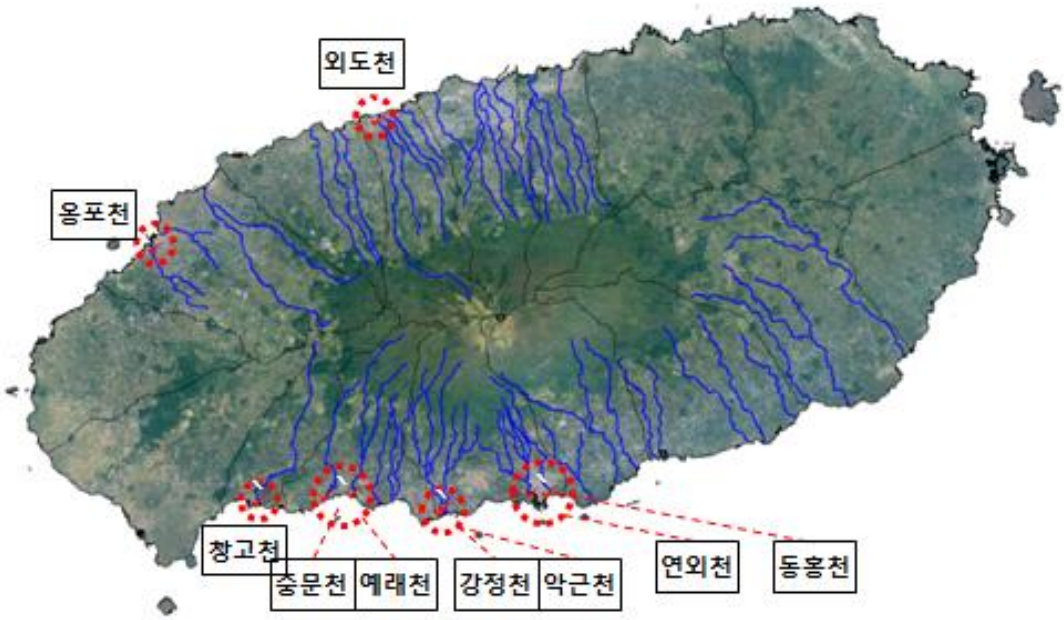


Fig. 5.9 The map of regular stream in Jeju-do(제주대학교, 2017)

제주도내 하천에서 유출되는 기저유출량은 전체 용천수의 용출량에서 차지하는 비율이 크며, 지점별 수량도 많아서 농업용수로 공급이 가능한 것으로 판단된다.

제주형 물순환 해석 및 수자원 관리기반 구축연구(제주수자원연구단, 2015)에서 제주시 지역에 위치하는 외도천은 연구기간동안 0.11~0.62㎥/sec의 유량이 산출되고, 외도 수원지의 생활용수로 활용되고 있으며, 옹포천의 유량은 0.01~0.124㎥/sec로 조사되었다. 또한, 서귀포시 지역은 창고천이 0.03~0.74㎥/sec, 예래천이 0.03~0.55㎥/sec, 중문천이 0.17~0.68㎥/sec, 강정천이 0.10~2.13㎥/sec, 악근천이 0.16~0.52㎥/sec, 연외천이 0.10~2.43㎥/sec, 동홍천이 0.03~2.00㎥/sec로 관측되었고,

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

창고천을 제외한 나머지 6개 하천의 경우에는 강우량이 많은 7~9월에 유량이 높게 나타나고 있으며, 10~2월까지 유량이 감소하다가 3월부터 다시 증가하는 경향을 나타내는 것으로 확인 되었다.

1.3.2 상시하천수를 이용한 농업용수 공급

제주도의 9개 상시하천 중 제주시 외도천은 외도수원지의 생활용수로 활용되고 있으며, 옹포천은 2005~2018년까지 농촌용수개발사업이 시행되었다. 서귀포시 연외천과 동홍천은 시가지에 위치하고 있으며, 중문천과 창고천은 유출수위 하강에 따른 안정적인 용수 공급이 불가능 하다.

용천수를 활용한 농업용수 공급방안 연구(제주대학교, 2017)에 따르면, 강정천은 상류부 강정 수원지에서 상수원으로 사용되고 있으며, 하류부에는 은어보호구역으로 농업용수로 공급하기에는 부적합하기 때문에 제외하고, 악근천과 예래천을 조사대상으로 선정하였다. 악근천은 상류부의 소왕물(아끈내)을 비롯하여 미확인된 용천수 등이 유하하여 형성되는 것으로 판단하였으며, 관측지점은 해안 출구 지점으로부터 약 16m지점으로 하상이 고르고 정확한 용출량 산정이 가능한 악근교 하류 부분으로 선정하여 조사하였다. 한편, 예래천 관측지점은 해안 출구 지점으로부터 약 270m지점으로 상류부에서 용출되는 조명물, 남바치물 및 확인되지 않은 용천수 등이 유하하여 형성되는 것으로 판단하였으며, 색달하수처리장 내에 위치하고 있는 것으로 조사되었다.

제주대학교는 2017년 5월부터 10월까지 총 15회 현장관측을 통해, 악근천 하류지점에서 관측한 데이터를 이용하여 유출량을 산정한 결과, 최대유출량은 113,389.2㎥/day, 최소유출량은 1,043.6㎥/day, 평균유출량은 8,130.5㎥/day으로 산정되었고, 2017년 6월부터 8월까지 예래천 색달정수장 관측 결과는 최대유출량은 3,001.6㎥/day, 최소유출량은 2,114.4㎥/day, 평균유출량은 2,583.1㎥/day으로 나타났으며, 그 내용을 정리하면 표 5.8과 같다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Table 5.8 Result about outflow of regular stream in Jeju-do(제주대학교, 2017)

구 분	관측기간	유출량(㎥/day)		
		maximum	minimum	average
악근천	2017.5.~2017.10.	113,389.2	1,043.6	8,130.5
예래천	2017.6.~2017.8.	3,001.6	2,114.4	2,583.1

또한, 농업용수로 활용 가능성을 파악하기 위하여 2017년 6월부터 10월까지 총 14회 수질을 측정한 결과, 전기전도도(EC), 용존산소량(DO), 수소이온농도(pH)는 표 5.9와 같이 나타났다.

Table 5.9 Result about water quality of regular stream in Jeju-do(제주대학교, 2017)

구 분	전기전도도(ms/cm)			용존산소량(DO)			수소이온농도(pH)		
	최소	최대	평균	최소	최대	평균	최소	최대	평균
악근천	67.0	101.0	78.0	8.4	10.0	9.1	7.2	8.0	7.4
예래천	163.0	254.0	218.4	6.5	10.0	8.4	7.2	8.3	7.8

제주대학교는 상시하천을 농업용수로 활용하기 위해서는 집수정, 저수조 등 취수시설 설치가 필요하다고 판단하였으며, 국토의계획 및 이용에관한 법률, 하천법, 농지법, 도로법, 문화재보호법 등에 따른 점사용허가 사항 및 지장물, 주변여건, 용지확보 가능성 등을 고려한 결과, 악근천이 농업용수로 활용 가능성이 있는 것으로 판단하고 있다.

이상과 같이 악근천은 지형여건, 유출량, 농업용수 수질기준, 개발여건 등을 분석한 결과, 통합 광역화사업의 네 번째 D 유형과 같이 하천수를 광역저수조에 임시 저류한 후 농지에 농업용수를 공급하는 방안이 적합 한 것으로 판단된다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

1.4 용천수를 활용한 용수공급

1.4.1 용천수 분포 현황

제주특별자치도 용천수 관리계획(2016)에 의하면 표 5.18과 같이 총 1,025개소의 용천수가 분포되어 있으며, 위치확인이 어려운 94개소와 매립 또는 멸실 된 270개소를 제외하고 현존하는 용천수는 661개소로 조사되었다(그림 5.10).

제주시의 용천수는 표 5.10과 같이 전체 615개소 중 위치확인이 가능한 곳은 395개소이며, 서귀포시는 전체 410개소 중 위치확인이 가능한 곳은 266개소로, 제주시가 서귀포시보다 현존 하는 용천수는 129개소 많은 것으로 나타났다.

제주시에서 위치확인이 가능한 용천수는 동지역이 119개소로 가장 많으며, 애월읍 84개소, 조천읍 61개소, 한림읍 55개소, 구좌읍 50개소, 한경면 26개소의 순이었고, 서귀포시의 위치확인이 가능한 용천수는 동지역이 133개소로 가장 많으며, 안덕면 42개소, 성산읍 30개소, 남원읍 25개소, 대정읍 19개소, 표선면 17개소의 순이었다.

Table 5.10 The result of spring water survey in Jeju-do(제주특별자치도, 2016)

구 분		계		위치확인 (개소)	확인불가 (개소)	매립, 멸실 (개소)
		개소	용출량(㎥/day)			
계		1,025	1,013,494	661	94	270
제주시	소계	615	532,273	395	50	170
	동지역	173	178,778	119	14	40
	구좌읍	99	204,534	50	13	36
	애월읍	117	36,857	84	9	24
	조천읍	90	67,110	61	5	24
	한경면	42	10,576	26	4	12
	한림읍	94	34,417	55	5	34
서귀포시	소계	410	481,222	266	44	100
	동지역	185	408,746	133	11	41
	남원읍	44	21,171	25	7	12
	대정읍	50	4,629	19	9	22
	성산읍	52	30,759	30	11	11
	안덕면	54	10,383	42	3	9
	표선면	25	5,535	17	3	5

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Fig. 5.10 The location of spring water in Jeju-do(제주대학교, 2017)

1.4.2 용천수를 활용한 농업용수 공급

용천수를 활용한 농업용수 공급방안 연구(제주대학교, 2017)에 의하면, 농업용수로 활용이 가능한 제주도내 22개 용천수 중 서귀포 지역에 분포하고 있는 16개 용천수를 대상으로 해안으로 유출되는 속골물, 조이통물, 꿩망물, 선켓내물, 논짓물, 대왕수, 작지물, 하강물의 8개 지점(그림 5.11)에서 농업용수 활용 가능성을 검토한 결과, 농업용수 기준 수질로 부적합한 작지물을 제외한 7개 지점에서 활용가능성이 있는 것으로 표 5.11과 같다.

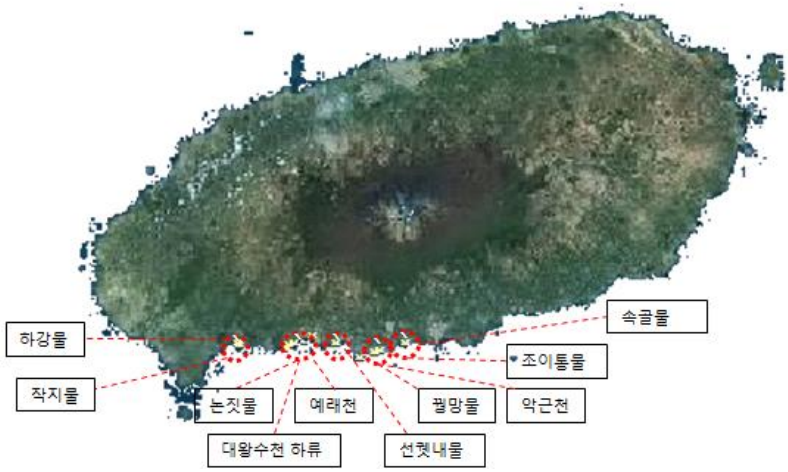


Fig. 5.11 The map of spring water and flowing stream in Jeju-do(제주대학교, 2017)

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Table 5.11 List of spring water in Seogwipo research area

구분	용천수	소재지	지질구조	용 도	용출량(㎥/day)
1	속골물	서호동	용암류경계	미이용	7,398
2	하래비소	서호동	용암류경계	생활용	11,166
3	조이통물	강정동	용암류경계	농업용	15,759
4	꿩망물	강정동	용암류경계	농업용	24.116
7	선궷내물	대포동	용암류경계	생활용	24,530
8	구명물(약천사)	대포동	용암류경계	상수원/생활용	10,220
9	도욕샘1	대포동	용암류경계	생활용	1,938
10	논짓물	하예동	용암류경계	생활용	2,115
11	논짓물(남)	하예동	용암류경계	생활용	1,489
12	논짓물(여)	하예동	용암류경계	생활용	3,251
13	대왕수	상예동	용암류경계	생활용	2,226
14	작지물	화순리	용암류경계	생활용	733
15	엉물	화순리	용암류경계	생활용	1,534
16	하강물	화순리	용암류경계	생활용	2,309

(제주특별자치도 용천수관리계획, 2016)

제주대학교는 용천수 현장조사를 위해 2017년 5월부터 10월까지 초음파 디지털 유속계를 이용하여 총 15회 관측을 실시하고, 속골물 하류지점, 조이통물 하류지점, 꿩망물 하류지점, 선궷내물 하류지점, 논짓물 상류지점, 대왕수 하류지점, 작지물 하류지점, 하강물 하류지점에서 관측한 데이터를 이용하여 유출량을 산정하였다.

논짓물 남탕의 최소유출량은 322.1㎥/day이고, 최대유출량은 1,004.5㎥/day이었으며, 여탕의 최소유출량은 368.7㎥/day, 최대유출량은 1,155.2㎥/day로 측정되었고, 평균값을 적용하여 최소유출량은 345.4㎥/day, 최대유출량은 1,079.9㎥/day이었다. 각 측점별 최소, 최대, 평균유출량 계산값은 표 5.12와 같다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Table 5.12 Result about Outflow of spring water in Jeju-do(제주대학교, 2017)

구 분	관측지점	유출량(㎥/day)		
		최대(maximum)	최소(minimum)	평균(average)
속골물	하류부	32,504.8	6,313.3	18,172.0
조이통물	하류부	18,600.4	11,406.3	14,662.9
꿩망물	하류부	34,702.6	8,402.8	18,690.2
선궷내물	하류부	20,380.3	4,290.8	7,449.9
논짓물	상류부	1,079.9	345.4	712.6
대왕수	하류부	8,918.3	1,063.0	3,243.2
작지물	하류부	9,581.9	7,060.4	8,090.1
하강물	하류부	3,658.3	1,487.6	2,402.0

제주대학교는 용천수를 활용한 농업용수의 이용 가능성을 파악하기 위하여 간이 수질 측정기로 전기전도도(EC), 용존산소량(DO), 수소이온농도(pH)를 2017년 6월부터 10월까지 총 14회 측정하였다. 관측 지점별 전기전도도(EC) 변동폭은 속골물이 86.0~115.0, 조이통물이 70.0~131.0, 꿩망물이 105.0~179.0, 선궷내물이 137.0~177.0, 논짓물이 152.0~216.0, 대왕수가 151.0~293.0, 하강물이 200.0~308.0로 나타났다. 또한, 작지물이 2,200.0~5,300.0로 다른 관측지점보다 높게 나타난 것은 작지물 인근 고래사육장 및 양식장에서 내보내는 방류수의 영향 인 것으로 판단하였다.

또한, 용존산소량(DO) 변동폭은 속골물이 8.9~9.8, 조이통물이 7.6~9.6, 꿩망물이 7.3~9.8, 선궷내물이 7.4~9.9, 논짓물이 8.4~9.8, 대왕수가 7.8~9.5, 하강물이 8.7~10.0, 작지물이 7.8~9.0으로 나타났다.

수소이온농도(pH) 변동폭은 속골물이 7.2~8.3, 조이통물이 7.2~8.0, 꿩망물이 7.2~7.9, 선궷내물이 7.3~8.3, 논짓물이 7.2~8.4, 대왕수가 7.2~8.2, 하강물이 7.6~8.4, 작지물이 7.4~8.3으로 나타났다. 각 지점별 측정값을 정리하면 표 5.13과 같다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Table 5.13 Result about water quality of spring water in Jeju-do(제주대학교, 2017)

구 분	전기전도도(ms/cm)			용존산소량(DO)			수소이온농도(pH)		
	최저	최고	평균	최저	최고	평균	최저	최고	평균
속골물	86.0	115.0	97.7	8.9	9.8	9.3	7.2	8.3	7.7
조이통물	70.0	131.0	86.3	7.6	9.6	8.6	7.2	8.0	7.7
꿩망물	105.0	179.0	127.4	7.3	9.8	8.8	7.2	7.9	7.5
선궷내물	137.0	177.0	153.3	7.4	9.9	8.9	7.3	8.3	7.8
논짓물	152.0	216.0	187.6	8.4	9.5	8.9	7.2	8.4	7.8
대왕수	151.0	293.0	187.0	7.8	9.5	8.7	7.2	8.2	7.8
하강물	200.0	308.0	247.8	8.7	10.0	9.2	7.6	8.4	8.1
작지물	2,200	5,300	3,930	7.8	9.0	8.5	7.4	8.3	7.8

용천수를 농업용수로 활용하기 위해서는 집수정, 저수조 등 취수시설 설치가 필요하다. 국토의계획 및 이용에관한 법률, 하천법, 농지법, 도로법, 문화재보호법 등에 따른 점사용허가 사항 및 지장물, 주변여건, 용지확보 가능성 등을 고려한 결과, 속골물, 조이통물, 꿩망물, 선궷내물, 대왕수의 5개소가 가능할 것으로 보고 있다(제주대학교, 2017).

속골물, 조이통물, 꿩망물, 선궷내물, 논짓물, 대왕수, 하강물은 지형여건, 유출량, 농업용수 수질기준, 개발여건 등을 분석한 결과, 통합 광역화사업의 네 번째 D유형과 같이 용천수를 광역저수조에 임시 저류한 후 농지에 농업용수를 공급하는 것이 적합 할 것으로 판단되며, 제주대학교의 연구기간은 단기간 이었던 점을 감안하여 지속가능한 농업용수 공급을 위한 안정적인 수량과 수질 등급 확인을 위하여 중장기적인 연구조사가 필요 할 것으로 판단된다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

1.5 빗물이용시설을 활용한 용수공급

1.5.1 빗물이용시설 현황

제주특별자치도의 2017년 통계자료에 의하며, 제주도의 빗물이용시설은 총 1,116개소이며, 의무시설은 전체의 3.6%인, 40개소이고, 권장시설은 96.4%인 1,076개소로 나타났다. 표 5.14과 같이 의무시설은 골프장 30개소, 관광사업장 10개소이며, 권장시설은 시설하우스 1,068개소, 개인사업장 8개소로 조사되었다(그림 5.12).

총 저류용량은 4,142천㎥이며, 의무시설은 전체의 96.4%이고, 권장시설은 전체의 3.6%로 나타났다. 골프장이 총 저류용량의 96.1%에 해당하는 3,982천㎥이며, 시설하우스는 총 저류용량의 3.5%에 해당하는 147천㎥으로 조사되었다.

Table 5.14 Status of rainwater utility facilities in Jeju-do

(단위: 개소, 천㎥)

구 분	시설형태	시설현황	저류용량	집수형태
계		1,116	4,142	-
의무시설	소계	40	3,994	사업장부지
	골프장	30	3,982	건축물지붕
	관광사업장	10	12	-
권장시설	소계	1,076	148	시설하우스지붕
	시설하우스	1,068	147	건축물지붕
	개인사업장	8	1	

(빗물이용시설 적정규모 산정방안 연구(제주연구원, 2018))

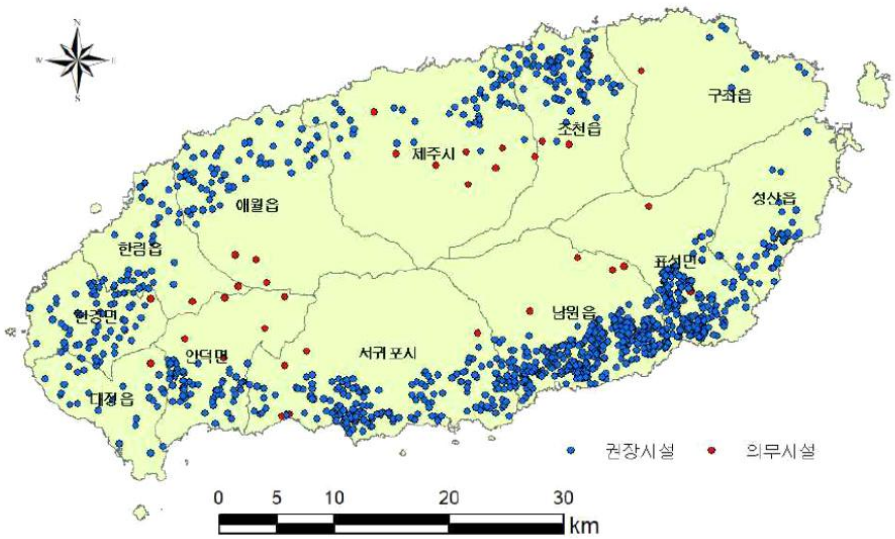


Fig. 5.12 The map of rainwater utility facilities in Jeju-do(제주연구원, 2018)

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

1.5.2 빗물이용시설을 활용한 농업용수 공급

제주도의 빗물이용시설은 제주특별자치도 설치 및 국제자유도시 조성을 위한 특별법 제386조(빗물이용시설 등의 설치·관리 등) 및 제주특별자치도 지하수관리 조례 제57조(빗물이용시설 등의 설치대상)의 규정에 의해 빗물이용시설 설치에 관한 사항 및 대상에 대한 기준을 정하고 있다.

제주특별자치도 지하수관리 조례(2018) 제8장 빗물이용시설 등의 설치 및 관리에 따르면, 농업관련시설은 농어업용 비닐하우스나 온실, 축사, 창고 등 도지사가 빗물이용 시설의 설치가 필요하다고 인정하는 시설이라고 규정하고 있다.

제주도의 재배작물, 작부체계 등을 반영한 농업용수 수요량을 예측한 표 5.2과 같이 2020년 제주도 전체 재배면적 48,421ha 중 감귤재배면적이 38.2%에 해당하는 18,500ha로 추정되고 있고, 한라봉을 비롯한 화훼재배 등을 위하여 비닐하우스, 유리온실 등의 시설재배가 점차 증가하고 있다. 이러한 시설들은 빗물의 땅 속 침투를 차단시키고, 배수로를 통해 하천까지 유달 시간을 단축시켜 직접 유출을 유도하여 지하수 함양을 저해하고 있는 실정이다.

제주도는 2000년부터 지하수 인공함양정 설치제도를 도입하여, 2002년에는 보조금비율을 30%, 2006년에는 70%까지 높였고, 현재는 농어업용 비닐하우스 등 권장대상 시설은 굴착구경 250mm이상의 지하수 인공함양정 시설이나, 기타 빗물이용시설을 설치하도록 하고 있으며, 시설비의 80%까지를 보조하고 있다. 2011년까지 농업용 비닐하우스에 설치된 인공함양시설은 85개소이며 연간 682천㎥를 함양 하도록 설계된 것으로 조사되었다.

제주연구원의 빗물이용시설 적정 규모 산정방안 연구(2018)에 따르면, 연구대상지역인 서귀포시 위미지역과 같이 지하수 이용량은 많지만 농가에 설치된 빗물이용시설수가 적어 빗물 이용률이 낮은 지역이거나, 빗물 이용을 극대화하기 위해서는 빗물이용시설이 설치되지 않은 시설하우스와 연계하는 방안 마련이 필요하다고 하였고, 시설하우스 30개소를 연계하여 대용량 빗물이용시설을 추가할 경우 전체 농업용수 이용량 715,764㎥의 41.3%를 빗물로 공급이 가능하며, 시설하우스 70개소를 연계할 경우에는 총 394,222㎥로 농업용수 이용량의 55.1%를 빗물로 공급이 가능한 것으로 분석하였다.

또한, 제주도는 농업용수 이용량이 많은 4월부터 9월까지 비가 많이 내리므로 빗물이용을 위한 최적의 조건을 갖추고 있으며, 이를 활용한 대용량 빗물이용시설을

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

설치하는 경우 농업용수 이용량의 70%이상을 빗물로 이용이 가능한 것으로 나타남에 따라, 남원읍 등 시설하우스가 밀집된 지역에서는 현재의 빗물이용시설에서 유출되는 빗물을 집수하여 대용량 빗물이용시설을 설치하여 빗물이용을 극대화 할 수 있다고 보았다.

제주도 수자원관리종합계획(제주특별자치도, 2018) 보완계획은 제주형 용수공급시스템에서의 대체수자원 통합운용 강화를 위하여 개선방향으로 농업용 빗물 이용시설의 시설용량을 5천톤급 이상 대형화로 시설하우스 밀집지역에 집중된 빗물이용시설을 그룹화 하여 저류조에 저장했다가 공동으로 활용하는 방안을 제시하였다.

빗물이용시설 적정규모 산정방안 연구(제주연구원, 2018)에 따르면, 의귀지역에 30개소, 위미지역에 31개소의 빗물이용시설이 설치되어 있으며, 빗물 저류시설 규모는 농가 평균 137.7㎥이고, 집수면적은 하우스면적의 72.5 ~79.5% 수준으로 조사되었다. 따라서, 5,000㎥이상의 대용량 저류조에 빗물을 집수하기 위해서는 대규모의 비닐하우스 단지가 필요하고, 저류조 높이를 3m라고 가정하였을 경우에는 2,500㎡의 부지가 필요하다. 또한, 강우량과 강우빈도의 계절적 변동성과 빗물에 포함된 낙엽, 분진, 이물질에 의한 수질 확보의 불확실성으로 광역 공급관로에 연계하는 것은 안정적인 용수공급과 적정 수질확보 측면에서 불리하다고 판단된다.

제주도 지하수 함양량을 높이고, 농업용수 공급의 다원화를 위하여 일정 규모 이상의 대규모 비닐하우스, 온실 등은 지하수함양시설 의무적 설치대상으로 지정하고, 중·소규모 시설에도 규모에 따라 적정 수준의 우수저류조 등 빗물이용시설을 설치할 필요가 있다. 정책의 실행력을 높이기 위하여 제도개선이 필요하며, 관련조례를 정비해야 할 필요가 있다.

비닐하우스에 빗물저류시설을 갖추어 농업용수로 이용하는 경우에는 그 만큼 지하수 취수량을 줄일 수 있어 지하수체의 평형유지에도 도움을 줄 수 있을 것으로 판단된다. 그러나, 빗물이용시설 계획 수립 시 에는 대상지역의 재배작목별 용수수요량과 강우빈도 및 유출량을 정확히 분석하여 효율적이며, 경제적인 규모로 시설을 설치해야 할 것이다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

2. 제주도 통합물관리 방안

2.1 제주도 통합물관리를 위한 물관리체계 개선

2.1.1 제주도 물관리체계 현황

2017년말 기준 제주도의 수자원 총 이용량은 299,013천㎥/년 이고, 지하수가 전체 수자원 이용량의 81.38%인 243,323천㎥/년으로 가장 많으며, 용천수가 14.23%인 42,550천㎥/년, 빗물이용시설과 하수방류수, 담수화, 중수도 등 대체수자원은 9,805천㎥/년으로 3.28%를 차지하고, 어승생수원지는 3,153천㎥/년으로 1.05%이며, 온천은 182천㎥/년으로 0.06%를 차지한다(표 5.15).

Table 5.15 Status of water resources in Jeju-do

수원별		시설수 (개소)	시설용량 (천㎥/년)	이용량 (천㎥/년)	이용량 비율(%)
계		5,981	627,923	299,013	100.00
지하수	지하수	4,818	568,489	243,323	81.38
용천수	상수원	9	47,412	42,550	14.23
	농업용	-	-	-	-
어승생	어승생	1	5,400	3,153	1.05
지표수	저수지	4	-	-	-
대체수자원	빗물(의무)	49	-	7,037	2.35
	빗물(권장)	1,076	-	2,140	0.72
	하수방류수 재이용	2	3,600	199	0.06
	담수화	3	621	269	0.08
	중수도	16	1,536	160	0.05
	소 계	1,146	5,757	9,805	3.28
온천	온 천	3	864	182	0.06

(제주특별자치도 통계연보, 2017)

수자원 중 이용량이 가장 많은 지하수 관정은 표 5.16과 같이 4,818개소이며, 허가량은 1,579.1천㎥/일이고, 농업용 관정은 3,157공으로 전체 개발관정의 65.5%이며, 취수허가량은 899.9천㎥/day로 전체 허가량의 60%에 달하나, 계절별 또는 지역별 강우량 편차가 매우 심하여 농업용수 이용 및 관리에 많은 어려움을 겪고 있는 실정이다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Table 5.16 Status of ground water development by use in Jeju-do

(단위: 공, 천㎥/일)

구 분		계	생활용	농어업용(농업용)	공업용	먹는샘물용
계	공 수	4,818	1,432	3,231(3,157)	148	7
	허가량	1,579.1	642.5	906.0(899.9)	26.8	3.8
공공	공 수	1,389	457	854(817)	3	6
	허가량	1,217.6	503.4	438.9(436)	1.4	3.7
사설	공 수	3,429	975	2,377(2,340)	145	1
	허가량	361.5	139.2	467.0(463)	25.4	0.1

(제주특별자치도 수자원관리종합계획, 2018)

제주도 최초의 수자원관련 계획은 1993년 수립된 제주도 수자원종합개발계획으로 제주도 지하수 부존 및 산출특성에 대한 기본조사와 제주도를 16개 수역으로 설정하고, 수역별로 지하수 지속이용가능량을 산정하고, 광역상수도 기본구상 및 1단계 기본설계를 포함하고 있다. 2004년에 수립된 제주도 지하수관리계획은 지하수자원의 공적 관리 강화를 위하여 용수공급체계의 개선 및 광역화, 지하수 수질관리 및 홍보강화 방안을 제시하였다. 또한, 2017년에는 지하수개발의 계획적·체계적 관리를 반영한 제2차 국제자유도시종합계획 수정계획과 수도정비기본계획, 제주특별자치도 도시기본계획을 수립하였다.

2013년도에 수립된 제주도 수자원관리 종합계획은 제주특별자치도 설치 및 국제자유도시 조성을 위한 특별법 제378조 규정에 의한 수자원분야 최초의 법정계획으로 제주도에 부존하는 수자원을 효율적으로 개발·이용하고 체계적으로 보전·관리하는데 그 목적이 있다. 또한, 제주특별자치도 지하수관리 조례 제3조에 따라 5년마다 타당성을 검토하여 보완하도록 되어있어서 2018년도에 보완계획을 수립하였다.

제주도는 지하수관리조례에 지하수법, 먹는물관리법, 온천법, 물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 법률에서 위임된 사항과 그 시행에 필요한 사항을 정하여 지하수자원을 공공자원으로 보전하고 관리하고 있다.

2019년 제주도의 물관리 조직은 표 5.17과 같이 환경보전국 물정책과가 중추적인 역할을 하고 있으나, 물 관련 업무 중 일부가 타부서에 분산되어 있는 체계이다. 물정책과는 수자원총괄팀, 수자원보전팀, 물산업팀, 수질관리팀으로 구성되어 있으며, 수자원총괄팀은 지하수관리, 상하수도본부 운영지원, 수자원관리종합계획수립, 수자원 통합관리 체계구축업무, 물관련 수량 및 수질 계획 업무, 하천 및 지하수 이용량

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

관측시스템 구축 운영업무를 수행하고, 수자원보전팀은 지하수개발이용허가, 지하수정보 통합관리시스템 유지관리를 수행하며, 물산업팀은 용암해수단지, 온천 인허가, 빗물이용시설 설치 지원업무를 수행하고 있다. 그리고, 수질관리팀은 지하수 수질오염예방 체계 구축, 용천수 이용 신고 및 실태조사 등을 수행하고 있다.

상하수도본부는 상수도부와 하수도부로 구성되어 있으며, 상수도부는 상수도정책시설과, 수질검사실, 상수도생산관리과, 누수방지과로 구성되어 있고, 하수도부는 하수계획과, 하수시설과, 제주하수운영과, 서귀포하수운영과로 이루어져 있다.

재난업무는 도민안전실 재난대응과에서 담당하고 있으며, 자연재난팀, 재난복구팀, 상황경보팀으로 구성되어 있고, 자연재난팀은 풍수해(태풍, 호우, 홍수) 대응계획, 자연재난 응급복구 및 긴급지원계획 수립, 우수저류 설치사업, 재해복구사업, 지방하천정비사업, 소하천정비 종합계획 지원업무를 수행하고 있다. 그리고, 상황경보팀은 재난 예경보시스템 유지관리업무를 수행하고 있다.

농업용수는 농축산식품국 친환경농업정책과 농업기반팀에서 담당하고 있으며, 농업용수 광역화사업, 농업용수 종합계획 수립, 중규모 용수개발사업, 밭기반정비사업, 배수개선사업, 농업용 공공관정 및 농업용 저수지관련 업무를 수행하고 있다.

제주도의 재난에 대한 신속하고 정확한 상황 대처와 주민의 생명과 재산을 보호하기 위하여 제주특별자치도 재난 및 안전관리 조례에 따라, 재난안전대책본부를 운영하고 있다. 재난안전대책본부의 주요 기능은 풍수해 종합대책 수립과 방재인력의 전문화 등 예방위주의 종합적 방재대책 추진 및 재난 예방 응급 복구의 단계별 관리체계 구축이며, 재난 예방사업 및 시설물 유지관리 대책 수립과 신속한 상황전파와 초기대응 등 응급대책 강화이다.

또한, 재난관리 책임기관 간 연계체계 확립을 통한 효율적 재난대책 추진 및 긴급물자의 공급체계 확립과 반복된 재난 방지를 위한 기반조성과 개선방안 도출 등 개선 복구 대책의 확립이며 신속한 복구의사 결정과 피해 재발방지를 위한 개량복구 체계 확립 시행 등 이다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Table 5.17 The present department of water organization in Jeju-do(제주특별자치도, 2019)

실·국·본부		과	팀	주 요 업 무
환경보전국		물정책과	수자원총괄	지하수관리 상하수도본부 운영 지원 수자원관리종합계획 수립 수자원 통합관리 체계구축 업무 물관련 수량, 수질 계획 업무 하천 및 지하수 이용량관측시스템 구축 운영
			수자원보전	지하수개발이용허가 지하수정보 통합관리시스템 유지관리
			물산업	용암해수단지, 온천 인허가 빗물이용시설 설치 지원 업무
			수질관리	지하수 수질오염예방 체계 구축 용천수 이용 신고 및 실태조사
도민안전실		재난대응과	자연재난	풍수해(태풍, 호우, 홍수) 대응계획 자연재난(가뭄, 산불 등) 응급복구 및 긴급 지원계획 수립
			재난복구	우수저류지 설치사업 재해복구사업 지방하천정비사업 소하천정비 종합계획 지원
			상황경보	재난 예경보시스템 유지관리
농축산식품국		친환경농업 정책과	농업기반	농업용수 광역화사업 농업용수 종합계획 수립 중규모 용수개발사업 밭기반정비사업, 배수개선사업 농업용 공공관정 및 농업용 저수지관련 업무
상하수도본부	상수도부	상수도정책 시설과		상수원보호구역 수질관리계획 수립 식수전용 저수지 확충사업 및 취수원개발사업 광역상수도 사업
		수질검사실		상수도 수질검사, 수질측정망 업무
		상수도생산 관리과		어승생정수장, 삼양3수원, 해수담수화사업 농어촌용수개발사업 공공용 지하수관정 연장허가 및 정비업무
		누수방지과		상수도 유수율제고 사업 상수도 관망도 관리시스템 구축
	하수도부	하수계획과		공공하수도 설치사업
		하수시설과		하수관로 정비사업 하수처리장
		제주하수운영과		제주시 하수도 운영
		서귀포하수운영과		서귀포시 하수도 운영

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

재난안전대책본부의 방재체제는 그림 5.13과 같이 도지사는 본부장, 행정부지사는 차장, 도민안전실장은 총괄조정관, 재난수습주무국장은 통제관, 재난대응과장은 상황경보통합상황실장, 재난수습주무과장은 담당관, 13개의 실무반으로 구성되어 있다.

재난안전대책본부 재난 및 사고유형별 재난수습 주무부서는 표 5.18과 같이 정보통신 사고는 미래전략국, 청사사고는 총무과, 경기장 사고는 문화체육대외협력국, 가축질병 및 저수지사고는 농축산식품국, 전력사고는 경제통상일자리국, 감염병 및 보건의료 사고는 보건복지여성국, 수질분야 오염사고는 환경보전국에서 담당하고 있다.

실무반 주요기능은 부록 표 6.1과 같이 상황관리 총괄반은 재난총괄담당 업무를 수행하고, 재난수습 홍보반은 재난대처와 수습 관련 정보업무, 수색구조 구급반은 재난지역 구조 및 구급지원, 시설응급 복구반은 공공시설 복구 및 지원업무를 담당하고 있다. 또한, 실무반의 세부적인 담당업무는 부록 표 6.2와 같다.

기후변화의 영향으로 대형 태풍 및 빈번한 집중호우 발생에 대비하여 자연재난 발생시 신속한 응급대책 마련 및 지원 체계 구축으로 피해를 최소화하기 위하여 태풍, 호우 및 홍수, 건조 및 가뭄에 대비한 재난대응 협업체계는 부록 표 6.3과 같다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

제주특별자치도 재난안전대책본부 방재체제

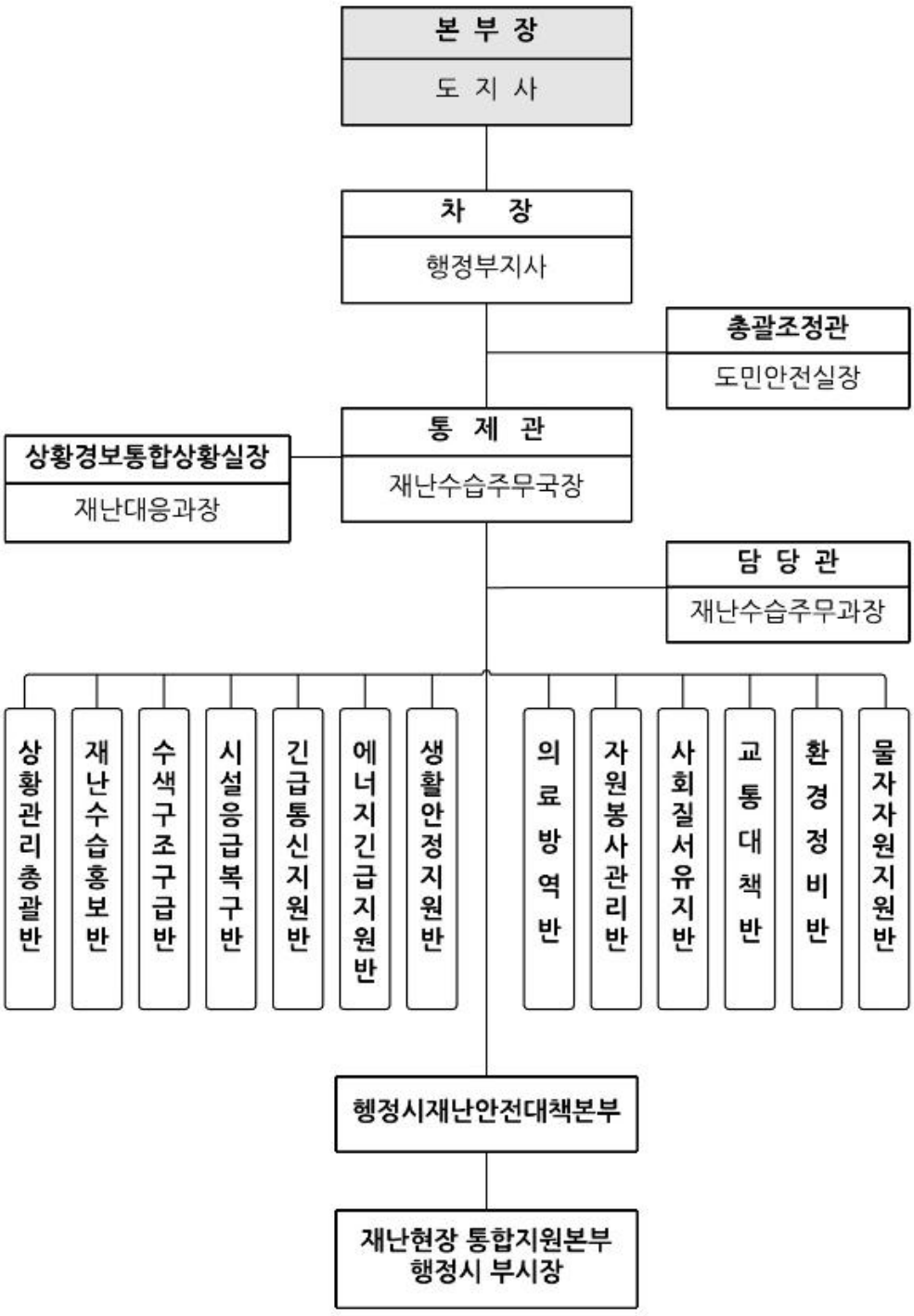


Fig. 5.13 Prevention system of disasters organization in Jeju-do(제주특별자치도, 2019)

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Table 5.18 The office of primary responsibility by disasters and accident

재난관리주관기관	재난 및 사고유형	재난수습주무부서	
		실, 국, 본부	부서
과학기술정보통신부	우주전파 재난 정보통신 사고 위성항법장치전파혼신	미래전략국 미래전략국 미래전략국	정보정책과 정보정책과 정보정책과
행정안전부	정부중요시설(청사)사고		총무과
문화체육관광부	경기장에서 발생한 사고 공연장에서 발생한 사고 유원시설에서 발생한 사고	문화체육대외협력국 문화체육대외협력국 관광국	체육진흥과 문화정책과 관광정책과
농림축산식품부	가축질병 저주지 사고	농축산식품국 농축산식품국	동물방역과 친환경농업정책과
산업통산자원부	가스수급및노출 또는 폭발 원유수급사고 전력사고	경제통상일자리국 경제통상일자리국 경제통상일자리국	미래전략과 미래전략과 미래전략과
보건복지부	감염병 재난 보건의료 사고 사회복지시설 사고	보건복지여성국 보건복지여성국 보건복지여성국	보건건강위생과 보건건강위생과 복지정책과
환경부	수질분야 대규모 환경오염 식용수사고 유해화학물질 유출사고 조류대발생 황사	환경보전국 상하수도본부 환경보전국 환경보전국 환경보전국	생활환경과 상수도부 생활환경과 생활환경과 생활환경과
고용노동부	사업장 대규모 인적사고	경제통상일자리국	경제일자리정책과
국토교통부	도로, 교량사고 건설현장 사고 식용수 사고 육상화물운송사고 교통사고(육상) 항공기사고 항공운송마비및항행장애 다중밀집건축물붕괴사고	도시건설국 도시건설국 상하수도본부 교통항공국 교통항공국 공항확충지원단 공항확충지원단 도시건설국	건설과 건설과 상수도부 교통정책과 교통정책과 공항확충지원과 공항확충지원과 건축지적과
해양수산부	조류대발생(적조) 조수 해양분야환경오염사고 해양선박사고	해양수산국 해양수산국 해양수산국 해양수산국	수산정채과 해양산업과 해양산업과 수산정책과
행정안전부	화재・위험물사고 다중밀집시설대형화재 풍수해 지진, 화산, 낙뢰, 가뭄 해양 발생 유도선 사고	소방안전본부 소방안전본부 도민안전실 도민안전실 해양수산국	방호구조과 방호구조과 재난대응과 재난대응과 해양산업과
금융위원회	금융 전산 및 시설사고	일자리경제통상국	경제정책과
원자력안전위원회	방사능 누출 사고	도민안전실	안전정책과
문화재청	문화재 시설 사고	세계유산본부	세계유산문화재부
산림청	산불, 산사태	환경보전국	산림휴양과

제주특별자치도 재난안전대책본부(2019)

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

2.1.2 제주도 물관리체계 개선 필요성

2019년 6월 시행한 물관리기본법상의 통합물관리는 생활용수, 공업용수, 하천 및 댐의 연계운영으로 치수기능을 수행하는 국토부의 수자원정책국의 수량관리를 환경부로 이관하여 환경부의 수질, 물환경, 수생태계에 포함하는 통합이라고 볼 수 있다. 그러나, 제주도는 연도별, 계절별 및 지역별로 강우량의 편차가 심하여 발생하는 물부족 문제와 재난안전 업무를 상호 연계해야 통합물관리가 이루어 질 수 있을 것이다. 따라서, 유역 통합물관리를 위해서는 농림축산식품부의 농업용수와 행정안전부의 소하천 관리업무까지 포함해야 진정한 통합물관리라고 볼 수 있을 것이다.

기존 개발된 관정은 용수의 안정적 공급과 배분이 원활하도록 광역 급수체계로 전환하고, 관리가 되지 않은 노후화된 사설관정은 정비 또는 폐공처리로 수질오염을 방지해야 한다. 또한, 비닐하우스 밀집지역에 농업용 빗물이용시설 설치사업을 확대 지원하고, 함덕지구 및 서림지구 농촌용수개발 사업과의 연계를 통하여 11개 대권역별 통합물관리 체계를 구축해야 한다.

제주도 농업용수 노후시설의 현대화를 통한 농업용수의 효율적 관리, 수리시설의 규모화 및 체계화, 전문기관의 시설관리를 통한 용수서비스 질 향상을 위하여 농업용수 통합관리가 필요하다. 농업용수를 통합관리하기 위해서는 농업용수 광역화사업 완료 후에, 광역화사업에서 제외된 사설관정까지 포함한 통합적 농업용수 관리망을 재구축하는 것이 중요한 과제이다. 제주도 농업용수 관리일원화에 대한 요구와 공론화가 시작되고 있으나, 이를 구체적으로 실행하는 데에는 충분한 검토와 면밀한 분석을 바탕으로 철저한 준비가 요구되어진다.

제주도는 1970년대부터 지하수 위주의 수자원정책을 추진하여 무분별한 지하수 개발과 오염원 유입에 따른 수량과 수질관리의 어려움에 직면하고 있으며, 기후변화로 인한 기온상승, 가뭄, 해수면 상승 등은 지하수의 지속가능한 개발에 부정적 영향과 위기로 작용하고 있다. 따라서, 선량한 수자원 관리를 위하여 빗물, 용천수, 지표수, 하수방류수 등의 대체수자원을 보다 효율적이고 체계적으로 활용하기 위한 제도개선과 통합물관리 정책에 부합하는 물관리 조직개편이 필요하다고 판단된다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

2.1.3 제주도 물관리제도 개선방안

우리나라는 수자원을 체계적이고 종합적으로 관리하기 위하여 수자원의 조사·계획 및 관리에 관한 법률에 의한 '수자원장기종합계획'과 지하수법에 의한 '지하수관리 기본계획'을 수립하여 시행해야 한다. 제주도는 제주특별자치도 설치 및 국제자유도시 조성을 위한 특별법에 의하여 '수자원관리 종합계획'을 수립·시행하고 있다.

제주도 최초의 수자원관련 계획은 1993년 수립된 제주도 수자원종합개발계획으로 제주도 지하수 부존 및 산출특성에 대한 기본조사와 제주도를 16개 수역으로 설정하고, 수역별로 지하수 지속이용가능량을 산정하고, 광역상수도 기본구상 및 1단계 기본설계를 포함하고 있다. 2004년에 수립된 제주도 지하수관리계획은 지하수자원의 공적 관리 강화를 위하여 용수공급체계의 개선 및 광역화, 지하수 수질관리 및 홍보강화 방안을 제시하였다. 또한, 2017년에는 지하수개발의 계획적·체계적 관리를 반영한 제2차 국제자유도시종합계획 수정계획과 수도정비기본계획, 제주특별자치도 도시기본계획을 수립하였다.

2013년도에 수립된 제주도 수자원관리 종합계획은 제주특별자치도 설치 및 국제자유도시 조성을 위한 특별법 제378조 규정에 의한 수자원분야 최초의 법정계획으로 제주도에 부존하는 수자원을 효율적으로 개발·이용하고 체계적으로 보전·관리하는데 그 목적이 있다. 또한, 제주특별자치도 지하수관리 조례 제3조에 따라 5년마다 타당성을 검토하여 보완하도록 되어있어서 2018년도에 보완계획을 수립하였다.

제주도는 지하수관리조례에 지하수법, 먹는물관리법, 온천법, 물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 법률에서 위임된 사항과 그 시행에 필요한 사항을 정하여 지하수자원을 공공자원으로 체계적이고 합리적으로 보전하고 관리하고 있다.

정부는 하천법, 지하수법, 농어촌정비법, 환경정책기본법, 수도법, 하수도법, 먹는물관리법 등 기존 물관리 관련 개별 법률들 간의 중복성과 상충성을 배제하고, 연계성을 강화하며, 지표수와 지하수 등 물 순환 과정에 있는 모든 형상의 물이 상호 균형을 이루도록 관리하기 위하여 2019년 6월 13일, '물관리기본법'을 시행하였다.

물관리기본법 시행에 따라 국가 물관리 기본방향과 정책은 수량과 수질관리 일원화 및 유역별 통합물관리 이므로, 제주도 통합물관리를 성공적으로 추진하기 위해서는 가칭 "제주특별자치도 통합물관리 및 운영에 관한 조례" 제정으로 제도적 뒷받침이 마련되어야 할 것 이며, 조례의 내용으로 기본계획 수립, 총칙, 위원회 및 조직, 연구 및 자문기구, 예산과 사업추진 등이 포함되어야 할 것이다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

표 5.19는 제주특별자치도 통합물관리 및 운영에 관한 조례(안) 중 통합물관리 위원회 구성(안) 부분을 예시하였다.

Table 5.19 Ordinance of integrated water management in Jeju-do

제주특별자치도 통합물관리 조례(안)
제O장 제주특별자치도 통합물관리 위원회 설치 등
제00조(위원회 설치) ① 도지사는 물관리 관련 시책을 심의·자문하기 위하여 제주특별자치도 통합물관리 위원회를 설치한다.
제00조(위원회의 기능) ① 제주특별자치도 통합물관리 위원회는 다음 각 호의 사항에 대하여 심의·자문한다.
1. 기본계획 수립 및 변경에 관한 사항
2. 제주도내 주요 물 관련 현안사항 논의 및 정책 결정
3. 그 밖에 도지사가 필요하다고 인정하는 사항
제00조(위원회 구성) ① 제주특별자치도 통합물관리 위원회는 위원장 1명을 포함한 15명 이내의 위원으로 구성한다.
② 위원장은 위원 중에서 호선하고, 부위원장은 위원장이 지명한다.
③ 위원은 다음 각 호에 해당하는 사람 중에서 도지사가 위촉한다.
1. 제주특별자치도의회 의원
2. 대학이나 공인된 연구기관에서 물관리 분야의 부교수 이상 또는 이에 상당하는 직에 10년 이상 재직한 사람
3. 물 관련 단체 및 기관 등에 10년 이상 종사한 사람으로 경험이 풍부한 전문가
④ 위촉직 위원의 임기는 2년으로 한다, 다만, 보궐위원의 임기는 전임위원의 남은 기간으로 한다.
⑤ 당연직 위원은 물관리 관련 업무를 담당하는 실·국장이 되고, 당연직 위원의 임기는 해당 직위의 재임기간으로 한다.
⑥ 간사는 물관리 업무를 담당하는 과장으로 한다.
제00조(위원장의 직무) ① 위원장은 위원회를 대표하고, 회의의 의장이 된다.
② 부위원장은 위원장을 보좌하며, 위원장이 부득이한 사유로 그 직무를 수행할 수 없는 경우에는 그 직무를 대행한다.
제00조(회의) ① 위원회의 회의는 정기회와 비정기회로 구분하여 소집한다.
② 정기회는 매년 상반기 및 하반기로 구분하여 2회 개최한다.
③ 비정기회는 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 경우에 소집한다.
1. 도지사 또는 위원장이 필요하다고 인정하는 경우
2. 재적위원 3분의 1 이상의 소집요구가 있는 경우
④ 위원회의 회의는 재적위원 과반수의 출석으로 열리고, 출석위원 과반수의 찬성으로 의결한다.
⑤ 간사는 심의안건 및 회의록 작성·보관, 회의결과 정리·보고 등 위원회 운영과 관련하여 필요한 조치를 하여야한다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

2.1.4 제주도 물관리조직 개편방안

최근 정부 부처들은 제주도의 자연환경 및 지정학적 중요성을 인정하여 세계자연유산본부, 기상과학원, 국가태풍센터, 제주지방기상청, 제주수산과학원, 해양과학기술원, 제주온난화농업연구원 등을 설치·운영하고 있다. 따라서, 제주도 수자원의 중요성 고려하고 물순환 유지와 안전을 위협하는 재난안전에 선제적으로 대응하기 위하여 “제주형 통합물관리” 체계를 구축하고, 통합물관리 시행을 위한 적합한 조직으로 정비 할 필요성이 있다.

현재 제주특별자치도는 환경보전국과 도민안전실, 상하수도본부, 농축산식품국, 제주개발공사에서 물 관련 업무를 분산하여 운영하고 있는 체계이다. 그러나, 정부의 통합물관리 및 수량·수질의 물관리일원화 정책에 상응하는 체계를 갖추기 위해서는 제주도 물관리 조직을 개편하고, 관련 업무를 정비해야 한다.

2019년 6월 13일, 물관리기본법이 본격적으로 시행되고, 환경부 주도의 통합물관리 정책에 부합하는 제주도의 지역 특수성과 물환경 여건을 반영한 조직체계를 갖추어야 정부 정책에 유연하게 대처 할 수 있으며, 제주도 수자원의 효율적 관리와 지속가능한 통합물관리 역할 수행에 선제적 대비가 가능할 것이다.

기존 물 관리업무 부서는 중앙정부 부처의 체계와 밀접하게 연계되어 있으므로, 물 관련 조직을 일괄적으로 통합하는 것은 쉽지 않은 일이며, 단계적으로 통합하여 부서별 업무 혼선을 줄이고, 변화에 적응 할 수 있는 시간을 가질 필요가 있다.

조직정비 기본방향은 물 관리 업무의 효율성을 높이기 위해서 물관리업무를 총괄하는 수자원관리국을 신설하여 분산되어 있는 물 관련 조직을 수자원관리국 산하에 모으고, 물관리기본법 시행에 따른 통합물관리 업무와 환경부 주도의 물관리일원화 정책을 효율적으로 추진하기 위해서 물관리과 신설을 제시하였다. 또한, 기존 도민안전실의 재난대응과 재난복구팀은 재난관리팀과 하천관리팀으로 분리하여, 재난관리팀은 재해복구사업 업무를 수행하고, 하천관리팀은 하천정책 수립 및 하천정비사업 시행을 담당하는 것으로 제시하였다. 상하수도본부는 독립적 업무수행이 가능하고, 비교적 업무분장이 잘 되어 있어서 기존 체계를 유지하는 방향과 수자원관리국에 통합시키는 방향의 두 가지 방안을 제시하였다.

정부는 환경부 주도의 물관리일원화 정책에서 농업용수 통합은 중장기 과제로 남겨 놓은 상태 이므로, 제주도 농업용수의 물관리통합은 정부 정책 시행시기에 맞춰 탄력적으로 운영하기 위하여 현재 조직인 농축산식품국 친환경농업정책과에서 농업

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

용수 관리업무를 운영 할 필요가 있으므로 현재 체계로 운영하는 첫 번째 방안을 제시하였다. 또한, 제주도 농업용수광역화사업이 완료되는 시점에서 농업용수까지 포함한 통합관리에 대한 조직정비가 필요할 것으로 판단하여 수자원관리국에 농업용수과를 포함하는 두 번째 대안을 제시하였다.

이러한 점들을 종합적으로 고려하여 물 관리 조직 개편안은 두 가지 대안을 제시하였으며, 그림 5.14와 표 5.20은 현재 조직과 대안1과 대안2를 비교하여 나타내었다.

Fig. 5.14 Reorganization of the water management departments

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Table 5.20 Comparison of Jeju-do water organization between present and alternative

제주도 물관리 조직(현재)			대안 1			대안 2		
구분	과	팀	구분	과	팀	구분	과	팀
환경보전국	물정책과	수자원총괄	수자원관리국	물정책과	수자원총괄	수자원관리국	물정책과	수자원총괄
		수자원보전			수자원보전			수자원보전
		물산업			수질관리			수질관리
		수질관리		재난대응과	자연재난		재난대응과	자연재난
도민안전실	재난대응과	자연재난			재난관리			재난관리
		재난복구			하천관리			하천관리
		상황경보		물관리과	통합물관리		물관리과	통합물관리
					상하수도			수질검사
					물산업			물산업
상하수도본부 상수도부	상수도정책시설과		상하수도본부 상수도부	상수도정책시설과			상수도과	상수도정책시설
	수질검사실			상수도생산관리과				상수도생산관리
	상수도생산관리과			누수방지과				누수방지
	누수방지과							
상하수도본부 하수도부	하수계획과		상하수도본부 하수도부	하수도정책시설과			하수도과	하수도정책시설
	하수시설과			제주하수운영과				제주하수운영
	제주하수운영과			서귀포하수운영과				서귀포하수운영
	서귀포하수운영과							
농축산식품국	친환경농업정책과	농업기반	농축산식품국	친환경농업정책과	농업기반		농업용수과	농업용수총괄
								기반시설
								용수관리

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

첫 번째 대안은 표 5.21과 같이 현재 환경보전국 물정책과와 도민안전실 재난대응과는 수자원관리국 산하에 통합하여 물정책과, 재난대응과, 물관리과로 재편하고, 상하수도본부는 기존 체제로 유지하는 방안이다.

물정책과는 수자원총괄팀, 수자원보전팀, 수질관리팀의 3개 팀으로 구성하고, 수자원총괄팀은 수자원 업무 총괄, 수자원관리종합계획, 수량 및 수질 계획 등을 담당하며, 수자원보전팀은 지하수개발이용허가, 지하수정보 통합관리시스템 유지관리, 빗물이용시설 설치지원업무를 담당하고, 수질관리팀은 지하수 수질오염예방 체계 구축과 용천수 이용신고 및 실태조사를 수행할 것을 제시하였다.

재난대응과는 자연재난팀, 재난관리팀, 하천관리팀의 3개 팀으로 구성하고, 자연재난팀은 재난업무 총괄, 풍수해 대응계획, 자연재난 응급복구 및 긴급지원계획 수립 업무를 담당하며, 재난관리팀은 우수저류지 설치사업, 재해복구사업, 재난 예경보시스템 유지관리 업무를 담당하고, 하천관리팀은 하천정책 및 관리, 지방하천정비사업, 소하천정비 종합계획 지원업무를 수행할 것을 제시하였다.

물관리과는 통합물관리팀, 상하수도팀, 물산업팀의 3개 팀으로 구성하고, 통합물관리팀은 물관리업무 총괄, 수자원 통합관리 체계구축 업무, 제주도 통합물관리위원회 운영 및 지원 업무를 담당하며, 상하수도팀은 상·하수도 사업계획수립, 상수도 수질검사, 수질측정망 업무를 담당하고, 물산업팀은 용암해수단지, 온천 인허가, 제주개발공사 운영지원 업무를 수행할 것을 제시하였다.

상하수도본부는 상수도부와 하수도부의 2개부로 운영하되, 상수도부는 상수도정책시설과, 상수도생산관리과, 누수방지과의 3개과로 축소하고, 기존의 수질검사실 수질검사 및 수질측정망 업무는 수자원국 물관리과 상하수도팀에 이관 하였다. 또한, 하수도부는 하수시설과, 제주하수운영과, 서귀포하수운영과의 3개과로 축소하고, 기존의 하수계획과의 공공하수도 설치사업 업무는 하수도정책시설과에 이관하였다.

농업용수 관리업무는 현 체계로 농축산식품국 친환경농업정책과 농업기반팀에서 운영하도록 하였으며, 제주개발공사 업무도 기존대로 운영하는 것으로 제시하였다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Table 5.21 The department of water organization in Jeju-do by alternative 1

구 분		과	팀	주 요 업 무
수자원관리국		물정책과	수자원총괄	수자원 업무 총괄 수자원관리종합계획 수립 물관련 수량 및 수질 계획 업무 하천 및 지하수 이용량관측시스템 구축 운영
			수자원보전	지하수개발이용허가 지하수정보 통합관리시스템 유지관리 빗물이용시설 설치 지원 업무
			수질관리	지하수 수질오염예방 체계 구축 용천수 이용 신고 및 실태조사
		재난대응과	자연재난	재난대응과 업무 총괄 풍수해(태풍, 호우, 홍수) 대응계획 자연재난 응급복구 및 긴급지원계획 수립
			재난관리	우수저류지 설치사업 재해복구사업 재난 예경보시스템 유지관리
			하천관리	하천정책 및 관리 업무 지방하천정비사업 소하천정비 종합계획 지원
		물관리과	통합물관리	물관리과 업무 총괄 수자원 통합관리 체계구축 업무 제주도 유역물관리위원회 운영 및 지원
			상하수도	상수도 및 하수도 사업계획 수립 상하수도본부 운영 지원 수질검사 및 수질측정망 업무
			물산업	용암해수단지, 온천 인허가 제주개발공사 운영 지원
상하수도본부	상수도부	상수도정책시설과		상수원보호구역 수질관리계획 수립 식수전용 저수지 확충사업 및 취수원개발사업 광역상수도 사업
		상수도생산관리과		어승생정수장, 삼양3수원, 해수담수화사업 농어촌용수개발사업 공공용 지하수관정 연장허가 및 정비업무
		누수방지과		상수도 유수율 제고 사업 상수도 관망도 관리시스템 구축
	하수도부	하수도정책시설과		공공하수도 설치사업 하수관로 정비사업 및 하수처리장 총괄
		제주하수운영과		제주시 하수도 운영
		서귀포하수운영과		서귀포시 하수도 운영
농축산식품국		친환경농업정책과	농업기반	농업용수 광역화사업 농업용수 종합계획 수립 중규모 용수개발사업 밭기반정비사업, 배수개선사업 농업용 공공관정 및 농업용 저수지관련 업무

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

두 번째 대안은 표 5.22와 같이 현재 환경보전국 물정책과, 도민안전실 재난대응과와 상하수도본부를 모두 포함하여 수자원관리국 산하에 물정책과, 재난대응과, 물관리과, 상수도과, 하수도과, 농업용수과로 재편하는 방안이다.

물관리정책과 및 재난대응과의 주요업무는 첫 번째 대안과 같으나, 물관리과는 통합물관리팀, 수질검사팀, 물산업팀으로 운영할 것을 제시하였다. 첫 번째 대안은 상하수도본부를 유지하는 방안으로 물관리과에 상하수도 사업계획 수립업무와 상하수도본부 관리를 위하여 상하수도팀 운영이 필요 했으나, 두 번째 대안은 상하수도본부가 수자원국에 통합되므로 상하수도팀이 필요하지 않기 때문이다. 또한, 통합물관리를 위하여 관정, 저수지, 생활용수 등에 대한 수질검사 및 수질측정망 업무 증가가 예상되므로 수질검사팀을 신설하였다.

상하수도본부는 상수도부와 하수도부를 수자원관리국 산하에 상수도과와 하수도과로 재편하고, 상수도과는 상수도정책시설팀, 상수도생산관리팀, 누수방지팀의 3개팀과 하수도과는 하수도정책시설팀, 제주하수운영팀, 서귀포하수운영팀의 3개팀으로 운영 할 것을 제시하였다. 또한, 상수도정책시설팀은 상수도 사업계획 수립 업무, 하수도정책시설팀은 하수도 사업계획 수립 업무를 추가하여 계획과 사업시행을 동시에 수행하도록 하였다.

농업용수 관리업무도 농업용수 통합광역화사업이 완료되는 시점에서는 제주도 용도별 수자원을 통합하여 광역화 급수체계 정립이 필요하므로, 수자원관리국으로 일원화하여 농업용수과로 재편하고 농업용수총괄팀, 기반시설팀, 용수관리팀으로 운영하는 것으로 제시하였다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Table 5.22 The department of water organization in Jeju-do by alternative 2

구 분	과	팀	주 요 업 무
수자원관리국	물정책과	수자원총괄	수자원 업무 총괄 수자원관리종합계획 수립 물관련 수량 및 수질 계획 업무 하천 및 지하수 이용량관측시스템 구축 운영
		수자원보전	지하수개발이용허가 지하수정보 통합관리시스템 유지관리 빗물이용시설 설치 지원 업무
		수질관리	지하수 수질오염예방 체계 구축 용천수 이용 신고 및 실태조사
	재난대응과	자연재난	재난대응과 업무 총괄 풍수해(태풍, 호우, 홍수) 대응계획 자연재난 응급복구 및 긴급지원계획 수립
		재난관리	우수저류지 설치사업 재해복구사업 재난 예경보시스템 유지관리
		하천관리	하천정책 및 관리 업무 지방하천정비사업 소하천정비 종합계획 지원
	물관리과	통합물관리	물관리과 업무 총괄 수자원 통합관리 체계구축 업무 제주도 유역물관리위원회 운영 및 지원
		수질검사	상수도 및 농업용수 수질검사 수질측정망 업무
		물산업	용암해수단지, 온천 인허가 제주개발공사 운영 지원
	상수도과	상수도정책시설	상수도 사업계획 수립 상수원보호구역 수질관리계획 수립 식수전용 저수지 확충사업 및 취수원개발사업 광역상수도 사업
		상수도생산관리	어승생정수장, 삼양3수원, 해수담수화사업 농어촌용수개발사업 공공용 지하수관정 연장허가 및 정비업무
		누수방지	상수도 유수율 제고 사업 상수도 관망도 관리시스템 구축
	하수도과	하수도정책시설	하수도 사업계획 수립 공공하수도 설치사업 하수관로 정비사업 및 하수처리장 총괄
		제주하수운영	제주시 하수도 운영
		서귀포하수운영	서귀포시 하수도 운영
	농업용수과	농업용수총괄	농업용수 광역화사업 관리 농업용수 종합계획 수립
		기반시설	중규모 용수개발사업 밭기반정비사업, 배수개선사업
		용수관리	농업용 공공관정 관리업무 농업용 저수지 관리업무

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

2.2 효율적 통합물관리 기반구축을 위한 제주수자원조사연구원 설립

2.2.1 제주도 수자원조사 현황

제주도는 투수성이 높은 지질학적 특성으로 지하수 함양률이 약 45% 정도이며, 제주도 전체 용수의 98%를 지하수에 의존하고 있다. 제주도는 연평균 강수량은 2,061mm이지만, 다공성 현무암이 전체 면적의 90%를 분포하여 집중호우시 단기간 유출이 발생하고, 상시하천 9개소를 제외한 134개의 하천은 평상시에는 유출이 없는 상태이다. 또한, 한라산 정상은 500㎜이상의 집중호우가 빈발하고, 일강우량 극값 200㎜이상의 강우빈도가 많아지고 있어 침수 및 홍수피해가 증가하는 경향을 나타내고 있다.

제주도 하천의 하상은 암반 및 자갈로 구성되어 있으며, 대부분 급경사의 산지형 하천으로 강우 유출시 유속이 빨라 난류가 급격하게 형성되고, 유달시간이 짧아서 내륙지역의 유량관측 방법을 그대로 적용하는 것은 어렵고 불리한 여건이다.

그림 5.15는 기관별 제주도 물수지 분석을 나타내었다. 물수지 분석 결과 기관별 차이가 큰 이유는 각 기관별 조사기간이 다르고, 직접유출량 관측자료가 없기 때문에 발생하는 문제점으로 파악된다(제주대학교, 2019).

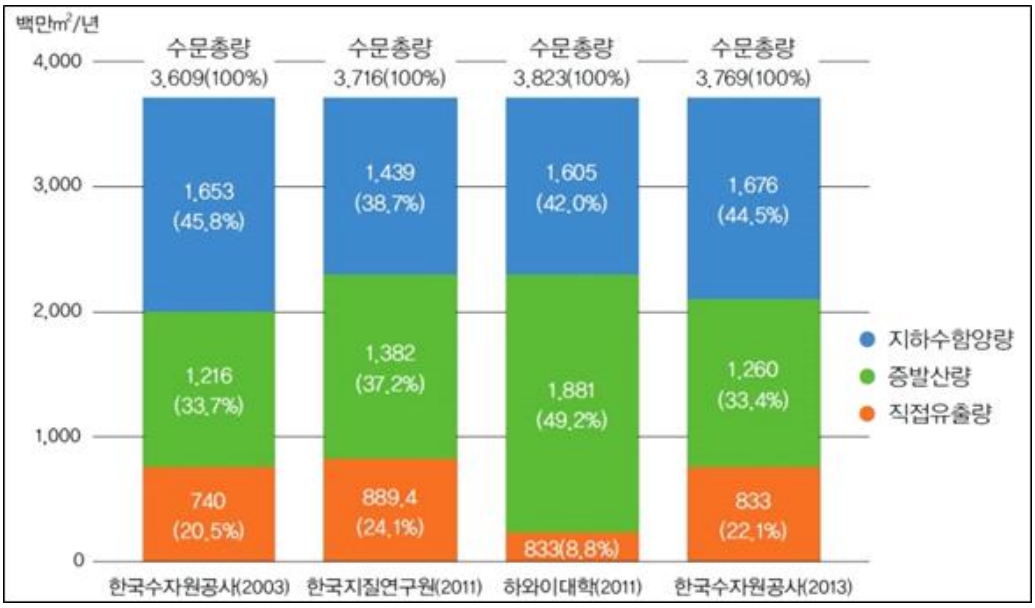


Fig. 5.15 The water budget analysis in Jeju-do(제주대학교, 2019)

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

우리나라 수자원관리는 정부 수립이후 현재까지 4대강유역을 중심으로 정책수립, 하천관리, 하천조사가 수행되어 왔으며, 제주권역은 국가관리 유역 중 영산강·섬진강 유역에 편입되어 관리되고 있다. 제주권역은 영산강·섬진강 유역과는 매우 다른 화산섬의 특수성과 수문지질학적 특성을 가지고 있으나, 하천법에 따른 내륙지역 기준과 수문모형 결과에 의하여 제주도 유역종합치수계획 및 하천정비기본계획 등의 치수계획이 수립되어 현장 여건에 맞지 않는 계획이 수립되는 문제점이 있다. 또한, 제주도 실정에 적합한 기준수립과 시행을 권고하고 있으나, 국가의 재정 지원과 전문적인 조사연구조직이 없는 상태에서 기준정립은 매우 어려운 실정이다.

하천법에서는 하천의 수위, 유량, 조도계수 등 유역 및 수문조사의 실시와 수문조사망 구축 등을 시행하도록 제시하고 있다. 그러나, 제주도 하천은 여전히 대부분 미계측 상태로 남아있다. 현재 제주도의 강우량 관측은 우리나라 내륙지역에 비해 비교적 관측소의 밀도는 높은 편이나, 직접유출량은 제주도의 수문 및 지질 특성으로 관측이 어려워 NRCS모형 등 이론식을 그대로 적용하고 있고, 하천의 유출 특성을 고려하지 않은 수치모형에 근거하여 직접유출량을 산정하고 있는 실정이다.

제주도의 증발산에 대한 연구는 거의 이루어지지 않았으며, 제주권역의 특성상 해안지역 및 중산간, 한라산 부근에 대한 실측 자료를 바탕으로 합리적인 증발산값을 도출해야 한다. 또한, 제주도는 국가하천의 부재로 국가차원의 수문조사와 지원이 제대로 이루어지지 않고 있으며, 국가수자원종합관리시스템(WAMIS)과 하천관리 지리정보시스템(RIMGIS), 물환경정보시스템에도 제주도 관련 조사자료는 미흡한 상태이다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

2.2.2 제주도 수자원조사연구 필요성

제주특별자치도 수자원관리종합계획(2018)에 따르면, 제주도 지하수 특성 파악 및 정책의 방향설정을 위해 필요한 기초연구 분야와 응용연구 분야를 선정하여 중·장기 과제로 구분하여 시행할 필요가 있다고 판단하여, 장기과제로는 지속이용가능량 산정을 위한 제주형 수문해석모형 개발연구와 제주도 지하수 최적관리 모델 개발을 제시하였고, 수질관리 및 오염경로 파악 연구, 염지하수 최적관리 및 해안대수층 해수침투 저감방지 방안에 관한 연구도 제안하였다.

또한, 대수층 분류와 수리특성 파악 및 지하수부존특성 파악 등을 위한 조사·연구, 합리적인 지하수 이용량 산정 및 이용패턴에 영향을 미치는 요인 분석, 수위·수질자료의 상관분석을 위한 수리지구화학적 개념모델 및 처리기법 개발, 지하수위와 수질자료 등을 이용한 수위변동과 수질변화 예측, 하수재처리수가 토양과 농작물에 미치는 영향에 대한 연구도 수행되어야 할 연구과제로 제시하였다.

제주도는 영산강·섬진강유역과는 전혀 다른 환경과 지역 특성을 나타내고 있으므로, 영산강·섬진강유역과는 다른 별도의 독립적인 유역으로 설정 할 필요가 있다고 판단되며, 제주도의 특수성과 수문지질 특성을 충분히 반영할 수 있도록 체계적이며 지속적인 조사와 연구기반을 구축해야 할 필요성이 있다.

제주특별자치도는 2019년 10월 5일에 지하수관리 조례 개정안에 지하수의 공공적 관리를 위한 전문연구기관인 '제주지하수연구센터' 설치·운영 근거를 마련하고, 지하수 보전관리를 위한 조사·연구 및 정책개발, 지하수관련 연구역량 강화를 위하여 노력하고 있다.

따라서, 현재 제주도에는 가뭄 및 홍수 등 자연재난 대책에 이용할 수 있는 신뢰성 있는 수문자료, 유량자료 등이 매우 부족한 상태이므로, 제주도 통합물관리를 효율적이고 성공적으로 수행해 나가기 위해서는 수문학적, 수리학적, 지질학적, 환경학적 관측 및 조사·연구를 전문적으로 수행할 수 있는 가칭 '제주수자원조사연구원' 설립이 필요한 시점이다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

2.2.3 제주수자원조사연구원 설립방안

제주도 수자원의 효율적 관리·이용, 가치제고를 위한 장기계획의 기본은 지속적이고 신뢰성 있는 자료의 축적이다. 이렇게 축적된 자료들은 수자원관련 계획수립에 있어 가장 기본적이며 필수적인 요소라고 할 수 있다. 또한, 수자원 정책수립에 있어 가장 중요한 의사결정 수단이 될 것이다.

기존의 단기적인 연구 위주에서 벗어나 장기적이고 지속성 있는 연구수행 체계로 전환이 필요하며, 국가 및 제주도 지원 연구사업을 발굴하여 체계적인 기초자료 구축과 이를 활용하여 수자원의 확보, 환경영향평가, 생태환경의 보전 등 실용적이고 효용성 있는 기술자료 확보가 필요하다.

이러한 기초자료조사 및 연구업무를 원활히 수행하기 위하여 필요한 가칭 '제주수자원조사연구원'의 조직도를 그림 5.15와 같이 나타내었다. 연구원은 총 5개 부서로써 기획관리실, 수문조사실, 지하수조사실, 하천조사실, 용천수조사실로 운영하는 것으로 구성하였다.

Fig. 5.16 The organization of Jeju-do hydrological survey institute

제주수자원조사연구원은 표 5.23과 같이 조사인력을 갖추어 조사연구업무를 수행하는 것으로 제안하였다. 연구원장은 연구원을 대표하고, 연구업무를 총괄하며, 기획관리실은 연구개발 전략 수립, 연구과제 기획과 선정 및 관리·평가, 경영목표 수립, 인사·조직·예산·회계 등 경영지원 업무를 수행하고, 수문조사실은 제주형 수문해석 모델 개발, 홍수위·조도계수 등 수문조사망 구축 등 수문조사업무를 수행하며, 지하수조사실은 지하수위 관측, 지하수 취수량 및 이수량 측정, 사설관정

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

및 폐공현황 실태조사, 제주형 지하수관리 모델 개발 업무를 추진한다. 그리고, 하천조사실은 상시하천 수위 및 유량조사, 강우시 하천 유출량 조사, 하천수질 및 오염원조사, 하천관리 최적화 모델 개발 업무를 맡고, 용천수조사실은 용천수 유출량조사 및 수질 측정, 용천수 복원 방안 및 오염원 조사, 용천수의 지속가능한 활용 방안 연구업무를 수행하는 것을 제안하였다.

또한, 지구온난화 등으로 인한 기후변화 및 가뭄, 집중호우, 지진 등 자연재해를 예방하기 위하여 기초적인 수문조사 실시와 '제주형 홍수재해 예방용 저류지의 효과분석 및 평가와 운영·관리 매뉴얼' 개발을 위한 강우-유출 관련 인프라 구축도 필요하다고 판단된다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Table 5.23 The main business of Jeju-do hydrological survey institute

구 분	인 력	연구분야	비 고
원 장 실	연구원장	연구원 업무 총괄	
기획관리실	기획관리실장 연구위원 책임연구원 연구원 행정직	연구개발(R&D) 전략 수립 연구과제 기획, 선정, 관리 및 평가 경영목표 및 대외협력 업무 인사, 조직, 예산, 회계, 재무 총무, 복지후생 등 경영지원	
수문조사실	선임연구위원 연구위원 책임연구원 연구원	제주형 수문해석 모델 개발 홍수위, 조도계수 등 수문조사망 구축 토양수분량 및 증발산량 조사 빗물이용시설의 적정성 분석	
지하수조사실	선임연구위원 연구위원 책임연구원 연구원 위촉연구원	지하수위 관측 지하수 취수량 및 이용량 측정 사설관정 및 폐공현황 실태조사 염지하수 관리 및 해수침투 저감방안 연구 제주형 지하수관리 모델 개발	
하천조사실	선임연구위원 연구위원 책임연구원 연구원	상시하천 수위 및 유량조사 강우시 하천 유출량 조사 하천수질 및 오염원 조사 하천관리 최적화 모델 개발	
용천수조사실	선임연구위원 연구위원 책임연구원 연구원	용천수 유출량 조사 및 수질 측정 용천수 복원 방안 및 오염원 조사 용천수의 지속가능한 활용방안 연구	

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Ⅴ. 결 론

기후변화에 의한 제주도 가뭄발생 현황과 누가표준강수지수에 의한 지역별 가뭄특성을 분석하고 농업용수의 수요·예측을 검토하여 효율적인 농업용수 공급방안을 제시하였다. 또한, 우리나라 물관리기본법 시행에 따른 물관리 일원화정책에 부합하는 제주도 통합물관리 방안의 일환으로 물관리체계 개선 및 제도개선방안은 다음과 같다.

1) 제주도의 밭작물은 기상학적, 농업적가뭄에 직접 노출되어 가뭄피해가 자주 발생하고 있으며, 이러한 결과는 우기와 여름철에 강우가 집중되어 연평균강수량은 증가하나, 20일 이상의 무강우 일수가 매년 지속적으로 발생하기 때문인 것으로 판단된다.

2) 제주도 4개 기상대의 1986~2015년 관측자료를 표준강수지수(SPI 6, SPI 12) 분석결과, 서귀포와 고산이 가뭄이 심했고, 제주와 성산은 약한 것으로 나타났으며, 가뭄변화 추세는 제주와 서귀포는 가뭄이 심해지는 경향성을 보였고, 고산과 성산은 가뭄이 약해지는 경향성이 나타났다.

3) 제주도 지역별 가뭄특성 분석을 위하여 4개 기상대의 1961~2015년까지 표준강수지수 분석결과와 가뭄심도, 가뭄지속기간을 변수로 넣어 인자분석 후 주성분의 수를 결정하는 방법인 K-means 군집분석으로 총 7단계 분석을 수행하여 제주와 고산, 서귀포와 성산이 가뭄특성이 비슷한 유형으로 분석 되었다.

4) 제주도 농업용수 공급 불균형 해소와 가뭄 예방 강화를 위한 농업용수 통합광역화사업은 급수체계 전환으로 효율성 극대화, 용수공급관리의 과학화·전문화, 사업 편입토지의 원만한 보상협의, 기설 용수관로의 심각한 누수방지를 위한 감압시설 설치, 사업구역에서 제외된 사설관정의 정확한 실태파악과 연계가능성 등을 종합적으로 검토하여 시설확충 및 권역별 통합급수체계 구축이 필요하다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

5) 제주도는 투수성이 높은 지질특성과 실제홍수량과 설계홍수량의 차이가 심하며, 투수성 지반 보강을 위한 차수재, 기반 암 터파기 등으로 경제성이 떨어지는 한계점을 가지고 있다. 제주도 농업용저수지 개발을 위해서는 관측자료 기반의 제주형 홍수량, 투수계수 산정 등 저수지 설계기준 개정이 필요하며, 돌발성 홍수유출, 유달시간 등을 고려하여 50만톤 내외의 소규모 저수지 위주의 개발이 효과적이다.

6) 최근 농업용수로 활용하기 위한 상시하천수의 유량 및 수질을 현장에서 조사한 결과 악근천은 안정적인 유출량과 농업용수 수질기준 및 지형여건이 적합하므로 농업용수 통합광역화사업의 네 번째 D 유형과 같이 하천수를 광역저수조에 임시 저류한 후 농지에 용수를 공급하는 방식 적용이 가능하다.

7) 용천수를 농업용수로 활용하기 위하여 조사한 결과, 속곡물, 조이통물, 꿩망물, 선궷내물, 논짓물, 대왕수, 하강물은 지형여건, 유출량, 농업용수 수질기준에 적합하여 농업용수 통합광역화사업의 네 번째 D 유형과 같이 용천수를 광역저수조에 임시 저류한 후 농지에 용수를 공급하는 방식 적용이 가능하다.

8) 빗물이용시설을 이용한 농업용수 공급은 지하수 함양량을 높이고, 농업용수 공급의 다원화 차원에서 빗물이용시설 설치지역의 재배작목별 용수 수요량과 강우빈도 및 유출량을 분석하여 경제성을 확보 할 수 있는 일정규모 이상의 비닐하우스, 온실 등은 의무적 설치대상으로 지정하고, 관련조례를 개정하여 설치 보조금 등의 혜택을 주어야 정책의 실행력을 높일 수 있다.

9) 우리나라 물관리기본법 및 물관리일원화 정책방향에 부합하고, 효율적인 제주도 통합물관리체계를 구축하기 위하여 관련 조례를 제정하여 “통합물관리위원회”를 운영하고, 물관리 조직체계 개선은 수자원관리국을 신설하여 물정책과와 재난대응과를 통합하고, 상하수도본부와 환경농업정책과의 농업용수관리업무는 그대로 유지하는 방안과 물정책과, 재난대응과, 상하수도본부, 농업용수관리를 모두 수자원관리국으로 통합하여 물관리업무를 일원화하는 방안을 제안하였다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

10) 제주도는 화산섬의 특수성과 수문지질학적으로 내륙지역과는 매우 다른 독립적인 유역성격을 가지고 있으나, 물관리기본법에 제주도를 영산강·섬진강유역에 포함하여 관리하고 있는 것은 제주도의 특성을 정확하게 반영하지 못하는 심각한 문제가 있다. 따라서, 제주도를 독립적인 유역으로 설정하여, 체계적·지속적인 조사와 연구기반 구축과 신뢰성 있는 수문자료, 유량자료 등을 확보하기 위하여 제주수자원조사연구원 설립을 제안하였다.

가뭄은 인간이 과학적 분석과 철저한 대비로 충분히 극복하거나, 피해를 최소화할 수 있는 자연재해라고 볼 수 있다. 가뭄이 발생하면 일반적으로 가뭄극복을 위하여 투입하는 긴급 재정과 인위적 노력은 가뭄상황이 끝나면 흔적을 찾아보기 어려운 반면, 사전에 준비한 가뭄 극복 시설과 영구적 대책들은 가뭄발생시 경제적이고, 효율적으로 활용 할 수 있는 장점을 가지고 있다.

현재 우리나라 농지면적은 1,595,420ha로서 논은 844,265ha, 밭은 751,349ha이다. 제주도 농지면적은 59,338ha이며, 논은 17ha, 밭은 59,321ha이다. 또한, 우리나라 농가인구는 총 2,315,000명이며, 제주도는 82,751명이다. 제주도 농가인구 1인당 평균 밭 경작면적은 0.72ha로서 우리나라 내륙지역 0.32ha의 2배 이상이다. 이는 제주도 농업용수 수요관리는 밭관개의 관점에서 이루어져야 한다는 것을 의미한다.

제주도는 가뭄 발생빈도 증가로 농업용수 수요관리의 중요성이 매우 커지고 있기 때문에, 농업용수 통합물관리는 수요와 공급이 서로 배타적인 수단이 아닌 상호 보완적인 방법을 도입해야 할 필요성이 있다. 농업용수를 공급받는 농업인의 비효율적인 사용과 과잉이 다른 이용자의 기회비용에 많은 영향을 줄 수 있으므로, 향후 체계적인 농업용수 수요·공급 관리에 관련한 다양한 연구가 필요하다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

참고문헌

강보성, 2019, 제주 도심하천의 강우분석 및 홍수량 산정방법 연구, 제주대학교 대학원, 박사학위논문, pp. 2, 6-7.

강보성, 양성기, 정우열, 2015, 강우량 증가에 따른 홍수량 변동 및 홍수범람 분석, 한국환경과학회지, Vol. 24, No. 4, pp. 415-424.

고기원, 박원배, 문수형, 2014, 기후변화 대응을 위한 제주도 수자원 관리 방향, 제주발전연구원, 제18호, pp. 27-55.

고재욱, 2016, 제주도 중서귀유역의 관측자료 기반 지표수-지하수 유통특성 해석, 제주대학교 대학원, 박사학위논문, pp. 159-160.

경기도・경기연구원, 2017, 경기도 통합 물관리 기본계획 수립연구

국회사무처, 2017, 통합물관리 정책 및 자연공원제도 우수사례 벤치마킹을 위한 호주・뉴질랜드 방문 결과 보고서

국토교통과학기술진흥원, 2018, 제주지역 기후변화 적응을 위한 통합수자원 관리기술 개발 최종보고서, pp. 173-174, 179-180.

기상청, 2018, 2017년 이상기후 보고서

김민철, 2018, 제주도 지하수의 수리학적 유역설정과 유동특성 해석, 제주대학교 대학원, 박사학위논문, pp. 34-46.

김영오, 1998, 기후변화를 고려한 수자원 관리 기법, 한국수자원학회논문집 제31권, 제4호, pp. 407-413.

김해도, 2009, 농업용저수지 재개발 우선순위 결저에 관한 연구, 건국대학교 대학원, 박사학위논문, pp. 11-12.

남원호, 2013, 확률론 기반 농업용 저수지의 용수공급 지속가능성 및 운용성 평가, 서울대학교 대학원, 박사학위논문, pp, 175-176.

남원호, 홍은미, 최진용, 2014, 미래 기후변화에 따른 농업용 저수지 용수공급의 불확실성, 한국농공학회논문집 Vol. 56, No. 2, pp. 11-23.

박덕음, 2015, 가뭄 등 기후변화 시대의 통합물관리 방안, 국정감사 정책자료집

박원배, 강봉래, 2017, 제주지역의 가뭄발생 특성과 중장기 대응방안, 제주연구원, 정책이슈브리프 Vol. 271, pp. 3-8.

박원배, 강봉래, 김민철, 신윤경, 2018, 빗물이용시설 적정 규모 산정방안 연구, 제주

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

연구원, 기본연구 2018-05, pp. 1-2, 58.
박원배, 강봉래, 2018, 제주지역 2018년 봄철 기상전망에 따른 효율적 수자원관리 방안, 제주연구원, 정책이슈브리프 Vol. 285, pp. 7-10. 16-17.
박종철, 최광준, 송성호, 2014, 미래 기후변화에 따른 제주도의 사면과 해발고도별 가뭄 예측, 한국환경과학회지 Vol. 23, No. 4, pp. 649-660.
박재규, 이준호, 양성기, 2016, 표준강수지수를 활용한 제주도 가뭄의 공간적 분류 방법 연구, 한국환경과학회지 Vol. 25, No. 11, pp. 1511-1519.
송성호, 최광준, 2012, 기후변화와 관련한 제주지역 농업용수의 효율적 활용방안 (Ⅰ), 지하수토양환경학회지 Vol. 17, No. 2, p. 62-70.
송성호, 유승환, 배승종, 2013, 기후변화를 고려한 제주지역의 권역별 가뭄평가 및 농업용수에의 영향 고찰, 한국환경과학회지 Vol. 22, No. 5, pp. 625-638.
신사철, 2000, 기후변화 시나리오에 의한 하천 유황의 해석, 한국수자원학회논문집 제33권, 제5호, pp. 623-634.
윤용남, 김웅태, 유철상, 2004, 기후변화가 기상학적 가뭄과 홍수에 미치는 영향, 한국수자원학회논문집 제37권, 제4호, pp. 315-328.
윤용남, 2008, 통합수자원관리의 기본개념과 접근방법, 물과미래 Vol. 41. No. 11. pp. 8-15.
이준호, 양성기, 정우열, 양원석, 2015, 기후변화 시나리오를 고려한 제주도 확률강우량 산정, 한국환경과학회지 Vol. 24, No. 4, pp. 383-391.
이준호, 2016, 기후변화에 의한 제주도 하천유출 및 가뭄영향 분석, 제주대학교 대학원, 박사학위논문, pp. 8-11, 42-48, 60.
이재경, 2013, 수자원분야 기후변화 영향평가를 위한 시나리오 선정과 불확실성 정량화, 서울대학교 대학원, 박사학위논문, pp. 68-75.
임영아, 성재훈, 김홍상, 2017, 농업용수 수요특성과 물부족 대응방안, pp. 119-148.
전남대학교 산업협력단, 2013, 농업용수관리 일원화 추진방안, pp. 16-20, 77-80, 95-96, 345-353.
정소영, 2018, 수자원종합계획 수립을 위한 물수급 분석, 한남대학교 대학원, 석사학위논문 pp. 1-4.
정우열, 2013, 제주도 하천 관측자료 기반 유출특성 매개변수 도출 및 홍수유출량 산정, 제주대학교 대학원, 박사학위논문, pp. 170-171.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

정우열, 양성기, 이준호, 2013, 제주도 도심하천 유역의 유출특성 해석, 한국환경과학회지, Vol. 22, No. 5, pp. 555-562.

제주대학교, 2017, 용천수를 활용한 농업용수 공급계획 연구, pp. 34-38

제주특별자치도, 2013, 제주특별자치도 수자원관리종합계획, pp. 87, 103, 107, 143

제주특별자치도, 2014, 동부권역 농업용수 통합 광역급수체계 기본계획 및 기본설계 pp. 4-5, 34, 36-39, 48-55, 73-75, 104-106, 112-115.

제주특별자치도, 2015, 효율적인 재난대응을 위한 재난사례 조사·분석 및 대응방안 연구보고서, pp. 483-484. 549-558, 572-582, 713-714.

제주특별자치도, 2016, 제주특별자치도 용천수 관리계획, pp. 23-25, 44-45, 116.

제주특별자치도, 2018, 제주특별자치도 수자원관리종합계획(보완), pp. 85, 133-136.

제주특별자치도, 2019, 제주특별자치도 지하수관리 조례(조례 제2226호, 2019.3.14.)

최광준, 송성호, 김진성, 임찬우, 2013, 제주도 권역별 농업용수 수요량 산정에 대한 고찰, 한국환경과학회지 Vol. 22, No. 5, pp. 639-649.

최성규, 2007, 기후변화 시나리오에 따른 다목적댐의 가용수자원 평가 및 최적운영 방안에 대한 연구, 동아대학교 대학원, 석사학위논문, pp. 78-79.

최영욱, 2005, 대한민국 물관리시스템의 문제점과 개선방안에 관한 연구, 광운대학교 환경대학원, 석사학위논문, pp. 12-14, 48-59.

한국개발연구원, 2016, 제주특별자치도 농업용수 통합광역화사업 예비타당성조사 보고서, pp. 31, 139, 181, 243-246.

한국농어촌공사, 2001, 성읍지구 농촌용수개발사업 계획서, pp. 75-77, 94-97.

한국농어촌공사, 2009, 함덕지구 농촌용수개발사업 계획서, pp. 12-15.

한국농어촌공사, 2016, 서림지구 다목적농촌용수개발사업 계획서, pp. 1-6.

한국농어촌공사, 2017, 제주 농업용수 통합광역화사업 기본조사보고서(4장) pp. 71-75.

한국농어촌공사, 2018, 수자원(물)관리 계획서, pp. 49-51, 181.

한국수자원공사, 2007, 유역통합관리 사례집

환경부, 2017, 통합 물관리와 지속가능한 사회: 일본사례

환경부, 2018, 미국 텍사스 통합물관리 추진의 촉진 및 방해요소

환경부, 2018, 지속가능한 통합물관리 정책방향 및 로드맵제안 최종보고서, 통합물관리비전포럼

환경부, 2018, 통합 물 관리(IWRM)의 일원화 정책과 주요국의 추진사례

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

환경부, 2019, 물관리기본법(법률 제15653호, 2018.6.12. 제정)

환경부 영산강유역환경청, 2018년 통합물관리 비전포럼 영산강·섬진강유역 및 제주권역 분과위원회 최종보고서, pp. 147-163.

한국자원연구소, 2000, 제주(백아도, 진남포) 지질도폭 설명서

황소용, 2015, Smart Water Grid 구축을 위한 효율적인 물관리체계 구축과 경쟁력 제고방안 연구, 동의대학교 대학원, 박사학위논문, pp. 28-33, 51-57.

Ahn, J. H., Yoon, Y. N., Yoo, C. S., 2001, On the change of hydrologic conditions due to global warming : 2. An analysis of hydrologic changes in daechung dam basin using water balance model, Journal of Korea water Resources Association, 34(5), 511-519.

Bae, Deg-Hyo, Il-Won Jung, and Byong-Ju Lee, “Outlook on Variation of Water Resources in Korea under SRES A2 Scenario”, Journal of Korea Water Resources Association, 2007.

Bordi, I., Frigio, S., Parenti, P., Speranza, A. and sutera, A., 2001, "The analysis of the standardized precipitation index in the Mditerranean area : regional patterns.", Annali Di Geofisica, Vol. 44, No. 5, pp. 979-993.

Cocke, S.D., LaRow, T.E., 2000, Seasonal predictionusing a regional spectral model embedded within a coupled ocean-atmoosphere model, Monthly Weather Review, Vol. 128, pp. 689-708.

Cho, Eun-Il, and Chul-Goo Hu, “A Case Study on the Application of Conservation First Development Later’ Principle for the Development Projects in Jeju Area”, Journal of Environmental Science International, 2014.

Climate Impacts Group, M. McGuire Elsner, J. Littell and L. Whitely Binder, 2009, The Washington Climate Change Impacts As sessment, Center for Science in the Earth System, Joint Institute for the study of the Atmosphere and Oceans, University of Washington, Seattle, Washington.

G. Braca, M. Bussettini, D. Ducci. B. Lastoria, S. mariani, “Evaluation of national and regional groundwater resources under climate change scenarios using a GIS-based water budget procedure”, Rendiconti Lincei. Sciencze Fisiche e Naturali, 2019

G. H. Cheng, G. H. Huang, C. Dong, J. X. Zhu, X. Zhou, Y. Yao. “An

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Evaluation of Simulations over the Athabasca River Basin, Canada", River Research and Applications, 2017.

Guttman, N.B., 1998, "Comparing the palmer drought index and the standardized precipitation index.", Journal of the American Water Resources Association., Vol. 34, No. 1, pp. 113-121.

Guttman, N.B., 1999, "Accepting the standardized precipitation index : a calculation algrithm," Journal of the American Water Resources Association., Vol. 35 No. 2 pp. 311-322.

Hong Tian, Biwen Wu, Yinlong Xu, Jun Lu, Jun Lu, Shuangwu Jiang, and Winli Wnag, 2006, Detection and projection climate changes in Jian ghuai Valley in China. Proc. of SPIE, Vol. 6298.

IPCC, 2007, Climate change 2007: Impacts, Adaptation, and Vulnerability Contribution of Working Group Ⅱ to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press.

Semenov, M.A. and Barrow, E.M., 2002, A Stochastic Weather Generator for Use in Clmate Impact Studies : User Manual.

IPCC, 2014, Climate change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups Ⅰ, Ⅱ and Ⅲ to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Pannel on Climate Change[Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer(eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland.

Jiyoung Park, Seogha Park, Byungsun Lim, Chesoong Kim. "A study of how Supply Chain companies correspond to water risk resulted from climate chang", Journal of the Korea Safety Management and Science, 2015

John M. Pilgrim, Xing Fang, and Heinz G. Stefan, 1999, Stream temperature correlations with air temperatures in Mnnesota : Implications for climate warming, Journal of the American water resources association, Vol. 34. No. 5.

Kim, Gwang-Seob, Jun-Won Lee, "Evaluation of Drought Indices using the Drought Records", Journal of Korea Water Resources Association, 2011.

Lee, Joo-Heon, Jong-Suk Kim, Ho-Won Jang, and Jang-Choon Lee, "Drought Forecasting Using the Multi Layer Perceptron (MLP) Artificial Neural Network Model", Journal of Korea Water Resources Association, 2013.

Manabe, Sykuro, and Bryan, K., 1969, Climate Calculations with a combined

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

ocean-atmosphere model, Journal of the Atmospheric Sciences, Vol. 26, No. 4, pp. 786-789.

McKee, T.B., Doesken, N.J., and Kleiest, J., 1993, "The relationship of drought fequency and duration to time scales.", 8th Conference on Applied Climatology, Anaheim, California, Vol. 17, No. 22, pp. 179-184.

McKee, T.B., Doesken, N.J., and Kleiest, J., 1995, "Drought monitoring with multiple time scales.", proceedings of the Ninth Conference on Applied Climatology, American Meteorological Society, Boston, pp. 233-236.

Rajbir Yadav, Kiran Gaikwad, Ranjan Bhattacharyya, Naresh Kumar Bainsla, Manjeet Kumar, Shyam S, Yadav. "Breeding New Generation Genotypes for Conservation Agriculture in Maize-Wheat Cropping Systems under Climate Change", Wiley, 2018.

Takaya Miyano, Hiroshi Morita, Akira Shiani, Tadashi Kanda, and Masataka Hourai, 1994, Characterization of complexities in Czochralski, crystal growth by nonlinear forecasting, Vol. 76, No. 5, pp. 2681-2693.

Yang, H. K., 2006, Impact of climate change on hydrological disasters, Journal of the Korean Geomorphological Association, 13(3), 45-54

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

부 록

Table 6.1 Main function of the office of primary responsibility by disasters

실 무 반	주 요 기 능
상황관리 총괄반	재난총괄담당 업무수행 타 기능에 대한 상황관리총괄 및 상호협력 지원
재난수습 홍보반	재난대처, 수습과 관련한 각종 정보 배포 조정 타기능에 대한 사회적 이유 등 언론 총괄관리 및 지원
수색구조 구급반	재난지역 구조, 구급 지원 인명구조, 응급처치, 응급운송 및 사망, 실종자 수색 등 총괄관리
시설응급 복구반	공공시설 복구 및 지원 사유시설 복구 및 지원
긴급통신 지원반	통신 두절지역 통신시설 인프라 복구 통신분야 상황관리 총괄 및 긴급(임시) 통신지원
에너지긴급 지원반	가스, 전기, 유류 등 생활 밀착형 피해시설기능 회복 지원 에너지분야 상황관리 총괄 및 긴급(임시) 에너지 지원
생활안정 지원반	피해주민 생활안정에 필요한 단기대책 지원 이재민 구호 등
의료 방역반	재난지역 공중보건서비스 지원 의료, 방역분야 상황관리 총괄 및 긴급(임시) 의료지원
자원봉사 관리반	재난지역 자원봉사 지원 및 관리 타 기능에 대한 인력(민, 관, 군) 지원 총괄 관리
사회질서 유지반	재난지역 사회질서유지 및 교통(시설물) 관리 교통, 범죄, 현장통제, 안전관리, 주민보호(대피 등) 총괄관리
교통대책반	육상(육로, 항공), 해상, 교통수단 지원 등 교통분야 상황관리 총괄 및 긴급(임시) 수송 지원
환경정비반	쓰레기, 유해화학물질 등 수거 지원
물자자원 지원반	종합적인 재난물자계획, 관리, 지원 및 적정상태 유지 타 기능에 대한 물자, 자원(장비, 자재, 시설)지원 총괄 관리

제주특별자치도 재난안전대책본부(2019)

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Table 6.2 Assigned task of the office of primary responsibility by disasters

구 분		담당업무	주무부서
상황관리총괄반	재난정보수집팀	기상정보 등 상황수집전파 긴급상황 등 재난방송 요청 CBS재난문자방송서비스송출 재난상황홈페이지게재및전파 상황실회의및보고회 운영 화상회의운영 상시모니터링시스템구축	상황경보통합상황실
	대응상황보고팀	일일상황보고서작성및일지작성 종합상황실보고서작성 피해정보수집·분석 및 보고 인명피해현황 및 상황관리 재산피해 상황관리 재난지역 수습상황 관리 여론정보 수집 및 민원처리 TV방송 모니터링 민심동향, 미담사례 등 확인	재난수습주무국
	상황관리총괄팀	재난안전대책본부회의 개최 현장상황관리관 파견 상황판단회의 개최 및 대처 재난대책본부장지시사항처리 비상근무단계 결정 관계기관 근무자 파견요청 재난상황판단 예측 및 분석 예경보 발령등 의사결정지원 상황근무자 근무명령 인명피해우려지역출입통제 취약지역출입통제 및 관리	재난수습주무국
	행정지원팀	의전업무 및 상황근무 복무	총무과
재난수습홍보반		재난상황별 국민행동요령 홍보 재난예경보발령사항 등의 전파 재난수습을위한 보도지원 각종 보도자료 작성·배포 TV,라디오,신문사 요청자료 제공 중앙 및 자치단체 공보담당관 관리 재난발생지역 수습상황 실시간송출 SNS 및 온라인 보도 대응	공보관
수색, 구조, 구급반		재난지역 수색, 구조, 구급 지원 재난현장 특성, 2차피해 정보 제공 단수지역 생활용수 급수지원 수해지역 응급복구 지원	소방안전본부 (방호구조과)

제주특별자치도 재난안전대책본부(2019)

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

구 분	담당업무	주무부서
시설응급복구반	공공사유시설 피해상황 파악 공공사유시설 응급복구 상황 파악 공공사유시설 긴급복구 지원	도시건설국
긴급통신지원반	통신시설 피해상황 파악 통신시설 긴급소통상황 파악 통신시설 인프라 긴급복구 지원	기획조정실
에너지긴급지원반	국민생활 밀착형시설 피해상황파악 국민생활 밀착형시설 긴급복구파악 국민생활 밀착형시설 인력 등 지원	경제통상일자리국
생활안전지원반	재난지원금 및 생활안정지원 업무 피해주민불편해소 및 심리상담지원 재해구호물자 확보, 비축상황 관리 이재민 발생현황 관리 이재민 수용 및 급식상황 파악 재난구호활동상황 및 구호물품지원	보건복지여성국
의료, 방역반	재난발생지역 의료,방역 서비스지원 재난발생지역 의료,방역 자원배분현황 및 조정지원 비상방역실시 현황 파악 부상자 의료지원 및 의료반 운영 침수지역 급식소 위생관리 지도 전염병예방 방역소독 및 방역반운영	보건복지여성국
자원봉사 관리반	자원봉사센터 설치 운영 재난지역 자원봉사 인력수요파악 수해주택 안전점검 및 무상수리	특별자치행정국
사회질서 유지반	육상교통통제 및 두절지역 파악 출입제한 및 차량운행통제 실시 우회도로 홍보 실시 주민혼란방지위한 사회질서 지원	자치경찰단
교통대책반	해상 및 항공 통제현황 파악 교통 두절 실태파악 및 대책지원 연안여객선, 유도선 운항통제 해상 및 항공분야 긴급수송지원	교통항공국
환경정비반	육상, 해상 환경오염물질 피해관리 육상, 해상 환경오염물질 처리 지원 쓰레기 수거 및 임시적환장 운영	환경보전국
물자자원지원반	국가방재자원 필요지역 현황파악 각 기관 잉여자원 현황파악 및 지원 국가방재자원 지원에대한 추적관리	도민안전실
관계부서 및 유관기관	재난관리 13개 협업, 주요업무 지원	

제주특별자치도 재난안전대책본부(2019)

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Table 6.3 Cooperation system of emergency management agency in Jeju-do

(a) 태풍

구 분 (비상근무 단계별)		평시 (상시)	사전 대비 (관심)	비상Ⅰ (주의)	비상Ⅱ (경계)	비상Ⅲ (심각)	비 고 (근무지원 책임부서)
합 계		2	4	7+α	24+β	35이상	
상황경보통합상황실	재난대응과	2	4	6	6	7	재난대응과
상황관리총괄반	재난대응과			1	1	2	재난대응과
	총무과			(1)	1	1	총무과
긴급생활안정지원과	보건복지여성국			(1)	1	1	복지정책과
재난현장환경정비반	환경보전국			(1)	1	1	생활환경과
긴급통신지원반	미래전략국			(1)	1	1	정보정책과
시설응급복구반	도시건설국			(1)	1	1	건설과
	농축산식품국			(1)	1	1	친환경농정과
	해양수산국			(1)	1	1	수산정책과
	문화체육협력국			(1)	1	1	문화정책과
	상하수도본부			(1)	1	1	경영관리과
에너지기능복구반	일자리경제통상국			(1)	1	1	미래전략과
재난수습홍보반	공보관			(1)	1	1	공보관
물자관리및자원지원반	재난대응과			(1)	1	1	재난대응과
교통대책반	교통항공국			(1)	1	1	교통정책과
의료방역반	보건복지여성국			(1)	1	1	보건건강위생과
자원봉사관리반	특별자치행정국			(1)	1	1	자치행정과
사회질서유지반	자치경찰단			(1)	1	1	교통생활안정과
수색구조구급반	소방안전본부			(1)	1	1	방호구조과
재난관리책임기관(9)	도 교육청			-	(1)	1	총무과
	해뱅대제9여단			-	(1)	1	군수계획과
	제주지방경찰청			-	(1)	1	경비교통과
	제주해경안전본부			-	(1)	1	경비안전과
	제주기상청			-	(1)	1	예보과
	KT제주본부			-	(1)	1	네트워크 운용센터
	한국전력공사			-	(1)	1	경영지원팀
	전기안전공사			-	(1)	1	기술진단부
	가스안전공사			-	(1)	1	검사부

제주특별자치도 재난안전대책본부(2019)

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

(b) 호우, 홍수

구 분 (비상근무 단계별)		평시 (상시)	사전 대비 (관심)	비상Ⅰ (주의)	비상Ⅱ (경계)	비상Ⅲ (심각)	비 고 (근무지원 책임부서)
합 계		2	3	4+α	20+α+β	31 이상	
상황경보통합상황실	재난대응과	2	3	4	4	4	재난대응과
상황관리총괄반	재난대응과			(1)	1	1	재난대응과
	총무과			(1)	1	1	총무과
긴급생활안정지원과	보건복지여성국			(1)	1	1	복지정책과
재난현장환경정비반	환경보전국			(1)	1	1	생활환경과
긴급통신지원반	미래전략국			(1)	1	1	정보정책과
시설응급복구반	도시건설국			(1)	1	1	건설과
	농축산식품국			(1)	1	1	친환경농정과
	해양수산국			(1)	(1)	1	수산정책과
	문화체육협력국			(1)	(1)	1	문화정책과
	상하수도본부			(1)	1	1	경영관리과
에너지기능복구반	일자리경제통상국			(1)	1	1	미래전략과
재난수습홍보반	공보관			(1)	1	1	공보관
물자관리및자원지원반	재난대응과			(1)	1	1	재난대응과
교통대책반	교통항공국			(1)	1	1	교통정책과
의료방역반	보건복지여성국			(1)	1	1	보건건강위생과
자원봉사관리반	특별자치행정국			(1)	1	1	자치행정과
사회질서유지반	자치경찰단			(1)	1	1	교통생활안정과
수색구조구급반	소방안전본부			(1)	1	1	방호구조과
재난관리책임기관(9)	도 교육청			-	(1)	1	총무과
	해뱅대제9여단			-	(1)	1	군수계획과
	제주지방경찰청			-	(1)	1	경비교통과
	제주해경안전본부			-	(1)	1	경비안전과
	제주기상청			-	(1)	1	예보과
	KT제주본부			-	(1)	1	네트워크 운용센터
	한국전력공사			-	(1)	1	경영지원팀
	전기안전공사			-	(1)	1	기술진단부
	가스안전공사			-	(1)	1	검사부

제주특별자치도 재난안전대책본부(2019)

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

(c) 건조, 가뭄

구 분 (비상근무 단계별)		평시 (상시)	사전 대비 (관심)	비상 Ⅰ (주의)	비상 Ⅱ (경계)	비상 Ⅲ (심각)	비 고 (근무지원 책임부서)
합 계		2	2	2+α	7+α+β	8이상	
상황경보통합상황실	재난대응과	2	2	2	2	2	재난대응과
상황관리총괄반	재난대응과			(1)	1	1	재난대응과
	총무과			(1)	(1)	(1)	총무과
긴급생활안정지원과	보건복지여성국			(1)	(1)	(1)	복지정책과
재난현장환경정비반	환경보전국			(1)	(1)	(1)	생활환경과
긴급통신지원반	미래전략국			(1)	(1)	(1)	정보정책과
시설응급복구반	도시건설국			(1)	(1)	(1)	건설과
	농축산식품국			(1)	1	1	친환경농정과
	해양수산국			(1)	(1)	(1)	수산정책과
	문화체육협력국			(1)	(1)	(1)	문화정책과
	상하수도본부			(1)	1	1	경영관리과
에너지기능복구반	일자리경제통상국			(1)	(1)	(1)	미래전략과
재난수습홍보반	공보관			(1)	(1)	1	공보관
물자관리및자원지원반	재난대응과			(1)	1	1	재난대응과
교통대책반	교통항공국			(1)	(1)	(1)	교통정책과
의료방역반	보건복지여성국			(1)	1	1	보건건강위생과
자원봉사관리반	특별자치행정국			(1)	(1)	(1)	자치행정과
사회질서유지반	자치경찰단			(1)	(1)	(1)	교통생활안정과
수색구조구급반	소방안전본부			(1)	(1)	(1)	방호구조과
재난관리책임기관(9)	도 교육청			-	(1)	(1)	총무과
	해뱅대제9여단			-	(1)	(1)	군수계획과
	제주지방경찰청			-	(1)	(1)	경비교통과
	제주해경안전본부			-	(1)	(1)	경비안전과
	제주기상청			-	(1)	(1)	예보과
	KT제주본부			-	(1)	(1)	네트워크 운용센터
	한국전력공사			-	(1)	(1)	경영지원팀
	전기안전공사			-	(1)	(1)	기술진단부
	가스안전공사			-	(1)	(1)	검사부

제주특별자치도 재난안전대책본부(2019)

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

감사의 글

2015년 8월 25일에 박사과정을 수료하고, 2020년 2월 공학박사 학위 취득에는 저를 아끼고 사랑해 주시는 많은 지인들의 도움과 격려, 배려 덕분이라는 사실을 항상 가슴깊이 새기고, 평생 동안 잊지 않겠습니다.

논문이 완성되는 날까지 세심한 지도와 가르침으로 심혈을 기울여 주신 존경하는 양성기 지도교수님께 진심으로 감사드리며, 논문심사를 맡아 사려 깊은 조언과 제언으로 논문의 완성도를 높여주신 제주대 김남형 교수님, 김상진 교수님, 명지대 김서준 교수님, 고재욱 박사님께 감사드립니다. 또한, 대학원에서 많은 지도편달을 해주신 이동욱 교수님, 이병걸 교수님, 박상렬 교수님께도 감사드립니다.

제주대학교 수리학연구실에서 동고동락하며 논문의 기초를 닦을 수 있도록 많은 도움을 준 이준호・김민철・김용석・강보성・강명수 박사님과 학부 연구원들에게도 고마운 마음을 전하며, 故 정우열 박사님의 영전에도 감사의 인사를 드립니다.

대학원에 다닐 수 있도록 지원해주신 김종일 부장님, 강창윤 차장님과 자료수집에 많은 도움을 주신 공길용・홍탁균・강민석・류재경・강봉수・양권영・강군협 차장과 조시범・고권문・박병준・윤현철 과장에게 감사하며, 류범희・이지선 차장님, 한만엽 과장님께도 감사드립니다. 또한, 논문을 쓸 수 있도록 많은 배려를 해주신 오범환 지사장님, 김기택・박승팔・박재근 부장님, 조용규・이강민 과장, 예산지사 전 직원들에게도 감사드리며, 직장의 첫 발을 잘 이끌어주신 전창운 단장님, 정용희 차장님과 평생의 은인이신 김종옥 교수님, 김시운 예산문화원장님께도 경의를 표합니다.

학위 취득까지 변함없는 성원과 격려로 끝까지 믿고 지켜봐주신 아버지, 어머니, 장인어른, 장모님과 처남 태기, 동생 혜정・재균・재상・윤정이 와도 기쁨을 함께 하고 싶습니다. 또한, 작은아버지・어머니, 고모들, 외삼촌들과 이모에게 늘 감사드리며, 박사학위 취득 8년 동안 일편단심으로 조력 해준 수연에게 '사랑한다'라는 말로 고마움을 대신하고, 사랑하는 딸 하윤이 에게도 고마운 마음 전하고 싶습니다. 끝으로, 이 논문을 읽어주시는 모든 분들의 앞날에 축복이 함께하길 기원 드립니다.

"Professional"이 되기 위하여 학문에 더욱 정진하고, 교만하지 않으며 겸손하게 살아가겠습니다.

2020년 2월

常淸 朴 在 奎 拜上

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY