

발간등록번호

11-1543000-001444-01

<http://rri.ekr.or.kr>

주요농업기반시설과 기후변화를 고려한 용수구역별 최적 지하수 공급방안 연구 (1차년도)

A study on optimal groundwater supply system in
agricultural watersheds considering main infrastructure
under climate change environment(Ⅰ)

2016. 12



농림축산식품부



한국농어촌공사

제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

본 보고서를 “주요농업기반시설과 기후변화를 고려한 용수구역별 최적 지하수 공급방안 연구” 과제의 1차년도 보고서로 제출합니다.

2016년 12월

주관연구기관명 : 한국농어촌공사 농어촌연구원

연구책임자 : 홍순욱

연구원 : 송성호, 안중기, 용환호
신형진, 유선아

공동연구기관 : 전남대학교 산학협력단

연구책임자 : 유승환

연구원 : 오윤경, 윤광식, 최동호
이경숙, 김하영, 조은정

요 약 문

1. 연구과제명 : 주요농업기반시설과 기후변화를 고려한
용수구역별 최적 지하수 공급방안
연구

2. 연구기간 : 2016년 3월 ~ 2016년 12월

3. 연구 배경 및 목적

3.1 연구 배경 및 필요성

- 수자원 의존도가 높은 국내 농업환경에서 기후변화에 따른 농업수자원 이용가능성 저하 및 극심한 가뭄빈도의 변화는 농산물 생산성에 직접적인 영향을 줄 수 있다. 따라서 안정적인 농업생산량 유지를 위해서는 기후변화의 영향을 고려한 미래 농업수자원의 가뭄취약성에 대한 분석을 통해 안정적인 농업용수 공급 대책을 마련할 필요가 있다.
- 우리나라의 경우 저수지 등 수리시설을 이용하는 경지면적은 전체 논 면적의 81% 이며, 10년 빈도의 가뭄에도 물을 안정적으로 공급할 수 있는 수리안전답은 61% 수준이다. 특히 대부분의 수리시설이 논 관개에 집중됨에 따라, 기상변화에 직접적으로 노출되는 밭작물에서 가뭄피해가 자주 발생하고 있다.
- 이러한 환경에서 기후변화로 인한 물 부족 및 극심한 가뭄재해 발생에 대비하여 안정적으로 영농할 수 있는 지속가능한 용수공급기반 구축 및 중장기 농촌용수개발계획 마련이 필요하다.

- 따라서 자연 강우에 의존하는 천수답, 내한능력 부족으로 작은 가뭄에도 피해가 발생하는 지역 및 밭 관개시설이 미비하여 가뭄에 취약한 용수구역에 대하여, 용수구역별 최적지하수 공급방안 제시를 통한 선제적인 가뭄 대비가 필요하다.

3.2 연구 목적

- 본 연구의 목적은 지표수 수리시설로 용수공급이 불리한 용수구역에 대하여 기후변화를 고려한 최적지하수 공급 방안을 수립하고, 농업환경 변화에 따른 주요 농특산물 생산에 필수적인 청정 지하수 공급 방안을 제시하는 것이다.

4. 연구 내용 및 결과

4.1 연구 내용

- 본 연구는 농어촌용수구역별 용수 공급원의 물 부족 대응능력 검토 및 지표수 수리시설로 용수공급이 불리한 농어촌용수구역을 선정한 후, 이들 용수구역에 대해 기후변화에 따른 농업가뭄 대비를 목적으로 지하수 개발가능량 산출 및 최적 지하수 공급 방안을 마련하는 것으로 구성되어 있다.
- 이를 위해 용수구역별 수리·수문 특성 분석, 기후변화에 따른 용수구역별 가뭄분석, 용수구역별 지하수 이용량 및 개발가능량을 분석한 후, 이를 통하여 용수구역 유형 분류, 가뭄대비가 필요한 용수구역을 선정하였으며 용수구역내 지하수 조사 우선순위를 제시 하였다.
- 용수구역별 최적 지하수 공급방안을 제시하기 위해서는 군집분석 결과 가뭄대비가 필요한 것으로 분류된 93개 용수구역의 현장상황 분석 및 검토와 현장답사 및 자료 분석을 통한 보완이 필요하며, 용수구역 유형별 지하수 개발 및 공급방안 제시와 지하수 이용비율이 높은 용수구역의 지하수 관리방안을 제시하는 연구가 추가적으로 수행 되어야 할 것이다.

4.2 연구 결과

- 농어촌용수이용합리화계획(2014)에 따르면 받기반 정비율을 2012년 13%에서 2024년 24%로 높이는 계획에 따라, 밭 관개면적을 각각 98천 ha, 180천 ha로 확대 추진하는 계획을 수립하였으며, 수리안전 답율은 각각 59%에서 75%로 확대하는 것을 목표로 하고 있다.
- 농어촌용수이용합리화 계획에서는 농어촌용수 수요공급 불균형을 해소하기 위하여 지표수 이용시설 공급이 가능한 구역에 14.5억 m³/년의 지표수 공급계획을 수립하고, 지표수 이용시설 여건이 불합리하고 용수확보 적지가 없는 구역에는 4.7억 m³/년의 지하수시설 개발계획을 수립하였다. 용도별로는 농업용수 18.3억 m³, 축산 및 기타용수 0.9억 m³의 농어촌용수 개발계획이 수립되어있다.
- 농업용수 18.3억 m³ 중 발용수를 2억 m³으로 계획하고 있어 2024년 밭관개면적 확대를 위한 추가소요량 3.4억 m³ 대비 1.4억 m³ 이 부족한 것으로 분석되었다. 특히, 발용수 2억 m³ 중 86%인 1.7억 m³을 지하수로 계획하고 있어 밭 관개면적 확대를 위한 지하수 개발 수요는 늘어날 것으로 전망된다.
- 본 연구에서는 2012년 국가지하수관리계획 수립 시 산정한 117개 수자원단위지도 중권역의 유역별 지하수 함양율과 평균 강수량 및 10년 빈도 가뭄 시 강수량을 농어촌용수구역 511개소에 적용하여 용수구역별 지하수 함양량 및 개발가능량을 산정하였다.
- 전국적으로 지하수 함양량은 188.4억 m³/년이며, 이수안전 측면을 고려하여 10년 빈도 가뭄 시 강수량을 적용하여 산정한 지하수 개발가능량은 128.9억 m³/년으로 전체 함양량 대비 개발가능량은 68.4%이다.
- 2014년 기준 지하수 이용량은 40.9억 m³/년으로, 전국 평균 함양량대비 21.7%, 개발가능량 대비 31.7%를 이용하고 있다. 이를 이용하여 분석된 개발가능량 대비 이용량이 30% 이하인 용수구역은 285개, 80% 초과 용수구역은 35개로 나타났으며, 이 중 100% 초과하는 용수구역은 13개소로 분석되었다.

- 단위면적당 지하수 이용량은 전국 평균 40,651 $\text{m}^3/\text{년}/\text{km}^2$ 으로, 용수구역별 단위면적 당 지하수 이용량이 42,000 $\text{m}^3/\text{년}/\text{km}^2$ 이하인 용수구역은 300개, 시도별 단위면적당 이용량의 최대치인 11만 $\text{m}^3/\text{년}/\text{km}^2$ 을 초과하는 용수구역은 28개로 분석된다.
- 단위면적당 지하수 개발 밀도는 전국 평균 15.5 공/ km^2 이며, 용수구역별 단위면적 당 지하수 개발 밀도가 20 공/ km^2 이하인 용수구역은 348개, 최대 100 공/ km^2 이상인 용수구역은 1개로 분석된다.
- 용수구역 단위로 생산된 기상요소별 과거 기간(2011~2015년)의 기상정보를 이용하여 4가지 기준증발산량 산정 방법(BC, MP, PM, TH)에 대해 기준 증발산량을 산정한 결과, 한강권역을 비롯한 중부내륙 지역의 증발산량이 작게 나타났고 겨울철 비교적 기온이 높고 강한 풍속을 보이는 남해안 도서지역에서 증발산이 가장 높은 것으로 나타났다.
- 미래 기간(2016~2024년, 2025~2050년)에 대한 용수구역별 RCP 시나리오를 이용한 산정법, 기간, 계절별 평균 강수량을 예측한 결과, 모든 시나리오에서 우기(6~8월)에 강수가 집중되는 계절적 패턴이 나타났다. 그러나 다른 시나리오에 비해 RCP 8.5에서의 강수량이 높게 나타났으며, 특히 우기에 집중된 것으로 분석되었다
- 미래 기간(2016~2024년, 2025~2050년)에 대한 용수구역별 PM 산정법을 적용하여 각 RCP 시나리오에 따른 기간, 계절별 기준 증발산량을 예측한 결과, 모든 시나리오에 대해 우기에 증발산량 높게 분석되었다.
- 기준 증발산량의 용수구역별 기온 차이는 시나리오 및 계절에 따라 크게 나타나지 않았으며, 대체로 계절적 패턴과 시나리오에 따른 기준 증발산량 증가 추세가 일관적으로 나타났다.
- 기후변화가 가뭄에 미치는 영향을 분석 및 평가하기 위하여 511 구역별 과거 및 미래 시기의 표준강수 지수(standard precipitation index, SPI)와 표준강수 증발산지수(standard precipitation evapotranspiration index, SPEI)를 산정하였고, SPEI를 연속적인 수문기상학적 시계열로 간주하여 연속이론을 적용한 후 가뭄사상 및 가뭄의 지속기간

(duration)과 심도(severity), 규모(magnitude or intensity)를 분석하였다

- RCP 4.5 시나리오 기반의 지속기간 1개월의 SPEI를 통한 용수구역별 가뭄 특성은, 과거 시기의 경우 남해안에 위치한 용수구역의 가뭄 지속기간이 타 용수구역보다 긴 것으로 나타났다. 그러나 단기 미래에서는 금강 서해 유역과 한강 유역, 중장기 미래로 갈수록 한강 유역과 남해안 지역에 위치한 용수구역들의 가뭄 지속기간이 길어지는 것으로 나타났다.
- 가뭄 심도의 경우 과거 시기에는 섬진강 유역 내 용수구역들에서 가장 크게 나타났지만, 단기 미래에는 금강과 한강 유역, 중장기 미래에는 남해안 지역의 용수구역들의 가뭄심도가 커지는 것으로 나타났다.
- RCP 8.5 시나리오 기반의 지속기간 1개월의 SPEI를 통한 용수구역별 가뭄 특성은, 과거 시기에는 남해안에 위치한 용수구역들의 가뭄 지속기간이 타 용수구역보다 긴 것으로 나타났다. 그러나 단기 미래에서는 섬진강과 낙동강 유역 내 일부 용수구역들의 가뭄 지속기간이 긴 것으로 나타났다.
- 중장기 미래에는 영산강 유역 내의 용수구역들에서 가뭄 지속기간이 길어지는 것으로 나타났다. 가뭄 심도의 경우 과거, 단기 및 중장기 미래 모두 남부지역에 위치한 용수구역들의 가뭄심도가 북부 지역보다 심해지는 것으로 나타났으며, 특히 섬진강과 영산강 유역 내의 가뭄 심도가 타 용수구역들에 비해 심해지는 것으로 나타났다.
- 농어촌용수이용합리화계획에서 제공하는 용수구역별 주요 통계와 지하수관리기본계획의 지하수 함양량 자료를 활용하여 511개 용수구역의 유형을 분류하였다. 분류 결과 지하수 개발가능량 대비 이용량 비율 80%, 밭 용수 수요 대비 공급량 비율 37.5%, 논 용수 수요 대비 공급량 비율 76.5%가 요소별 기준으로 선정되었다. 이를 토대로 8개의 용수구역 유형으로 분류하였으며, 지하수 개발 1순위인 지역(Cluster 1) 44개 용수구역 중 19개 지역은 농경지 중 밭 면적 비율이 50%이상으로 지하수 개발을 위한 밭 지역 수리지질 조사가 시급한 지역으로 분류 되었다.

- 2011년부터 2050년 동안의 SPI와 SPEI 산정 결과를 토대로 가뭄 지속기간과 가뭄심도를 분석하였으며, 각각의 평균과 편차를 활용하여 용수구역별 가뭄 특성을 0점에서 5점(극심한 가뭄)으로 구분하여 분석하였다.
- RCP 4.5 시나리오를 이용하여 1개월과 3개월 지속기간의 가뭄 특성에 따른 유형을 분류한 결과, 한강 유역 내 일부 용수구역과 남해안 인접지역의 용수구역들의 가뭄 지속기간과 가뭄심도에 따른 점수값이 타 지역보다 높은 것으로 나타났다.
- RCP 8.5 시나리오의 경우 섬진강과 영산강 유역에 위치한 용수구역들의 가뭄 지속기간과 가뭄심도 점수값이, 타 지역보다 크게 높은 것으로 분석되었다.
- 기후변화 및 지하수 기반 가뭄 대비가 필요한 가뭄취약지구를 선정하기 위하여 다음과 같은 우선순위 기준을 선정하였으며, 그 결과를 기후변화 시나리오별(RCP 4.5 및 8.5)로 제시하였다.

- 기준 1: 선정 용수구역 → 유형 1~3
- 기준 2: 제외 용수구역 → 유형 4~8
 - 유형 4는 논/밭 용수 수요량 대비 공급 비율이 상대적으로 높은 지역
 - 유형 5~8은 지하수 개발 제한 구역으로 논 용수(지표수)를 발용수로 활용 또는 지표수-지하수 연계 활용 방안 수립 우선 지역으로 제외
- 기준 3: 동일 유형 내 우선 순위
 - 농경지 대비 밭 비율 50% 이상인 용수구역
 - 2011~2050년 동안의 SPEI 1개월 및 3개월 가뭄심도 표준점수의 합이 높은 지역

- 지표수 수리시설로 용수공급 불리 지역을 동·리 단위의 가뭄취약 지역 우선순위로 제시하기 위하여, 다음과 같은 우선순위 기준을 선정하였다. 이러한 선정 기준을 바탕으로, 유형 1~3에 해당하는 93개 용수구역에 대해서 용수구역 내 우선순위를 동·리 단위로 제시하였다.

- 대상유형: 유형 1~3
- 우선기준: 2024년 기준 논/밭 용수 수요량 대비 2012년 기준 용수 공급량이 부족한 지역
- 제외지역:
 - 도시(동) 지역
 - 2030년 기준 밭 면적 10 ha 이하인 지역
 - 내한능력 10년 빈도 및 저수량 30만 m³ 이상
- * 지표수 수리 시설 포함 지역 제외(* 취입보, 양수장 등은 내한능력 10년 빈도 및 수해구역 45 ha 이상)

- 기후변화와 가뭄에 따른 밭 관개 필요수량의 변화를 살펴보기 위하여 대표 가뭄지역 6곳을 선정하고, 밭토양의 일별 물수지를 이용하여 각 지역의 대표작물에 대한 밭작물의 관개 필요수량을 산정하였다. 또한, 2011년부터 2050년까지 RCP 4.5 와 RCP 8.5 시나리오를 적용하여 관개 필요수량을 산정하였고, 과거기간 (2011-2015), 단기미래(2016-2025), 중장기 미래(2026-2050)의 연도별, 월별 관개 필요수량을 산정 및 비교하였다.
- 이 연구를 위하여 산정 및 구축된 강수량, 기준증발산량 및 가뭄지수 산정 결과를 사용자(GUI) 혹은 고급 사용자(CLI)가 필요한 자료를 획득할 수 있도록 데이터베이스 추출 프로그램을 개발하였다. 추출된 자료는 CSV 형식으로 저장하여 다양한 통계프로그램(R, matlab, SPSS, SAS)에 적용 할 수 있도록 하였다.

5. 기대효과 및 실용화 방안

5.1 기대효과

- 기후변화에 대응한 경제재로서의 농업용수에 대한 수급량의 변화를 예측한 결과는, 미래의 기상이변에 대비한 농작물 생산량의 안정적 공급을 위한 기초자료로 활용될 수 있다.

- 지구 온난화가 농업용수 수급 부분에 미치는 영향을 분석함으로써, 지속가능한 농업을 위한 농업부분의 기후변화 대응 및 대책 수립에 기초자료로 활용할 수 있다.
- 기후변화에 의한 농업용수 수급 취약지역 예상 및 시기별 수급계획량 제시를 통하여, 미래 기후변화 전망에 따른 물 부족 대응 및 안정적 농업용수 공급 정책 결정을 위한 기반 마련에 기여가 가능하다.
- 기후변화 시나리오에 따른 주요 작물별 물 요구량 산정을 위하여 대상 작물의 기초자료를 GIS로 구축함에 따라, 향후 이를 이용한 작물 소비수량 산정 활용 기술 확보가 가능하다.
- 지금까지 사용된 작물 증발산량 산정 방법을 재정립하여, 미래 기후변화 대응에 활용할 수 있는 모형 체계를 구축할 수 있다.
- 미래 시기별 (2020s 2050s), 지역별, 작부시기별 작물 소비수량 변동양상을 파악하여, 미래 기후변화에 대응할 수 있는 자료 기반을 확보할 수 있다.
- 기후변화 시나리오와 가뭄 지수를 이용한 용수구역별 미래 가뭄에 대한 민감도 분석을 통하여, 가뭄 유형별 최적의 대응 방법을 모색할 수 있는 기반 기술 확보가 가능하다. 따라서 미래 기후변화에 따른 농업수자원 분야의 가뭄 대응 기술 확보가 가능하다.

5.2 실용화 방안

- 기후변화 대응 기술로서 미래 농업 가뭄 유형별 대응 전략 수립에 활용
 - 농업 가뭄 대응 및 기후변화 대응 신규 수자원 개발 및 관리 방안 수립
 - 극한 기상에 의한 재해관리를 위한 기후변화 대응 기술 개발
 - 미래 기후변화에 의한 농업용수 물관리 고도화 및 선진화 사업
 - 농업용수의 다목적 용수 전환으로 농촌용수 개발 사업
 - 발 기반 용수 공급 대응 시설 계획 사업

- 지표수 수리시설로 용수공급이 불리한 지역의 지하수 공급방안 수립에 활용
 - 용수구역별로 지표수 수리시설로 용수공급이 불리한 지역을 선정
 - 취약지역에 대한 지하수 확보시설, 집수암거, 집수정 등 지하수·지표수 연계 이용계획 수립에 활용
- 가뭄대비 체계 구축을 위한 지하수 조사에 활용
 - 용수구역별로 가뭄대비가 필요한 가뭄취약 지구를 선정하여, 지하수 부존성 조사를 위한 지하수 조사에 활용
 - 이 결과를 이용하여 가뭄 발생 시 한해 대책비를 활용한 지하수 개발 가능
- 장기적으로 본 연구 결과는 작물별·지역별 및 시기별 농업용수의 관리방안 수립을 위한 기초자료로 제공이 가능하므로, 다음과 같은 현장에 활용될 수 있을 것으로 판단됨.
 - 기후변화에 따른 현장 농업용수 관리 및 영농 지도
 - 농업용수 현장 물관리에 있어서 기후변화 대응 방안 제시

Summary

1. Title : A study on optimal groundwater supply system in agricultural watersheds considering main infrastructure under climate change environment

2. Research Period : March 2016–December 2016

3. Background and Objectives

3.1 Background and Necessity

- Frequent extreme drought events under the climate change environment have a great effect on agricultural productivity due to the higher water resources availability in agricultural sector. Therefore, drought vulnerability of agricultural water considering the future climate change has to be assessed to maintain the stable agricultural productivity.
- Irrigation area is 81% of total paddy field and the irrigated paddy in frequency of 10 years of drought is 61%. Therefore, drought damage is often in farm products because most irrigation facilities are concentrated in the rice fields.
- To prepare the outbreak of extreme drought and water shortages due to climate change, the sustainable water supply system is needed.
- Therefore, it's necessary to establish the optimal groundwater supply system in agricultural watersheds considering main infrastructure under climate change environment.

3.2 Objectives of the study

- The objectives of this study are to establish the optimal groundwater supply system in agricultural watersheds considering main infrastructure under climate change environment and to suggest the supply plan of sustainable clean groundwater for major agricultural productions.

4. Contents and Results

4.1 Contents of the study

- The research focus on the investigation of water supply capacity for each watershed to cope with the agricultural drought according to climate change and the suggestion of optimum groundwater supply system to agricultural watersheds where irrigation water shortage is expected.
- To do this, we analyzed the hydrogeological characteristics, the drought severity according to climate change scenarios, and the amount of groundwater use for each agricultural watershed. From the results, agricultural watersheds where irrigation water shortage and drought vulnerable are expected, respectively, are classified.

4.2 Results of the study

- According to Rural Water Use Rationalization Plan(RWURP, 2014), the field irrigation area will be increased from 98,000 ha(2012) to 180,000 ha(2024), accounting for 13% to 24%. Meanwhile, the irrigated paddy ratio plan to expand from 59% to 75% in the same period.
- Groundwater recharge rates, mean annual precipitation and 10-year frequency of drought in 117 central watersheds from National Groundwater Management Plan(NGMP, 2012) were

applied to 511 agricultural watersheds to calculate groundwater recharge rates and the available amount of groundwater.

- The groundwater recharge capacity is 18.84 billion m^3/year and the available amount of groundwater considering 10-year frequency of drought is estimated to be 12.89 billion m^3/year , account for 68.4% of the total amount of groundwater recharge capacity.
- The amount of groundwater use in 2014 is 4.09 billion m^3/year , which is 21.7% of mean recharge rate and 31.7% of the available amount of groundwater. Therefore, we set the threshold of the available amount of groundwater by 35%. From the results, 285 agricultural watersheds are estimated under 30% while 35 agricultural watersheds are calculated over 80%.
- The average amount of groundwater use per unit area is 40,651 $\text{m}^3/\text{year}/\text{km}^2$ over the country and 300 agricultural watersheds are analyzed to less than 42,000 $\text{m}^3/\text{year}/\text{km}^2$.
- The density of groundwater well per unit area is an average of 15.5 wells/ km^2 over the country and 348 agricultural watersheds are calculated to less than 20 wells/ km^2 .
- Future climate change scenarios related to the historical period(2011–2015) and the future period(2016–2024 and 2025–2050) were generated for each agricultural watershed.
- Climate change scenarios were used in the application of four estimation methods for evapotranspiration including FAO Blaney–Cridde(BC), FAO Modified–Penman(MP), FAO Penman–Monteith(PM), and Thorthwaite(TH) to calculate the reference evapotranspiration and the results were compared.
- The Standard Precipitation Index(SPI) and the Standard Precipitation Evapotranspiration Index(SPEI) were calculated to assess the impact of climate change on drought occurrence in the past and future periods for each of 511 agricultural watersheds.

- Furthermore, to assess drought induced by climate change, Run theory was applied with SPEI as the time-series to analyze drought duration and severity.
- According to 1 month-SPEI under the case of RCP 4.5, drought severity was the highest in the agricultural watersheds within the Seomjin River watershed in the historical period. In the short term future period, drought severity increased in agricultural watersheds within the Geum River and Han River watersheds. Meanwhile, agricultural watersheds in the Southern shore region were shown to experience high drought severity in the mid-to-long term future period.
- According to 1 month-SPEI under the case of RCP 8.5, drought severity was higher in the agricultural watersheds located in the southern region than those located in the northern region for all of the past, short term and mid-to-long term future periods. Drought severity of agricultural watersheds within Seomjin River watershed and Youngsan River watershed was especially higher than that of other watersheds.
- 511 agricultural watersheds were classified into different clusters using the statistics for agricultural water usage from RWURP(2014) and for groundwater recharge from NGMP(2012).
- Eight clusters have been defined using the following criteria: 1) the total amount of groundwater use to the available amount of groundwater ratio of 80%, 2) farm water supply to water demand ratio of 37.5%, and 3) paddy water supply to water demand ratio of 76.5%. The results are shown in the table below.
- Using the averages and deviations of drought severity results of 1-, and 3-month SPEI from 2011 to 2050, drought characteristics of each agricultural water district was rated from 0 to 5 (severe drought) in order to suggest areas susceptible to drought following climate change.

- Using the averages and deviations of drought severity results of 1-, and 3-month SPEI from 2011 to 2050, drought characteristics of each agricultural water district was rated from 0 to 5 (severe drought) in order to suggest areas susceptible to drought following climate change.
- To identify drought vulnerable area where countermeasure to cope with climate change and focus on groundwater management are necessary, the following priority criteria have been suggested and the results are shown in this research.

- Criterion 1: selected drought vulnerable area → clusters 1-3
- Criterion 2: drought invulnerable area → clusters 4-8
 - Cluster 4 is the area where paddy/farm field water supply to demand ratio is relatively high
 - Clusters 5-8 are areas where groundwater development is limited, and paddy water(surface water) is used in farm fields, or a combined groundwater-surface water utilization plan is implemented.
- Criterion 3: priority within each cluster
 - Agricultural water districts where farm field to agricultural land rate is above 50%
 - Areas where the sum of standard ratings for 1-, and 3-month SPEI drought severity is high during the 2011-2050 period.

- Criteria in the table below were used to select and prioritize dong/ri in the drought vulnerable areas due to difficulties in supplying water based surface water irrigation systems. The areas within each of the 93 agricultural watersheds that corresponded to clusters 1 and 3 were prioritized on a dong/ri.

- Subject clusters: clusters 1 and 3
- Priority criteria: Areas where the water supply (amount) in 2012 was below the water demand (amount) for paddy and upland fields estimated for 2024
- Non-priority areas: dong/ri
 - Areas where farm field is predicted to be less than 10 ha in 2030
 - Anti-drought capacity areas of 10-year drought return period which has a surface irrigation system with a reservoir of larger than 300,000 m³ capacity*.
(*Weirs and pumping stations should have anti-drought capacity of 10-year drought return period and irrigated areas larger than 45 ha)

- To evaluate changes in the irrigation water requirement for upland field due to climate change, six representative drought-vulnerable areas were selected and the irrigation requirement was estimated for the representative upland crops in each area.

5. The expected effect and practical uses

5.1 Expected effect

- It can be used as basic data for stable water supply to crop productions for mitigating the effect of climate change based on the time-series data estimated from climate change scenarios.
- By analyzing the impact of global warming on the agricultural water supply and demand, it's possible to prepare the optimal policies to mitigate the effect of climate change for agricultural sector.

- In order to calculate the water demand for major crops according to the new climate change scenario, the basic data of the selected crops can be constructed using GIS. As a result, it is possible to estimate the amount of water for crops using new technology developed by this study.
- It is possible to secure the various data to mitigate the effect of climate change in the near future through identifying patterns of the water demand change in crops by the future periods(2020s and 2050s), regions, and the various water demands according to growing seasons.

5.2 Practical use

- Practical use as countermeasures for climate change
 - Establishment of the plan for water resources development and management plan for climate change.
 - Development of technology for climate change response including disaster management.
- Practical use as groundwater supply plans in areas where the supply of water to the surface water irrigation facility is unfavorable.
 - Selection of areas where the supply of water to the surface water irrigation facility is unfavorable for each agricultural watershed.
 - Practical use to establish surface water-groundwater linkage plans considering groundwater acquisition facilities, infiltration gallery, and radial collector well in vulnerable areas.
- Practical use for groundwater hydrogeologic survey in preparation for drought.
 - Practical use for investigating groundwater availability in each agricultural watershed.

목 차

제1장 서론	1
1.1 연구배경 및 목적	3
1.2 연구 내용 및 방법	4
1.3 기대효과 및 실용화 방안	7
제2장 농어촌용수구역 특성 분석	9
2.1 지표수 공급 특성 분석	11
2.2 농지이용 특성 분석	14
2.3 용수 수요·공급 특성 분석	16
제3장 기후변화에 따른 용수구역별 미래 가뭄 분석	21
3.1 기상인자를 고려한 기준 증발산량 산정	23
3.2 시나리오별 용수구역 강수량 및 증발산량 분석	41
3.3 시나리오별 가뭄지수 산정	56
3.4 용수구역별 단기 및 중장기 미래 가뭄 분석	77
제4장 용수구역별 지하수 이용현황 분석	95
4.1 전국 지하수 개발 및 이용현황	97
4.2 지하수 이용현황	100
제5장 용수구역별 지하수 개발가능량 분석	111
5.1 용수구역별 지하수 함양량 및 개발가능량	113
5.2 지하수 개발가능량 대비 이용량 평가	119

제6장 용수구역별 가뭄특성 분석에 따른 유형 분류	121
6.1 물이용 특성에 따른 용수구역 분류	123
6.2 가뭄분석 결과에 따른 용수구역 분류	140
제7장 용수구역별 가뭄 취약지역 제시	161
7.1 가뭄대비가 필요한 용수구역 선정	163
7.2 발작물 지역에 대한 관개 필요수량 산정	186
제8장 결 론	203
제9장 제 언	211
9.1 용수구역 유형별 지하수 개발 방안	213
9.2 지하수 개발 형태 분류	217
참고문헌	221
부록	229

표 목차

(표 2-1) 수리답 면적	11
(표 2-2) 수리시설별 관개면적	13
(표 2-3) 관리주체별 수리시설 개소수 및 면적	14
(표 2-4) 국토 토지이용 변화 추이	14
(표 2-5) 농어촌용수 10개년 개발 목표	16
(표 2-6) 논용수 2012년 공급량 및 2024년 수요량	16
(표 2-7) 밭용수 수요량	18
(표 2-8) 농어촌용수 개발계획	19
(표 3-1) 기준증발산량 산정을 위한 기상요소 미래자료의 해상도 및 기간	24
(표 3-2) 기상청 ASOS 자료 관측소 정보 및 수집 자료 기간	26
(표 3-3) 기준증발산량 산정별 비교	29
(표 3-4) SPI 및 SPEI 가뭄지수	58
(표 3-5) 평균과 표준편차를 이용한 5점 척도법	61
(표 3-6) 과거 가뭄 기록	61
(표 4-1) 전국 지하수 개발·이용 현황	97
(표 4-2) 시·도별 공당 지하수 이용량	98
(표 4-3) 시·도별 단위면적당 지하수 이용량	99
(표 4-4) 연도별 지하수 개발·이용 현황	103
(표 4-5) 2000~2010년 봄 가뭄 피해이력	104
(표 4-6) 2011~2015년 농업가뭄 및 피해상황	105
(표 4-7) 강선 및 유구지구 수리시설 및 수혜면적	106
(표 4-8) 공주시 연도별 지하수 개발 현황	107
(표 4-9) 강화군 연도별 지하수 개발 현황	108
(표 5-1) 수자원단위지도 권역별 농어촌용수구역 설정 현황	114
(표 5-2) 유역별 면적 강수량 30년 평균	115
(표 5-3) 10년 빈도 가뭄 시 유역별 면적 강수량	116
(표 5-4) 유역별 지하수 함양율	117
(표 5-5) 유역/대권역별 지하수 함양량 및 개발가능량	118
(표 6-1) 용수구역별 농업용수 수요량 및 공급량 통계	126

(표 6-2) 용수구역별 지하수 시설 및 지하수 이용량 통계	127
(표 6-3) 용수구역별 농지이용 통계	128
(표 6-4) 상관분석 결과	129
(표 6-5) 용수구역 유형분류를 위한 평가지표의 군집분석 결과	131
(표 6-6) 유형별 지하수활용방안 및 지하수 개발 우선순위	132
(표 6-7) 용수구역 유형별 특성 (Cluster 1~4)	134
(표 6-8) 용수구역 유형별 특성 (Cluster 5~8)	135
(표 6-9) 유형별-지역별 용수구역 상세 목록	137
(표 7-1) 기후변화 및 지하수 기반 가뭄대비가 필요한 가뭄취약지구 우선순위 (RCP 4.5)	166
(표 7-2) 기후변화 및 지하수 기반 가뭄대비가 필요한 가뭄취약지구 우선순위 (RCP 8.5)	167
(표 7-3) 공주시 유구용수구역 가뭄우심지구 지하수조사 우선순위 검토 사례	184
(표 7-4) 2001년 가뭄우심지구 지하수조사 우선순위 분류	185
(표 7-5) 토성별 속성 자료	188

그림 목차

<그림 2-1> 용수구역별 수리답율	12
<그림 2-2> 용수구역별 수리안전답율	12
<그림 2-3> 수리시설별 관개면적 및 개소수	13
<그림 2-4> 최근 5년간 농경지 면적 변화	14
<그림 2-5> 용수구역별 전체 면적대비 농경지 비율	15
<그림 2-6> 용수구역별 농지 면적 중 논 면적 비율	15
<그림 2-7> 용수구역별 논용수 수요량 대비 공급량 비율	17
<그림 2-8> 용수구역별 수리답 논용수 수요량 대비 공급량 비율	17
<그림 2-9> 용수구역별 2024년 관개전 수요량 대비 2012년 발용수 공급량 비율	18
<그림 3-1> 미래기후정보 생산 단위인 (a)시군구 및 (b)읍면동단위 행정구역도와 (c) 1km 격자 정보에 대한 행정구역 단위 속성 분류 예시 (남해안 도서지역)	24
<그림 3-2> EDCDFm 기법 적용 편이보정과정 도식	25
<그림 3-3> 편이보정에 적용한 기상청 ASOS 자료 관측소 위치	25
<그림 3-4> 남한지역의 용수구역 단위로 BC 산정법을 적용하여 산정한 기준증발산량의 계절별 공간분포	31
<그림 3-5> 남한지역의 용수구역 단위로 MP 산정법을 적용하여 산정한 기준증발산량의 계절별 공간분포	32
<그림 3-6> 남한지역의 용수구역 단위로 PM 산정법을 적용하여 산정한 기준증발산량의 계절별 공간분포	33
<그림 3-7> 남한지역의 용수구역 단위로 TH 산정법을 적용하여 산정한 기준증발산량의 계절별 공간분포	34
<그림 3-8> RCP 시나리오에 따른 산정법 및 기간별 연평균 기준증발산 량 비교	35
<그림 3-9> RCP 시나리오에 따른 여름(6~8월) 기간의 산정법 및 기간 별 기준증발산량 비교	36
<그림 3-10> RCP 시나리오에 따른 산정법별 기준증발산량의 연최대 최 소 용수구역 범위 시계열 비교	37

<그림 3-11> RCP 시나리오에 따른 산정법별 기준증발산량의 전체 용수구역 연평균 및 용수구역 간 표준편차 시계열 비교	· 39
<그림 3-12> RCP 시나리오에 따른 산정법별 기준증발산량 연단위 시계 열 추세 비교(강선 및 유구 용수구역)	40
<그림 3-13> RCP 2.6과 RCP 4.5 시나리오에 따른 미래기간별 남한 용 수구역단위 미래강수량 분포 변화(%) 분석결과	41
<그림 3-14> RCP 6.0과 RCP 8.5 시나리오에 따른 미래기간별 남한 용 수구역단위 미래강수량 분포 변화(%) 분석결과	43
<그림 3-15> RCP 시나리오에 따른 용수구역별 강수량 범위 및 연평균 시계열	44
<그림 3-16> RCP 시나리오에 따른 산정법, 기간, 계절별 평균 강수량 예측결과 비교	45
<그림 3-17> RCP 2.6과 RCP 4.5 시나리오에 따른 미래기간별 남한 용수구역단위 미래평균기온 분포 변화(°C) 분석결과	46
<그림 3-18> RCP 6.0과 RCP 8.5 시나리오에 따른 미래기간별 남한 용수구역단위 미래평균기온 분포 변화(°C) 분석결과	47
<그림 3-19> RCP 시나리오에 따른 용수구역별 평균기온 범위 및 연평 균 시계열	49
<그림 3-20> RCP 시나리오에 따른 산정법, 기간, 계절별 평균기온 예측결과 비교	50
<그림 3-21> RCP 2.6과 RCP 4.5 시나리오에 따른 미래기간별 남한 용수구역단위 기준증발산량 분포 변화(%) 분석 (PM 산정법 적용결과)	51
<그림 3-22> RCP 6.0과 RCP 8.5 시나리오에 따른 미래기간별 남한 용수구역단위 기준증발산량 분포 변화(%) 분석 (PM 산정법 적용결과)	52
<그림 3-23> RCP 시나리오에 따른 용수구역별 기준증발산량 범위 및 연평균 시계열	54
<그림 3-24> RCP 시나리오에 따른 기간 및 계절별 PM 적용 기준증발 산량 예측결과 비교	55
<그림 3-25> Runs 이론을 통한 가뭄 지속기간 및 가뭄심도 산정 방법	60

<그림 3-26> 강화-강선지구의 실측 기상자료를 이용한 SPI 산정 결과 (2000~2015년)	64
<그림 3-27> 천안-유구지구의 실측 기상자료를 이용한 SPI 산정 결과 (2000~2015년)	65
<그림 3-28> 강화-강선지구 실측 및 모의 기상자료를 적용한 SPI 산정 결과 비교	66
<그림 3-29> 천안-유구지구 실측 및 모의 기상자료를 적용한 SPI 산정 결과 비교	67
<그림 3-30> 강화-강선 지구의 단기 및 중장기 미래 시기의 SPI 산정 결과	68
<그림 3-31> 강화-강선 지구의 단기 및 중장기 미래 작부시기(4-6월)의 SPI 산정 결과	68
<그림 3-32> 강화-강선지구의 실측 기상자료를 이용한 SPEI 산정 결과 (2000~2015년)	70
<그림 3-33> 천안-유구지구의 실측 기상자료를 이용한 SPEI 산정 결과 (2000~2015년)	71
<그림 3-34> 강화-강선지구 실측 및 모의 기상자료를 적용한 SPEI 산정 결과 비교	72
<그림 3-35> 천안-유구지구 실측 및 모의 기상자료를 적용한 SPEI 산정 결과 비교	72
<그림 3-36> 강화-강선 지구의 단기 및 중장기 미래 시기의 SPEI 산정 결과	73
<그림 3-37> 강화-강선 지구의 단기 및 중장기 미래 작부시기(4~6월)의 SPEI 산정 결과	74
<그림 3-38> 강화 강선 지구의 과거시기 SPI와 SPEI 산정 결과 비교	75
<그림 3-39> 천안 유구 지구의 과거시기 SPI와 SPEI 산정 결과 비교	76
<그림 3-40> RCP 2.6 시나리오 기반의 지속기간 1개월 SPI를 활용한 가 뭄특성 분석 결과	78
<그림 3-41> RCP 2.6 시나리오 기반의 지속기간 3개월 SPI를 활용한 가 뭄특성 분석 결과	79
<그림 3-42> RCP 4.5 시나리오 기반의 지속기간 1개월 SPI를 활용한 가뭄특성 분석 결과	80

<그림 3-43> RCP 4.5 시나리오 기반의 지속기간 3개월 SPI를 활용한 가뭄특성 분석 결과	81
<그림 3-44> RCP 6.0 시나리오 기반의 지속기간 1개월 SPI를 활용한 가 뭄특성 분석 결과	82
<그림 3-45> RCP 6.0 시나리오 기반의 지속기간 3개월 SPI를 활용한 가 뭄특성 분석 결과	83
<그림 3-46> RCP 8.5 시나리오 기반의 지속기간 1개월 SPI를 활용한 가 뭄특성 분석 결과	84
<그림 3-47> RCP 8.5 시나리오 기반의 지속기간 3개월 SPI를 활용한 가 뭄특성 분석 결과	85
<그림 3-48> RCP 2.6 시나리오 기반의 지속기간 1개월 SPEI를 활용한 가뭄특성 분석 결과	86
<그림 3-49> 시나리오 기반의 지속기간 3개월 SPEI를 활용한 가뭄특성 분석 결과	87
<그림 3-50> RCP 4.5 시나리오 기반의 지속기간 1개월 SPEI를 활용한 가뭄특성 분석 결과	88
<그림 3-51> RCP 4.5 시나리오 기반의 지속기간 3개월 SPEI를 활용한 가뭄특성 분석 결과	89
<그림 3-52> RCP 6.0 시나리오 기반의 지속기간 1개월 SPEI를 활용한 가뭄특성 분석 결과	90
<그림 3-53> RCP 6.0 시나리오 기반의 지속기간 3개월 SPEI를 활용한 가뭄특성 분석 결과	91
<그림 3-54> RCP 8.5 시나리오 기반의 지속기간 1개월 SPEI를 활용한 가뭄특성 분석 결과	92
<그림 3-55> RCP 8.5 시나리오 기반의 지속기간 3개월 SPEI를 활용한 가뭄특성 분석 결과	93
<그림 4-1> 전국 지하수 이용량	97
<그림 4-2> 전국 지하수 시설현황	97
<그림 4-3> 공당 지하수 년 이용량	98
<그림 4-4> 단위면적당 지하수 년간 이용량	99
<그림 4-5> 단위면적당 지하수 개발 밀도	100
<그림 4-6> 용수구역별 단위면적당 지하수 이용량	101

<그림 4-7> 용수구역별 단위면적당 지하수 개발 밀도	101
<그림 4-8> 용수구역별 농경지 단위면적당 지하수 이용량	102
<그림 4-9> 용수구역별 농경지 단위면적당 지하수 개발 밀도	102
<그림 4-10> 연도별 지하수 시설 및 이용량 추이	103
<그림 4-11> 강선 및 유구지구 위치도	106
<그림 4-12> 공주시 연도별 지하수 시설 추이	107
<그림 4-13> 강화군 연도별 지하수 시설 추이	108
<그림 4-14> 강화도 간척지	108
<그림 4-15> 강화도 해수침투 관측망 위치도	109
<그림 5-2> 유역별 면적 강수량 30년 평균	115
<그림 5-3> 10년 빈도 가뭄 시 유역별 면적 강수량	116
<그림 5-4> 유역별 지하수 함양률	117
<그림 5-5> 용수구역별 지하수 함양률 대비 이용량	119
<그림 5-6> 시·도별 지하수 개발가능량 대비 이용량 비율	120
<그림 5-7> 용수구역별 지하수 개발가능량 대비 이용량	120
<그림 6-1> 용수구역 분류를 위한 평가지표	130
<그림 6-2> 용수구역 유형별 방사형 그래프 (Cluster 1~4)	133
<그림 6-3> 용수구역 유형별 방사형 그래프 (Cluster 5~8)	134
<그림 6-4> 용수구역별 농업용수이용 특성에 따른 유형분류 결과	136
<그림 6-5> RCP 2.6 시나리오의 지속기간 1개월 SPI 기반의 가뭄 특성 분석을 통한 용수구역 분류	142
<그림 6-6> RCP 2.6 시나리오의 지속기간 3개월 SPI 기반의 가뭄 특성 분석을 통한 용수구역 분류	143
<그림 6-7> RCP 4.5 시나리오의 지속기간 1개월 SPI 기반의 가뭄 특성 분석을 통한 용수구역 분류	144
<그림 6-8> RCP 4.5 시나리오의 지속기간 3개월 SPI 기반의 가뭄 특성 분석을 통한 용수구역 분류	145
<그림 6-9> RCP 6.0 시나리오의 지속기간 1개월 SPI 기반의 가뭄 특성 분석을 통한 용수구역 분류	146
<그림 6-10> RCP 6.0 시나리오의 지속기간 3개월 SPI 기반의 가뭄 특성 분석을 통한 용수구역 분류	147

<그림 6-11> RCP 8.5 시나리오의 지속기간 1개월 SPI 기반의 가뭄 특성 분석을 통한 용수구역 분류	148
<그림 6-12> RCP 8.5 시나리오의 지속기간 3개월 SPI 기반의 가뭄 특성 분석을 통한 용수구역 분류	149
<그림 6-13> RCP 2.6 시나리오의 지속기간 1개월 SPEI 기반의 가뭄 특성 분석을 통한 용수구역 분류	152
<그림 6-14> RCP 2.6 시나리오의 지속기간 3개월 SPEI 기반의 가뭄 특성 분석을 통한 용수구역 분류	153
<그림 6-15> RCP 4.5 시나리오의 지속기간 1개월 SPEI 기반의 가뭄 특성 분석을 통한 용수구역 분류	154
<그림 6-16> RCP 4.5 시나리오의 지속기간 3개월 SPEI 기반의 가뭄 특성 분석을 통한 용수구역 분류	155
<그림 6-17> RCP 6.0 시나리오의 지속기간 1개월 SPEI 기반의 가뭄 특성 분석을 통한 용수구역 분류	156
<그림 6-18> RCP 6.0 시나리오의 지속기간 3개월 SPEI 기반의 가뭄 특성 분석을 통한 용수구역 분류	157
<그림 6-19> RCP 8.5 시나리오의 지속기간 1개월 SPEI 기반의 가뭄 특성 분석을 통한 용수구역 분류	158
<그림 6-20> RCP 8.5 시나리오의 지속기간 3개월 SPEI 기반의 가뭄 특성 분석을 통한 용수구역 분류	159
<그림 7-1> 기후변화 및 지하수 기반 가뭄대비가 필요한 가뭄취약지구 우선순위	165
<그림 7-2> 가뭄취약지구 중 지표수 수리시설로 용수공급 불리 지역 및 지하수조사 우선 지역선정을 위한 기초자료 구축	168
<그림 7-3> 가뭄취약지구(유형1&발면적 비율 50% 이상) 중 지하수조사 우선순위	169
<그림 7-4> 가뭄취약지구(유형1&발면적 비율 50% 이하) 중 지하수조사 우선순위	172
<그림 7-5> 가뭄취약지구(유형3&발면적 비율 50% 이상) 중 지하수조사 우선순위	175
<그림 7-6> 가뭄취약지구(유형3&발면적 비율 50% 이하) 중 지하수조사 우선순위	178

<그림 7-7> 용수구역내 주요 농업기반시설 위치	182
<그림 7-8> 한밭빈도에 따른 지표수 수리시설 수혜구역	182
<그림 7-9> 용수구역 내 리별 가뭄빈도 상대분석	183
<그림 7-10> 가뭄우심지역 수리시설 및 수혜구역 상세분석	183
<그림 7-11> 가뭄우심지구 지하수조사 우선순위	184
<그림 7-12> 가뭄취약지구 지하수조사 흐름도	185
<그림 7-13> 원양지구 콩의 연 관개 필요수량의 변화	191
<그림 7-14> RCP 4.5 시나리오 적용 시 원양지구 콩의 월 관개 필요수 량의 변화	191
<그림 7-15> RCP 8.5 시나리오 적용 시 원양지구 콩의 월 관개 필요수 량의 변화	191
<그림 7-16> 임신지구 고추의 연 관개 필요수량의 변화	192
<그림 7-17> RCP 4.5 시나리오 적용 시 임신지구 고추의 월 관개 필요 수량의 변화	193
<그림 7-18> RCP 8.5 시나리오 적용 시 임신지구 고추의 월 관개 필요 수량의 변화	193
<그림 7-19> 평방지구 감자의 연 관개 필요수량의 변화	194
<그림 7-20> RCP 4.5 시나리오 적용 시 평방지구 감자의 월 관개 필요 수량의 변화	195
<그림 7-21> RCP 8.5 시나리오 적용 시 평방지구 감자의 월 관개 필요 수량의 변화	195
<그림 7-22> 함라지구 양파의 연 관개 필요수량의 변화	196
<그림 7-23> RCP 8.5 시나리오 적용 시 함라지구 양파의 월 관개 필요 수량의 변화	197
<그림 7-24> RCP 8.5 시나리오 적용 시 함라지구 양파의 월 관개 필요 수량의 변화	197
<그림 7-25> 해화지구 마늘의 연 관개 필요수량의 변화	198
<그림 7-26> RCP 8.5 시나리오 적용 시 해화지구 마늘의 월 관개 필요 수량의 변화	199
<그림 7-27> RCP 8.5 시나리오 적용 시 해화지구 마늘의 월 관개 필요 수량의 변화	199
<그림 7-28> 홍남지구 무의 연 관개 필요수량의 변화	200

<그림 7-29> RCP 8.5 시나리오 적용 시 홍남지구 무의 월 관개 필요수 량의 변화	201
<그림 7-30> RCP 8.5 시나리오 적용 시 홍남지구 무의 월 관개 필요수 량의 변화	201
<그림 9-1> 집수암거	218
<그림 9-2> 방사상 집수정의 개발 모식도	219
<그림 9-3> 암반관정 개발	220
<그림 9-4> 이안지하댐 전경	220

제 1 장

서 론

제1장 서론

1.1 연구배경 및 목적

1.1.1 연구의 배경 및 필요성

수자원 의존도가 높은 국내 농업환경에서 기후변화에 따른 농업수자원 이용가능성 저하 및 극심한 가뭄빈도의 변화는 농산물 생산성에 직접적인 영향을 줄 수 있다. 따라서 안정적인 농업생산량 유지를 위해서는 기후변화의 영향을 고려한 미래 농업수자원의 가뭄취약성에 대한 분석을 통해 안정적인 농업용수 공급 대책을 마련할 필요가 있다.

최근 폭설, 한파, 이상 저온, 이상 고온, 일사량 부족, 홍수, 가뭄 등 이상기후로 인한 기후변화 현상이 매년 되풀이하여 증가하고 있다. 특히 이상 집중호우가 증가로 인하여 강수량은 증가하고 있으나, 강수 시기가 편중되어 가뭄 발생이 잦고 정도도 심해지고 있는 실정이다. 또한 집중호우나 홍수의 형태가 잦아지기 때문으로 인한 시간적·지역적으로 물 공급의 불균형이 커져, 가뭄 발생이 심해지는 기간에는 물 부족이 심각하게 발생하게 된다.

IPCC(기후변화에 관한 정부간 협의체) 기후변화 전망에 따르면 미래 기후변화가 한반도 수자원에 미치는 영향은 지표 유출량의 증가, 지하수 함양량 감소, 홍수량 증가, 가뭄의 증가가 있을 것으로 전망하고 있다. 미래 기후변화는 근본적으로 강수 및 기온의 변화를 가져오므로 기상학적 가뭄에 큰 영향을 미치게 되며, 가뭄의 지속기간이 길어지고 심도가 깊어짐에 따라서 순차적으로 농업적 가뭄 및 수문학적 가뭄에 큰 영향을 미칠 것으로 예상된다. 미래에는 약한 가뭄 및 보통 가뭄의 발생빈도는 줄어드는 반면, 농업 또는 수문학적으로 영향을 미치는 심한 가뭄 및 극심한 가뭄의 발생빈도가 증가할 것으로 전망하고 있다(환경부, 국립환경과학원, 2014).

우리나라의 경우 저수지 등 수리시설을 이용하는 경지면적은 전체 논 면적의 81%이며, 10년 빈도의 가뭄에도 물을 안정적으로 공급할 수 있는 수리안전답은 61% 수준이다. 특히 대부분의 수리시설이 논 관

개에 집중되어 상대적으로 발관개시설은 부족하기 때문에, 기상변화에 직접적으로 노출되는 밭작물들에서 가뭄피해가 자주 발생하고 있다.

따라서 기후변화에 따른 가뭄피해가 최소화 될 수 있도록 수리시설이 없어 자연 강우에 의존하는 천수답, 내한능력 부족으로 작은 가뭄에도 피해가 발생하는 지역 및 밭 관개시설이 미비하여 가뭄에 취약한 용수구역에 대하여 용수구역별 최적지하수 공급방안 제시를 통하여 선제적으로 가뭄에 대비할 필요가 있다.

1.1.2 연구의 목적

본 연구의 목적은 지표수 수리시설로 용수공급이 불리한 용수구역에 대하여 기후변화를 고려한 최적지하수 공급 방안을 수립하고, 농업환경 변화에 따른 주요 농특산물 생산에 필수적인 청정 지하수 공급 방안을 제시하는 것이다.

1.2 연구 내용 및 방법

본 연구의 주요 내용은 1) 농어촌용수구역별 용수공급원의 물 부족 대응능력 검토 및 2) 지표수 수리시설로 용수공급이 불리한 농어촌용수구역에 대하여, 기후변화에 따른 농업가뭄에 대비하기 위한 지하수 개발가능량 산출 및 최적 지하수 공급 방안을 마련하는 것이다.

이를 위하여 용수구역별 수리·수문 특성 분석, 기후변화에 따른 용수구역별 가뭄분석, 용수구역별 지하수 이용량 및 개발가능량을 분석한 후, 이를 통하여 용수구역 유형 분류, 가뭄대비가 필요한 용수구역을 선정 및 가뭄취약 지역을 제시하였다.

연구내용	연구방법
<p>용수구역별 특성/유형 분석</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 용수구역별 지표수 공급 특성 분석 <ul style="list-style-type: none"> - 수리시설 한발빈도와 급수면적을 고려한 용수구역별 주된 지표수 공급 방법 분석(저수지, 양수장 등) ○ 농어촌용수구역별 수리시설 한발빈도에 따른 수리답율 분석 ○ 용수구역별 농지이용 특성 분석 ○ 용수구역별 용수 수요·공급 특징 분석(지하수 위주)
<p>기후변화에 따른 용수구역별 가뭄 분석</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 기후변화에 따른 용수구역별 단기 및 중장기 가뭄 취약성 분석 <ul style="list-style-type: none"> - 기후변화 시나리오를 활용한 미래 가뭄 분석 - 시설원에 중심의 가뭄 빈도 분석(1~12월) - 논 농업 중심의 가뭄 빈도 분석(4~6월) ○ 용수 수요·공급 및 가뭄 특징에 따른 용수구역 유형 분류
<p>가뭄 대비가 필요한 용수구역 선정</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 주요 농업기반시설의 한발빈도 수리답율이 낮은 용수구역 선정 ○ 미래 가뭄빈도가 높은 용수구역 선정 ○ 가뭄우심지구 조사자료 분석 ○ 가뭄 대비가 필요한 용수구역 선정
<p>용수구역별 지하수 이용량 분석</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 용수구역별 지하수 이용량 분석 <ul style="list-style-type: none"> - 지하수조사연보의 행정구별별 이용량 자료를 기초로 용수구역별 이용량 분석
<p>용수구역별 지하수 개발가능량 분석</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 농어촌용수구역별 지하수 함양량 및 개발가능량 산정 ○ 용수구역별 지하수이용량 대비 개발가능량 평가

1.3 기대효과 및 실용화 방안

1.3.1 기대효과

- 한발빈도 및 기후변화를 고려한 체계적인 지하수 공급계획 수립으로, 단위용수구역에서 가뭄 시 효과적인 대응이 가능하다.
- 가뭄 시 긴급 관정개발에 따른 난개발로 인한 환경오염피해 억제 및 예산 절감이 가능하다.
- 상습가뭄 피해지역에 농업용수를 안정적으로 공급할 수 있는 기반 마련으로, 항구적 가뭄해소 및 영농소득 증대에 기여할 수 있다.
- 미래시기의 농업용수 수급량 산정 및 변화 예측 결과는 향후 용수공급 산업의 선진화를 위한 기초자료로 활용될 수 있으며, 이를 통하여 농업 발전이 기대된다.
- 기후변화에 따른 농업용수 수급량 변화 예측 결과는, 미래의 기상이변에 대비한 농작물 생산량의 안정적 공급을 위한 기초자료로 활용될 수 있다. 특히 이러한 분석 결과는 농산물 가격 안정에 기여하고, 나아가 미래 국가 식량 확보로 인한 국가 경제 안정에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.
- 지구 온난화가 농업용수 수급 부분에 미치는 영향을 분석함으로써, 지속가능한 농업을 위한 농업부분의 기후변화 대응 및 대책 수립에 기초자료로 활용할 수 있다.
- 기후변화에 의한 농업용수 수급 취약지역 예상 및 시기별 수급계획량 제시를 통하여, 미래 기후변화 전망에 따른 물 부족 대응 및 안정적 농업용수 공급 정책 결정을 위한 기반 마련에 기여가 가능하다.
- 기후변화 시나리오에 따른 주요 작물별 물 요구량 산정을 위한 기초자료의 GIS D/B가 구축됨에 따라, 향후 이를 이용한 작물 소비수량 산정 활용 기술 확보가 가능하다.
- 지금까지 사용된 작물 증발산량 산정 방법을 재정립하여, 미래 기후변화 대응에 활용할 수 있는 모형 체계 구축이 가능하다.
- 미래 시기별 (2020s 2050s), 지역별, 작부시기별 작물 소비수량 변동

양상을 파악하여, 미래 기후변화에 대응할 수 있는 자료 기반을 확보할 수 있다.

- 기후변화 시나리오와 가뭄 지수를 이용한 용수구역별 미래 가뭄에 대한 민감도 분석을 통하여, 가뭄 유형별 최적의 대응 방법을 모색할 수 있는 기반 기술 확보가 가능하다. 따라서 미래 기후변화에 따른 농업수자원 분야의 가뭄 대응 기술 확보가 가능하다.

1.3.2 실용화 방안

- 기후변화 대응 기술로서 미래 농업 가뭄 유형별 대응 전략 수립에 활용
 - 농업 가뭄 및 기후변화 대응 신규 수자원 개발 및 관리 방안 수립
 - 극한 기상에 따른 재해관리를 위한 기후변화 대응 기술 개발
 - 미래 기후변화에 의한 농업용수 물관리 고도화 및 선진화 사업 추진
 - 농업용수의 다목적 용수 전환으로 농촌용수 개발 사업 추진
 - 발 기반 용수 공급 대응 시설 계획 사업 추진
- 지표수 수리시설로 용수공급이 불리한 지역의 지하수 공급 방안 수립에 활용
 - 용수구역별 지표수 수리시설로 용수공급이 불리한 지역 선정
 - 취약지역에 대한 지하수 확보시설, 집수암거, 집수정 등 지하수-지표수 연계 이용계획 수립에 활용
- 가뭄대비 체계 구축을 위한 지하수 조사에 활용
 - 용수구역별로 가뭄대비가 필요한 가뭄취약 지구를 선정하여, 지하수 부존성 조사를 위한 지하수 조사에 활용
 - 이 결과를 이용하여 가뭄 발생 시 한해 대책비를 활용한 안정적인 지하수 개발 가능
- 장기적으로 본 연구 결과는 작물별·지역별 및 시기별 농업용수의 관리방안 수립을 위한 기초자료로 제공이 가능하므로, 다음과 같은 현장에 활용될 수 있을 것으로 판단됨.

- 기후변화에 따른 현장 농업용수 관리 및 영농 지도
- 농업용수 현장 물관리에 활용 가능한 기후변화 대응 방안 제시
- 극한 기상에 의한 가뭄 재해관리를 위한 농업용수 물관리
- 농업용수 유지관리 첨단화 및 자동화의 기후변화 대응 방안 적용

제 2 장

농어촌용수구역 특성 분석

제2장 농어촌용수구역 특성 분석

2.1 지표수 공급 특성 분석

2.1.1 농어촌용수구역

농림축산식품부에서는 농어촌정비법 제15조에 의거 농어촌용수의 효율적인 개발·이용 및 보전·관리 등을 위하여 농어촌용수이용 합리화계획을 수립하고 있으며, 이 계획에는 농어촌용수의 수요와 개발에 관한 사항, 농어촌용수의 이용·배분과 보전·관리에 관한 사항, 농어촌용수구역의 범위에 관한 사항 등을 포함하고 있다.

농어촌용수구역은 농어촌발전특별조치법(1990)에 의거 1999년 수립된 농어촌용수이용합리화계획에 따라 최초에는 464개소로 설정하였으며, 2014년에 「농어촌용수이용합리화계획(2015~2024년)」을 재수립하면서 511개 용수구역으로 재편다(농림축산식품부, 2014).

2.1.2 농업용수 공급 현황

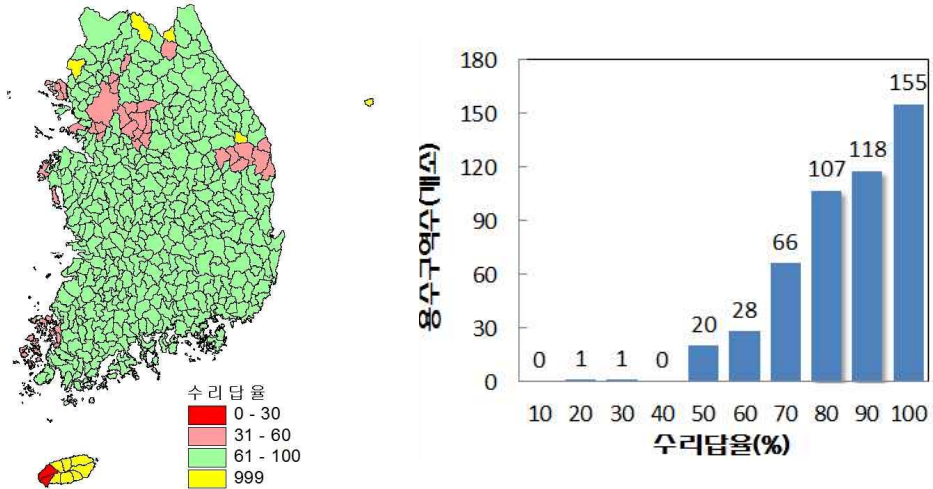
2015년 농업생산기반정비사업 통계연보에 따르면 논 경지면적 934천 ha 중 저수지 등 수리시설로부터 용수를 공급받는 농지는 전체 논의 80.6% 인 753천 ha이며, 10년 빈도의 가뭄에도 물을 안정적으로 공급 받을 수 있는 수리안전담은 60.1%인 561천 ha 이다(농림축산식품부, 2015)(표 2-1).

(표 2-1) 수리담 면적

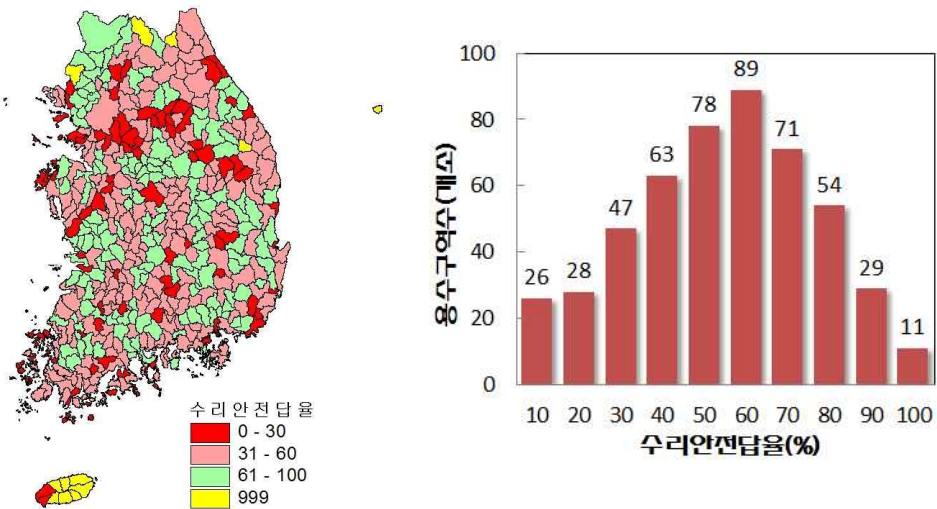
(단위 : 천ha)

구분	논면적	수리담 *한발빈도별 면적						천수담
		계	평년	3년	5년	7년	10년 이상 (수리안전담)	
합 계	934 (100%)	753 (80.6)	119 (12.7)	43 (4.6)	20 (2.2)	9 (1.0)	561 (60.1)	181 (19.4)
- 공사		513	4	6	2	3	498	
- 지자체		240	115	37	18	6	63	

511개 농어촌용수구역 중 논 경지면적이 없는 15개 용수구역을 제외한 496개 용수구역에 대한 수리답율 및 수리안전답율을 분석하면, 수리답율이 평균인 80.6%보다 적은 용수구역이 <그림 2-1>과 같이 223개이며, 수리안전답율이 평균인 60.1%보다 적은 용수구역은 <그림 2-2>와 같이 331개에 해당한다.



<그림 2-1> 용수구역별 수리답율

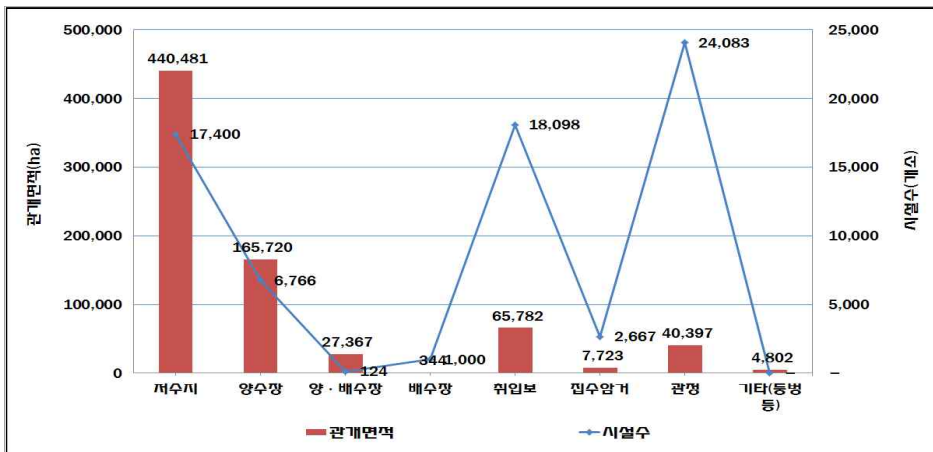


<그림 2-2> 용수구역별 수리안전답율

수리시설은 70,138개소이며, 관정이 24,083개로 가장 많고, 취입보 18,098개, 저수지 17,400개, 양수장 6,766개 순이다. 시설별 관개면적은 전체의 약 80%가 저수지 및 양수장을 이용하며, 약 20%는 취입보나 지하수 시설을 이용한다(표 2-2)(그림 2-3). 이 중 한국농어촌공사에서 저수지, 양수장 등 13,608개 시설에서 512,605 ha를 급수하고 있고, 지자체에서 취입보, 관정, 저수지 등 56,530개 시설에서 240,010 ha를 급수하고 있어 관리주체별 수리시설 개소당 평균 급수면적은 각각 37.6 ha와 4.2 ha이다(표 2-3).

(표 2-2) 수리시설별 관개면적

구분	시설(개소)		관개면적	
		비율(%)	(단위: ha)	비율(%)
합계	70,138	100.0	752,616.6	100.0
저수지	17,400	24.8	440,481.0	58.5
양수장	6,766	9.6	165,719.6	22.0
양·배수장	124	0.2	27,367.4	3.6
배수장	1,000	1.4	344.0	0.0
보	18,098	25.8	65,782.1	8.7
집수암거	2,667	3.8	7,722.7	1.0
관정	24,083	34.3	40,396.5	5.4
기타시설	-	0.0	4,802.3	0.6



<그림 2-3> 수리시설별 관개면적 및 개소수

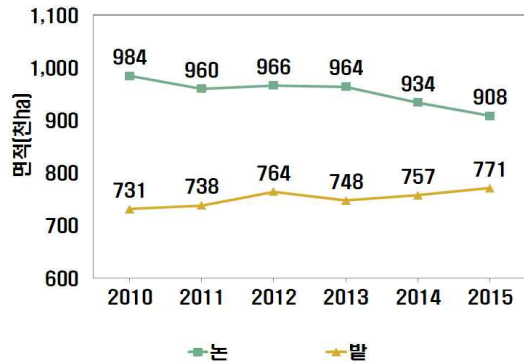
(표 2-3) 관리주체별 수리시설 개소수 및 면적

계		한국농어촌공사 관리			시·군 관리		
개소수	면적(ha)	개소수	면적(ha)	개소당면적	개소수	면적(ha)	개소당면적
70,138	752,615	13,608 (19%)	512,605 (68%)	37.6ha	56,530 (81%)	240,010 (32%)	4.2ha

2.2 농지이용 특성 분석

2.1.2 농경지 면적 변화 추이

2010년부터 2015년까지 전국의 토지이용 변화 추이에 따르면 경지면적 중 논은 2010년 984,140 ha에서 2015년 908,194 ha로 연간 12천 ha 감소하였으며, 밭은 2010년 731,161 ha에서 2015년 770,829 ha로 연간 6.6 천ha 증가하였다(KOSIS, 2016)(표 2-4)(그림 2-4).



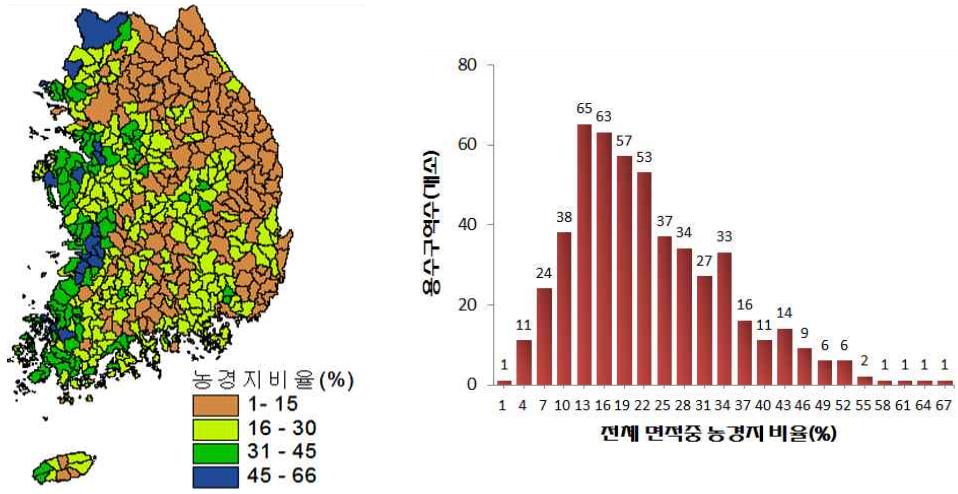
<그림 2-4> 최근 5년간 농경지 면적 변화

(표 2-4) 국토 토지이용 변화 추이

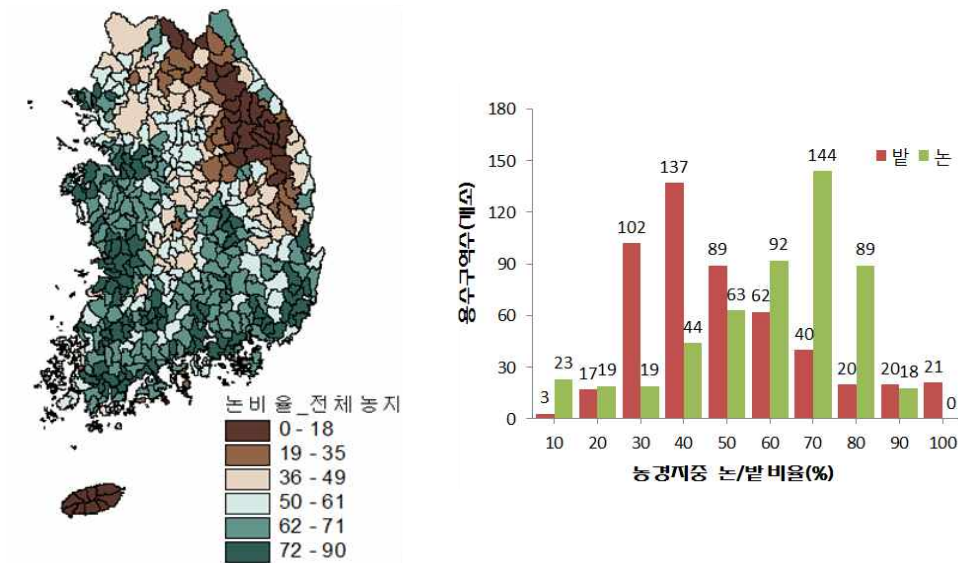
(단위 : 천ha)

년도	국토면적	경지면적			임야	기타
		소계	논	밭		
2010	10,003,308	1,715,301	984,140	731,161	6,450,439	1,837,568
2011	10,014,822	1,698,040	959,914	738,126	6,433,667	1,883,115
2012	10,018,809	1,729,981	966,076	763,905	6,421,639	1,867,189
2013	10,026,625	1,711,436	963,876	747,560	6,417,571	1,897,618
2014	10,028,395	1,691,113	933,615	757,498	6,408,070	1,929,212
2015	10,029,536	1,679,023	908,194	770,829	6,400,273	1,950,240

2015년 기준 국토면적 대비 경지면적 비율은 17% 수준이며 경지면적 중 논 비율은 54%로 밭에 비하여 10% 정도 높다. 농어촌용수구역별로는 전체 면적 중 경지면적 비율이 16%이하인 용수구역이 202개 이며(그림 2-5), 경지면적 중 논 비율이 55% 이상인 용수구역이 312개에 해당한다(그림 2-6).



<그림 2-5> 용수구역별 전체 면적대비 농경지 비율



<그림 2-6> 용수구역별 농지 면적 중 논 면적 비율

2.3 용수 수요·공급 특성 분석

2.3.1 농어촌용수 10개년 개발 계획

2014년 재수립한 농어촌용수이용합리화계획 중 농어촌용수 10개년 개발 계획에 의하면 밭 관개면적을 2012년 98천 ha에서, 2024년까지 180천 ha로 확대하여 밭기반 정비율을 13%에서 24%로 높이고, 수리안전답율은 2012년 59%에서 2024년 75%로 확대하는 것을 목표로 하고 있다(농림축산식품부, 2014)(표 2-5).

(표 2-5) 농어촌용수 10개년 개발 목표 (단위 : 천ha)

구분		2012년(현재)	2024년(목표)	증감
농경지		1,730	1,610	△120
논	- 수리안전답 (수리안전답율 %)	573 (59)	653 (75)	80 (16)
	- 수리안전답 외	393	217	△176
	소 계	966	870	△96
밭	- 밭 관개면적 (밭기반 정비율 %)	98 (13)	180 (24)	82 (11)
	- 비 관개전	666	560	△106
	소 계	764	740	△24

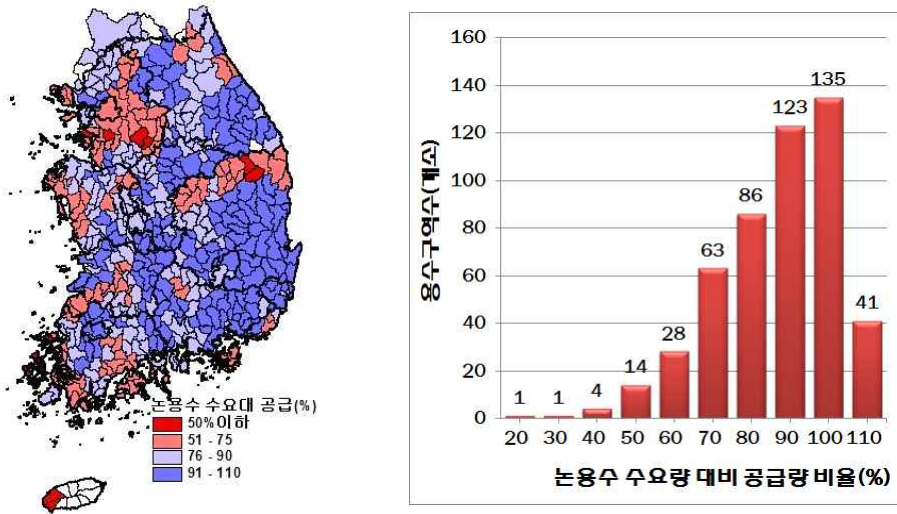
2.3.2 농업용수 수요량 대비 공급량

2012년 기준 전국 논면적 966천 ha 중 수리답면적 778천 ha와 시행 중 지역의 논 개발면적 41천 ha에 대한 논용수 공급량은 9,334백만 m³이며, 2024년 기준 추정 논면적 870천 ha의 논용수 수요량은 10,491백만 m³이다, 이 중 수리답은 8,850백만 m³, 천수답은 1,641백만 m³이다(농림축산식품부, 2014)(표 2-6).

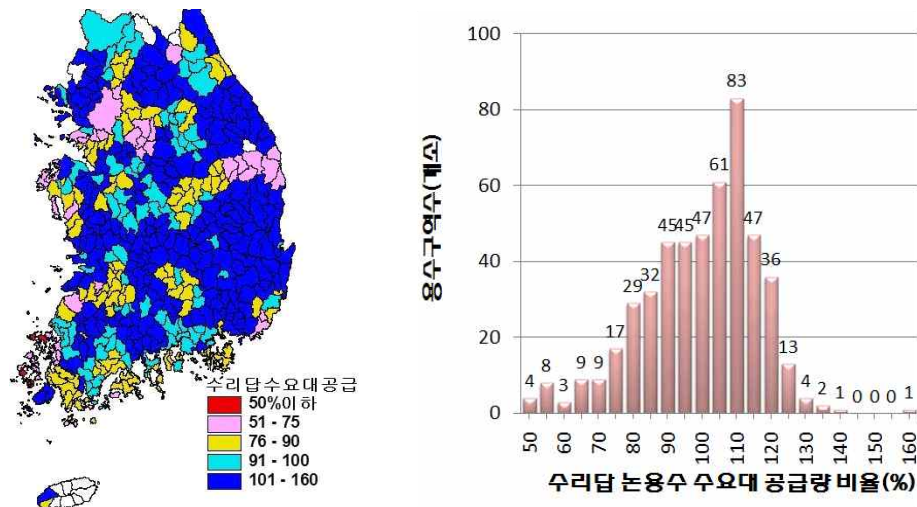
(표 2-6) 논용수 2012년 공급량 및 2024년 수요량

2012년 공급량 (백만 m ³ /년)	2024년 논용수 수요량(백만 m ³ /년)		
	수리답	천수답	계
9,334	8,850	1,641	10,491

용수구역별로는 천수답과 수리답을 포함한 전체 논용수 수요량 대비 공급량을 비교하면 70%이하인 용수구역이 111개소이며(그림 2-7), 천수답 면적을 제외한 수리답의 논용수 수요량 대비 공급량을 비교하면 100%를 초과하는 용수구역이 496개 용수구역 중 절반인 248개에 해당한다(그림 2-8).



<그림 2-7> 용수구역별 논용수 수요량 대비 공급량 비율



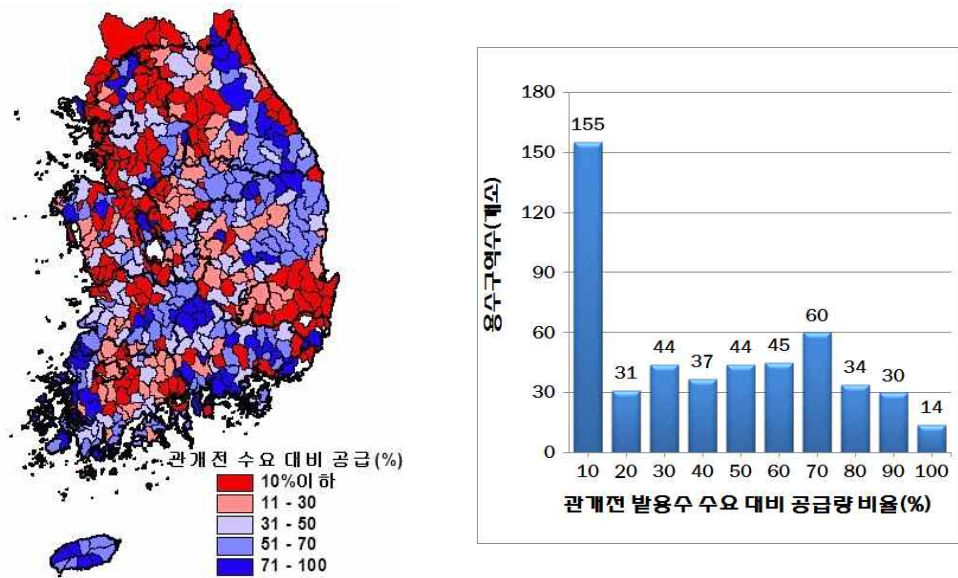
<그림 2-8> 용수구역별 수리답 논용수 수요량 대비 공급량 비율

2.3.3 발용수 수요량

2024년 기준 추정 발면적 740천 ha의 발용수 수요량은 3,250백만 m³이며, 2012년 발용수 공급량은 연간 476백만 m³이다. 따라서 2024년 목표로 하는 밭 관개면적 확대를 위해 필요한 용수량 816백만 m³과 비교하면 340백만 m³의 용수가 추가로 필요하다(농림축산식품부, 2014)(표 2-7). (그림 2-4)는 2024년 발용수 수요량 대비 2012년 공급량을 나타낸 것으로, 밭 관개면적 확대를 위해 수요량 대비 공급량이 30% 이하인 230개 용수구역에 대한 용수개발계획 수립이 필요할 것으로 판단된다(그림 2-9).

(표 2-7) 발용수 수요량

구분		2012년	2024년	비고
발용수 수요량 (백만m ³ /년)	관개전	445	816	2012년 발용수 공급량 : 476백만m ³ /년
	비 관개전	2,893	2,434	
	합 계	3,338	3,250	



<그림 2-9> 용수구역별 2024년 관개전 수요량 대비 2012년 발용수 공급량 비율

2.3.4 농어촌용수 개발 계획 및 전망

농어촌용수이용합리화계획(2015~2024년)에 따르면 저수지, 양수장 등 지표수 이용시설 공급이 가능한 구역에는 14.5억 m³/년의 지표수 공급계획을 수립하고, 지표수 이용시설 여건이 불합리하고 용수확보 적지가 없는 구역에는 4.7억 m³/년의 지하수시설 개발을 계획하고 있다 (표 2-7).

용도별로는 농업용수 18.3억 m³, 축산 및 기타용수 0.9억 m³이며, 농업용수 18.3억 m³ 중 발용수는 2억 m³으로 2024년 관개전 확대를 위한 추가 소요량 3.4억 m³과 대비하여 1.4억 m³이 부족하다. 특히, 발용수 2억 m³ 중 86%인 1.7억 m³을 지하수로 계획하고 있어, 발 관개면적 확대를 위한 지하수 개발 수요는 증가할 것으로 전망된다.

(표 2-8) 농어촌용수 개발계획 (단위 : 백만 m³/년)

구 분	총 계획량	농업용수			축산 용수	기타 용수
		소계	논	밭		
합 계	1,924	1,829	1,628	201	4	91
지표수	1,453	1,358	1,330	28	4	91
지하수	471	471	298	173	-	-

※ 농어촌용수이용합리화계획(농림축산식품부, 2014) 자료 편집

제 3 장

기후변화에 따른 용수구역별
미래 가뭄 분석

제3장 기후변화에 따른 용수구역별 미래 가뭄 분석

3.1 기상인자를 고려한 기준 증발산량 산정

3.1.1 기후변화 시나리오 생성

본 연구에서는 기상청에서 제공하는 ‘고해상도 국가표준 기후변화 시나리오’를 단일 미래 기상정보로 적용하였다. 이 자료는 기상청에서 영국 Hadley 센터와 협력하여 GCM(general circulation model)인 HadGEM2-AO(atmosphere-ocean coupled model of Hadley centre global environment model version 2, 영국기상청 해들리센터의 대기-해양/해빙 결합 지구시스템모델)를 초기·경계조건으로 역학적 상세화를 위한 지역기후모델인 HadGEM3-RA(atmospheric regional climate model of Hadley centre global environment model version 3)와 통계적 기법과 연계·적용하여 생산된 고해상도 남한상세 미래기상 시계열 자료이다. 신뢰성 있는 국가기관으로부터 제공되는 이른바 ‘국가표준 시나리오’이라 불리는 이 자료는 국내 기후변화 연구의 미래기상정보로 널리 활용되고 그 적용성이 검증된 바 있다(Park et al., 2012, 2013; Nam et al., 2014).

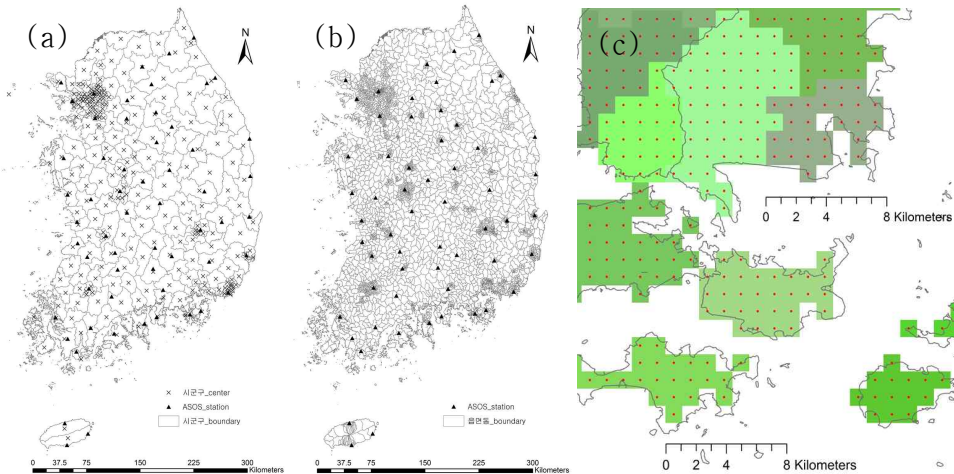
사용자 편의를 위해 다양한 시·공간 해상도에 대해 변환된 자료를 제공하고 있으며 해상도에 따라 확보 가능한 기상요소와 자료 기간이 상이하다. 본 연구에서 분석하고자하는 기준증발산량 산정을 위해 필요한 기상요소로, 강수량, 평균기온, 풍속, 상대습도, 일사량에 대한 행정구역별 자료를 생산하였다. 이를 위하여 최고해상도인 1×1 km 자료의 활용을 기초로 하되 제공되지 않는 기상요소에 대한 자료는 역학적 상세화 과정만 거친 12.5×12.5 km 자료를 편이보정하여 적용하였다. (표 3-1)은 기상요소별 미래자료의 해상도 및 기간을 정리한 것이다.

행정구역단위 및 용수구역단위 기준증발산량 산정을 골자로 하는 연구 내용 및 목표에 따라 강수량 및 기온에 대해 제공하는 1 km 해상도 자료를 수집하여 읍면동단위로 변환하여 행정구역 최소단위 기상정보를 구축하였다. GIS를 이용하여 각 행정구역에 해당하는 격자의 속성을

분류하고 이를 수집한 기후정보에 적용하여 행정구역별 일단위 평균 기상정보를 산출하였다. 읍면동단위로 생산된 시계열 자료는 과거기간(2011~2015년)과 미래기간(2016~2100년)을 구분하여 분석을 수행하였다. (그림 3-1)은 시군구 및 읍면동 단위 행정구역도와 경계가 복잡한 도서지역에 대한 행정구역 단위 1km 격자 분류 과정을 보여주고 있다.

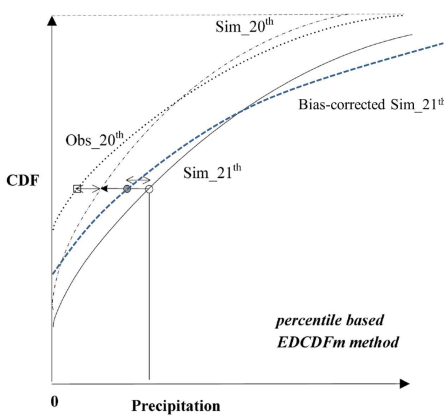
(표 3-1) 기준증발산량 산정을 위한 기상요소 미래자료의 해상도 및 기간

기후요소	해상도		기간	
	단위	공간격자크기	과거	미래
강수량	일	1 × 1 km	2011~2016	2017~2100
평균기온				
풍속		12.5×12.5 km	1950~2005	2006~2100
상대습도				
일사량				

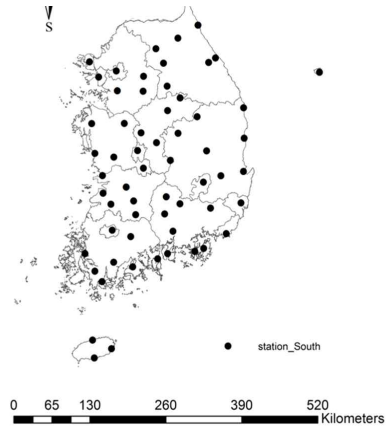


<그림 3-1> 미래기후정보 생산 단위인 (a)시군구 및 (b)읍면동단위 행정구역도와 (c) 1km 격자 정보에 대한 행정구역 단위 속성 분류 예시 (남해안 도서지역)

12.5 km 해상도 자료가 제공되는 풍속, 상대습도, 일사량 자료는 남한 전역 시군구 경계 GIS 자료를 이용하여 각 행정구역에 해당하는 격자 정보를 면적가중평균하여 생산하였다. 12.5 km 해상도 자료는 역학적 상세화 과정을 거친 결과로서 기후모델의 원시 모의결과가 가지는 계통적 오차(systematic bias)를 보정하기 위해 모의치의 백분위(prediction percentile)에 따른 편차 추정 방법(equi-distance CDF-mapping, EDCDFm, Hwang et al., 2013)을 적용하여 편차보정(bias-correction)을 수행하였다. (그림 3-2)는 관측자료 대비 과거기간에 대한 모의 편차정의 및 미래기간 모의결과에 적용하는 편차보정 과정을 도식적으로 보여준다.



<그림 3-2> EDCDFm 기법 적용 편차보정과정 도식



<그림 3-3> 편차보정에 적용한 기상청 ASOS 자료 관측소 위치

편차보정을 위해 기상청에서 운영하는 종관기상관측지점(ASOS) 자료를 수집한 후, 12.5 km 격자단위의 최근거리 관측지점을 선별하여 격자별 편차보정을 위한 관측 자료를 이용하였다(그림 3-3). 이때 지점자료는 1970년 이래 수집 가능한 기간에 대한 기상요소별 일단위 자료를 적용하였으며, 과거기간에 대해 정량적으로 분석된 백분위별 편차는 미래전 기간(2006~2100년)에 대해 적용·보정되었다.

(표 3-2) 기상청 ASOS 자료 관측소 정보 및 수집 자료 기간

Name	ID	Long.	Lat.	Period	Name	ID	Long.	Lat.	Period
Gangneung	105	128.890	37.749	1979-2015	Yangpyeong	202	127.494	37.486	1979-2015
Ganghwa	201	126.446	37.705	1979-2015	Yoesu	168	127.740	34.736	1979-2015
Geoje	294	128.604	34.885	1979-2015	Yeonggwang*	252	126.478	35.284	2008-2015
Geochang	284	127.910	35.669	1979-2015	Yeongdeok	277	129.408	36.530	1979-2015
Gosan*	185	126.163	33.294	1998-2015	Yeongwol	121	128.457	37.181	1994-2015
Gochang*	172	126.599	35.349	2008-2015	Yeongju	272	128.516	36.869	1979-2015
Goheung	262	127.275	34.615	1979-2015	Yeongcheon	281	128.951	35.974	1979-2015
Gwangju	156	126.891	35.170	1979-2015	Wando	170	126.701	34.393	1979-2015
Gunsan	140	126.705	35.990	1979-2015	Ulleungdo	115	130.897	37.483	1979-2015
Guemsan	238	127.481	36.103	1979-2015	Ulsan	152	129.320	35.557	1979-2015
Gimhae*	253	128.893	35.227	2008-2015	Uljin	130	129.413	36.989	1979-2015
Namwon	247	127.332	35.402	1979-2015	Wonju	114	127.946	37.335	1979-2015
Namhae	295	127.926	34.814	1979-2015	Uiseong	278	128.688	36.353	1979-2015
Daegwallyeong	100	128.758	37.684	1979-2015	Icheon	203	127.483	37.261	1979-2015
Daegu	143	128.618	35.882	1979-2015	Inje	211	128.166	38.057	1979-2015
Daejeon	133	127.371	36.369	1979-2015	Incheon	112	126.624	37.475	1979-2015
Dongducheon*	98	127.061	37.902	1998-2015	Imsil	244	127.293	35.609	1979-2015
Donghae*	106	129.124	37.507	1992-2015	Jangsu*	248	127.520	35.657	1988-2015
Mokpo	165	126.380	34.814	1979-2015	Jangheung	260	126.919	34.686	1979-2015
Mungyeong	273	128.148	36.624	1979-2015	Junju	146	127.154	35.819	1979-2015
Miryang	288	128.744	35.489	1979-2015	Jeongeup	245	126.865	35.560	1979-2015
Baengnyeongdo*	102	124.630	37.966	2000-2015	Jeju	184	126.529	33.511	1979-2015
Boryeong	235	126.557	36.324	1979-2015	Jecheon	221	128.193	37.156	1979-2015
Boeun	226	127.733	36.485	1979-2015	Jindo*	175	126.324	34.472	2002-2015
Bongwhoa*	271	128.915	36.944	1988-2015	Jinju	192	128.030	35.150	1979-2015
Busan	159	129.032	35.101	1979-2015	Cheonan	232	127.118	36.777	1979-2015
Buan	243	126.716	35.727	1979-2015	Cheorwon*	95	127.304	38.148	1988-2015
Buyeo	236	126.920	36.269	1979-2015	Cheongju	131	127.440	36.636	1979-2015
Bukgangneung*	104	128.855	37.805	2008-2015	Chupungnyeong	135	127.994	36.217	1979-2015
Sancheong	289	127.878	35.410	1979-2015	Chuncheon	101	127.735	37.900	1979-2015
Sangju*	137	128.157	36.408	2002-2015	Chungju	127	127.952	36.968	1979-2015
Seogwipo	189	126.565	33.243	1979-2015	Taebaek*	216	128.989	37.170	1985-2015
Seosan	129	126.493	36.774	1979-2015	Tongyeong	162	128.435	34.842	1979-2015
Seoul	108	126.965	37.569	1979-2015	Paju*	99	126.766	37.886	2002-2015
Seongsan	188	126.880	33.384	1979-2015	Pohang	138	129.379	36.030	1979-2015
Sokcho	90	128.564	38.248	1979-2015	Hapcheon	285	128.169	35.562	1979-2015
Suwon	119	126.984	37.269	1979-2015	Haenam	261	126.568	34.550	1979-2015
Sunchang*	254	127.129	35.371	2008-2015	Hongcheon	212	127.880	37.681	1979-2015
Suncheon	256	127.238	35.072	1980-2015	Heuksando*	169	125.451	34.687	1997-2015
Andong*	136	128.707	36.573	1983-2015	* stations not used due to the lack of data				

3.1.2 기준증발산량

기준증발산량은 작물이 생육하는 과정에서 사용하는 물의 양을 계량화한 지표로서, 농촌 용수 관리에 필수적인 기초자료이다. 최근에는 기후변화로 인한 이상 기후로 가뭄, 홍수가 빈번히 발생하고 있어, 이에 대한 적응 방안 마련을 위하여 기초자료인 기준증발산량의 수요 역시 증가하고 있다. 기준증발산량은 많은 연구자에 의하여 산정공식이나 계측 방법이 제안되었다. 대부분의 연구에서 산정공식을 이용한 모의치를 이용하고 있다. 실측자료의 경우, 계측지점이 제한적이고, 충분한 시계열자료를 확보하지 못한 경우도 잦아서 양질의 실측자료를 구득하기 어렵다. 산정공식을 이용한 기준증발산량을 다양한 연구에서 수행되었으며, 기준증발산량을 포함한 기후변화에 따른 영향을 비교 평가한 연구도 다수가 수행되었다.

기준증발산량을 산정하기 위하여 우리 분야에서 널리 이용되고 있는 네 가지 모델에 대하여 적용하였다(표 3-3). FAO Modified Penman 공식(이하 FAO-MP)은 Doorenbos & Pruitt(1977)에 의하여 소개되었으며, 많은 실험 결과를 바탕으로 산정된 계수를 제공하고, 많은 연구자에 의해서 활용되고 있다(Noh, 2004; 이주용 등, 2006; 김태철 등, 2010; 남원호 등, 2014b).

FAO Penman-Monteith 공식(이하 FAO-PM)은 국제식량농업기구에서 추천하는 모형으로 기존 Penman 공식에서 공기동역학 항에 작물형에 따른 기공저항을 고려하도록 개선한 모형으로 Allen et al.(1998)이 소개하였다. FAO-PM은 최근 많은 분야에서 널리 쓰이고 있는 모델로, 저수지 용수공급량 모의(전상민 등, 2014), 기후변화 영향평가(김성준 등, 2015b), 물발자국(유승환 등, 2014; 이상현 등, 2015), 가뭄평가연구(임창수와 김성엽, 2013; 남원호 등, 2014a) 등에 활용되었다.

FAO Blaney-Criddle 공식(이하 FAO-BC)은 Doorenbos & Pruitt(1977)에 의해 소개된 방법으로, 식이 간단하여 월별 증발산량 산정과 같은 간편법으로 널리 이용되고 있다(김현수와 정상옥, 2002; 홍은미 등, 2009). 그리고 Thornthwaite 공식은 Thornthwaite(1948)에 의해 소개된 방법으로, 가뭄평가모형인 표준강수지수(SPI, Standardized Precipitation Index) 모형을 개량한 SPEI 모형(Vicente-Serrano et al.,

2015)에서 기준증발산량을 산정하기 위하여 내부적으로 이용하면서 널리 이용되고 있다(남원호 등, 2015).

FAO-MP과 FAO-PM은 모두 에너지항과 공기동역학항을 결합하여 증발산량을 산정하는데, 각 항의 가중치와 풍속함수를 달리 이용한다는 점이 다르다. 특히, 공식에서 사용하는 단위가 다른 점에 유의해야 한다(유승환 등, 2006).

FAO-MP 공식은 다음과 같다.

$$ET_0 = C[W \cdot R_n + (1 - W) \cdot f(u) \cdot (e_s - e_a)]$$

여기서, ET_0 는 기준증발산량(mm/day), W 는 온도로 계산되는 가중치($\Delta/(\Delta + \gamma)$), Δ 는 증기압 곡선의 기울기(mb/°C), γ 는 건습계 상수(mb/°C), R_n 은 지구표면에서 축적되는 순일사량(mm/day), $f(u)$ 는 풍속함수로 보정함수 $0.27(1 + U_2/100)$ 을 이용하여 계산하며, U_2 는 2m 높이에서의 풍속(km/day), e_s 는 포화증기압(mb), e_a 는 실제증기압(mb), C 는 주야의 기후 차에 의한 보정계수이다.

FAO-PM 공식은 다음과 같이 정리된다.

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)}$$

여기서, ET_0 는 기준증발산량(mm/day), Δ 는 증기압 곡선의 기울기(kPa/°C), R_n 은 지구표면에서 축적되는 순일사량(MJ/m²/day), G 는 토양 열 유속밀도(MJ/m²/day), γ 는 건습계 상수(kPa/°C), T 는 일 평균 기온(°C), u_2 는 2m 높이에서의 풍속(m/s), e_s 는 포화증기압(kPa), e_a 는 실제증기압(kPa)이다.

FAO-BC 공식은 다음과 같이 정리된다.

$$ET_0 = p(0.46 T_{mean} + 8)$$

여기서, ET_0 는 월평균 기준증발산량(mm/day), p 는 위도에 따른 월별 일조시간비율, T_{mean} 은 일평균 기온(°C)을 의미하며, 만약 일평균 기온 대신 최고/최저 기온만 측정될 경우 최

고 기온과 최저기온의 평균으로 같음한다.

마지막으로 Thornthwaite 공식은 다음과 같다.

$$PET = 16 \left(\frac{L}{12} \right) \left(\frac{N}{30} \right) \left(\frac{10 T_a}{I} \right)^\alpha$$

여기서, PET 는 기준증발산량(mm/month), T_a 는 일평균 기온($^{\circ}\text{C}$, 음수일 경우는 0으로 치환), N 은 해당 월의 일수(day), L 은 평균 일조시간(hours), α 는 회귀식 $aI^3 - bI^2 + cI + d$ 를 통해 계산하며, $a = 6.75 \times 10^{-7}$, $b = 7.71 \times 10^{-5}$, $c = 1.792 \times 10^{-2}$, $d = 0.49239$ 이다. I 는 열 지수로서, $I = \sum_{i=1}^{12} (T_{ai}/5)^{1.514}$ 로 산정한다. T_{ai} 는 분석기간 동안의 월평균 기온을 의미한다.

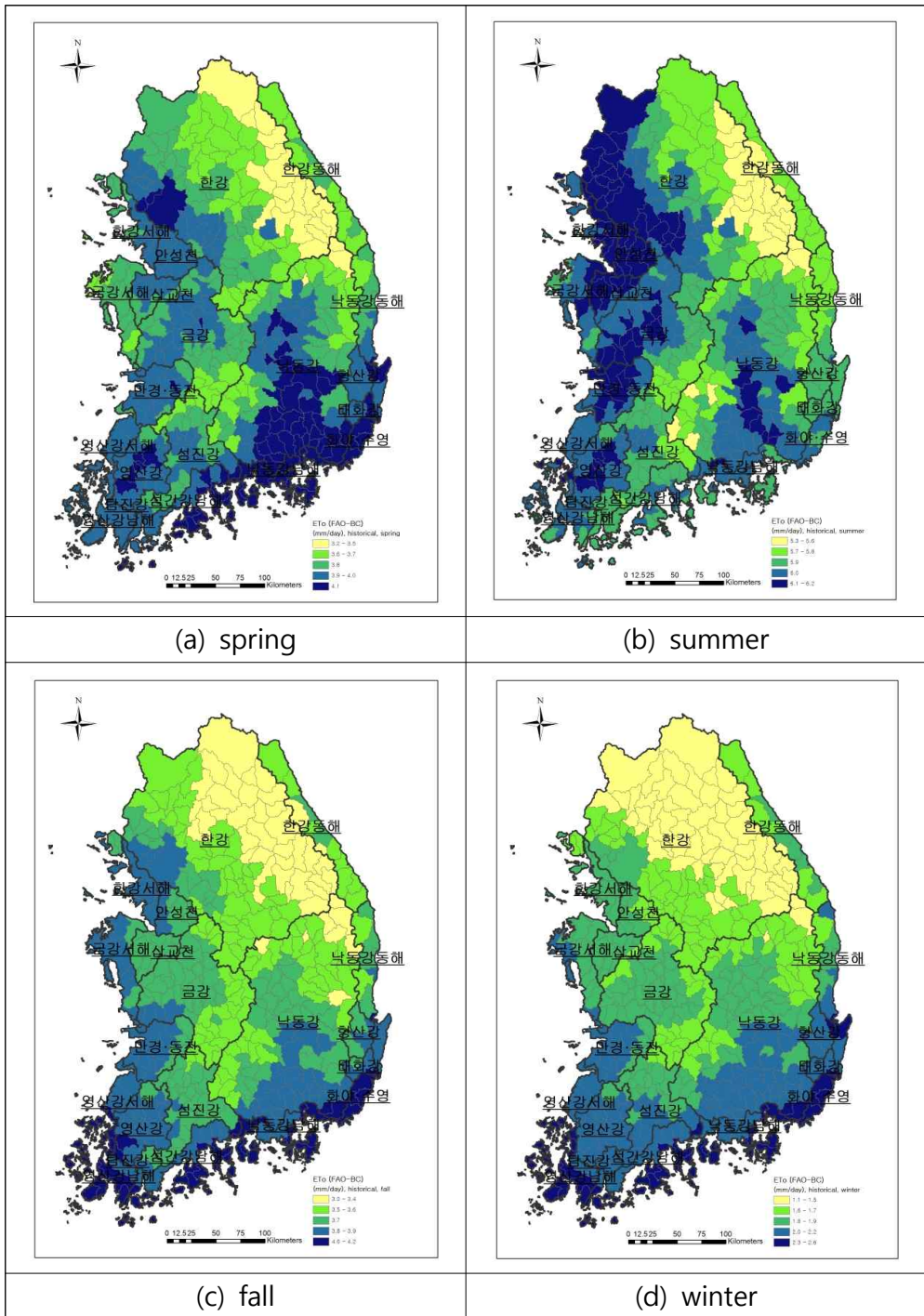
(표 3-3) 기준증발산량 산정별 비교

산정방법		FAO Blaney-Criddle	FAO Modified-P enman	FAO Penman- Monteith	Thorthwaite
필요 기상 인자	기온	○	○	○	○
	습도	×	○	○	×
	풍속	×	○	○	×
	일조시간	×	○	○	×
시간단위	월별 또는 순별	일별	일별	월별	
작물계수 유무	논벼	논벼 및 밭작물	논벼 및 밭작물	X	

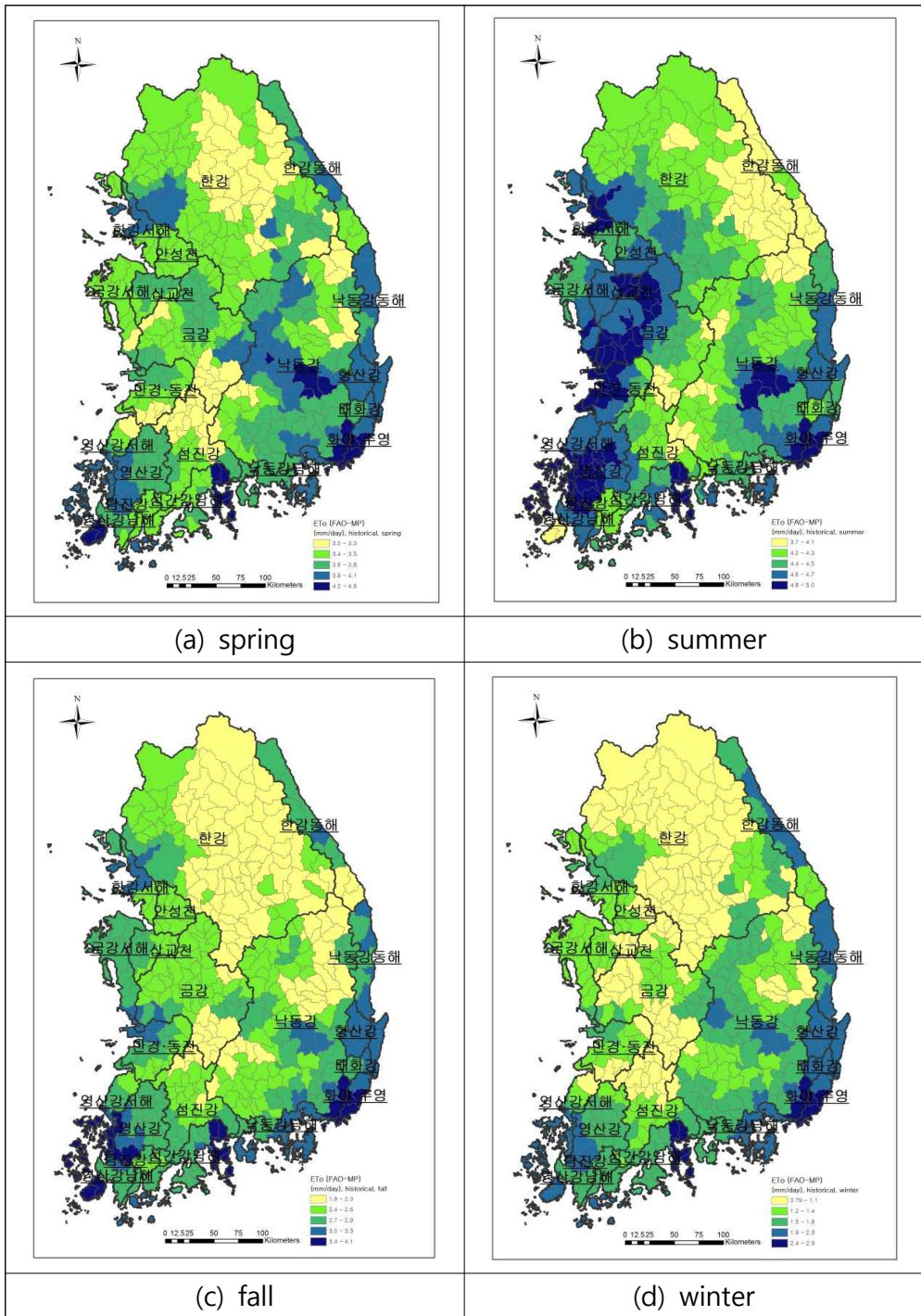
3.1.3 용수구역별 기준증발산량 산정

용수구역단위로 생산된 기상요소별 과거기간(2011~2015년)에 대한 기상정보를 적용하여 앞서 기술한 4가지 다른 방법(BC, MP, PM, TH)을 적용하여 남한지역에 대해 기준증발산량을 산정하였다. (그림 3-4)~(그림 3-7)는 각 산정법을 적용하여 산정한 기준증발산의 계절별 공간분포를 보여주고 있다.

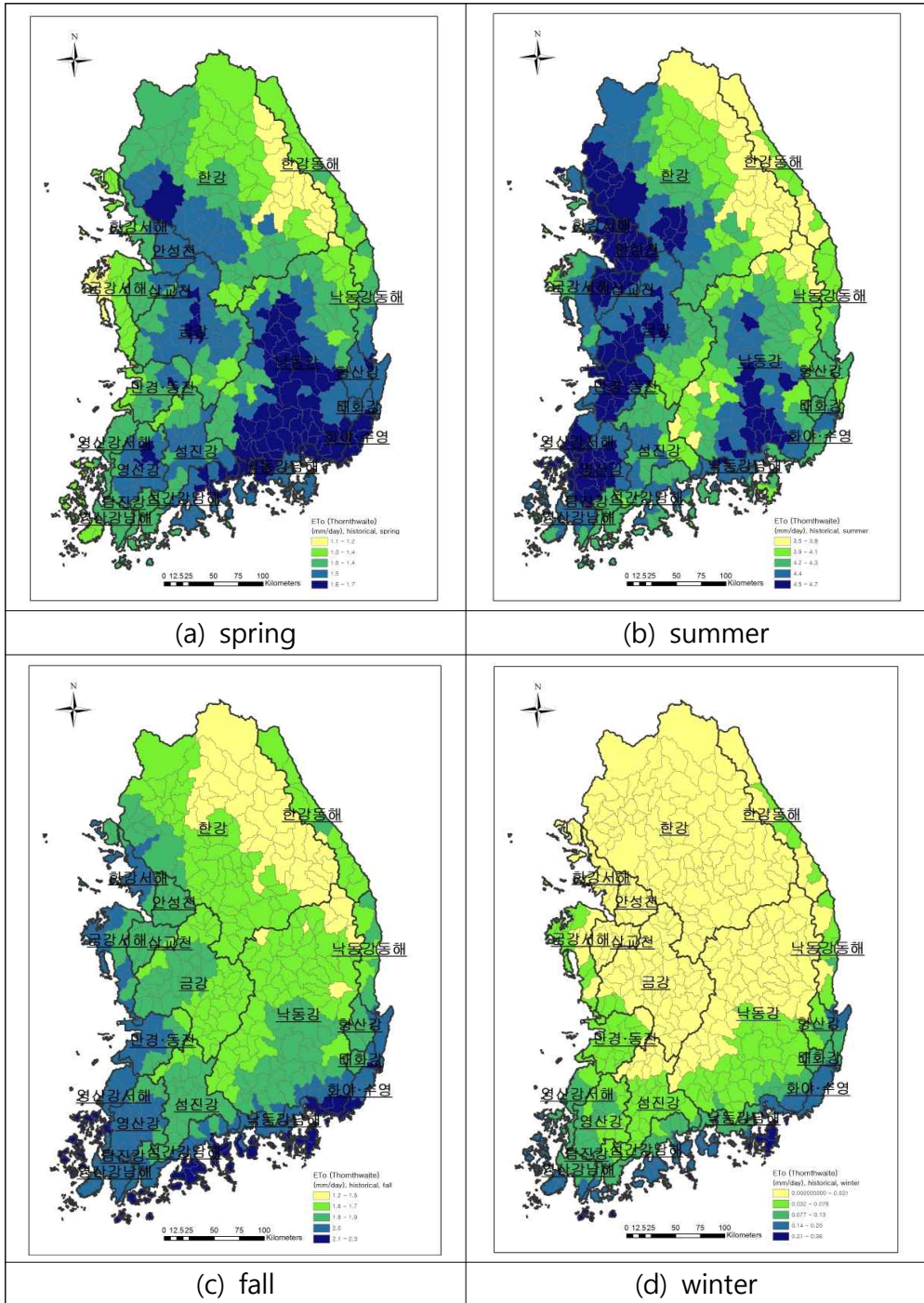
산정법에 따른 기준증발산량의 계절별 분포는 유사한 패턴을 보이는 것으로 나타났다. 봄(3~5월)의 경우 한강권역 동부지역의 증발산량이 비교적 작게 나타난 반면, 낙동강 권역 하류에서 높은 증발산량을 보였다. 이 기간의 서해안 권역 증발산량은 남한평균 증발산량을 상회하는 분포를 보이는 한편 여름철(6~8월)에는 가장 높은 증발산을 보이는 지역으로 분석되었다. 이는 4가지 산정법 적용결과에서 공통적으로 나타난 분포 특성이며 계절별 기상요소의 특성이 지역적으로 상이한 한반도 특성을 반영하고 있다고 판단된다. 나머지 가을과 겨울기간(9~2월)의 증발산량 분포는 모든 산정법에 대해 다소 유사한 패턴을 보였다. 대부분의 한강권역을 비롯한 중부내륙 지역의 증발산량이 작게 나타났다. 겨울철 비교적 기온이 높고 강한 풍속을 보이는 남해안 도서지역을 따라 가장 높은 증발산 분포가 나타났다.



<그림 3-4> 남한지역의 용수구역 단위로 BC 산정법을 적용하여 산정한 기준증발산량의 계절별 공간분포

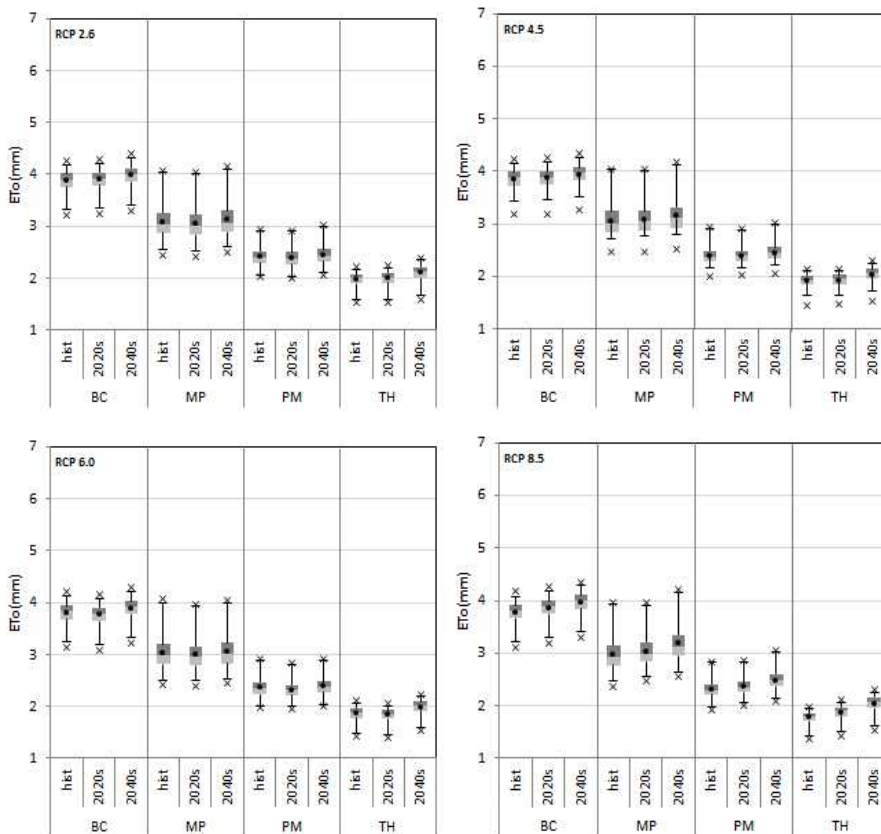


<그림 3-5> 남한지역의 용수구역 단위로 MP 산정법을 적용하여 산정한 기준증발산량의 계절별 공간분포

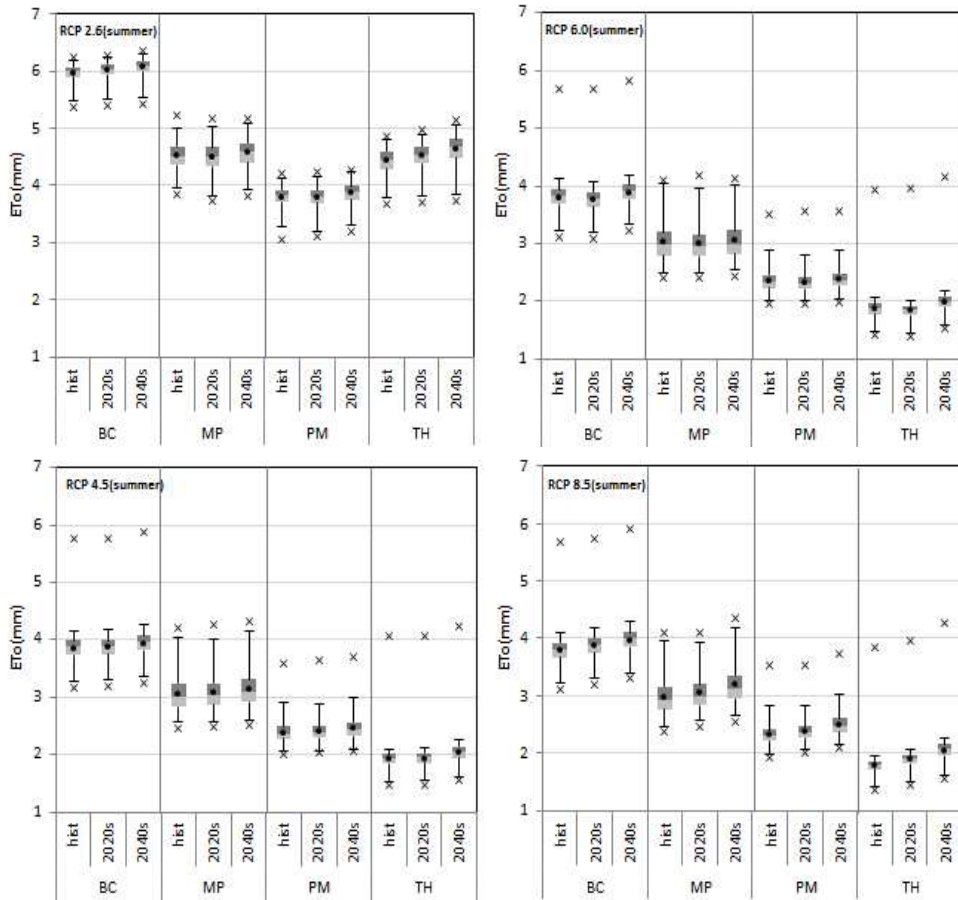


<그림 3-7> 남한지역의 용수구역 단위로 TH 산정법을 적용하여 산정한 기준 증발산량의 계절별 공간분포

(그림 3-8)과 (그림 3-9)는 연평균 기준증발산량과 증발산량이 높게 나타나는 여름(6~8월) 기간에 대해 각 RCP 시나리오별 산정법에 따른 증발산량 차이를 비교한 결과이다. 대체로 BC 기법 적용결과가 크게 나타났으며, TH 산정결과가 가장 낮게 분석되었다. 2020년대와 2040년대에 대해 미래기간으로 갈수록 그리고 RCP 8.5 시나리오로 갈수록 기준증발산량의 증가추세가 증가하는 것으로 나타났다. 이러한 경향은 여름철에 대한 기준증발산량 예측결과에서 더욱 뚜렷하게 나타났으며, RCP 2.6을 제외하고 TH 산정법 결과가 가장 낮게 산정되는 것으로 분석되었다. 이들 산정법간 결과의 상이성은 RCP 시나리오 간 차이와 미래기간 별 차이와 비교해 유의한 수준으로 크게 분석되었다.

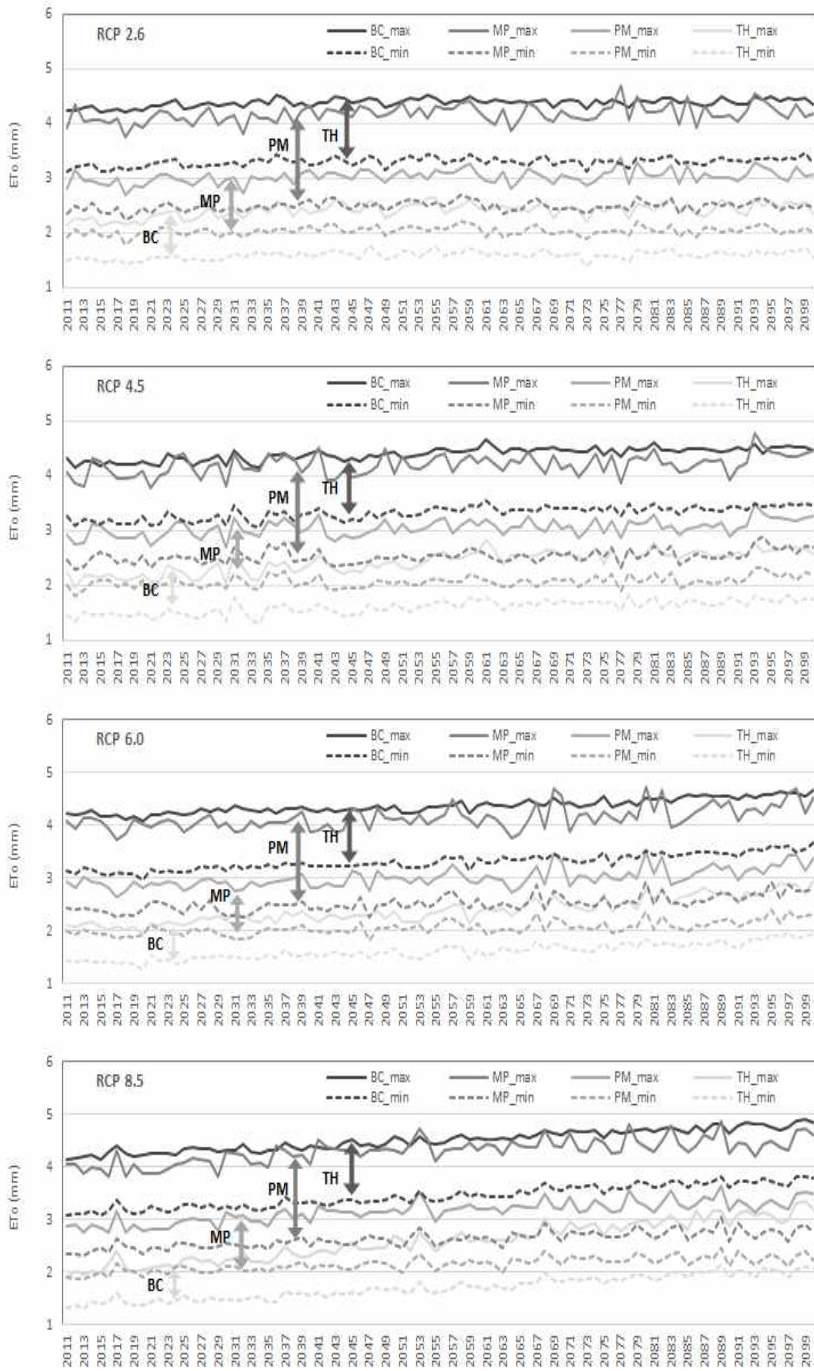


<그림 3-8> RCP 시나리오에 따른 산정법 및 기간별 연평균 기준증발산량 비교



<그림 3-9> RCP 시나리오에 따른 여름(6~8월) 기간의 산정법 및 기간별 기준증발산량 비교

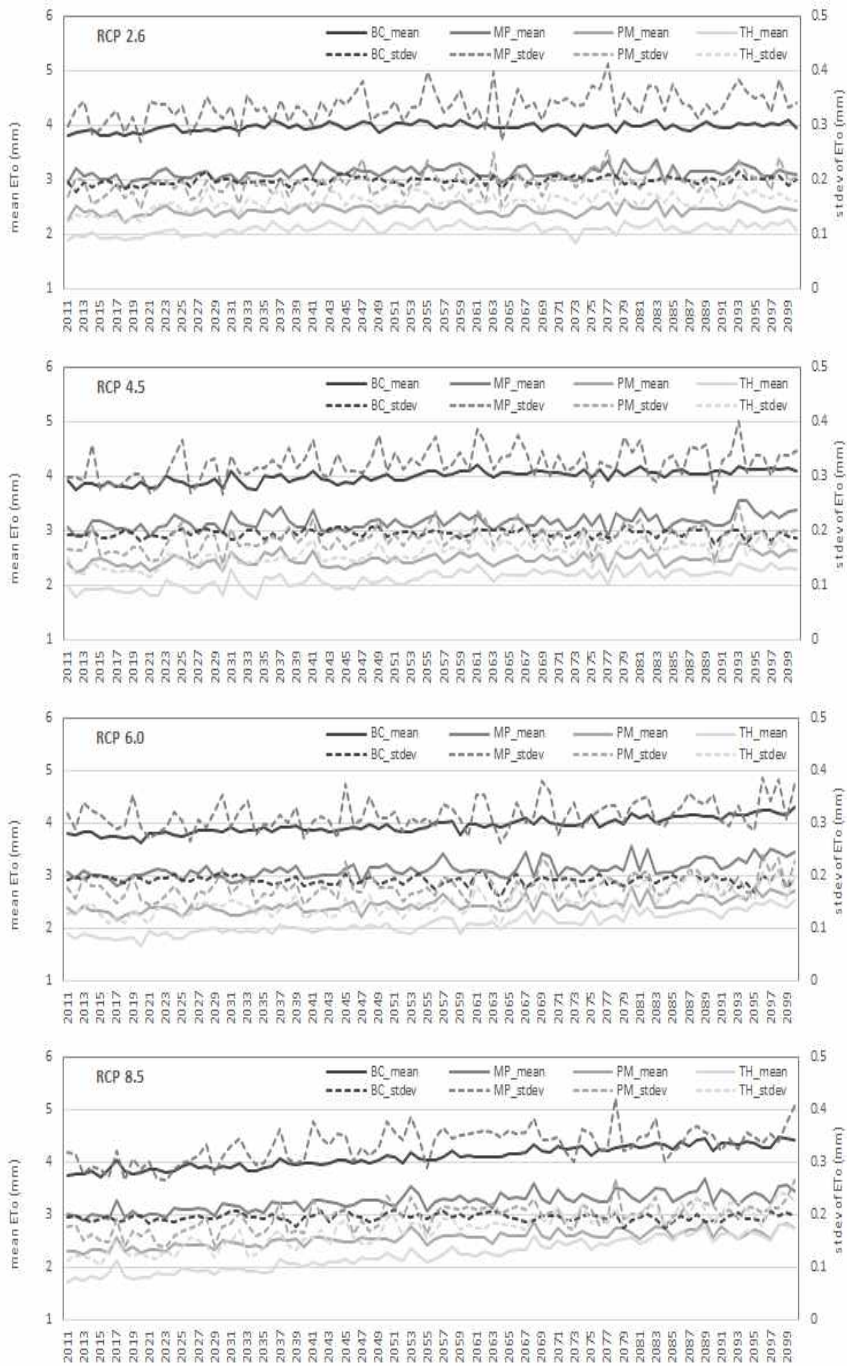
적용 산정법에 따른 기준증발산량 산정 결과를 상대 비교하기 위해 자료전체 기간에 대해 용수구역 간 기준증발산량 범위와 표준편차 등의 연간 시계열 자료를 비교 분석하였다. (그림 3-10)에서 용수구역에 대해 최대와 최소 기준증발산량을 비교한 결과 PM 산정법 적용 시 가장 큰 범위를 보였으며, TH와 MP 산정법 적용결과의 범위가 뒤를 이었다. BC 산정법 적용결과는 용수구역 간 차이가 가장 좁게 나타나 공간 변동성이 비교적 작은 것으로 나타났다. 이 결과는 모든 RCP 시나리오 적용결과에서 일관적으로 도출되었다.



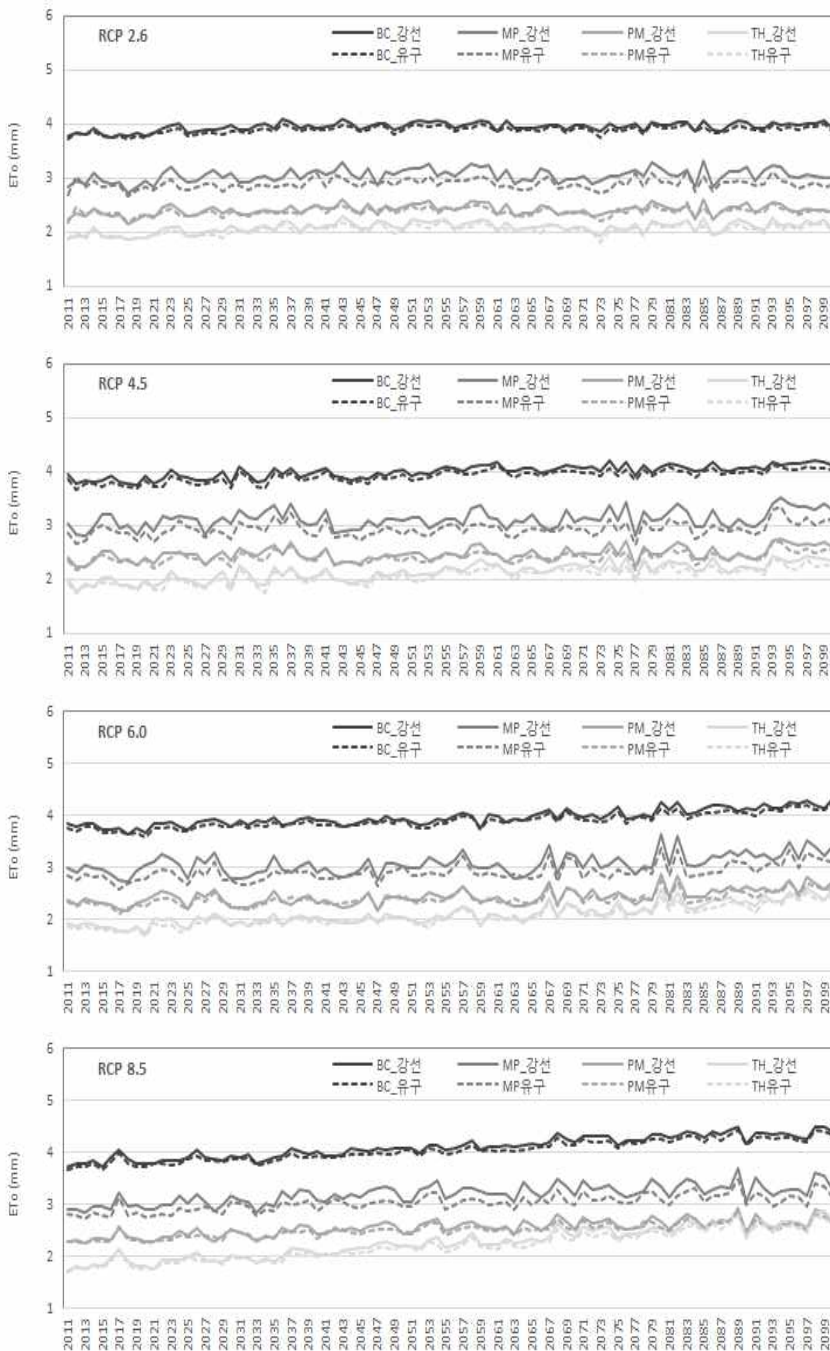
<그림 3-10> RCP 시나리오에 따른 산정법별 기준증발산량의 연최대 최소 용수구역 범위 시계열 비교

용수구역 단위 최대·최소 기준증발산량의 경우 BC, MP, PM, TH 순으로 높게 나타났다. (그림 3-11)에서 전체 용수구역에 대한 연평균 기준증발산량과 일단위 기준증발산량의 용수구역 간 표준편차를 비교한 결과, 평균 기준증발산량도 최대·최소 기준증발산량과 동일한 순으로 나타났다. 그러나 (그림 3-11)에서 용수구역 간 표준편차 비교 결과 MP 산정결과가 가장 큰 것으로 나타나 공간분포의 변동성은 가장 컸으며, 대체로 PM 적용결과가 다음으로 크게 나타났고 TH 적용결과가 가장 낮게 나타났다. PM의 최대최소 범위가 가장 크게 나타난 결과로부터, PM은 특정 용수구역에 대해 특히 큰 기준증발산량을 산정한 경우가 있는 반면 전체 용수구역에 대한 공간 다양성은 과대산정 하지 않는 것으로 판단된다.

(그림 3-12)에서 주요 용수구역으로서 ‘강선’과 ‘유구’에 대해 산정법별 연평균 기준증발산량을 비교한 결과, 산정법 결과의 차이에 비해 용수구역 간 차이는 유의미하지 않은 수준으로 유사한 패턴을 나타냈다. 따라서 기준증발산량 산정법에 대한 선정이 매우 중요한 것으로 판단된다. 지구 복사량이 상대적으로 큰 RCP 6.0과 RCP 8.5 시나리오의 경우 시계열상 기준증발산량의 가시적인 증가추세를 보이는 것으로 나타났다.



<그림 3-11> RCP 시나리오에 따른 산정법별 기준증발산량의 전체 용수 구역 연평균 및 용수구역 간 표준편차 시계열 비교

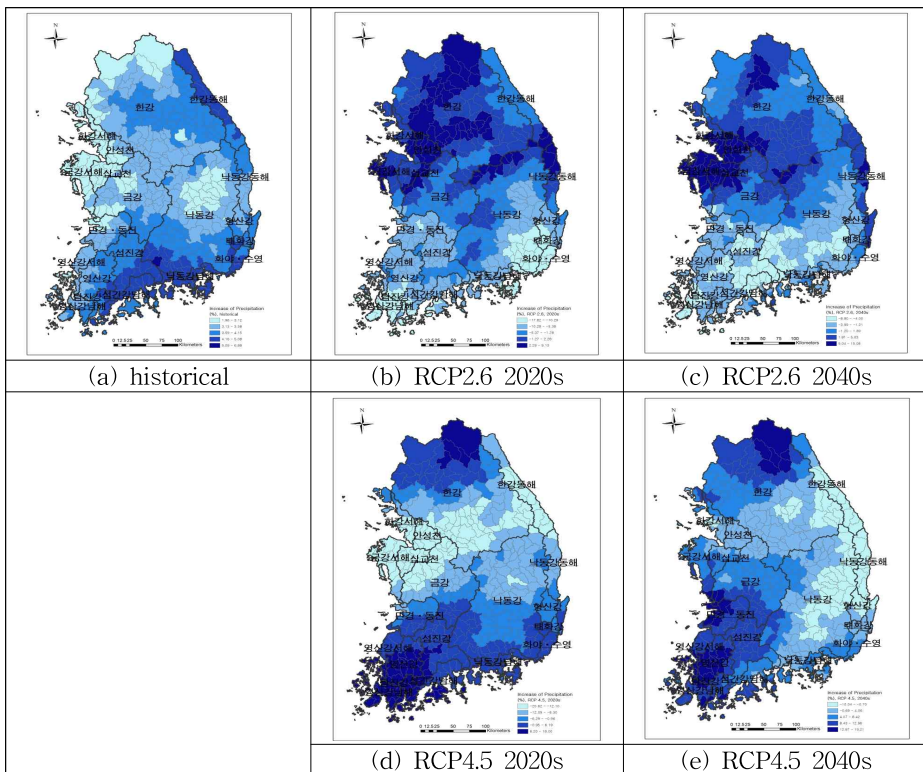


<그림 3-12> RCP 시나리오에 따른 산정법별 기준증발산량 연단위 시계열 추세 비교(강선 및 유구 용수구역)

3.2 시나리오별 용수구역 강수량 및 증발산량 분석

3.2.1 강수량

기후변화에 따른 기상이변 증가 및 재해빈도 양상 변화와 관련하여 관심이 집중되는 기상요소는 강수량이다. 지역적 차이는 있지만 전반적으로 평균 강수량이 장기 미래에 증가할 것이라는 분석 결과가 있지만, 강수량의 경우 모델 예측 결과의 불확실성은 매우 크다. 본 연구에서는 과거기간(2011~2015년)에 대한 용수구역별 강수량 모의 결과(1 km 격자단위 기상청 제공 자료) 대비 미래기간(2016~2024년, 2025~2050년)에 대한 용수구역별 강수량 변화를 분석하였다. (그림 3-13)은 비교적 낮은 온실가스 배출시나리오인 RCP 2.6과 RCP 4.5에 대한 미래기간별 강수량 변화 분포를 비교한 결과이다.



<그림 3-13> RCP 2.6과 RCP 4.5 시나리오에 따른 미래기간별 남한 용수구역단위 미래강수량 분포 변화(%) 분석결과

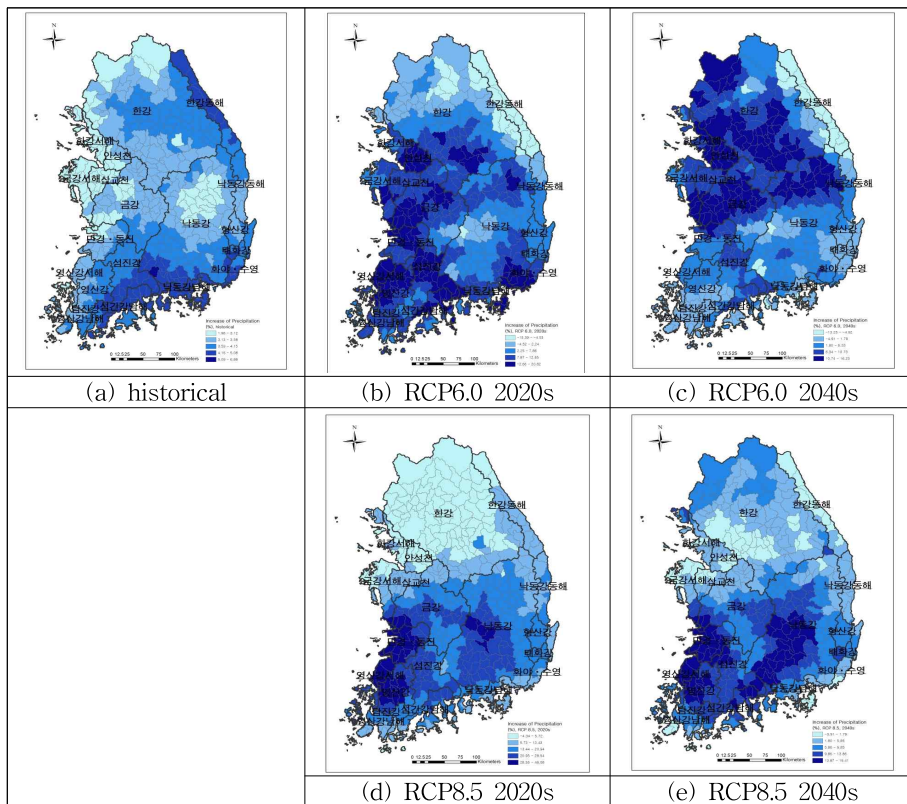
과거기간의 일평균 강수량은 용수구역별로 1.5~6.0 mm 분포를 보였으며, 남한 평균 일강수량은 3.7 mm로 나타났다. 일강수량 공간분포 특성은 한강 동해 권역과 낙동강과 섬진강 말단부의 남해안 일대에서 높은 반면, 낙동강 권역 상류 내륙지역과 한강서해 권역을 비롯한 서해안 권역은 비교적 낮은 결과가 나타났다.

RCP 시나리오에 따라 강수량 변화율의 분포 또한 다르게 나타났다. 가까운 미래인 2020년대의 경우 RCP 2.6 시나리오에 따른 강수량 변화는 한강 권역과 안성천 등의 중부내륙 지역에 대한 증가율이 비교적 크게 나타난 반면, RCP 4.5 시나리오의 경우 섬진강 및 영산강 권역을 비롯한 남서해안 지역의 증가율이 큰 것으로 나타났다. 2040년대의 경우 2020년대에 비하여 유의한 증가율의 차이는 보이지 않았으나 증가율 분포에 있어서는 시나리오 별 차이가 나타나는 것을 확인하였다. 2020년대에 대한 RCP 2.6과 RCP 4.5 시나리오에 따른 강수량 증가율은 용수구역 평균 -3.8%와 -3.3%로 평균적으로 감소하는 경향을 보였으며, 2040년대에서는 과거기간 평균 강수량 대비 5.3% 증가하며 용수구역별로 -10~19.2%의 넓은 분포를 보이는 것으로 나타났다.

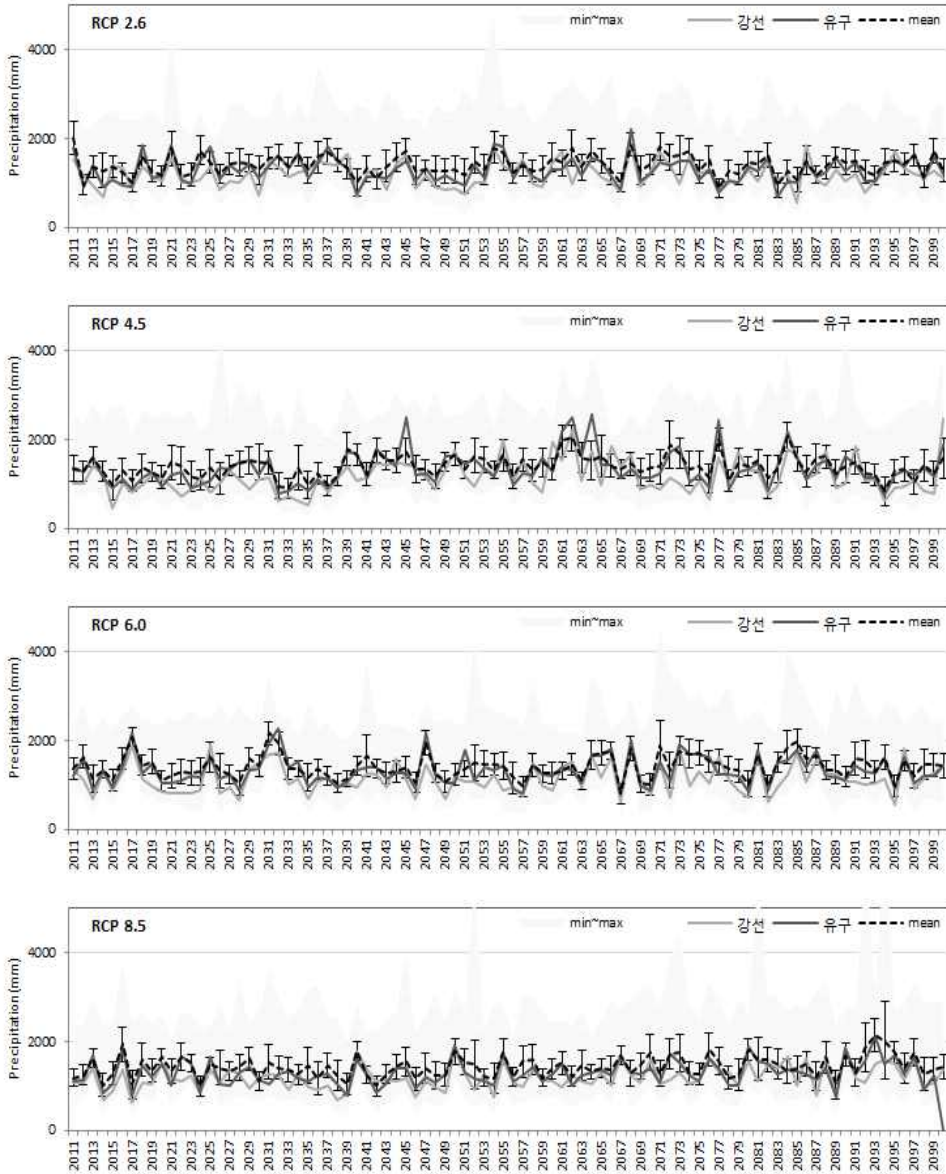
(그림 3-14)는 RCP 6.0과 RCP 8.5 시나리오에 따른 미래강수량 변화율의 남한지역 분포 결과이다. RCP 6.0의 경우 2020년대와 2040년대 남한 평균 강수량은 각각 8.0%와 5.5% 증가율을 보이는 것으로 나타났으며, 용수구역 분포도 -15.4~20.8%로 넓게 나타났다. 2020년대에는 한강이남 서해안 지역의 증가율이 비교적 큰 반면 2040년대에는 한강권역을 중심으로 높은 증가율을 보이는 것으로 나타났다. RCP 8.5의 경우 2040년대에 이르기까지 섬진강과 영산강 권역을 비롯하여 낙동강 남해 권역의 강수량 증가율이 일관적으로 높게 나타났으며, 남한 평균 증가율은 7.4%로 산정되었다. 2020년대의 경우 용수구역별 범위가 -4.4~46.1%로 넓게 나타났으며, 용수구역 평균 강수량도 14.5%로 큰 증가율을 보이는 특징을 보였다.

일반적으로 기후변화 양상에 대한 RCP 2.6 및 RCP 4.5의 적용결과는 가까운 미래의 강수량 변화가 크지 않고 예측의 불확실성이 크기 때문에, 증감에 대한 예측결과의 유의성에 대한 신뢰도는 낮다고 볼 수 있다. 이에 반해 RCP 6.0과 RCP 8.5는 현실적인 시나리오로서 주목할 만한 유의한 결과가 제시되는 경우가 많다.

(그림 3-15)에서 RCP 시나리오에 따른 용수구역별 연평균 강수량의 전 자료기간(2011~2100년)에 대한 시계열 자료를 분석한 결과, RCP 8.5 시나리오에 대한 용수구역별 예측 강수량의 전체 범위와 표준편차가 크게 나타나 공간적 변동성이 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 그러나 장기적인 예측 결과를 바탕으로 판단할 때 뚜렷한 증가 또는 감소 추세를 확인하는 것은 무리가 있는 것으로 판단됨에 따라 앞서 분석한 2020년대와 2040년대의 정량적 증감 추세에 대한 통계적 유의성을 보이기 위해서는 추가분석이 필요하다. 주요 용수구역인 ‘강선’과 ‘유구’에 대한 연 강수량 변화 패턴은 유사하게 나타났으며 RCP 2.6의 경우 전체 용수구역 평균 강수량 1,410 mm 에 비해 각각 약 210 mm와 112 mm 작게 나타났다. RCP 8.5 시나리오의 경우 평균 강수량 1,443 mm에 비해 각각 약 254 mm와 151 mm 작게 나타남에 따라 남한 전체 평균에 비해 비교적 낮은 강수량 분포가 나타났다.

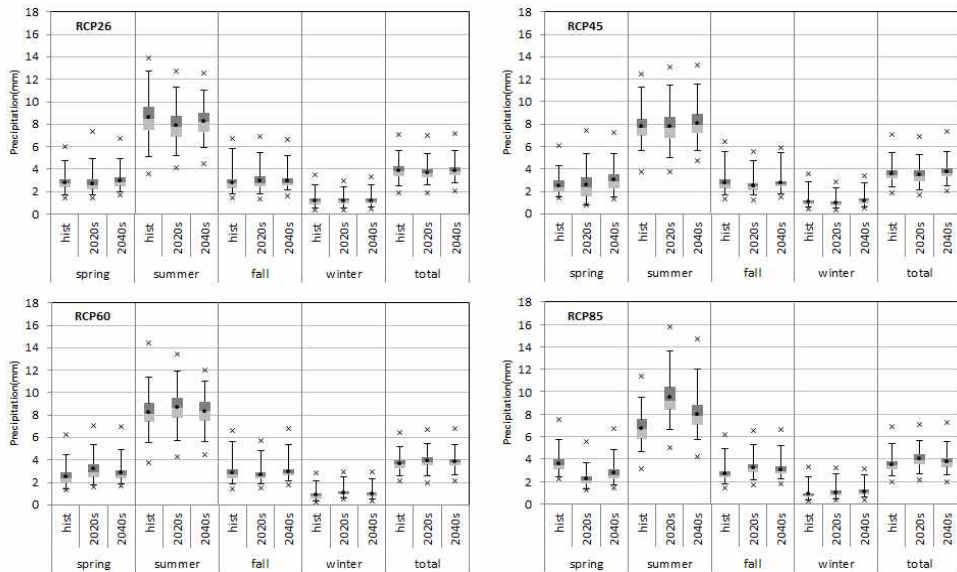


<그림 3-14> RCP 6.0과 RCP 8.5 시나리오에 따른 미래기간별 남한 용수구역단위 미래강수량 분포 변화(%) 분석결과



<그림 3-15> RCP 시나리오에 따른 용수구역별 강수량 범위 및 연평균 시계열
 (주요 용수구역 '강선'과 '유구'에 대한 결과와 전체 용수구역 평균 제시.
 오차막대는 용수구역 간 \pm 표준편차를 표시함)

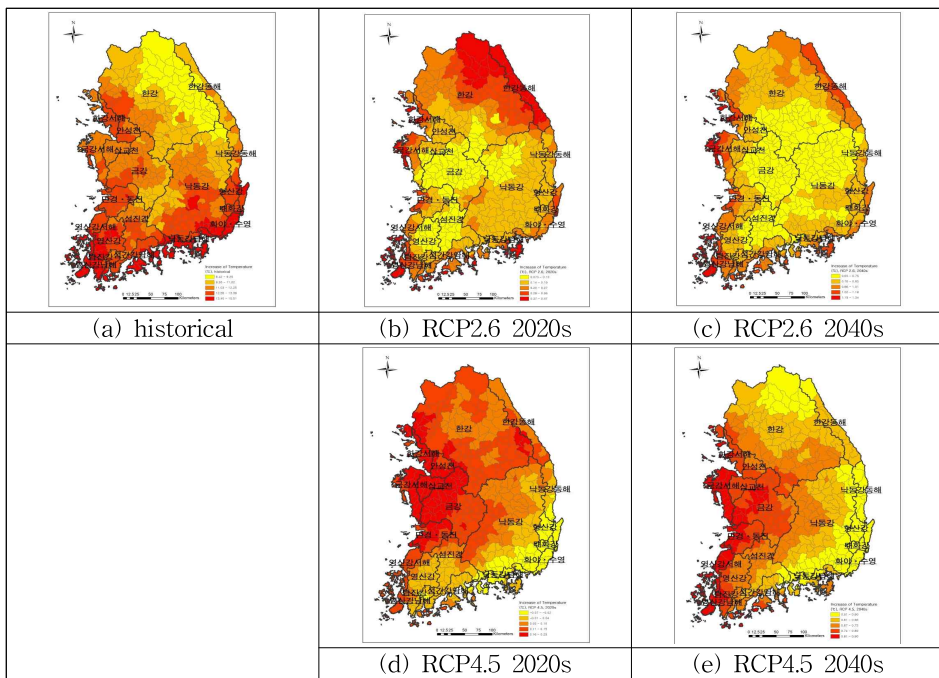
(그림 3-16)은 각 RCP 시나리오에 따른 산정법, 기간, 계절별 평균 강수량 예측결과를 비교한 결과이다. 전체 시나리오에 대해 우기(6~8월)에 강수가 집중되는 계절적 패턴이 유사하게 나타났으며, 다른 시나리오에 비해 RCP 8.5의 강수량이 높게 나타나며 우기에 집중된 것으로 판단된다. 특히 우기 강수량의 공간 변동성을 나타내는 용수구역별 강수량 차이도 큰 분포로 나타났다. 대체로 강수량의 계절적 패턴을 제외한 기간별 시나리오별 변화 추이는 2040년대의 비교적 단기 미래에 대한 증감 추세가 유의하게 나타나지 않는 것으로 판단된다.



<그림 3-16> RCP 시나리오에 따른 산정법, 기간, 계절별 평균 강수량 예측결과 비교

3.2.2 평균기온

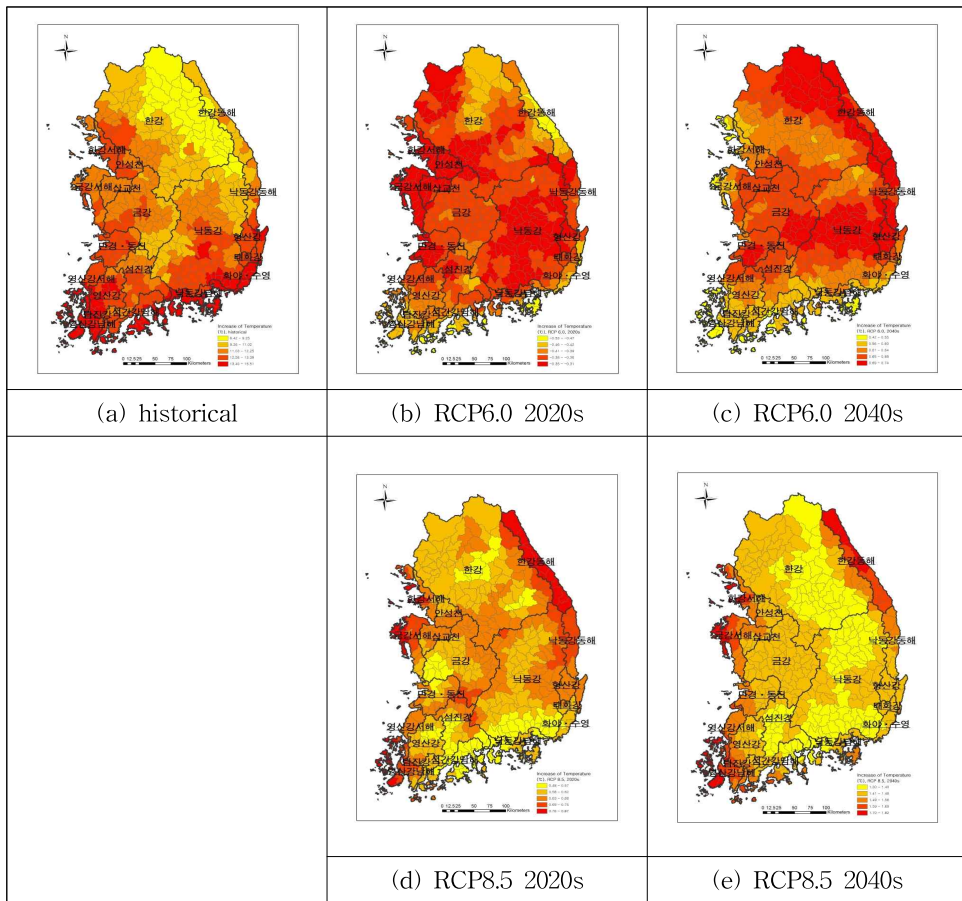
온실가스 배출 증가로 인한 지구온난화와 기후변화의 주요 기상 변화 특성은 해수면 온도 및 대기권 기온 상승이다. 다양한 기후 예측 정보를 종합 분석한 결과 장기 미래에 대한 기온 상승은 시나리오별 또는 기후모델 및 지역별로 차이는 있으나, 상대적으로 불확실성이 비교적 작고 높은 신뢰도를 가지는 예측정보이다. 기온은 기준증발산량을 산정하는 주요 기상요소로서 본 절에서는 용수구역별로 생산된 일 평균 기온의 과거기간 대비 미래 증가분을 분석하였다.



<그림 3-17> RCP 2.6과 RCP 4.5 시나리오에 따른 미래기간별 남한 용수 구역단위 미래평균기온 분포 변화(℃) 분석결과

(그림 3-17)과 (그림 3-18)은 과거기간의 평균기온 분포와 각 RCP 시나리오에 따른 미래 평균기온 변화량(℃)의 남한지역 분포 결과이다. 과거기간에 대한 평균기온은 용수구역별로 6.7~15.7 ℃ 범위를 보였으

며 남한 평균 12.2 °C로 나타났다. 평균기온 분포는 한강 권역의 중서부지역에서 비교적 낮게 나타난 반면, 동해 권역을 따라 남해안을 포함한 영산강 서해 지역까지 주로 해안지역에서 비교적 높고 금강과 낙동강 권역 등 중부이남 내륙 지역의 증발산량은 평균적 분포를 보이는 것으로 나타났다.



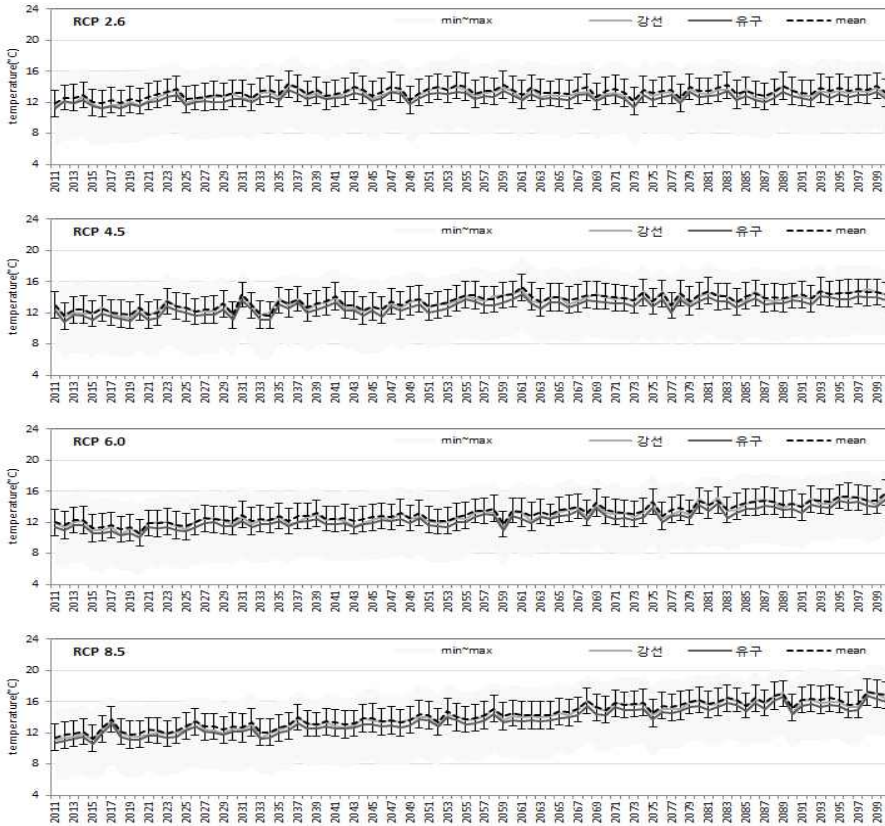
<그림 3-18> RCP 6.0과 RCP 8.5 시나리오에 따른 미래기간별 남한 용수 구역단위 미래평균기온 분포 변화(°C) 분석결과

RCP 시나리오에 따른 미래기간 기온 분포 변화는 RCP 2.6의 경우 한강동해 권역과 해안지역의 증가율이 비교적 높게 나타난 반면, RCP

4.5의 경우 서해안과 인근 금강 권역을 포함한 내륙지역의 기온 증가율이 RCP 2.6에 비해 넓은 지역에 대해 높게 분포하고 있는 것으로 나타났다. RCP 2.6과 RCP 4.5 시나리오의 경우 2040년대 기온 증가는 평균 0.8 ℃와 0.7 ℃로 나타났으며, 용수구역별 범위는 각각 0.6 ~1.3 ℃와 0.5 ~0.9 ℃로 분석되었다.

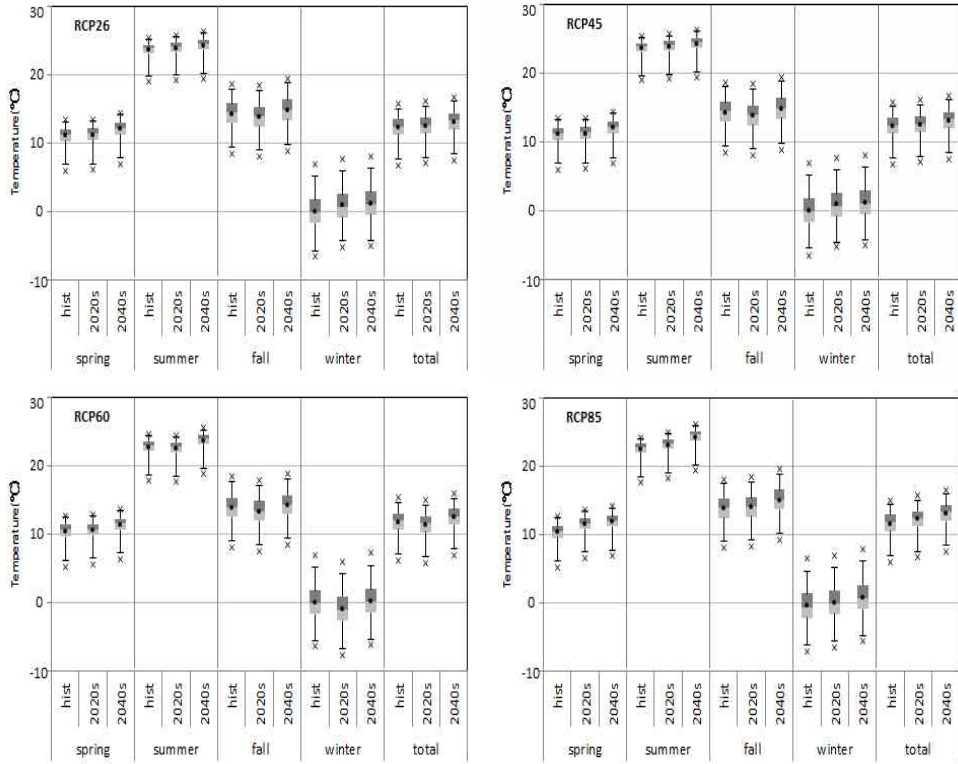
RCP 8.5 시나리오 적용 결과 RCP 2.6의 경우와 유사한 기온 증가량 분포가 나타나며, 한강동해 권역과 해안지역의 증가율이 비교적 높은 것으로 분석되었다. 또한 금강유역 및 한강 권역 서부 지역과 영산강 및 태화강 권역이 다음으로 높은 것으로 분석되었고, 중부 내륙 지역의 증가율이 가장 낮은 것으로 나타났다. RCP 6.0의 경우 남해안과 한강동해권역 일부지역을 제외하고 기온 증가율이 비교적 높은 분포를 보였으나, 전체적으로 2020년대 단기미래에 대해 평균 -0.4 ℃ 감소하는 것으로 나타났다.

RCP 6.0과 RCP 8.5 시나리오의 경우 2020년대 기온증가는 평균 -0.4 ℃와 0.6 ℃로 나타났으며, 용수구역별 범위는 각각 -0.5~-0.3 ℃와 0.5~0.9 ℃로 분석되었다. 2040년대에는 시나리오에 대해 각각 용수구역 평균기온이 0.6 ℃와 1.5 ℃ 증가하는 것으로 나타났으며, 용수구역별 범위 또한 RC 6.0과 RCP 8.5 시나리오에 대해 각각 0.4~0.7 ℃, 1.3~1.8 ℃ 범위로 나타남에 따라 평균 기온 상승의 경향이 전국적으로 유의하게 나타나는 것으로 분석되었다.



<그림 3-19> RCP 시나리오에 따른 용수구역별 평균기온 범위 및 연평균 시계열
 (주요 용수구역 ‘강선’과 ‘유구’에 대한 결과와 전체 용수구역 평균 제시.
 오차막대는 용수구역 간 ±표준편차를 표시함)

(그림 3-20)은 각 RCP 시나리오에 따른 산정법, 기간, 계절별 평균 기온 예측결과를 비교한 결과이다. 전체 시나리오에서 우기에 높은 기온을 보이는 계절적 패턴과 유사하게 나타났으며, 다른 시나리오에 비해 RCP 8.5의 평균기온이 상대적으로 높게 나타난 결과를 보여주고 있다. 기온의 공간 변동성을 나타내는 용수구역별 기온 차이는 시나리오 및 계절에 따라 크게 차이가 나지는 않았다. 평균기온의 경우 대체로 계절적 패턴과 시나리오에 따른 기온 증가 추세가 상관성 있게 나타나는 경향을 보였다.

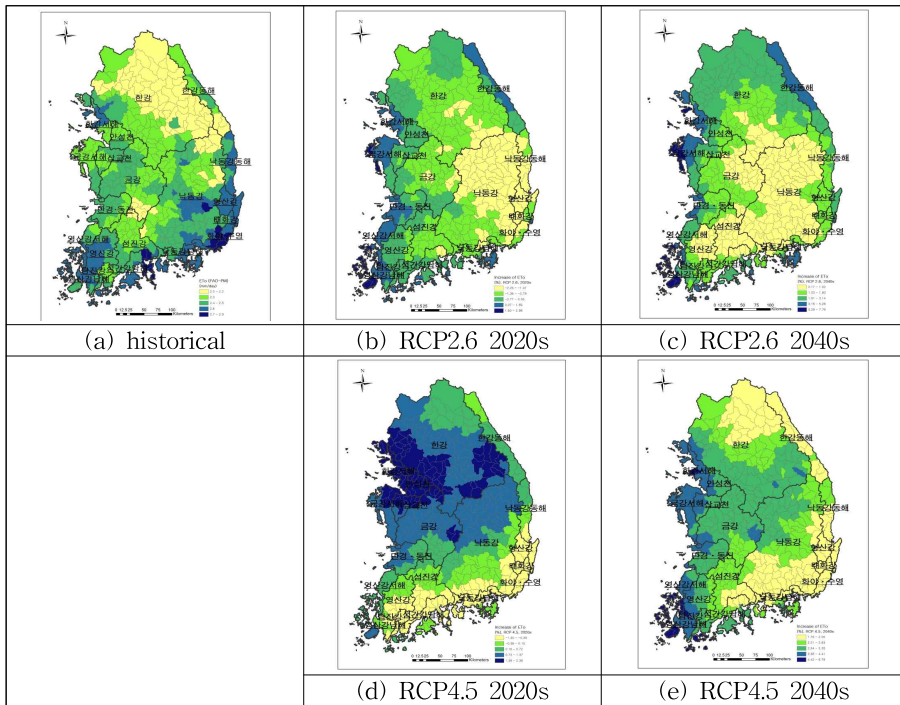


<그림 3-20> RCP 시나리오에 따른 산정법, 기간, 계절별 평균기온은 예측결과 비교

3.2.3 증발산량

본 연구에서 기준증발산량 산정법 중 PM 산정법을 적용하여 과거기간 기준증발산량 대비 미래기간별 변화율을 분석하였다. (그림 3-21)과 (그림 3-22)는 각 RCP 시나리오에 따른 미래기간별 용수구역단위 기준증발산량 분포의 변화(%) 결과이다. 시나리오별 증가율의 공간분포 특성 및 기간별 증가율은 다소 상이하게 나타났다. 과거기간에 대한 일단위 기준증발산량은 용수구역별로 2.0~2.9 mm 범위를 보였으며, 남한 평균은 2.4 mm로 나타났다. 기준증발산량의 분포는 한강 권역의 중서부지역에서 비교적 낮게 나타나고 동해 권역을 따라 남해안을 포함한 영산강 서해 지역까지 주로 해안지역에서 비교적 높고 금강과 낙동강 권역 등 중부이남 내륙 지역의 증발산량은 평균적 분포를 보이는

것으로 나타났다. 이는 평균기온의 과거기간 분포와 유사한 패턴을 보이는 것으로 확인되었다.

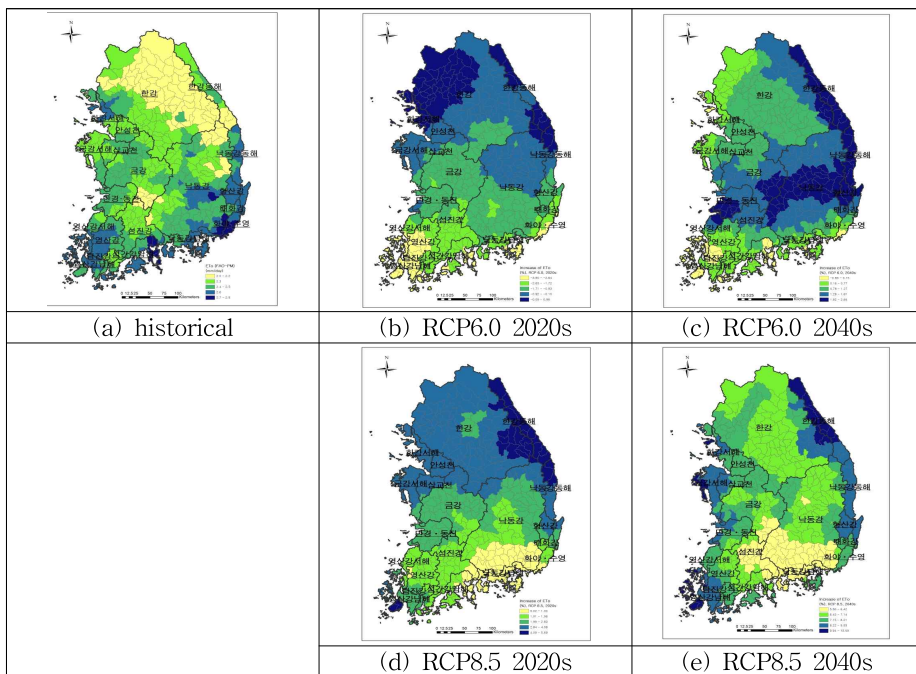


<그림 3-21> RCP 2.6과 RCP 4.5 시나리오에 따른 미래기간별 남한 용수구역 단위 기준증발산량 분포 변화(%) 분석 (PM 산정법 적용결과)

RCP 2.6과 RCP 4.5 시나리오별 기준증발산량 증가율 공간분포 특성을 분석한 결과, 2020년대와 2040년대에 대해 유사한 분포를 보이지만 시나리오별 공간적 분포는 상이하게 나타나는 것을 확인하였다. RCP 2.6의 경우 대체로 낙동강 유역의 증가율이 낮게 나타나며 한강 동해권역, 서해안 지역과 남해안 도서지역에 위치한 권역의 증가율이 비교적 크게 나타났다. RCP 4.5의 경우 한강 서해와 안성천 권역의 증가율이 높게 나타났으며, 남해안 지역과 형산강 및 태화강 권역에 대한 증가율이 비교적 낮게 분석되었다.

RCP 2.6 시나리오의 경우 기준증발산량 증가율이 2020년대와 2040

년대에 대해 각각 -0.6%와 1.9% 증가하는 것으로 분석되었고, 용수구역별 범위는 각각 -2.3~3.0%와 0.2~7.8% 분포를 보이는 것으로 나타났다. RCP 4.5 시나리오의 경우 증가율이 2020년대와 2040년대에 대해 각각 0.4%, 2.8% 증가하는 것으로 RCP 2.6 대비 뚜렷한 증가 추세를 보이는 것으로 분석되었고 용수구역별 범위는 각각 -1.3~2.3%와 1.2~6.8% 분포를 보여 증가율의 공간적 다양성은 RCP 2.6에 비해 적게 나타났다.



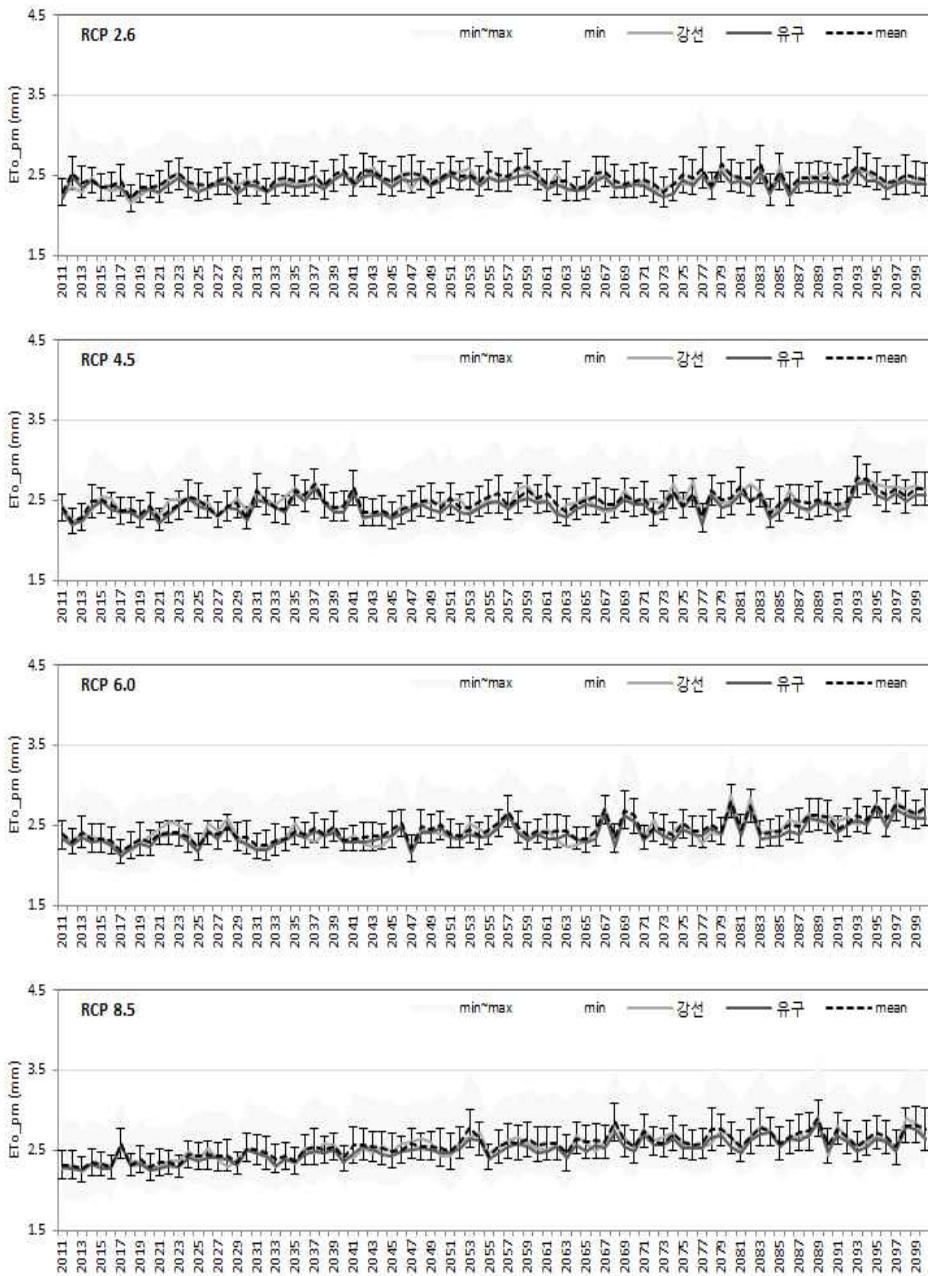
<그림 3-22> RCP 6.0과 RCP 8.5 시나리오에 따른 미래기간별 남한 용수구역 단위 기준증발산량 분포 변화(%) 분석 (PM 산정법 적용결과)

RCP 6.0과 RCP 8.5 시나리오별 기준증발산량 증가율 공간분포 특성을 분석한 결과, RCP 6.0의 경우 2020년대의 한강권역 북서지역과 한강동해 권역의 증가율이 비교적 크게 나타났다. 또한 영산강 권역에서 낮은 증가율을 보이는 분포로 나타난 반면, 2040년대에는 낙동강권역 중부지역의 증가율이 크고 한강 권역 북서부 증가율은 남해안의 증가율

수준으로 비교적 낮게 나타났다. RCP 8.5의 경우 미래기간별 증가율 분포가 유사하게 나타났으며 한강동해 권역과 일부 서해안 도서지역 권역에서 높은 증가율을 보이고 중부내륙 지역을 비롯하여 낙동강 하류와 남해안 인근지역의 증가율이 가장 낮은 공간분포를 보였다.

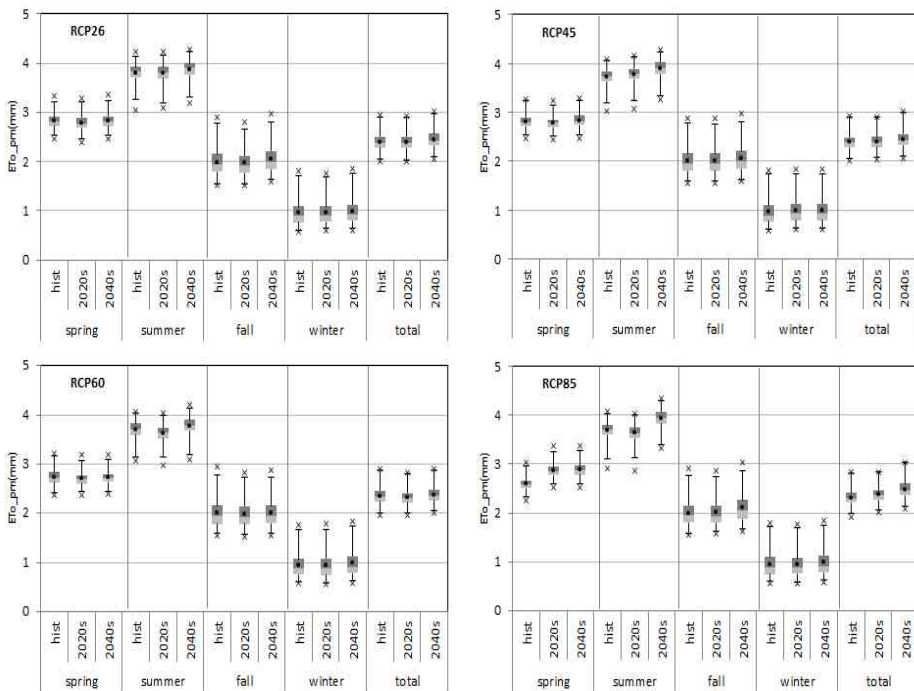
RCP 6.0 시나리오의 경우 기준증발산량 증가율이 2020년대와 2040년대에 대해 각각 8.0%와 5.5%로 나타나 증가 추세가 뚜렷하게 나타나는 것으로 분석되었고, 용수구역별 범위는 각각 -15.4~20.8%와 -13.3~16.2%의 분포를 보여 공간 변동성 또한 비교적 크게 나타났다. RCP 8.5 시나리오의 경우 증가율이 2020년대와 2040년대에 대해 각각 14.5%와 7.4% 증가하는 것으로 다른 시나리오 대비 가장 뚜렷한 증가 추세가 나타났다. 용수구역별 범위 또한 각 미래기간에 대해 -4.4~46.1%와 -3.9~19.4%의 분포를 보여 증가율의 공간적 다양성이 매우 커 기준증발산량 변화율의 지역적 차이가 크게 나타나는 것으로 분석되었다.

(그림 3-23)은 RCP 시나리오에 따른 용수구역별 연평균 기준증발산량의 전 자료기간(2011~2100년)에 대한 시계열 자료를 분석한 결과로, 지구복사량이 증가하는 RCP 6.0과 8.5 시나리오에 대한 용수구역별 예측 기준증발산량의 증가추세가 뚜렷하게 2000년대 말까지 뚜렷하게 나타나는 것으로 확인하였다. 장기적인 예측 결과를 바탕으로 판단할 때 뚜렷한 증가 추세를 확인하였으며 이는 평균기온의 증가추세와 유사한 패턴을 보였다. 주요 용수구역인 '강선'과 '유구'에 대한 기준증발산량 변화 패턴은 전 RCP 시나리오에 대해 용수구역 평균 기준증발산량 2.55 mm 대비 평균 0.1 mm 이하의 차이를 보이며 평균적인 패턴을 보이는 것으로 분석되었다.



〈그림 3-23〉 RCP 시나리오에 따른 용수구역별 기준증발산량 범위 및 연평균 시계열
 (주요 용수구역 ‘강선’과 ‘유구’에 대한 결과와 전체 용수구역 평균 제시
 오차막대는 용수구역 간 ±표준편차를 표시함)

(그림 3-24)은 PM 산정법을 적용하여 각 RCP 시나리오에 따른 기간, 계절별 기준증발산량 예측결과를 비교한 것이다. 평균기온에 대한 결과와 유사하게 전 시나리오에 대해 우기에 높은 증발산을 보이는 계절적 패턴이 유사하게 나타났으며 다른 시나리오에 비해 RCP 8.5의 평균 기준증발산량이 높게 나타난 결과를 보이고 있다. 기준증발산량의 용수구역별 기온 차이는 시나리오 및 계절에 따라 크게 나타나지 않았으며 대체로 계절적 패턴과 시나리오에 따른 기준증발산량 증가 추세가 상관성 있게 나타나는 경향을 보이고 있다. 예외적인 경우는 비교적 가까운 미래의 예측자료로 짧은 기간으로 분석된 과거 평균기온 대비 분석결과 이므로 자료 기간의 확충 및 장기미래 기간에 대한 변화 추이 분석을 통해 증감추세의 통계적 유의성을 확인할 필요가 있다고 판단된다.



<그림 3-24> RCP 시나리오에 따른 기간 및 계절별 PM 적용 기준증발산량 예측결과 비교

3.3 시나리오별 가뭄지수 산정

3.3.1 표준강수지수 및 표준강수증발산지수

표준강수지수(standard precipitation index, SPI)는 강수자료 기반의 가뭄지수이고, 표준강수증발산지수(standard precipitation evapotranspiration index, SPEI)는 강수자료와 증발산량 자료를 적용한 가뭄지수이다.

SPI는 계산과정이 간단하며 가뭄에 가장 큰 영향을 미치는 강수자료를 기반으로 하고, 다양한 지체기간의 적용이 가능하기 때문에 전 세계적으로 가뭄연구 분야에 활용되고 있다. 그러나 강수 의존적인 지수이기 때문에 미래 집중호우 등의 강우패턴의 변화와 가뭄 지속기간 등의 가뭄 특성이 변화함에 따라 미래 가뭄을 과소 혹은 과대평가할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 강수와 증발산량을 동시에 고려하는 SPEI 지수를 함께 고려하여 가뭄 특성을 분석하였다. SPEI는 2012년 Vicente-Serrano 등에 의해 개발된 지수로서 SPI와 계산과정 및 지체기간 적용 등의 특징이 유사하지만 강수량과 증발산량의 차이를 고려한다는 점에서 차별성을 가진다. 따라서 SPI는 수자원 공급원에 대한 가뭄의 영향을 평가하기에 적합할 수 있고, SPEI는 작물의 증발산량을 고려하기 때문에 가뭄이 작물생육에 미치는 영향을 평가하기에 적합할 수 있다.

1) 표준강수지수

표준강수지수(SPI)는 강수의 부족이 지하수, 저수지 저수량, 토양수분 및 하천수량에 다른 영향을 미친다는데 착안하여 McKee 등(1993)이 개발하였다. 토양수분조건은 상대적으로 짧은 기간의 강수 예외에 반응하고 지하수, 하천수 및 저수지 저수량은 보다 장기간의 강수에 영향을 받기 때문에 여러 가지 시간 간격에 따른 종류별 수자원의 이용가능성에 대한 가뭄의 영향을 반영할 수 있어야 한다. 따라서 SPI는 여러 가지 시간 간격으로 강수부족을 정량화하도록 설계되었다.

SPI의 계산은 해당 관측점에 대한 강수량의 주기분포를 토대로

Gamma 확률밀도함수를 이용한다. Gamma 확률분포함수는 다음 식과 같다.

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

여기서, α , β 는 Gamma 확률밀도함수의 계수로서 지정된 시간척도 (time scale)에 따라서 해당 관측점별로 추정된다. α , β 에 대한 추정치는 다음과 같은 식에 의해서 계산할 수 있다.

$$\alpha = \frac{1}{4A} (1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}}), \quad \beta = \frac{\bar{x}}{\alpha}$$

$$A = \ln(\bar{x}) - \frac{\sum \ln(x)}{n}, \quad n = \text{강수량 자료의 수}$$

여기서 얻어진 매개변수들은 다음과 같은 누가확률분포함수식에서 이용된다. 누가확률은 다음 식에 의해서 나타낸다.

$$G(x) = \int_0^x g(x) dx = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} \int_0^x x^{\alpha-1} e^{-x/\beta} dx$$

$t = x/\beta$ 로 하면, 위의 식은

$$G(x) = \frac{1}{\Gamma(\alpha)} \int_0^t t^{\alpha-1} e^{-t} dt$$

로 다시 쓸 수 있다. Gamma 함수는 $x=0$ 에서 정의되지 않으나 강수량은 0인 경우가 있으므로, 누가확률은 $H(x) = q + (1-q)G(x)$ 로 된다. q 는 0인 경우의 확률이다. 누가 확률 $H(x)$ 는 다시 평균 0 분산 1의 표준정규분포의 임의의 변수 Z 로 나타낼 수 있도록 다음 식과 같이 변환되면 SPI 값이 된다.

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

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

$$\text{여기서, } t = \sqrt{\ln\left(\frac{1}{(H(x))^2}\right)}, \quad 0 < H(x) \leq 0.5$$

$$t = \sqrt{\ln\left(\frac{1}{(1.0 - H(x))^2}\right)}, \quad 0.5 < H(x) \leq 1.0$$

$$c_0 = 2.515517, \quad c_1 = 0.802853, \quad c_2 = 0.010328$$

$$d_1 = 1.432788, \quad d_2 = 0.189269, \quad d_3 = 0.001308$$

SPI는 시간 단위별 누가 강수 시계열의 작성, Guttman(1998)에 의해 적정 확률분포를 이용한 매개변수 추정, 누적확률 산정 및 표준정규분포에 적용시킨 가뭄지수의 산정 등의 단계를 거쳐 계산되며, 최종적으로 산정된 SPI의 결과로부터 산출된 가뭄심도를 (표 3-4)와 같이 분류할 수 있다(Mckee et al., 1993).

(표 3-4) SPI 및 SPEI 가뭄지수

SPI 및 SPEI 지수	상태
2.00 이상	극한습윤
1.50 to 1.99	심한습윤
1.00 to 1.49	보통습윤
0.50 to 0.99	약한습윤
-0.49 to 0.49	정상상태
-0.99 to -0.50	약간가뭄
-1.49 to -1.00	보통가뭄
-1.99 to -1.50	심한가뭄
-2.00 이하	극한가뭄

2) 표준강수 증발산지수

표준강수 증발산지수(SPEI, Vicente-Serrano et al., 2010)는 강수량과 증발산량의 차가 유출 및 수분 저장(지하수 및 토양수분)의 합과 같아지는 물수지를 개념적으로 고려하고 있다.

각각 다른 시간척도에 따라 다음식과 같이 강수량과 증발산량의 차인 D_i 의 누적 값의 시계열 자료로부터 적정확률분포로 선정된 Log-logistic 분포를 이용하여 매개변수를 추정한 후, 표준정규분포로

전환하여 가뭄지수를 산정한다(Vicente-Serrano et al., 2010).

$$D_i = P_i - ET_{o_i}$$

SPEI는 가뭄 심도를 정의하기 위하여 (표 3-4)에 도시한 바와 같이 SPI와 동일한 가뭄분류체계를 사용하였다. 가뭄분류의 기준으로 9단계의 가뭄수준으로 등급을 구분하였으며 값이 높을수록 습윤 상태, 값이 낮을수록 가뭄 상태가 심한 것을 의미한다.

SPI 및 SPEI는 가뭄지수산정을 위한 강수 및 증발산량의 계산 시간 척도를 1개월부터 3, 6, 9, 12, 24개월 등과 같이 다양하게 설정함으로써 시간 척도별로 단기가뭄 및 장기가뭄을 동시에 평가할 수 있는 장점이 있다(Hayes et al., 2011; Kim et al., 2012a). 일반적으로 농업가뭄 모니터링을 위해서는 3~6개월의 시간 척도를 사용하는 것을 권고하고 있다(Svoboda et al., 2002). 본 연구에서는 6개월의 시간 척도를 사용하였으며, 각 기상관측소 위치별로 일 자료를 월 자료로 전환하여 SPEI 가뭄지수를 산정하였다.

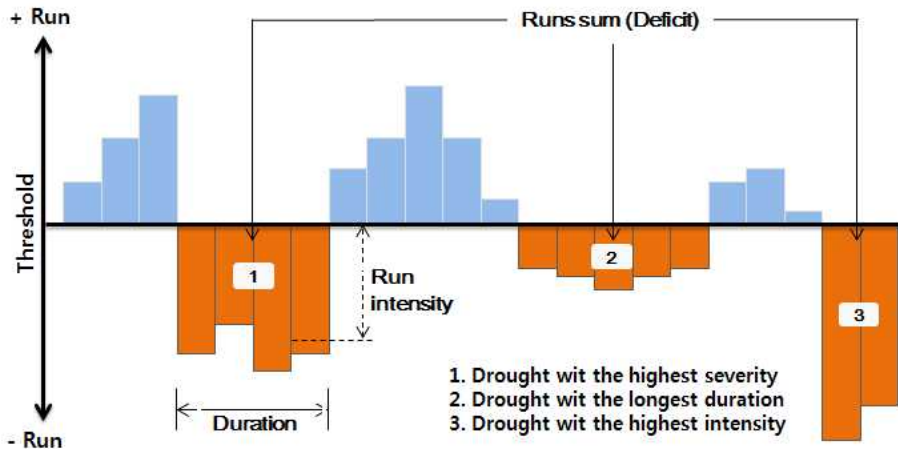
3.3.2 가뭄지수 평가 방법

일반적으로 가뭄에 대한 연구를 수행할 경우, 우선 다양한 가뭄지표를 활용하여 가뭄현상을 정량화하고, 가뭄기준으로부터 가뭄의 지속기간, 심도, 발생간격 등을 정의한 후 시계열 분석하여 가뭄특성을 평가한다(Byun and Wilhite, 1999). Yevjevich(1967)은 절단수준(truncation level)을 선정하고 가뭄사상(event)을 정의할 수 있는 임계수준 방법(threshold level method) 또는 연속이론(Runs Theory)을 개발하였으며, 가뭄의 시작과 끝을 명확하게 구분할 수 있기 때문에 가뭄의 지속기간, 심도, 간격 등 가뭄의 특성을 산정하는데 유용하다(Sung and Chung, 2014; Yoo et al., 2014).

연속이론은 개념적인 적용의 간편함으로 인하여 수문기상학적 시계열에 적용할 수 있다(Nam et al., 2012a; Kwak et al., 2013). 본 연구에서는 SPEI 가뭄지수를 연속적인 수문기상학적 시계열로 간주하여 연속이론을 적용하고 가뭄사상 및 가뭄의 지속기간(duration)과 심도(severity), 규모(magnitude or intensity)를 정의하였다. 가뭄사상은 가

물지수가 특정 평균수준(혹은 절단수준) 이하의 값이 지속적으로 발현될 때 나타난다. 본 연구에서는 가뭄의 시작은 SPEI 값이 절단수준(SPEI = -1) 이하로 감소하는 시점으로 정의하였으며, 가뭄의 종료는 강우에 의해 충분한 수분이 공급되어 절단수준 이상이 되는 시점으로 정의하였다. 또한 가뭄사상의 지속기간은 절단수준인 이하로 떨어지는 연속기간(run-length)으로 정의하였으며, 가뭄의 지속기간 동안 절단수준 이하로 내려간 누적값(run-sum)을 가뭄의 심도로 정의하였다. 가뭄의 규모는 가뭄의 심도를 기간으로 나눈 값을 사용하였다. 즉, 하나의 가뭄사상은 시작과 끝으로 확정되는 지속기간을 가지며, 지속기간에 대한 가뭄 심도 및 규모 값을 갖게 된다(그림 3-25).

Runs 이론을 이용하여 가뭄 지속기간 및 심도를 분석하고, 이를 용수구역별로 유형을 분류하기 위하여 본 연구에서는 (표 3-5) 와 같이 5점 척도제를 적용하였다. 특히 SPI와 SPEI를 통한 가뭄 지속기간과 심도는 정규분포를 따르고 있는 것으로 분석되었기 때문에 평균을 중심으로 표준편차만큼 떨어진 정도를 적용하여 0점부터 5점까지 점수를 부여하였으며, 5점의 경우 가장 극심한 가뭄을 나타낸다.



<그림 3-25> Runs 이론을 통한 가뭄 지속기간 및 가뭄심도 산정 방법

(표 3-5) 평균과 표준편차를 이용한 5점 척도법

<- More		Drought index						-> Less	
5	4		3		2		1		0
under	over	under	over	under	over	under	over	under	over
$\mu-2\sigma$	$\mu-2\sigma$	$\mu-\sigma$	$\mu-\sigma$	μ	μ	$\mu+\sigma$	$\mu+\sigma$	$\mu+2\sigma$	$\mu+2\sigma$

3.3.3 기후변화 시나리오별 가뭄지수 산정 및 적용성 평가

지역별 최근 15년 동안의 가뭄 발생기록을 살펴보면 2000년 2~5월에 영호남 지역의 강수량은 평년 강수량의 16~43%에 불과하였으며, 2001년 경기, 강원, 충북, 경북지역은 5~6월 강수량이 평년 강수량의 45%에 불과하였다. 2006년 10월에는 충남, 전남, 전북, 경남이 평년 강수량의 30%로 심각한 가뭄을 겪었으며, 최근 2012년에는 전국 평균 강수량이 평년대비 32%에 불과하였다(표 3-6).

(표 3-6) 과거 가뭄 기록

연도	가뭄시기	가뭄지역	가뭄 상황
2000	2~5월	영호남	평년강수량 16~43 %
2001	5~6월	경기, 강원, 충북, 경북	평년강수량(3월 이후)의 45%
2006	10월	충남, 전남북, 경남	평년강수량(8~10월)의 30%
2008-09	9~2월	전남, 경남, 강원	전국 평균 강수량 평년대비 46.4%
2012	5~6월	경기, 충남, 전북, 전남	전국 평균 강수량 평년대비 32%
2013	7~8월	경남, 제주도	울산 부산 강우량 평년대비 38, 48%

본 연구에서는 SPI와 SPEI를 이용하여 511개 용수구역별 과거 및 미래 시기의 가뭄 특성을 분석하고자 하였다. 먼저 과거시기의 가뭄기록과 가뭄지수를 비교를 통하여 SPI 및 SPEI의 가뭄 분석 적용 가능성을 평가하였다. 또한 미래의 가뭄을 분석하기 위해서는 미래 기상자

료의 적용이 필수적이다. 미래 기상자료를 과거 자료를 바탕으로 과거부터 미래시기까지 전지구 모델의 시뮬레이션을 통하여 기상자료를 생성하기 때문에 과거시기의 모의 자료 역시 제공받을 수 있다.

따라서 미래 기상자료를 가뭄분석에 적용하기 전에 과거기간의 모의 자료와 실측자료를 적용한 가뭄지수의 비교를 수행할 필요가 있다. 본 연구에서는 과거 2000년부터 2015년까지 실측 기상자료와 전지구 모델을 통하여 모의된 모의 기상자료를 각각 적용하여 SPI와 SPEI를 산정하였고, 산정결과를 비교하여 모의 자료의 정확성 및 과거 반영 정도를 분석하고자 하였다. 이러한 분석은 이후 미래 가뭄을 분석을 위하여 미래 기상자료의 활용가능성에 대한 사전 검토의 의미를 지닌다. 적용성 검토 후 미래 기상 시나리오를 적용하여 미래시기의 가뭄지수를 산정하였다.

본 장에서는 SPI와 SPEI가 과거 가뭄에 대한 반응을 평가하기 위하여 극심한 가뭄을 겪었던 강화-강선지구와 천안-유구지구를 대상으로 2000년부터 2015년까지 과거 실측 기상자료를 활용하여 SPI와 SPEI를 산정하고 과거 가뭄기록과 비교하였다. 또한 모의 기상자료의 적용 가능성을 평가하기 위하여 과거시기(2000~2015년) 실측 기상자료와 모의 기상자료를 통한 SPI와 SPEI를 산정, 비교하였다. 또한 미래 기상 시나리오를 적용하여 시나리오별 미래 가뭄지수의 변화를 비교·분석하였다.

1) 표준강수지수 산정 결과

용수구역별 가뭄 특성을 분석하기 위하여 511 구역별 과거 및 미래 시기의 SPI를 산정하였고, (그림 3-26)과 (그림 3-27)는 대표적인 가뭄 구역이었던 강화-강선지구와 천안-유구지구의 과거 2000년부터 2015년의 실측 기상자료를 통한 1, 3, 6, 9, 12, 24개월 SPI를 산정결과이다.

대표적인 가뭄년도인 2001년과 2012년에 강화-강선지구의 1개월 SPI 역시 -2.0 이하의 값을 보이고 있으며 이는 극심한 가뭄에 해당한다. 특히, 극심한 가뭄의 발생빈도는 2000 초반과 비교하여 2010년 이후에는 줄어든 반면, 가뭄 발생 개월의 수는 증가하는 것을 확인할 수 있다. 특히, 2014년부터 2015년의 경우 가뭄으로 확인되는 월의 빈도가

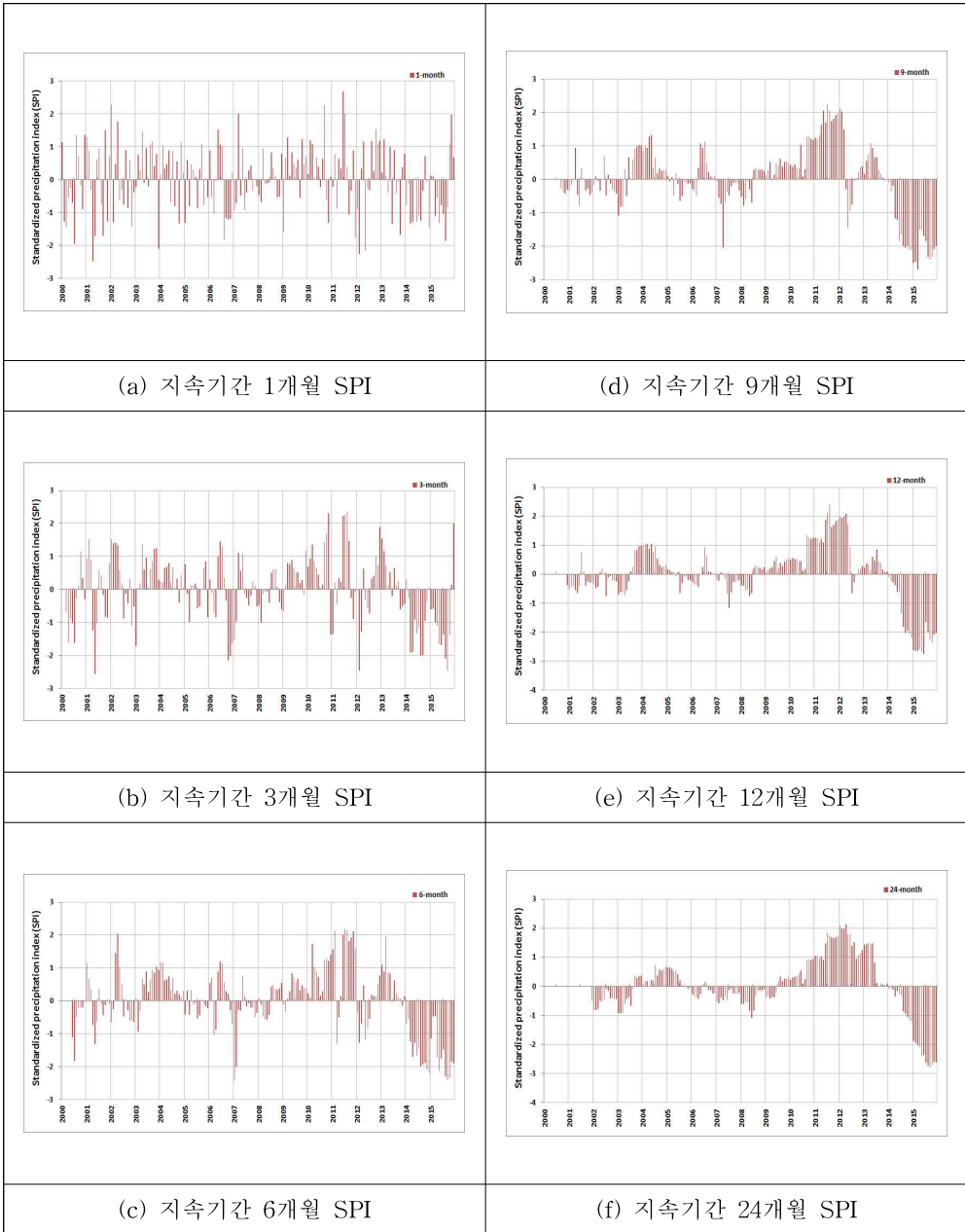
상당히 증가한 것을 확인할 수 있다.

이러한 단기 가뭄의 발생빈도의 증가는 중장기 가뭄으로 이어질 수 있다. 특히, 2015년에 중장기 가뭄이 가장 심각한 것으로 나타났고, 12, 24개월 SPI 지수 역시 2015년에 최솟값을 나타내고 있다. 이러한 결과는 2015년의 가뭄이 2013 및 2014년부터 지속된 것이며 장기적인 관점에서 심각한 가뭄 피해가 발생할 수 있음을 시사한다.

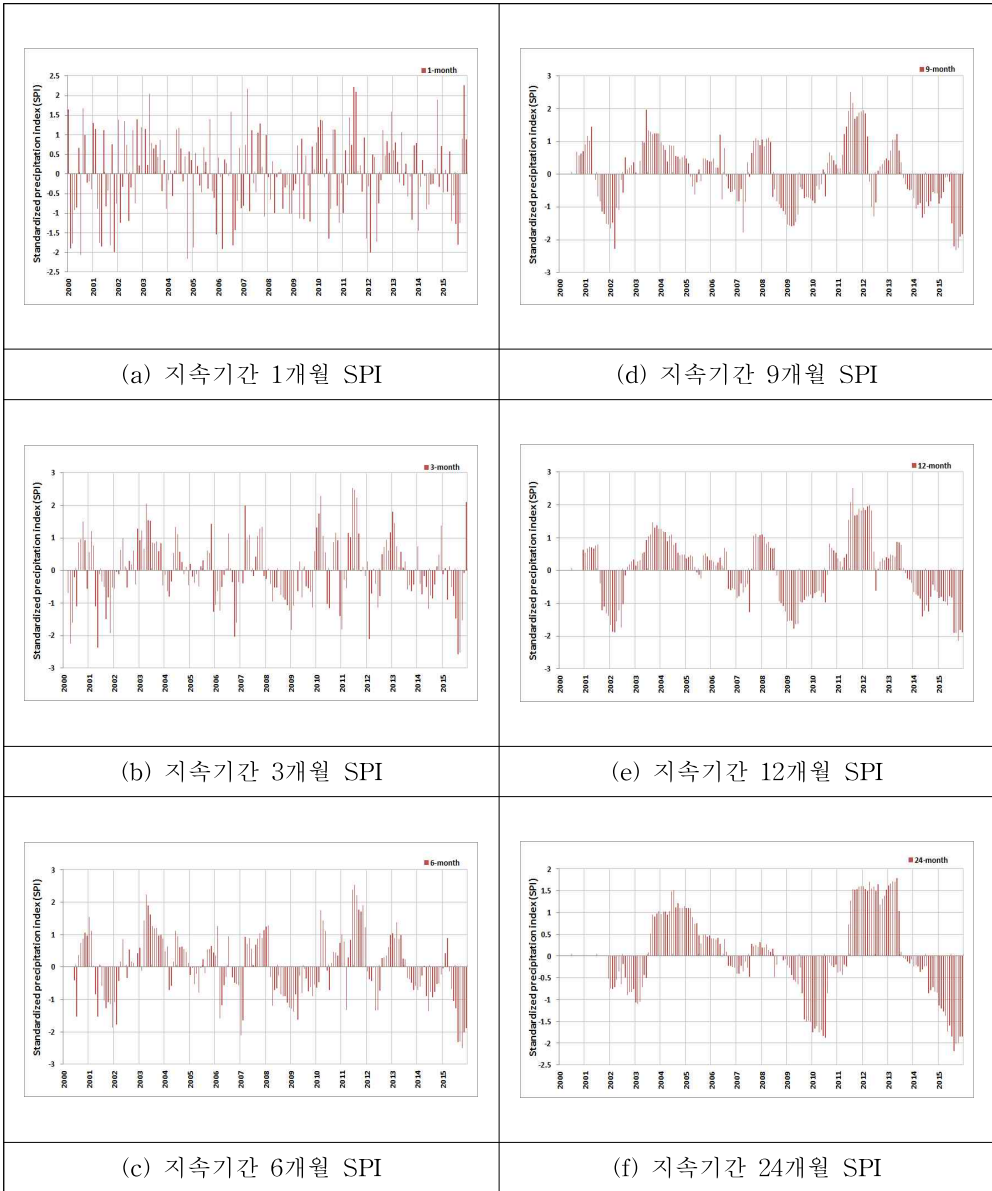
천안-유구 지구의 경우 1개월 SPI에 따르면 2000, 2001, 2006, 2012년에 상당한 단기 가뭄이 발생한 것으로 나타났고, 3개월 이상의 중장기 가뭄은 2002, 2009, 2015년에 심각한 것으로 분석되었다. 12개월 이상의 장기 가뭄은 2010년과 2015년에 발생한 것으로 나타났다.

미래의 가뭄 분석을 위해서는 기후시나리오에 따른 미래 기상자료를 활용해야 한다. 미래 기상자료는 과거시기를 바탕으로 전지구 모델에 의하여 모의된 것으로서 미래 시기 뿐 아니라 과거시기의 모의 기상자료 역시 제공되고 있다.

본 과거 시기의 모의 기상자료와 실측 기상자료를 적용하여 SPI를 각각 산정 및 비교를 통하여 모의 기상자료의 적용 가능성을 평가하였다. 과거 시기의 모의 기상자료의 평가는 이후 미래 가뭄분석을 위한 미래 기상자료 적용의 근거를 제시해줄 수 있다.



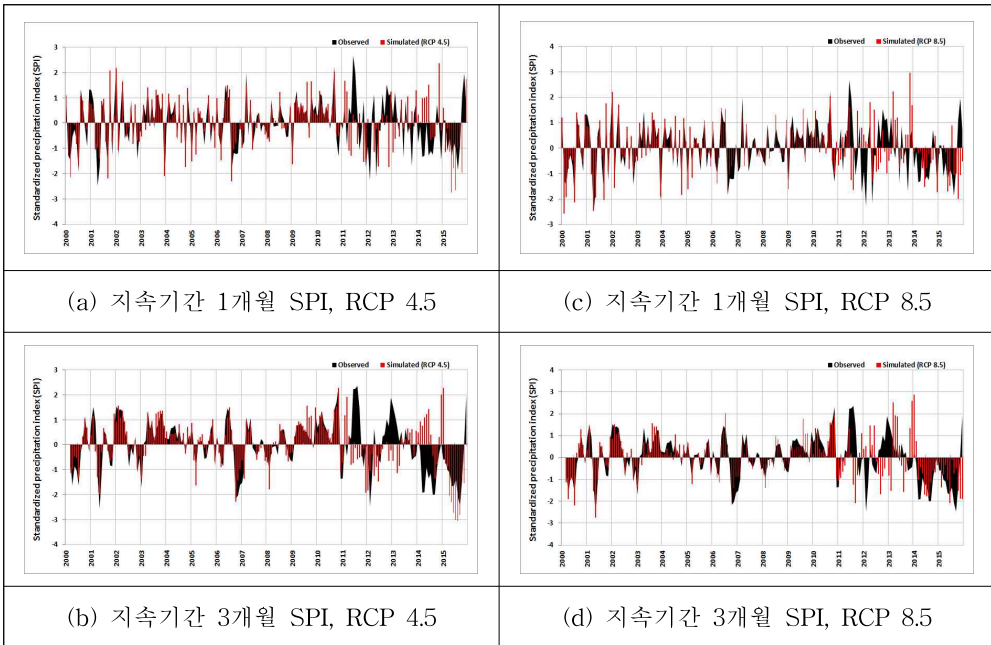
<그림 3-26> 강화-강선지구의 실측 기상자료를 이용한 SPI 산정 결과
(2000~2015년)



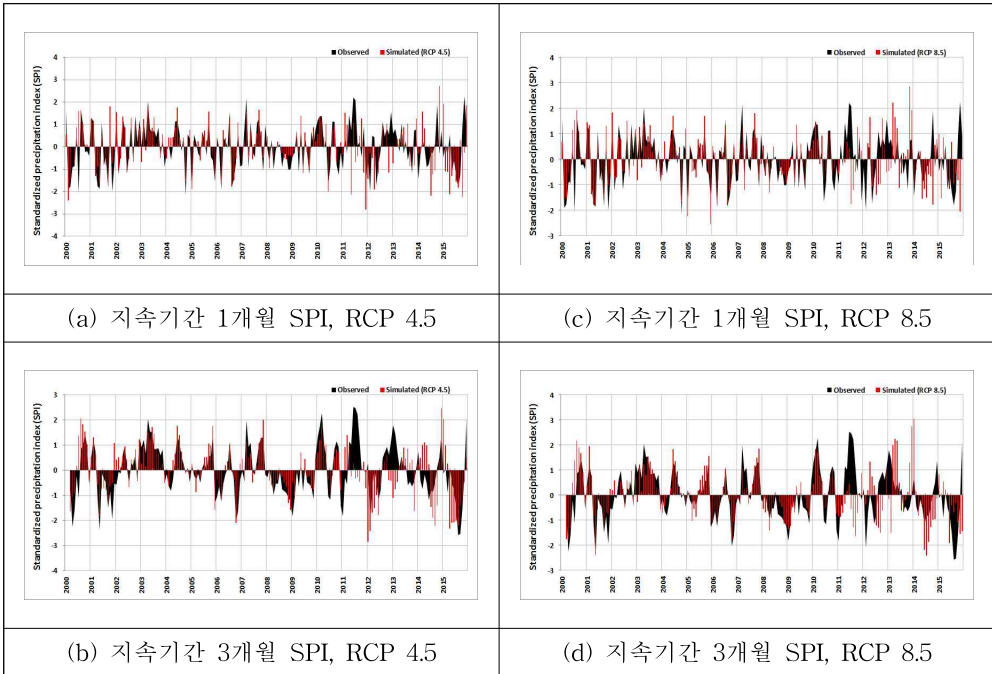
〈그림 3-27〉 천안-유구지구의 실측 기상자료를 이용한 SPI 산정 결과
(2000~2015년)

(그림 3-28)과 (그림 3-29)는 과거시기(2000~2015년) 실측 기상자료와 모의 기상자료를 이용하여 지속기간 1개월과 3개월의 SPI 산정하고 두 결과를 비교하여 모의 기상자료의 미래 가뭄 분석 적용 가능성을 평

가하였다. 실측 기상을 이용한 지속기간 1개월 SPI는 RCP 4.5 시나리오 기반의 모의 기상을 이용한 SPI와 상당한 일치도를 보이는 것을 확인할 수 있다. 특히 가뭄시기(SPI < 0.0)의 경우 2014년을 제외하고 대부분의 연도에서 상당부분 일치하는 것을 확인할 수 있다. RCP 8.5 시나리오 기반의 모의 기상자료를 이용한 경우에도 2012년을 제외하고 상당부분 일치하였으며 특히 2014와 2015년도의 실측 기상을 이용한 가뭄 정도를 모의 기상 역시 반영할 수 있는 것으로 나타났다. 지속기간 3개월 SPI의 경우 실측 기상과 모의 기상에 따른 SPI 산정결과의 일치도가 높아짐을 확인할 수 있다. 그러나 강화-강선 지구의 경우 모의 기상을 활용할 경우 2014년의 중장기 가뭄의 분석이 어려운 것으로 나타났으나 전체기간 동안의 일치도를 고려할 때 미래 가뭄 분석을 위하여 RCP 시나리오기반의 모의 기상자료를 적용하여 SPI를 산정하는 것이 충분히 적용 가능함을 확인할 수 있다.



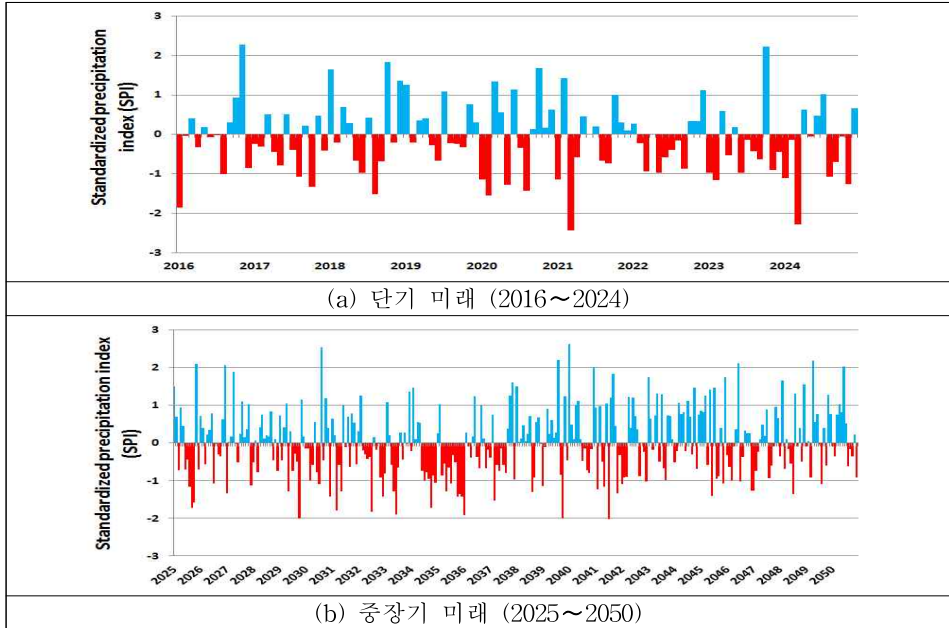
<그림 3-28> 강화-강선지구 실측 및 모의 기상자료를 적용한 SPI 산정 결과 비교



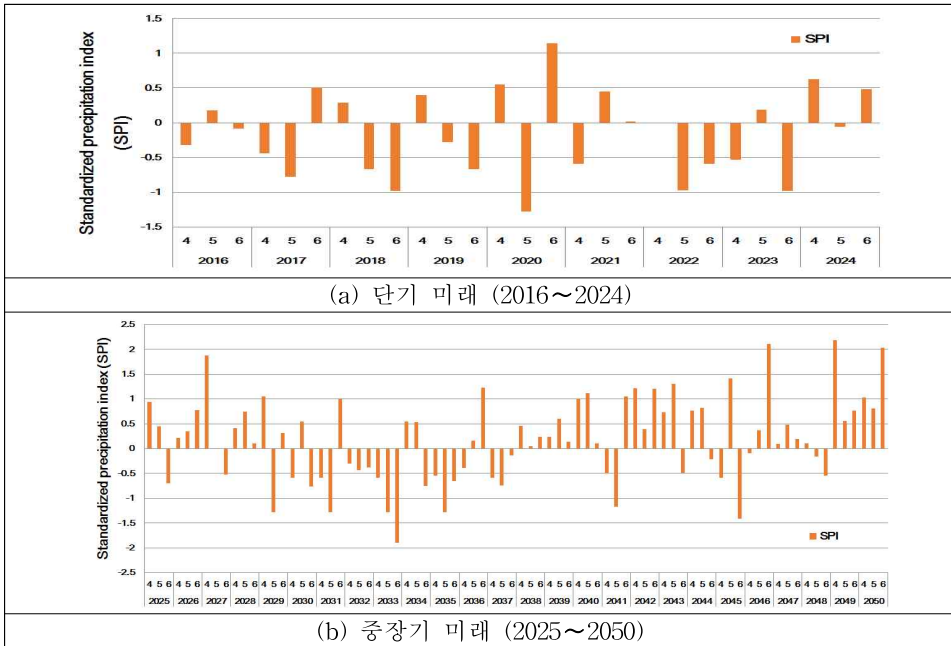
<그림 3-29> 천안-유구지구 실측 및 모의 기상자료를 적용한 SPI 산정 결과 비교

(그림 3-30)은 RCP 4.5 미래 기후변화 시나리오를 적용하여 2016년부터 2050년까지 강화-강선지구의 지속기간 1개월의 시계열 SPI 산정 결과를 나타낸다. 단기 미래의 경우 극심한 가뭄(SPI < -2.0)의 발생 가능성을 확인할 수 있고, 중장기 미래로 갈수록 극심한 가뭄 발생보다는 심각한 가뭄(SPI < -1.0)의 발생 빈도가 증가하는 것을 확인할 수 있다.

특히, 중요한 작부 시기인 4월부터 6월의 SPI 지수만을 선정하여 (그림 3-31)에 그래프로 나타내었는데 단기 미래의 경우 5월의 가뭄이 극심해질 수 있음을 보여주고 있으며 중장기 미래의 경우 약 4~6개월 동안의 가뭄이 3년 이상 지속될 수 있음을 보여준다. 즉, 단기 미래의 경우 가뭄의 극심함이 증가할 수 있고, 중장기 미래의 경우 가뭄의 발생빈도와 지속성이 증가할 수 있음을 보여주고 있다.



<그림 3-30> 강화-강선 지구의 단기 및 중장기 미래 시기의 SPI 산정 결과



<그림 3-31> 강화-강선 지구의 단기 및 중장기 미래 작부시기(4-6월)의 SPI 산정 결과

2) 표준강수 증발산지수 산정 결과

SPEI는 증발산량을 고려한 가뭄지수이기 때문에 SPI와는 다소 차이가 발생할 수 있다. 또한 증발산량은 작물의 생육과 밀접한 관계가 있으므로 SPEI는 미래 농업가뭄 분석을 위한 중요한 지수로 활용될 수 있다. 이에 따라 본 연구에서는 SPI 산정과 동일한 시기의 SPEI를 산정하여 가뭄을 분석하고자 하였다.

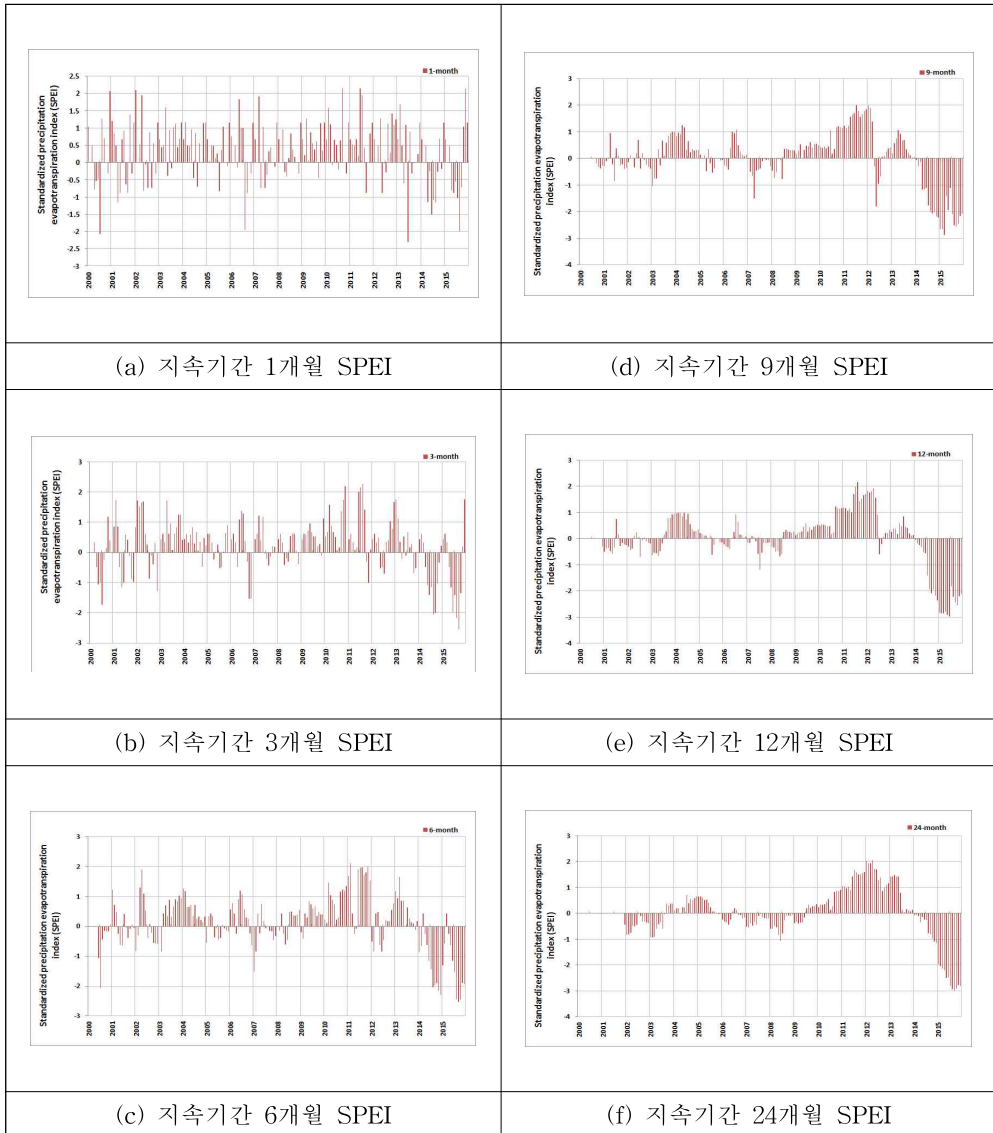
(그림 3-32)는 강화-강선지구의 과거 2000년부터 2015년의 실측 기상자료를 이용한 SPEI 산정결과를 나타낸다. 지속기간 1개월 SPEI 산정결과를 살펴보면, 2000년과 2006년, 2013~2015년에 심각한 가뭄이 발생한 것으로 나타났다. 그러나 특정년도를 제외하면 SPEI 지수가 대부분 -1.0 이상으로 나타났다. 지속기간 6개월 이상의 SPEI를 살펴보면 2015년에 극심한 장기가뭄이 발생한 것으로 나타났다.

(그림 3-33)의 천안-유구 지구의 경우 지속기간 1개월 SPEI는 강화-강선 지구와 유사한 결과를 보여주고 있으나 지속기간 6개월 이상의 SPEI 산정결과에 따른 2002년과 2009년, 2015년에 장기가뭄이 나타나는 것으로 확인되었다.

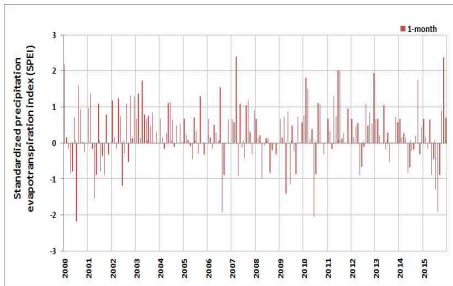
(그림 3-34)은 강화-강선지구의 과거시기(2000~2015년) 실측 기상자료와 모의 기상자료를 이용하여 지속기간 1개월과 3개월의 SPEI 산정하고 두 결과를 비교한 것으로 지속기간 1개월 SPEI의 경우 특정 가뭄년도에 대한 모의 일치도가 상당히 높은 것으로 나타났다. 지속기간 3개월 SPEI의 경우 2011년의 실측기상과 모의기상 자료에 의한 SPEI 결과 차이가 크게 나타났다. 그러나 2011년도를 제외하고는 대부분의 연도에서 실측과 모의 기상자료의 SPEI 결과가 상당부분 일치하는 것을 확인할 수 있다.

(그림 3-35)의 천안-유구지구의 경우 RCP 4.5 시나리오 기반의 모의 기상자료 적용 SPEI는 실측기상자료 기반의 SPEI와 상당히 일치하는 것으로 나타났다. 2011년의 SPEI 결과는 다소 차이가 발생하고 있으나 대부분의 연도에서 실측과 모의 기상자료에 의한 SPEI 결과의 유사성을 확인할 수 있다. RCP 8.5 시나리오의 경우 2011-2012년도에 모의 기상자료에 의한 지속기간 3개월의 SPEI가 -1.0 정도로 나타난 반면

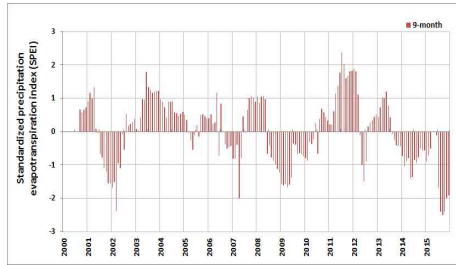
실측 기상자료에 의한 SPEI는 0.0 이상으로 나타나 다소 차이가 발생함을 확인할 수 있다.



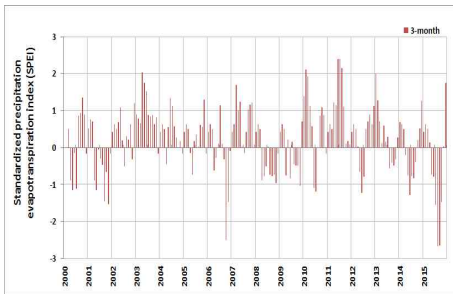
<그림 3-32> 강화-강선지구의 실측 기상자료를 이용한 SPEI 산정 결과 (2000~2015년)



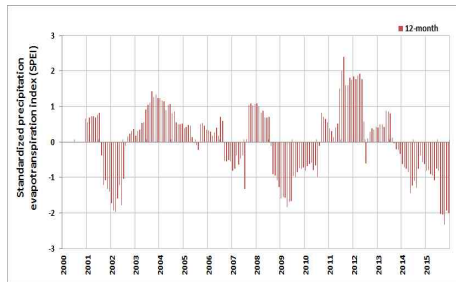
(a) 지속기간 1개월 SPEI



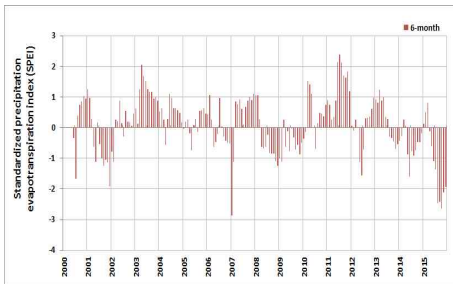
(d) 지속기간 9개월 SPEI



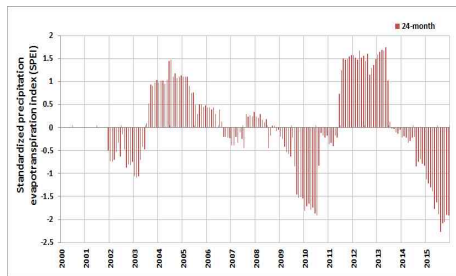
(b) 지속기간 3개월 SPEI



(e) 지속기간 12개월 SPEI

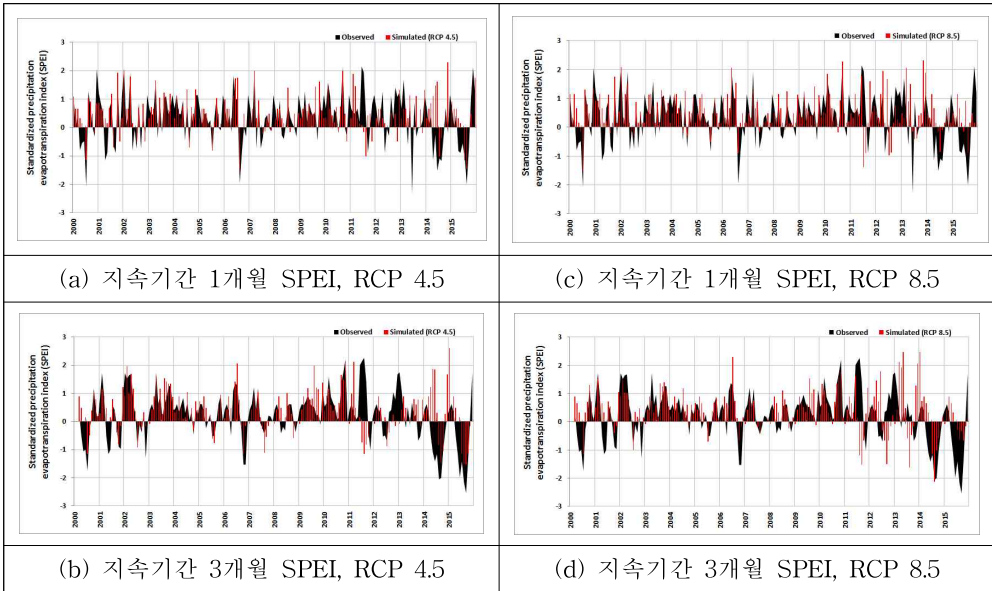


(c) 지속기간 6개월 SPEI

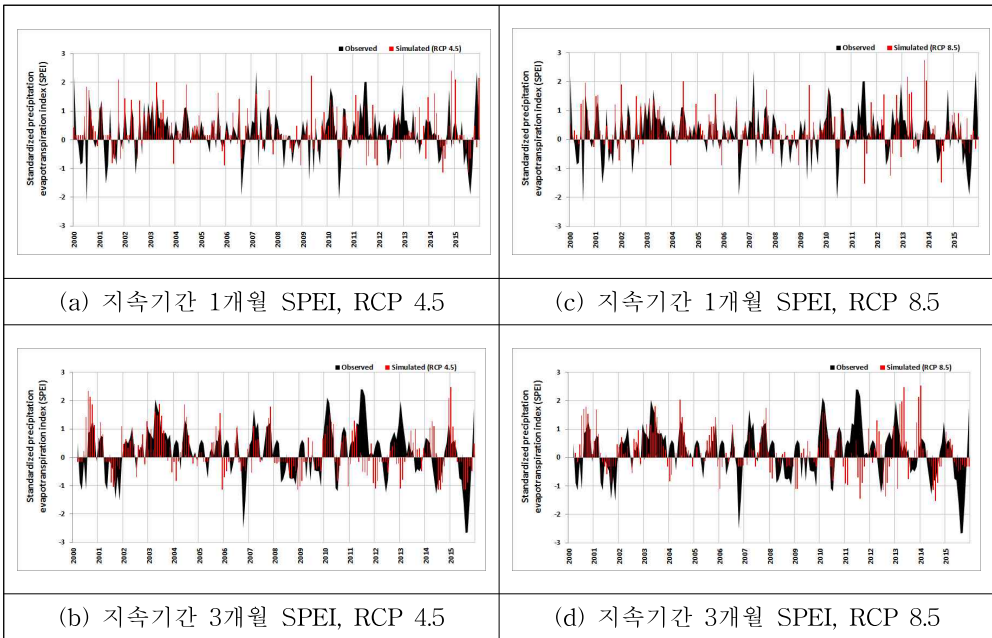


(f) 지속기간 24개월 SPEI

<그림 3-33> 천안-유구지구의 실측 기상자료를 이용한 SPEI 산정 결과 (2000~2015년)



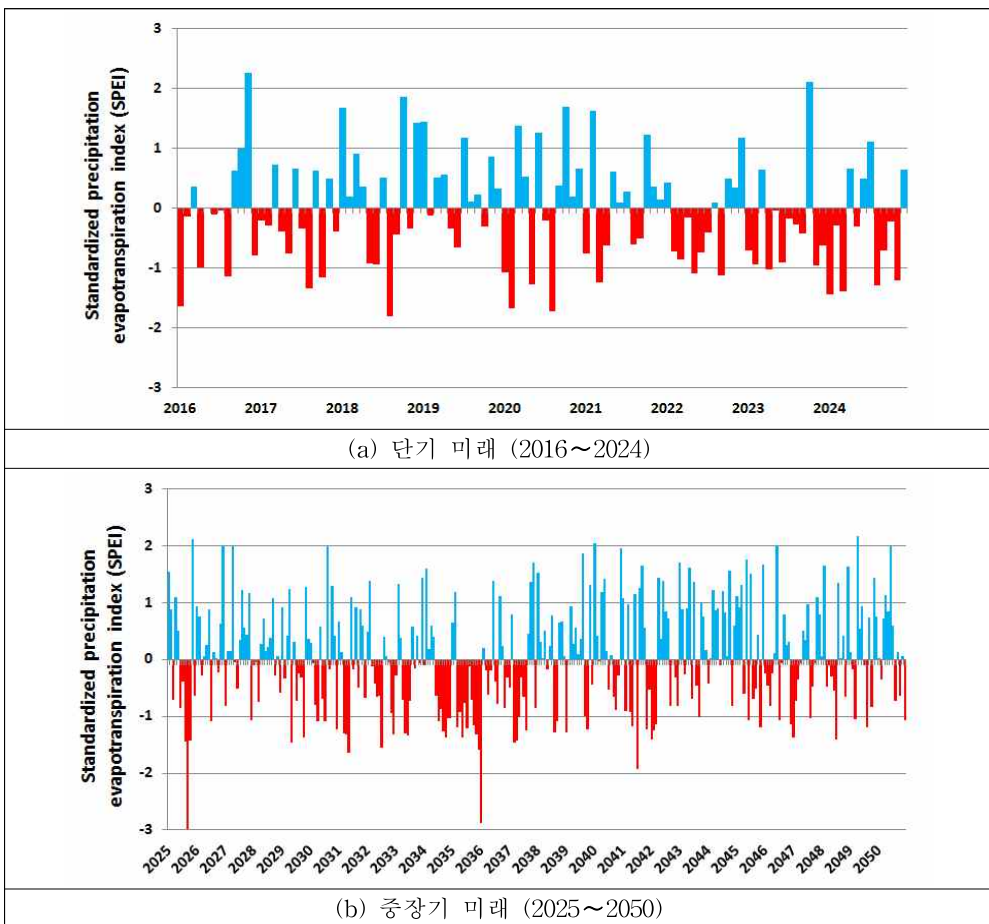
<그림 3-34> 강화-강선지구 실측 및 모의 기상자료를 적용한 SPEI 산정 결과 비교



<그림 3-35> 천안-유구지구 실측 및 모의 기상자료를 적용한 SPEI 산정 결과 비교

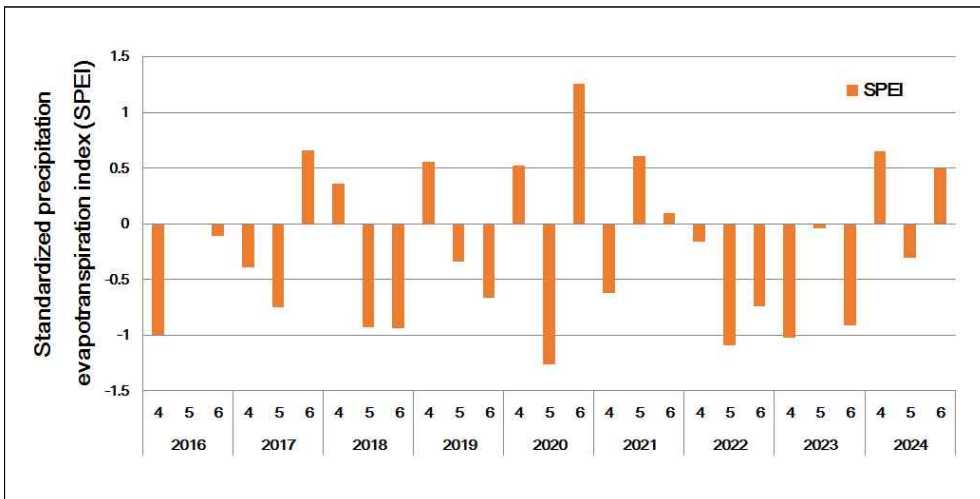
(그림 3-36)은 RCP 4.5 미래 기후변화 시나리오를 적용하여 2016년부터 2050년까지 강화-강선지구의 지속기간 1개월의 시계열 SPEI 산정 결과이다.

SPEI의 경우 SPI와 다르게 단기 미래의 경우 극심한 가뭄 발생보다는 심각한 가뭄($SPI < -1.0$)의 발생 빈도가 크게 나타났고, 중장기 미래로 갈수록 가뭄발생 빈도 뿐 아니라 극심한 가뭄($SPI < -2.0$)의 발생 가능성이 커짐을 확인할 수 있다.

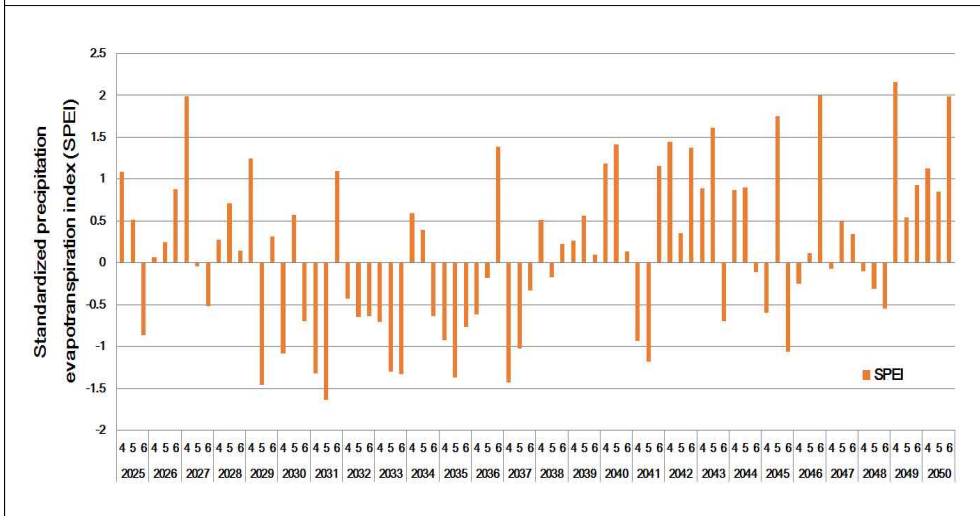


<그림 3-36> 강화-강선 지구의 단기 및 중장기 미래 시기의 SPEI 산정 결과

(그림 3-37)은 중요한 작부 시기인 4월부터 6월의 SPI 지수만을 선정하여 그래프로 나타내었는데 특히, 2030년부터 2040년 사이에 4월에서 6월 사이에 극심한 가뭄이 발생할 확률이 높은 것으로 나타났으며, 이는 가뭄 발생에 의해서 작물의 증발산량 역시 감소하고, 결과적으로 작물 생산량의 극심한 저하를 발생시킬 수 있음을 시사한다.



(a) 단기 미래 (2016~2024)

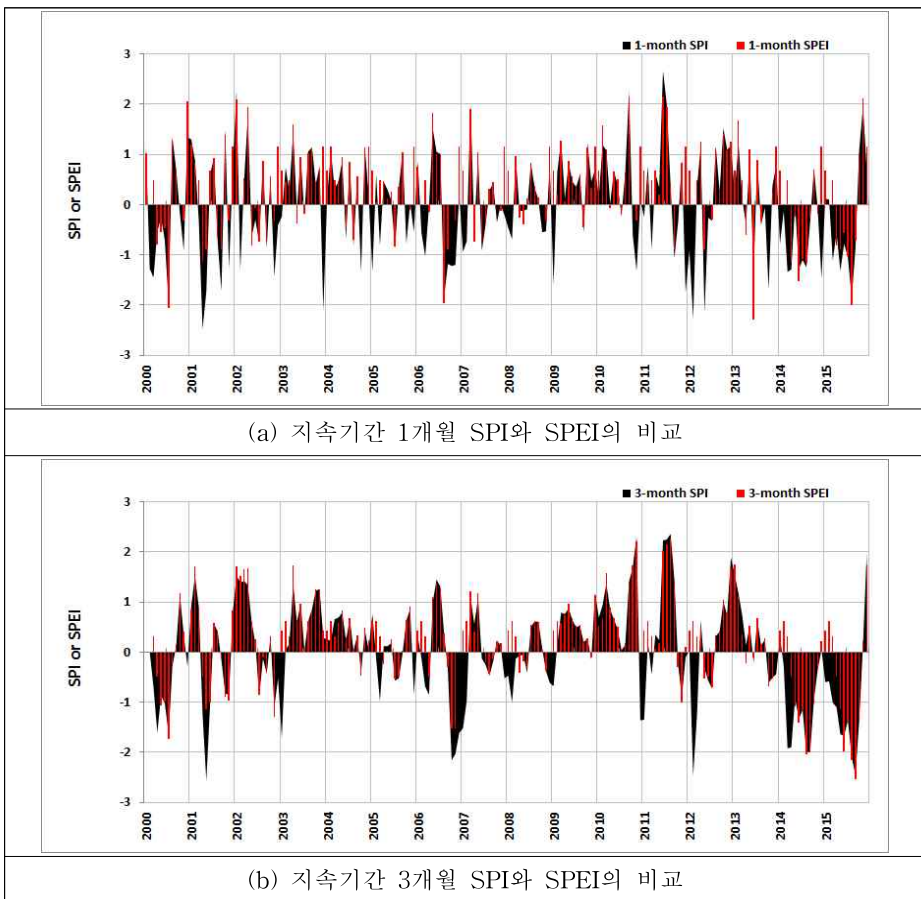


(b) 중장기 미래 (2025~2050)

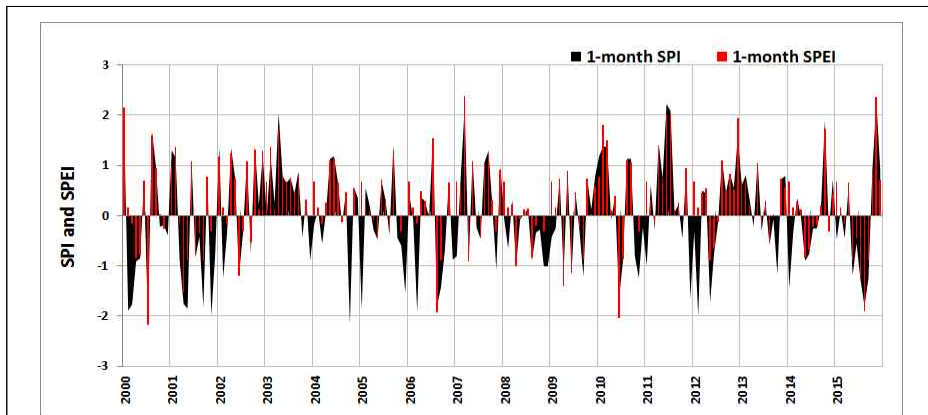
<그림 3-37> 강화-강선 지구의 단기 및 중장기 미래 작부시기(4~6월)의 SPEI 산정 결과

3) SPI와 SPEI 비교

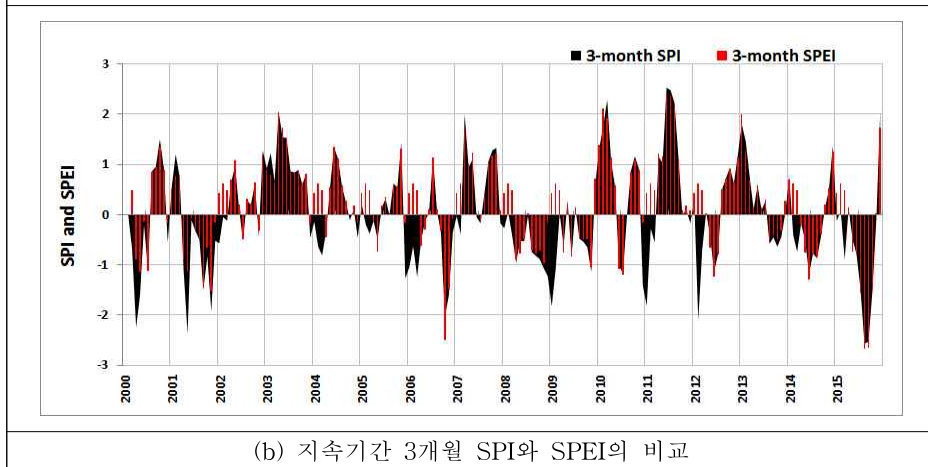
본 연구에서는 미래 가뭄의 특성을 분석하기 위하여 대표적인 가뭄 지수인 SPI와 SPEI를 산정하였다. 두 가뭄지수는 증발산량의 적용 유무에 가장 큰 차이가 있으며 두 지수의 가뭄 모의 정도를 판단하기에는 어려움이 있다. 이에 따라 본 연구에서는 두 지수를 모두 사용하여 각각의 가뭄 특성을 비교하고자 하였으며 (그림 3-38)은 강화 강선지구, (그림 3-39)는 천안 유구지구의 동일시기의 SPI와 SPEI 산정 결과를 비교한 그래프이다.



<그림 3-38> 강화 강선 지구의 과거시기 SPI와 SPEI 산정 결과 비교



(a) 지속기간 1개월 SPI와 SPEI의 비교



(b) 지속기간 3개월 SPI와 SPEI의 비교

<그림 3-39> 천안 유구 지구의 과거시기 SPI와 SPEI 산정 결과 비교

강화-강선지구와 천안-유구지구의 과거 2000년부터 2015년 동안의 지속기간 1개월의 SPI와 SPEI 산정결과를 비교하여 보면 특정 월에 대한 SPEI의 가뭄 정도가 더 심각한 것으로 나타났으나 전체적인 가뭄 정도를 비교할 경우 SPI에 대한 가뭄이 더욱 빈번하게 발생하는 것으로 나타났다. 즉, SPI와 SPEI는 가뭄에 대한 다소 차별되는 결과를 나타내고 있으므로 두 지수를 모두 고려하여 미래의 가뭄을 평가할 필요가 있다. 지속기간 3개월 SPI와 SPEI의 경우 상당부분 일치하는 것으로 나타났다. 즉, 중장기 가뭄의 경우 SPI와 SPEI는 상당부분 동일한 가뭄 정도를 분석하는 것으로 확인된다.

3.4 용수구역별 단기 및 중장기 미래 가뭄 분석

3.4.1 SPI를 통한 과거, 단기 및 중장기 미래 가뭄특성 분석

본 연구에서는 RCP 기후변화 시나리오 기반 미래 기상자료를 적용하여 지속기간 1개월의 SPI를 산정하고, 이를 Runs 이론에 적용하여 용수구역별 가뭄 지속기간과 가뭄 심도를 분석하였다. 이에 따라 과거 2011부터 2050년까지의 기후변화 시나리오별 모의 기상자료를 통한 SPI 산정결과를 이용하여 과거(2011~2015년), 단기 미래(2016~2024년)와 중장기 미래(2025~2050년)의 가뭄 지속기간과 가뭄 심도를 분석하였다.

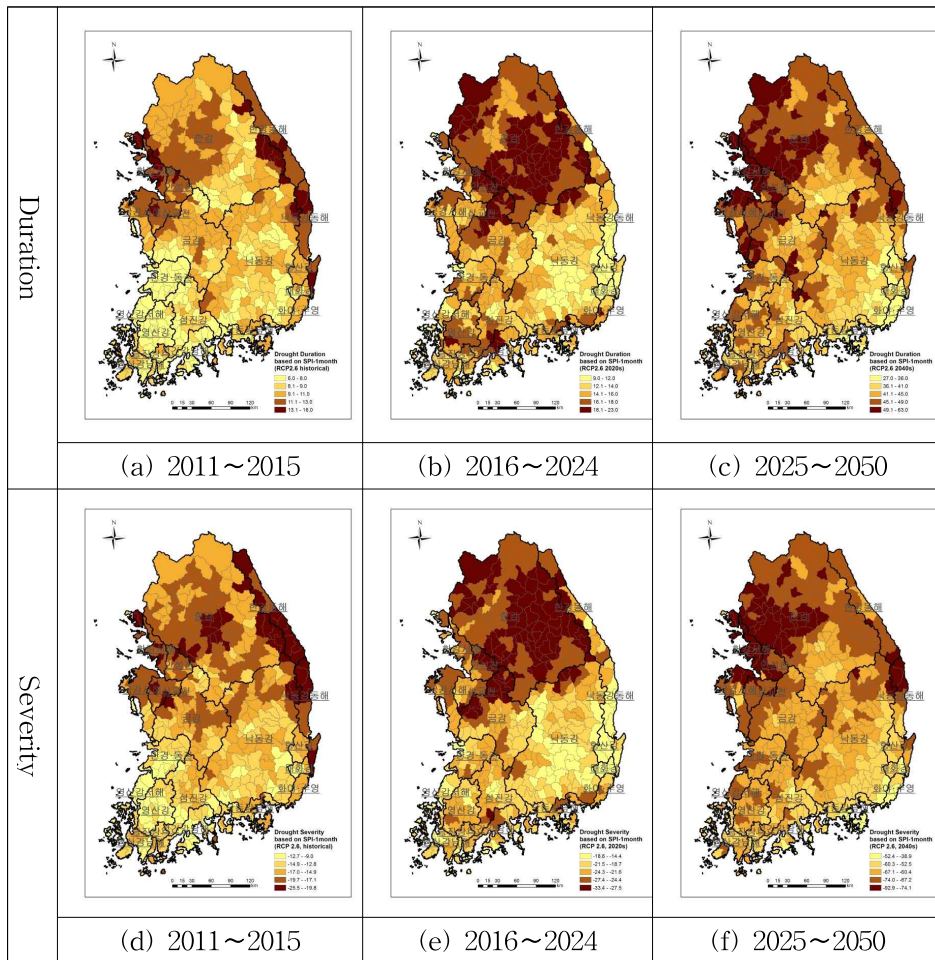
1) RCP 2.6 시나리오

RCP 2.6 시나리오 기반의 지속기간 1개월의 SPI를 통한 용수구역별 가뭄 특성을 살펴보면 과거시기에는 한강과 금강 서해 유역에 위치한 용수구역의 가뭄 지속기간이 타 용수구역보다 긴 것으로 나타났다. 그러나 단기 미래에서는 한강 유역 내 용수구역들의 가뭄 지속기간이 타 유역에 상당히 길어지는 것으로 나타났으며 중장기 미래로 갈수록 한강 서해유역의 가뭄 지속기간이 49일 이상으로 타 용수구역보다 긴 가뭄 지속기간을 보여주고 있다.

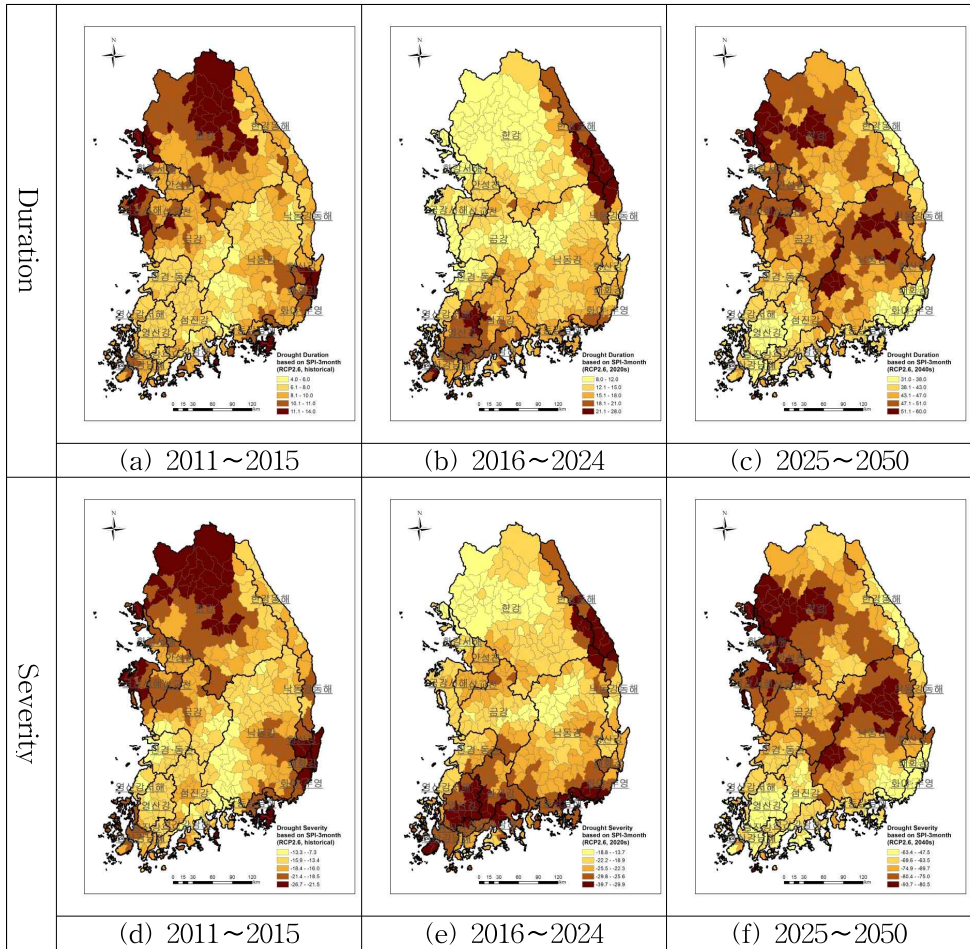
지속기간 1개월 SPI를 통한 가뭄 심도의 경우 과거시기에는 동해안 지역의 용수구역들의 가뭄심도가 가장 심한 것으로 나타났으나 단기미래와 중장기 미래로 갈수록 한강유역과 한강 서해 유역 내에 위치한 용수구역들의 가뭄심도가 심각해지는 것으로 나타났다.

지속기간 3개월 SPI를 통한 가뭄특성을 살펴보면 지속기간 1개월과는 차별되는 결과가 나타남을 알 수 있다. 과거기간 동안에는 한강 유역 내에 가뭄 지속기간이 가장 긴 것으로 나타났으나 단기 미래에서는 한강 동해 유역과 영산강 유역 내에 위치한 용수구역들의 가뭄지속기간이 증가하는 것으로 나타났다. 중장기 미래의 경우 한강과 낙동강 유역 내 용수구역들의 가뭄지속기간이 가장 길어지는 것으로 나타났다.

지속기간 3개월 SPI를 통한 가뭄심도의 경우 가뭄지속기간과 유사한 분포를 보이고 있다. 과거시기에는 한강 유역 내의 용수구역들의 가뭄심도가 크게 나타났으나 단기와 중장기 미래로 갈수록 영산강과 낙동강, 한강 서해 유역 내의 용수구역들의 가뭄심도가 커지는 것으로 나타났다.



<그림 3-40> RCP 2.6 시나리오 기반의 지속기간 1개월 SPI를 활용한 가뭄특성 분석 결과



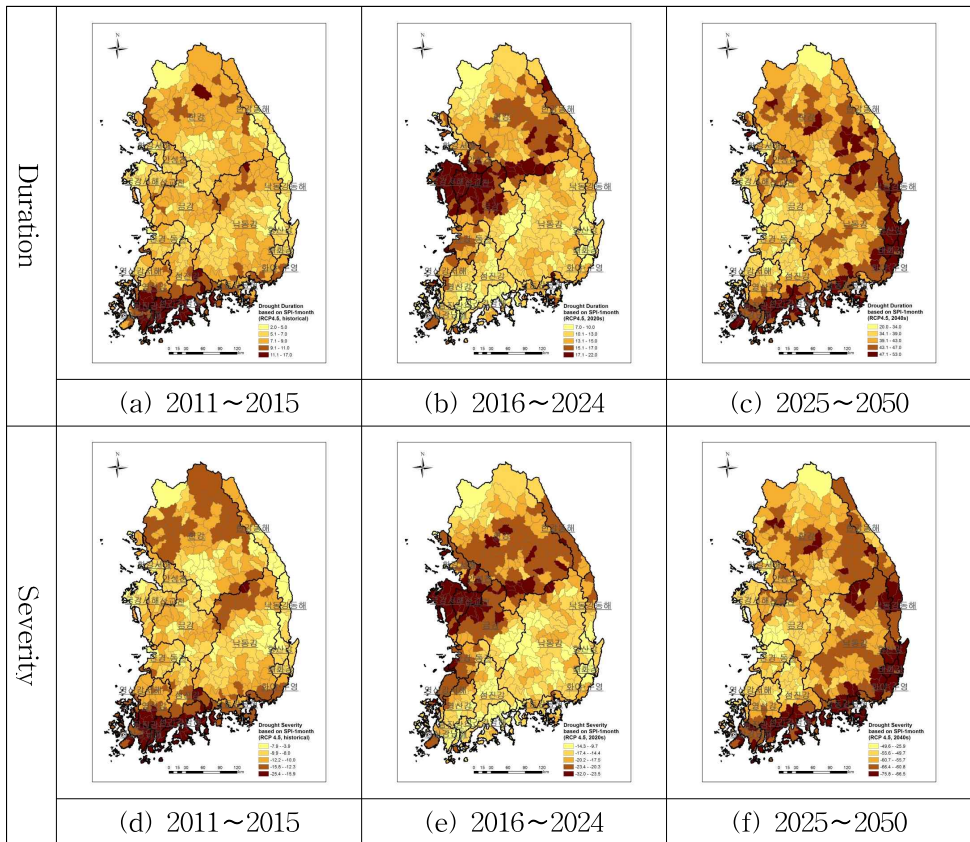
<그림 3-41> RCP 2.6 시나리오 기반의 지속기간 3개월 SPI를 활용한 가뭄특성 분석 결과

2) RCP 4.5 시나리오

RCP 4.5 시나리오 기반의 지속기간 1개월의 SPI를 통한 용수구역별 가뭄 특성을 살펴보면 과거시기에는 섬진강과 영산강 남해 유역에 위치한 용수구역의 가뭄 지속기간이 타 용수구역보다 긴 것으로 나타났다. 그러나 단기 미래에서는 금강 서해 유역 내 용수구역들의 가뭄 지속기간이 타 유역에 상당히 길어지는 것으로 나타났으며 중장기 미래로 갈수록 형산강과 태화강 그리고 섬진강 유역에서 타 용수구역보다 긴 가뭄 지속기간을 보여주고 있다.

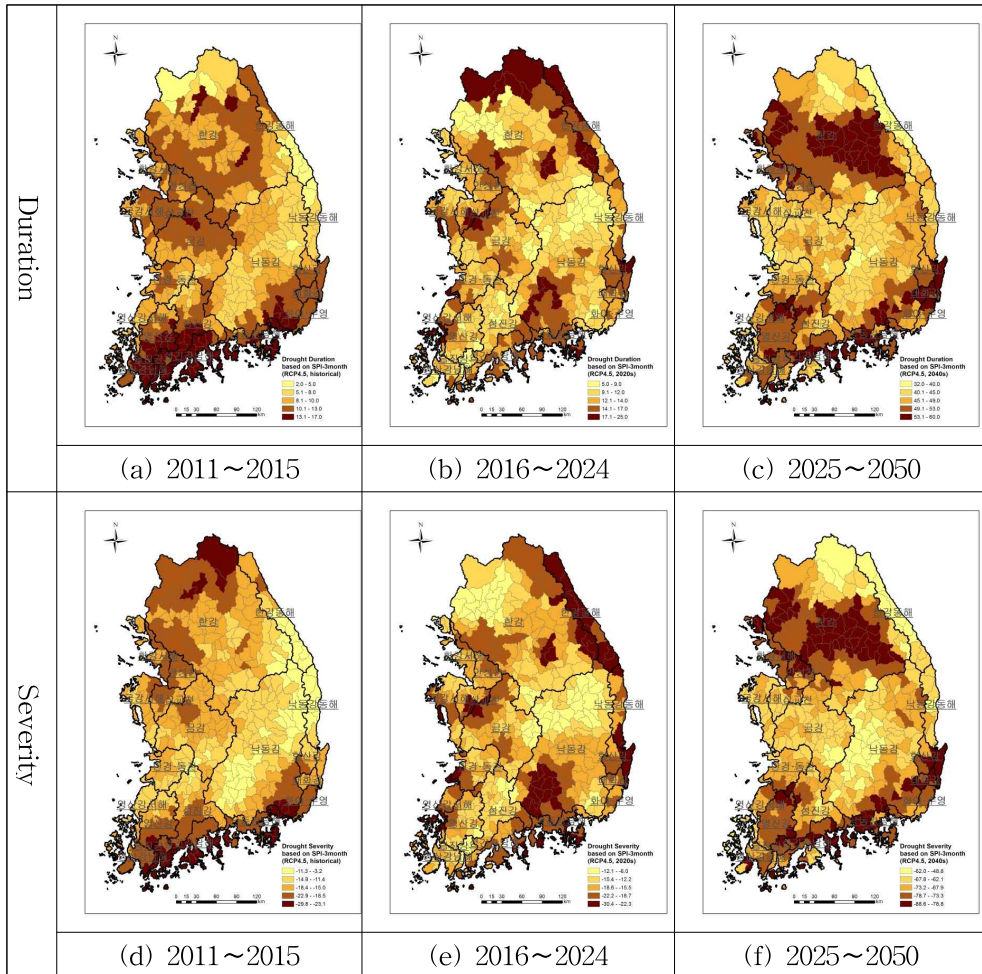
지속기간 1개월 SPI를 통한 가뭄 심도의 경우 가뭄지속기간과 유사한 분포를 보이고 있다. 따라서 과거시기에는 섬진강 유역, 단기와 중장기 미래에는 금강과, 형산강, 태화강, 섬진강 유역 내의 용수구역들의 가뭄 심도가 가장 심해지는 것으로 나타났다.

지속기간 3개월 SPI를 통한 가뭄특성을 살펴보면 과거기간 동안에는 섬진강 유역내에 가뭄 지속기간이 가장 긴 것으로 나타났으나 단기 미래에서는 낙동강 유역 내에 위치한 용수구역들의 가뭄지속기간이 증가하는 것으로 나타났고, 중장기 미래의 경우 한강 유역과 남해안에 위치한 용수구역들의 가뭄지속기간이 가장 길어지는 것으로 나타났다.



<그림 3-42> RCP 4.5 시나리오 기반의 지속기간 1개월 SPI를 활용한 가뭄특성 분석 결과

지속기간 3개월 SPI를 통한 가뭄심도의 경우 가뭄지속기간과 유사한 분포를 보이고 있다. 특히 단기 미래의 경우 낙동강 유역 내의 용수구역들의 가뭄심도가 심해졌고, 중장기 미래에는 한강 유역과 남해안 접경 지역의 용수구역들의 가뭄심도가 심해지는 것으로 나타났다.

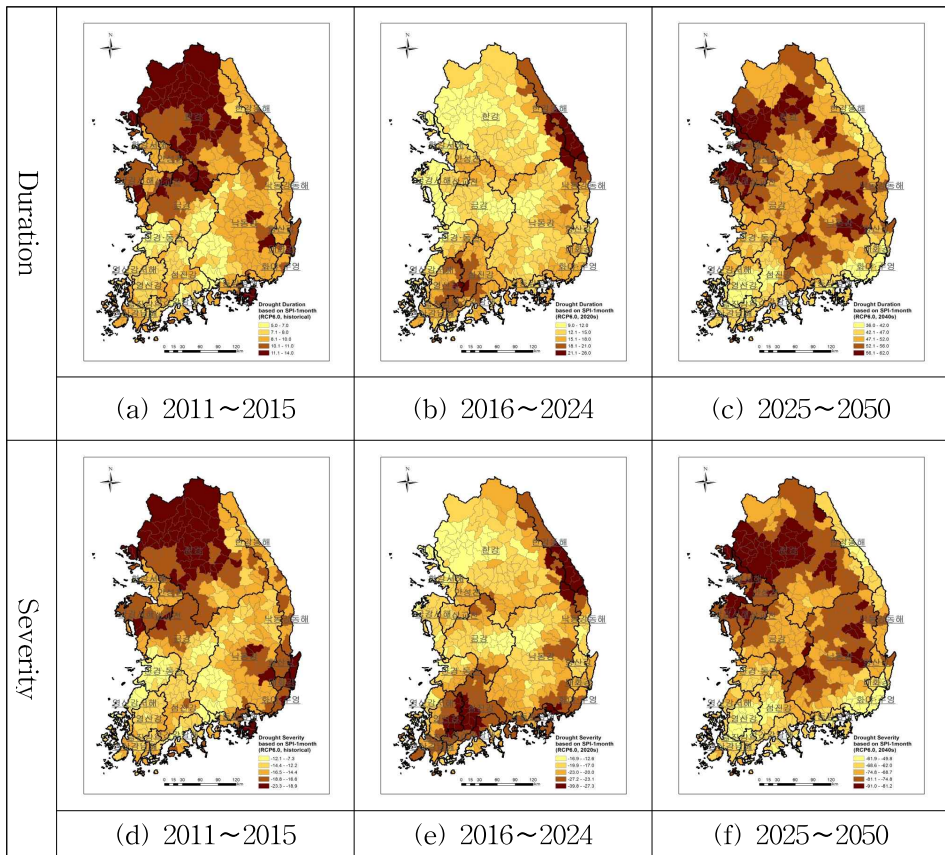


<그림 3-43> RCP 4.5 시나리오 기반의 지속기간 3개월 SPI를 활용한 가뭄특성 분석 결과

3) RCP 6.0 시나리오

RCP 6.0 시나리오 기반의 지속기간 1개월의 SPI를 통한 용수구역별 가뭄 특성을 살펴보면 과거시기에는 한강 유역에 위치한 용수구역의 가뭄 지속기간이 타 용수구역보다 긴 것으로 나타났다. 그러나 단기 미래에서는 일부 동해안 집경지역 내 용수구역을 제외하고 대부분의 용수구역들의 유사한 가뭄 지속기간을 나타내었다. 그러나 중장기 미래에는 한강과 낙동강 유역 내에 위치한 용수구역들의 가뭄 지속기간이 길어지는 것을 확인할 수 있다.

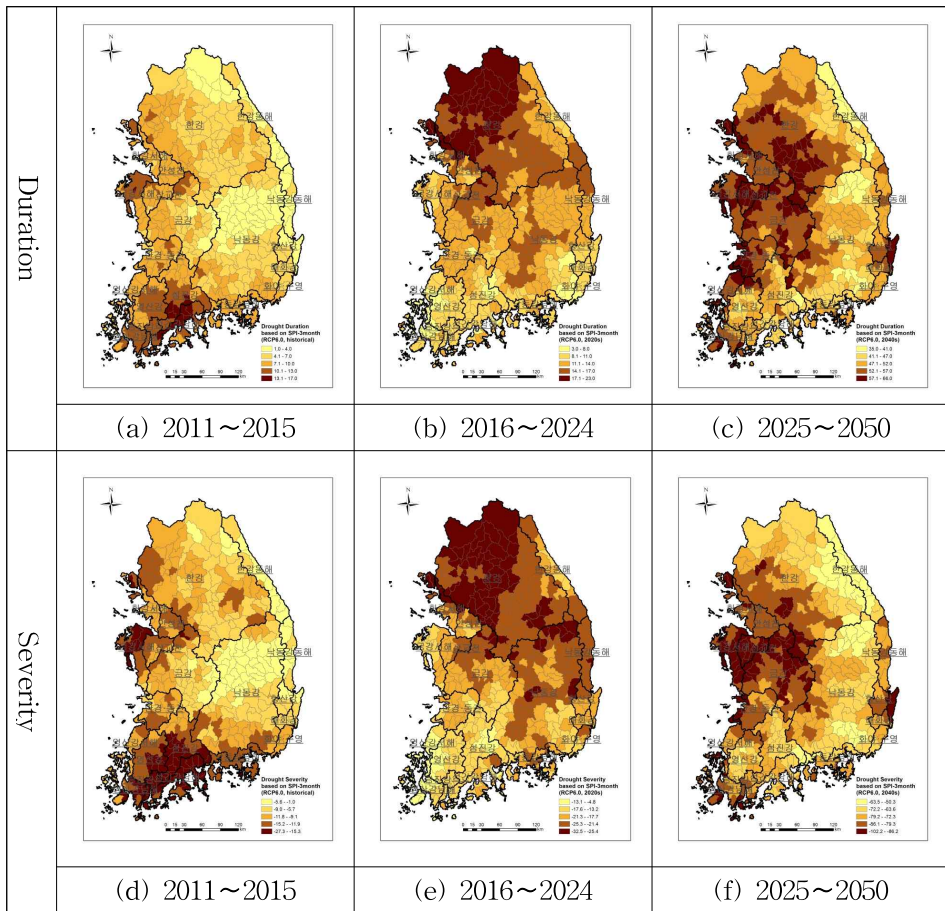
지속기간 1개월 SPI를 통한 가뭄 심도의 경우 단기 미래에 심진강과 영산강 유역 내의 용수구역들의 가뭄심도가 심해지는 것으로 나타났고, 중장기 미래의 경우 한강 유역 내의 가뭄 심도가 타 구역들보다 심해지는 것으로 나타났다.



<그림 3-44> RCP 6.0 시나리오 기반의 지속기간 1개월 SPI를 활용한 가뭄특성 분석 결과

지속기간 3개월 SPI를 통한 가뭄특성을 살펴보면 과거기간 동안에는 섬진강 유역 내에 가뭄 지속기간이 가장 긴 것으로 나타났으나 단기 미래에서는 한강 유역 내에 위치한 용수구역들의 가뭄지속기간이 증가하는 것으로 나타났고, 중장기 미래의 경우 금강과 한강 서해 유역에 위치한 용수구역들의 가뭄지속기간이 가장 길어지는 것으로 나타났다.

지속기간 3개월 SPI를 통한 가뭄심도의 경우 가뭄지속기간과 유사한 분포를 보이고 있으며 과거에서 단기 미래, 중장기 미래로 갈수록 섬진강에서 한강, 금강으로 가뭄 심도가 심해지는 것으로 나타났다.

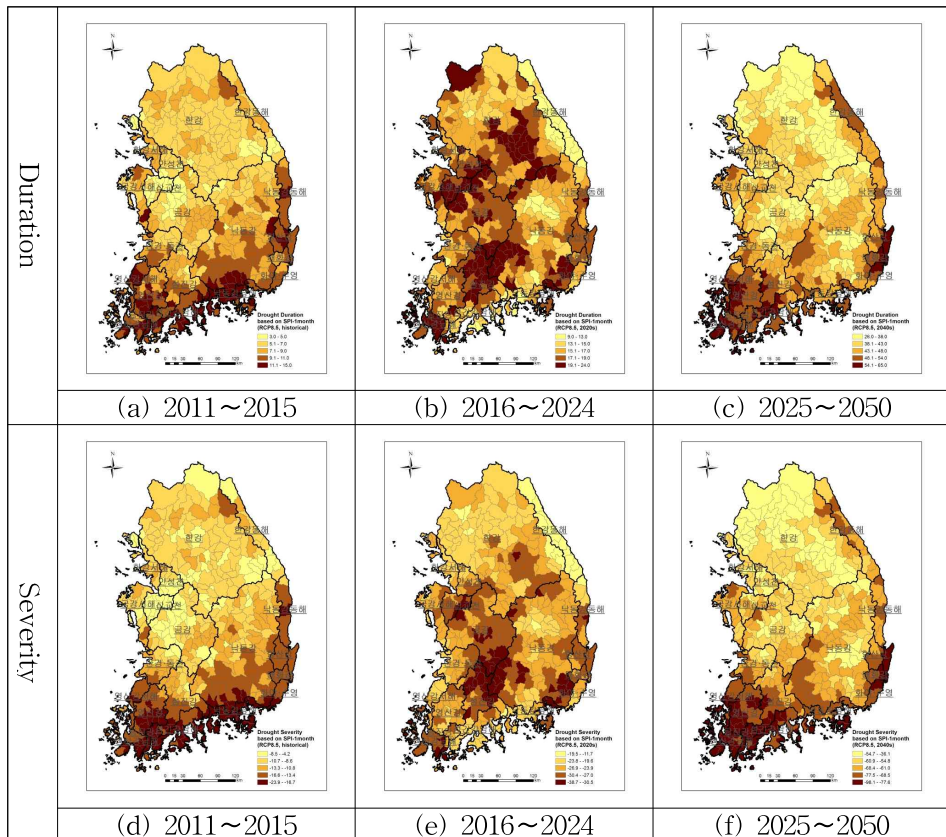


<그림 3-45> RCP 6.0 시나리오 기반의 지속기간 3개월 SPI를 활용한 가뭄특성 분석 결과

4) RCP 8.5 시나리오

RCP 8.5 시나리오 기반의 지속기간 1개월의 SPI를 통한 용수구역별 가뭄 특성을 살펴보면 과거시기에는 남해안에 위치한 용수구역들의 가뭄 지속기간이 타 용수구역보다 긴 것으로 나타났다. 그러나 단기 미래에서는 섬진강과 한강 남부 유역의 용수구역들의 가뭄 지속기간이 길게 나타났다. 중장기 미래에는 과거 시기와 유사하게 남해안 지역과 섬진강, 영산강 유역 내의 용수구역들의 가뭄 지속기간이 길어지는 것을 확인할 수 있다.

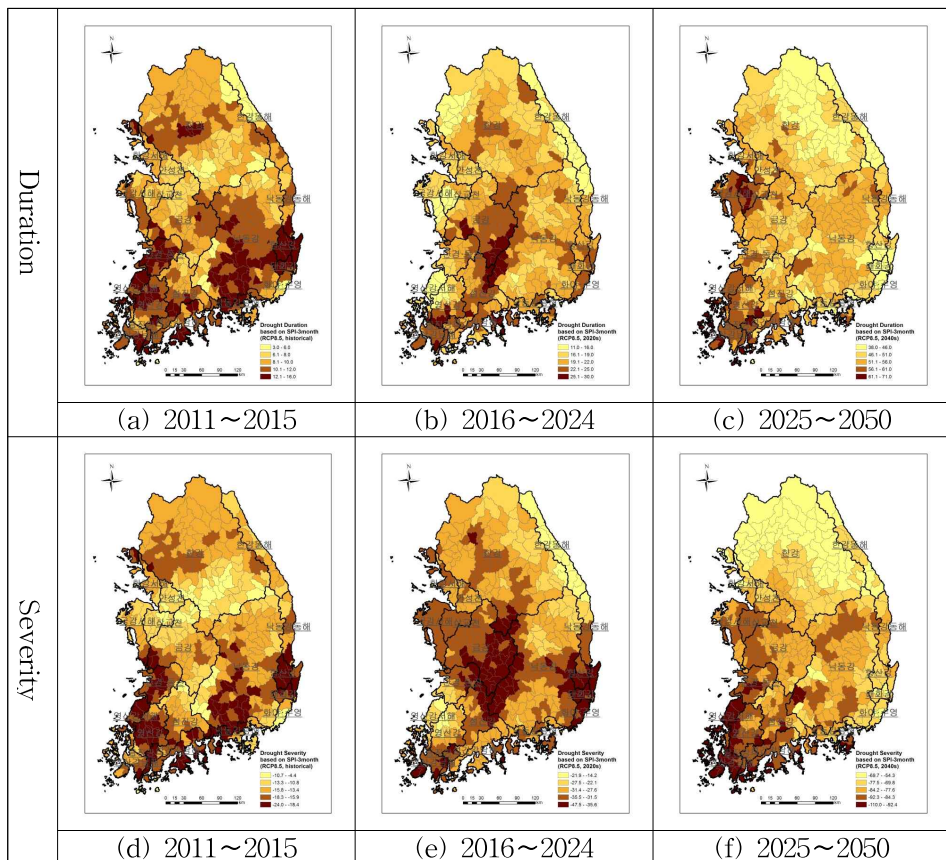
지속기간 1개월 SPI를 통한 가뭄 심도의 경우 단기 미래에 금강과 섬진강 유역 내의 용수구역들의 가뭄심도가 심해지는 것으로 나타났고, 중장기 미래의 경우 영산강 유역 내의 가뭄 심도가 타 구역들보다 심해지는 것으로 나타났다.



<그림 3-46> RCP 8.5 시나리오 기반의 지속기간 1개월 SPI를 활용한 가뭄특성 분석 결과

지속기간 3개월 SPI를 통한 가뭄특성을 살펴보면 과거기간 동안에는 섬진강과 낙동강 유역 내에 가뭄 지속기간이 가장 긴 것으로 나타났으나 단기 미래에서는 금강 유역 내에 위치한 용수구역들의 가뭄지속기간이 증가하는 것으로 나타났고, 중장기 미래의 경우 영산강과 한강 서해 유역에 위치한 용수구역들의 가뭄지속기간이 가장 길어지는 것으로 나타났다.

지속기간 3개월 SPI를 통한 가뭄심도의 경우 가뭄지속기간과 유사한 분포를 보이고 있으며 과거에서 단기 미래로 갈수록 영산강과 낙동강에서 금강 유역 내의 용수구역들의 가뭄 심도가 심해졌고, 중장기 미래에는 다시 영산강 유역 내의 용수구역들의 가뭄심도가 심해지는 것으로 나타났다.



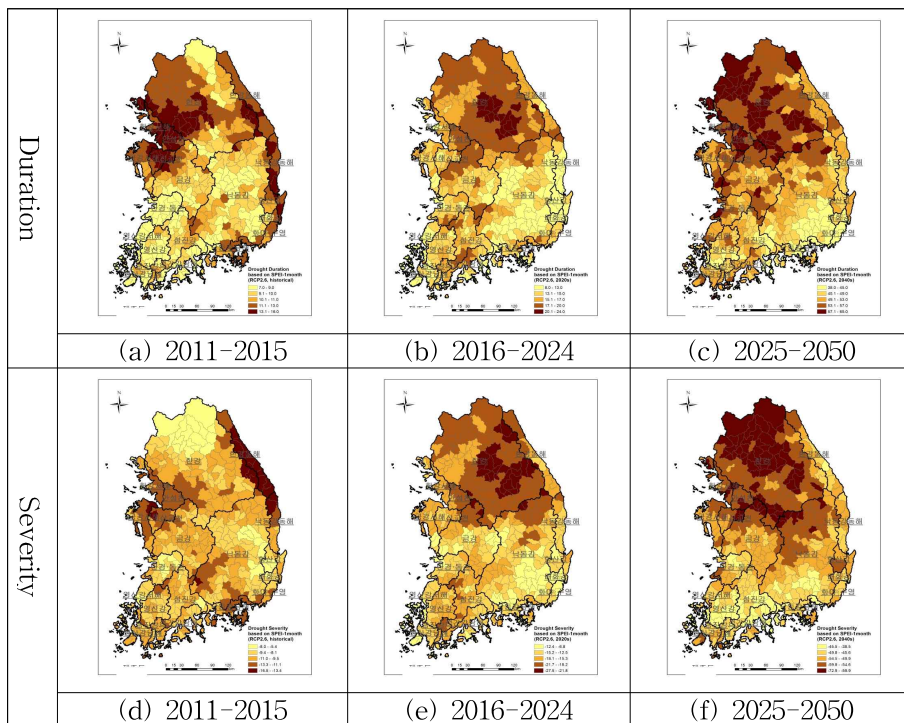
<그림 3-47> RCP 8.5 시나리오 기반의 지속기간 3개월 SPI를 활용한 가뭄특성 분석 결과

3.4.2 SPEI를 통한 과거, 단기 및 중장기 미래 가뭄특성 분석

1) RCP 2.6 시나리오

RCP 2.6 시나리오 기반의 지속기간 1개월의 SPEI를 통한 용수구역별 가뭄 특성을 살펴보면 과거시기에는 한강 서해 유역에 위치한 용수구역의 가뭄 지속기간이 평균 13일로 타 용수구역보다 긴 것으로 나타났다. 그러나 단기 미래에서는 한강 유역 내 용수구역들의 가뭄 지속기간이 타 유역에 길어지는 것으로 나타났으며 중장기 미래로 갈수록 한강 유역의 가뭄 지속기간은 상당히 길어지며 이는 한강유역의 가뭄피해가 타 유역보다 심각할 수 있음을 나타낸다(그림 3-48).

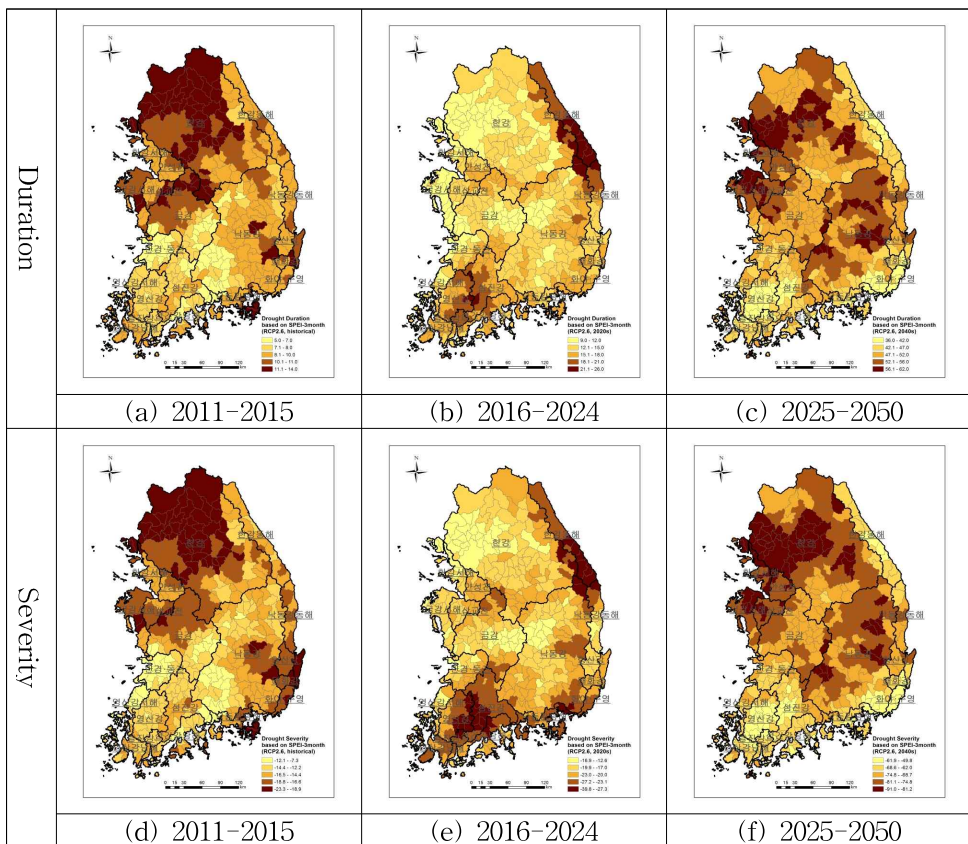
지속기간 1개월 SPEI를 통한 가뭄 심도의 경우 가뭄 지속기간과 유사한 분포와 변화를 보이고 있다. 과거시기에는 한강 서해와 동해안 지역의 용수구역들의 가뭄심도가 가장 심한 것으로 나타났으나 단기미래와 중장기 미래로 갈수록 한강 유역 내에 위치한 용수구역들의 가뭄심도가 심각해지는 것으로 나타났다.



<그림 3-48> RCP 2.6 시나리오 기반의 지속기간 1개월 SPEI를 활용한 가뭄특성 분석 결과

지속기간 3개월 SPEI를 통한 가뭄특성을 살펴보면 과거기간 동안에는 한강 유역 내에 가뭄 지속기간이 가장 긴 것으로 나타났으나 단기 미래에서는 한강 동해 유역과 영산강 유역 내에 위치한 용수구역들의 가뭄지속기간이 증가하는 것으로 나타났다. 중장기 미래의 경우 한강과 낙동강 유역 내 용수구역들의 가뭄지속기간이 가장 길어지는 것으로 나타났다(그림 3-49).

지속기간 3개월 SPEI를 통한 가뭄심도의 경우 가뭄지속기간과 유사한 분포를 보이고 있는데 과거시기에는 한강유역 내의 용수구역들의 가뭄심도가 크게 나타났으나 단기미래로 갈수록 영산강 유역, 중장기 미래의 경우 한강과 낙동강 유역 내의 용수구역들의 가뭄심도가 커지는 것으로 나타났다.

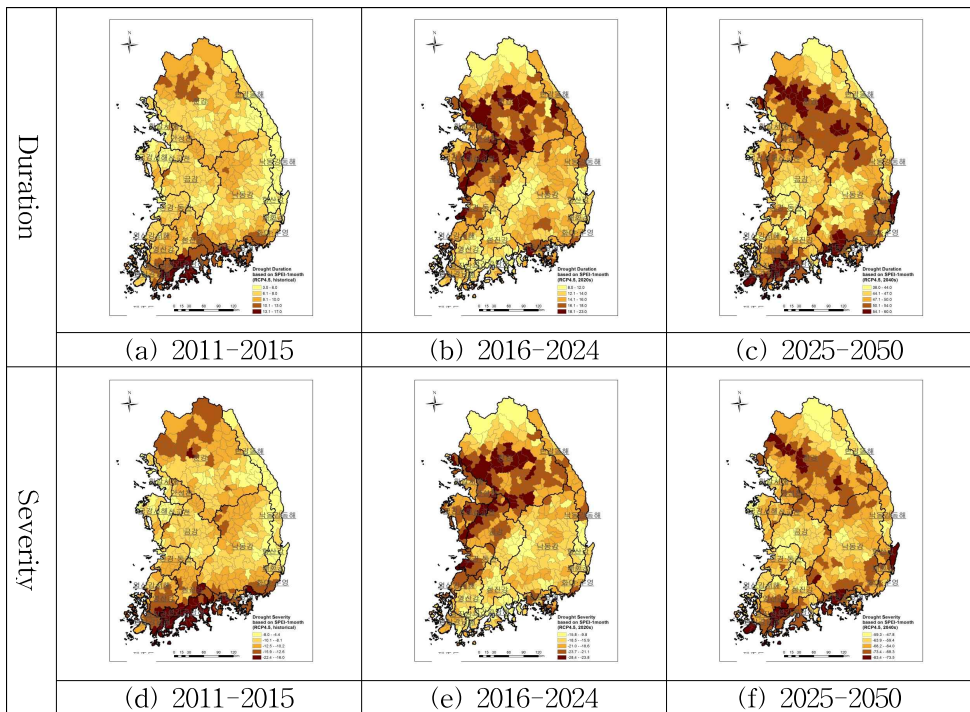


<그림 3-49> 시나리오 기반의 지속기간 3개월 SPEI를 활용한 가뭄특성 분석 결과

2) RCP 4.5 시나리오

RCP 4.5 시나리오 기반의 지속기간 1개월의 SPEI를 통한 용수구역별 가뭄 특성을 살펴보면 과거시기에는 남해안에 위치한 용수구역의 가뭄 지속기간이 타 용수구역보다 긴 것으로 나타났다. 그러나 단기 미래에서는 금강 서해 유역과 한강 유역 내 용수구역들의 가뭄 지속기간이 타 유역에 상당히 길어지는 것으로 나타났으며 중장기 미래로 갈수록 한강 유역과 남해안 지역에 위치한 용수구역들의 가뭄 지속기간이 길어지는 것으로 나타났다(그림 3-50).

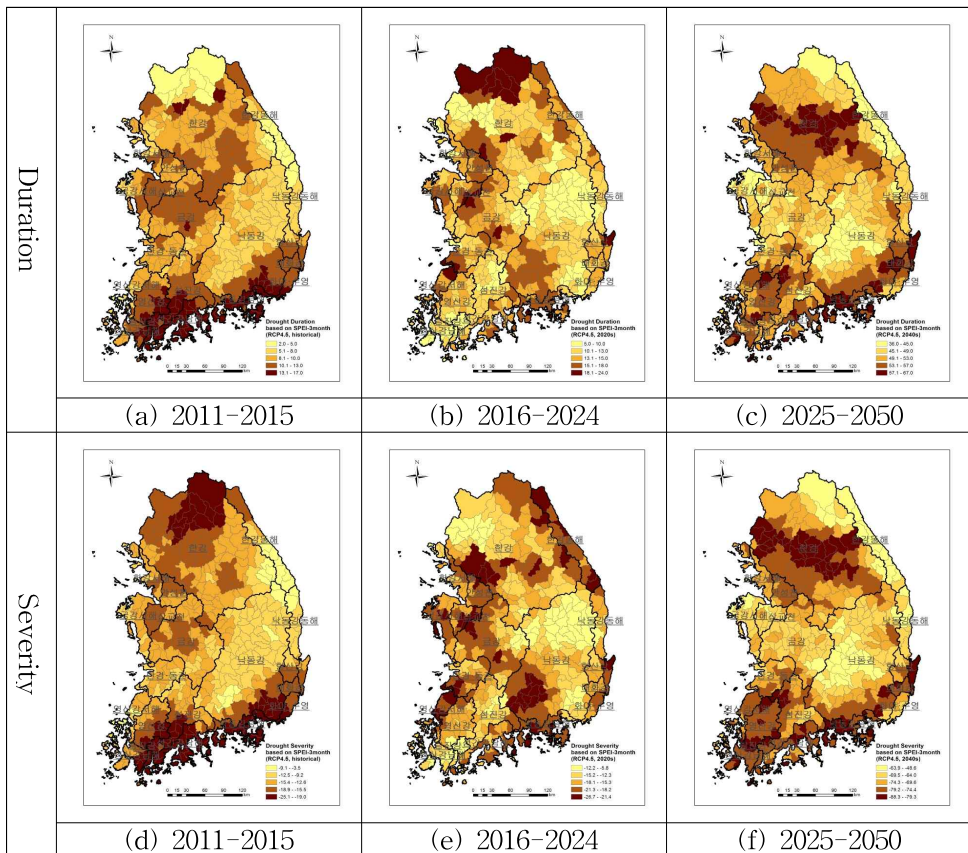
지속기간 1개월 SPEI를 통한 가뭄 심도의 경우 가뭄지속기간과 유사한 분포를 보이고 있다. 따라서 과거시기에는 섬진강 유역, 단기 미래에는 금강과 한강 유역 내의 용수구역들의 가뭄심도가 가장 심해지고 중장기 미래에는 남해안 지역의 용수구역들의 가뭄심도가 커지는 것으로 나타났다.



<그림 3-50> RCP 4.5 시나리오 기반의 지속기간 1개월 SPEI를 활용한 가뭄특성 분석 결과

지속기간 3개월 SPEI를 통한 가뭄특성을 살펴보면 과거기간 동안에는 섬진강 유역과 낙동강 하류 지역의 내에 위치한 용수구역들의 가뭄지속기간이 가장 긴 것으로 나타났으나 단기 미래에서는 한강 서해 유역, 중장기 미래에는 한강과 영산강 유역 내에 위치한 용수구역들의 가뭄지속기간이 증가하는 것으로 나타났다.

지속기간 3개월 SPEI를 통한 가뭄심도의 경우 가뭄지속기간과 유사한 분포를 보이고 있다. 특히 단기 미래의 경우 금강 유역과 동해안 지역에 위치한 용수구역들의 가뭄심도가 심해졌고, 중장기 미래에는 한강 유역과 영산강 유역 내의 용수구역들의 가뭄심도가 심해지는 것으로 나타났다.

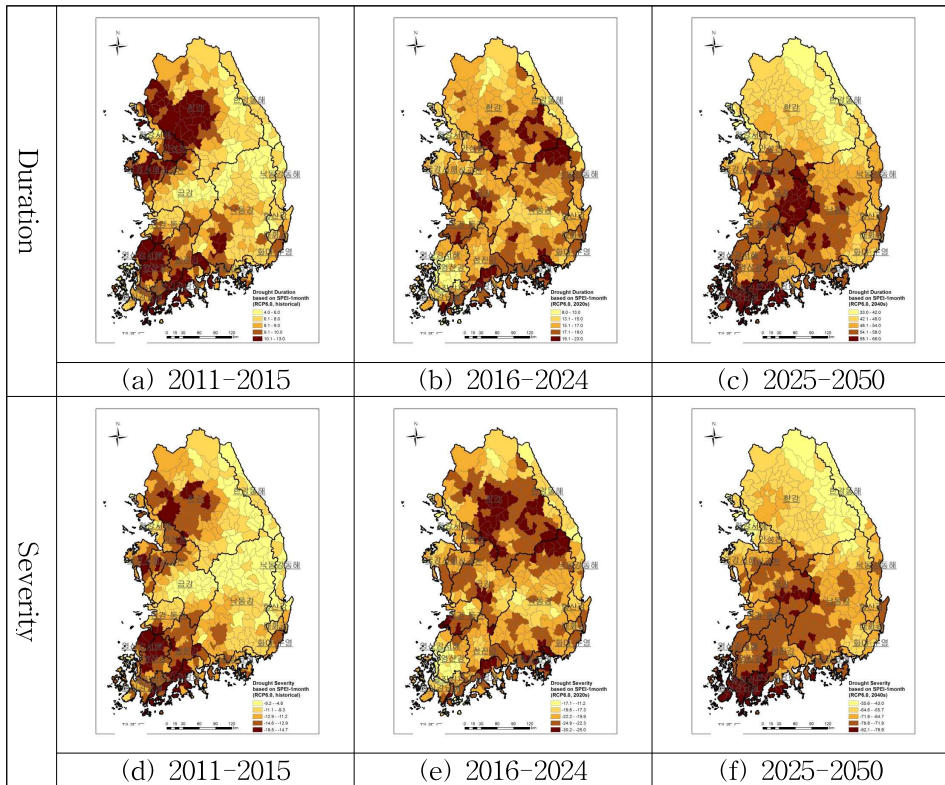


<그림 3-51> RCP 4.5 시나리오 기반의 지속기간 3개월 SPEI를 활용한 가뭄특성 분석 결과

3) RCP 6.0 시나리오

RCP 6.0 시나리오 기반의 지속기간 1개월의 SPEI를 통한 용수구역별 가뭄 특성을 살펴보면 과거시기에는 한강과 한강 서해 유역, 영산강 유역에 위치한 용수구역의 가뭄 지속기간이 타 용수구역보다 긴 것으로 나타났다. 그러나 단기 미래에서는 중부 지역에 일부 용수구역들의 가뭄 지속기간이 길게 나타났고, 중장기 미래에는 금강과 영산강, 섬진강 하류 유역 내에 위치한 용수구역들의 가뭄 지속기간이 길어지는 것을 확인할 수 있다.

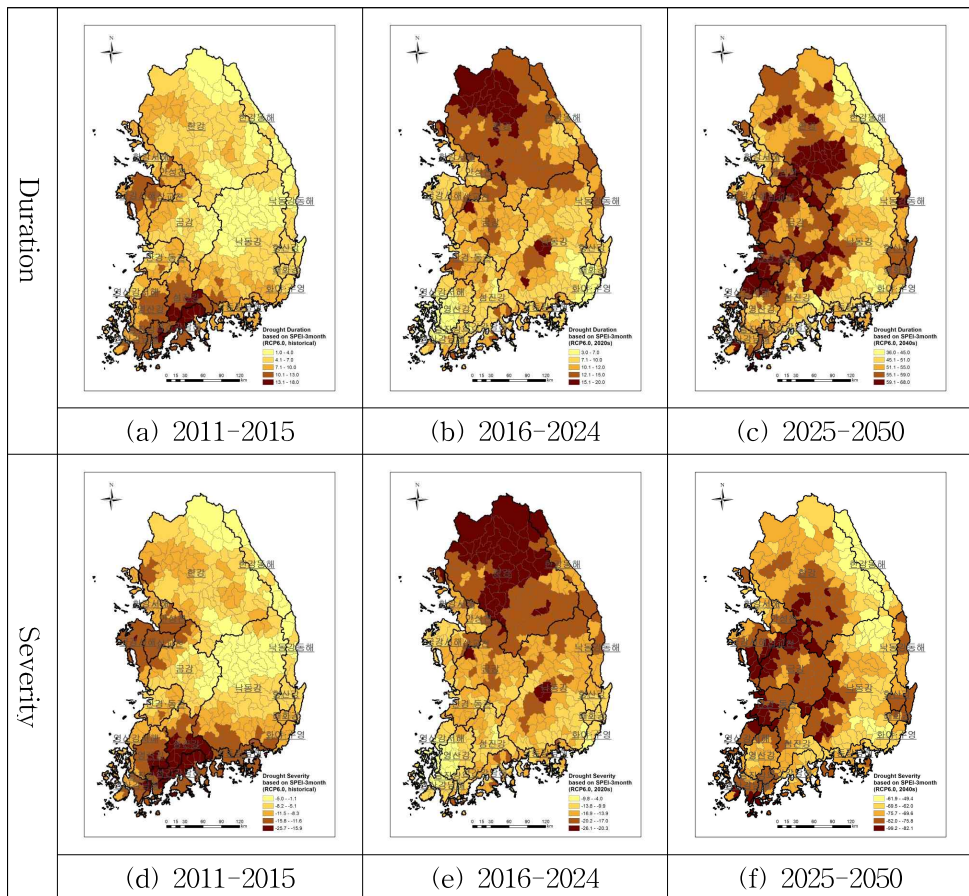
지속기간 1개월 SPEI를 통한 가뭄 심도의 경우 과거시기에는 영산강 유역 내 용수구역들의 가뭄심도가 심한 것으로 나타났으나 단기 미래에 한강 유역 내의 용수구역들의 가뭄심도가 심해지는 것으로 나타났고, 중장기 미래의 경우 남서부지역인 금강과 영산강 유역 내의 가뭄 심도가 타 구역들보다 심해지는 것으로 나타났다.



<그림 3-52> RCP 6.0 시나리오 기반의 지속기간 1개월 SPEI를 활용한 가뭄특성 분석 결과

지속기간 3개월 SPEI를 통한 가뭄특성을 살펴보면 과거기간 동안에는 섬진강 유역 내에 가뭄 지속기간이 가장 긴 것으로 나타났으나 단기 미래에서는 한강 유역 내에 위치한 용수구역들의 가뭄지속기간이 증가하는 것으로 나타났고, 중장기 미래의 경우 금강 유역에 위치한 용수구역들의 가뭄지속기간이 가장 길어지는 것으로 나타났다.

지속기간 3개월 SPEI를 통한 가뭄심도의 경우 가뭄지속기간과 유사한 분포를 보이고 있으며 과거에서 단기 미래, 중장기 미래로 갈수록 섬진강에서 한강, 금강으로 가뭄 심도가 심해지는 것으로 나타났다.

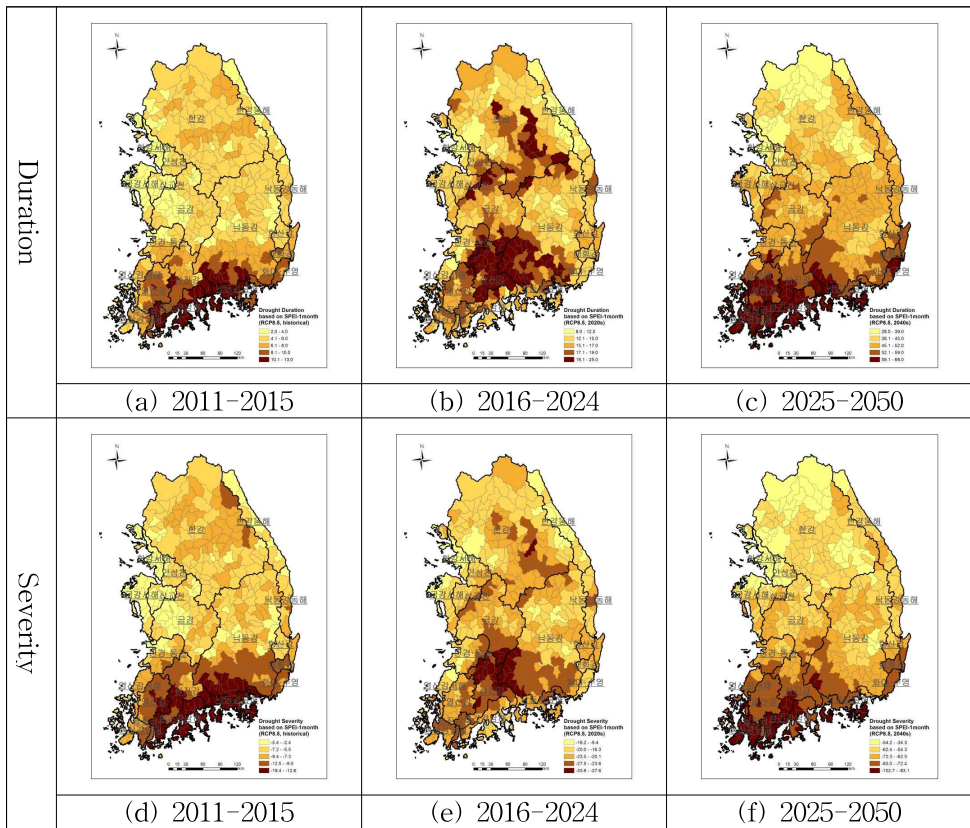


<그림 3-53> RCP 6.0 시나리오 기반의 지속기간 3개월 SPEI를 활용한 가뭄특성 분석 결과

4) RCP 8.5 시나리오

RCP 8.5 시나리오 기반의 지속기간 1개월의 SPEI를 통한 용수구역별 가뭄 특성을 살펴보면 과거시기에는 남해안에 위치한 용수구역들의 가뭄 지속기간이 타 용수구역보다 긴 것으로 나타났다. 그러나 단기 미래에서는 섬진강과 낙동강 유역 내 일부 용수구역들의 가뭄 지속기간이 길게 나타났다. 중장기 미래에는 영산강 유역 내의 용수구역들의 가뭄 지속기간이 길어지는 것을 확인할 수 있다.

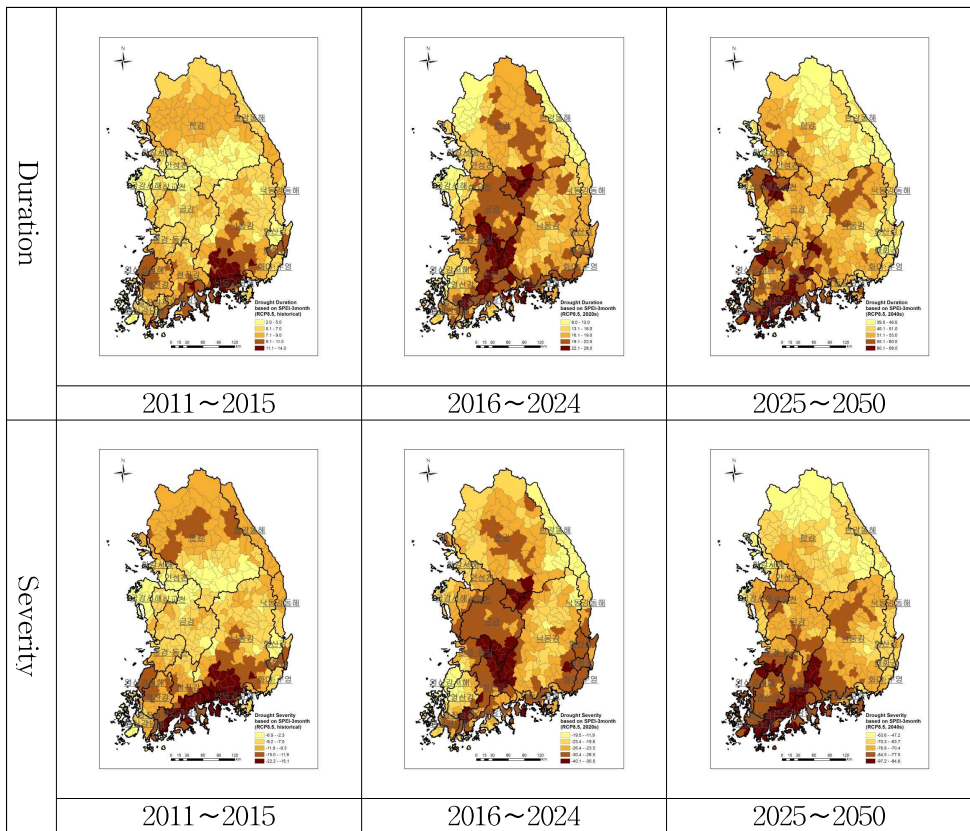
지속기간 1개월 SPEI를 통한 가뭄 심도의 경우 과거, 단기 및 중장기 미래 모두 남부지역에 위치한 용수구역들의 가뭄심도가 북부 지역보다 심해지는 것으로 나타났고, 특히 섬진강과 영산강 유역 내의 가뭄 심도가 타 구역들보다 심해지는 것으로 나타났다.



<그림 3-54> RCP 8.5 시나리오 기반의 지속기간 1개월 SPEI를 활용한 가뭄특성 분석 결과

지속기간 3개월 SPEI를 통한 가뭄특성을 살펴보면 과거기간 동안에는 낙동강 하류 유역 내에 가뭄 지속기간이 가장 긴 것으로 나타났으나 단기 미래에서는 금강 유역 내에 위치한 용수구역들의 가뭄지속기간이 증가하는 것으로 나타났고, 중장기 미래의 경우 영산강과 섬진강 하류 유역에 위치한 용수구역들의 가뭄지속기간이 가장 길어지는 것으로 나타났다.

지속기간 3개월 SPEI를 통한 가뭄심도의 경우 가뭄지속기간과 유사한 분포를 보이고 있으며 과거에는 영산강과 낙동강 하류에 위치한 용수구역들의 가뭄심도가 심한 것으로 나타났으나 단기 미래로 갈수록 금강 유역 내의 용수구역들의 가뭄 심도가 심해졌고, 중장기 미래에는 영산강과 섬진강 하류 유역 내의 용수구역들의 가뭄심도가 심해지는 것으로 나타났다.



<그림 3-55> RCP 8.5 시나리오 기반의 지속기간 3개월 SPEI를 활용한 가뭄특성 분석 결과

제 4 장

용수구역별 지하수
이용현황 분석

제4장 용수구역별 지하수 이용현황 분석

4.1 전국 지하수 개발 및 이용현황

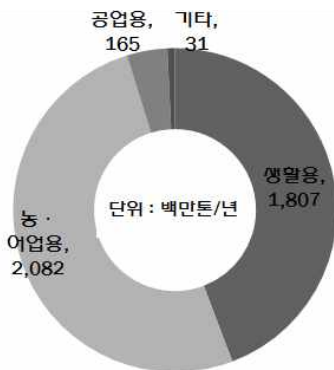
4.1.1 지하수 시설 및 이용 현황

2015년 지하수연보에 따르면 2014년 12월말 기준 전국적으로 1,563천 개소에서 40.9억 m³/년의 지하수를 사용하고 있다. 지하수 이용량은 농업용이 41억톤 m³/년 중 51%인 21억 m³/년을 사용하고 있으며 생활용이 44% 나머지 5%는 공업용과 기타용수로 사용하고 있다(국토교통부, 수자원공사, 2015)(표 4-1)(그림 4-1).

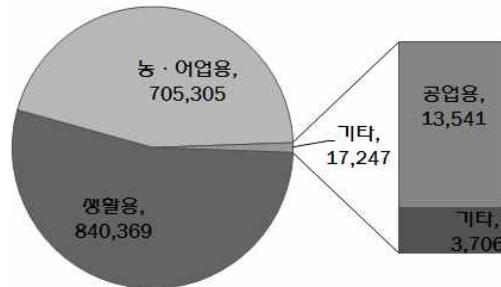
지하수 시설수는 생활용이 84만 개소로 가장 많이 설치되어 있고, 농업용이 156만개 지하수 시설 중 45.1%인 71만 개소에 설치되어 있다(그림 4-2).

(표 4-1) 전국 지하수 개발·이용 현황

구분	계	생활용	농·어업용	공업용	기타
지하수 이용량	4,085	1,807	2,082	165	31
(백만톤/년) 비율(%)	100.0	44.2	51.0	4.0	0.8
지하수 시설수	1,562,921	840,369	705,305	13,541	3,706
(개소) 비율(%)	100.0	53.8	45.1	0.9	0.2



<그림 4-1> 전국 지하수 이용량



<그림 4-2> 전국 지하수 시설현황

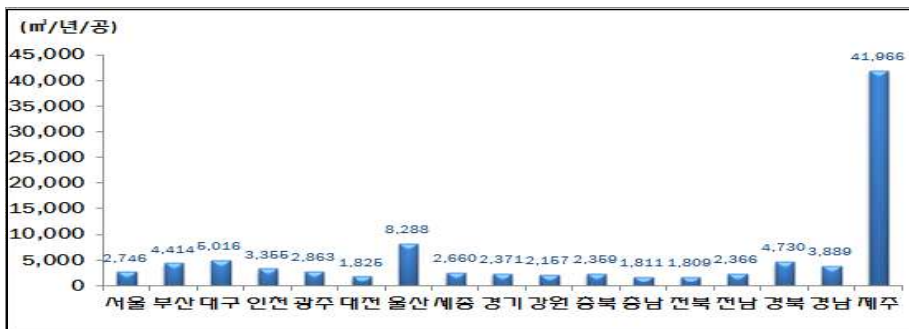
4.1.2 지하수 개발 및 이용 특성

시도별 공당 지하수이용량은 전국 평균 2,614 m³/년 이며, 제주도가 41,966 m³/일으로 가장 높고, 전북이 1,809 m³/년으로 가장 낮다(표 4-2)(그림 4-3).

(표 4-2) 시·도별 공당 지하수 이용량

시도	개소수	년이용량 (천m ³ /년)	일이용량 (천m ³ /일)	공당 년이용량 (m ³ /년/공)	공당 일이용량 (m ³ /일/공)
전국	1,562,921	4,084,779	11,191	2,614	7.2
서울	7,919	21,749	60	2,746	7.5
부산	7,597	33,533	92	4,414	12.1
대구	4,952	24,838	68	5,016	13.7
인천	12,400	41,604	114	3,355	9.2
광주	8,886	25,439	70	2,863	7.8
대전	20,991	38,309	105	1,825	5.0
울산	5,457	45,229	124	8,288	22.7
세종	17,991	47,856	131	2,660	7.3
경기	240,214	569,529	1,560	2,371	6.5
강원	104,079	224,475	615	2,157	5.9
충북	172,368	406,698	1,114	2,359	6.5
충남	271,414	491,507	1,347	1,811	5.0
전북	222,727	402,941	1,104	1,809	5.0
전남	251,089	594,111	1,628	2,366	6.5
경북	116,741	552,231	1,513	4,730	13
경남	93,285	362,829	994	3,889	10.7
제주	4,811	201,900	553	41,966	114.9

[자료] 지하수조사연보(국토교통부, 한국수자원공사, 2015)



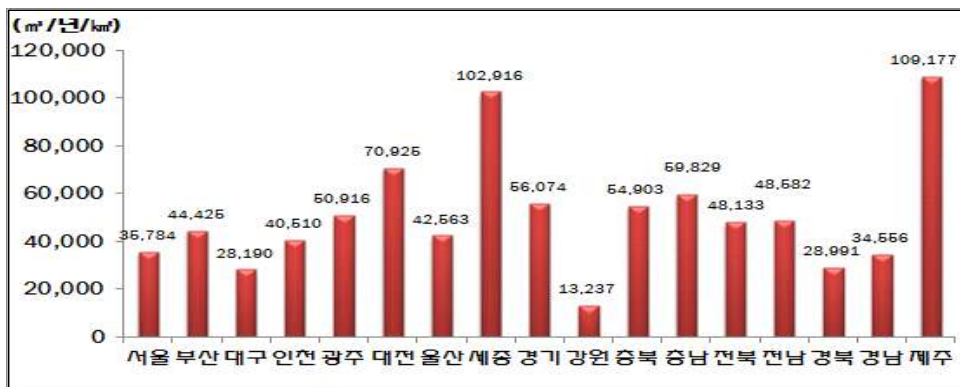
<그림 4-3> 공당 지하수 년 이용량

시도별 단위면적당 지하수이용량은 전국 평균 40,651 m³/년/km²이며, 제주도가 109,177 m³/년/km²로 가장 높고 강원도가 13.237 m³/년/km²으로 가장 낮다(표 4-3)(그림 4-4).

(표 4-3) 시·도별 단위면적당 지하수 이용량

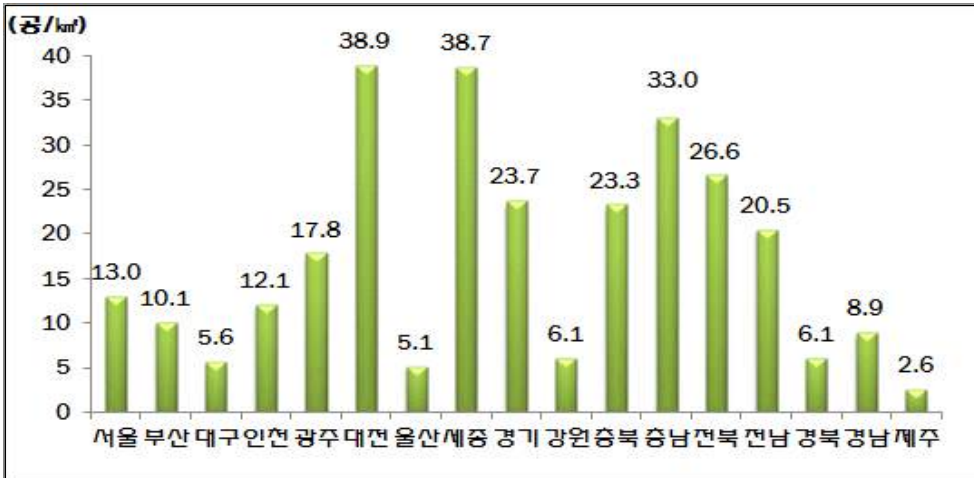
시도	이용량 (m ³ /년)	면적(km ²)	단위면적당 이용량	
			m ³ /년/km ²	m ³ /일/km ²
전국	4,084,779,284	100,573.0	40,615	111.3
서울	21,749,344	607.8	35,784	98.0
부산	33,533,473	754.8	44,425	121.7
대구	24,838,273	881.1	28,190	77.2
인천	41,603,701	1,027.0	40,510	111.0
광주	25,438,872	499.6	50,916	139.5
대전	38,308,929	540.1	70,925	194.3
울산	45,229,344	1,062.7	42,563	116.6
세종	47,855,866	465	102,916	282.0
경기	569,529,221	10,156.8	56,074	153.6
강원	224,475,243	16,957.7	13,237	36.3
충북	406,697,844	7,407.6	54,903	150.4
충남	491,507,343	8,215.3	59,829	163.9
전북	402,941,156	8,371.4	48,133	131.9
전남	594,110,980	12,229.0	48,582	133.1
경북	552,230,899	19,048.1	28,991	79.4
경남	362,828,851	10,499.8	34,556	94.7
제주	201,899,945	1,849.3	109,177	299.1

[자료] 지하수조사연보(국토교통부, 한국수자원공사, 2015)



<그림 4-4> 단위면적당 지하수 연간 이용량

지하수개발 밀도는 전국 평균 15.5 공/km²이며, 지역별로는 대전, 세종, 충남 지역이 높고, 제주, 울산, 대구, 강원, 경북 지역이 비교적 낮다(그림 4-5)



<그림 4-5> 단위면적당 지하수 개발 밀도

4.2 지하수 이용현황

4.2.1 용수구역별 단위면적당 지하수 개발·이용 현황

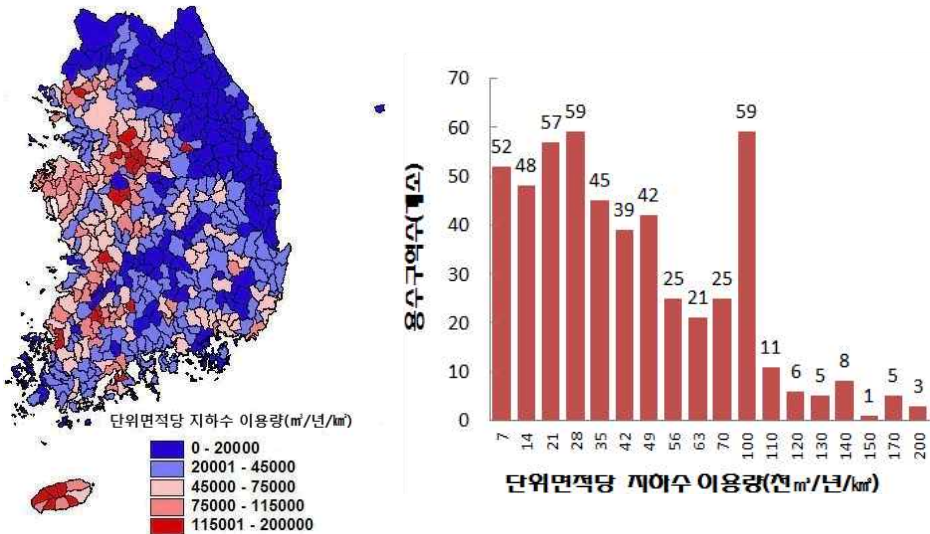
용수구역별 단위면적 당 지하수 이용량이 42천 m³/년/km² 이하인 용수구역이 300개이며, 시도별 단위면적 당 이용량의 최대치인 11만 m³/년/km²을 초과하는 용수구역은 28개소이다(그림 4-6).

단위면적 당 지하수개발 밀도는 20 공/km² 이하인 용수구역이 348개이며, 최대 100 공/km² 이상인 용수구역이 1개소 있다(그림 4-7).

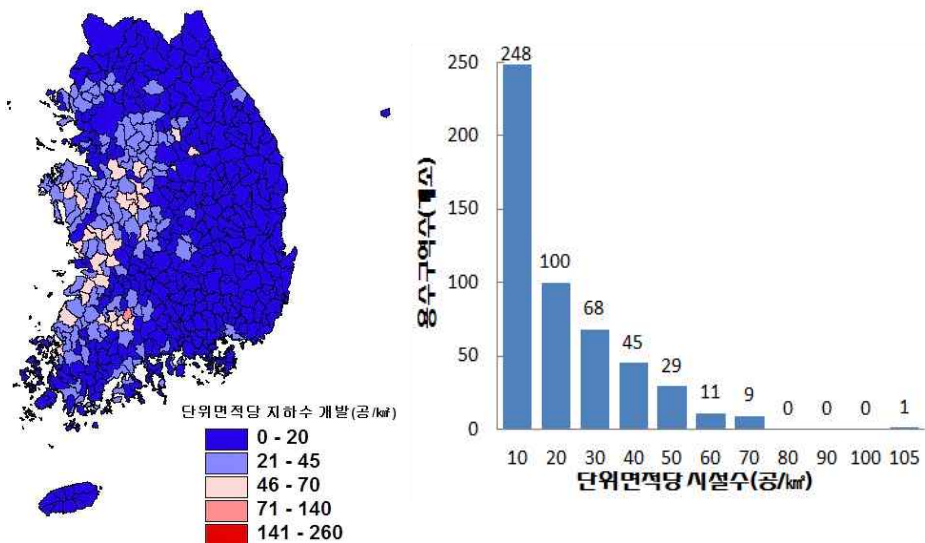
농경지 단위면적 당 농업용 지하수는 6만 m³/년/km² 이하인 용수구역이 191개이며, 12만 m³/년/km²을 초과하는 용수구역이 162개이다. 이중 1개소는 80만 m³/년/km²을 초과하는 구역도 있다(그림 4-8).

농경지 단위면적 당 농업용 지하수개발 밀도는 20 공/km² 이하인 용수구역이 219개이며, 100 공/km² 이상인 용수구역이 10개소이다(그림 4-9).

용수구역별 단위면적 당 지하수 이용량과 개발밀도는 경기도, 충청도, 전라도, 제주도 지역의 용수구역에서 높고 강원도와 경상도지역에서 상대적으로 낮게 나타난다(그림 4-6)(그림 4-7).

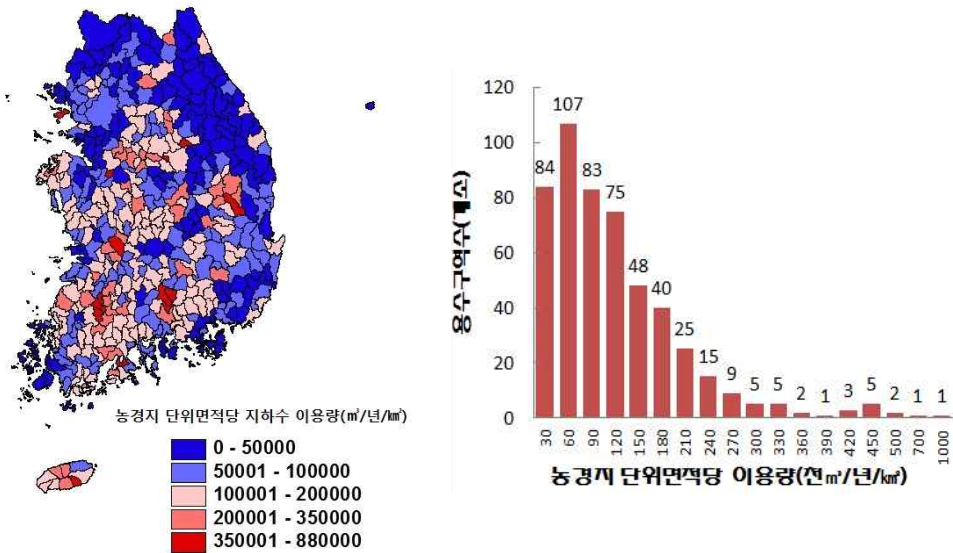


<그림 4-6> 용수구역별 단위면적당 지하수 이용량

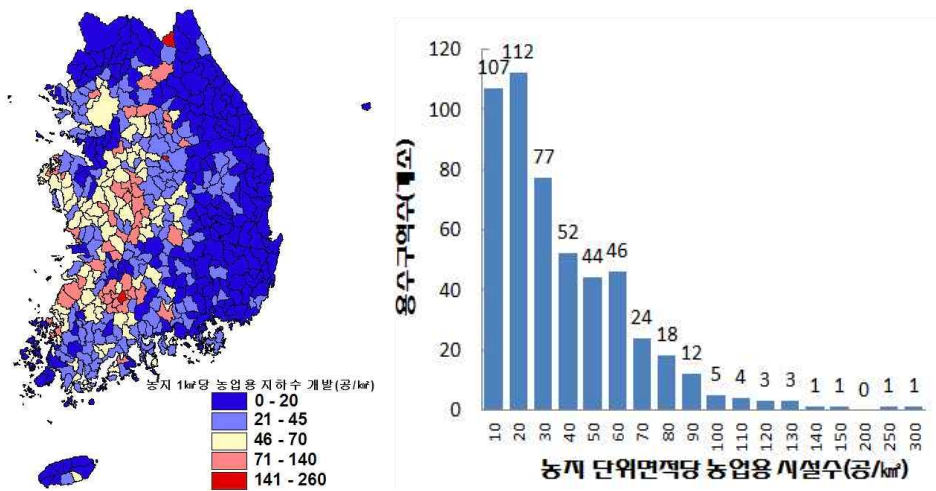


<그림 4-7> 용수구역별 단위면적당 지하수 개발 밀도

농경지 단위면적 당 농업용 지하수 이용량과 개발밀도는 충청도, 전라도, 경상도 및 강원일부지역에서 높고 충남서해안 지역은 상대적으로 낮게 나타난다(그림 4-8)(그림 4-9).



<그림 4-8> 용수구역별 농경지 단위면적당 지하수 이용량



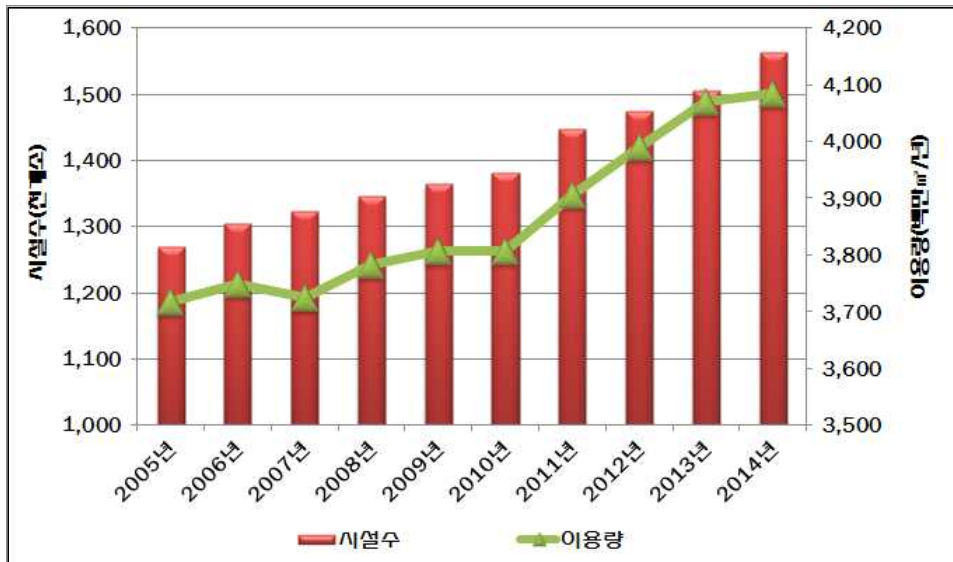
<그림 4-9> 용수구역별 농경지 단위면적당 지하수 개발 밀도

4.2.2 지하수 개발·이용 추이

2005년부터 2014년까지 최근 10년간 연평균 지하수 시설수는 1.9%, 이용량은 0.9% 증가하였다. 특히 전국적으로 가뭄이 심각하였던 2011년부터 2013년 기간에는 연평균 증가율의 2배 이상의 증가율을 나타내고 있어 가뭄시 신규 지하수 개발 및 이용이 증가하였음을 알 수 있다 (표 4-4)(그림 4-10).

(표 4-4) 연도별 지하수 개발·이용 현황

연도	시설수 (천개소)	이용량 (백만 m^3 /년)	연도	시설수 (천개소)	이용량 (백만 m^3 /년)
2005년	1,270	3,717	2010년	1,381	3,807
2006년	1,304	3,749	2011년	1,447	3,907
2007년	1,323	3,725	2012년	1,475	3,990
2008년	1,345	3,784	2013년	1,506	4,071
2009년	1,364	3,807	2014년	1,563	4,085



<그림 4-10> 연도별 지하수 시설 및 이용량 추이

4.2.3 가뭄시 지하수 신규 개발 사례 분석

2000~2010년 동안 농업가뭄은 6회 발생하였고, 2010~2015년에는 4회의 농업가뭄이 발생하는 등 가뭄의 발생빈도가 점차적으로 증가하는 추세이다(표 4-5)(표 4-6).

가뭄이 발생한 지역은 그 특성상 가뭄 극복을 위한 단기적인 현장지원(관정개발, 하상굴착, 전기공급 및 보상 등) 또는 용수별 제한급수 등을 통한 임시방편적 대응 외에는 별다른 해결책을 찾기 힘들다. 또한 가뭄 피해 복구를 위한 막대한 국가예산이 긴급대책비 지원형태로 투입되는 악순환을 반복하고 있다(한국농어촌공사, 2012).

(표 4-5) 2000~2010년 봄 가뭄 피해이력

연도	가뭄시기	가뭄지역	피해상황
2000	2~5월 중순	영남, 호남	<ul style="list-style-type: none"> • 전남 지역 가뭄 극심 • 평년강우량 16~43% 수준 • 저수율 82%~94% 수준 • 제한급수 184,411명
2001	3~6월 중순	전국	<ul style="list-style-type: none"> • 서울, 경기, 충청, 경북지역 가뭄 극심 • 5월말부터 모내기 문제, 6월초부터 식수문제 발생 • 평년 강우량 10~68% 수준 • 저수율 39~68% 수준 • 제한급수 전국 86개시군, 30만명
2006	3월	광주 및 전남지역	<ul style="list-style-type: none"> • 최근 10년 대비 26% 강수량을 기록 • 수돗물과 농업용수 부족
2007	4월	전국	<ul style="list-style-type: none"> • 최근 10년 대비 38% 강수량을 기록 • 댐 녹조현상 발생, 산불 등 화재발생 증가
2008 ~ 2009	5월	태백시 중심 강원 남부지역	<ul style="list-style-type: none"> • 평년대비 71% 강수량 기록 • 내륙 일부지방에서 제한급수 실시 • 13만명이 비상 및 제한급수 실시

[자료출처] 2012 가뭄백서(한국농어촌공사, 2012)

(표 4-6) 2011~2015년 농업가뭄 및 피해상황

연도	가뭄시기	가뭄지역	피해상황
2012년	5~6월	서울, 인천, 경기, 충남	<ul style="list-style-type: none"> • 평년강우량 31% 수준 (충남 경우 19% 수준) • 저수율(6월) 39% 수준 • 가뭄면적 11,300 ha(논 물마름, 밭작물 시듦) • 충남, 전북 및 전남 지역 가뭄 극심 • 가뭄대책비 1,046억 투입
2013년	6월~7월	전남, 경북, 경남, 제주	<ul style="list-style-type: none"> • 장마전선 내륙정체에 따른 남부지역 강수량 부족 • 가뭄면적 7,368 ha(논 물마름, 밭작물 시듦) • 제주지역 1,700억원 농작물 피해 추정 • 가뭄대책비 145억 투입
2014년	5월~6월	경기, 강원	<ul style="list-style-type: none"> • 평년강우량 65% 수준 • 저수율 51% 수준 • 임진강 유량부족과 강수부족 등으로 경기 북부지역 모내기 곤란(5,173 ha) • 가뭄대책비 125억 투입
2015년	6월~7월	인천, 경기, 강원, 충북, 경북	<ul style="list-style-type: none"> • 평년강우량 72% 수준 • 가뭄면적 7,358ha(논 물마름, 밭작물 시듦) • 5개시도, 39개시군 농경지 가뭄 극심 • 가뭄대책비 1,699억원 투입

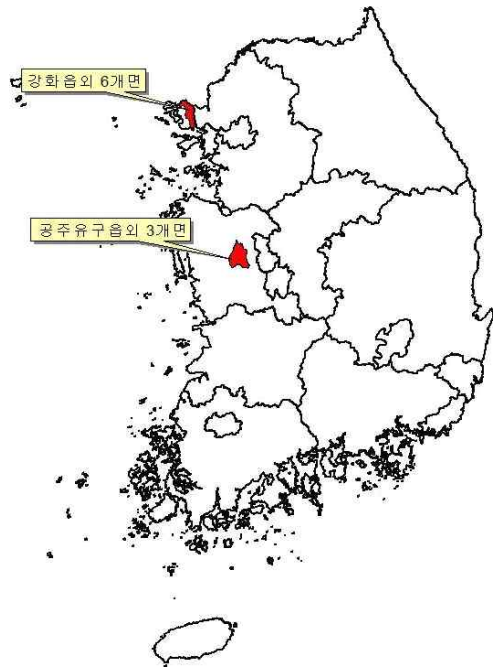
[출처] 농업가뭄지원단(농식품부, 한국농어촌공사, 2016. 5)

2012년~2015년 기간 중 가뭄이 있었던 공주시와 강화군을 대상으로 가뭄시 지하수시설 신규개발 추이를 분석하였다.

공주시와 강화군의 지표수 공급 특성을 검토하기 위하여 강화군에 위치한 강선지구와 공주시에 위치한 유구지구의 수리시설 및 수혜지역을 대하여 검토하였다(그림 4-11).

해안지역에 위치하는 강선지구는 수리답율 60%, 수리안전답율은 40%이다. 국가하천이나 지방하천이 전무하며, 농업용수는 저수지에서 76%를 공급하고 관정에서 18%를 공급하며 나머지6%는 양수장과 집수암거 수혜지역에 해당한다.

내륙에 위치하는 유구지구는 유구천, 정안천 등 금강 지류의 하천이 발달한 지역으로 17개의 지방하천이 용수구역을 흘러가고 있다. 수리시설별 수혜면적은 취입보가 44%로 가장 많으며, 수리답율은 82%로 전국 평균인 80.6% 보다 높으나 10년 빈도의 가뭄에도 물을 안정적으로 공급받을 수 있는 수리안전답은 7%수준으로 가뭄정도가 심하고 장기적으로 지속되는 가뭄에는 취약할 것으로 판단된다(표 4-7).



<그림 4-11> 강선 및 유구지구 위치도

(표 4-7) 강선 및 유구지구 수리시설 및 수혜면적

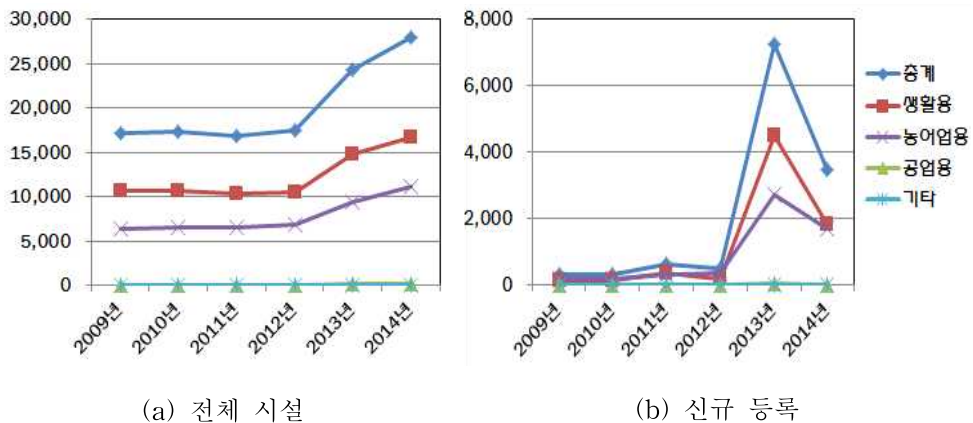
용수구역 (답면적)	구분	시설수 (개소)		수혜면적(ha)		비고
강선 (1,731 ha)	계	106		1,043		수리답율: 60% 수리안전답율 40%
	저수지	12	11%	795	76%	
	양수장	8	8%	27	3%	
	집수암거	12	11%	33	3%	
	관정	74	70%	188	18%	
	계	184		2,288		
유구 (2,784 ha)	저수지	17	9%	267	12%	수리답율 : 82% 수리안전답율 : 7%
	양수장	18	10%	77	3%	
	취입보	53	29%	1,010	44%	
	집수암거	11	6%	91	4%	
	관정	82	45%	147	6%	
	기타	3	2%	696	30%	

(표 4-8)과 (그림 4-12)은 공주시 연도별 지하수개발 현황과 신규 등록된 지하수 시설의 변화를 나타낸 것으로, 2013년과 2014년에 생활용과 농·어업용 지하수 시설이 급증한 것을 확인할 수 있다. 2013년에 미등록 지하수시설 자진신고기간(2013.3~2013.6)을 운영한 것을 고려할 때 2012년 가뭄 시 개발한 신규 지하수 시설이 2013년에 신규시설로 등록된 것으로 판단된다.

(표 4-8) 공주시 연도별 지하수 개발 현황

단위(공)

구분	총계	생활용	농어업용	공업용	기타
2009년	17,134	10,608	6,424	97	5
2010년	17,373	10,710	6,557	101	5
2011년	16,921	10,339	6,482	95	5
2012년	17,421	10,488	6,839	88	6
2013년	24,391	14,808	9,458	119	6
2014년	27,978	16,684	11,158	130	6



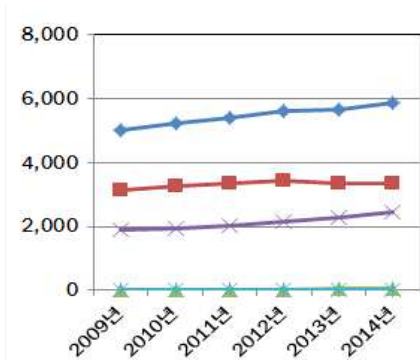
<그림 4-12> 공주시 연도별 지하수 시설 추이

(표 4-9)와 (그림 4-13)는 강화군 연도별 지하수개발 현황과 신규 등록된 지하수 시설의 변화를 나타낸 것으로, 2012년과 2014년에 농·어업용 지하수 신규개발이 1.5~2배 이상 증가한 것을 확인할 수 있다.

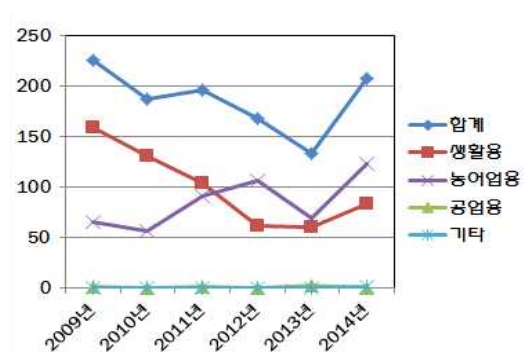
(표 4-9) 강화군 연도별 지하수 개발 현황

단위(공)

년도	합계	생활용	농어업용	공업용	기타
2009년	5,039	3,122	1,881	31	5
2010년	5,227	3,253	1,938	31	5
2011년	5,420	3,356	2,027	32	5
2012년	5,599	3,423	2,139	32	5
2013년	5,677	3,357	2,284	36	0
2014년	5,873	3,370	2,468	34	1



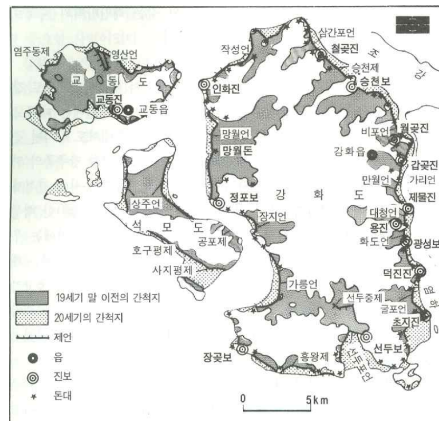
(a) 전체 시설



(b) 신규 개발

<그림 4-13> 강화군 연도별 지하수 시설 추이

(그림 4-14)은 고려후기 강화도의 간척지를 나타낸 것이다(최영준, 1997). 강화도의 간척 역사는 고려말 몽고의 침입으로 강화도 천도 후 시작하였으며, 강화군 총면적 411 km² 중 간척지 면적은 강화도 면적의 1/3 인 130 km² 이며 대부분 농지로 이용한다. 강화도 면적 중 농경지는 전체면적의 40%인 164 km²이며 이중 논지의 비율이 76%에 해당한다.



<그림 4-14> 강화도 간척지

해수침투관측망 중 강화도에 설치된 송뇌, 삼방, 홍왕지역의 수질 모니터링자료 분석결과에 따르면, 간척지에 위치하는 송뇌지구의 관측공에서는 높은 전도도값을 나타내며, 기존 육지에 설치된 홍왕지구에서는 낮은 전기전도도 값을 나타내고 있다(그림 4-15).



<그림 4-15> 강화도 해수침투 관측망 위치도

2014~2015년 가뭄시에도 기존 육지부 지역의 농경지는 지하수를 개발하여 효과적으로 가뭄을 극복하였다.

강화도 지역의 간척 농경지는 지하수개발 시 전기전도도가 높아 수질이 양호한 지하수를 확보하는데 어려움이 있는 지역이다.

따라서 강화도 간척농경지의 농업용수 확보를 위하여 지하수가 바다로 유출되는 지점에 지하댐 등 지하수자원확보시설을 설치하여 가뭄에 대비할 필요가 있을 것으로 사료된다.

제 5 장

용수구역별 지하수
개발가능량 분석

제5장 용수구역별 지하수 개발가능량 분석

5.1 지하수 함양량 및 개발가능량

5.1.1 유역별 강수량 및 지하수 함양율

지하수 함양(recharge)이란 지하수면에 도달하여 대수층의 저류량을 증가시키는 수문학적인 물의 흐름으로 정의되며, 강우의 침투(infiltration), 비포화대 내 배수(drainage)와 포화대내 재분포(redistribution) 과정을 통해 발생한다. 이러한 일련의 물리적 과정은 비포화대(vadose zone)에서의 물의 흐름을 통하여 지표면에 가해진 수리적 스트레스를 해소하고 평형상태로 되돌아가려는 자연현상으로 이해될 수 있다(구민호, 이대하, 2002).

지하수 개발가능량은 물 순환체계가 파괴되지 않고 지하수 장해를 일으키지 않는 범위 내에서 지속적으로 대수층으로부터 양수할 수 있는 지하수량을 의미한다(국토해양부, 2012).

2014년 재수립한 농어촌용수이용 합리화계획에서는 2002년 물관리 부처간 정보공유를 원활히 하기 위해서 “물관리정보 표준실무회의”에서 재설정된 전국 수자원단위지도¹⁾를 기초로 용수구역을 분할하였으며 517개 용수구역중 4개 도서지역과 북한과 접경지역 2개소를 제외한 511개 농어촌용수구역에 대한 계획을 수립하였다(표 5-1)(농림축산식품부, 2014)

본 연구에서는 수자원총량개념에서 국가지하수관리계획 및 지역지하수관리계획 수립 등 수자원정책 수립의 일관성을 위하여 2012년 국가지하수관리계획 수립 시 산정한 117개 수자원단위지도 중권역의 유역별 지하수 함양율과 평균강수량 및 10년 빈도 가뭄 시 강수량을 농어촌용수구역 511개소에 적용하여 용수구역별 지하수 함양량 및 개발가능량을 산정하였다.

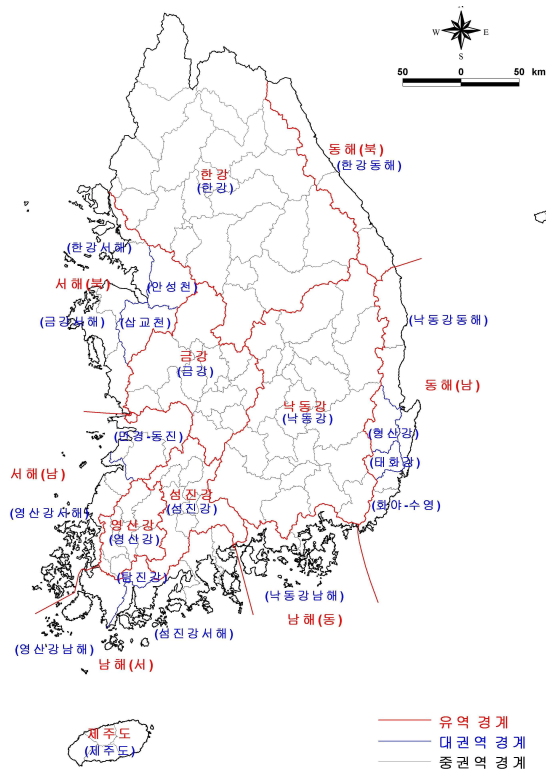
국가지하수관리계획에서 함양율은 국가지하수관측망 321개 관측자료를 활용하여 지하수위강하곡선 분석법을 적용하여 산정하였으며, 강수량은 수자원장기종합계획의 30년간(1978~2007년) 연평균 강수량과 10년빈도 가뭄시 강수량을 중권역별로 제시하고 있다(국토해양부, 2012).

1) 21세기 정보화시대를 맞이하여 국가자원정보화 사업에 부응하는 수자원 정보시스템 기반을 구축하고, 국가차원의 수자원개발계획 및 관리를 보다 효율적으로 추진하기 위하여 관계부처(건교부, 농림부, 환경부) 합동으로 1999년 개발하였고, 2002년 변경·구축된 유역 단위 표준지도(그림 5-1)

(표 5-1) 수자원단위지도 권역별 농어촌용수구역 설정 현황

6개권역	대권역 수	중권역 수	대권역별 농어촌용수구역 수	
계	21	117	511	
한 강	4	30	한강(100), 안성천(10), 한강서해(19), 한강동해(12)	141
낙동강	6	33	낙동강(100), 태화강(4), 형산강(4), 회야강(4), 낙동강동해(12), 낙동강남해(22)	146
금 강	4	21	금강(52), 삼교천(10), 금강서해(14), 새만금(18)	94
영산강	4	14	영산강(20), 탐진강(3), 영산강남해(9), 영산강서해(23)	55
섬진강	2	15	섬진강(29), 섬진강남해(35)	64
제주도	1	4	제주도(11)	11

※ (): 농어촌용수구역수



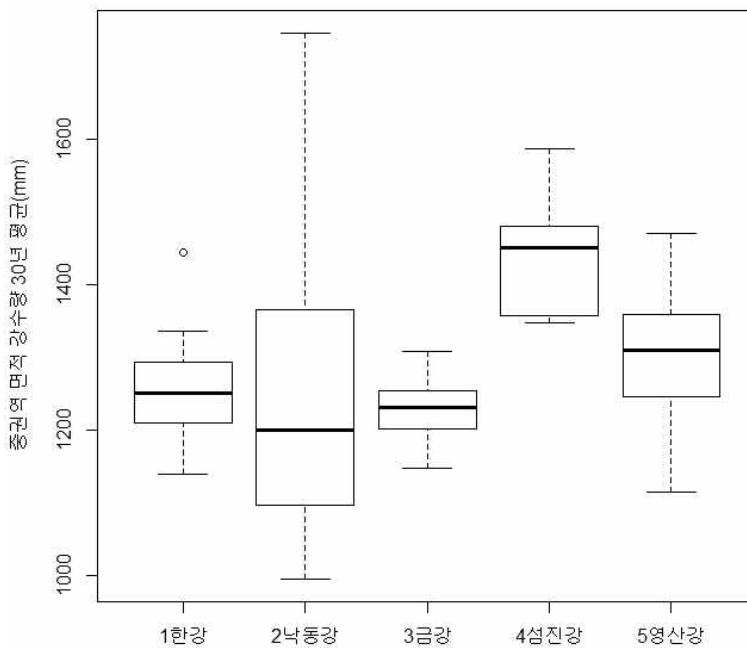
[출처] : 지하수관리기본계획(건설교통부, 2007)

<그림 5-1> 수자원단위지도

제주도를 제외한 5개 권역(한강, 낙동강, 금강, 영산강 및 섬진강)의 중권역별 면적 강수량 30년 평균(1978~2007년)을 요약하면 (표 5-2) 및 (그림 5-2)와 같다. 평균값은 금강권역이 가장 적고 섬진강 권역이 가장 크며, 낙동강권역에서 최솟값과 최댓값을 나타내며, 사분위수범위가 가장 큰 값을 나타내고 있어 중권역별 편차가 낙동강권역이 가장 큰 것을 알 수 있다.

(표 5-2) 유역별 면적 강수량 30년 평균

유역	평균	사분위수 범위	최솟값	중앙값	최댓값	중권역 자료수
한강	1,249.7	84.1	1,140.6	1,252.0	1,444.7	29
낙동강	1,239.1	269.8	995.2	1,201.0	1,747.5	33
금강	1,225.5	51.5	1,148.4	1,232.1	1,309.1	21
섬진강	1,436.9	122.2	1,348.0	1,451.5	1,587.7	14
영산강	1,298.2	112.1	1,114.5	1,310.4	1,470.8	15

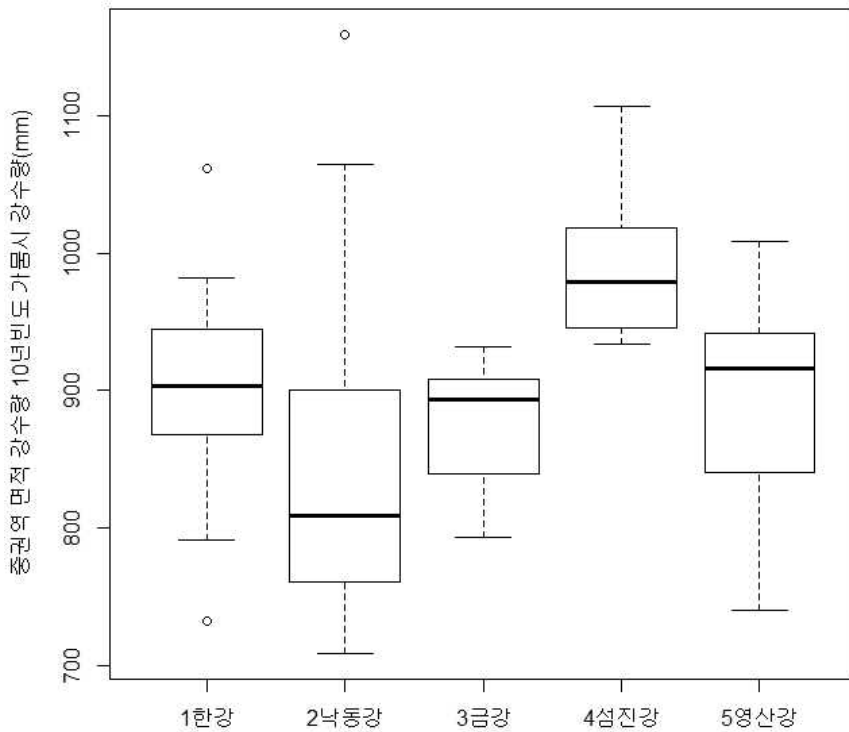


<그림 5-2> 유역별 면적 강수량 30년 평균

10년 빈도 가뭄 시 중권역별 면적 강수량을 유역별로 요약하면 (표 5-3) 및 (그림 5-3)과 같다. 평균 강수량의 범위는 839.2~988.6 mm 이며, 대권역 기준으로 1,000 mm 이상인 권역은 한강 동해, 낙동강 남해, 섬진강 및 섬진강 남해 등에서 상대적으로 높게 나타난다.

(표 5-3) 10년 빈도 가뭄 시 유역별 면적 강수량

유역	평균	사분위수 범위	최솟값	중앙값	최댓값	중권역 자료수
한강	899.9	77.0	731.9	903.3	1061.5	29
낙동강	839.2	139.7	708.5	809.1	1159.3	33
금강	876.6	68.4	792.9	893.6	932.2	21
섬진강	988.6	72.5	933.7	979.4	1106.9	14
영산강	891.3	98.4	739.8	915.7	1008.7	15

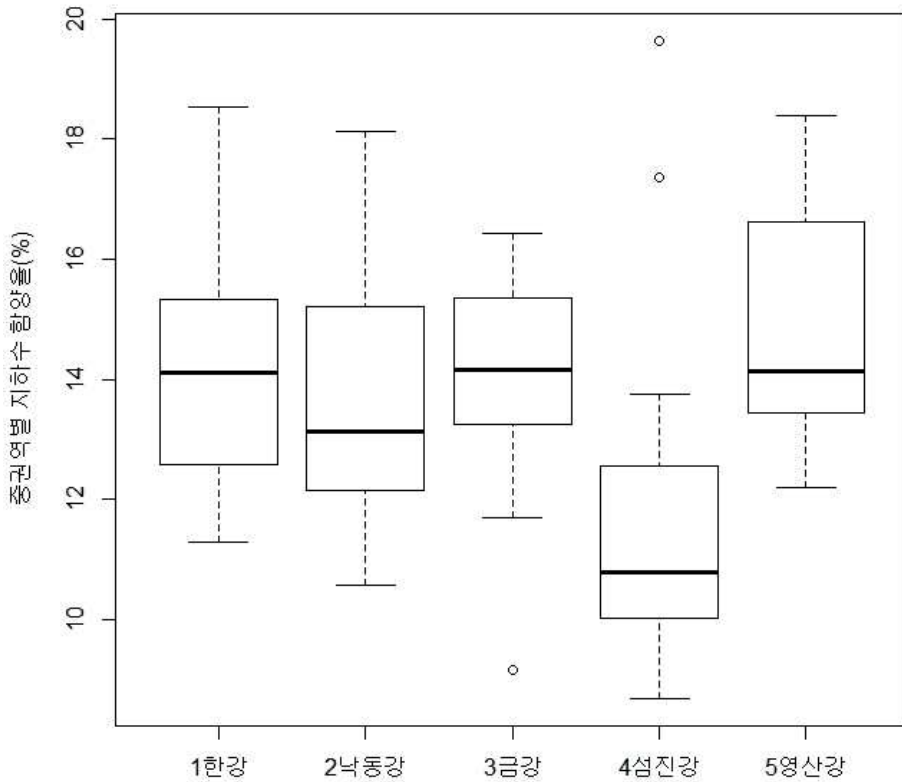


<그림 5-3> 10년 빈도 가뭄 시 유역별 면적 강수량

제주도를 제외한 유역별 지하수 함양율을 요약하면 (표 5-4) 및 (그림 5-4)와 같다. 지하수 함양율의 최솟값은 8.7%이며, 최댓값은 19.6%이다.

(표 5-4) 유역별 지하수 함양율

유역	평균	사분위수 범위	최솟값	중앙값	최댓값	중권역 자료수
한강	14.2	2.8	11.3	14.1	18.5	29
낙동강	13.7	3.1	10.6	13.1	18.1	33
금강	14.1	2.1	9.2	14.2	16.4	21
섬진강	11.8	2.5	8.7	10.8	19.6	14
영산강	14.8	3.0	12.2	14.1	18.4	15



<그림 5-4> 유역별 지하수 함양률

(표 5-5)는 권역별 지하수 함양량 및 개발가능량으로 전국적으로 지하수 함양량은 188.4억 m³/년이며, 이수안전 측면을 고려하여 10년 빈도 가뭄 시 강수량을 적용하여 산정한 지하수 개발가능량은 128.9억 m³/년으로 함양량 대비 개발가능량은 68.4%이다(국토해양부, 2012).

(표 5-5) 유역/대권역별 지하수 함양량 및 개발가능량

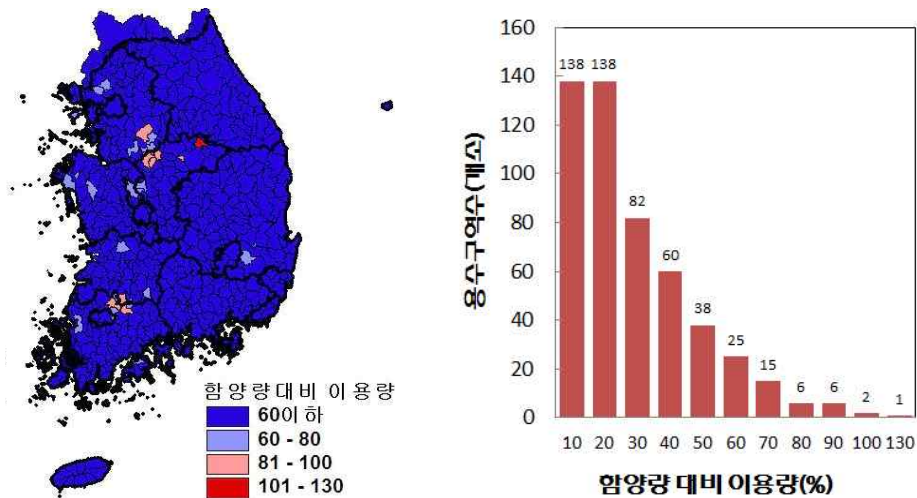
유역/대권역	지하수함양량 (백만m ³ /년)	지하수개발가능량 (백만m ³ /년)	개발가능량 /함양량비 (%)
전국	18,842.3	12,891.4	68.4
한강	6,114.3	4,467.0	70.8
한강	4,447.4	3,257.7	73.2
안성천	293.7	219.9	74.9
한강서해	552.5	402.3	72.8
한강동해	820.7	587.1	71.5
낙동강	5,279.1	3,614.10	74.6
낙동강	3,710.8	2,564.40	69.1
형산강	196.7	131.2	66.7
태화강	138.7	91.8	66.2
회야수영	206.1	135.1	65.5
낙동강동해	528.2	365.8	69.3
낙동강남해	498.5	325.8	65.3
금강	3,141.7	2,270.80	69.4
금강	1,714.0	1,227.90	71.6
삽교천	276.7	202.2	73.1
금강서해	550.2	405.6	73.7
만경동진	600.8	435.1	72.4
섬진강	1,189.8	814.5	71.1
섬진강	443.2	310	69.9
섬진강남해	746.6	504.5	67.6
영산강	1,441.4	994.6	68.9
영산강	677.4	471.5	69.6
탐진강	104.4	71.6	68.6
영산강남해	262.4	173.4	66.1
영산강서해	397.2	278.1	70.0
제주도	1,676.0	730.4	43.6

5.2 지하수 개발가능량 대비 이용량 평가

5.2.1 용수구역별 지하수 함양량 대비 이용량

전국 지하수 함양량은 188.4억 m³/년이며 2014년 기준 이용량 40.9억 m³/년 적용 시 전국 평균 함양량대비 이용량은 21.7%를 이용하고 있다.

농어촌용수구역별로는 함양량대비 이용량이 30% 이하인 용수구역이 358개소이며, 80% 초과지역이 9개소이다(그림 5-5).



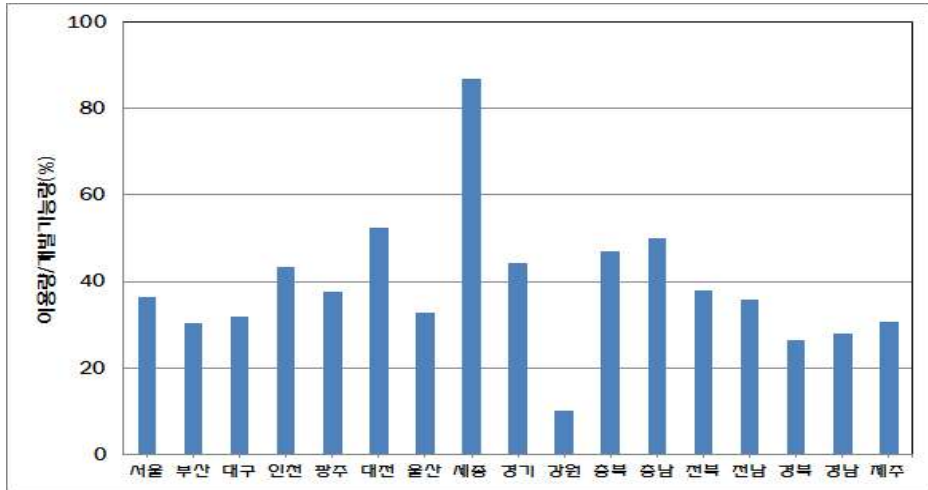
<그림 5-5> 용수구역별 지하수 함양량 대비 이용량

5.2.2 용수구역별 지하수 개발가능량 대비 이용량

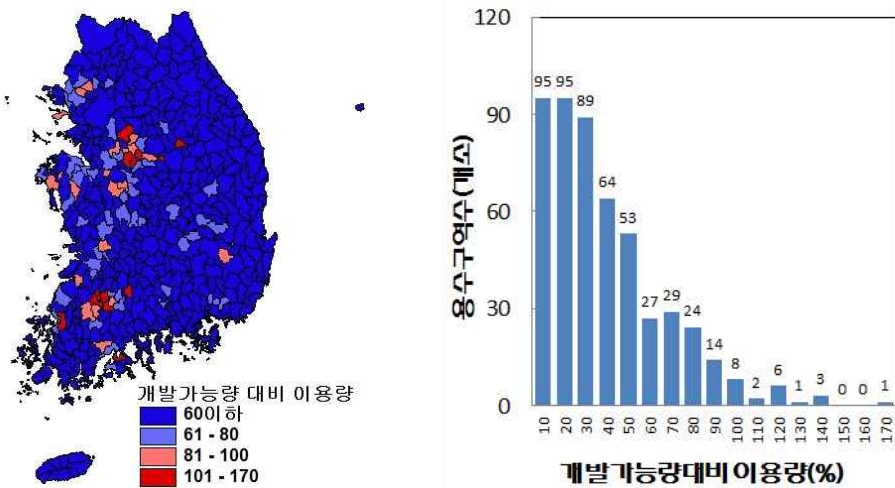
지하수 개발가능량은 이수안전 측면을 고려하여 10년 빈도 가뭄 시 갈수량을 적용하여 산정하였으며, 전국 지하수 개발가능량 128.9억 m³/년 중 2014년 기준 이용량 40.9억 m³/년 적용 시 전국 평균 31.7%를 이용하고 있다.

시·도별 지하수 개발가능량 대비 이용량은 세종, 대전, 충남지역이 높고, 강원지역이 낮게 나타난다(그림 5-6).

농어촌용수구역별로는 개발가능량 대비 이용량이 30% 이하인 용수구역이 285개소이며, 80% 초과지역이 35지구이며, 이중 100% 초과하는 용수구역도 13개소 있다(그림 5-7).



<그림 5-6> 시·도별 지하수 개발가능량 대비 이용량 비율



<그림 5-7> 용수구역별 지하수 개발가능량 대비 이용량

제 6 장

용수구역별 가뭄특성 분석에
따른 유형 분류

제6장 용수구역별 가뭄특성 분석에 따른 유형 분류

6.1 물이용 특성에 따른 용수구역 분류

6.1.1 농어촌용수구역별 통계 현황

본 연구에서는 농어촌정비법 제 15조 및 동법 시행령 제 23조, 제 24조에 따라 농어촌용수의 효율적인 개발·이용 및 보전을 위하여 수립된 농어촌용수이용합리화계획에서 제공하는 주요 통계를 활용하여 용수구역을 유형 분류하고자 하였다.

농어촌용수이용 합리화계획에 따른 농어촌 용수구역별 통계자료는 전국 517개 용수 구역 중 도시지역 4개소, 북한 접경지역 2개소를 제외한 511개 용수구역의 자료가 제공되고 있으며, 이를 그림 2.5와 같이 데이터베이스로 구축하여 용수이용특성 인자의 산정과 통계분석을 위한 입력 자료를 구축하는 데 활용하였다. 지하수 시설 및 지하수 이용량 현황은 지하수관리기본계획(건교부, 2012)의 중권역별 30년 평균강수량, 10년빈도 가뭄시 강수량 및 지하수 함양량 자료를 바탕으로 산정된 결과를 이용하였다. 본 연구에서 활용한 통계자료의 세부항목은 아래와 같으며 용수구역별 수치는 부록 2, 3, 4에 수록하였다.

- 용수 수요량 및 공급량(부록2)
 - 수리답 용수 공급량/수요량, 수리안전답 용수 공급량/수요량, 천수답 수요량
 - 발기반 공급량, 수요량, 비관개전 수요량(천 m^3 /년)
 - 논용수수요대비공급비율(%) = $\frac{2012년수리답공급량(천m^3/년)}{2024년답용수수요량(천m^3/년)}$
 - 밭용수수요대비공급비율(%) = $\frac{2012년발기반공급량(천m^3/년)}{2024년밭기반용수수요량(천m^3/년)}$
 - 수리답수요대비공급비율(%) = $\frac{2012년수리답공급량(천m^3/년)}{2024년수리답용수수요량(천m^3/년)}$
- 용수구역별 지하수 시설 및 지하수 이용량 현황(부록3)
 - 지하수 이용량, 전체 면적, 10년 빈도 가뭄시 강수량, 지하수 개발가능량 등

- 지하수 함양율, 함양량대비 이용량, 개발가능량대비 이용량(%) 등
- 함양량대비이용량(%) = $\frac{\text{지하수이용량(천m}^3\text{/년)}}{\text{지하수함양량(m}^3\text{/년)}}$
- 개발가능량대비이용량(%) = $\frac{\text{지하수이용량(천m}^3\text{/년)}}{\text{지하수개발가능량(m}^3\text{/년)}}$
- 토지이용 및 토지피복(부록4)
 - 수리답/수리안전답/천수답, 밭기반/비관개전 면적(ha), 경지면적(ha)
 - 농경지비율, 총면적 중 논/밭 비율, 농경지중 논/밭 비율(%)

용수구역별 농업용수 수요량 및 공급량 자료를 활용하여 수리답 수요대비 공급비율과 논용수 수요대비 공급비율, 밭용수 수요대비 공급비율을 산정한 결과는 (표 6-1)과 같다. 511개 용수구역을 대상으로 산정한 2012년 수리답 공급량의 최댓값, 평균, 최솟값은 각각 256,374,000 m³/년, 17,376,500 m³/년, 0 m³/년이고, 2024년 수리답용 수요량의 최댓값, 평균, 최솟값은 218,254,000 m³/년, 17,313,000 m³/년, 0 m³/년으로 나타났다. 본 연구에서는 도시 및 섬지역 98개 용수구역을 제외한 413개 용수구역을 대상으로 유형분류를 수행하였다. 그 결과, 수리답 수요대비 공급비율의 평균값은 99.4%, 논용수 수요대비 공급비율의 평균은 84.5%, 밭용수 수요대비 공급비율의 평균은 35.9%로 나타났다.

용수구역별 지하수 시설 및 지하수 이용량 현황을 산정한 결과를 (표 6-2)에 나타내었다. 511개 용수구역을 대상으로 산정한 지하수 이용량의 유역별 최댓값은 65,930,046 천m³/년, 평균값은 7,984,423 천m³/년, 최솟값은 0.0 m³/년이고, 전체면적과 강수량을 바탕으로 산정한 지하수 함양량의 최댓값은 287,221,365 천m³/년, 평균값은 36,849,344 천m³/년, 최솟값은 1,037,842 m³/년이다. 이 두 값을 활용하여 산정한 지하수 함양량 대비 이용량 비율의 최댓값은 126.7%, 평균은 24.2%, 최솟값은 0.0%이다. 지하수 개발가능량 대비 이용량으로 산정한 유역별 최대 비율은 169.8%, 평균은 34.4%, 최소는 0.0%로 나타났다.

본 연구에서 대상지로 선정된 413개 유역의 지하수 함양량 대비 이용량의 최댓값은 98.0%, 평균 25.6%, 최소 0.6%이며, 개발가능량 대비 이용량은 최대 131.9%, 평균 36.0%, 최소 0.9%로 나타났다. 도시 및 섬지역과 농업용수 수요량이 0.0 m³/년인 98개 용수구역의 지하수 함

양량 대비 이용량 비율은 최댓값의 경우 분석대상지의 최댓값 98.0%보다 큰 126.7%로 나타났으나, 평균은 18.4%로 분석대상지 413개 지역의 평균보다 작은 값을 나타내었다. 개발가능량 대비 이용량도 최댓값은 169.8%로 분석대상지의 131.9%보다 큰 값을 보였으나, 평균값은 27.3%로 전국 평균과 분석대상지 평균보다 작게 나타났다.

용수구역별 경지면적 및 농업토지이용 특성치를 산정한 결과는 (표 6-3)과 같다. 2012년 기준으로 용수구역별 진흥지역, 보호지역 면적과, 논면적 면적의 최댓값, 평균, 최솟값, 표준편차와 2024년의 논면적 추정값의 최대, 평균, 최소, 표준편차를 산정하였으며, 이를 2024년 발면적 추정값과 함께 활용하여 2024년의 경지면적 대비 발비율을 산정한 결과, 분석대상지의 경지면적대비 발비율은 최대 99.8%, 평균 50.6%, 최소 5.6%로 나타났다.

(표 6-1) 용수구역별 농업용수 수요량 및 공급량 통계

구분		2012년 수리답 공급량 (천m ³ /년)	2024년 수리답 수요량 (천m ³ /년)	2024 답용수 수요량 (천m ³ /년)	수리답 수요대비 공급 비율(%)	논용수 수요대비 공급비율 (%)	2012년 받기반 공급량 (천m ³ /년)	2024년 받기반용 수요량 (천m ³ /년)	밭용수 수요대 공급 (%)
전 국 (N: 511)	최대	256,374.0	218,254.0	248,657.0	157.0	125.0	29,962.0	42,238.0	100.0
	평균	17,376.5	17,313.0	20,521.0	124.0	109.1	870.7	1,593.3	68.4
	최소	0.0	0.0	0.0	47.8	13.4	0.0	0.0	0.0
	표준편차	24,925.6	22,736.3	26,880.0	153.2	155.7	2,234.9	3,078.7	174.5
분석대상 지역 (N: 413)	최대	256,374.0	218,254.0	248,657.0	137.3	107.7	13,354.0	14,513.0	100.0
	평균	20,450.1	20,274.2	23,975.8	99.4	84.5	713.6	1,440.3	35.9
	최소	25.0	22.0	25.0	56.5	47.2	0.0	7.0	0.0
	표준편차	26,489.2	24,060.1	28,441.1	14.5	13.1	1,342.6	1,724.4	28.9
도시 및 섬 자료누락 지역 (N: 98)	최대	51,838.0	45,491.0	50,177.0	157.0	125.0	29,962.0	42,238.0	100.0
	평균	4,423.7	4,833.7	5,961.7	227.9	212.5	1,532.6	2,238.2	205.2
	최소	0.0	0.0	0.0	47.8	13.4	0.0	0.0	0.0
	표준편차	8,746.5	8,029.5	9,908.7	330.2	336.6	4,249.3	6,056.7	367.1

(표 6-2) 용수구역별 지하수 시설 및 지하수 이용량 통계

구분		총계 이용량 (천 m ³ /년)	전체 면적 합계	10년빈도 가뭄시 강수량(mm)	지하수 함양량 (m ³ /년)	지하수개발 가능량 (m ³ /년)
전 국 (N: 511)	최대	65,930,046.0	136,689.0	1,159.3	287,221,365.5	16,375,2219.1
	평균	7,984,423.4	19,563.7	898.8	36,849,344.7	2,518,7784.1
	최소	0.0	618.0	708.5	1,037,841.7	743,747.9
	표준편차	7,723,507.4	12,850.1	86.6	31,287,855.6	18,343,451.6
분석대상 지역 (N: 413)	최대	42,586,891.0	83,110.0	1159.3	159,515,626.8	116,574,159.2
	평균	8,455,953.7	21,723.2	899.2	37,833,026.9	26,828,390.2
	최소	173,095.0	2,830.0	708.5	5,793,166.3	3,713,840.1
	표준편차	6,860,416.5	10,905.2	88.4	20,361,754.1	14,600,026.6
도시 및 섬 자료누락 지역 (N: 98)	최대	65,930,046.0	136,689.0	1159.3	287,221,365.5	16,375,2219.1
	평균	5,997,260.2	10,463.0	897.1	32,703,827.0	18,273,801.2
	최소	0.0	618.0	750.4	1,037,841.7	743,747.9
	표준편차	1,043,0470.9	16,110.0	78.5	58,004,162.4	28,354,776.7

(표 6-3) 용수구역별 농지이용 통계

구분		2012년 논면적 (ha)	2024년 논면적 (ha)	2012년 밭 면적 (ha)	2024년 밭면적 (ha)	2012년 밭기반 면적 (ha)	2012년 비관개전 (ha)	2024년 밭기반 밭면적 (ha)	2024년 비관개전 (ha)	2024 경지면적 대비 밭비율 (%)	2024 경지면적 대비 밭기반 밭면적 비율 (%)
전국 (N: 511)	최대	21,739.6	19,577.8	12,051.0	11,665.0	5,483.4	6,825.4	7,730.5	5,160.5	100.0	90.1
	평균	1,889.7	1,701.8	1,490.1	1,442.5	268.1	1,297.5	352.2	1,090.3	54.4	12.0
	최소	0.0	0.0	17.0	16.0	3.0	17.0	0.0	12.8	5.6	0.0
	표준편차	2,444.1	2,201.0	1,287.2	1,246.0	549.1	987.5	674.7	789.7	22.6	13.3
분석 대상 지역 (N: 413)	최대	21,739.6	19,577.8	6,301.0	6,102.0	2,274.0	5,007.3	2,731.0	4,340.2	99.8	55.9
	평균	2,209.4	1,989.7	1,544.2	1,494.8	201.4	1,388.2	315.0	1,179.8	50.6	10.5
	최소	2.2	2.0	192.0	185.0	3.0	189.0	1.3	175.1	5.6	0.2
	표준편차	2,582.8	2,326.0	960.1	929.2	287.8	856.7	348.0	725.1	20.4	10.0
도시 및 섬 지역 (N: 98)	최대	4,520.7	4,071.2	12,051.0	11,665.0	5,483.4	6,825.4	7,730.5	5,160.5	100.0	90.1
	평균	542.5	488.5	1,261.9	1,222.2	722.3	915.4	509.1	713.1	70.7	18.4
	최소	0.0	0.0	17.0	16.0	10.0	17.0	0.0	12.8	8.4	0.0
	표준편차	896.2	807.1	2,175.3	2,105.9	1,258.0	1,351.9	1,359.5	931.3	24.0	21.4

6.1.2 용수구역 분류를 위한 평가지표

농경지중 발비율(LC), 논용수 수요량 대비 공급량 비율(F1), 발용수 수요량 대비 공급량 비율(F2), 개발가능량 대비 지하수 이용량 비율(G1), 함양량 대비 지하수 이용량비율(G2), 단위 면적당 지하수 이용량비율(G3)을 산정하여 상관분석을 수행한 결과는 표 5.4와 같다. 개발가능량 대비 지하수 이용량비율(G1)과 함양량 대비 지하수 이용량비율(G2)의 상관계수가 0.998, 개발가능량 대비 지하수 이용량비율(G1)과 단위 면적당 지하수 이용량비율(G3)의 상관계수가 0.953으로 높게 나타났다. 따라서 이 두 인자를 제외하고, 농경지중 발비율(LC), 논용수 수요량 대비 공급량 비율(F1), 발용수 수요량 대비 공급량 비율(F2), 개발가능량 대비 지하수 이용량 비율(G1)을 용수구역의 유형분류를 위한 군집분석의 인자로 선정하였다.

(표 6-4) 상관분석 결과

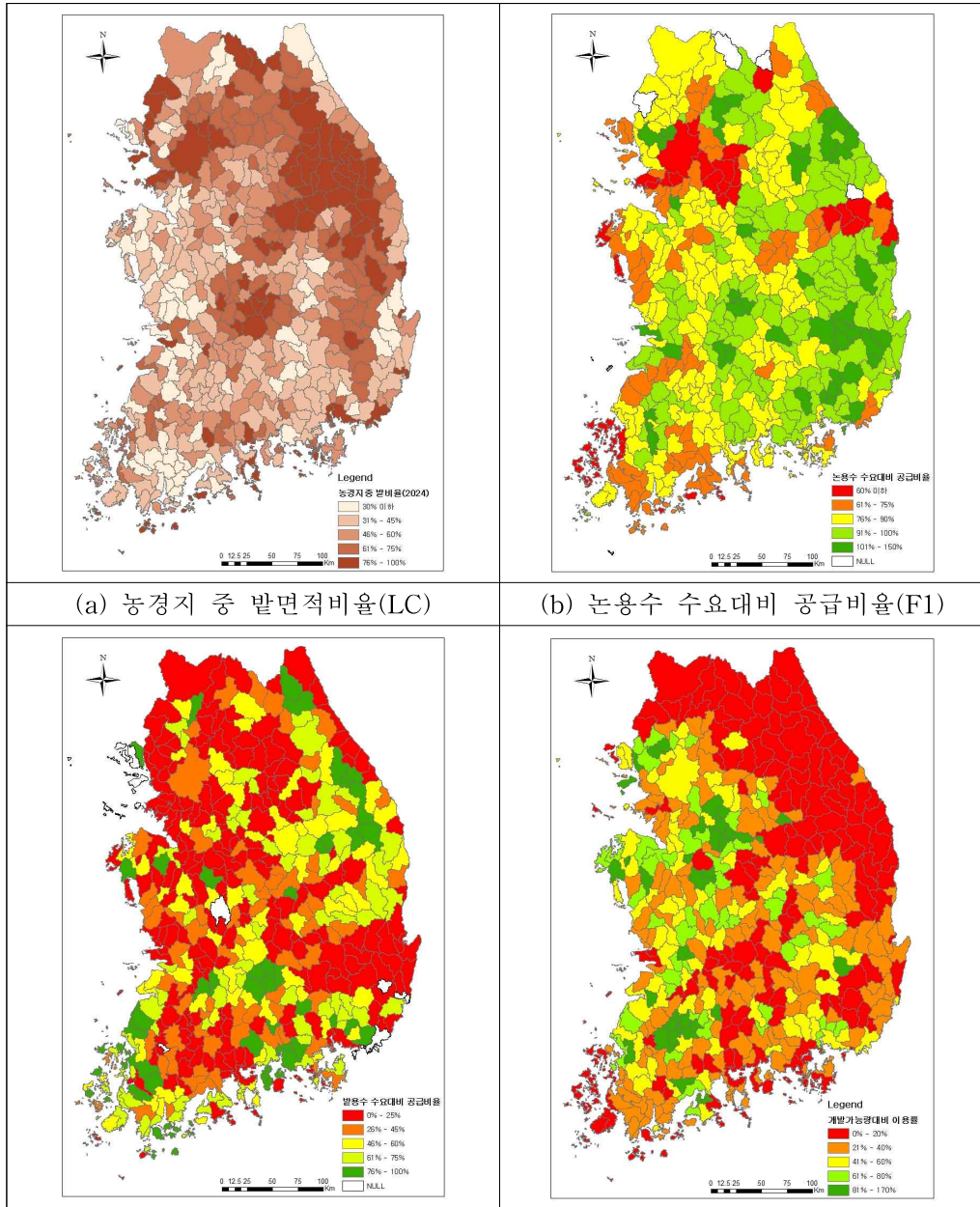
	LC	F1	F2	G1	G2	G3
LC	1	-.118*	.124*	-.422**	-.405**	-.416**
F1	-.118*	1	0.008	0.026	0.012	0.002
F2	.124*	0.008	1	-0.041	-0.505	-0.089
G1	-.422**	0.026	-0.041	1	.998**	.953**
G2	-.405**	0.012	-0.05	.998**	1	.957**
G3	-.416**	0.002	-0.086	.953**	.957**	1
N	413	413	413	413	413	413

*, Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

**, Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

(그림 6-1)은 군집분석 대상 인자인 농경지중 발비율(LC), 논용수 수요량 대비 공급량 비율(F1), 발용수 수요량 대비 공급량 비율(F2), 개발가능량 대비 지하수 이용량 비율(G1)의 값을 지도로 나타낸 결과이다. 농경지 면적 중 발면적 비율은 경기도 남동부 지역과 강원도 지역이 75% 이상으로 높게 나타났으며, 논용수 수요량 대비 공급량 비율은 경기도 여주, 이천등과 경상북도 봉화군, 전라남도 신안군 등에서 60% 이하로 낮게 나타났다. 발용수 수요량 대비 공급량 비율은 15% 이하인 지역이 전국적으로

분포하는 것으로 나타났으며, 개발가능량 대비 지하수 이용률은 강원도 지역이 전반적으로 낮은 것으로 나타났다.



6.1.3 군집분석을 이용한 용수구역 분류

용수구역별 용수이용특성에 따라 유형분류를 수행하기 위해 선정된 평가지표를 대상으로 각각 군집분석 수행한 결과는 (표 6-5)와 같다. 논용수 수요대비 공급량 비율의 군집분석결과, NA 값(Cluster 3)을 제외한 하위그룹(Cluster 1)의 최솟값은 13.4%, 평균은 62.9%, 중앙값은 65.2%, 최댓값은 76.4%로 산정되었고, 상위그룹(Cluster 2)의 최솟값은 76.7%, 평균은 90.5%, 중앙값은 90.6%, 최댓값은 107.7%로 나타났다. 즉, 논용수 수요대비 공급량 비율은 76.5%값을 기준으로 두 그룹으로 나뉘는 것으로 나타났다. 발용수 수요대비 공급량 비율 경우, NA 값(Cluster 3)을 제외한 하위그룹(Cluster 1)의 최솟값은 0.0%, 평균은 10.5%, 중앙값은 3.3%, 최댓값은 37.4%로 산정되었고, 상위그룹(Cluster 2)의 최솟값은 37.9%, 평균은 64.6%, 중앙값은 64.4%, 최댓값은 100.0%로 나타났다. 즉, 발용수 수요대비 공급량 비율은 37.5%값을 기준으로 두 그룹으로 나눌 수 있다. 지하수 개발가능량 대비 이용량을 기준으로 511개 용수구역은 총 3개의 그룹으로 나눌 수 있으며, 하위그룹(Cluster 1)의 평균값은 11.9%, 중앙값은 12.2%이고, 중간그룹(Cluster 2)의 평균값은 36.8%, 중앙값은 35.1%이고, 상위그룹(Cluster 3)의 평균값은 80.1%, 중앙값은 74.9%로 나타났다.

(표 6-5) 용수구역 유형분류를 위한 평가지표의 군집분석 결과

평가지표	Cluster Number	Minimum	Mean	Grouped Median	Maximum	N
논용수 수요대비 공급량 비율	1(상위)	13.4	62.9	65.2	76.4	150.0
	2(하위)	76.7	90.5	90.6	107.7	346.0
	3(제외)	NA	NA	NA	NA	15.0
	Total	13.4	109.1	85.7	NA	511.0
발용수 수요대비 공급량 비율	1(상위)	0.0	10.5	3.3	37.2	258.0

농업용수이용특성에 따라 분류된 용수구역 유형별 지하수활용방안 및 지하수 개발 우선순위를 (표 6-6)에 제안하였다. 지하수 개발 우선순위를 제안하기 위해 우선적으로 지하수 개발가능량 대비 이용량 비율을 평가지표로 선정하고, 지하수 개발제한 지역 기준으로는 앞의 군집분석 결과중 상위그룹의 평균값 80%를 사용하였다. 발용수 수요대비 공급량 비율과 논용수 수요대비 공급량 비율은 각각 두 그룹의 경계값인 37.5%와 76.5%를 기준으로 용수구역을 분류하였다.

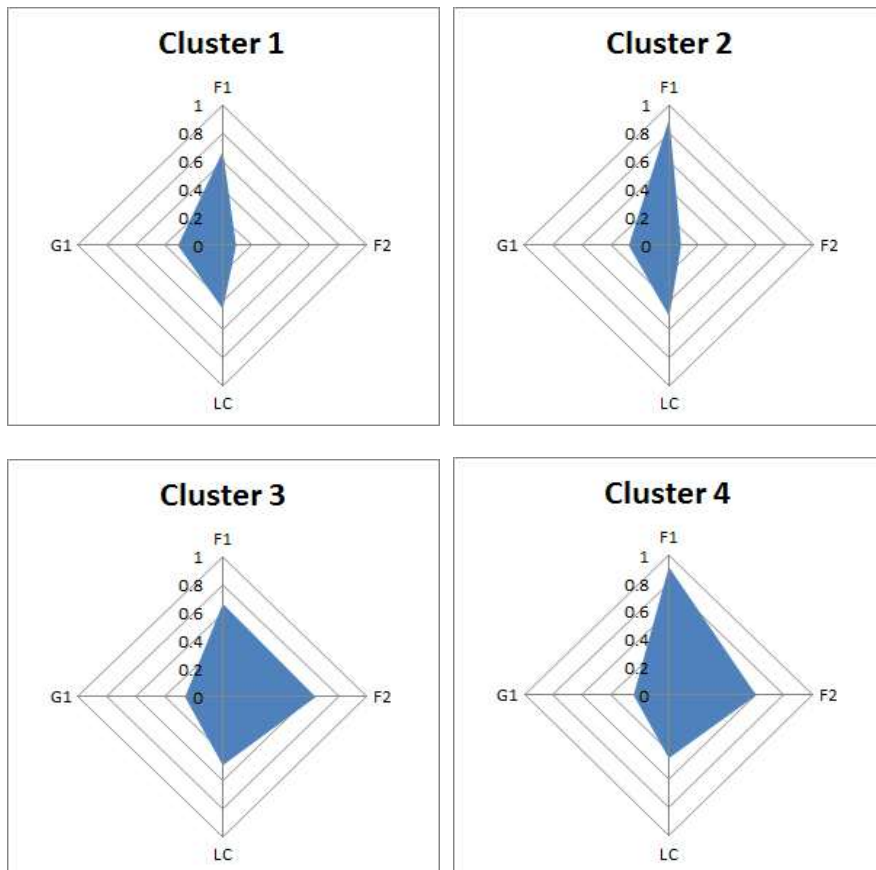
(표 6-6) 유형별 지하수활용방안 및 지하수 개발 우선순위

군집	평가지표1	평가지표2	평가지표3	지하수 조사 우선 순위	지하수 활용방안			
	지하수 개발가능량 대비 이용량 비율	발 용수 수요 대비 공급량 비율	논 용수 수요 대비 공급량 비율		발지역 수리 지질 조사	논용수 (지표수) 를 발용수로 활용	지하수 - 지표수 연계활용방안	지하수 개발 제한
Cluster 1	80% 이하	37.5% 이하	76.5% 이하	1	√√			
Cluster 2			76.5% 초과	3	√	√√		
Cluster 3		37.5% 초과	76.5% 이하	2	√√			
Cluster 4			76.5% 초과			√		
Cluster 5	80% 초과	37.5% 이하	76.5% 이하	개발 제한			√	√

그 결과 지하수 개발가능량 대비 이용량 비율이 80% 이하이고 발용수 수요대비 공급량 비율은 37.5% 이하, 논용수 수요대비 공급량비율이

76.5% 이하인 용수구역들을 지하수 개발 우선순위 1순위로 선정하고 발지역 수리지질조사가 필요한 지역으로 제안하였다. 발 용수 수요대비 공급량 비율이 37.5% 이하이나 논 용수 수요대비 공급량 비율이 76.5% 초과인 지역은 지표수를 발 용수로 활용가능한지 가능성 여부를 확인한 후 지하수 개발을 위한 발 지역 수리지질 조사를 수행하는 것으로 표시하였다. 또한 발 용수 수요대비 공급량 비율이 37.5% 초과되지만 논 용수 수요대비 공급량이 76.5% 이하로 부족한 지역을 조사우선순위 2순위로 발 지역 수리지질조사가 필요하다고 판단하였다.

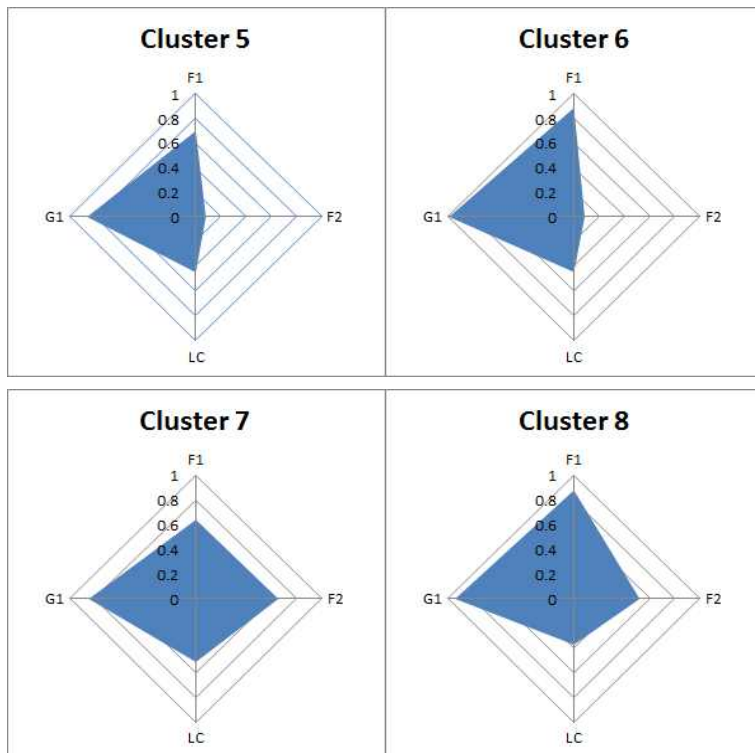
농업용수이용특성에 따라 분류된 용수구역 유형 1(Cluster 1)에서 4(Cluster 4)까지의 농업용수 수요량대비 공급량비율과 농경지 중 발 비율, 개발가능량 대비 지하수 이용량의 중앙값을 (그림 6-2)의 방사형 그래프와 (표 6-7)에 표시하였다.



(표 6-7) 용수구역 유형별 특성 (Cluster 1~4)

평가지표	Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3	Cluster 4
	N: 44	N: 153	N: 49	N: 137
	Median	Median	Median	Median
농경지중 발비율(LC)	45.2	50.5	48.8	48.5
농용수 수요 대비 공급 비율(F1)	67.3	90.5	66.6	91.6
밭용수 수요 대비 공급 비율(F2)	9.2	8.1	64.3	60.5
개발가능량대비 지하수이용량(G1)	31.1	28	26.2	24.4

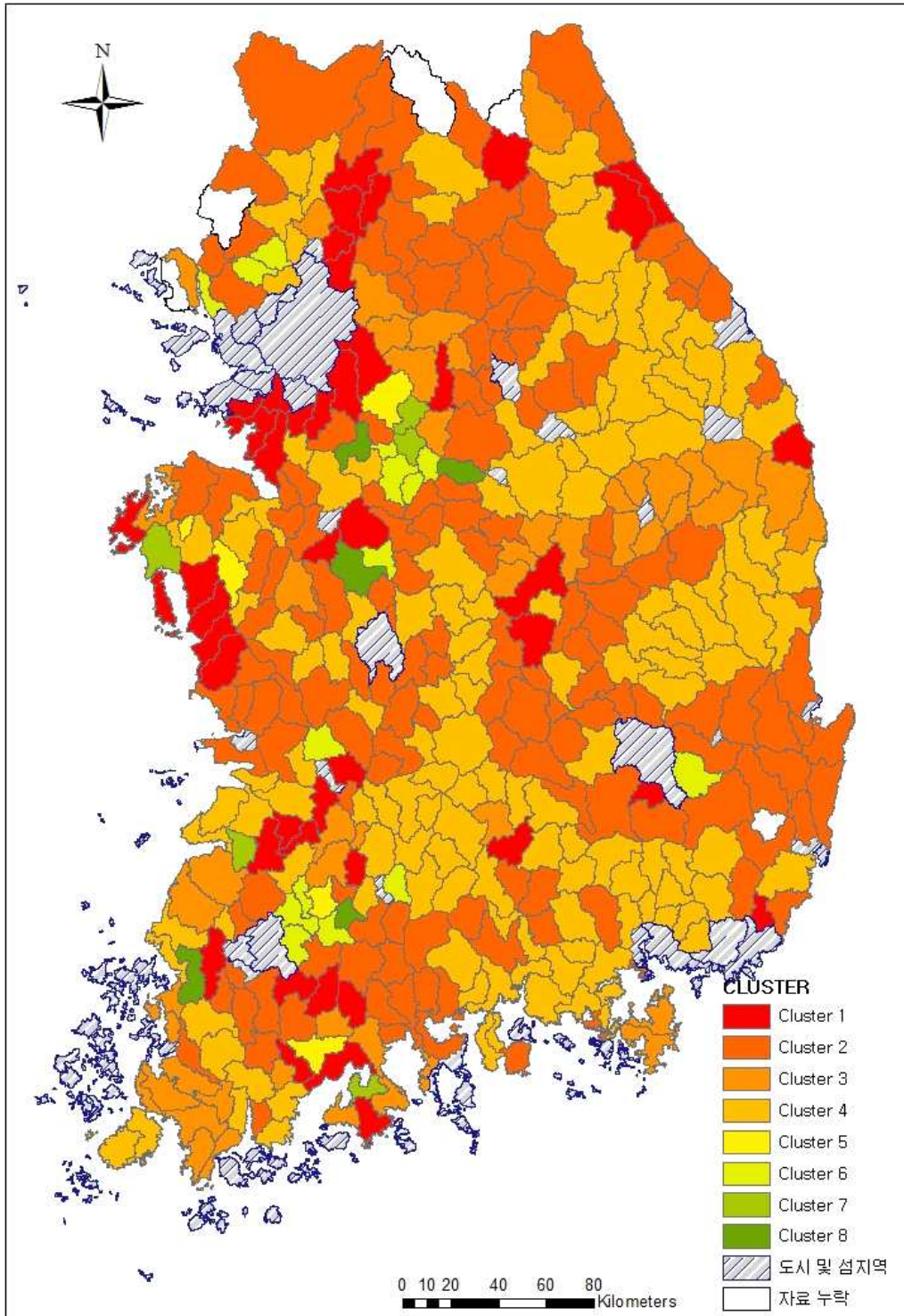
농업용수이용특성에 따라 분류된 용수구역 유형 5(Cluster 5)에서 8(Cluster 8)까지의 농업용수 수요량대비 공급량비율과 농경지 중 발비율, 개발가능량 대비 지하수 이용량의 중앙값을 (그림 6-3)의 방사형 그래프와 (표 6-8)에 표시하였다.



(표 6-8) 용수구역 유형별 특성 (Cluster 5~8)

평가지표	Cluster 5	Cluster 6	Cluster 7	Cluster 8
	N: 5	N: 15	N: 5	N: 5
	Median	Median	Median	Median
농경지중 발비율(LC)	45	44.8	51.2	37.1
논용수 수요 대비 공급 비율(F1)	69.5	88.3	64.1	87.9
밭용수 수요 대비 공급 비율(F2)	8.0	8.5	65.2	52.0
개발가능량대비 지하수이용량(G1)	86.2	98.7	84.7	94.0

용수구역별 농업용수이용 특성에 따른 유형분류 결과를 (그림 6-4)와 같이 지도로 나타내었다. (표 6-9)에는 유형별-지역별 용수구역의 상세목록을 정리하여 표시하였다. 지하수 개발 우선순위 1순위 지역(Cluster 1) 중 농경지 중 발면적 비율이 50% 이상인 지역은 경기도에 8개 용수구역이 해당하는 것으로 나타나 다른 시도에 1~2개 용수구역이 해당하는 것에 비해 상대적으로 많은 지역이 분포하고 있었다. 즉, 근교농업이 이루어지고 있는 수도권 인근지역에서 논용수 뿐만 아니라 밭용수의 부족이 예상되고 있음을 알 수 있다.



(표 6-9) 유형별-지역별 용수구역 상세 목록

분류	지역	농경지 대비	농경지 대비
		발면적 50% 이상 지역	발면적 50% 이하 지역
군집1 (19/25)	경기	화서, 포군, 용기, 남진, 포동, 포신, 광포, 광초	화태, 화비, 여북, 화우, 평포, 철동
	강원	양동	양손, 양강
	충남		태면, 남포, 태이, 보청, 홍서, 보외, 천성
	경북	울북, 상외	상리
	경남	합봉	
	전북	정감, 완용	정산, 임삼, 완구, 정북
	전남	화릉, 승외	동평, 고포, 화남, 보성
	세종	천광	
	대구	경가	
	광주	합라	
	부산		양철
군집2 (78/75)	경기	가설, 개령1, 연백, 가외, 춘남, 가북, 파주1, 연천2	평고, 용외, 아영, 원문, 용남, 김고, 철원1
	강원	횡소, 명성, 원관, 원신, 홍공, 횡천, 화상, 횡서, 삼근, 명사, 명강, 인남, 횡청, 영주, 춘동, 양방, 홍남, 홍화, 평방, 춘신, 홍두, 원양	강릉1, 고죽, 고거, 철근
	충북	옥동, 청부, 괴소, 괴도, 기장, 괴청, 괴칠, 영매	음원, 진문, 청주1, 청북
	충남	금부, 금추, 금남	공주1, 기산, 부여, 아인, 예대, 부은, 부흥, 청대, 익용, 서비, 아송, 예광, 부서, 당고, 당송, 논가
	경북	금농, 감문, 영지, 군부, 예상, 칠석, 금대, 안풍, 영연, 영금, 청도, 영화, 금봉, 영자, 안예	포항1, 칠동, 천호, 선해, 선장, 의단, 상화, 낙동, 성월, 경주1, 성가, 의신, 영청, 영기
	경남	의구, 통도, 진집, 산삼, 구문	산신, 성운, 합쌍, 양하, 함범, 진수, 남상

(표 6-9) 유형별-지역별 용수구역 상세 목록(계속)

분류	지역	농경지 대비 발면적 50% 이상 지역	농경지 대비 발면적 50% 이하 지역
군집3 (23/26)	경기	원지, 동두1, 양지, 양조	여감, 양금, 여서
	강원	봉석, 인서	
	충남	서지	유구
	경북	봉상, 문가, 영안, 문농, 문호, 예영 준양, 봉법, 봉영	영봉, 영순, 울기, 문산, 울원
	경남	거장	거남, 거사
	전북	임신	순강, 고평, 고원, 임성
	전남	무청, 여소, 해화, 무망	해계, 장군, 고도, 해북, 고과, 해황, 보문, 해산, 해현, 보벌, 해삼
	인천	강선	
군집4 (68/69)	경기	양남, 연청	고송, 평서, 안서, 파적, 연왕 천직
	강원	영북, 영송, 춘사, 정동, 평대, 정남, 인기, 정김, 평용, 삼하, 횡둔, 삼원, 단가, 삼미, 정도, 인북, 평진, 영상, 정신, 화간, 인상	
	충북	단적, 영산, 증상, 제봉, 단대, 보미, 제산	보내
	충남	논양, 영양	부석, 공논, 당우, 예오, 청청, 서해, 청화
	경북	안남, 영황, 의금, 안임, 옥청, 의옥, 청현, 군의, 의안, 영영, 안길, 영석, 영달, 청송	상사, 보마, 군소, 선산, 영창
	경남	통용, 창대, 하적, 진주1, 거고, 함마, 하금, 밀삼, 남서	고동, 창북, 산성, 사포, 진지, 합적, 김진, 고회, 밭하, 함칠, 합합, 거가, 거위, 밭부, 밭상, 의부, 고영, 창계, 창진, 함울, 산산, 사용, 창리, 창가, 의정, 하화, 함수, 남설

(표 6-9) 유형별-지역별 용수구역 상세 목록(계속)

분류	지역	농경지 대비 밭면적 50% 이상 지역	농경지 대비 밭면적 50% 이하 지역
군집5 (0/5)	경기		이흥
	충남		서산1, 홍금
	전북		순금
	전남		보노
군집6 (7/8)	경기	김양, 진리	안삼, 생극, 파교, 파문
	충북	음삼	천동
	전북	완봉	남이
	전남	담용	곤옥, 담수
	대구	경하	
	광주	담고	
군집7 (3/2)	경기	이설, 여가	
	충남		근흥
	전북	정입	
	전남		고대
군집8 (1/4)	경기		안고
	충북	중신	
	전북		곡입
	전남		함신
	세종		연전

6.2 가뭄분석 결과에 따른 용수구역 분류

6.2.1 기후변화 시나리오별 지속기간 1~3개월 SPI의 가뭄 특성 분석을 통한 용수구역 분류

가뭄 특성에 따른 용수구역을 분류하기 위해서는 기준이 되는 지수가 필요하며 이에 따라 본 연구에서는 2011년부터 2050년 동안의 SPI 산정결과를 토대로 가뭄지속기간과 가뭄심도를 분석하고 각각의 평균과 편차를 활용하여 용수구역별 가뭄 지속기간 및 가뭄심도를 0점에서 5점(극심한 가뭄)으로 구분하여 나타내었다.

1) RCP 2.6 시나리오

RCP 2.6 시나리오 기반의 2011년부터 2050년 동안의 지속기간 1개월의 SPI를 통한 용수구역별 가뭄 지속기간과 가뭄심도의 평균값과 5점 척도법 이용한 점수값을 (그림 6-5)에 나타내었다.

지속기간 1개월 SPI를 통한 가뭄지속기간 및 가뭄심도 산정 결과를 살펴보면 한강 유역을 포함하는 북부지역의 가뭄지속기간에 따른 점수값이 남부지역보다 높은 4-5점으로 나타났다. 가뭄심도의 경우 역시 한강 유역 내에 위치한 용수구역들의 점수가 높은 것으로 나타났으며 이는 한강 유역의 가뭄에 대한 피해가 타 용수구역들 보다 심각할 수 있음을 의미한다.

(그림 6-6)의 지속기간 3개월 SPI를 통한 가뭄 특성을 살펴보면 한강 서해 유역에 위치한 용수구역들의 가뭄지속기간 점수가 타 용수구역들보다 높게 나타났다. 가뭄심도에 따른 점수 역시 한강 서해 유역과 낙동강 유역의 서부지역에 위치한 용수구역들의 점수가 높게 나타남을 확인할 수 있다.

2) RCP 4.5 시나리오

RCP 4.5 시나리오 기반의 지속기간 1개월 SPI를 통한 가뭄지속기간 및 가뭄심도 산정 결과를 살펴보면 동해안 지역에 위치한 용수구역들의 가뭄지속기간에 따른 점수값이 타 지역보다 높게 나타났다. 가뭄심도의 경우

동해안 인접 용수구역들의 타 지역과의 뚜렷한 차이를 보이고 있으며 동해안 지역의 가뭄심도의 점수가 높게 나타났고, 미래 가뭄에 대한 대비가 필요할 것으로 판단된다(그림 6-7).

지속기간 3개월 SPI를 통한 가뭄 특성을 살펴보면 남해안 인접지역과 한강 유역 내에 위치한 용수구역들의 가뭄지속기간과 가뭄심도 점수가 높게 나타났다. 즉, 지속기간 1개월 단위의 단기 가뭄은 동해안 인접 지역에서 심각한 피해를 발생시킬 수 있고, 지속기간 3개월 장기 가뭄에 대한 피해는 남해안 인접지역에서 크게 발생할 수 있다(그림 6-8).

3) RCP 6.0 시나리오

RCP 6.0 시나리오 기반의 지속기간 1개월 SPI를 통한 가뭄지속기간과 가뭄심도 산정 결과를 살펴보면 한강과 한강 서해 유역에 위치한 용수구역들의 가뭄 지속기간과 가뭄심도 점수값이 타 지역보다 높게 나타났다(그림 6-9).

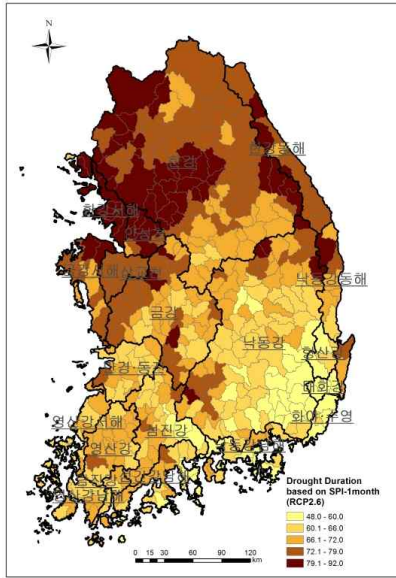
지속기간 3개월 SPI를 통한 가뭄지속기간 및 가뭄심도를 살펴보면 중서부 지역에 위치한 용수구역들의 가뭄지속기간과 가뭄심도 점수가 높게 나타났다. 즉, 지속기간 1개월과 3개월 가뭄에 대한 피해는 서해안 인접지역에서 크게 발생할 수 있음을 의미한다(그림 6-10).

4) RCP 8.5 시나리오

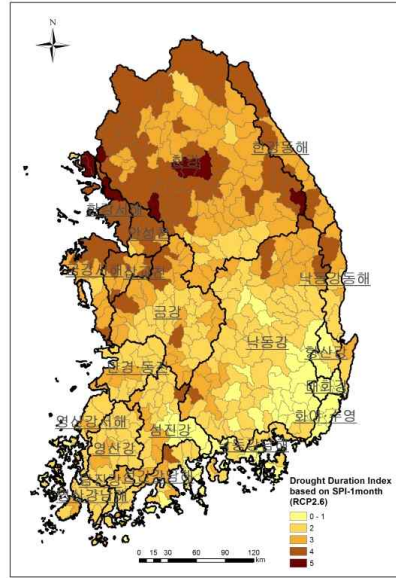
RCP 8.5 시나리오 기반의 지속기간 1개월 SPI를 통한 가뭄지속기간과 가뭄심도 산정 결과를 살펴보면 섬진강과 영산강 유역에 위치한 용수구역들의 가뭄 지속기간과 가뭄심도 점수값이 타 지역보다 높게 나타났다(그림 6-11).

지속기간 3개월 SPI를 통한 가뭄지속기간 및 가뭄심도를 살펴보면 영산강의 가뭄정도가 금강까지 확대되어 서부지역에 위치한 용수구역들의 가뭄지속기간과 가뭄심도 점수가 높게 나타났다(그림 6-12).

Duration

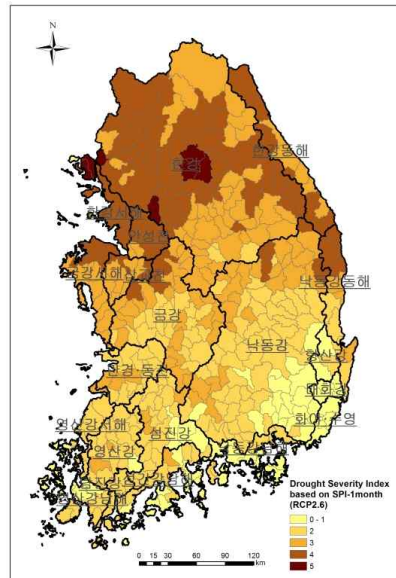
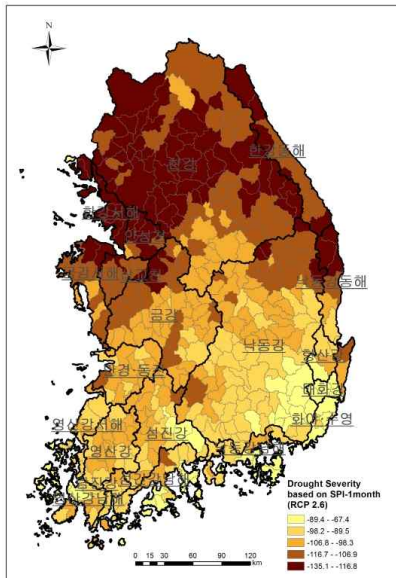


(a) Total

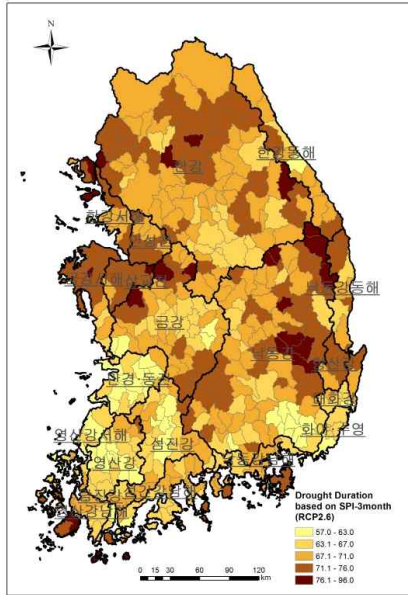


(b) Index

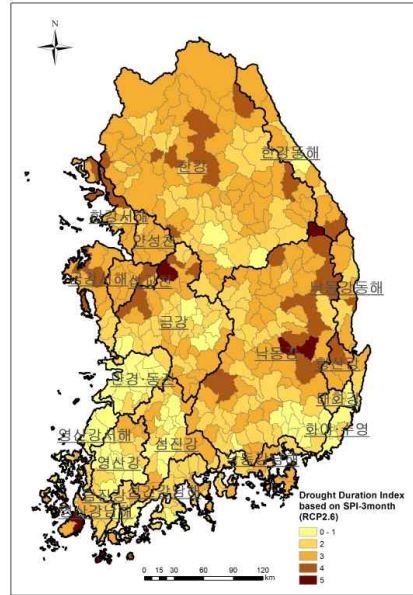
Severity



Duration

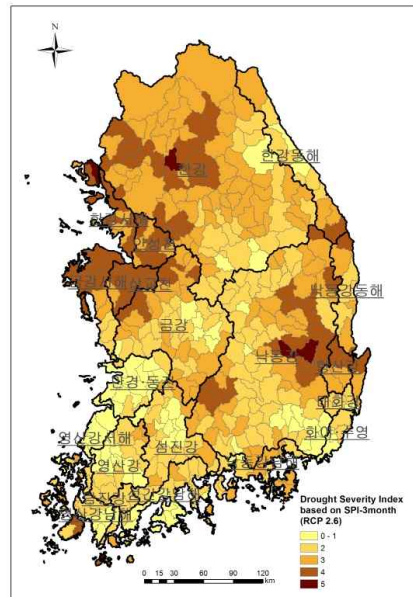
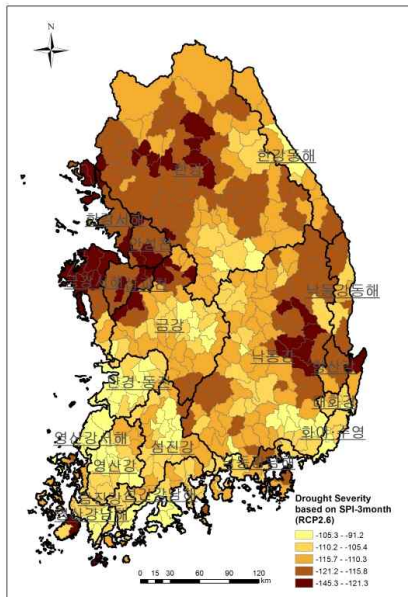


(a) Total

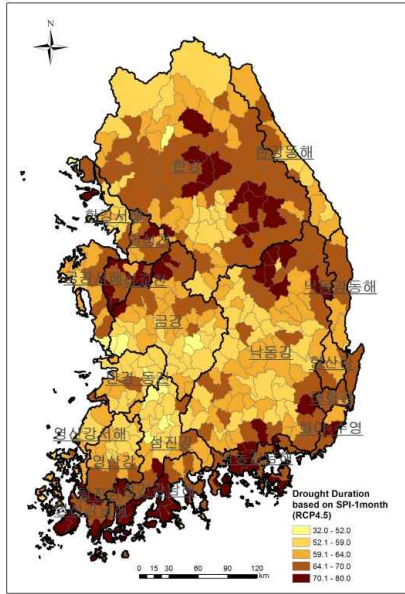


(b) Index

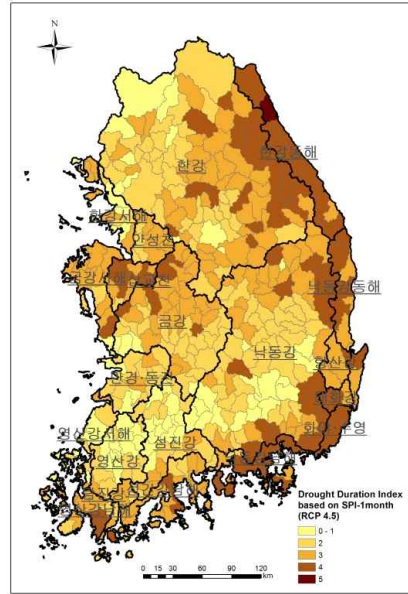
Severity



Duration

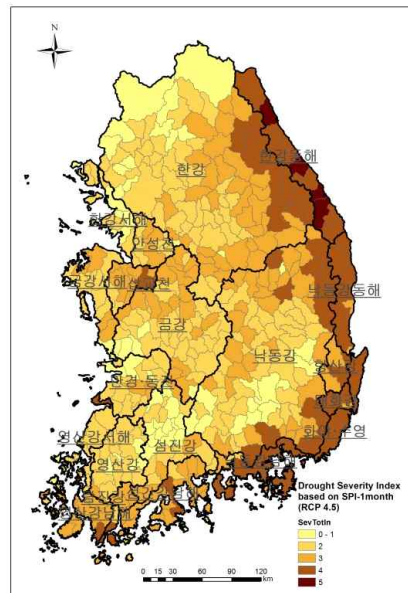
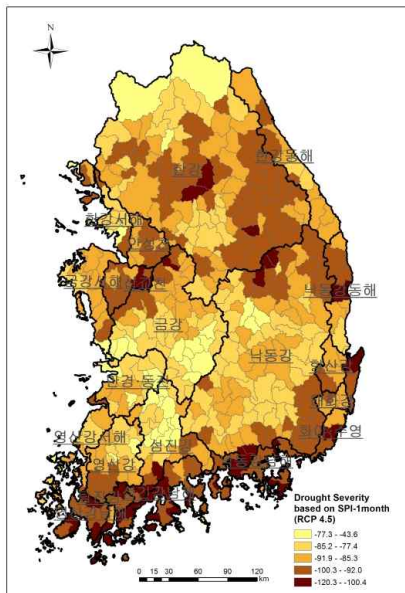


(a) Total

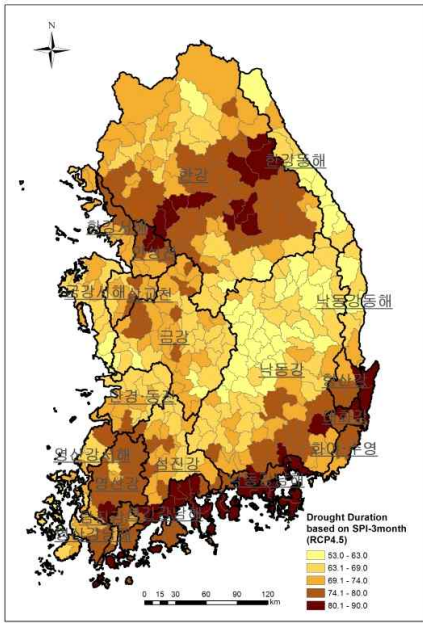


(b) Index

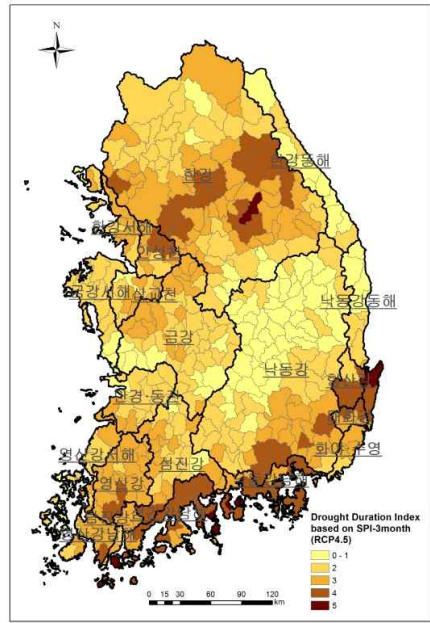
Severity



Duration

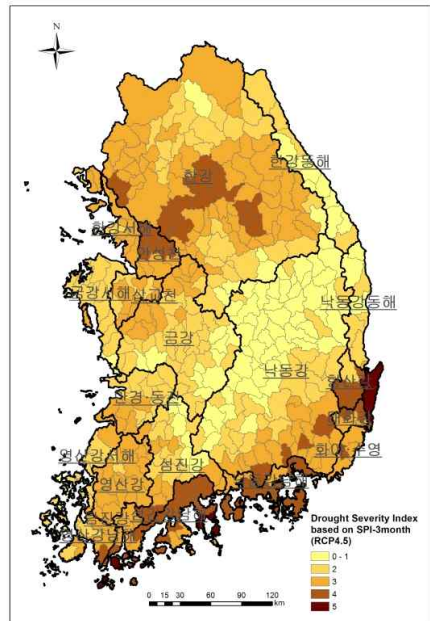
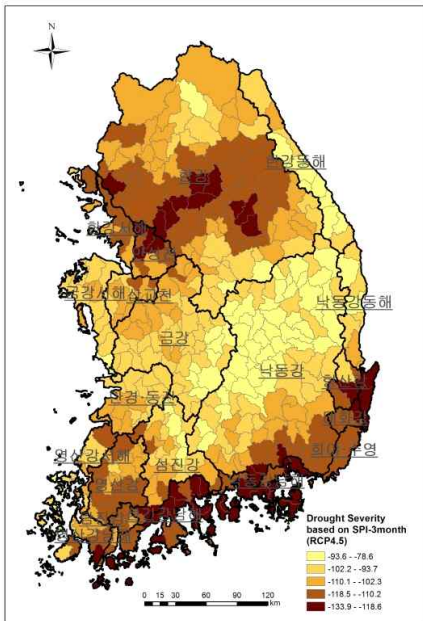


(a) Total

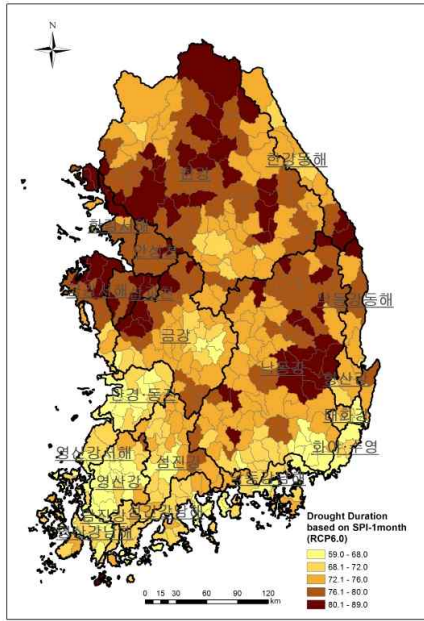


(b) Index

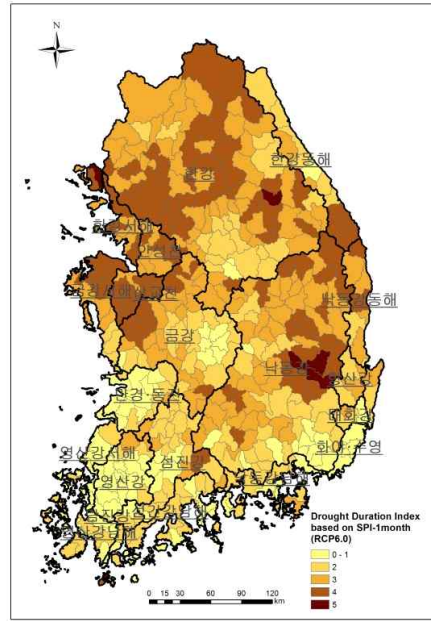
Severity



Duration

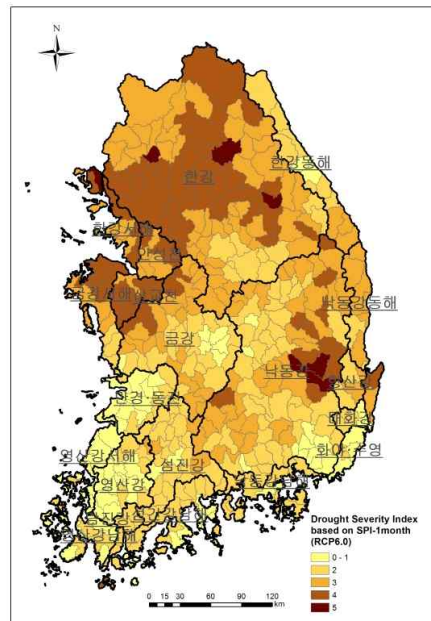
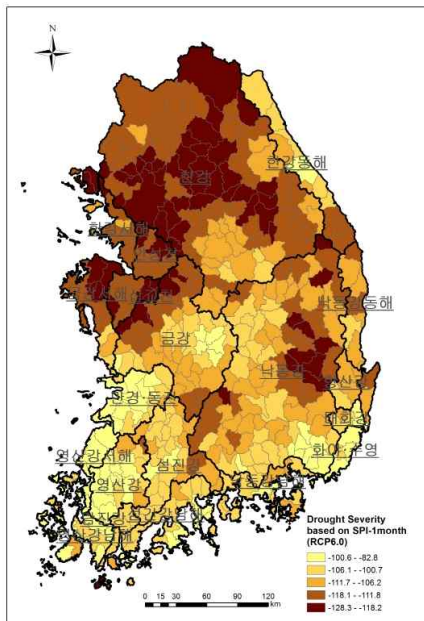


(a) Total

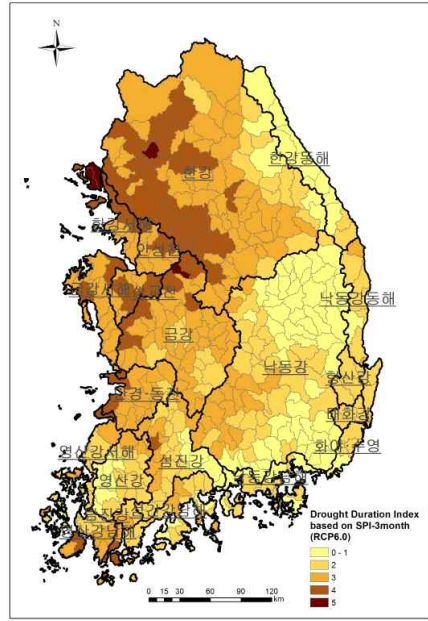
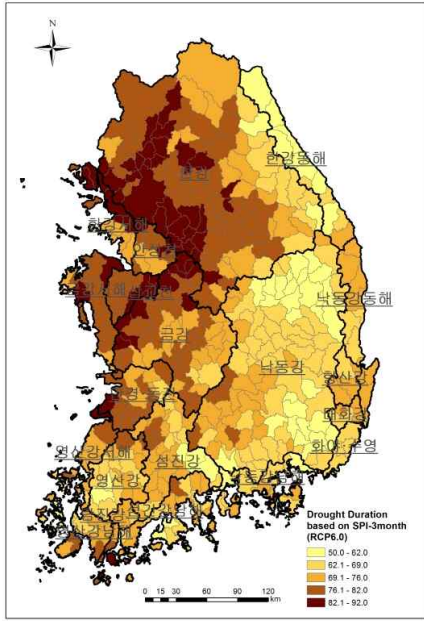


(b) Index

Severity



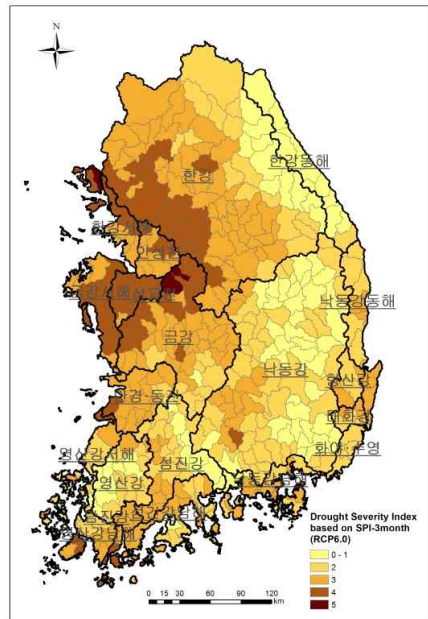
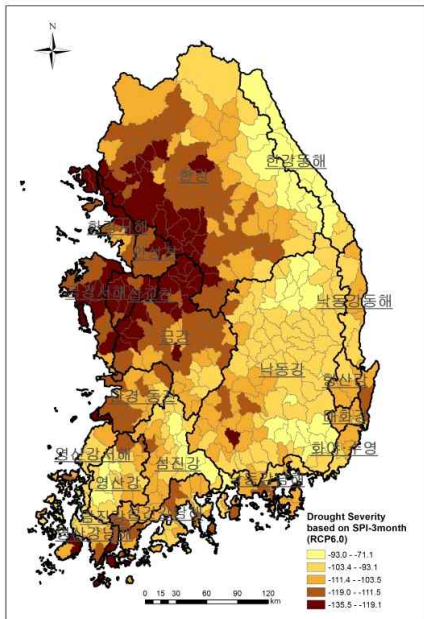
Duration



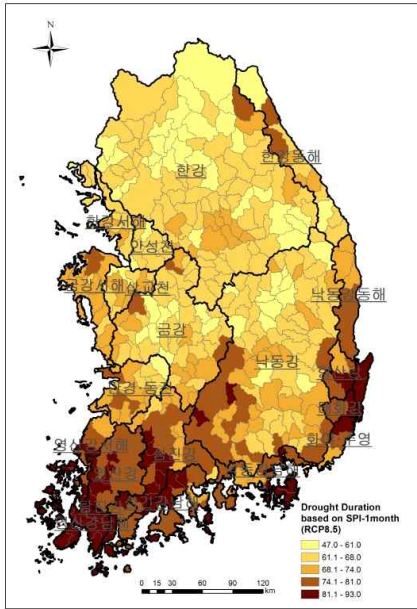
(a) Total

(b) Index

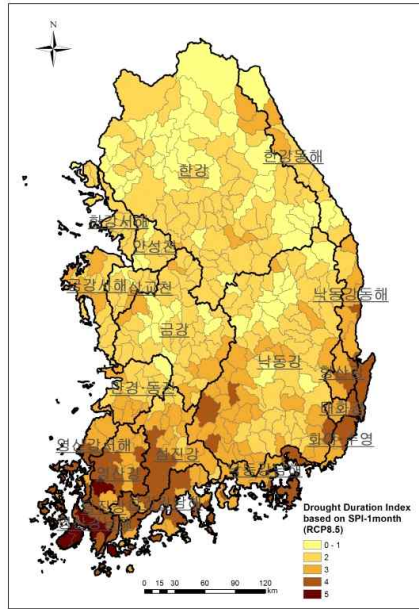
Severity



Duration

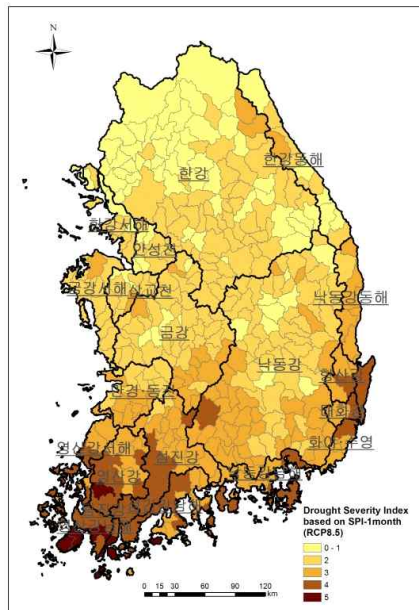
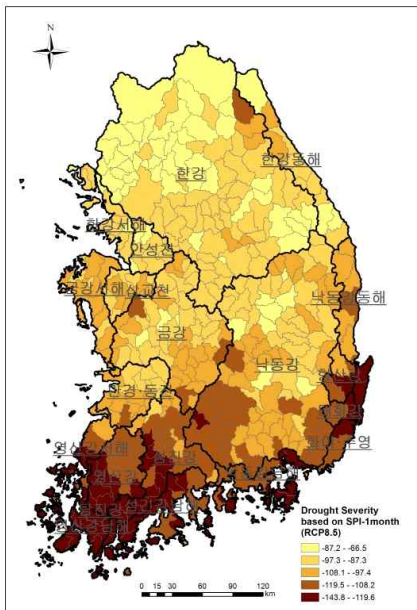


(a) Total

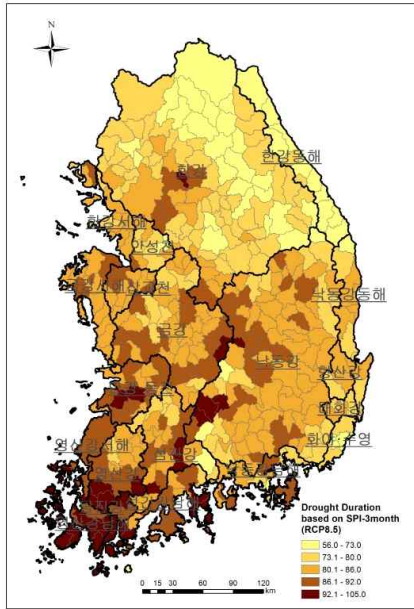


(b) Index

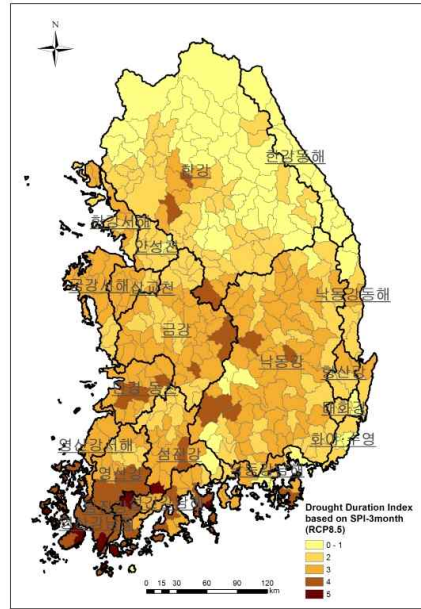
Severity



Duration

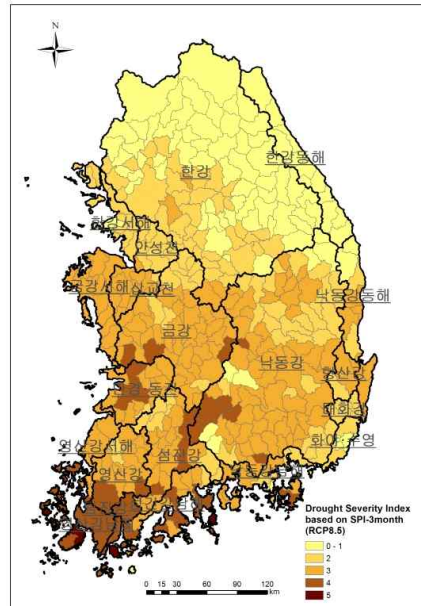
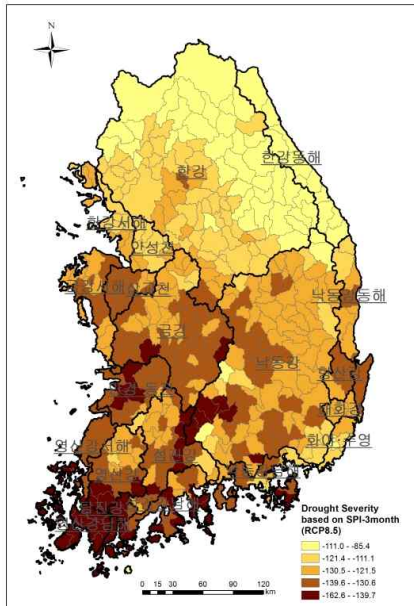


(a) Total



(b) Index

Severity



6.2.2 기후변화 시나리오별 지속기간 1~3개월 SPEI의 가뭄 특성 분석을 통한 용수구역 분류

가뭄 특성에 따른 용수구역을 분류하기 위해서는 기준이 되는 지수가 필요하며 이에 따라 본 연구에서는 2000년부터 2050년 동안의 SPEI 산정 결과를 토대로 가뭄지속기간과 가뭄심도를 분석하고 각각의 평균과 편차를 활용하여 용수구역별 가뭄 지속기간 및 가뭄심도를 0점에서 5점(극심한 가뭄)으로 구분하여 나타내었다.

1) RCP 2.6 시나리오

지속기간 1개월 SPEI를 통한 가뭄지속기간 및 가뭄심도 산정 결과를 살펴보면 SPI와 유사한 결과가 나타났다. 한강 유역을 포함하는 북부지역의 가뭄지속기간에 따른 점수값이 남부지역보다 높은 4-5점으로 나타났다. 가뭄심도의 경우 역시 한강 유역 내에 위치한 용수구역들의 점수가 높은 것으로 나타났으며 이는 한강 유역의 가뭄에 대한 피해가 타 용수구역들보다 심각할 수 있음을 의미한다(그림 6-13).

지속기간 3개월 SPEI를 통한 가뭄 특성을 살펴보면 한강과 한강 서해 유역에 위치한 용수구역들의 가뭄지속기간 및 가뭄심도 점수가 타 용수구역들보다 높게 나타났다.(그림 6-14).

2) RCP 4.5 시나리오

RCP 4.5 시나리오 기반의 지속기간 1개월 SPEI를 통한 가뭄지속기간 및 가뭄심도 산정 결과를 살펴보면 한강 유역 내 일부 용수구역과 남해안 인접지역의 용수구역들의 가뭄 지속기간과 가뭄심도에 따른 점수값이 타 지역보다 높게 나타났다(그림 6-15).

지속기간 3개월 SPEI를 통한 가뭄 지속기간과 가뭄심도 점수를 살펴보면 지속기간 1개월 SPEI와 유사한 결과를 보여준다. 즉, 한강 유역 내 일부 용수구역과 남해안 인접지역의 용수구역들의 가뭄점수가 높게 나타났다(그림 6-16).

3) RCP 6.0 시나리오

RCP 6.0 시나리오 기반의 지속기간 1개월 SPEI를 통한 가뭄지속기간과 가뭄심도 산정 결과를 살펴보면 금강과 섬진강 하류 유역에 위치한 용수구역들의 가뭄 지속기간과 가뭄심도 점수값이 타 지역보다 높게 나타났다(그림 6-17).

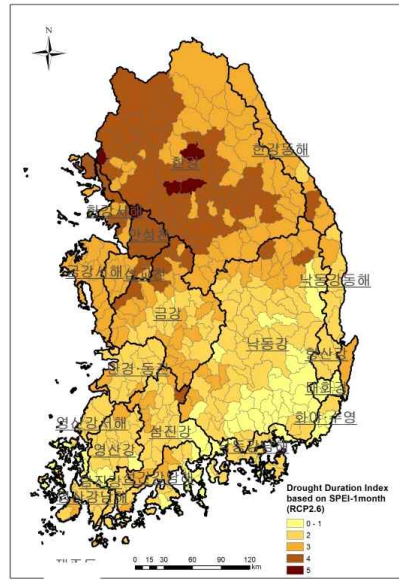
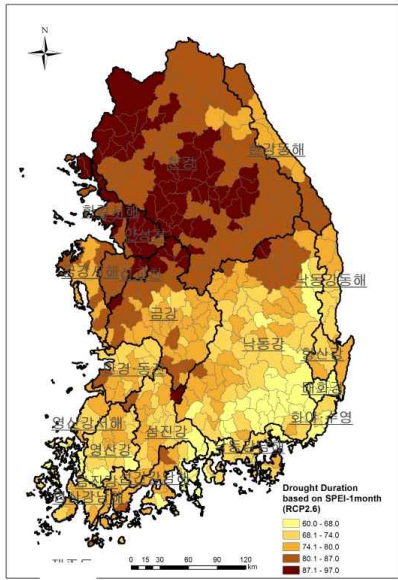
지속기간 3개월 SPEI를 통한 가뭄지속기간 및 가뭄심도를 살펴보면 한강 유역과 금강 유역 내에서 북부에 위치한 용수구역들의 가뭄지속기간과 가뭄심도 점수가 높게 나타났다(그림 6-18).

4) RCP 8.5 시나리오

RCP 8.5 시나리오 기반의 지속기간 1개월 SPEI를 통한 가뭄지속기간과 가뭄심도 산정 결과를 살펴보면 섬진강과 영산강 유역에 위치한 용수구역들의 가뭄 지속기간과 가뭄심도 점수값이 타 지역보다 상당히 높게 나타났다(그림 6-19).

지속기간 3개월 SPEI를 통한 가뭄지속기간 및 가뭄심도를 살펴보면 섬진강 하류 유역 내에 위치한 용수구역들의 가뭄지속기간과 가뭄심도 점수가 높게 나타났다(그림 6-20).

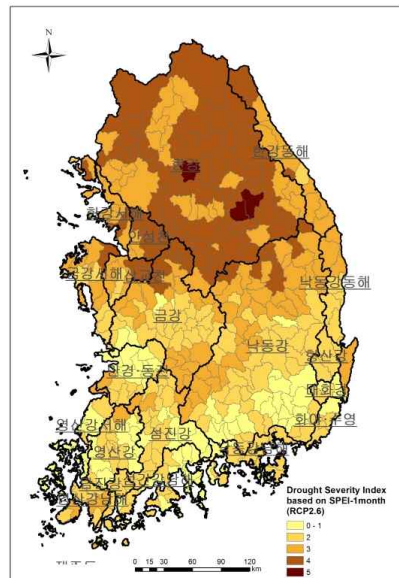
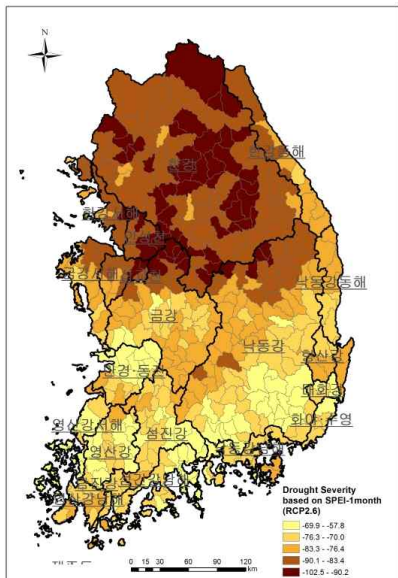
Duration



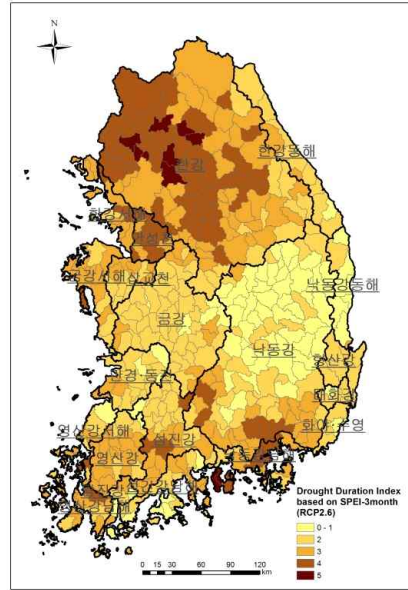
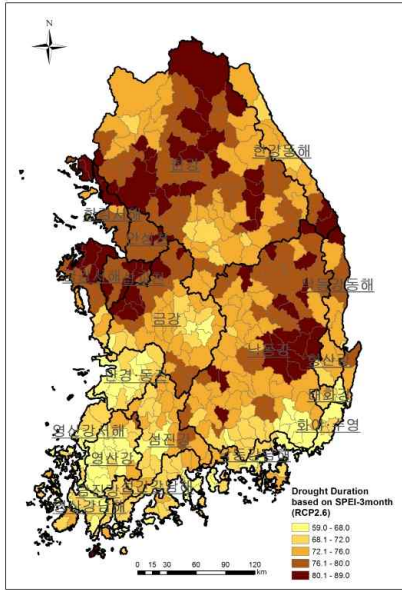
(a) Total

(b) Index

Severity



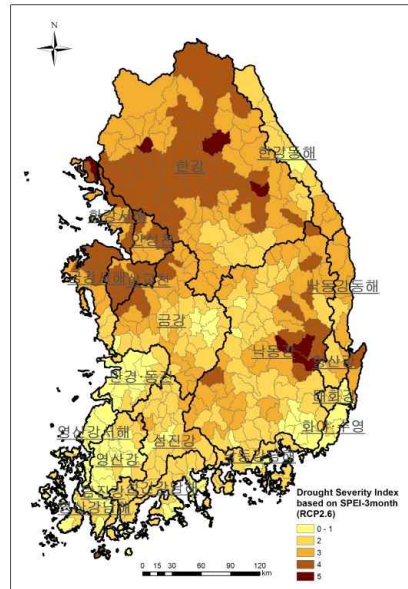
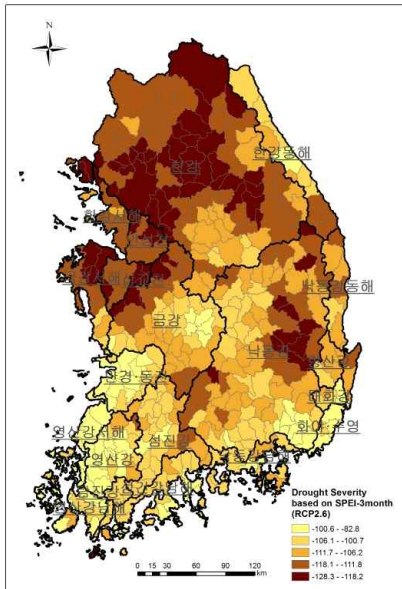
Duration



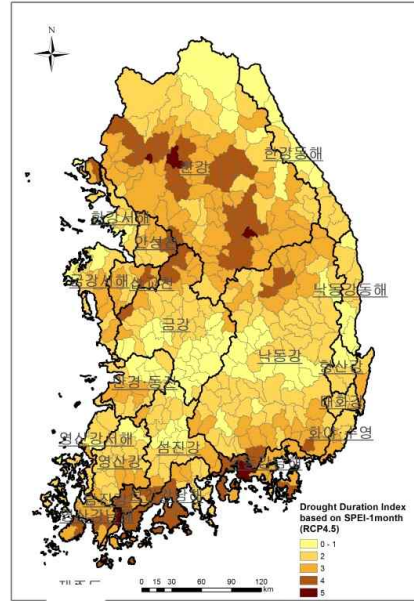
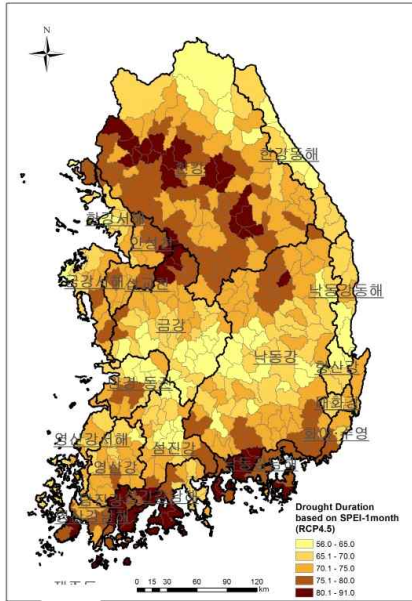
(a) Total

(b) Index

Severity



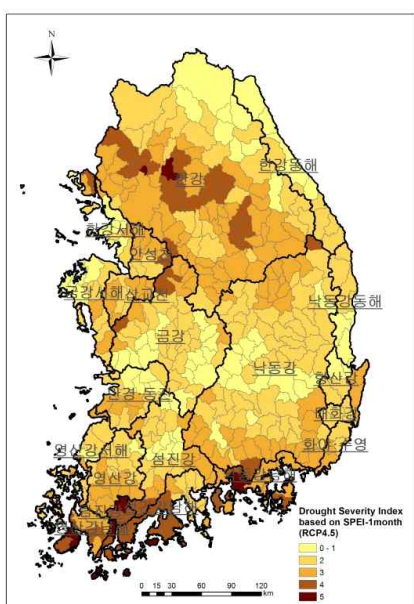
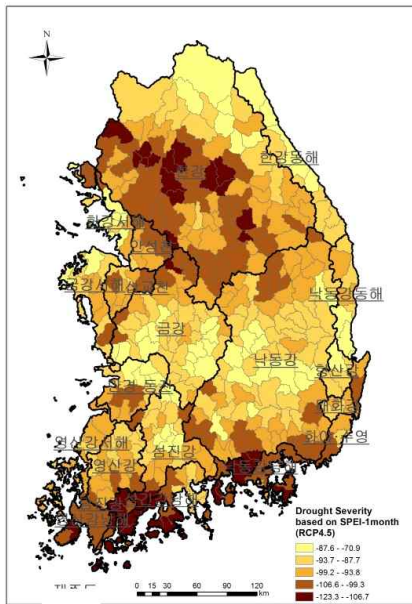
Duration



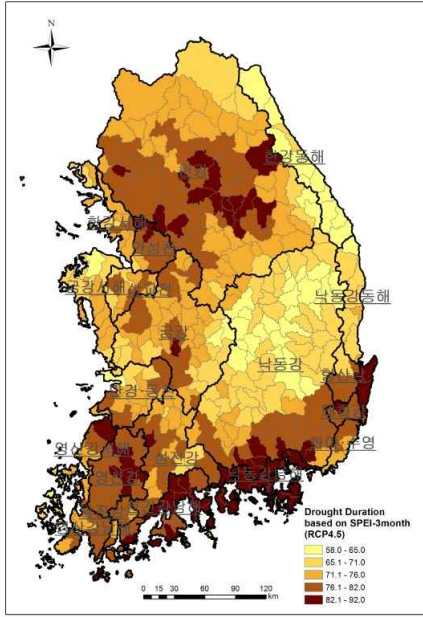
(a) Total

(b) Index

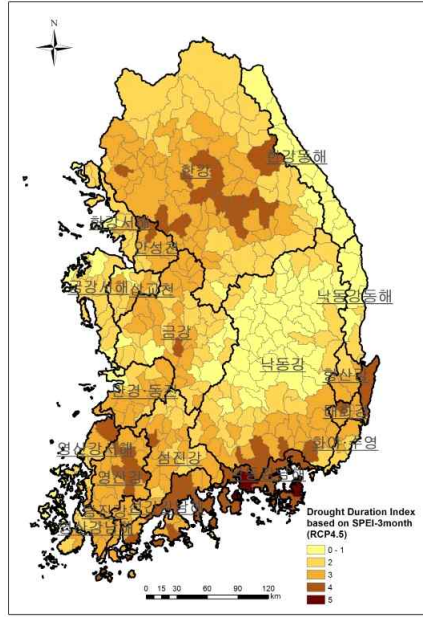
Severity



Duration

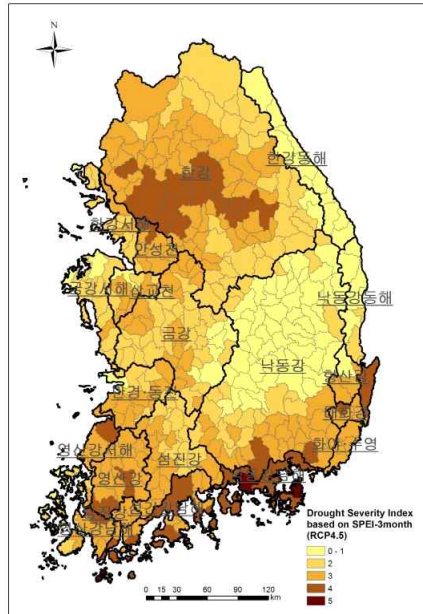
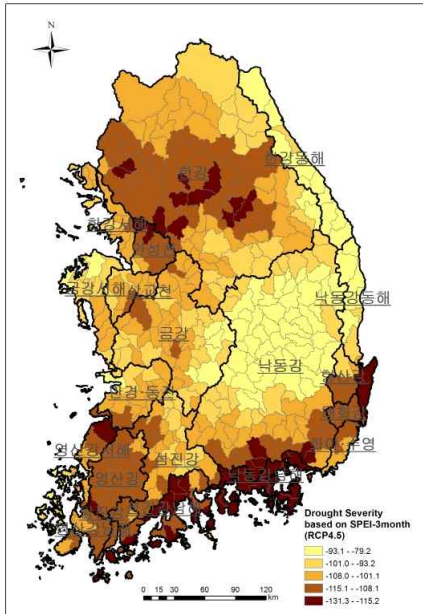


(a) Total

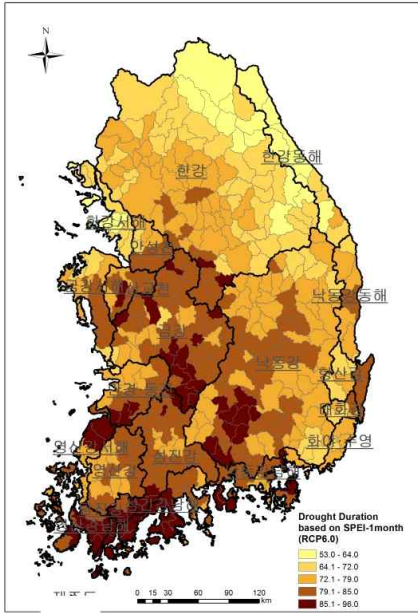


(b) Index

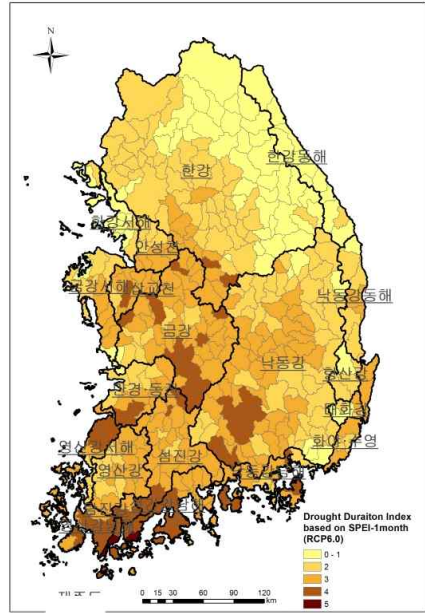
Severity



Duration

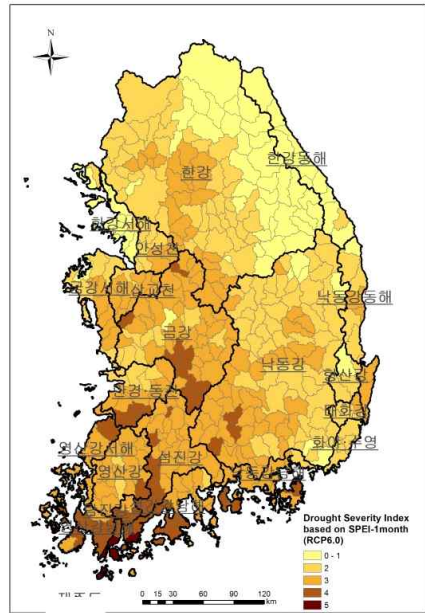
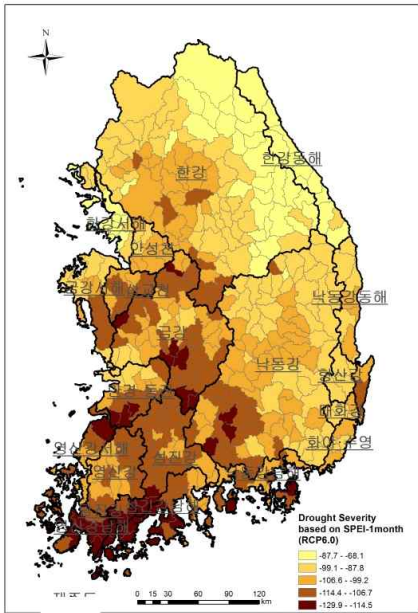


(a) Total

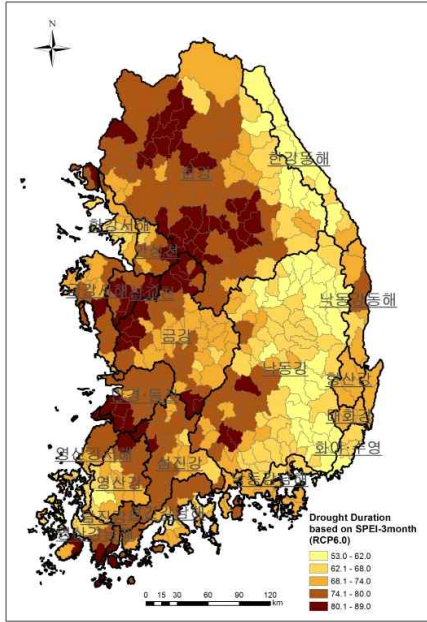


(b) Index

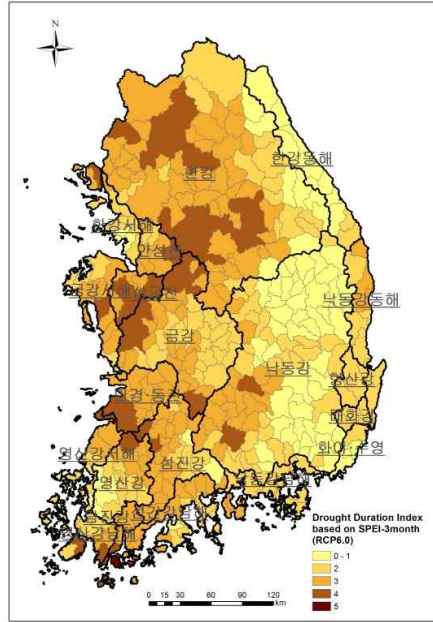
Severity



Duration

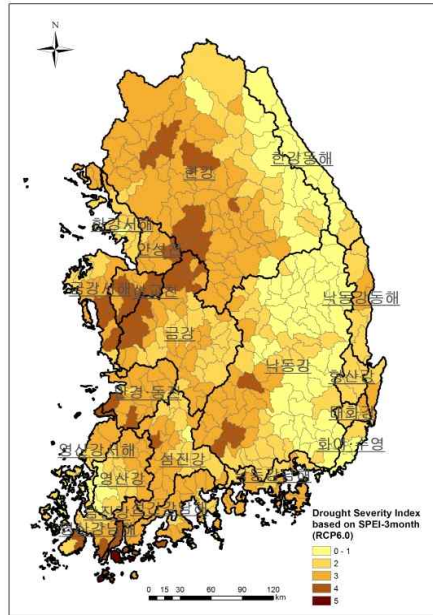
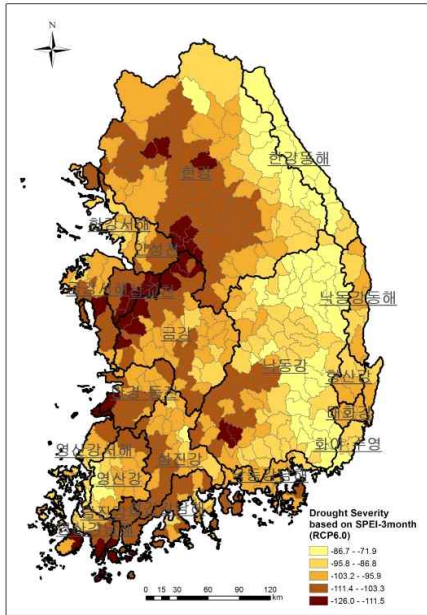


(a) Total

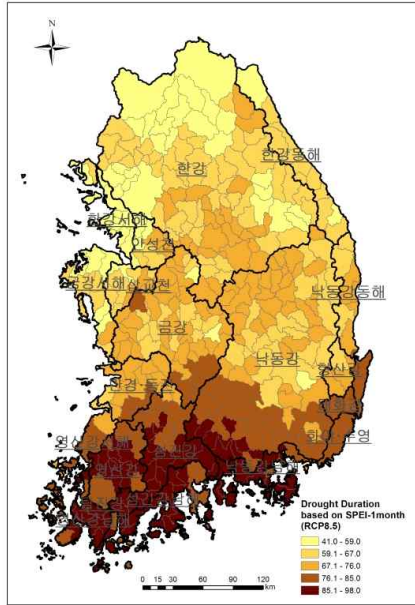


(b) Index

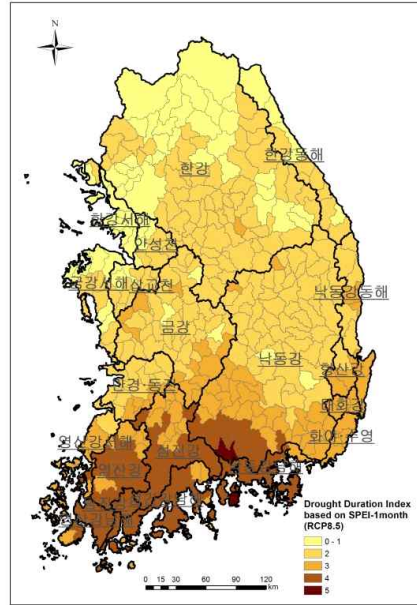
Severity



Duration

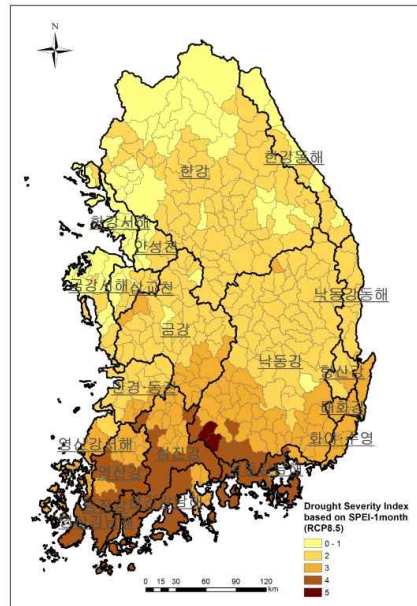
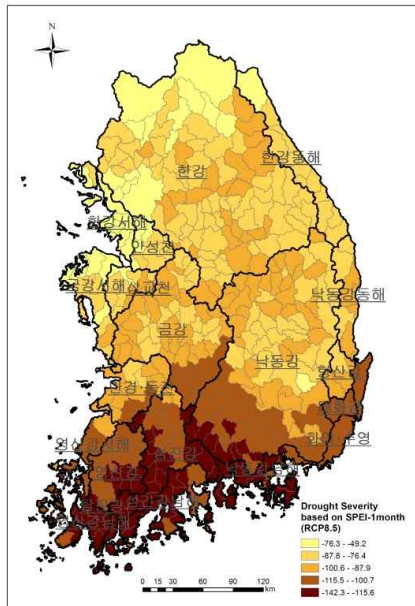


(a) Total

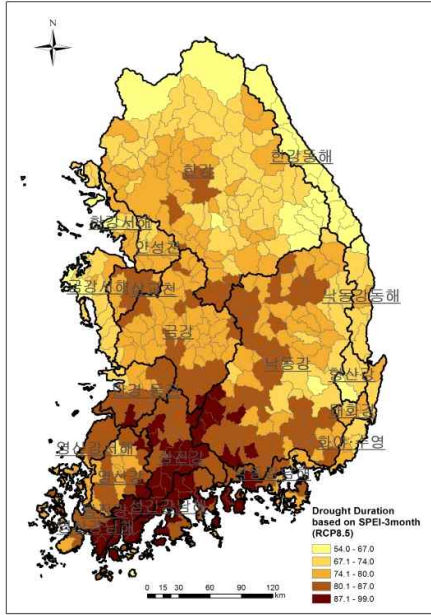


(b) Index

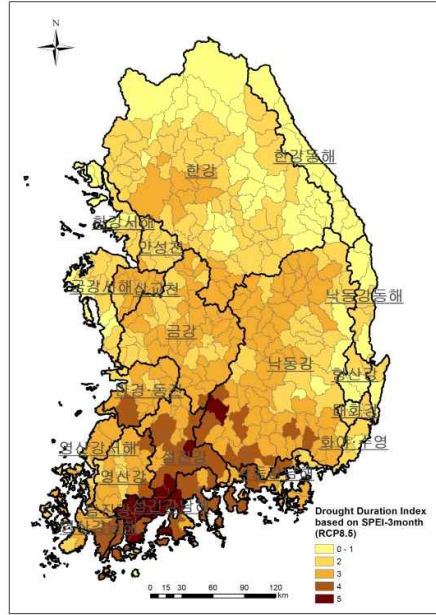
Severity



Duration

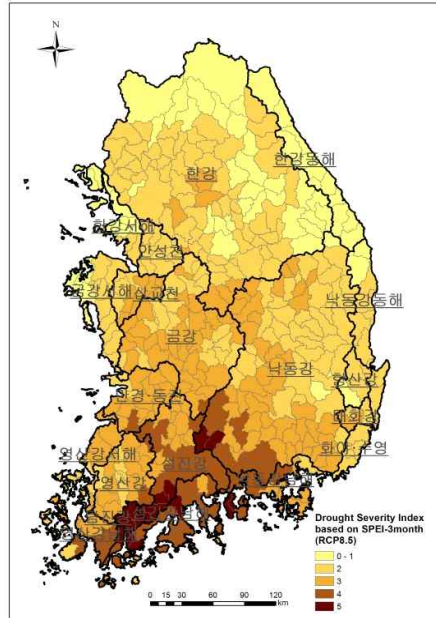
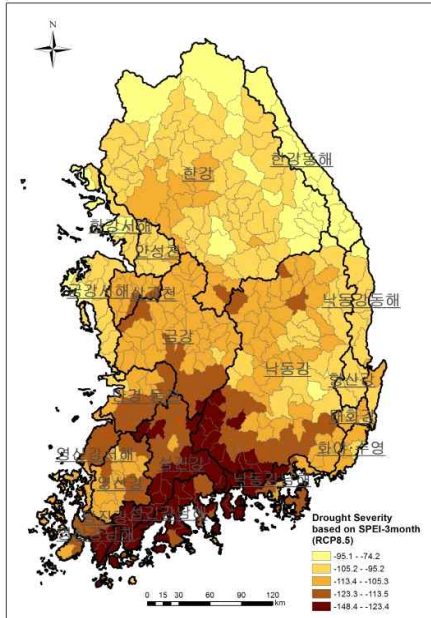


(a) Total



(b) Index

Severity



제 7 장

용수구역별 가뭄
취약지역 제시

제7장 용수구역별 가뭄 취약지역 제시

7.1 가뭄대비가 필요한 용수구역 선정

7.1.1 기후변화 및 지하수 기반 가뭄대비가 필요한 용수구역 제시

이 연구에서 제시된 농업용수이용 특성에 따른 유형분류 결과와 RCP시나리오에 따른 용수구역별 단기 및 중장기 미래 가뭄 분석 결과 중 평균과 표준편차를 활용한 표준점수제를 바탕으로 기후변화 및 지하수 기반 가뭄대비가 필요한 가뭄취약지구의 우선순위를 제시하였다. 그 결과는 (그림 7-1) 및 (표 7-1)~(표 7-2)와 같다.

RCP 4.5 시나리오의 경우, 유형 1 중에 농경지 대비 발면적이 50% 이상이면서, SPEI 1개월과 3개월의 가뭄심도 표준점수의 합계가 제일 높은 용수구역은 포군, 남진, 광초 구역으로 우선순위가 가장 높은 것으로 분류되었다. 그 다음으로 우선순위가 높은 용수 구역은 정감, 천광 등 13개 용수구역이고, 그 외 합봉, 상외, 양동 용수구역이 유형 1 중에서는 우선순위가 가장 낮은 것으로 나타났다. 한편 농경지 대비 발면적이 50% 이하이면서 우선순위가 가장 높은 지역은 고포 및 천성 용수구역이었다.

유형 2 중에 농경지 대비 발면적이 50% 이상이면서, SPEI 1개월과 3개월의 가뭄심도 표준점수의 합계가 제일 높은 용수구역은 흥남, 가북 등 16개 용수구역이 우선순위가 가장 높은 것으로 분류되었다. 그 다음으로 우선순위가 높은 용수 구역은 승별, 나동 등 30개 용수구역이고, 그 외 의구, 청부 등 22개 (표준점수합 3-4) 및 금농, 감문 등 10개 (표준점수합 1-2) 용수구역이 유형 중에서는 상대적으로 순위가 낮은 것으로 나타났다. 한편 농경지 대비 발면적이 50% 이하이면서 우선순위가 가장 높은 지역은 부흥, 장유 등 6개 용수구역이었다.

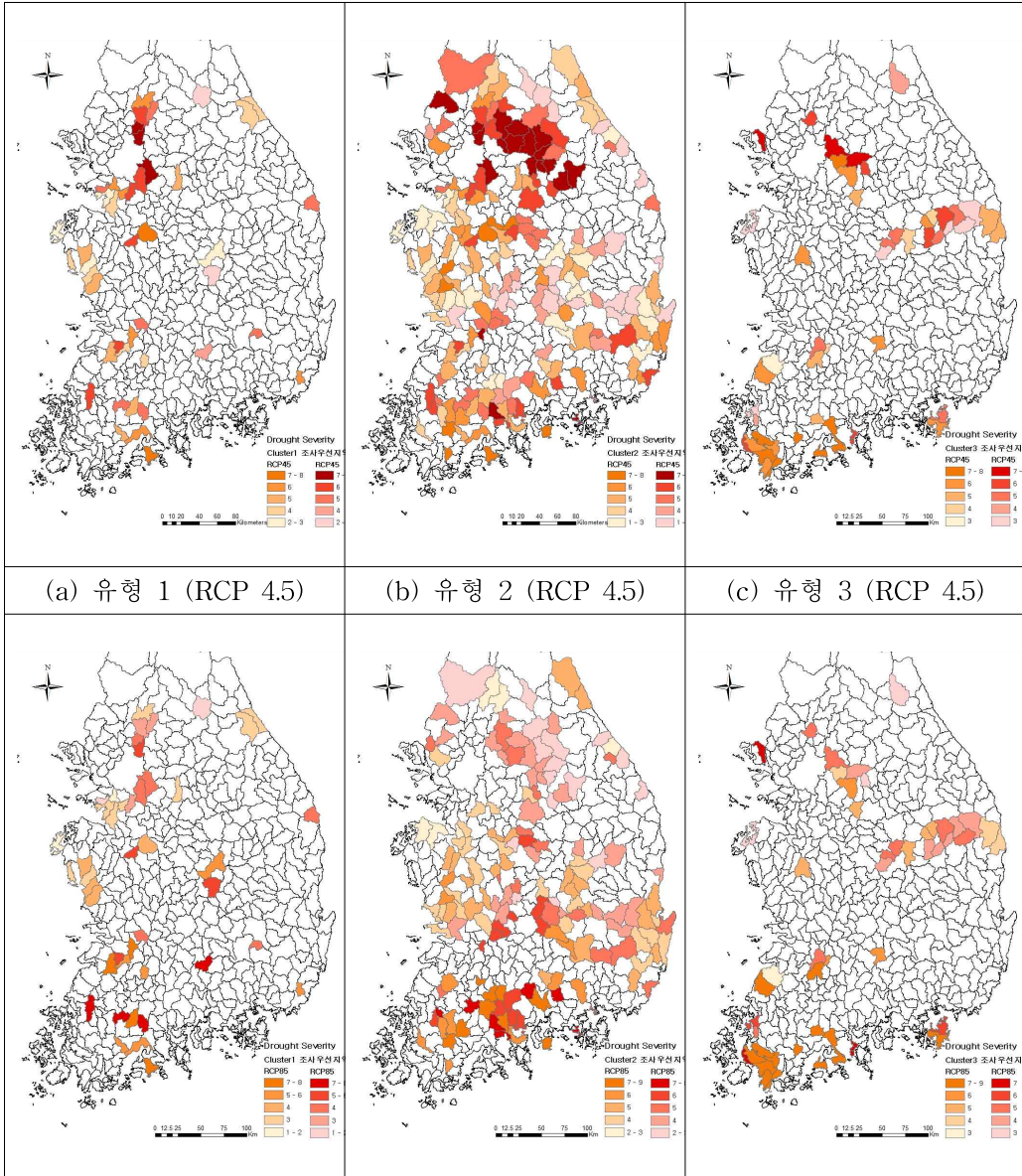
유형 3 중에 농경지 대비 발면적이 50% 이상이면서, SPEI 1개월과 3개월의 가뭄심도 표준점수의 합계가 제일 높은 용수구역은 양조, 강선 및 양지 용수구역이 우선순위가 가장 높은 것으로 분류되었다. 그 다음으로 우선순위가 높은 용수 구역은 여소, 해호 등 12개 용수구역이고, 그 외 무청, 인서 등 8개 용수구역이 유형 중에서는 순위가 가장 낮은 것으로 나타났다. 한편 농경지 대비 발면적이 50% 이하이면서 우선순위가 가장 높

은 지역은 고도, 해북 등 7개 용수구역이었다.

RCP 8.5 시나리오의 경우, 유형 1 중에 농경지 대비 발면적이 50% 이상이면서, SPEI 1개월과 3개월의 가뭄심도 표준점수의 합계가 제일 높은 용수구역은 승외, 함라 외 2개 용수구역이 제1순위 용수구역으로 분류되었다. 그 다음으로 제2순위 용수구역은 남진, 정감 외 2개 용수구역이었고, 제3순위 용수구역은 포군, 광초 외 9개 용수구역이었고, 우선순위가 가장 낮은 제4순위 용수구역은 양동 및 화서 용수구역이었다. 한편 농경지 대비 발면적이 50% 이하이면서 제1순위 용수구역은 화남, 고포, 완구, 정북 구역이었다.

유형 2 중에 농경지 대비 발면적이 50% 이상이면서 제1순위 용수구역인 지역은 승상, 승별 등 6개 용수구역이었고, 제2순위 용수구역은 완상, 나동 외 29개 용수구역이었고, 제3순위 용수구역은 흥남, 횡소 외 36개 용수구역이었고, 우선순위가 가장 낮은 제4순위 용수구역은 연천2 및 옥동 등 6개 용수구역이었다. 한편 농경지 대비 발면적이 50% 이하이면서 제1순위 용수구역은 화춘, 진수 등 6개 용수구역이었다.

유형 3 중에 농경지 대비 발면적이 50% 이상이면서 제1순위 용수구역인 지역은 강선, 여소, 해화 용수구역이었고, 제2순위 용수구역은 거장, 무망 외 10개 용수구역이었고, 제3순위 용수구역은 양지, 예영 외 10개 용수구역이었다. 한편 농경지 대비 발면적이 50% 이하이면서, 제1순위 용수구역은 장군 지역이었다.



(표 7-1) 기후변화 및 지하수 기반 가뭄대비가 필요한 가뭄취약지구 우선순위 (RCP 4.5)

유형	Index	농경지 대비 발면적 50% 이상 지역	농경지 대비 발면적 50% 이하 지역
유형1 (19/25)	10-9	-	-
	8-7	포군, 남진, 광초	고포, 천성
	6-5	정감, 천광, 용기, 함라, 포신, 광포, 화서, 경가, 완용, 화릉, 승외, 포동, 울북,	화태, 양철, 화비, 완구, 보성, 철동, 동평, 여북, 화남, 정북, 홍서, 보외
	4-3	함봉, 상외	경산, 임삼, 태면, 남포, 양순, 평포, 양강, 화우, 보칭, 상리
	2-1	양동	태이
	0	-	-
유형2 (78/75)	10-9	-	-
	8-7	홍남, 가북, 통도, 완상, 횡소, 양설, 가홍, 동회, 승상, 횡서, 영주, 춘동, 춘남, 홍화, 평방, 과주 ¹	부홍, 장유, 강칠, 음원, 진문, 청대, 남상
	6-5	승별, 나동, 원관, 원신, 괴도, 진집, 광진, 양일, 화상, 가외, 홍두, 광원, 청운, 대전 ¹ , 광나노, 장동, 명성, 괴소, 진부, 광산삼, 괴장, 화이, 괴칭, 춘신, 연천 ² 진안, 연백, 회청, 회청	아인, 울농, 아송, 용남, 상화, 성월, 화춘, 나남, 함법, 완화, 김고, 진수, 경감, 공주 ¹ , 순동, 용외, 논별, 여은, 부청, 승서, 원문, 예방, 은단, 청북, 낙동, 합쌍, 양하, 곡석, 장북, 고죽, 공정, 경서, 영청, 철근, 달화
	4-3	의구, 청부, 개령 ¹ , 군부, 금추, 예상, 승월, 대영, 영매, 안풍, 구문, 청도, 금부, 옥동, 칠석, 삼근, 청인, 영연, 의오, 영화, 양방, 금봉	포향 ¹ , 평고, 기산, 부여, 청강, 아영, 영학, 산신, 천호, 서비, 옥개, 나봉, 청주 ¹ , 고거, 철원 ¹ , 칠동, 예대, 구구, 익용, 곡고, 성운, 부서, 강릉 ¹ , 당고, 당송, 경주 ¹ , 울상, 의신, 논가, 영기
	2-1	금농, 감문, 영지, 금복, 명사, 금남, 영금, 영자, 안예, 명강	선해, 성가, 선장
	0	-	-
유형3 (23/26)	10-9	-	-
	8-7	양조, 강선, 양지	고도, 해북, 보벌, 해계, 장군, 고과, 양금, 해삼

(표 7-2) 기후변화 및 지하수 기반 가뭄대비가 필요한 가뭄취약지구 우선순위 (RCP 8.5)

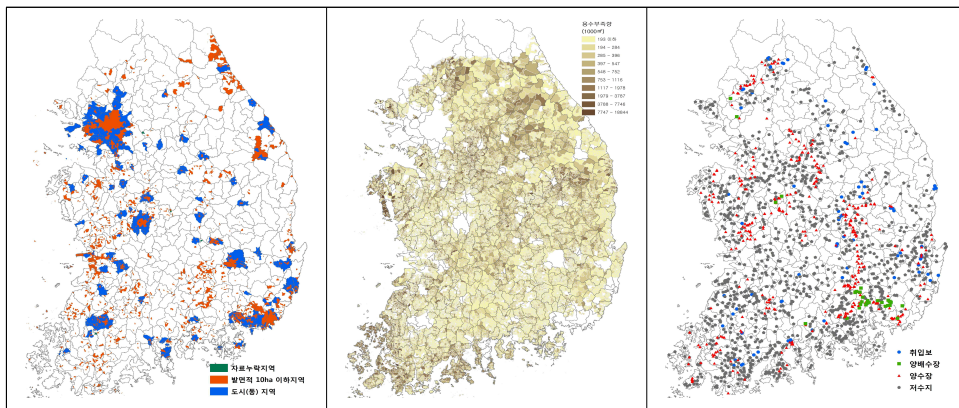
분류	Index	농경지 대비 발면적 50% 이상인 구역	농경지 대비 발면적 50% 이하인 구역
유형1 (19/25)	10-9	-	-
	8-7	승의, 함라, 화릉, 합봉	화남, 고포, 완구, 정북
	6-5	남진, 정감, 천광, 상의	보성, 정산, 임삼, 양철, 동평, 상리
	4-3	포군, 광초, 광포, 경가, 완용, 울북, 용기, 포신, 포동,	천성, 홍서, 보외, 남포, 화태, 칠동, 여북, 태면, 양손, 평포, 양강, 화우, 보청
	2-1	양동, 화서	화비, 태이
	0	-	-
유형2 (78/75)	10-9	-	장유, 남상, 승서
	8-7	승상, 승별, 진집, 산삼, 통도, 나노, 화이	화춘, 진수, 순동, 곡석, 구구, 곡고
	6-5	완상, 나동, 광진, 진부, 광봉, 여칠, 나안, 승월, 금대, 영매, 구문, 금부, 가북, 승원, 양일, 청운, 대전, 장동, 피소, 피칠석, 의구, 청부, 개령, 청도, 칠석, 영연, 금봉	부홍, 강칠, 청대, 나남, 함법, 여울, 합쌍, 장북, 영학, 나불, 성운, 성가, 장음, 진문, 울농, 공주, 논별, 예광, 의단, 낙동, 양하, 고죽, 영청, 달화, 부여, 청강, 산신, 청주, 고거, 칠동, 예대, 부서, 논가, 영기, 선해
	4-3	홍남, 황소, 가설, 홍공, 황서, 영주, 춘동, 파주, 화상, 가외, 원안, 피청, 연백, 군부, 금추, 원문, 예상, 인남, 익오, 영화, 금농, 기산, 아영, 천호, 서비, 익용, 금북, 금남, 영금, 평방, 익용, 경주, 울상, 의신, 안예, 홍두, 홍화, 훈청, 춘신, 안풍, 감문	아인, 아송, 용남, 상화, 성월, 원화, 김고, 경감, 용외, 부은, 원문, 청북, 공정, 경서, 포항, 기산, 아영, 천호, 서비, 익용, 경주, 울상, 의신, 평고, 강릉, 당고, 당송
	2-1	연천 ² , 옥동, 삼근, 양방, 명사, 명강	철근, 철원 ¹
	0	-	-
유형3 (23/26)	10-9	-	장군
	8-7	강선, 여소, 해화	해북, 보벌, 해삼, 해황, 해현, 거사, 고도, 해계, 고과, 해산, 고광, 보문, 순강

7.1.2 가뭄대비가 필요한 용수구역 내 지하수조사 우선순위

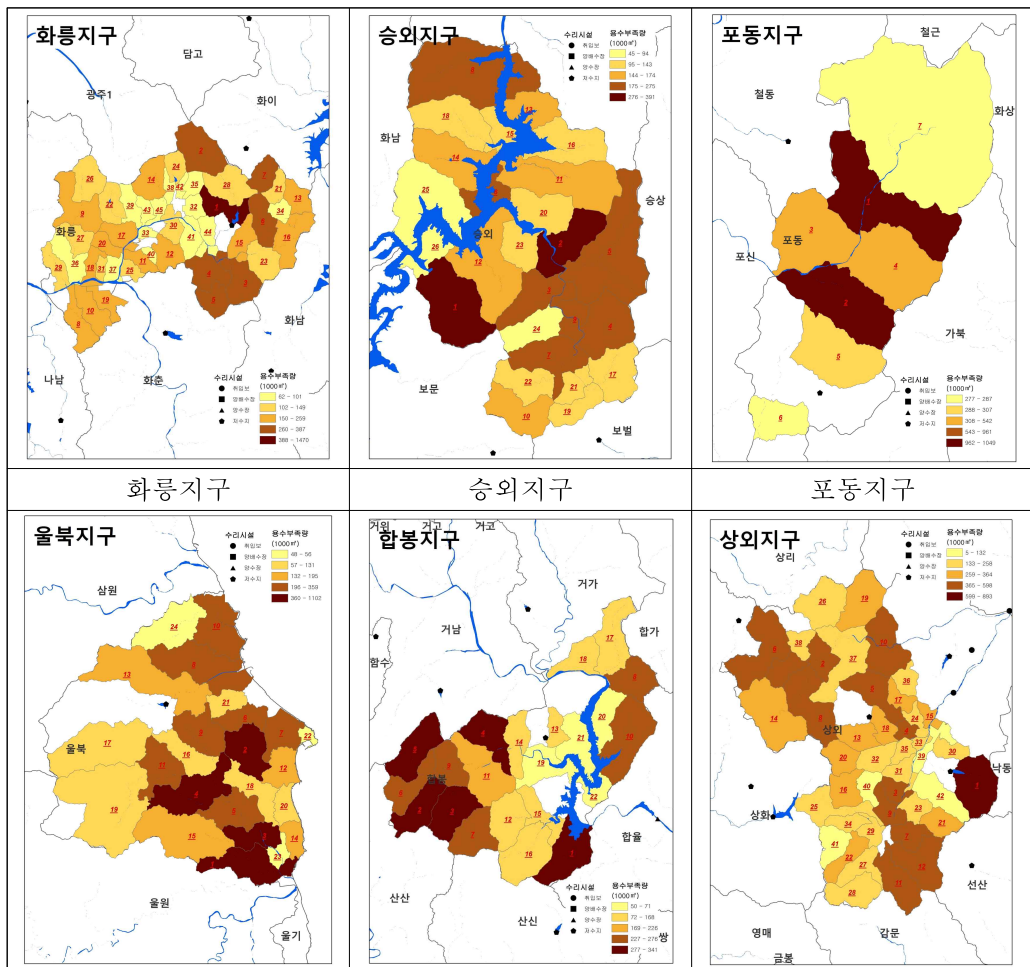
유형별 대표 용수구역 중 농작물 재배 토지이용 특성 (2015년 기준/2030년 토지이용 변화 예측 기준) 및 2012년 논/밭용수 공급량과 2024년 논/밭용수 수요량을 비교하여 공급량이 부족한 지역 등을 기준으로 지표수 수리시설로 용수공급 불리한 가뭄취약 지역으로 선정하고 동리 단위로 우선순위 제시하였다.

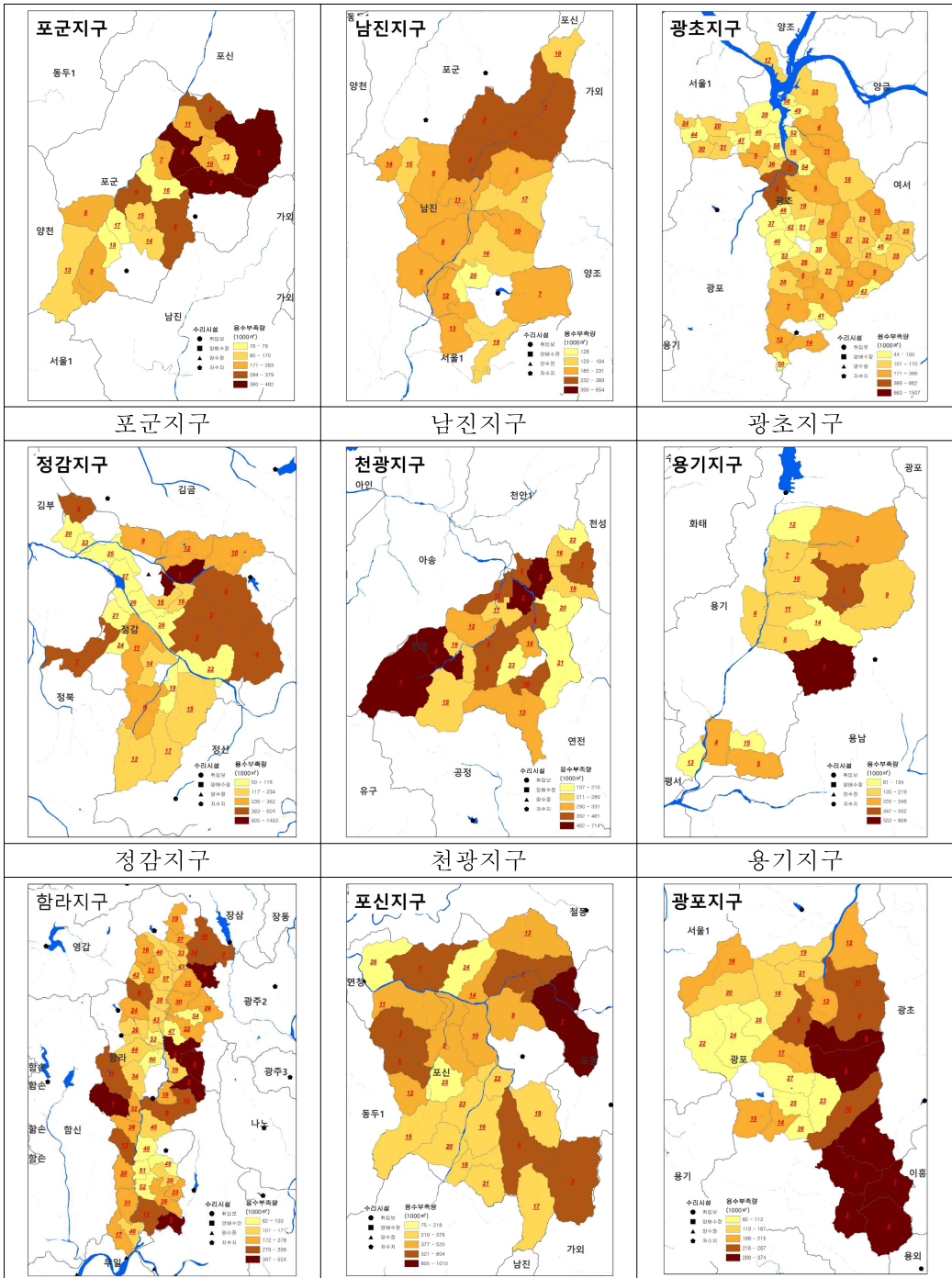
이를 위해서 먼저 우선순위 제외 지역에 해당하는 도시 (동) 및 2030년 기준 발면적 10 ha이하인 지역을 선별하였고 (그림 7-2 (a)), 대상 지역 단위 (리)별로 2030년 기준 논 및 밭 용수부족량을 추정하였다 (그림 7-2 (b)). 마지막으로 내한능력 10년 빈도 및 저수지 30만 m³ 이상급 지표수 수리 시설 포함 지역을 (그림 6-2 (c))과 같이 기초자료를 구축하였다. 수리 시설의 경우, 농어촌용수 이용합리화계획 중 수리시설 시설 중 내한능력 및 수리시설 규모가 구축되어있는 시설을 대상으로 하였다.

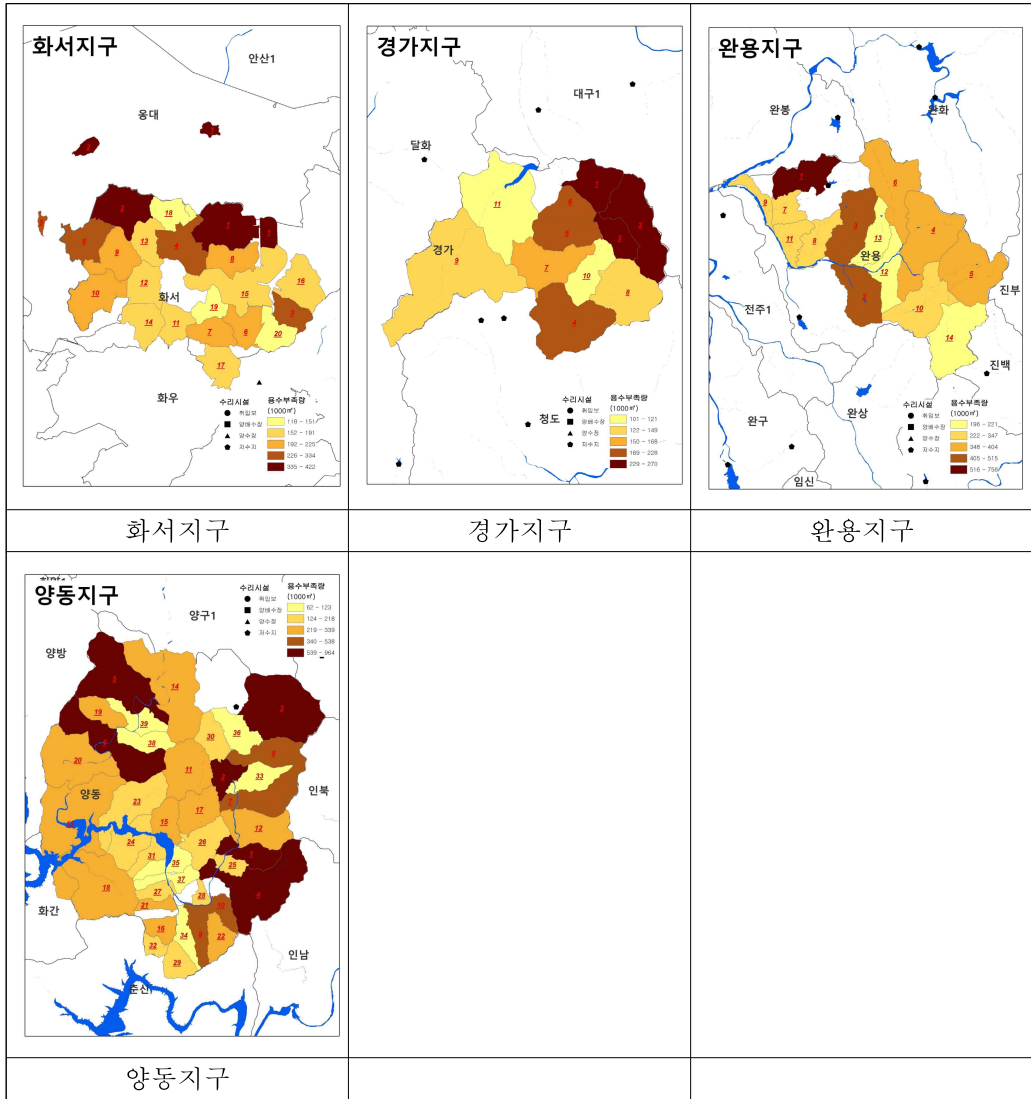
- 도시 (동) 지역: 3,634개 제외
- 2030년 기준 발면적 10 ha이하인 지역: 3,395개 제외
- 기타: 행정구역변경으로 인한 자료 누락 지역: 6개 제외
- 대상지역 18,802 동리 중 13,638 지역에 대한 분석 실시
- 내한능력 10년빈도 및 저수지 30만m³ 이상급 지표수 수리 시설: 1,576개소 (저수지: 1,100개소, 취입보: 86개소, 양수장: 362개소, 양배수장: 30개소)



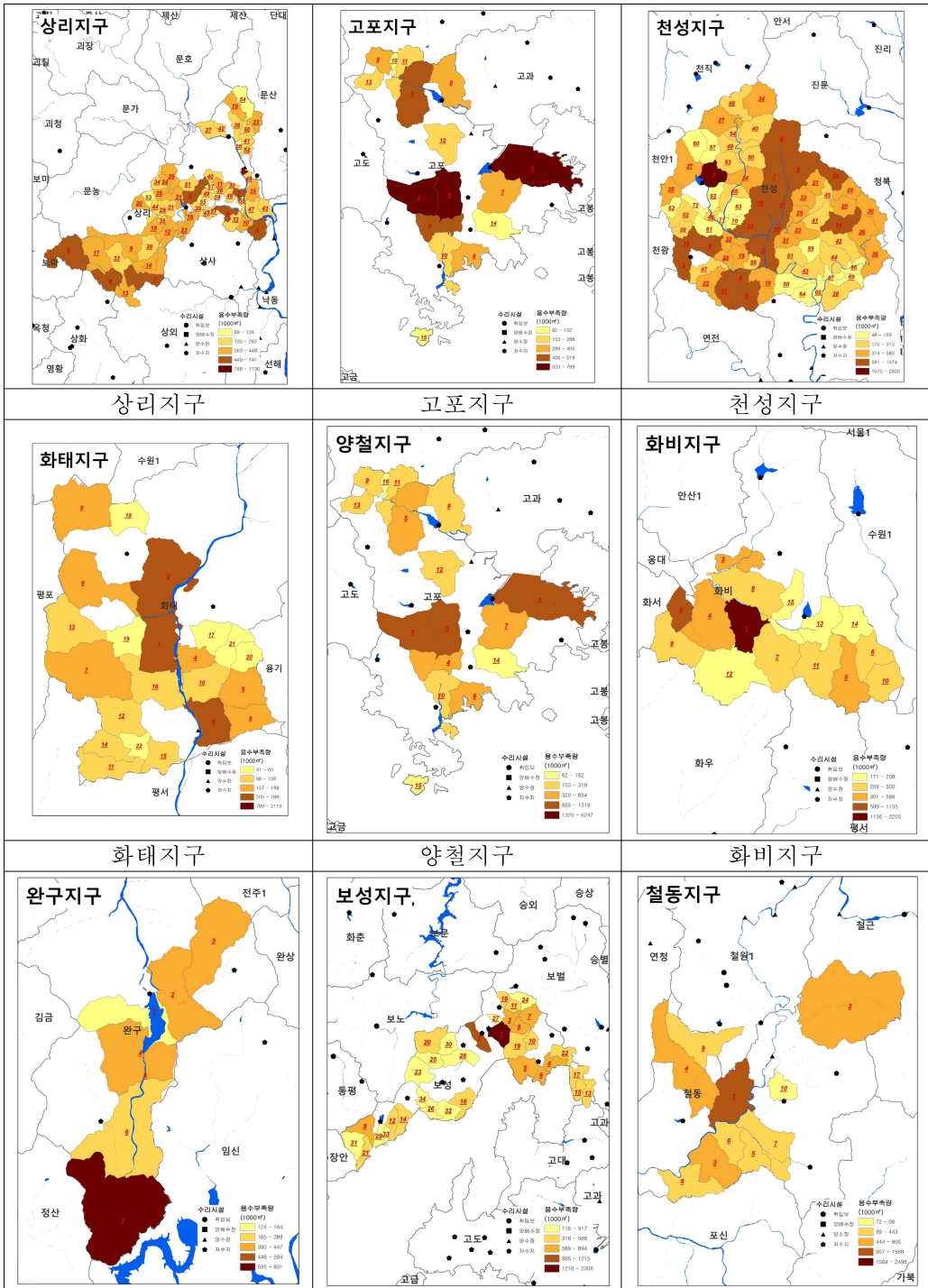
앞에 제시한 기준을 바탕으로 유형 1과 3에 해당하는 용수구역별에 대하여 리단위로 우선순위를 제시하였다. 93개 용수구역을 유형 1과 3, 농경지 대비 발면적 비율 50% 이상 및 이하 등 총 4가지로 분류하여 결과를 각각 제시하였다. (그림 7-3)은 유형1 및 농경지 대비 발면적 비율 50% 이상인 지역, (그림 7-4)는 유형1 및 농경지 대비 발면적 비율 50% 이하인 지역, (그림 7-5)는 유형3 및 농경지 대비 발면적 비율 50% 이상인 지역, (그림 6-6)은 유형3 및 농경지 대비 발면적 비율 50% 이하인 지역을 각각 나타낸 것이다.

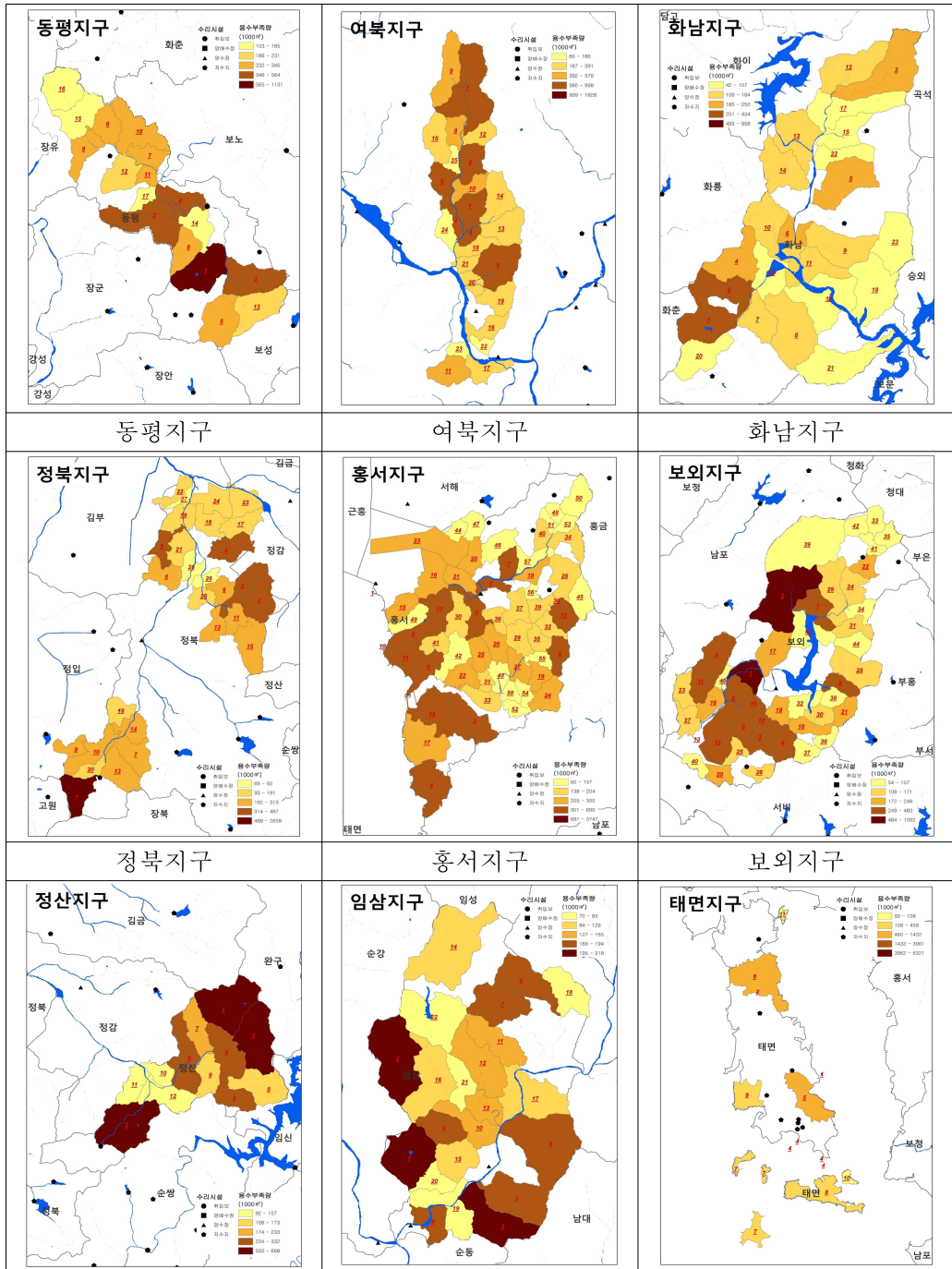


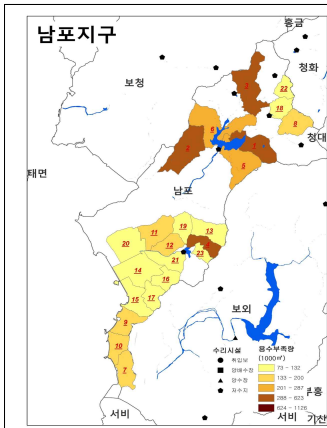




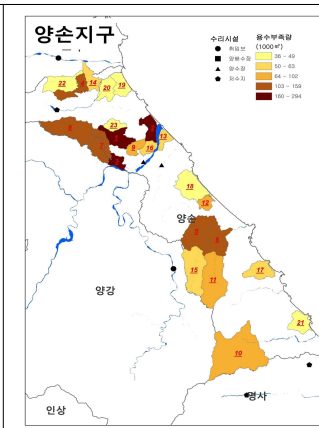
<그림 7-3> 가뭄취약지구(유형1 & 발면적 비율 50% 이상) 중 지하수조사 우선순위(계속)



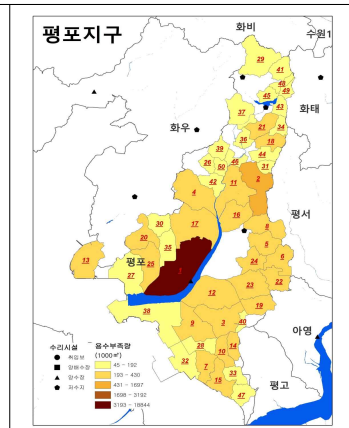




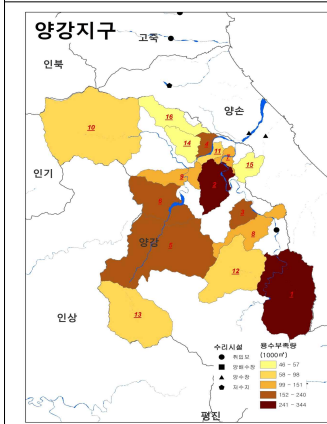
남포지구



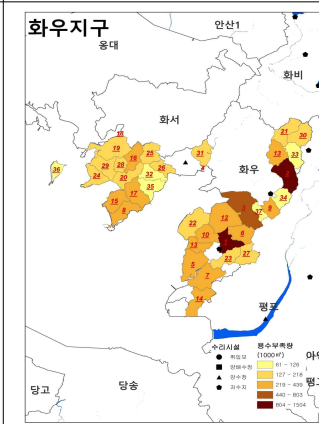
양손지구



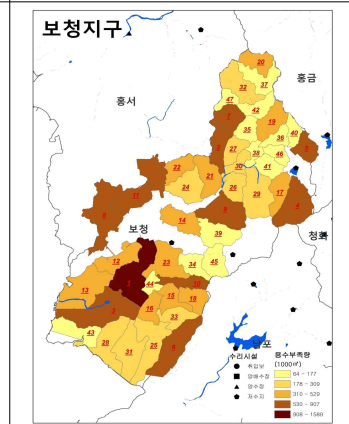
평포지구



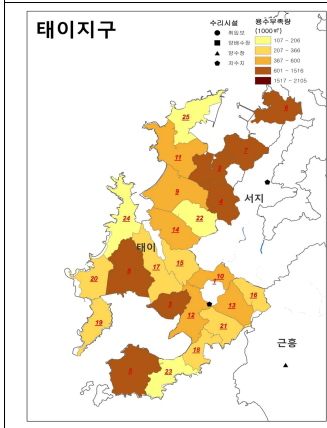
양강지구

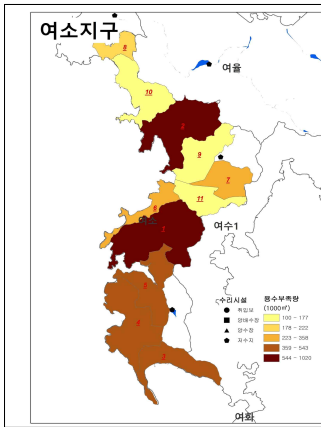


화우지구

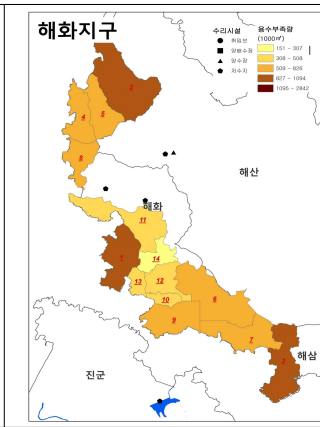


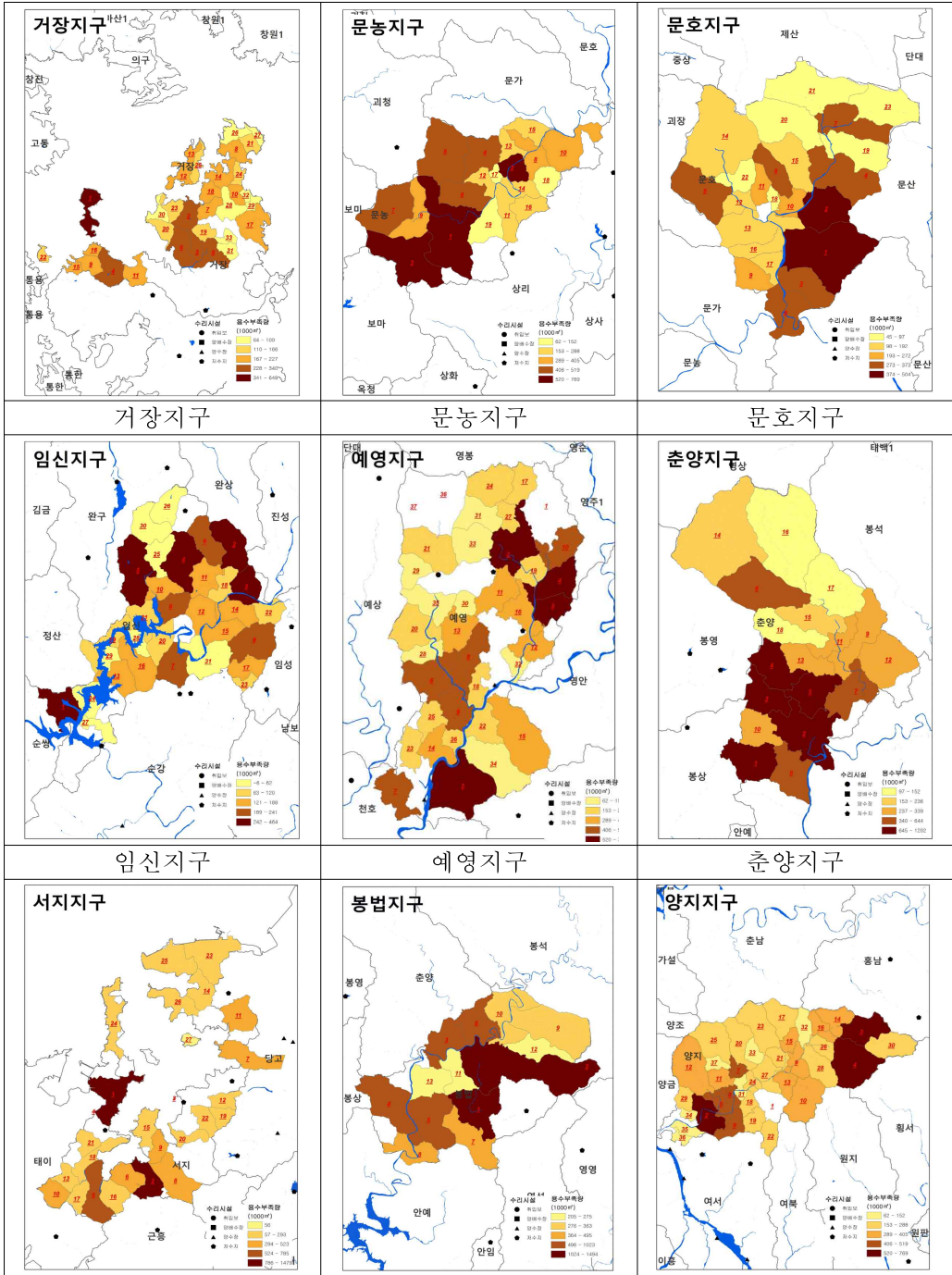
보청지구

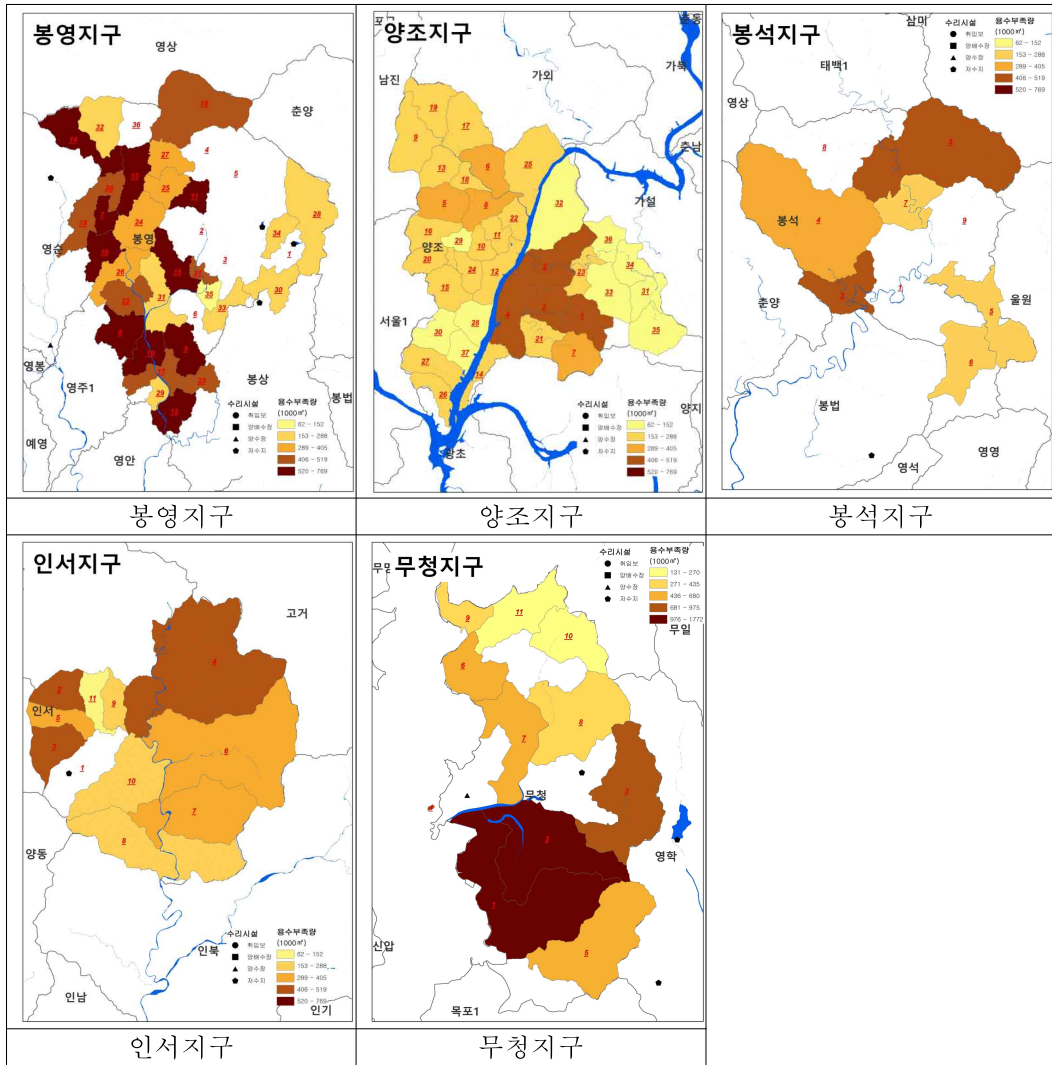




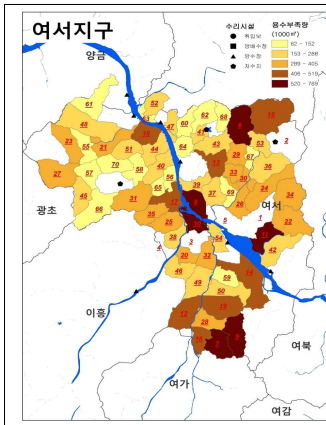
여소지구



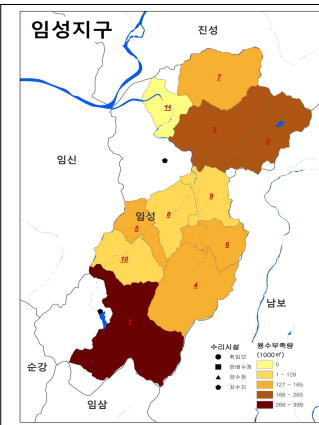




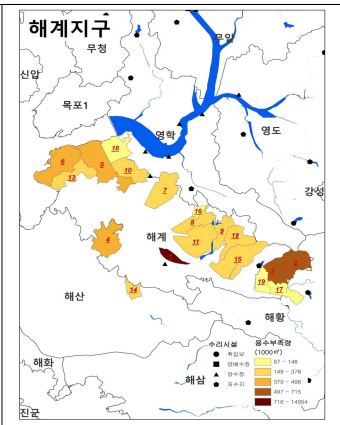
<그림 7-5> 가뭄취약지구(유형3& 발면적 비율 50% 이상) 중 지하수조사 우선순위(계속)



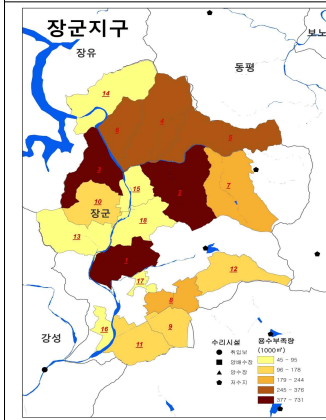
여서지구



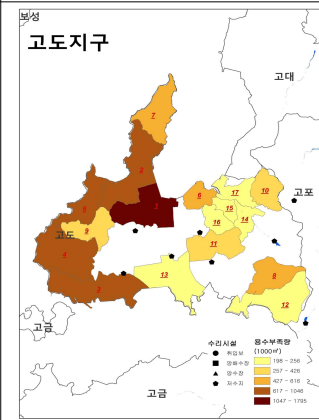
임성지구



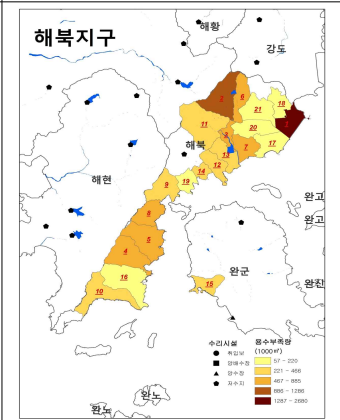
해계지구



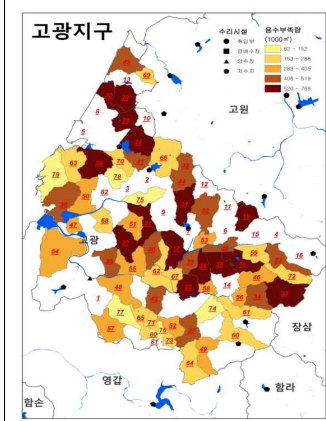
장군지구



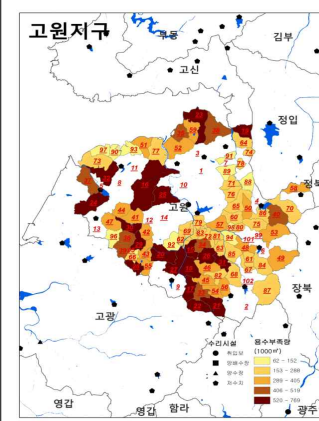
고도지구



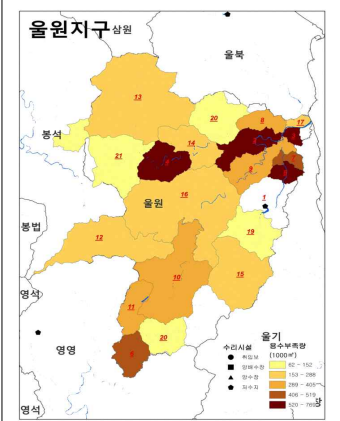
해북지구



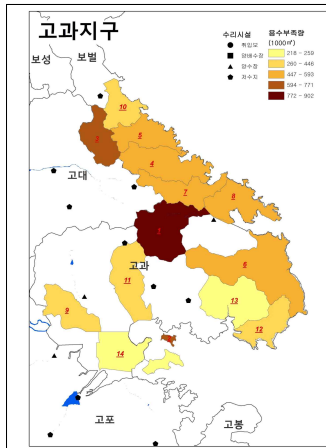
고광지구



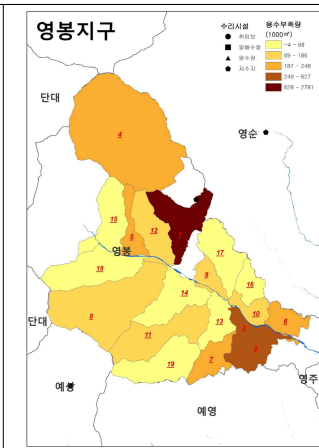
고원지구



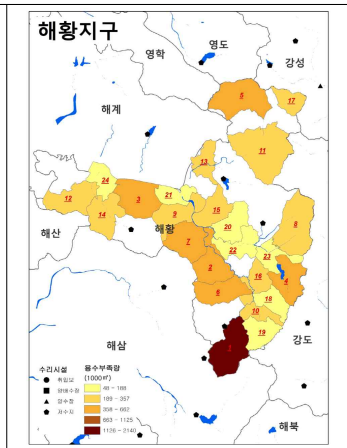
울원지구상원



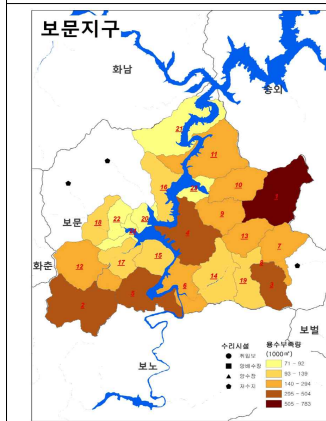
고과지구



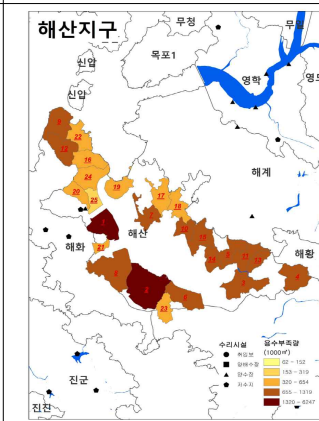
영봉지구



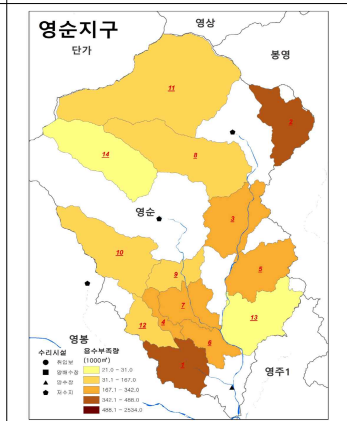
해황지구



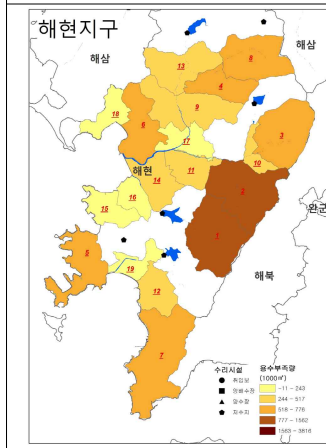
보문지구



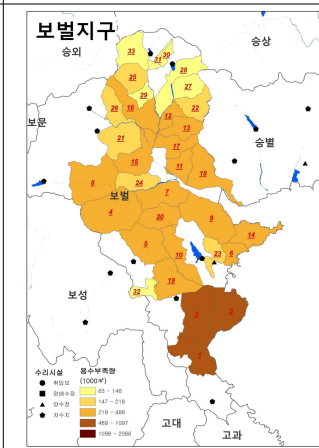
해산지구



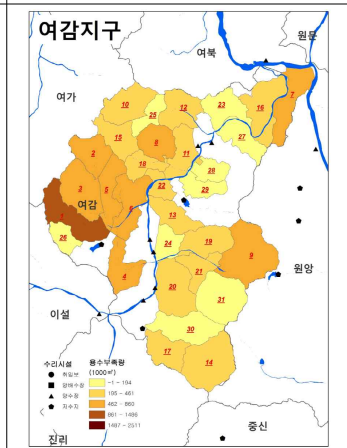
영순지구



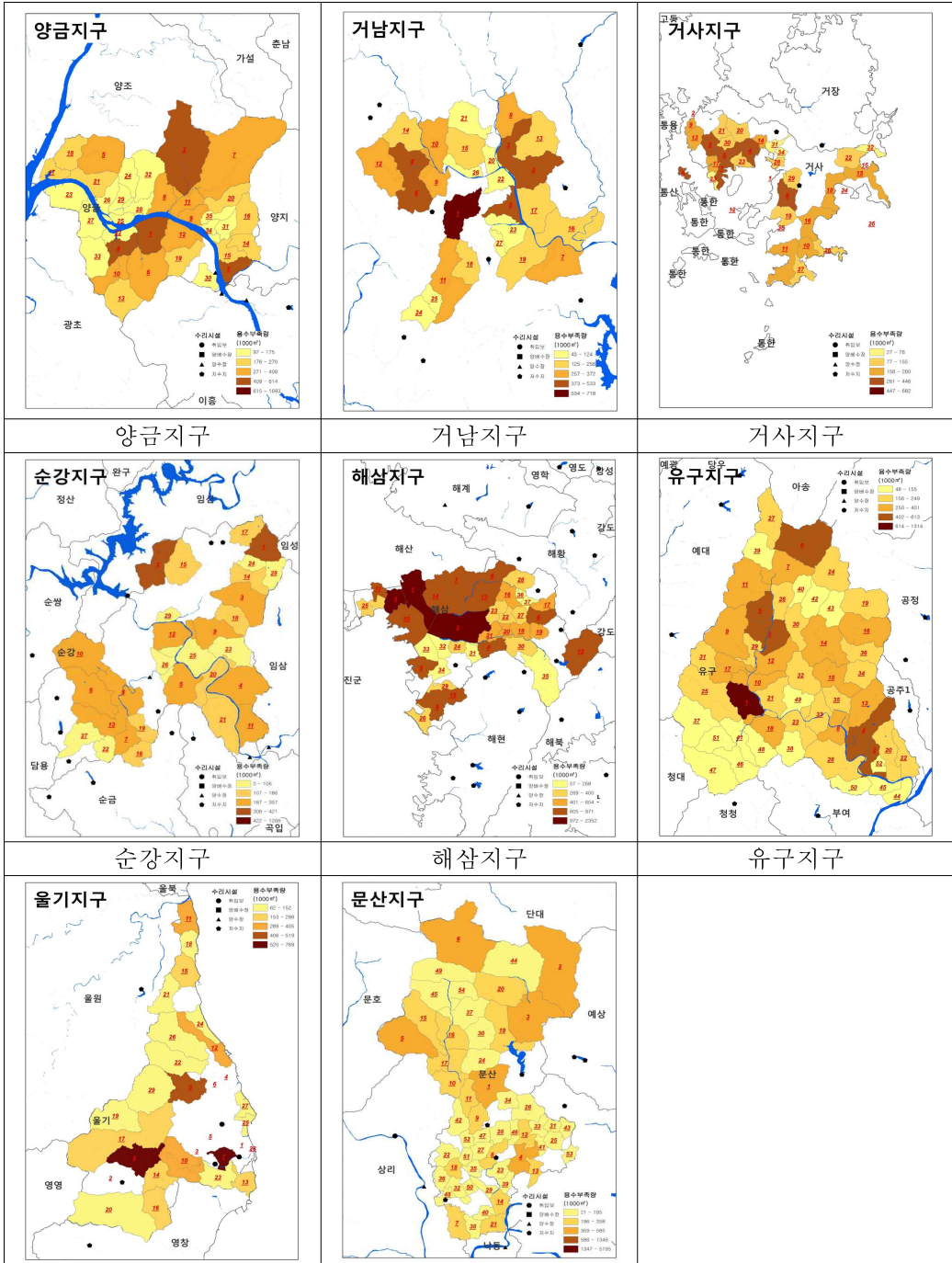
해현지구



보벌지구



여감지구



7.1.3 가뭄취약지구 지표수 공급여건 분석 및 지하수조사 우선순위 검토

최근 변화된 국민식생활과 생활패턴의 변화로 4계절 내내 신선채소에 대한 수요가 지속되면서 농가에서는 시설농업이 점점 발달하고 있다. 시설재배지는 20년 전보다 약 2배정도 증가하였고 시설재배농산물의 상품성 때문에 양호한 수질의 지하수를 이용한다.

농어촌용수이용 합리화계획에서는 물이용의 안전성을 위한 농어촌수자원의 지속적인 확보를 위한 정책방향으로 다음 3가지를 제시하고 있다.

- ① 수리안전답의 확대를 위한 가뭄지역 물부족 해소를 위주의 용수개발 추진
- ② 벼 위주로 조성된 농경지 및 간척지를 벼외 밭작물과 시설농업이 가능한 농어촌용수 공급체계 구축
- ③ 지표수개발 곤란 시 청정한 지하수자원의 안정한 공급체계 마련

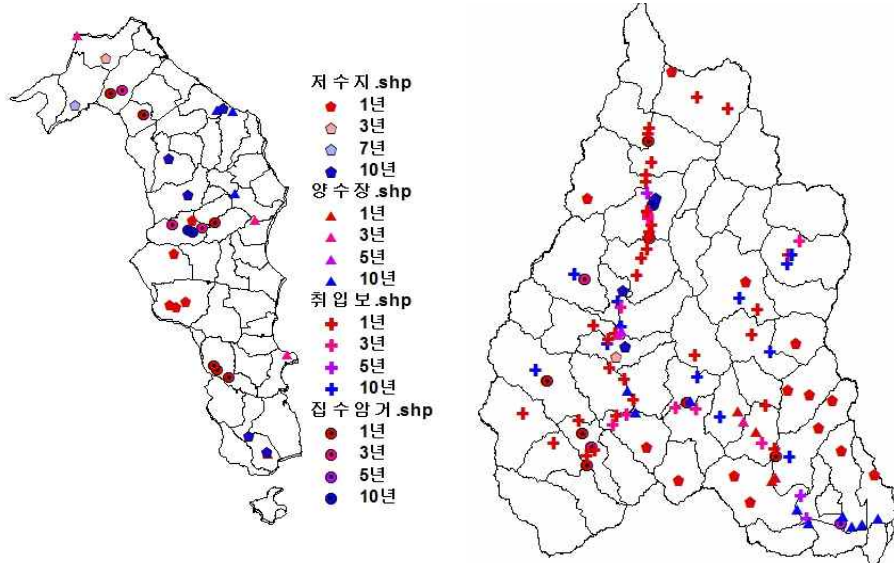
지하수자원의 안정한 공급체계 마련과 관련해서는 물 부족을 겪는 시설농업지역에 강변여과수 인공함양 및 대용량의 지하댐, 방사상집수정 개발을 통한 청정용수 공급과 지표수 이용이 어려운 가뭄발생지역, 집단화된 밭작물지역, 상수도 공급이 어려운 농어촌 자연마을에 암반관정 등을 개발하여 한발대비용수 및 농촌생활용수 공급을 제시하고 있다(농림축산식품부, 2014).

본 연구에서는 2001년도 전국적인 가뭄 시 시·군 지자체에서 작성하여 농식품부에 보고한 가뭄우심지구 1,589지구, 51,798 ha에 대하여 가뭄시 지표수 공급여건을 검토하고 지하수 조사 우선순위를 제시하였다.

지하수조사 우선순위 선정 과정은 공주시 유구지구 농어촌용수구역을 예시로 설명하면 (그림 7-7)~(그림 7-11)과 같다.

(그림 7-7)는 농어촌용수구역 지표수 공급여건을 검토하기 위하여 농어촌용수구역 내에 위치하는 저수지, 양수장, 취입보 및 집수암거 등 주요 농업기반시설등에 대하여 시설별로 내한능력 1년, 3년, 5년, 7년, 10년에 따라서 구분하여 분석하였다.

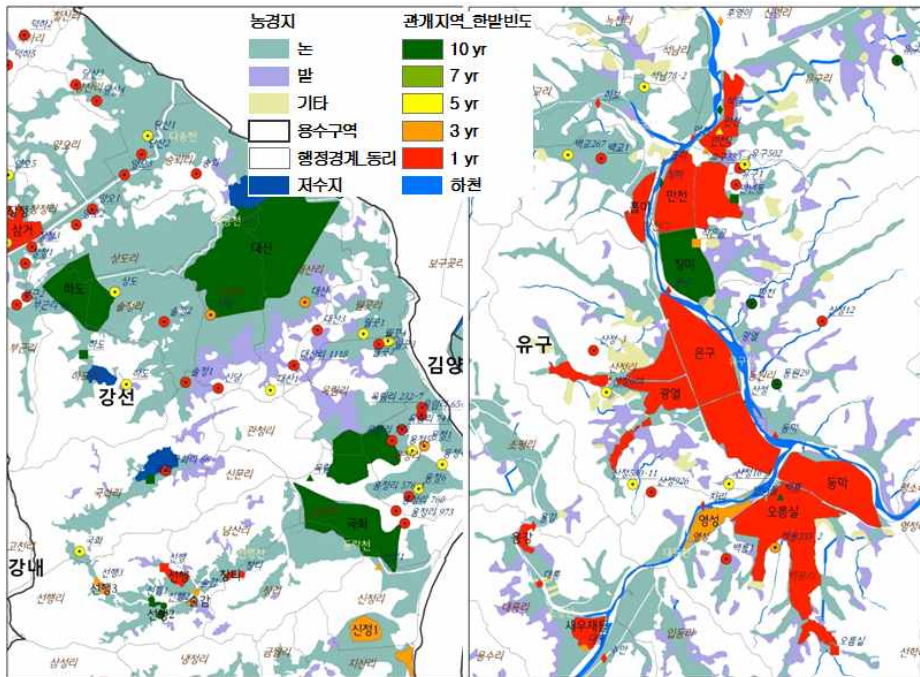
(그림 7-8)는 용수구역별 주요농업기반시설의 수혜구역을 한발빈도에 따라 분석하였다.



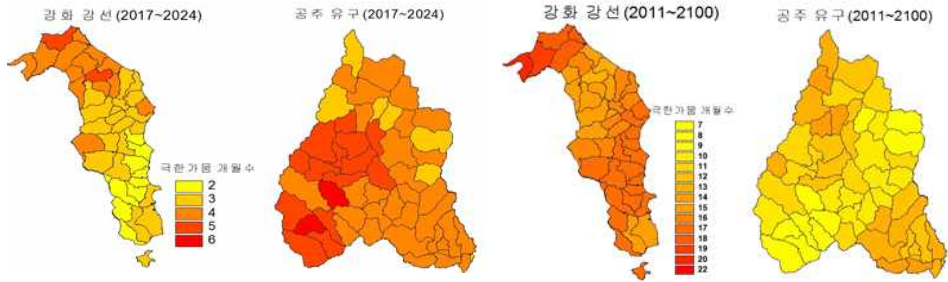
(a) 강화도 강선지구

(b) 공주시 유구지구

<그림 7-7> 용수구역내 주요 농업기반시설 위치



(그림 7-9)은 용수구역 내 리별 가뭄빈도를 상대 분석한 것으로 단기분석(2017~2024년) 기간에는 공주시 유구지역 용수구역이 강화도 강선지구에 비하여 가뭄빈도가 높으나, 장기분석(2011~2100년)기간에는 강화도 강선지구가 상대적으로 높은 것을 알 수 있다.

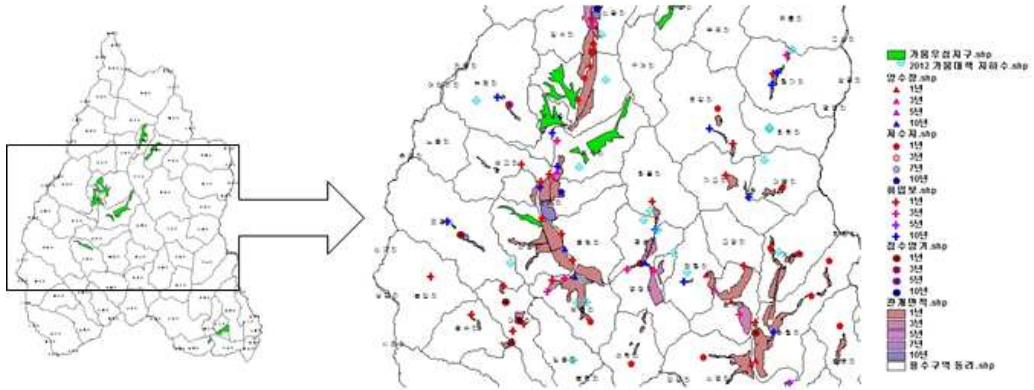


(a)단기분석(2017~2024)

(b)장기분석(2011~2100)

<그림 7-9> 용수구역 내 리별 가뭄빈도 상대분석

(그림 7-10)에서는 가뭄발생 빈도가 상대적으로 높은 지역이 가뭄우심 지구에 해당하는지 검토하고 가뭄우심지역 인근의 수리시설 및 수혜구역을 상세 분석한 것이다.



가뭄우심지역의 동·리별 위치하는 농업기반시설의 수리시설 한발빈도 내한능력을 고려하여 10년 빈도 가뭄 시 내한능력이 있는 시설이 존재하면 가뭄 시 지표수 공급이 가능한 지역으로 분류하고, 10년 빈도 가뭄 시

내한능력이 없으면 가뭄 시 지표수 공급이 불리한 지역으로 구분하여 (표 7-3)과 같이 지하수조사 우선순위를 부여하였다.

(표 7-3) 공주시 유구용수구역 가뭄우심지구 지하수조사 우선순위 검토 사례

CODE	저수지	양수장	집수암거	취입보	인근지역 수리시설 관계면적 검토	순위**
공주-가뭄-03	-	산정(10년)*	-	영성(3년)	취입보_광열(1년)	3순위
공주-가뭄-05	-	-	-	-	-	1순위
공주-가뭄-06	-	-	-	-	-	1순위
공주-가뭄-07	-	-	-	구례(1년)	취입보_광정(1년)	2순위
공주-가뭄-09	-	-	-	-	-	1순위
공주-가뭄-11	-	-	-	-	-	1순위

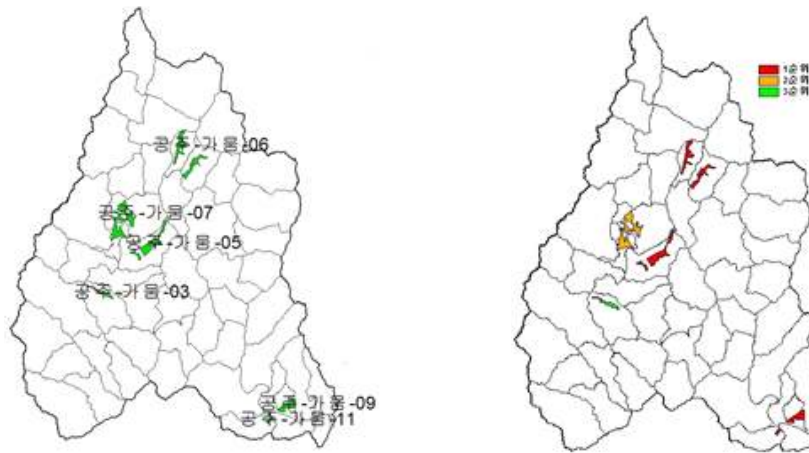
* (10년) : 수리시설 한발빈도 내한능력

** 1순위 : 인근에 지표수 수리시설 전무

2순위 : 지표수 수리시설은 있으나 한발빈도 내한능력 10년 미만

3순위 : 인근에 한발빈도 내한능력 10년 이상 수리시설 존재

(그림 7-11)에서는 지표수 공급시설의 내한능력과 한발빈도 수혜면적 고려하여 가뭄우심지구에 대한 지하수조사 우선순위를 부여하였다.

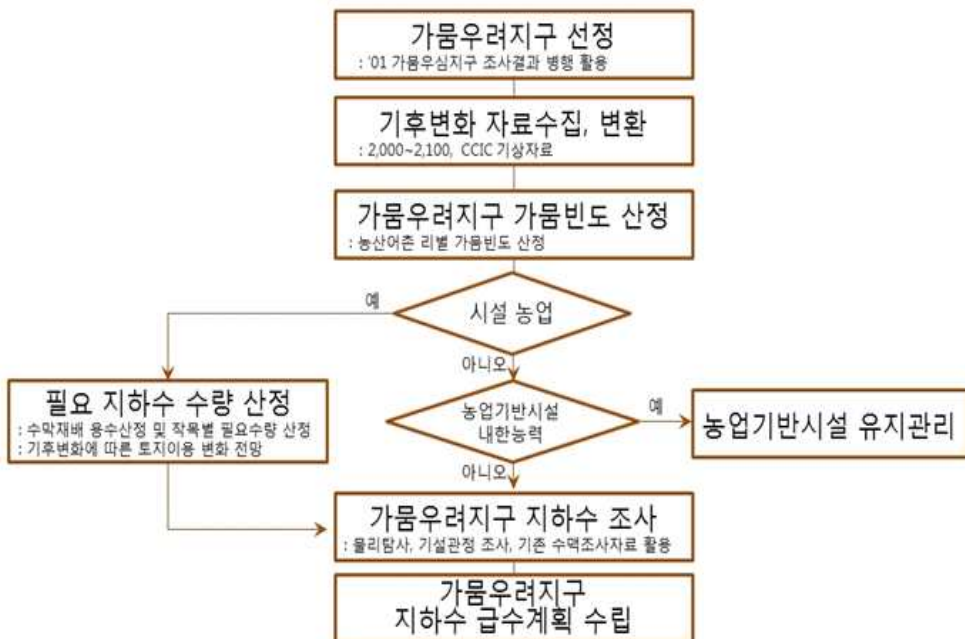


가뭄우심지구 1,589지구에 대하여 인근의 지표수 수리시설 수혜면적, 수리시설 한발빈도 내한능력 등을 고려하여 지하수조사 우선순위를 부여하면, 인근에 지표수 수리시설이 전무한 지구가 354개소, 지표수 수리시설은 있으나 한발빈도 내한능력이 10년 미만인 시설이 존재하는 지구가 530개소, 인근에 한발빈도 내한능력 10년 이상 수리시설이 존재하는 지구가 699개소이다(표 7-4)

(표 7-4) 2001년 가뭄우심지구 지하수조사 우선순위 분류

구 분	지구수	면적		
		논(ha)	밭(ha)	합계(ha)
1순위	354	12,029	2,102	14,131
2순위	530	13,165	1,609	14,774
3순위	699	21,361	1,523	22,884
합계	1,583	46,555	5,234	51,789

농업환경변화를 고려한 가뭄취약지구의 지하수조사 시행순서는 (그림 7-12)과 같다.



7.2 밭작물 지역에 대한 관개 필요수량 산정

7.2.1 밭작물 관개필요수량 산정

일정 기상조건에서 밭토양의 일별 물수지는 토양 내의 수분량 이동을 분석하며, 일반적으로 임의 지점에 대한 밭토양 물수지 방정식에서는 강우량, 증발산량, 지표·하 유출량, 관개수량, 모관 상승량, 횡유입·유출량을 고려하며 각 항목은 다음의 식으로 구성이 가능하다.

$$\Delta S_t = (PR_t + IR_t + UP_t + HI_t) - (ET_t + DP_t + DR_t + HO_t)$$

여기서, ER_t 는 t 일의 유효 강수량, IR_t 는 t 일의 관개량, UP_t 는 t 일의 모관력에 의한 수분 상승량, HI_t 는 t 일의 횡방향 수분 유입량, ET_t 는 t 일의 증발산량, DP_t 는 t 일의 유효토층 아래로의 지하유출량, DR_t 은 t 일의 지표 유출량, HO_t 는 t 일의 횡방향 유출량이다. 각 수문 인자에 대한 산정이 이뤄지고 위의 물수지 방정식에 의해 t 일의 토양수분 변화량이 산출됨으로써 임의 지점에 대한 밭토양 일별 물수지가 이뤄진다. 본 연구의 경우 모관력에 의한 수분 상승량과 횡방향 수분 유입·출량은 양은 다른 수문인자에 비해 적은 양으로 일별 물수지 변화에 미미한 영향을 끼치므로 편의를 위해 생략하였고 무관개임을 고려하였으므로 토양물수지 식은 다음과 같이 표현된다.

$$\Delta S_t = (PR_t) - (ET_t + DP_t + DR_t)$$

1) 유효우량 산정

강수량 중에서 작물의 생육에 이용되는 수량인 유효우량은 밭관개에서 공급량을 결정짓는 가장 큰 인자이다. 유효우량은 강우량과 밭 토양 특성에 따라 큰 차이가 나타나는데 이중 강우량이 가장 큰 변수이다. 또한, 경지의 경작상태, 작물의 종류, 토양의 종류, 경작 방법, 경사, 수문학적 처리 등 경지인자도 상당히 큰 영향을 미친다. 농업생산기반정비사업계획설계기준 관개편(농림부)의 유효우량 산정법은 밭토양의 총 신속유효수분(TRAM)에서 강우직전의 유효수분량을 제외한 유효우량의 상한치와 강우

의 80%를 비교하여 일강우의 80%보다 유효수분량이 크면 유효우량은 유효수분량이고 작으면 일강우의 80%를 유효우량으로 계산한다. 그러나 이 방법은 일 강우의 80%가 무조건 토양으로 침투되는 가정으로 수문학적인 신뢰성이 결여되어 있으며 토양에 따라 측정된 TRAM값이 요구되므로 실무에서 적용하기 어려운 점이 있다.

또한 FAO에서 발간한 전산프로그램에서는 4가지 유효우량 산정법을 제시하고 있으며 주로 경험식에 의해 강우량의 일정비율을 유효우량으로 채택하거나 경험적인 계수를 적용하여 유효우량을 산정하고 있다. 본 연구에서는 실험 대상 지역의 인근에 위치한 이천 기상청의 2013년 기상자료를 이용하여 추산하였다. 또한 일일 강수량이 5mm를 초과하지 못할 경우 차단 효과와 토양면 증발에 의해 실제적인 강우 효과를 갖지 못할 것으로 판단하기도 하지만 이와 같은 차단 효과와 토양면 증발효과에 의해 소실되는 강수량을 고려하지 않았으므로 해당 일의 유효 강우량은 일일 강수량의 값과 같은 값을 갖게 된다.

2) 증발산량 산정

증발산량 산정은 2일별 기상자료를 FAO Penman-Monteith 식에 적용하여 산정하였으며 자세한 설명은 이미 기술한 바가 있으므로 생략한다. 따라서 본 모형의 경우 토양에 심겨진 작물에 대한 정보 및 해당 토양의 토성 정보를 이용하여 증발산량을 산정하였다.

3) 지표·하 유출량 산정

지표 유출량은 강우량 중에서 토양 속으로 침투한 우량을 제외하고 지표와 토양층을 통해 경지를 벗어나는 유출량을 말한다. 본 연구에서는 지표 유출량을 산정하기 위하여 SCS CN(soil conservation service curve number) 방법을 사용하였으며 이 방법에 의한 지표 유출량 산정은 다음 식을 통해 이루어진다.

여기서, Q 는 유효 강우량에 의한 지표 유출량(), R 는 총 유효 강우량(), C 는 최대 저류량(), SN 은 유출곡선지수(Curve Number)로 토지피복도와 수문학적 토양군에 의해 결정되는 상

수이다. 또한 지하 유출량은 강하 침투량을 의미하는 것으로 일반적으로 강하 침투는 토층의 투수성 및 지하수위의 조건에 따라 좌우된다. 선상지나 높은 지대의 낮은 지하수위가 낮고 토양의 투수계수가 크기 때문에 침투량이 크게 되기가 쉽다.

본 연구에서는 유효 강수량에서 지표 유출량을 제외하고 토양 내 저류 가능한 수분량 중 당시의 토양 수분 미흡량보다 과잉되는 양만큼 지하로 유출되는 것으로 산정하였다. 이 때 최대저류량을 산정하기 위해 필요한 CN 값은 해당 토양의 토성에 따른 수문학군 분류와 작물 재배 및 식생 형태에 따라 달라지며 미국 국무성(USDA)에서 제시하고 있는 SCS 분류 방법에 의한 유출곡선지수(CN)는 (표 7-5)와 같이 주어진다.

(표 7-5) 토성별 속성 자료

Soil texture	Field Capacity(mm)	Wilting Point(mm)	Curve Number
Sand	120	45	Paddy : 55 Upland : 65
Loamy sand	150	65	Paddy : 55 Upland : 65
Sandy loam	230	110	Paddy : 69 Upland : 75
Loam	250	120	Paddy : 69 Upland : 75
Silt Loam	290	150	Paddy : 78 Upland : 82
Silt	320	170	Paddy : 78 Upland : 82
Silt clay loam	335	205	Paddy : 78 Upland : 82
Silt clay	360	230	Paddy : 83 Upland : 86
Clay	360	220	Paddy : 83 Upland : 86

4) 관개수량 산정 방법

관개수량은 필요수량을 기반으로 산정된다. 또한 필요수량은 유효토층에서의 수분소비 감소량을 나타낸다. 즉, 필요수량은 유효토층 내에서 소비되는 수분량으로 지하수가 낮은 곳에서는 증발산량과 강하 침투량을 합산한 것과 같은 값을 갖게 된다. 그러나 지하수위가 높은 곳에서는 일부 수

량이 모관 상승에 의해 유효토층으로 공급되므로 증발산량과 강하 침투량을 합산한 값에서 모관 상승량을 빼준 만큼의 양을 필요수량으로 산정하기도 한다.

본 연구에서는 유효수분에 의한 관개수량 산정 방법을 적용하였다. 관개 또는 강수 후 토양의 수분 중에서 작물이 이용하는 수분을 유효수분이라고 한다. 유효수분은 토양의 성질, 강우 및 관개량, 재배작물에 따라 상이한 수치를 나타낸다. 일반적으로 건조한 지역에서 유효수분의 상한계(D_{max})로 포장용수량을 적용하고 있으며, 포장용수량은 다량의 강우가 있는 후 물의 하강운동이 대단히 작아졌을 때의 토양 수분량으로 정의하거나 토양 중 투수계수가 0이 되었을 경우 또는 토양이 유지할 수 있는 현수수의 최대량으로 정의한다. 그러나 일반적으로 시간규제로 포장용수량을 정의하며 충분한 강우 또는 관개 후 24시간이 경과한 뒤에 토양 속에 보류되는 수분을 24시간 용수량으로 채택하여 이를 포장용수량으로 간주한다. 한편, 유효수분의 하한계로는 위조점과 생장저해수분점을 고려할 수 있다. 유효수분의 하한계(D_{min})는 위조점이 아니라 생장에 조금이라도 지장이 있다면 이를 하한으로 정해야하므로 생장저해수분점을 유효수분의 하한계로 산정하는 것이 합리적이다.

밭에 대한 관개량 모의는 작물의 수분 흡수가 가능한 유효토심 내의 토양수분을 분석함으로써 가능하다. 따라서 본 밭 물수지모형은 격자별 입력값(작물, 토성)에 따라 정해지는 특성치를 고려한 격자별 토양수분 분석을 실시함으로써 각 격자에 해당하는 필요수량 및 관개량을 모의하였다. 필요수량은 해당 작물의 작부시기 간의 발생한 증발산량과 침투량의 합으로써 산정되나 관개량의 경우 어떤 관개 방식을 적용하는지에 따라 관개량 산정이 달라진다.

본 연구의 경우 유효수분법을 적용하여 관개수량을 산정하였다. 유효수분법은 앞서 언급한 바와 같이 작물의 수분 스트레스가 작물 생육에 끼치는 부정적인 영향을 고려하여 작물이 수분으로 인한 스트레스를 받지 않도록 수분 환경을 조성하기 위한 관개 방식이다. 작물은 유효토심 내의 수분이 생장저해수분점보다 적어질 경우 수분 스트레스를 받게 된다. 따라서 유효수분법은 토양수분이 생장저해수분점까지 떨어졌을 경우 포장용수량까지 관개를 하여 작물이 수분 스트레스 없이 원활한 성장을 지속할 수 있게 하는 방식이다.

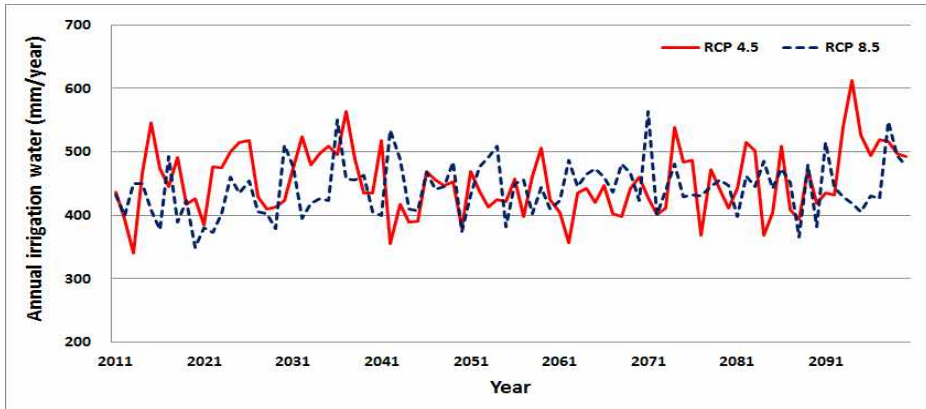
7.2.2 가뭄취약 지역 중 밭작물 지역에 대한 관개필요수량 산정

본 연구에서는 대표 가뭄지역 6곳을 선정하고, 각 지역의 대표작물에 대한 관개 필요수량을 산정하였다. 총 2011년부터 2050년까지 RCP 4.5 와 RCP 8.5 시나리오를 적용하여 관개 필요수량을 산정하였고, 과거시기 (2011~2015년), 단기 미래(2016~2025년), 중장기 미래(2026~2050년)의 연도별, 월별 관개 필요수량을 산정 및 비교하였다.

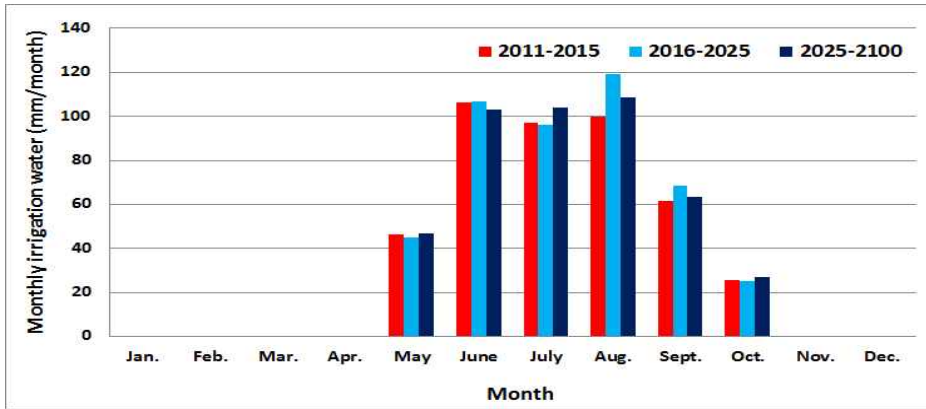
1) 강원도 원양지구

원양지구의 경우 대표작물인 콩의 연평균 관개 필요수량을 산정한 결과, 과거 2011년부터 2015년까지는 432 mm/year로 나타났고, 단기 미래인 2016년부터 2015년 동안에는 RCP 4.5 시나리오의 경우 약 460 mm/year의 관개 수량이 필요한 것으로 나타났다. 중장기 미래인 2026년부터 2050년의 경우 RCP 4.5 시나리오 적용 시 452 mm/year의 관개수량이 필요한 것으로 나타났다. RCP 8.5 시나리오의 경우 단기미래에는 408 mm/year, 중장기 미래에는 448 mm/year의 관개수량이 필요한 것으로 나타났다(그림 7-13).

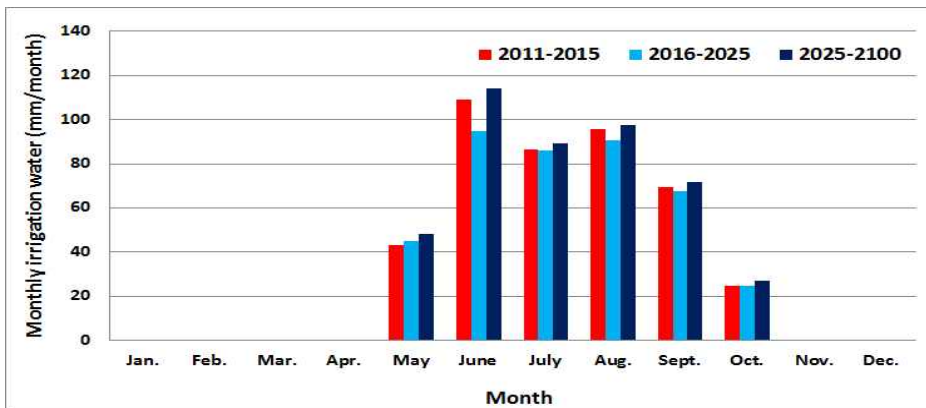
월별 관개 필요수량을 살펴보면 RCP 4.5 시나리오의 경우 5월을 제외하고는 단기미래의 관개 필요수량이 과거보다 감소하는 것으로 나타났으나 중장기 미래에는 관개수량이 증가하는 것으로 나타났다. 특히 6월의 경우 가장 많은 관개수량이 필요하며, 과거와 중장기 미래와 비교하여 단기 미래의 월 관개수량이 상당량 감소함을 확인할 수 있다. 그러나 RCP 8.5 시나리오의 경우 단기 미래의 월별 관개 필요수량이 과거와 중장기 미래시기의 관개 필요수량보다 크게 나타났고, 특히 8월의 경우 가장 많은 관개 수량이 필요한 것으로 나타났다(그림 7-14)(그림 7-15).



<그림 7-13> 원앙지구 콩의 연 관개 필요수량의 변화



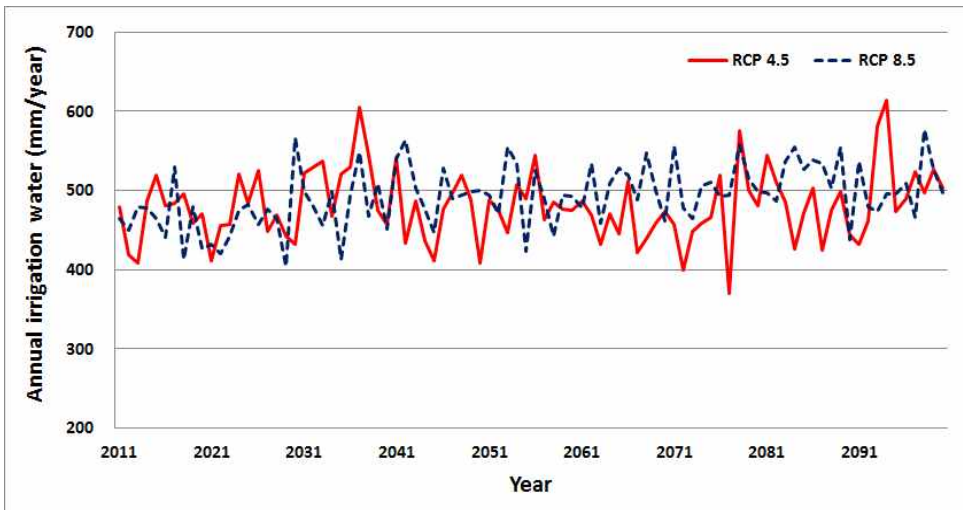
<그림 7-14> RCP 4.5 시나리오 적용 시 원앙지구 콩의 월 관개 필요수량의 변화

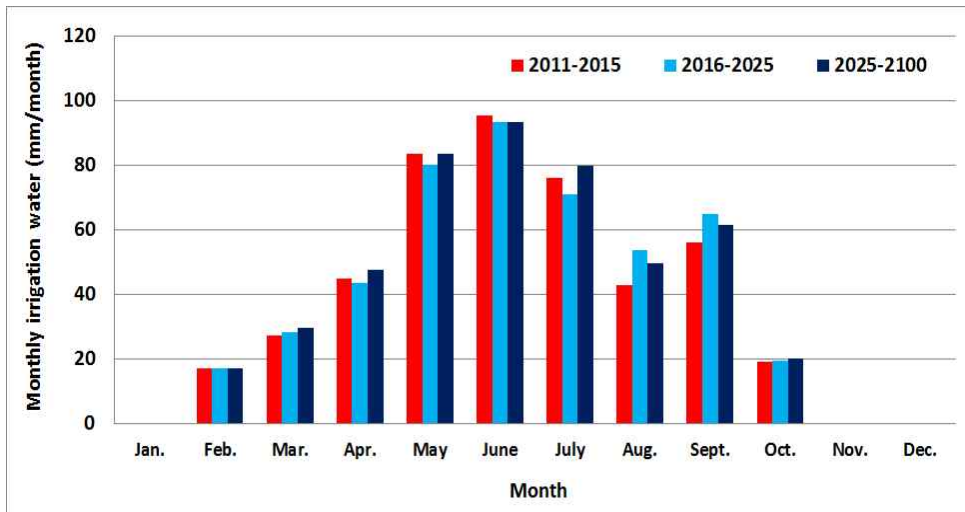


2) 전라북도 임진지구

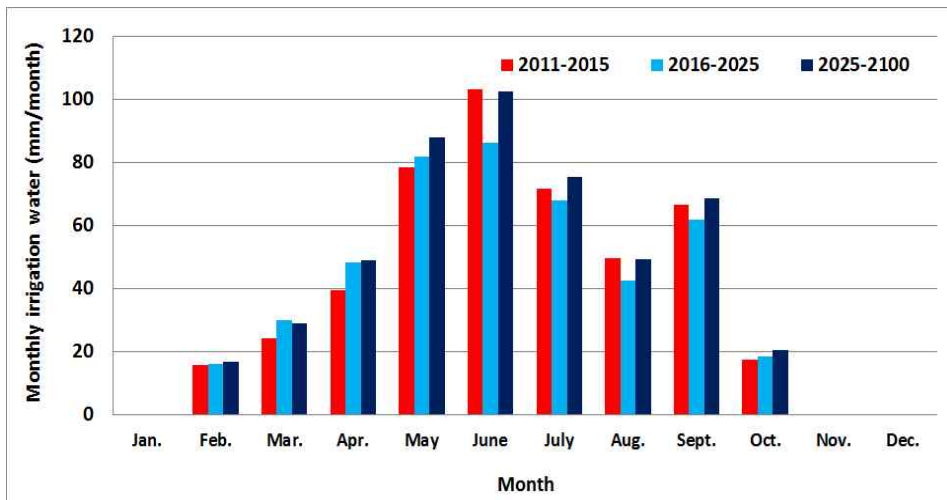
임진지구의 경우 대표작물인 고추의 연평균 관개 필요수량을 산정한 결과, 과거 2011년부터 2015년까지는 465 mm/year로 나타났고, 단기 미래인 2016년부터 2050년 동안에는 RCP 4.5 시나리오의 경우 약 471 mm/year의 관개수량이 필요한 것으로 나타났다. 중장기 미래인 2026년부터 2050년의 경우 RCP 4.5 시나리오 적용 시 483 mm/year의 관개수량이 필요한 것으로 나타났다. RCP 8.5 시나리오의 경우 단기미래에는 454 mm/year, 중장기 미래에는 500 mm/year의 관개수량이 필요한 것으로 나타났다(그림 7-16).

월별 관개 필요수량을 살펴보면 RCP 4.5 시나리오의 경우 6월에 가장 많은 95.5 mm/month의 관개수량이 필요하며, 단기와 중장기 미래로 갈수록 관개수량이 다소 감소하는 것으로 나타났다. 그러나 RCP 8.5 시나리오의 경우 단기 미래의 6월 관개 필요수량이 과거와 중장기 미래시기의 관개 필요수량보다 작게 나타났고, 특히 중장기 미래의 경우 8월 관개수량이 100 mm/month 이상 필요한 것으로 나타났다(그림 7-16)(그림 7-18).





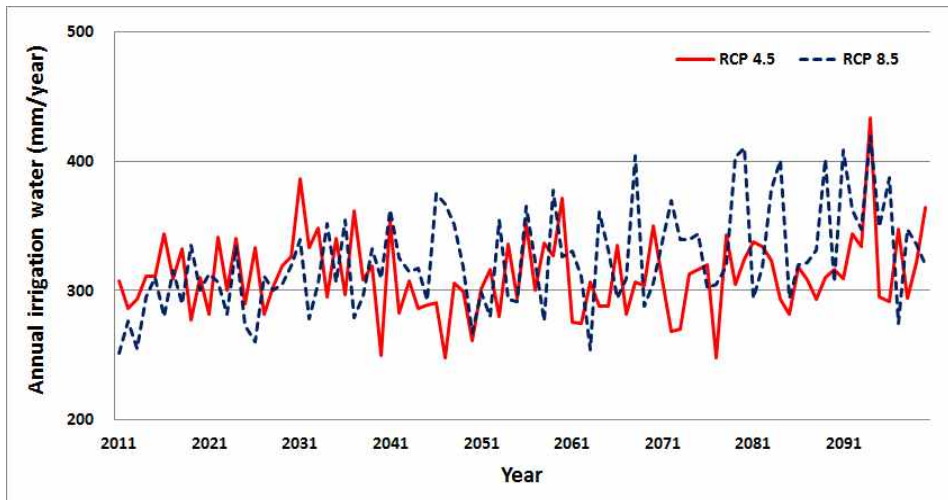
<그림 7-17> RCP 4.5 시나리오 적용 시 임신지구 고추의 월 관개 필요수량의 변화

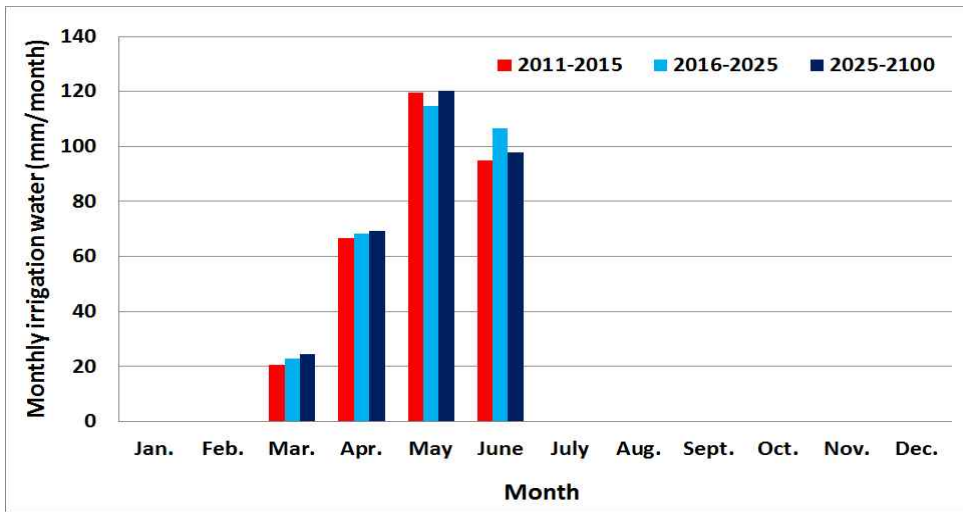


3) 강원도 평방지구

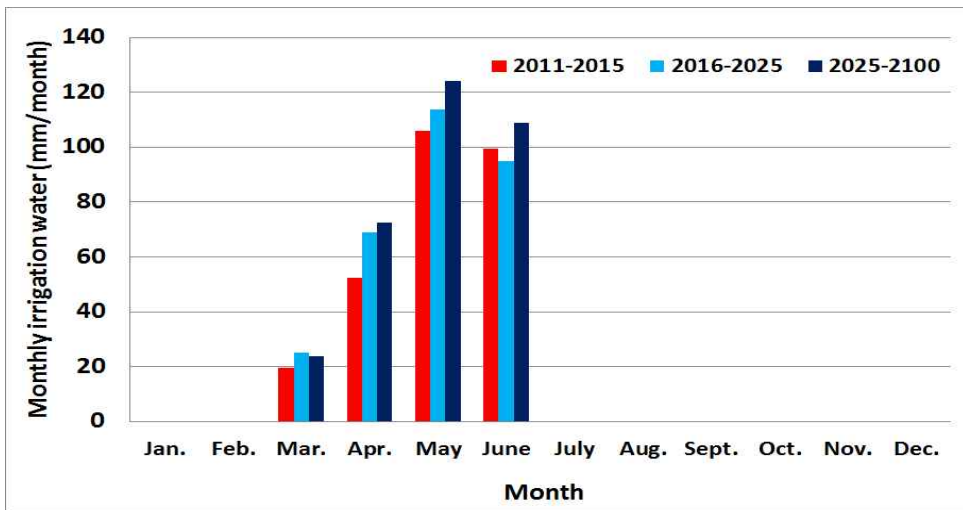
평방지구의 경우 대표작물인 감자의 연평균 관개 필요수량을 산정한 결과, 과거 2011년부터 2015년까지는 290 mm/year로 나타났고, 단기 미래인 2016년부터 2050년 동안에는 RCP 4.5 시나리오의 경우 약 313 mm/year의 관개수량이 필요한 것으로 나타났다. 중장기 미래인 2026년부터 2050년의 경우 RCP 4.5 시나리오 적용 시 312 mm/year의 관개수량이 필요한 것으로 나타났다. RCP 8.5 시나리오의 경우 단기미래에는 303 mm/year, 중장기 미래에는 329 mm/year의 관개수량이 필요한 것으로 나타났다(그림 7-19).

월별 관개 필요수량을 살펴보면 RCP 4.5 시나리오의 경우 5월에 가장 많은 118 mm/month의 관개수량이 필요하며, 단기 미래의 다소 감소하였다가 중장기 미래에 다시 증가하는 것으로 나타났다. RCP 8.5 시나리오의 경우 중장기 미래의 5월 관개 필요수량이 과거와 단기 미래시기의 관개 필요수량보다 상당량 증가하는 것으로 나타났고, 특히 중장기 미래의 경우 5월 관개수량이 120 mm/month 이상 필요한 것으로 나타났다(그림 7-20)(그림 7-21).





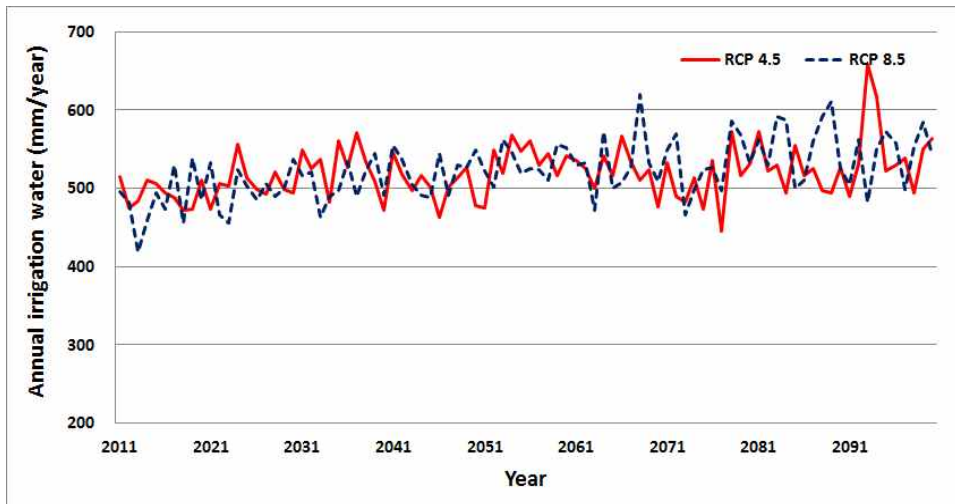
<그림 7-20> RCP 4.5 시나리오 적용 시 평방지구 감자의 월 관개 필요수량의 변화

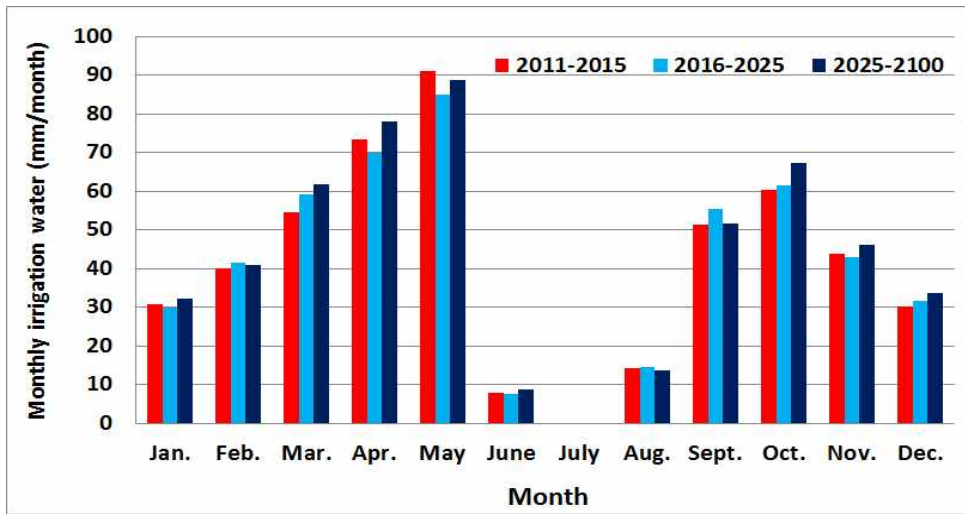


4) 전라남도 함라지구

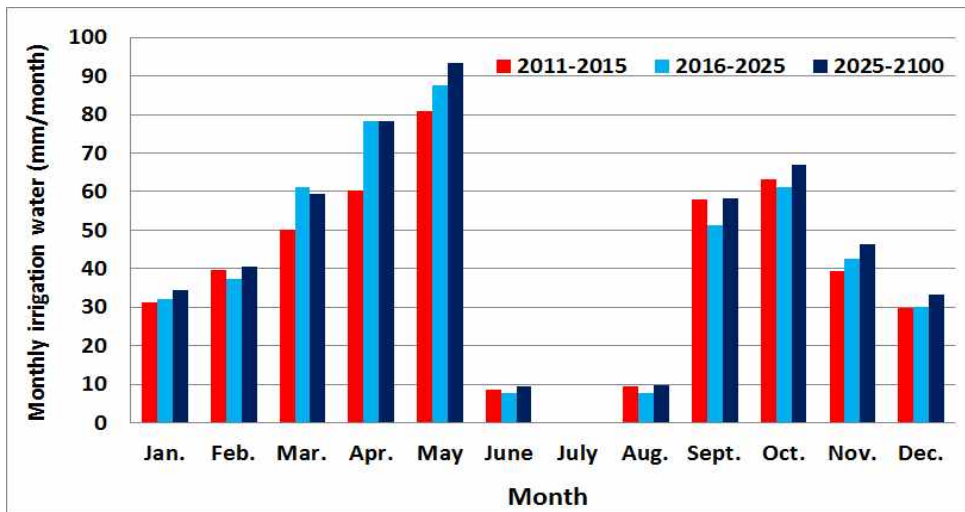
함라지구의 경우 대표작물인 양파의 연평균 관개 필요수량을 산정한 결과, 과거 2011년부터 2015년까지는 484 mm/year로 나타났고, 단기 미래인 2016년부터 2050년 동안에는 RCP 4.5 시나리오의 경우 약 499 mm/year의 관개수량이 필요한 것으로 나타났다. 중장기 미래인 2026년부터 2050년의 경우 RCP 4.5 시나리오 적용 시 523 mm/year의 관개수량이 필요한 것으로 나타났다. RCP 8.5 시나리오의 경우 단기미래에는 497 mm/year, 중장기 미래에는 530 mm/year의 관개수량이 필요한 것으로 나타났다(그림 7-22).

월별 관개 필요수량을 살펴보면 RCP 4.5 시나리오의 경우 5월에 가장 많은 88 mm/month의 관개수량이 필요하며, 중장기 미래로 갈수록 월별 관개 수량이 다소 증가하는 것으로 나타났다. RCP 8.5 시나리오의 경우 중장기 미래의 3-5월 동안의 관개 필요수량이 과거와 비교하여 상당량 증가하는 것으로 나타났고, 특히 중장기 미래의 경우 5월 관개수량이 90 mm/month 이상 필요한 것으로 나타났다(그림 7-23)(그림 7-24).





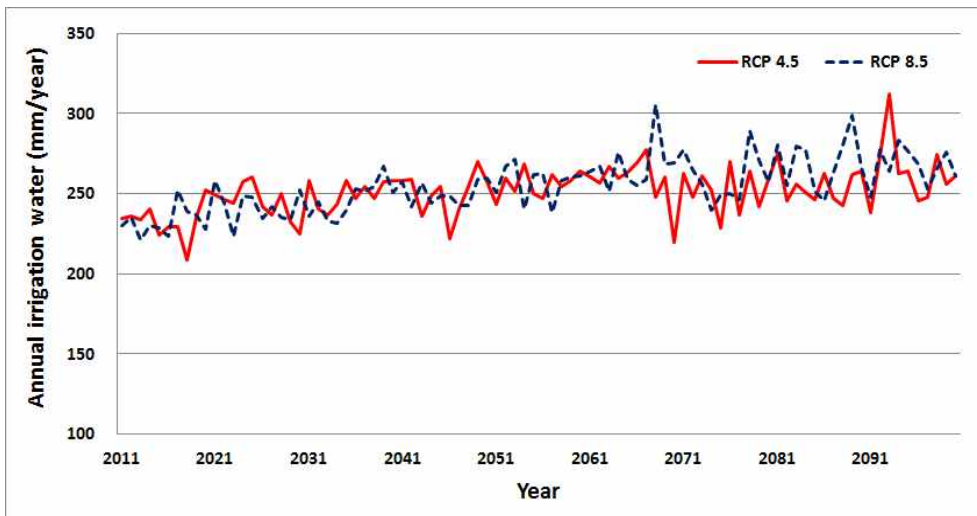
<그림 7-23> RCP 8.5 시나리오 적용 시 함라지구 양파의 월 관개 필요수량의 변화

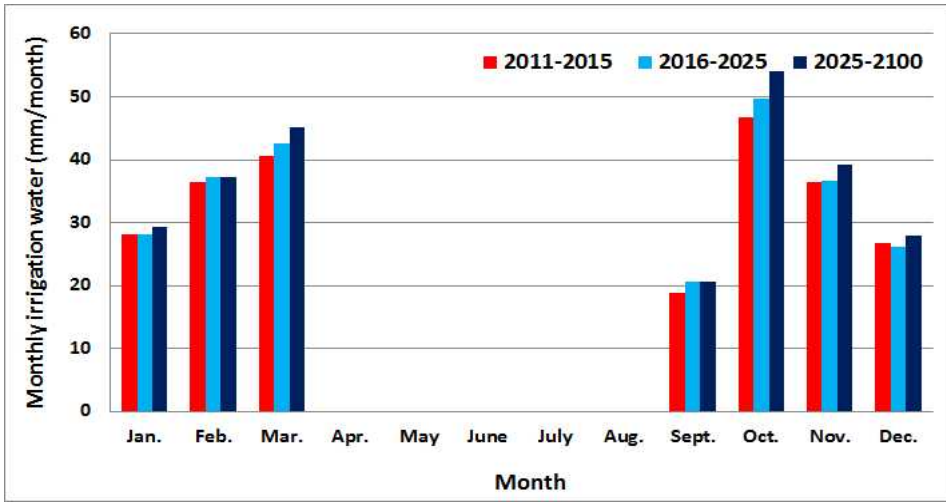


5) 전라남도 해화지구

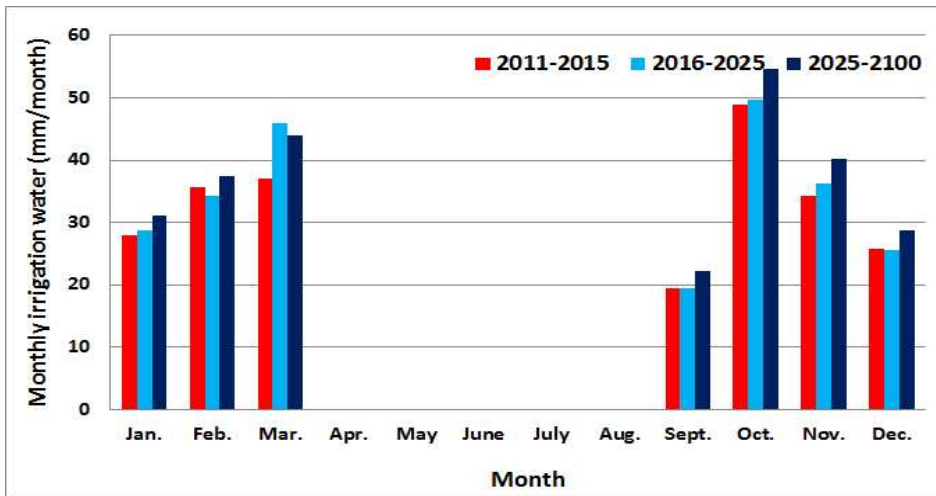
해화지구의 경우 대표작물인 마늘의 연평균 관개 필요수량을 산정한 결과, 과거 2011년부터 2015년까지는 231 mm/year로 나타났고, 단기와 중장기 미래로 갈수록 연 관개 필요수량이 증가하는 경향을 확인할 수 있다. 단기 미래인 2016년부터 2015년 동안에는 RCP 4.5 시나리오의 경우 약 241 mm/year의 관개수량이 필요한 것으로 나타났고, 중장기 미래인 2026년부터 2100년의 경우 RCP 4.5 시나리오 적용 시 254 mm/year의 관개수량이 필요한 것으로 나타났다. RCP 8.5 시나리오의 경우 단기미래에는 240 mm/year, 중장기 미래에는 259 mm/year의 관개수량이 필요한 것으로 나타났다(그림 7-25).

월별 관개 필요수량을 살펴보면 RCP 4.5 시나리오의 경우 10월에 가장 많은 50 mm/month의 관개수량이 필요하며, 중장기 미래로 갈수록 월별 관개 수량이 다소 증가하는 것으로 나타났다. RCP 8.5 시나리오의 경우 중장기 미래의 10-12월 동안의 관개 필요수량이 과거와 비교하여 상당량 증가하는 것으로 나타났고, 특히 중장기 미래의 경우 10월 관개수량이 54 mm/month 이상 필요한 것으로 나타났다(그림 7-26)(그림 7-27).





<그림 7-26> RCP 8.5 시나리오 적용 시 해화지구 마늘의 월 관개 필요수량의 변화

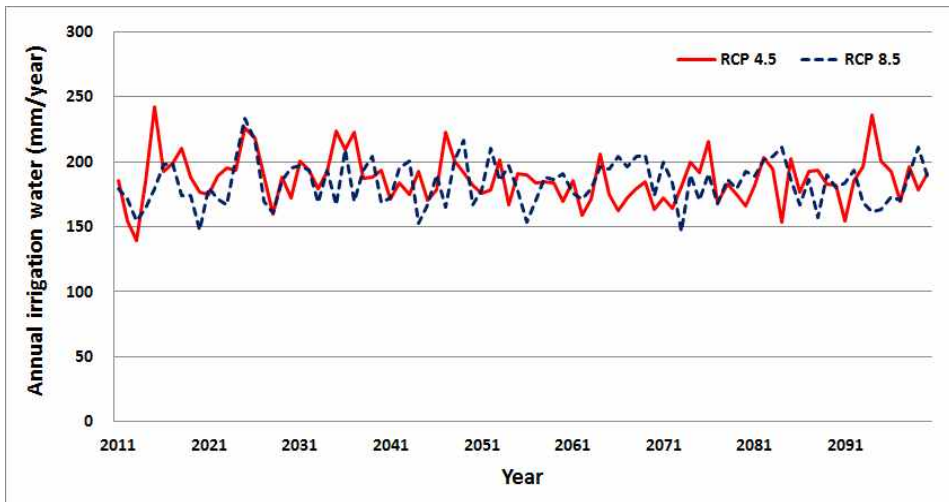


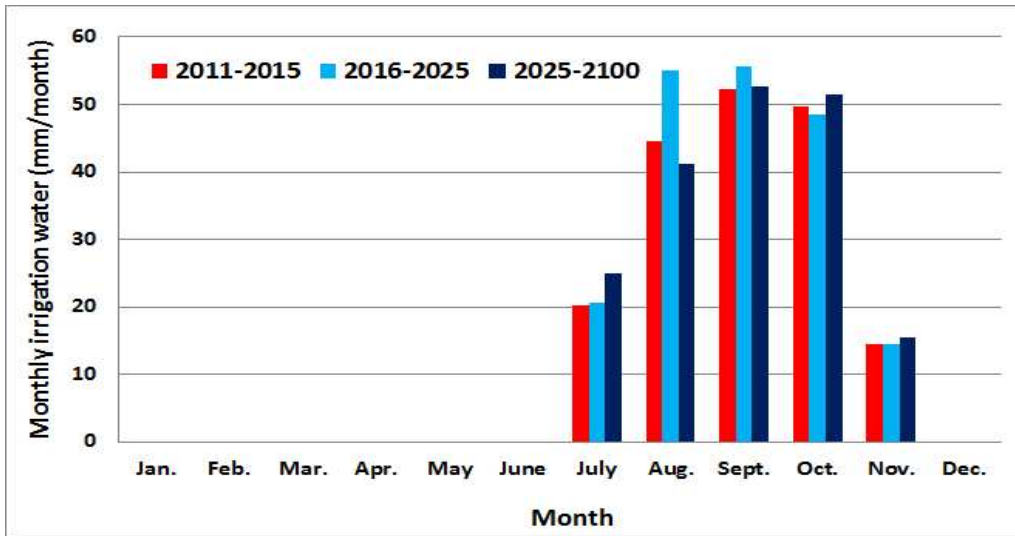
<그림 7-27> RCP 8.5 시나리오 적용 시 해화지구 마늘의 월 관개 필요수량의 변화

6) 강원도 홍남지구

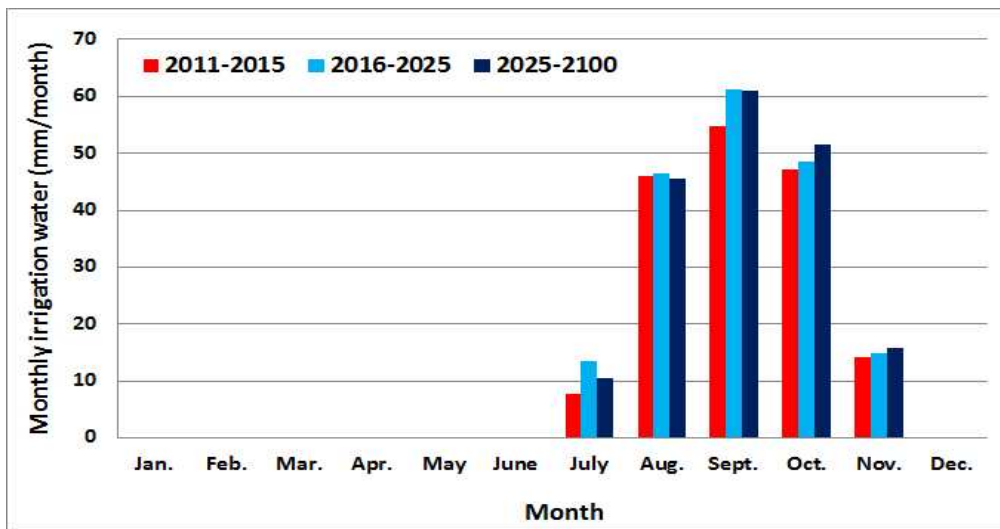
홍남지구의 경우 대표작물인 무의 연평균 관개 필요수량을 산정한 결과, 과거 2011년부터 2015년까지는 175 mm/year로 나타났고, 단기 미래인 2016년부터 2015년 동안에는 RCP 4.5 시나리오의 경우 약 194 mm/year의 관개수량이 필요한 것으로 나타났다. 중장기 미래인 2026년부터 2100년의 경우 RCP 4.5 시나리오 적용 시 186 mm/year의 관개수량이 필요한 것으로 나타났다. RCP 8.5 시나리오의 경우 단기미래에는 185 mm/year, 중장기 미래에는 185 mm/year의 관개수량이 필요한 것으로 나타났다(그림 7-28).

월별 관개 필요수량을 살펴보면 RCP 4.5 시나리오의 경우 9월에 가장 많은 54 mm/month의 관개수량이 필요한 것으로 나타났다. 단기 미래의 월 관개 필요수량의 증가가 두드러지게 나타났고, 특히, 8월의 관개 필요수량의 증가량이 가장 큰 것으로 나타났다. RCP 8.5 시나리오의 경우 9월을 제외하고 과거와 단기 미래, 중장기 미래의 월 관개 필요수량의 증가량이 상당히 작은 것으로 나타났다(그림 7-29)(그림 7-30).





<그림 7-29> RCP 8.5 시나리오 적용 시 홍남지구 무의 월 관개 필요수량의 변화



제 8 장

결 론

제8장 결 론

본 연구는 지표수 수리시설로 용수공급이 불리한 지역에 기후변화를 고려하여 최적지하수 공급방안을 제시하는 것을 목적으로 하고 있다.

이를 위해 농어촌용수구역별 농업용수 공급 특성, 기후변화 시나리오를 이용한 농어촌용수구역별 가뭄취약성, 용수구역별 지하수 개발·이용 현황 및 지하수 개발가능량에 대한 분석을 실시하였다. 이를 기초로 용수구역 유형을 분류하여 가뭄대비가 필요한 용수구역을 선정하였으며, 최종적으로 가뭄에 취약한 지역을 제시하였다.

세부적인 연구 결과는 아래와 같다.

- 농어촌용수이용 합리화계획(2014)에 따르면 밭기반 정비율을 2012년 13%에서 2024년 24%로 높이는 계획에 따라, 밭 관개면적을 각각 98천 ha, 180천 ha로 확대 추진하는 계획을 수립하였으며, 수리안전담율은 2012년 59%에서 2024년 75%로 확대할 계획이다.
- 이를 위하여 지표수 이용시설 공급이 가능한 구역에 14.5억 m^3 /년의 지표수 공급계획을 수립하고, 지표수 이용시설 여건이 불합리하고 용수확보 적지가 없는 구역에 대해서는 4.7억 m^3 /년의 지하수시설 개발이 필요한 것으로 분석되었다. 용도별로는 농업용수와 축산 및 기타용수가 각각 18.3억 m^3 과 0.9억 m^3 으로 나타났다.
- 농업용수 18.3억 m^3 중 밭용수는 2억 m^3 으로, 2024년 밭 관개면적 확대를 위한 추가소요량은 현재의 3.4억 m^3 과 비교하여 1.4억 m^3 이 부족한 것으로 분석되었다. 특히 밭용수 2억 m^3 중 86%인 1.7억 m^3 을 지하수로 계획함에 따라, 밭 관개면적 확대를 위한 지하수 개발 수요는 늘어날 것으로 전망된다.
- 본 연구에서는 2012년 국가지하수관리계획 수립 시 산정한 117개 수자원단위지도 중권역의 유역별 지하수 함양율, 평균 강수량 및 10년 빈도 가뭄 시 강수량을 농어촌용수구역 511개소에 적용하여 용수구역별 지하수 함양량 및 개발가능량을 산정하였다.
- 전국적으로 지하수 함양량은 188.4억 m^3 /년이며, 10년 빈도 가뭄 시 강수량을 적용하여 산정한 지하수 개발가능량은 128.9억 m^3 /년으로 전체 함양량 대비 개발가능량은 68.4%로 나타났다.
- 2014년 기준 지하수 이용량은 40.9억 m^3 /년으로, 전국 평균 함양량 대비

21.7%와 개발가능량 대비 31.7%로 나타났다. 이를 이용하여 분석된 개발가능량 대비 이용량이 30% 이하인 용수구역은 285개, 80% 초과 용수구역은 35개로 나타났으며, 이 중 100% 초과하는 용수구역도 13개소로 분석되었다.

- 단위면적당 지하수 이용량은 전국 평균 40,651 $\text{m}^3/\text{년}/\text{km}^2$ 으로, 용수구역별 단위면적 당 지하수 이용량이 42,000 $\text{m}^3/\text{년}/\text{km}^2$ 이하인 용수구역은 300개, 시도별 단위면적당 이용량의 최대치인 11만 $\text{m}^3/\text{년}/\text{km}^2$ 을 초과하는 용수구역은 28개로 분석되었다.
- 단위면적당 지하수 개발 밀도는 전국 평균 15.5 공/ km^2 이며, 용수구역별 단위면적 당 지하수 개발 밀도가 20 공/ km^2 이하인 용수구역은 348개, 최대 100 공/ km^2 이상인 용수구역은 1개로 나타났다.
- 용수구역 단위로 생산된 기상요소별 과거 기간(2011~2015년)의 기상정보를 이용하여 4가지 기준증발산량 산정 방법(BC, MP, PM, TH)에 대해 기준 증발산량을 계산하여 전국적인 분포도를 작성하였다. 분석 결과 한강 권역을 비롯한 중부내륙 지역의 증발산량이 작게 나타난 반면, 겨울철 비교적 기온이 높고 강한 풍속을 보이는 남해안 도서지역에서 증발산이 가장 높은 것으로 나타났다.
- 미래 기간(2016~2024년, 2025~2050년)에 대한 용수구역별 RCP 시나리오를 이용한 산정법, 기간, 계절별 평균 강수량을 예측한 결과, 모든 시나리오에서 우기(6~8월)에 강수가 집중되는 계절적 패턴이 나타났다. 그러나 다른 시나리오에 비해 RCP 8.5에서의 강수량이 높게 나타났으며, 특히 우기에 집중된 것으로 분석되었다
- 미래 기간(2016~2024년, 2025~2050년)에 대하여 용수구역별 PM 산정법을 적용하여 각 RCP 시나리오에 따른 기간, 계절별 기준 증발산량을 예측한 결과, 모든 시나리오에 대해 우기에 증발산량이 높은 것으로 분석되었다.
- 기준증발산량의 용수구역별 기온 차이는 시나리오 및 계절에 따라 크게 나타나지 않았으며, 대체로 계절적 패턴과 시나리오에 따른 기준증발산량 증가 추세가 일치하는 것으로 나타났다.
- 기후변화가 가뭄에 미치는 영향을 분석 및 평가하기 위하여 511 구역별 과거 및 미래 시기의 표준강수 지수(SPI)와 표준강수 증발산지수(SPEI)를 산정하였다. 또한 SPEI를 연속적인 수문기상학적 시계열로 간주하여

연속이론을 적용한 후, 가뭄사상 및 가뭄의 지속기간(duration)과 심도(severity), 규모(magnitude or intensity)를 분석하였다

- RCP 4.5 시나리오 기반의 지속기간 1개월의 SPEI를 통한 용수구역별 가뭄 특성은, 과거 시기의 경우 남해안에 위치한 용수구역의 가뭄 지속기간이 타 용수구역보다 긴 것으로 나타났다. 그러나 단기 미래에서는 금강 서해 유역과 한강 유역, 중장기 미래로 갈수록 한강 유역과 남해안 지역에 위치한 용수구역들의 가뭄 지속기간이 길어지는 것으로 나타났다.
- 가뭄 심도의 경우 과거 시기에는 섬진강 유역 내 용수구역들에서 가장 크게 나타났지만, 단기 미래에는 금강과 한강 유역, 중장기 미래에는 남해안 지역의 용수구역들에서 가뭄심도가 커지는 것으로 나타났다.
- RCP 8.5 시나리오 기반의 지속기간 1개월의 SPEI를 통한 용수구역별 가뭄 특성은, 과거 시기에는 남해안에 위치한 용수구역들의 가뭄 지속기간이 타 용수구역보다 긴 것으로 나타났다. 그러나 단기 미래에서는 섬진강과 낙동강 유역 내 일부 용수구역들의 가뭄 지속기간이 긴 것으로 나타났다.
- 중장기 미래에는 영산강 유역 내의 용수구역들에서 가뭄 지속기간이 길어지는 것으로 나타났다. 가뭄 심도의 경우 과거, 단기 및 중장기 미래 모두 남부지역에 위치한 용수구역들의 가뭄심도가 북부 지역보다 심해지는 것으로 나타났으며, 특히 섬진강과 영산강 유역 내의 가뭄 심도가 타 용수구역들에 비해 심해지는 것으로 나타났다.
- 농어촌용수이용합리화계획에서 제공하는 용수구역별 주요 통계와 지하수관리기본계획의 지하수 함양량 자료를 활용하여 511개 용수구역의 유형 분류 기준을 수립하였다. 분석 결과 분류 기준은 1) 지하수 개발가능량 대비 이용량 비율은 80%, 2) 발용수 수요 대비 공급량 비율은 37.5%, 3) 논용수 수요량 대비 공급량 비율은 76.5%로 선정되었다. 이러한 3가지 분류 기준을 토대로 8개의 용수구역 유형으로 분류하였으며, 1번 유형인 지하수 개발 1순위 지역(Cluster 1)은 총 44개 용수구역으로 나타났다. 이 중 19개 지역은 농경지 중 밭 면적 비율이 50% 이상으로, 지하수 개발을 위한 밭 지역 수리지질 조사가 시급한 지역으로 분석되었다.
- 2011년부터 2050년 동안의 SPI와 SPEI 산정 결과를 토대로 가뭄 지속

기간과 가뭄심도의 분석을 위하여, 각각의 평균과 편차를 활용하여 용수구역별 가뭄 특성을 0점에서 5점(극심한 가뭄)으로 구분하였다.

- RCP 4.5 시나리오를 이용하여 1개월과 3개월 지속기간의 가뭄 특성에 따른 유형을 분류한 결과, 한강 유역 내 일부 용수구역과 남해안 인접 지역의 용수구역들의 가뭄 지속기간과 가뭄심도에 따른 점수값이 타 지역보다 높은 것으로 나타났다.
- RCP 8.5 시나리오의 경우 섬진강과 영산강 유역에 위치한 용수구역들의 가뭄 지속기간과 가뭄심도 점수값이, 타 지역보다 크게 높은 것으로 분석되었다.
- 기후변화 및 지하수를 이용한 가뭄 대비가 필요한 가뭄취약지구 선정을 위하여, 아래와 같은 우선순위 기준에 대한 결과를 기후변화 시나리오별(RCP 4.5 및 8.5)로 제시하였다.

- 기준 1: 선정 용수구역 → 유형 1~3
- 기준 2: 제외 용수구역 → 유형 4~8
 - 유형 4는 논/밭용수 수요량 대비 공급 비율이 상대적으로 높은 지역
 - 유형 5~8은 지하수 개발 제한 구역으로 논용수(지표수)를 발용수로 활용 또는 지표수-지하수 연계 활용 방안 수립 우선 지역으로 제외
- 기준 3: 동일 유형 내 우선 순위
 - 농경지 대비 밭 비율 50% 이상인 용수구역
 - 2011~2050년 동안의 SPEI 1개월 및 3개월 가뭄심도 표준점수의 합이 높은 지역

- 지표수 수리시설로 용수공급 불리 지역을 동·리 단위의 가뭄취약 지역 우선순위로 제시하기 위하여, 다음과 같은 우선순위 기준을 선정하였다. 이러한 선정 기준을 바탕으로, 유형 1~3에 해당하는 93개 용수구역에 대해서 용수구역 내 우선순위를 동·리 단위로 제시하였다.

- 대상유형: 유형 1~3
- 우선기준: 2024년 기준 논/밭용수 수요량 대비 2012년 기준 용수 공급량이 부족한 지역
- 제외지역:
 - 도시(동) 지역
 - 2030년 기준 밭 면적 10 ha 이하인 지역
 - 내한능력 10년 빈도 및 저수량 30만 m³ 이상 지역
- * 지표수 수리 시설 포함 지역 제외(* 취입보, 양수장 등은 내한 능력 10년 빈도 및 수혜구역 45 ha 이상)

○ 기후변화와 가뭄에 따른 밭관개 필요수량의 변화를 분석하기 위하여 대표 가뭄지역 6곳을 선정하여, 밭 토양의 일별 물수지를 이용하여 각 지역의 대표작물에 대한 밭작물의 관개 필요수량을 산정하였다. 또한 2011년부터 2050년까지 RCP 4.5 와 RCP 8.5 시나리오를 적용하여 관개 필요수량을 산정하였고, 과거기간(2011~2015년), 단기 미래(2016~2025년), 중장기 미래(2026~2050년)의 연도별, 월별 관개 필요수량을 제시하였다.

제 9 장

제 언

제9장 제 언

본 연구는 당초 연구기간을 2년으로 계획하였으나 『2017년 농촌개발시험연구 과제선정 심의위원회』 심의결과 1차년도 보고서에 지표수 공급 불리지역의 유형별 대책방향을 제시하는 수준에서 마무리하는 것으로 결정되어 다음과 같이 제언을 추가하게 되었다.

본 연구를 기초로 용수구역별 최적 지하수 공급방안을 제시하기 위해서는, 군집분석 결과 가뭄취약지구로 제시된 93개 용수구역에 대한 수리지질특성 조사가 필요하다. 또한 유형별 용수구역의 지하수 개발 및 공급방안 제시와 함께 지하수 이용 비율이 높은 용수구역에 대한 지하수관리방안 제시 연구가 필수적이다.

본 연구에서는 용수구역별로 용수이용 특성에 따른 유형분류를 위하여, 1) 지하수 개발가능량 대비 이용량 비율 80%, 2) 발용수 수요 대비 공급량 비율 37.5%, 3) 논용수 수요량 대비 공급량 비율 76.5%로 3가지 평가 인자를 선정하여 8개의 군집으로 분류한 바 있다.

본 장에서는 용수구역 유형별로 지하수 개발 방향을 제시하였으며, 이를 기초로 지하수 시설의 종류, 설치 위치, 규모, 시공방법 등은 용수구역별 수리지질조사를 실시하여 확정하는 것이 필요하다.

9.1 용수구역 유형별 지하수 개발 방안

9.1.1 유형1: 논용수 및 발용수 공급 비율이 낮은 용수구역

- 발/논용수 수요량 대비 공급량 비율을 각각 높은 그룹과 낮은 그룹으로 구분하여, 용수 공급량 비율이 상대적으로 낮은 용수구역
 - 지하수 개발가능량 대비 이용량: 80% 이하
 - 발용수 수요대비 공급량 비율: 37.5% 이하
 - 논용수 수요대비 공급량 비율: 76.5% 이하
- 본 유형에 해당하는 용수구역은 44개이며, 이 중 농경지 면적에서 밭면적이 50%이상과 이하인 용수구역은 각각 19개와 25개임
- 논/발용수 공급비율이 상대적으로 낮아 신규 농업용수 개발 수요가 증가할 것으로 예상되는 용수구역으로, 수리시설이 미비하여 가뭄에 취

- 약한 발 지역의 안정적인 용수 확보를 위해 수리지질 조사가 필요함
- 본 유형에 해당하는 용수구역 중 지표수 공급이 어려운 농경지의 경우에는, 지형·지질 및 층적층 층후를 고려하여 층적층 지하수나 암반층 지하수 개발을 통한 용수공급이 타당함
 - 1) 지표수 공급시설의 한발대비 내한능력이 10년 미만 지역, 2) 기존 지표수 수리시설을 이용하여 말단부 농업용수 공급 불리 지역, 3) 추가적인 지표수 시설 설치 어려운 지역에 해당하는 농촌용수구역에 대하여는, 수리·수문 환경 및 수리지질특성을 고려하여 지하수자원 확보시설(지하댐, 방사상 집수정 등) 설치를 통한 신규 농업용수 공급 방안 검토가 필요

9.1.2 유형2: 발용수 공급비율이 낮고 논용수 공급 비율은 높은 용수구역

- 발/논용수 수요량 대비 공급량 비율이 각각 두그룹의 경계값인 35.5%와 76.5%로 구분하여, 발용수 공급비율은 낮은 반면 논용수 공급비율이 높은 용수구역
 - 지하수 개발가능량 대비 이용량: 80% 이하
 - 발용수 수요대비 공급량 비율: 37.5% 이하
 - 논용수 수요대비 공급량 비율: 76.5% 초과
- 본 유형에 해당하는 용수구역은 153개이며, 이 중 농경지 면적에서 발 면적이 50% 이상과 이하인 용수구역은 각각 78개와 75개임
- 논용수 공급량이 상대적으로 높은 용수구역의 경우 발용수 부족 해결을 위하여, 용수이용 체계재편을 통한 지역간·수계간 용수수급 불균형 해소 방안 수립이 필요
- 본 유형에 해당하는 용수구역 중 지표수 공급이 어려운 농경지에서 지형·지질 및 층적층 층후를 고려하여 층적층 지하수나 암반층 지하수 개발을 통한 용수공급이 타당함
- 1) 지표수 공급시설의 한발대비 내한능력이 10년 미만 지역, 2) 기존 지표수 수리시설을 이용하여 말단부 농업용수 공급 불리 지역, 3) 추가적인 지표수 시설 설치 어려운 지역에 해당하는 농촌용수구역에 대하여는, 수리·수문 환경 및 수리지질특성을 고려하여 지하수자원 확보시설(지하댐, 방사상 집수정 등) 설치를 통한 신규 농업용수 공

급 방안 검토가 필요

- 수리시설이 미비하여 가뭄에 취약한 밭 지역의 안정적인 용수확보를 위하여, 밭 지역에 대한 체계적인 수리지질조사가 필요

9.1.3 유형3: 밭용수 공급비율이 높고 논용수 공급 비율은 낮은 용수구역

- 밭/논용수 수요량 대비 공급량 비율이 각각 두그룹의 경계값인 35.5%와 76.5%로 구분하여, 밭용수 공급비율은 낮은 반면 논용수 공급비율이 높은 용수구역
 - 지하수 개발가능량 대비 이용량: 80% 이하
 - 밭용수 수요대비 공급량 비율: 37.5% 초과
 - 논용수 수요대비 공급량 비율: 76.5% 이하
- 본 유형에 해당하는 용수구역은 49개이며, 이 중 농경지 면적 중 밭 면적이 50% 이상과 이하인 용수구역은 각각 23개와 26개임
- 논용수 공급량이 상대적으로 낮은 용수구역 중 기존 수리시설에 의한 농업용수가 부족한 지역에 대해서는, 저수지 덧쌓기, 양수장 규모 확장, 취입보 시설 확대 등을 통한 용수공급 방안 추가 수립이 필요
- 1) 지표수 공급시설의 한발대비 내한능력이 10년 미만 지역, 2) 기존 지표수 수리시설을 이용하여 말단부 농업용수 공급 불리 지역, 3) 추가적인 지표수 시설 설치 어려운 지역에 해당하는 농촌용수구역에 대하여는, 수리·수문 환경 및 수리지질특성을 고려하여 지하수자원 확보시설(지하댐, 방사상 집수정 등) 설치를 통한 신규 농업용수 공급 방안 검토가 필요
- 수리시설이 미비하여 가뭄에 취약한 밭 지역의 안정적인 용수확보를 위하여, 밭 지역에 대한 체계적인 수리지질조사가 필요

9.1.4 유형4: 논용수 및 밭용수 공급 비율이 높은 용수구역

- 밭/논용수 수요량 대비 공급량 비율이 각각 두그룹의 경계값인 35.5%와 76.5%로 구분하여, 밭용수 공급비율은 낮은 반면 논용수 공급비율이 높은 용수구역
 - 지하수 개발가능량 대비 이용량: 80% 이하

- 발용수 수요대비 공급량 비율: 37.5% 초과
- 논용수 수요대비 공급량 비율: 76.5% 초과
- 본 유형에 해당하는 용수구역은 137개이며, 이 중 농경지 면적에서 밭 면적이 50% 이상과 이하인 용수구역은 각각 68개와 69개임
- 논용수 공급량이 상대적으로 높은 용수구역의 경우 발용수 부족 해결을 위하여, 용수이용 체계재편을 통한 지역간·수계간 용수수급 불균형 해소 방안 수립이 필요
- 1) 지표수 공급시설의 한발대비 내한능력이 10년 미만 지역, 2) 기존 지표수 수리시설을 이용하여 말단부 농업용수 공급 불리 지역, 3) 추가적인 지표수 시설 설치 어려운 지역에 해당하는 농촌용수구역에 대하여는, 수리·수문 환경 및 수리지질특성을 고려하여 지하수자원 확보시설(지하댐, 방사상 집수정 등) 설치를 통한 신규 농업용수 공급 방안 검토가 필요

9.1.5 유형5~유형8: 지하수 이용 비율이 높은 용수 구역

- 지하수 개발가능량 대비 이용량이 80%를 초과하는 용수구역으로 30개소가 해당되며, 밭/논용수 수요량 대비 공급량 비율이 각각 두그룹의 경계값인 35.5%와 76.5%로 구분됨
- 본 유형에 해당하는 용수구역은 지하수 개발가능량 대비 이용량이 높아 지하수자원의 보전관리가 필요함
- 유형5는 밭/논용수 공급비율이 낮은 용수구역으로 5개가 해당하며, 밭 면적은 모두 50% 이하임. 본 유형은 지표수를 이용한 추가 용수원 확보 방안 수립과 함께 지표수-지하수 연계 이용방안 검토가 필요함
- 유형6은 발용수 공급비율이 낮고 논용수 공급비율이 높은 용수구역으로, 밭 면적이 50% 이상과 이하인 용수구역이 각각 7개와 8개임. 본 유형은 논용수를 발용수로 활용하는 방안 검토가 필요
- 유형7은 발용수 공급비율이 높고 논용수 공급비율이 낮은 용수구역으로, 밭 면적이 50%이상과 이하인 용수구역이 각각 3개와 2개임. 본 유형 중 시설농업으로 인한 지하수 수요가 많은 경우에는, 지하수 인공함양을 통한 지하수 개발가능량을 추가로 확보하는 방안 수립이 필요

- 유형8은 발/논용수의 공급비율이 높은 용수구역으로, 발 면적이 50% 이상과 이하인 용수구역이 각각 1개와 4개임. 본 유형 중 시설농업으로 인한 지하수 수요가 많은 경우에는, 지하수 인공함양을 통한 지하수 개발가능량을 추가로 확보하는 방안 수립이 필요

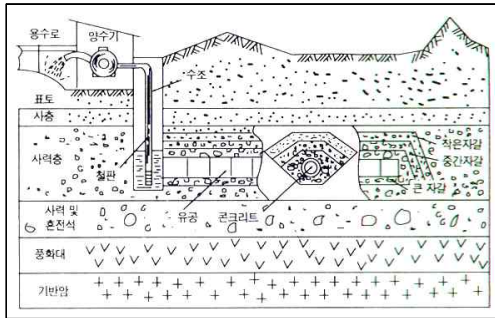
9.2 지하수 개발 형태 분류

9.2.1 충적관정(충적층관정)

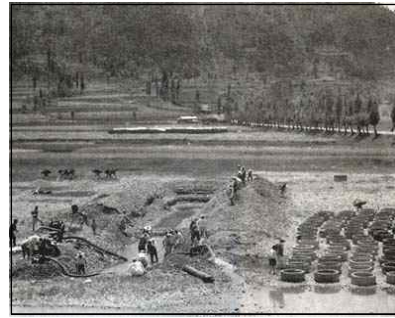
- 충적층, 미고결층 및 기반암의 풍화대층을 대상으로 대구경 착정기를 사용하여 구경 200~600 mm로 심도 10~20 m까지 굴착
- 관정자재는 구경 150~400 mm의 철제 또는 PVC 유공관을 공내에 설치한 후, 관정자재와 착정공벽 사이에는 일정규격의 자갈을 충전

9.2.2 집수암거

- 하천부지 또는 하천유로 하부에 유공관을 매설하여 다량의 지하수를 집수하는 시설로서, '60년대부터 관개용수 확보를 목적으로 개발
- 집수암거는 구경 0.6~1.5 m의 흙관 상부측에 $\phi 5$ mm의 구멍을 일정한 간격으로 뚫어 집수관을 만들고, 인력터파기 또는 장비로 지층을 파내어 매설한 후 집수관 주위에 자갈을 덮어 모래 등 이물질이 유입되지 않도록 시공
- 설치 이후 시간 경과에 따라 모래가 유입되어 집수관 안에 퇴적되거나 홍수 시 하상이 파여 나감에 따라, 이용 불가능에 따라 폐기되어 현재 사용 사례는 거의 없음



(a) 집수암거 모식도

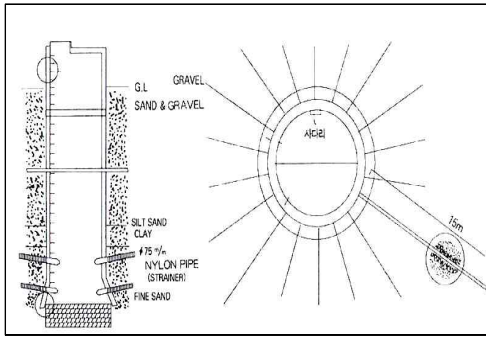


(b) 집수암거 시공 전경

<그림 9-1> 집수암거

9.2.3 방사상 집수정

- 지하수를 다량 취수하기 위하여 대수층이 발달한 충적층 또는 미고결암층에 구경 3.5 m의 철근 콘크리트 우물통을 대수층 밑바닥에 설치한 후, 우물통 하단에서 방사상으로 여러 개의 수평 집수관을 삽입하여 5,000~10,000mm³/day의 지하수를 집수·이용하는 시설
- 수평착정 이외에 여러 개의 충적관정을 사이편방식으로 연결하여 우물통 안으로 집수하는 사이편 집수정시설도 이용됨. 최근 암반층에서도 방사상 집수정을 설치하고, 풍화대 및 연암층에 수평 집수관을 굴착하여 성공적으로 이용하는 사례도 있음
- 방사상 집수정은 방사상으로 수평착정을 하기 때문에 주변의 지층, 특히 충적층 구간의 경우 지층 교란으로 인한 개발 여건 불리함. 따라서 사전에 수평착정 구간에 대하여 소구경 시추기를 이용한 충분한 사전 조사가 필수적임



(a) 집수정 모식도



(b) 방사상 집수정

<그림 9-2> 방사상 집수정의 개발 모식도

9.2.4 암반관정

- 암반 지하수를 주 채수대상으로 하여 대구경 착정기에 의해 착정 구경 200~600 mm로 굴착한 후 통상 구경 150~400 mm의 철제 또는 PVC 유공관을 공내에 설치 한 관정. 하부 암반층의 붕괴 및 토사 유입 우려가 없을 경우에는, 상부 충적층과 풍화대 구간에는 철제 외부 케이싱을 설치하고 하부 암반층에는 우물자재를 설치하지 않는 경우도 있음
- 1970년대 중반까지는 충적관정 개발 후 풍화대 하부의 연암층까지 굴착하여 수량증대 목적으로 개발. 초기 굴착법은 주로 로터리공법이었으나 '70년대 후반 이후에는 고성능착정공법이 도입되어 암반관정 개발이 대중화되었음
- '80년대 초부터 농업용수도 암반관정 위주로 바뀌었으며, 최근에는 청정지하수개발과 온천개발을 위한 지하 1,000 m 이상의 심층관정도 다수 개발되고 있음
- 제주도지역은 '70년대 초부터 지하수 대량개발이 시작되었으며, 제주도의 지질특성을 고려하여 로터리공법으로 코어를 회수하는 방식으로 지하 200 m 이상의 암반관정을 개발하고 있음



<그림 9-3> 암반관정 개발

9.2.5 지하댐

- 유역 내 수자원의 효율적 이용을 위하여 지하에 물막이벽을 설치함으로써 지하수 유로를 차단하여, 가뭄 시 저장된 물을 활용할 수 있도록 하는 시설임. 우리나라에서는 '83년 경북 상주 이안지구를 시작으로 5개소의 지하댐을 시공한 바 있음
- 물막이 벽은 그라우팅공법이나 절개공법으로 불투수층벽을 만들며, 물막이벽 내부에는 저장된 물을 취수할 수 있는 우물시설로 방사상 집수정 개발이 일반적임



참고문헌

- 건설교통부, 2006, 수자원장기종합계획(2006-2020) 보고서.
- 건설교통부, 2007, 지하수관리 기본계획, p315
- 경민수, 김상단, 김보경, 김형수, 2007. 군집분석을 통한 수문학적 가뭄의 가뭄심도-가뭄면적-가뭄지속기간 곡선의 작성, 대한토목학회논문집, Vol. 27 (3B), pp. 267-276.
- 경민수, 이용원, 김형수, 김병식, 2009. 기후변화가 서울지역의 기온 및 가뭄에 미치는 영향 평가: AR4 SRES A2 시나리오를 기반으로, 대한토목학회논문집, Vol. 29 (2B), pp. 181-191.
- 구민호, 이대하, 2002, 지하수위 변동법에 의한 지하수 함양의 수치해석적 분석, 지질학회지 제38권 제3호 p.407~420
- 국립기상연구소, 1993. 우리나라 가뭄에 관한 연구.
- 국토교통부, 한국수자원공사, 2015, 지하수조사연보, p.822
- 국토해양부, 2012, 지하수관리 기본계획(2012~2021), p154
- 기상청, 2009a. 기후변화 이해하기(Ⅱ) -한반도 기후변화: 현재와 미래-.
- 기상청, 2009b, 남해안지역의 기후변화에 대한 취약성 평가.
- 김대준, 윤진일, 2015. 기후변화 시나리오에 근거한 전주지역의 농업가뭄 전망. 한국농림기상학회지. 17(4). pp. 275-280.
- 김민지, 신진호, 이효신, 권원태, 2008, 동아시아 지역의 AOGCM 불확실성 평가 및 미래기후전망, 한국기상학회, Vol. 18 (4), pp. 507-524.
- 김상민, 박승우, 1999. 우리나라 주요 지점에 대한 가뭄지수의 산정과 비교, 한국농공학회논문집, Vol. 41 (5), pp. 43-52.
- 김선주, 이광야, 신동원, 1995. 관개용 저수지의 한발지수산정, 한국농공학회논문집, Vol. 37 (6), pp. 103-111.
- 김옥경, 최진용, 장민원, 유승환, 남원호, 이주현, 노재경, 2006. 토양수분지수를 이용한 유역단위 가뭄 평가, 한국농공학회논문집, Vol. 48 (6), pp. 3-13.
- 김현영, 서영제, 오수훈, 1996. 우리나라 가뭄 평가방법에 관한 연구, 한국관개배수, Vol. 3 (1), pp. 20-31.

- 나영은, 이정택, 김명현, 방혜선, 한민수, 노기안, 김민경, 2007a. 농업부문의 기후변화 취약성 평가에 관한 국외 동향, 한국국제농업개발학회지, Vol. 19 (2), pp. 80-92.
- 나영은, 이정택, 김명현, 방혜선, 한민수, 노기안, 김민경, 2007b. 농업부문의 기후변화 영향 및 적응방안에 관한 국외 동향, 한국국제농업개발학회지, Vol. 19 (2), pp. 93-100.
- 남원호, 홍은미, 최진용, 조재필, Michael J. Hayes, 2015. 기후학적 물수지를 적용한 기후변화에 따른 농업기상지표 변동예측의 불확실성. 한국농공학회. 57(2). pp. 1-13.
- 농림축산식품부, 2014, 농어촌용수이용합리화계획, p.173
- 농림축산식품부, 2015, 2014년 농업생산기반정비 통계연보, p.654
- 농어촌진흥공사, 1996, 한국 지하수 총람.
- 류재희, 이동률, 안재현, 윤용남, 2002. 가뭄 평가를 위한 가뭄지수의 비교 연구, 한국수자원학회논문집, Vol. 35 (4), pp. 397-410.
- 박기욱, 김진택, 주옥중, 이용직, 2006. 농업가뭄의 평가를 위한 가뭄지수의 적용성 분석, 한국관개배수, Vol. 13 (1), pp. 72-81.
- 박성우, 안재숙, 이기춘, 1982. 한발 기준년 재조정, 농업개발시험연구, 서울대 농업개발연구소.
- 배덕효, 정일원, 이병주, 이문환, 2011, GCM과 수문모형의 불확실성을 고려한 기후변화에 따른 한반도 미래 수자원 전망, 한국수자원학회논문집, Vol. 44 (5), pp. 389-406.
- 배승중, 정하우, 최진용, 1999. 지리정보시스템과 토양수분모형을 이용한 농업가뭄분석, 한국농공학회지, Vol. 41 (6), pp. 33-43.
- 서영호, 이안수, 조병욱, 강안석, 정병찬, 정영상, 2010. 기후변화에 대한 강원지역 벼 재배의 적응, 한국농림기상학회지, Vol. 12 (2), pp. 143-151.
- 심교문, 김건엽, 노기안, 정현철, 이덕배, 2008. 기후변화에 따른 농업기후지수의 평가, 한국농림기상학회지, Vol. 10 (4), pp. 113-120.
- 안병기, 김태철, 정도웅, 1988. 농업한발지수 설정에 관한 연구, 한국농공학회지, Vol. 30 (1), pp. 31-37.
- 유승환, 김태곤, 이상현, 최진용. 2015. 농업수자원 기후변화 영향평가를 위한

- CMIP5 GCMs의 기후 전망자료 경향성 분석. 한국농공학회. 57(5). pp. 69-80.
- 유승환, 남원호, 최진용, 장민원, 2008. 북한의 지역별 기상학적 가뭄의 평가와 유형분류, 한국농공학회논문집, Vol. 50 (4), pp. 3-15.
- 유승환, 최진용, 이상현, 오윤경, 박나영, 2012. 고해상도 기후시나리오를 이용한 논용수 수요량 및 단위용수량의 기후변화 영향 분석. 한국농공학회논문집, Vol 54 (2), pp. 15-26.
- 유원희, 2000. 유출량 계열을 이용한 가뭄 지수 산정, 석사학위논문, 인하대학교.
- 윤동균, 정상옥, 김성준, 2011. 기후변화가 논 필요수량에 미치는 영향, 한국농공학회논문집 Vol.53(4), 39-47 pp.
- 윤성탁, 2005. 지구온난화가 농업생산에 미치는 영향과 대응책, 한국국제농업개발학회지, Vol. 17 (3), pp. 199-207.
- 윤성호, 임정남, 이정택, 심교문, 황규홍, 2001. 기후변화와 농업생산의 전망과 대책, 한국농림기상학회지, Vol. 3 (4), pp. 220-237.
- 윤용남, 안재현, 이동률, 1997. Palmer의 방법을 이용한 가뭄의 분석, 한국수자원학회논문집, Vol. 30 (4), pp. 317-326.
- 윤용남, 유철상, 이재수, 안재현, 1999. 지구온난화에 따른 홍수 및 가뭄 발생빈도의 변화와 관련하여: 2. 지구 온난화에 따른 일강수량 분포의 변화 추정, 한국수자원학회논문집, Vol. 32 (6), pp. 627-636.
- 이동률, 김웅태, 유철상, 2004. 기후변화가 기상학적 가뭄과 홍수에 미치는 영향, 한국수자원학회논문집, Vol. 37 (4), pp. 315-328.
- 이동률, 문장원, 이대회, 안재현, 2006. 저수지 가뭄감시를 위한 물공급능력지수의 개발. 한국수자원학회 논문집, 39 (3), pp. 199-214.
- 이승호, 허인혜, 이경미, 김선영, 이윤선, 권원태, 2008. 기후변화가 농업생태에 미치는 영향 -나주지역을 사례로-, 대한지리학회지, Vol. 43 (1), pp. 20-35.
- 이진영, 환경정책평가연구원, 2012, 기후변화를 고려한 농업가뭄지수 활용 및 적용 기초 연구, p.31
- 이주현, 정상만, 김성준, 이명호, 2006. 가뭄모니터링 시스템 구축: I. 정량적 가뭄모니터링을 위한 가뭄지수의 적용성 분석, 한국수자원학회논문집, Vol. 39 (9), pp.787-800.

- 이태석, 최진용, 유승환, 이상현, 오윤경, 2012, 기후변화 시나리오에 따른 미래 논벼의 소비수량 및 생산량 변화분석. 한국농공학회논문집, Vol. 54 (1), pp. 47-54.
- 장민원, 2006. 주성분 분석법을 이용한 시군단위별 농업가뭄에 대한 취약성 분석에 관한 연구 -경기도를 중심으로-, 한국농촌계획학회, Vol. 12 (1), pp. 37-48.
- 장민원, 정하우, 박기욱, 2003. 가뭄대책 행정지원을 위한 지역논가뭄 평가모형 ADEM의 개발, 한국농촌계획학회, Vol. 9 (2), pp. 29-37.
- 정유란. 조재필. 이은정. 2015. 상세화된 CMIP5 기후변화전망의 다중모델앙상블 접근에 의한 농업기후지수 평가. 한국농림기상학회. 17(2). pp. 108-125.
- 정유란, 조경숙, 이변우, 2006. 지구온난화에 따른 우리나라 벼농사지대의 생산성 재평가, 한국농림기상학회지, Vol. 8 (4), pp. 229-241.
- 조홍제, 1996. 도시지역 용수관리를 위한 가뭄 예경보지수에 관한 연구, 한국수자원학회 논문집, Vol. 29 (1), pp. 221-233.
- 최영준, 1997, 국토와 민족생활사(한국사회연구총서 6), p.488
- 한국농어촌공사, 2012, 가뭄백서, p.589
- 해양수산부, 한국농어촌공사, 2015, 양식장 용수관리사업 보고서
- 홍은미, 최진용, 이상현, 유승환, 강문성, 2009. LARS-WG를 이용한 기후변화에 따른 논벼 증발산량 산정, 한국농공학회논문집, Vol. 51 (3), pp. 25-35.
- 환경부, 국립환경과학원, 2014, 한국 기후변화 평가보고서 2014, p.303
- Aburrea, J., and A. C. Cebrian, 2002. Drought analysis based on a cluster Poisson model: Distribution of the most severe drought, Climate Research, Vol. 22, pp. 227-235.
- Blenkinsop, S. and H. J. Fowler, 2007. Changes in drought frequency, severity and duration for the British Isles projected by the PRUDENCE regional climate models, Journal of Hydrology, Vol. 342, pp. 50-71.
- Buan, R. D., A. R. Maglinao, P. P. Evangelista and B. G. Pajuelas, 1996. Vulnerability of rice and corn to climate change in the Philippines, Water, Air, & Soil Pollution, Vol. 92, pp. 41-51.

- Burke E. J. and Brown. S. J., 2010. Regional drought over the UK and changes in the future. *Journal of Hydrology* 394: 471–485.
- Calanca, P., 2007. Climate change and drought occurrence in the Alpine region: How severe and becoming the extremes?, *Global and Planetary Change*, Vol. 57, pp. 151–160.
- Choi, C.H., D.G. Choi, E.S. Kim, and S.D. Kim, 2010. Effects of climate change on spatio-temporal behavior of drought using SAD analysis. *Journal of Korean Society of Hazard Mitigation* 10(6): 89–97 (in Korean).
- Chung, S. O., J. A. Rodriguez-Diaz, E. K. Weatherhead and J. W. Knox , 2010. Climate change impacts on water for irrigating paddy rice in south korea. *Irrigation and Drainage* 60(2): 263–273.
- Dencic, S., R. Kastori, B. Kobiljski and B. Duggan, 2000. Evaluation of grain yield and its components in wheat cultivars and landraces under near optimal and drought conditions, *Euphytica*, Vol. 113, pp. 43–52.
- Fischer, G., N. T. Francesco, V. Harrij and A. W. David, 2007. Climate change impacts on irrigation water requirements: Effects of mitigation, 1990–2080, *Technological Forecasting & Social Change*, Vol. 74, pp. 1083–1107.
- Hayes, M.J., O.V. Wilhelmi, and C.L. Knutson, 2004. Reducing drought risk: bridging theory and practice. *Natural Hazards Review* 5(2): 106–113.
- IPCC, 2001, *Climate Change 2001 : Impacts, adaptation, and vulnerability, Third Assessment Report*, Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Jeung, S.J., J.H. Sung, and B.S. Kim, 2013. Change projection of extreme indices using RCP climate change scenario. *Journal of the Korean Water Resources Association* 46(11): 1089–1101 (in Korean).
- Lee, J.H., J.W. Seo, and C.J. Kim, 2012. Analysis on trends, periodicities and frequencies of Korean drought using drought indices. *Journal of the Korean Water Resources Association* 45(1): 75–89 (in Korean).

- McKee, T. B., N. J. Doesken and J. Kleist, 1993. The relationship of drought frequency and duration of time scales, 8th Conference on Applied Climatology, January, Anaheim, CA, pp. 179-184.
- Nam, W.H., and J.Y. Choi, 2014. Development of an irrigation vulnerability assessment model in agricultural reservoirs utilizing probability theory and reliability analysis. *Agricultural Water Management* 142: 115-126.
- Palmer, W. C., 1968. Keeping track of crop moisture conditions, nationwide: The new Crop Moisture Index, *Weatherwise*, Vol. 21, pp. 156-161.
- Park, N. Y., J. Y. Choi, S. H. Yoo, and S. H. Lee, 2013. Assessment of Anti-Drought Capacity for Agricultural Reservoirs using RCP Scenarios, *Korean Society of Agricultural Engineers* 55(3): 13-24 (in Korean).
- Richter G. M. and M. A. Semenov, 2005. Modelling impacts of climate change on wheat yields in England and Wales: assessing drought risks, *Agricultural Systems*, Vol. 84, pp. 77-97.
- Rim, C.S., and S.Y. Kim, 2014. Climate aridity/humidity characteristics in Seoul according to changes in temperature and precipitation based on RCP 4.5 and 8.5. *Journal of the Korean Water Resources Association* 47(5): 421-434 (in Korean).
- Rosenberg, N. J., R. A. Brown, R. C. Izaurralde and A. M. Thomson, 2003a. Integrated assessment of Hadley centre (HadCM2) climate change projections on agricultural productivity and irrigation water supply in the conterminous United States. I. Climate change scenarios and impacts on irrigation water supply simulated with the humus model, *Agricultural and Forest Meteorology* Vol. 117, pp. 73-96.
- Rosenberg, N. J., R. A. Brown, R. C. Izaurralde and A. M. Thomson, 2003b. Integrated assessment of Hadley centre (HadCM2) climate change projections on agricultural productivity and irrigation water supply in the conterminous United States. II. Regional agricultural production in 2030 and 2095, *Agricultural and Forest Meteorology* Vol.

- 117, pp. 97–122.
- Sefton, C. E. M. and D. B. Boorman, 1997. A regional investigation of climate change impacts on UK Streamflows, *Journal of Hydrology*, Vol. 195, pp. 26–44.
- Sergio, M. V., 2006. Spatial and temporal analysis of droughts in the Iberian Peninsula (1910–2000), *Hydrological Sciences*, Vol. 51 (1), pp. 83–97.
- Silva, C. S., E. K. Weatherhead, J. W. Knox and J. A. Rodriguez-Diaz, 2007. Predicting the impacts of climate change – A case study of paddy irrigation water requirements in Sri Lanka, *Agricultural water management* Vol. 93, pp. 19–29.
- Unal, Y., T. Kindap and M. Karaca, 2003. Redefining the climate zones of Turkey using cluster analysis, *International Journal of Climatology*, Vol. 23, pp. 1045–1055.
- Wilhite, D.A., M.D. Svoboda, and M.J. Hayes, 2007. Understanding the complex impacts of drought: a key to enhancing drought mitigation and preparedness. *Water Resources Management* 21: 763–774.
- Wilhite, D. A. and M. H. Glantz., 1985. Understanding the drought phenomenon: The role of definitions, *Water International*, Vol. 10, pp. 111–120.
- Yevjevich, V., 1967. An objective approach to definitions and investigations of continental hydrologic droughts, *Hydrol. Papers* 23, Colorado State University, Fort Collins, Colorado, USA.
- Yoo, J.Y., H.H. Kwon, T.W. Kim, and S.O. Lee, 2014. Probabilistic assessment of drought characteristics based on homogeneous hidden markov model. *Journal of the Korean Society of Civil Engineers* 34(1): 145–153 (in Korean).
- Yoo, J.Y., H.Y. Song, T.W. Kim, and J.H. Ahn, 2013. Evaluation of short-term drought using daily standardized precipitation index and ROC analysis. *Journal of the Korean Society of Civil Engineers* 33(5): 1851–1860 (in Korean).

- Yoo, J.Y., M.H. Choi, and T.W. Kim, 2010. Spatial analysis of drought characteristics in Korea using cluster analysis. *Journal of the Korean Water Resources Association* 43(1): 15-24 (in Korean).
- Yoo, S.H., J.Y. Choi, S.H. Lee, Y.G. Oh, D.K. Yun, 2013. Climate change impacts on water storage requirements of an agricultural reservoir considering changes in land use and rice growing season in Korea. *Agricultural Water Management* 117: 43-54.
- Yoon, S.K., J.P. Cho, and Y.I. Moon, 2014. Non-parametric low-flow frequency analysis using RCPs scenario data: a case study of the Gwangdong storage reservoir, Korea. *Journal of the Korean Society of Civil Engineers* 34(4): 1125-1138 (in Korean).
- Zavareh Kothavala, 1999. The duration and severity of drought over eastern Australia simulated by a coupled ocean-atmosphere GCM with a transient increase in CO₂, *Environmental Modelling & Software*, Vol. 14, pp. 243-252.
- Zavareh Kothavala, 1997. Extreme precipitation events and the applicability of global climate models to the study of floods and droughts, *Mathematics and Computers in Simulation*, Vol. 43, pp. 261-268.
- Zhang, J., 2004. Risk assessment of drought disaster in the maize-growing station of Songliao Plain, China, *Agriculture, Ecosystems and Environment*, Vol. 201, pp. 133-153.
- KOSIS 국가통계포털 <http://kosis.kr/>

부 록

부록 1. 용수구역별 기준증발산량 및 가뭄지수 DB 구축	196
부록 2. 용수구역별 농업용수 수요·공급 특성	203
부록 3. 용수구역별 지하수이용량 및 개발가능량	215
부록 4. 용수구역별 농경지(논, 밭) 변화 전망	227
부록 5. 용수구역별 가뭄기간 및 가뭄심도 표준점수결과	239

부록 1. 용수구역별 기준증발산량 및 가뭄지수 결과 DB 구축

1-1 DB 구축 및 추출프로그램 개발

본 연구에서 구축된 기준증발산량 데이터베이스에서 사용자가 원하는 데이터를 추출할 수 있도록 추출 프로그램을 개발하였다. 구축된 데이터베이스는 자료가 방대하고, 모든 자료를 저장하고 있어, 그대로 이용하기에는 사용자가 자료를 검색하고 취합하는 후처리 과정이 필요하다. 따라서 데이터 추출 프로그램은 사용자가 관심 지점 혹은 특정 시점의 자료를 검색하여 획득할 수 있도록 개발되었다.

추출 프로그램은 마우스 클릭으로 자료를 받을 수 있는 일반 사용자를 위한 Graphical User Interface(GUI) 버전과 고급 사용자를 위한 Command-line Interface(CLI) 버전을 개발하였다. 기능면에서는 두 버전이 동일하나, 전자는 일반사용자가 별다른 학습과정 없이 손쉽게 데이터를 취득할 수 있다는 장점이 있으며, 후자의 경우에는 다양한 개발환경에서 손쉽게 추출 프로그램을 접목할 수 있는 장점이 있다.

데이터 추출 프로그램은 두 가지 모듈로 구분된다. 모듈은 각각 증발산 및 강수량을 검색하고 획득할 수 있는 모듈과 가뭄평가지수인 SPI, SPEI 지수 값을 검색하고 획득할 수 있는 모듈로 구성된다. 데이터를 추출하기 위해서는 사용자가 몇 가지 선택사항을 결정해야한다. 공통적으로 데이터를 추출하기 위한 기간(연도), 지역단위(읍면동 혹은 용수구역), 미래 RCP 기상시나리오, 증발산량 산정식, 추출하고자 하는 데이터의 시간단위(연별, 월별, 순별), 마지막으로 추출된 자료의 평균값으로 정리할 것인지, 전체 값을 전부 얻을 것인지를 결정해야 한다. 여기에 기준증발산량 및 강수량 추출 모듈에서는 기준증발산량 혹은 강수량 중 어떤 자료를 취득할 것인지 선택해야 하며, 가뭄평가지수 추출 모듈에서는 가뭄평가지수와 지연시간단위를 선택해야 한다.

일반 사용자 버전의 프로그램은 다양한 플랫폼에서 사용할 수 있는 Java의 swing 라이브러리를 이용하여 개발하였다. Java는 가상머신을 이용하여 다양한 플랫폼 환경에서 구동 가능한 언어이며, swing 라이브러리는 Java의 장점을 그대로 활용하기 위하여 순수하게 java 언어만을 이용

하여 개발된 라이브러리이다. 사용자는 Java 가상머신이 설치되어있다는 가정 하에 별다른 설치 과정 없이 추출 프로그램을 구동할 수 있다. 서버 환경에서는 최신 Java 버전(2016년 현재 Java 8이 최신버전)을 이용하지 않는 점을 감안하여, Java 6 버전 이상에서 구동될 수 있도록 구현하였다.

고급사용자를 위한 프로그램의 입력 자료에 대하여 아래 (그림 1)과 (그림2)에 정리하였다. 추출연도는 필수적으로 입력해야 하며, 다른 항목은 사용자의 편의를 고려하여 생략 시 미리 설정해둔 기본 설정 값을 입력하도록 하였다. 기능 구현은 아파치 재단(The Apache Software Foundation)에서 지원하는 Commons CLI 1.3.1 라이브러리를 이용하였다. 아파치 재단은 Apache commons라는 이름으로 Java언어에서 재사용 가능한 유용한 라이브러리를 개발하여 제공하고 있다. Commons CLI는 그 중 일부 라이브러리로, POSIX 스타일의 옵션 기술법(예를 들어, `tar -zxvf foo.tar.gz`)과 GNU 스타일의 단어옵션 기술법(예를 들어, `du --human-readable --max-depth=1`)을 모두 지원하고 있다.

```
usage: ET0Extractor
-s,--syear <arg>      start year
-e,--eyear <arg>      end year
-r,--region <arg>      watershed(1, default) or umd(2)
-n,--scenario <arg>    RCP85 (default), RCP60, RCP45, RCP26
-i,--item <arg>        precipitation (1, default) / pet (2) / prec and pet (3)
-m,--pet-model <arg>  pm (default) / mp / bc / th
-p,--period <arg>      annual (1, default) or monthly (2) or 10-days (3)
-a,--avg <arg>         average (1, default) or each data (2)
-o,--output <arg>     output filename
```

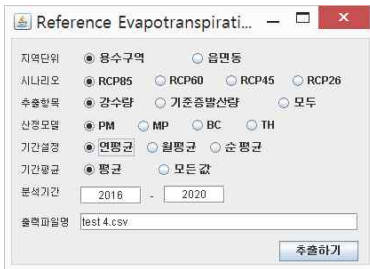
usage: SPEIExtractor

- s,--syear <arg> start year
- e,--eyear <arg> end year
- r,--region <arg> watershed(1, default) or umd(2)
- n,--scenario <arg> RCP85 (default), RCP60, RCP45, RCP26
- i,--index <arg> SPEI(1, default) or SPI(2)
- l,--lag <arg> 1 (default) or 3, 6, 9, 12
- p,--period <arg> annual (1, default) or monthly (2)
- a,--avg <arg> average (1, default) or each data (2)
- o,--output <arg> output filename

<그림 2> 가뭄지수 추출 프로그램 사용법

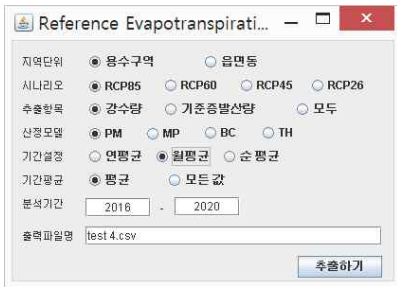
1-2 추출프로그램 사용 예시

(예시1) 용수구역별 RCP 8.5 시나리오와 PM 산정법으로 연평균 강수량 추출 결과



code	date	prec
1	code	date
2	금인	AnnualAvg. 1616.658
3	거북	AnnualAvg. 1471.663
4	가읍	AnnualAvg. 1472.663
5	거위	AnnualAvg. 1482.033
6	강문	AnnualAvg. 1449.393
7	강고	AnnualAvg. 1015.764
8	강내	AnnualAvg. 1129.682
9	강도	AnnualAvg. 1697.995
10	강촌1	AnnualAvg. 1740.048
11	강삼	AnnualAvg. 1057.842
12	강서	AnnualAvg. 906.020
13	강산	AnnualAvg. 1134.241
14	강성	AnnualAvg. 1772.031
15	강월	AnnualAvg. 1729.218
16	계천1	AnnualAvg. 1137.371
17	가가	AnnualAvg. 1779.992
18	거고	AnnualAvg. 1635.265
19	거남	AnnualAvg. 1710.381
20	거사	AnnualAvg. 1736.108
21	거위	AnnualAvg. 1694.777

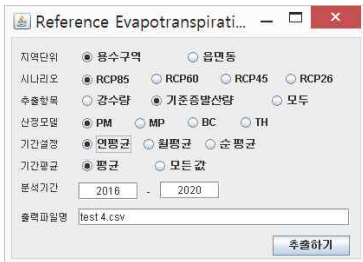
(예시2) 용수구역별 RCP 8.5 시나리오와 PM 산정법으로 월평균 강수량을 추출 결과



code	date	prec
1	1월	32.481
2	2월	65.533
3	3월	43.711
4	4월	82.800
5	5월	103.803
6	6월	227.209
7	7월	354.554
8	8월	349.545
9	9월	196.579
10	10월	55.049
11	11월	85.053
12	12월	20.321
13	1월	18.127
14	2월	48.872
15	3월	27.721
16	4월	39.578
17	5월	60.657
18	6월	165.988
19	7월	450.801
20	8월	322.620

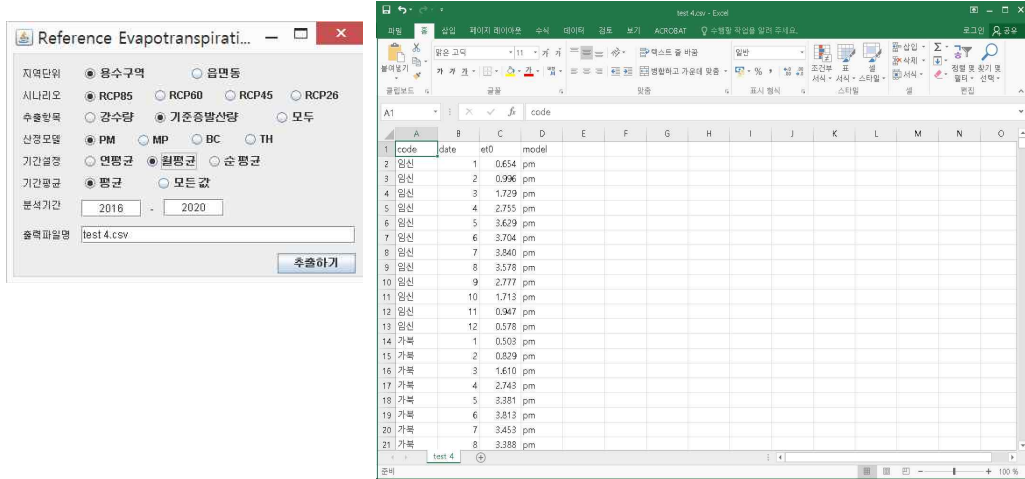
<그림 4> RCP8.5 시나리오와 산정법을 적용한 월평균 강수량 추출 예시

(예시3) 용수구역별 RCP 8.5 시나리오와 PM 산정법으로 연평균 기준증발산량 추출 결과



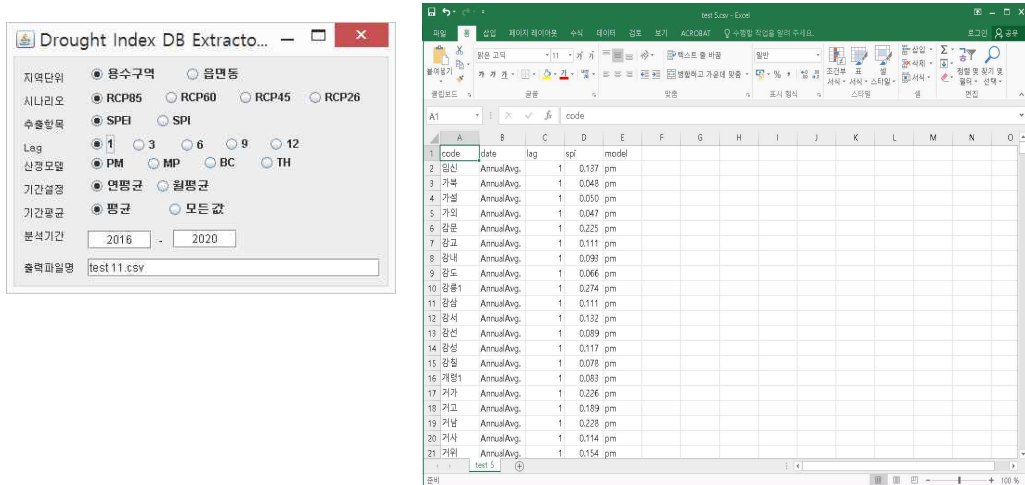
code	date	et0	model
1	1월	AnnualAvg.	2.247 pm
2	2월	AnnualAvg.	2.087 pm
3	3월	AnnualAvg.	2.149 pm
4	4월	AnnualAvg.	2.104 pm
5	5월	AnnualAvg.	2.438 pm
6	6월	AnnualAvg.	2.402 pm
7	7월	AnnualAvg.	2.369 pm
8	8월	AnnualAvg.	2.342 pm
9	9월	AnnualAvg.	2.448 pm
10	10월	AnnualAvg.	2.361 pm
11	11월	AnnualAvg.	2.366 pm
12	12월	AnnualAvg.	2.370 pm
13	1월	AnnualAvg.	2.309 pm
14	2월	AnnualAvg.	2.336 pm
15	3월	AnnualAvg.	2.379 pm
16	4월	AnnualAvg.	2.191 pm
17	5월	AnnualAvg.	2.224 pm
18	6월	AnnualAvg.	2.323 pm
19	7월	AnnualAvg.	2.546 pm
20	8월	AnnualAvg.	2.184 pm

(예시4) 용수구역별 RCP 8.5 시나리오와 PM 산정법으로 연평균 기준중발산량 추출 결과

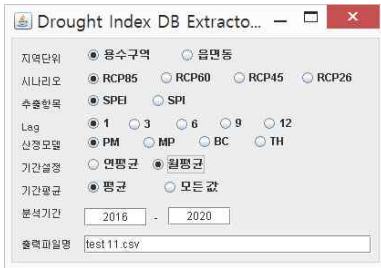


<그림 6> RCP8.5 시나리오와 산정법을 적용한 월평균 기준중발산량 추출 예시

(예시5) 용수구역별 RCP 8.5 시나리오와 PM 산정법으로 연평균 SPEI 추출 결과



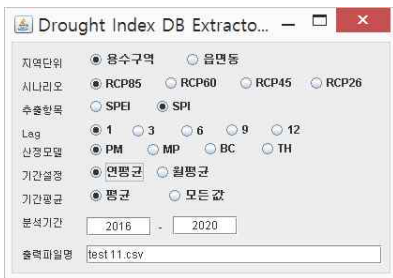
(예시6) 용수구역별 RCP 8.5 시나리오와 PM 산정법으로 연평균 SPEI 추출 결과



code	date	lag	spt	model
1	임신	1	1	-0.346 pm
2	임신	2	1	0.679 pm
3	임신	3	1	-0.676 pm
4	임신	4	1	-0.335 pm
5	임신	5	1	0.271 pm
6	임신	6	1	0.537 pm
7	임신	7	1	0.102 pm
8	임신	8	1	0.107 pm
9	임신	9	1	0.724 pm
10	임신	10	1	0.100 pm
11	임신	11	1	0.801 pm
12	임신	12	1	-0.324 pm
13	가복	1	1	-0.009 pm
14	가복	2	1	0.737 pm
15	가복	3	1	-0.601 pm
16	가복	4	1	-0.395 pm
17	가복	5	1	-0.094 pm
18	가복	6	1	0.436 pm
19	가복	7	1	-0.080 pm
20	가복	8	1	-0.128 pm
21	가복	8	1	-0.128 pm

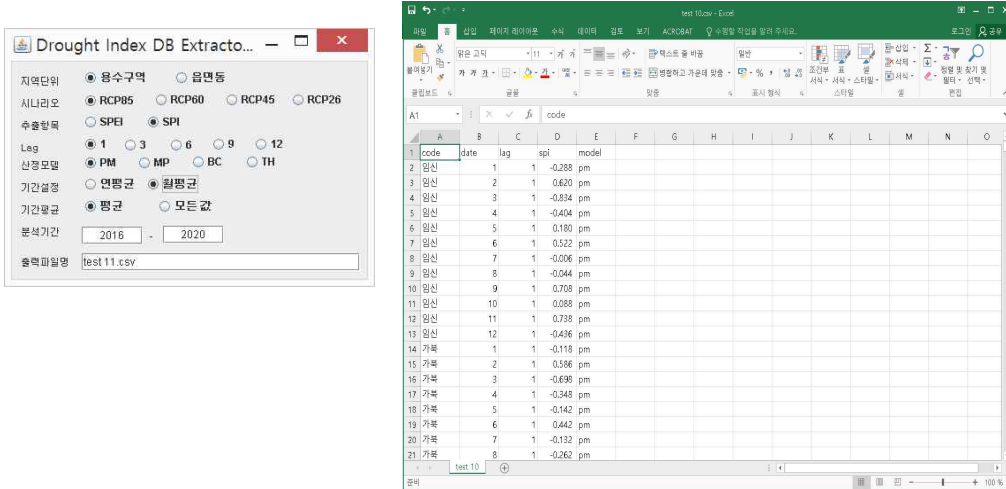
<그림 8> RCP8.5 시나리오와 산정법을 적용한 월평균 SPEI 추출 예시(Lag1)

(예시7) 용수구역별 RCP 8.5 시나리오와 PM 산정법으로 연평균 SPI 추출 결과



code	date	lag	spt	mmodel
1	임신	AnnualAvg.	1	0.070 pm
2	가복	AnnualAvg.	1	-0.016 pm
3	가외	AnnualAvg.	1	-0.043 pm
4	가외	AnnualAvg.	1	-0.026 pm
5	강문	AnnualAvg.	1	0.127 pm
6	강고	AnnualAvg.	1	0.028 pm
7	강내	AnnualAvg.	1	-0.010 pm
8	강도	AnnualAvg.	1	0.004 pm
9	강동1	AnnualAvg.	1	0.228 pm
10	강삼	AnnualAvg.	1	0.007 pm
11	강서	AnnualAvg.	1	0.031 pm
12	강선	AnnualAvg.	1	-0.009 pm
13	강성	AnnualAvg.	1	0.053 pm
14	강성	AnnualAvg.	1	0.003 pm
15	강성	AnnualAvg.	1	-0.006 pm
16	가위	AnnualAvg.	1	0.145 pm
17	가고	AnnualAvg.	1	0.107 pm
18	가년	AnnualAvg.	1	0.150 pm
19	가사	AnnualAvg.	1	0.025 pm
20	가외	AnnualAvg.	1	0.069 pm
21	가외	AnnualAvg.	1	0.069 pm

(예시8) 용수구역별 RCP 8.5 시나리오와 PM 산정법으로 연평균 SPI 추출 결과



<그림 10> RCP8.5 시나리오와 산정법을 적용한 월평균 SPI 추출 예시(Lag1)

추출된 파일은 CSV(Comma Separated Values file)형식으로 저장하였다. 데이터를 저장하는 파일은 여러 형태가 있으나, CSV는 마이크로소프트사의 엑셀과 같이 스프레드시트 프로그램에서 변환 작업 없이 사용할 수 있으며, 텍스트 파일이어서 다양한 프로그래밍 환경에서 쓰기 수월하다. 최근 R, matlab, SPSS, SAS 등과 같은 통계처리 프로그램이 널리 이용되고 있는데, 본 연구에서 추출한 자료를 추가적인 변환작업 없이 기초 데이터로 활용할 수 있도록 CSV 파일형식을 채택하였다.

부록 2. 용수구역별 농업용수 수요·공급 특성

순번	용수구역	2012년 수리담 공급량 (천m ³ /년)	2024년 수리담용 수요량(천m ³ /년) (10년빈도 필요수량)	2024 담용수 수요량	농용수 수요대 공급(%)	수리담 수요대비 공급 비율(%)	2012년 발기반 공급량 (천m ³ /년)	2024년 발기반용 수요량(천m ³ /년)	발용수 수요대 공급(%)
1	제주	0	0	0	NA	NA	0	229	0
2	제우	0	0	0	NA	NA	425	905	47
3	옹자	136	109	171	80	125	0	0	NA
4	옹송	171	139	218	78	123	0	0	NA
5	영낙	81	94	117	69	86	585	614	95
6	강서	1484	1589	2494	60	93	0	0	NA
7	부위	0	0	0	NA	NA	0	52	0
8	완생	133	146	181	73	91	154	218	71
9	옥옥	80	68	77	104	118	0	29	0
10	신팔	1290	2445	3033	43	53	345	560	62
11	완당	268	316	392	68	85	400	438	91
12	옹북	572	451	706	81	127	0	0	NA
13	여화	50	63	78	64	79	0	271	0
14	영천1	3136	2554	2955	106	123	0	320	0
15	완금	2217	2422	3005	74	92	968	1115	87
16	옹영	373	300	470	79	124	0	0	NA
17	의구	761	869	955	80	88	13	37	35
18	완소	329	440	545	60	75	426	519	82
19	울산2	79	76	78	101	104	0	0	NA
20	통옥	68	76	83	82	89	0	61	0
21	신장	3637	6766	8394	43	54	1407	1644	86
22	통사	317	361	396	80	88	0	23	0
23	완약	2693	2973	3688	73	91	760	844	90
24	완신	2141	2943	3650	59	73	879	1023	86
25	통한	594	690	757	78	86	0	45	0
26	완노	1067	1406	1745	61	76	580	879	66
27	대전1	1871	1847	2175	86	101	0	33	0
28	부산3	8837	7690	8493	104	115	0	0	NA
29	완보	262	350	434	60	75	0	168	0
30	공주1	5307	5047	6097	87	105	0	89	0

순번	용수 구역	2012년 수리답 공급량 (천m ³ /년)	2024년 수리답용 수요량(천m ³ /년) (10년빈도 필요수량)	2024 답용수 수요량	농용수 수요대 잉여급(%)	수리답 수요대비 공급 비율(%)	2012년 발기반 공급량 (천m ³ /년)	2024년 발기반용 수요량(천m ³ /년)	발용수 수요대 잉여급(%)
42	신임	2574	5386	6684	39	48	2665	2902	92
43	광주3	4432	5121	5351	83	87	0	0	NA
44	신도	2454	5070	6291	39	48	970	1210	80
45	강교	19337	18820	29543	65	103	0	0	NA
46	통도	1434	1595	1754	82	90	0	50	0
47	남원1	4445	4535	5164	86	98	0	124	0
48	신비	5364	9950	12344	43	54	263	565	47
49	고봉	1314	1884	2337	56	70	0	369	0
50	진조	743	625	776	96	119	104	546	19
51	임성	3953	5032	5733	69	79	342	446	77
52	신안	5312	9830	12194	44	54	1666	2424	69
53	안삼	8736	7482	9695	90	117	0	57	0
54	신자	4683	8667	10751	44	54	2392	2798	85
55	양천	1844	1545	2001	92	119	0	29	0
56	신암	5082	9615	11929	43	53	2429	3391	72
57	남창	2412	2839	3119	77	85	346	399	87
58	통용	2509	2793	3070	82	90	48	117	41
59	영주1	2851	3756	4347	66	76	0	804	0
60	울산1	661	764	779	85	87	0	0	NA
61	신증	5112	9715	12054	42	53	292	839	35
62	무청	5883	8538	10591	56	69	1567	2119	74
63	나노	10897	8880	10855	100	123	0	495	0
64	신지	5443	10962	13601	40	50	1105	1738	64
65	군산1	1863	1970	2245	83	95	0	180	0
66	완상	688	779	887	78	88	0	196	0
67	전주1	5668	7047	8029	71	80	42	267	16
68	순동	10988	12010	13681	80	91	99	373	27
69	금봉	5606	5413	6264	89	104	181	994	18
70	인천2	736	660	1035	71	112	0	0	NA
71	고동	7874	8080	8882	89	97	67	131	51
72	여소	6176	6605	8194	75	94	1029	1661	62
73	울릉	0	0	0	NA	NA	0	1065	0

순번	용수 구역	2012년 수리답 공급량 (천m ³ /년)	2024년 수리답용 수요량(천m ³ /년) (10년빈도 필요수량)	2024 답용수 수요량	논용수 수요대 공급(%)	수리답 수요대비 공급 비율(%)	2012년 발기반 공급량 (천m ³ /년)	2024년 발기반용 수요량(천m ³ /년)	발용수 수요대 공급(%)
85	산성	5266	5238	5755	92	101	327	366	89
86	해계	43577	49790	61770	71	88	3161	3736	85
87	금부	3070	2715	3243	95	113	165	515	32
88	포항1	4556	4206	4866	94	108	0	375	0
89	장동	4380	4144	4805	91	106	111	523	21
90	장군	12578	14466	17942	70	87	205	394	52
91	여수1	887	1108	1373	65	80	654	1198	55
92	마산1	942	1062	1167	81	89	0	66	0
93	화서	3703	5139	6658	56	72	0	89	0
94	완군	5634	6564	8141	69	86	1980	2337	85
95	곡입	12764	12089	14367	89	106	746	1069	70
96	감문	6897	6506	7527	92	106	579	1678	35
97	화태	16558	20224	26206	63	82	0	70	0
98	평고	10768	NA9	12097	89	108	0	280	0
99	양철	2956	4100	4527	65	72	0	7	0
100	김양	1299	1164	1526	85	112	0	39	0
101	정산	8593	10760	12259	70	80	38	324	12
102	생극	17414	17303	19977	87	101	140	615	23
103	청화	19243	18302	22112	87	105	348	641	54
104	강철	11502	11552	14327	80	100	68	244	28
105	화비	11312	16523	21411	53	68	0	87	0
106	승별	13684	12769	15844	86	107	333	1338	25
107	횡소	5436	5814	6731	81	93	54	576	9
108	김청	1108	1122	1275	87	99	688	1104	62
109	고대	12283	15133	18771	65	81	989	1535	64
110	경가	2531	2796	3342	76	91	0	112	0
111	영지	2743	2512	2906	94	109	107	738	14
112	명성	264	241	279	95	110	0	106	0
113	고도	20312	23959	29724	68	85	1169	1907	61
114	나동	6977	6130	7599	92	114	0	625	0
115	하적	6423	6063	7024	91	106	415	698	59
116	광주2	34433	32911	34406	100	105	0	62	0

순번	용수 구역	2012년 수리답 공급량 (천m ³ /년)	2024년 수리답용 수요량(천m ³ /년) (10년빈도 필요수량)	2024 답용수 수요량	농용수 수요대 공급(%)	수리답 수요대비 비율(%)	2012년 발기반 공급량 (천m ³ /년)	2024년 발기반용 수요량(천m ³ /년)	발용수 수요대 공급(%)
128	단적	1024	1057	1212	84	97	305	538	57
129	영북	538	530	614	88	102	298	778	38
130	안산1	1124	1197	1551	72	94	0	63	0
131	가설	2257	1735	2247	100	130	0	26	0
132	부여	13259	13056	15773	84	102	86	379	23
133	진성	7854	8403	9571	82	93	1768	1992	89
134	남대	14222	15701	17884	80	91	523	883	59
135	강도	21843	21035	26094	84	104	316	642	49
136	동평	15295	17143	21259	72	89	57	442	13
137	옥동	12793	10834	12421	103	118	0	471	0
138	무양	8788	12555	15571	56	70	13354	14513	92
139	해북	14386	18319	22724	63	79	1220	1765	69
140	고과	12157	14594	18103	67	83	1075	1569	69
141	함손	21017	21945	27226	77	96	2256	3330	68
142	원지	2546	3183	4074	62	80	206	285	72
143	울두	14856	14024	14302	104	106	0	0	NA
144	진지	14690	14768	16228	91	99	198	317	62
145	고신	12720	12249	13958	91	104	1119	1961	57
146	남이	40620	38775	44174	92	105	0	200	0
147	고송	13023	9814	12715	102	133	67	121	55
148	서울2	3218	2927	3081	104	110	0	55	0
149	영봉	11399	14731	17045	67	77	3365	3706	91
150	포군	5915	7256	9398	63	82	0	80	0
151	문가	1227	1493	1727	71	82	378	904	42
152	이설	14976	21188	27162	55	71	623	937	66
153	장관	23446	23923	29678	79	98	901	1395	65
154	무적	2564	2413	2748	93	106	433	823	53
155	상사	21437	23619	27329	78	91	3214	4154	77
156	청강	17700	16806	19728	90	105	0	247	0
157	제남	0	0	0	NA	NA	7545	8055	94
158	태면	15024	22168	26787	56	68	0	806	0
159	부천1	41773	34275	47671	88	122	0	29	0

순번	용수구역	2012년 수리담 공급량 (천m ³ /년)	2024년 수리담용 수요량(천m ³ /년) (10년빈도 필요수량)	2024 담용수 수요량	농용수 수요대비 공급(%)	수리담 수요대비 비율(%)	2012년 발기반 공급량 (천m ³ /년)	2024년 발기반용 수요량(천m ³ /년)	발용수 수요대비 공급(%)
171	파교	34028	31290	40545	84	109	18	72	25
172	여가	5446	8913	11544	47	61	378	592	64
173	청부	5417	4847	5556	97	112	138	589	23
174	김장	26908	25337	27849	97	106	77	150	51
175	김진	23787	23590	25931	92	101	1839	1904	97
176	정입	17953	23724	27027	66	76	2236	3432	65
177	김백	88492	86236	98248	90	103	807	1768	46
178	금북	3683	3232	3919	94	114	0	609	0
179	괴소	16262	15672	17969	91	104	118	889	13
180	개령1	612	557	722	85	110	0	16	0
181	진부	3974	3617	4120	96	110	0	229	0
182	영산	3200	2757	3160	101	116	924	1346	69
183	보문	9967	11181	13862	72	89	278	665	42
184	고회	28693	26855	29515	97	107	388	520	75
185	아인	21461	21561	26058	82	100	0	783	0
186	말하	63078	54358	59743	106	116	507	679	75
187	파문	9502	8550	11078	86	111	0	50	0
188	안서	25251	21724	28153	90	116	323	452	71
189	제안	0	0	0	NA	NA	6844	9931	69
190	영안	6265	7599	8795	71	82	2499	4451	56
191	해산	26323	32814	40706	65	80	4013	5794	69
192	수원1	1507	2462	3190	47	61	0	57	0
193	논양	4094	3924	4688	87	104	556	938	59
194	칠동	11968	12309	14240	84	97	176	870	20
195	담고	8277	7957	9312	89	104	141	605	23
196	중신	15871	14327	16427	97	111	586	1187	49
197	강내	28416	27600	43324	66	103	0	0	NA
198	용기	4366	5136	6652	66	85	0	63	0
199	완구	23065	27006	30768	75	85	0	493	0
200	부석	24451	22243	26876	91	110	1269	1844	69
201	원주1	6385	6462	7481	85	99	0	633	0
202	예대	26403	24951	30150	88	106	146	778	19

순번	용수 구역	2012년 수리답 공급량 (천m ³ /년)	2024년 수리답용 수요량(천m ³ /년) (10년빈도 필요수량)	2024 답용수 수요량	농용수 수요대 응급(%)	수리답 수요대비 공급 비율(%)	2012년 발기반 공급량 (천m ³ /년)	2024년 발기반용 수요량(천m ³ /년)	발용수 수요대 응급(%)
214	함철	16846	15707	17263	98	107	150	254	59
215	진집	18801	17579	19321	97	107	19	233	8
216	광진	5781	4964	6154	94	116	0	1214	0
217	영송	2948	3112	3586	82	95	1184	1837	64
218	영학	76869	74802	92808	83	103	359	1490	24
219	여울	13801	13946	17300	80	99	0	924	0
220	부은	44910	41196	49772	90	109	236	684	35
221	남진	1508	2032	2632	57	74	0	68	0
222	부흥	30032	28201	34075	88	106	40	414	10
223	군부	10916	10002	11572	94	109	506	1475	34
224	해현	24833	30313	37606	66	82	1388	2245	62
225	안남	10619	9615	11126	95	110	1624	2372	68
226	거고	9784	11374	12500	78	86	731	876	83
227	제주1	0	0	0	NA	NA	3795	5949	64
228	청대	14863	13887	16772	89	107	44	434	10
229	양일	8227	9255	9832	84	89	0	107	0
230	횡천	8952	9572	11080	81	94	115	971	12
231	고포	33521	37678	46741	72	89	227	1062	21
232	장안	25631	26854	33303	77	95	702	1048	67
233	동안	12465	11242	12805	97	111	1024	1506	68
234	산신	17025	16758	18419	92	102	47	127	37
235	울농	17479	16592	17685	99	105	0	285	0
236	승서	16534	15395	19086	87	107	0	803	0
237	익용	45710	44040	50343	91	104	0	832	0
238	제애	0	0	0	NA	NA	10537	13638	77
239	광봉	10041	8558	10611	95	117	32	727	4
240	화릉	8849	9693	12024	74	91	0	797	0
241	천호	31049	32918	38093	82	94	1078	3048	35
242	동두1	4693	4740	6141	76	99	48	108	44
243	공논	18819	18406	22229	85	102	421	1110	38
244	승외	2308	2461	3050	76	94	81	617	13
245	서비	30779	29676	35854	86	104	0	772	0

순번	용수 구역	2012년 수리답 공급량 (천m ³ /년)	2024년 수리답용 수요량(천m ³ /년) (10년빈도 필요수량)	2024 답용수 수요량	농용수 수요대 공급(%)	수리답 수요대비 공급 비율(%)	2012년 발기반 공급량 (천m ³ /년)	2024년 발기반용 수요량(천m ³ /년)	발용수 수요대 공급(%)
257	진백	12815	11827	13471	95	108	675	1113	61
258	동해1	3384	3241	3752	90	104	0	815	0
259	영황	5140	4944	5688	90	104	955	1839	52
260	성운	20453	19235	22235	92	106	0	410	0
261	원문	11838	11318	13192	90	105	85	629	14
262	아송	26520	26253	31723	84	101	0	864	0
263	화상	2132	1991	2305	92	107	55	537	10
264	의금	17022	15815	18293	93	108	2811	3832	73
265	화남	11968	12901	15NA	75	93	0	318	0
266	완봉	20551	20704	23584	87	99	0	1179	0
267	보별	34522	37122	46051	75	93	825	1944	42
268	태백1	0	0	0	NA	NA	1419	1701	83
269	진군	26091	24331	30183	86	107	2703	3820	71
270	남포	45846	54487	65843	70	84	204	732	28
271	금추	10146	8998	10500	97	113	255	985	26
272	옥개	133025	112109	127749	104	119	0	356	0
273	춘사	5535	4740	5486	101	117	402	862	47
274	장번	2635	2399	2732	96	110	301	576	52
275	화이	7826	7972	9884	79	98	0	510	0
276	예상	14405	16068	18592	77	90	861	2315	37
277	장유	8489	8448	10476	81	100	0	219	0
278	태이	12343	19651	23750	52	63	180	801	22
279	거장	7742	9592	10543	73	81	306	454	67
280	승상	7562	6862	8506	89	110	111	758	15
281	웅대	509	869	1141	45	59	0	37	0
282	칠석	14498	12606	14582	99	115	427	1905	22
283	의부	15839	15845	17413	91	100	252	333	76
284	승월	7317	6893	8546	86	106	207	943	22
285	횡서	5369	5562	6437	83	97	38	606	6
286	진진	33759	30243	37518	90	112	1928	3316	58
287	여감	16029	22100	28216	57	73	549	854	64
288	괴청	2226	2029	2327	96	110	0	407	0

순번	용수구역	2012년 수리답 공급량 (천m ³ /년)	2024년 수리답용 수요량(천m ³ /년) (10년빈도 필요수량)	2024 답용수 수요량	농용수 수요대 응급(%)	수리답 수요대비 비율(%)	2012년 발기반 공급량 (천m ³ /년)	2024년 발기반용 수요량(천m ³ /년)	발용수 수요대 응급(%)
300	옥청	12061	11254	12906	93	107	540	1271	42
301	금대	7238	7048	8154	89	103	97	1408	7
302	문호	4075	5045	5837	70	81	1651	2385	69
303	합봉	5466	6683	7343	74	82	43	132	33
304	보노	12342	14330	17770	69	86	289	1049	28
305	삼근	4588	4182	4841	95	110	129	366	35
306	고영	24136	24325	26727	90	99	1005	1108	91
307	용남	17866	16734	21681	82	107	0	94	0
308	보청	23583	31345	37870	62	75	362	1264	29
309	임신	6027	7950	9055	67	76	1164	1478	79
310	의옥	9530	8699	10064	95	110	1575	2730	58
311	예광	47022	43654	52750	89	108	86	1183	7
312	강성	37810	38036	47169	80	99	486	980	50
313	거사	10290	12426	13656	75	83	92	234	39
314	괴칠	23525	20504	23509	100	115	299	1237	24
315	영갑	57715	57921	71832	80	100	2795	3451	81
316	중상	17271	15190	17417	99	114	1437	2171	66
317	김부	143864	131164	149457	96	110	677	1715	39
318	산삼	3350	3591	3945	85	93	0	53	0
319	진안	3552	3224	3673	97	110	228	623	37
320	의단	40745	34812	40276	101	117	672	2161	31
321	홍금	42291	51441	62162	68	82	95	1191	8
322	당우	206808	182239	220233	94	113	1295	2003	65
323	연백	9925	9140	11844	84	109	17	129	13
324	양구1	0	0	0	NA	NA	0	12	0
325	청북	29138	27869	31952	91	105	157	962	16
326	서귀1	0	0	0	NA	NA	6960	9721	72
327	예영	14858	17184	19884	75	86	3543	5476	65
328	함마	7469	7067	7762	96	106	96	218	44
329	함라	11900	12653	15589	76	94	780	2189	36
330	보내	30741	31799	36457	84	97	1058	1683	63
331	하금	12597	13068	14362	88	96	250	413	61

순번	용수 구역	2012년 수리답 공급량 (천m ³ /년)	2024년 수리답용 수요량(천m ³ /년) (10년빈도 필요수량)	2024 답용수 수요량	농용수 수요대 공급(%)	수리답 수요대비 공급 비율(%)	2012년 발기반 공급량 (천m ³ /년)	2024년 발기반용 수요량(천m ³ /년)	발용수 수요대 공급(%)
343	부동	15670	14464	16481	95	108	685	1387	49
344	명사	6296	5285	6118	103	119	0	336	0
345	춘양	3358	5942	6874	49	57	3575	4672	77
346	제봉	6756	6930	7946	85	97	543	1031	53
347	정남	25	22	25	100	114	427	1031	41
348	성월	25720	23590	27292	94	109	0	1442	0
349	예오	37755	34754	41982	90	109	4547	5715	80
350	창진	24965	25045	27527	91	100	124	318	39
351	합쌍	19110	21327	23440	82	90	34	152	22
352	순강	18272	21243	24200	76	86	450	875	51
353	화춘	18584	19504	24186	77	95	0	565	0
354	파적	23239	21760	28192	82	107	257	358	72
355	선산	37768	36790	42569	89	103	2267	4549	50
356	해삼	26272	32882	40791	64	80	1072	2708	40
357	부서	83038	76924	92303	90	108	0	575	0
358	평포	48624	55692	72170	67	87	0	191	0
359	근흥	72280	93279	112729	64	77	4595	5238	88
360	제한	44	28	160	28	157	29962	42238	71
361	연청	10663	10635	13562	79	100	365	482	76
362	금남	12712	11136	13453	94	114	0	1238	0
363	청청	44544	38384	46374	96	116	513	1059	48
364	양하	9620	10777	11845	81	89	0	68	0
365	서해	64052	68907	83268	77	93	953	1837	52
366	인기	1598	1705	1974	81	94	670	985	68
367	서지	9283	12538	15147	61	74	822	1402	59
368	나남	41019	36156	43436	94	113	500	1706	29
369	창원1	2173	2104	2313	94	103	0	125	0
370	경하	18918	15877	18399	103	119	1261	6706	19
371	합울	18970	22314	24525	77	85	167	254	66
372	정임	504	413	477	106	122	1292	1675	77
373	밀삼	7479	7419	8152	92	101	300	435	69
374	홍서	25993	31941	38601	67	81	249	1125	22

순번	용수 구역	2012년 수리답 공급량 (천m ³ /년)	2024년 수리답용 수요량(천m ³ /년) (10년빈도 필요수량)	2024 답용수 수요량	논용수 수요대 공급(%)	수리답 수요대비 공급 비율(%)	2012년 발기반 공급량 (천m ³ /년)	2024년 발기반용 수요량(천m ³ /년)	발용수 수요대 공급(%)
386	김금	256374	218254	248657	103	117	918	2026	45
387	강릉1	24652	20749	24024	103	119	0	1573	0
388	평용	535	479	553	97	112	438	981	45
389	청현	9420	8146	9425	100	116	2681	3856	70
390	무일	58690	59171	73413	80	99	10846	12664	86
391	보외	15115	18745	22648	67	81	291	819	36
392	철동	19388	22146	27618	70	88	0	224	0
393	인남	1237	1358	1573	79	91	253	708	36
394	연전	26707	26902	31957	84	99	1662	1976	84
395	창리	34020	33282	36576	93	102	171	445	38
396	봉법	2007	3441	3981	50	58	1657	3308	50
397	유구	22726	25337	30611	74	90	517	1142	45
398	부산1	51838	45491	50177	103	114	3324	3361	99
399	횡청	5685	6319	7314	78	90	340	1396	24
400	곡석	19073	17322	21477	89	110	405	1265	32
401	울기	12146	18967	21951	55	64	750	1464	51
402	안풍	23515	21123	24443	96	111	652	4178	16
403	장북	53349	44443	55121	97	120	221	1431	15
404	합가	16058	17756	19933	81	90	275	557	49
405	의정	39298	37056	40725	96	106	358	538	67
406	인천1	8826	8388	10950	81	105	0	81	0
407	문산	24338	28866	33401	73	84	2631	4730	56
408	진상	21724	18676	21272	102	116	1169	2199	53
409	광포	8733	9401	12179	72	93	0	112	0
410	삼하	1348	1217	1408	96	111	1447	1670	87
411	함법	53529	48695	53516	100	110	28	328	9
412	이흥	24185	39558	51249	47	61	0	318	0
413	영연	17509	16288	18847	93	107	46	1980	2
414	당고	69528	67116	81108	86	104	363	1166	31
415	제조	0	0	0	NA	NA	12349	18320	67
416	당송	25460	26900	32504	78	95	0	1004	0
417	경주1	67303	55680	64429	104	121	0	1655	0

순번	용수 구역	2012년 수리답 공급량 (천m ³ /년)	2024년 수리답용 수요량(천m ³ /년) (10년빈도 필요수량)	2024 답용수 수요량	논용수 수요대비 공급(%)	수리답 수요대비 공급 비율(%)	2012년 발기반 공급량 (천m ³ /년)	2024년 발기반용 수요량(천m ³ /년)	발용수 수요대비 공급(%)
429	양지	7510	9852	12763	59	76	198	305	65
430	의안	20374	19107	22106	92	107	2385	4201	57
431	광초	4619	6030	7811	59	77	0	117	0
432	영영	6410	5964	6901	93	107	2428	3885	62
433	영금	23677	19802	22912	103	120	768	4378	18
434	고죽	27429	26102	30220	91	105	0	284	0
435	고거	9433	9322	10788	87	101	0	247	0
436	의신	104921	95221	110193	95	110	688	2887	24
437	천성	27137	34283	41040	66	79	0	1733	0
438	구문	9969	8564	10573	94	116	235	784	30
439	익오	22537	20949	23864	94	108	906	2860	32
440	공정	29659	29971	36187	82	99	0	560	0
441	안길	9097	7935	9178	99	115	2015	3537	57
442	광주1	29678	29291	31124	95	101	262	1024	26
443	제성	0	0	0	NA	NA	10443	17425	60
444	춘동	7613	6732	7792	98	113	0	1329	0
445	경감	18534	16928	19281	96	109	22	809	3
446	여서	29769	39985	51805	57	74	431	719	60
447	성고	48210	42442	49432	98	114	1377	3077	45
448	봉영	13923	22032	25491	55	63	3238	5136	63
449	청도	26388	23672	27386	96	111	132	3014	4
450	는가	194503	171781	203179	96	113	916	2616	35
451	하화	40139	37073	40796	98	108	2544	2912	87
452	춘남	6924	6654	7753	89	104	196	1388	14
453	영화	21998	18424	21318	103	119	383	4509	8
454	울청	25321	25637	26509	96	99	797	1110	72
455	양방	520	460	533	98	113	109	329	33
456	대전2	6849	7067	8663	79	97	0	0	NA
457	영석	11960	10861	12566	95	110	2919	5036	58
458	경서	51134	44196	50501	101	116	128	1308	10
459	밀단	10539	9507	10442	101	111	408	828	49
460	홍남	10492	10018	11593	91	105	104	1357	8

순번	용수 구역	2012년 수리답 공급량 (천m ³ /년)	2024년 수리답용 수요량(천m ³ /년) (10년빈도 필요수량)	2024 단용수 주수량	농용수 수요대비 공급(%)	수리답 수요대비 공급 비율(%)	2012년 받기반 공급량 (천m ³ /년)	2024년 받기반용 수요량(천m ³ /년)	받용수 수요대비 공급(%)
472	영청	64626	56780	65697	98	114	215	1897	11
473	양동	10980	15830	18327	60	69	419	1593	26
474	영기	80920	70226	81258	100	115	126	2761	5
475	가북	6679	5107	6613	101	131	0	116	0
476	금봉	24715	22773	26343	94	109	625	4121	15
477	양조	3092	3684	4769	65	84	96	207	46
478	평방	3909	3358	3887	101	116	440	2318	19
479	삼미	2092	1992	2304	91	105	1806	3249	56
480	철근	23752	25905	29989	79	92	221	761	29
481	철원1	51910	55323	64054	81	94	0	570	0
482	정도	1407	1129	1307	108	125	2096	2745	76
483	영자	19098	16696	19320	99	114	142	3245	4
484	양강	4740	6078	7036	67	78	106	345	31
485	인북	3638	3907	4524	80	93	1407	1842	76
486	평진	518	461	532	97	112	1117	1900	59
487	파주1	2090	2028	2627	80	103	0	52	0
488	봉석	672	1108	1282	52	61	2060	2627	78
489	무설	8348	7706	8779	95	108	1557	2619	59
490	안예	5204	4884	5651	92	107	1153	4657	25
491	보미	18865	19438	22285	85	97	909	2321	39
492	인서	3917	4982	5769	68	79	2167	2788	78
493	춘신	5458	4838	5600	97	113	282	1371	21
494	영상	1532	1446	1671	92	106	1012	1757	58
495	홍두	14397	14014	16225	89	103	133	2193	6
496	청송	14032	11899	13768	102	118	5700	8755	65
497	울원	9641	13480	15599	62	72	1483	2159	69
498	원양	38374	34964	40171	96	110	560	2606	21
499	달화	63128	61134	70791	89	103	116	938	12
500	청운	22846	20712	23858	96	110	240	3502	7
501	정신	347	321	373	93	108	4295	6373	67
502	철원2	0	0	0	NA	NA	0	118	0
503	화간	7805	7234	8376	93	108	927	1865	50

부록 3. 용수구역별 지하수이용량 및 개발가능량

순번	용수 구역	이용량 (천 ³ 톤/년)	면적(ha)	지하수 함양률(%)	10년빈도 가름시 강수량(mm)	지하수함양량 (m ³ /년)	지하수개발가 능량(m ³ /년)	함양량대비 이용량(%)	개발가능량 대비 이용량(%)
1	제주	424,101	716	44.5%	886.75	6,478,813.4	2,823,458.1	7%	15%
2	제주	0	618	44.5%	886.75	5,592,048.5	2,437,007.1	0%	0%
3	옹자	228,857	729	12.4%	923.7	1,107,397.0	833,641.0	21%	27%
4	옹송	552,936	730	11.4%	897.65	1,037,841.7	743,747.9	53%	74%
5	영낙	49,141	982	13.8%	922.7	1,763,582.6	1,252,218.3	3%	4%
6	강서	345,267	1312	11.4%	897.65	1,865,271.7	1,336,708.5	19%	26%
7	부위	114,414	1322	13.5%	963.3	2,418,931.4	1,712,834.0	5%	7%
8	완생	118,133	1511	19.6%	943.63	4,404,102.3	2,800,320.1	3%	4%
9	옥옥	170,680	2558	14.6%	894.7	4,733,908.5	3,345,995.4	4%	5%
10	신팔	25,588	1844	18.4%	762.47	3,877,571.5	2,585,624.2	1%	1%
11	완당	174,188	1422	19.6%	943.63	4,144,694.6	2,635,377.4	4%	7%
12	옹북	703,925	1766	11.4%	897.65	2,510,723.9	1,799,258.6	28%	39%
13	여화	231,037	1950	10.4%	964.63	2,878,948.8	1,956,269.6	8%	12%
14	영천1	2,114,050	2350	13.1%	750.42	3,308,245.5	2,308,404.4	64%	92%
15	완금	702,165	2677	19.6%	943.63	7,802,635.4	4,961,255.5	9%	14%
16	옹영	1,108,244	2357	12.4%	923.7	3,580,431.8	2,695,325.1	31%	41%
17	의구	692,600	2830	14.3%	920.92	5,793,166.3	3,713,840.1	12%	19%
18	완소	351,149	2318	19.6%	943.63	6,756,260.3	4,295,924.6	5%	8%
19	울산2	2,524,399	3755	17.1%	768.59	7,486,636.6	4,940,926.9	34%	51%
20	통옥	112,720	2395	11.1%	1025.89	4,441,668.7	2,729,734.2	3%	4%
21	신장	119,749	2918	18.4%	762.47	6,135,983.6	4,091,568.0	2%	3%
22	통사	259,131	2813	11.1%	1025.89	5,216,874.3	3,206,155.5	5%	8%
23	완약	1,667,491	2885	19.6%	943.63	8,408,891.7	5,346,739.6	20%	31%
24	완신	1,405,580	3147	19.6%	943.63	9,172,541.5	5,832,301.4	15%	24%
25	통한	242,823	3029	11.1%	1025.89	5,617,459.1	3,452,344.5	4%	7%
26	완노	559,654	3563	19.6%	943.63	10,385,054.1	6,603,269.8	5%	8%
27	대전1	2,210,930	3368	15.8%	893.55	6,652,121.1	4,760,991.6	33%	46%
28	부산3	128,743	4017	14.3%	920.92	8,223,020.9	5,271,553.2	2%	2%
29	완보	246,841	3262	19.6%	943.63	9,507,731.3	6,045,429.7	3%	4%
30	공주1	2,540,206	3956	13.5%	932.17	6,860,004.8	4,982,034.7	37%	51%
31	목포1	1,254,281	3665	13.8%	922.7	6,582,006.4	4,673,503.1	19%	27%

순번	용수 구역	이용량 (천 m ³ /년)	면적(ha)	지하수 함양율(%)	10년빈도 가뭄시 강수량(mm)	지하수함양량 (m ³ /년)	지하수개발가능 량(m ³ /년)	함양량대비 이용량(%)	개발가능량 대비 이용량(%)
42	신임	243,556	4723	18.4%	762.47	9,931,545.8	6,622,507.1	2%	4%
43	광주3	1,733,378	4671	16.6%	908.63	10,251,890.1	7,049,634.0	17%	25%
44	신도	74,879	4772	18.4%	762.47	10,034,583.3	6,691,214.0	1%	1%
45	강교	543,479	4718	11.4%	897.65	6,707,585.3	4,806,852.9	8%	11%
46	통도	1,097,402	4676	14.2%	1064.98	10,337,440.5	7,086,321.5	11%	15%
47	남원1	2,115,664	4654	11.4%	944.26	7,195,552.3	5,014,222.6	29%	42%
48	신비	94,901	4805	18.4%	762.47	10,103,975.8	6,737,486.0	1%	1%
49	고봉	847,935	4953	9.1%	988.94	6,688,840.3	4,476,972.9	13%	19%
50	진조	256,817	4868	17.4%	828.28	11,009,222.6	7,031,924.9	2%	4%
51	임성	918,369	4749	9.9%	947.05	6,337,494.4	4,452,565.0	14%	21%
52	신안	106,671	5997	18.4%	762.47	12,610,518.8	8,408,887.4	1%	1%
53	안삼	6,303,200	5250	13.8%	970.52	9,376,409.5	7,016,131.7	67%	90%
54	신자	199,035	5268	18.4%	762.47	11,077,574.3	7,386,696.5	2%	3%
55	양천	3,527,242	5626	12.3%	929.25	8,771,942.8	6,419,935.4	40%	55%
56	신압	358,176	6131	18.4%	762.47	12,892,294.6	8,596,779.8	3%	4%
57	남창	1,773,933	5435	10.9%	1159.31	10,333,161.1	6,855,324.6	17%	26%
58	통용	1,760,843	6291	14.3%	920.92	12,878,024.5	8,255,748.5	14%	21%
59	영주1	1,457,645	5824	13.1%	855.13	8,949,929.9	6,534,123.5	16%	22%
60	울산1	2,692,115	6351	15.9%	871.86	13,329,402.0	8,826,269.4	20%	31%
61	신증	294,024	6262	18.4%	762.47	13,167,762.0	8,780,465.7	2%	3%
62	무청	2,340,004	6144	13.8%	922.7	11,034,064.8	7,834,653.0	21%	30%
63	나노	2,850,154	6607	16.6%	908.63	14,501,014.3	9,971,511.8	20%	29%
64	신지	738,325	6694	13.8%	922.7	12,021,814.8	8,535,997.3	6%	9%
65	군산1	1,609,641	7075	15.4%	910.93	13,430,607.9	9,892,813.6	12%	16%
66	완상	1,728,108	6861	16.4%	917.22	14,213,424.8	10,339,475.2	12%	17%
67	전주1	6,600,896	6638	16.4%	917.22	13,751,452.3	10,003,415.9	48%	66%
68	순동	4,936,998	7311	9.2%	933.74	9,127,748.4	6,280,447.2	54%	79%
69	금농	1,043,296	7158	10.6%	738.39	8,236,345.9	5,591,948.5	13%	19%
70	인천2	10,187,458	11677	11.4%	897.65	16,601,202.5	11,896,910.0	61%	86%
71	고동	1,212,647	7290	14.3%	920.92	14,923,032.7	9,566,747.1	8%	13%
72	여소	2,281,006	7975	13.7%	1015.79	16,437,789.9	11,130,671.2	14%	20%
73	울릉	72,471	7267	18.1%	761.14	14,306,555.6	10,022,542.3	1%	1%
74	고금	2,493,363	7342	9.1%	988.94	9,915,095.0	6,636,368.8	25%	38%

순번	용수 구역	이용량 (천 m ³ /년)	면적(ha)	지하수 함양율(%)	10년빈도 가뭄시 강수량(mm)	지하수함양 량 (m ³ /년)	지하수개발가 능량(m ³ /년)	함양량대비 이용량(%)	개발가능량 대비 이용량(%)
86	해계	5,844,635	18044	12.2%	840.08	27,593,626.7	18,553,885.9	21%	32%
87	금부	3,006,662	9006	14.1%	867.56	15,304,677.8	11,040,115.6	20%	27%
88	포항1	3,243,107	8763	15.5%	743.87	15,123,747.4	10,084,170.2	21%	32%
89	장동	5,138,359	9249	17.1%	959.51	21,766,708.1	15,184,283.1	24%	34%
90	장군	2,582,626	9094	14.4%	1008.71	19,247,149.1	13,200,247.3	13%	20%
91	여수1	4,046,674	8699	17.4%	1031.34	23,139,520.2	15,574,743.8	17%	26%
92	마산1	7,042,260	8875	14.3%	920.92	18,167,615.3	11,646,760.1	39%	60%
93	화서	1,867,437	8978	12.4%	923.7	13,638,148.8	10,266,707.5	14%	18%
94	완군	2,468,380	9037	19.6%	943.63	26,340,088.2	16,748,175.5	9%	15%
95	곡입	7,800,400	9660	9.2%	933.74	12,060,463.6	8,298,334.1	65%	94%
96	감문	1,464,949	9366	10.6%	738.39	10,776,979.0	7,316,874.8	14%	20%
97	화태	5,412,946	9678	14.7%	902.44	17,135,870.5	12,829,973.2	32%	42%
98	평고	5,823,289	9698	14.7%	902.44	17,171,282.5	12,856,486.9	34%	45%
99	양철	2,300,069	10462	16.0%	959.96	24,567,956.4	16,068,962.4	9%	14%
100	김양	7,289,393	8904	11.4%	897.65	12,658,825.7	9,071,686.8	58%	80%
101	정산	1,787,939	10072	15.3%	900.29	19,171,009.5	13,873,612.9	9%	13%
102	생극	16,871,314	11086	13.8%	970.52	19,799,404.9	14,815,397.3	85%	114%
103	청화	5,964,836	10739	13.8%	879.72	17,812,764.2	13,018,397.4	33%	46%
104	강칠	3,204,095	9330	13.7%	1016.14	18,720,408.0	12,988,403.0	17%	25%
105	화비	2,194,040	10544	12.4%	923.7	16,017,001.7	12,057,492.0	14%	18%
106	승별	4,587,245	10747	13.7%	1015.79	22,151,338.9	14,NA,539.1	21%	31%
107	횡소	7,209,301	10404	13.4%	982.36	18,141,847.7	13,726,095.8	40%	53%
108	김청	4,376,913	13583	15.3%	900.29	25,853,834.6	18,709,817.7	17%	23%
109	고대	16,604,738	10738	13.7%	1016.14	21,545,524.2	14,948,496.5	77%	111%
110	경가	1,300,265	11117	13.1%	750.42	15,650,112.9	10,920,226.6	8%	12%
111	영지	2,534,167	10942	12.2%	768.36	14,586,093.5	10,214,985.0	17%	25%
112	명성	173,095	10810	17.7%	1061.53	27,658,839.3	20,322,471.7	1%	1%
113	고도	11,049,475	10974	13.7%	1016.14	22,019,052.2	15,277,034.8	50%	72%
114	나동	3,866,968	11057	16.6%	908.63	24,267,854.6	16,687,605.0	16%	23%
115	하적	3,851,645	10606	10.1%	1106.92	17,057,947.6	11,892,613.4	23%	32%
116	광주2	1,479,683	10123	17.1%	959.51	23,823,590.2	16,619,147.8	6%	9%
117	임삼	3,507,938	11097	10.8%	979.4	16,702,560.7	11,737,873.9	21%	30%
118	기산	4,218,603	11317	12.4%	834.99	16,841,512.1	11,689,132.7	25%	36%

순번	용수 구역	이용량 (천 ³ 톤/년)	면적(ha)	지하수 함양율(%)	10년빈도 가뭄시 강수량(mm)	지하수함양량 (m ³ /년)	지하수개발가 능량(m ³ /년)	함양량대비 이용량(%)	개발가능량 대비 이용량(%)
130	안산1	4,320,947	13303	12.4%	923.7	20,208,096.9	15,212,520.6	21%	28%
131	가설	2,891,525	11738	13.2%	964.58	20,690,956.9	14,922,712.3	14%	19%
132	부여	6,942,257	11900	13.5%	932.17	20,635,504.9	14,986,403.8	34%	46%
133	진성	2,751,327	12189	9.9%	947.05	16,266,102.2	11,428,156.5	17%	24%
134	남대	10,321,683	12461	11.4%	944.26	19,265,960.0	13,425,489.6	54%	77%
135	강도	5,812,070	12680	13.7%	1016.14	25,442,097.9	17,651,977.6	23%	33%
136	동평	4,869,360	11883	8.7%	1020.24	14,971,724.8	10,523,208.3	33%	46%
137	옥동	9,489,197	11924	11.7%	862.91	16,953,910.4	12,038,526.4	56%	79%
138	무망	9,937,048	12273	13.8%	922.7	22,041,191.1	15,650,178.5	45%	63%
139	해북	6,100,412	12072	13.7%	1016.14	24,222,161.3	16,805,573.6	25%	36%
140	고과	3,814,170	13770	13.7%	1015.79	28,382,240.3	19,218,726.4	13%	20%
141	함손	12,033,641	12573	13.8%	922.7	22,579,963.8	16,032,730.0	53%	75%
142	원지	2,612,550	12290	13.4%	982.36	21,430,537.1	16,214,313.5	12%	16%
143	울두	3,391,210	12016	15.9%	871.86	25,219,035.6	16,699,173.9	13%	20%
144	진지	3,790,179	12032	13.1%	911.93	21,650,695.5	14,384,740.0	18%	26%
145	고신	9,398,796	13622	13.5%	963.3	24,924,874.2	17,649,187.6	38%	53%
146	남이	14,407,144	12490	11.4%	944.26	19,310,796.9	13,456,734.2	75%	107%
147	고송	6,810,206	12565	15.5%	868.04	24,549,430.4	16,916,636.9	28%	40%
148	서울2	5,236,360	12479	15.5%	868.04	24,381,404.0	16,800,852.5	21%	31%
149	영봉	2,216,404	12670	13.1%	855.13	19,470,400.5	14,214,860.1	11%	16%
150	포군	9,873,830	12762	12.3%	929.25	19,898,246.4	14,562,960.6	50%	68%
151	문가	3,897,135	13148	12.4%	811.79	19,195,533.0	13,277,728.1	20%	29%
152	이설	16,048,259	12232	13.8%	970.52	21,846,141.2	16,346,918.6	73%	98%
153	장관	5,102,321	12854	13.7%	1016.14	25,791,224.5	17,894,205.0	20%	29%
154	무적	808,795	13171	13.0%	812.18	19,899,293.7	13,938,481.2	4%	6%
155	상사	6,511,530	12687	11.0%	772.44	15,469,403.0	10,809,340.7	42%	60%
156	청강	10,425,985	12597	13.3%	792.88	19,509,304.5	13,233,979.9	53%	79%
157	제남	18,282,397	13416	44.5%	886.75	121,396,315.3	52,904,349.1	15%	35%
158	태면	7,139,589	13430	14.5%	908.21	23,943,658.0	17,649,435.6	30%	40%
159	부천1	8,376,120	13008	15.5%	868.04	25,414,961.4	17,513,061.1	33%	48%
160	제대	14,442,486	14320	44.5%	886.75	129,576,269.7	56,469,162.2	11%	26%
161	보마	2,060,143	12087	15.7%	839.82	22,452,530.1	15,886,165.2	9%	13%
162	곡옥	14,231,282	13085	9.2%	933.74	16,336,559.6	11,240,548.8	87%	127%

순번	용수 구역	이용량 (천 m ³ /년)	면적(ha)	지하수 함양율(%)	10년빈도 가뭄시 강수량(mm)	지하수함양량 (m ³ /년)	지하수개발가능 량(m ³ /년)	함양량대비 이용량(%)	개발가능량 대비 이용량(%)
174	김장	8,992,160	13223	12.8%	900.81	23,209,040.2	15,294,251.2	39%	59%
175	김진	9,616,864	14582	10.9%	809.14	19,106,186.0	12,872,577.5	50%	75%
176	정입	15,634,902	13971	15.3%	900.29	26,592,352.5	19,244,265.9	59%	81%
177	김백	15,401,959	14031	16.4%	917.22	29,066,982.1	21,144,611.2	53%	73%
178	금복	4,172,013	13743	14.2%	924.96	25,475,590.4	17,NA,802.9	16%	23%
179	괴소	15,018,742	15219	14.2%	875.28	25,274,848.4	18,849,054.1	59%	80%
180	개령1	4,103,475	4979	12.6%	909.74	8,176,730.4	5,698,231.0	50%	72%
181	진부	1,794,460	13557	14.1%	905.94	24,928,905.5	17,354,223.7	7%	10%
182	영산	4,381,419	14428	14.1%	867.56	24,518,753.3	17,686,740.9	18%	25%
183	보문	4,022,746	14284	8.7%	1020.24	17,996,812.1	12,649,457.8	22%	32%
184	고회	2,700,821	14461	14.2%	1064.98	31,969,573.9	21,915,161.6	8%	12%
185	아인	11,064,041	14566	13.8%	879.72	24,160,603.8	17,657,694.0	46%	63%
186	밀하	3,879,131	14553	10.9%	809.14	19,068,188.6	12,846,977.1	20%	30%
187	파문	12,163,429	13616	12.0%	887.25	19,997,534.3	14,484,874.4	61%	84%
188	안서	14,935,166	14614	14.7%	902.44	25,875,554.0	19,373,551.2	58%	77%
189	제안	14,699,051	12173	44.5%	886.75	110,148,877.9	48,002,731.2	13%	31%
190	영안	8,023,570	14721	13.1%	855.13	22,622,238.8	16,515,939.7	35%	49%
191	해산	4,379,718	20814	12.2%	840.08	31,829,624.6	21,402,160.3	14%	20%
192	수원1	6,365,164	14912	14.7%	902.44	26,403,193.0	19,768,605.1	24%	32%
193	논양	5,451,440	15197	9.2%	869.12	17,372,040.6	12,111,751.2	31%	45%
194	칠동	3,131,944	14874	13.9%	721.27	21,495,846.1	14,869,243.5	15%	21%
195	담고	17,183,347	15139	12.6%	926.23	25,874,773.2	17,681,989.1	66%	97%
196	중신	14,484,717	14427	14.2%	875.28	23,959,539.9	17,868,145.3	60%	81%
197	강내	6,295,044	14761	11.4%	897.65	20,985,728.4	15,038,990.2	30%	42%
198	용기	5,490,874	14816	14.7%	902.44	26,233,215.3	19,641,339.4	21%	28%
199	완구	10,962,009	15308	16.4%	917.22	31,712,448.3	23,069,040.5	35%	48%
200	부석	8,112,614	15329	13.5%	932.17	26,581,651.7	19,304,755.0	31%	42%
201	원주1	15,950,259	15815	13.4%	982.36	27,577,212.8	20,864,879.4	58%	76%
202	예대	3,920,956	15215	13.8%	879.72	25,237,099.1	18,444,447.0	16%	21%
203	구구	5,543,100	14400	10.1%	1106.92	23,159,951.5	16,146,863.4	24%	34%
204	원신	6,486,300	15396	11.9%	903.26	22,100,026.8	16,493,216.8	29%	39%
205	담수	23,720,745	15433	12.6%	926.23	26,377,262.4	18,025,374.0	90%	132%
206	홍공	2,119,103	14382	13.4%	982.36	25,078,436.6	18,974,308.9	8%	11%

순번	용수 구역	이용량 (천 m ³ /년)	면적(ha)	지하수 함양율(%)	10년빈도 가뭄시 강수량(mm)	지하수함양량 (m ³ /년)	지하수개발가 능량(m ³ /년)	함양량대비 이용량(%)	개발가능량 대비 이용량(%)
218	영학	5,332,586	15434	13.7%	881.46	26,294,150.9	18,597,288.1	20%	29%
219	여울	5,124,375	16787	17.4%	1031.34	44,653,767.8	30,055,549.5	11%	17%
220	부은	8,216,350	16311	13.5%	932.17	28,284,514.4	20,541,448.1	29%	40%
221	남진	5,041,540	16805	12.8%	935.2	27,622,417.8	20,132,242.1	18%	25%
222	부흥	13,432,886	16382	13.5%	932.17	28,407,633.8	20,630,862.8	47%	65%
223	군부	5,581,586	16345	11.3%	722.33	18,907,092.1	13,329,520.2	30%	42%
224	해현	4,496,831	16687	12.2%	840.08	25,518,446.5	17,158,539.9	18%	26%
225	안남	7,210,785	16868	12.2%	750.98	21,571,931.9	15,403,717.2	33%	47%
226	거고	3,711,679	16694	12.7%	861.08	27,000,408.8	18,227,334.5	14%	20%
227	제주1	26,682,525	16321	44.5%	886.75	147,682,562.7	64,359,860.0	18%	41%
228	청대	6,683,702	16813	13.5%	932.17	29,155,020.6	21,173,647.7	23%	32%
229	양일	7,916,179	17191	16.0%	959.96	40,369,694.0	26,404,275.7	20%	30%
230	황천	7,638,353	17300	13.4%	982.36	30,166,663.4	22,824,054.0	25%	33%
231	고포	11,307,135	17682	13.7%	1015.79	36,445,517.4	24,678,687.1	31%	46%
232	장안	5,053,615	17525	13.7%	1016.14	35,163,467.3	24,396,759.2	14%	21%
233	동안	2,935,168	17689	14.1%	905.94	32,526,916.6	22,643,568.9	9%	13%
234	산신	15,107,294	17371	13.1%	1009.95	33,651,314.1	22,NA,976.1	45%	66%
235	울농	6,278,353	17281	15.9%	871.86	36,269,154.0	24,016,180.5	17%	26%
236	승서	7,651,812	17548	13.7%	1015.79	36,169,321.3	24,491,663.9	21%	31%
237	익용	8,680,514	17888	12.4%	834.99	26,620,214.6	18,476,204.4	33%	47%
238	제애	29,915,923	18773	44.5%	886.75	169,869,784.3	74,029,021.1	18%	40%
239	광봉	4,947,411	17875	17.4%	1031.34	47,547,870.3	32,003,511.5	10%	15%
240	화릉	16,448,813	17367	15.3%	941.38	36,601,989.3	25,013,888.0	45%	66%
241	천호	9,090,347	18247	13.1%	855.13	28,040,757.5	20,471,866.9	32%	44%
242	동두1	9,368,953	17740	12.3%	929.25	27,659,841.1	20,243,451.0	34%	46%
243	공논	9,083,615	17662	9.2%	869.12	20,189,838.9	14,076,314.4	45%	65%
244	승외	2,NA,390	17704	8.7%	1020.24	22,305,766.0	15,678,101.5	13%	19%
245	서비	9,279,579	17005	15.4%	910.93	32,280,917.1	23,777,709.7	29%	39%
246	함함	5,653,714	18199	13.1%	1009.95	35,255,325.9	24,096,284.9	16%	23%
247	선해	2,093,887	17830	15.2%	708.54	27,423,015.3	19,227,834.2	8%	11%
248	거가	2,755,632	17491	12.7%	861.08	28,289,454.3	19,097,538.5	10%	14%
249	거위	1,930,261	18426	12.7%	861.08	29,801,697.2	20,118,417.7	6%	10%
250	밀부	1,303,430	17762	10.9%	809.14	23,272,807.3	15,679,791.6	6%	8%

순번	용수 구역	이용량 (천 m ³ /년)	면적(ha)	지하수 함양율(%)	10년빈도 가뭄시 강수량(mm)	지하수함양량 (m ³ /년)	지하수개발가 능량(m ³ /년)	함양량대비 이용량(%)	개발가능량 대비 이용량(%)
262	아송	11,040,495	18832	13.8%	879.72	31,236,612.0	22,829,170.3	35%	48%
263	화상	2,680,391	18902	14.1%	836.08	31,485,215.6	22,314,660.8	9%	12%
264	의금	8,603,096	19147	11.3%	722.33	22,148,307.9	15,614,580.8	39%	55%
265	화남	4,583,805	18847	8.7%	1020.24	23,745,863.7	16,690,306.1	19%	27%
266	완봉	25,851,074	18799	16.4%	917.22	38,944,494.1	28,329,951.2	66%	91%
267	보벌	15,118,861	18881	13.7%	1015.79	38,916,854.0	26,352,125.9	39%	57%
268	태백1	505,472	16293	13.6%	766.91	24,480,296.3	17,018,550.4	2%	3%
269	진군	3,561,977	18814	17.4%	828.28	42,548,791.1	27,177,205.3	8%	13%
270	남포	11,619,154	18417	15.4%	910.93	34,961,343.7	25,752,077.6	33%	45%
271	금추	17,386,623	19727	15.8%	893.55	38,962,706.1	27,886,010.2	45%	62%
272	옥개	1,850,104	22553	16.4%	917.22	46,721,377.5	33,987,200.9	4%	5%
273	춘사	2,744,001	18578	14.1%	836.08	30,945,526.1	21,932,164.2	9%	13%
274	장변	4,437,308	19186	11.4%	944.26	29,663,486.8	20,671,009.0	15%	21%
275	화이	7,854,464	19144	8.7%	1020.24	24,120,062.3	16,953,319.9	33%	46%
276	예상	4,072,275	19280	13.1%	855.13	29,628,202.2	21,630,821.1	14%	19%
277	장유	4,109,002	19206	14.4%	1008.71	40,648,861.5	27,878,156.0	10%	15%
278	태이	20,125,416	19848	14.5%	908.21	35,385,980.9	26,083,842.0	57%	77%
279	거장	5,443,274	19395	11.1%	1025.89	35,969,171.2	22,105,718.7	15%	25%
280	승상	5,338,608	19458	13.7%	1015.79	40,106,146.2	27,157,442.2	13%	20%
281	웅대	1,490,171	4285	12.4%	923.7	6,509,185.5	4,900,071.4	23%	30%
282	칠석	13,310,128	19705	13.9%	721.27	28,477,588.3	19,698,698.7	47%	68%
283	의부	6,619,175	19626	14.7%	794.54	34,867,659.5	22,844,685.5	19%	29%
284	승월	8,789,360	19151	10.1%	1106.92	30,801,127.2	21,474,207.0	29%	41%
285	횡서	5,335,129	19733	13.4%	982.36	34,409,177.4	26,033,933.9	16%	20%
286	진진	4,189,127	20069	17.4%	828.28	45,387,035.7	28,990,078.3	9%	14%
287	여감	16,094,493	19567	13.8%	970.52	34,946,324.8	26,149,456.9	46%	62%
288	과청	1,215,707	18432	14.2%	875.28	30,610,815.8	22,828,422.7	4%	5%
289	문농	4,150,550	20406	12.4%	811.79	29,791,911.1	20,607,341.1	14%	20%
290	나봉	13,073,461	19688	16.6%	908.63	43,211,135.1	29,713,807.4	30%	44%
291	선장	5,025,007	19687	13.9%	721.27	28,451,574.8	19,680,704.4	18%	26%
292	양금	13,989,912	23598	13.8%	970.52	42,145,621.4	31,536,509.7	33%	44%
293	거남	8,203,671	20329	12.7%	861.08	32,879,556.2	22,196,207.2	25%	37%
294	진리	38,473,482	20055	16.2%	902.83	39,259,117.2	29,277,815.3	98%	131%

순번	용수 구역	이용량 (천 m ³ /년)	면적(ha)	지하수 함양율(%)	10년빈도 가뭄시 강수량(mm)	지하수함양량 (m ³ /년)	지하수개발가 능량(m ³ /년)	함양량대비 이용량(%)	개발가능량 대비 이용량(%)
306	고영	7,103,320	20611	13.1%	911.93	37,087,972.5	24,641,279.6	19%	29%
307	용남	10,700,040	20608	14.7%	902.44	36,488,532.8	27,319,703.2	29%	39%
308	보청	17,730,970	20340	15.4%	910.93	38,611,811.5	28,440,965.3	46%	62%
309	임신	3,478,452	21526	9.9%	947.05	28,726,238.1	20,182,336.3	12%	17%
310	익옥	4,910,246	20782	12.2%	750.98	26,577,418.1	18,977,949.4	18%	26%
311	예광	9,887,052	20804	13.8%	879.72	34,507,565.6	25,219,735.5	29%	39%
312	강성	7,455,865	22145	14.4%	1008.71	46,869,157.5	32,144,213.5	16%	23%
313	거사	2,674,136	21006	11.1%	1025.89	38,956,865.7	23,941,878.1	7%	11%
314	괴칠	3,115,246	20888	14.2%	875.28	34,689,600.8	25,870,230.8	9%	12%
315	영갑	11,099,639	20973	13.8%	922.7	37,665,599.4	26,744,169.7	29%	42%
316	중상	10,187,252	21832	14.2%	875.28	36,257,342.2	27,039,394.8	28%	38%
317	김부	14,101,683	19538	15.3%	900.29	37,188,560.8	26,912,495.0	38%	52%
318	산삼	3,580,026	21248	13.1%	1009.95	41,161,886.1	28,133,296.4	9%	13%
319	진안	2,916,388	21474	14.1%	905.94	39,486,856.7	27,488,721.8	7%	11%
320	의단	4,174,084	22005	11.3%	722.33	25,454,301.7	17,945,310.0	16%	23%
321	홍금	22,383,106	21432	13.8%	879.72	35,549,228.3	25,981,031.1	63%	86%
322	당우	17,812,617	21154	13.8%	879.72	35,088,110.1	25,644,024.5	51%	69%
323	연백	14,260,518	20109	12.0%	887.25	29,533,667.6	21,392,210.5	48%	67%
324	양구1	188,595	5859	14.1%	836.08	9,759,384.1	6,916,812.9	2%	3%
325	청북	20,213,819	21531	16.2%	902.83	42,148,494.3	31,432,592.5	48%	64%
326	서귀1	19,196,791	23173	44.5%	886.75	209,683,722.0	91,379,881.0	9%	21%
327	예영	7,424,592	20969	13.1%	855.13	32,223,743.3	23,525,761.9	23%	32%
328	함마	3,877,365	21798	13.1%	1009.95	42,227,352.8	28,861,520.9	9%	13%
329	함라	15,255,770	22219	16.0%	942.05	47,071,573.6	33,490,254.3	32%	46%
330	보내	8,696,629	22326	15.7%	839.82	41,472,258.5	29,343,470.3	21%	30%
331	하금	5,857,869	21468	14.2%	1064.98	47,460,259.4	32,534,035.6	12%	18%
332	영양	6,517,968	21875	14.1%	867.56	37,174,087.1	26,815,737.3	18%	24%
333	상화	5,750,722	22143	15.0%	821.37	38,214,678.3	27,190,455.8	15%	21%
334	정동	1,123,071	21949	14.6%	917.29	39,798,604.5	29,435,320.5	3%	4%
335	평대	1,630,660	21283	14.6%	971.21	40,250,227.6	30,199,253.4	4%	5%
336	군소	14,195,593	22802	11.3%	722.33	26,376,232.1	18,595,272.0	54%	76%
337	보성	21,489,375	22542	13.7%	1016.14	45,229,950.4	31,380,984.1	48%	68%
338	정북	17,058,273	22511	15.3%	900.29	42,847,358.6	31,007,635.1	40%	55%

순번	용수 구역	이용량 (천 m ³ /년)	면적(ha)	지하수 함양율(%)	10년빈도 가뭄시 강수량(mm)	지하수함양량 (m ³ /년)	지하수개발가 능량(m ³ /년)	함양량대비 이용량(%)	개발가능량 대비 이용량(%)
350	창진	4,484,295	24030	14.3%	920.92	49,190,737.6	31,534,833.3	9%	14%
351	합쌍	5,516,385	23596	13.1%	1009.95	45,710,460.4	31,242,152.8	12%	18%
352	순강	10,906,702	23213	10.5%	958.18	33,059,303.9	23,421,070.6	33%	47%
353	화춘	9,615,606	23803	15.3%	941.38	50,166,243.5	34,283,732.2	19%	28%
354	파적	6,126,030	24065	12.0%	887.25	35,343,762.0	25,600,653.8	17%	24%
355	선산	3,496,518	24219	10.6%	738.39	27,867,569.5	18,920,285.3	13%	18%
356	해삼	7,349,885	24608	12.2%	840.08	37,631,565.4	25,303,370.8	20%	29%
357	부서	11,248,184	24888	12.4%	834.99	37,037,338.0	25,706,382.8	30%	44%
358	평포	9,362,863	25342	12.4%	923.7	38,496,098.0	28,979,605.8	24%	32%
359	근흥	27,166,821	24420	14.5%	908.21	43,537,165.2	32,092,272.4	62%	85%
360	제한	31,961,821	23707	44.5%	886.75	214,515,686.2	93,485,644.4	15%	34%
361	연청	1,742,124	25249	12.3%	929.25	39,367,718.6	28,812,113.6	4%	6%
362	금남	15,472,600	25096	14.1%	867.56	42,647,812.1	30,764,239.7	36%	50%
363	청청	12,197,832	24183	13.5%	932.17	41,935,161.1	30,455,143.2	29%	40%
364	양하	5,415,272	24507	12.8%	900.81	43,014,743.2	28,345,777.4	13%	19%
365	서해	19,757,726	25814	14.5%	908.21	46,022,456.3	33,924,239.1	43%	58%
366	인기	697,056	24151	15.3%	914.97	46,353,770.9	33,875,376.2	2%	2%
367	서지	16,043,370	20233	14.5%	908.21	36,072,377.7	26,589,801.3	44%	60%
368	나남	11,631,023	25318	15.3%	941.38	53,359,196.4	36,465,804.0	22%	32%
369	창원1	19,208,719	27184	14.3%	920.92	55,647,149.9	35,673,862.2	35%	54%
370	경하	22,449,293	25263	13.1%	750.42	35,564,343.1	24,815,839.3	63%	90%
371	합울	4,277,251	24989	12.7%	861.08	40,416,509.9	27,284,225.6	11%	16%
372	정임	767,599	23005	14.6%	917.29	41,713,376.3	30,851,498.9	2%	2%
373	밀삼	5,030,699	25278	12.8%	900.81	44,368,004.2	29,237,546.9	11%	17%
374	홍서	11,700,465	23909	14.5%	908.21	42,626,129.5	31,420,726.5	27%	37%
375	부산2	21,416,225	26886	16.0%	959.96	63,136,501.3	41,295,175.2	34%	52%
376	남보	12,182,898	26031	10.8%	979.4	39,180,351.4	27,534,342.3	31%	44%
377	산산	16,103,889	26015	13.1%	1009.95	50,396,576.9	34,445,016.3	32%	47%
378	영매	5,089,248	25643	15.0%	821.37	44,255,024.0	31,488,274.4	11%	16%
379	연왕	1,241,669	17527	11.3%	804.05	23,471,713.9	15,910,527.7	5%	8%
380	명강	2,582,087	26214	17.7%	1061.53	67,072,045.8	49,281,523.8	4%	5%
381	가외	6,873,196	26098	13.2%	964.58	46,003,799.0	33,178,816.4	15%	21%
382	포신	6,780,282	27031	12.3%	929.25	42,146,176.1	30,845,587.6	16%	22%

순번	울수 구역	이용량 (천 m ³ /년)	면적(ha)	지하수 함양율(%)	10년빈도 가뭄시 강수량(mm)	지하수함양량 (m ³ /년)	지하수개발가 능량(m ³ /년)	함양량대비 이용량(%)	개발가능량 대비 이용량(%)
394	연전	36,464,634	27329	16.2%	902.83	53,498,499.9	39,896,954.2	68%	91%
395	창리	11,306,046	27642	14.7%	794.54	49,108,929.2	32,175,318.4	23%	35%
396	봉법	1,600,402	28310	13.6%	766.91	42,535,885.9	29,570,684.5	4%	5%
397	유구	11,923,940	28468	13.5%	932.17	49,365,676.9	35,851,508.0	24%	33%
398	부산1	7,936,343	27294	12.8%	900.81	47,906,492.1	31,569,333.2	17%	25%
399	횡청	3,051,589	27939	13.4%	982.36	48,718,289.5	36,860,187.5	6%	8%
400	곡석	11,046,961	28218	11.2%	1042.64	46,309,828.4	32,834,076.5	24%	34%
401	울기	3,111,473	28591	18.1%	761.14	56,287,152.0	39,432,297.7	6%	8%
402	안풍	18,578,245	29063	12.2%	750.98	37,167,717.4	26,540,089.7	50%	70%
403	장북	12,543,738	28321	17.1%	959.51	66,650,982.9	46,495,197.7	19%	27%
404	합가	12,494,152	29230	14.6%	788.19	49,202,200.7	33,613,600.0	25%	37%
405	의정	16,751,218	28831	13.1%	911.93	51,879,255.6	34,468,620.3	32%	49%
406	인천1	11,245,335	30961	11.4%	897.65	44,017,284.6	31,544,080.7	26%	36%
407	문산	7,219,528	29505	13.1%	855.13	45,341,291.8	33,102,561.1	16%	22%
408	진상	7,725,622	29314	14.1%	905.94	53,903,218.7	37,524,652.6	14%	21%
409	광포	23,241,829	28874	14.0%	900.74	51,126,984.4	36,359,137.5	45%	64%
410	삼하	1,844,731	30496	14.6%	917.29	55,296,288.9	40,897,514.0	3%	5%
411	함법	21,073,762	30040	13.1%	911.93	54,054,761.8	35,914,028.5	39%	59%
412	이흥	42,586,891	28831	13.8%	970.52	51,491,669.2	38,529,922.5	83%	111%
413	영연	10,388,945	29479	17.1%	768.59	58,774,584.0	38,789,237.0	18%	27%
414	당고	22,168,183	34964	16.2%	925.71	71,172,118.0	52,530,869.1	31%	42%
415	제조	27,447,383	29854	44.5%	886.75	270,137,566.8	117,725,584.4	10%	23%
416	당송	33,000,208	34144	16.2%	925.71	69,502,940.1	51,298,878.7	47%	64%
417	경주1	9,912,822	30465	15.5%	743.87	52,578,451.0	35,058,113.3	19%	28%
418	영주	5,792,451	30110	14.6%	971.21	56,943,774.5	42,724,217.4	10%	14%
419	울상	14,507,826	29763	15.9%	871.86	62,466,224.8	41,362,975.6	23%	35%
420	군의	17,191,951	30019	11.3%	722.33	34,724,502.8	24,480,811.8	50%	70%
421	상외	19,273,571	30590	11.0%	772.44	37,298,734.1	26,062,720.3	52%	74%
422	대청	12,573,311	29579	15.8%	893.55	58,421,345.6	41,812,759.0	22%	30%
423	횡둔	4,375,145	30936	14.6%	971.21	58,505,898.6	43,896,260.0	7%	10%
424	완화	14,688,358	30701	16.4%	917.22	63,600,984.9	46,266,175.5	23%	32%
425	김고	30,878,471	32482	15.5%	868.04	63,463,159.4	43,731,492.3	49%	71%
426	진수	13,438,007	30925	13.1%	1009.95	59,908,289.1	40,946,074.6	22%	33%

순번	용수 구역	이용량 (천 m ³ /년)	면적(ha)	지하수 함양율(%)	10년빈도 가뭄시 강수량(mm)	지하수함양량 (m ³ /년)	지하수개발가능 량(m ³ /년)	함양량대비 이용량(%)	개발가능량 대비 이용량(%)
438	구문	3,544,139	33193	10.1%	1106.92	53,385,296.6	37,219,641.5	7%	10%
439	익오	23,868,111	32076	16.4%	917.22	66,449,470.4	48,338,290.1	36%	49%
440	공정	15,349,649	32444	13.5%	932.17	56,260,363.3	40,858,730.0	27%	38%
441	안길	13,145,375	32532	15.6%	710.88	50,439,541.2	36,030,850.4	26%	36%
442	광주1	33,696,943	33172	12.6%	926.23	56,695,817.3	38,744,100.8	59%	87%
443	제성	18,743,649	31742	44.5%	886.75	287,221,365.5	125,170,680.6	7%	15%
444	춘동	20,164,091	32540	12.5%	958.52	53,404,541.2	39,050,181.4	38%	52%
445	경감	7,407,374	32445	17.1%	768.59	64,688,129.8	42,691,977.1	11%	17%
446	여서	22,266,486	33571	13.8%	970.52	59,957,227.5	44,864,487.1	37%	50%
447	성고	15,433,656	32864	13.9%	721.27	47,494,923.3	32,853,490.7	32%	47%
448	봉영	5,458,753	33754	13.1%	855.13	51,870,868.1	37,869,644.1	11%	14%
449	청도	23,356,821	34030	16.2%	818.18	67,012,486.8	44,965,904.6	35%	52%
450	논가	19,090,066	33601	9.2%	869.12	38,410,076.9	26,779,427.1	50%	71%
451	하화	8,964,738	34276	10.1%	1106.92	55,127,118.0	38,434,020.1	16%	23%
452	춘남	4,872,781	34258	14.2%	956.52	63,189,220.8	46,400,142.4	8%	11%
453	영화	8,622,711	34346	13.1%	750.42	48,351,064.0	33,738,068.2	18%	26%
454	울청	17,245,002	32188	17.4%	921.63	78,455,584.1	51,588,176.5	22%	33%
455	양방	566,776	34437	15.4%	842.78	64,699,794.8	44,724,157.6	1%	1%
456	대전2	29,256,055	34937	14.2%	924.96	64,763,203.2	45,758,503.7	45%	64%
457	영석	3,360,772	34991	15.6%	710.88	54,252,120.6	38,754,318.4	6%	9%
458	경서	7,647,424	35486	15.5%	743.87	61,244,014.8	40,836,113.8	12%	19%
459	밀단	3,558,474	35502	16.2%	818.18	69,911,175.6	46,910,947.5	5%	8%
460	홍남	4,894,014	35981	14.2%	956.52	66,367,311.4	48,733,829.3	7%	10%
461	고광	34,802,472	35651	13.8%	922.7	64,025,951.7	45,461,135.5	54%	77%
462	함수	11,679,880	35975	13.1%	1009.95	69,691,211.0	47,632,499.0	17%	25%
463	홍화	3,197,787	36022	14.2%	956.52	66,442,936.3	48,789,361.0	5%	7%
464	파주2	366,143	4112	12.0%	887.25	6,039,208.3	4,374,398.0	6%	8%
465	단대	1,141,603	35929	11.9%	903.26	51,573,906.5	38,489,529.0	2%	3%
466	천직	34,014,842	35976	14.7%	902.44	63,699,119.6	47,692,820.5	53%	71%
467	영달	5,421,393	37066	12.2%	768.36	49,410,358.7	34,603,238.5	11%	16%
468	삼원	7,372,289	37561	18.5%	811.61	85,556,194.8	56,458,003.7	9%	13%
469	고원	22,855,823	38426	13.5%	963.3	70,310,029.2	49,786,205.0	33%	46%
470	단가	2,137,745	38561	11.9%	903.26	55,351,983.3	41,309,102.1	4%	5%

순번	용수 구역	이용량 (천 m ³ /년)	면적(ha)	지하수 함양율(%)	10년빈도 가뭄시 강수량(mm)	지하수함양량 (m ³ /년)	지하수개발가 능량(m ³ /년)	함양량대비 이용량(%)	개발가능량 대비 이용량(%)
482	정도	2,299,668	45611	14.6%	917.29	82,703,273.6	61,167,907.7	3%	4%
483	영자	10,334,512	44145	13.1%	750.42	62,145,743.9	43,363,623.7	17%	24%
484	양강	1,026,575	40513	17.0%	945.04	88,228,328.2	65,048,602.9	1%	2%
485	안북	652,235	46427	14.0%	791.5	74,086,134.0	51,409,011.7	1%	1%
486	평진	2,645,131	44557	14.6%	917.29	80,792,128.3	59,754,411.5	3%	4%
487	파주1	709,402	9064	12.0%	887.25	13,312,107.1	9,642,398.7	5%	7%
488	봉석	877,242	44859	13.6%	766.91	67,400,823.3	46,856,634.9	1%	2%
489	무설	3,219,939	45917	12.0%	811.35	63,171,837.1	44,631,200.0	5%	7%
490	안예	16,930,178	46532	13.6%	766.91	69,914,512.4	48,604,136.0	24%	35%
491	보미	11,812,500	48300	14.2%	875.28	80,213,889.3	59,820,573.9	15%	20%
492	인서	722,885	30199	14.0%	791.5	48,190,216.1	33,439,609.3	2%	2%
493	춘신	8,656,483	50145	15.3%	914.97	96,244,869.5	70,335,834.6	9%	12%
494	영상	855,612	52418	11.9%	903.26	75,242,868.7	56,153,640.0	1%	2%
495	홍두	2,099,567	51261	14.2%	956.52	94,551,423.0	69,429,555.1	2%	3%
496	청송	3,968,909	51191	15.6%	710.88	79,369,561.0	56,696,645.2	5%	7%
497	울원	1,461,898	52995	18.1%	761.14	104,331,349.7	73,089,945.1	1%	2%
498	원양	25,447,266	52548	17.5%	899.7	111,254,598.2	82,688,234.8	23%	31%
499	달화	18,729,072	55598	15.2%	788.27	101,563,713.2	66,615,877.8	18%	28%
500	청운	8,131,495	55243	16.2%	818.18	108,785,507.2	72,995,929.1	7%	11%
501	정신	6,550,478	56149	14.6%	917.29	101,811,100.6	75,300,187.4	6%	9%
502	철원2	41,490	9795	15.4%	842.78	18,402,720.6	12,721,001.3	0%	0%
503	화간	3,564,243	51412	14.1%	836.08	85,637,387.9	60,694,177.4	4%	6%
504	제산	12,771,880	61820	11.9%	903.26	88,738,871.1	66,225,686.3	14%	19%
505	대구1	24,115,510	60258	13.1%	750.42	84,829,046.1	59,191,420.1	28%	41%
506	인상	3,493,149	83110	15.3%	914.97	159,515,626.8	116,574,159.2	2%	3%
507	서울1	65,930,046	136689	12.8%	935.2	224,676,029.1	163,752,219.1	29%	40%
508	연천2	1,477,499	12630	11.3%	804.05	16,913,775.7	11,465,166.0	9%	13%
509	남상	2,587,532	12153	10.9%	1159.31	23,105,594.7	15,328,934.7	11%	17%
510	남설	2,075,671	5781	10.9%	1159.31	10,990,985.1	7,291,744.5	19%	28%
511	남서	2,910,391	12386	10.9%	1159.31	23,548,580.2	15,622,824.4	12%	19%

부록 4. 용수구역별 농경지(논, 밭) 변화 전망

순번	용수 구역	2012년 논면적(ha)	2024년 논면적(ha)	2012년 밭면적(ha)	2024년 밭면적(ha)	2024년 밭기반 밭 면적(ha)	2024년 밭기반 비관개전(ha)	2024 경지면적 대비 밭비율	2024 경지면적 대비 밭기반 밭면적 비율
1	제주	0.0	0.0	220.0	213.0	77.7	135.3	100.0	36.5
2	제주	0.0	0.0	610.0	591.0	307.0	284.0	100.0	51.9
3	옹자	15.4	13.9	44.0	43.0	0.0	43.0	75.6	0.0
4	옹송	22.6	20.3	45.0	44.0	0.0	44.0	68.4	0.0
5	영낙	10.6	9.5	137.0	133.0	100.9	32.1	93.3	70.8
6	강서	260.1	234.3	98.0	96.0	0.0	96.0	29.1	0.0
7	부위	0.0	0.0	92.0	89.0	10.4	78.6	100.0	11.7
8	완생	17.7	16.0	127.0	123.0	42.4	80.6	88.5	30.5
9	옥옥	6.6	6.0	46.0	46.0	5.4	40.6	88.5	10.4
10	신평	276.9	249.3	333.0	322.0	92.0	230.0	56.4	16.1
11	완당	38.4	34.6	142.0	137.0	88.5	48.5	79.9	51.6
12	옹북	64.2	57.8	118.0	115.0	0.0	115.0	66.6	0.0
13	여화	7.2	6.5	362.0	351.0	46.8	304.2	98.2	13.1
14	영천1	236.2	212.8	332.0	322.0	67.1	254.9	60.2	12.5
15	완금	297.9	268.3	414.0	400.0	216.4	183.6	59.9	32.4
16	옹영	42.5	38.3	103.0	99.0	0.0	99.0	72.1	0.0
17	의구	88.4	79.6	192.0	185.0	8.4	176.6	69.9	3.2
18	완소	53.9	48.5	238.0	230.0	100.9	129.1	82.6	36.2
19	울산2	6.5	5.9	54.0	53.0	0.0	53.0	90.0	0.0
20	통옥	6.9	6.2	441.0	427.0	12.7	414.3	98.6	2.9
21	신장	766.6	690.3	553.0	536.0	269.9	266.1	43.7	22.0
22	통사	33.1	29.8	169.0	164.0	4.9	159.1	84.6	2.5
23	완약	365.3	328.9	280.0	270.0	163.9	106.1	45.1	27.4
24	완신	361.7	325.7	393.0	381.0	198.8	182.2	53.9	28.1
25	통한	63.1	56.8	331.0	321.0	9.5	311.5	85.0	2.5
26	완노	172.7	155.6	565.0	547.0	170.6	376.4	77.9	24.3
27	대전1	196.2	176.7	212.0	205.0	7.6	197.4	53.7	2.0
28	부산3	666.5	600.2	374.0	362.0	0.0	362.0	37.6	0.0
29	완보	42.8	38.6	253.0	246.0	32.8	213.2	86.5	11.5
30	공주1	550.8	496.0	201.0	196.0	20.9	175.1	28.3	3.0
31	목포1	235.5	212.1	529.0	514.0	68.6	445.4	70.8	9.4

순번	용수 구역	2012년 논면적(ha)	2024년 논면적(ha)	2012년 밭면적(ha)	2024년 밭면적(ha)	2024년 밭기반 밭 면적(ha)	2024년 밭기반 비관개전(ha)	2024 경지면적 대비 밭비율	2024 경지면적 대비 밭기반 밭면적 비율
42	신임	610.5	549.8	754.0	730.0	476.6	253.4	57.0	37.2
43	광주3	455.9	410.5	727.0	706.0	0.0	706.0	63.2	0.0
44	신도	574.2	517.1	472.0	455.0	198.7	256.3	46.8	20.4
45	강교	3083.0	2776.4	265.0	255.0	0.0	255.0	8.4	0.0
46	통도	146.4	131.9	356.0	343.0	10.2	332.8	72.2	2.1
47	남원1	512.8	461.8	238.0	229.0	26.8	202.2	33.2	3.9
48	신비	1127.7	1015.5	430.0	416.0	92.9	323.1	29.1	6.5
49	고봉	228.6	205.9	576.0	559.0	74.6	484.4	73.1	9.7
50	진조	79.2	71.4	711.0	688.0	109.9	578.1	90.6	14.5
51	임성	540.9	487.1	326.0	315.0	115.5	199.5	39.3	14.4
52	신안	1113.7	1003.0	1263.0	1221.0	398.3	822.7	54.9	17.9
53	안삼	966.6	870.5	730.0	706.0	11.5	694.5	44.8	0.7
54	신자	982.3	884.6	922.0	892.0	459.3	432.7	50.2	25.9
55	양천	193.6	174.3	429.0	415.0	6.8	408.2	70.4	1.2
56	신암	1089.5	981.2	1634.0	1583.0	556.9	1026.1	61.7	21.7
57	남창	315.4	284.0	497.0	482.0	88.1	393.9	62.9	11.5
58	통용	256.8	231.2	500.0	483.0	24.1	458.9	67.6	3.4
59	영주1	397.0	357.6	923.0	894.0	186.3	707.7	71.4	14.9
60	울산1	64.7	58.3	203.0	198.0	0.0	198.0	77.3	0.0
61	신증	1101.0	991.5	745.0	721.0	137.8	583.2	42.1	8.0
62	무청	967.1	870.9	984.0	951.0	348.0	603.0	52.2	19.1
63	나노	926.6	834.5	891.0	864.0	100.2	763.8	50.9	5.9
64	신지	1242.2	1118.7	995.0	962.0	285.5	676.5	46.2	13.7
65	군산1	203.5	183.3	315.0	308.0	36.1	271.9	62.7	7.3
66	완상	77.5	69.8	413.0	400.0	46.9	353.1	85.1	10.0
67	전주1	701.7	631.9	492.0	478.0	64.8	413.2	43.1	5.8
68	순동	1358.1	1223.0	544.0	526.0	80.7	445.3	30.1	4.6
69	금농	555.3	500.1	791.0	767.0	186.7	580.3	60.5	14.7
70	인천2	93.9	84.6	467.0	452.0	0.0	452.0	84.2	0.0
71	고동	743.8	669.9	470.0	455.0	27.1	427.9	40.4	2.4
72	여소	763.7	687.8	1030.0	997.0	286.8	710.2	59.2	17.0
73	울릉	0.0	0.0	1239.0	1199.0	249.9	949.1	100.0	20.8
74	고금	314.5	283.2	1005.0	972.0	268.3	703.7	77.4	21.4

순번	용수 구역	2012년 논면적(ha)	2024년 논면적(ha)	2012년 밭면적(ha)	2024년 밭면적(ha)	2024년 발기반 밭 면적(ha)	2024년 발기반 비관개선(ha)	2024 경지면적 대비 밭비율	2024 경지면적 대비 발기반 밭면적 비율
86	해계	6309.8	5682.4	1556.0	1506.0	752.1	753.9	21.0	10.5
87	금부	285.7	257.2	778.0	752.0	115.4	636.6	74.5	11.4
88	포항1	374.8	337.6	321.0	312.0	65.0	247.0	48.0	10.0
89	장동	409.2	368.6	711.0	689.0	105.5	583.5	65.2	10.0
90	장군	1797.2	1618.5	391.0	379.0	91.8	287.2	19.0	4.6
91	여수1	127.5	114.8	840.0	816.0	206.6	609.4	87.7	22.2
92	마산1	108.1	97.3	526.0	510.0	15.2	494.8	84.0	2.5
93	화서	667.0	600.7	1332.0	1290.0	21.1	1268.9	68.2	1.1
94	완군	806.4	726.2	931.0	903.0	453.6	449.4	55.4	27.8
95	곡입	1427.0	1285.1	734.0	711.0	232.4	478.6	35.6	11.6
96	감문	699.4	629.9	1280.0	1241.0	355.5	885.5	66.3	19.0
97	화태	2624.5	2363.5	1028.0	995.0	16.3	978.7	29.6	0.5
98	평고	1100.3	990.9	827.0	800.0	55.7	744.3	44.7	3.1
99	양철	354.5	319.2	325.0	312.0	1.3	310.7	49.4	0.2
100	김양	158.7	142.9	643.0	622.0	8.7	613.3	81.3	1.1
101	정산	1182.7	1065.1	537.0	518.0	67.7	450.3	32.7	4.3
102	생극	1989.3	1791.5	1264.0	1223.0	126.3	1096.7	40.6	4.2
103	청화	2001.7	1802.6	629.0	606.0	125.8	480.2	25.2	5.2
104	강철	1435.6	1292.9	335.0	323.0	56.9	266.1	20.0	3.5
105	화비	2144.3	1931.1	1270.0	1230.0	20.1	1209.9	38.9	0.6
106	승별	1477.3	1330.4	1404.0	1356.0	230.6	1125.4	50.5	8.6
107	횡소	631.5	568.7	711.0	690.0	149.6	540.4	54.8	11.9
108	김청	110.3	99.3	871.0	843.0	219.7	623.3	89.5	23.3
109	고대	1836.7	1654.0	1083.0	1049.0	310.7	738.3	38.8	11.5
110	경가	257.5	231.9	256.0	245.0	20.0	225.0	51.4	4.2
111	영지	211.1	190.1	610.0	589.0	138.7	450.3	75.6	17.8
112	명성	27.3	24.6	236.0	229.0	45.9	183.1	90.3	18.1
113	고도	2908.8	2619.6	1397.0	1352.0	385.5	966.5	34.0	9.7
114	나동	648.3	583.9	981.0	948.0	126.5	821.5	61.9	8.3
115	하적	711.4	640.7	1027.0	993.0	153.0	840.0	60.8	9.4
116	광주2	2933.1	2641.4	843.0	815.0	12.5	802.5	23.6	0.4
117	임삼	868.7	782.3	447.0	433.0	70.1	362.9	35.6	5.8
118	기산	3549.4	3196.5	693.0	675.0	72.1	602.9	17.4	1.9

순번	용수 구역	2012년 논면적(ha)	2024년 논면적(ha)	2012년 밭면적(ha)	2024년 밭면적(ha)	2024년 발기반 밭 면적(ha)	2024년 발기반 비관개전(ha)	2024 경지면적 대비 발비율	2024 경지면적 대비 발기반 밭면적 비율
130	안산1	155.2	139.7	966.0	936.0	15.3	920.7	87.0	1.4
131	가설	233.4	210.2	380.0	369.0	6.0	363.0	63.7	1.0
132	부여	1421.3	1279.9	606.0	587.0	78.6	508.4	31.4	4.2
133	진성	903.0	813.2	988.0	957.0	518.2	438.8	54.1	29.3
134	남대	1774.8	1598.3	812.0	783.0	192.1	590.9	32.9	8.1
135	강도	2664.9	2399.9	570.0	553.0	128.9	424.1	18.7	4.4
136	동평	2130.0	1918.2	701.0	680.0	102.2	577.8	26.2	3.9
137	옥동	1096.2	987.2	1309.0	1268.0	105.2	1162.8	56.2	4.7
138	무망	1421.5	1280.1	3811.0	3690.0	2382.7	1307.3	74.2	47.9
139	해북	2252.7	2028.7	1065.0	1030.0	342.7	687.3	33.7	11.2
140	고과	1771.4	1595.3	995.0	964.0	317.2	646.8	37.7	12.4
141	함손	2486.3	2239.0	1748.0	1693.0	547.0	1146.0	43.1	13.9
142	원지	383.1	345.0	575.0	556.0	74.2	481.8	61.7	8.2
143	울두	1189.5	1071.2	601.0	581.0	0.0	581.0	35.2	0.0
144	진지	1664.6	1499.1	1180.0	1141.0	81.5	1059.5	43.2	3.1
145	고신	1205.7	1085.8	1711.0	1654.0	390.6	1263.4	60.4	14.3
146	남이	4386.8	3950.5	379.0	372.0	43.6	328.4	8.6	1.0
147	고송	1231.2	1108.8	800.0	773.0	27.4	745.6	41.1	1.5
148	서울2	298.0	268.4	838.0	813.0	12.1	800.9	75.2	1.1
149	영봉	1557.1	1402.3	1243.0	1204.0	859.2	344.8	46.2	33.0
150	포군	879.8	792.3	1422.0	1376.0	22.5	1353.5	63.5	1.0
151	문가	168.7	151.9	627.0	606.0	188.8	417.2	80.0	24.9
152	이설	2707.2	2438.0	2640.0	2558.0	192.6	2365.4	51.2	3.9
153	장관	2941.5	2649.0	923.0	892.0	270.7	621.3	25.2	7.6
154	무적	242.5	218.4	870.0	843.0	184.4	658.6	79.4	17.4
155	상사	2673.8	2407.9	1681.0	1628.0	868.3	759.7	40.3	21.5
156	청강	1753.7	1579.3	960.0	927.0	48.4	878.6	37.0	1.9
157	제남	0.0	0.0	2471.0	2392.0	2154.5	237.5	100.0	90.1
158	태면	2426.2	2185.0	1529.0	1480.0	158.1	1321.9	40.4	4.3
159	부천1	4328.8	3898.3	691.0	670.0	5.8	664.2	14.7	0.1
160	제대	25.0	22.5	9419.0	9118.0	5698.7	3419.3	99.8	62.3
161	보마	1346.5	1212.6	739.0	715.0	150.0	565.0	37.1	7.8
162	곡옥	2013.2	1813.0	874.0	843.0	161.6	681.4	31.7	6.1

순번	용수 구역	2012년 논면적(ha)	2024년 논면적(ha)	2012년 밭면적(ha)	2024년 밭면적(ha)	2024년 밭기반 밭 면적(ha)	2024년 밭기반 비관개선(ha)	2024 경지면적 대비 밭비율	2024 경지면적 대비 밭기반 밭면적 비율
174	김장	2185.3	1968.0	504.0	490.0	28.9	461.1	19.9	1.2
175	김진	2441.3	2198.5	1012.0	978.0	461.8	516.2	30.8	14.5
176	정입	2606.5	2347.3	2694.0	2605.0	714.8	1890.2	52.6	14.4
177	김백	8589.9	7735.7	2243.0	2173.0	423.2	1749.8	21.9	4.3
178	금복	345.3	310.9	1430.0	1384.0	136.3	1247.7	81.7	8.0
179	괴소	1577.2	1420.4	2052.0	1988.0	187.9	1800.1	58.3	5.5
180	개령1	74.8	67.4	224.0	216.0	3.5	212.5	76.2	1.2
181	진부	360.1	324.3	484.0	468.0	54.8	413.2	59.1	6.9
182	영산	293.6	264.4	1320.0	1279.0	284.9	994.1	82.9	18.5
183	보문	1363.9	1228.3	828.0	799.0	167.4	631.6	39.4	8.3
184	고회	2473.3	2227.3	1021.0	989.0	107.6	881.4	30.7	3.3
185	아인	2369.8	2134.2	1505.0	1454.0	155.4	1298.6	40.5	4.3
186	말하	5626.5	5067.0	1591.0	1540.0	164.9	1375.1	23.3	2.5
187	파문	1073.1	966.4	717.0	692.0	11.3	680.7	41.7	0.7
188	안서	2562.5	2307.7	1700.0	1644.0	90.0	1554.0	41.6	2.3
189	제안	0.0	0.0	4232.0	4098.0	2656.0	1442.0	100.0	64.8
190	영안	728.0	655.6	2654.0	2566.0	961.5	1604.5	79.6	29.8
191	해산	4157.5	3744.1	3609.0	3494.0	1166.5	2327.5	48.3	16.1
192	수월1	319.0	287.3	887.0	863.0	14.1	848.9	75.0	1.2
193	논양	413.5	372.3	910.0	881.0	209.0	672.0	70.3	16.7
194	칠동	1262.3	1136.8	685.0	660.0	163.7	496.3	36.7	9.1
195	담고	793.7	714.7	981.0	946.0	121.7	824.3	57.0	7.3
196	중신	1442.0	1298.6	1705.0	1650.0	250.6	1399.4	56.0	8.5
197	강내	4520.7	4071.2	1231.0	1190.0	0.0	1190.0	22.6	0.0
198	용기	665.2	599.1	950.0	927.0	15.1	911.9	60.7	1.0
199	완구	2689.9	2422.4	1046.0	1010.0	118.3	891.7	29.4	3.4
200	부석	2422.0	2181.2	1420.0	1374.0	380.8	993.2	38.6	10.7
201	원주1	702.4	632.6	848.0	821.0	164.7	656.3	56.5	11.3
202	예대	2743.0	2470.2	1235.0	1198.0	153.9	1044.1	32.7	4.2
203	구구	2196.8	1978.3	910.0	882.0	143.2	738.8	30.8	5.0
204	원신	554.3	499.2	1083.0	1047.0	191.6	855.4	67.7	12.4
205	담수	5614.9	5056.6	1039.0	1005.0	134.1	870.9	16.6	2.2
206	홍공	607.2	546.8	749.0	724.0	145.2	578.8	57.0	11.4

순번	용수 구역	2012년 논면적(ha)	2024년 논면적(ha)	2012년 밭면적(ha)	2024년 밭면적(ha)	2024년 밭기반 밭 면적(ha)	2024년 밭기반 비관개선(ha)	2024 경지면적 대비 밭비율	2024 경지면적 대비 밭기반 밭면적 비율
218	영학	8479.0	7635.9	1512.0	1462.0	244.4	1217.6	16.1	2.7
219	여울	1613.0	1452.6	1233.0	1194.0	159.3	1034.7	45.1	6.0
220	부은	4484.9	4038.9	938.0	909.0	140.6	768.4	18.4	2.8
221	남진	254.6	229.3	937.0	906.0	14.8	891.2	79.8	1.3
222	부흥	3070.2	2764.9	740.0	724.0	84.7	639.3	20.8	2.4
223	군부	891.2	802.6	960.0	930.0	265.0	665.0	53.7	15.3
224	해현	3728.2	3357.5	1582.0	1532.0	436.2	1095.8	31.3	8.9
225	안남	920.9	829.4	1164.0	1126.0	512.3	613.7	57.6	26.2
226	거고	1136.1	1023.1	1343.0	1302.0	202.1	1099.9	56.0	8.7
227	제주1	0.0	0.0	2599.0	2517.0	1543.1	973.9	100.0	61.3
228	청대	1510.0	1359.8	795.0	768.0	90.1	677.9	36.1	4.2
229	양일	817.3	736.0	905.0	874.0	28.0	846.0	54.3	1.7
230	횡천	1040.6	937.1	1177.0	1140.0	252.7	887.3	54.9	12.2
231	고포	4574.6	4119.7	1351.0	1309.0	214.5	1094.5	24.1	4.0
232	장안	3337.5	3005.6	800.0	776.0	242.9	533.1	20.5	6.4
233	동안	1280.8	1153.5	1315.0	1274.0	374.4	899.6	52.5	15.4
234	산신	1861.5	1676.4	669.0	647.0	30.1	616.9	27.8	1.3
235	울농	1471.5	1325.1	881.0	855.0	74.8	780.2	39.2	3.4
236	승서	1879.1	1692.3	1564.0	1518.0	202.5	1315.5	47.3	6.3
237	익용	4534.6	4083.7	1525.0	1481.0	171.4	1309.6	26.6	3.1
238	제애	0.0	0.0	5115.0	4952.0	3535.6	1416.4	100.0	71.4
239	광봉	1044.2	940.4	1372.0	1328.0	184.1	1143.9	58.5	8.1
240	화릉	1025.9	923.9	1251.0	1208.0	161.2	1046.8	56.7	7.6
241	천호	3728.0	3357.3	2271.0	2200.0	635.9	1564.1	39.6	11.4
242	동두1	575.0	517.8	1029.0	996.0	29.1	966.9	65.8	1.9
243	공논	2005.7	1806.3	1676.0	1624.0	262.8	1361.2	47.3	7.7
244	승외	299.9	270.0	1071.0	1036.0	156.0	880.0	79.3	11.9
245	서비	3258.8	2934.8	1523.0	1475.0	157.6	1317.4	33.4	3.6
246	함함	1651.6	1487.4	1020.0	985.0	55.1	929.9	39.8	2.2
247	선해	2910.1	2620.7	819.0	793.0	210.4	582.6	23.2	6.2
248	거가	1799.6	1620.6	1000.0	967.0	170.4	796.6	37.4	6.6
249	거위	977.4	880.2	758.0	734.0	128.0	606.0	45.5	7.9
250	밀부	1522.6	1371.2	879.0	854.0	70.0	784.0	38.4	3.1

순번	용수 구역	2012년 논면적(ha)	2024년 논면적(ha)	2012년 밭면적(ha)	2024년 밭면적(ha)	2024년 발기반 밭 면적(ha)	2024년 발기반 비관개전(ha)	2024 경지면적 대비 밭비율	2024 경지면적 대비 밭기반 밭면적 비율
262	아송	2885.2	2598.3	1661.0	1602.0	171.2	1430.8	38.1	4.1
263	화상	215.3	193.9	689.0	668.0	145.9	522.1	77.5	16.9
264	의금	1569.3	1413.2	1698.0	1641.0	795.6	845.4	53.7	26.1
265	화남	1575.4	1418.7	622.0	600.0	80.0	520.0	29.7	4.0
266	완봉	2060.7	1855.8	2489.0	2407.0	281.9	2125.1	56.5	6.6
267	보벌	4506.0	4057.9	1930.0	1870.0	394.0	1476.0	31.5	6.6
268	태백1	0.0	0.0	965.0	935.0	561.9	373.1	100.0	60.1
269	진군	3081.7	2775.3	2310.0	2234.0	769.4	1464.6	44.6	15.4
270	남포	5963.0	5370.1	1048.0	1012.0	143.9	868.1	15.9	2.3
271	금주	925.0	833.1	1859.0	1799.0	219.4	1579.6	68.3	8.3
272	옥개	11608.6	10454.2	640.0	621.0	72.7	548.3	5.6	0.7
273	춘사	538.0	484.5	707.0	685.0	219.1	465.9	58.6	18.7
274	장번	272.8	245.7	675.0	654.0	142.8	511.2	72.7	15.9
275	화이	973.2	876.4	996.0	964.0	128.6	835.4	52.4	7.0
276	예상	1698.3	1529.4	1879.0	1818.0	536.9	1281.1	54.3	16.0
277	장유	1049.6	945.2	394.0	382.0	51.0	331.0	28.8	3.8
278	태이	2364.6	2129.5	1374.0	1329.0	177.7	1151.3	38.4	5.1
279	거창	938.3	845.0	1192.0	1152.0	98.8	1053.2	57.7	4.9
280	승상	836.8	753.6	1302.0	1259.0	192.2	1066.8	62.6	9.6
281	응대	103.3	93.0	486.0	471.0	7.3	463.7	83.5	1.3
282	칠석	1292.7	1164.2	1458.0	1413.0	358.0	1055.0	54.8	13.9
283	의부	1575.1	1418.5	688.0	667.0	73.2	593.8	32.0	3.5
284	승월	840.3	756.7	1492.0	1443.0	237.6	1205.4	65.6	10.8
285	횡서	604.7	544.6	770.0	746.0	157.6	588.4	57.8	12.2
286	진진	3831.0	3450.1	2576.0	2495.0	667.6	1827.4	42.0	11.2
287	여감	2811.6	2532.0	2354.0	2279.0	175.2	2103.8	47.4	3.6
288	괴청	192.4	173.3	1064.0	1031.0	95.1	935.9	85.6	7.9
289	문농	697.9	628.5	1282.0	1242.0	383.0	859.0	66.4	20.5
290	나봉	9859.0	8878.6	2658.0	2575.0	460.7	2114.3	22.5	4.0
291	선장	3988.0	3591.4	1145.0	1106.0	304.1	801.9	23.5	6.5
292	양금	1451.1	1306.8	1266.0	1223.0	38.5	1184.5	48.3	1.5
293	거남	1819.8	1638.9	1618.0	1565.0	712.5	852.5	48.8	22.2
294	진리	2610.4	2350.9	2872.0	2779.0	217.6	2561.4	54.2	4.2

순번	용수 구역	2012년 논면적(ha)	2024년 논면적(ha)	2012년 밭면적(ha)	2024년 밭면적(ha)	2024년 밭기반 밭 면적(ha)	2024년 밭기반 비관개전(ha)	2024 경지면적 대비 밭비율	2024 경지면적 대비 밭기반 밭면적 비율
306	고영	2742.1	2469.4	1312.0	1270.0	285.9	984.1	34.0	7.6
307	용남	2170.6	1954.8	1366.0	1321.0	21.6	1299.4	40.3	0.7
308	보청	3428.6	3087.7	1785.0	1727.0	247.9	1479.1	35.9	5.1
309	임신	853.9	769.0	1061.0	1026.0	384.0	642.0	57.2	21.4
310	의옥	862.7	776.9	1541.0	1492.0	567.2	924.8	65.8	25.0
311	예광	4798.2	4321.1	2122.0	2053.0	234.6	1818.4	32.2	3.7
312	강성	4726.8	4256.8	1007.0	973.0	227.5	745.5	18.6	4.3
313	거사	1216.7	1095.7	1131.0	1089.0	51.8	1037.2	49.8	2.4
314	괴칠	2063.1	1857.9	2535.0	2453.0	261.3	2191.7	56.9	6.1
315	영갑	6133.4	5523.5	1648.0	1594.0	697.0	897.0	22.4	9.8
316	중상	1528.7	1376.7	2245.0	2173.0	459.0	1714.0	61.2	12.9
317	김부	12917.1	11632.7	1963.0	1900.0	341.7	1558.3	14.0	2.5
318	산삼	398.4	358.8	444.0	429.0	12.8	416.2	54.5	1.6
319	진안	324.1	291.8	827.0	801.0	138.8	662.2	73.3	12.7
320	의단	3456.6	3112.9	1687.0	1628.0	449.5	1178.5	34.3	9.5
321	홍금	6189.1	5573.7	2386.0	2302.0	264.9	2037.1	29.2	3.4
322	당우	20041.3	18048.4	1622.0	1568.0	397.1	1170.9	8.0	2.0
323	연백	1234.4	1111.7	1535.0	1487.0	28.0	1459.0	57.2	1.1
324	양구1	0.0	0.0	17.0	16.0	3.2	12.8	100.0	20.1
325	청북	2839.5	2557.1	2005.0	1939.0	189.3	1749.7	43.1	4.2
326	서귀1	0.0	0.0	4034.0	3904.0	2600.1	1303.9	100.0	66.6
327	예영	1816.8	1636.1	3109.0	3008.0	1269.9	1738.1	64.8	27.3
328	함마	783.9	706.0	1033.0	1002.0	52.0	950.0	58.7	3.0
329	함라	1329.4	1197.2	2421.0	2339.0	441.7	1897.3	66.1	12.5
330	보내	3020.4	2720.0	2108.0	2042.0	392.9	1649.1	42.9	8.3
331	하금	1454.4	1309.8	1362.0	1320.0	90.7	1229.3	50.2	3.4
332	영양	660.5	594.8	2123.0	2056.0	322.8	1733.2	77.6	12.2
333	상화	2874.0	2588.2	2382.0	2306.0	552.5	1753.5	47.1	11.3
334	정동	11.9	10.8	1786.0	1729.0	716.1	1012.9	99.4	41.2
335	평대	262.2	236.1	1635.0	1583.0	771.4	811.6	87.0	42.4
336	군소	1621.2	1460.0	1423.0	1374.0	657.0	717.0	48.5	23.2
337	보성	5235.6	4715.0	2016.0	1953.0	374.7	1578.3	29.3	5.6
338	정북	10851.8	9772.7	2047.0	1985.0	280.1	1704.9	16.9	2.4

순번	용수 구역	2012년 논면적(ha)	2024년 논면적(ha)	2012년 밭면적(ha)	2024년 밭면적(ha)	2024년 밭기반 밭 면적(ha)	2024년 밭기반 비관개선(ha)	2024 경지면적 대비 밭비율	2024 경지면적 대비 밭기반 면적 비율
350	창진	2553.6	2299.7	1624.0	1569.0	75.0	1494.0	40.6	1.9
351	합쌍	2120.0	1909.2	905.0	880.0	33.4	846.6	31.6	1.2
352	순강	2283.0	2056.0	1104.0	1067.0	227.4	839.6	34.2	7.3
353	화춘	2422.3	2181.4	1020.0	985.0	131.4	853.6	31.1	4.1
354	파적	2640.3	2377.8	1795.0	1737.0	97.2	1639.8	42.2	2.4
355	선산	3774.9	3399.5	2566.0	2485.0	855.3	1629.7	42.2	14.5
356	해삼	4165.5	3751.3	2772.0	2682.0	544.8	2137.2	41.7	8.5
357	부서	8390.1	7555.8	1092.0	1070.0	117.3	952.7	12.4	1.4
358	평포	7229.5	6510.6	2807.0	2720.0	44.4	2675.6	29.5	0.5
359	근흥	11227.3	10110.9	2455.0	2376.0	1164.4	1211.6	19.0	9.3
360	제한	8.0	7.2	12051.0	11665.0	7730.5	3934.5	99.9	66.2
361	연청	1269.4	1143.2	1578.0	1526.0	130.8	1395.2	57.2	4.9
362	금남	1185.7	1067.8	2677.0	2592.0	277.0	2315.0	70.8	7.6
363	청청	4178.7	3763.1	1197.0	1158.0	218.4	939.6	23.5	4.4
364	양하	984.8	886.8	603.0	588.0	17.5	570.5	39.9	1.2
365	서해	8292.7	7468.0	2116.0	2050.0	408.4	1641.6	21.5	4.3
366	인기	178.4	160.7	608.0	589.0	258.5	330.5	78.6	34.5
367	서지	1507.0	1357.1	1437.0	1394.0	312.1	1081.9	50.7	11.3
368	나남	3707.5	3338.8	2410.0	2333.0	344.5	1988.5	41.1	6.1
369	창원1	214.4	193.0	1079.0	1045.0	29.3	1015.7	84.4	2.4
370	경하	1414.7	1274.0	5234.0	5065.0	1207.1	3857.9	79.9	19.0
371	합울	2217.9	1997.4	730.0	709.0	55.4	653.6	26.2	2.0
372	정임	46.5	41.9	1422.0	1377.0	720.8	656.2	97.0	50.8
373	밀삼	767.3	691.0	1208.0	1169.0	105.3	1063.7	62.8	5.7
374	홍서	3842.2	3460.1	1944.0	1878.0	250.3	1627.7	35.2	4.7
375	부산2	83.6	75.3	359.0	355.0	0.0	355.0	82.5	0.0
376	남보	3212.2	2892.8	1408.0	1362.0	345.5	1016.5	32.0	8.1
377	산산	1871.4	1685.3	1028.0	992.0	53.3	938.7	37.1	2.0
378	영매	372.0	335.0	1779.0	1721.0	179.5	1541.5	83.7	8.7
379	연왕	1868.4	1682.6	1083.0	1050.0	34.9	1015.1	38.4	1.3
380	명강	589.7	531.0	779.0	755.0	151.4	603.6	58.7	11.8
381	가외	486.4	438.0	880.0	851.0	13.9	837.1	66.0	1.1
382	포신	1177.9	1060.8	2460.0	2383.0	38.9	2344.1	69.2	1.1

순번	용수 구역	2012년 논면적(ha)	2024년 논면적(ha)	2012년 밭면적(ha)	2024년 밭면적(ha)	2024년 밭기반 밭 면적(ha)	2024년 밭기반 비관개전(ha)	2024 경지면적 대비 밭비율	2024 경지면적 대비 밭기반 면적 비율
394	연전	2841.9	2559.3	1920.0	1856.0	389.5	1466.5	42.0	8.8
395	창리	3309.0	2979.9	2137.0	2065.0	97.6	1967.4	40.9	1.9
396	봉법	414.5	373.3	2527.0	2447.0	844.5	1602.5	86.8	29.9
397	유구	2784.2	2507.4	1308.0	1264.0	226.8	1037.2	33.5	6.0
398	부산1	3938.0	3546.4	1645.0	1597.0	656.0	941.0	31.0	12.8
399	횡청	672.2	605.4	1439.0	1392.0	347.2	1044.8	69.7	17.4
400	곡석	2112.9	1902.8	1781.0	1722.0	318.1	1403.9	47.5	8.8
401	올기	1597.6	1438.8	812.0	784.0	275.1	508.9	35.3	12.4
402	안풍	2023.3	1822.1	3923.0	3797.0	902.6	2894.4	67.6	16.1
403	장북	5321.5	4792.3	2001.0	1934.0	297.9	1636.1	28.8	4.4
404	합가	1802.7	1623.5	831.0	811.0	121.8	689.2	33.3	5.0
405	의정	4177.6	3762.2	1668.0	1620.0	138.0	1482.0	30.1	2.6
406	인천1	994.0	895.1	1992.0	1931.0	16.2	1914.8	68.3	0.6
407	문산	3268.8	2943.7	2740.0	2651.0	987.8	1663.2	47.4	17.7
408	진상	2127.2	1915.7	2555.0	2473.0	547.0	1926.0	56.3	12.5
409	광포	1218.1	1097.0	1684.0	1627.0	26.6	1600.4	59.7	1.0
410	삼하	132.8	119.6	896.0	867.0	551.5	315.5	87.9	55.9
411	함법	4966.9	4473.0	2455.0	2374.0	76.9	2297.1	34.7	1.1
412	이흥	5107.3	4599.4	4138.0	4000.0	65.3	3934.7	46.5	0.8
413	영연	1450.8	1306.6	1683.0	1629.0	345.8	1283.2	55.5	11.8
414	당고	8077.2	7274.0	1811.0	1750.0	259.2	1490.8	19.4	2.9
415	제조	0.0	0.0	10099.0	9775.0	6215.4	3559.6	100.0	63.6
416	당송	3236.9	2915.0	2161.0	2090.0	223.3	1866.7	41.8	4.5
417	경주1	4964.5	4470.8	1435.0	1389.0	289.5	1099.5	23.7	4.9
418	영주	508.1	457.6	1784.0	1727.0	393.4	1333.6	79.1	18.0
419	올상	1990.4	1792.5	1479.0	1436.0	32.0	1404.0	44.5	1.0
420	군의	1399.7	1260.5	2685.0	2601.0	835.8	1765.2	67.4	21.6
421	상외	2541.5	2288.8	2971.0	2872.0	702.6	2169.4	55.7	13.6
422	대청	709.3	638.8	1933.0	1872.0	237.2	1634.8	74.6	9.4
423	횡둔	847.9	763.6	2949.0	2853.0	941.3	1911.7	78.9	26.0
424	완화	2743.3	2470.6	1512.0	1460.0	177.2	1282.8	37.1	4.5
425	김고	3976.9	3581.4	2948.0	2855.0	42.5	2812.5	44.4	0.7
426	진수	1853.3	1669.1	1254.0	1215.0	49.5	1165.5	42.1	1.7

순번	용수 구역	2012년 논면적(ha)	2024년 논면적(ha)	2012년 밭면적(ha)	2024년 밭면적(ha)	2024년 밭기반 밭 면적(ha)	2024년 밭기반 비관개전(ha)	2024 경지면적 대비 밭비율	2024 경지면적 대비 밭기반 밭면적 비율
438	구문	1050.2	945.8	1189.0	1151.0	170.3	980.7	54.9	8.1
439	익오	2166.7	1951.2	3702.0	3584.0	583.1	3000.9	64.7	10.5
440	공정	3266.6	2941.8	1537.0	1487.0	131.9	1355.1	33.6	3.0
441	안길	787.3	709.0	2003.0	1937.0	734.2	1202.8	73.2	27.7
442	광주1	2651.7	2388.0	2760.0	2676.0	206.7	2469.3	52.8	4.1
443	제성	0.0	0.0	10368.0	10037.0	5911.0	4126.0	100.0	58.9
444	춘동	763.2	687.3	1742.0	1686.0	338.2	1347.8	71.0	14.2
445	경감	1604.7	1445.1	1209.0	1171.0	210.7	960.3	44.8	8.1
446	여서	5384.8	4849.3	4120.0	3985.0	158.1	3826.9	45.1	1.8
447	성고	3810.4	3431.5	2138.0	2066.0	554.0	1512.0	37.6	10.1
448	봉영	2657.1	2392.8	3269.0	3165.0	1310.9	1854.1	56.9	23.6
449	청도	2578.4	2322.0	3496.0	3384.0	730.6	2653.4	59.3	12.8
450	논가	18309.7	16489.0	3542.0	3423.0	539.1	2883.9	17.2	2.7
451	하화	4124.2	3714.1	1989.0	1921.0	694.0	1227.0	34.1	12.3
452	춘남	712.0	641.2	1733.0	1680.0	345.4	1334.6	72.4	14.9
453	영화	1704.6	1535.1	4391.0	4253.0	950.2	3302.8	73.5	16.4
454	울청	2204.6	1985.4	1255.0	1215.0	290.1	924.9	38.0	9.1
455	양방	48.2	43.4	326.0	316.0	86.2	229.8	87.9	24.0
456	대전2	780.1	702.5	1856.0	1804.0	0.0	1804.0	72.0	0.0
457	영석	914.7	823.7	2536.0	2456.0	946.7	1509.3	74.9	28.9
458	경서	4040.3	3638.6	1481.0	1435.0	274.1	1160.9	28.3	5.4
459	밀단	982.4	884.7	1591.0	1540.0	200.9	1339.1	63.5	8.3
460	홍남	1065.7	959.7	1633.0	1583.0	338.3	1244.7	62.3	13.3
461	고광	8083.9	7280.1	6301.0	6102.0	2731.0	3371.0	45.6	20.4
462	함수	2314.3	2084.2	1469.0	1421.0	305.2	1115.8	40.5	8.7
463	홍화	899.0	809.6	1709.0	1654.0	348.6	1305.4	67.1	14.1
464	파주2	0.0	0.0	569.0	551.0	9.0	542.0	100.0	1.6
465	단대	184.3	165.9	1700.0	1650.0	329.9	1320.1	90.9	18.2
466	천직	5943.0	5352.1	4972.0	4815.0	474.8	4340.2	47.4	4.7
467	영달	911.9	821.3	1736.0	1678.0	738.2	939.8	67.1	29.5
468	삼원	367.4	330.9	638.0	617.0	214.9	402.1	65.1	22.7
469	고원	9444.1	8505.0	5691.0	5509.0	1623.1	3885.9	39.3	11.6
470	단가	212.9	191.7	2899.0	2806.0	667.6	2138.4	93.6	22.3

순번	용수 구역	2012년 논면적(ha)	2024년 논면적(ha)	2012년 밭면적(ha)	2024년 밭면적(ha)	2024년 밭기반 밭 면적(ha)	2024년 밭기반 비관개전(ha)	2024 경지면적 대비 밭비율	2024 경지면적 대비 밭기반 밭면적 비율
482	정도	128.1	115.3	2374.0	2300.0	1181.4	1118.6	95.2	48.9
483	영자	1544.7	1391.1	3273.0	3163.0	682.9	2480.1	69.5	15.0
484	양강	654.1	589.0	387.0	377.0	100.4	276.6	39.0	10.4
485	인북	409.1	368.4	969.0	939.0	483.7	455.3	71.8	37.0
486	평진	52.1	46.9	2246.0	2176.0	818.4	1357.6	97.9	36.8
487	파주1	245.7	221.3	852.0	826.0	13.5	812.5	78.9	1.3
488	봉석	133.5	120.2	1260.0	1221.0	670.1	550.9	91.0	50.0
489	무설	774.0	697.0	2574.0	2491.0	585.5	1905.5	78.1	18.4
490	안예	466.9	420.4	4007.0	3882.0	1005.8	2876.2	90.2	23.4
491	보미	1844.6	1661.1	4118.0	3982.0	541.2	3440.8	70.6	9.6
492	인서	522.1	470.2	1429.0	1383.0	732.4	650.6	74.6	39.5
493	춘신	548.8	494.3	1507.0	1456.0	348.4	1107.6	74.7	17.9
494	영상	157.5	141.8	1692.0	1639.0	580.3	1058.7	92.0	32.6
495	홍두	1491.7	1343.4	2673.0	2590.0	545.9	2044.1	65.8	13.9
496	청송	1000.8	901.3	3954.0	3827.0	1646.7	2180.3	80.9	34.8
497	을원	1053.1	948.3	917.0	888.0	405.2	482.8	48.4	22.1
498	원양	3525.4	3174.9	4590.0	4443.0	550.9	3892.1	58.3	7.2
499	달화	5455.5	4913.0	2944.0	2851.0	169.4	2681.6	36.7	2.2
500	청운	2245.8	2022.5	4188.0	4055.0	849.7	3205.3	66.7	14.0
501	정신	33.4	30.1	4163.0	4033.0	1754.3	2278.7	99.3	43.2
502	철원2	0.0	0.0	166.0	160.0	32.1	127.9	100.0	20.1
503	화간	820.4	738.8	1480.0	1431.0	474.1	956.9	66.0	21.8
504	제산	1369.8	1233.5	4998.0	4843.0	801.1	4041.9	79.7	13.2
505	대구1	1688.1	1520.3	3334.0	3231.0	264.8	2966.2	68.0	5.6
506	인상	229.0	206.2	2428.0	2350.0	1160.0	1190.0	91.9	45.4
507	서울1	1087.6	979.5	5447.0	5283.0	122.5	5160.5	84.4	2.0
508	연천2	1127.4	1015.3	1426.0	1381.0	125.2	1255.8	57.6	5.2
509	남상	1151.0	1036.6	765.0	741.0	22.0	719.0	41.7	1.2
510	남철	799.1	719.7	586.0	567.0	199.3	367.7	44.1	15.5
511	남서	1177.5	1060.4	1195.0	1157.0	268.4	888.6	52.2	12.1

부록 5. 용수구역별 가뭄기간 및 가뭄심도 표준점수결과

용수 구역	군 집	RCP4.5				RCP8.5				농경지대비 밭면적비율 50% 이상 여부
		SEPI 1-month		SPEI 3-month		SPEI 1-month		SPEI 3-month		
		Duration Index	Severity Index	Duration Index	Severity Index	Duration Index	Severity Index	Duration Index	Severity Index	
가북	2	4	4	4	4	2	2	3	3	○
가설	2	3	4	3	3	2	2	2	2	○
가외	2	5	5	1	1	2	2	3	2	○
감문	2	1	1	1	1	2	2	1	1	○
강교	9	1	1	2	2	1	1	1	1	
강내	10	3	3	3	3	1	1	4	5	
강도	4	5	5	0	1	4	4	1	1	
강릉1	2	1	1	2	2	2	2	1	1	
강삼	9	3	2	1	1	1	1	1	1	
강서	9	2	1	2	2	1	1	1	1	
강선	3	4	4	3	3	2	2	5	5	○
강성	4	4	4	3	3	4	4	5	5	
강칠	2	4	4	2	3	4	4	2	2	
개령1	2	3	3	2	1	2	2	3	3	○
거가	4	2	2	2	2	3	3	3	3	
거고	4	2	2	1	1	3	3	3	3	○
거남	3	2	2	4	4	3	3	3	3	
거사	3	4	4	2	2	4	4	4	4	
거위	4	2	3	5	5	3	3	3	3	
거장	3	3	3	2	2	4	4	1	2	○
경가	1	1	1	4	4	2	2	1	2	○
경감	2	3	3	3	3	3	3	1	1	
경서	2	2	2	3	3	3	2	1	2	
경주1	2	2	2	1	1	3	3	1	1	
경하	6	0	0	1	1	1	1	0	0	
고거	2	1	1	3	3	1	1	3	4	
고과	3	4	4	3	3	4	4	3	3	

용수역	군집	RCP4.5				RCP8.5				농경지대비 발면적비율 50% 이상 여부
		SEPI 1-month		SPEI 3-month		SPEI 1-month		SPEI 3-month		
		Duration Index	Severity Index	Duration Index	Severity Index	Duration Index	Severity Index	Duration Index	Severity Index	
고죽	2	1	1	4	4	1	1	4	4	
고포	1	4	4	4	4	4	4	3	3	
고회	4	3	3	2	2	4	4	4	4	
곡고	2	0	0	3	3	3	3	4	4	
곡석	2	2	2	3	3	4	4	3	3	
곡옥	6	1	1	3	2	4	4	4	4	
곡입	8	1	1	3	2	3	3	3	3	
공논	4	1	1	3	2	2	2	2	2	
공정	2	2	2	3	3	2	2	2	2	
공주1	2	2	2	3	3	2	2	3	3	
광봉	2	2	2	4	3	3	3	3	3	○
광주1	9	2	2	3	3	4	3	2	2	
광주2	9	2	2	4	4	4	3	2	2	
광주3	9	2	2	3	3	4	4	4	4	
광진	2	2	2	3	4	3	3	3	3	○
광초	1	3	3	4	4	2	2	2	2	○
광포	1	3	3	3	3	2	2	2	2	○
괴도	2	3	3	3	3	1	1	3	2	○
괴소	2	3	3	2	2	2	2	3	3	○
괴장	2	3	3	1	2	2	2	3	3	○
괴청	2	3	3	2	2	2	2	3	2	○
괴칠	2	3	3	3	2	2	2	5	4	○
구구	2	1	1	2	2	4	3	4	4	
구문	2	2	3	1	1	4	4	3	2	○
군부	2	2	2	1	2	2	2	2	2	○
군산1	9	2	2	1	1	2	2	2	2	
군소	4	2	2	1	1	2	2	2	2	
군의	4	2	2	2	2	2	2	1	1	○
근흥	7	2	1	3	3	2	1	2	3	
금남	2	1	2	1	0	2	2	3	2	○

용수역	군집	RCP4.5				RCP8.5				농경지대비 발면적비율 50% 이상 여부
		SEPI 1-month		SPEI 3-month		SPEI 1-month		SPEI 3-month		
		Duration Index	Severity Index	Duration Index	Severity Index	Duration Index	Severity Index	Duration Index	Severity Index	
김부	4	3	3	2	3	2	2	1	1	
김양	6	3	3	4	4	1	1	3	3	
김장	4	4	3	4	4	3	3	3	3	
김진	4	3	3	2	2	3	3	2	2	
김청	4	2	2	4	4	2	2	3	3	○
나남	2	3	3	4	3	4	4	2	2	
나노	2	2	2	3	3	4	4	3	3	○
나동	2	2	3	3	3	4	4	2	2	○
나봉	2	3	3	1	1	4	4	3	2	
낙동	2	2	2	3	3	2	2	3	3	
남대	4	1	1	2	2	3	3	2	2	
남동	4	2	1	2	2	1	1	3	3	
남보	4	2	2	4	4	3	3	4	4	
남상	2	3	3	4	4	5	4	4	5	
남서	4	4	4	4	4	4	4	4	5	○
남설	4	4	4	2	2	4	4	4	5	
남운	4	3	3	3	2	4	4	3	3	
남원1	9	1	1	3	2	3	3	4	3	
남이	6	1	1	3	3	3	3	2	2	
남진	1	3	3	5	4	2	2	3	4	○
남창	9	4	4	2	3	4	4	1	2	
남포	1	2	2	1	2	1	1	3	3	
논가	2	1	1	2	2	2	2	3	3	
논별	2	1	2	3	3	2	2	3	3	
논양	4	2	2	2	2	2	2	2	2	○
단가	4	3	3	2	2	2	2	2	2	○
단대	4	3	3	2	2	2	2	2	2	○
단적	4	3	2	2	2	2	2	2	2	○
달화	2	2	2	3	3	2	2	3	3	
담고	6	2	2	3	3	3	3	4	3	

용수역	군집	RCP4.5				RCP8.5				농경지대비 발면적비율 50% 이상 여부
		SEPI 1-month		SPEI 3-month		SPEI 1-month		SPEI 3-month		
		Duration Index	Severity Index	Duration Index	Severity Index	Duration Index	Severity Index	Duration Index	Severity Index	
동안	4	1	2	3	3	3	3	5	5	○
동평	1	3	4	0	1	4	4	1	1	
동해1	9	2	2	4	4	2	2	3	3	
마산1	9	3	3	0	0	4	4	1	1	
명강	2	1	1	0	0	2	1	1	1	○
명사	2	1	1	1	1	1	1	1	1	○
명성	2	2	2	3	3	2	2	3	3	○
목포1	9	2	3	2	2	3	4	2	2	
무망	3	2	2	1	1	4	3	3	3	○
무설	4	1	1	3	3	3	3	3	3	○
무일	4	2	3	1	1	3	3	3	3	
무적	4	1	1	3	3	3	3	3	3	○
무청	3	2	2	2	2	3	3	2	2	○
무현	9	2	3	2	2	3	3	3	3	
문가	3	3	3	2	2	3	2	3	3	○
문농	3	2	2	1	1	2	2	2	2	○
문산	3	2	2	2	2	2	2	3	3	
문호	3	2	2	3	3	2	2	3	3	○
밀단	4	3	3	3	3	3	3	3	3	○
밀부	4	2	2	3	3	2	2	3	3	
밀삼	4	3	3	3	3	3	3	3	3	○
밀상	4	2	2	3	3	3	3	4	3	
밀하	4	3	2	2	2	3	3	3	3	
보내	4	2	1	3	3	2	2	5	5	
보노	5	4	4	2	2	4	4	3	3	
보마	4	2	2	2	3	2	2	5	5	
보문	3	3	3	2	2	4	4	3	3	
보미	4	2	2	4	4	2	2	5	5	○
보별	3	4	4	4	4	4	4	5	4	
보성	1	4	4	2	2	4	4	2	2	

용수역	군집	RCP4.5				RCP8.5				농경지대비 발면적비율 50% 이상 여부
		SEPI 1-month		SPEI 3-month		SPEI 1-month		SPEI 3-month		
		Duration Index	Severity Index	Duration Index	Severity Index	Duration Index	Severity Index	Duration Index	Severity Index	
부서	2	1	1	2	2	2	2	3	3	
부석	4	1	1	3	3	2	2	2	2	
부여	2	2	2	2	2	2	2	3	3	
부위	9	2	3	2	2	2	3	2	3	
부은	2	2	2	3	3	3	2	2	2	
부천1	9	2	2	1	2	1	1	2	3	
부흥	2	3	3	5	5	2	2	4	4	
사용	4	5	5	4	4	4	4	4	4	
사포	4	4	4	2	2	4	4	3	3	
산산	4	1	1	3	3	4	3	3	4	
산삼	2	2	3	2	2	4	5	3	3	○
산성	4	2	2	3	3	4	4	4	4	
산신	2	2	3	1	1	4	4	1	1	
삼근	2	2	2	0	1	1	1	0	1	○
삼미	4	2	2	1	1	2	2	0	1	○
삼원	4	2	2	0	1	2	2	1	1	○
삼하	4	2	2	1	1	2	2	3	3	○
상리	1	3	2	1	1	2	2	3	3	
상사	4	2	2	1	1	2	2	3	3	
상외	1	2	2	1	1	2	2	3	3	○
상화	2	3	3	3	3	2	2	2	2	
생극	6	3	3	3	4	2	2	4	5	
서귀1	9	4	5	1	2	4	5	2	2	
서비	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
서산1	5	2	2	3	4	2	2	3	2	
서울1	9	3	3	3	3	1	1	2	1	
서울2	9	3	3	2	2	0	1	2	1	
서지	3	2	1	2	2	1	1	2	2	○
서해	4	3	2	1	1	2	1	3	3	
선산	4	1	1	1	1	2	2	3	3	

용수역	군집	RCP4.5				RCP8.5				농경지대비 발면적비율 50% 이상 여부
		SEPI 1-month		SPEI 3-month		SPEI 1-month		SPEI 3-month		
		Duration Index	Severity Index	Duration Index	Severity Index	Duration Index	Severity Index	Duration Index	Severity Index	
순쌍	4	3	3	4	4	4	4	4	4	
승별	2	2	2	4	4	4	4	4	4	○
승상	2	3	3	4	4	4	4	4	4	○
승서	2	3	2	3	3	4	4	5	5	
승외	1	2	3	2	2	4	4	4	4	○
승월	2	2	2	1	2	4	4	2	2	○
신도	9	2	2	1	1	3	3	2	2	
신비	9	2	2	1	2	3	3	3	3	
신안	9	2	2	1	1	3	3	2	2	
신암	9	2	2	2	2	3	3	2	2	
신압	9	3	3	1	1	3	3	2	2	
신임	9	1	2	1	1	3	2	3	3	
신자	9	2	3	1	1	3	3	2	2	
신장	9	2	2	1	1	3	3	2	2	
신증	9	2	2	2	2	3	3	3	2	
신지	9	2	2	1	1	3	3	2	2	
신팔	9	1	2	2	2	3	3	2	2	
신하	9	2	2	3	3	3	3	3	3	
아송	2	4	3	2	3	2	2	2	2	
아영	2	2	2	2	2	2	1	3	3	
아인	2	3	3	3	3	2	2	2	2	
안고	8	4	3	1	1	2	2	3	2	
안길	4	2	2	1	1	2	2	2	2	○
안남	4	2	2	2	2	2	2	1	1	○
안산1	9	2	1	3	3	1	1	3	3	
안삼	6	4	4	3	3	2	2	2	2	
안서	4	4	4	1	1	2	2	3	2	
안예	2	3	2	0	0	2	2	2	2	○
안임	4	2	2	0	0	2	2	3	3	○
안풍	2	3	3	0	1	2	2	0	1	○

용수역	군집	RCP4.5				RCP8.5				농경지대비 발면적비율 50% 이상 여부
		SEPI 1-month		SPEI 3-month		SPEI 1-month		SPEI 3-month		
		Duration Index	Severity Index	Duration Index	Severity Index	Duration Index	Severity Index	Duration Index	Severity Index	
양천	9	5	5	3	3	1	2	2	2	
양철	1	3	3	3	3	3	3	2	2	
양하	2	2	2	3	3	3	3	2	2	
여가	7	3	3	3	3	2	2	2	2	
여감	3	2	2	2	3	2	2	3	3	
여남	9	2	2	4	4	3	3	4	4	
여돌	9	2	3	3	3	4	4	1	1	
여북	1	2	2	3	3	2	1	2	2	
여서	3	2	2	4	4	2	2	4	4	
여소	3	2	2	4	4	4	3	4	4	○
여수1	9	2	2	4	3	3	3	4	4	
여울	2	2	2	3	3	4	3	3	3	
여화	9	2	3	3	3	4	4	2	2	
연백	2	3	3	2	2	2	2	2	2	○
연왕	4	2	2	2	2	1	1	2	2	
연전	8	2	2	2	3	2	2	1	1	
연천2	2	2	2	2	3	1	1	1	1	○
연청	4	2	2	2	3	1	1	3	3	○
영갑	4	1	1	1	1	3	3	2	2	
영금	2	1	1	2	1	2	2	2	2	○
영기	2	1	1	2	2	2	2	3	3	
영낙	9	2	2	1	1	3	3	2	2	
영달	4	1	0	3	4	2	2	3	3	○
영도	4	2	3	2	2	4	4	3	2	
영매	2	1	2	1	2	3	3	3	3	○
영봉	3	3	3	3	3	3	3	2	2	
영북	4	3	3	1	1	2	2	2	2	○
영산	4	1	1	2	2	2	2	1	1	○
영상	4	3	3	1	1	2	2	2	2	○
영석	4	1	1	3	3	2	2	2	2	○

용수역	군집	RCP4.5				RCP8.5				농경지대비 발면적비율 50% 이상 여부
		SEPI 1-month		SPEI 3-month		SPEI 1-month		SPEI 3-month		
		Duration Index	Severity Index	Duration Index	Severity Index	Duration Index	Severity Index	Duration Index	Severity Index	
영창	4	2	2	2	1	3	2	1	1	
영천1	9	2	1	2	2	2	2	1	2	
영청	2	1	1	3	4	2	2	3	3	
영학	2	3	3	1	1	4	4	2	2	
영화	2	2	2	1	1	2	2	3	2	○
영황	4	1	1	2	3	1	2	3	3	○
예광	2	2	2	3	3	2	2	3	3	
예대	2	2	2	2	1	2	2	3	3	
예상	2	3	3	1	1	2	2	3	2	○
예영	3	4	3	3	3	2	2	3	2	○
예오	4	3	3	1	1	1	1	2	2	
옥개	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
옥동	2	2	2	1	1	2	2	1	0	○
옥목	9	0	0	2	1	0	0	3	2	
옥청	4	1	1	1	2	2	2	1	0	○
웅대	9	1	1	0	0	0	0	0	0	
웅덕	9	0	0	3	3	0	0	1	1	
웅북	9	3	3	1	1	1	1	0	0	
웅송	9	0	0	1	1	1	1	0	0	
웅영	9	2	2	1	1	0	0	0	0	
웅자	9	1	1	3	3	0	0	4	4	
완고	9	4	4	3	3	3	4	3	3	
완구	1	2	2	3	4	3	3	4	4	
완군	9	3	4	3	4	4	4	2	3	
완금	9	4	4	4	5	3	4	3	3	
완노	9	4	5	3	3	4	4	3	3	
완당	9	4	4	4	5	3	3	4	4	
완보	9	4	5	2	2	4	4	3	3	
완봉	6	1	1	3	2	2	2	3	3	
완상	2	2	2	4	5	3	3	2	3	○

용수역	군집	RCP4.5				RCP8.5				농경지대비 발면적비율 50% 이상 여부
		SEPI 1-month		SPEI 3-month		SPEI 1-month		SPEI 3-month		
		Duration Index	Severity Index	Duration Index	Severity Index	Duration Index	Severity Index	Duration Index	Severity Index	
울기	3	2	2	3	3	2	2	2	2	
울농	2	2	2	4	4	3	3	1	2	
울두	10	2	2	1	1	3	3	1	1	
울릉	9	3	4	1	1	2	3	1	1	
울북	1	1	2	3	3	2	2	2	2	○
울산1	9	3	2	3	3	3	3	2	2	
울산2	9	2	2	3	3	3	3	2	3	
울상	2	2	2	1	1	3	3	1	1	
울원	3	2	2	3	3	2	2	2	2	
울청	4	2	2	3	2	3	3	1	1	
원문	2	3	2	4	3	2	2	2	2	
원신	2	4	4	2	2	3	2	1	1	○
원양	2	3	2	4	4	2	2	2	2	○
원주1	9	4	3	3	3	2	2	2	2	
원지	3	3	3	3	3	2	2	1	1	○
원판	2	3	3	3	3	2	2	3	3	○
유구	3	3	3	3	3	3	3	2	2	
음삼	6	3	3	3	3	2	2	3	2	
음원	2	3	3	4	4	2	2	2	3	
의구	2	3	3	2	1	3	3	2	2	○
의금	4	2	2	1	0	2	2	3	2	○
의단	2	2	2	3	3	2	2	3	3	
의부	4	2	2	1	1	3	3	3	2	
의신	2	3	2	1	1	2	2	2	2	
의안	4	2	2	1	1	2	2	2	2	○
의옥	4	2	2	4	4	2	2	3	4	○
의정	4	3	3	3	3	4	3	2	2	
이설	7	3	3	4	4	2	2	2	2	
이흥	5	3	3	2	2	2	2	3	3	
익오	2	1	1	2	2	2	2	2	2	○

용수역	군집	RCP4.5				RCP8.5				농경지대비 발면적비율 50% 이상 여부
		SEPI 1-month		SPEI 3-month		SPEI 1-month		SPEI 3-month		
		Duration Index	Severity Index	Duration Index	Severity Index	Duration Index	Severity Index	Duration Index	Severity Index	
임신	3	2	2	3	3	3	3	2	2	○
장계	4	2	2	3	3	3	3	4	4	○
장관	4	4	4	4	4	4	4	5	5	
장군	3	3	4	2	3	4	4	5	5	
장동	2	2	2	4	3	4	3	2	2	○
장번	4	2	3	2	2	4	4	4	4	○
장북	2	1	2	3	3	3	3	3	3	
장삼	4	2	2	3	3	3	3	2	3	○
장안	4	4	4	3	3	4	4	4	4	
장유	2	4	5	3	3	4	4	5	5	
전주1	9	1	1	3	3	2	2	2	3	
정감	1	3	3	3	3	3	3	3	3	○
정남	4	3	3	2	2	1	2	1	0	○
정도	4	3	2	2	2	2	2	1	1	○
정동	4	2	2	2	2	1	1	1	0	○
정북	1	2	2	3	3	3	3	4	4	
정산	1	2	2	2	2	3	3	3	3	
정신	4	3	3	3	2	1	1	0	0	○
정임	4	2	2	0	1	2	2	1	1	○
정입	7	2	2	3	3	2	2	4	3	
제남	9	4	5	2	3	4	5	4	5	
제대	9	3	3	2	3	4	4	4	4	
제봉	4	4	3	3	3	2	2	2	2	○
제산	4	4	3	2	2	2	2	2	2	○
제성	9	3	4	3	3	4	4	2	3	
제안	9	4	4	4	4	4	4	3	4	
제애	9	3	4	5	5	3	4	3	3	
제우	9	3	4	3	4	4	4	3	3	
제조	9	3	4	3	3	4	4	1	3	
제주1	9	5	5	3	4	4	5	2	4	

용수역	군집	RCP4.5				RCP8.5				농경지대비 발면적비율 50% 이상 여부
		SEPI 1-month		SPEI 3-month		SPEI 1-month		SPEI 3-month		
		Duration Index	Severity Index	Duration Index	Severity Index	Duration Index	Severity Index	Duration Index	Severity Index	
진상	4	1	1	2	2	3	3	3	3	○
진성	4	1	1	2	2	3	3	3	3	○
진수	2	2	3	3	3	5	4	4	4	
진안	2	1	2	3	3	2	3	3	3	○
진조	9	2	3	1	2	3	3	2	2	
진주1	4	2	2	4	3	4	4	4	4	○
진지	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
진진	4	3	4	2	2	3	4	2	2	
진집	2	3	3	3	3	4	4	4	4	○
창계	4	3	2	3	3	3	3	4	3	
창대	4	3	3	3	3	3	3	4	3	○
창리	4	2	2	3	3	3	3	3	3	
창북	4	3	3	3	3	3	3	3	3	
창원1	9	3	3	4	4	3	3	2	2	
창진	4	3	3	4	4	4	4	4	4	
천광	1	3	3	2	3	2	2	3	3	○
천동	6	3	2	3	3	3	2	3	3	
천성	1	4	4	3	3	2	2	2	2	
천안1	9	3	3	2	2	2	2	3	3	
천직	4	2	2	3	3	2	2	2	2	
천호	2	4	3	1	1	2	2	3	2	
철근	2	2	2	2	3	1	1	1	1	
철동	1	3	3	3	3	1	1	2	2	
철원1	2	2	2	2	2	1	1	1	1	
철원2	10	1	1	2	2	1	1	1	1	
청강	2	2	2	3	2	2	2	3	3	
청대	2	4	4	2	3	3	3	3	3	
청도	2	2	2	2	2	2	2	3	3	○
청부	2	2	2	2	2	2	2	3	3	○
청북	2	3	3	3	2	2	2	3	2	

용수역	군집	RCP4.5				RCP8.5				농경지대비 발면적비율 50% 이상 여부
		SEPI 1-month		SPEI 3-month		SPEI 1-month		SPEI 3-month		
		Duration Index	Severity Index	Duration Index	Severity Index	Duration Index	Severity Index	Duration Index	Severity Index	
춘양	3	3	3	2	2	2	2	2	2	○
충주1	9	3	3	2	2	2	2	2	2	
칠동	2	2	2	1	1	2	2	3	3	
칠석	2	2	2	1	1	1	2	3	3	○
태면	1	2	2	2	2	2	2	1	1	
태백1	9	3	4	2	2	2	2	1	1	
태이	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
통도	2	3	3	4	4	4	4	3	3	○
통사	9	2	3	4	4	4	4	3	3	
통산	9	2	2	4	4	4	4	3	3	
통육	9	2	3	4	4	4	4	3	3	
통용	4	3	3	4	4	4	4	2	3	○
통한	9	3	3	4	4	4	4	3	3	
파교	6	3	3	4	4	1	1	2	2	
파문	6	4	4	3	4	1	1	2	2	
파적	4	4	4	3	3	2	2	2	2	
파주1	2	4	4	3	3	2	2	2	2	○
파주2	10	3	3	3	3	2	1	2	2	
평고	2	2	2	2	2	1	1	3	2	
평대	4	3	3	2	3	1	1	1	1	○
평방	2	2	3	4	4	1	1	2	2	○
평서	4	3	3	3	3	1	1	2	2	
평용	4	3	3	2	2	1	2	1	1	○
평진	4	1	1	2	2	2	2	2	2	○
평포	1	2	2	2	2	1	1	2	2	
포군	1	4	4	3	3	1	2	3	2	○
포동	1	3	2	3	3	1	1	2	2	○
포신	1	4	3	2	3	1	1	2	2	○
포항1	2	1	1	3	3	3	2	2	2	
포항2	9	1	1	2	2	3	3	2	2	

구역 수역	군집	RCP4.5				RCP8.5				농경지대비 발면적비율 50% 이상 여부
		SEPI 1-month		SPEI 3-month		SPEI 1-month		SPEI 3-month		
		Duration Index	Severity Index	Duration Index	Severity Index	Duration Index	Severity Index	Duration Index	Severity Index	
함함	4	2	3	3	3	3	3	4	4	
함가	4	2	2	1	1	3	3	3	3	
함봉	1	2	2	2	2	3	3	4	4	○
함쌍	2	3	3	2	2	4	3	3	3	
함울	4	2	2	2	2	3	3	3	3	
함적	4	1	1	2	2	3	3	3	3	
해계	3	3	3	3	4	4	4	3	3	
해북	3	3	4	3	4	4	4	4	4	
해산	3	3	3	2	3	4	4	3	3	
해삼	3	4	4	3	3	4	4	4	4	
해현	3	3	3	3	3	4	4	4	4	
해화	3	3	4	2	2	4	4	3	3	○
해황	3	3	3	3	3	4	4	4	4	
홍공	2	4	4	3	3	2	2	2	2	○
홍금	5	3	3	2	2	2	1	2	2	
홍남	2	4	4	4	4	2	2	2	2	○
홍두	2	4	3	3	3	2	2	1	1	○
홍서	1	3	3	2	2	2	2	2	2	
홍화	2	4	4	3	3	1	2	1	1	○
화간	4	2	2	3	3	1	1	2	2	○
화남	1	2	2	3	3	4	4	4	4	
화릉	1	2	2	4	3	4	4	3	3	○
화비	1	2	3	3	3	1	1	2	1	
화상	2	3	3	2	3	2	2	2	2	○
화서	1	2	2	3	3	0	0	2	1	○
화우	1	1	1	2	2	0	1	2	2	

참여연구원

목 차	소 속	참여자
제1장 서론	농어촌연구원	홍순욱, 송성호
제2장 농어촌용수구역 특성 분석	농어촌연구원	홍순욱, 신형진
제3장 기후변화에 따른 용수구역별 미래 가뭄 분석	전남대학교	유승환, 윤광식 최동호, 김아라
제4장 용수구역별 지하수 이용현황 분석	농어촌연구원	홍순욱, 송성호
제5장 용수구역별 지하수 개발가능량 분석	농어촌연구원	안중기, 용환호
제6장 용수구역별 가뭄특성 분석에 따른 유형 분류	전남대학교 농어촌연구원	유승환, 오윤경 조은정, 김하영 홍순욱
제7장 용수역별 가뭄 취약지역 제시	전남대학교	유승환, 오윤경 윤광식, 최동호

주 의

1. 이 보고서는 농림축산식품부로부터 연구비를 지원받아 한국농어촌공사 농어촌연구원에서 수행한 연구보고서입니다.
2. 이 보고서의 내용은 연구원의 공식견해와 반드시 일치하는 것은 아닙니다.

■ 발 행 처

연구과제명 : 주요 농업기반시설과 기후변화를 고려한 용수구역별 최적 지하수 공급방안 연구	
발 행 일	2016. 12
발 행 인	이 용 직
발 행 처	한국농어촌공사 농어촌연구원
주 소	경기도 안산시 상록구 사동 해안로 870