기후변화에 따른
농업용수 영향평가 연구 (Ⅱ)

Climate Change Impacts Assessments on Agricultural Water Resources

2010. 12.

농림수산식품부
한국농어촌공사

제 출 문

농림수산식품부 장관 귀하

본 보고서를 “기후변화에 따른 농업용수 영향평가 연구” 과제의 2차년도 최종연구 보고서로 제출합니다.

2010년 12월

주관연구기관명 : 한국농어촌공사 농어촌연구원
연 구 책 임 자 : **윤 동 균**
연 구 원 : 조 진 훈
김 진 택
엄 명 철
박 기 욱
정 의 형

공동연구기관 : 서울대학교
연 구 책 임 자 : **최 진 용**
연 구 원 : 유 승 환
오 윤 경
이 상 현
이 태 석

위촉연구자 : 에듀소프트
박 경 성

Summary

1. Title

○ A study on the impact assessment of climate change on agricultural water

2. Period

○ 2009. 01 ~ 2011. 12

3. The purpose and necessity of research

3.1 Backgrounds and necessity

○ Recently climate change is the matter of concern and interest where it affects the magnitude of natural disasters in an increasing trend.

○ Our country seems on the way of climate change in the field of agriculture. It is the time to study the trend and evaluate the vulnerability of climate change to agriculture.

○ Within the agricultural field, the agricultural water that uses 48 % of the water resources is especially weak resources as it is wholly revealed in a natural condition.

3.2 Purpose

○ The objective of this study is to analyze the change of agriculture water resources by climate change, and suggest methods of adaptation of future management of agriculture water resources.

4. The contents of research and results

4.1 The contents of research

○ Evaluation of climate change scenarios from GCMs(General Circulation Models)

- Investigation of available GCM models that can be applied to our condition from the reviews of domestic and foreign researches case study
- Investigation of GCM models from IPCC AR4
- The applicability test to our condition through the review of related researches
- Evaluation of emission scenarios suggested from IPCC SRES
- Evaluation of the future temperature change by SRES scenarios and its impact on agricultural water resources
- Selection of emission scenarios by judging the trend of global warming

○ Comparison of climate change scenarios from the selected GCM models

- Data collection and selection of GCM models applicable to our condition considering spatial resolution
- Selection of application area (8 meteorological stations of each Province)
- The comparative analysis of the selected GCM data (temperature and precipitation) for each scenario (A2, A1B and B1)

○ Investigation of RCM (Regional Circulation Model)for establishing the climate change scenarios of high spatial resolution
- Review of RCM models to generate watershed scale meteorogical data
- Investigation and comparison of RCM models
- Investigation of dynamical downscaling methods for the data construction of RCM model
- Investigation and selection of RCM model
- RCM model (MM5) selection provided from Korea Meteorological Administration and data collection

○ Comparison analysis with RCM climate change scenario productions and GCM results
- Projection of future climate change by using the RCM data
- Comparison of GCM (ECHO-G) and RCM (MM5) data
- Comparison of projected results

○ Downscaling of GCM data by applying statistical method
- Data collection of 30 years(1979-2008) meteorological data for the selected stations
- The trend analysis of meteorological data
- Bias Correction of GCM data using the 30 years meteorological data
- The comparative analysis of 30 years data with 20C3M (20th Century Climate Coupled Model) data for temperature and rainfall components
- Correction by applying Alcamo et al.(1997) method to have statistical similarities
- Evaluation of the corrected GCM data
- Suggestion of the statistical downscaling technique in this study

○ The projection of future climate data and construction of DB
- The future spatial and temporal changes by each climate change scenarios using the 30 years data
- The variability analyses for each GCM and RCM scenario
- The trend analysis of maximum and minimum temperature from RCM data
- DB construction for evaluating the future impact on agriculture water resources
- DB construction for the analysis of water balance in a watershed

- The selection of representative scenario by judging the future temperature change (global warming)

○ Generation of additional climate data for reference crop evapotranspiration
- Generation of additional climate data including humidity, sunshine hour, evaporation and wind speed among 6 climate data required for water balance analysis
- Developing generation program of climate data, calibration and validation this program

○ Comparison analysis of 3 downscaling method output
- Bias correction of MIROC 3.2 climate data, downscaling using CF and LARS-WG method
- Comparison analysis with MM5 based ECHO-G and MIROC 3.2 climate data
- Comparison analysis of generated climate data including humidity, sunshine hour, evaporation and wind speed using CCWG (Climate Change on Weather Generator) based on rainfall and temperature
- Comparison analysis of future climate data at 8 meteorological stations of each Province in 2020s, 2050s, 2080s

○ Analysis of evapotranspiration
- Estimation of annual reference and paddy crop evapotranspiration using future climate data from LARS-WG method at 8 meteorological stations of each Province

○ Land use and rice cultivation change analysis
- Change pattern prediction for rice cultivation area using land use change model based on green gas emission scenarios.

○ Estimation of reference evapotranspiration and water requirement for paddy rice
- Reference evapotranspiration estimation and comparative analysis using constructed climate change weather data
- Comparative analysis of agricultural water resource for paddy rice cultivation area change based on the paddy water requirements from water balance analysis.

○ Climate change effect analysis on paddy rice crop coefficient
- Effect analysis in using paddy rice crop coefficient affected by cultivation period change in terms of time and spatial

4.2 Result and Conclusion

4.2.1 Development and Analysis of Weather Data Generation Program by Climate Change

- 1Four GCMs (ECHO-G, MIROC3.2, ECHAM5, hadCM3) appropriate for Korean Peninsula were selected from 23 GCMs for comparison study during the first year of this research project. Among these four GCMs, MIROC3.2 was analyzed to be the most similar to domestic weather data.
- The GCM output of ECHO-G(MM5) and MIROC3.2 was downscailed using bias correction method with rainfall and temperature data for the period of 30 years (1979~2008). The result revealed that the prediction result for MM5 case was lower than the countrywide measured weather data of rainfall and temperature. However, there were regions of both higher and lower prediction result for the case of MIROC3.2 in comparison to the measured data of rainfall and temperature.
- The analysis result by applying bias correction for the GCM models of ECHO-G(MM5) and MIROC3.2 indicated that their average rainfall and temperature were 1.57 and 3.25 (ECHO-G(MM5)) and 1.02 and -1.26 (MIROC3.2). This means that the future weather data, which are predicted from the weather models, differ greater than the local measured data with higher simple calibration value. Since MM5 simulates the entire Korean peninsula and MIROC3.2 simulates the entire earth, there is certainly an element of uncertainty for the relatively small municipal regions of Korea such as city and province. However, if the future weather data are subjected to bias correction of measured data of local weather station, the future weather data will be reliable data.
- The CCWG (Climate Change - Weather Generator) program was developed for the generation of future weather data, and this program was tested of its reliability by using the measured weather data (1970~2003) at Chuncheon station. The weather data for the period of 2004~2008 were generated using this program, and correlation analysis was conducted to examine the correlation of the generated data and the actual weather data for the same period (2004~2008). The result showed that correlation ratio of 0.877, 0.702, 0.655, 0.611 were obtained for evaporation, humidity, wind speed, and sunshine hour, respectively. Thus, the weather data built by the program developed in this study was very reliable, and the program data building and its data generation are appropriate for its application to real weather data prediction.

4.2.2 Estimation of evapotranspiration using LARS-WG output

- Annual average reference and paddy rice crop evapotranspiration were computed for each region in order to calculate the water requirement to prepare for climate change by using the climate data of LARS-WG model.
- Reference crop evapotranspiration at all regions for the periods of 2020s, 2050s, and 2080s increased by 2~42% more than that of 1985s. The estimated reference crop evapotranspiration at Cheongju region of 2020s increased the least at 695 mm, which was 2% more than 682 mm of 1985s, and the most increase in reference crop evapotranspiration of 2020s was estimated to be 879 mm, which was 33 % more than 700 mm of 1985s, at Pohang region. For the period of 2050s, Cheongju region again showed the least increase at 712 mm, which was 7 % more than 682 mm of 1985s, and the most increase in reference crop evapotranspiration was also estimated at Pohang region to be 904 mm, which was 38% more than 700 mm of 1985s. As for the period of 2080s, Cheongju region showed the least increase in reference crop evapotranspiration at 758 mm, which was 11 % more than 682 mm of 1985s. The region with the most increase in reference crop evapotranspiration for the period of 2080s was estimated to be again Pohang region with 992 mm, which was 42 % more than 700 mm of 1985s.
- The paddy rice crop evapotranspiration at all regions for the periods of 2020s, 2050s, and 2080s increased by 5 %~26 % more than that of 1985. The paddy rice crop evapotranspiration at Cheongju region of 2020ss increased the least at 768 mm, which was 4 % more than 738 mm of 1985s, and the most increase in paddy rice crop evapotranspiration of 2020s was estimated to be 951 mm, which was 22 % more than 746 mm of 1985s, at Pohang region. For the period of 2050's, Jinju region showed the least increase at 696 mm, which was 5 % more than 664 mm of 1985, and the most increase in paddy rice crop evapotranspiration was also estimated at Pohang region to be 979 mm, which was 24 % more than 746 mm of 1985s. As for the period of 2080s, Suwon region showed the least increase in paddy rice crop evapotranspiration at 745mm, which was 8 % more than 684 mm of 1985s. The region with the most increase in paddy rice crop evapotranspiration for the period of 2080s was estimated t be again Pohang region with 1,004 mm, which was 26 % more than 746 mm of 1985s.

4.2.3 Estimation of water requirement for paddy rice using LARS-WG output

○ The water requirement for paddy rice was estimated in consideration of crop evapotranspiration, infiltration, effective rainfall, and miscellaneous water requirement. The weather data downscaled from LARS-WG was used for the analysis of the paddy rice water requirement for the periods of 2020s, 2050s, and 2080s.

○ The result of estimating the paddy rice water requirement during 2020s indicated that crop evapotranspiration increased at all regions due to the increase in temperature and evaporation based on the estimated weather data and the consumptive use of water increased due to this reason. Cheongju region had the least increase in water requirement, and it can be explained that the effective rainfall increased the most in comparison to 1985s so that its water requirement increased th e least among those regions of this study. The rainfall at Jinju region was concentrated during non-irrigation period to decrease the effective rainfall so that its water requirement for paddy rice increased.

○ The result of estimating the water requirement for paddy rice during 2050s indicated that evapotranspiration increased at all regions, following the increase in temperature and evaporation just like aforementioned case of 2020s. This resulted in the consumptive use of water increase. Cheongju region had the least increase in water requirement, and it can be explained that the effective rainfall increased the most in comparison to 1985s so that its water requirement increased the least among those regions of this study. The rainfall at Jinju region was concentrated during non-irrigation period to decrease the effective rainfall so that its water requirement for paddy rice increased.

○ The result of analyzing the water requirement for paddy rice during 2080s revealed that evapotranspiration increased at all regions, following the increase in temperature and evaporation just like aforementioned cases of 2020s and 2050s. Water requirement, and it can be explained that the effective rainfall increased the most in comparison to 1985s so that its water requirement increased the least among those regions of this study. The rainfall at Jinju region was concentrated during non-irrigation period to decrease the effective rainfall so that its water requirement for paddy rice increased.

4.2.4 Analysis of land-use change by climate change using CLUE model

○ The present study used the CLUE model to simulate land-cover changes and predict future changes in paddy field area under SRES scenarios A1B, A2, B1, and B2. The study areas were regions including 8 reservoirs (Madun, Wonchang, Wonnam etc.) and scenarios were developed for a quantitative regional setting of land-use change. Stepwise and binary logistic regressions were performed to evaluate the relationships between land uses and its driving factors. Agricultural preservation and promotion zones were also included in the land allocation procedure to focus on paddy field distribution.

○ Madun reservoir area

- In the case of Madun reservoir area, the change of land-use was analyzed under A1b, A2, B1, and B2 scenarios.
- The change of land-use under A1B scenario between 2000 and 2100
  - ▪ The regions (Yongin, icheon, Anseong) including Madun reservoir
    - · Decrease of 18% in paddy field area.
  - ▪ Madun reservoir watershed
    - · Decrease of 72% (86ha ·> 22ha) in paddy field area
  - ▪ Irrigation area
    - · Decrease of 2.4% (532ha ·> 519ha) in paddy field area
- The change of land-use under A2, B1, B2 scenario between 2000 and 2100
  - ▪ There is the largest decrease of paddy field area under A2 scenario in comparison to other scenarios and forest area is increased under A2 scenario.
  - ▪ There are similarity between change pattern of paddy field area under B1 and B2 scenario.

○ Wonchang reservoir area

- The change of land-use under A1B scenario between 2000 and 2100
  - ▪ The regions (hongcheon, chuncheon) including Wonchang reservoir
    - · Decrease of 3% in paddy field area.
    - · Decrease of 2.3% in upland area.
    - · Decrease of 2.5% in forest area.
  - ▪ Wonchang reservoir watershed
    - · 5 ha forest was transformed into grassland.
  - ▪ Irrigation area
    - · 3 ha forest was transformed into grassland.

○ Wonnam reservoir area

- The change of land-use under A1B scenario between 2000 and 2100
  - ▪ The regions (Eumsoeng, Jincheon, Goesan) including Wonnam reservoir
    - · Decrease of 2.5% in paddy field area.
  - ▪ Wonnam reservoir watershed
    - · Decrease of 5% (720ha -> 684ha) in paddy field area
  - ▪ Irrigation area
    - · Little change in paddy filed area

○ Gopung reservoir area

- The change of land-use under A1B scenario between 2000 and 2100
  - ▪ The regions (Seosan, Dangjin, Yeosan) including Gopung reservoir
    - · Decrease of 6.8% in paddy field area.
  - ▪ Gopung reservoir watershed
    - · Decrease of 13.7% (153ha -> 132ha) in paddy field area
  - ▪ Irrigation area
    - · Decrease of 6.% (1162ha -> 1087ha) in paddy field area

○ Baeseok reservoir area

- The change of land-use under A1B scenario between 2000 and 2100
  - ▪ The regions (Junju) including Baeseok reservoir
    - · Decrease of 3.5% in paddy field area.
  - ▪ Baeseok reservoir watershed
    - · Little change in paddy field area
  - ▪ Irrigation area
    - · Little change in paddy field area

○ Daepo reservoir area

- The change of land-use under A1B scenario between 2000 and 2100
  - ▪ The regions (Yeosu) including Daepo reservoir
    - · Decrease of 1.9% in paddy field area.
    - · Decrease of 4.7% in upland area.
  - ▪ Daepo reservoir watershed
    - · Little change in paddy field area
    - · Decrease of 31.92% in upland area.
  - ▪ Irrigation area
    - · Little change in paddy field area

○ Mabuk reservoir area

- The change of land-use under A1B scenario between 2000 and 2100
  - ▪ The regions (Pohang) including Mabuk reservoir
    - · Decrease of 2.8% in paddy field area.
  - ▪ Mabuk reservoir watershed
    - · Decrease of 2.% in paddy field area
    - · Decrease of 27.8% in upland area.
  - ▪ Irrigation area
    - · Little change in paddy field area

○ Namseong reservoir area

- The change of land-use under A1B scenario between 2000 and 2100
  - ▪ The regions (Jinju) including Namseong reservoir
    - · Decrease of 7.0% (70,763ha -> 70,013ha) in paddy field area.
  - ▪ Irrigation area
    - · Decrease of 4.3.% (163ha -> 156ha) in paddy field area

4.2.5 Analysis of maximum crop cultivation and growing period change by climate change

○ Analysis of Maximum crop cultivation period by climate change

- Maximum crop cultivation period:
  Earliest transplanting date ~ Latest harvesting date
- Earliest transplanting date:
  The first day when avg. daily temperature is 15℃
- Latest harvesting date:
  The last day when avg. daily temperature is 15℃

- The results in Jeonbuk Jeonju
  The maximum crop cultivation period between 1980 and 2009 -> 172일
  The maximum crop cultivation period between 2070 and 2099 -> 289일
  The increase of 117days between 1995s and 2085s

- The results in Gyeongnam Jinju
  The maximum crop cultivation period between 1980 and 2009 -> 170일
  The maximum crop cultivation period between 2070 and 2099 -> 240일
  The increase of 70 days between 1995s and 2085s

- According to climate change, maximum crop cultivation period is increased at

most regions because of rise in temperature.

○ Analysis of growing period by climate change
- Growing period : Transplanting date ~ Harvesting date
- Heading Date : The consecutive days of the optimum ripening period for rice plant that had daily mean temperature 21~23℃ for 40 days after flowering.
- Transplanting date : The accumulated temperature from transplanting date to heading date 1500~2200℃ (Extremely early maturing rice: 1500℃ ~ Late maturing rice: 2200℃)
- Harvesting date : The accumulated temperature from heading date to harvesting date is 1100℃
- According to climate change, growing period is decreased at most regions because the necessary temperature for crop growing could be accumulated in short period by rise in temperature.

4.2.6 Analysis of growing change according to rice variety

○ Analysis of growing period by rice variety
- Growing period is mostly affected by transplanting date

○ The change of transplanting date in Gyeonggi Suwon
- Late maturing rice : From May 17 to July 6 between 1980 to 2099
- Extremely early maturing rice : From June 17 to Aug. 3 between 1980 to 2099

○ The change of transplanting date in Gangwon Chuncheon
- Late maturing rice : From Apr. 29 to June 17 between 1980 to 2099
- Extremely early maturing rice : From June 7 to July 3 between 1980 to 2099

○ The change of transplanting date in Chungbuk Cheongju
- Late maturing rice : From May 16 to June 20 between 1980 to 2099
- Extremely early maturing rice : From June 19 to July 17 between 1980 to 2099

○ The change of transplanting date in Chungnam Seosan
- Late maturing rice : From May 3 to June 23 between 1980 to 2099
- Extremely early maturing rice : From June 12 to July 21 between 1980 to 2099

○ The change of transplanting date in Jeonbuk Jeonju
- Late maturing rice : From May 22 to June 30 between 1980 to 2099
- Extremely early maturing rice : From June 23 to July. 26 between 1980 to 2099

○ The change of transplanting date in Jeonnam Yeosu
- Late maturing rice : From May 21 to June 30 between 1980 to 2099
- Extremely early maturing rice : From June 25 to July. 26 between 1980 to 2099

○ The change of transplanting date in Gyeongbuk Pohang
- Late maturing rice : From May 18 to July 1 between 1980 to 2099
- Extremely early maturing rice : From June 21 to July. 26 between 1980 to 2099

○ The change of transplanting date in Gyeongnam Jinju
- Late maturing rice : From May 15 to June 22 between 1980 to 2099
- Extremely early maturing rice : From June 19 to July. 19 between 1980 to 2099

4.2.7 Analysis of Heading date, Growing period and Maximum crop cultivation period

○ The change of Heading date, Growing period and Maximum crop cultivation period in Gyeonggi Suwon (Variety: Mid-maturing rice, Period: 1980 ~ 2099)
- The change of Heading date from Aug. 17 to Sep. 27
- The decrease of Growing period from 134 days to 123 days
- The increase of Maximum crop cultivation period from 166 days to 205 days

○ The change of Heading date, Growing period and Maximum crop cultivation period in Gangwon Chuncheon (Variety: Mid-maturing rice, Period: 1980 ~ 2099)
- The change of Heading date from Aug. 10 to Sep. 6
- The decrease of Growing period from 137 days to 122 days
- The increase of Maximum crop cultivation period from 156 days to 209 days

○ The change of Heading date, Growing period and Maximum crop cultivation period in Chungbuk Cheongju (Variety: Mid-maturing rice, Period: 1980 ~ 2099)
- The change of Heading date from Aug. 18 to Sep. 9
- The decrease of Growing period from 131 days to 122 days
- The increase of Maximum crop cultivation period from 168 days to 227 days

○ The change of Heading date, Growing period and Maximum crop cultivation period in Chungnam Seosan (Variety: Mid-maturing rice, Period: 1980 ~ 2099)
- The change of Heading date from Aug. 17 to Sep. 14
- The decrease of Growing period from 136 days to 124 days
- The increase of Maximum crop cultivation period from 161 days to 196 days

○ The change of Heading date, Growing period and Maximum crop cultivation period in Jeonbuk Jeonju (Variety: Mid-maturing rice, Period: 1980 ~ 2099)
- The change of Heading date from Aug. 21 to Sep. 19
- The decrease of Growing period from 130 days to 122 days
- The increase of Maximum crop cultivation period from 172 days to 289 days

○ The change of Heading date, Growing period and Maximum crop cultivation period in Jeonnam Yeosu (Variety: Mid-maturing rice, Period: 1980 ~ 2099)
- The change of Heading date from Aug. 25 to Sep. 19
- The decrease of Growing period from 131 days to 122 days
- The increase of Maximum crop cultivation period from 183 days to 237 days

○ The change of Heading date, Growing period and Maximum crop cultivation period in Gyeongbuk Pohang (Variety: Mid-maturing rice, Period: 1980 ~ 2099)
- The change of Heading date from Aug. 21 to Sep. 17
- The decrease of Growing period from 132 days to 121 days
- The increase of Maximum crop cultivation period from 182 days to 231 days

○ The change of Heading date, Growing period and Maximum crop cultivation period in Gyeongnam Jinju (Variety: Mid-maturing rice, Period: 1980 ~ 2099)
- The change of Heading date from Aug. 19 to Sep. 14
- The decrease of Growing period from 132 days to 124 days
- The increase of Maximum crop cultivation period from 170 days to 240 days

4.2.8 Conclusion

○ Water resources is very weak by climate change. The climate change will cause serious damage if a suitable estimation are not prepared even from now on. The increase trend of temperature and precipitation in both amount and intensity appear clearly in our country.

○ This study prepared the future weather data for agriculture water resources evaluation using the IPCC future climate scenarios.

○ For the purpose of future climate change predictions, four GCMs and emission scenarios (A1B, B1) were used. The data was corrected by 20C3M (20th Century Climate Coupled Model) and downscaled by Change Factor (CF) method and LARS-WG. Furthermore the future weather data of Suwon station prepared using MM5 of Korea meteorological administration. The water balance analysis of Madoon reservoir was performed.

○ This study is the base step for the water balance analysis by using future projected weather data. As the next step, the evaluation will be expanded by considering cultivation pattern, land suitability analysis and crop allocation

5. Practical use of result

○ Provision of GCM/RCM raw data for evaluation of future agriculture water resources
○ Provision of GCM data and downscaling method
○ Establishment of assessing method for climate change impact on agricultural water
○ Adjustment of managing and operating system for agricultural water resources management and security
○ Preparation of long-term plan for agricultural water resources and development as a multipurpose use
○ Establishment of water management policy to adapt effectively for the climate change
○ Establishment of plan for dam control, integrated water management and hydraulic facilities design

요 약 문

1. 연구과제명 : 기후변화에 따른 농업용수 영향평가 연구

2. 연구기간 : 2009년 1월 ~ 2011년 12월

3. 연구의 필요성 및 목적

3.1 연구배경 및 필요성

○ 최근, 지구온난화 등으로 기후변화가 전 세계적인 관심사로 등장하면서 각 분야에 미치는 영향에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있음.

○ 우리나라에서도 기후변화에 따른 경제, 산업, 자연, 생태계, 작물, 수자원 등 여러 분야에서 연구가 진행되고 있으나 농업수자원 분야에는 연구가 활발히 이루어 지지 않은 실정임.

○ 따라서 국내 전체 수자원의 48%를 이용하고 있는 농업용수에 대하여 과거와 현재 그리고 미래 기후변화 시나리오를 고려한 수자원 수요량 분석이 시급한 실정임.

3.2 목 적

○ 기후변화에 따른 농업수자원 변화를 분석하고 그에 따른 농업수자원 관리 및 대응 하는 것을 목적으로 함.

4. 연구내용 및 결론

4.1 연구내용

○ 전지구기후모형(GCM)을 이용한 기후변화 시나리오별 특성 분석
- 국내외 연구사례 조사를 통한 한반도 적용 가능 GCM 모형의 특성 조사
- IPCC AR4에서 제시하고 있는 GCM 모형별 특성 조사
- 국내외 문헌조사를 통한 연구사례 및 국내 적용성 평가
- IPCC SRES에서 제시하고 있는 배출시나리오별 특성 분석
- 기후변화 시나리오 작성을 위한 SRES의 온실가스 배출시나리오 분석
- SRES 배출시나리오에 대한 온도변화 전망 및 농업수자원에 미치는영향 검토
- 지구온난화 정도에 따른 배출시나리오 선정

○ GCM 모형의 선정에 따른 기후변화 시나리오별 비교 분석
- 자료의 해상도를 고려한 국내 현실에 부합되는 GCM 모형 선정 및 자료수집
- 대상지역 선정 (도별 8개 관측소)
- 선정된 GCM 자료(온도, 강우)의 배출시나리오별(A2, A1B, B1) 비교 분석

○ 고해상도의 기후변화 시나리오 작성을 위한 지역기후모형(RCM)의 검토
- 유역규모의 기후자료 생성을 위한 RCM 모형의 검토
- 국내외 RCM 모형의 비교 및 검토
- RCM 자료구축을 위한 역학적 상세화기법 검토(CF, LARS-WG)
- RCM 모형의 선정 및 검토
- 기상청에서 제공하고 있는 RCM 모형(MM5) 선정 및 자료 수집

○ RCM 기후변화 시나리오 생산 및 GCM 모의결과와의 비교 분석
- RCM 기후변화 시나리오 생산에 따른 미래 기후변화 전망
- GCM(ECHO-G) 및 RCM(MM5) 모형의 특성 비교
- 모의결과의 비교 분석

○ 통계학적 축소기법(Downscaling)을 이용한 GCM 자료의 상세화
- 대상기상관측소에 대한 과거 30년(1979-2008)에 해당하는 기상자료 수집
- 기상요소별 변화추세 분석
- 과거 기상자료를 이용한 GCM 자료의 오차보정(Bias Correction)
- 과거 30년 기상자료(1977-2006)와 각 GCM 모델별로 제공되는 20세기 모의결과인 20C3M(20th Century Climate Coupled Model, 1979-2008)의 온도와 강수량에 대한 비교 분석
- Alcamo 등(1997)이 제안한 오차보정방법을 이용하여 온도와 강수자료에 대한 통계적 유사성을 가지도록 보정
- 오차보정에 따른 GCM 시나리오별 보정결과 분석
- 통계학적 축소기법을 이용한 Downscaling 기법 제시

○ 미래 기후요소별 변화 전망 및 기후변화 시나리오 DB 구축
- 과거 기상자료를 이용한 미래 기후변화 시나리오별 시·공간적 변화 특성 분석
- GCM 및 RCM 기후변화 시나리오별 변동성 비교 분석
- RCM 자료를 이용한 일 최고/최저기온 변화 추세 분석
- 기후변화에 따른 농업수자원 영향평가를 기후변화 시나리오 DB 구축
- 물수지 분석을 위한 기후변화 시나리오 DB 구축
- 기온변화(지구온난화) 전망에 따른 대표 시나리오 선정

○ 잠재증발산량 산정을 위한 기상자료 추가 생성
- 물수지 분석에 필요한 6가지 중 4가지 (습도, 일조시간, 증발량, 풍속)기상 자료 생성
- 기상자료 생성 프로그램을 구축하고 프로그램의 검보정 실시

○ 3가지 상세화 방법 비교 검토
- MIROC3.2의 기상자료에 대하여 편이보정을 실시하고 CF, LARS-WG방법을 이용하여 상세화
- ECHO-G를 기반의 구축된 MM5와의 비교 분석
- 강우량과 기온자료를 이용하여 물수지 분석에 필요한 4가지 (습도, 일조시간, 증발량, 풍속)기상자료를 CCWG(Climate Change on Weather Generator)를 이용하여 추가생성하고 지역별로 비교 분석
- 각 지역별 2020s, 2050s, 2080의 기상자료비교 분석

○ 증발산량 분석
- LARS-WG 방법의 기상자료를 이용하여 각 지역별 연평균 잠재증발산량과 실제 증발산량을 산정
○ 토지이용 및 논벼작부체계 변화 분석
- 토지이용변화 모델을 바탕으로 기후변화 시나리오에 따른 논벼재배지역의 변화 양상 예측
- 기온 및 강수량 변화에 따른 논벼작부체계 변화 분석
○ 논벼 기준작물증발산량 산정 및 필요수량 분석
- 기 구축된 기후변화 기상자료를 바탕으로 기준작물증발산량 산정
- 물수지분석을 통한 논 필요수량을 산정하고, 논벼재배 지역 변화에 따른 논 농업용수 산정 및 비교·분석
○ 논벼 작물계수 적용에 따른 영향 분석
- 기후변화에 따른 재배기간 등의 변화가 논벼 작물계수 적용시 시간적, 공간적으로 미치는 영향에 대하여 분석

4.2 연구결과

4.2.1 기후변화에 따른 기상자료 생성프로그램 개발 및 분석

○ 1차년도 연구에서 23개 GCMs에 대하여 한반도지역에 적합한 4개의 GCMs(ECHO-G, MIROC3.2, ECHAM5, hadCM3)를 선정하고 비교 분석 하였다. 그중 ECHO-G(MM5), MIROC3.2가 국내 기상자료와 가장 유사한 것으로 분석되었다.

○ ECHO-G(MM5), MIROC3.2의 기상모델을 Droogers와 Aerts (2005), Alcamo 등 (1997)이 사용했던 기법인 편이보정법을 이용하여 강우량과 기온에 대하여 30년(1979~2008) 기간에 대하여 편이보정을 실시한 결과 MM5의 경우 강우량과 기온자료를 관측자료와 비교하여 본 결과 전국적으로 관측자료에 비해 낮게 추정된 것으로 나타났으며, MIROC3.2의 경우 강우량과 기온에서 낮게 추정된 지역과 높게 추정된 지역이 각각 나타났다.

○ ECHO-G(MM5), MIROC3.2의 기상모델에 대해서 편이보정값을 분석한 결과 ECHO-G(MM5)모델은 평균적으로 강우량 1.57, 기온 3.25 값을 나타내었고, MIROC3.2모델은 평균적으로 강우량 1.02, 기온 -1.26 값을 나타내었다. 편이보정 값이 클수록 모형에서 예측한 미래 기상자료가 지역별 관측값과 많은 차이가나는 것을 의미한다. MM5는 한반도 전체를 모의하고 MIROC는 지구 전체를 모의하기 때문에 우리나라 시군단위 소규모지역에 대해서 불확실성이 충분히 내포되어 있다. 그러나 미래 기상자료를 지역 관측소 관측값을 대상으로 편이보정한다면 미래기상자료는 신뢰성 있는 자료가 될 것으로 판단된다.

○ 미래 기상자료 생성을 위해서 CCWG(기후변화 기상발생기)라는 프로그램을 개발하여 프로그램의 신뢰성을 확인하기 위해서 춘천관측소의 기상자료(1970~2003)를 이용하여 2004~2008년의 기상자료를 생성하여 실제기상자료(2004~2008)와의 상관관계를 분석한 결과 증발량 0.877, 습도 0.702, 풍속 0.655, 일조시간 0.611 의 상관과계 결과를 얻을 수 있었다. 따라서 본 연구에서 구축한 기상자료 생성 프로그램은 신뢰성이 높은 것으로 나타나 프로그램 구축 방법 및 자료생성은 적합한 것으로 사료된다.

4.2.2 LARS-WG 증발산량 분석

○ 미래 기후변화에 대비하기 위한 필요수량을 산정하기 위해서 LARS-WG 모델의 기상자료를 이용하여 각 지역별 연평균 잠재증발산량과 실제증발산량을 산정하였다.

○ 각 지역별 잠재증발산량은 2020s, 2050s, 2080s 모두 1985s보다 2~42%까지 증가하는 것으로 나타났다. 2020s는 청주지역이 1985s의 682mm보다 2% 증가한 695mm로 가장 작게 증가하는 것으로 나타났으며, 가장 많이 증가하는 지역은 포항지역이 1985s의 700mm보다 33% 증가한 879mm로 나타났다. 2050s는 청주지역이 1985s의 628mm보다 7% 증가한 712mm로 가장 작게 증가하는 것으로 나타났으며, 가장 많이 증가하는 지역은 포항지역이 1985s의 700mm보다 38% 증가한 904mm로 나타났다. 2080s 또한 청주지역이 1985s의 682mm보다 11% 증가한 758mm로 가장 작게 증가하는 것으로 나타났으며, 가장 많이 증가하는 지역 또한 포항지역이 1985s의 700mm보다 42% 증가한 992mm로 나타났다.

○ 각 지역별 실제증발산량은 2020s, 2050s, 2080s 모두 1985s보다 5~26%까지 증가하는 것으로 나타났다. 2020s는 청주지역이 1985s의 738mm보다 4% 증가한 768mm로 가장 작게 증가하는 것으로 나타났으며, 가장 많이 증가하는 지역은 포항지역이 1985s의 746mm보다 22% 증가한 951mm로 나타났다. 2050s는 진주지역이 1985s의 664mm보다 5% 증가한 696mm로 가장 작게 증가하는 것으로 나타났으며, 가장 많이 증가하는 지역은 포항지역이 1985s의 746mm보다 24% 증가한 979mm로 나타났다. 2080s은 수원지역이 1985s의 684mm보다 8% 증가한 745mm로 가장 작게 증가하는 것으로 나타났으며, 가장 많이 증가하는 지역은 포항지역이 1985s의 746mm보다 26% 증가한 1,004mm로 나타났다.

4.2.3 LARS-WG 논 필요수량 산정결과

○ 논 필요수량은 벼의 증발산량, 침투량, 유효우량, 재배관리 용수량과 시설관리 용수량을 고려하여 산정하며, LARS-WG 상세화에서 생성된 기상자료를 이용하여 2020s, 2050s, 2080s에 대한 필요수량을 분석하였다.

○ 2020s의 필요수량을 예측한 결과 기상자료인 기온과 증발량이 증가함에 따라 증발산량이 모두 증가하는 것으로 나타났고 그에 따른 소비수량이 증가하는 것으로 사료된다. 필요수량이 가장 작게 증가하는 청주지역의 경우 유효우량이 1985s에 비해 가장 많이 증가하여 필요수량이 가장 작게 증가하는 것으로 판단되며, 진주지역의 경우 강우량이 비관개기에 집중되어 유효우량이 감소함에 따라 필요수량은 더욱 증가하는 것으로 판단된다.

○ 2050s의 필요수량을 예측한 결과 2020s와 같이 기온과 증발량이 증가함에 따라 증발산량이 모두 증가하는 것으로 나타났고 그에 따른 소비수량이 증가하는 것으로 사료된다. 필요수량이 가장 작게 증가한 청주지역의 경우 유효우량이 1985s에 비해 가장 많이 증가하여 필요수량이 가장 작게 증가한 것으로 판단되며, 진주지역의 경우 강우량이 비관개기에 집중되어 유효우량이 감소함에 따라 필요수량은 더욱 증가한 것으로 판단된다.

○ 2008s에 대한 필요수량을 분석한 결과 2020s, 2050s와 같이 기온과 증발량이 증가함에 따라 증발산량이 모두 증가하는 것으로 나타났고 그에 따른 소비수량이 증가하는 것으로 사료된다. 필요수량이 가장 작게 증가한 청주지역의 경우 유효우량이 1985s에 비해 가장 많이 증가하여 필요수량이 가장 작게 증가한 것으로 판단되며, 진주지역의 경우 강우량이 비관개기에 집중되어 유효우량이 감소함에 따라 필요수량은 더욱 증가한 것으로 판단된다.

4.2.4 기후변화에 따른 토지이용변화 분석

○ 기후변화에 따라 토지이용의 변화를 분석한 결과는 다음과 같다.토지이용변화 시나리오를 분석하기 위해서 빠른 경제성장을 지향하는 A1B, 전국 인구증가율에 비례하여 완만하게 도시면적이 증가하는 A2, 반면 환경보전을 강조하는 B1, B2 시나리오로 분류하여 토지이용의 변화에 대한 분석을 실시하였다. 경기도 지역은 기후변화 시나리오의 A1B, A2, B1, B2의 토지피복변화를 모두 산정하여 비교하였으며 나머지 7개 지역은 미래 기상자료가 제공되는 A1B 시나리오를 중심으로 분석을 실시하였다.

마둔저수지를 포함하고 있는 지역의 경우 A1B 시나리오에서 시가화지역이 증가하고 있으며 농업지역 면적이 감소가 진행되고 있음을 알 수 있다. A2 시나리오에서 논지역의 감소가 가장 크게 나타났으며 산림지역의 면적이 증가하였음을 볼 수 있고, B1과 B2시나리오의 토지피복 분포는 매우 유사한 분포패턴을 보이고 있다. 마둔저수지를 중심으로 용인, 이천, 안성지역의 전체 100년동안 논면적이 약 18% 감소하는 것으로 나타났으나, 마둔 저수지 유역을 중점으로 살펴보면 72%의 논이 감소하여 기존의 86ha에서 62ha가 감소하여 2100년에는 논이 22ha 정도만 분포하는 것으로 나타났다. 그러나 관개지구내에서는 532ha의 논면적 중 2.4 %인 13ha정도만 감소하는 것으로 모의되었다. 원창 저수지가 위치한 홍천, 춘천지역의 논 면적 3%, 밭 면적 2.3%, 산림 2.5% 정도 감소하는 것으로 모의되었으며 시가화지역은 거의 변화가 없고, 초지면적이 3배정도 증가하고, 저수지 유역과 관개 유역을 중심으로 살펴보면 산림이 초지지역으로 5ha, 3ha 정도 전환되는 것을 제외하고 토지피복은 큰 변화가 없다고 모의되었다. 원남 저수지가 위치한 음성, 진천, 괴산지역의 논면적은 2.5% 정도의 감소를 나타냈으나 저수지 유역내에서는 기존의 720ha에서 36ha의 논이 감소하였고 관개지구내에서의 논면적 변화는 거의 없는 것으로 모의되었다. 고풍 저수지가 위치한 서산, 당진, 예산지역의 논면적은 6.8% 정도의 감소를 나타냈으나 저수지 유역내에서는 기존의 153ha에서 21ha의 논이 감소하였고, 관개지구내에서는 1162ha 중 75ha 정도 논면적이 감소하는 것으로 모의되었다. 백석 저수지는 평야에 위치하여 저수지 기준으로 유역면적을 추출한 결과 총면적이 131ha로 나타나 기존 보고된 유역면적(10,625ha)과 차이가 있다. 따라서 대상지 전체의 토지피복변화 비율을 적용하였다. 대상지역인 전주지역은 논면적 3.5% 정도의 감소를 나타냈으나 저수지 유역과 관개지구내에서는 논면적이 변화하지 않는 것으로 모의되었다. 대포저수지가 위치한 여수지역의 논면적이 약 1.9%, 밭면적은 4.7% 감소하는 것으로 나타났으나, 대포 저수지 유역을 중점적으로 살펴보면 논 분포의 변화는 없고 밭면적이 31.92%의 감소하는 것으로 나타났다. 총면적 323ha인 관개지구내에서도 논분포의 변화는 없었으며 다른 토지피복도 5ha 미만의 적은 변화만 나타내는 것으로 모의되었다. 마북 저수지가 위치한 포항지역의 논면적이 약 2.8% 감소하는 것으로 나타났으나, 저수지 유역 내에서는 2.6%의 논이 감소하였으며 밭 면적도 27.8% 감소하여 농경지의 변화가 큰 것으로 나타났다. 그러나 관개지구내에서는 중 448ha의 논면적이 유지되는 것으로 모의되었다. 남성 저수지가 위치한 진주지역은 총 면적 70,763ha 중 논 면적이 750ha 감소하여 약 7.0% 변화하는 것으로 나타났으나, 관개지구내에서는 163ha의 논면적 중 4.3%인 7ha정도가 감소하는 것으로 모의되었다.

4.2.4 기후변화에 따른 논벼 재배가능시기, 생육기간 변화 분석

○ 기후변화에 따라 논벼의 재배가능시기의 변화를 분석한 결과는 다음과 같다. 재배가능기간은 이앙기 조한일과 수확기 만한일사이의 기간을 의미한다. 분석 결과 시간이 지날수록 재배가능기간이 늘어남을 확인할 수 있다. 이는 일평균기온이 높아짐에 따라 이앙이 가능한 일자가 앞당겨지고, 또한 수확기 만한일 역시 일부 지역에서는 최대 12월 15일까지 늦춰지기 때문이다. 지역별로 살펴보면, 전북 전주의 경우 1980년부터 2009년의 평년 재배가능기간은 172일이었으나 2070년부터 2099년의 평년 재배가능기간은 289일로 117일이 늘어나는 것으로 나타났다. 경남 진주의 경우 역시 1980년부터 2009년의 평년 재배가능기간이 170일이었으나 2070년부터 2099년의 평균 재배가능기간은 240일로 70일이 늘어나는 것으로 나타났다. 또한 남부지역이 중부지역보다 개배가능기간의 변화가 큰 것으로 나타났다. 전국적으로 기후변화에 따라 재배가능기간이 증가하는 것을 확인할 수 있다.

○ 각 시기별 논벼의 생육기간의 변화를 적산온도를 통하여 살펴보았다. 등숙기간의 온도가 22.5℃가 되는 안전출수기로부터 적산온도를 통하여 적정 이앙일과 수확일을 분석하였고 이를 통하여 논벼의 생육기간(이앙일~수확일)을 추정하였다. 논벼의 생육기간의 변화는 기후변화가 진행됨에 따라 기온의 상승으로 인하여 짧아지는 것을 알 수 있다. 강원 춘천의 경우 1980년부터 2009년의 평년 생육기간이 137일이었으나 2070년부터 2099년의 평년 생육기간은 122일로 15일이 줄어드는 것으로 나타났다. 이는 기온이 상승함에 따라 보다 짧은 기간에 생육을 위해 필요로 하는 적산온도를 충족시킬 수 있기 때문이다. 전체적으로 대상 내 모든 지역에서 기후변화에 따라 시기가 지날수록 생육기간이 130일대에서 120일대로 줄어드는 것을 확인할 수 있다.

4.2.5 품종별 생육기간 변화 분석

○ 품종별 생육기간의 변화를 분석하였다. 품종별 생육기간은 이앙기의 변화와 관련이 있다. 논벼의 품종은 영양생식기간의 조만성과 관련이 깊게 나타남으로 품종에 따라 적정 이앙일이 다르게 산정되기 때문이다. 기후변화에 따른 기온의 상승으로 이앙일이 타 지역보다 늦춰지는 것이 가능한 지역일수록 이앙일부터 출수기의 기간이 짧아지게 되므로 생육기간 역시 짧아지게 된다.

○ 중부지역의 품종별 생육기간의 변화를 살펴보면, 1980년에서 2099년 동안 경기 수원의 경우 만생종은 이앙일이 5월 12일에서 7월 6일까지 늦춰지는 것으로 분석되었다. 극조생종의 경우 이앙일이 8월 3일까지 늦춰지는 것으로 나타났다. 강원 춘천의 경우 만생종은 이앙일이 4월 29일에서 6월 17일까지 늦춰지는 것으로 분석되었다. 극조생종의 경우 이앙일이 7월 13일까지 늦춰지는 것으로 나타났다. 충북 청주의 경우 만생종은 이앙일이 5월 16일에서 6월 20일까지 늦춰지는 것으로 분석되었고, 극조생종의 경우 이앙일이 7월 17일까지 늦춰지는 것으로 나타났다. 충남 서산 의 경우 중생종은 이앙일이 5월 3일에서 6월 23일까지 늦춰지는 것으로 분석되었고, 극조생종의 경우 이앙일이 7월 21일까지 늦춰지는 것으로 나타났다.

○ 남부지역의 이앙일 변화를 살펴보면, 전북 전주의 경우 1980년에서 2099년 동안 만생종은 이앙일이 5월 22에서 6월 30일까지 늦춰지는 것으로 분석되었다. 극조생종의 경우 이앙일이 7월 26일까지 늦춰지는 것으로 나타났다. 전남 여수의 경우 만생종은 이앙일이 5월 21일에서 6월 30일까지 늦춰지는 것으로 분석되었다. 극조생종의 경우 이앙일이 7월 26일까지

늦춰지는 것으로 나타났다. 경북 포항의 경우 만생종은 이앙일이 5월 18일에서 7월 1일까지 늦춰지는 것으로 분석되었고, 극조생종의 경우 이앙일이 7월 26일까지 늦춰지는 것으로 나타났다. 경남 진주의 경우 만생종은 이앙일이 5월 15일에서 6월 22일까지 늦춰지는 것으로 분석되었고, 극조생종의 경우 이앙일이 7월 19일까지 늦춰지는 것으로 나타났다.

4.2.6 기후변화에 따른 지역별 작부시기 변화

○ 중부지역을 중심으로 살펴보면 안전출수기의 변화를 살펴보면 다음과 같다. 1980년에서 2099년 동안 강원도 춘천의 경우 중생종의 안전출수기가 8월 10일에서 8월 22일, 8월 29일, 9월 6일로 약 27일 정도 늦춰지는 것을 알 수 있다. 생육기간은 137일에서 122일까지 줄어드는 것을 확인할 수 있다. 재배가능기간은 156일에서 209일로 53일 늘어나는 것으로 나타났다. 경기 수원의 경우 안전출수기는 8월 17일에서 9월 27일로 늦춰지고, 생육기간은 134일에서 123일로 줄어들고, 재배가능기간은 166일에서 205일로 늘어나는 것으로 나타났다. 충북 청주의 경우 안전출수일은 8월 18일에서 9월 9일까지 늦춰지고 생육기간은 131일에서 122일로 줄어들고, 재배가능기간은 168일에서 227일로 늘어나는 것으로 나타났다. 충남 서산의 경우 안전출수일은 8월 14일에서 9월 14일까지 늦춰지고 생육기간은 136일에서 124일로 줄어들고, 재배가능기간은 161일에서 196일로 늘어나는 것으로 나타났다.

○ 남부지역의 변화를 살펴보면, 먼저 전북 전주의 경우 안전출수일은 8월 21일에서 9월 19일까지 늦춰지고 생육기간은 130일에서 122일로 줄어들고, 재배가능기간은 172일에서 289일로 늘어나는 것으로 나타났다. 전남 여수의 경우 안전출수일은 8월 25일에서 9월 19일까지 늦춰지고 생육기간은 131일에서 122일로 줄어들고, 재배가능기간은 183일에서 237일로 늘어나는 것으로 나타났다. 경북 포항의 경우 안전출수일은 8월 21일에서 9월 17일까지 늦춰지고 생육기간은 132일에서 121일로 줄어들고, 재배가능기간은 182일에서 231일로 늘어나는 것으로 나타났다. 경남 진주의 경우 안전출수일은 8월 19일에서 9월 14일까지 늦춰지고 생육기간은 132일에서 124일로 줄어들고, 재배가능기간은 170일에서 240일로 늘어나는 것으로 나타났다.

4.2.7 결론

○ 수자원은 기후변화에 대해 매우 취약하며, 적절한 평가시스템 구축과 대응책이 마련되지 않으면 막대한 피해를 초래 할 수도 있다. 21세기에 전개된 우리나라 기온변화와 강수량 변화는 정도의 차이는 있지만 증가하는 경향이 뚜렷하게 나타나고 있다.

○ 이러한 기후변화는 유역의 유출량과 유출률에 영향을 미쳐 수자원관리와 재난관리에 큰 어려움이 예상됨에 따라 IPCC에서 제공하는 시나리오별 미래 기상자료를 이용하여 농업수자원 변화 예측을 위한 기초자료를 마련하였다.

○ 본 연구에서 사용된 4개의 GCMs와 온실가스 배출시나리오(A1B, B1)를 비교 분석 하 였으며, 상세기법에서 CF방법과 LARS-WG방법을 비교분석하여 관측소별 고해상도 미래 기상자료를 생성하였다. 또한 기상청에 제공하는 MM5를 이용하여 수원관측소 미래기상자료를 생성하고 마둔저수지에 대한 물수지분석을 시행하였다.

○ 본 연구는 미래 기상자료만을 고려한 물수지분석을 시행한 기초단계로서 2차년도 재배적지, 경작형태, 작물변화 등을 고려한 적정 농업용수 영향평가를 위한 기반을 마련하였다.

5. 연구결과의 실용화 방안

○ 우리나라 농업수자원 영향평가를 위한 GCM/RCM 기초자료 제공
○ GCM 자료의 상세화기법 제공
○ 기후변화 시나리오 작성 및 평가방법 제시
○ 기후변화 시나리오에 따른 농업용수 영향분석 체계정립 및 평가 활용
○ 물수지분석에 따른 농촌수자원 관리 및 운영체계 정비 활용
○ 미래 기후변화 전망에 따른 사회경제적 환경, 생태, 농업수자원 영향평가 및 정책결정을 위한 기반마련
○ 기후변화 시나리오 DB 구축에 따른 수자원장기계획 및 다목적용수개발관련 연구분야 적용
○ 기후변화에 효과적으로 대처/적응하는 물관리 전략 및 기술에 활용
○ 기후변화에 따른 농업수자원 영향 평가를 위한 댐 운영 및 통합관리, 수리시설물 설계 등의 계획수립에 기초자료로 활용

<목 차>

1장. 서론.....1

1. 연구의 배경 및 필요성.....1

1.1 기후변화와 토지이용변화.....1

1.2 기후변화와 농업.....2

1.3 기후변화와 농업 수자원.....3

1.4 연구개발의 필요성.....3

2. 기후변화에 대한 연구 동향.....4

2.1 기후변화와 토지이용변화.....4

1) 국내 연구동향.....4

2) 해외 연구동향.....5

2.2 기후변화와 농업분야.....5

1) 국내 연구동향.....5

2) 해외 연구동향.....6

3) 국내주요기관의 연구 결과.....7

2.3 기후변화와 농업 수자원.....9

1) 국내 연구 동향.....9

2) 해외 연구 동향.....9

2장. 연구방법.....10

1. 전체 연구방법 개념도.....10

1.1 토지이용 및 논벼작부체계 변화 분석.....10

1.2 논벼 기준작물증발산량 산정 및 필요수량 분석.....10

1.3 논벼 작물계수 적용에 따른 영향 분석.....10

1.4 연구 대상지.....11

2. 토지이용 변화 모델링.....12

2.1 CLUE (Conversion of Land Use and its Effects modeling framework).....12

2.2 토지이용변화 시나리오 설정.....15

1) SRES (Special Report on Emissions Scenarios).....15

2) AIM (Asia-Pacific Integrated Model).....15

2.3 CLUE 모델링.....18

3. 논벼 작부체계 변화 분석.....19

3.1 기후변화 데이터의 활용.....20

3.2 시기별 기상자료 구축.....21

3.3 논벼의 작부체계 변화 분석항목 설정.....21
3.4 논벼의 작물계수 설정.....23
1) 작물계수.....23
2) 작물계수 산정 방법.....24
3) 초기단계 작물계수 ($K_{c\ ini}$).....25
4) 중기에서의 작물계수 ($K_{c\ mid}$).....25
5) 후기에서의 작물계수 ($K_{c\ end}$).....27
4. 논벼 물수지 분석.....28
4.1 저수지 물수지 분석방법.....28
4.2 필요저수량 결정.....29
4.3 논 용수 수요량.....30
1) 증발산량.....30
2) 침투량.....31
3) 유효우량.....31
4) 재배관리 용수량.....32
4.4 저수지 유입량 산정 방법.....32
5. 미래 기상자료 구축 및 신뢰성 분석.....35
5.1 “기후변화 기상발생기” 프로그램 구축.....35
5.2 “기후변화 기상발생기” 프로그램 검정.....38
1) 상관관계 분석.....38
2) 춘천관측소 실제 측정 자료와 프로그램 생성 자료 비교.....41
가) 일별자료 비교.....41
나) 월별자료 비교.....42
3 장. LARS-WG방법을 이용한 증발산량 및 필요수량 산정....43
1. LARS-WG 상세화 방법을 선정.....43
2. 증발산량 산정 결과.....44
3. 필요수량 산정 결과.....46
3.1 2020s 필요수량.....46
3.2 2050s 필요수량.....48
3.3 2080s 필요수량.....50
4장. 논벼 재배 지역의 변화 예측.....52
1. 토지이용변화 시나리오.....52
1.1 경기(마둔 저수지) 53
1.2 충남(고풍 저수지)/경남(남성 저수지).....54

1.3 강원/충북/전북/전남/경북.....54
2. 토지피복별 위치 특성.....55
2.1 경기도 (마둔 저수지).....55
2.2 충청북도 (원남 저수지).....57
2.3 기타.....58
3. 기후변화 시나리오에 따른 토지피복변화 분포.....60
3.1 마둔 저수지.....60
3.2 원창 저수지.....65
3.3 원남 저수지.....68
3.4 고풍 저수지.....71
3.5 백석 저수지.....74
3.6 대포 저수지.....77
3.7 마북 저수지.....80
3.8 남성 저수지.....83
5장. 작부시기 및 작물계수 변화 예측.....86
1. 지역별 작부시기의 변화.....86
1.1 재배가능기간의 변화.....86
1.2 적산온도에 따른 생육기간의 변화.....87
1.3 품종별 생육기간의 변화.....88
1.4 지역별 작부시기 및 안전출수기의 변화.....92
2. 작물계수의 변화.....96
2.1 지역별 용수공급 기준일의 변화.....96
2.2 작물계수 산정 결과.....96
6장. 작물증발산량 및 필요수량 분석.....99
1. 10년빈도 작물증발산량.....99
2. 순용수량 산정 결과.....100
3. 저수지 물수지 분석 결과.....102
3.1 물수지 분석 입력자료 구축.....102
3.2 물수지 분석 결과.....104
1) 연최대 필요저수량의 빈도분석 결과.....104
2) 저수지 일별 수위 변화 분석.....106
7장. 결론.....122

<부 록>

1. 기후변화 기상발생기(CCWG) 프로그램 사용설명서
2. 각 도별 대표 저수지 연도별 필요수량 및 물수지 분석

<표 목 차>

(표 1.) 기후변화에 따른 농업부분 변화의 기존 연구 내용 8
(표 2.) 도별 저수지 및 연구 범위 11
(표 3.) 시나리오 설정 조건 17
(표 4.) 토지피복분류 및 구동요인 18
(표 5.) 관측소별 과거 30년(1971~2000) 연평균 기상요소 20
(표 6.) 작부시기 변화를 위한 산출인자 (박순직 등, 2008) 22
(표 7.) 생육별 작물 단계 (정하우 등, 2009) 24
(표 8.) 다양한 기상조건별 논벼의 초기작물계수 ($K_{c\,ini}$) (Allen et al., 1998) 25
(표 9.) 기후분류에 따른 $RH_{\min}$과 RH_{mean}의 비교 (Allen et al., 1998) 25
(표 10.) 데이터 등록 36
(표 11.) 데이터 분석 과정 37
(표 12.) 프로그램 추출 기상자료와 관측자료의 상관관계 분석 38
(표 13.) 지역별 잠재증발산량 및 실제증발산량 분석 45
(표 14.) 2020s 지역별 물수지분석 47
(표 15.) 2050s 지역별 물수지분석 49
(표 16.) 2080s 지역별 물수지분석 51
(표 17.) 이분형 로지스틱 회귀분석 결과 (경기) 56
(표 18.) 이분형 로지스틱 회귀분석 결과 (충북) 57
(표 19.) 이분형 로지스틱 회귀분석 결과 58
(표 20.) 이분형 로지스틱 회귀분석 결과 (계속) 59
(표 21.) 시나리오별 토지피복 면적 변화 결과 (경기) 61
(표 22.) A1B시나리오에서 연구범위별 토지피복 면적 시계열 변화 결과 (경기) 62
(표 23.) A1B시나리오에서 연구범위별 토지피복 면적 시계열 변화 결과 (강원) 65
(표 24.) A1B시나리오에서 원창 저수지유역의 2000년과 2100년 사이의 토지피복 변화....67
(표 25.) A1B시나리오에서 연구범위별 토지피복 면적 시계열 변화 결과 (충북) 68
(표 26.) A1B시나리오에서 원남 저수지유역의 2000년과 2100년 사이의 토지피복 변화 70
(표 27.) A1B시나리오에서 연구범위별 토지피복 면적 시계열 변화 결과 (충남) 71
(표 28.) A1B시나리오에서 고풍 저수지유역의 2000년과 2100년 사이의 토지피복 변화 73
(표 29.) A1B시나리오에서 연구범위별 토지피복 면적 시계열 변화 결과 (전북) 74
(표 30.) A1B시나리오에서 백석 저수지유역의 2000년과 2100년 사이의 토지피복 변화 76
(표 31.) A1B시나리오에서 연구범위별 토지피복 면적 시계열 변화 결과 (전남) 77
(표 32.) A1B시나리오에서 대포 저수지유역의 2000년과 2100년 사이의 토지피복 변화 79
(표 33.) A1B시나리오에서 연구범위별 토지피복 면적 시계열 변화 결과 (경북) 80
(표 34.) A1B시나리오에서 마북 저수지유역의 2000년과 2100년 사이의 토지피복 변화 82
(표 35.) A1B시나리오에서 연구범위별 토지피복 면적 시계열 변화 결과 (경남) 83
(표 36.) A1B시나리오에서 남성 저수지유역의 2000년과 2100년 사이의 토지피복 변화 85
(표 37.) 논벼의 재배가능기간의 변화 87
(표 38.) 논벼의 생육기간의 변화 88
(표 39.) 논벼의 품종별 이앙일의 변화 분석 결과 89
(표 40.) 논벼의 작부시기의 변화 분석 결과 (중생종) 93

(표 41.) 중부지역의 시기별 작부시기 96
(표 42.) 남부지역의 시기별 작부시기 96
(표 43.) FAO Penman-Monteith를 통한 증발산량 산정을 위한 조정 작물계수 97
(표 44.) 중부지역의 생육시기별 작물계수 97
(표 45.) 남부지역의 생육시기별 작물계수 97
(표 46.) 중부지역의 작부시기별 작물계수 98
(표 47.) 남부지역의 작부시기별 작물계수 98
(표 48.) 시기별 한발기준 10년빈도 작물증발산량 (중부지역) 100
(표 49.) 시기별 한발기준 10년빈도 작물증발산량 (남부지역) 100
(표 50.) 시기별 한발기준 10년빈도 순용수량 (중부지역) 101
(표 51.) 시기별 한발기준 10년빈도 순용수량 (남부지역) 101
(표 52.) 중부지역 대상지구 기초자료 102
(표 53.) 남부지역 대상지구 기초자료 102
(표 54.) 유역내 토지이용 비율 103
(표 55.) 시기별 관개면적 103
(표 56.) 시기별 한발기준 10년빈도 연최대 필요저수량 (중부지역) 105
(표 57.) 시기별 한발기준 10년빈도 연최대 필요저수량 (남부지역) 105

<그 림 목 차>

<그림 1.> Impact of human activities on freshwater resources and their management, with climate change being only one of multiple pressures (modified after Oki, 2005) 1
<그림 2.> 연구 방법 10
<그림 3.> 연구 대상지 11
<그림 4.> CLUE 모델 수행 과정 (Verburg et al., 1999) 12
<그림 5.> CLUE 모델 구조 (Veldkamp and Fresco, 1996; Verburg et al., 1999) 12
<그림 6.> 토지이용 변화 행렬 (Verburg et al., 2002; Verburg and Veldkamp, 2003) 13
<그림 7.> CLUE-s 모델의 토지이용변화 모의순서 (Verburg et al., 2002; Verburg and Veldkamp, 2004) 14
<그림 8.> A2 시나리오에서의 토지이용변화 모의 결과 (AIM: OECD) 16
<그림 9.> B2 시나리오에서의 토지이용변화 모의 결과 (AIM: OECD) 16
<그림 10.> 토지피복도 (환경부) 18
<그림 11.> 농업진흥구역 (농림부) 18
<그림 12.> 논벼 작부체계 변화 분석 흐름도 19
<그림 13.> 논벼의 작부시기 구분 기준 22
<그림 14.> 생육별 작물계수 곡선 (Allen et al., 1998) 24
<그림 15.> Adjustment to the $K_{c\,mid}$ values taken by FAO for different crop heights and mean daily wind speed (u_2) for sub-humidity conditions (Allen et al.,1998) 26
<그림 16.> Adjustment to the $K_{c\,mid}$ values taken by FAO for different crop heights and mean daily wind speed (u_2) for very-humidity conditions (Allen et al., 1998) .27
<그림 17.> 저수지에서의 물수지 구성 28
<그림 18.> 논용수 수요량 산정 흐름도 30
<그림 19.> 이앙재배시 작물 재배 기간 (농림부, 1998) 32
<그림 20.> 3단 TANK 모형의 개념도 33
<그림 21.> 기후변화 기상발생기 프로그램 초기화면 35
<그림 22.> 관측값과 프로그램 추출 기상자료의 비교 39
<그림 23.> 일별 관측 자료 - 생성 자료 비교 41
<그림 24.> 월별 관측 자료 - 생성 자료 비교 42
<그림 25.> LARS-WG 자료를 이용한 지역별 증발산량 분석 45
<그림 26.> LARS-WG 자료를 이용한 지역별 필요수량 (2020s) 47
<그림 27.> LARS-WG 자료를 이용한 지역별 필요수량 (2050s) 49
<그림 28.> LARS-WG 자료를 이용한 지역별 필요수량 (2080s) 51
<그림 29.> 인구 추계 변화율 (통계청) 52
<그림 30.> 인구 변화율 (AIM) 52
<그림 31.> 경기지역의 시가화지역 면적변화 시나리오 53
<그림 32.> 경기지역의 농업지역 면적변화 시나리오 53
<그림 33.> 경기지역의 산림지역 면적변화 시나리오 53
<그림 34.> 경기지역의 산림지역 면적변화 시나리오 53
<그림 35.> A1B 시나리오에서 충남지역의 토지피복면적 변화 54

<그림 36.> A1B 시나리오에서 경남지역의 토지피복면적 변화 54
<그림 37.> 논 분포 확률지도 56
<그림 38.> 산림 분포 확률지도 56
<그림 39.> 위성영상 (Daum 지도) 57
<그림 40.> 산림분포 확률지도 57
<그림 41.> 2050년의 시나리오별 토지피복분포 (경기) 60
<그림 42.> 2100년의 시나리오별 토지피복분포 (경기) 60
<그림 43.> 경기지역의 토지피복변화 (A1B 시나리오) 63
<그림 44.> 마둔 저수지 유역의 논 분포 변화 (A1B 시나리오) 64
<그림 45.> 강원지역의 토지피복변화 (A1B 시나리오) 66
<그림 46.> 원창 저수지 유역의 논 분포 변화 (A1B 시나리오) 67
<그림 47.> 충북지역의 토지피복변화 (A1B 시나리오) 69
<그림 48.> 원남 저수지 유역의 논 분포 변화 (A1B 시나리오) 70
<그림 49.> 충남지역의 토지피복변화 (A1B 시나리오) 72
<그림 50.> 고풍 저수지 유역의 논 분포 변화 (A1B 시나리오) 73
<그림 51.> 전북지역의 토지피복변화 (A1B 시나리오) 75
<그림 52.> 백석 저수지 유역의 논 분포 변화 (A1B 시나리오) 76
<그림 53.> 전남지역의 토지피복변화 (A1B 시나리오) 78
<그림 54.> 대포 저수지 유역의 논 분포 변화 (A1B 시나리오) 79
<그림 55.> 경북지역의 토지피복변화 (A1B 시나리오) 81
<그림 56.> 마북 저수지 유역의 논 분포 변화 (A1B 시나리오) 82
<그림 57.> 경남지역의 토지피복변화 (A1B 시나리오) 84
<그림 58.> 마북 저수지 유역의 논 분포 변화 (A1B 시나리오) 85
<그림 59.> 논벼의 재배가능기간의 변화 (중생종) 86
<그림 60.> 논벼의 생육기간의 변화 (중생종) 87
<그림 61.> 중부지역의 품종별 생육기간의 변화 90
<그림 62.> 남부지역의 품종별 생육기간의 변화 91
<그림 63.> 중부지역 작부시기 및 출수기 변화 94
<그림 64.> 남부지역 작부시기 및 출수기 변화 95
<그림 65.> 시기별 한발기준 10년빈도 작물증발산량 99
<그림 66.> 시기별 한발기준 10년빈도 순용수량 101
<그림 67.> 시기별 한발기준 10년빈도 연최대 필요저수량 104
<그림 68.> 강원 원창저수지 30년 일별 저수량 변화 (1980~2009) 106
<그림 69.> 강원 원창저수지 30년 일별 저수량 변화 (2010~2039) 106
<그림 70.> 강원 원창저수지 30년 일별 저수량 변화 (2040~2069) 107
<그림 71.> 강원 원창저수지 30년 일별 저수량 변화 (2070~2099) 107
<그림 72.> 경기 마둔저수지 30년 일별 저수량 변화 (1980~2009) 108
<그림 73.> 경기 마둔저수지 30년 일별 저수량 변화 (2010~2039) 108
<그림 74.> 경기 마둔저수지 30년 일별 저수량 변화 (2040~2069) 109
<그림 75.> 경기 마둔저수지 30년 일별 저수량 변화 (2070~2099) 109
<그림 76.> 충북 원남저수지 30년 일별 저수량 변화 (1980~2009) 110
<그림 77.> 충북 원남저수지 30년 일별 저수량 변화 (2010~2039) 110
<그림 78.> 충북 원남저수지 30년 일별 저수량 변화 (2040~2069) 111

<그림 79.> 충북 원남저수지 30년 일별 저수량 변화 (2070~2099) 111
<그림 80.> 충남 고풍저수지 30년 일별 저수량 변화 (1980~2009) 112
<그림 81.> 충남 고풍저수지 30년 일별 저수량 변화 (2010~2039) 112
<그림 82.> 충남 고풍저수지 30년 일별 저수량 변화 (2040~2069) 113
<그림 83.> 충남 고풍저수지 30년 일별 저수량 변화 (2070~2099) 113
<그림 84.> 전북 백석저수지 30년 일별 저수량 변화 (1980~2009) 114
<그림 85.> 전북 백석저수지 30년 일별 저수량 변화 (2010~2039) 114
<그림 86.> 전북 백석저수지 30년 일별 저수량 변화 (2040~2069) 115
<그림 87.> 전북 백석저수지 30년 일별 저수량 변화 (2070~2099) 115
<그림 88.> 전남 대포저수지 30년 일별 저수량 변화 (1980~2009) 116
<그림 89.> 전남 대포저수지 30년 일별 저수량 변화 (2010~2039) 116
<그림 90.> 전남 대포저수지 30년 일별 저수량 변화 (2040~2069) 117
<그림 91.> 전남 대포저수지 30년 일별 저수량 변화 (2070~2069) 117
<그림 92.> 경북 마북저수지 30년 일별 저수량 변화 (1980~2009) 118
<그림 93.> 경북 마북저수지 30년 일별 저수량 변화 (2010~2039) 118
<그림 94.> 경북 마북저수지 30년 일별 저수량 변화 (2040~2069) 119
<그림 95.> 경북 마북저수지 30년 일별 저수량 변화 (2070~2099) 119
<그림 96.> 경남 남성저수지 30년 일별 저수량 변화 (1980~2009) 120
<그림 97.> 경남 남성저수지 30년 일별 저수량 변화 (2010~2039) 120
<그림 98.> 경남 남성저수지 30년 일별 저수량 변화 (2040~2069) 121
<그림 99.> 경남 남성저수지 30년 일별 저수량 변화 (2070~2099) 121

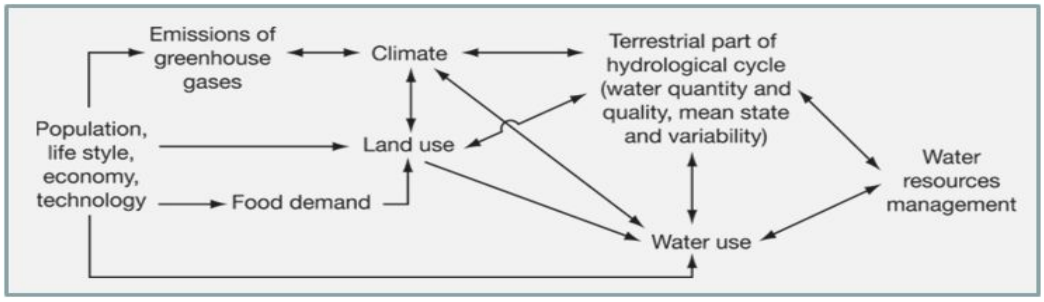
1장. 서론

1. 연구의 배경 및 필요성

1.1 기후변화와 토지이용변화

산업혁명 이후 과학기술의 급진적인 발전과 산업화로 인류의 삶의 질은 급속도로 향상된 반면, 생태계의 파괴와 환경악화로 인한 피해가 급증하고 있다. 화석연료의 연소로 발생하는 이산화탄소 등의 온실가스 농도 증가로 인한 지구 온난화는 지구 곳곳의 기후를 변화시킴으로써, 인류사회와 자연생태계에 영향을 미치고 있다. 이러한 기후변화가 지구환경에 미치는 영향의 중요성이 구체적으로 인식됨에 따라 선진국들은 기후변화 문제를 21세기에 최우선적으로 해결해야 할 문제로 다루고 있다.

2000년에 발표된 IPCC 연구보고서에 따르면 대기 중 이산화탄소는 자연흡수원(토양, 산림, 습지 등)에 의해 저감되며, 자연흡수원을 통해 1989년부터 1998년까지 매년 2.3기가톤의 탄소가 저감되었으나, 도시개발 등으로 인한 토지이용변화는 매년 1.6기가톤의 탄소를 대기 중으로 배출한다고 보고하였다(박찬, 2009). 또한 Turnet et al. (2007)은 지난 1세기 동안 인간활동에 의해 증가된 이산화탄소 양 중 35%는 토지이용변화에 의해서 발생되었다고 추정하며, 토지이용변화는 대기 중 온실가스를 증가시키는 주요 요인으로서 생물종다양성, 수문조건 등의 변화를 야기하여 생태계 뿐만 아니라 수자원 공급 안정성에도 심각한 영향을 미치는 원인이라 규정한 바 있다.



<그림 1.> Impact of human activities on freshwater resources and their management, with climate change being only one of multiple pressures (modified after Oki, 2005).

UN은 토지이용변화로 인한 이산화탄소의 배출을 막기 위하여 토지이용·토지이용변화·산림(Land Use·Land Use Chage·Forest, LULUCF)에 의한 이산화탄소 저감량을 기후변화협약의 의무저감량으로 명시하고 있다.

토지이용변화를 분석하는 것은 현재 가속화되고 있는 기후변화에 대응하고 포스트-교토체제 논의를 위한 대책을 마련하는 데 고려되어야 할 필수적인 요소로 판단된다.

우리나라는 협소한 국토면적과 과다한 인구로 토지나 수자원 등 국토자원 이용의 강도가 다른 나라에 비하여 현저하게 높은 실정이다. 특히 담수자원의 의존도가 높은 상황에서 기후변화와 같은 약간의 기후변동은 우리의 농업수자원에 심각한 문제를 발생할 가능

성이 내포되어 있으므로 이에 대한 미래 농업수자원의 전망을 통한 대응 마련은 필수적인 사항이다.

따라서 본 연구에서는 미래 기후변화에 따른 농업수자원 수요변화를 분석하고 그에 따른 농업수자원 관리 및 계획을 수립 하고자 한다.

본 연구에서는 1차년도 연구에서 생성한 미래 기상자료와 위성자료를 이용한 토지이용변화 및 논용수 변화를 분석하였고, 미래기상자료를 보다 객관적이고 우리나라의 지역적인 기후에 맞게 생성하기 위해서 IPCC에서 제공하는 전지구기후모델 생성자료 중 기온과 강우자료를 기반으로 하여 미래기상자료 생성프로그램을 개발 하였다.

지난해 1차 연구에서는 물수지변화의 입력자료 생성으로서 지역기후모델을 이용한 각 지역의 미래 기상자료(강우, 기온, 일사, 풍속, 습도, 증발)를 생성하고 물수지 분석을 시행하였고, 금년 2차년도 연구에서는 위성자료를 이용한 토지이용변화, 경작지 및 경작형태를 고려하여 농업수자원 분석과 미래기후자료 생성프로그램을 개발하였다. 마지막 3차년도에서는 1차, 2차 연구에서 도출된 결과를 근거로 한반도지역에 적정 물관리 및 수자원변화 대응에 대한 방향을 제시하고자 한다.

1.2 기후변화와 농업

농업은 다른 산업과 달리 원천적으로 기후 조건과 변화에 크게 좌우되는 분야로, 기후변화로 인한 영향에 가장 민감한 분야라고 할 수 있다. 안정적이고 지속적인 작물 생산을 위해서는 기후변화가 농업수자원에 미치는 영향에 대하여 정확히 파악하고, 이로 인해 발생할 수 있는 부정적인 효과를 최소화하기 위한 연구가 필요하다. 즉 기온 상승, 강수량 및 강우강도 변화, 일조시간 변화 등의 기후변화에 따른 농업 전반에 미치는 영향에 대한 평가가 필요하다(유승환, 2009).

작물생산을 좌우하는 3대 기후자원은 태양에너지, 온도, 물로서 태양에너지와 온도는 높은 양의 상관관계가 있으므로, 대부분의 경우 적정한 온도 유지와 물의 공급여하로 농업기후자원량을 평가할 수 있다. 따라서 기후변화로 인한 기온, 강수량 및 일사량 등의 변화는 농업부문에 있어서 긍정적인 영향과 부정적인 영향을 동시에 가지고 있다. 긍정적인 영향으로는 이산화탄소 증가에 따른 시비효과로 작물의 생산성 증가, 새로운 품종의 재배 가능지역 확대, 작물재배 기간 증가로 인한 이모작 확대, 월동작물 저온피해 감소, 시설재배 농작물의 난방비 절감이며, 반대로 부정적인 영향은 기온상승으로 인한 생육기간 단축으로 작물 수량감소와 품질저하, 잡초 및 농작물의 병해충 활동 증대, 유기물 분해 촉진으로 지력저하 및 강우증가로 토양침식 심화 등이 있다.

기후변화는 농작물의 종류, 특징 및 재배 방법에 따라 농업에 미치는 영향이 달라질 수 있는데, 다양한 작물 중 사회적으로 가장 큰 영향을 미치는 작물에 대한 연구가 선행되어야 할 것이다. 한국의 경우, 논벼가 대표적인 작물로서 기후변화가 논벼의 생육에 미치는 영향에 대한 연구가 중요하다. 논벼의 이앙시기, 개화 및 출수 시기, 재배기간 등은 영농계획에 있어서 가장 기본적인 요건으로, 이는 궁극적으로 농업기후지수와 농업용수에 영향을 미치게 되고, 더 나아가 농업기반시설 전반에도 영향을 주게 될 것으로 판단된다.

1.3 기후변화와 농업 수자원

지구 온난화에 따른 농업부분에 대한 영향중에서 농작물의 수자원 수요량은 현재 농업용수를 공급받아 재배하고 있는 수도작에 대한 지속가능한 경작을 위하여 매우 중요하다.

과학기술부, 건설교통부, 환경부 등에서의 기술 개발은 기후 변화 또는 기후변화에 의한 한반도 수자원 영향 평가에 대한 연구를 진행하고 있으며, 대부분의 연구결과는 대유역과 대규모의 다목적댐을 대상으로 하고 있어 농업 수자원과 같이 전국적으로 분포하면서 농업 생산력과 직접적으로 관련이 있는 농업용 수자원에 대해서는 연구가 부족한 상황이다.

지구 온난화에 의한 가뭄과 홍수의 빈도가 높아지고 있는 상황에서 기후 변화에 의한 가뭄 등과 같은 강수 부족, 이상 강우는 농업생산에 미치는 영향이 클 것으로 판단되며 이와 같은 기상 변화에 대처할 수 있도록 기후 변화에 의한 농업용수 수요량을 산정하여 미리 대처할 수 있도록 해야 한다.

지구온난화에 따른 기온상승, 강수량의 규모·빈도·패턴의 변화는 수문순환과 유출량 변화 등 수자원의 변화에 직접적인 영향을 줄 것으로 판단된다. 기후변화에 따른 기온상승은 증발산량 증가의 원인이 되며, 강수량이 증가한다 할지라도 집중호우와 증발산량의 증가로 인하여 토양수분 및 유출량의 잦은 변화가 예상되어 총 용수 수요량의 47%를 차지하는 농업용수에도 큰 영향을 미칠 것으로 판단된다. 즉, 홍수, 농업가뭄 등의 재해 증가로 인하여 관개기의 농업용수의 안정적 공급과 관리의 어려움이 예상되어 결과적으로 농업용수의 안정성을 위협받을 수도 있다.

국내·외에서 기후변화에 의한 농업 및 수자원 변화에 관한 다양한 연구가 활발하게 이루어지고 있으나, 국내에서는 기후변화 시나리오와 복합적인 요인에 따른 토지이용변화와 농업부분의 수자원, 농업생육환경의 변화를 종합적으로 분석한 연구는 미흡한 것으로 판단된다. 이에 우리나라의 지역적인 특성을 반영한 토지이용변화와 농업 수자원 변화 분석 연구가 필요할 것으로 사료된다.

1.4 연구개발의 필요성

기후변화로 전 세계의 평균기온은 0.6℃ 상승하였으며, 우리나라는 20세기 평균기온이 1.5℃상승한 것으로 분석되고 있고, 강수량 및 집중호우의 빈도 또한 증가하는 추세에 있다. 단기간에 강수량 및 집중호우의 빈도는 증가하는데 반해 국내의 경우 2011년에는 약 18억톤의 물 부족이 발생할 것으로 예상하고 있으며 각 분야별 이에 대한 사전대비책이 절실히 요구되고 있는 실정이다.

우리나라 하천유역은 지난 수십년 동안 꾸준한 토지이용의 변화가 지속되어 왔으나 우리나라의 수자원계획은 미래의 수문조건이 과거와 같다는 가정에서 계획되어 왔다. 이는 토지이용의 변화가 지역별로 상이하며 시계열별로 다양하게 나타날 뿐만 아니라 변화요인이 복합적인 성격을 지니므로 실증적 검증이 용이하지 않기 때문이다. 그러나 실효성 있는 기후변화에 대한 대응책마련을 위해서는 수문모형의 주요인자인 토지이용의 변화양상을 반영하는 수자원계획이 필요하다.

전체 수자원의 대략 50%를 차지하는 농업용수는 그 적용지역이 되는 농촌지역의 물

순환(지표수, 지하수)에 큰 영향을 미치고 있으며, 농촌지역 수자원의 변화에 따른 농촌용수 적정 이용방안에 대한 대책수립이 필요한 실정이다.

따라서 기후변화에 능동적으로 대처할 수 있는 농촌지역 수자원의 장기적인 계획의 수립을 위해서는 기후변화와 농촌지역 수자원의 관계를 예측하고, 평가하는 연구가 선행되어야한다.

앞서 살펴본 바와 같이 기후변화에 따른 농업생태 및 농업수자원 분야의 영향을 파악하는 연구의 중요성이 높아지고 있다. 이에 본 연구에서는 기후변화 시나리오에 따른 토지이용 및 논벼 작부체계의 변화를 분석하고 이에 따른 대상지역에서의 논용수의 영향을 분석하고자 하였다.

2. 기후변화에 대한 연구 동향

2.1 기후변화와 토지이용변화

1) 국내 연구동향

우리나라에서는 1990년대부터 기후 변화에 대한 관심을 갖기 시작하였으며 기상청에서 1994년에 주최한 기후변화가 한반도에 미치는 영향에 관한 심포지엄을 개최하였다. 이 심포지엄에서 강인식(1994)은 “기후변화 예측시나리오. - 기온변화예측”에 대하여 발표하였다.

최근에는 여러 학술지에 인구가 많고 산업의 발전 속도가 빠른 중국에서의 기후변화에 의한 관개용수 (농업 수자원)의 변화 및 수요량 예측 논문들이 발표되고 있으며, 이외에도 국가단위에서의 기후 변화와 관개용수에 관련된 논문들이 활발하게 발표되고 있다.

2007년에는 IPCC의 AR4 보고서가 발간되었으며, 이는 이전의 기후변화 모형에 비하여 공간해상도가 110km 정도로 줄어들어 FAR의 500km 보다 정교한 결과를 제공해주게 됨에 따라 이를 활용한 수자원 분석이 활발하게 진행되고 있다.

교육과학기술부의 21세기 프론티어 연구개발 사업의 “수자원의 지속적 확보 기술 개발 사업단의 세부과제인 통합수자원 관리기술 개발에서 대유역과 대규모의 다목적댐을 대상으로 기후 변화에 의한 한반도 수자원 영향 평가에 대한 연구를 진행하고 있다.

반면, 기후변화와 복합적인 토지이용변화를 종합적으로 분석하는 연구는 상대적으로 미흡한 실정이며 토지이용변화를 중심으로 김의홍(1994), 주용(2003)이 Markov Chain 개념을 적용하였다. 이외에 셀룰라 오토마타 모형을 이용한 토지이용변화 예측 연구가 주로 이루어지고 있다(임창호, 2002;이용준, 2007).

최근 CLUE (Conversion of Land Use and its Effects)를 이용한 연구로 김우선 등(2008)은 토지이용변화를 야기하는 상관요인을 찾고 이를 이용하여 토지이용을 시뮬레이션 한 후, Landsat자료와 비교 검토한 바 있다.

2) 해외 연구동향

국외의 기후변화 관련 연구는 여러 분야에서 다양하게 이루어지고 있으며 기후변화 관련 연구는 전지구기후변화 모델의 운영을 통한 미래 기후 변화를 예측하는 연구를 중심으로 기후 변화 모델의 결과를 활용하여 산업별 또는 연구분야에 따른 영향을 평가하는 방식으로 이루어지고 있다. 예를 들면 기후변화 모델 운영을 통한 기온 및 강수량 변화를 바탕으로 농업 또는 수자원변화를 예측하는 것이 있다.

토지이용변화에 대한 연구는 토지이용변화의 관측과 모니터링, 토지이용변화와 인간환경과의 상관성 연구, 토지이용변화 모델링, 토지이용변화에 따른 생태계 취약성·지속가능성 등의 연구로 구분할 수 있다.(Turnet et al., 2007)

토지이용변화와 사회-경제적 변수요인과의 상관성에 관한 연구로는 Brown et al. (2000), Lambin et al. (2000), Deal and Schunk (2004)의 토지이용의 변화와 경제적 영향, 토지이용정책에 따른 농업, 산림 면적의 변화, 시장변화에 따른 토지이용변화 분석 등에 관한 연구가 있다.(박찬, 2009)

토지이용변화 모델링에 관한 연구는 미래의 토지이용변화를 예측하기 위하여 과거의 토지이용변화 패턴을 기반으로 다양한 통합모형이 개발되고 있는 실정이다. 모델의 종류로는 IMAGE (Integrated Modelto Assess the Global Environment), CLUE (Conversion of Land Use change and its Effects), SALU (SAhelian Land-Use), LEAM (Land use Evolution and impace Assessment Model) 등이 있다(Verburg et al., 2002).

유럽의 경우, 미래 사회의 사회-경제, 토지이용 등의 변화양상을 일관되게 파악하기 위하여 미래 시나리오 설정을 통해 미래 변화양상을 파악하는 연구가 진행되고 있으며, 시나리오는 IPCC의 SRES 시나리오를 바탕으로 유럽의 사회-경제적 여건(인구, 경제, 사회구저, 토지이용변화)을 분석하여 이를 기초로 시나리오를 설정하고 있다(Rounsevell et al. 2006).

2.2 기후변화와 농업분야

1) 국내 연구동향

농업은 다른 산업과 달리 원천적으로 기후적 조건과 변화에 크게 좌우되는 분야로써 이러한 기후변화에 따른 농업환경변화를 보다 정확히 예측하여, 이를 바탕으로 효과적인 대응 전략 마련이 절실히 요구된다. 따라서 기후변화가 농업에 미치는 영향에 대한 다양한 연구가 이루어졌으며 이는 다음과 같다.

윤성호 등(2001)은 2001년 IPCC에서 보고한 기후변화의 과정과 예측 시나리오와 기상청에서 발간한 한국기후표를 이용하여 우리나라의 기온과 강수량의 변화로부터 향후 지구온난화로 인한 농업에 미치는 영향을 분석하였다. 또한 농업부문의 기후변화 대책으로 기상재해에 대한 사전대책 및 기후변화에 대한 적응력 증대 등과 같은 농업생태계 안정에 역동적으로 대응해야 한다고 제언하였다.

윤성탁(2005)은 지구온난화와 GCMs 모델결과와 IPCC에서 발표한 기후변화의 예측 시나리오를 중심으로 작물기간 동안의 적산온도가 상승하여 재배적지 및 한계선이 변화하고 병해충에 의한 작물의 피해 및 우리나라 농업생산에 대한 전망을 하였으며, 이에 따른 대응 방안을 모색하고자 하였다.

정유란 등(2006)은 기상연구소에서 제작한 온실가스 증가에 따른 한반도 기온 및 강수량 변화 시나리오와 벼의 생장모형을 이용하여 벼 작황의 지리적 분포양상을 복원함으로써 지구온난화에 따른 우리나라 벼농사지대의 생산성을 재평가하였으며, 그 결과 출수기가 단축되고 수량이 감소하는 것으로 나타났다.

나영은 등(2007a, 2007b)은 기후변화에 따른 농업부문의 영향 및 적응 방안, 취약성 평가에 관한 해외의 국제기관과 각 나라의 연구기관의 취약성 평가방법 및 연구동향을 살펴보았으며, 그 결과 과거 발생상황 및 피해상황을 종합적으로 분석하여 이상기후에 대한 취약지역을 선정하고 적응능력을 향상시키는 기술과 정책이 필요하다고 제언하였다.

심교문 등(2008)은 농업생산의 관점에서 기후자원을 평가하는 농업기후지수를 이용하여 기후변화에 따른 식물온도 출현지속기간, 작물온도 출현지속기간, 벼 이앙기의 한발지수, 기후생산력지수, 무상기간 및 기후학적 정적 벼 출수기의 변동성을 과거와 비교·분석하였다.

이승호 등(2008)은 농업관련 통계자료와 기후자료를 분석하여 식량작물의 벼와 보리 및 과수류 그리고 채소류의 생육시기와 생육상태의 변화 경황과 이와 관련된 기후요소를 분석하여 기후변화가 농업생태에 미치는 영향을 분석하였다.

서영호 등(2010)은 강원 지역에서의 최근 10년간(2000~2009)의 기상 환경을 과거 30년간의 평균(1971~2000)과 비교하여 벼 재배의 기상환경 변화 추이를 살펴보고, 고품질 쌀의 안정적인 생산을 위한 대책을 수립하기 위한 기초 자료를 제공하고자 하였다. 평년에 비해 기온이 0.5℃ 상승하고, 일교차는 0.1℃ 줄었으며, 강수량은 122mm 증가하였고, 일조시간은 151시간 감소하는 것으로 나타났다. 특히, 벼가 본답에서 주로 생육하는 6월부터 9월까지는 연중 기후 변화에 비해 강수량 증가(151mm)와 일조 시간 감소(86시간) 경향이 뚜렷하였다. 고품질 벼 생산을 위한 등숙 온도인 20~22℃를 기준으로 산출한 알맞은 출수기는 평년에 비해 춘천, 홍천, 원주, 강릉은 늦어졌으나, 철원은 앞당겨졌다.

2) 해외 연구동향

Buan (1996)은 4개의 GCM 시나리오를 이용하여 필리핀에서의 기후변화에 따른 벼와 농작물의 취약성과 적용성을 파악한 결과, 벼의 경우 CO2 변화에 생육에 즉각적인 반응을 보이는 반면, 옥수수 작물의 경우 기온상승과 CO2 증가에 영향을 비교적 적게 받을 것으로 예상되었다.

Rosenberg et al. (2003b)은 HadCM2와 EPIC (Environmental Policy Integrated Climate) 모델을 이용하여 2025~2034년과 2090~2099년에 기후변화에 따른 작물생육과 생태계변화에 대하여 분석하였다.

3) 국내주요기관의 연구 결과

기후변화에 따른 농업생태계 영향에 따른 취약성을 평가하고 적응방안을 구축하려는 연구가 수행된 바 있다. 기후변화가 벼의 생산성에 미치는 영향으로 가장 크게 작용하는 것은 병해충에 의한 피해였으며 병해충의 급증 원인은 겨울철 고온과 잦은 강우빈도에 의한 일조시간의 부족으로 나타났다. 특히 일조량 부족은 미질을 크게 떨어뜨리는 결과를 초래한다. 또한 지구온난화에 의하여 작물기간은 길어지고, 벼 재배 북방한계선은 현재보다 북상할 것으로 연구되고 있으며, 벼의 수량은 현재의 벼 품종을 재배할 경우 CO2 농도가 증가되는 것은 일단 생산성에 좋은 영향을 미칠 수 있으나 고온현상은 생육기간을 단축시켜 생산량감소의 원인이 될 수 있다. 이에 따라 지구온난화에 따라 벼의 생산성은 약 11% 감소할 것으로 연구되고 있다(농촌진흥청, 2007).

남해안 지역의 기후변화에 대한 취약성 평가 연구도 수행된 바 있으며 연구결과 벼는 여름작물로 기온이 상승하면 재배 가능지역이 확대될 것으로 나타났다. 이앙재배에서는 조생종 재배지대가 중생종으로, 중생종 재배지대는 만생종으로 전환될 것이며, 현재 온도가 낮아 벼농사를 하지 않고 있는 표고 600m 이상의 산간지대에서 일부 조생종재배가 가능할 것으로 나타났다. 이에 따라 답의 면적은 전반적으로 증가하고, 벼의 생산량 역시 전반적으로 증가하게 될 추세이다. 기후변화에 따른 벼 이앙기와 성숙기 차이를 살펴보면 이앙기 조한일은 2~3일 빨라지고, 벼 재배 가능기간은 4~6일 증가하게 된다. 벼 출수기의 변화를 살펴보면 출수기조한일은 1~3일정도 빨라지고, 안전출수기는 1~2일 빨라지게 된다. 특히 목포, 완도 순천, 장흥 해남, 고흥, 통영, 마산, 진주 지역에서는 출수일이 더욱 빨라지고, 여수, 부산, 거제, 남해 지역에서는 출수일이 연장되는 결과가 분석되었다(기상청, 2009).

한반도 기후변화 시나리오와 농림업분야 대응방향에 대한 연구를 살펴보면 향후 10년간 봄, 가을에 강우량이 감소하고 여름철에 강우량이 증가하며, 기온도 최근 10년보다 상승할 것으로 예상되고 있다. 봄철과 가을철의 기온상승으로 봄은 빨리 오고 가을은 늦게까지 지속되어 작물생육유효온도 기간이 길어질 것으로 예상되며 작물재배기간의 차이는 기후변동에 따른 지역간 생산성 변화를 발생시킬 것으로 예상된다. 또한 봄철 강수량의 감소경향으로 인해서 봄 가뭄이 심해지고 식물체의 대사활동, 형태형성, 생장 및 수량형성에 영향을 미쳐 작물의 생장과 발육을 저하시킬 가능성이 높아지게 된다. 온난화 현상이 심화되면 우리나라와 같은 중위도 지역에서도 생육시기별로 고온 피해가 일어날 가능성이 높아지고 생육기간 중 전반적인 고온은 작물의 정상적인 생육기간을 단축시켜 작물의 수량과 품질 저하시키는 문제가 발생할 수 있다(농림부, 2003).

(표 1.) 기후변화에 따른 농업부분 변화의 기존 연구 내용

산정 인자	산정 내용	기존 연구 결과	출 처
이앙기조한일	일평균기온 15℃ 출현 첫날	▪ 1971~2000년에는 약 4~7일 빨라짐	이정태 등, 2003
수확기만한일	일평균기온 15℃ 출현 마지막날		
이앙기만한일	이앙에서 출수까지의 소요 적산 온도	▪ 조생종: 71~2000년에는 약 3일 늦어짐 ▪ 중생종보다 중만생종에 큰 영향을 미침	
출수기조한일	일최저기온 19℃가 출현되는 초일로부터 15일 후	▪ 1971~2000년에는 약 1~5일 빨라짐	
안전 출수기	일최저기온 19℃가 출현되는 초일로부터 20일 후	▪ 1971~2000년에는 약 1~5일 빨라짐	
안전 출수 및 출수만한일	일최저기온 10℃, 일평균기온 5℃ 이하가 되는 최종일부터 역산하여 적산온도 880℃(안전 출수 만한일) / 800℃(출수만한일)를 확보하게 되는 일	▪ 안전출수기와 출수기만한일의 지역적 편차 - 1971~2000년대에 0~6일 정도 늦어짐 - 울릉도와 추풍령은 차이가 없음 - 강릉, 대구, 광주에서는 차이가 큼	
출수기별 등숙기온	출수후 등숙기 40일 동안의 평균기온	▪ 1931~1960년의 출수기가 7월26일인 경우 등숙기 40일 간의 평균기온은 25~26℃. ▪ 출수기가 10일 정도 늦어질수록 등숙기온은 1~2℃ 낮아짐	심교문 등, 2008
적정 벼 출수기	출수 후 40일간의 일 평균기온	▪ 벼출수기의 출현 날짜가 늦춰짐 ▪ 적정 출수시작일과 종료일이 70년대보다 7일 정도 늦춰짐	
식물온도 출현지속기간	일 평균기온 5℃이상인 일수	▪ 평균 출현초일은 과거 18년간보다 평균 5일 빠름 ▪ 평균 출현종일은 평균 3일 늦음 ▪ 출현지속기간은 약 9일 정도 길어짐	
작물온도 출현지속기간 (여름작물)	일 평균기온 10℃이상 일수	▪ 전국 평균 214일로 과거보다 평균 4일 정도 길어짐 ▪ 태백 준고랭지 및 소백산간지에서는 2~4일 짧아짐 ▪ 중부의 일부지역은 과거보다 10일 이상 길어짐	
작물온도 출현지속기간 (벼)	유효온도 15℃ 이상으로 벼의 본답 모내기가 가능해지기 시작하는 시기	▪ 과거보다 4일 정도 빨라짐	
벼 이앙기의 한발지수	4~6월 적산증발량과 강수량 비	▪ 태백고냉 및 준고냉지, 영남 내륙산간 및 분지지역을 중심으로 개선 ▪ 근래에 증가한 강수량에 비해서 개선폭은 적은편 임	
벼 이앙기의 저온출현 변화	이앙시기를 5월 15일부터 6월 5일로 한정하고 저온출현 한계온도는 평균기온 13℃를 기준	▪ 이앙기의 저온출현율 2%의 등치선이 서해안을 중심으로 북상하여 전국적으로 저온 위험도가 낮아짐 ▪ 태백 고냉 및 준고냉지대와 동해안 중부와 북부 해안지대의 저온출현율도 낮아지고 있음	
기후생산력	출수기부터 출수기간 40일간의 평균기온 및 일조시간과 벼 수량과의 관계식	▪ 전국적으로 낮아지는 경향을 보임 ▪ 등숙기간의 일조시간의 감소와 등숙기간의 기온 상승에 기인	

2.3 기후변화와 농업 수자원

1) 국내 연구 동향

기후변화가 농업수자원에 미치는 영향에 대한 연구를 살펴보면, 정상옥(2009)은 HadCM3 GCM 모형 자료를 이용하기 위하여 통계적 규모축소화 (downscaling) 방법의 일종인 kriging 방법을 사용하였으며 낙동강 권역의 농업용수 수요량을 분석한 결과, 유효강우량의 증가량이 증발산량의 증가량 보다 크기 때문에 단위용수량 및 관개요구량의 미래 시나리오에 대한 추정치가 감소할 것으로 예측되었다.

홍은미 등(2009)은 기상자료와 국립기상연구소에서 제공하는 A2 시나리오에 따른 기후변화 예측 결과를 바탕으로 LARS-WG 일 기상 생성모형을 이용하여 미래의 90년간의 일별 기상자료를 모의하여, 미래 기후변화 추이를 살펴보고 이에 따른 관개 기간 동안의 논벼의 작물증발산량을 산정하였다.

2) 해외 연구 동향

Rosenberg et al. (2003a)은 기후변화가 관개용수에 미치는 영향을 분석하기 위하여 HadCM2모델을 이용하여 유역단위 시나리오를 만들고 기후변화에 따른 연 농업용수량 변화 뿐 아니라 계절별 영향에 대하여 미국의 대표적인 농업유역에서의 관개용수 공급 변화를 추정하였다.

Fischer et al. (2007)은 기후변화에 따른 전지구적, 지역적 농업용수 수요량의 잠재적 변화를 추정한 결과 관개량은 증가하는 것으로 나타났으며, 재생가능한 수자원 이용으로 수자원 이용량을 완화할 경우 완화하지 않은 것보다 40%정도 기후변화에 따른 관개량 감소효과를 나타낼 것으로 예상하였다.

Silva et al. (2007)는 HadCM3의 2050s 시나리오를 이용하여 스리랑카에서의 기후변화에 따른 우기(wet season)의 논벼에 대한 관개용수량 변화를 추정한 결과 A2 시나리오의 경우 23%, B2시나리오는 평균적으로 13%의 관개량이 증가할 것으로 추정되었다.

2장. 연구방법

1. 전체 연구방법 개념도

1.1 토지이용 및 논벼작부체계 변화 분석

○ 토지이용변화 모델을 바탕으로 기후변화 시나리오에 따른 논벼재배지역의 변화 양상 예측

○ 기온 및 강수량 변화에 따른 논벼작부체계 변화 분석

1.2 논벼 기준작물증발산량 산정 및 필요수량 분석

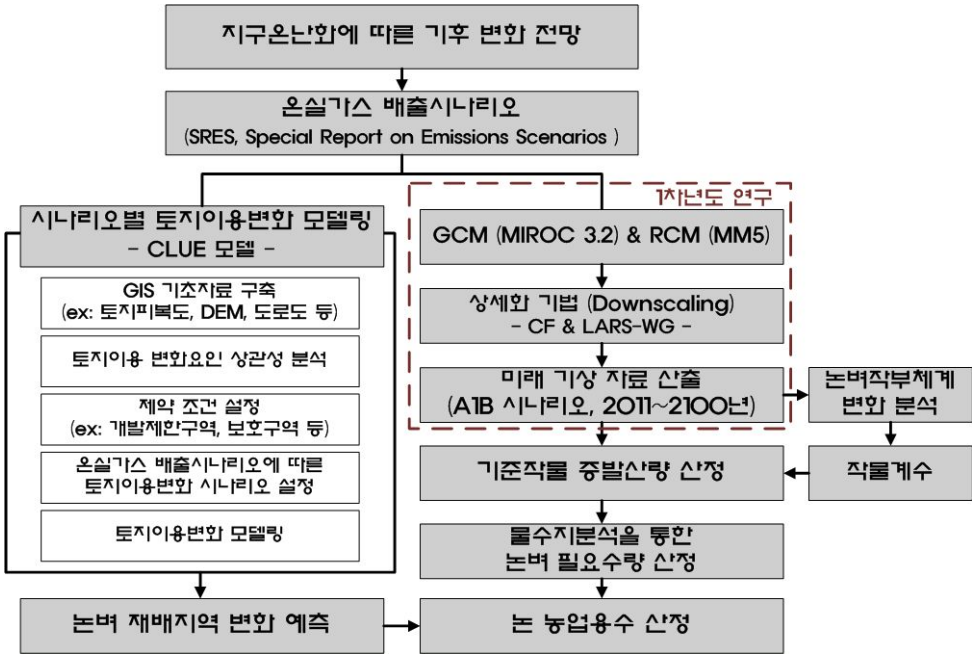
○ 기 구축된 기후변화 기상자료를 바탕으로 기준작물증발산량 산정

○ 물수지분석을 통한 논 필요수량을 산정하고, 논벼재배 지역 변화에 따른 논 농업용수 산정 및 비교·분석

1.3 논벼 작물계수 적용에 따른 영향 분석

○ 기후변화에 따른 재배기간 등의 변화를 논벼에 대한 작물계수 적용시 시·공간적으로 미치는 영향에 대하여 분석

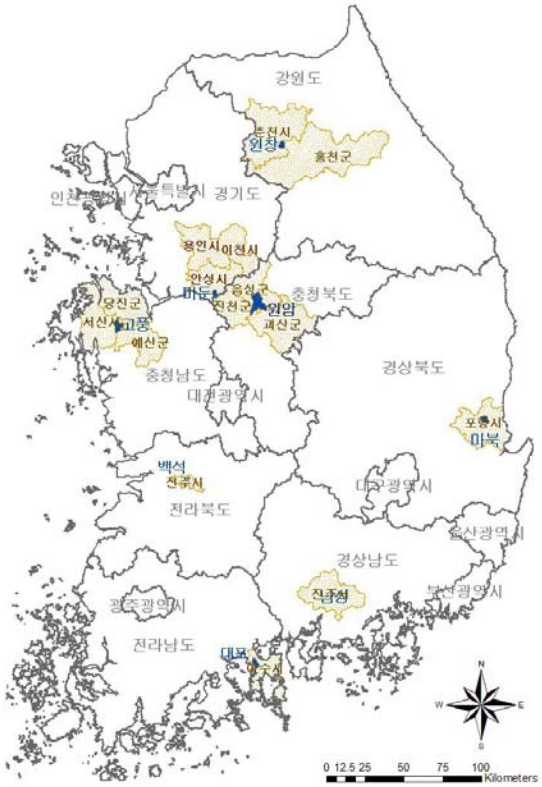
→ **기후변화 전망에 따른 토지이용변화와 농업용수 수요변화를 예측하여 이에 따른 농업수자원 관리에 대한 대응 방안 개발에 기여하고자 함.**



<그림 2.> 연구 방법

1.4 연구 대상지

1차 년도의 연구 대상지를 바탕으로 각 저수지를 포함하는 시/군 단위의 행정구역을 선정하여 <그림 3.>과 같이 연구 대상지를 결정하였다. 도별 하나의 시/군이 선정되었고 강원도 춘천, 경기도 수원, 충북 청주, 충남 서산은 중부지역으로 구분하였고 경북 포항, 경남 진주, 전북 전주, 전남 여수는 남부지역으로 구분하였다. 본 연구의 대상저수지의 명칭과 유역면적, 해당 시/군 지역은 (표 2.)와 같다.



<그림 3.> 연구 대상지

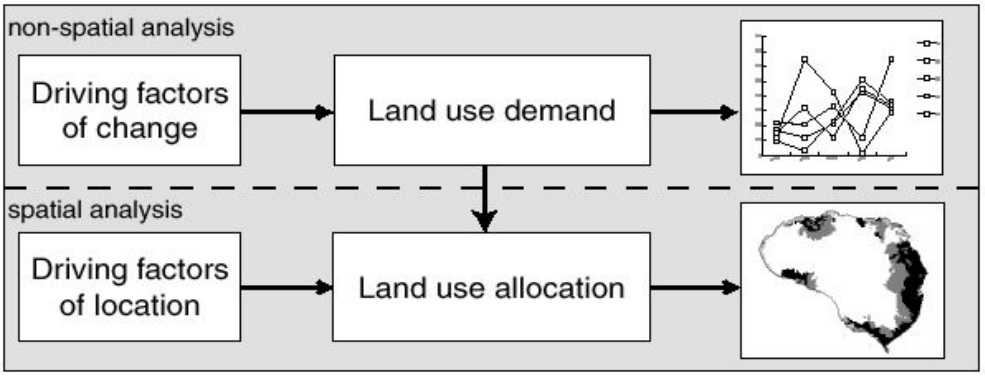
(표 2.) 도별 저수지 및 연구 범위

지 역	저수지	유역 (ha)	연구 범위 (시/군)
경기	마둔	529	안성/용인/이천
강원	원창	305	춘천/홍천
충북	원남	1,080	음성/진천/괴산
충남	고풍	1,293	서산/당진/예산
전북	백석	374	전주
전남	대포	260	여수
경북	마북	650	포항
경남	남성	392	진주

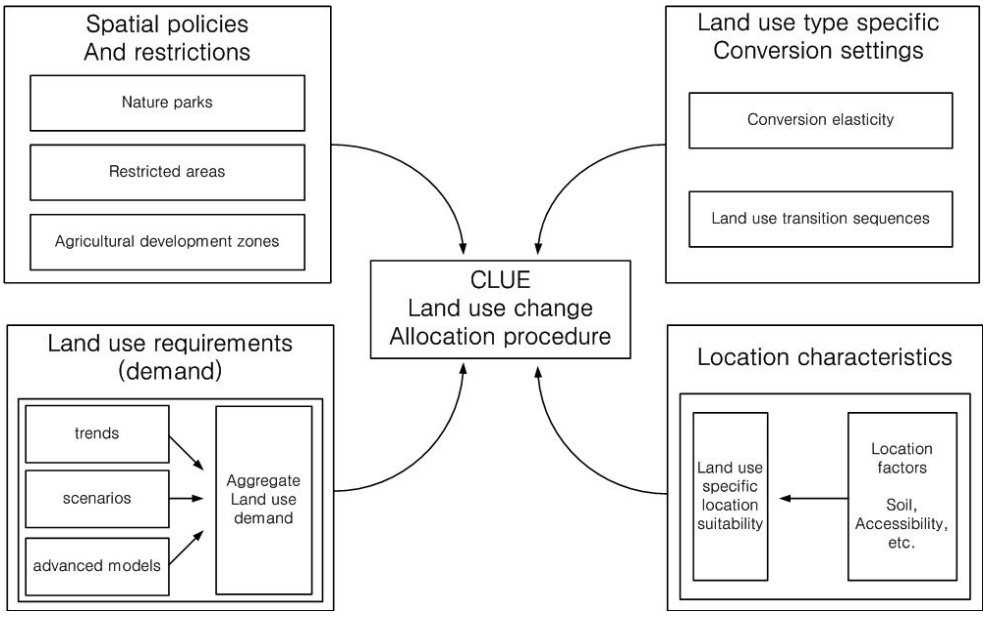
2. 토지이용 변화 모델링

2.1 CLUE (Conversion of Land Use and its Effects modeling framework)

CLUE 모델은 네덜란드의 Wageningen 대학에서 개발한 모델로 각 토지피복 분류 사이의 경쟁관계의 동적모델링을 통하여 토지이용과 구동요인의 관계를 정량화하고 이를 이용하여 토지이용변화를 모의하는 프로그램이다(Verburg et al., 1999). 이 모델은 <그림 4.>와 같이 비공간적 분석과 공간적 분석으로 나누어 수행된다. 비공간적 분석에서는 토지이용변화를 유도하는 구동요인과 토지이용과의 상관관계를 통계분석을 통해 파악하고 총 변화면적을 시나리오로 설정 한 후, 공간적 분석 모듈에서는 대상지역의 래스터 자료로부터 토지이용변화 위치를 배분하게 된다.



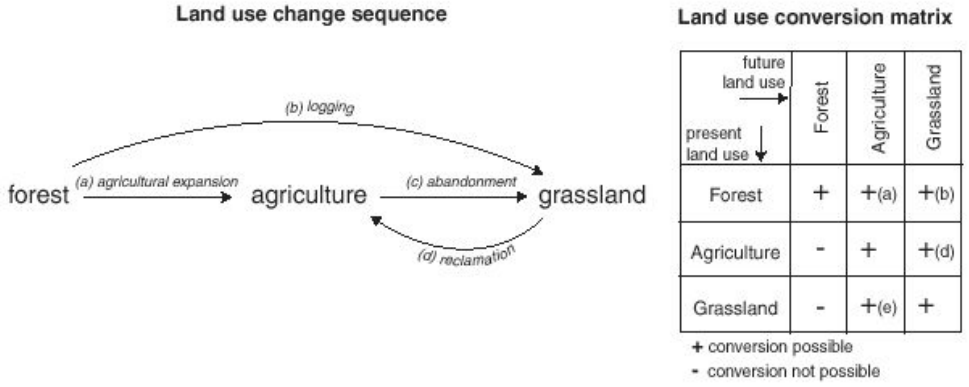
<그림 4.> CLUE 모델 수행 과정 (Verburg et al., 1999)



<그림 5.> CLUE 모델 구조
(Veldkamp and Fresco, 1996; Verburg et al., 1999).

이를 구체적으로 살펴보면 4가지 모듈로 구분하여 설명할 수 있다<그림 5>. 첫 번째 모듈은 공간정책과 제약조건들을 반영하는 부분(Spatial policies and restrictions)으로 국립공원이나 개발제한구역, 농업지역 등을 변화제한조건으로 규정하게 되며, 다음으로 토지이용별로 변화특성을 설정하는 모듈(Land use type specific conversion settings)에서는 변화가능성을 나타내는 전이 특성값(Conversion elasticity)과 각 토지분류 사이의 상호 변화가능성을 나타내는 행렬식(Land use transition sequeances)을 구성한다. 세 번째로는 과거의 토지이용변화 패턴과 토지이용변화 총량이나 인구변화 등을 반영한 시나리오를 바탕으로 토지이용변화 요구량(Land use requirements)을 설정하고, 마지막으로 다양한 구동요인으로부터 정량화한 토지이용의 위치 적합성(Location characteristics)을 확률 지도로 나타내, 이를 활용하여 토지변화를 공간적으로 표현하는 모듈로 구성된다.

정책이나 제약조건으로 규제되는 토지피복은 현재의 토지피복상태를 유지하도록 각 위치에 특정 토지피복상태를 미리 선언하여 작성한 규제지도를 입력자료로 활용하고, 각 토지이용간의 상호 변화가능성을 나타내는 전이 특성값은 변화 가능성이 큰 토지피복에서는 0에 가까운 값을 갖도록 하고 비가역적인 변화특성을 갖는 토지피복에 1에 가까운 값을 할당하여 입력한다. 변환행렬은 <그림 6> 과 같이 구성할 수 있다. 예를 들어 산림에서 경지를 확장하기 위해 농지를 개발하면 (a)로 표시된 행렬요소에 그 특성을 표현하고 산림을 벌목하여 목초지로 변화하게 되면 (b)로 표현된 요소에 그 변환 가능성을 나타낼 수 있다. 행렬요소는 변화 가능할 경우는 1, 변화 불가능할 경우는 0으로 간단하게 구성할 수도 있고, 윤작과 같은 주기적인 변환 속성을 표현하여 구성할 수도 있다.



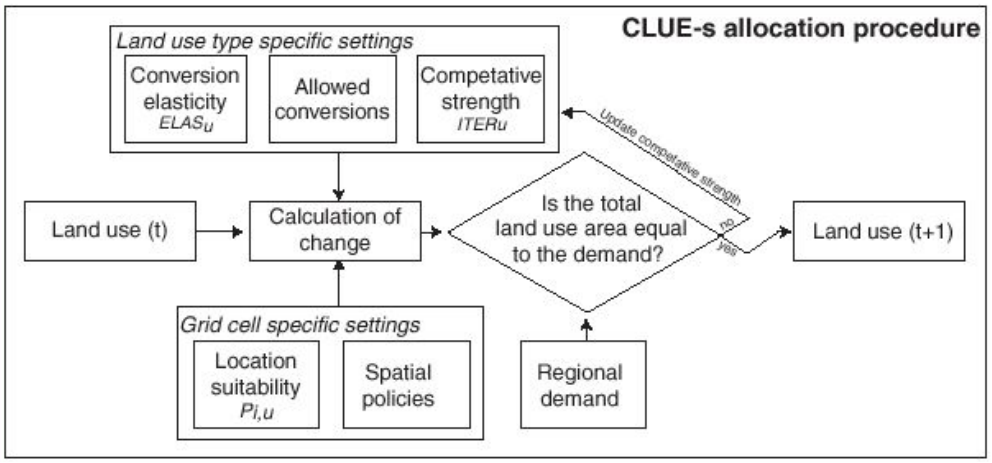
<그림 6.> 토지이용 변화 행렬 (Verburg et al., 2002; Verburg and Veldkamp, 2003).

다음으로 본 연구에서의 토지이용 시나리오의 경우, 온실가스 배출 시나리오에 따른 미래의 논분포 변화를 알아보기 위해, 일본의 NIES (National Institute of Environmental Studies) 에서 수행한 AIM (Asian Pacific Integrated Model)의 SRES (IPCC, 2000) 모델링 결과를 바탕으로 대상지의 정량적 토지이용에 대한 총면적 변화 시나리오를 설정하였다. 또한, 토지이용과 관련 있는 7가지 구동요인과 각 토지피복별 상관성 분석을 위해, ROC (Receiver Operating Characteristic) 검정과 이분형 로지스틱 회귀분석을 수행하였으며, 각 토지이용 특성식을 다음과 같은 로짓모형으로 나타내어 활용하였다.

$$Log(\frac{P_l}{1-P_l}) = \beta_0 + \beta_1 X_{1,l} + \beta_2 X_{2,l} \ldots \beta_n X_{n,l}$$

$$where,\ P_i:\ the\ probability\ of\ a\ gridcell\ on\ location\ i\ ,\ X: location\ factor$$

마지막으로 기후변화 시나리오를 바탕으로 설정된 총 토지피복면적 시나리오와 토지피복별 위치 적합성을 이용하여 미래의 토지이용변화를 <그림 7.>과 같이 모의하였다.



<그림 7.> CLUE-s 모델의 토지이용변화 모의순서
(Verburg et al., 2002; Verburg and Veldkamp, 2004).

2.2 토지이용변화 시나리오 설정

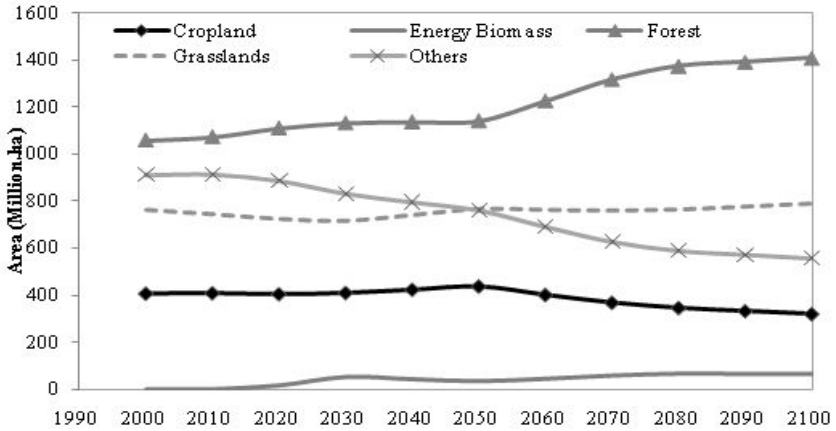
1) SRES (Special Report on Emissions Scenarios)

SRES 시나리오는 기존의 배출시나리오의 검토, 서술적 시나리오 작성, 정량적 시나리오 작성, 인터넷에 의한 공표와 의견 청취, 정량적 시나리오의 개량 등 5 단계를 걸쳐 작성되었다. 그 결과, 경제지향과 환경지향으로 구분되는 A-B축과 전지구적 범위와 지역적 범위로 구분되는 1-2축을 기준으로 A1, A2, B1, B2 등 4개의 서술적 시나리오를 작성하였으며, 1998년부터 시나리오의 정량화를 시작하여 4개의 시나리오마다 각각 추가 시나리오를 작성하여 총 40개의 배출시나리오가 마련되었다(한국환경정책평가연구원, 2004). 본 연구에서는 경기도 지역의 경우, 기후변화 시나리오의 A1B, A2, B1, B2의 토지피복변화를 모두 산정하여 비교하고, 나머지 7개 지역은 미래 기상자료가 제공되는 A1B 시나리오를 중심으로 살펴보았다.

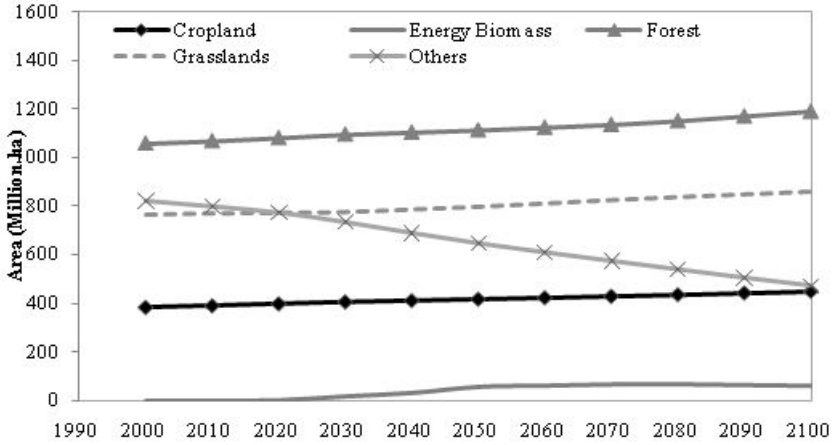
2) AIM (Asia-Pacific Integrated Model)

본 연구에서는 기후, 지형조건이 한국과 유사하여 적용성이 좋을 것이라 판단되는 일본 국립환경연구소의 아시아태평양통합모델의 온실가스 배출시나리오별 토지이용변화 추계결과를 활용하였다.

AIM의 시뮬레이션 결과는 WORLD, ASIAP, EFSU, ROW, OECD 등으로 구분하여 인구와 국내총생산(GDP), 토지이용 변화 면적과 이산화탄소 배출 등의 변화가 시나리오별로 제공된다. 한국은 지리적으로는 아시아 지역인 ASIAP 에 포함되지만, 한국의 인구변화추세와 국내총생산의 변화를 AIM의 결과와 비교해보면 OECD국가 지역의 변화 패턴과 유사하게 나타나고 있다. 따라서 본 연구의 토지이용변화 시나리오는 ASIAP지역이 아닌 OECD 지역의 토지이용변화 추세를 기본으로 하여 작성하였고, 시가화지역은 대상지의 인구추계결과를 고려하여 면적 시나리오를 설정하였다. 시나리오별 상세 조건은 (표 3.)과 같다.



<그림 8.> A2 시나리오에서의 토지이용변화 모의 결과
(AIM : OECD)



<그림 9.> B2 시나리오에서의 토지이용변화 모의 결과
(AIM : OECD)

(표 3.) 시나리오 설정 조건

		A1 A1B (balanced A1 scenario)	A2	B1	B2
SRES 1)	Derived characteristics	Very rapid economic growth Rapid development and introduction of new technologies Less emphasis on food quality and environmental issues	Less concern for rapid economic development and environmental issues Emphasis on maintaining regional cultural identities	Emphasis on global solutions Clean and environmentally friendly technologies Interest in food quality and environmental issues	Emphasis on local solutions Emphasis on the sustainable use of resources Emphasis on the quality of life and food
AIM 2)	Economic and demographic	High growth/Tiger world storyline Low projections for the World Population Rapid increase in urbanization	Regionalization pluralism storyline High growth projection for the world population Urbanization decreases	Environmental success storyline Low projections on population growth (as in A1)	Mixed Green Bag storyline The World Bank projections on global population Urbanization decreases
	Technology parameters	Very high biomass availability High land-use productivity improvement	Medium biomass availability Medium land-use productivity improvement	Medium biomass availability High land-use productivity improvement	Medium biomass availability Medium land-use productivity improvement
	Land productivity improvement	Cropland: 1.5%/year Grassland: 1.5%/year Forest: 0.5%/year Biomass farm: 0.5%/year	Cropland: 1.5%/year Grassland: 1.0%/year Forest: 0.5%/year Biomass farm: 0.5%/year	Cropland: 2.0%/year Grassland: 2.0%/year Forest: 1.0%/year Biomass farm: 0.5%/year	Cropland: 1.0%/year Grassland: 1.0%/year Forest: 0.5%/year Biomass farm: 0.5%/year
Land-cover requirements	Built-up	Calculated proportional to changes in population under rapid increase in urbanization Followed the trend of population change at regional level	Calculated proportional to changes in population under a decrease in urbanization Followed the trend of population change at national level	Extent and location are constant	Extent and location are constant
	Cropland (Paddy/Upland)	Approximated as the remaining area	Approximated as the remaining area	Approximated as the remaining area	Approximated as the remaining area
	Forest	Followed the trend of forest change simulated by AIM	Followed the trend of forest change simulated by AIM	Followed the trend of forest change simulated by AIM	Followed the trend of forest change simulated by AIM
	Grassland	Followed the trend of grassland and biomass change simulated by AIM	Followed the trend of grassland and biomass change simulated by AIM	Followed the trend of grassland and biomass change simulated by AIM	Followed the trend of grassland and biomass change simulated by AIM
	Water	Extent and location are constant	Extent and location are constant	Extent and location are constant	Extent and location are constant

1) Source: (Nakicenovic et al. 2000) 2) Source: (Morita et al. 1998)

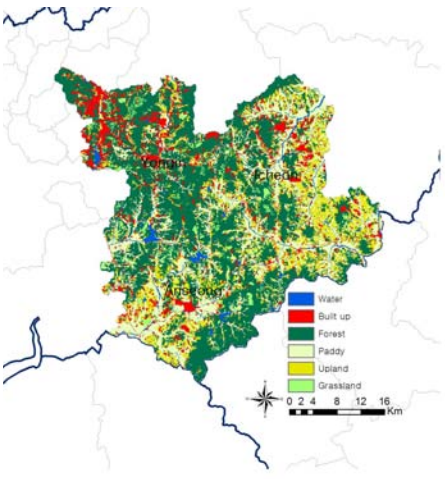
2.3 CLUE 모델링

온실가스배출 시나리오에 따른 토지이용변화 패턴과 인구변화 등을 반영하여 설정된 토지이용변화 총량 시나리오와 농업진흥지역을 변화 제한조건으로 하여 CLUE 모델링을 수행하였다. 또한 토지피복간 상호 변화에 있어서, 시가화지역의 변화는 비가역적으로 설정하고 수역은 변화하지 않는 지역으로 규정하였으며 논과 밭, 밭과 산림등은 상호 변화할 수 있는 지역으로 설정하였다. 마지막으로 회귀분석을 수행하여 토지이용변화의 구동요인을 정량화하여 위치적합성을 결정하였다.

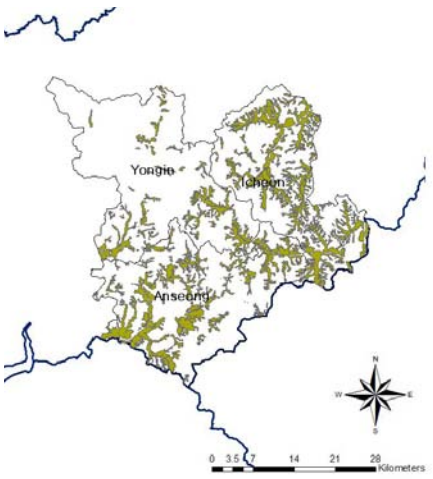
이분형 로지스틱 회귀분석은 예측변수의 값이 독립변수들에 의해 결정되는 특성이 있는지 여부를 예측하려는 상황에서 유용하며, 종속변수가 이분형인 모형에 적합한 분석이다. 본 연구에서 활용된 독립변수는 토지변화와 관련이 있을 것이라 추정되는 7가지 구동요인으로서 (표 4.)와 같이 설정하였다. 단계적인 변수 선택 방법인 전진선택법(foward selection method)을 사용하여 가능성이 많은 독립변수를 차례로 추가하여 회귀식을 도출하였다.

(표 4.) 토지피복분류 및 구동요인

Land cover classification map		Driving factors maps	
Code	Land cover type	Code	Location factors
0	Water	sc1gr0	100m DEM (altitude)
		sc1gr1	Aspect
1	Built-up	sc1gr2	Slope
2	Forest	sc1gr3	Distance to city
3	Paddy field	sc1gr4	Soil depth
4	Upland	sc1gr5	Soil drainage class
5	Grassland	sc1gr6	Soil type class



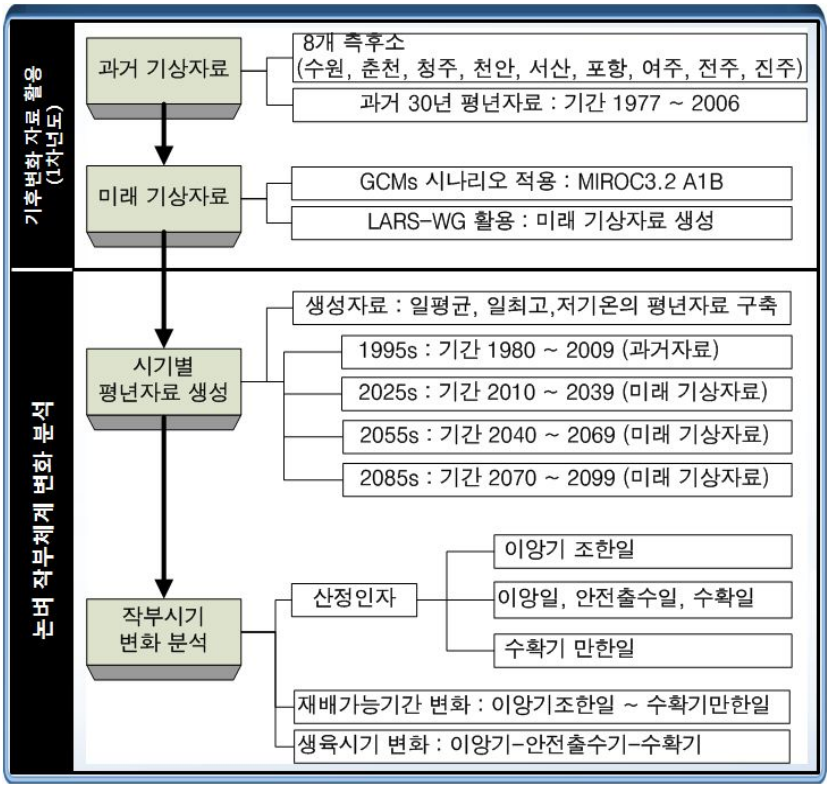
<그림 10.> 토지피복도 (환경부)



<그림 11.> 농업진흥구역 (농림부)

3. 논벼 작부체계 변화 분석

기후변화로 인해 농업구조의 전반적인 변화가 일어날 수 있으며 이러한 변화로 재배기간 및 작부체계의 변동 등이 나타날 수 있다. 특히 논벼의 경우, 기후변화에 의하여 이앙기, 출수기, 수확기 등의 작부체계의 변화가 예상되며 이에 따라 논벼의 생육기간 및 생산량 역시 변화하게 된다. 본 연구에서는 기후변화에 의한 논벼의 작부체계 변화를 분석하기 위하여 기온 등의 변화에 따른 재배가능 시기 및 작부시기의 변화를 살펴보았다. 작부체계 변화를 분석하는 과정은 <그림 12.>와 같다. 기후변화 자료 활용부분에서는 1차년도의 연구로 추정된 미래 기상자료를 활용하였다. 활용된 미래 기상자료는 각 도를 대표할 수 있는 8개의 기상측후소를 대상으로 과거 30년간의 기상자료와 LARS-WG (Long Ashton Research Station Weather Generator)를 이용하여 추정되었다. 추정된 자료를 바탕으로 과거의 시기로부터 미래 100년의 기상자료를 시기별 4개의 평년기간(1995s~2085s)으로 구분하였으며, 각 시기별 일최고, 최저기온과 일평균기온의 평년값을 산정하여 본 연구에 적용하였다. 산정된 평년기온을 활용하여 이앙기, 출수기, 수확기의 기준일을 추정하였고 이를 통하여 논벼의 생육기간 및 작부시기의 변화를 분석하였다.



<그림 12.> 논벼 작부체계 변화 분석 흐름도

3.1 기후변화 데이터의 활용

기후변화에 따른 논벼의 작부체계의 변화를 분석하기 위하여 “기후변화에 따른 농업용수 영향평가 연구”의 결과자료를 활용하였다. 기존의 연구에서는 8개의 기상관측소별 30년(1977~2006)간의 관측 기상자료들을 관측소별로 월평균 자료로 추출하고 LARS-WG를 활용하여 A1B 시나리오에 따른 미래 기상자료들을 추정하였다.

LARS-WG는 무강수일 (dry day)과 강수일 (wet day)이 지속된 일수 (series)에 대한 준경험적분포형(semi-empirical distribution)을 이용하여 일단위의 강수, 최고·최저기온, 일조시간 또는 태양복사량 자료를 생산한다. 관측자료를 이용하여 강수와 무강수일의 연속 일수의 빈도분포와 평균 및 표준편차, 월별 강수량의 빈도분포와 평균 및 표준편차, 월별 최대·최소 강수량, 월별 최고·최저기온, 일 최고·최저기온, 최저기온이 0℃ 보다 낮은 날의 분포, 최대기온이 30℃ 이상인 날의 분포, 월별 일조시간의 빈도분포와 평균 및 표준편차 등의 매개변수를 추정하게 된다.

각 관측소별 과거 30년 (1971~2000)의 연평균 기상자료를 (표 5.)에 나타내었으며 진주의 경우 연평균 강우량이 1,518.9 mm로 강우량이 가장 많았던 것을 알 수 있다.

(표 5.) 관측소별 과거 30년(1971~2000) 연평균 기상요소

	강우 (mm)	증발 (mm)	기온 (℃)	습도 (%)	일조 (hr)	풍속 (m/s)
춘천	1,343.5	2.8	11.0	71.3	5.9	1.3
수원	1,295.5	3.0	11.9	69.8	5.9	1.7
서산	1,269.9	2.9	11.8	74.4	6.0	2.3
청주	1,258.9	3.0	12.4	68.2	6.1	1.8
포항	1,172.9	3.4	14.1	63.5	6.1	2.8
전주	1,320.5	2.9	13.2	69.9	5.7	1.5
여수	1,456.0	3.7	14.3	66.7	6.4	4.0
진주	1,518.9	3.0	13.1	70.7	6.0	1.7

3.2 시기별 기상자료 구축

본 연구에서 활용된 미래의 기상자료는 기상관측소별 30년(1977~2006)간의 관측 기상자료들을 바탕으로 A1B 시나리오를 바탕으로 추정된 2020년(2010~2039), 2050년(2040~2069), 2080년(2070~2099)의 일 기상자료이다. 이에 논벼의 작부시기 변화를 분석할 때 역시 기상시나리오의 시기 구분과 동일한 시기를 적용하여 총 4개의 시기별 작부체계 변화를 분석하였다.

○ 적용 시기
- 1995s : 1980~2009 (과거 기상자료)
- 2025s : 2010~2039 (LARS-WG에 의한 미래 기상자료)
- 2055s : 2040~2069 (LARS-WG에 의한 미래 기상자료)
- 2085s : 2070~2099 (LARS-WG에 의한 미래 기상자료)

○ 구축 자료
- 시기별 일평균, 일최고, 일최저 기온의 평년값 생성

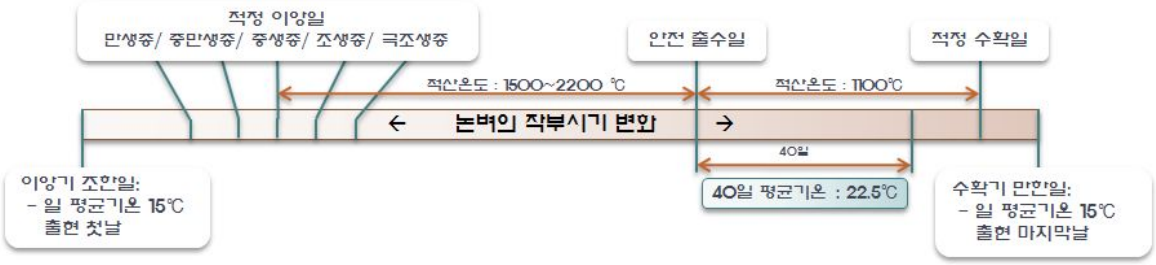
3.3 논벼의 작부체계 변화 분석항목 설정

논벼의 생육은 이앙기, 출수기, 수확기라는 생장과정을 거치게 된다. 이러한 생장과정은 일최저기온 및 일평균기온에 의해서 시기가 결정되므로 기후변화에 따라 기온이 변화할 경우 논벼의 작부체계는 달라지게 된다. 특히 논벼의 생산량은 출수기의 시기 및 출수 후의 온도 등에 영향을 받기 때문에 기후변화에 따른 작부체계의 변화를 분석하는 것은 농업 생산성의 측면에서도 중요한 의미를 갖게 된다.

이에 본 연구에서는 논벼의 생육기간의 변화와 출수기의 변화를 분석하기 위하여 미래 기상자료로부터 이앙기, 출수기, 수확기 등에 관한 항목들을 분석하였고, 분석항목은 (표 6.)과 같다. 먼저 일평균기온 15℃를 기준으로 이앙기 조한일과 수확기 만한일을 구분하고 이로부터 논벼의 재배가능기간을 산정하였다. 다음으로 벼의 생육에 가장 큰 영향을 미치는 출수기를 살펴보았다. 안전출수기는 등숙기간 40일 동안의 안전여묾온도 22.5℃가 되는 시점으로 선정하였고, 안전출수기로부터 적산온도를 산정하여 품종별 적정 이앙일과 수확일을 구분하여 생육기간 및 작부시기를 분석하고자 하였다. 특히 이앙일을 구분하기 위한 기준 적산온도는 품종별로 다르게 나타난다. 벼의 품종은 올늦음성에 의해 극조생종, 조생종, 중생종, 중만생종, 만생종 등으로 구분되며 조생품종은 기본영양생장성이 짧고 감광성이 약하며 감온성이 강한 반면, 만생품종은 기본영양생장성이 짧으나 감광성이 강하며 감온성이 약하다. 이에 각 품종별로 영양생식기간이 달라지고 이에 따라 적정 이앙일 역시 다르게 산정된다. 극조생종의 경우 이앙일부터 안전출수일까지 1500℃의 적산온도를 필요로 하며, 만생종의 경우 2200℃의 적산온도를 필요로 한다. 수확기의 경우는 품종에 따른 차이 없이 적산온도가 1100℃가 되는 일을 적정 수확일로 구분하였다. 이에 대한 자세한 내용은 <그림 13.>에 나타나 있다.

(표 6.) 작부시기 변화를 위한 산출인자 (박순직 등, 2008)

구 분	산출 항목	산출 방법
재배 기간	이앙기 조한일	일평균기온 15℃ 출현 첫날
	수확기 만한일	일평균기온 15℃ 출현 마지막날
생육 시기	이앙일	극조생종: 이앙일로부터 안전출수일까지의 적산온도가 1500℃인 날
		조생종: 이앙일로부터 안전출수일까지의 적산온도가 1700℃인 날
		중생종: 이앙일로부터 안전출수일까지의 적산온도가 1900℃인 날
		중만생종: 이앙일로부터 안전출수일까지의 적산온도가 2100℃인 날
		만생종: 이앙일로부터 안전출수일까지의 적산온도가 2200℃인 날
	안전출수일	출수 후 40일간의 일평균기온이 22.5℃ (안전여묾적온)가 되는 날
	안전출수 만한일	일최저기온 10℃, 일평균기온 15℃ 이하가 되는 최종일부터 역산하여 적산온도 880℃를 확보하게 되는 일
	수확일	출수 후 적산온도가 1100℃가 되는 날



<그림 13.> 논벼의 작부시기 구분 기준

3.4 논벼의 작물계수 설정

1) 작물계수

증발산량(evapotranspiration : ET)은 증발산을 일으키는 기상상태와 물을 소비하는 작물과 포장상태에 따라 결정된다. 증발산량은 작물의 종류나 생육단계, 기상조건, 토양조건, 피복상태 등에 영향을 주어 복잡한 변화를 나타낸다.

잠재증발산량(potential evapotranspiration : PET)은 증발산위라고도 하며, 초장이 짧은 식물로 완전히 덮은 지표면에 물의 공급이 충분한 경우에 손실되는 증발산량을 말한다. 따라서 잠재 증발산량은 주어진 기상, 지형의 조건 하에서의 증발산량의 최대값을 의미한다. 또한, 기준작물증발산량(reference evapotranspiration : ETr)은 충분한 물의 공급이 있을 경우에 기준작물(알팔파나 잔디)에 의하여 손실되는 증발산량을 말하며, 일반적으로 잠재 증발산량을 대신하여 사용된다.

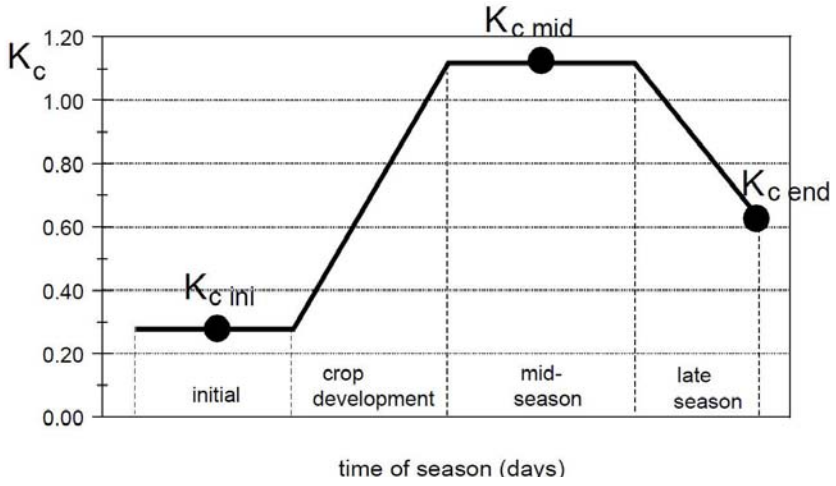
작물의 실제증발산량(ET_c)과 잠재 증발산량(PET) 및 기준작물증발산량(ET_o) 사이에는 다음과 같은 관계가 있다.

$$ET_c = K_c \times (PET \text{ or } ET_o) \qquad (1)$$

여기서 K_c는 주어진 작물의 작물계수(crop coefficient)라고 하며, 잠재 증발산량에 대한 실제증발산량의 비를 나타낸다. 작물계수는 작물의 생장단계에 따라 변하여 초기에는 작으나 중기에 증가했다가 말기에 감소하는 경향이 잇다. 또한 작물계수는 일반적으로 기온이 높거나 건조하고 바람이 있는 기후에서는 높고, 기온이 낮거나 습윤한 기후에서는 낮다.

2) 작물계수 산정 방법

작물계수는 대부분 작물의 종류 및 생육단계에 따라 다르고, 같은 작물의 경우에는 일반적으로 기후조건이나 위치에 대해서는 같다. K_c는 기준작물 알팔파에 대하여 일반적으로 0.2~1.2의 범위를 나타낸다. 다음 <그림 14.>은 성장단계에 따른 작물계수를 나타낸 것으로 (표 7.)에서는 각 생육단계를 설명하고 있다.



<그림 14.> 생육별 작물계수 곡선 (Allen et al., 1998)

(표 7.) 생육별 작물 단계 (정하우 등, 2009)

생육단계	개 요
초기 (initial)	평균값은 식재기로부터 10% 지표피복까지
생장기 (crop development)	10% 지표피복으로부터 70% 지표피복 혹은 최대의 물이용시까지. 과수의 경우에는 잎이 나오기 시작할 때부터 완전히 덮을 때까지
중기 (mid-season)	성장기 끝으로부터 작물노화로 인해 물이용이 줄어들 때까지
후기 (late season)	K_c가 줄어들기 시작하여 수확기 혹은 물이용이 중지될 때까지
수확기	수확기 혹은 물이용이 중지될 때의 평균값

3) 초기단계 작물계수 ($K_{c\ ini}$)

초기 작물계수는 용수 공급이 되는 시간 간격(time interval between wetting event), 대기중의 증발력(evaporation power of th atmosphere), 공급되는 용수의 규모(magnitude of the wetting event)를 고려하여 산정된다.

논벼의 경우 0.1m~0.2m의 담수에서 키우기 때문에 초기 단계의 증발산량이 지속적으로 유지된다. 풍속과 습도에 따른 논벼의 작물계수는 다음과 같다.

(표 8.) 다양한 기상조건별 논벼의 초기작물계수 ($K_{c\ ini}$) (Allen et al., 1998)

Humidity	Wind speed		
	light	moderate	strong
arid ~ semi-arid	1.10	1.15	1.20
sub-humid ~ humid	10.5	1.10	1.15
very humid	1.00	1.05	1.10

(표 9.) 기후분류에 따른 $RH_{\min}$과 RH_{mean}의 비교 (Allen et al., 1998)

Climatic classification	$RH_{\min}$(%)	RH_{mean}(%)
Arid	20	45
Semi-arid	30	55
Sub-humid	45	70
Humid	70	85
Very humid	80	90

4) 중기에서의 작물계수 ($K_{c\ mid}$)

중기와 후기의 작물계수의 값은 $RH_{\min}$ (상대습도) ≃ 45%, u_2 (기존 작물 위 2m에서의 풍속) ≃ 2m/s 의 기후조건일 경우 FAO에서 Penman-Monteith 식을 이용하여 산정한 값을 사용하지만 그 외의 기후조건일 경우 다음과 같은 식을 사용한다(Allen et al., 1998).

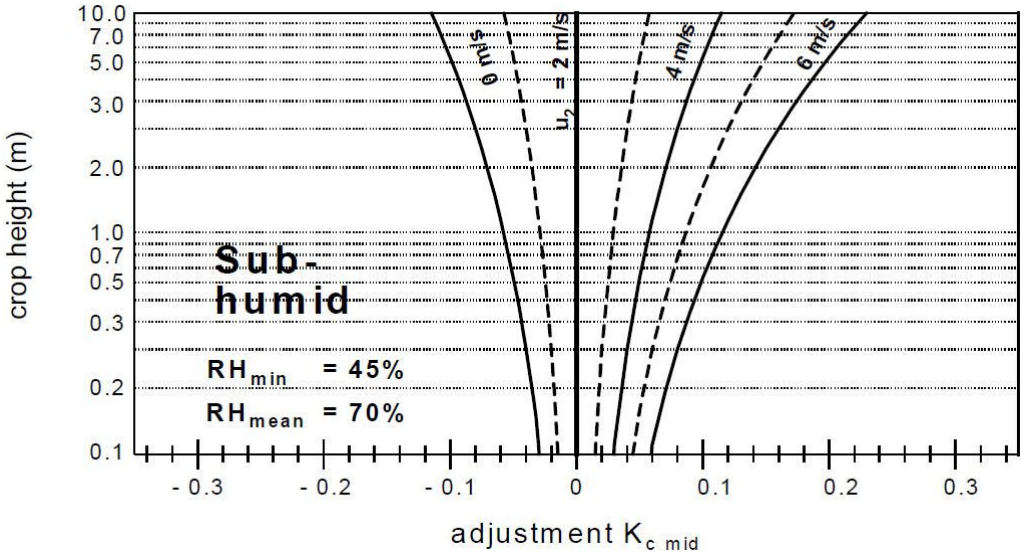
$$K_{c\ mid} = K_{c\ mid(tab)} + [0.04(u_2 - 2) - 0.004(RH_{\min} - 45)](\frac{h}{3})^{0.3} \quad (2)$$

여기서 $K_{c\ mid(tab)}$는 유승환(2006)의 중·남부의 작물계수 산정 결과를 활용하여 추정하였다. u_2는 지상 2m에서의 일별 풍속의 평균값이며, $RH_{\min}$는 일별 최저 상대습도의 평균값

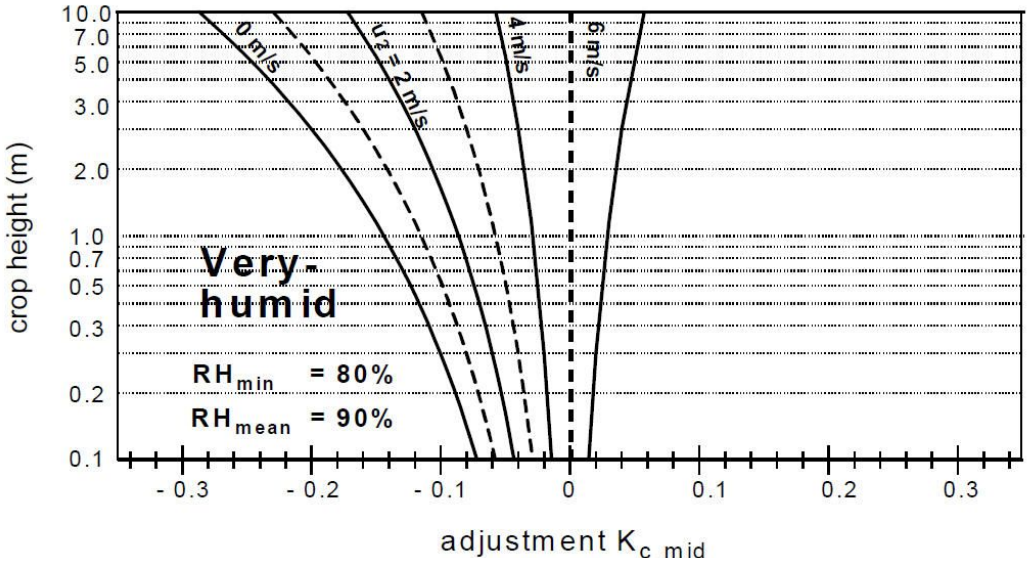
이고 h 는 작물의 높이를 의미한다. u_2값과 $RH_{\min}$값은 기간 내의 평균값을 사용하며 보통 관측된 값을 사용한다. RH_{mean}값을 사용하지 않고 $RH_{\min}$값을 사용하는 이유는 상대습도 자료를 이용할 수 없을 경우 최대온도로부터 $RH_{\min}$값을 쉽게 추정할 수 있기 때문이며 추정식은 아래와 같다(Allen et al., 1998).

$$RH_{\min} = \frac{e^o(T_{dew})}{e^o(T_{\max})}100 \tag{3}$$

여기서 T_{dew}값은 이슬점에서의 온도이며 이슬점 온도를 알 수 없을 경우 최저 기온을 대신 사용하여 구할 수도 있다. 보통의 경우 증기압이 줄어들게 되면 $T_{\min}$값은 T_{dew} ($RH_{\max} \simeq 100\%$)에 가까워지며 이때의 압력손실은 $[\frac{(100 - RH_{\min})}{200}]e^o(T_{\max})$의 계산식으로 나타낼 수 있다. $e^o(T_{\max})$ 값의 경우 일별 최대 기온에서의 포화수증기압을 나타내는 것으로 $0.6108 \exp[\frac{17.26T(℃)}{T(℃)+237.3}]$의 식을 통해 계산할 수 있다. 위와 같은 식을 통하여 $RH_{\min}$값이 RH_{mean}값보다는 압력손실에 대한 영향을 반영한다는 것을 알 수 있다.



<그림 15.> Adjustment to the $K_{c\,mid}$ values taken by FAO for different crop heights and mean daily wind speed (u_2) for sub-humidity conditions (Allen et al., 1998)



<그림 16.> Adjustment to the $K_{c\,mid}$ values taken by FAO for different crop heights and mean daily wind speed (u_2) for very-humidity conditions (Allen et al., 1998)

5) 후기에서의 작물계수 ($K_{c\,end}$)

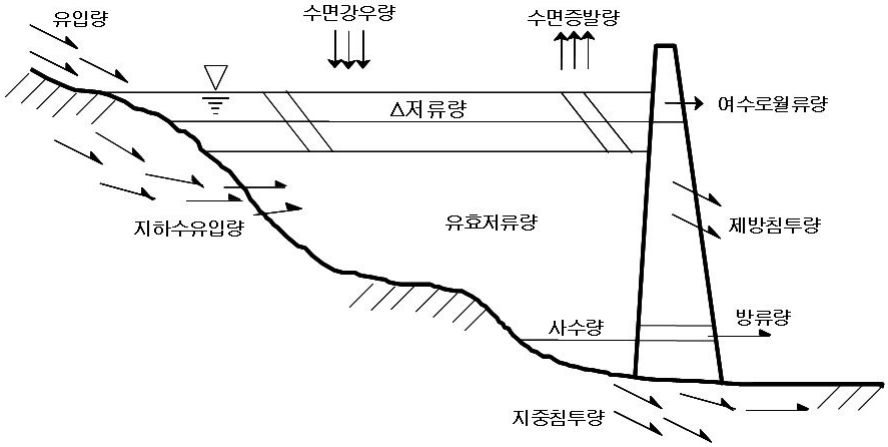
후기에서도 중기와 같은 식을 이용하여 작물계수 값을 구하게 되는데 이는 작물계수 값이 0.45보다 큰 작물들에게만 적용할 수 있다. 이 식에서는 상대습도가 증가하게 되면 작물계수 값은 감소하게 된다. $K_{c\,end} < 0.45$ 인 작물들의 경우 풍속과 상대습도에 의한 영향을 적게 받기 때문에 위의 식을 적용하지 않는다. 수확시기의 작물들은 숙성되어 있고 건조하기 때문에 상대습도가 줄어들면 작물계수 값도 줄어드는 것이 보통이다. 후기에서의 작물계수는 아래의 식으로 산정된다(Allen et al., 1998).

$$K_{c\,end} = K_{c\,end(tab)} + [0.04(u_2 - 2) - 0.004(RH_{\min} - 45)](\frac{h}{3})^{0.3} \qquad (4)$$

여기서 $K_{c\,end(tab)}$는 유승환(2006)의 중·남부의 작물계수 산정 결과를 활용하여 추정하였다. u_2는 지상 2m에서의 일별 풍속의 평균값이며, $RH_{\min}$는 일별 최저 상대습도의 평균값이고 h 는 작물의 높이를 의미한다.

4. 논벼 물수지 분석

4.1 저수지 물수지 분석방법



<그림 17.> 저수지에서의 물수지 구성

저수지에서의 물수지를 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$S_t = S_{t-1} + I_t + P_t + U_t - (R_t + O_t + E_t + G_t + D_t) \quad (5)$$

여기서, S는 저수량 (Storage), I는 유입량 (Inflow), P는 수면강수량 (Precipitation), U는 지하수유입량 (Underground inflow), R는 방류량 (Release), O는 여수로월류량 (Overflow), E는 수면증발량 (Evaporation), G는 지중침투량 (Percolation), D는 제방침투량 (Dam seepage) 및 t는 일 (day)이다.

지하수유입량, 지중침투량 및 제방침투량은 실측이 거의 불가능한 요소들이다. 특히 지하수 유입은 수문 관측지점에서 지표수로 측정되거나 그 변화가 월단위 이상이기 때문에 일단위와 같이 매우 단기간의 물수지에 있어서는 고려의 대상이 되지 않는다. 또한 지중침투량은 댐 계획시부터 누수를 방지할 목적으로 지수벽을 설치하므로 이로 인한 인토 누수량은 매우 적거나 무시할 수 있다. 따라서 이러한 양은 매우 적거나 단기간의 물 수지에 영향을 미치지 않는다 (김현영 등, 1986). 따라서 본 저수지의 물수지 분석에서는 지하수유입량, 지중침투량, 제방침투량 및 수면증발량은 무시한다. 이에 의해 식 (5)을 다시 쓰면, 식(6)와 같다.

$$S_t = S_{t-1} + I_t + P_t - (R_t + O_t) \quad (6)$$

4.2 필요저수량 결정

일반적으로 저수지 계획용량은 저수지 모의조작 결과로 나타나는 필요저수량(Required Storage)에 대한 연 최대치계열을 확률 처리하여 결정한다. 그러나 모의발생에 의한 저류량이 매년 말 다음해로 이월(annaul carryover)되는 경우에 대해서는 연 최대치계열에 대한 확률처리에는 신중을 기해야 한다.

표본수문변량 x 는 일반적으로 변량의 평균치 $\bar{x}$ 에 x의 편차 Δx 를 더한 것으로 표시 할 수 있다.

$$x = \bar{x} + \Delta x \tag{7}$$

여기서 편차 Δx는 변량 x의 확률분포가 가지는 분포특성과 변량의 재현기간(혹은 생기확률) 및 분포형의 매개변수 등과 관계가 있으며 변량 x의 표준편차 s에 빈도계수(frequency factor) K_T를 곱한 값으로 표시된다. 즉, $\Delta x = s \cdot K_T$로 나타낼 수 있으며, 식(4)와 같다

$$X_T = \bar{x} + s \cdot K_T \tag{8}$$

여기서 X_T는 T 재현기간에 발생할 확률치이며 K_T는 T년의 빈도계수이다.

통상적으로 저수지 계획규모결정에 사용되는 확률함수 식은 Gumbel-Chow법을 적용하고 있으며 그 식은 다음과 같다.

$$X_t = X + k \times \delta_{n-1} \tag{9}$$

여기서 X_T = 재현기간 t년의 기대치, X = 표본의 평균치, k = 빈도계수, δn-1 = 표본의 표준편차 등이다. 본 모형에서는 4가지의 확률 분포함수를 적용하였으며 각 확률분포함수에 대한 계산 결과를 비교하여 최적의 값을 선택하도록 하였다.

실제 저수지 설계에 있어서는 축조 후 시일이 경과함에 따라 유역으로부터 토사가 유입, 퇴적하여 그 용적이 감소되므로 감소 정도를 고려해야 한다.

4.3 논 용수 수요량

논 용수 수요량을 발생시키는 주요 인자를 살펴보면 벼의 증발산량과 침투량 및 유효우량등으로 구분할 수 있다. 여기서 침투량은 재배토양의 토성, 지하수위 등의 영향을 받으며 증발산량은 작물의 종류, 기상여건 등에 따라 변화하고 유효우량은 강수량에 따라 결정된다. 또한 논 용수 수요량은 재배관리 용수량과 시설관리 용수량 등의 손실수량을 고려해야 한다. 논에서 필요한 용수 수요량의 산정과정을 요약하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

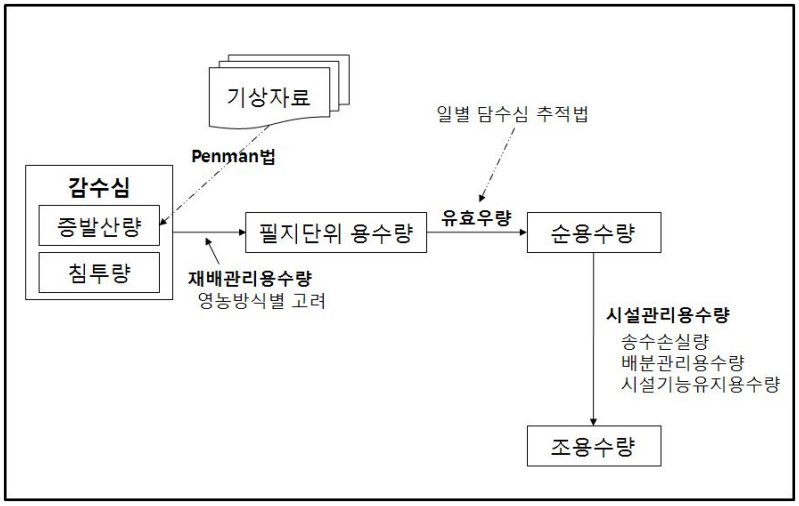
순용수량 = 증발산량 + 침투량 + 재배관리 용수량 - 유효우량

조용수량 = 순용수량 + 시설관리 용수량

여기서 재배관리용수는 영농방식에 따라 이앙재배와 직파재배로 달리 적용하는데 직파면적은 직파재배적지기준 (농림부, 1997)에 따라 다음과 같이 산정된다.

이앙재배면적 = 수리답면적 - 직파면적

직파재배면적 = 담수직파, 건답직파로 구분



<그림 18.> 논용수 수요량 산정 흐름도

1) 증발산량

벼의 증발산량은 답면의 수면증발량과 벼의 엽면증산량의 합으로 구성되며 작물의 종류, 작부시기, 기상 등 여러 요인에 의해 많은 변화가 발생한다. 실제 증발산량은 여러 요인에 의해 정량화하기 어렵기 때문에 일반적으로 잠재증발산량을 산정한 후 실제증발산량과의 차이를 분석하여 이를 작물계수로 조정하는 방법을 적용하고 있다. 1998년 국제식량농업기구에서는 기존의 연구에서 추천했던 FAO Modified Penman 공식이 과다 산정되는 점을 지적하고, 각 지역의 조건에 따른 적합한 방법을 비교, 검토하였다. 기존에 사용되던 20여 종류의 증발산량 공식을 검정을 하였는데, 그 중 Penman-Monteith 공식이 건조 및 습윤 기후에서 비교적 정확하고 일정한 경향을 가지는 것으로 확인되었다. 따라

서 FAO에서는 Penman-Monteith 공식을 통일하여 사용하기로 결정하였다(Allen et al., 1998). 현재 이 공식은 세계관개배수위원회(ICID), 세계기상기구(WMO) 등에서 추천하고 여러 연구에서 정확한 것으로 인정받고 있다. 그러나 우리나라에서는 Penman-Monteith 공식에 따른 작물계수에 대한 연구가 부족하여 기존의 작물 계수를 사용하거나 외국의 작물 계수를 사용하고 있는 실정이다(농림부, 1998). 본 과업에서는 국제식량농업기구에서 1998년에 추천한 Penman-Monteith 공식을 이용하여 증발산량을 산정하였다. 또한 기존의 작물계수에 대한 부분을 보완하기 위하여 앞서 제시한 방법을 통하여 산정된 작물계수를 적용하여 시기별 실제증발산량을 추정하였다.

2) 침투량

논에서의 침투량은 벼의 뿌리 아래 하층 토양으로 강하하는 물의 양이다. 이 양은 최종적으로 지하수로 남거나 일부는 회귀수로 다시 이용되기도 한다. 침투량은 재배방식과 물관리 방법에 따라 크게 변하는 포장의 수리조건 및 토양조건에 따라 달라진다. 침투량 측정방법으로 감수심을 측정하여 이로부터 증발산량을 뺀 나머지 값을 침투량으로 하는 방법, 침투량을 직접 측정하는 방법, 배수로 침출량에 의하여 구하는 방법 등이 있다. 우리나라의 일 침투량은 지역적인 편차가 대단히 큰 편으로 약 3~7 mm/day로 볼 수 있고 전 관개기간동안 약 500~800 mm 정도로 볼 수 있다.

3) 유효우량

작물 생육 기간 중 논에 내리는 강수는 그 양에 따라 일부 또는 전부가 남아 작물 생육에 이용되는데 이와 같이 작물 생육에 이용되는 강수를 유효우량이라 한다. 유효우량은 농업용수 수요량을 결정짓는 중요 인자 중 하나이다. 유효우량을 산정하는 방법은 여러 방법이 제안되고 있으나, 일반적으로 일 강수량과 물관리 방법 등을 종합적으로 고려할 수 있는 일별 담수심추적법을 이용하여 유효우량을 산정한다. 일 강수량이 물꼬높이 이상이 되면 유효우량은 물꼬까지의 강수량이 되나 전일의 담수심이 물꼬높이를 유지하고 있으며 유효우량은 존재할 수 없다. 따라서 일별 담수심의 변화는 단일 필지에서의 물수지 식을 이용하여야 한다. 일반적으로 유효우량을 고려한 논에서의 물수지 식은 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$D(t) = D(t-1) + Re(t) + Req(t) - U(t) \tag{10}$$

여기서, $D(t)$는 t일의 담수심 (㎜/day), $D(t-1)$는 전일의 담수심 (㎜/day), $Re(t)$는 t일의 유효우량 (㎜/day), $Req(t)$는 t일의 관개량 (㎜/day), $U(t)$는 당일의 소비수량 (㎜/day)이다.

그러므로 유효우량은 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$Re(t) = D(t) - D(t-1) - Req(t) + U(t) \tag{11}$$

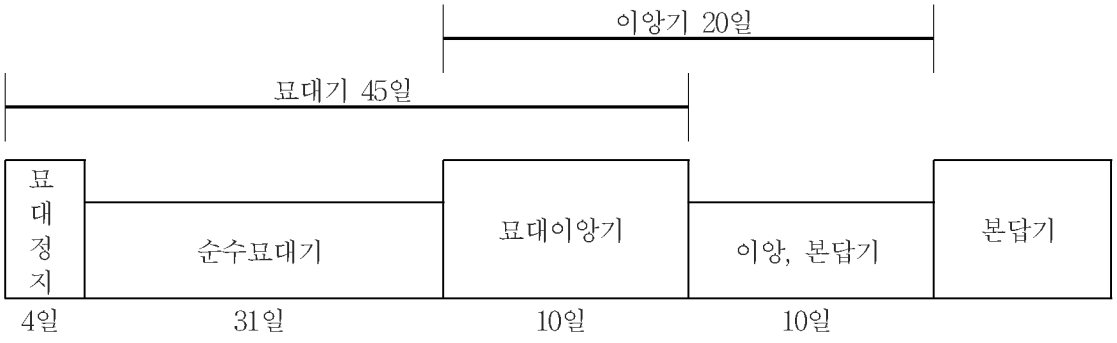
여기서, $U(t)$는 $ET+I$로 당일의 필요수량 (mm/day)이고, ET: 작물증발산량 (㎜/day), I는 당일의 침투량 (㎜/day)이다.

그러나 실제 논에서 담수심의 변화는 당일의 강수량과 필요수량 및 담수심의 관계에서 구해야 하며 이는 가정한 물꼬높이 및 상시관리 담수심에 의해 제한되어진다.

일강수량의 크기가 5.0㎜이하인 경우에는 볏잎에 차단되어 실제 논에는 기여하지 않는 무효강수로 보는 것이 타당하며 어떠한 경우에도 유효우량의 크기는 최대담수심에 그날의 소비수량을 더한 양을 초과하지 못한다. 이와 같이 유효우량은 당일 강수량의 크기 및 생육기의 소비수량의 시계열 분포와 밀접한 관계가 있음을 알 수 있다.

4) 재배관리 용수량

이앙재배는 작물의 생장에 따른 시기별로 용수수요량이 달라지게되며 이를 시기별로 살펴보면 묘대기, 이앙기, 본답기 등이 있다. 묘대기는 못자리에서 묘를 키우는 과정이며 이앙기는 못자리에서 본답으로 옮겨 심는 과정이고 이때 이앙일수는 벼의 재배체계, 써레질 또는 이앙을 위한 작업의 능률 등에 따라 정하며 일반적으로 15~20일 정도이다.



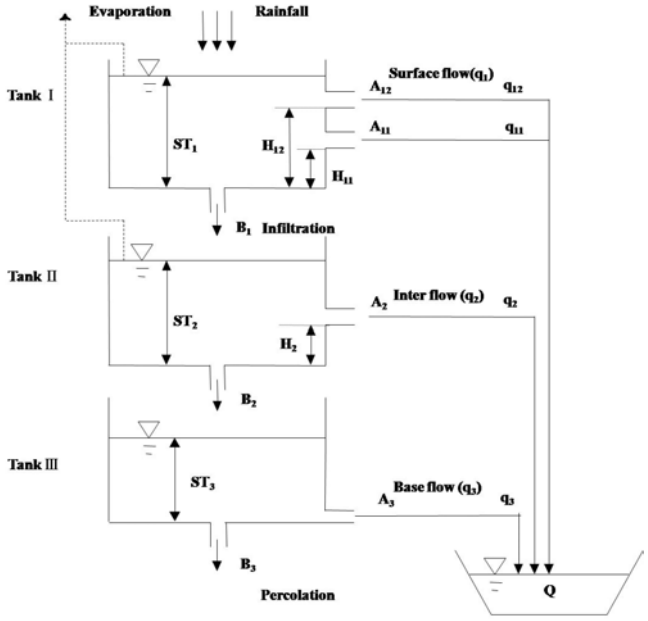
<그림 19.> 이앙재배시 작물 재배 기간 (농림부, 1998)

4.4 저수지 유입량 산정 방법

유역에 대한 강우-유출 현상을 모의발생을 위해서는 여러 가지 수문모형이 있지만 우리나라에서 많이 이용되고 있는 장기유출량 추정모형으로는 Tank (Suwagara, 1967)모형이 있다. 탱크(Tank)모형은 Suwagara에 의하여 단일 탱크의 선형시스템(linear system) 모형의 개념에서 출발된 것으로 탱크를 직렬 또는 병렬로 연결하여 유역의 지표유출, 중간유출, 기저유출을 각 성분별로 재현할 수 있도록 개념화한 것이다. 우리나라에서는 관개용 저수지의 일별유입량 모의발생(김현영, 1987)연구에서 소유역에 적합하도록 3단 직렬 탱크모형을 사용한 바 있는데, 실측 유출량 자료로 모형을 보정해야만 사용할 수 있는 매개변수를 유역면적, 토지 이용별 면적 등에 의한 회귀식을 유도하여 무계측 유역에서

사용할 수 있도록 함으로써 무계측 유역에서 사용할 수 없는 기존 탱크모형의 단점을 보완한 바 있다.

저수지 유입량을 산정하기 위하여 <그림 20.>과 같은 3단 TANK 모형을 이용하였다. 3단 TANK 모형 중 1단 TANK는 유출의 성분 중 지표 유출을 개념화한 것이고, 2단 및 3단은 각각 중간유출 및 기저유출을 개념화한 것이다. 1단 TANK의 유출공 수를 2개 둔 것은 홍수유출시의 오차를 1개일 때 보다 감소시키기 위한 것이다. 3단 TANK의 유출공의 높이를 "0"으로 한 것은 강수가 없을 시 초기 기저유출을 발생시키기 위하여 저류수심 ST가 항상 유출공의 높이보다 커야 하기 때문이다. 따라서 통상 대유역에서 4개의 TANK를 사용할 때 보다 매개변수의 수는 19개에서 13개 감소하게 된다 (김현영 등, 1986).



<그림 20.> 3단 TANK 모형의 개념도

TANK모형에 의한 유역의 유출량은 일별 강수량으로 부터 다음 식에 의하여 계산된다.

$$Q_t = \sum_{t=1}^{n}\sum_{h=1}^{m}(ST_{i,t} - H_{ij})A_{ij} \qquad (12)$$

여기서, Q_t는 t일의 총유출량 (mm), i는 TANK의 수, j는 i TANK의 유출공의 수, $ST_{i,t}$는 t일의 i번째 TANK의 저류수심 (mm), H_{ij}는 i TANK의 유출공의 높이 (mm) 및 A_{ij}는 유출공의 단면적 (무차원)이다.

또한 저류수심 ST는 단위시간 t에 따라 다음 식과 같이 계산된다.

$$ST_{i,t} = ST_{i,t-1} + R_t - E_t - I_{i,t} - Q_{i,t-1} \quad (13)$$

여기서, $ST_{i,t-1}$는 $t-1$일의 i번째 TANK의 수심 (mm), R_t는 t일의 강수량 (mm), E_t는 증발량(mm) 및 $Q_{i,t-1}$는 i번째 TANK의 $t-1$일의 유출량이다.

한편 침투량 $I_{i,t}$는 다음 식과 같이 계산한다.

$$I_{i,t} = ST_{i,t} \times B_i \quad (14)$$

여기서, B_i=i번째 TANK의 침투공의 단면적 (무차원)이다.

유출량을 모의발생하기 위해서는 매개 변수 A, H, ST 및 B값의 추정이 필요하다 (김현영 등, 1986).

5. 미래 기상자료 구축 및 신뢰성 분석

5.1 “기후변화 기상발생기” 프로그램 구축

미래의 기후변화에 따른 기상분석을 위해서 IPCC에서 제공하는 24개의 GCM모형 중 MIROC모델이 우리나라의 기상자료와 가장 흡사한 것으로 분석되어 이를 바탕으로 LARS-WG기법을 이용하여 A1B 시나리오에 따른 미래 기상자료를 추정하였다. 2100년까지 추정된 강우와 기온자료를 바탕으로 기존에 관측소마다 관측되어 있는 과거의 자료를 이용하여 물수지 분석에 필요한 증발량, 습도, 일조시간, 풍속 자료를 생성하는 프로그램을 구축하였다.

<그림 21.> 기후변화 기상발생기 프로그램 초기화면

본 프로그램의 등록 데이터는 아래 표와 같다.

(표 10.) 데이터 등록

등록 기간	1900년 01월 01일 ~ 2100년 12월 31일 또는 엑셀 데이터 기간	
등록 데이터	연도, 월, 일, 강우, 증발, 기온, 습도, 일조, 풍속	
기능설명	엑셀 데이터를 검색 테이블에 등록한다.	
필드 데이터 타입	**필드이름**	**설 명**
	연도	Type(YYYY) - 4자리 정수
	월	Type(MM) - 2자리 정수
	일	Type(DD) - 2자리 정수
	강우	Type(1 x 10-15) - 20자리 이하 (소수점 15의 자리)
	증발	Type(1 x 10-15) - 20자리 이하 (소수점 15의 자리)
	기온	Type(1 x 10-15) - 20자리 이하 (소수점 15의 자리)
	습도	Type(1 x 10-15) - 20자리 이하 (소수점 15의 자리)
	일조	Type(1 x 10-15) - 20자리 이하 (소수점 15의 자리)
	풍속	Type(1 x 10-15) - 20자리 이하 (소수점 15의 자리)
	기타	예비 필드
조건검색시	**강우**	Type(1 x 1010) - 10자리 이하 (1의 자리)
	풍속	Type(1 x 10-1) - 10자리 이하 (소수점 1의 자리)

본 프로그램의 데이터 생성순서는 아래 표와 같다.

(표 11.) 데이터 분석 과정

순번	자료 검색 순서
1	산출 날짜 기온과 강우량 검색
2	산출 날짜의 기온과 강우량이 같은 값을 과년도에서 검색
3	기온을 ±0.1도씩 상승 시켜서 검색
4	기온을 ±5도 까지 상승 시켜 검색
5	기온 초기화 (원래 값으로)
6	강우량을 ±1 씩 상승 시켜 검색
7	강우량을 ±1,000 까지 상승 시켜 검색
8	기온 ±5도 와 강우량 ±1,000 까지 동시 상승시켜 검색한다.
순번	**검색 세부사항**
1	산출을 희망하는 날짜의 기온과 강우량을 검색기준 2, 3, 4, 5, 6을 기준으로 가져온다.
2	과년도는 검색기준 7의 기준에 의해 설정된 범위에 값을 검색한다.
3	값이 여러 개 존재할 경우 검색기준 9에 의거 가장 일치하는 값을 가져온다.
4	순번 3에 의거 존재하지 않을 경우 ±5 까지 ±0.1씩 상승하여 검색한다. (최대 50번까지 조건 검색한다.)
5	해당 기온 상승으로 값을 찾을 수 없을 경우 기온은 초기화 하고 강우량을 증가시켜 검색조건을 변경한다.
6	값이 여러 개 존재할 경우 검색기준 9에 의거 가장 일치하는 값을 가져온다.
7	강우량을 ±1,000 까지 ±1 씩 증가 시키며 조건 검색한다. (최대 1000번까지 조건 검색한다.)
8	해당 강우량의 증가로 값을 찾을 수 없을 경우 기온 ±5, 강우량 ±1000을 증가 시켜 검색한다.
9	순번 8번까지 검색하여도 조건을 만족하지 못할 경우 산출 날짜을 비워두고 다음 산출 날짜로 이동한다.
검색 기준	**검색 우선 순위 선정**
1	검색 조건 우선 순위는 기온, 강우량 순이다.
2	기온은 소수점 1의 자리로 한다.
3	기온은 소수점 2의 자리에서 반올림 한다.
4	강우량은 1의 자리로 한다.
5	강우량은 소수점 1의 자리에서 반올림 한다.
6	마이너스 소수점 반올림시 -1.25 에서 소수점 둘째자리에서 반올림시 -1.3으로 한다.
7	검색할 기간(과년도)을 설정한다.
8	산출을 희망하는 날짜(이하 '산출날짜'로 한다.)의 기온과 강우량을 가져온다.
9	값이 여러개 존재할 경우 산출날짜와 가장 가까운 달, 가장 최근일 순이다.

5.2 “기후변화 기상발생기” 프로그램 검정

1) 상관관계 분석

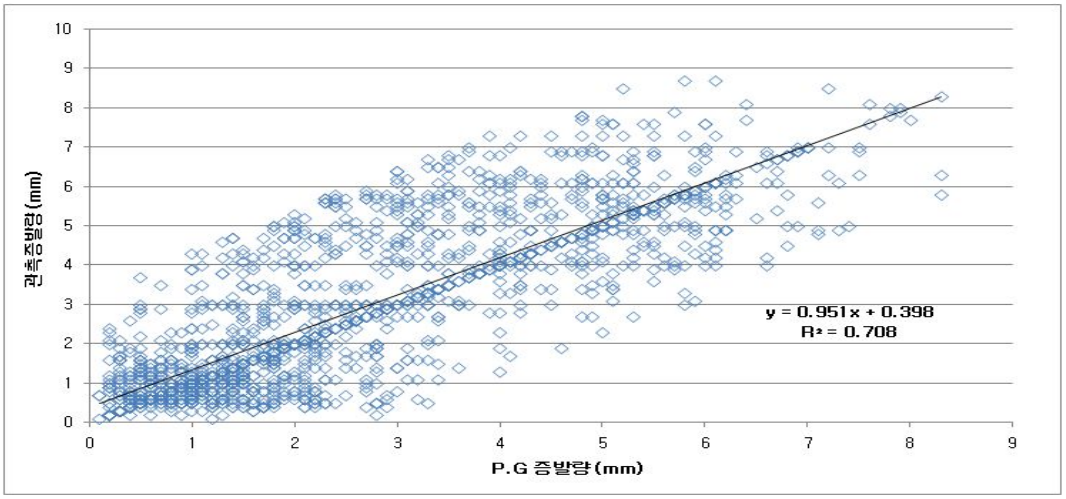
과거 기상자료 6가지 중 4가지 (습도, 일조시간, 증발량, 풍속)기상자료를 이용하여 미래 기상분석에 필요한 자료를 프로그램을 통해서 생성하고, 프로그램의 신뢰성을 확인하기 위해 프로그램에서 생성된 기상자료와 실제 관측자료를 분석하여 상관계수와 결정계수(R2)를 산정하였으며, 그 결과는 (표 12.)과 같다.

프로그램의 자료검색 범위는 춘천관측소 1970~2003년 (34년)까지 기상자료를 이용을 하고 미래 기상자료 생성은 2004~2008년 (5년)까지 생성 후 과거 (2004~2008) 실제 관측자료와 비교하여 보았다.

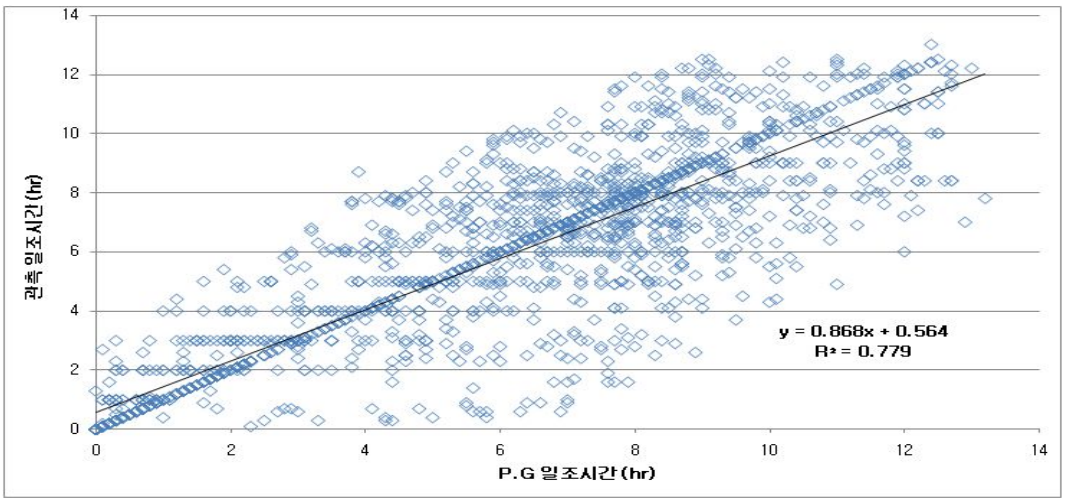
(표 12.) 프로그램 추출 기상자료와 관측자료의 상관관계 분석

년 도	증발량	습 도	일조시간	풍 속	상관관계, 결정계수
2004	0.871	0.611	0.563	0.530	0.2이하 : 매우 낮음 0.2~0.5 : 낮음 0.5~0.8 : 높음 0.8~1.0 : 매우 높음
2005	0.852	0.810	0.564	0.677	
2006	0.941	0.594	0.804	0.684	
2007	0.890	0.652	0.551	0.774	
2008	0.831	0.842	0.574	0.610	
항목별평균	0.877	0.702	0.611	0.655	
결정계수(R2)	0.708	0.529	0.779	0.538	

결정계수 R2은 <그림 22>와 같이 일조시간에서 0.779로 가장 높은 신뢰성이 있는 것으로 나타났고 증발량, 습도, 풍속은 각각 0.708, 0.529, 0.538로 나타났다. 따라서 본 연구에서 구축된 기상자료 생성 프로그램은 4가지 모두 높은 신뢰성이 있는 것으로 나타나 프로그램 활용성은 적정한 것으로 판단된다.

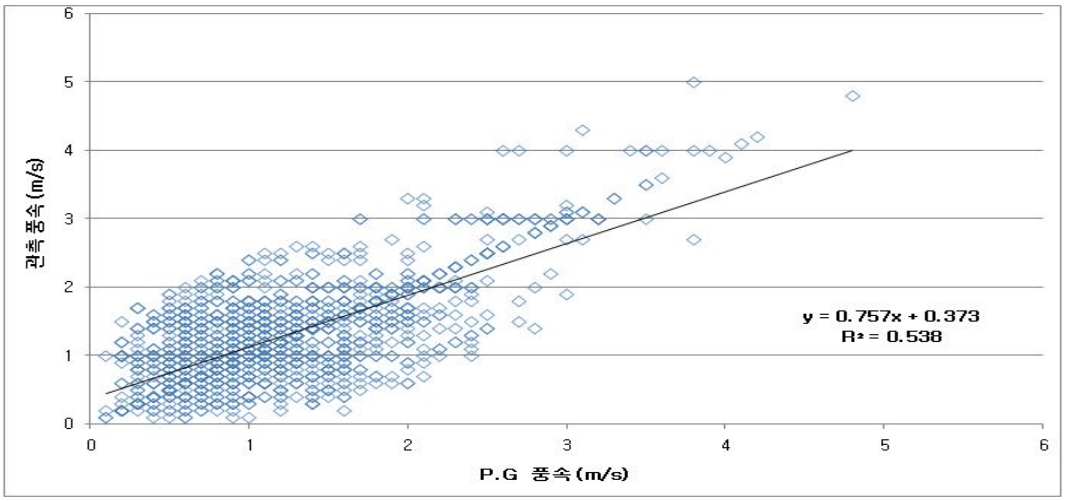


(a) 증발량 결정계수(2004~2009)

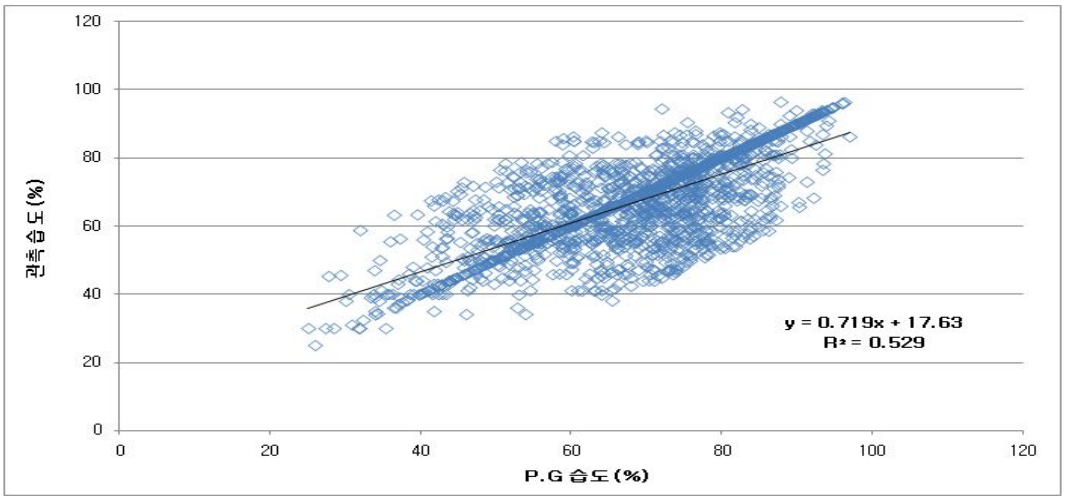


(b) 일조시간 결정계수(2004~2009)

<그림 22.> 관측값과 프로그램 추출 기상자료의 비교



(c) 풍속 결정계수

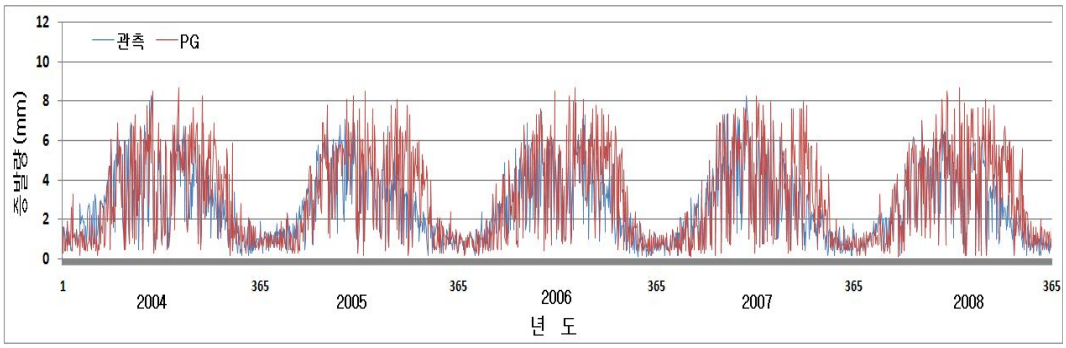


(d) 습도 결정계수

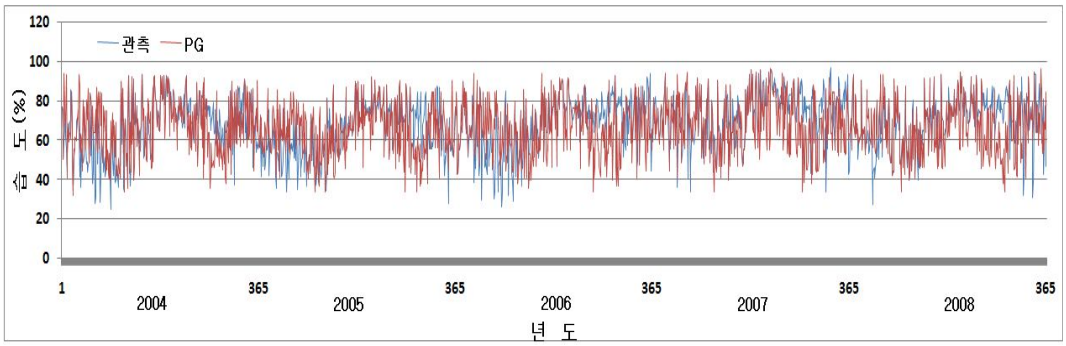
<그림 22.> 계속

2) 춘천관측소 실제 측정 자료와 프로그램 생성 자료 비교

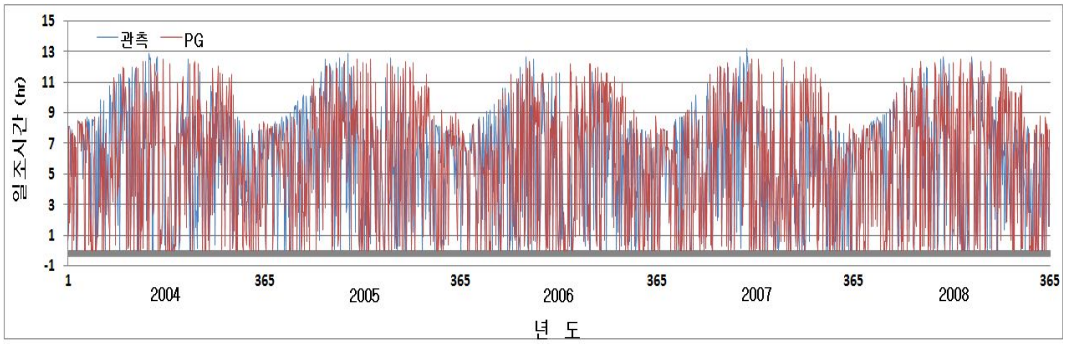
가) 일별자료 비교



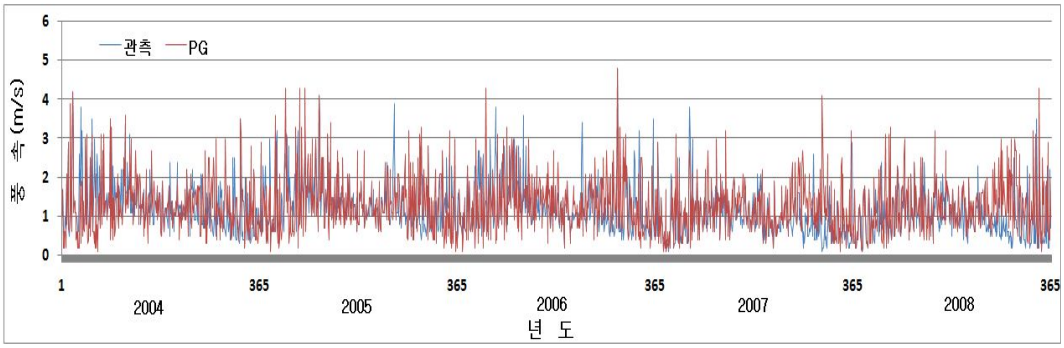
(a). 증발량 비교



(b). 습도 비교



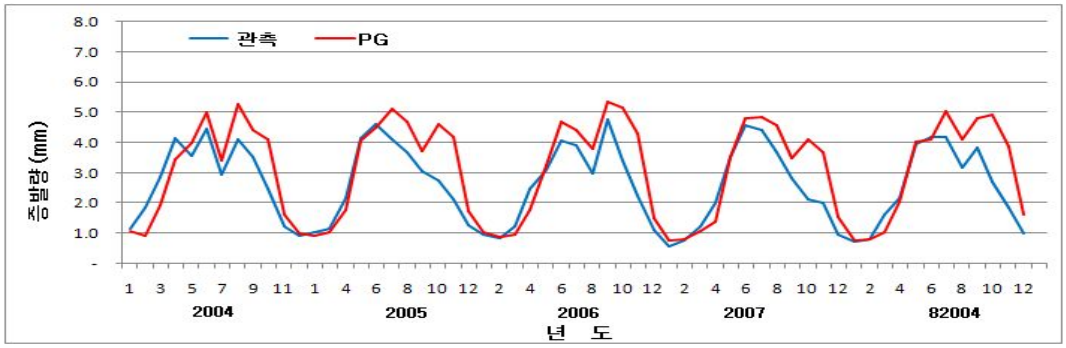
(c). 일조시간 비교



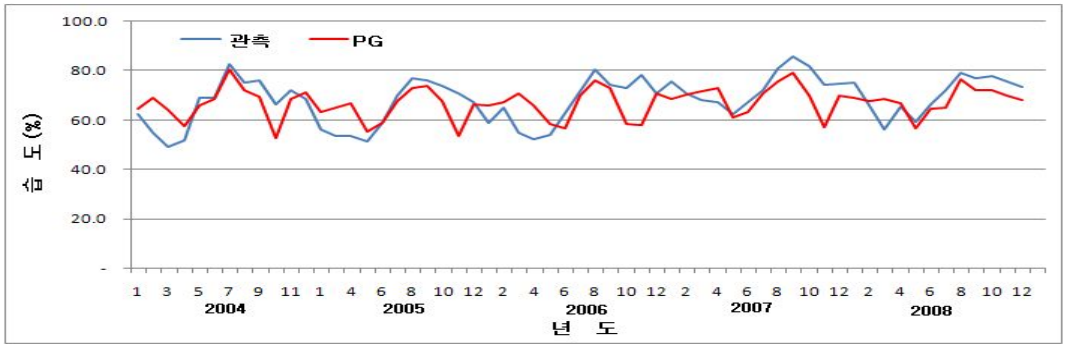
(d). 풍속 비교

<그림 23.> 일별 관측 자료 - 생성 자료 비교

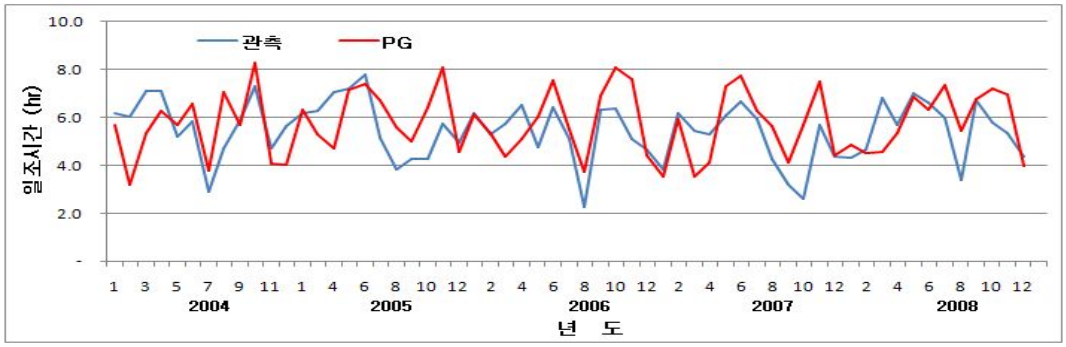
나) 월별자료 비교



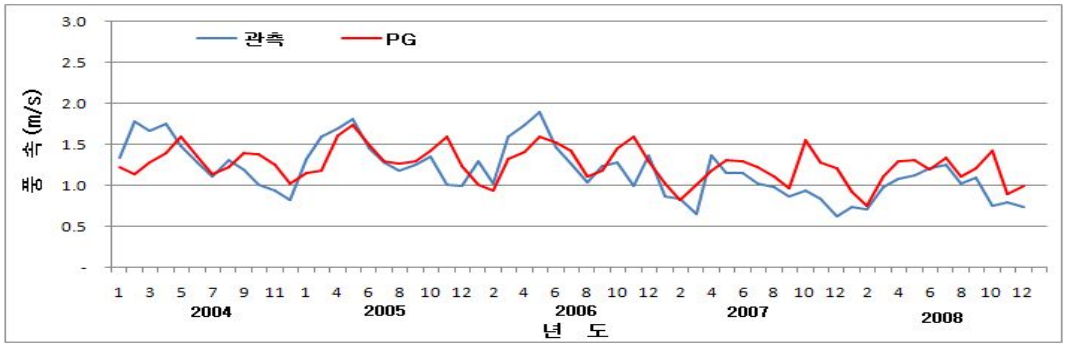
(a). 증발량 비교



(b). 습도 비교



(c). 일조시간 비교



(d). 풍속 비교

<그림 24.> 월별 관측 자료 - 생성 자료 비교

3장. LARS-WG방법을 이용한 증발산량 및 필요수량 산정

1. LARS-WG 상세화 방법을 선정

우리나라의 기상관측소 76개소에 대한 30년 (1979~2008) 평균 기온을 보면 연 평균기온은 10~17℃이며, 가장 무더운 달인 8월은 23~28℃, 5월은 16~19℃, 10월은 11~19℃, 가장 추운 달인 1월은 -6~7℃이다. 연 강우량은 중부지방은 1,100~1,500mm, 남부지방은 1,000~1,800mm로 경북지역은 1,100~1,600mm이며, 경남해안 일부지역은 1,800mm정도, 제주도지방은 1,400~1,9005mm이다. 계절적으로는 6월부터 8월 중 연간 강우량의 60%이상이 집중적으로 내리고 연속 강우일수도 10일 이상인 때도 있다. 또한 8월 하반기에는 고온다습 즉, 온도가 높으면서 습도도 높은 것이 특징이다. 바람 일반적으로 겨울에 북서풍, 여름에는 남서풍이 강하며, 계절에 따른 풍계가 뚜렷이 나타난다. 9월과 10월은 바람이 비교적 약하나, 해안지방에는 해륙풍의 영향이 뚜렷하다. 습도는 7월과 8월이 높아서 전국적으로 80%정도이고, 9월과 10월은 70%내외이다.

본 연구에서 3가지 상세화 방법을 이용하여 생성된 강우량과 기온자료를 이용하여 물수지분석에 필요한 4가지 기상자료를 추가로 생성하였다.

MM5의 경우 우리나라 총 강우량은 비슷한 경향을 나타내고 있으나 월별 강우량 자료에 대하여는 7월과 8월이 기준년도에 비해 상당히 낮게 예측된 것으로 나타났다. 기온은 8개 지역 모두 기준년도에 비해 상반기에는 대체적으로 낮게 예측되었으며, 하반기에 높게 예측된 것으로 나타났다. 따라서 MM5의 경우 관개기간의 강우량이 기준년도와 차이가 나고 증발산량에 영향을 미치는 기온의 경우 상반기와 하반기가 각각 다른 경향으로 분석됨에 지역특성을 고려하기에는 정확성이 낮을 것으로 사료된다.

CF방법에서는 진주 지역의 경우 기준년도와 1985s가 비슷한 경향을 나타내고 있으나 관개기간이 7월과 8월에는 낮게 예측된 것으로 나타났다. 또한 포항지역과 전주지역은 기준년도와 1985s가 많은 차이가 있는 것으로 나타났다. CF의 경우 기준년도인 2005년도의 강우특성이 미래에 계속적으로 반복되기 때문에 기준년도와 1985s의 차이가 클수록 정확성은 낮아진다고 할 수 있다. 그러나 기온의 경우 각 지역별 기준년도와 비슷한 경향으로 나타났으며, 월별 또는 년도별 에서도 비슷한 경향을 나타내었다.

LARS-WG의 경우 수원지역을 제외한 나머지 지역은 2020s, 2080s, 2080s 가 1985s에 대하여 가장 잘 반영된 것으로 나타났다. 특히 관계기인 5~9월까지의 월별 강우량 특성이 각 지역별 과거 강우특성과 자장 유사한 것으로 나타났다. 수원지역의 경우 일본에서 개발한 MIROC3.2가 수원지역의 강우 특성을 제대로 반영하지 못하여 수원관측소에 해당하는 격자의 원시자료에서 많은 차이가 있는 것으로 사료된다. 기온의 경우 8개 지역 모두 지역별 특성이 잘 반영된 것으로 나타났으며, 2020s, 2050s, 2080s 모두 1985s에 비해 계속적으로 증가하는 것으로 나타났다.

3가지 상세화 방법에서 우리나라 강우 특성과 각각 다르게 나타났다. MM5의 경우 7월과 8월이 기준년도에 비해 낮게 예측되었고 기온은 8개 지역 모두 기준년도에 비해 상반기에는 낮게 예측되었으며 하반기에는 높게 예측되어 관측 자료와의 다른 경향으로 나타

났다. 또한 CF방법의 경우 포항지역과 전주지역이 기준년도와 2005년도의 차이가 많이 나는 것으로 나타나 정확성이 낮은 것으로 판단된다. 반면, LARS-WG는 잠재증발산량에 많은 영향을 미치는 기온과 필요수량에 많은 영향을 미치는 강우량에 대하여 각 지역별 기상 관측값과 상세화 방법에서 생성된 값이 가장 비슷한 경향으로 예측되어 본 연구에서는 LARS-WG를 이용하여 필요수량을 산정하는 것으로 하였다.

2. 증발산량 산정 결과

필요수량 산정을 위해 LARS-WG 방법의 기상자료를 이용하여 각 지역별 년평균 잠재증발산량과 실제증발산량을 산정하였으며, 그 결과 (표 13.), <그림 25.>과 같다.

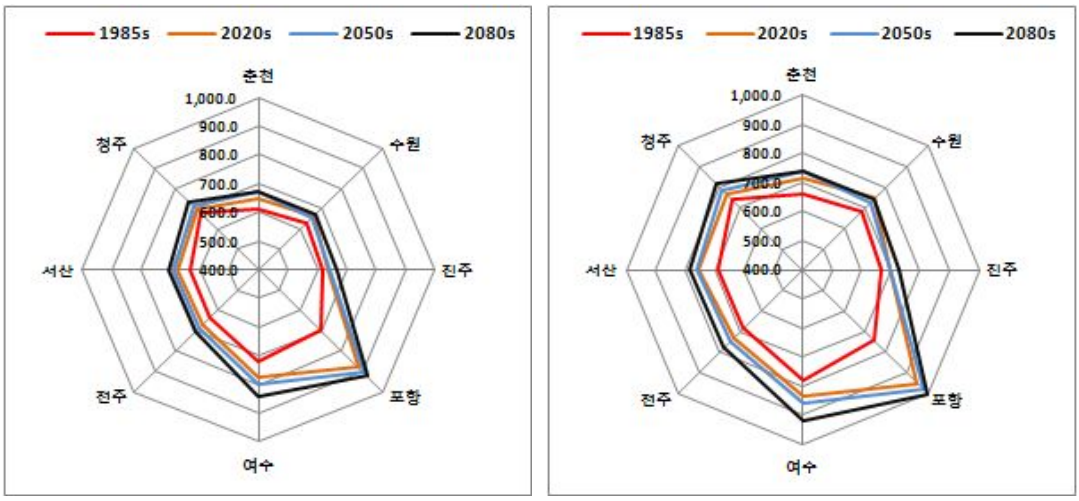
각 지역별 잠재증발산량은 2020s, 2050s, 2080s 모두 1985s보다 2%~42%까지 증가하는 것으로 나타났다. 2020s는 청주지역이 1985s의 682mm보다 2% 증가한 695mm로 가장 작게 증가하는 것으로 나타났으며, 가장 많이 증가하는 지역은 포항지역이 1985s의 700mm보다 33% 증가한 879mm로 나타났다. 2050s는 청주지역이 1985s의 628mm보다 7% 증가한 712mm로 가장 작게 증가하는 것으로 나타났으며, 가장 많이 증가하는 지역은 포항지역이 1985s의 700mm보다 38% 증가한 904mm로 나타났다. 2080s 또한 청주지역이 1985s의 682mm보다 11% 증가한 758mm로 가장 작게 증가하는 것으로 나타났으며, 가장 많이 증가하는 지역 또한 포항지역이 1985s의 700mm보다 42% 증가한 992mm로 나타났다.

각 지역별 실제증발산량은 2020s, 2050s, 2080s 모두 1985s보다 5%~26%까지 증가하는 것으로 나타났다. 2020s는 청주지역이 1985s의 738mm보다 4% 증가한 768mm로 가장 작게 증가하는 것으로 나타났으며, 가장 많이 증가하는 지역은 포항지역이 1985s의 746mm보다 22% 증가한 951mm로 나타났다. 2050s는 진주지역이 1985s의 664mm보다 5% 증가한 696mm로 가장 작게 증가하는 것으로 나타났으며, 가장 많이 증가하는 지역은 포항지역이 1985s의 746mm보다 24% 증가한 979mm로 나타났다. 2080s은 수원지역이 1985s의 684mm보다 8% 증가한 745mm로 가장 작게 증가하는 것으로 나타났으며, 가장 많이 증가하는 지역은 포항지역이 1985s의 746mm보다 26% 증가한 1,004mm로 나타났다.

각 지역별 잠재증발산량의 변화는 여러 요인이 있을 수 있으나 작게 나타난 청주지역의 경우 기온과 증발량, 풍속이 다른 지역에 비해 낮은 것이 가장 큰 원인 것으로 판단되며, 가장 높게 나타난 포항지역의 경우 기온과 증발량이 가장 높게 나타난 것이 가장 큰 원인인 것으로 판단된다.

(표 13.) 지역별 잠재증발산량 및 실제증발산량 분석

지역	잠재증발산량				실제증발산량			
	1985s	2020s	2050s	2080s	1985s	2020s	2050s	2080s
춘천	610.8	650.1	672.5	674.8	658.7	712.8	737.9	741.0
수원	629.0	661.1	652.7	670.5	683.7	746.3	728.4	745.1
진주	617.4	638.6	640.7	667.3	664.2	697.8	695.8	728.8
포항	699.6	879.4	903.6	923.1	745.7	950.8	978.6	1,004.0
여수	717.9	777.8	799.5	839.2	779.5	836.2	861.3	916.3
전주	637.7	671.3	688.1	707.7	684.7	732.3	749.6	778.2
서산	635.6	678.8	688.7	706.6	689.7	754.6	761.3	785.6
청주	682.2	694.7	711.5	736.4	737.9	767.9	786.6	819.2



(a) 잠재증발산량 (b) 실제증발산량

<그림 25.> LARS-WG 자료를 이용한 지역별 증발산량 분석

3. 필요수량 산정 결과

3.1 2020s 필요수량

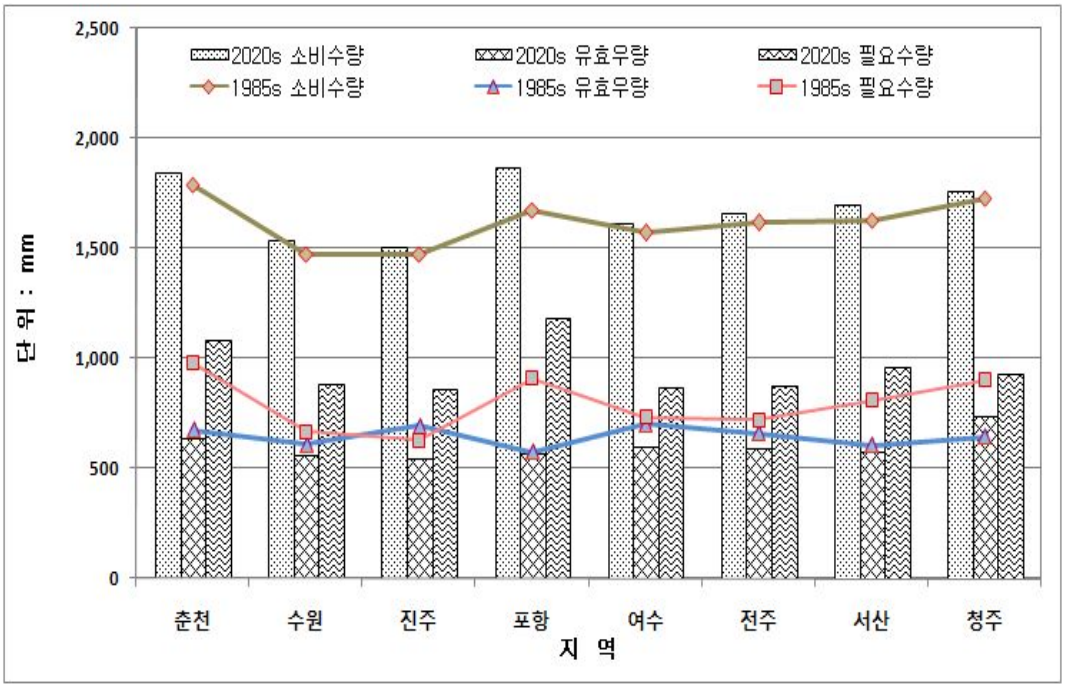
논 필요수량은 벼의 증발산량, 침투량, 유효우량, 재배관리 용수량과 시설관리 용수량을 고려하여 산정하며, LARS-WG 상세화에서 생성된 기상자료를 이용하여 2020s의 필요수량을 분석한 결과는 (표 14.), <그림 26.>와 같다.

2020s에 각 지역별 소비수량을 산정한 결과 진주지역이 가장 낮은 1,507mm로 나타났으며, 가장 높은 지역은 포항지역으로 1,896mm로 나타났다. 그 이유는 농업용수 필요수량에 가장 큰 영향을 미치는 유효우량은 진주지역이 548mm로 가장 낮게 나타났으며, 가장 높은 지역은 청주지역이 737mm로 나타났다. 따라서 소비수량과 유효우량 및 손실율을 고려한 필요수량의 경우 진주지역이 가장 낮은 864mm로 나타났으며, 가장 높은 지역은 포항지역으로서 1,184mm로 나타났다. 또한 필요수량이 가장 작게 증가한 지역은 청주지역으로 1985s에 비해 24mm, 약 3% 증가한 반면 가장 많이 증가한 지역은 진주지역으로 1985s에 비해 276mm, 약 30% 증가하는 것으로 나타났다.

LARS-WG 자료를 이용하여 2020s의 필요수량을 예측한 결과 기상자료인 기온과 증발량이 증가함에 따라 증발산량이 모두 증가하는 것으로 나타났고 그에 따른 소비수량이 증가하는 것으로 사료된다. 필요수량이 가장 작게 증가한 청주지역의 경우 유효우량이 1985s에 비해 가장 많이 증가하여 필요수량이 가장 작게 증가한 것으로 판단되며, 진주지역의 경우 강우량이 비관개기에 집중되어 유효우량이 감소함에 따라 필요수량은 더욱 증가한 것으로 판단된다.

(표 14.) 2020s 지역별 물수지분석

지역	소비수량	강우량	유효우량	순용수량	필요수량
춘천	1,844.1	884.0	637.0	865.5	1,081.9
수원	1,540.9	863.9	559.3	799.1	887.9
진주	1,506.9	783.7	548.1	734.3	863.9
포항	1,869.1	802.8	573.0	1,006.6	1,184.2
여수	1,617.6	771.6	601.1	739.6	870.1
전주	1,665.3	804.2	593.5	792.7	880.8
서산	1,701.1	766.6	577.1	862.9	958.8
청주	1,763.6	1,078.8	736.6	788.0	927.1



<그림 26.> LARS-WG 자료를 이용한 지역별 필요수량 (2020s)

3.2 2050s 필요수량

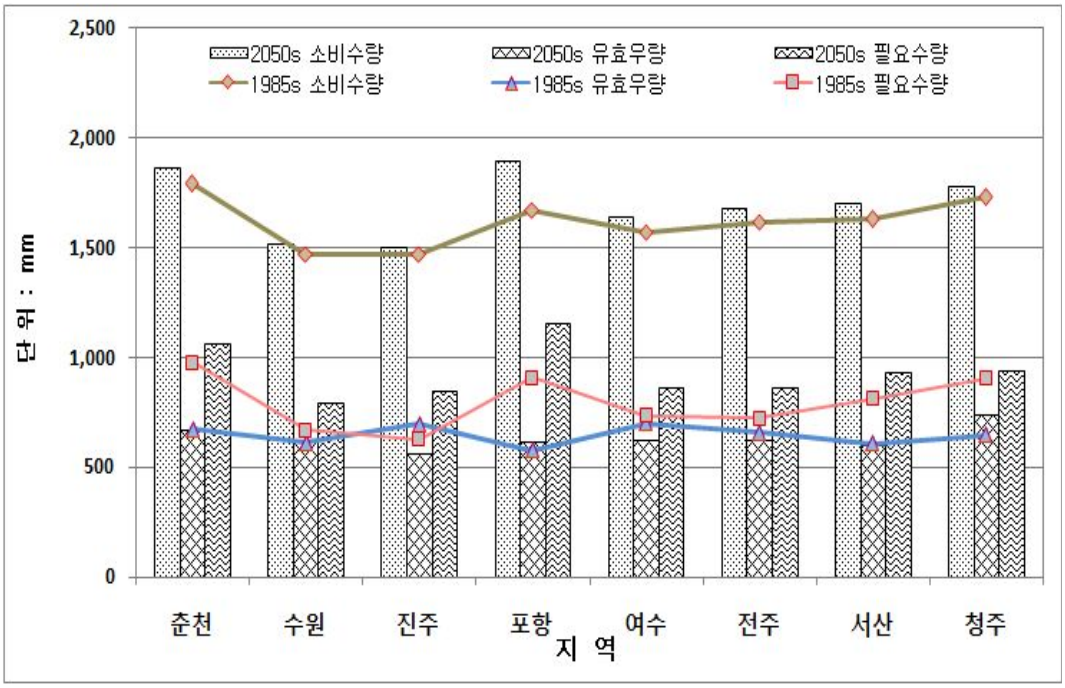
LARS-WG 상세화에서 생성된 기상자료를 이용하여 2050s의 필요수량을 분석하였으며 그 결과는 (표 15.), <그림 27.>과 같다.

2050s에 각 지역별 소비수량은 진주지역이 가장 낮은 1,505mm로 나타났으며, 가장 높은 지역은 포항지역으로 1,896mm로 나타났다. 농업용수 필요수량에 가장 큰 영향을 미치는 유효우량은 진주지역이 560mm로 가장 낮게 나타났으며, 가장 높은 지역은 청주지역이 740mm로 나타났다. 따라서 소비수량과 유효우량 및 손실율을 고려한 필요수량의 경우 진주지역이 가장 낮은 845mm로 나타났으며, 가장 높은 지역은 포항지역으로서 1,154mm로 나타났다. 또한 필요수량이 가장 작게 증가한 지역은 청주지역으로 1985s에 비해 35mm, 약 1% 증가한 반면 가장 많이 증가한 지역은 진주지역으로 1985s에 비해 245mm, 약 27% 증가하는 것으로 나타났다.

2050s에 대한 필요수량을 분석한 결과 2020s와 같이 기온과 증발량이 증가함에 따라 증발산량이 모두 증가하는 것으로 나타났고 그에 따른 소비수량이 증가하는 것으로 사료된다. 필요수량이 가장 작게 증가한 청주지역의 경우 유효우량이 1985s에 비해 가장 많이 증가하여 필요수량이 가장 작게 증가한 것으로 판단되며, 진주지역의 경우 강우량이 비관개기에 집중되어 유효우량이 감소함에 따라 필요수량은 더욱 증가한 것으로 판단된다.

(표 15.) 2050s 지역별 물수지분석

지역	소비수량	강우량	유효우량	순용수량	필요수량
춘천	1,868.5	957.1	669.4	854.1	1,067.7
수원	1,520.8	968.0	624.7	713.6	792.9
진주	1,504.7	875.9	559.5	718.2	845.0
포항	1,896.1	878.4	618.3	980.9	1,154.0
여수	1,642.8	868.2	627.6	733.5	863.0
전주	1,681.6	866.3	626.6	780.4	867.1
서산	1,705.7	806.9	601.9	840.6	934.0
청주	1,780.2	1,179.7	739.7	797.1	937.8



<그림 27.> LARS-WG 자료를 이용한 지역별 필요수량 (2050s)

3.3 2080s 필요수량

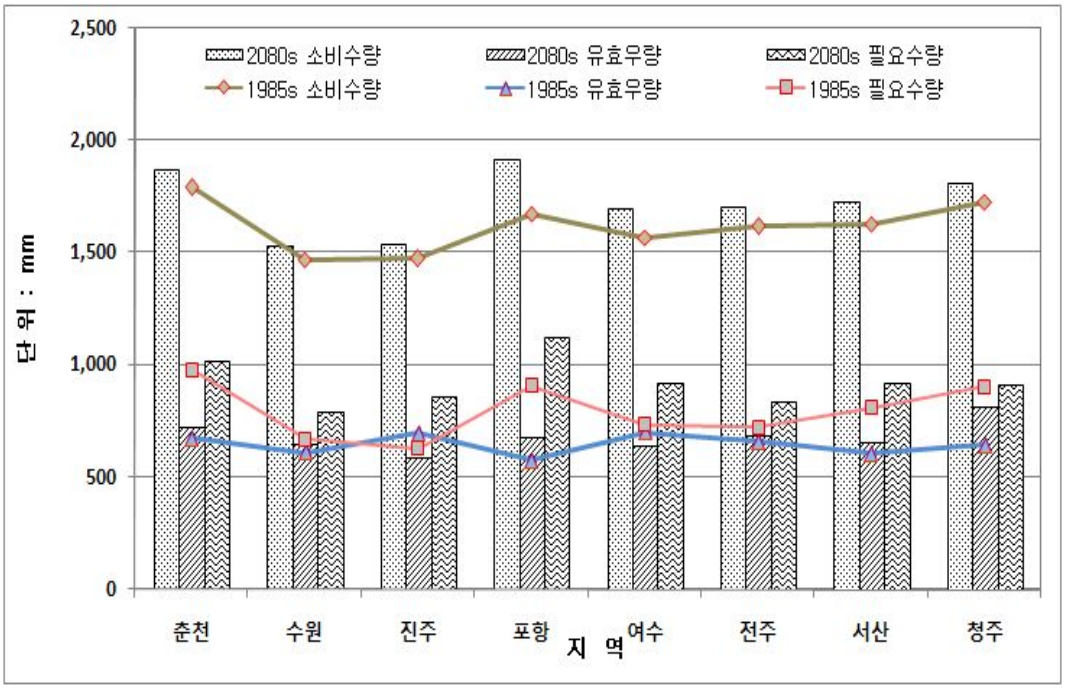
LARS-WG 상세화에서 생성된 기상자료를 이용하여 2080s의 필요수량을 분석하였으며 그 결과는 (표 16.), <그림 28.>과 같다.

2080s에 각 지역별 소비수량은 수원지역이 가장 낮은 1,537mm로 나타났으며, 가장 높은 지역은 포항지역으로 1,922mm로 나타났다. 농업용수 필요수량에 가장 큰 영향을 미치는 유효우량은 진주지역이 593mm로 가장 낮게 나타났으며, 가장 높은 지역은 청주지역이 813mm로 나타났다. 따라서 소비수량과 유효우량 및 손실율을 고려한 필요수량의 경우 수원지역이 가장 낮은 795mm로 나타났으며, 가장 높은 지역은 포항지역으로서 1,128mm로 나타났다. 또한 필요수량이 가장 작게 증가한 지역은 청주지역으로 1985s에 비해 11mm, 약 1% 증가한 반면 가장 많이 증가한 지역은 진주지역으로 1985s에 비해 233mm, 약 37% 증가하는 것으로 나타났다.

2080s에 대한 필요수량을 분석한 결과 2020s, 2050s와 같이 기온과 증발량이 증가함에 따라 증발산량이 모두 증가하는 것으로 나타났고 그에 따른 소비수량이 증가하는 것으로 사료된다. 필요수량이 가장 작게 증가한 청주지역의 경우 유효우량이 1985s에 비해 가장 많이 증가하여 필요수량이 가장 작게 증가한 것으로 판단되며, 진주지역의 경우 강우량이 비관개기에 집중되어 유효우량이 감소함에 따라 필요수량은 더욱 증가한 것으로 판단된다.

(표 16.) 2080s 지역별 물수지분석

지역	증발산량		소비수량	강우량	유효우량	순용수량	필요수량
	잠재	실제					
춘천	674.8	741.0	1,870.8	1,044.3	725.1	817.6	1,022.1
수원	670.5	745.1	1,536.6	1,010.4	646.2	715.4	794.9
진주	667.3	728.8	1,537.2	979.3	592.7	731.3	860.3
포항	923.1	1,004.0	1,922.0	1,011.9	76.2	958.5	1,127.6
여수	839.2	916.3	1,698.9	914.5	639.1	784.5	923.0
전주	707.7	778.2	1,710.3	992.4	688.8	757.8	842.0
서산	706.6	785.6	1,730.9	913.0	656.7	829.7	921.9
청주	736.4	819.2	1,812.8	1,420.9	812.7	776.5	913.5

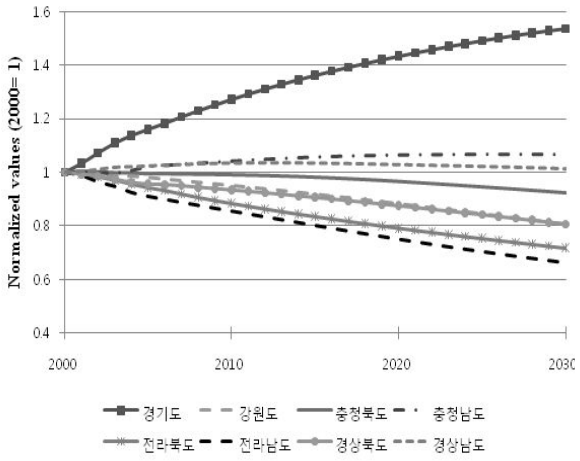


<그림 28.> LARS-WG 자료를 이용한 지역별 필요수량 (2080s)

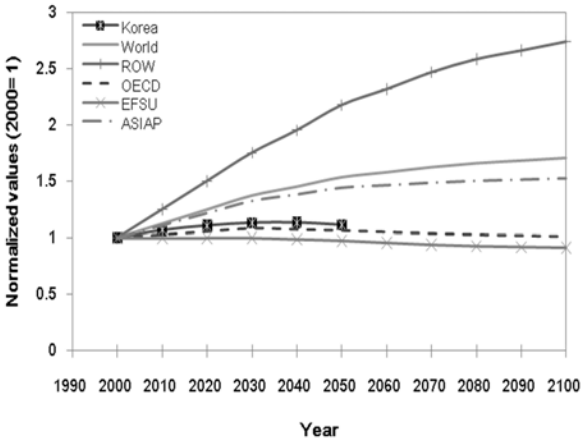
4장. 논벼 재배 지역의 변화 예측

1. 토지이용변화 시나리오

A1B 시나리오에서의 시가화지역은 통계청에서 제공하는 도별 장래 인구추계 변화율을 고려하여 대상지의 시가화면적 증가율을 결정하였으며 인구 감소 지역은 현재 면적을 유지하는 것으로 보았다. 통계청에 따르면 2005년 전국인구는 48,138천명이며, 향후 2018년 49,340천명을 정점으로 감소하여 2030년에는 48,635천명이 될 것으로 전망하고 있다. 이를 도별로 살펴보면 그림 21과 같이 2030년까지 경기도는 인구가 계속 증가하는 반면 경남, 충남 등은 인구증가에서 감소경향으로 전환되고 강원, 충북, 전북, 전남, 경북은 인구감소세가 지속될 것으로 예측하고 있다. 이를 <그림 29, 30>에 나타난 AIM의 인구변화 결과와 비교하여 인구증가가 예상되는 곳은 OECD지역의 토지피복변화 추세를 바탕으로 하고, 인구감소가 예측되는 지역은 EFSU 지역의 토지이용변화 추세를 검토하여 각 도별 토지이용변화 시나리오를 설정하였다. 특히, 경기도 지역은 기후변화 시나리오의 A1B, A2, B1, B2의 토지피복변화를 모두 산정하여 비교하였으며 나머지 7개 지역은 미래 기상자료가 제공되는 A1B 시나리오를 중심으로 살펴보았다.



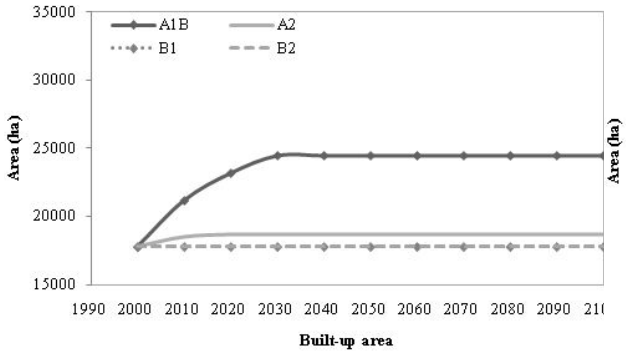
<그림 29.> 인구 추계 변화율 (통계청)



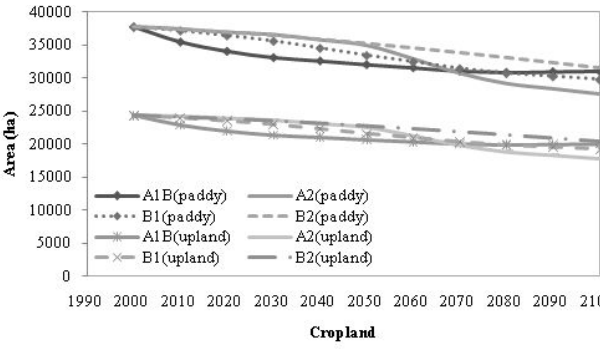
<그림 30.> 인구 변화율 (AIM)

1.1 경기(마둔 저수지)

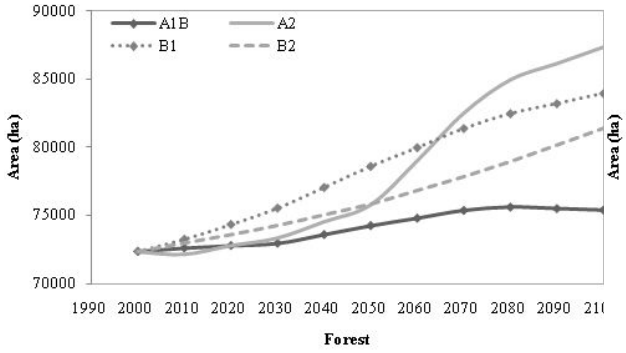
인구증가가 예상되는 경기도 지역은 AIM 결과의 OECD지역의 토지피복변화율을 적용하였으며, SRES 4가지 시나리오 설정 조건에 따른 토지피복 변화 총량 설정 결과는 <그림 31.~34.>과 같다. 시가화면적 시나리오의 경우, 빠른 경제성장을 지향하는 A1B에서는 지속적인 도시화가 진행되는 것으로 가정하여 경기도지역의 인구추계 변화율과 동일하게 도시면적이 증가하는 것으로 설정하였으며, 이에 비해 지역주의 시나리오인 A2에서는 전국 인구증가율에 비례하여 완만하게 도시면적이 증가하는 것으로 설정하였다. 반면 환경보전을 강조하는 B1, B2 시나리오에서는 시가화면적이 현재수준을 유지하는 것으로 설정하고 산림면적과 초지지역의 변화율이 AIM 추세를 따를 때, 남은 면적을 농업지역으로 산정하였다. 농업지역 중 논과 밭 비율은 과거 20년의 논/밭 면적비를 적용하여 분배하였으며 수역은 변화하지 않는 지역으로 제한을 두어 토지이용변화면적 시나리오를 작성하였다. 초지지역의 경우 바이오매스 농장을 포함하는 면적으로서 통합모형의 추세를 반영하여 적용할 경우, 상대적으로 다른 토지피복에 비해 증가폭이 크게 설정되는 경향이 나타났다.



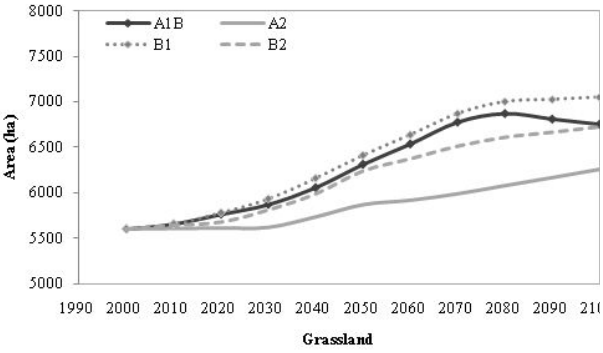
<그림 31.> 경기지역의 시가화지역 면적변화 시나리오



<그림 32.> 경기지역의 농업지역 면적변화 시나리오



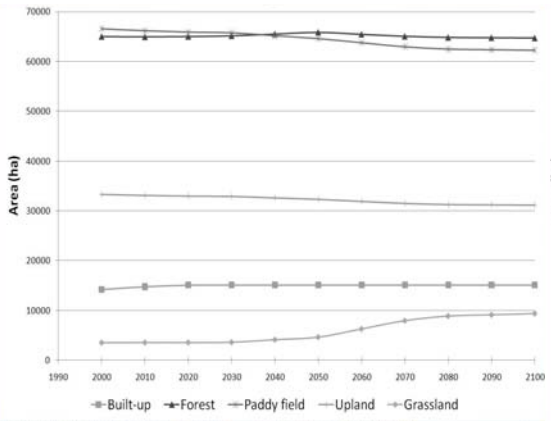
<그림 33.> 경기지역의 산림지역 면적변화 시나리오



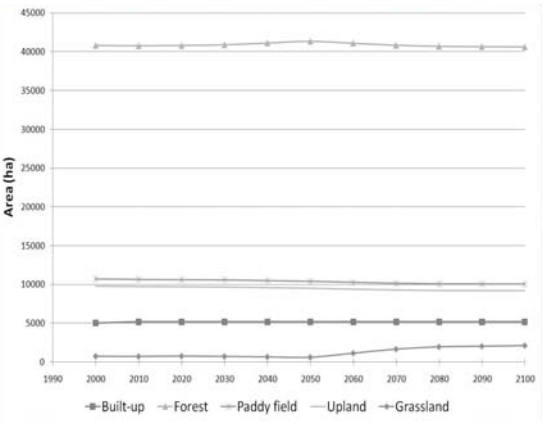
<그림 34.> 경기지역의 산림지역 면적변화 시나리오

1.2 충남(고풍 저수지)/경남(남성 저수지)

인구 증가가 예상되는 충남지역과 경남지역의 A1B 시나리오에서는 AIM에서 제공하는 OECD 지역의 농업지역 변화와 산림지역 변화율을 적용하였으며, 시가화면적 증가는 도별 인구증가율과 비례하고 수역은 고정된 면적으로 설정한 후, 초지지역을 나머지 면적으로 산정하였다. 그 결과 설정 조건에 따른 충청남도 고풍 저수지 포함지역과 경남의 남성 저수지 포함 지역의 토지피복 변화 총량설정 결과는 다음과 같다. 충청남도는 통계청 인구추계 결과, 2027년까지 약간의 인구증가가 예상되므로 시가화면적 증가 비율도 동일하게 적용하고, 그 이후는 시가화면적이 확장되지 않는 것으로 토지변화 시나리오를 작성하였고 경상남도는 2012년 이후로 시가화면적이 확장되지 않는 것으로 작성하였다.



<그림 35.> A1B 시나리오에서 충남지역 토지피복면적 변화



<그림 36.> A1B 시나리오에서 경남지역 토지피복면적 변화

1.3 강원/충북/전북/전남/경북

인구 감소가 예상되는 지역들은 AIM에서 제공하는 유럽지역의 변화결과인 EFSU 지역의 농업지역 변화와 산림지역 변화율을 적용하였으며, 시가화면적은 현재수준을 유지하는 것으로 하고 수역은 고정된 면적으로 설정한 후, 나머지 지역을 초지면적으로 산정하였다.

2. 토지피복별 위치 특성

2.1 경기도 (마둔 저수지)

이분형 로지스틱 회귀분석으로 유의수준(p) 0.05 하에서 6가지 분류의 토지피복의 회귀식을 추정한 결과는 (표 17.)과 같다. 시가화지역 분포를 결정하는 요인으로는 7가지 구동요인 중 4가지 요인이 관련 있는 것으로 나타났으며 경사도가 상대적으로 주요 변수임을 알 수 있다. 이와 달리 논, 밭, 산림의 경우는 7가지 구동요인이 모두 토지피복 분포와 관련이 있는 것으로 나타났으며 경사도와 토양 배수특성의 영향이 상대적으로 크게 나타났다. 초지 분포의 회귀식에서는 5가지 요인 중 토양 배수특성의 영향이 상대적으로 크게 나타났으며 수역에서는 토양종류의 영향이 큰 것으로 나타났다.

이와 같은 분석결과를 활용하여 각 토지피복별 회귀식을 도출할 수 있으며, 각 토지피복별 회귀식을 7가지 구동요인으로 표현한 식은 다음과 같다. 이를 바탕으로 CLUE 모델에서 <그림 37, 38>과 같이 논과 산림의 확률 지도를 생성하였다.

Built-up :

$$Log(\frac{P_l}{1-P_l}) = .567523 + .001637X_{0,l} + .000248X_{1,l} - .023827X_{2,l} - .017104X_{3,l}$$

Paddy :

$$Log(\frac{P_l}{1-P_l}) = .872662 - .009964X_{0,l} + .000212X_{1,l} - .181331X_{2,l} - .001616X_{3,l} + .215748X_{4,l} - .55941X_{5,l} + .872662X_{6,l}$$

Upland :

$$Log(\frac{P_l}{1-P_l}) = -.84141 - .00573X_{0,l} + .001193X_{1,l} - .10117X_{2,l} + .000425X_{3,l} + .125498X_{4,l} + .176369X_{5,l} - .2389X_{6,l}$$

Forest :

$$Log(\frac{P_l}{1-P_l}) = -4.313631 + .010754X_{0,l} - .001088X_{1,l} + .169879X_{2,l} + .000758X_{3,l} + .019715X_{4,l} + .583243X_{5,l} - .112938X_{6,l}$$

Grassland :

$$Log(\frac{P_l}{1-P_l}) = -4.80399 - .00079X_{0,l} + .000766X_{1,l} - .0182X_{2,l} + .00103X_{3,l} + .286659X_{5,l}$$

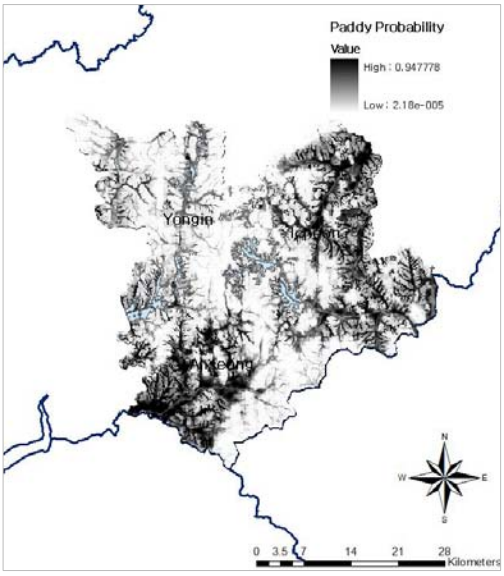
Water :

$$Log(\frac{P_l}{1-P_l}) = -2.52646 - .01223X_{0,l} - .21165X_{2,l} + .000745X_{3,l} - .6711X_{4,l} - .22763X_{5,l} + .493885X_{6,l}$$

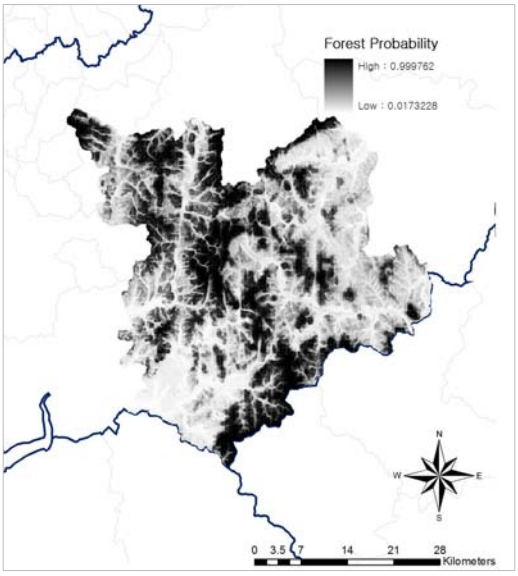
where, P_i *: the probability of a gridcell on location i,* X *: location factor*

(표 17.) 이분형 로지스틱 회귀분석 결과 (경기)

	시가화	논	밭	산림	초지	수역
고도	0.001637	-0.00996	-0.00573	0.010754	-0.00079	-0.01223
경사향	0.000248	0.000212	0.001193	-0.00109	0.000766	
경사도	-0.023827	-0.18133	-0.10117	0.169879	-0.0182	-0.21165
도시와의 거리	-0.017104	0.001616	0.000425	0.000758	0.00103	0.000745
유효토심		0.215748	0.125498	0.019715		-0.6711
배수전도		-0.55941	0.176369	0.583243	0.286659	-0.22763
토양종류		0.086129	-0.2389	-0.11294		0.493885
상수	0.567523	0.872662	-0.84141	-4.31363	-4.80399	-2.52646
ROC statistic	**0.93**	**0.86**	**0.71**	**0.90**	**0.64**	**0.87**



<그림 37.> 논 분포 확률지도



<그림 38.> 산림 분포 확률지도

이 확률 지도와 실제 토지피복 분포를 비교하는 ROC 곡선 검정법을 통해 회귀식을 평가한 결과, 시가화 지역의 분포 일치도가 0.93 으로 가장 높게 나타났다. ROC 곡선 아래의 면적이 1.0 이면 실제 결과와 완벽하게 일치함을 의미한다. 마둔 저수지를 포함한 경기도 3개 시군의 토지피복별 확률지도는 각각 논에서 0.86, 밭 0.71, 산림 0.90, 초지 0.64, 수역 0.87의 일치도를 나타냈다.

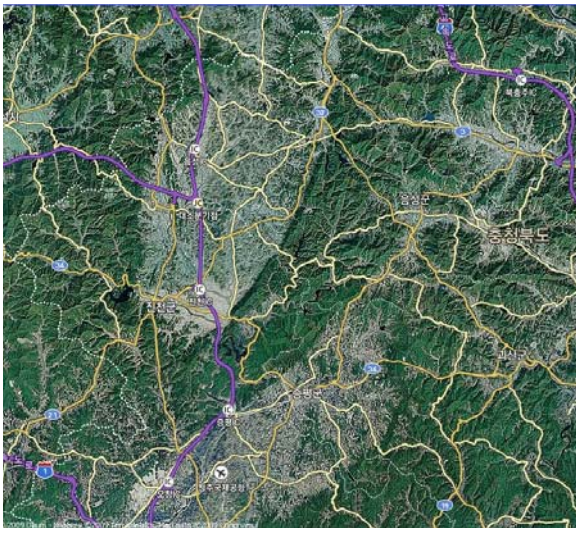
2.2 충청북도 (원남 저수지)

충청북도 3개 시군을 대상으로 회귀분석한 결과는 (표 18.)과 같다. 시가화지역 분포를 결정하는 요인으로는 7가지 구동요인 중 5가지 요인이 관련 있는 것으로 나타났으며 논, 밭, 산림의 경우는 7가지 요인이 토지피복 분포와 관련이 있는 것으로 나타났다. 논의 경우, 경사도와 유효토심, 토양 배수특성의 영향이 상대적으로 큰 것으로 나타났으며 밭에서는 유효토심의 계수가 높게 나타났다. 초지 분포의 회귀식에서는 토심의 영향이 상대적으로 크게 나타나 경기도 지역의 분석결과와 상이하였다. 수역에서는 토양종류의 영향이 큰 것으로 나타났다.

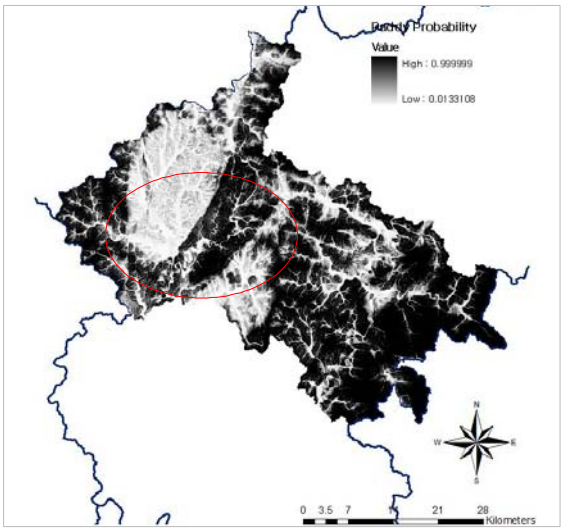
이와 같은 분석결과를 활용하여 CLUE 모델에서 <그림 40.>과 같이 산림의 확률 지도를 생성하였다. 산림 분포도는 ROC 검정 결과 0.93의 일치도를 나타냈으며 위성영상과 비교하여도 유사한 분포를 나타내는 것을 확인할 수 있다.

(표 18.) 이분형 로지스틱 회귀분석 결과 (충북)

	시가화	논	밭	산림	초지	수역
고 도		-0.005172	-0.000876	0.005278	-0.001697	-0.010750
경사향	0.000309	-0.001471	0.000645	0.002033	-0.000838	-0.001631
경사도	-0.045205	-0.249321	-0.081880	0.198535		-0.161328
도시와의 거리	-0.008444	0.000256	-0.001082	0.001247	0.000147	0.001539
유효토심		0.241145	0.279431	-0.198561	0.392339	-0.366819
배수전도	0.021456	-0.504828	0.180417	0.532422	0.113117	-0.245167
토양종류	0.048056	0.192223	-0.040125	-0.290882		0.699878
상 수	-0.628894	0.991782	-1.555267	-3.542855	-5.061860	-3.853308
ROC statistic	0.89	0.91	0.76	0.93	0.63	0.91



<그림 39.> 위성영상 (Daum 지도)



<그림 40.> 산림분포 확률지도

2.3 기타

각 도별 연구대상지의 토지피복 특성과 구동요인들을 회귀분석한 결과는 다음 (표 19, 20.)과 같다. 지역별로 구동요인들의 상관계수는 각각 다르게 나타났으나 일반적으로 산림에서 확률도와 실제 토지피복도의 일치비율이 높게 나타났으며 초지의 일치율이 가장 작은 경향을 나타냈다. 논 피복의 경우, ROC 검정 결과 0.92 ~ 0.84 사이의 값을 나타냈으며 공통적으로 토양도 속성과 높은 상관관계를 보였다.

(표 19.) 이분형 로지스틱 회귀분석 결과

지 역	구동요인	시가화	논	밭	산림	초지	수역
강원 (원창)	고도	-.003498	.000150	-.000746	.004154	-.002950	-.011591
	경사향	.000429	.001775	.000790		-.001775	-.002345
	경사도	-.106831	-.165646	-.091524	.207196	-.040711	-.181912
	도시와의 거리	-.001104	-.000278	-.000282	.000079	-.000427	.000840
	유효토심	.173554	.824971	.682677	-.657534		-.742386
	배수전도	-.164318	-.457466	-.069402	.740991	-.060269	-.487828
	토양종류		.240760	.063470	-.374070	.133653	.367582
	상수	-.334978	-2.039643	-2.459282	-2.311091	-3.281047	.977224
	ROC statistic	0.90	0.92	0.85	0.94	0.79	0.95
충남 (고풍)	고도	-.005416	-.007276	-.006356	.012042	-.007867	-.004754
	경사향		-.002399	.001125	.003196	.001735	-.002600
	경사도	-.021211	-.211729	-.050828	.233700	-.032478	-.238695
	도시와의 거리	-.006806	.000640	-.001112	.000917	.001650	.000834
	유효토심	-.082559	.140517	.245919	.081693	.242881	-.452628
	배수전도	.075933	-.604153	.316531	.490422	.331520	-.326018
	토양종류	-.086401	.152573	-.120193	.023408		.393156
	상수	-.176886	1.228067	-1.886683	-5.261130	-6.192282	-2.769686
	ROC statistic	0.84	0.86	0.71	0.91	0.68	0.84
전북 (백석)	고도	.018366	-.026484	-.021256	.011823	-.009285	-.006541
	경사향	-.000722	.000616		.003289		
	경사도	-.159554		-.079839	.208790	-.133423	-.190879
	도시와의 거리	-.014832	.004228	.000794	.002685	.001807	.002137
	유효토심		1.030080	-.924132	-1.684175	-3.865223	
	배수전도		-.823486	.669882	.621413	.343976	-.395073
	토양종류	-.117272	.403308	-.530886	-.722846	-1.924678	.849566
	상수	1.412599	-2.576279	1.056306	-.390521	11.345152	-6.163097
	ROC statistic	0.92	0.87	0.75	0.96	0.79	0.85
전남 (대포)	고도	-.002148	-.004880	-.016573	.009374	.004735	-.035280
	경사향	-.000893	-.000876	.001702			
	경사도	-.082054	-.179022	.024726	.095253	.020100	-.210033
	도시와의 거리	-.009977	.000996	-.000181	.001281	-.000322	.001783
	유효토심		.744432		-.697220		-.383390
	배수전도		-.231287	.221643	.196303	.197285	-.235759
	토양종류		.231489		.021395	-.241294	.176351
	상수	1.114788	-2.256743	-1.429115	-2.269216	-3.484513	-1.726894
		0.92	0.87	0.73	0.87	0.67	0.91

(표 20.) 이분형 로지스틱 회귀분석 결과 (계속)

지 역	구동요인	시가화	논	밭	산림	초지	수역
경북 (마북)	고도	-.003806	-.004927	.003135	.001379	-.005925	-.002312
	경사향	-.000727	-.002334		.004080		-.001378
	경사도	-.075251	-.159935	-.084514	.185810	-.045112	-.164929
	도시와의 거리	-.006480		-.002201	.002315	.000598	
	유효토심	-.164263	.658245	.309572	-.708769	.202445	
	배수전도		-.221036		.517071	.259875	-.393783
	토양종류		.035260	.157617	-.211151		.649998
	상수	.634201	-.176737	-2.347026	-2.952495	-5.258865	-4.422838
	ROC statistic	0.92	0.92	0.80	0.95	0.76	0.89
경남 (남성)	고도	-.014913	-.008847	-.014611	.020603	-.008322	-.021885
	경사향	-.001230	-.002309	-.000336	.005228		-.001961
	경사도	-.047683	-.048180	-.038979	.123305	-.030986	-.054384
	도시와의 거리	-.008079	-.000224	-.000566	.001226	.000588	.002506
	유효토심	.401236	.455368	-.188752	-.294078		-.460270
	배수전도	.099372	-.373457	.234062	.501333	.130228	-.762858
	토양종류	.107819	-.109394	.080644	-.325428	-.108106	.403759
	상수	-.650630	.897233	-1.261529	-4.021897	-3.972864	-.844546
	ROC statistic	0.89	0.84	0.71	0.91	0.63	0.92

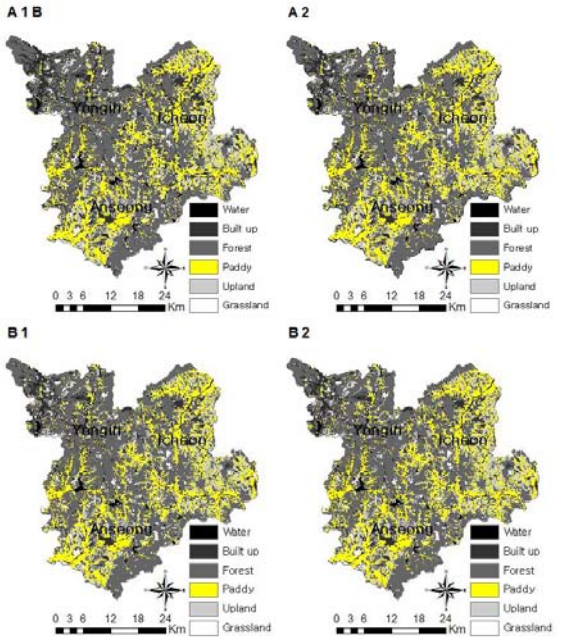
3. 기후변화 시나리오에 따른 토지피복변화 분포

농업진흥구역을 제한지역으로 규정하고, 설정된 시나리오 조건과 토지피복별 위치 적합성을 적용하여 공간적인 토지이용변화를 모의하였다.

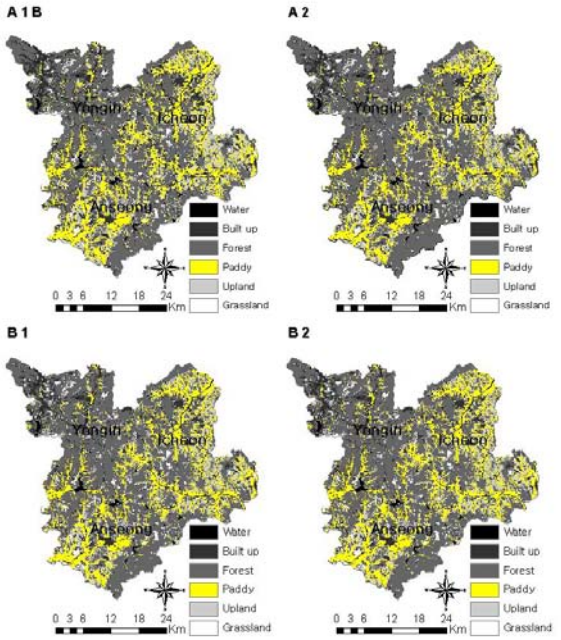
마둔 저수지를 포함하는 경기도 3개 시군을 대상으로 A1B, A2, B1, B2 등 4가지 시나리오별로 2000년부터 2100년 사이의 토지피복 분포 변화를 각각 모의하였으며 이외의 지역은 A1B 시나리오 하에서 100년간의 토지피복 분포를 모의하였다.

3.1 마둔 저수지

<그림 41, 42>에 나타난 토지피복분포 모의 결과를 살펴보면, A1B 시나리오에서 시가화지역이 증가하고 있으며 농업지역 면적이 감소가 진행되고 있음을 알 수 있다. A2 시나리오에서 논지역의 감소가 가장 크게 나타났으며 산림지역의 면적이 증가하였음을 볼 수 있고, B1과 B2시나리오의 토지피복 분포는 매우 유사한 분포패턴을 보이고 있다.



<그림 41.> 2050년의 시나리오별 토지피복분포 (경기)



<그림 42.> 2100년의 시나리오별 토지피복분포 (경기)

토지피복 분포 변화를 행정구역별로 살펴보면 아래 (표 21.)와 같다. 전반적으로 용인시의 변화가 타 시군에 비해 크게 나타났으며, 논 분포 변화가 가장 크게 나타난 A2 시나리오에서는 2000년 논면적에 비해 이천에서 20.5%, 용인에서 40.7%, 안성에서 23.9% 감소하는 것으로 나타났으며 A1B 시나리오에서는 이천에서 14.1%, 용인에서 29.8%, 안성에서 14.5% 감소하는 것으로 나타났다. 이에 비해 B2에서는 이천, 용인, 안성에서 각각 10.8%, 27.6%, 14.3% 감소하는 것으로 나타나 가장 변화가 적은 것으로 모의되었다.

(표 21.) 시나리오별 토지피복 면적 변화 결과 (경기)

		기준년도[1]	A1B		A2		B1		B2	
지역	분류[2]	면적 (ha)	변화량 (Δha)	변화율 (%)	변화량 (Δha)	변화율 (%)	변화량 (Δha)	변화율 (%)	변화량 (Δha)	변화율 (%)
이천	시가화	4,669	1,890	40.5	254	5.4	33	0.7	22	0.5
	논	13,891	-1,958	-14.1	-2,851	-20.5	-1,893	-13.6	-1,500	-10.8
	밭	10,349	-1,026	-9.9	-1,897	-18.3	-1,531	-14.8	-1,093	-10.6
	산림	15,099	877	5.8	4,357	28.9	3,119	20.7	2,344	15.5
	초지	934	217	23.2	137	14.7	272	29.1	227	24.3
	수역	1,118	0	0	0	0	0	0	0	0
	Total	46,060								
용인	시가화	8,482	2,884	34	544	6.4	83	1	78	0.9
	논	9,000	-2,686	-29.8	-3,665	-40.7	-3,139	-34.9	-2,486	-27.6
	밭	5,317	-1,878	-35.3	-2,349	-44.2	-1,820	-34.2	-1,499	-28.2
	산림	32,660	1,274	3.9	5,174	15.8	4,185	12.8	3,412	10.4
	초지	2,256	406	18	296	13.1	691	30.6	495	21.9
	수역	1,609	0	0	0	0	0	0	0	0
	Total	59,324								
안성	시가화	4,447	1,935	43.5	223	5	45	1	35	0.8
	논	14,546	-2,112	-14.5	-3,476	-23.9	-2,831	-19.5	-2,087	-14.3
	밭	8631	-1,464	-17	-2,399	-27.8	-1,880	-21.8	-1,508	-17.5
	산림	23,768	1,155	4.9	5,463	23	4,211	17.7	3,199	13.5
	초지	2,347	486	20.7	189	8.1	455	19.4	361	15.4
	수역	1,403	0	0	0	0	0	0	0	0
	Total	55,142								

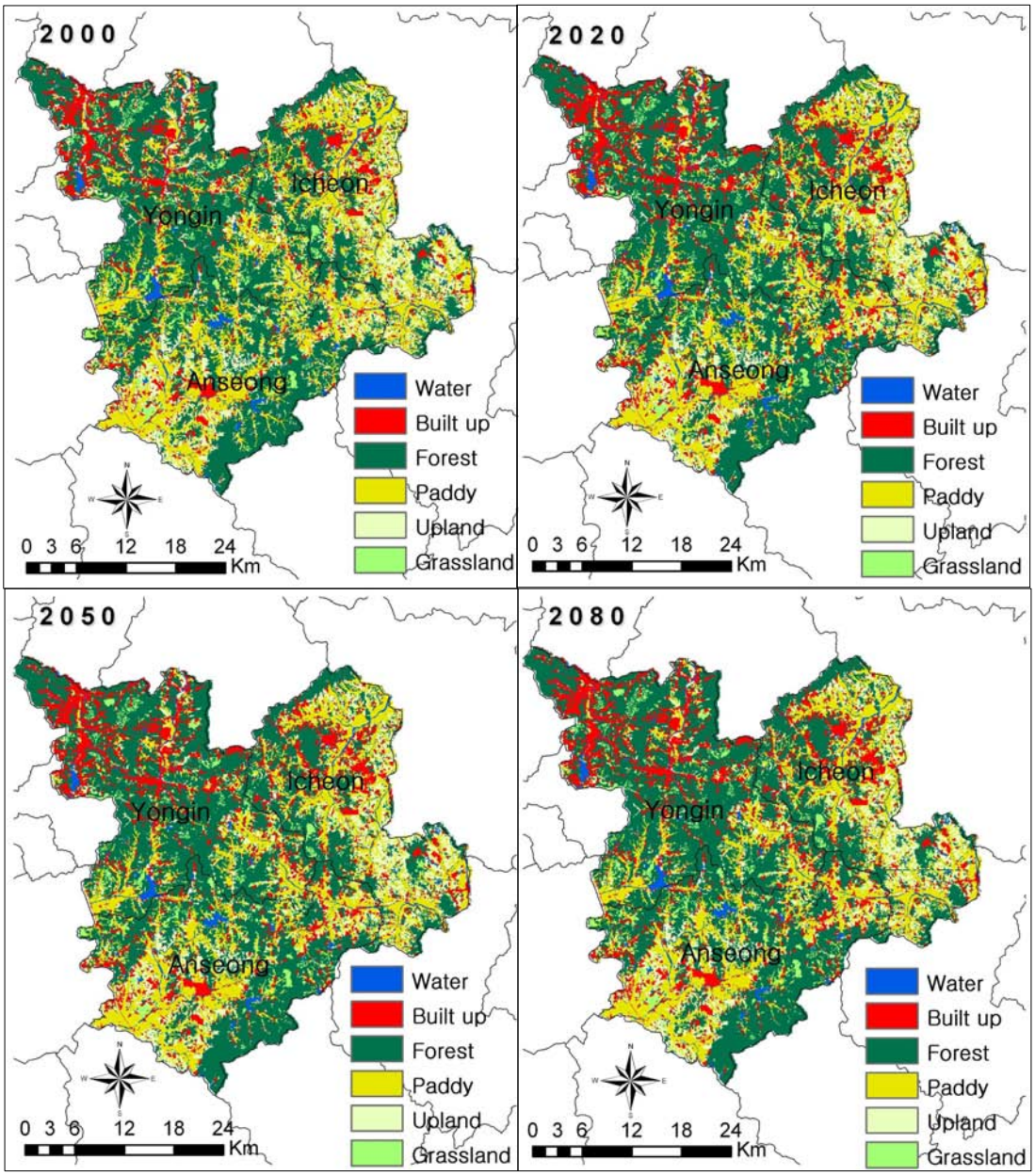
1) Area of Land Cover map (MOE, 2000)

2) Land cover classification

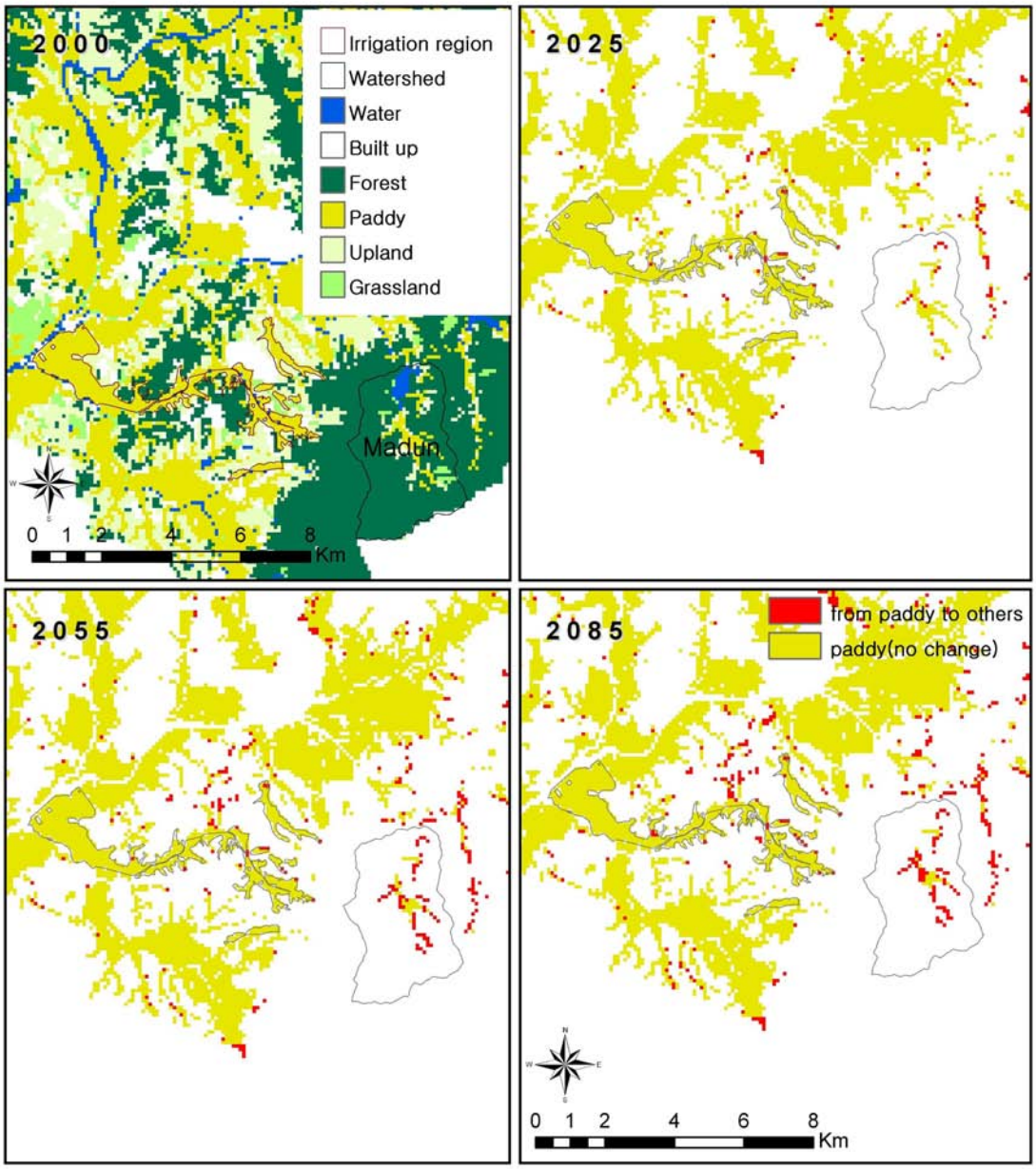
미래 기상자료가 제공되는 A1B 시나리오를 중심으로 토지이용변화 모의를 수행하여 경기도 3개 지역의 시·군 토지피복변화와 저수지유역과 관개지구의 시계열 토지피복변화를 각각 나타낸 결과는 (표 22.)와 <그림 43.>와 같다. A1B에서는 연구대상지 전체적으로 100년 동안 논면적이 약 18% 감소하는 것으로 나타났으나, 마둔 저수지 유역을 중점적으로 살펴보면 72%의 논이 감소하여 기존의 86ha에서 62ha가 감소하여 2100년에는 논이 22ha 정도만 분포하는 것으로 나타났다. 그러나 관개지구내에서는 532ha의 논면적 중 2.4%인 13ha정도만 감소하는 것으로 모의되었다. 마지막으로 <그림 44.>은 논 분포의 변화를 보다 효과적으로 살펴보기 위해 다른 토지이용으로 변화한 지역과 논으로 유지된 지역을 표시하여 나타낸 지도이다.

(표 22.) A1B시나리오에서 연구범위별 토지피복 면적 시계열 변화 결과 (경기)

		기준년도[1]	2025		2055		2085		2100	
지역	분류[2]	면적 (ha)	변화량 (Δha)	변화율 (%)	변화량 (Δha)	변화율 (%)	변화량 (Δha)	변화율 (%)	변화량 (Δha)	변화율 (%)
대상지	시가화	17,762	5,551	31.3	6,747	38.0	6,747	38.0	6,747	38.0
	논	37,618	-3,573	-9.5	-5,726	-15.2	-6,771	-18.0	-6,771	-18.0
	밭	24,455	-2,541	-10.4	-3,760	-15.4	-4,524	-18.5	-4,407	-18.0
	산림	72,331	450	0.6	1,975	2.7	3,334	4.6	3,321	4.6
	초지	5,600	113	2.0	764	13.6	1,214	21.7	1,110	19.8
	수역	4,214	0	0	0	0	0	0	0	0
	Total	161,980								
저수지 유역	시가화	12	16	133.3	30	250.0	30	250.0	30	250.0
	논	86	-13	-15.1	-54	-62.8	-62	-72.1	-62	-72.1
	밭	63	-12	-19.0	-34	-54.0	-48	-76.2	-48	-76.2
	산림	960	9	0.9	46	4.8	63	6.6	66	6.9
	초지	28	0	0.0	12	42.9	17	60.7	14	50.0
	수역	41	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
	Total	1,190								
관개 지구	시가화	20	1	5.0	3	15.0	3	15.0	3	15.0
	논	532	-7	-1.3	-9	-1.7	-13	-2.4	-13	-2.4
	밭	43	6	14.0	5	11.6	9	20.9	9	20.9
	산림	26	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
	초지	7	0	0.0	1	14.3	1	14.3	1	14.3
	수역	11	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
	Total	639								



<그림 43.> 경기지역의 토지피복변화 (A1B 시나리오)



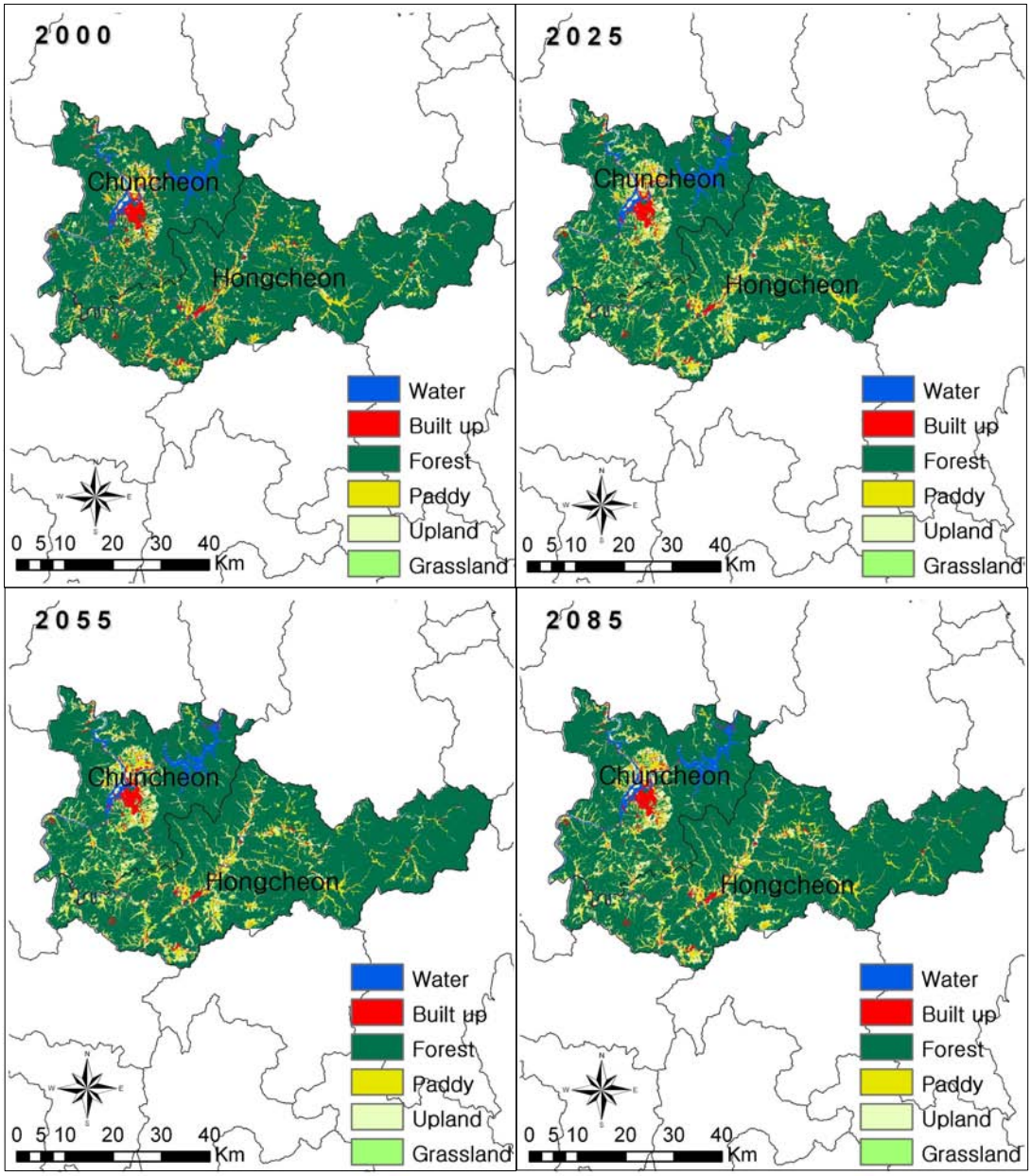
<그림 44.> 마둔 저수지 유역의 논 분포 변화 (A1B 시나리오)

3.2 원창 저수지

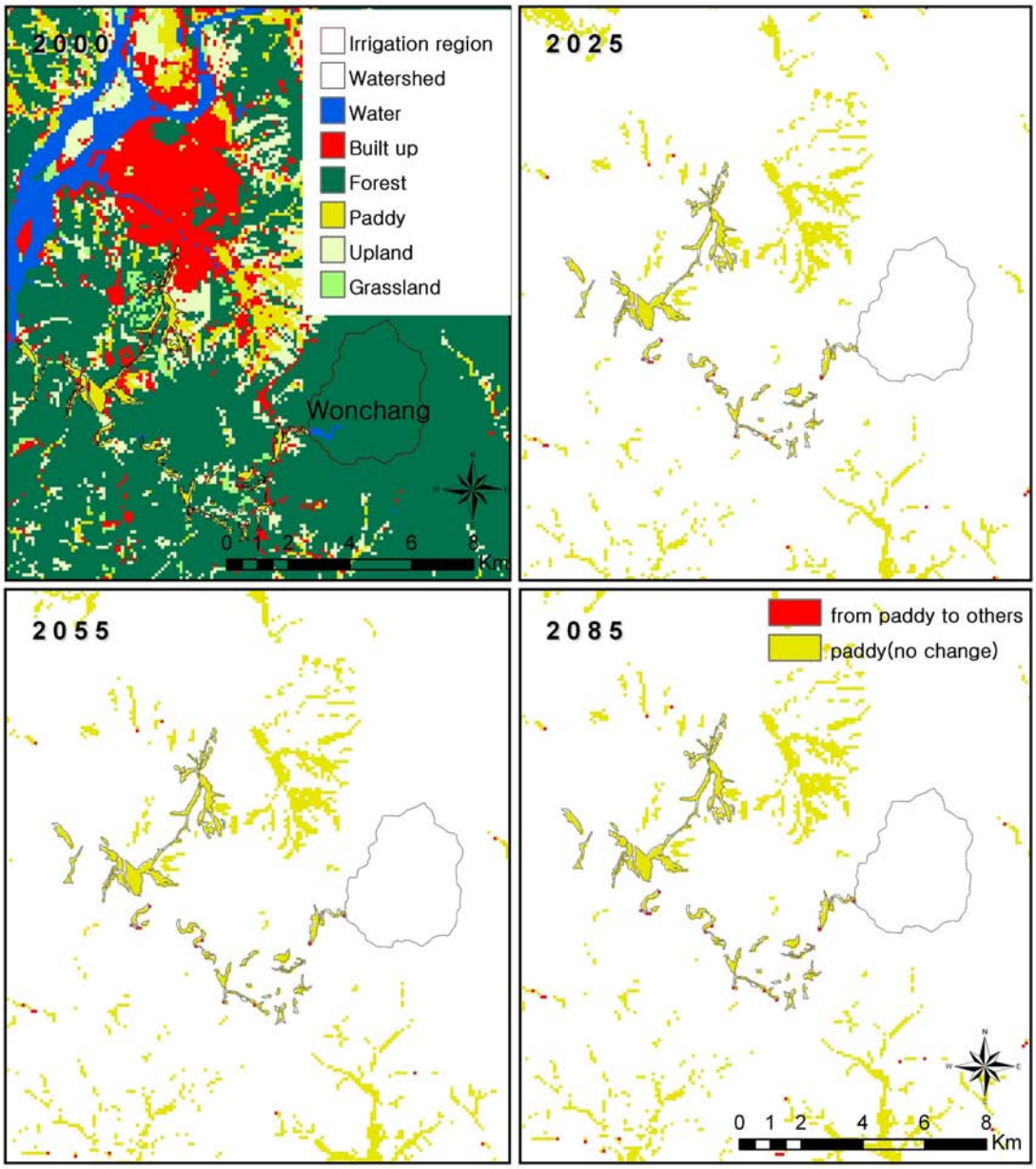
원창 저수지가 위치한 강원도 2개 시군을 대상으로 A1B 시나리오에서 100년간의 토지피복 분포를 모의한 결과는 다음과 같다. 산림이 넓게 분포한 강원도 지역의 토지피복변화를 (표 23.)에서 살펴보면 전체적으로 논 면적 3%, 밭 면적 2.3%, 산림 2.5% 정도 감소하는 것으로 모의되었으며 시가화지역은 거의 변화가 없고, 초지면적이 3배정도 증가하는 것으로 예측되었다. 저수지 유역과 관개 유역을 중심으로 살펴보면 산림이 초지지역으로 5ha, 3ha 정도 전환된 것을 제외하고 다른 토지피복은 변화가 없는 것으로 모의되었다. 이를 도시하면 <그림 45.>와 같으며 (표 24.)은 저수지 유역의 토지피복변환 행렬을 나타낸 것이다.

(표 23.) A1B시나리오에서 연구범위별 토지피복 면적 시계열 변화 결과 (강원)

		기준년도[1]	2025		2055		2085		2100	
지역	분류[2]	면적 (ha)	변화량 (Δha)	변화율 (%)	변화량 (Δha)	변화율 (%)	변화량 (Δha)	변화율 (%)	변화량 (Δha)	변화율 (%)
대상지	시가화	8,526	2	0.0	59	0.7	59	0.7	59	0.7
	논	16,240	-208	-1.3	-347	-2.1	-428	-2.6	-487	-3.0
	밭	15,238	-186	-1.2	-169	-1.1	-286	-1.9	-349	-2.3
	산림	240,940	-12,738	-5.3	-10,904	-4.5	-7,934	-3.3	-5,957	-2.5
	초지	2,054	13,130	639.2	11,361	553.1	8,589	418.2	6,734	327.8
	수역	8,533	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
	Total	291,531								
저수지 유역	시가화	1	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
	논	0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
	밭	0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
	산림	1,253	-6	-0.5	-6	-0.5	-6	-0.5	-6	-0.5
	초지	0	6	-	6	-	6	-	6	-
	수역	19	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
	Total	1,273								
관개 지구	시가화	1	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
	논	401	-8	-2.0	-9	-2.2	-10	-2.5	-11	-2.7
	밭	7	0	0.0	1	14.3	0	0.0	1	14.3
	산림	7	-5	-71.4	2	28.6	6	85.7	7	100.0
	초지	1	13	1,300.0	6	600.0	4	400.0	3	300.0
	수역	0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
	Total	417								



<그림 45.> 강원지역의 토지피복변화 (A1B 시나리오)



<그림 46.> 원창 저수지 유역의 논 분포 변화 (A1B 시나리오)

(표 24.) A1B시나리오에서 원창 저수지유역의 2000년과 2100년 사이의 토지피복 변화

(단위:ha)		Land cover area in 2100						
		시가화	산림	논	밭	초지	수역	Total
Land cover area in 2000	시가화	1						1
	산림		1,247			6		1,253
	논							
	밭							
	초지							
	수역						19	19
	Total	1	1,247			6	19	1,273

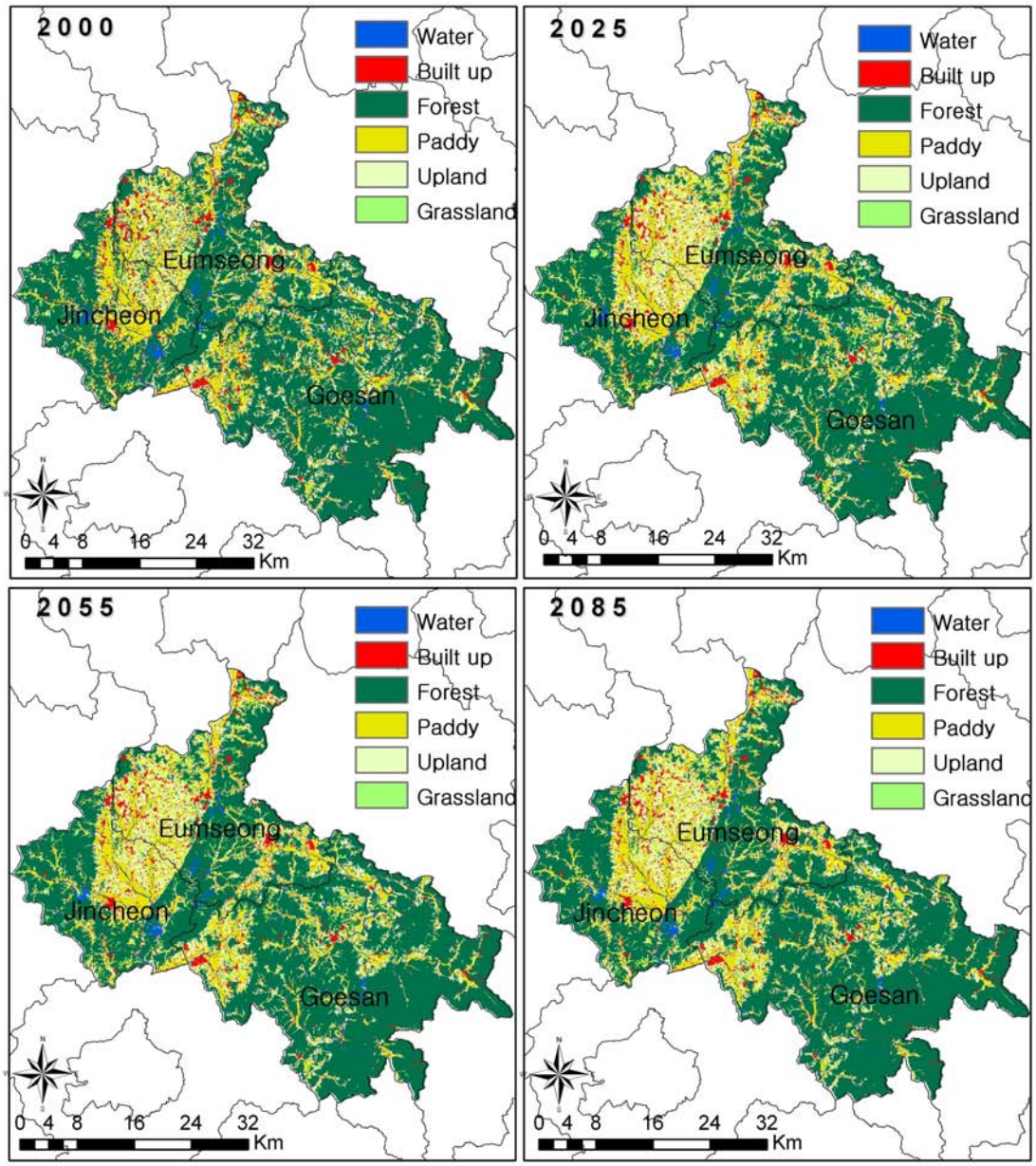
3.3 원남 저수지

원남 저수지가 위치한 충청북도 음성, 진천, 괴산을 대상으로 A1B 시나리오 하에서의 100년간의 토지피복 분포를 모의한 결과는 (표 25.), <그림 47.>와 같다. <그림 48.>에서는 환경부 토지피복도 2000년의 논 분포를 기준으로 2025년, 2055년, 2085년에 다른 토지피복으로 전환된 지역을 확인 할 수 있으며 세부적인 토지피복의 변화 내용은 (표 26.)와 같이 행렬로 나타내었다.

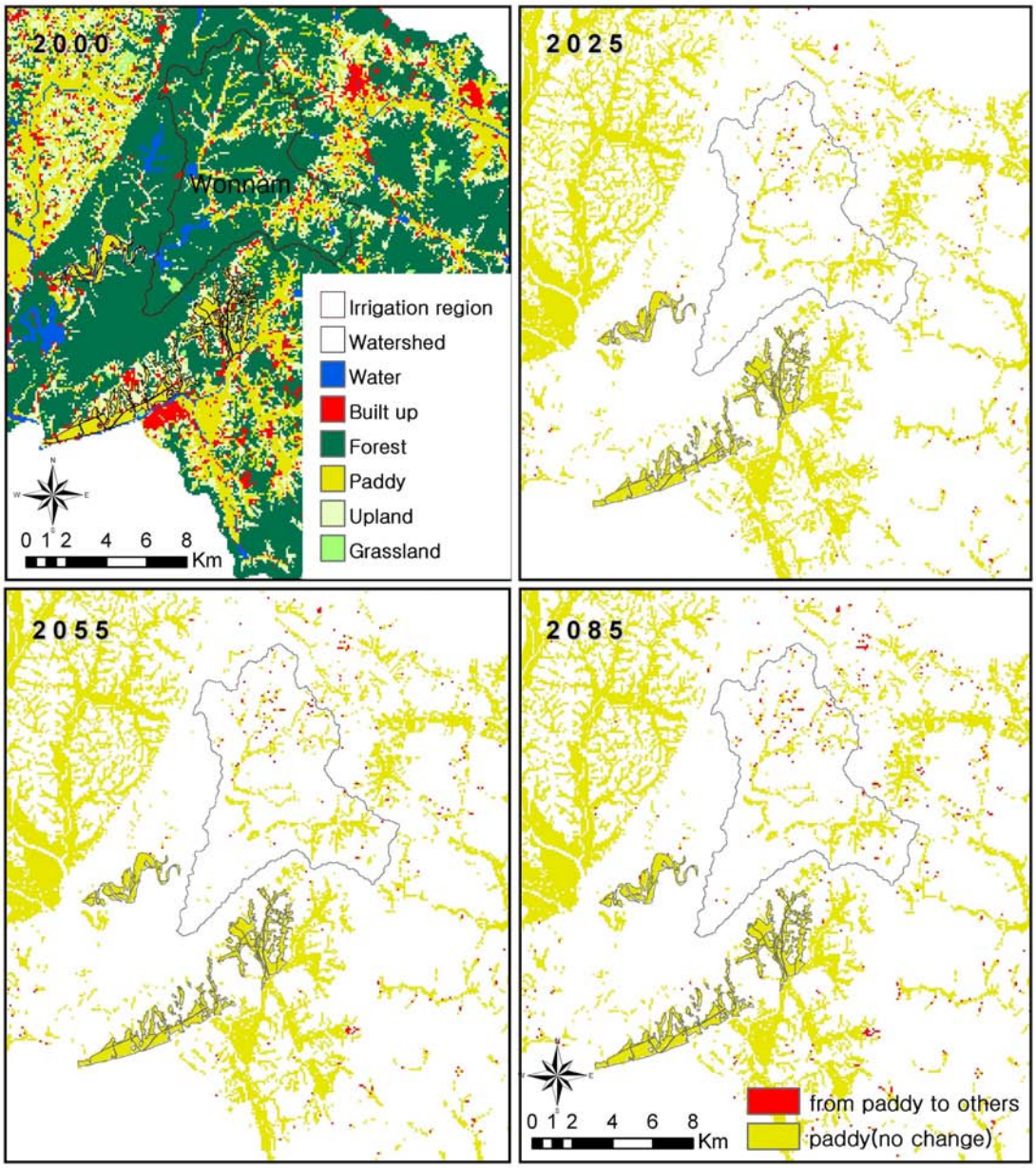
대상지 전체적으로 논면적은 2.5% 정도의 감소를 나타냈으나 저수지 유역내에서는 기존의 720ha에서 36ha의 논이 감소하였고 관개지구내에서의 논면적 변화는 거의 없는 것으로 모의되었다.

(표 25.) A1B시나리오에서 연구범위별 토지피복 면적 시계열 변화 결과 (충북)

		기준년도[1]	2025		2055		2085		2100	
지역	분류[2]	면적 (ha)	변화량 (Δha)	변화율 (%)	변화량 (Δha)	변화율 (%)	변화량 (Δha)	변화율 (%)	변화량 (Δha)	변화율 (%)
대상지	시가화	9,089	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
	논	27,426	-315	-1.1	-503	-1.8	-731	-2.7	-659	-2.5
	밭	26,655	-153	-0.6	-437	-1.6	-556	-2.1	-681	-2.6
	산림	114,878	-5,980	-5.2	-5,118	-4.5	-3,691	-3.2	-2849	-2.5
	초지	2,438	6,448	264.5	6,058	248.5	4,978	204.2	4189	63.2
	수역	4,048	0	0	0	0	0	0	0	0.0
	Total	184,534								
저수지 유역	시가화	185	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
	논	720	-35	-4.9	-54	-7.5	-71	-9.9	-36	-5.3
	밭	962	-182	-18.9	-205	-21.3	-210	-21.8	-223	-30.2
	산림	5,369	-46	-0.9	56	1.0	157	2.9	174	3.1
	초지	114	263	230.7	203	178.1	124	108.8	85	42.7
	수역	213	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
	Total	7,563								
관개 지구	시가화	51	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
	논	1,104	0	0.0	-2	-0.2	-2	-0.2	-2	-0.2
	밭	100	8	8.0	9	9.0	9	9.0	10	10.0
	산림	53	-39	-73.6	-38	-71.7	-38	-71.7	-38	-71.7
	초지	7	31	442.9	31	442.9	31	442.9	30	428.6
	수역	34	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
	Total	1,349								



<그림 47.> 충북지역의 토지피복변화 (A1B 시나리오)



<그림 48.> 원남 저수지 유역의 논 분포 변화 (A1B 시나리오)

(표 26.) A1B시나리오에서 원남 저수지유역의 2000년과 2100년 사이의 토지피복 변화

(단위:ha)		Land cover area in 2100						
		시가화	산림	논	밭	초지	수역	Total
Land cover area in 2000	시가화	185						185
	산림		5,277		18	74		5,369
	논			684	36			720
	밭		181		685	96		962
	초지		85			29		114
	수역						213	213
	Total	185	5,543	684	739	199	213	7,563

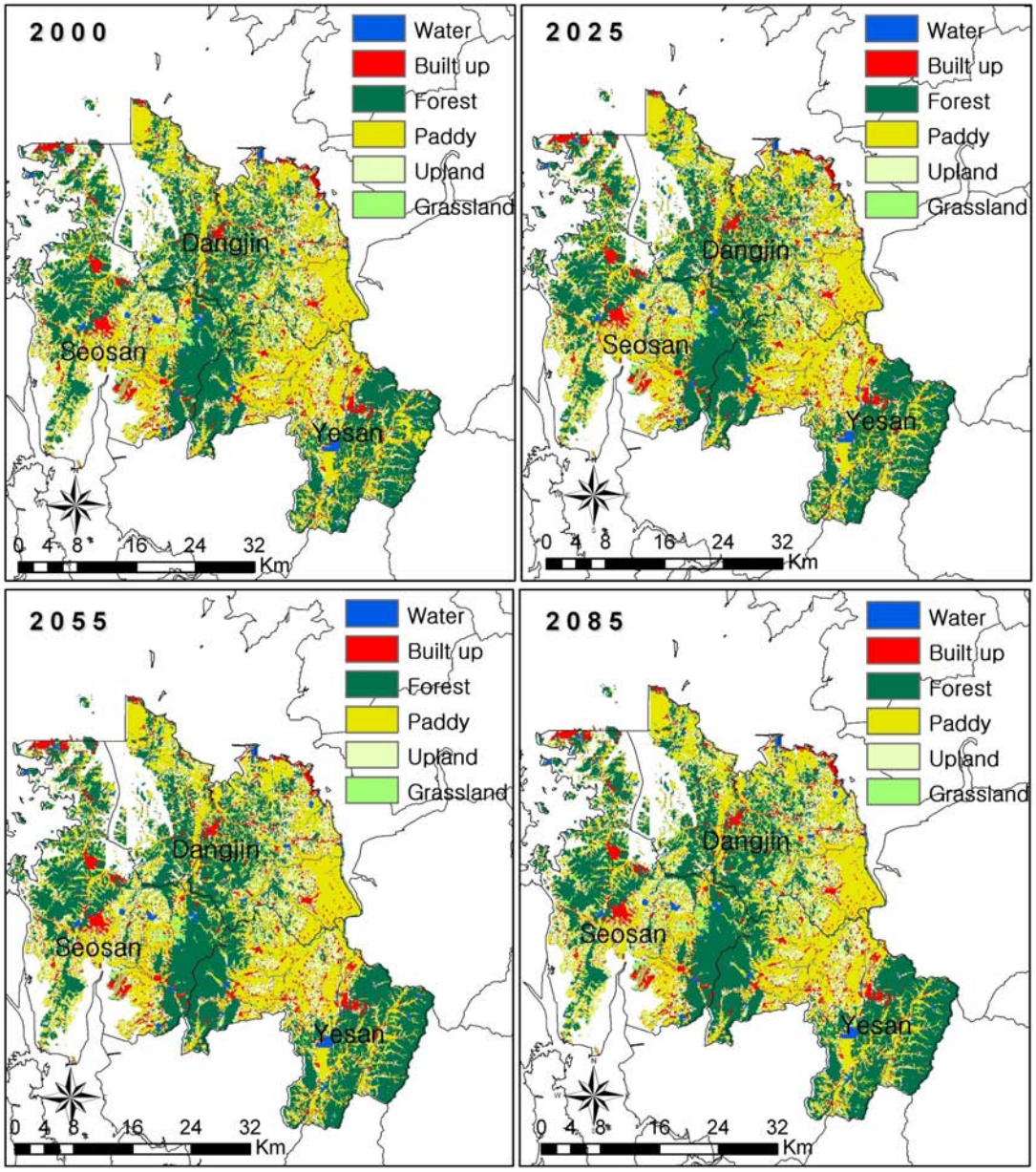
3.4 고풍 저수지

고풍 저수지가 위치한 충청남도 서산, 당진, 예산을 대상으로 A1B 시나리오에서의 토지피복 분포를 모의한 결과는 (표 27.), <그림 49.>와 같다. 그림 42에서는 환경부 토지피복도 2000년의 논 분포를 기준으로 2025년, 2055년, 2085년에 다른 토지피복으로 전환된 지역을 확인 할 수 있으며 세부적인 토지피복의 변화 내용은 (표 28.)와 같이 행렬로 나타내었다.

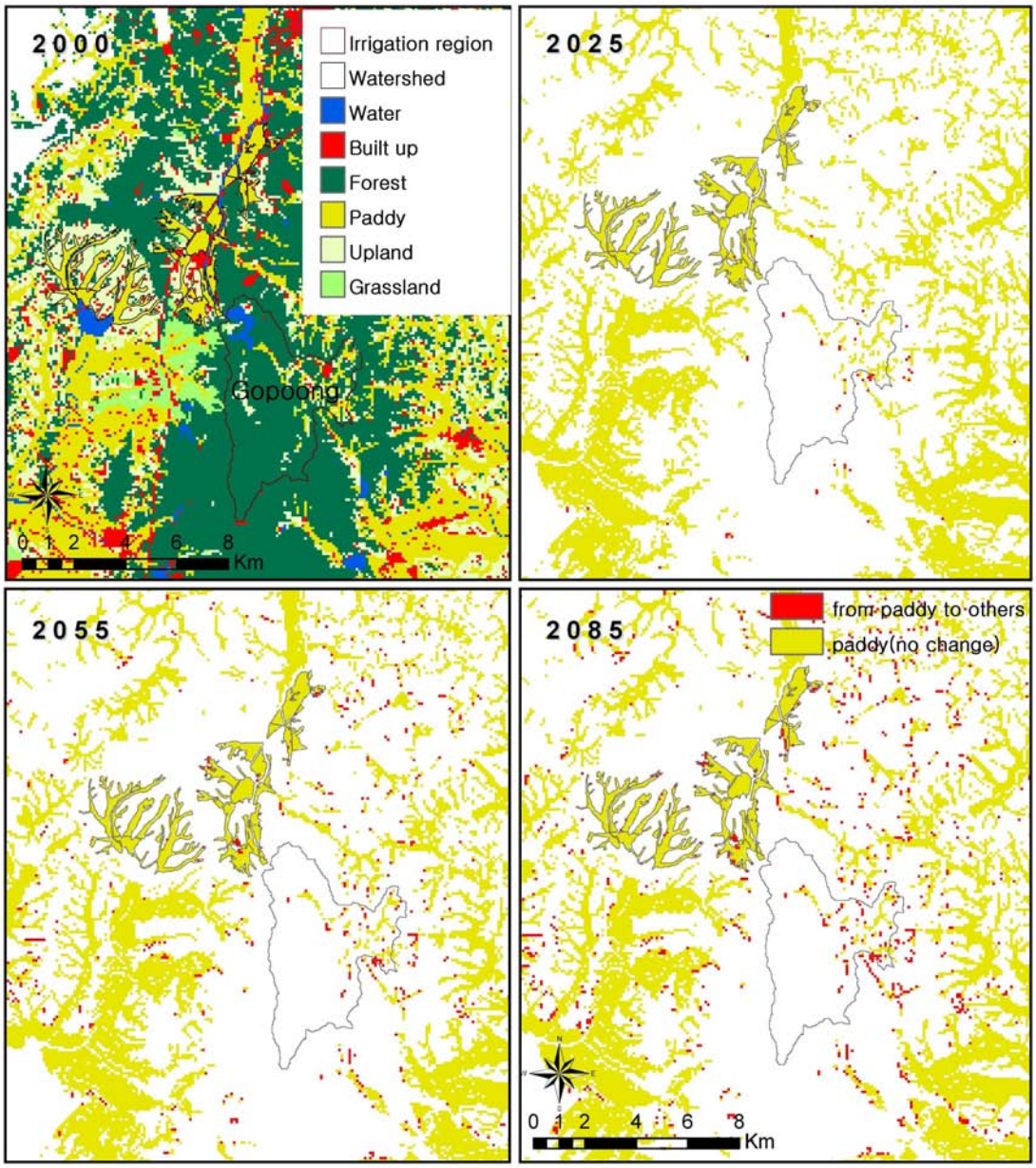
대상지 전체적으로 논면적은 6.8% 정도의 감소를 나타냈으나 저수지 유역내에서는 기존의 153ha에서 21ha의 논이 감소하였고 관개지구내에서는 1162ha 중 75ha 정도 논 면적이 감소하는 것으로 모의되었다.

(표 27.) A1B시나리오에서 연구범위별 토지피복 면적 시계열 변화 결과 (충남)

		기준년도[1]	2025		2055		2085		2100	
지역	분류[2]	면적 (ha)	변화량 (Δha)	변화율 (%)	변화량 (Δha)	변화율 (%)	변화량 (Δha)	변화율 (%)	변화량 (Δha)	변화율 (%)
대상지	시가화	13,220	771	5.8	779	5.9	795	6.0	928	6.6
	논	53,317	-571	-1.1	-1,986	-3.7	-3,217	-6.0	-3,415	-6.8
	밭	32,239	-243	-0.8	-1,151	-3.6	-2,014	-6.2	-2,064	-6.8
	산림	61,063	86	0.1	815	1.3	-147	-0.2	-441	-0.7
	초지	3,050	-43	-1.4	1,543	50.6	4,583	150.3	4,992	62.1
	수역	3,820	0	0	0	0	0	0	0	0.0
	Total	166,709								
저수지 유역	시가화	42	0	0.0	0	0.0	0	0.0	4	8.7
	논	153	-15	-9.8	-38	-24.8	-63	-41.2	-21	-15.9
	밭	211	-83	-39.3	-129	-61.1	-151	-71.6	-139	-193.1
	산림	2,032	88	4.3	127	6.3	144	7.1	110	5.1
	초지	15	10	66.7	40	266.7	70	466.7	46	75.4
	수역	83	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
	Total	2,536								
관개 지구	시가화	1	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
	논	1,162	-1	-0.1	-30	-2.6	-68	-5.9	-75	-6.5
	밭	7	1	14.3	17	242.9	21	300.0	21	300.0
	산림	1	0	0.0	4	400.0	4	400.0	4	400.0
	초지	0	0	0.0	9	-	43	-	50	-
	수역	5	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
	Total	1,176								



<그림 49.> 충남지역의 토지피복변화 (A1B 시나리오)



<그림 50.> 고풍 저수지 유역의 논 분포 변화 (A1B 시나리오)

(표 28.) A1B시나리오에서 고풍 저수지유역의 2000년과 2100년 사이의 토지피복 변화

(단위:ha)		Land cover area in 2100						
		시가화	산림	논	밭	초지	수역	Total
Land cover area in 2000	시가화	42						42
	산림		2,032					2,032
	논	4	2	132	15			153
	밭		93		57	61		211
	초지		15					15
	수역						83	83
	Total	46	2,142	132	72	61	83	2,536

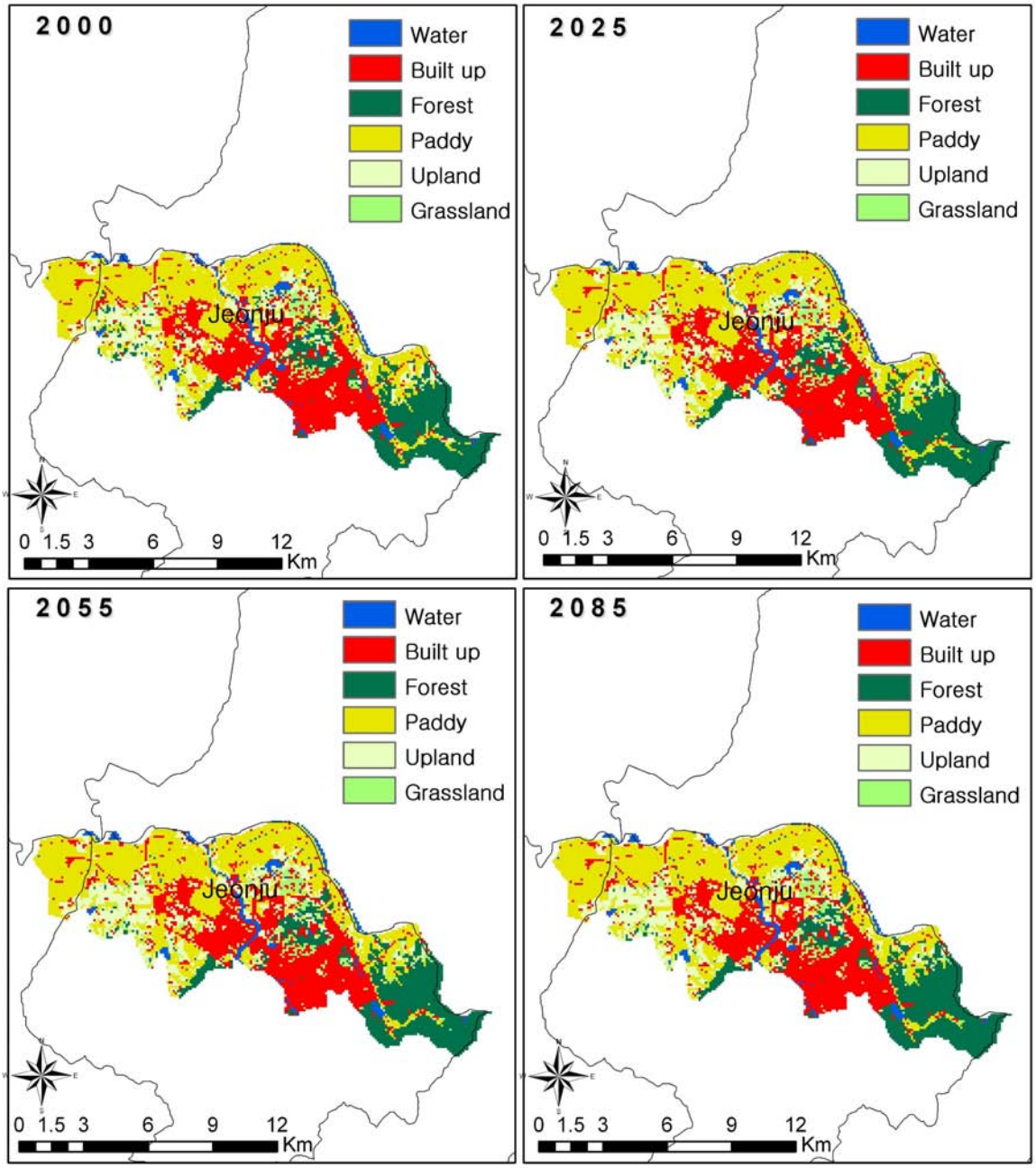
3.5 백석 저수지

백석 저수지가 위치한 전라북도 전주을 대상으로 A1B 시나리오에서의 토지피복 분포를 모의한 결과는 (표 29.), <그림 51.>과 같다. <그림 52.>에서는 환경부 토지피복도 2000년의 논 분포를 기준으로 2025년, 2055년, 2085년에 다른 토지피복으로 전환된 지역을 확인 할 수 있으며 세부적인 토지피복의 변화 내용은 (표 30.)와 같이 행렬로 나타내었다. 백석 저수지는 평야에 위치하여 저수지 기준으로 유역면적을 추출한 결과 총면적이 131ha로 나타나 기존 보고된 유역면적 (10,625ha)과 차이가 있다. 따라서, 물수지 모형에서는 대상지 전체의 토지피복변화 비율을 적용하였다.

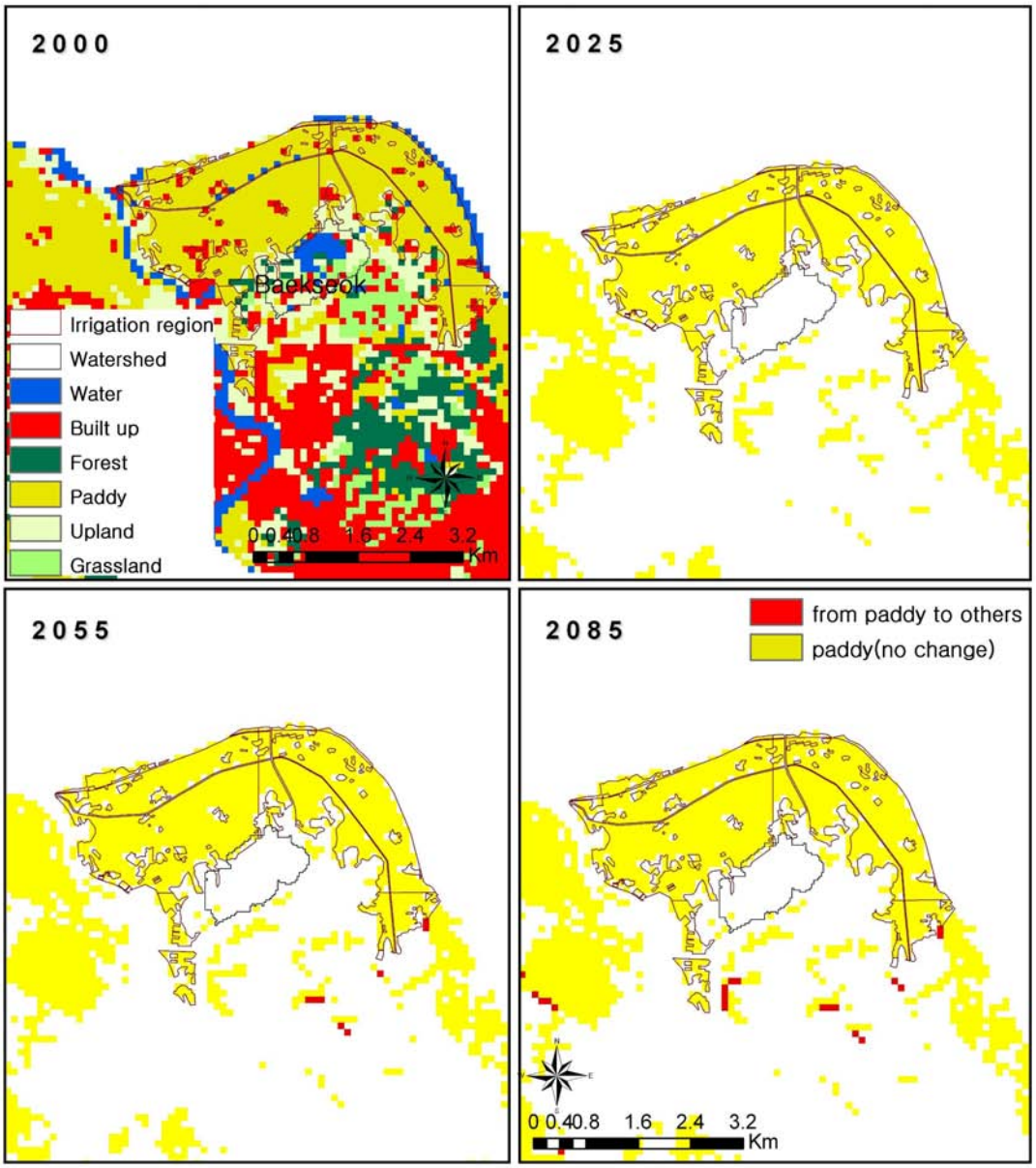
대상지 전체적으로 논면적은 3.5% 정도의 감소를 나타냈으나 저수지 유역과 관개지구 내에서는 논면적이 변화하지 않는 것으로 모의되었다.

(표 29.) A1B시나리오에서 연구범위별 토지피복 면적 시계열 변화 결과 (전북)

		기준년도[1]	2025		2055		2085		2100	
지역	분류[2]	면적 (ha)	변화량 (Δha)	변화율 (%)	변화량 (Δha)	변화율 (%)	변화량 (Δha)	변화율 (%)	변화량 (Δha)	변화율 (%)
대상지	시가화	2,748	0	0.0	4	0.1	5	0.2	0	0.0
	논	3,845	-4	-0.1	-48	-1.2	-76	-2.0	-66	-3.5
	밭	1,677	-9	-0.5	-32	-1.9	-33	-2.0	-88	-2.3
	산림	1,947	-108	-5.5	-92	-4.7	-71	-3.6	11	0.4
	초지	267	121	45.3	168	62.9	175	65.5	-40	-2.4
	수역	383	0	0.0	0	0.0	0	0.0	183	40.7
	Total	10,867								
저수지 유역	시가화	21	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
	논	3	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
	밭	46	6	13.0	4	8.7	4	8.7	4	8.7
	산림	11	-6	-54.5	-7	-63.6	-7	-63.6	-7	-63.6
	초지	19	0	0.0	3	15.8	3	15.8	3	15.8
	수역	31	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
	Total	131								
관개 지구	시가화	26	0	0	0	0	0	0	0	0
	논	511	0	0	0	0	0	0	0	0
	밭	22	0	0	0	0	0	0	0	0
	산림	2	-1	-50	-2	-100	-2	-100	-2	-100
	초지	-	1		2		2		2	
	수역	6	0	0	0	0	0	0	0	0
	Total	567								



<그림 51.> 전북지역의 토지피복변화 (A1B 시나리오)



<그림 52.> 백석 저수지 유역의 논 분포 변화 (A1B 시나리오)

(표 30.) A1B시나리오에서 백석 저수지유역의 2000년과 2100년 사이의 토지피복 변화 (전체 대상지역)

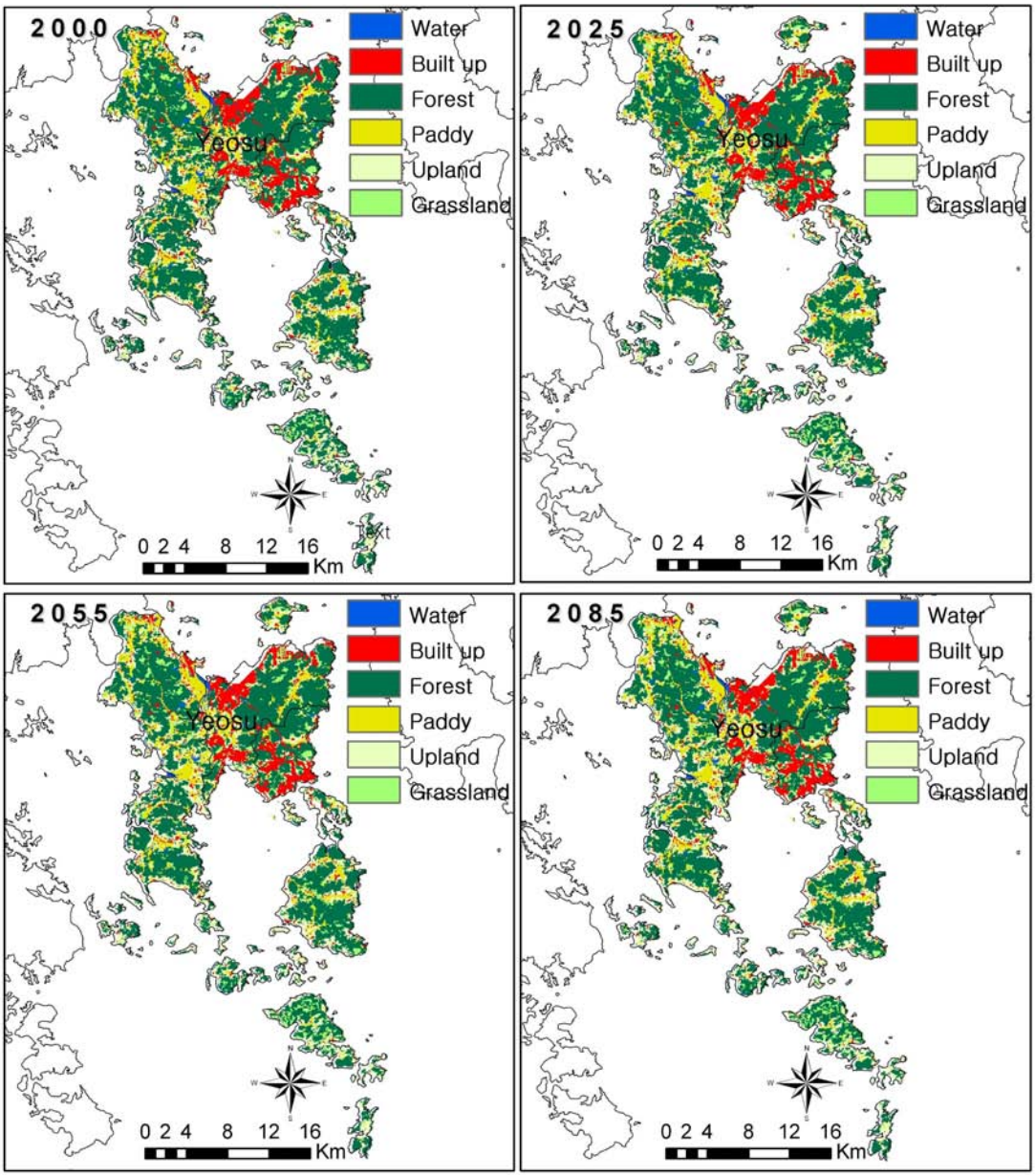
(단위:ha)		Land cover area in 2100						
		시가화	산림	논	밭	초지	수역	Total
Land cover area in 2000	시가화	2,748						2,748
	산림	1	1822		97	27		1,947
	논	6		3757	82			3,845
	밭	4	13		1458	202		1,677
	초지		46			221		267
	수역						383	383
	Total	2759	1881	3757	1637	450	383	10,867

3.6 대포 저수지

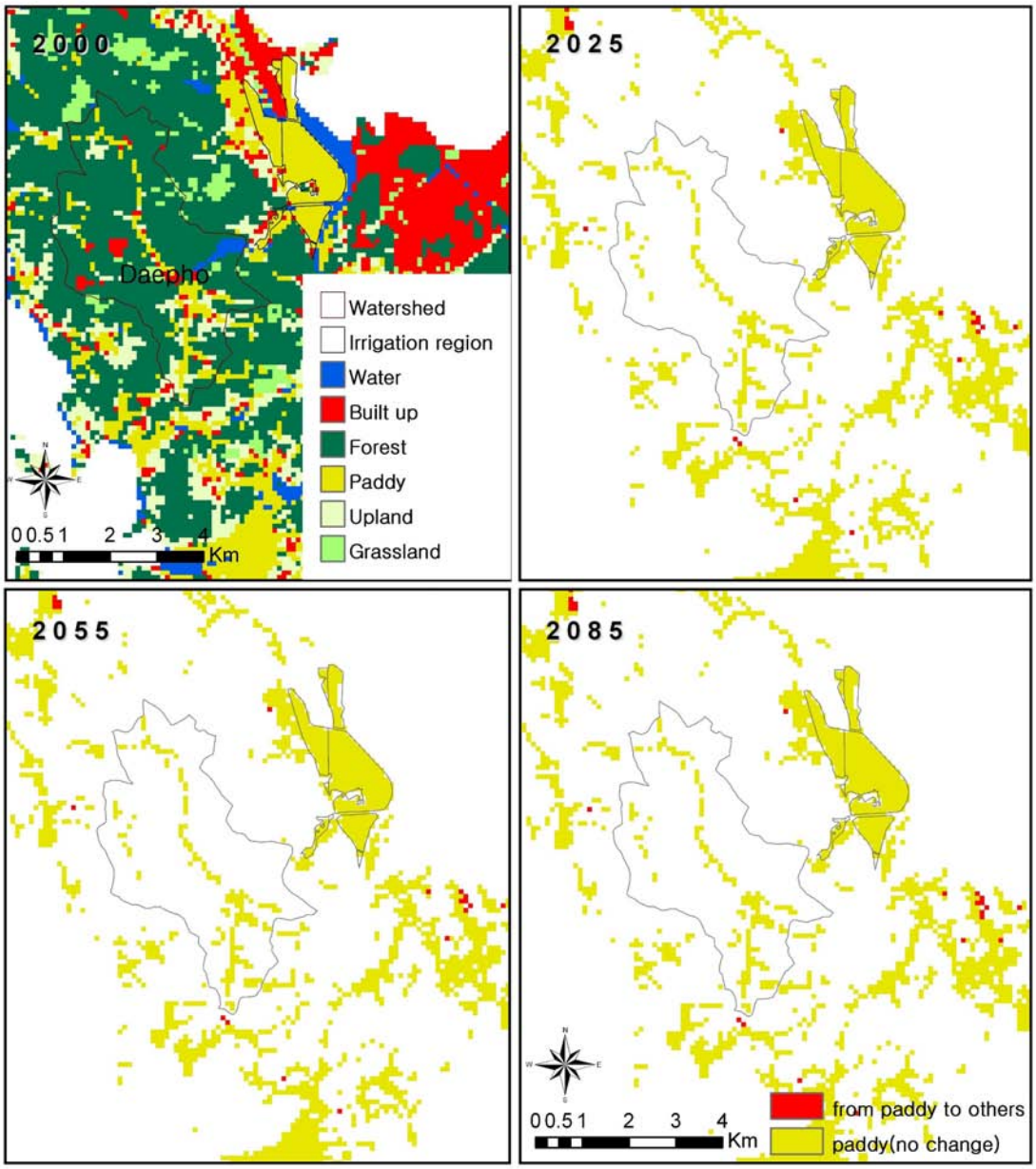
미래 기상자료가 제공되는 A1B 시나리오를 중심으로 토지이용변화 모의를 수행하여 전라남도 여수시의 토지피복변화와 대포 저수지유역, 관개지구의 시계열 토지피복변화를 각각 나타낸 결과는 (표 31.)과 <그림 53.>와 같다. 연구대상지 전체적으로 100년 동안 논면적이 약 1.9%, 밭면적은 4.7% 감소하는 것으로 나타났으나, 대포 저수지 유역을 중점적으로 살펴보면 논 분포의 변화는 없고 밭면적이 31.92%의 감소하는 것으로 나타났다. 총면적 323ha인 관개지구내에서도 논분포의 변화는 없었으며 다른 토지피복도 5ha 미만의 적은 변화만 나타내는 것으로 모의되었다. 마지막으로 <그림 54.>과 (표 32.)는 논 분포의 변화를 보다 효과적으로 살펴보기 위해 다른 토지이용으로 변화한 지역과 논으로 유지된 지역을 표시하여 나타낸 지도와 변화행렬이다.

(표 31.) A1B시나리오에서 연구범위별 토지피복 면적 시계열 변화 결과 (전남)

		기준년도[1]	2020		2050		2080		2100	
지역	분류[2]	면적 (ha)	변화량 (Δha)	변화율 (%)	변화량 (Δha)	변화율 (%)	변화량 (Δha)	변화율 (%)	변화량 (Δha)	변화율 (%)
대상지	시가화	4,699	4	0.1	8	0.2	29	0.6	29	0.6
	논	4,508	-46	-1.0	-52	-1.2	-65	-1.4	-85	-1.9
	밭	9,073	-7	-0.1	-92	-1.0	-79	-0.9	-132	-1.5
	산림	23,304	-779	-3.3	-1,209	-5.2	-1,251	-5.4	-1,088	-4.7
	초지	1,753	828	47.2	1,345	76.7	1,366	77.9	1,276	72.8
	수역	626	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
	Total	43,963								
저수지 유역	시가화	57	0	0.0	1	1.8	1	1.8	1	1.8
	논	142	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
	밭	116	-23	-19.8	-36	-31.0	-36	-31.0	-37	-31.9
	산림	1,079	-18	-1.7	-41	-3.8	-41	-3.8	-40	-3.7
	초지	37	41	110.8	76	205.4	76	205.4	76	205.4
	수역	27	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
	Total	1,458								
관개 지구	시가화	13	0	0.0	0	0.0	1	7.7	1	7.7
	논	288	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
	밭	12	2	16.7	2	16.7	1	8.3	1	8.3
	산림	4	-4	-100.0	-4	-100.0	-4	-100.0	-4	-100.0
	초지	0	2	-	2	-	2	-	2	-
	수역	6	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
	Total	323								



<그림 53.> 전남지역의 토지피복변화 (A1B 시나리오)



<그림 54.> 대포 저수지 유역의 논 분포 변화 (A1B 시나리오)

(표 32.) A1B시나리오에서 대포 저수지유역의 2000년과 2100년 사이의 토지피복 변화

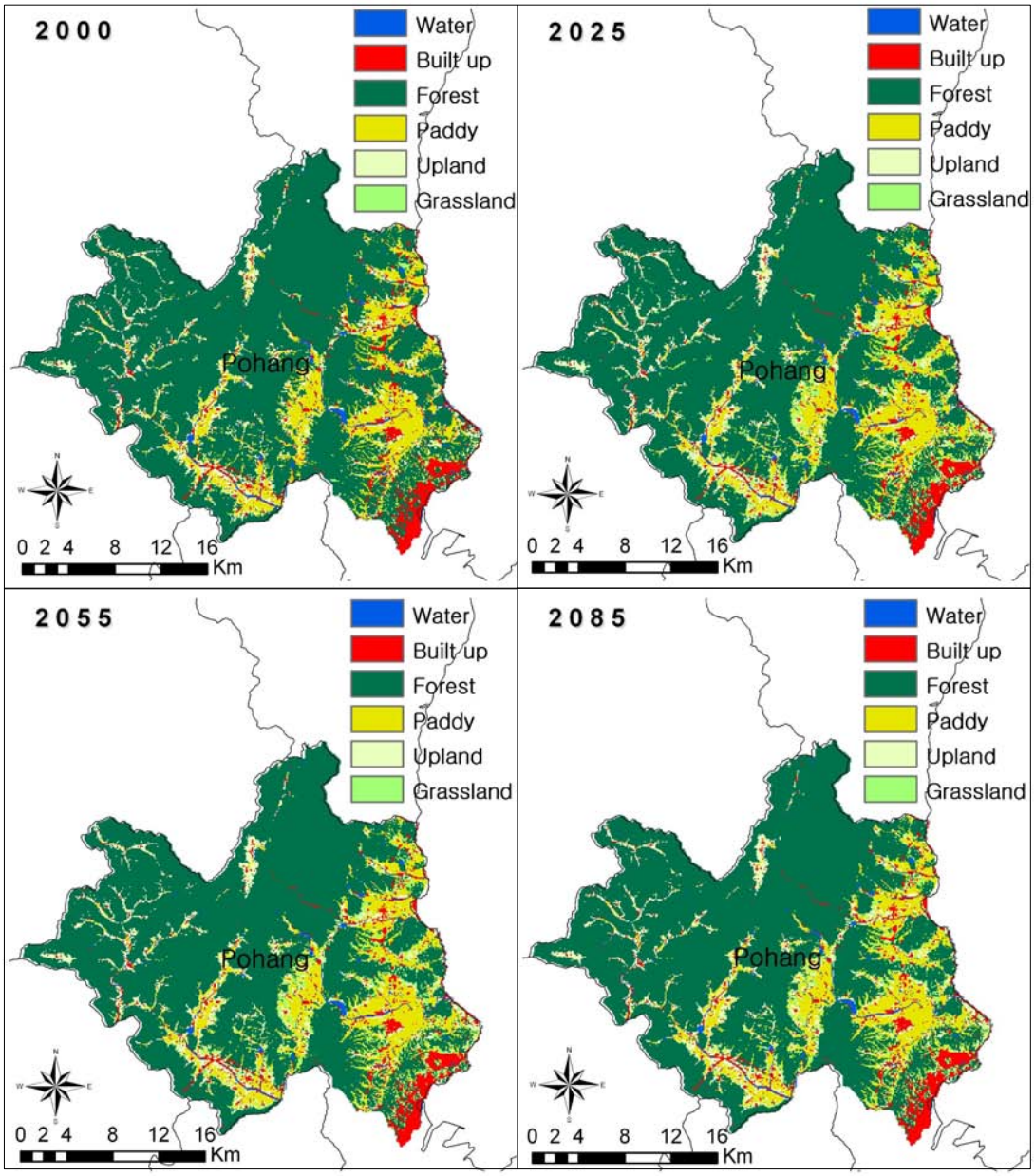
(단위:ha)		Land cover area in 2100						
		시가화	산림	논	밭	초지	수역	Total
Land cover area in 2000	시가화	57						57
	산림		1,030			49		1,079
	논			142				142
	밭	1	4		79	32		116
	초지		5			32		37
	수역						27	27
	Total	58	1,039	142	79	113	27	1,458

3.7 마북 저수지

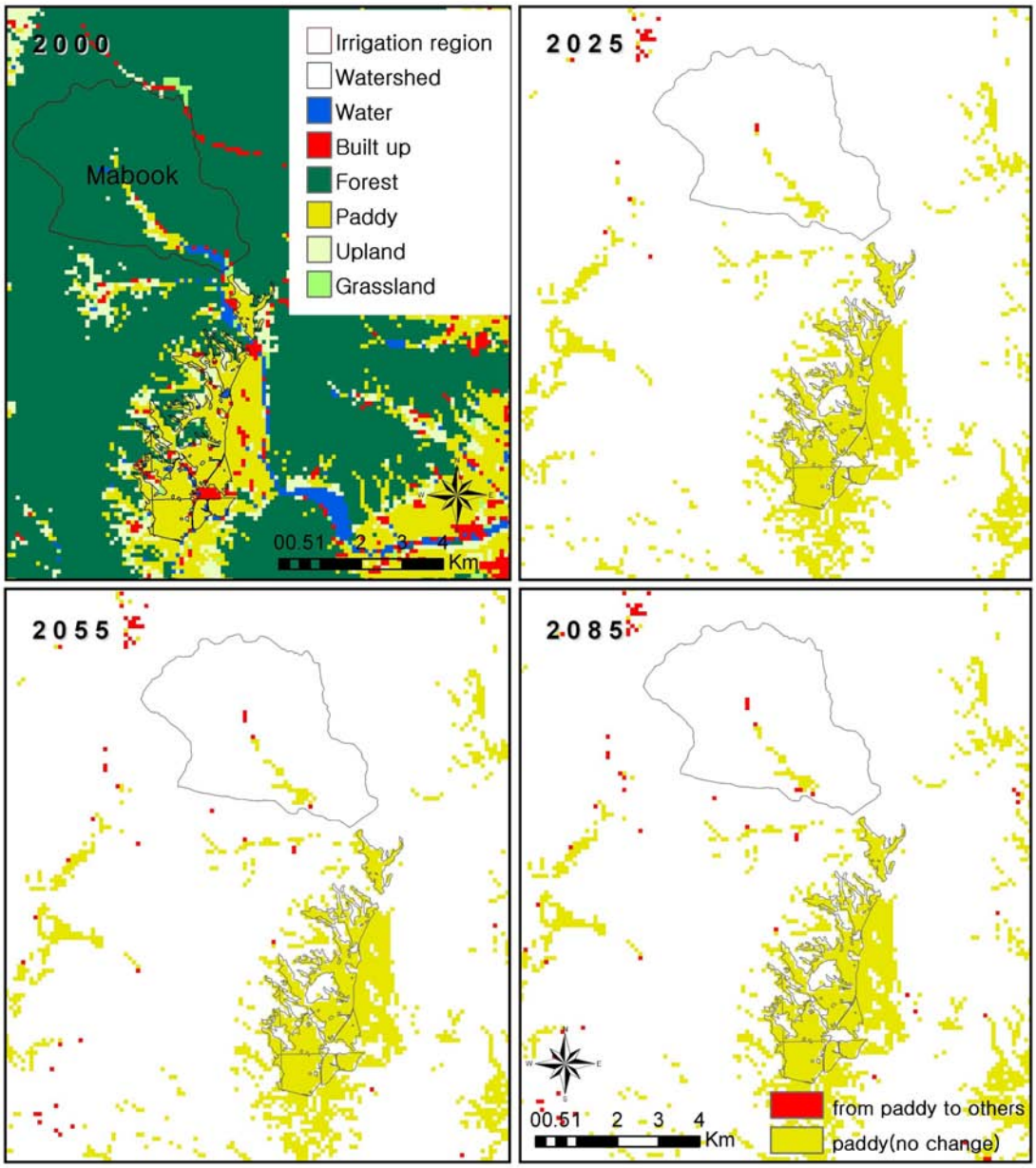
A1B 시나리오를 중심으로 토지이용변화 모의를 수행하여 마북 저수지가 위치한 포항시의 토지피복변화와 저수지유역, 관개지구의 시계열 토지피복변화를 각각 나타낸 결과는 (표 33.)과 <그림 55.>과 같다. 연구대상지 전체적으로 논면적이 약 2.8% 감소하는 것으로 나타났으나, 저수지 유역내에서는 2.6%의 논이 감소하였으며 밭 면적도 27.8% 감소하여 농경지의 변화가 큰 것으로 나타났다. 그러나 관개지구내에서는 중 448ha의 논면적이 모두 현상 유지하는 것으로 모의되었다. 마지막으로 <그림 56.>은 저수지 유역과 관개지구 내에서의 논 분포의 변화를 보다 효과적으로 살펴보기 위해 다른 토지이용으로 변화한 지역과 논으로 유지된 지역을 표시하여 나타낸 지도이다.

(표 33.) A1B시나리오에서 연구범위별 토지피복 면적 시계열 변화 결과 (경북)

		기준년도[1]	2025		2055		2085		2100	
지역	분류[2]	면적 (ha)	변화량 (Δha)	변화율 (%)	변화량 (Δha)	변화율 (%)	변화량 (Δha)	변화율 (%)	변화량 (Δha)	변화율 (%)
대상지	시가화	3,952	43	1.1	46	1.2	46	1.2	46	1.2
	논	9,145	-73	-0.8	-183	-2.0	-232	-2.5	-259	-2.8
	밭	5,741	-4	-0.1	-84	-1.5	-119	-2.1	-127	-2.2
	산림	52,680	-2,893	-5.5	-2,383	-4.5	-1744	-3.3	-1,326	-2.5
	초지	502	2,927	583.1	2,604	518.7	2,049	408.2	1,666	331.9
	수역	1,143	0	0	0	0	0	0	0	0
	Total	73,163								
저수지 유역	시가화	13	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
	논	39	-2	-5.1	-5	-12.8	-7	-17.9	-1	-2.6
	밭	23	-4	-17.4	-4	-17.4	-9	-39.1	-5	-27.8
	산림	1,516	-1	-0.1	7	0.5	16	1.1	8	0.5
	초지	3	7	233.3	2	66.7	0	0.0	-2	-200.0
	수역	24	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
	Total	1,618								
관개 지구	시가화	23	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
	논	448	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
	밭	47	1	2.1	5	10.6	14	29.8	21	44.7
	산림	55	-35	-63.6	-36	-65.5	-35	-63.6	-35	-63.6
	초지	7	34	485.7	31	442.9	21	300.0	14	200.0
	수역	16	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
	Total	596								



<그림 55.> 경북지역의 토지피복변화 (A1B 시나리오)



<그림 56.> 마북 저수지 유역의 논 분포 변화 (A1B 시나리오)

(표 34.) A1B시나리오에서 마북 저수지유역의 2000년과 2100년 사이의 토지피복 변화

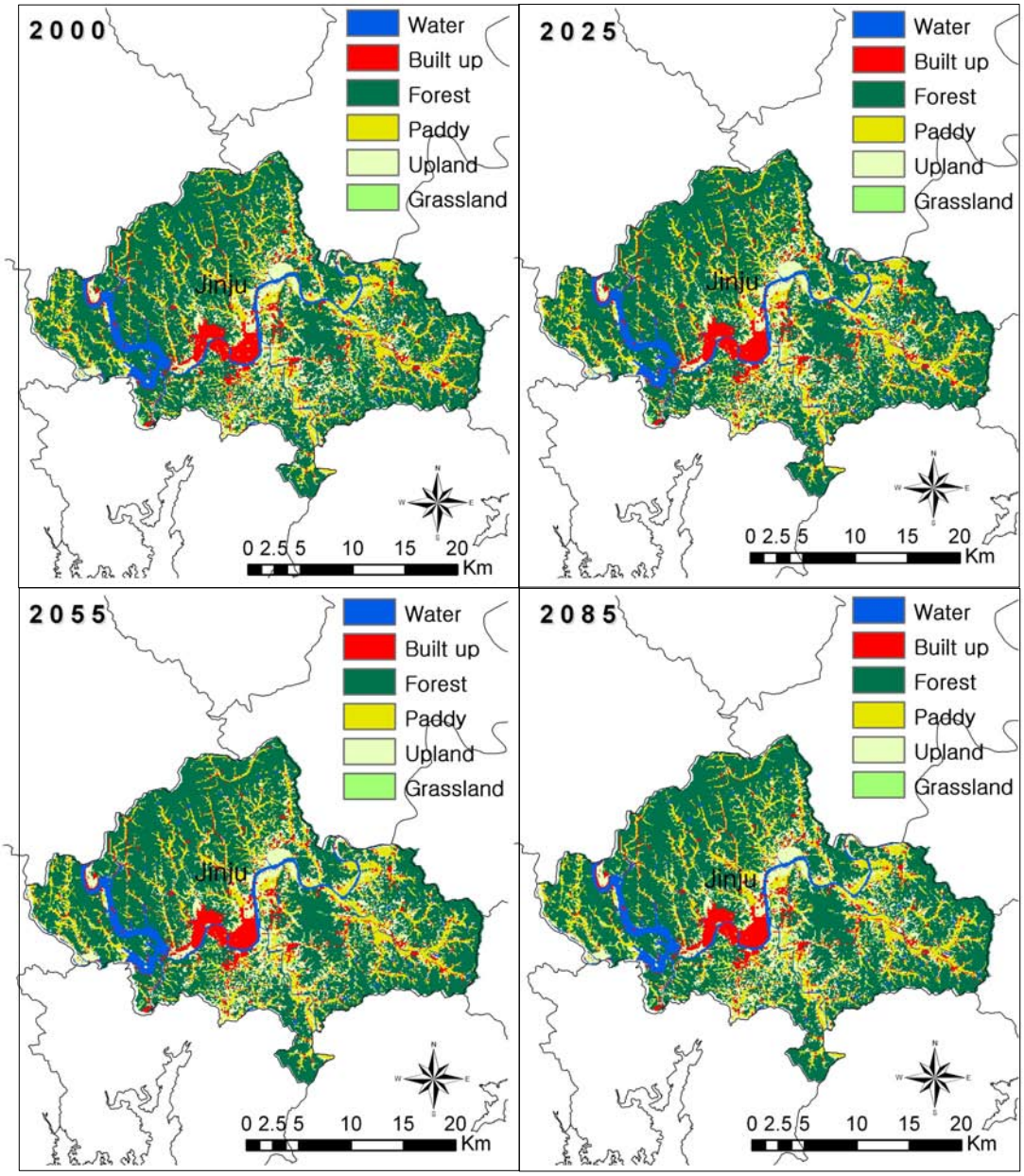
(단위:ha)		Land cover area in 2100						
		시가화	산림	논	밭	초지	수역	Total
Land cover area in 2000	시가화	13						13
	산림		1,516					1,516
	논			38	1			39
	밭		6		17			23
	초지		2			1		3
	수역						24	24
	Total	13	1,524	38	18	1	24	1,618

3.8 남성 저수지

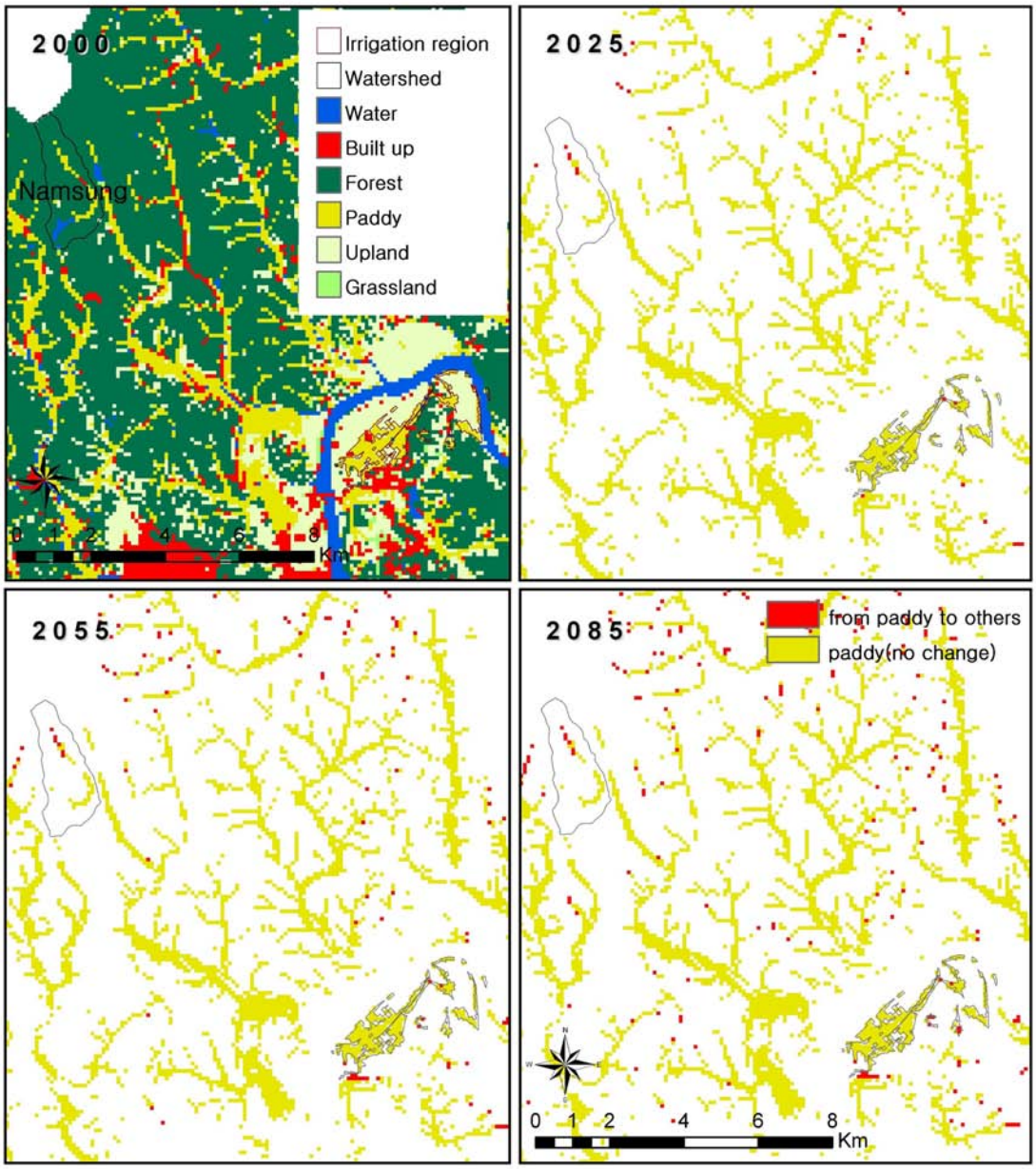
마지막으로 경상남도 지역의 남성 저수지가 위치한 진주시의 토지이용변화 모의를 수행한 결과는 (표 35.)과 <그림 57.>와 같다. 연구대상지인 총 면적 70,763ha인 진주에서는 논 면적이 750ha 감소하여 약 7.0% 변화하는 것으로 나타났으나, 관개지구내에서는 163ha의 논면적 중 4.3%인 7ha정도가 감소하는 것으로 모의되었다. <그림 58.>은 논 분포의 변화를 살펴보기 위해 다른 토지이용으로 변화한 지역과 논으로 유지된 지역을 표시하여 나타낸 지도이고 (표 36.)에 변화양상을 행렬로 나타내었다.

(표 35.) A1B시나리오에서 연구범위별 토지피복 면적 시계열 변화 결과 (경남)

		기준년도[1]	2020		2050		2080		2100	
지역	분류[2]	면적 (ha)	변화량 (Δha)	변화율 (%)	변화량 (Δha)	변화율 (%)	변화량 (Δha)	변화율 (%)	변화량 (Δha)	변화율 (%)
대상지	시가화	4,998	174	3.5	186	3.7	213	4.3	213	4.3
	논	10,710	-101	-0.9	-381	-3.6	-696	-6.5	-750	-7.0
	밭	9,800	-116	-1.2	-338	-3.4	-618	-6.3	-638	-6.5
	산림	40,786	40	0.1	403	1.0	-135	-0.3	-186	-0.5
	초지	738	3	0.4	130	17.6	1,236	167.5	1,361	184.4
	수역	3,731	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
	Total	70,763								
저수지 유역	시가화	2	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
	논	31	-5	-16.1	-6	-19.4	-6	-19.4	0	0.0
	밭	2	0	0.0	-1	-50.0	-1	-50.0	-1	-50.0
	산림	325	5	1.5	7	2.2	7	2.2	7	2.2
	초지	0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
	수역	13	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
	Total	373								
관개 지구	시가화	6	1	16.7	1	16.7	1	16.7	1	16.7
	논	163	-1	-0.6	-4	-2.5	-7	-4.3	-7	-4.3
	밭	23	2	8.7	3	13.0	3	13.0	3	13.0
	산림	10	-2	-20.0	0	0.0	-1	-10.0	-1	-10.0
	초지	0	0	0.0	0	0.0	4	-	4	-
	수역	5	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
	Total	207								



<그림 57.> 경남지역의 토지피복변화 (A1B 시나리오)



<그림 58.> 마북 저수지 유역의 논 분포 변화 (A1B 시나리오)

(표 36.) A1B시나리오에서 남성 저수지유역의 2000년과 2100년 사이의 토지피복 변화

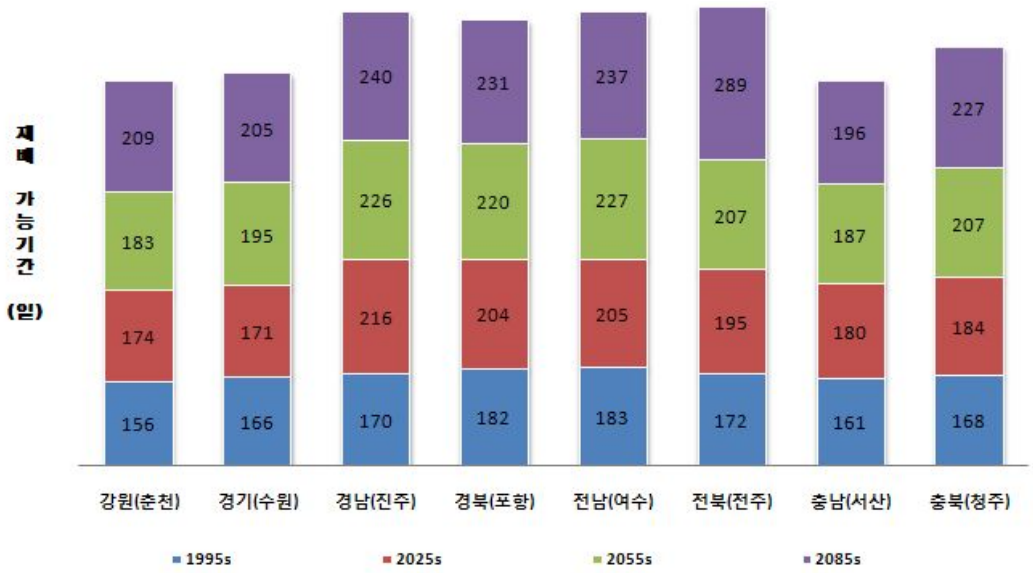
(단위:ha)		Land cover area in 2100						
		시가화	산림	논	밭	초지	수역	Total
Land cover area in 2000	시가화	2						2
	산림		325					325
	논			31				31
	밭		1		1			2
	초지							
	수역						13	13
	Total	2	326	31	1		13	373

5장. 작부시기 및 작물계수 변화 예측

1. 지역별 작부시기의 변화

1.1 재배가능기간의 변화

기후변화에 따라 논벼의 재배가능시기의 변화를 분석하였다. 재배가능기간은 이앙기 조한일과 수확기 만한일사이의 기간을 의미한다. 분석 결과 시간이 지날수록 재배가능기간이 늘어남을 확인할 수 있다. 이는 일평균기온이 높아짐에 따라 이앙이 가능한 일자가 앞당겨지고, 또한 수확기 만한일 역시 일부 지역에서는 최대 12월 15일까지 늦춰지기 때문이다. 지역별로 살펴보면, 전북 전주의 경우 1980년부터 2009년의 평년 재배가능기간은 172일이었으나 2070년부터 2099년의 평년 재배가능기간은 289일로 117일이 늘어나는 것으로 나타났다. 경남 진주의 경우 역시 1980년부터 2009년의 평년 재배가능기간이 170일이었으나 2070년부터 2099년의 평균 재배가능기간은 240일로 70일이 늘어나는 것으로 나타났다. 또한 남부지역이 중부지역보다 재배가능기간의 변화가 큰 것으로 나타났다. <그림 59.>과 (표 37.)에서 볼 수 있듯이 8개의 모든 지역에서 기후변화에 따라 재배가능기간이 증가하는 것을 확인할 수 있다.



<그림 59.> 논벼의 재배가능기간의 변화 (중생종)

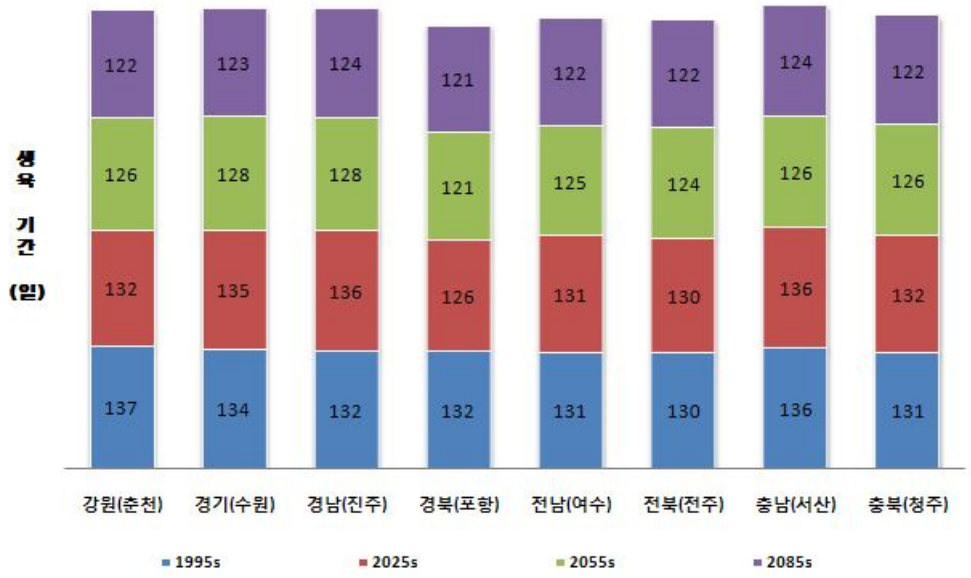
(표 37.) 논벼의 재배가능기간의 변화

단위 : 일수

지 역	재배가능시기: 중생종			
	1995s	2025s	2055s	2085s
강원(춘천)	156	174	183	209
경기(수원)	166	171	195	205
경남(진주)	170	216	226	240
경북(포항)	182	204	220	231
전남(여수)	183	205	227	237
전북(전주)	172	195	207	289
충남(서산)	161	180	187	196
충북(청주)	168	184	207	227

1.2 적산온도에 따른 생육기간의 변화

본 연구에서는 각 시기별 논벼의 생육기간의 변화를 적산온도를 통하여 살펴보았다. 등숙기간의 온도가 22.5℃가 되는 안전출수기로부터 적산온도를 통하여 적정 이앙일과 수확일을 분석하였고 이를 통하여 논벼의 생육기간(이앙일, 수확일)을 추정하였다. 논벼의 생육기간의 변화는 <그림 60.>과 (표 38.)에서 볼 수 있듯이 기후변화가 진행됨에 따라 기온의 상승으로 인하여 짧아지는 것을 알 수 있다. 강원 춘천의 경우 1980년부터 2009년의 평년 생육기간이 137일이었으나 2070년부터 2099년의 평년 생육기간은 122일로 15일이 줄어드는 것으로 나타났다. 이는 기온이 상승함에 따라 보다 짧은 기간에 생육을 위해 필요로 하는 적산온도를 충족시킬 수 있기 때문이다. 전체적으로 대상 내 모든 지역에서 기후변화에 따라 시기가 지날수록 생육기간이 130일대에서 120일대로 줄어드는 것을 확인할 수 있다.



<그림 60.> 논벼의 생육기간의 변화 (중생종)

(표 38.) 논벼의 생육기간의 변화

단위 : 일수

지 역	적정 생육시기: 중생종			
	1995s	2025s	2055s	2085s
강원(춘천)	137	132	126	122
경기(수원)	134	135	128	123
경남(진주)	132	136	128	124
경북(포항)	132	126	121	121
전남(여수)	131	131	125	122
전북(전주)	130	130	124	122
충남(서산)	136	136	126	124
충북(청주)	131	132	126	122

1.3 품종별 생육기간의 변화

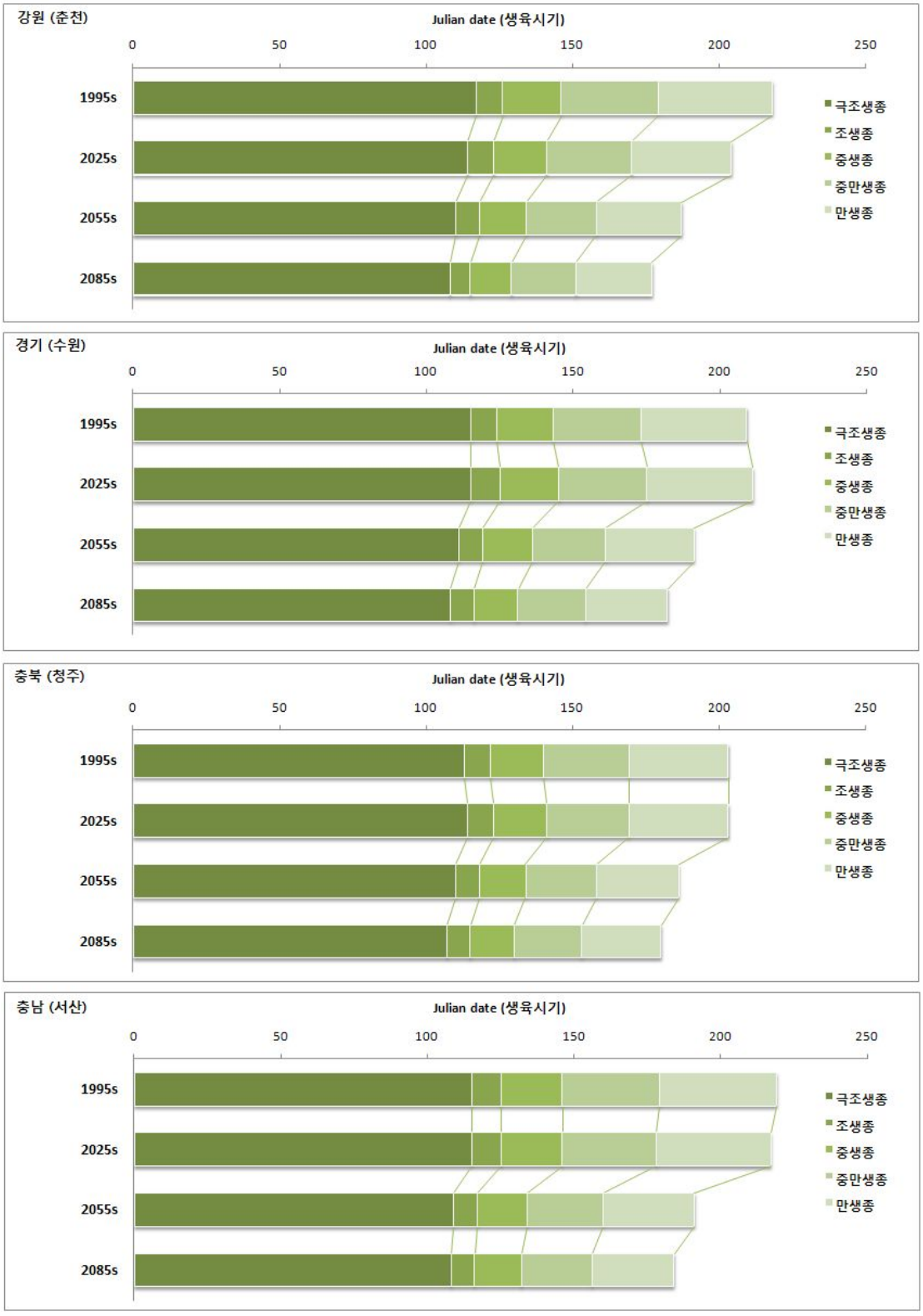
논벼의 품종별 생육기간은 이앙기의 변화와 관련이 있다. 논벼의 품종은 영양생식기간의 조만성과 관련이 깊게 나타남으로 품종에 따라 적정 이앙일이 다르게 산정되기 때문이다. 품종에 따른 이앙일의 변화는 (표 39.)에 나타나 있다. 기후변화에 따른 기온의 상승으로 이앙일이 타 지역보다 늦추어지는 것이 가능한 지역일수록 이앙일부터 출수기까지의 기간이 짧아지게 되므로 생육기간 역시 짧아지게 된다. 품종별 생육기간의 변화를 살펴본 결과는 아래 <그림 61, 62>와 같다.

중부지역의 품종별 생육기간의 변화를 살펴보면, 1980년에서 2099년 동안 경기 수원의 경우 만생종은 이앙일이 5월 12일에서 7월 6일까지 늦춰지는 것으로 분석되었다. 극조생종의 경우 이앙일이 8월 3일까지 늦춰지는 것으로 나타났다. 강원 춘천의 경우 만생종은 이앙일이 4월 29일에서 6월 17일까지 늦춰지는 것으로 분석되었다. 극조생종의 경우 이앙일이 7월 13일까지 늦춰지는 것으로 나타났다. 충북 청주의 경우 만생종은 이앙일이 5월 16일에서 6월 20일까지 늦춰지는 것으로 분석되었고, 극조생종의 경우 이앙일이 7월 17일까지 늦춰지는 것으로 나타났다. 충남 서산 의 경우 중생종은 이앙일이 5월 3일에서 6월 23일까지 늦춰지는 것으로 분석되었고, 극조생종의 경우 이앙일이 7월 21일까지 늦춰지는 것으로 나타났다.

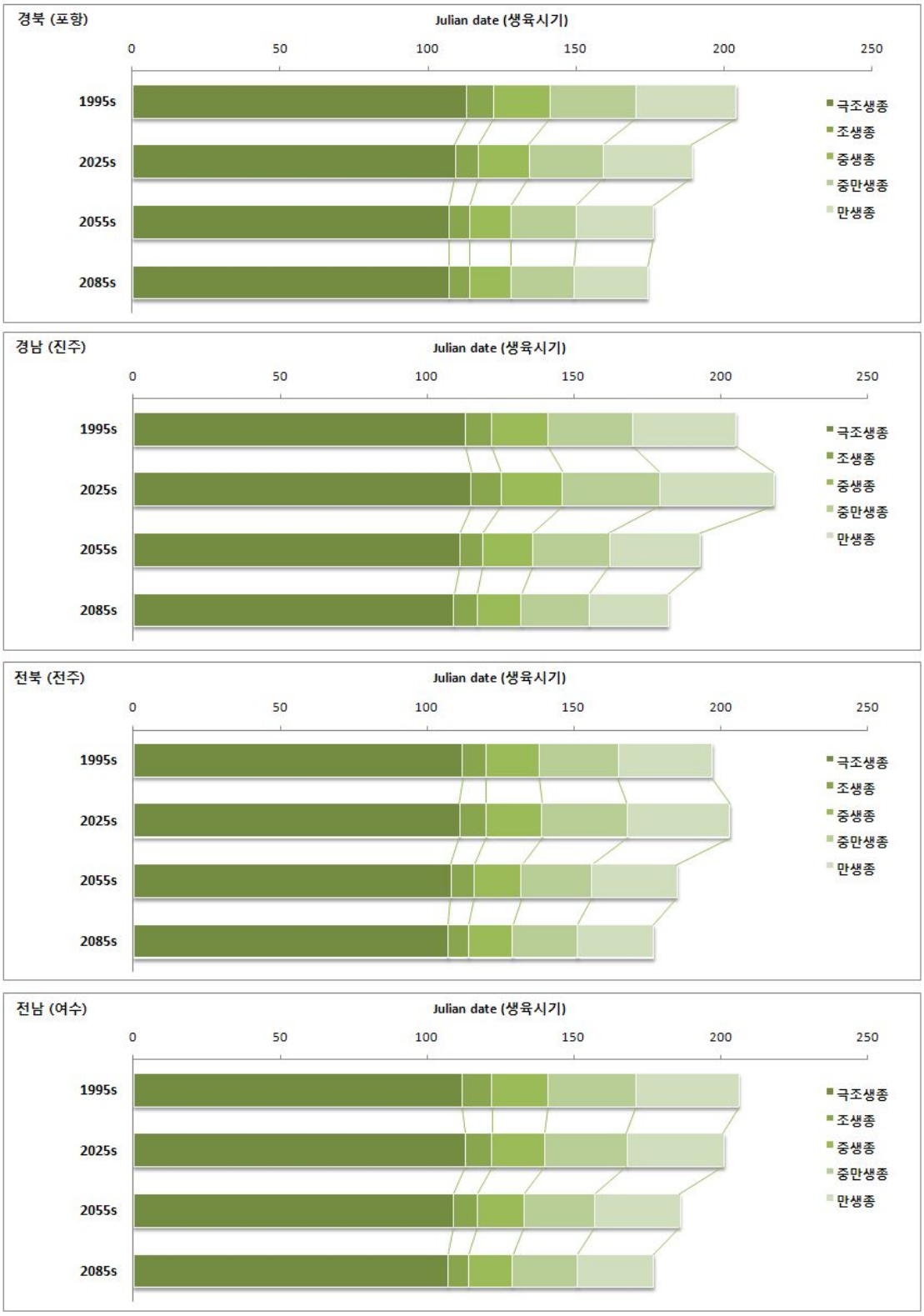
남부지역의 이앙일의 변화를 살펴보면, 전북 전주의 경우 1980년에서 2099년 동안 만생종은 이앙일이 5월 22에서 6월 30일까지 늦춰지는 것으로 분석되었다. 극조생종의 경우 이앙일이 7월 26일까지 늦춰지는 것으로 나타났다. 전남 여수의 경우 만생종은 이앙일이 5월 21일에서 6월 30일까지 늦춰지는 것으로 분석되었다. 극조생종의 경우 이앙일이 7월 26일까지 늦춰지는 것으로 나타났다. 경북 포항의 경우 만생종은 이앙일이 5월 18일에서 7월 1일까지 늦춰지는 것으로 분석되었고, 극조생종의 경우 이앙일이 7월 26일까지 늦춰지는 것으로 나타났다. 경남 진주의 경우 만생종은 이앙일이 5월 15일에서 6월 22일까지 늦춰지는 것으로 분석되었고, 극조생종의 경우 이앙일이 7월 19일까지 늦춰지는 것으로 나타났다.

(표 39.) 논벼의 품종별 이앙일의 변화 분석 결과

지 역	이앙일				
	극조생종	조생종	중생종	중만생종	만생종
기상자료 적용기간: 1980~2009					
경기 (수원)	6월17일	6월8일	5월29일	5월18일	5월12일
강원 (춘천)	6월7일	5월29일	5월18일	5월5일	4월29일
충북 (청주)	6월19일	6월10일	6월1일	5월21일	5월16일
충남 (서산)	6월12일	6월2일	5월22일	5월10일	5월3일
경북 (포항)	6월21일	6월12일	6월2일	5월23일	5월18일
경남 (진주)	6월19일	6월10일	5월31일	5월21일	5월15일
전북 (전주)	6월23일	6월15일	6월5일	5월27일	5월22일
전남 (여수)	6월25일	6월15일	6월6일	5월26일	5월21일
기상자료 적용기간: 2010~2039					
경기 (수원)	7월11일	7월1일	6월21일	6월11일	6월5일
강원 (춘천)	6월22일	6월13일	6월4일	5월24일	5월19일
충북 (청주)	6월24일	6월15일	6월6일	5월27일	5월21일
충남 (서산)	6월23일	6월13일	6월2일	5월22일	5월15일
경북 (포항)	7월2일	6월24일	6월15일	6월7일	6월2일
경남 (진주)	6월19일	6월9일	5월29일	5월17일	5월11일
전북 (전주)	7월1일	6월22일	6월12일	6월2일	5월27일
전남 (여수)	7월1일	6월22일	6월13일	6월3일	5월29일
기상자료 적용기간: 2040~2069					
경기 (수원)	7월25일	7월17일	7월8일	6월30일	6월25일
강원 (춘천)	7월3일	6월25일	6월17일	6월9일	6월4일
충북 (청주)	7월8일	6월30일	6월22일	6월14일	6월10일
충남 (서산)	7월9일	7월1일	6월22일	6월13일	6월8일
경북 (포항)	7월15일	7월8일	7월1일	6월23일	6월19일
경남 (진주)	7월7일	6월29일	6월20일	6월11일	6월6일
전북 (전주)	7월17일	7월9일	7월1일	6월23일	6월18일
전남 (여수)	7월16일	7월8일	6월30일	6월22일	6월17일
기상자료 적용기간: 2070~2099					
경기 (수원)	8월3일	7월26일	7월19일	7월11일	7월6일
강원 (춘천)	7월13일	7월6일	6월29일	6월21일	6월17일
충북 (청주)	7월17일	7월9일	7월2일	6월24일	6월20일
충남 (서산)	7월21일	7월13일	7월5일	6월27일	6월23일
경북 (포항)	7월26일	7월19일	7월12일	7월5일	7월1일
경남 (진주)	7월19일	7월11일	7월4일	6월26일	6월22일
전북 (전주)	7월26일	7월19일	7월11일	7월4일	6월30일
전남 (여수)	7월26일	7월19일	7월11일	7월4일	6월30일



<그림 61.> 중부지역의 품종별 생육기간의 변화



<그림 62.> 남부지역의 품종별 생육기간의 변화

1.4 지역별 작부시기 및 안전출수기의 변화

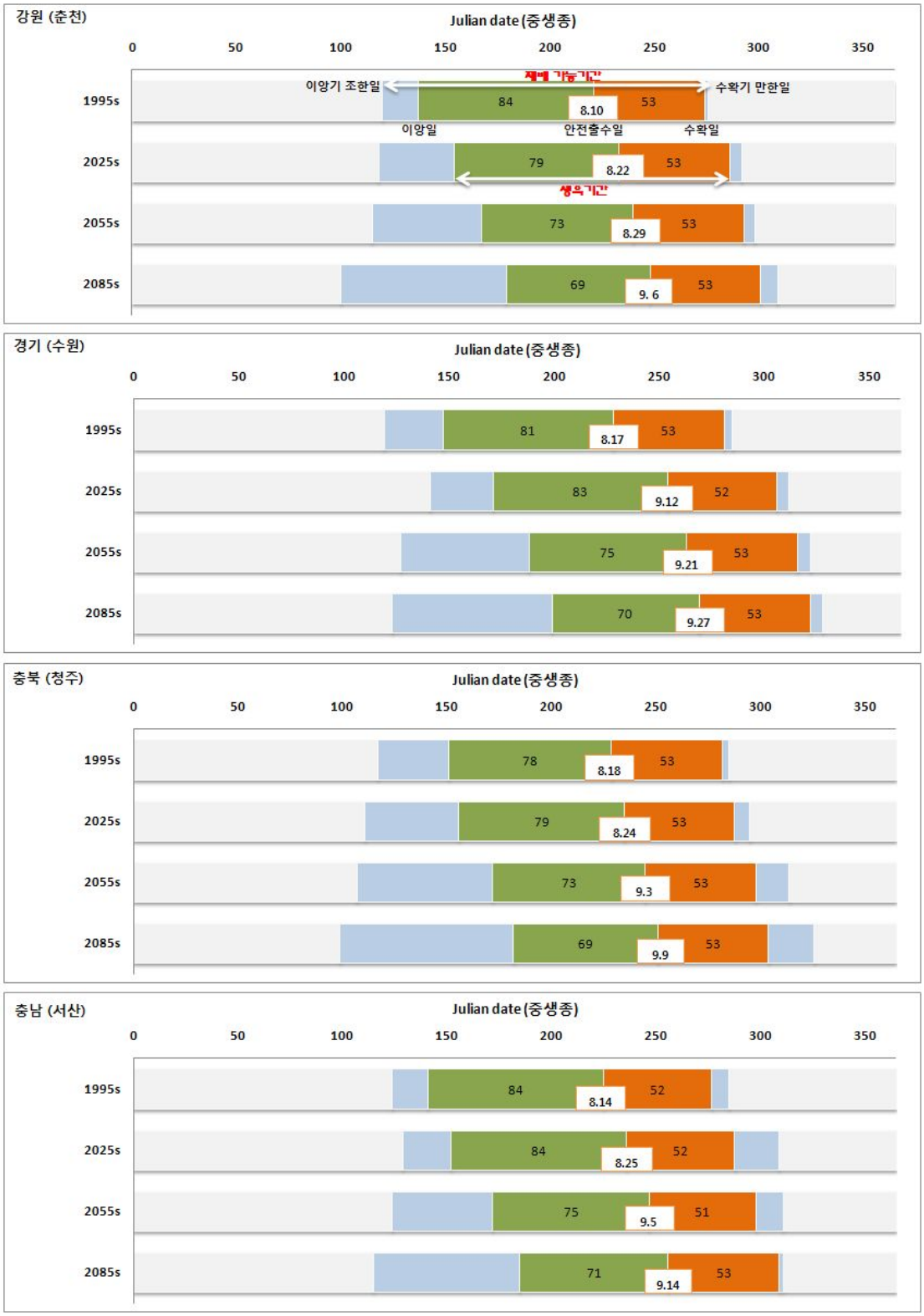
논벼의 기후변화에 따른 지역별 작부시기 변화를 살펴본 결과는 아래 (표 40.), <그림 63, 64.>과 같다. 논벼 생육의 중요한 요소인 안전출수기를 중심으로 시기에 따른 출수기의 변화 및 재배가능시기, 생육시기를 지역별로 살펴보았다.

중부지역을 중심으로 살펴보면 안전출수기의 변화를 살펴보면 다음과 같다. 1980년에서 2099년 동안 강원도 춘천의 경우 중생종의 안전출수기가 8월 10일에서 8월 22일, 8월 29일, 9월 6일로 약 27일 정도 늦춰지는 것을 알 수 있다. 생육기간은 137일에서 122일까지 줄어드는 것을 확인할 수 있다. 재배가능기간은 156일에서 209일로 53일 늘어나는 것으로 나타났다. 경기 수원의 경우 안전출수기는 8월 17일에서 9월 27일로 늦춰지고, 생육기간은 134일에서 123일로 줄어들고, 재배가능기간은 166일에서 205일로 늘어나는 것으로 나타났다. 충북 청주의 경우 안전출수일은 8월 18일에서 9월 9일까지 늦춰지고 생육기간은 131일에서 122일로 줄어들고, 재배가능기간은 168일에서 227일로 늘어나는 것으로 나타났다. 충남 서산의 경우 안전출수일은 8월 14일에서 9월 14일까지 늦춰지고 생육기간은 136일에서 124일로 줄어들고, 재배가능기간은 161일에서 196일로 늘어나는 것으로 나타났다.

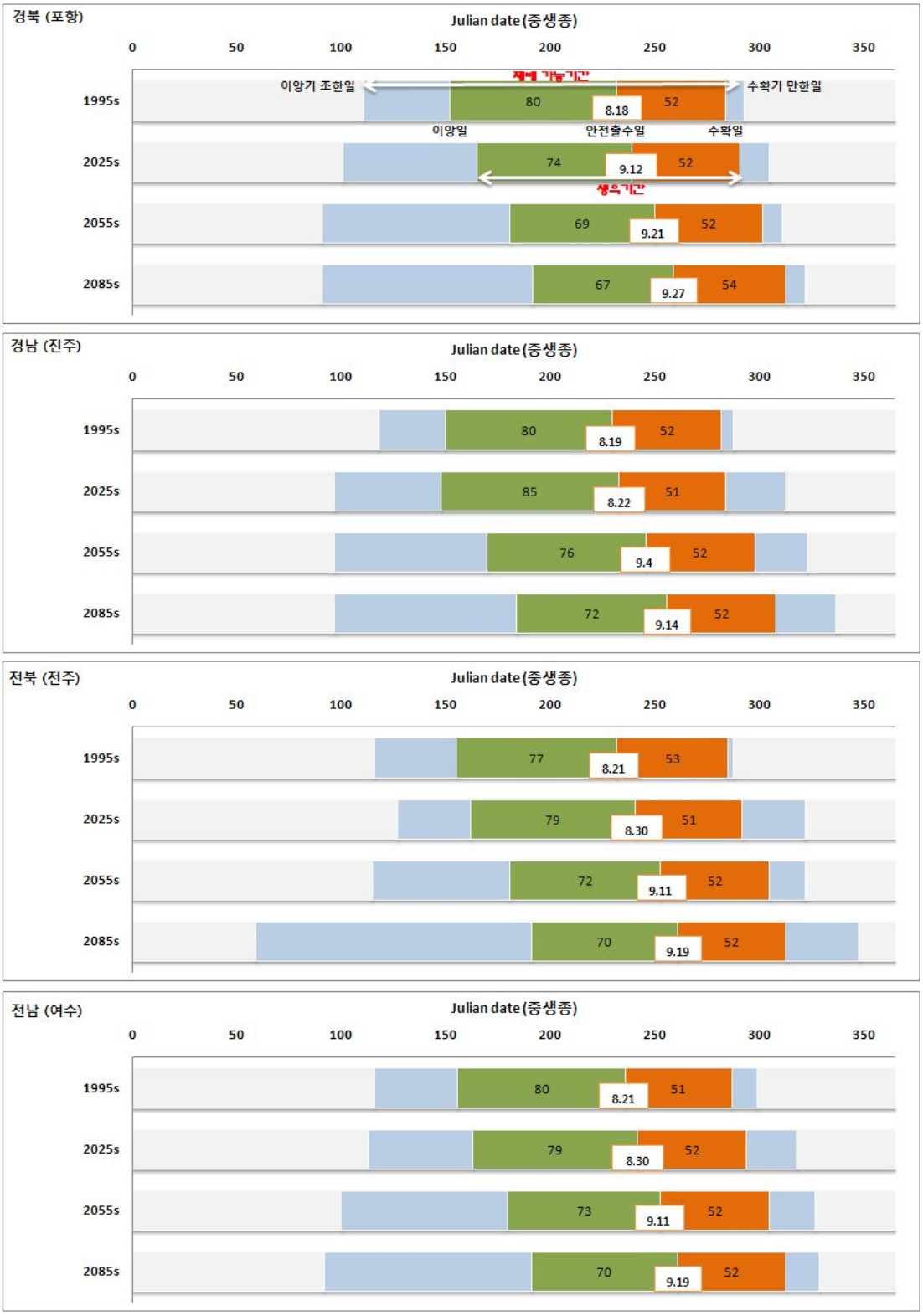
남부지역의 변화를 살펴보면, 먼저 전북 전주의 경우 안전출수일은 8월 21일에서 9월 19일까지 늦춰지고 생육기간은 130일에서 122일로 줄어들고, 재배가능기간은 172일에서 289일로 늘어나는 것으로 나타났다. 전남 여수의 경우 안전출수일은 8월 25일에서 9월 19일까지 늦춰지고 생육기간은 131일에서 122일로 줄어들고, 재배가능기간은 183일에서 237일로 늘어나는 것으로 나타났다. 경북 포항의 경우 안전출수일은 8월 21일에서 9월 17일까지 늦춰지고 생육기간은 132일에서 121일로 줄어들고, 재배가능기간은 182일에서 231일로 늘어나는 것으로 나타났다. 경남 진주의 경우 안전출수일은 8월 19일에서 9월 14일까지 늦춰지고 생육기간은 132일에서 124일로 줄어들고, 재배가능기간은 170일에서 240일로 늘어나는 것으로 나타났다.

(표 40.) 논벼의 작부시기의 변화 분석 결과 (중생종)

지 역	이앙기 조한일	이앙기	안전 출수기	수확기	수확기 만한일	재배가능 기간	생육 기간
기상자료 적용기간: 1980~2009							
경기 (수원)	4월 30일	5월28일	8월17일	10월9일	10월 13일	166일	134일
강원 (춘천)	5월 1일	5월18일	8월10일	10월2일	10월 4일	156일	137일
경북 (포항)	4월 22일	6월2일	8월21일	10월12일	10월 21일	182일	132일
경남 (진주)	4월 29일	5월31일	8월19일	10월10일	10월 16일	170일	132일
전북 (전주)	4월 27일	6월5일	8월21일	10월13일	10월 16일	172일	130일
전남 (여수)	4월 27일	6월6일	8월25일	10월15일	10월 27일	183일	131일
충북 (청주)	4월 28일	6월1일	8월18일	10월10일	10월 13일	168일	131일
충남 (서산)	5월 5일	5월22일	8월14일	10월5일	10월 13일	161일	136일
기상자료 적용기간: 2010~2039							
경기 (수원)	5월 22일	6월21일	9월12일	11월3일	11월 9일	171일	135일
강원 (춘천)	4월 29일	6월4일	8월22일	10월14일	10월 20일	174일	132일
경북 (포항)	4월 12일	6월15일	8월28일	10월19일	11월 2일	204일	126일
경남 (진주)	4월 8일	5월29일	8월22일	10월12일	11월 10일	216일	136일
전북 (전주)	5월 8일	6월12일	8월30일	10월20일	11월 19일	195일	130일
전남 (여수)	4월 24일	6월13일	8월31일	10월22일	11월 15일	205일	131일
충북 (청주)	4월 22일	6월6일	8월24일	10월16일	10월 23일	184일	132일
충남 (서산)	5월 10일	6월2일	8월25일	10월16일	11월 6일	180일	136일
기상자료 적용기간: 2040~2069							
경기 (수원)	5월 8일	7월8일	9월21일	11월13일	11월 19일	195일	128일
강원 (춘천)	4월 26일	6월17일	8월29일	10월21일	10월 26일	183일	126일
경북 (포항)	4월 2일	7월1일	9월8일	10월30일	11월 8일	220일	121일
경남 (진주)	4월 8일	6월20일	9월4일	10월26일	11월 20일	226일	128일
전북 (전주)	4월 26일	7월1일	9월11일	11월2일	11월 19일	207일	124일
전남 (여수)	4월 11일	6월30일	9월11일	11월2일	11월 24일	227일	125일
충북 (청주)	4월 18일	6월22일	9월3일	10월26일	11월 11일	207일	126일
충남 (서산)	5월 5일	6월22일	9월5일	10월26일	11월 8일	187일	126일
기상자료 적용기간: 2070~2099							
경기 (수원)	5월 4일	7월19일	9월27일	11월19일	11월 25일	205일	123일
강원 (춘천)	4월 11일	6월29일	9월6일	10월29일	11월 6일	209일	122일
경북 (포항)	4월 2일	7월12일	9월17일	11월10일	11월 19일	231일	121일
경남 (진주)	4월 8일	7월4일	9월14일	11월5일	12월 4일	240일	124일
전북 (전주)	3월 1일	7월11일	9월19일	11월10일	12월 15일	289일	122일
전남 (여수)	4월 3일	7월11일	9월19일	11월10일	11월 26일	237일	122일
충북 (청주)	4월 10일	7월2일	9월9일	11월1일	11월 23일	227일	122일
충남 (서산)	4월 26일	7월5일	9월14일	11월6일	11월 8일	196일	124일



<그림 63.> 중부지역 작부시기 및 출수기 변화



<그림 64.> 남부지역 작부시기 및 출수기 변화

2. 작물계수의 변화

2.1 지역별 용수공급 기준일의 변화

논벼의 필요 용수량은 작부시기에 따라 변하게 되므로, 먼저 기후변화로 인한 지역별 작부시기 변화를 바탕으로 용수공급시기를 판단할 필요가 있다. 본 연구에서는 앞서 산정된 논벼의 생육기간 변화 분석자료를 바탕으로 각 시기별 중부, 남부 지역의 묘대기, 이앙기, 본답기를 설정하였고 이는 아래 (표 41, 42.)와 같다. 묘대기 기간은 45일을 적용하였고 본답기는 90일을 적용하였다.

(표 41.) 중부지역의 시기별 작부시기

구 분	중부지역		
	묘대기	이앙기	본답기
1995s (1980~2009)	4/11~5/25	5/15~6/4	6/5~9/2
2025s (2010~2039)	4/25~6/8	5/29~6/18	6/19~9/16
2055s (2040~2069)	5/11~6/24	6/14~7/4	7/5~10/2
2085s (2070~2099)	5/23~7/6	6/26~7/16	7/17~10/14

(표 42.) 남부지역의 시기별 작부시기

구 분	남부지역		
	묘대기	이앙기	본답기
1995s (1980~2009)	4/20~6/3	5/24~6/13	6/14~9/11
2025s (2010~2039)	4/26~6/9	5/30~6/19	6/20~9/17
2055s (2040~2069)	5/15~6/28	6/18~7/8	7/9~10/6
2085s (2070~2099)	5/26~7/9	6/29~7/19	7/20~10/17

2.2 작물계수 산정 결과

Penman-Monteith 방법을 통한 증발산량을 산정하기 위하여 FAO에서 제시하는 방법에 근거하여 시기별 작물계수를 추정하였다. 작물계수를 추정하기 위해서는 FAO에서 제시하는 조정 작물계수를 활용해야 하지만 제시된 조정 작물계수의 값이 우리나라의 실정에 적합하지 않을 것으로 판단되었다. 이에 본 연구에서는 우리나라에서 산정된 작물계수를 기준 작물계수로 설정하여 조정 작물계수를 추정하였고, 이를 활용하여 시기별 작물계수를 추정하였다. 기준 작물계수로는 Penman- Monteith 공식에 의해 산정된 잠재증발산량과 전국 9개 지역에서 82년부터 86년까지 5개년 동안 실측한 증발산량을 이용하여 산정된 작물계수 결과를 활용하였다(유승환, 2006). 기준 작물계수를 통하여 추정된 조정 작물계수는 (표 43.)에 나타나 있으며, 이를 바탕으로 FAO 보고서의 작물계수 산정방법을 활용하여 중부지역 4개 시·군, 남부지역 4개 시·군의 순별 작물계수를 산정하였다(표 43~47).

(표 43.) FAO Penman-Monteith를 통한 증발산량 산정을 위한 조정 작물계수

구 분		이앙후 ~10일	~20일	~30일	~40일	~50일	~60일	~70일	~80일	~90일	~100일	~110일	~120일
중부	춘천	1.13	1.23	1.23	1.16	1.22	1.64	1.50	1.49	1.75	1.70	0.98	0.78
	서울	0.43	0.59	0.93	0.95	1.01	0.91	0.98	1.03	0.93	1.11	1.13	
	수원	0.47	1.04	1.34	1.34	1.37	1.50	1.54	1.83	1.60	1.60	1.34	1.13
	청주	0.90	1.06	1.28	1.28	1.36	1.50	1.58	1.58	1.74	1.62		
	대전	1.15	1.23	1.35	1.47	1.57	1.61	2.04	1.94	1.89	1.52	2.13	
	평균	0.81	1.03	1.22	1.24	1.31	1.43	1.53	1.58	1.58	1.51	1.40	0.95
남부	전주	0.36	0.79	0.88	1.03	1.47	1.40	1.39	1.63	1.16	1.38	1.08	1.16
	광주	1.11	1.08	1.19	1.23	1.28	1.36	1.42	1.53	1.09	1.17	0.75	
	대구	0.80	0.85	0.96	1.26	1.60	1.98	1.66	2.15	1.90	2.09		
	진주	0.76	1.05	0.82	1.21	1.15	1.67	1.85	1.49	1.56	1.36	1.67	
	평균	0.76	0.94	0.96	1.18	1.37	1.60	1.58	1.70	1.43	1.50	1.17	1.16

(표 44.) 중부지역의 생육시기별 작물계수

구 분	이앙후 ~10일	~20일	~30일	~40일	~50일	~60일	~70일	~80일	~90일	~100일	~110일
1995s	0.80	1.00	1.18	1.18	1.24	1.36	1.46	1.51	1.52	1.44	1.34
2025s	0.78	0.98	1.16	1.17	1.23	1.35	1.45	1.50	1.51	1.45	1.34
2055s	0.76	0.96	1.15	1.16	1.23	1.36	1.46	1.48	1.52	1.45	1.36
2085s	0.75	0.95	1.14	1.16	1.23	1.36	1.47	1.51	1.53	1.47	1.35

(표 45.) 남부지역의 생육시기별 작물계수

구 분	이앙후 ~10일	~20일	~30일	~40일	~50일	~60일	~70일	~80일	~90일	~100일	~110일
1995s	0.73	0.89	0.89	1.11	1.30	1.53	1.52	1.63	1.36	1.44	1.12
2025s	0.73	0.89	0.91	1.12	1.31	1.53	1.52	1.63	1.37	1.44	1.11
2055s	0.72	0.88	0.90	1.11	1.31	1.53	1.52	1.54	1.37	1.44	1.13
2085s	0.71	0.88	0.89	1.12	1.31	1.54	1.53	1.64	1.37	1.46	1.14

(표 46.) 중부지역의 작부시기별 작물계수

구 분	4중	4하	5초	5중	5하	6초	6중	6하	7초	7중	7하	8초	8중	8하	9초	9중	9하	10초	10중
1995s	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	1.00	1.18	1.18	1.24	1.36	1.46	1.51	1.52	1.44	1.34				
2025s		0.78	0.78	0.78	0.78	0.78	0.98	1.16	1.17	1.23	1.35	1.45	1.50	1.51	1.45	1.34			
2055s				0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.96	1.15	1.16	1.23	1.36	1.46	1.48	1.52	1.45	1.36	
2085s					0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.95	1.14	1.16	1.23	1.36	1.47	1.51	1.53	1.47	1.35

(표 47.) 남부지역의 작부시기별 작물계수

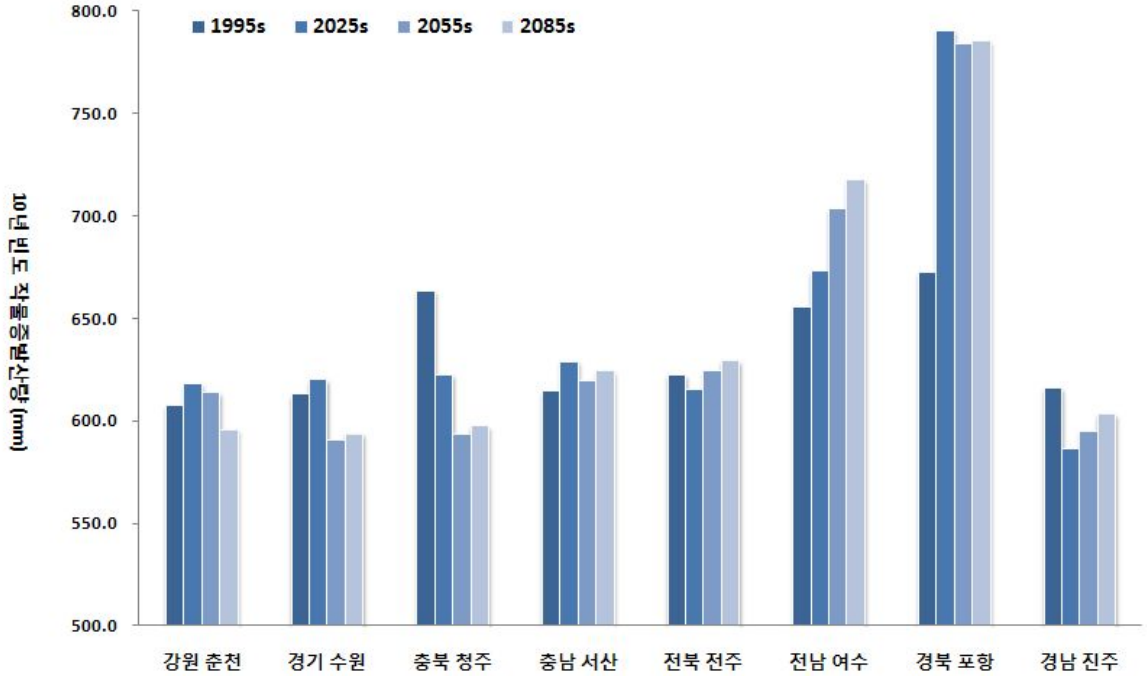
구 분	4중	4하	5초	5중	5하	6초	6중	6하	7초	7중	7하	8초	8중	8하	9초	9중	9하	10초	10중
1995s		0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	0.89	0.89	1.11	1.30	1.53	1.52	1.63	1.36	1.44	1.12			
2025s		0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	0.89	0.91	1.12	1.31	1.53	1.52	1.63	1.37	1.44	1.11			
2055s				0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.88	0.90	1.11	1.31	1.53	1.52	1.54	1.37	1.44	1.13	
2085s					0.71	0.71	0.71	0.71	0.71	0.88	0.89	1.12	1.31	1.54	1.53	1.64	1.37	1.46	1.14

6장. 작물증발산량 및 필요수량 분석

1. 10년빈도 작물증발산량

본 연구에서는 시기에 따른 각 지역별 작물증발산량을 산정하였고, 유승환 등(2007)이 제안한 방법을 이용하여 한발기준 10년빈도 작물증발산량을 분석하였다. 지역별 산정 결과를 살펴보면, 경북 포항의 10년빈도 증발산량이 가장 높게 산정되었고 다음으로 전남여수의 증발산량이 높게 나타났다.

시기별 증가율을 살펴보면 강원 춘천의 경우 1995s 대비 2085s의 10년빈도 작물증발산량의 증가율은 -2.0%로 나타났고, 경기 수원의 증가율은 -3.1%로 나타났으며 충북 청주는 -10.0%로 가장 높은 감소율을 보이고 있다. 이에 반하여 충남 서산은 증가율이 1.6%로 10년빈도 작물증발산량이 증가하는 것으로 나타났다. 남부지역의 경우 증가율이 -2.1%인 경남 진주를 제외하고 전북 전주, 전남 여수, 경북 포항에서는 증가율이 1.1%, 9.5%, 16.8%로 10년빈도 작물증발산량이 시기에 따라 증가하는 것으로 나타났다.



<그림 65.> 시기별 한발기준 10년빈도 작물증발산량

(표 48.) 시기별 한발기준 10년빈도 작물증발산량 (중부지역)

구분	강원 춘천		경기 수원		충북 청주		충남 서산	
	증발산량 (mm)	증가율 (%)	증발산량 (mm)	증가율 (%)	증발산량 (mm)	증가율 (%)	증발산량 (mm)	증가율 (%)
1995s	607.9	-	613.2	-	663.6	-	614.9	-
2025s	618.1	1.7	620.2	1.1	622.8	-6.1	629.2	2.3
2055s	614.1	1.0	590.6	-3.7	593.7	-10.5	619.7	0.8
2085s	596.0	-2.0	593.9	-3.1	597.5	-10.0	624.5	1.6

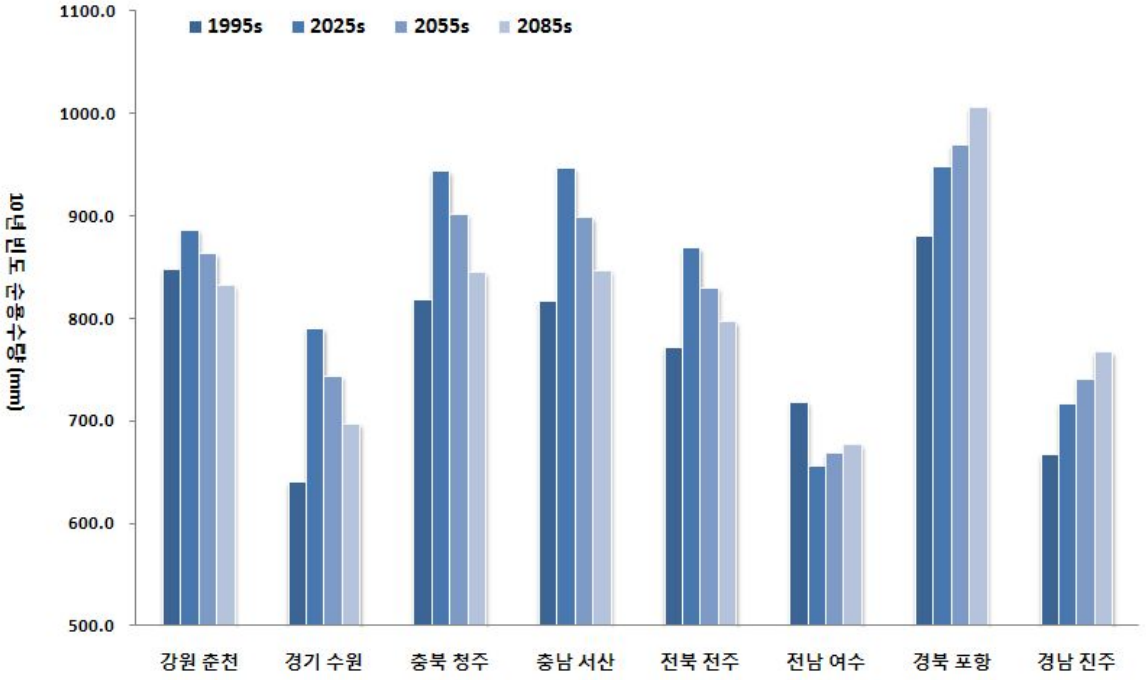
(표 49.) 시기별 한발기준 10년빈도 작물증발산량 (남부지역)

구분	전북 전주		전남 여수		경북 포항		경남 진주	
	증발산량 (mm)	증가율 (%)	증발산량 (mm)	증가율 (%)	증발산량 (mm)	증가율 (%)	증발산량 (mm)	증가율 (%)
1995s	622.5	-	655.6	-	672.5	-	616.2	-
2025s	615.3	-1.2	673.3	2.7	790.8	17.6	586.6	-4.8
2055s	624.8	0.4	703.6	7.3	784.3	16.6	595.0	-3.4
2085s	629.6	1.1	717.8	9.5	785.3	16.8	603.5	-2.1

2. 순용수량 산정 결과

시기에 따라 각 지역별로 순요수량을 산정하였고 Yoo et. al. (2007)이 제안한 방법을 이용하여 한발기준 10년빈도 순용수량을 분석하였다. 지역별 결과를 살펴보면, 경북 포항의 10년빈도 순용수량이 가장 높게 산정되었고 다음으로 충북 청주와 충남 서산의 순용수량이 높게 나타나는 것으로 분석되었다.

시기별 증가율을 살펴보면 강원 춘천의 경우 1995s 대비 2085s의 증가율은 -1.9%로 10년빈도 순용수량이 감소하는 것으로 나타났고, 경기 수원, 충북 청주, 충남 서산의 증가율은 9.0%, 3.2%, 3.7%로 10년빈도 순용수량이 증가하는 것으로 나타났다. 남부지역의 경우 전북 전주와 경북 포항, 경남 진주는 증가율이 3.2%, 14.2%, 15.0%로 10년빈도 순용수량이 증가하는 것으로 나타났고, 이에 반하여 전남 여수는 증가율이 -5.7%로 10년빈도 순용수량이 감소하는 것으로 나타났다.



<그림 66.> 시기별 한발기준 10년빈도 순용수량

(표 50.) 시기별 한발기준 10년빈도 순용수량 (중부지역)

구분	강원 춘천		경기 수원		충북 청주		충남 서산	
	순용수량 (mm)	증가율 (%)	순용수량 (mm)	증가율 (%)	순용수량 (mm)	증가율 (%)	순용수량 (mm)	증가율 (%)
1995s	848.7	-	639.9	-	819.1	-	816.6	-
2025s	886.5	4.5	790.1	23.5	944.1	15.3	946.7	15.9
2055s	863.5	1.7	743.5	16.2	901.5	10.1	898.5	10.0
2085s	832.3	-1.9	697.2	9.0	845.0	3.2	846.9	3.7

(표 51.) 시기별 한발기준 10년빈도 순용수량 (남부지역)

구분	전북 전주		전남 여수		경북 포항		경남 진주	
	순용수량 (mm)	증가율 (%)	순용수량 (mm)	증가율 (%)	순용수량 (mm)	증가율 (%)	순용수량 (mm)	증가율 (%)
1995s	772.2	-	718.4	-	881.0	-	666.8	-
2025s	868.7	12.5	656.7	-8.6	947.8	7.6	716.3	7.4
2055s	830.0	7.5	668.9	-6.9	969.1	10.0	740.1	11.0
2085s	796.8	3.2	677.1	-5.7	1,005.7	14.2	767.1	15.0

3. 저수지 물수지 분석 결과

3.1 물수지 분석 입력자료 구축

저수지 물수지 분석을 수행하기 위하여 대상지구의 기초자료를 조사한 결과는 아래와 같다. 기본적인 저수지 자료로는 대상저수지 수위-내용적 및 만수위, 사수위 자료 등이 활용되었다. 유역 유출량 및 필요수량을 산정하기 위하여 유역면적 및 유역내 토지이용변화, 관개지구내 논벼의 관개면적변화 분석 결과를 활용하였다. 또한 대상지구내 삼투량 및 수로손실, 최소담수심, 최대담수심이 필요수량 산정을 위한 기초자료로서 활용되었다.

(표 52.) 중부지역 대상지구 기초자료

구 분	강 원	경 기	충 남	충 북
저수지명	원 창	마 둔	고 풍	원 남
관 측 소	춘 천	수 원	서 산	청 주
관측소 번호	101	119	129	131
유역면적(ha)	1,273	1,190	2,536	7,563
만수위 (El.m)	280.0	119.1	84.0	115.7
사수위 (El.m)	250.0	102.0	64.6	97.0
삼 투 량 (㎜)	6.5	4.0	5.1	5.5
수로손실 (%)	20	10	10	15
최대담수심 (㎜)	80	80	80	80
최소담수심 (㎜)	20	20	20	20

(표 53.) 남부지역 대상지구 기초자료

구 분	전 남	전 북	경 남	경 북
저수지명	대 포	백 석	남 성	마 북
관 측 소	여 수	전 주	진 주	포 항
관측소 번호	168	146	192	138
유역면적(ha)	1,458	13,785	373	1,618
만수위 (El.m)	20.1	29.8	99.0	164.3
사수위 (El.m)	6.8	22.8	76.2	134.0
삼 투 량 (㎜)	4.0	5.0	4.1	5.0
수로손실 (%)	15	10	15	15
최대담수심 (㎜)	80	80	80	80
최소담수심 (㎜)	20	20	20	20

(표 54.) 유역내 토지이용 비율

구 분		1995s		2025s		2055s		2085s	
		ha	(%)	ha	(%)	ha	(%)	ha	(%)
원창저수지 (강원)	논	-	-	-	-	-	-	-	-
	밭	-	-	-	-	-	-	-	-
	산림	1,253	98.4	1,247	98.0	1,247	98.0	1,247	98.0
마둔저수지 (경기)	논	86	7.2	73	6.1	32	2.7	24	2.0
	밭	63	5.3	51	4.3	29	2.4	15	1.3
	산림	960	80.7	969	81.4	1,006	84.5	1,023	86.0
원남저수지 (충북)	논	720	9.5	685	9.1	666	8.8	649	8.6
	밭	962	12.7	780	10.3	757	10.0	752	9.9
	산림	5,369	71.0	5,323	70.4	5,425	71.7	5,526	73.1
고풍저수지 (충남)	논	153	6.0	138	5.4	115	4.5	90	3.5
	밭	211	8.3	128	5.0	82	3.2	60	2.4
	산림	2,032	80.1	2,120	83.6	2,159	85.1	2,176	85.8
백석저수지 (전북)	논	1,613	11.7	1,611	12.0	1,594	11.8	1,581	11.6
	밭	1,138	8.3	1,132	8.4	1,116	8.2	1,115	8.2
	산림	9,387	68.1	8,872	66.0	8,947	66.1	9,050	66.3
대포저수지 (전남)	논	142	9.7	142	9.7	142	9.7	142	9.7
	밭	116	8.0	93	6.4	80	5.5	80	5.5
	산림	1,079	74.0	1,061	72.8	1,038	71.2	1,038	71.2
마북저수지 (경북)	논	39	2.4	37	2.3	34	2.1	32	2.0
	밭	23	1.4	19	1.2	19	1.2	14	0.9
	산림	1,516	93.7	1,515	93.6	1,523	94.1	1,532	94.7
남성저수지 (경남)	논	31	8.3	26	7.0	25	6.7	25	6.7
	밭	2	0.5	2	0.5	1	0.3	1	0.3
	산림	325	87.1	330	88.5	332	89.0	332	89.0

(표 55.) 시기별 관개면적

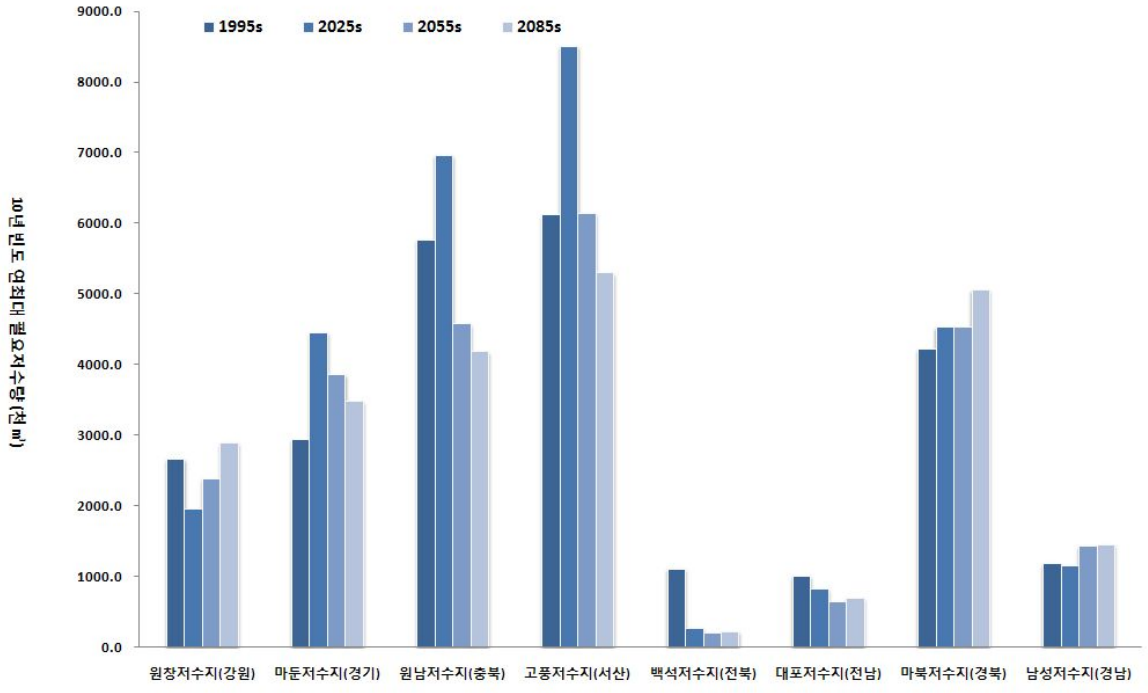
대상 지구	1995s	2025s		2055s		2085s	
	면적(ha)	면적(ha)	증감율(%)	면적(ha)	증감율(%)	면적(ha)	증감율(%)
강원 원창	451.4	442.4	-2.0	441.3	-2.2	440.1	-2.5
경기 마둔	676.9	668.0	-1.3	665.4	-1.7	660.4	-2.4
충북 원남	1402.2	1,334.0	-4.9	1,297.0	-7.5	1,263.9	-9.9
충남 고풍	1185.0	1,184.0	-0.1	1,154.4	-2.6	1,115.7	-5.9
전북 백석	855.0	854.3	-0.1	832.9	-2.6	805.0	-5.9
전남 대포	296.7	296.7	0.0	296.7	0.0	296.7	0.0
경북 마북	583.6	583.6	0.0	583.6	0.0	583.6	0.0
경남 남성	221.7	220.3	-0.6	216.3	-2.5	212.2	-4.3

3.2 물수지 분석 결과

본 지구의 물수지 분석은 유역내 수자원의 총 발생량, 관개구역에서의 수요량, 시설물내 저류량의 정도와 재이용 등 수자원의 구성과 순환과정을 농업용수 계획기준년 기준으로 수급관계를 분석하였다. 분석 요소인 유역의 유출량은 TANK모형을 수정한 DIROM에 의해 산정하고 관개구역의 필요수량은 Penman-Monteith 방법에 의해 증발산량을 산정하였고, 저수지 모의조작에 따른 물수지를 실시하여 매년의 최대필요저수량을 산정하고 빈도분석을 실시함으로써 한발빈도별 저수용량을 분석하였다.

1) 연최대 필요저수량의 빈도분석 결과

각 저수지의 시기별(1995s, 2025s, 2055s, 2085s) 연최대 필요저수량을 빈도분석한 결과는 아래와 같다. 고풍저수지의 10년빈도 연최대 필요저수량이 가장 크게 나타났으며 다음으로 원남저수지와 마북저수지가 크게 산정되었다. 특히 고풍저수지는 2025s 기간에 가장 큰 필요저수량을 보이는 것을 확인할 수 있다. 지역별 증가율은 시기에 따라 변동을 보이고 있으며 이는 (표 56, 57.)에 나타내었다.



<그림 67.> 시기별 한발기준 10년빈도 연최대 필요저수량

(표 56.) 시기별 한발기준 10년빈도 연최대 필요저수량 (중부지역)

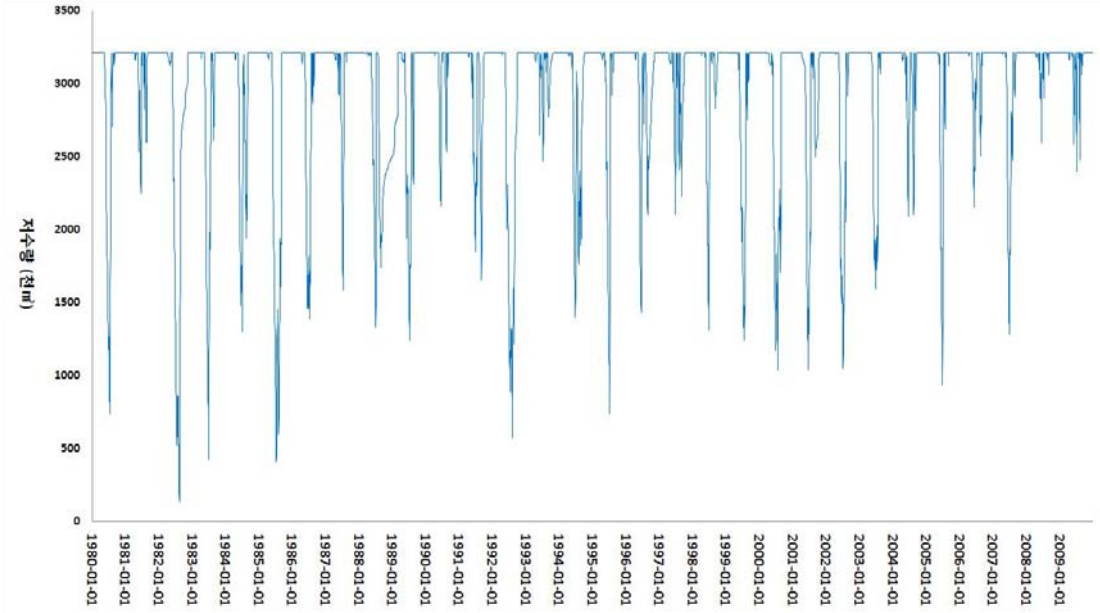
구분	원창저수지(강원)		마둔저수지(경기)		원남저수지(충북)		고풍저수지(서산)	
	필요저수량 (천㎥)	증가율 (%)	필요저수량 (천㎥)	증가율 (%)	필요저수량 (천㎥)	증가율 (%)	필요저수량 (천㎥)	증가율 (%)
1995s	2,659.5	-	2,934.9	-	5,765.5	-	6,112.1	-
2025s	1,946.2	-26.8	4,447.1	51.5	6,963.7	20.8	8,507.1	39.2
2055s	2,378.3	-10.6	3,855.4	31.4	4,574.9	-20.7	6,143.7	0.5
2085s	2,890.9	8.7	3,474.8	18.4	4,178.5	-27.5	5,291.9	-13.4

(표 57.) 시기별 한발기준 10년빈도 연최대 필요저수량 (남부지역)

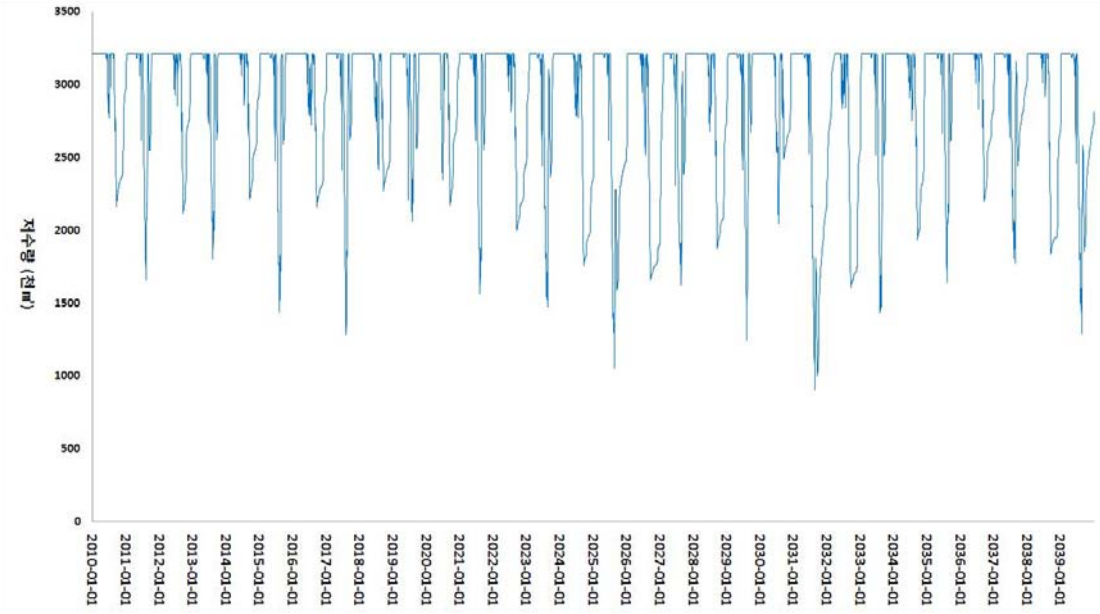
구분	백석저수지(전북)		대포저수지(전남)		마묵저수지(경북)		남성저수지(경남)	
	필요저수량 (천㎥)	증가율 (%)	필요저수량 (천㎥)	증가율 (%)	필요저수량 (천㎥)	증가율 (%)	필요저수량 (천㎥)	증가율 (%)
1995s	1,103.8	-	1,002.8	-	4,218.3	-	1,179.8	-
2025s	261.2	-76.3	823.8	-17.9	4,529.8	7.4	1,152.7	-2.3
2055s	196.4	-82.2	638.2	-36.4	4,529.7	7.4	1,425.3	20.8
2085s	218.0	-80.3	692.2	-31.0	5,055.2	19.8	1,449.0	22.8

2) 저수지 일별 수위 변화 분석

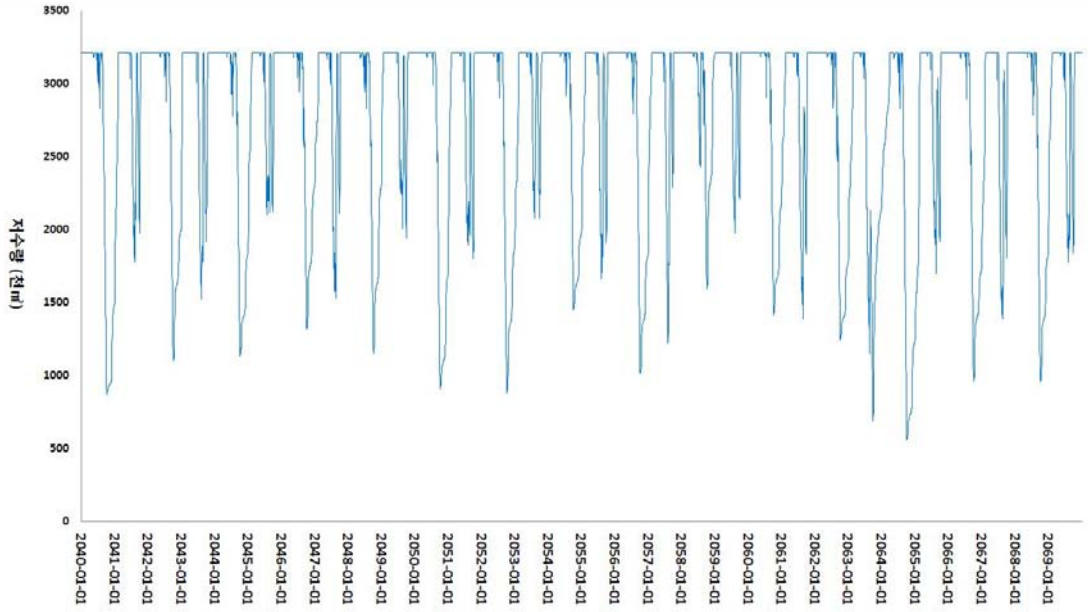
대상저수지들의 시기별 30년 일별저수량을 도시한 결과는 아래 <그림 68~99.>과 같다. 강원 원창저수지의 경우 1995s의 30년 동안의 일별저수량은 대부분 1,000 천㎥ 이상으로 나타났다. 2025s에는 저수량이 상승하였으나 2055s, 2085s로 시기가 지날수록 일별 저수량이 적어지는 것으로 나타났다. 특히 2085s 기간에는 일별저수량의 변동이 상당히 크게 나타났고 저수량이 1,000 천㎥이하로 나타나는 기간도 많아지는 것을 볼 수 있다.



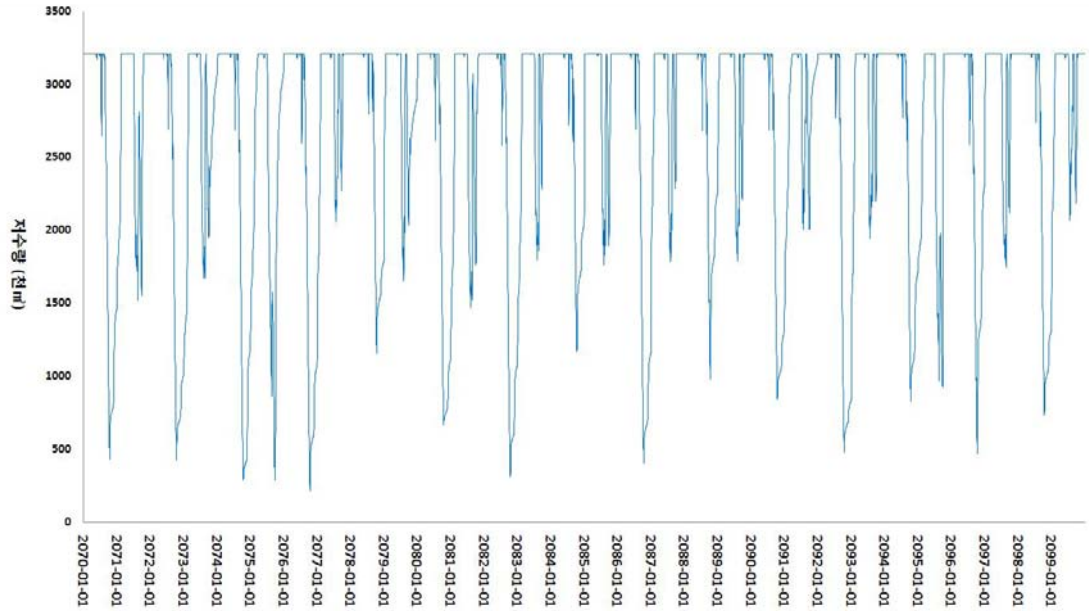
<그림 68.> 강원 원창저수지 30년 일별 저수량 변화 (1980~2009)



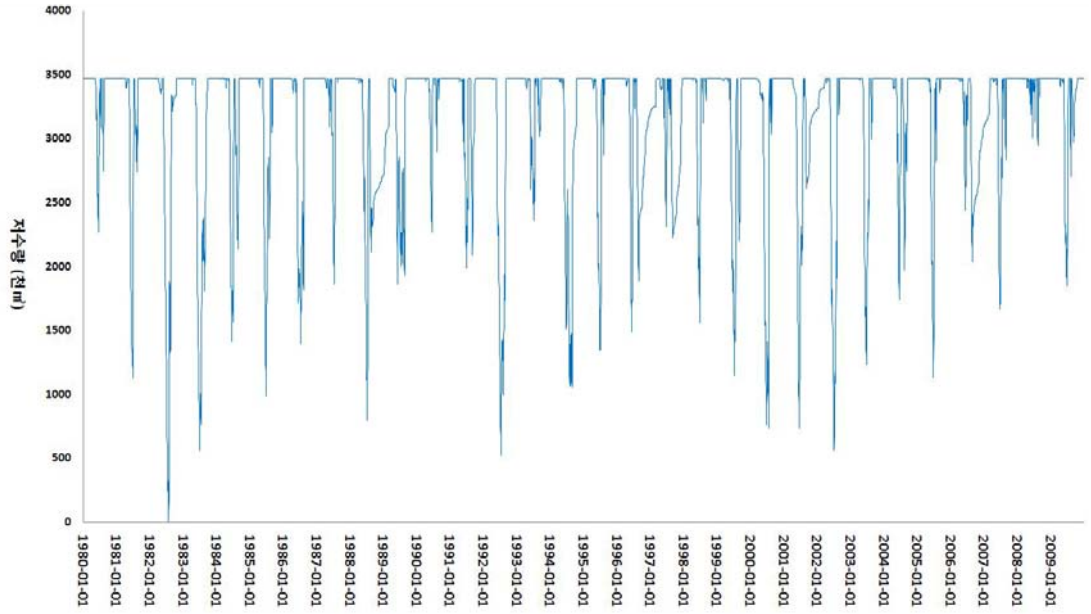
<그림 69.> 강원 원창저수지 30년 일별 저수량 변화 (2010~2039)



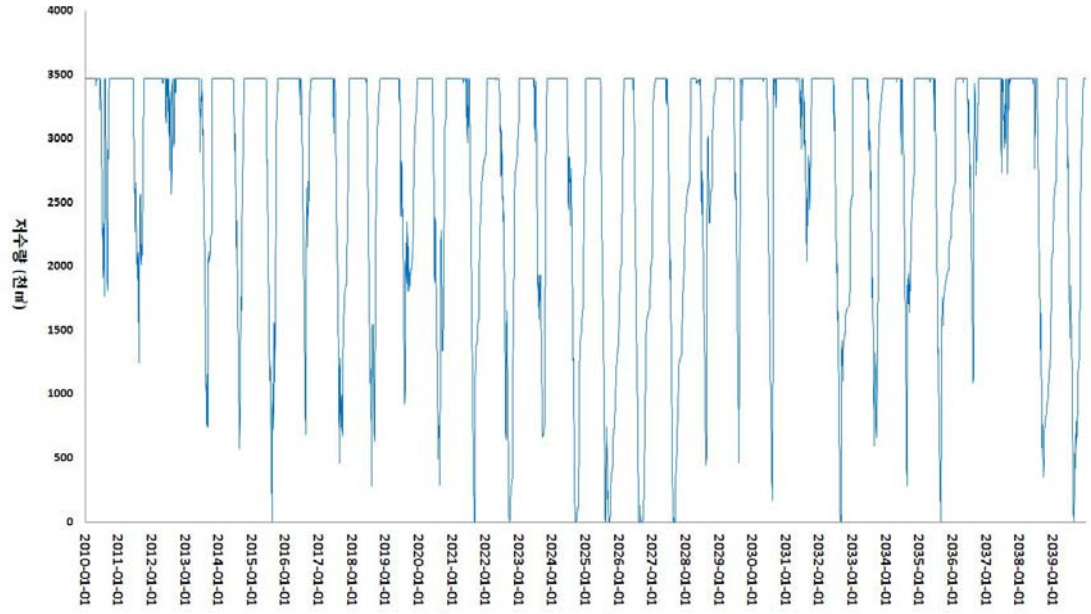
<그림 70.> 강원 원창저수지 30년 일별 저수량 변화 (2040~2069)



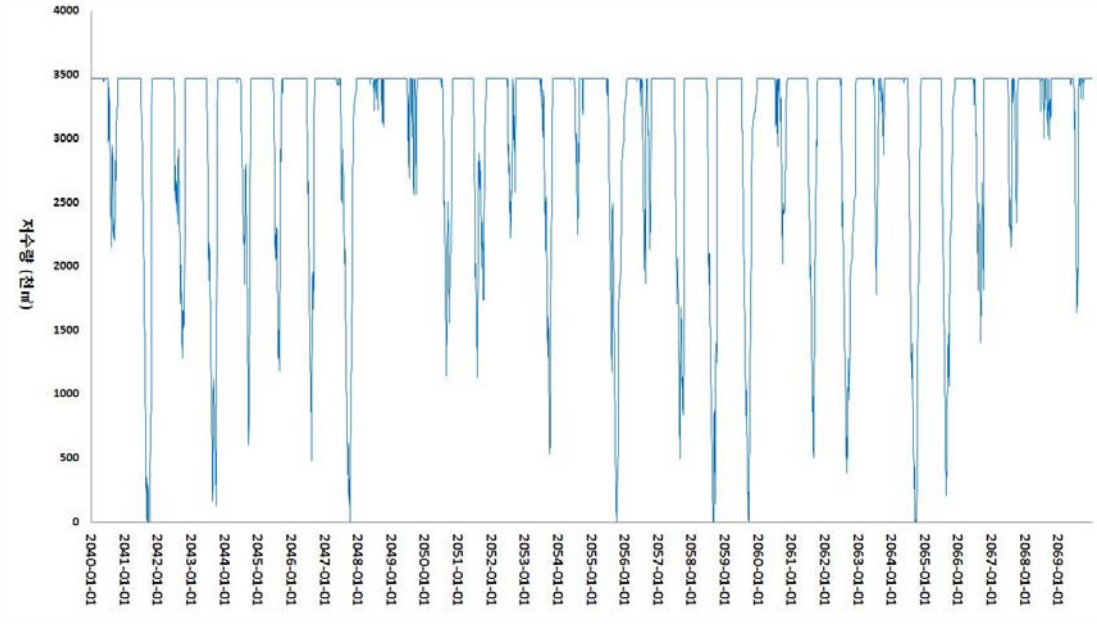
<그림 71.> 강원 원창저수지 30년 일별 저수량 변화 (2070~2099)



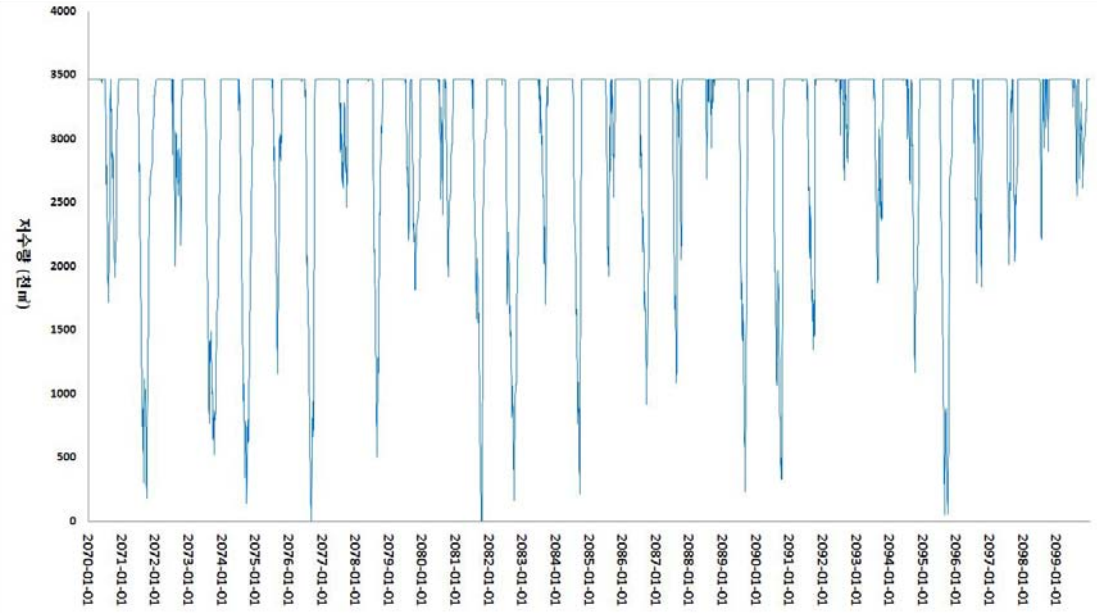
<그림 72.> 경기 마둔저수지 30년 일별 저수량 변화 (1980~2009)



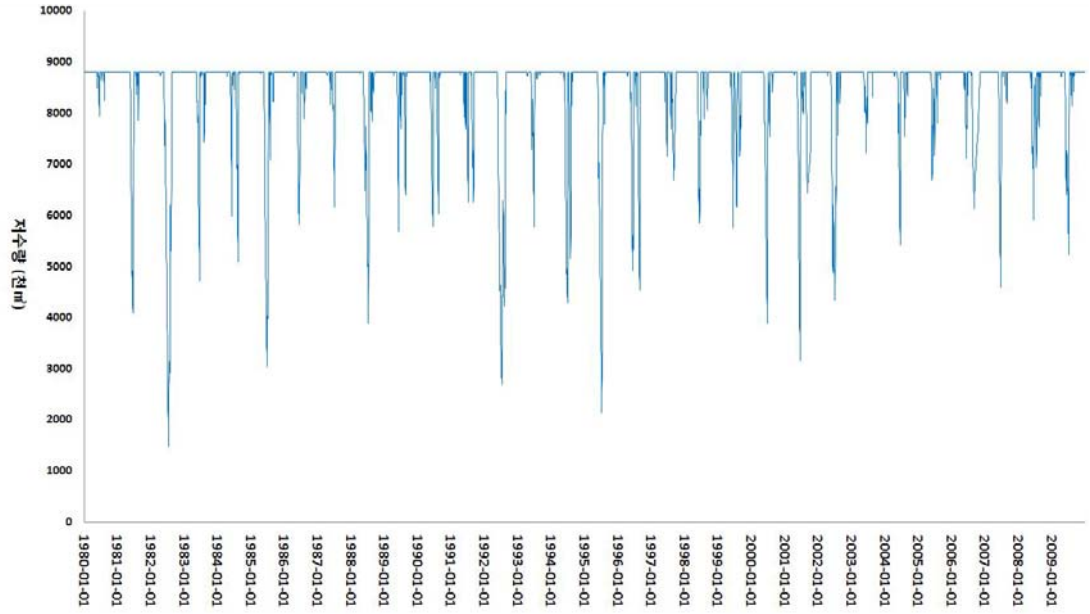
<그림 73.> 경기 마둔저수지 30년 일별 저수량 변화 (2010~2039)



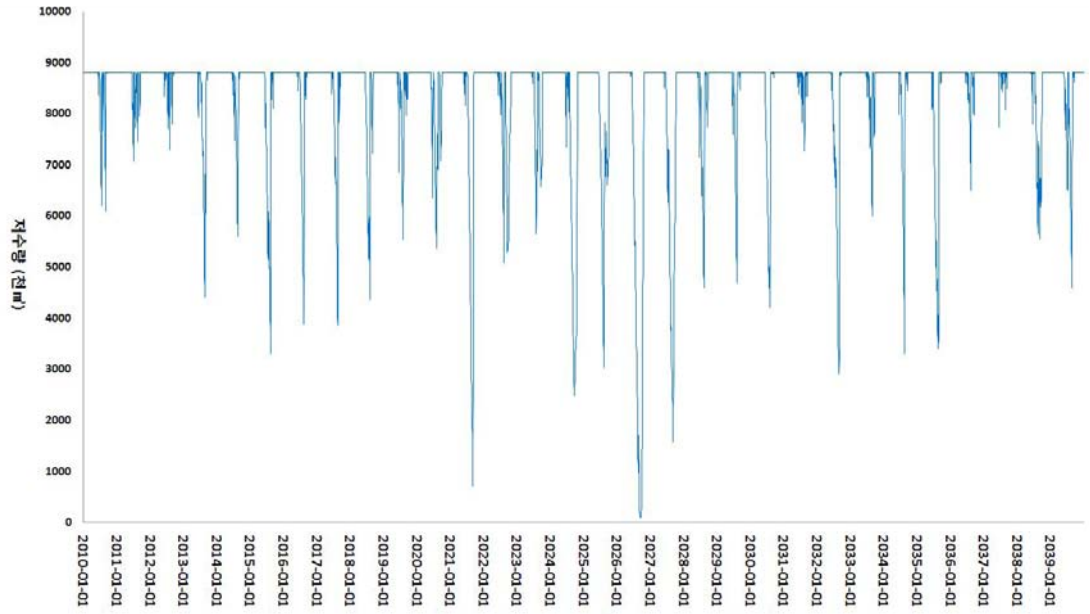
<그림 74.> 경기 마둔저수지 30년 일별 저수량 변화 (2040~2069)



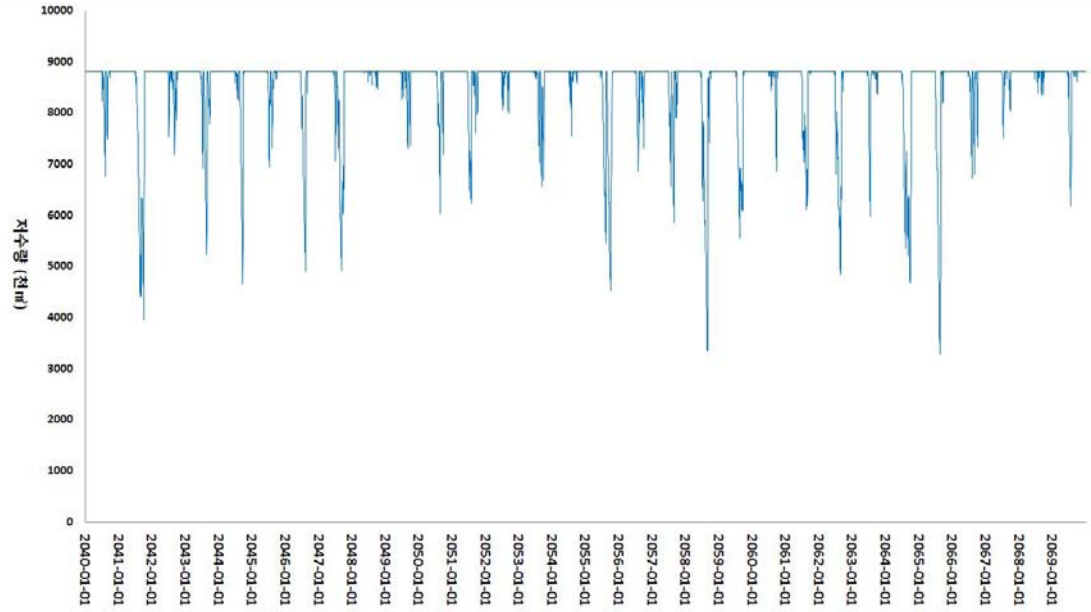
<그림 75.> 경기 마둔저수지 30년 일별 저수량 변화 (2070~2099)



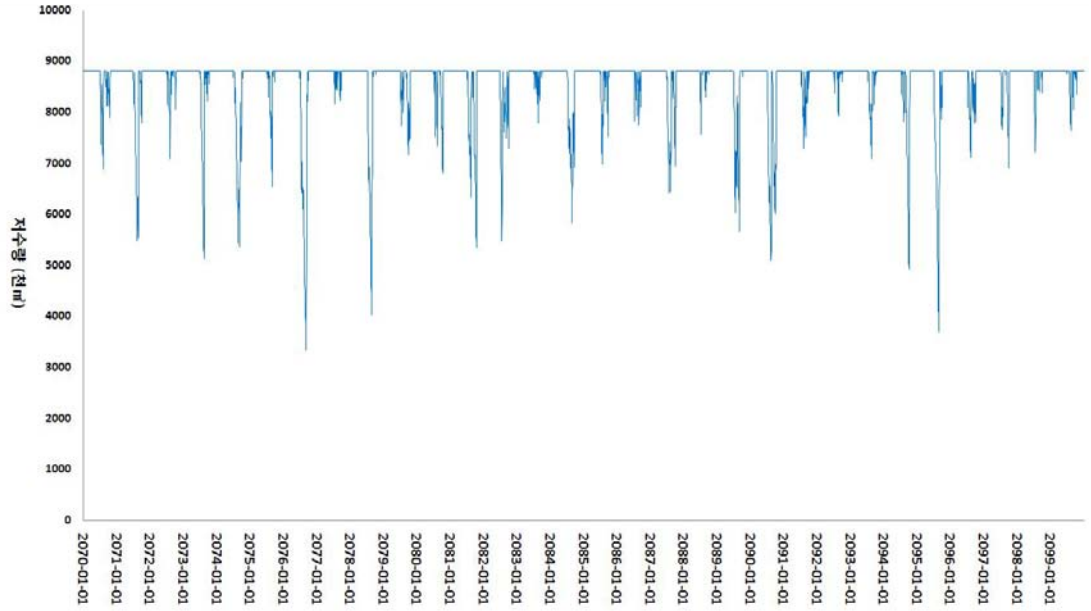
<그림 76.> 충북 원남저수지 30년 일별 저수량 변화 (1980~2009)



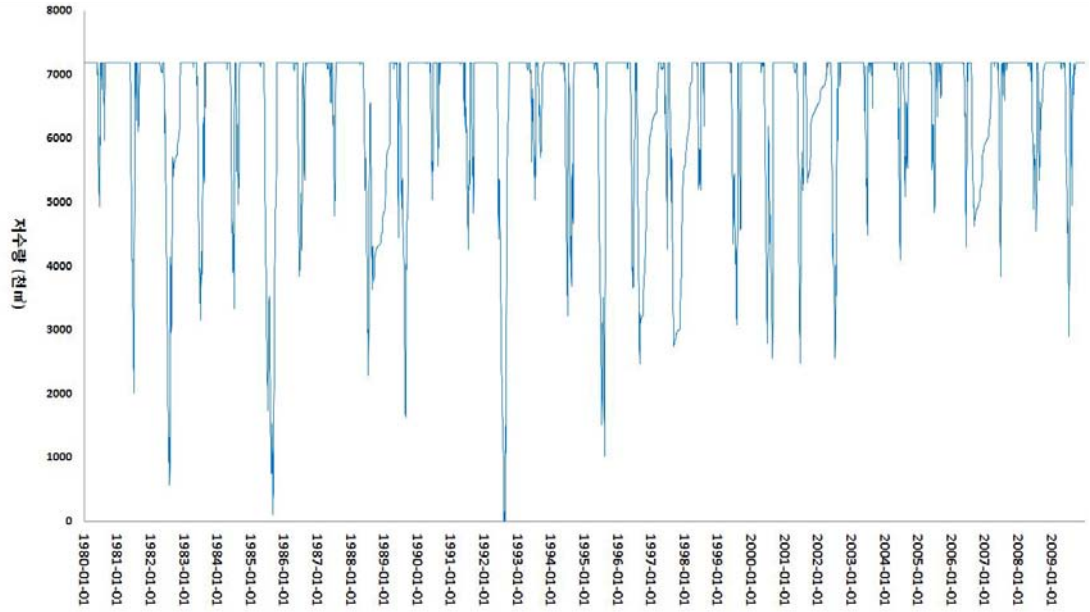
<그림 77.> 충북 원남저수지 30년 일별 저수량 변화 (2010~2039)



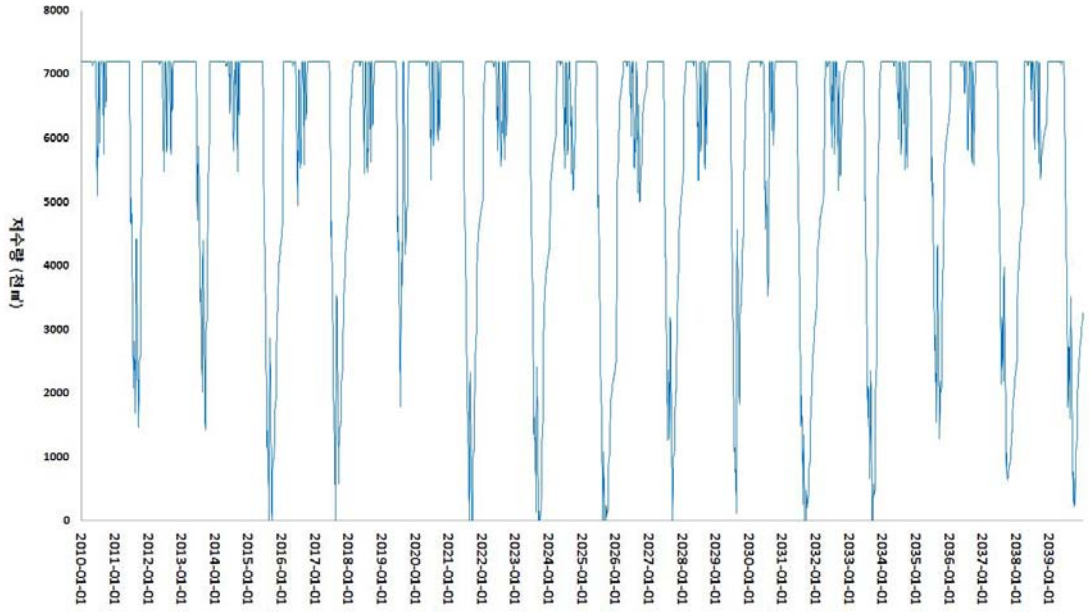
<그림 78.> 충북 원남저수지 30년 일별 저수량 변화 (2040~2069)



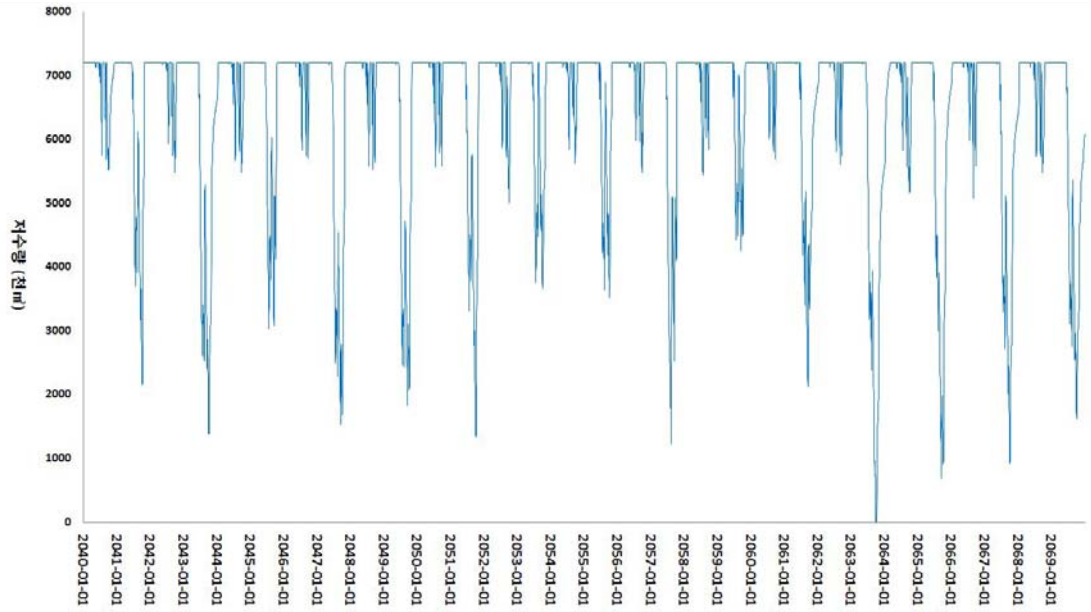
<그림 79.> 충북 원남저수지 30년 일별 저수량 변화 (2070~2099)



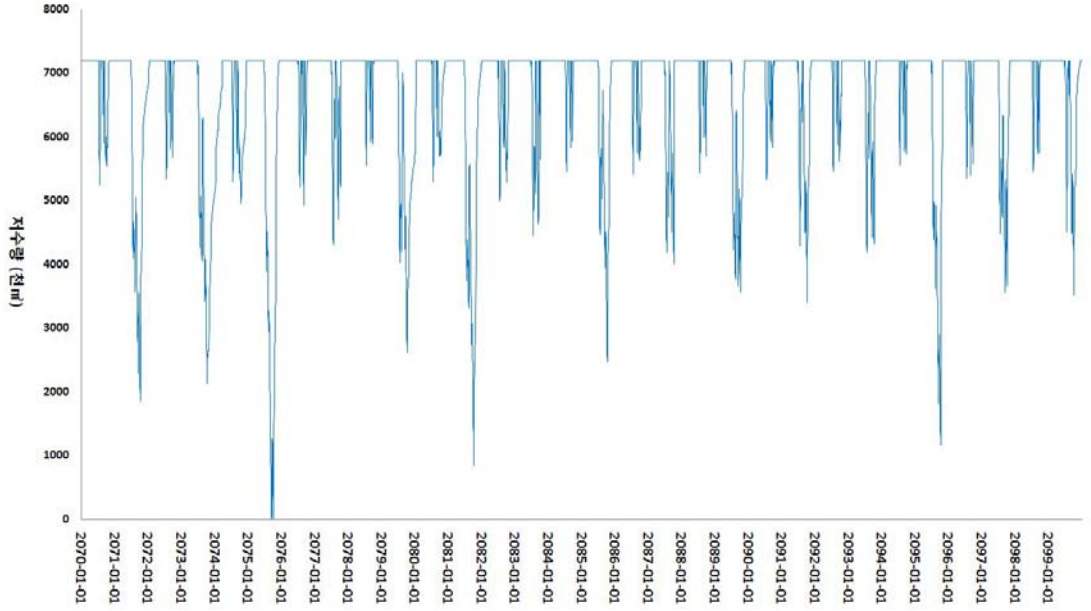
<그림 80.> 충남 고풍저수지 30년 일별 저수량 변화 (1980~2009)



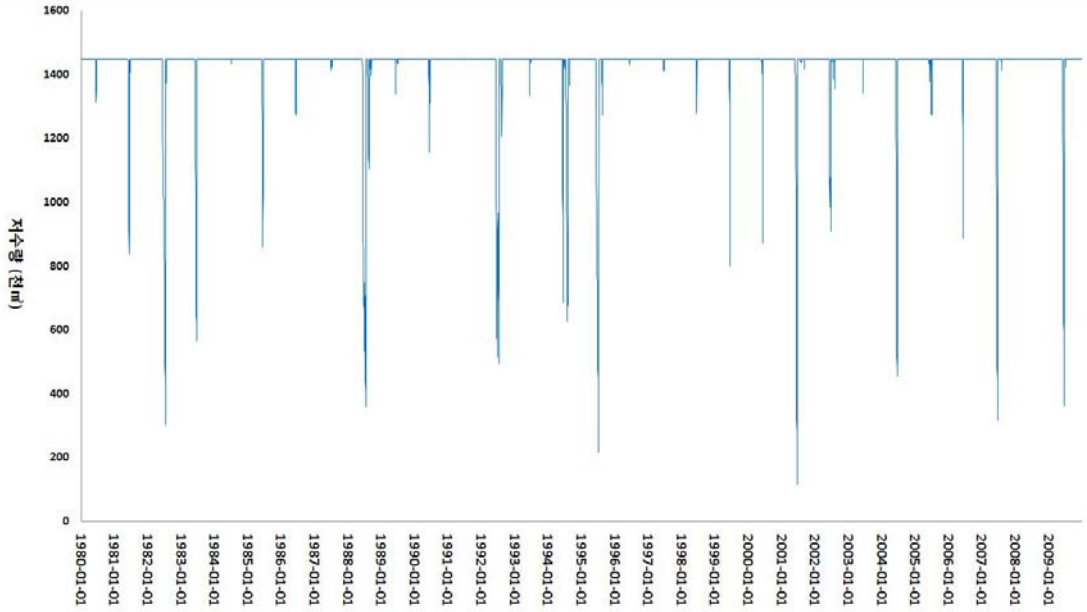
<그림 81.> 충남 고풍저수지 30년 일별 저수량 변화 (2010~2039)



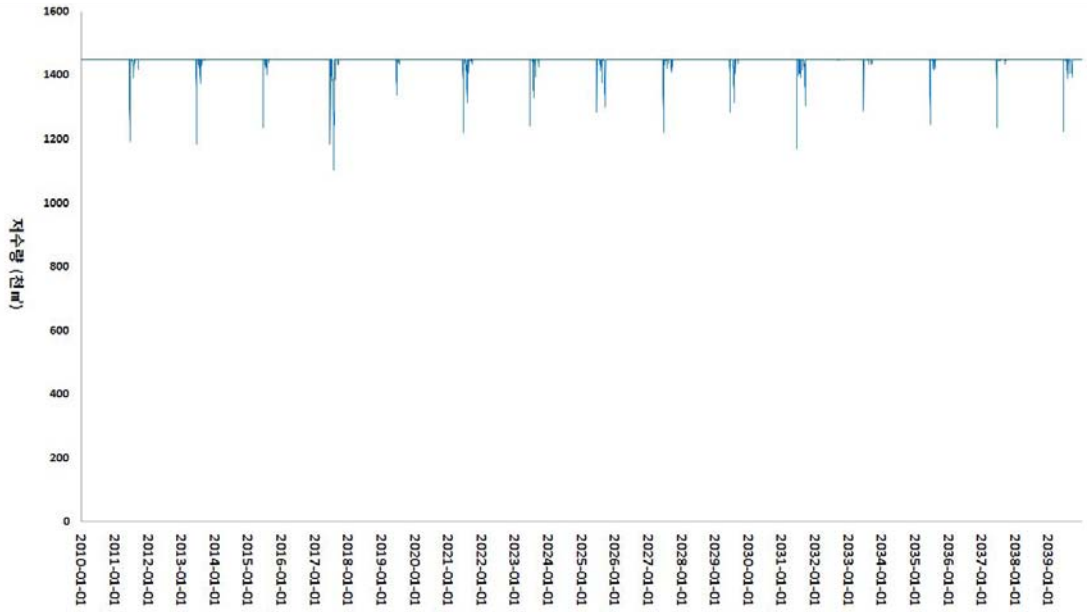
<그림 82.> 충남 고풍저수지 30년 일별 저수량 변화 (2040~2069)



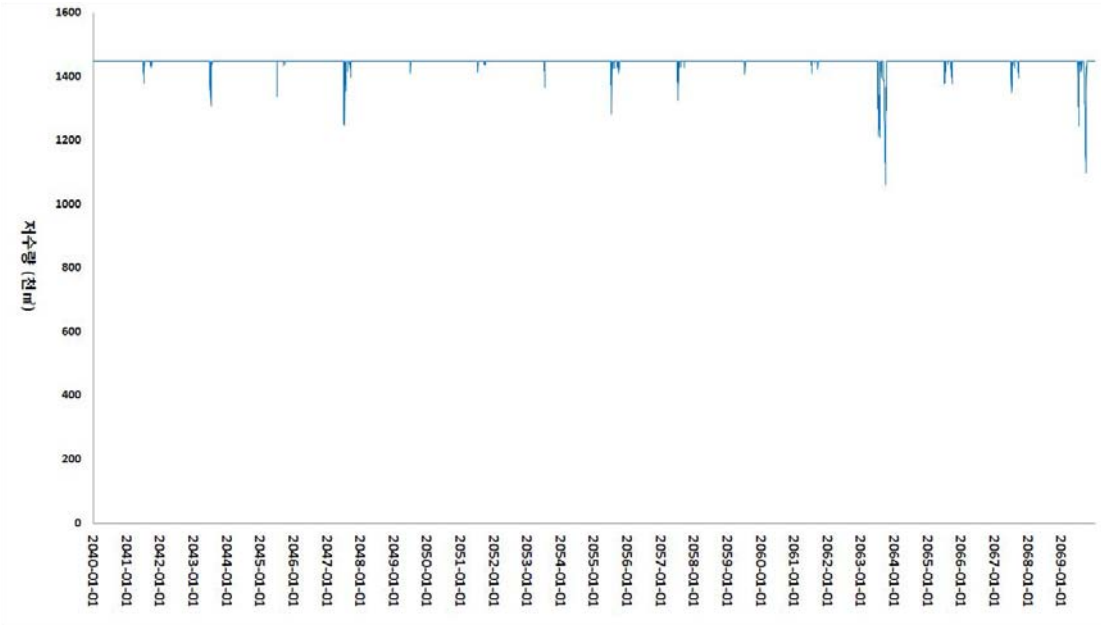
<그림 83.> 충남 고풍저수지 30년 일별 저수량 변화 (2070~2099)



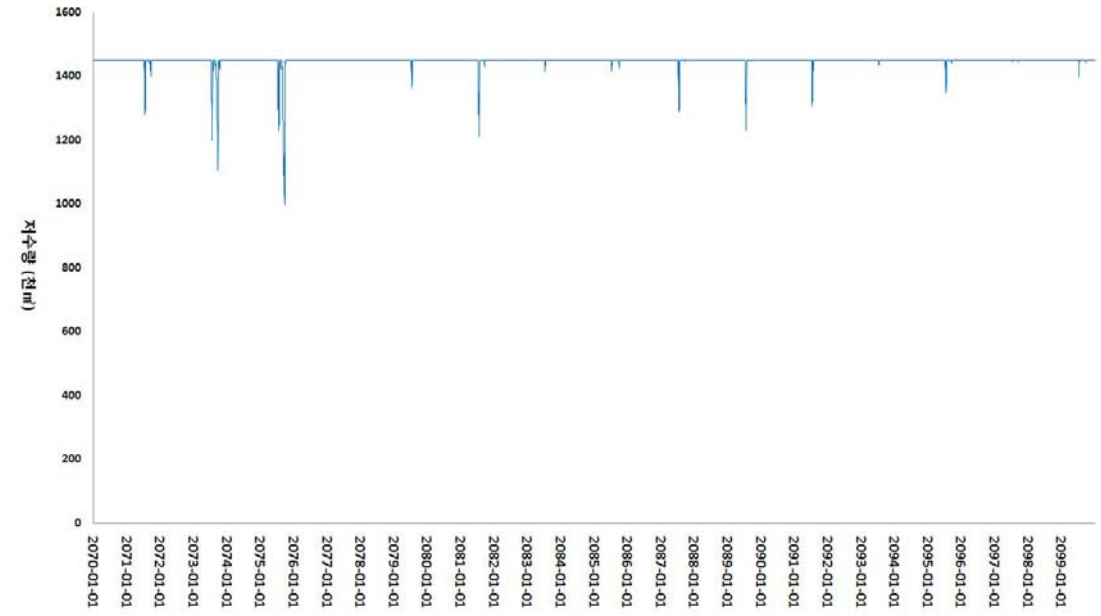
<그림 84.> 전북 백석저수지 30년 일별 저수량 변화 (1980~2009)



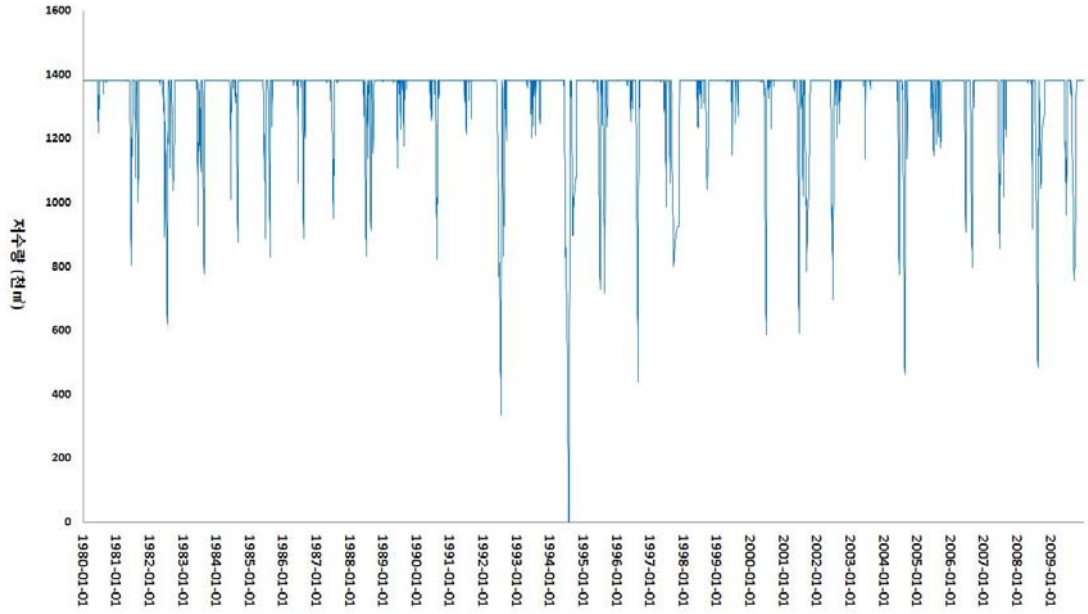
<그림 85.> 전북 백석저수지 30년 일별 저수량 변화 (2010~2039)



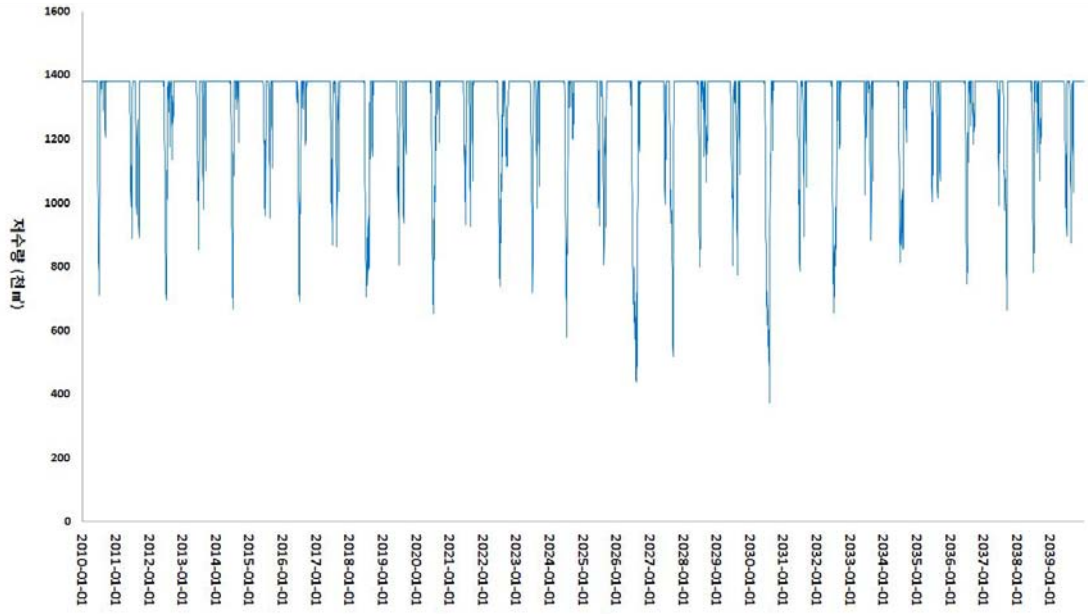
<그림 86.> 전북 백석저수지 30년 일별 저수량 변화 (2040~2069)



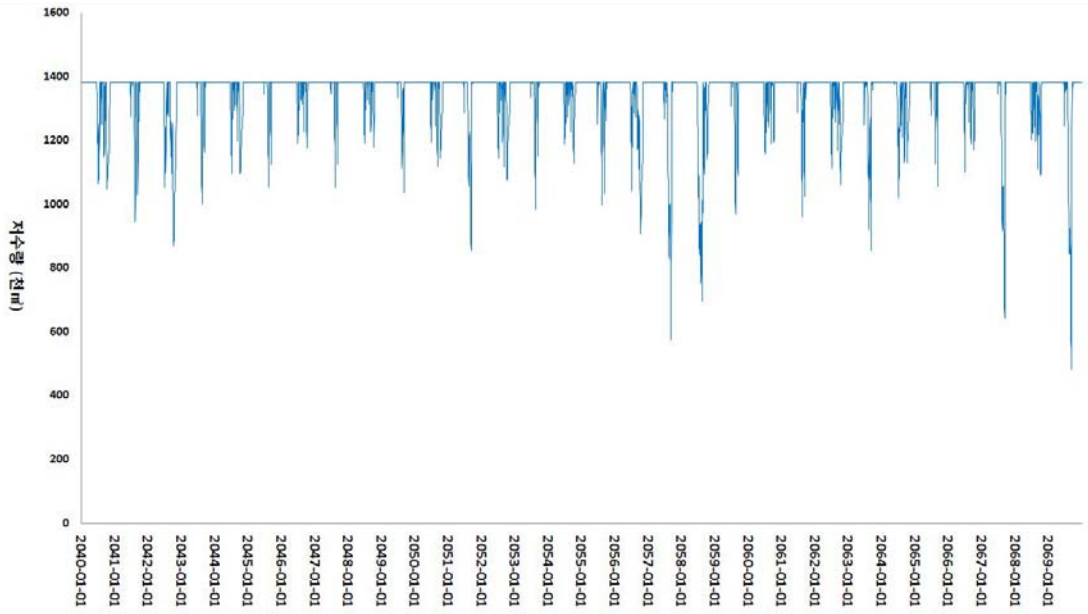
<그림 87.> 전북 백석저수지 30년 일별 저수량 변화 (2070~2099)



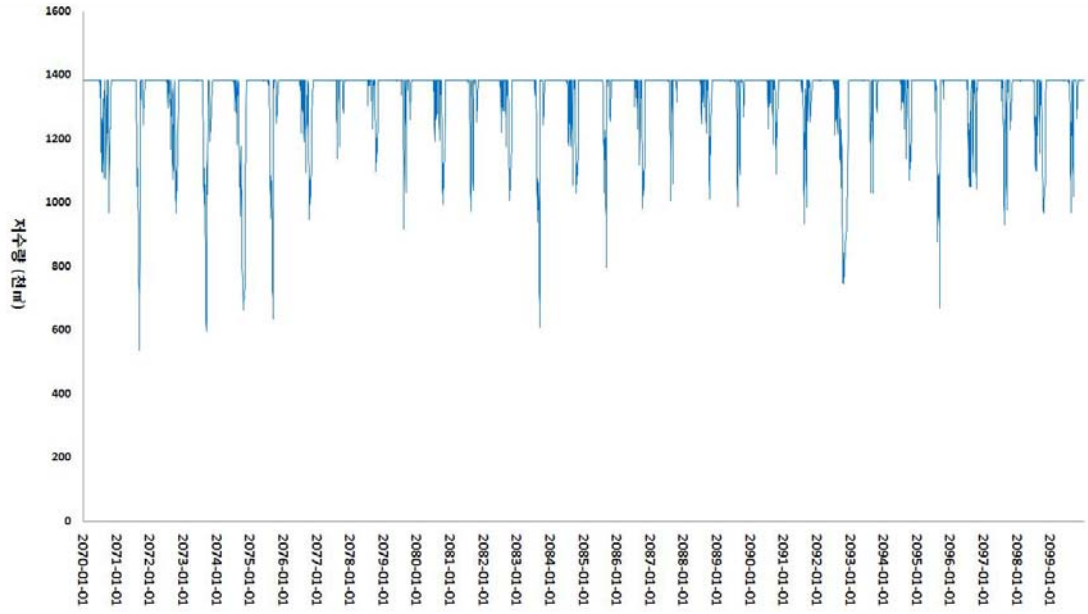
<그림 88.> 전남 대포저수지 30년 일별 저수량 변화 (1980~2009)



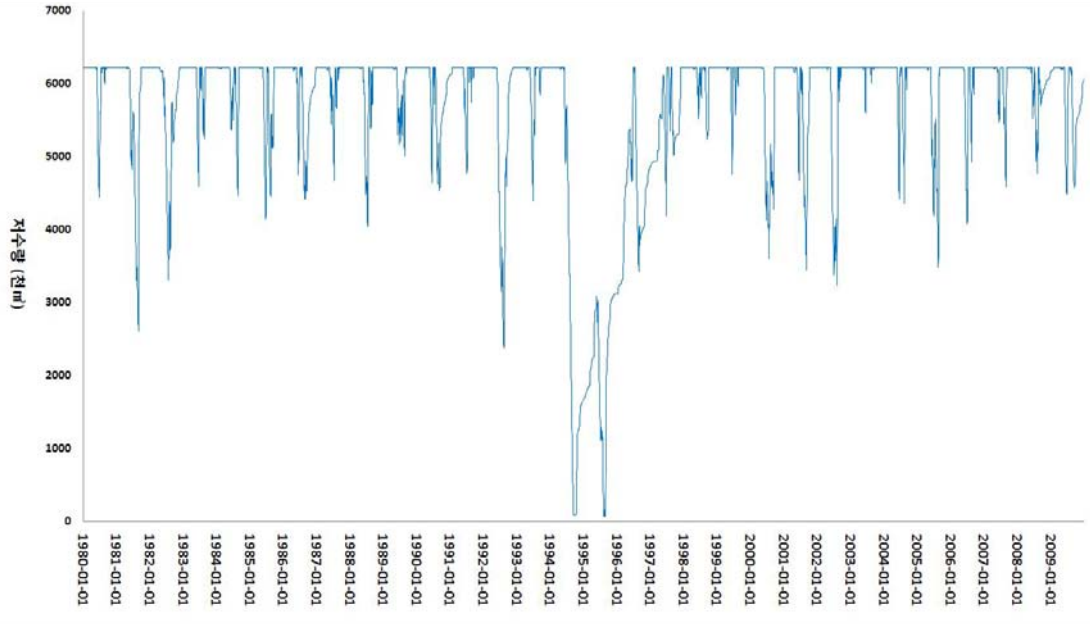
<그림 89.> 전남 대포저수지 30년 일별 저수량 변화 (2010~2039)



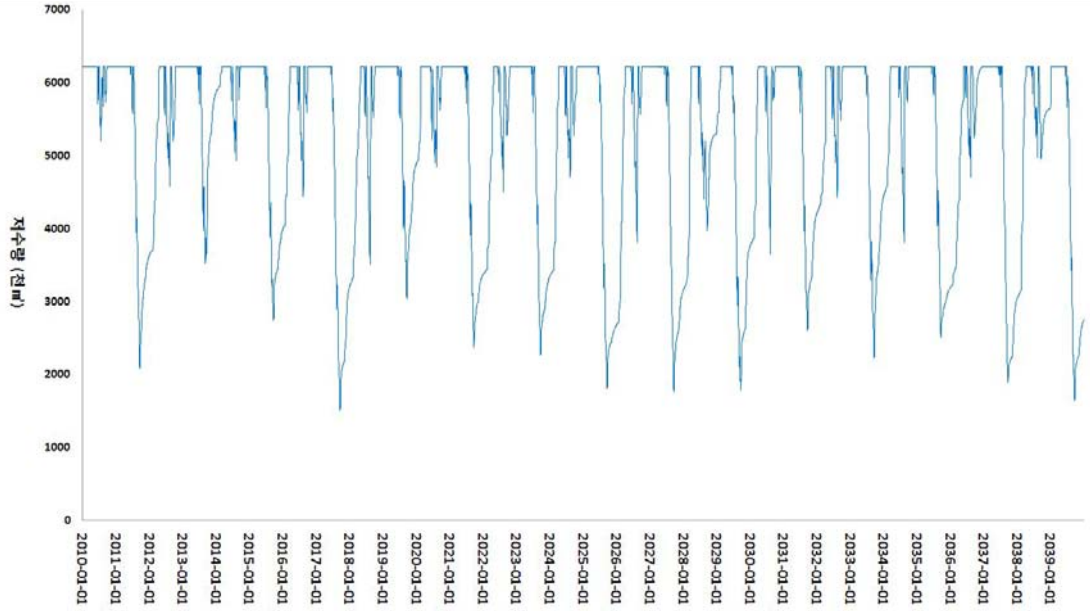
<그림 90.> 전남 대포저수지 30년 일별 저수량 변화 (2040~2069)



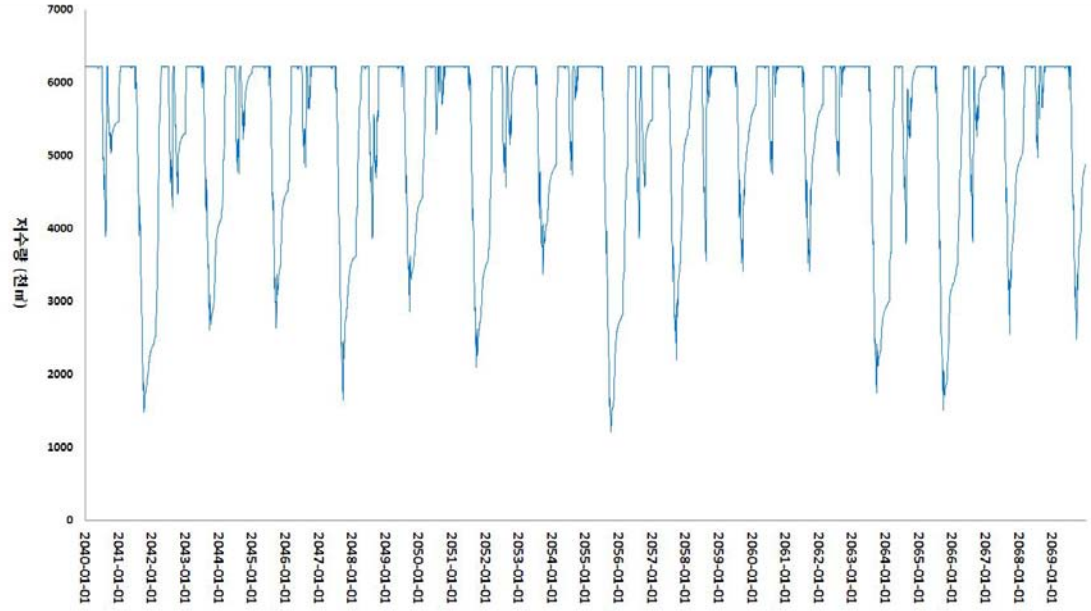
<그림 91.> 전남 대포저수지 30년 일별 저수량 변화 (2070~2069)



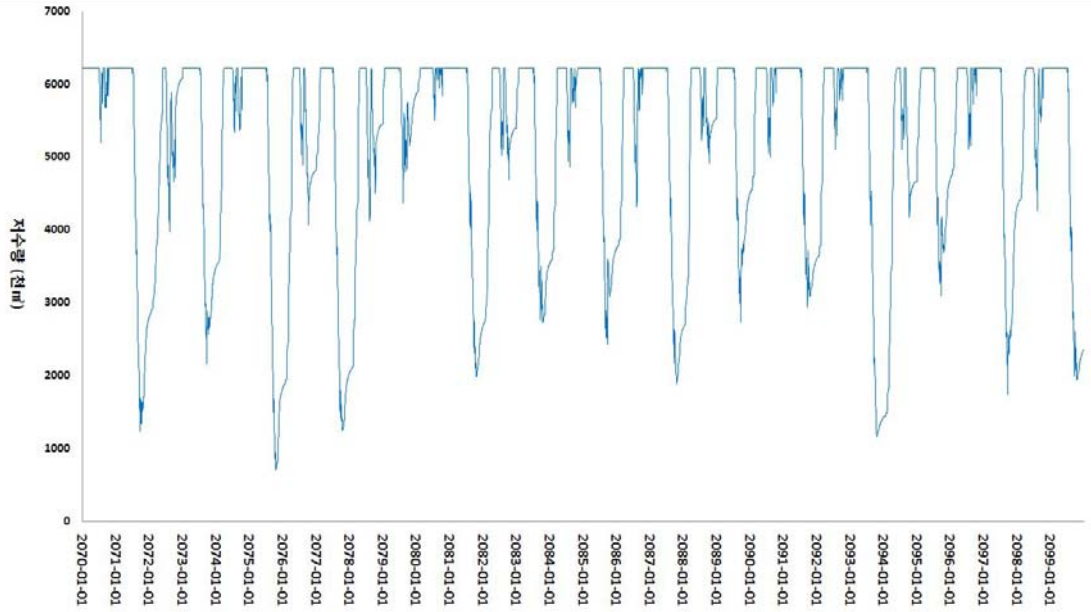
<그림 92.> 경북 마북저수지 30년 일별 저수량 변화 (1980~2009)



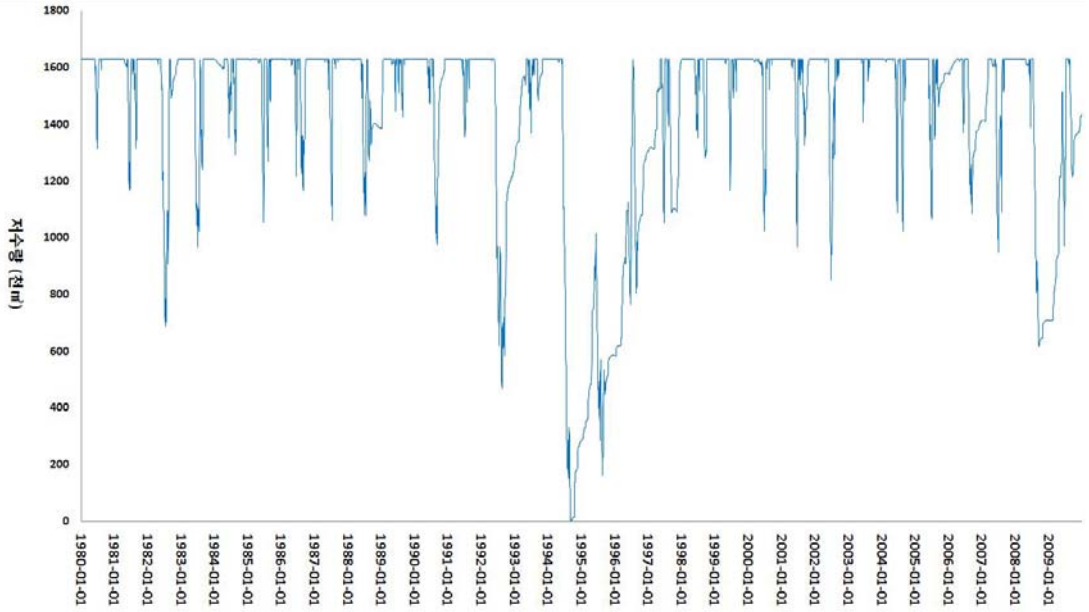
<그림 93.> 경북 마북저수지 30년 일별 저수량 변화 (2010~2039)



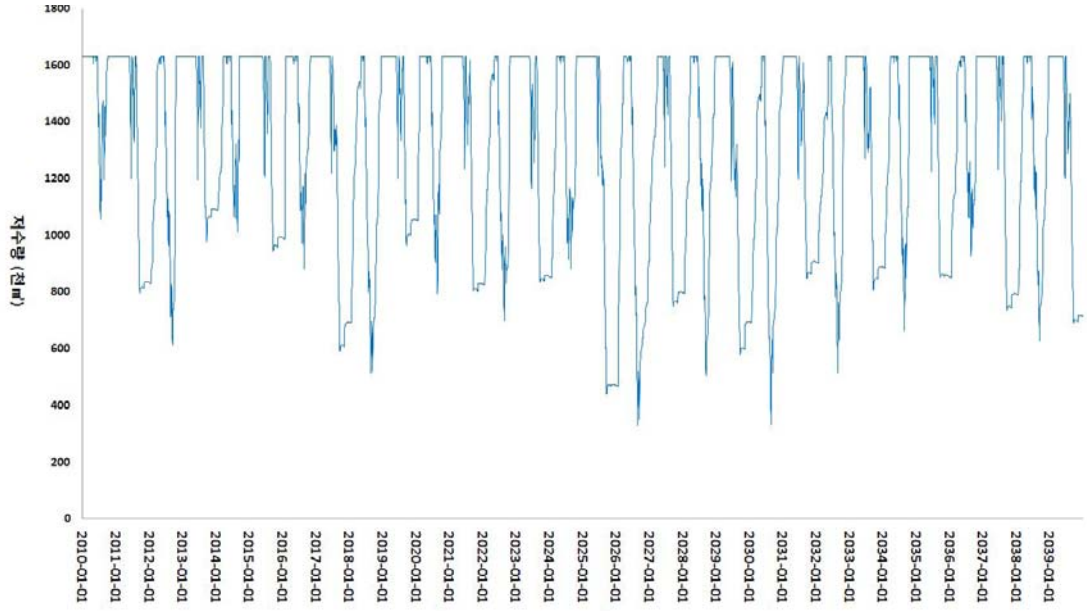
<그림 94.> 경북 마북저수지 30년 일별 저수량 변화 (2040~2069)



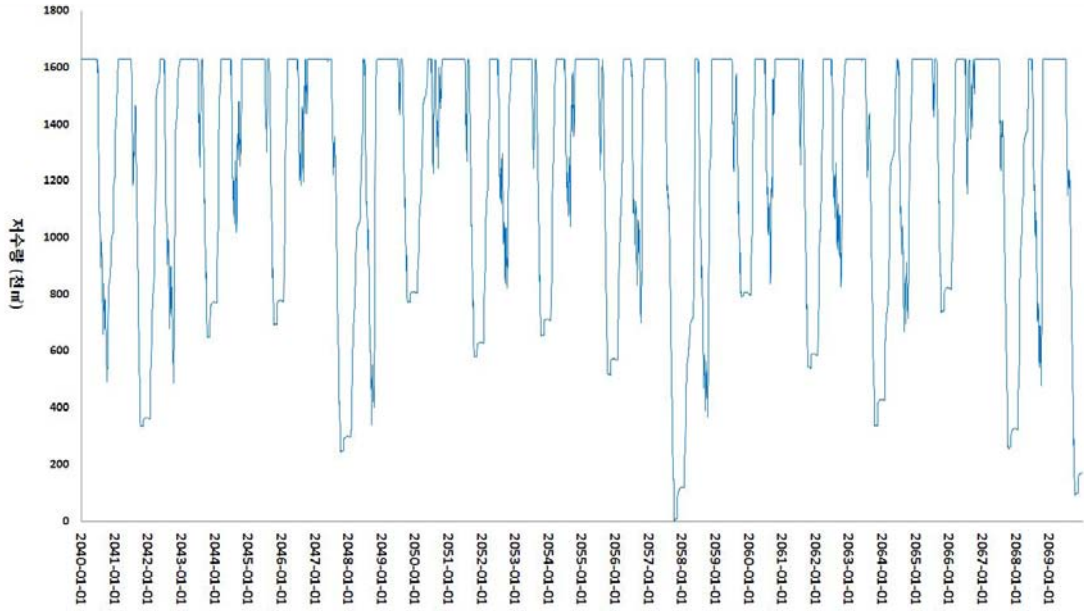
<그림 95.> 경북 마북저수지 30년 일별 저수량 변화 (2070~2099)



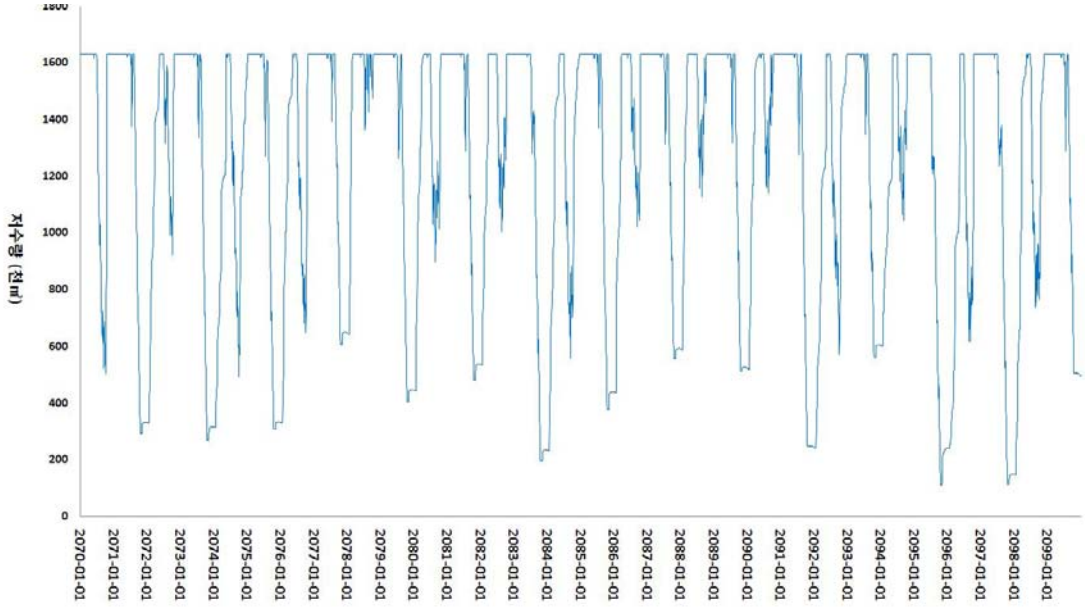
<그림 96.> 경남 남성저수지 30년 일별 저수량 변화 (1980~2009)



<그림 97.> 경남 남성저수지 30년 일별 저수량 변화 (2010~2039)



<그림 98.> 경남 남성저수지 30년 일별 저수량 변화 (2040～2069)



<그림 99.> 경남 남성저수지 30년 일별 저수량 변화 (2070～2099)

7장. 결론

수자원은 기후변화에 매우 취약하다. Turnet et al. (2007)은 지난 1세기 동안에 인간활동에 의해 증가한 이산화탄소 양의 35%는 토지이용변화로 인해 증가했다고 발표하였고, 이는 생태계뿐만 아니라 수자원 공급 안정성에도 심각한 영향을 미치는 원인으로 규정한 바 있다. 본 연구에서는 미래 기후변화에 따른 농업수자원 수요변화를 분석하고 그에 따른 농업수자원 관리 및 계획을 수립 하고자 하였다.

본 연구에서는 GCMs 중 ECHO-G(MM5), MIROC3.2를 편이보정하여 국내 기상자료와 비료 분석한 결과 각각 한반도와 지구 전체를 모의하는 모형은 시군단위 소규모 지역에 대해서는 불확실성을 내포하고 있어 지역 관측소 관측값을 대상으로 편이보정 한다면 신뢰성 있는 자료를 얻을 수 있다고 판단 하였다.

편이보정을 마친 기상자료에 대해 미래 기상자료 생성을 위해서 CCWG(기후변화 기상발생기)라는 프로그램을 개발하여 춘천관측소를 대상으로 프로그램의 신뢰성을 확인하기 위해서 춘천관측소 기상자료(1970~2003)를 이용하여 2004~2008년의 기상자료를 생성하여 실제(2004~2008)기상자료와의 상관관계를 분석한 결과 증발량 0.877, 습도 0.702, 풍속 0.655, 일조시간 0.611 의 상관관계 결과를 얻어 본 연구에서 구축한 기상자료 생성 프로그램은 신뢰성이 높은 것으로 나타나 프로그램 구축 방법 및 기상자료생성은 적합한 것으로 사료되었다.

CCWG프로그램을 이용하여 생성한 기상자료를 바탕으로 잠재증발산량과 실제증발산량을 산정하였다. 그 결과 잠재증발산량은 1985s보다 2~42% 증가하는 것으로 분석되었다. 그 중 포항지역이 2080s에 최고 42%증가하는 것을 확인 할 수 있었다. 실제증발산량은 1985s보다 5%~26%까지 증가하는 것으로 분석되었다. 그 중 포항지역이 2080s에 최고 26% 증가하는 것을 확인할 수 있었다.

각 지역의 대상저수지를 중심으로 저수지를 포함하고 있는 지역의 토지이용변화에 대해 모의 한 결과를 분석하면 다음과 같다. 향후 100년동안 전반적으로 최소 1.9~72.0%까지 논의 경지면적이 감소하는 것으로 분석되었다. 지역별 논면적 감소는 경기-마둔저수지 인근 72%, 강원-원창저수지 인근은 3%, 충북-원남저수지 인근은 2.5%, 충남-고풍저수지 인근은 6.8%, 전북-백석저수지 인근은 3.5%, 전남-대포저수지 인근은 1.9%, 경북-마북저수지 인근은 2.8%, 경남-남성저수지 인근은 7.0%감소되는 것으로 분석되었다.

CCWG프로그램을 이용하여 LARS-WG모델의 기상자료를 생성하여 전국 8개 지역별 논 필요수량을 산정하였다. 전반적으로 2020s, 2050s, 2080s 모두 기온과 증발량이 증가함에 따라 증발산량이 모두 증가하여 소비수량이 증가하는 결과를 나타내었다.

향후 100년간 필요수량이 가장 작게 증가하는 청주지역의 경우 유효우량이 1985s에 비해 가장 많이 증가하여 필요수량이 가장 적게 증가하는 것으로 판단되며, 진주지역의 경우 강우량이 비관개기에 집중되어 유효우량이 감소함에 따라 필요수량은 더욱 증가하는 것으로 판단된다.

기후변화에 따라 논벼의 재배가능시기의 변화를 분석한 결과는 다음과 같다. 재배가능기간은 이앙기 조한일과 수확기 만한일사이의 기간을 의미한다. 분석 결과 시간이 지날수

록 재배가능기간이 늘어남을 확인할 수 있다. 이는 일평균기온이 높아짐에 따라 이앙이 가능한 일자가 앞당겨지고, 또한 수확기 만한일 역시 일부 지역에서는 최대 12월 15일까지 늦춰지기 때문이다. 또한 남부지역이 중부지역보다 개배가능기간의 변화가 큰 것으로 나타났다. 전국적으로 기후변화에 따라 재배가능기간이 증가하는 것을 확인할 수 있다.

각 시기별 논벼의 생육기간의 변화를 적산온도를 통하여 살펴보았다. 논벼의 생육기간의 변화는 기후변화가 진행됨에 따라 기온의 상승으로 인하여 짧아지는 것을 알 수 있다. 이는 기온이 상승함에 따라 보다 짧은 기간에 생육을 위해 필요로 하는 적산온도를 충족시킬 수 있기 때문이다. 전체적으로 대상 내 모든 지역에서 기후변화에 따라 시기가 지날수록 생육기간이 130일대에서 120일대로 줄어드는 것을 확인할 수 있다.

품종별 생육기간의 변화를 분석한 결과는 다음과 같다. 논벼의 품종은 영양생식기간의 조만성과 관련이 깊게 나타남으로 품종에 따라 적정 이앙일이 다르게 산정된다. 기후변화에 따른 기온의 상승으로 이앙일이 타 지역보다 늦춰지는 것이 가능한 지역일수록 이앙일부터 출수기의 기간이 짧아지게 되므로 생육기간 역시 짧아지게 된다.

중부지역의 품종별 생육기간의 변화를 살펴보면, 1980년에서 2099년 동안 이앙일이 4월29일~5월16일에서 6월20일부터 최대 8월3일까지 늦춰지는 것으로 나타났다.

남부지역의 품종별 생육기간의 변화를 살펴보면, 1980년에서 2099년 동안 이앙일이 5월15일~5월22일에서 6월22일부터 최대 7월26일까지 늦춰지는 것으로 나타났다.

중부지역의 안전출수기 변화를 살펴보면 다음과 같다. 1980년에서 2099년 동안 안전출수기는 25일(전남)에서 41일(경기)까지 늦춰지고, 생육기간은 최소 8일(경남, 전북)에서 최대 15일(강원) 감소하였다. 재배가능기간은 최소35일(충남) 증가부터 최대 117일(전북)의 증가일수를 확인할 수 있었다.

본 과제의 마지막 3차 년도에서는 기후변화에 따른 변화하는 농업의 형태에 따른 농업용수 수요량 변화를 분석하고, 이에 따른 기후변화에 대비하는 농업용저수지 운영방안을 제시할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 기후변화를 고려하여 농업용수가 부족할 경우의 물관리 방안, 홍수에 대비하는 시설물 관리 방안, 기후변화 시나리오의 각각의 특성에 따른 저수지 운영방안을 제시 할 수 있을 것으로 판단된다. 마지막으로 기후변화에 따른 작물생육의 변화에 따른 지역별 용수 공급방안을 제시하고, 용수의 부족에 따른 수자원의 효율적인 이용 및 관리방안을 제시함으로써 기후변화에 따른 농업용수의 영향평가연구에 대한 과제를 마무리 할 수 있을 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 기상청, 2009, 남해안지역의 기후변화에 대한 취약성 평가.
2. 김우선, 윤공현, 허준, 자야쿠마, 2008. CLUE-S 모델과 시계열 Landsat 자료를 이용한 토지피복 변화 예측, 한국지형공간정보학회, Vol. 16 (1), pp. 33-41.
3. 김의홍, 1994, 공간적 토지피복 예측을 위한 모형에 관한 연구, 한국GIS학회지, Vol. 2 (1), pp. 47-51.
4. 김현영, 박승우, 1986. 유역특성에 따른 탱크모형 매개변수의 변화, 한국농공학회논문집, Vol. 28 (2), pp. 42-52.
5. 나영은, 이정택, 김명현, 방혜선, 한민수, 노기안, 김민경, 2007a. 농업부문의 기후변화 취약성 평가에 관한 국외 동향, 한국국제농업개발학회지, Vol. 19 (2), pp. 80-92.
6. 나영은, 이정택, 김명현, 방혜선, 한민수, 노기안, 김민경, 2007b. 농업부문의 기후변화 영향 및 적응방안에 관한 국외 동향, 한국국제농업개발학회지, Vol. 19 (2), pp. 93-100.
7. 농림부, 1997. 영농방식 변화에 따른 필요수량 변화 연구.
8. 농림부, 1998. 농업생산기반정비사업계획설계기준 관개편 (기준 및 편람).
9. 농림부, 2003. 한반도 기후변동 시나리오와 농림업분야 대응방향.
10. 농촌진흥청 농업과학기술원 농업환경부, 2007. 기후변화에 따른 농업생태계 영향, 취약성 평가 및 적응 방안 구축.
11. 박순직, 이종훈, 2008. 식용작물학 Ⅰ, 한국방송통신대학교 출판부.
12. 박찬, 2009. 저탄소사회 구현을 위한 이산화탄소 저감 잠재량 분석-토지이용변화를 중심으로-, 석사학위 논문, 서울대학교.
13. 서영호, 이안수, 조병욱, 강안석, 정병찬, 정영상, 2010. 기후변화에 대한 강원지역 벼 재배의 적응, 한국농림기상학회지, Vol. 12 (2), pp. 143-151
14. 심교문, 김건엽, 노기안, 정현철, 이덕배, 2008. 기후변화에 따른 농업기후지수의 평가, 한국농림기상학회지, Vol. 10 (4), pp. 113-120.
15. 유승환, 최진용, 장민원. 2006. 논벼에 대한 Penman-Monteith와 FAO Modified Penman 공식의 작물 계수 산정, 한국농공학회논문집, Vol. 48 (1), pp. 13-23.
16. 유승환, 최진용, 장민원. 2007. 빈도 분석법을 이용한 논벼의 한발 기준 10년 빈도작물증발산량 산정 , 한국농공학회논문집, Vol. 49 (3), pp. 11-20.
17. 유승환, 2009. 기후변화에 따른 미래 농업가뭄 특성 분석, 박사학위논문, 서울대학교.
18. 윤성호, 임정남, 이정택, 심교문, 황규홍, 2001. 기후변화와 농업생산의 전망과 대책, 한국농림기상학회지, Vol. 3 (4), pp. 220-237.
19. 윤성탁, 2005. 지구온난화가 농업생산에 미치는 영향과 대응책, 한국국제농업개발학회지, Vol. 17 (3), pp. 199-207.
20. 이승호, 허인혜, 이경미, 김선영, 이윤선, 권원태, 2008. 기후변화가 농업생태에 미치는 영향 -나주지역을 사례로-, 대한지리학회지, Vol. 43 (1), pp. 20-35.
21. 이용준, 김성준, 2007. 미래 토지이용변화 예측을 위한 개선된 CA-Markov 기법의 제안

및 적용, 대한토목학회, Vol. 27 (6), pp. 809-817.
22. 임창호, 최대식, 2002. 셀룰라오토마타 모형을 이용한 미시적 토지이용변화 예측, 국토계획, Vol. 37 (4), pp. 229-239.
23. 정상옥, 2009. 기후변화가 낙동강 권역의 논 관개용수 수요량에 미치는 영향, 한국농공학회논문집, Vol. 51 (2), pp. 35-41.
24. 정유란, 조경숙, 이변우, 2006. 지구온난화에 따른 우리나라 벼농사지대의 생산성 재평가, 한국농림기상학회지, Vol. 8 (4), pp. 229-241.
25. 정하우, 김선주. 김진수, 노재경, 박기욱, 손재권, 윤광식, 이근후, 이남호, 정상옥, 최중대, 최진용, 2009. 관개배수공학, 동명사.
26. 주용진, 박수홍, 2003. 논문 : 시계열 위성영상을 이용한 토지이용 변화예측 확률모형의 구현, 지리학연구, Vol. 37 (4), pp. 373-385.
27. 한국환경정책평가연구원, 2004. 기후변화영향평가모형 개발, RE-10.
28. 홍은미, 최진용, 이상현, 유승환, 강문성, 2009. LARS-WG를 이용한 기후변화에 따른 논 벼 증발산량 산정, 한국농공학회논문집, Vol. 51 (3), pp. 25-35.
29. Allen, R. G., L. S. Periera, D. Raes, and M. Smith., 1998. Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Requirements, Irrigation and Drainage Paper No. 56, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.
30. Brown, D. G., Pijanowski, B. C., and Duh, J. D., 2000. Modeling the relationships between land use land cover on private lands in the Upper Midwest, USA. J Environmental Management, Vol. 59 (4), pp. 247-263.
31. 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.
32. Deal, B. and Schunk, D., 2004. Spatial dynamic modeling and Urban Land Use Transformation: a simulation approach to assessing the costs of urban sprawl, Ecological Economics, Vol. 51 (1-2), pp. 79-95.
33. 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.
34. IPCC(2000) Land Use, Land-Use Change and Forestry, A Special Report of the IPCC. Cambridge University Press, 377.
35. Lambin, E. F., Rounsevell, M. D. A. and Geist, H. J., 2000. Are agricultural land-use models able to predict changes in land-use intensity? Agriculture, Ecosystems and Environment, Vol. 82, pp. 321-331.
36. 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.

37. 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.
38. Rounsevell, M. D. A., Ewert, F., Reginster, I., Leemans, R. and Carter, T. R., 2005. Future scenarios of European agricultural land use. II. Projecting changes in cropland and grassland, Agriculture Ecosystem and Environment, Vol. 107 (1-2), pp. 117-135.
39. Silva, C. S., E. K. Weatherhead, J. W. Knox and J. A. Rodrguez-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.
40. Turner II, B. L., Lambin, E. F. and Reenberg, A., 2007. Land change science special feature: the emergence of land change science for global environmental change and sustainbility, Proceedings of th National Academy of Sciences, Vol. 104 (52), pp. 20666-20671.
41. Veldkamp A, and Fresco L. O., 1996. CLUE: a conceptual model to study the Conversion of Land Use and its Effects, Ecological Modelling, Vol. 85 (2-3), pp. 253-270.
42. Veldkamp A, Verburg P. H., 2004. Modelling land use change and environmental impact, Journal of Environmental Management, Vol. 72 (1-2), pp. 1-3.
43. Verburg, P. H., De Konong, G. H. J., Kok, K., Veldkamp, A. and Bouma, J., 1999. A spatial explicit allocation procedure for modelling the pattern of land use change based upon actual and use, Ecological Modelling, vol. 116 (1), pp. 45-61.
44. Verburg, P. H., Soepboer, W., Veldkamp, A., Limpiada, R., Espaldon, V. and Mastura, S. S. A., 2002. Modeling the spatial dynamics of regional land use: The CLUE-S model, Environmental Management, Vol. 30 (3), pp. 391-405.
45. Yoo, S. H., Jin-Yong Choi, Min-Won Jang, 2008. Estimation of design water requirement using FAO Penman - Monteith and optimal probability distribution function in South Korea, AGRICULTURAL WATER MANAGEMENT Vol. 95 pp. 845-853.

< 부 록 >

1. GCM 기상자료를 이용한 일단위 기상자료생성 프로그램

프로그램 사용 설명서

Ver 1.01

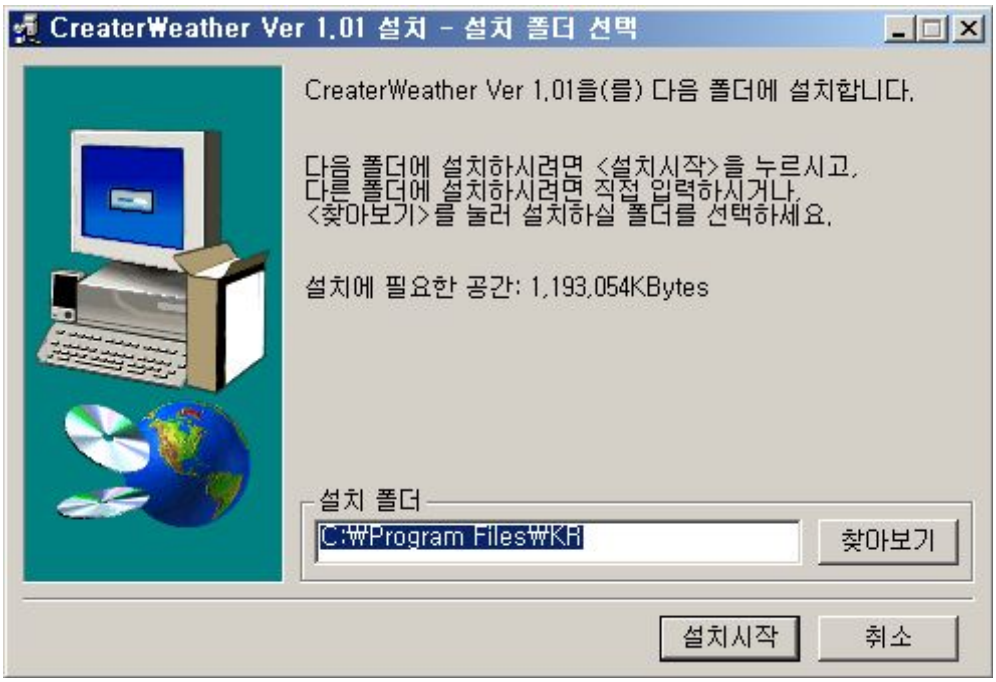
2010년 6월 30일

한국농어촌공사 & 에듀소프트

1. 설치 (Setup)

Setup.exe 실행

다음 클릭



설치 시작 클릭

1.1.1. 설치 폴더 변경을 원할 경우 찾아보기에서 원하는 폴더를 지정한다.

설치 진행

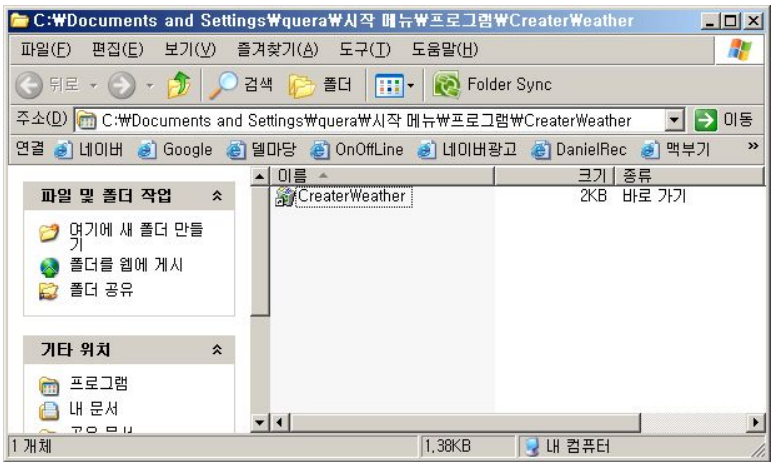
CreaterWeather Ver 1.01 설치
CreaterWeather Ver 1.01을(를) 설치하는 중입니다.
설치를 중단하시려면 <설치중단>을 누르세요.
설치 폴더:
C:₩Program Files₩KR
설치 중인 항목:
mysql-5.1.45-win32₩data₩mysql-bin.000042
설치 진행률:
32%
설치중단

설치 완료

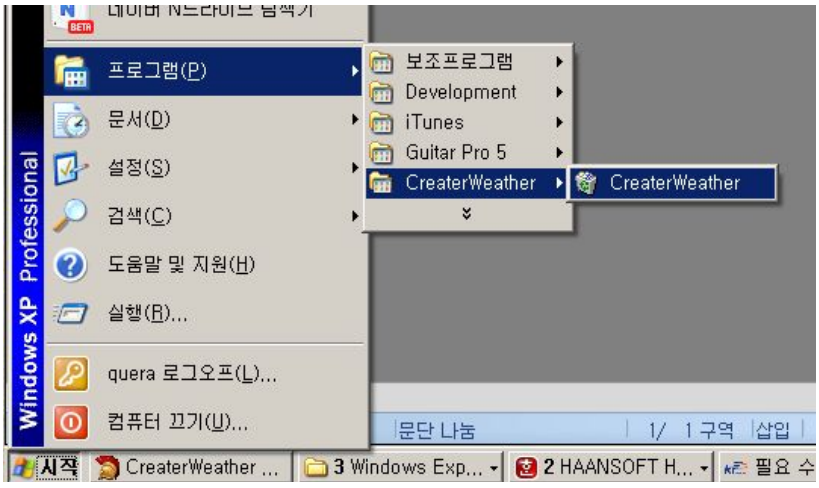
CreaterWeather Ver 1.01 설치
CreaterWeather Ver 1.01의 설치를 완료했습니다.
확인

2. 프로그램 제거(삭제)

제거 (방법1)



제거 (방법2)



제거 (방법3)

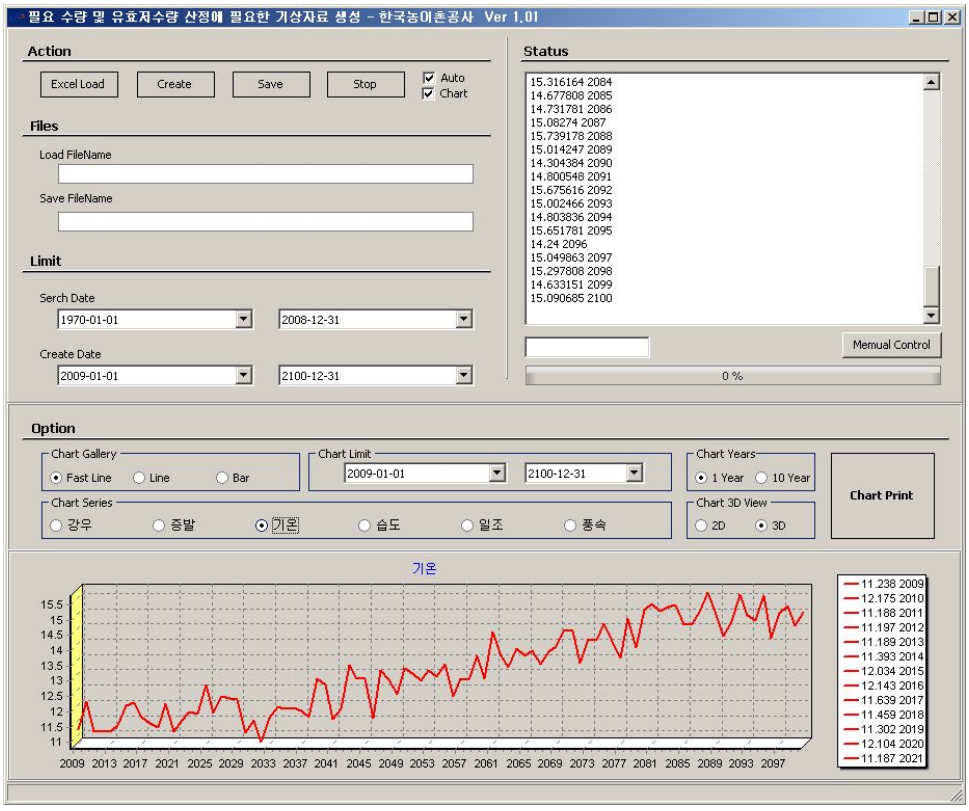
3. 실행

바탕화면 단축아이콘 더블클릭

4. 화면구성

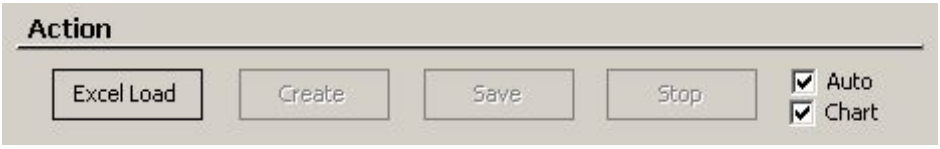
인트로화면

초기화면

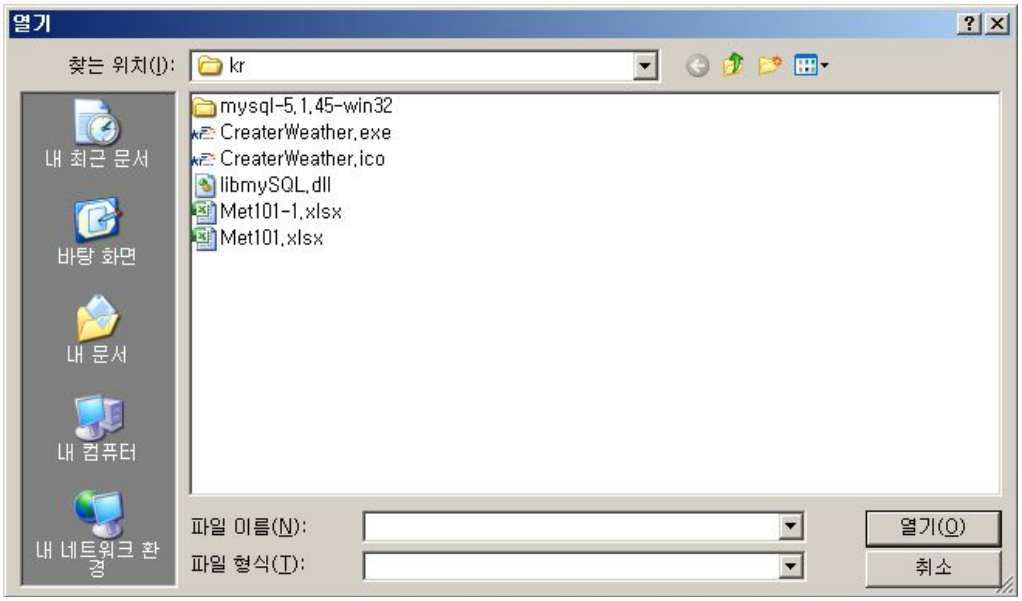


5. Action

기상자료 생성을 위하여 원하는 Excel 파일을 불러 온다.



Excel Load 버튼을 클릭하여 원하는 Excel 파일을 로드 한다.



처음 파일 로드시 엑셀데이타의 무결성을 체크 한다. (실제 엑셀데이타 레코드수와 호출 함수의 데이터 레코드수를 비교하여 무결성을 검사 한다.)

Auto 체크 버튼

5.1.1. 체크 선택시 Excel Load -> Cerate -> Save -> Stop을 순서되로 자동으로 생성한다.

5.1.2. 체크 해제시 사용자가 원하는 항목을 선택하여 생성한다.

Status 항목의 Memual Control 버튼을 이용해 사용자 모드로 설정할 수 있다. (자세한 내용은 Status 항목을 참조)

Create

5.1.3. Limit 항목의 Serch Date 날짜 사이를 참조하여 기상 자료를 생성한다.

5.1.4. Create Date 사이의 증발, 습도, 일조, 풍속을 생성한다.

Save

5.1.5. Files 항목의 Save FileName명을 파일을 생성한다.

5.1.6. Files 항목의 Save FileName명을 수정하면 수정된 파일명으로 저장할 수 있다.

Stop

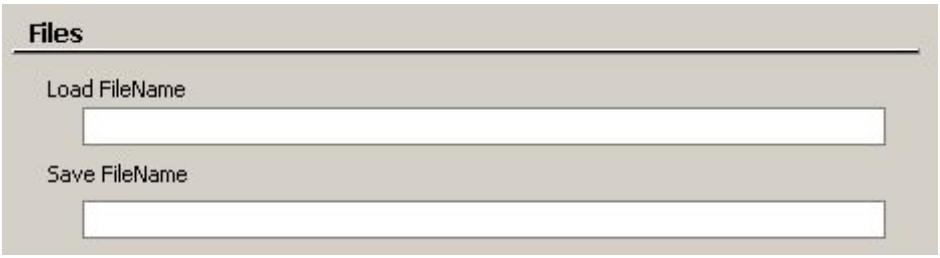
5.1.7. Action 항목에서 해당 내용을 수행중 Stop버튼으로 중지 할 수 있다.

Chart 체크 버튼

5.1.8. Chart 항목을 활성화 비활성화 시킨다.

5.1.9.

6. Files



6.1.1. Load FileName

6.1.1.1. Action 항목의 Excel Load를 통해 불러온 엑셀파일명을 표시한다.

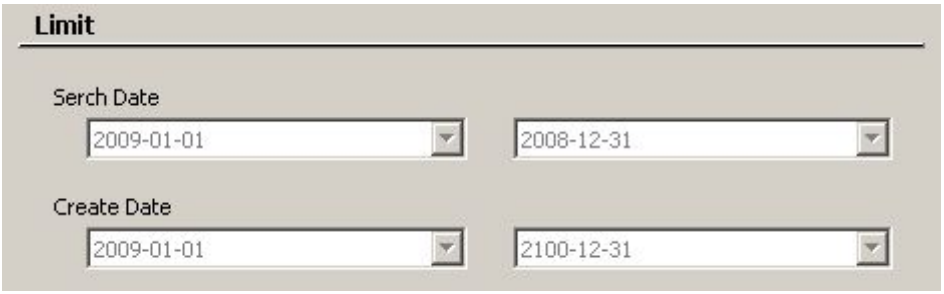
6.1.2. Save FileName

6.1.2.1. Action 항목의 Save를 수행시 저장할 파일명을 표시한다.

6.1.2.2. 디폴트 옵션으로 (원본파일명)-1.xlsx 으로 설정되어 있음

6.1.2.3. Action 항목의 Save 수행전에 파일명을 수정할 수 있음

7. Limit



7.1.1. Serch Date

7.1.1.1. 과거 자료중 참고하고 싶은 범위를 설정한다.

7.1.1.2. Excel Load에서 로드된 날짜 범위가 자동 설정된다.

7.1.1.3. 유저가 임의로 변경할 수 있다.

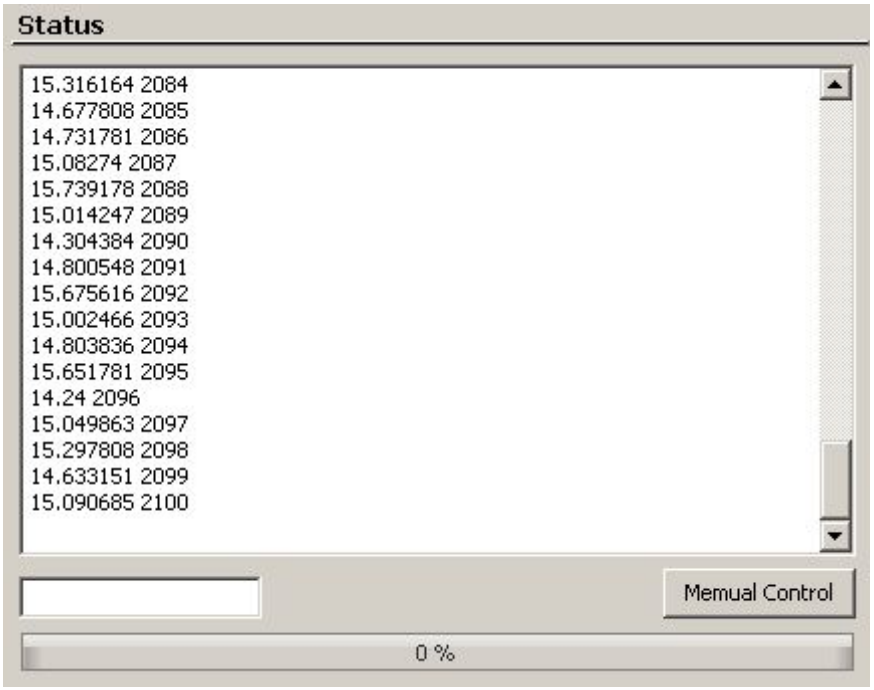
7.1.2. Create Date

7.1.2.1. 생성을 원하는 날짜 범위를 설정한다.

7.1.2.2. Excle Load에서 로드된 날짜 범위가 자동 설정된다.

7.1.2.3. 유저가 임의로 변경할 수 있다.

8. Status



상태표시창에 Action 항목의 상태를 표시한다.

Memual Control 버튼

8.1.1. Memual Control 버튼 클릭시 Action 항목의 비활성화(disable)된 버튼을 사용자가 임으로 조정 할 수 있다.

8.1.2. 현재 레코드 수와 총 레코드를 비교 할 수 있다.

8.1.3. 현재 진행중인 상태를 프로그래바를 통해 확인 할 수 있다.

9. Option

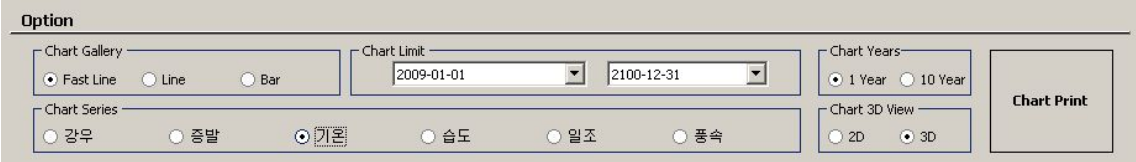
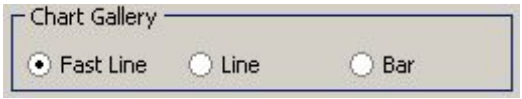
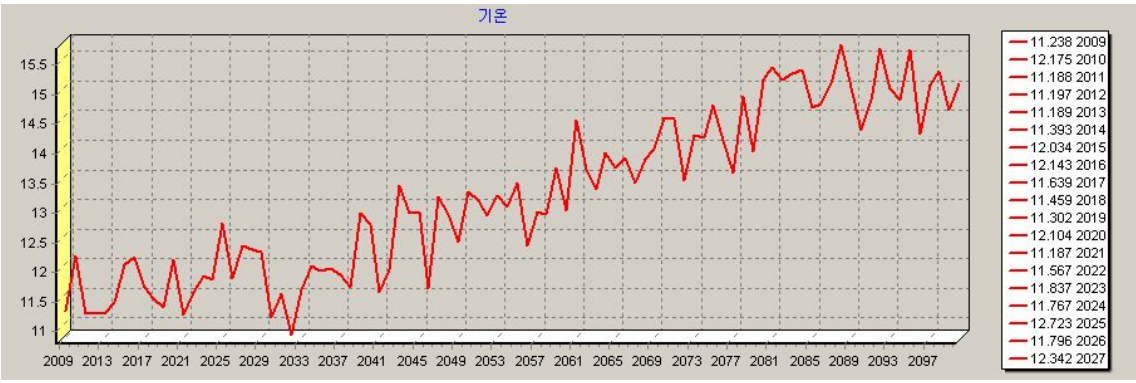


Chart Gallery

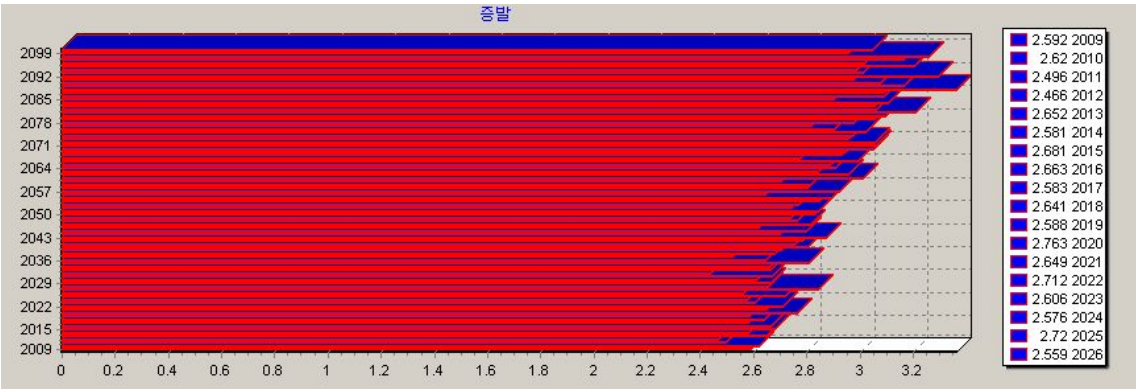


9.1.1. Chart의 표시 형태를 선택할 수 있다.

9.1.2. Fast Line



9.1.3. Line



9.1.4. Bar

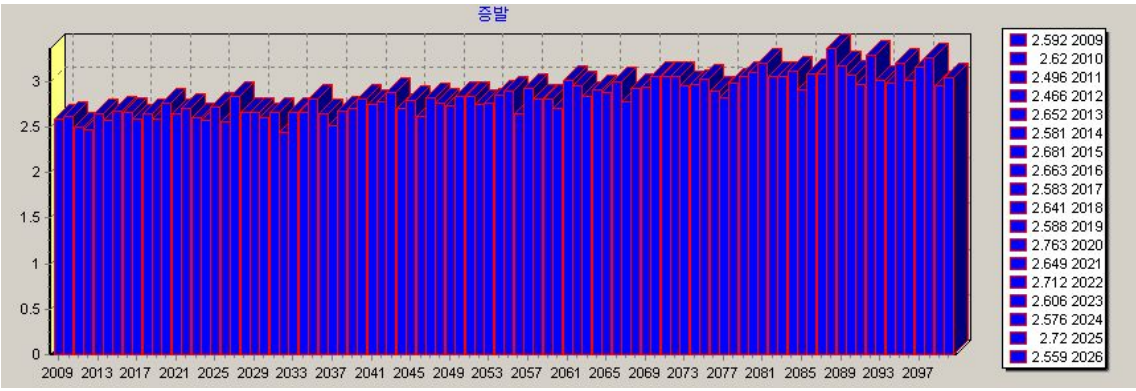
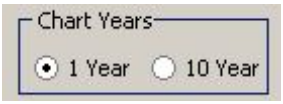


Chart Limit

9.1.5. Chart의 표시 범위를 설정한다.

Chart Year



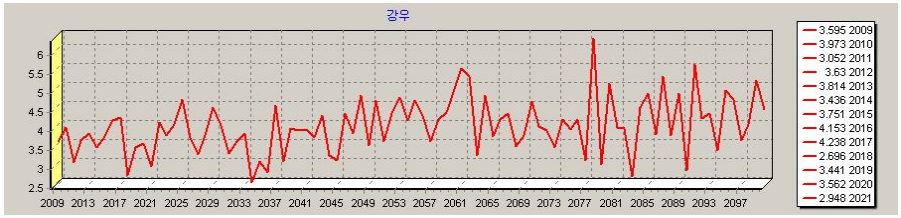
9.1.6. Chart Limit에서 설정한 범위를 1년 단위로 또는 10년 단위로 Chart에 표시한다.

9.1.7. 1 Year

9.1.8. 10 Year

Chart Series

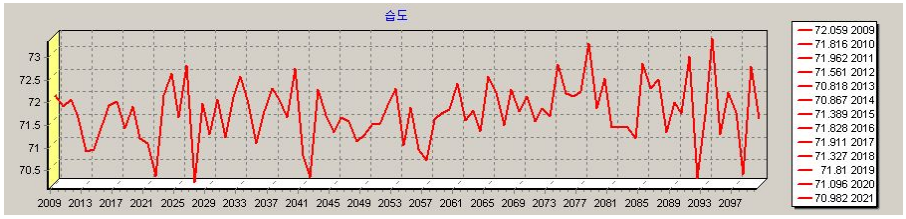
9.1.8.1. 강우를 Chart에 표시한다.



9.1.8.2. 증발을 Chart에 표시한다.

9.1.8.3. 기온을 Chart에 표시한다.

9.1.8.4. 습도를 Chart에 표시한다.



9.1.8.5. 일조를 Chart에 표시한다.

9.1.8.6. 풍속을 Chart에 표시한다.

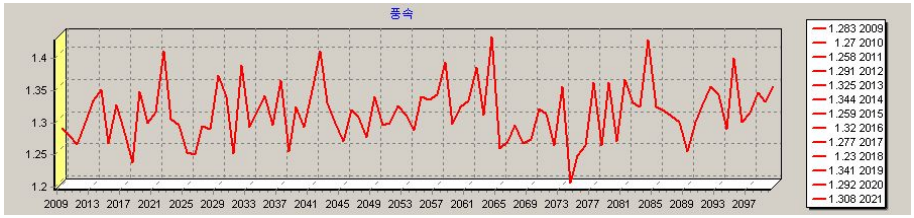
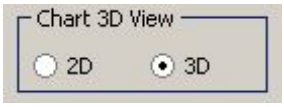
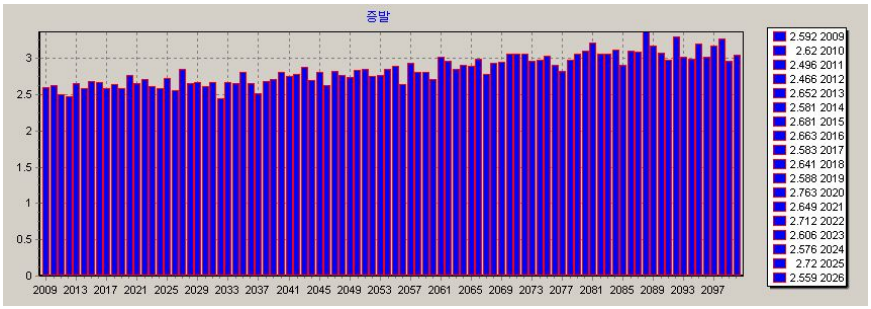


Chart 3D View

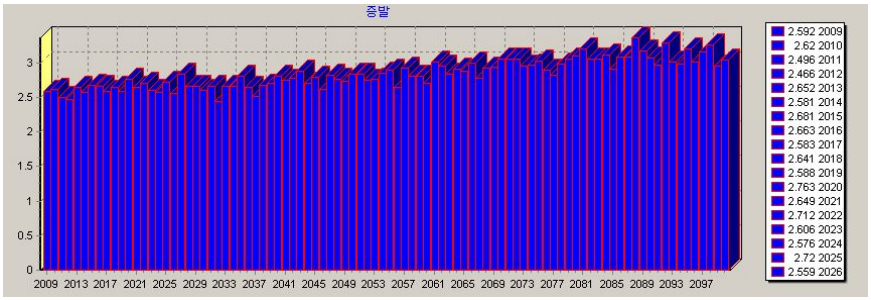


9.1.8.7. Chart를 2D 또는 3D로 표시한다.

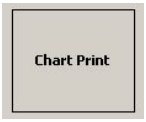
9.1.8.7.1. 2D



9.1.8.7.2. 3D



Print



9.1.9. Chart를 프린트 한다.

2. 각도별 대표 저수지 연도별 필요수량 및 물수지 분석

1. 강원도 원창저수지 필요수량 분석
2. 강원도 원창저수지 물수지 분석
3. 경기도 마둔저수지 필요수량 분석
4. 경기도 마둔저수지 물수지 분석
5. 경상남도 남성저수지 필요수량 분석
6. 경상남도 남성저수지 물수지 분석
7. 경상북도 마북저수지 필요수량 분석
8. 경상북도 마북저수지 물수지 분석
9. 전라남도 대포저수지 필요수량 분석
10. 전라남도 대포저수지 물수지 분석
11. 전라북도 백석저수지 필요수량 분석
12. 전라북도 백석저수지 물수지 분석
13. 충청남도 고풍저수지 필요수량 분석
14. 충청남도 고풍저수지 물수지 분석
15. 충청북도 원남저수지 필요수량 분석
16. 충청북도 원남저수지 물수지 분석

1. 강원도 원창저수지 필요수량 분석

1.1강원도 원창저수지 1995s 필요수량 분석

단위: mm

연 도	강 우 량	잠 재 증발산량	논벼작물 증발산량	필요수량	유효우량	순용수량	조용수량
1980	789.1	489.0	551.2	1,674.3	598.6	731.0	913.8
1981	1,386.4	487.8	559.5	1,686.6	688.4	650.4	813.0
1982	654.4	517.6	594.2	1,719.3	501.7	810.0	1,012.6
1983	877.5	529.2	600.0	1,724.6	601.7	804.7	1,005.8
1984	1,180.2	542.8	626.6	1,746.8	530.1	841.1	1,051.3
1985	644.4	523.8	601.7	1,723.1	552.2	826.2	1,032.7
1986	757.1	509.7	577.2	1,700.2	605.9	712.9	891.1
1987	1,259.9	529.1	597.6	1,719.7	790.9	507.0	633.8
1988	944.1	544.2	623.3	1,743.9	523.3	842.8	1,053.5
1989	751.5	534.0	607.9	1,727.3	563.0	752.3	940.4
1990	1,382.9	452.4	525.7	1,655.1	791.5	527.5	659.4
1991	928.4	548.5	626.0	1,744.4	501.2	838.7	1,048.4
1992	697.6	498.8	572.0	1,698.2	498.1	871.4	1,089.2
1993	953.1	483.8	547.2	1,671.2	745.7	575.6	719.5
1994	647.3	527.8	611.5	1,735.1	518.0	851.7	1,064.6
1995	1,421.7	480.9	543.0	1,668.3	606.0	663.0	828.7
1996	928.5	469.2	536.8	1,660.6	502.4	774.8	968.5
1997	859.1	510.9	598.8	1,726.3	585.0	770.4	963.0
1998	1,418.5	482.1	550.8	1,677.1	792.5	598.8	748.5
1999	1,004.9	539.6	618.4	1,745.8	508.3	838.8	1,048.6
2000	883.1	479.3	557.1	1,689.0	491.9	798.5	998.1
2001	917.6	537.1	608.0	1,727.6	507.7	771.9	964.9
2002	911.7	507.9	570.7	1,694.3	603.5	750.3	937.9
2003	1,383.0	471.0	532.9	1,658.3	798.9	612.8	765.9
2004	1,043.1	485.2	555.3	1,679.0	603.0	736.1	920.1
2005	929.7	505.6	571.5	1,696.7	660.5	620.3	775.3
2006	1,381.3	483.3	553.9	1,678.8	699.2	639.7	799.7
2007	904.9	469.4	533.6	1,665.8	646.8	639.7	799.6
2008	1,260.2	488.8	562.2	1,691.6	805.8	471.8	589.8
2009	1,223.9	501.7	578.5	1,707.5	621.1	719.4	899.3
평 균	1,010.8	504.3	576.4	1,701.2	614.8	718.3	897.9

1.2 강원도 원창저수지 2025s 필요수량 분석

단위: mm

연 도	강 우 량	잠 재 증발산량	논벼작물 증발산량	필요수량	유효우량	순용수량	조용수량
2010	1,144.6	514.6	589.8	1,717.9	759.1	590.3	737.9
2011	1,013.0	527.9	605.6	1,729.9	506.7	801.5	1,001.9
2012	870.8	531.9	612.5	1,740.3	743.4	629.6	787.0
2013	1,247.0	519.0	591.3	1,714.1	566.7	755.5	944.4
2014	971.2	532.0	607.1	1,731.4	832.7	534.6	668.3
2015	811.5	523.8	599.7	1,725.8	487.4	834.2	1,042.7
2016	736.5	523.6	598.9	1,726.3	659.3	687.1	858.9
2017	891.6	553.0	628.4	1,750.1	495.2	834.9	1,043.6
2018	692.2	534.6	606.6	1,732.4	626.4	728.0	910.0
2019	919.4	531.5	604.9	1,726.4	561.0	753.1	941.4
2020	1,118.2	534.0	608.2	1,736.3	706.3	644.4	805.5
2021	963.4	531.9	605.4	1,728.8	496.9	813.0	1,016.3
2022	786.8	538.0	613.4	1,740.1	709.9	641.2	801.5
2023	738.1	523.2	597.9	1,721.6	440.9	878.4	1,098.1
2024	722.9	511.6	587.4	1,714.4	635.7	733.7	917.1
2025	835.5	521.5	596.7	1,722.0	459.0	882.2	1,102.7
2026	645.2	533.2	612.0	1,735.6	572.6	794.3	992.8
2027	717.8	533.6	610.4	1,735.3	471.2	872.7	1,090.8
2028	848.5	541.9	619.0	1,741.2	657.3	702.3	877.9
2029	915.1	538.3	613.5	1,739.3	563.8	786.7	983.4
2030	788.2	548.4	625.8	1,750.6	668.8	722.7	903.3
2031	693.3	552.2	631.6	1,757.1	398.1	940.2	1,175.2
2032	670.4	540.1	613.0	1,738.7	579.4	771.5	964.4
2033	835.0	555.6	631.8	1,753.6	474.8	878.3	1,097.9
2034	735.9	543.5	619.9	1,745.4	680.7	717.5	896.9
2035	1,153.9	532.3	606.6	1,730.9	561.2	773.6	967.1
2036	940.8	533.2	610.6	1,735.5	830.0	565.2	706.5
2037	1,000.3	549.9	630.1	1,755.5	523.5	842.8	1,053.6
2038	987.2	523.8	596.6	1,723.2	813.2	564.6	705.7
2039	707.8	556.3	633.9	1,755.2	425.3	906.9	1,133.7
평 균	870.1	534.5	610.3	1,735.2	596.9	752.7	940.9

1.3강원도 원창저수지 2055s 필요수량 분석

단위: mm

연 도	강 우 량	잠 재 증발산량	논벼작물 증발산량	필요수량	유효우량	순용수량	조용수량
2040	624.2	524.1	576.2	1,694.1	519.6	783.5	979.4
2041	979.0	545.6	593.3	1,713.0	539.0	810.3	1,012.8
2042	868.5	536.5	588.7	1,705.1	699.5	674.4	843.0
2043	790.4	558.9	612.9	1,733.2	512.0	837.5	1,046.8
2044	777.5	552.3	601.0	1,715.4	613.3	768.0	960.1
2045	923.1	551.9	604.4	1,723.8	564.3	786.2	982.8
2046	973.0	545.4	599.0	1,716.1	674.1	681.9	852.3
2047	758.8	574.1	623.4	1,737.0	501.2	832.7	1,040.9
2048	720.1	550.1	602.6	1,719.7	583.6	769.8	962.2
2049	1,176.9	567.9	618.8	1,735.1	641.4	808.3	1,010.4
2050	1,171.2	561.8	616.9	1,731.3	763.0	639.5	799.4
2051	762.1	555.3	607.4	1,725.9	468.6	852.8	1,066.0
2052	845.4	537.5	590.4	1,705.6	618.4	733.4	916.7
2053	1,298.9	560.3	611.8	1,728.8	633.1	746.5	933.1
2054	1,006.9	533.2	588.9	1,707.4	740.8	592.1	740.1
2055	1,146.1	564.3	617.4	1,733.0	547.1	853.6	1,067.0
2056	806.8	556.9	609.0	1,725.3	700.3	695.1	868.9
2057	962.2	544.2	595.8	1,719.1	573.5	770.3	962.8
2058	656.4	551.5	604.4	1,723.1	580.0	788.7	985.9
2059	1,403.4	558.6	612.3	1,728.6	654.6	755.1	943.9
2060	1,046.9	541.8	597.5	1,714.8	802.5	594.0	742.5
2061	1,077.5	558.5	610.4	1,728.2	545.6	845.4	1,056.7
2062	741.1	562.4	615.8	1,730.1	640.0	709.8	887.3
2063	828.0	563.8	616.0	1,731.3	448.4	920.3	1,150.4
2064	652.3	556.9	618.1	1,733.8	564.8	792.8	990.9
2065	1,170.0	547.4	595.7	1,713.8	559.9	821.6	1,027.0
2066	921.0	569.5	631.2	1,748.0	735.9	666.9	833.6
2067	846.5	561.6	614.2	1,730.8	493.2	871.8	1,089.7
2068	669.6	558.4	610.8	1,729.4	596.0	787.7	984.7
2069	855.3	554.3	606.2	1,727.4	479.8	848.9	1,061.1
평 균	915.3	553.5	606.4	1,723.6	599.8	768.0	959.9

1.4 강원도 원창저수지 2085s 필요수량 분석

단위: mm

연 도	강 우 량	잠 재 증발산량	논벼작물 증발산량	필요수량	유효우량	순용수량	조용수량
2070	824.3	537.6	586.3	1,705.2	639.0	761.0	951.3
2071	951.2	544.7	589.6	1,711.4	563.6	801.7	1,002.1
2072	878.9	541.5	593.1	1,710.7	618.7	799.7	999.6
2073	1,263.3	558.5	605.4	1,724.5	583.7	857.0	1,071.2
2074	885.0	553.6	611.8	1,731.6	687.9	786.5	983.1
2075	910.6	548.1	591.3	1,709.3	527.0	857.1	1,071.4
2076	675.9	544.6	591.8	1,713.2	560.2	848.3	1,060.4
2077	1,555.8	521.7	565.2	1,687.5	757.3	636.7	795.9
2078	1,146.6	521.7	573.8	1,696.7	756.0	664.2	830.3
2079	991.2	537.8	582.1	1,706.5	540.2	795.0	993.8
2080	870.4	534.5	585.3	1,704.9	677.9	746.3	932.9
2081	744.5	537.7	577.9	1,697.7	500.2	814.3	1,017.9
2082	681.2	553.7	605.1	1,721.8	571.3	832.7	1,040.8
2083	1,477.6	553.2	596.8	1,712.9	699.0	715.5	894.3
2084	1,034.3	548.1	598.8	1,716.6	779.1	696.7	870.9
2085	1,322.8	542.9	585.8	1,703.7	612.5	801.0	1,001.2
2086	979.2	541.1	594.9	1,712.8	710.9	751.1	938.9
2087	1,190.1	539.9	587.0	1,709.3	652.3	693.9	867.4
2088	902.5	537.0	589.7	1,710.5	709.0	702.8	878.5
2089	1,101.5	539.6	582.5	1,701.0	621.4	713.8	892.3
2090	888.3	541.8	589.9	1,706.6	698.7	719.8	899.8
2091	1,127.6	537.4	577.4	1,696.3	627.7	727.5	909.4
2092	1,086.1	557.0	613.0	1,729.7	745.9	732.1	915.1
2093	1,082.0	540.8	586.9	1,704.7	648.6	713.8	892.2
2094	1,016.1	548.7	600.1	1,720.0	685.6	724.0	905.0
2095	1,164.9	559.7	603.8	1,721.1	584.5	811.7	1,014.7
2096	736.1	544.5	594.2	1,711.5	637.5	811.8	1,014.8
2097	1,298.3	540.4	590.8	1,712.8	671.7	764.9	956.1
2098	1,022.6	531.6	580.5	1,697.8	727.7	728.2	910.3
2099	1,352.9	536.5	581.5	1,699.7	706.2	676.4	845.5
평 균	1,038.7	542.5	590.4	1,709.6	650.0	756.2	945.2

2. 강원도 원창저수지 물수지 분석

2.1 강원도 원창저수지 1995s 물수지 분석

단위: 천㎥

연 도	유 입 량	전 체 필요수량	물 수 지	연 최 대 필요저수량	연 최저수량	연 최저수위	무효방류량
1980	8,613.0	4,124.7	4,488.2	2,469.6	738.9	267.2	4,488.2
1981	14,559.9	3,669.8	10,890.1	957.1	2,251.4	276.4	10,890.1
1982	6,946.3	4,570.7	2,375.7	3,077.1	131.4	257.9	2,375.7
1983	9,476.3	4,540.3	4,936.0	2,785.8	422.7	263.6	4,936.0
1984	11,545.4	4,745.7	6,799.8	1,912.0	1,296.5	271.5	6,799.8
1985	9,450.9	4,661.6	4,789.3	2,803.7	404.8	263.3	4,789.3
1986	7,921.9	4,022.5	3,899.3	1,823.7	1,384.8	272.0	3,899.3
1987	13,297.0	2,861.0	10,436.0	1,624.3	1,584.2	273.2	10,436.0
1988	8,932.8	4,755.6	4,177.1	1,878.3	1,330.2	271.7	4,881.0
1989	9,854.1	4,244.9	5,609.2	1,965.3	1,243.2	271.1	4,905.3
1990	19,065.5	2,976.4	16,089.0	1,048.7	2,159.8	276.0	16,089.0
1991	10,853.5	4,732.5	6,121.0	1,552.2	1,656.3	273.5	6,121.0
1992	8,483.8	4,916.9	3,566.9	2,639.0	569.5	265.4	3,566.9
1993	9,602.2	3,247.8	6,354.4	739.9	2,468.6	277.3	6,354.4
1994	7,139.8	4,805.6	2,334.1	1,813.2	1,395.3	272.1	2,334.1
1995	14,404.2	3,740.7	10,663.5	2,474.7	733.8	267.2	10,663.5
1996	9,816.2	4,371.8	5,444.4	1,778.7	1,429.8	272.3	5,444.4
1997	9,526.5	4,346.8	5,179.6	1,107.2	2,101.3	275.7	5,179.6
1998	15,301.0	3,378.7	11,922.3	1,902.5	1,306.0	271.5	11,922.3
1999	14,219.3	4,733.2	9,486.1	1,964.7	1,243.8	271.1	9,486.1
2000	9,515.5	4,505.4	5,010.1	2,177.2	1,031.3	269.7	5,010.1
2001	9,394.2	4,355.5	5,038.7	2,168.1	1,040.4	269.7	5,038.7
2002	9,454.3	4,233.5	5,220.8	2,156.3	1,052.2	269.8	5,220.8
2003	16,935.6	3,457.4	13,478.2	1,615.3	1,593.2	273.2	13,478.2
2004	12,159.3	4,153.4	8,005.8	1,120.3	2,088.2	275.7	8,005.8
2005	11,396.6	3,499.8	7,896.7	2,275.7	932.8	268.9	7,896.7
2006	14,916.9	3,609.7	11,307.2	1,060.0	2,148.5	275.9	11,307.2
2007	11,721.1	3,609.4	8,111.7	1,929.2	1,279.3	271.4	8,111.7
2008	12,397.8	2,662.2	9,735.7	611.2	2,597.3	277.8	9,735.7
2009	12,577.3	4,059.3	8,518.1	811.4	2,397.1	277.0	8,518.1
평 균	11,315.9	4,053.1	7,262.8	1,808.1	1,400.4	271.3	7,262.8

2.2 강원도 원창저수지 2025s 물수지 분석

단위: 천㎥

연 도	유 입 량	전 체 필요수량	물 수 지	연 최 대 필요저수량	연 최저수량	연 최저수위	무효방류량
2010	13,557.5	3,264.3	10,293.2	1,046.1	2,162.4	276.0	10,529.7
2011	15,240.0	4,432.2	10,807.8	1,550.8	1,657.7	273.6	10,571.4
2012	10,082.1	3,481.5	6,600.6	1,093.2	2,115.3	275.8	6,600.6
2013	16,484.6	4,178.2	12,306.4	1,405.7	1,802.8	274.3	12,306.4
2014	10,696.4	2,956.4	7,739.9	994.0	2,214.5	276.2	8,010.4
2015	13,424.4	4,613.1	8,811.3	1,769.3	1,439.2	272.3	8,540.9
2016	10,005.6	3,799.8	6,205.8	1,049.6	2,158.9	276.0	6,459.1
2017	12,363.9	4,617.1	7,746.9	1,924.7	1,283.8	271.4	7,493.6
2018	8,537.6	4,025.9	4,511.7	938.5	2,270.0	276.5	4,511.7
2019	16,262.6	4,164.7	12,098.0	1,151.7	2,056.8	275.5	12,098.0
2020	14,354.9	3,563.5	10,791.4	1,037.8	2,170.7	276.0	10,842.1
2021	12,721.0	4,496.1	8,225.0	1,647.0	1,561.5	273.0	8,174.3
2022	8,662.4	3,545.8	5,116.5	1,212.6	1,995.9	275.2	5,858.3
2023	10,461.2	4,857.8	5,603.4	1,736.5	1,472.0	272.5	4,861.6
2024	8,697.6	4,057.3	4,640.3	1,452.2	1,756.3	274.1	5,489.0
2025	14,832.4	4,878.5	9,953.9	2,154.8	1,053.7	269.8	9,756.5
2026	8,538.7	4,392.2	4,146.4	1,551.1	1,657.4	273.6	4,793.5
2027	11,980.2	4,825.9	7,154.3	1,589.3	1,619.2	273.3	5,855.9
2028	10,641.4	3,884.0	6,757.5	1,335.1	1,873.4	274.7	7,214.5
2029	13,691.5	4,350.7	9,340.8	1,965.1	1,243.4	271.1	8,883.8
2030	9,721.5	3,996.3	5,725.1	1,167.7	2,040.8	275.4	5,725.1
2031	9,982.6	5,199.1	4,783.5	2,304.7	903.8	268.7	5,700.3
2032	7,700.6	4,266.7	3,434.0	1,607.1	1,601.4	273.3	3,177.7
2033	14,275.9	4,857.0	9,418.9	1,778.8	1,429.7	272.3	8,758.5
2034	10,512.6	3,967.8	6,544.8	1,275.6	1,932.9	274.9	6,544.8
2035	16,289.0	4,278.2	12,010.8	1,568.2	1,640.3	273.5	12,010.8
2036	10,878.4	3,125.6	7,752.7	1,012.5	2,196.0	276.1	8,130.1
2037	13,925.4	4,660.9	9,264.4	1,436.2	1,772.3	274.2	8,966.7
2038	12,283.4	3,122.2	9,161.3	1,373.7	1,834.8	274.5	9,604.5
2039	10,806.0	5,015.3	5,790.7	1,917.0	1,291.5	271.4	5,661.5
평 균	11,920.4	4,162.5	7,757.9	1,468.2	1,740.3	273.8	7,771.0

2.3 강원도 원창저수지 2055s 물수지 분석

단위: 천㎥

연 도	유 입 량	전 체 필요수량	물 수 지	연 최 대 필요저수량	연 최저수량	연 최저수위	무효방류량
2040	9,283.3	4,322.1	4,961.2	2,340.7	867.8	268.4	6,675.9
2041	17,204.5	4,469.6	12,734.9	1,673.3	1,535.2	272.9	11,020.2
2042	12,230.1	3,720.0	8,510.1	2,112.2	1,096.3	270.1	9,712.2
2043	13,213.4	4,619.6	8,593.7	1,686.1	1,522.4	272.8	7,391.6
2044	11,141.3	4,236.7	6,904.6	2,075.1	1,133.4	270.4	8,269.2
2045	14,955.3	4,337.1	10,618.2	1,320.2	1,888.3	274.7	9,253.5
2046	12,952.3	3,761.3	9,190.9	1,898.3	1,310.2	271.6	10,097.7
2047	11,820.8	4,593.5	7,227.3	1,679.7	1,528.8	272.9	6,320.5
2048	9,297.4	4,246.3	5,051.1	2,059.2	1,149.3	270.5	5,951.4
2049	16,829.5	4,459.0	12,370.5	1,266.6	1,941.9	275.0	11,470.2
2050	14,681.6	3,527.6	11,154.0	2,305.4	903.1	268.7	12,668.3
2051	13,931.7	4,704.4	9,227.3	1,452.8	1,755.7	274.1	7,713.0
2052	12,622.6	4,045.5	8,577.0	2,329.3	879.2	268.5	9,909.1
2053	18,109.4	4,118.0	13,991.5	1,302.7	1,905.8	274.8	12,659.4
2054	13,204.3	3,266.3	9,938.0	1,764.0	1,444.5	272.4	11,170.3
2055	15,959.4	4,708.7	11,250.7	1,550.1	1,658.4	273.6	10,018.4
2056	10,117.9	3,834.3	6,283.6	2,195.2	1,013.3	269.5	7,658.2
2057	16,539.6	4,249.0	12,290.6	1,988.0	1,220.5	271.0	10,916.0
2058	10,462.6	4,350.7	6,111.9	1,615.5	1,593.0	273.2	6,111.9
2059	21,184.0	4,165.4	17,018.6	1,235.5	1,973.0	275.1	17,018.6
2060	14,930.4	3,276.8	11,653.7	1,797.3	1,411.2	272.2	12,685.3
2061	14,912.6	4,663.2	10,249.4	1,826.0	1,382.5	272.0	9,217.8
2062	9,685.7	3,915.5	5,770.2	1,966.7	1,241.8	271.1	7,204.2
2063	11,107.4	5,076.5	6,030.9	2,523.2	685.3	266.7	5,631.9
2064	8,228.7	4,373.0	3,855.7	2,651.8	556.7	265.3	4,787.0
2065	16,260.5	4,532.0	11,728.5	1,945.4	1,263.1	271.3	9,762.1
2066	11,171.3	3,678.6	7,492.7	2,249.9	958.6	269.1	8,972.4
2067	14,392.1	4,808.8	9,583.3	1,826.9	1,381.6	272.0	8,103.6
2068	9,323.3	4,345.4	4,977.9	2,255.0	953.5	269.1	6,354.9
2069	12,783.3	4,682.7	8,100.6	1,436.2	1,772.3	274.2	6,723.6
평 균	13,284.5	4,236.3	9,048.3	1,877.6	1,330.9	271.4	9,048.3

2.4 강원도 원창저수지 2085s 물수지 분석

단위: 천㎥

연 도	유 입 량	전 체 필요수량	물 수 지	연 최 대 필요저수량	연 최저수량	연 최저수위	무효방류량
2070	11,059.0	4,186.6	6,872.4	2,777.0	431.5	263.7	8,617.6
2071	13,652.5	4,410.1	9,242.4	1,720.8	1,487.7	272.6	7,497.2
2072	11,863.3	4,399.1	7,464.2	2,782.9	425.6	263.6	9,662.1
2073	17,401.7	4,714.4	12,687.3	2,178.9	1,029.6	269.6	10,641.0
2074	12,842.0	4,326.6	8,515.4	2,920.3	288.2	261.5	10,394.9
2075	12,180.3	4,715.1	7,465.2	2,919.4	289.1	261.5	5,548.7
2076	8,996.9	4,666.7	4,330.2	2,992.8	215.7	260.1	6,346.9
2077	23,694.8	3,502.7	20,192.1	2,084.0	1,124.5	270.3	18,060.7
2078	16,523.5	3,654.1	12,869.4	2,054.1	1,154.4	270.5	14,291.3
2079	16,256.0	4,373.6	11,882.4	1,557.0	1,651.5	273.5	10,642.7
2080	12,884.1	4,105.8	8,778.3	2,544.2	664.3	266.4	10,690.8
2081	12,243.4	4,479.6	7,763.8	2,060.8	1,147.7	270.5	5,669.1
2082	10,092.4	4,580.7	5,511.7	2,899.2	309.3	261.9	7,640.0
2083	19,808.0	3,936.0	15,872.1	2,096.7	1,111.8	270.2	13,743.8
2084	13,766.5	3,832.7	9,933.8	2,044.3	1,164.2	270.6	11,107.1
2085	18,680.0	4,406.3	14,273.8	1,446.5	1,762.0	274.1	13,100.4
2086	13,522.9	4,131.9	9,391.0	2,807.0	401.5	263.3	11,440.0
2087	16,298.3	3,817.3	12,481.1	1,980.9	1,227.6	271.0	10,432.1
2088	11,515.6	3,866.2	7,649.4	2,226.3	982.2	269.3	8,600.0
2089	15,027.0	3,927.0	11,100.0	1,420.1	1,788.4	274.2	10,149.4
2090	11,198.2	3,960.0	7,238.2	2,367.7	840.8	268.1	9,141.4
2091	13,857.1	4,002.4	9,854.7	1,864.6	1,343.9	271.8	7,988.4
2092	12,888.1	4,027.3	8,860.7	2,730.7	477.8	264.3	11,195.0
2093	16,336.7	3,926.7	12,410.0	2,318.1	890.4	268.5	10,038.7
2094	14,475.7	3,982.8	10,492.9	2,384.0	824.5	268.0	11,991.3
2095	16,377.7	4,465.6	11,912.1	2,286.2	922.3	268.8	10,413.6
2096	11,575.8	4,466.1	7,109.8	2,737.7	470.8	264.2	8,008.6
2097	20,216.4	4,207.9	16,008.6	1,461.7	1,746.8	274.0	15,109.8
2098	15,388.3	4,006.2	11,382.1	2,473.5	735.0	267.2	13,276.1
2099	19,383.2	3,720.9	15,662.3	1,837.5	1,371.0	271.9	13,768.3
평 균	14,666.9	4,159.9	10,506.9	2,265.8	942.7	268.2	10,506.9

3. 경기도 마둔저수지 필요수량 분석

3.1 경기도 마둔저수지 1995s 필요수량 분석

단위: mm

연 도	강 우 량	잠 재 증발산량	논벼작물 증발산량	필요수량	유효우량	순용수량	조용수량
1980	795.2	440.1	496.0	1,284.3	635.4	397.3	441.4
1981	1,053.5	476.9	550.5	1,342.9	484.1	559.7	621.8
1982	698.2	515.5	592.8	1,377.9	407.6	653.6	726.2
1983	656.1	507.5	580.0	1,365.8	511.8	591.3	657.0
1984	1,001.4	509.4	587.2	1,369.2	464.8	608.2	675.8
1985	842.8	505.4	585.2	1,371.4	592.2	520.3	578.1
1986	858.4	477.0	537.2	1,321.7	513.2	505.8	562.1
1987	1,144.1	484.7	549.1	1,334.9	657.3	352.8	392.0
1988	723.9	515.3	592.0	1,375.4	383.2	684.8	760.9
1989	682.8	533.9	612.9	1,396.0	485.1	571.0	634.4
1990	1,193.0	449.4	525.5	1,318.0	715.5	367.0	407.8
1991	915.4	501.9	571.1	1,352.6	482.4	557.9	619.9
1992	770.0	487.6	559.2	1,346.9	511.9	575.6	639.5
1993	888.9	471.4	535.8	1,322.7	592.6	437.1	485.7
1994	691.7	554.6	648.2	1,434.9	464.0	669.9	744.3
1995	1,510.5	505.6	582.4	1,368.9	570.1	494.7	549.6
1996	677.6	498.3	574.0	1,357.3	510.1	548.9	609.9
1997	1,058.3	540.6	630.5	1,415.8	567.3	546.0	606.6
1998	1,237.6	513.0	591.7	1,378.1	652.8	438.0	486.6
1999	904.9	540.9	624.6	1,413.4	485.3	642.2	713.5
2000	1,010.9	509.9	590.3	1,379.7	427.6	618.8	687.6
2001	863.4	538.7	619.5	1,403.0	453.6	596.7	663.0
2002	1,008.6	511.3	577.6	1,361.2	557.1	565.4	628.3
2003	1,065.1	482.8	545.6	1,332.0	681.5	468.8	520.9
2004	853.8	522.0	601.0	1,382.9	547.5	574.0	637.8
2005	881.7	513.0	580.1	1,363.6	596.9	466.8	518.7
2006	1,132.6	513.3	591.5	1,378.0	559.2	518.1	575.6
2007	829.8	487.6	555.5	1,344.3	572.1	463.4	514.9
2008	1,131.3	507.5	581.1	1,369.1	655.8	363.8	404.3
2009	1,239.3	517.1	595.1	1,385.9	556.7	534.6	594.0
평 균	944.0	504.4	578.8	1,364.9	543.2	529.8	588.6

3.2 경기도 마둔저수지 2025s 필요수량 분석

단위: mm

연 도	강 우 량	잠 재 증발산량	논벼작물 증발산량	필요수량	유효우량	순용수량	조용수량
2010	922.7	548.9	638.2	1,425.5	513.3	634.0	704.5
2011	887.9	525.7	610.7	1,401.6	535.8	591.3	657.0
2012	838.6	521.0	605.1	1,398.2	639.7	478.5	531.7
2013	642.2	507.5	589.8	1,379.2	517.6	641.8	713.1
2014	1,098.2	498.0	579.6	1,369.0	621.9	568.2	631.3
2015	780.5	524.2	607.1	1,393.8	497.4	697.9	775.4
2016	849.6	501.8	583.3	1,370.2	649.1	573.2	636.9
2017	873.0	516.5	608.3	1,400.5	578.4	699.8	777.5
2018	917.5	503.8	583.6	1,373.2	596.3	658.7	731.9
2019	538.5	515.5	598.6	1,391.0	438.0	661.1	734.5
2020	646.8	514.7	594.8	1,381.0	431.2	746.3	829.2
2021	500.4	521.1	606.4	1,395.2	341.8	725.0	805.6
2022	584.5	534.3	626.7	1,415.9	404.9	809.3	899.2
2023	603.6	524.4	610.1	1,397.9	529.7	665.2	739.1
2024	740.7	527.6	617.5	1,408.0	465.8	759.9	844.4
2025	1,096.1	517.5	603.2	1,394.4	400.2	808.1	897.9
2026	556.1	529.6	617.1	1,408.1	299.1	918.9	1,021.0
2027	490.2	536.9	628.2	1,418.1	364.4	765.0	850.1
2028	604.5	515.2	595.2	1,387.3	400.0	657.6	730.7
2029	1,137.5	522.8	606.2	1,397.2	619.0	563.4	626.1
2030	1,440.4	493.5	580.8	1,371.9	616.8	611.8	679.8
2031	723.4	523.5	608.2	1,394.9	611.0	574.7	638.5
2032	728.8	522.0	599.9	1,382.6	406.1	761.3	845.9
2033	994.5	518.9	603.2	1,392.0	540.3	667.2	741.4
2034	941.7	533.4	617.7	1,401.6	526.6	675.6	750.7
2035	694.1	536.2	625.9	1,411.7	510.8	679.0	754.4
2036	1,554.5	502.8	585.3	1,374.4	571.1	615.6	684.0
2037	1,271.5	497.8	578.2	1,366.8	770.7	467.5	519.5
2038	843.4	536.9	631.6	1,423.4	611.1	660.3	733.6
2039	478.9	542.7	624.8	1,407.9	433.9	735.5	817.2
평 균	832.7	520.5	605.5	1,394.4	514.7	669.1	743.4

3.3 경기도 마둔저수지 2055s 필요수량 분석

단위: mm

연 도	강 우 량	잠 재 증발산량	논벼작물 증발산량	필요수량	유효우량	순용수량	조용수량
2040	737.0	489.8	544.4	1,335.0	606.1	481.2	534.6
2041	638.1	534.8	600.8	1,387.0	483.9	796.4	884.9
2042	805.1	526.2	583.9	1,373.0	637.4	603.0	670.1
2043	678.2	525.3	576.0	1,359.2	418.6	727.9	808.7
2044	874.9	512.8	577.5	1,361.7	536.1	643.6	715.1
2045	1,029.9	513.7	568.2	1,353.8	635.8	522.7	580.8
2046	940.6	530.1	583.9	1,366.4	585.2	532.2	591.4
2047	397.6	511.4	565.5	1,350.3	320.6	723.5	803.9
2048	1,412.8	518.7	581.5	1,365.2	900.9	296.1	328.9
2049	1,292.3	506.7	559.5	1,348.5	671.0	539.8	599.8
2050	1,206.8	532.0	589.3	1,377.4	716.0	541.2	601.3
2051	561.3	523.8	573.5	1,352.2	383.7	686.0	762.2
2052	836.4	493.6	541.5	1,324.5	637.1	475.6	528.5
2053	630.6	551.9	619.6	1,402.4	470.2	688.1	764.6
2054	970.6	510.3	567.2	1,354.0	734.5	347.1	385.7
2055	697.2	537.6	596.4	1,379.4	404.9	770.3	855.9
2056	1,236.8	543.8	603.2	1,387.4	617.9	629.9	699.9
2057	763.3	503.4	561.8	1,353.1	539.4	683.9	759.9
2058	536.5	528.2	583.1	1,364.3	375.0	750.7	834.2
2059	915.9	506.6	563.7	1,351.3	538.1	658.9	732.1
2060	1,122.9	511.4	561.8	1,346.6	652.7	506.7	563.0
2061	782.2	524.2	572.4	1,361.5	611.0	518.7	576.3
2062	538.3	529.5	577.7	1,363.8	414.8	607.2	674.7
2063	773.3	526.5	579.7	1,367.6	576.9	469.7	521.8
2064	592.8	522.9	573.9	1,354.7	383.8	748.8	832.0
2065	860.1	531.2	587.2	1,375.0	591.4	594.1	660.1
2066	688.1	521.6	578.4	1,360.5	540.1	626.0	695.5
2067	1,486.1	513.8	566.5	1,350.7	722.8	508.2	564.7
2068	1,221.0	513.9	572.6	1,363.2	759.7	396.8	440.9
2069	1,011.1	510.0	558.6	1,342.5	698.1	407.7	453.0
평 균	874.6	520.2	575.6	1,361.1	572.1	582.7	647.5

3.4 경기도 마둔저수지 2085s 필요수량 분석

단위: mm

연 도	강 우 량	잠 재 증발산량	논벼작물 증발산량	필요수량	유효우량	순용수량	조용수량
2070	652.6	516.6	566.7	1,349.6	521.8	625.6	695.1
2071	695.9	540.7	587.9	1,365.0	446.4	698.4	776.0
2072	810.8	531.1	576.8	1,355.2	489.0	623.0	692.2
2073	593.5	538.7	593.9	1,376.5	508.9	709.6	788.4
2074	885.8	532.7	589.2	1,368.7	479.2	702.0	780.0
2075	737.0	517.5	560.1	1,342.9	525.7	544.2	604.7
2076	894.9	543.3	593.1	1,375.5	516.0	652.9	725.5
2077	915.5	515.0	563.9	1,342.1	642.6	465.5	517.2
2078	877.1	528.2	579.8	1,367.9	631.4	531.7	590.8
2079	680.4	504.4	549.7	1,334.4	518.4	551.1	612.3
2080	998.0	505.3	557.8	1,342.5	591.7	588.1	653.4
2081	488.6	534.6	589.0	1,372.4	400.1	750.7	834.1
2082	456.5	548.5	594.0	1,373.7	362.4	678.6	754.0
2083	1,167.3	533.0	590.8	1,372.3	688.5	499.0	554.4
2084	1,300.8	527.4	589.9	1,375.8	768.5	579.3	643.7
2085	1,017.3	511.2	563.0	1,345.7	654.2	539.5	599.5
2086	920.9	526.2	577.2	1,360.0	602.5	563.4	626.0
2087	862.0	542.7	601.4	1,382.2	513.5	684.8	760.9
2088	1,343.0	524.3	575.2	1,354.4	754.6	343.1	381.2
2089	774.1	539.4	589.3	1,367.3	548.8	571.6	635.2
2090	692.6	532.8	578.4	1,356.3	395.2	660.1	733.4
2091	966.1	525.0	582.0	1,365.4	608.8	549.2	610.2
2092	921.7	527.0	582.0	1,367.2	686.6	458.8	509.8
2093	822.6	551.1	612.6	1,390.7	620.0	543.2	603.5
2094	740.2	532.7	590.5	1,375.4	529.6	591.6	657.3
2095	749.3	537.6	592.1	1,370.8	426.5	685.4	761.5
2096	1,237.6	551.4	602.3	1,383.2	487.5	624.2	693.5
2097	1,180.8	532.5	590.0	1,373.9	637.4	549.8	610.9
2098	1,472.5	531.5	581.8	1,363.6	804.2	482.0	535.6
2099	861.9	522.0	576.2	1,359.0	718.6	497.3	552.5
평 균	890.6	530.2	582.6	1,364.3	569.3	584.8	649.8

4. 경기도 마둔저수지 물수지 분석

4.1 경기도 마둔저수지 1995s 물수지 분석

단위: 천㎥

연 도	유 입 량	전 체 필요수량	물 수 지	연 최 대 필요저수량	연 최저수량	연 최저수위	무효방류량
1980	8,788.3	2,988.0	5,800.2	1,195.9	2,270.3	116.9	5,586.1
1981	10,029.7	4,209.2	5,820.4	2,343.0	1,123.2	113.8	5,340.9
1982	7,728.0	4,915.9	2,812.1	3,644.3	0.0	102.0	2,739.0
1983	6,284.3	4,447.0	1,837.3	2,908.3	557.9	111.2	1,697.7
1984	8,671.7	4,574.6	4,097.1	2,050.7	1,415.5	114.7	3,342.3
1985	11,363.0	3,913.4	7,449.6	2,482.7	983.4	113.2	6,991.8
1986	8,322.6	3,804.5	4,518.1	2,073.7	1,392.4	114.6	4,221.4
1987	11,063.3	2,653.5	8,409.9	1,606.1	1,860.0	115.9	8,247.3
1988	5,843.7	5,150.6	693.1	2,666.5	799.7	112.4	1,225.9
1989	8,715.0	4,294.4	4,420.7	1,606.9	1,859.3	115.9	3,436.0
1990	17,007.0	2,760.6	14,246.5	1,197.5	2,268.6	116.9	13,815.8
1991	9,871.6	4,195.9	5,675.7	1,480.8	1,985.3	116.2	4,990.3
1992	7,938.8	4,328.8	3,609.9	2,943.5	522.6	111.0	3,495.5
1993	8,438.2	3,287.8	5,150.3	1,108.8	2,357.3	117.1	4,313.4
1994	7,387.3	5,038.2	2,349.1	2,413.4	1,052.7	113.5	2,124.9
1995	13,788.4	3,720.4	10,068.0	2,122.1	1,344.1	114.5	9,242.4
1996	6,554.0	4,128.7	2,425.3	1,976.4	1,489.8	114.9	2,470.6
1997	10,581.4	4,106.3	6,475.2	1,243.8	2,222.4	116.8	5,275.9
1998	12,729.6	3,294.1	9,435.6	1,906.8	1,559.4	115.1	9,092.7
1999	12,367.8	4,829.9	7,537.9	2,315.7	1,150.4	113.9	6,355.2
2000	10,414.6	4,654.1	5,760.5	2,729.6	736.6	112.2	5,560.8
2001	8,076.4	4,488.0	3,588.4	2,729.1	737.1	112.2	3,428.9
2002	9,146.7	4,252.8	4,893.9	2,907.0	559.2	111.2	4,000.8
2003	11,637.9	3,526.0	8,112.0	2,231.9	1,234.2	114.1	7,844.9
2004	9,046.9	4,317.3	4,729.5	1,725.1	1,741.0	115.6	4,634.5
2005	10,973.2	3,511.1	7,462.1	2,335.3	1,130.8	113.8	7,182.2
2006	10,657.1	3,896.5	6,760.6	1,432.5	2,033.6	116.3	6,902.4
2007	9,906.6	3,485.6	6,421.0	1,800.9	1,665.2	115.4	5,679.0
2008	10,224.9	2,736.5	7,488.4	515.9	2,950.2	118.2	7,103.0
2009	12,195.0	4,020.8	8,174.2	1,618.3	1,847.9	115.9	7,410.2
평 균	9,858.4	3,984.3	5,874.1	2,043.7	1,428.3	114.2	5,458.4

4.2 경기도 마둔저수지 2025s 물수지 분석

단위: 천㎥

연 도	유 입 량	전 체 필요수량	물 수 지	연 최 대 필요저수량	연 최저수량	연 최저수위	무효방류량
2010	11,358.2	4,706.1	6,652.2	1,703.0	1,763.1	115.7	6,316.6
2011	18,587.2	4,388.9	14,198.3	2,215.6	1,250.5	114.2	13,617.7
2012	16,825.7	3,551.7	13,273.9	903.1	2,563.0	117.5	12,335.2
2013	13,041.9	4,763.6	8,278.3	2,729.4	736.7	112.2	7,518.0
2014	14,281.6	4,217.0	10,064.6	2,894.1	572.0	111.3	10,018.2
2015	15,057.7	5,179.6	9,878.1	3,624.7	0.0	102.0	9,959.9
2016	15,932.0	4,254.2	11,677.8	2,785.6	680.5	111.9	11,539.4
2017	16,285.4	5,193.9	11,091.5	3,007.7	458.5	110.6	11,012.4
2018	14,197.0	4,889.1	9,307.9	3,183.2	282.9	109.2	8,931.2
2019	12,895.0	4,906.5	7,988.5	2,544.1	922.0	113.0	7,914.4
2020	14,267.2	5,538.9	8,728.2	3,179.0	287.2	109.2	8,628.4
2021	9,681.0	5,381.4	4,299.6	3,950.0	0.0	102.0	5,255.3
2022	10,916.4	6,006.5	4,909.9	3,548.4	0.0	102.0	4,220.6
2023	16,080.6	4,937.4	11,143.3	2,804.7	661.4	111.8	10,864.7
2024	13,340.2	5,640.4	7,699.8	4,030.8	0.0	102.0	8,413.8
2025	18,589.7	5,997.6	12,592.1	4,318.0	0.0	102.0	14,306.2
2026	13,971.2	6,820.6	7,150.6	5,902.0	0.0	102.0	8,928.1
2027	8,990.9	5,678.4	3,312.5	4,533.4	0.0	102.0	3,630.3
2028	11,519.9	4,881.2	6,638.7	3,019.0	447.2	110.5	5,165.5
2029	20,361.1	4,182.0	16,179.1	3,001.7	464.4	110.6	16,090.3
2030	22,320.1	4,541.0	17,779.2	3,295.5	170.6	107.9	17,298.2
2031	12,448.3	4,265.3	8,182.9	1,425.6	2,040.5	116.4	7,938.6
2032	9,010.5	5,650.7	3,359.7	3,949.9	0.0	102.0	4,090.4
2033	19,485.9	4,952.4	14,533.5	2,872.5	593.6	111.4	13,628.5
2034	22,305.3	5,014.5	17,290.8	3,185.5	280.6	109.2	17,076.2
2035	10,271.9	5,039.6	5,232.4	3,556.8	0.0	102.0	6,268.0
2036	21,218.2	4,568.9	16,649.3	2,378.1	1,088.1	113.6	15,551.4
2037	15,693.5	3,469.9	12,223.6	740.4	2,725.7	117.8	11,680.8
2038	19,607.7	4,900.6	14,707.0	3,116.7	349.5	109.8	15,405.0
2039	12,455.1	5,459.0	6,996.1	3,814.5	0.0	102.0	5,802.2
평 균	15,033.2	4,965.9	10,067.3	3,073.8	611.3	108.8	9,980.2

4.3 경기도 마둔저수지 2055s 물수지 분석

단위: 천㎥

연 도	유 입 량	전 체 필요수량	물 수 지	연 최 대 필요저수량	연 최저수량	연 최저수위	무효방류량
2040	11,399.2	3,555.4	7,843.8	1,320.2	2,145.9	116.6	7,786.3
2041	28,635.2	5,884.6	22,750.6	4,685.7	0.0	102.0	23,901.7
2042	23,586.0	4,455.8	19,130.2	2,188.8	1,277.3	114.3	18,242.0
2043	18,569.2	5,378.2	13,191.1	3,342.0	124.1	107.2	13,181.6
2044	19,014.0	4,755.6	14,258.5	2,866.4	599.7	111.4	13,871.7
2045	24,448.3	3,862.1	20,586.1	2,286.1	1,180.1	114.0	19,933.8
2046	20,252.6	3,932.5	16,320.1	2,992.6	473.6	110.7	16,297.5
2047	11,522.1	5,346.0	6,176.1	3,462.0	4.2	103.1	6,019.8
2048	19,085.4	2,187.5	16,897.9	370.7	3,095.5	118.5	15,670.8
2049	22,462.5	3,988.7	18,473.8	909.6	2,556.6	117.5	18,235.3
2050	19,046.7	3,998.6	15,048.1	2,322.6	1,143.5	113.8	14,625.9
2051	15,793.4	5,068.5	10,724.9	2,337.4	1,128.7	113.8	10,650.7
2052	23,241.7	3,514.5	19,727.2	1,244.8	2,221.3	116.8	19,661.6
2053	17,132.8	5,084.3	12,048.4	2,934.8	531.4	111.1	11,832.3
2054	16,746.6	2,564.8	14,181.8	1,220.5	2,245.6	116.8	13,717.8
2055	14,806.0	5,691.6	9,114.4	3,538.1	0.0	102.0	8,853.6
2056	19,304.3	4,654.4	14,649.9	1,601.8	1,864.3	115.9	12,771.7
2057	26,316.5	5,053.1	21,263.5	2,970.6	495.6	110.8	21,000.5
2058	24,189.0	5,547.2	18,641.8	3,807.8	0.0	102.0	18,482.2
2059	21,915.2	4,868.5	17,046.7	3,687.2	0.0	102.0	17,258.0
2060	26,889.4	3,744.1	23,145.4	1,441.9	2,024.2	116.3	22,515.9
2061	18,166.6	3,832.5	14,334.1	2,963.3	502.8	110.9	14,276.0
2062	12,927.3	4,486.7	8,440.6	3,085.5	380.6	110.0	8,393.2
2063	14,231.9	3,470.2	10,761.7	1,690.4	1,775.7	115.7	10,118.9
2064	11,239.8	5,532.8	5,706.9	4,126.8	0.0	102.0	6,051.9
2065	12,890.3	4,389.6	8,500.7	3,261.6	204.5	108.3	8,427.3
2066	16,282.4	4,625.3	11,657.1	2,059.6	1,406.6	114.7	11,246.9
2067	22,969.3	3,755.2	19,214.1	1,319.0	2,147.2	116.6	18,509.4
2068	24,054.7	2,931.8	21,122.9	474.9	2,991.3	118.3	20,547.0
2069	16,917.2	3,012.3	13,904.9	1,827.0	1,639.2	115.3	13,175.4
평 균	19,134.5	4,305.8	14,828.8	2,411.3	1,138.6	111.6	14,508.6

4.4 경기도 마둔저수지 2085s 물수지 분석

단위: 천㎥

연 도	유 입 량	전 체 필요수량	물 수 지	연 최 대 필요저수량	연 최저수량	연 최저수위	무효방류량
2070	12,609.1	4,590.3	8,018.9	1,751.7	1,714.4	115.5	7,508.2
2071	15,172.6	5,124.7	10,048.0	3,286.5	179.7	108.0	10,138.8
2072	22,660.2	4,571.2	18,089.0	1,465.3	2,000.9	116.3	17,842.4
2073	18,642.4	5,206.8	13,435.6	2,940.6	525.5	111.0	13,383.6
2074	17,508.8	5,151.1	12,357.6	3,326.4	139.7	107.4	12,198.3
2075	18,772.0	3,993.5	14,778.5	2,310.2	1,155.9	113.9	14,620.0
2076	14,823.9	4,791.2	10,032.8	3,726.6	0.0	102.0	10,111.3
2077	23,082.4	3,415.6	19,666.8	1,010.7	2,455.5	117.3	19,522.5
2078	14,361.4	3,901.6	10,459.7	2,961.3	504.9	110.9	10,423.1
2079	16,527.4	4,043.9	12,483.5	1,656.7	1,809.4	115.8	12,168.4
2080	16,803.5	4,315.4	12,488.1	1,549.4	1,916.8	116.1	11,076.6
2081	17,968.8	5,508.6	12,460.1	3,881.0	0.0	102.0	12,788.5
2082	9,465.4	4,979.7	4,485.7	3,301.4	164.7	107.8	4,382.3
2083	22,473.7	3,661.5	18,812.2	1,765.2	1,701.0	115.5	18,725.3
2084	21,117.2	4,250.9	16,866.3	3,251.1	215.0	108.4	16,651.4
2085	16,951.4	3,958.8	12,992.5	1,539.7	1,926.4	116.1	12,921.4
2086	18,368.6	4,134.4	14,234.3	2,544.9	921.3	113.0	14,073.0
2087	20,343.8	5,025.1	15,318.7	2,381.4	1,084.7	113.6	15,301.6
2088	24,673.1	2,517.7	22,155.4	780.0	2,686.1	117.7	20,882.5
2089	16,357.1	4,194.6	12,162.5	3,230.3	235.8	108.7	12,050.2
2090	14,853.2	4,843.6	10,009.6	3,138.9	327.3	109.6	9,776.3
2091	19,598.1	4,029.8	15,568.3	2,117.0	1,349.1	114.5	15,224.9
2092	14,741.7	3,366.5	11,375.2	792.7	2,673.5	117.7	11,166.5
2093	20,309.8	3,985.6	16,324.2	1,599.8	1,866.4	115.9	15,660.3
2094	14,246.6	4,341.1	9,905.6	2,294.9	1,171.2	113.9	9,599.0
2095	19,496.0	5,029.1	14,466.8	3,415.7	50.4	105.7	14,066.1
2096	32,713.5	4,580.0	28,133.5	1,627.8	1,838.3	115.9	27,419.5
2097	27,763.7	4,034.7	23,729.0	1,453.5	2,012.6	116.3	23,406.3
2098	23,263.0	3,537.0	19,725.9	1,261.3	2,204.9	116.7	19,619.8
2099	17,372.1	3,648.9	13,723.2	913.8	2,552.3	117.5	13,388.3
평 균	18,768.0	4,291.1	14,476.9	2,242.5	1,246.1	112.7	14,203.2

5. 경상남도 남성저수지 필요수량 분석

5.1 경상남도 남성저수지 1995s 필요수량 분석

단위: mm

연 도	강 우 량	잠 재 증발산량	논벼작물 증발산량	필요수량	유효우량	순용수량	조용수량
1980	1,412.5	464.9	529.3	1,322.5	805.4	244.3	287.4
1981	1,106.7	495.2	576.5	1,370.3	582.8	445.0	523.5
1982	799.1	485.8	567.7	1,369.5	514.7	593.2	697.9
1983	1,029.7	510.5	598.9	1,392.3	606.3	543.0	638.8
1984	1,244.5	502.5	590.8	1,385.9	669.0	419.2	493.2
1985	1,425.6	499.8	589.4	1,386.0	638.7	514.4	605.2
1986	824.3	480.4	562.6	1,360.9	583.0	492.0	578.9
1987	1,149.0	469.3	542.4	1,342.3	769.1	350.7	412.6
1988	728.3	496.6	577.8	1,374.4	540.8	574.7	676.1
1989	1,517.8	477.1	557.5	1,350.0	725.4	302.5	355.9
1990	952.1	512.9	609.1	1,409.4	700.6	500.2	588.4
1991	1,376.7	485.6	566.0	1,368.9	716.3	301.3	354.5
1992	657.3	535.9	626.6	1,419.4	446.2	721.9	849.3
1993	1,225.6	455.3	520.8	1,313.6	779.1	323.6	380.7
1994	433.0	596.2	709.6	1,502.0	370.4	881.6	1,037.2
1995	742.9	551.9	654.2	1,446.3	615.9	618.7	727.9
1996	784.0	514.8	606.9	1,401.6	567.4	575.5	677.0
1997	1,049.2	531.5	619.6	1,416.7	564.1	608.5	715.9
1998	1,259.5	495.6	577.1	1,375.4	790.4	409.3	481.5
1999	1,361.3	510.1	586.0	1,383.7	783.3	334.5	393.5
2000	1,102.8	525.2	614.9	1,409.9	671.8	391.8	460.9
2001	847.8	533.9	628.3	1,419.0	567.2	556.3	654.4
2002	1,355.0	511.4	597.3	1,388.6	666.4	537.8	632.8
2003	1,566.0	453.2	526.8	1,328.1	944.6	186.2	219.1
2004	1,104.9	532.2	631.0	1,424.9	643.2	583.5	686.4
2005	812.1	537.4	621.2	1,411.1	577.1	549.8	646.8
2006	1,308.1	499.7	592.5	1,389.1	690.0	453.1	533.1
2007	1,097.9	511.5	592.8	1,390.0	552.5	514.1	604.8
2008	665.8	517.3	608.8	1,409.3	440.0	624.9	735.2
2009	1,305.9	496.9	570.6	1,361.4	636.7	452.5	532.3
평 균	1,074.8	506.3	591.8	1,387.4	638.6	486.8	572.7

5.2 경상남도 남성저수지 2025s 필요수량 분석

단위: mm

연 도	강 우 량	잠 재 증발산량	논벼작물 증발산량	필요수량	유효우량	순용수량	조용수량
2010	980.2	492.1	566.3	1,367.8	643.4	488.1	574.2
2011	628.6	520.8	602.1	1,402.7	450.2	682.9	803.4
2012	703.3	491.8	566.9	1,367.7	497.5	605.3	712.1
2013	798.1	520.6	605.5	1,403.0	571.9	604.5	711.2
2014	1,050.9	495.3	569.1	1,368.9	634.5	502.8	591.5
2015	743.7	515.4	595.5	1,391.4	496.4	607.5	714.7
2016	828.5	504.3	579.6	1,378.4	586.8	532.8	626.8
2017	611.1	526.1	611.6	1,409.8	447.6	733.6	863.0
2018	799.4	495.1	567.7	1,365.1	496.8	626.9	737.5
2019	669.5	501.7	580.5	1,379.9	497.7	614.1	722.4
2020	826.0	484.7	554.8	1,353.4	569.1	534.3	628.6
2021	717.4	532.1	617.0	1,413.4	507.2	694.6	817.2
2022	937.9	496.8	570.7	1,368.2	563.7	583.5	686.5
2023	697.4	522.3	608.0	1,405.9	542.8	652.7	767.9
2024	887.7	494.1	566.4	1,367.2	610.0	535.6	630.1
2025	547.7	504.6	582.4	1,382.4	329.6	757.5	891.2
2026	659.4	518.1	599.1	1,398.6	456.3	675.8	795.1
2027	791.0	514.0	589.7	1,384.7	471.6	662.6	779.6
2028	856.3	522.2	603.5	1,401.1	506.9	647.5	761.8
2029	565.1	523.9	606.4	1,403.2	440.6	736.7	866.7
2030	818.1	527.5	609.7	1,411.4	521.6	653.8	769.1
2031	602.6	500.6	571.9	1,373.7	474.5	672.0	790.6
2032	807.8	502.7	581.9	1,382.5	525.9	612.8	721.0
2033	877.1	514.4	592.9	1,388.2	505.3	676.7	796.1
2034	1,101.1	512.5	592.0	1,390.9	585.4	593.3	698.0
2035	824.9	503.0	581.8	1,381.2	532.7	623.3	733.3
2036	918.7	509.5	589.1	1,389.7	603.3	541.5	637.1
2037	799.6	529.1	612.9	1,411.5	457.8	684.6	805.4
2038	815.6	521.6	602.9	1,399.8	527.3	623.3	733.3
2039	647.0	521.2	601.7	1,399.1	420.3	720.7	847.8
평 균	783.7	510.6	589.3	1,388.0	515.8	629.4	740.5

5.3 경상남도 남성저수지 2055s 필요수량 분석

단위: mm

연 도	강 우 량	잠 재 증발산량	논벼작물 증발산량	필요수량	유효우량	순용수량	조용수량
2040	620.6	505.0	563.9	1,365.3	448.1	697.8	820.9
2041	580.1	513.9	580.8	1,385.0	380.4	710.3	835.6
2042	721.5	521.2	583.0	1,382.2	480.9	714.1	840.2
2043	728.1	513.0	578.7	1,382.6	454.1	616.8	725.6
2044	820.6	491.8	550.6	1,352.0	564.5	565.0	664.7
2045	939.2	519.8	582.8	1,383.1	467.8	603.7	710.2
2046	1,018.2	495.2	554.3	1,357.1	624.0	517.8	609.2
2047	614.3	521.8	582.7	1,383.2	329.3	722.2	849.6
2048	685.9	511.4	566.8	1,368.5	414.0	719.8	846.8
2049	1,076.1	498.5	554.2	1,356.8	466.5	575.5	677.1
2050	1,024.6	497.5	554.5	1,356.5	617.7	526.2	619.0
2051	732.9	524.7	585.7	1,387.5	440.2	646.6	760.7
2052	814.0	510.4	566.8	1,365.9	550.9	635.7	747.9
2053	873.3	522.6	588.6	1,389.9	453.9	623.6	733.7
2054	968.7	495.6	549.3	1,347.2	571.5	544.4	640.5
2055	582.9	514.5	579.1	1,382.7	403.2	651.7	766.7
2056	653.5	508.6	565.9	1,365.7	476.5	657.7	773.7
2057	512.3	530.7	600.2	1,402.5	319.8	787.2	926.2
2058	705.6	512.7	571.0	1,370.9	464.1	731.2	860.2
2059	786.4	514.5	577.5	1,381.9	447.4	613.7	722.0
2060	992.7	513.7	570.9	1,371.9	578.6	572.6	673.6
2061	722.5	528.5	593.6	1,395.5	425.0	651.9	767.0
2062	753.6	521.2	579.0	1,377.9	523.6	628.3	739.1
2063	567.9	530.7	601.0	1,402.7	350.0	718.0	844.7
2064	657.1	519.8	576.7	1,376.7	477.7	663.3	780.4
2065	928.1	502.5	562.3	1,361.0	496.1	565.2	664.9
2066	1,021.9	498.6	550.3	1,348.8	645.9	521.9	613.9
2067	786.4	528.3	594.8	1,396.6	364.5	738.1	868.3
2068	859.9	512.3	569.7	1,370.7	494.1	684.4	805.2
2069	470.5	537.8	601.9	1,401.0	314.7	755.3	888.6
평 균	774.0	513.9	574.6	1,375.6	468.2	645.3	759.2

5.4 경상남도 남성저수지 2085s 필요수량 분석

단위: mm

연 도	강 우 량	잠 재 증발산량	논벼작물 증발산량	필요수량	유효우량	순용수량	조용수량
2070	867.6	502.8	552.5	1,346.8	466.1	656.8	772.7
2071	860.2	530.1	591.7	1,380.5	391.6	730.5	859.4
2072	1,033.5	497.1	546.2	1,339.6	568.5	569.9	670.5
2073	770.0	533.7	592.6	1,387.6	367.1	753.4	886.4
2074	858.4	523.8	578.1	1,373.9	499.6	662.7	779.6
2075	562.6	542.5	603.3	1,399.2	366.9	754.0	887.1
2076	807.2	527.7	580.2	1,371.2	510.6	634.3	746.2
2077	1,219.5	507.2	567.3	1,363.7	481.1	622.1	731.9
2078	1,353.3	493.1	543.7	1,339.7	762.0	384.0	451.8
2079	580.1	529.1	589.6	1,384.7	383.5	712.7	838.5
2080	888.9	518.2	571.8	1,365.7	580.0	569.3	669.8
2081	609.0	528.7	588.7	1,387.2	426.9	683.6	804.3
2082	926.7	500.1	549.1	1,344.5	596.2	521.3	613.3
2083	731.8	541.7	604.2	1,399.0	346.3	789.9	929.3
2084	980.8	540.2	601.2	1,394.1	537.5	667.0	784.7
2085	984.1	543.8	603.2	1,400.0	426.5	711.8	837.5
2086	1,116.1	511.8	563.2	1,355.8	606.8	540.5	635.9
2087	782.0	521.4	584.5	1,380.3	463.6	658.6	774.9
2088	1,154.2	514.2	569.2	1,365.7	643.1	508.4	598.1
2089	869.3	532.5	595.5	1,392.1	455.2	668.6	786.6
2090	1,148.5	523.1	578.9	1,373.3	651.9	504.0	593.0
2091	633.2	530.6	595.0	1,391.4	358.6	765.8	901.0
2092	837.7	530.8	587.7	1,380.0	511.8	659.3	775.6
2093	833.2	528.2	587.5	1,380.7	450.3	662.5	779.4
2094	1,068.6	526.5	581.3	1,374.5	597.8	548.3	645.0
2095	568.1	533.4	590.0	1,383.7	321.5	792.3	932.1
2096	1,116.4	534.9	592.1	1,382.8	534.2	645.5	759.4
2097	704.2	539.6	603.6	1,399.3	323.9	804.7	946.7
2098	894.2	517.3	567.7	1,361.1	552.7	608.0	715.3
2099	720.6	544.1	603.5	1,396.5	420.7	697.8	820.9
평 균	882.7	524.9	582.1	1,376.5	486.8	649.6	764.2

6. 경상남도 남성저수지 물수지 분석

6.1 경상남도 남성저수지 1995s 물수지 분석

단위: 천㎥

연 도	유 입 량	전 체 필요수량	물 수 지	연 최 대 필요저수량	연 최저수량	연 최저수위	무효방류량
1980	4,670.6	637.2	4,033.4	314.4	1,314.9	97.6	4,033.4
1981	3,206.8	1,160.6	2,046.2	461.4	1,167.9	96.8	2,046.2
1982	2,283.2	1,547.2	736.0	940.9	688.4	93.8	736.0
1983	3,317.3	1,416.3	1,901.0	662.0	967.3	95.7	1,902.2
1984	3,338.2	1,093.4	2,244.9	336.8	1,292.5	97.4	2,243.7
1985	5,053.3	1,341.8	3,711.5	573.7	1,055.6	96.2	3,711.5
1986	2,462.6	1,283.3	1,179.3	465.1	1,164.2	96.8	1,179.3
1987	3,156.8	914.7	2,242.1	569.6	1,059.7	96.2	2,242.1
1988	1,790.4	1,499.0	291.5	552.5	1,076.8	96.3	533.4
1989	5,322.4	789.0	4,533.5	242.4	1,386.9	97.9	4,291.6
1990	3,318.2	1,304.5	2,013.7	653.6	975.7	95.7	2,013.7
1991	4,504.3	785.9	3,718.3	274.3	1,355.0	97.7	3,718.3
1992	2,341.9	1,883.0	459.0	1,160.5	468.8	91.9	811.4
1993	3,509.8	843.9	2,665.8	351.7	1,277.6	97.4	2,313.4
1994	1,384.9	2,299.4	-914.5	1,821.7	0.1	76.2	623.8
1995	1,913.9	1,613.7	300.2	1,661.2	160.5	87.6	0.0
1996	2,270.5	1,501.0	769.5	1,239.9	581.8	92.9	46.7
1997	3,251.3	1,587.2	1,664.1	577.8	1,051.5	96.2	1,341.2
1998	4,577.3	1,067.5	3,509.7	349.0	1,280.3	97.4	3,510.1
1999	4,826.0	872.4	3,953.6	460.8	1,168.5	96.8	3,953.2
2000	3,541.0	1,021.9	2,519.1	604.5	1,024.8	96.0	2,519.2
2001	2,451.6	1,450.9	1,000.7	663.6	965.7	95.6	1,000.6
2002	4,259.3	1,402.8	2,856.5	779.1	850.2	94.9	2,856.5
2003	5,138.6	485.8	4,652.8	220.0	1,409.3	98.0	4,652.8
2004	3,568.5	1,521.9	2,046.6	604.9	1,024.4	96.0	2,046.6
2005	2,252.8	1,434.1	818.8	563.8	1,065.5	96.2	869.3
2006	3,824.6	1,181.9	2,642.7	545.5	1,083.8	96.3	2,808.9
2007	3,886.8	1,340.9	2,545.9	681.8	947.5	95.5	2,329.2
2008	1,649.3	1,629.9	19.4	1,014.4	614.9	93.2	939.6
2009	3,689.3	1,180.2	2,509.1	922.3	707.0	93.9	1,785.0
평 균	3,358.7	1,269.7	2,089.0	675.6	972.9	95.0	2,102.0

6.2 경상남도 남성저수지 2025s 물수지 분석

단위: 천㎥

연 도	유 입 량	전 체 필요수량	물 수 지	연 최 대 필요저수량	연 최저수량	연 최저수위	무효방류량
2010	4,286.8	1,265.0	3,021.7	574.1	1,055.2	96.2	3,021.7
2011	2,520.1	1,769.9	750.2	832.3	797.0	94.5	1,547.1
2012	4,035.1	1,568.7	2,466.4	1,018.3	611.0	93.1	1,669.5
2013	2,982.3	1,566.8	1,415.4	652.3	977.0	95.7	1,954.3
2014	4,491.3	1,303.2	3,188.2	617.7	1,011.6	95.9	2,649.3
2015	3,567.1	1,574.5	1,992.6	685.3	944.0	95.5	2,631.2
2016	4,052.7	1,380.9	2,671.8	748.6	880.7	95.1	2,033.2
2017	2,637.8	1,901.2	736.5	1,037.2	592.1	93.0	1,673.8
2018	3,872.6	1,624.7	2,247.8	1,117.4	511.9	92.3	1,310.6
2019	3,524.4	1,591.6	1,932.9	666.1	963.2	95.6	2,507.8
2020	4,181.0	1,384.8	2,796.2	837.6	791.7	94.5	2,221.4
2021	2,791.0	1,800.3	990.7	826.6	802.7	94.6	1,793.0
2022	3,947.6	1,512.3	2,435.3	931.5	697.8	93.8	1,633.1
2023	2,852.3	1,691.8	1,160.6	794.5	834.8	94.8	1,936.5
2024	4,067.6	1,388.1	2,679.5	779.2	850.1	94.9	1,903.6
2025	3,215.4	1,963.3	1,252.1	1,190.3	439.0	91.6	2,412.0
2026	2,959.4	1,751.5	1,207.8	1,299.0	330.3	90.3	765.0
2027	2,968.5	1,717.4	1,251.1	882.2	747.1	94.2	1,365.7
2028	4,218.7	1,678.3	2,540.4	1,124.0	505.3	92.2	1,708.9
2029	2,302.8	1,909.4	393.4	1,049.9	579.4	92.9	1,329.3
2030	3,468.7	1,694.4	1,774.3	1,296.7	332.6	90.3	889.1
2031	3,015.3	1,741.8	1,273.5	781.9	847.4	94.9	1,947.1
2032	3,456.1	1,588.3	1,867.8	1,114.2	515.1	92.3	1,143.5
2033	3,671.2	1,753.8	1,917.4	821.2	808.1	94.6	2,659.4
2034	5,443.5	1,537.8	3,905.7	967.7	661.6	93.5	3,163.6
2035	3,508.9	1,615.4	1,893.5	778.7	850.6	94.9	2,669.1
2036	3,598.6	1,403.5	2,195.0	779.3	850.0	94.9	1,419.5
2037	3,324.8	1,774.3	1,550.4	895.2	734.1	94.1	2,388.2
2038	3,844.5	1,615.5	2,229.0	1,001.6	627.7	93.3	1,391.2
2039	2,832.2	1,867.8	964.4	938.7	690.6	93.8	1,880.8
평 균	3,521.3	1,631.2	1,890.1	901.3	728.0	93.9	1,920.6

6.3 경상남도 남성저수지 2055s 물수지 분석

단위: 천㎥

연 도	유 입 량	전 체 필요수량	물 수 지	연 최 대 필요저수량	연 최저수량	연 최저수위	무효방류량
2040	3,132.6	1,775.7	1,356.9	1,138.1	491.2	92.1	1,773.5
2041	3,037.1	1,807.5	1,229.7	1,297.9	331.4	90.3	2,079.1
2042	4,779.9	1,817.3	2,962.6	1,268.7	360.6	90.7	1,696.6
2043	3,506.0	1,569.5	1,936.5	982.1	647.2	93.4	2,794.1
2044	4,922.1	1,437.7	3,484.4	860.2	769.1	94.3	2,626.7
2045	4,049.1	1,536.2	2,512.9	940.5	688.8	93.8	3,364.9
2046	5,634.3	1,317.7	4,316.6	855.3	774.0	94.4	3,464.6
2047	2,139.5	1,837.7	301.7	1,387.2	242.1	89.1	1,634.0
2048	3,926.0	1,831.6	2,094.4	1,333.8	295.5	89.9	762.2
2049	3,976.3	1,464.6	2,511.7	860.1	769.2	94.3	3,335.9
2050	4,541.5	1,338.9	3,202.6	827.2	802.1	94.6	2,378.4
2051	3,753.3	1,645.4	2,107.9	1,051.6	577.7	92.9	3,108.4
2052	4,946.1	1,617.7	3,328.3	1,003.7	625.6	93.3	2,327.8
2053	4,387.0	1,586.9	2,800.1	976.4	652.9	93.5	3,718.7
2054	5,054.4	1,385.3	3,669.1	922.1	707.2	93.9	2,750.4
2055	3,488.1	1,658.5	1,829.6	1,116.0	513.3	92.3	2,889.6
2056	3,984.7	1,673.6	2,311.2	1,062.8	566.5	92.8	1,251.2
2057	3,242.8	2,003.3	1,239.5	1,660.5	0.1	76.2	2,781.2
2058	4,775.9	1,860.7	2,915.2	1,541.8	118.8	86.6	1,404.8
2059	3,691.3	1,561.8	2,129.5	842.0	787.3	94.5	2,958.4
2060	5,563.9	1,457.0	4,106.9	833.0	796.3	94.5	3,278.1
2061	3,286.5	1,659.0	1,627.4	1,089.2	540.1	92.5	2,669.8
2062	4,162.2	1,598.8	2,563.5	1,046.0	583.3	92.9	1,521.1
2063	2,763.5	1,827.0	936.5	1,294.5	334.8	90.4	2,137.5
2064	3,603.8	1,688.0	1,915.9	1,203.7	425.6	91.4	714.8
2065	3,805.3	1,438.2	2,367.1	895.6	733.7	94.1	3,175.5
2066	6,500.3	1,328.0	5,172.3	812.3	817.0	94.7	4,364.0
2067	3,798.9	1,878.2	1,920.7	1,375.3	254.0	89.3	3,225.0
2068	5,513.7	1,741.7	3,772.0	1,306.7	322.6	90.2	2,467.7
2069	2,070.1	1,922.0	148.1	1,539.0	90.3	85.8	1,607.6
평 균	4,067.9	1,642.2	2,425.7	1,110.8	520.6	91.6	2,475.4

6.4 경상남도 남성저수지 2085s 물수지 분석

단위: 천㎥

연 도	유 입 량	전 체 필요수량	물 수 지	연 최 대 필요저수량	연 최저수량	연 최저수위	무효방류량
2070	4,119.5	1,639.8	2,479.7	1,124.9	504.4	92.2	2,479.7
2071	3,930.1	1,823.7	2,106.4	1,337.2	292.1	89.8	3,404.8
2072	5,570.3	1,422.7	4,147.6	1,300.8	328.5	90.3	2,849.2
2073	3,855.5	1,880.9	1,974.5	1,361.9	267.4	89.5	3,288.2
2074	4,046.1	1,654.4	2,391.7	1,316.2	313.1	90.1	1,156.5
2075	3,682.1	1,882.4	1,799.7	1,320.9	308.4	90.0	3,019.4
2076	4,186.7	1,583.4	2,603.2	1,300.9	328.4	90.3	1,305.1
2077	5,105.3	1,553.2	3,552.1	1,023.7	605.6	93.1	4,534.5
2078	5,863.1	958.7	4,904.4	987.0	642.3	93.4	3,922.0
2079	3,631.2	1,779.2	1,851.9	1,225.1	404.2	91.2	3,035.1
2080	4,727.2	1,421.3	3,306.0	1,186.4	442.9	91.6	2,122.8
2081	3,933.5	1,706.6	2,226.9	1,150.2	479.1	92.0	3,319.7
2082	5,056.7	1,301.5	3,755.2	1,095.2	534.1	92.5	2,662.4
2083	4,178.2	1,972.0	2,206.1	1,433.8	195.5	88.3	3,602.6
2084	5,261.2	1,665.1	3,596.1	1,398.6	230.7	88.9	2,199.6
2085	4,790.0	1,777.1	3,012.9	1,252.6	376.7	90.9	4,204.5
2086	5,289.8	1,349.4	3,940.4	1,194.7	434.6	91.5	2,748.9
2087	4,316.8	1,644.3	2,672.6	1,073.8	555.5	92.7	3,710.9
2088	6,074.5	1,269.3	4,805.3	1,041.9	587.4	93.0	3,766.9
2089	3,482.8	1,669.3	1,813.5	1,117.6	511.7	92.3	2,920.3
2090	5,062.0	1,258.3	3,803.8	1,110.8	518.5	92.3	2,696.9
2091	3,271.6	1,911.9	1,359.8	1,385.7	243.6	89.1	2,745.5
2092	4,037.4	1,645.9	2,391.5	1,387.7	241.6	89.1	1,005.8
2093	3,973.9	1,653.9	2,319.9	1,069.0	560.3	92.7	3,345.6
2094	4,751.4	1,368.7	3,382.6	1,029.8	599.5	93.1	2,357.0
2095	4,024.2	1,977.9	2,046.3	1,520.8	108.5	86.4	3,435.2
2096	6,577.1	1,611.5	4,965.6	1,389.4	239.9	89.1	3,576.8
2097	3,488.7	2,008.8	1,479.9	1,516.5	112.8	86.5	2,961.6
2098	4,349.1	1,517.8	2,831.3	1,483.3	146.0	87.3	1,349.6
2099	3,603.0	1,742.0	1,861.0	1,132.9	496.4	92.1	2,993.9
평 균	4,474.6	1,621.7	2,852.9	1,242.3	387.0	90.7	2,890.7

7. 경상북도 마북저수지

7.1 경상북도 마북저수지 1995s 필요수량 분석

단위: mm

연 도	강 우 량	잠 재 증발산량	논벼작물 증발산량	필요수량	유효우량	순용수량	조용수량
1980	973.4	499.7	560.2	1,469.6	684.8	461.5	542.9
1981	544.1	560.4	645.1	1,554.5	308.1	829.8	976.3
1982	467.4	561.5	648.1	1,562.4	382.6	774.0	910.6
1983	805.2	564.8	657.7	1,568.0	582.7	649.0	763.6
1984	726.7	529.1	619.5	1,532.9	533.2	651.2	766.1
1985	561.5	562.6	656.2	1,568.1	447.5	785.5	924.2
1986	527.5	520.9	607.0	1,520.9	395.6	771.0	907.1
1987	795.0	538.1	614.5	1,526.9	538.9	650.2	765.0
1988	661.4	528.6	608.2	1,527.8	469.6	685.6	806.6
1989	646.5	553.2	640.3	1,550.6	485.2	661.1	777.8
1990	592.3	554.7	653.1	1,570.6	506.5	755.7	889.0
1991	1,119.0	541.7	624.5	1,545.0	568.4	550.7	647.8
1992	528.5	575.3	668.4	1,579.1	383.1	835.7	983.1
1993	1,061.5	448.5	512.0	1,425.9	694.6	473.6	557.2
1994	316.1	651.2	776.7	1,688.5	266.8	1,099.6	1,293.6
1995	563.1	602.2	709.8	1,617.0	431.0	874.3	1,028.6
1996	633.3	537.2	629.6	1,541.2	431.7	759.4	893.5
1997	710.6	588.1	685.7	1,603.9	525.8	728.0	856.4
1998	928.9	526.3	605.9	1,516.1	664.8	555.1	653.0
1999	1,021.2	520.7	589.7	1,502.3	750.8	420.4	494.6
2000	443.5	551.6	644.0	1,556.2	359.9	805.9	948.1
2001	720.4	596.0	698.7	1,608.7	399.6	873.3	1,027.4
2002	859.6	564.0	659.8	1,564.5	489.4	817.7	961.9
2003	1,534.2	494.0	573.0	1,498.7	945.0	303.3	356.8
2004	1,119.4	559.1	654.7	1,565.9	580.0	708.4	833.4
2005	908.7	592.1	688.0	1,593.8	430.4	788.8	928.0
2006	930.2	530.4	626.8	1,547.3	557.9	690.5	812.3
2007	749.6	523.8	605.1	1,523.5	572.3	567.3	667.4
2008	616.1	531.7	618.7	1,541.3	509.8	654.8	770.3
2009	635.7	539.1	616.6	1,525.5	532.6	654.9	770.4
평 균	756.7	548.2	636.6	1,549.9	514.3	694.5	817.1

7.2 경상북도 마북저수지 2025s 필요수량 분석

단위: mm

연 도	강 우 량	잠 재 증발산량	논벼작물 증발산량	필요수량	유효우량	순용수량	조용수량
2010	1,025.1	643.0	735.1	1,646.8	710.9	634.1	746.0
2011	627.1	681.4	781.9	1,693.0	460.7	934.9	1,099.9
2012	739.8	635.4	729.7	1,642.6	575.8	762.6	897.2
2013	845.4	666.0	769.2	1,685.9	588.3	804.2	946.2
2014	1,067.0	639.7	736.2	1,651.2	683.3	659.2	775.5
2015	659.5	670.2	772.5	1,689.0	519.6	880.9	1,036.4
2016	905.5	627.9	718.2	1,631.4	573.5	738.8	869.2
2017	598.0	668.6	764.6	1,678.5	425.0	962.3	1,132.1
2018	757.1	647.0	739.9	1,652.6	533.3	809.8	952.7
2019	643.4	677.8	780.9	1,696.1	508.4	904.2	1,063.8
2020	941.6	655.2	746.4	1,656.3	581.3	775.9	912.8
2021	853.6	682.0	782.2	1,697.2	491.4	902.0	1,061.1
2022	972.5	629.4	719.1	1,633.2	638.0	700.4	824.0
2023	802.4	674.6	773.2	1,683.3	461.9	935.4	1,100.5
2024	842.5	639.1	733.4	1,646.6	632.6	740.5	871.2
2025	635.7	686.0	787.2	1,699.3	491.0	917.3	1,079.2
2026	872.5	628.9	720.1	1,637.5	570.7	759.5	893.6
2027	698.7	681.6	785.4	1,702.4	444.6	933.4	1,098.2
2028	654.9	651.6	745.1	1,655.0	510.4	818.8	963.3
2029	740.8	682.7	784.0	1,693.8	441.3	964.8	1,135.0
2030	834.5	659.6	751.8	1,661.2	589.7	768.4	904.0
2031	573.1	678.4	773.7	1,683.2	498.3	898.0	1,056.5
2032	808.1	649.8	743.5	1,654.0	561.6	781.2	919.1
2033	816.5	698.5	802.1	1,712.5	506.5	913.7	1,074.9
2034	1,021.8	658.8	754.5	1,666.7	634.8	740.4	871.1
2035	782.6	680.6	784.0	1,699.8	537.8	868.0	1,021.1
2036	1,034.7	658.0	753.7	1,667.2	650.8	708.0	833.0
2037	759.5	677.3	777.9	1,691.0	534.3	871.2	1,024.9
2038	845.4	647.2	739.8	1,649.5	617.7	721.4	848.8
2039	590.8	697.9	803.8	1,716.4	458.5	962.1	1,131.9
평 균	798.3	662.5	759.6	1,672.4	547.7	825.7	971.4

7.3 경상북도 마북저수지 2055s 필요수량 분석

단위: mm

연 도	강 우 량	잠 재 증발산량	논벼작물 증발산량	필요수량	유효우량	순용수량	조용수량
2040	768.2	654.1	726.9	1,637.1	538.3	781.9	919.9
2041	681.8	672.4	755.2	1,661.6	426.2	987.7	1,162.0
2042	880.4	670.9	744.3	1,653.5	588.4	796.5	937.1
2043	795.5	681.5	764.3	1,669.9	513.6	907.8	1,068.0
2044	992.0	657.3	733.1	1,644.4	664.4	719.2	846.2
2045	843.7	682.5	765.0	1,673.3	532.4	880.7	1,036.2
2046	1,017.6	663.8	736.1	1,646.0	721.9	659.0	775.3
2047	648.9	693.1	774.0	1,679.4	486.2	947.3	1,114.4
2048	754.6	669.3	745.9	1,653.4	574.6	741.5	872.4
2049	961.2	671.4	752.9	1,656.3	562.8	836.8	984.5
2050	1,135.3	656.3	729.0	1,635.1	813.1	572.0	673.0
2051	745.0	692.4	773.5	1,675.5	484.7	941.1	1,107.1
2052	859.6	676.6	755.4	1,662.8	647.5	743.1	874.2
2053	776.3	664.4	742.4	1,642.8	545.6	842.3	990.9
2054	1,205.4	672.3	750.1	1,663.5	675.5	683.0	803.5
2055	611.7	706.3	791.3	1,692.3	419.4	1,023.9	1,204.6
2056	793.1	688.0	767.9	1,678.9	560.3	834.2	981.4
2057	919.6	693.7	774.4	1,675.9	492.8	937.5	1,102.9
2058	1,087.4	681.8	757.3	1,666.0	698.8	732.9	862.2
2059	899.5	676.6	763.2	1,670.8	571.9	842.3	990.9
2060	1,205.2	665.7	736.3	1,643.3	781.1	600.1	706.0
2061	899.5	676.6	763.2	1,670.8	571.9	842.3	990.9
2062	1,205.2	666.9	738.0	1,645.0	781.3	601.7	707.9
2063	593.6	705.9	787.6	1,692.8	481.4	966.9	1,137.6
2064	761.5	684.8	759.3	1,665.5	582.1	751.5	884.1
2065	593.7	712.2	799.4	1,704.4	455.2	999.8	1,176.2
2066	750.3	687.1	767.6	1,674.5	579.7	779.1	916.6
2067	858.9	688.2	772.4	1,675.7	540.7	873.7	1,027.9
2068	1,031.3	672.5	748.7	1,659.2	785.7	614.0	722.4
2069	858.9	687.2	770.5	1,677.0	541.3	875.2	1,029.6
평 균	871.2	679.1	758.2	1,664.9	587.3	810.5	953.5

7.4 경상북도 마북저수지 2085s 필요수량 분석

단위: mm

연 도	강 우 량	잠 재 증발산량	논벼작물 증발산량	필요수량	유효우량	순용수량	조용수량
2070	1,011.7	671.6	739.6	1,636.2	752.6	633.3	745.1
2071	524.7	684.1	762.5	1,666.6	408.8	1,001.7	1,178.5
2072	701.2	660.1	724.5	1,623.0	535.9	796.9	937.5
2073	896.2	686.5	759.0	1,664.9	518.6	918.9	1,081.0
2074	1,045.5	672.6	742.7	1,641.3	756.9	679.1	798.9
2075	765.0	718.6	801.9	1,705.3	393.1	1,060.3	1,247.5
2076	1,044.6	692.6	764.1	1,661.7	631.3	813.1	956.6
2077	506.7	697.1	767.3	1,668.5	405.1	1,007.6	1,185.4
2078	713.0	698.0	767.9	1,661.1	549.5	835.3	982.7
2079	982.7	662.8	737.1	1,645.1	616.6	783.7	922.0
2080	1,647.8	639.0	700.6	1,596.4	829.1	526.4	619.3
2081	617.1	674.9	743.2	1,646.7	471.6	941.3	1,107.5
2082	931.9	679.1	747.4	1,643.6	623.3	760.6	894.9
2083	697.5	692.1	768.8	1,671.8	500.8	926.4	1,089.8
2084	962.0	687.4	759.3	1,655.7	683.7	718.9	845.7
2085	891.7	712.1	793.6	1,699.5	508.1	959.4	1,128.7
2086	1,069.5	690.3	765.5	1,661.2	761.9	679.3	799.2
2087	806.6	674.0	751.1	1,652.0	464.9	953.1	1,121.3
2088	1,075.1	674.6	745.8	1,639.8	669.5	744.7	876.1
2089	786.3	680.5	758.4	1,663.5	544.5	884.3	1,040.3
2090	1,049.6	674.1	744.8	1,643.4	761.1	649.0	763.6
2091	829.8	699.9	779.7	1,682.5	532.4	913.2	1,074.3
2092	1,171.3	663.7	732.5	1,630.2	751.3	649.1	763.7
2093	639.2	706.5	786.4	1,687.7	438.7	1,014.9	1,194.0
2094	964.8	693.2	770.5	1,669.7	617.9	804.7	946.7
2095	932.9	692.8	771.5	1,677.6	549.6	894.9	1,052.8
2096	1,256.8	693.4	763.6	1,657.9	794.2	637.3	749.7
2097	819.3	703.1	781.2	1,681.2	487.4	965.9	1,136.3
2098	943.1	701.9	771.9	1,667.8	717.4	745.2	876.7
2099	684.0	694.1	776.5	1,679.2	460.9	989.1	1,163.6
평 균	898.9	685.7	759.3	1,659.4	591.2	829.6	976.0

8. 경상북도 마북저수지 물수지 분석

8.1 경상북도 마북저수지 1995s 물수지 분석

단위: 천㎥

연 도	유 입 량	전 체 필요수량	물 수 지	연 최 대 필요저수량	연 최저수량	연 최저수위	무효방류량
1980	14,726.6	3,168.5	11,558.1	1,774.8	4,445.8	159.8	10,927.2
1981	8,116.7	5,697.6	2,419.1	3,614.4	2,606.2	154.0	2,326.1
1982	6,928.6	5,314.4	1,614.3	2,907.4	3,313.2	156.4	1,613.7
1983	11,958.0	4,456.3	7,501.7	1,625.5	4,595.1	160.2	7,053.7
1984	10,353.1	4,470.8	5,882.3	1,756.5	4,464.1	159.8	5,427.8
1985	12,237.6	5,393.4	6,844.2	2,071.2	4,149.4	158.9	6,414.0
1986	7,705.7	5,293.8	2,411.9	1,804.1	4,416.6	159.7	2,088.7
1987	10,914.4	4,464.5	6,449.9	1,551.7	4,669.0	160.4	6,304.3
1988	9,603.6	4,707.1	4,896.5	2,182.2	4,038.4	158.6	4,464.9
1989	15,524.8	4,539.1	10,985.7	1,215.3	5,005.4	161.3	10,596.9
1990	10,256.6	5,188.3	5,068.3	1,688.4	4,532.3	160.0	4,972.9
1991	17,560.1	3,780.8	13,779.3	1,446.2	4,774.4	160.7	12,996.6
1992	8,981.5	5,737.6	3,243.8	3,850.8	2,369.9	153.1	3,223.8
1993	15,297.4	3,251.8	12,045.7	1,836.4	4,384.2	159.6	11,858.7
1994	5,051.6	7,549.6	-2,498.1	6,130.9	89.8	135.0	1,836.7
1995	6,531.3	6,002.9	528.4	7,076.8	63.4	134.0	0.0
1996	9,138.4	5,214.3	3,924.2	4,024.9	3,115.3	155.8	1,836.4
1997	10,330.9	4,998.2	5,332.6	2,034.7	4,185.9	159.0	3,762.3
1998	23,220.9	3,811.0	19,409.9	984.0	5,236.6	161.9	18,640.6
1999	17,489.6	2,886.5	14,603.1	1,454.2	4,766.5	160.7	14,260.2
2000	8,412.6	5,533.3	2,879.3	2,621.1	3,599.5	157.3	2,685.9
2001	11,152.2	5,996.0	5,156.2	2,778.1	3,442.5	156.8	4,623.0
2002	12,336.2	5,613.9	6,722.3	2,984.1	3,236.6	156.2	5,990.8
2003	24,165.9	2,082.6	22,083.4	626.5	5,594.2	162.8	21,412.4
2004	15,105.0	4,863.6	10,241.3	1,867.8	4,352.8	159.5	9,210.8
2005	12,403.4	5,415.7	6,987.7	2,737.2	3,483.4	156.9	6,593.7
2006	13,983.9	4,740.6	9,243.3	2,146.2	4,074.5	158.7	8,865.3
2007	12,461.1	3,894.7	8,566.3	1,639.5	4,581.1	160.2	8,311.9
2008	8,222.8	4,495.6	3,727.2	1,450.6	4,770.0	160.7	3,512.8
2009	8,190.9	4,496.3	3,694.7	1,739.6	4,481.0	159.9	3,625.7
평 균	11,945.4	4,768.6	7,176.8	2,387.4	3,894.6	157.3	6,847.9

8.2 경상북도 마북저수지 2025s 물수지 분석

단위: 천㎥

연 도	유 입 량	전 체 필요수량	물 수 지	연 최 대 필요저수량	연 최저수량	연 최저수위	무효방류량
2010	16,312.1	4,353.7	11,958.3	1,022.8	5,197.9	161.8	11,508.7
2011	12,695.8	6,419.2	6,276.6	4,139.5	2,081.2	151.9	8,540.0
2012	12,106.0	5,235.9	6,870.1	2,584.2	3,636.4	157.4	3,924.4
2013	16,229.2	5,521.8	10,707.4	2,694.4	3,526.3	157.1	10,714.7
2014	17,036.1	4,526.1	12,510.0	1,288.0	4,932.7	161.1	11,787.3
2015	17,051.7	6,048.4	11,003.3	3,482.9	2,737.7	154.5	12,994.2
2016	14,265.5	5,072.8	9,192.6	2,221.9	3,998.7	158.5	6,359.3
2017	12,656.8	6,606.9	6,049.9	4,709.8	1,510.9	149.2	8,717.0
2018	11,598.5	5,559.7	6,038.9	3,003.5	3,217.1	156.1	2,727.6
2019	18,137.9	6,208.4	11,929.6	3,182.5	3,038.1	155.5	13,148.6
2020	16,833.4	5,327.3	11,506.1	1,376.7	4,843.9	160.9	10,080.1
2021	15,282.8	6,192.8	9,090.0	3,849.4	2,371.2	153.1	11,625.0
2022	14,457.4	4,809.1	9,648.3	2,844.3	3,376.3	156.6	6,331.4
2023	16,232.6	6,422.6	9,809.9	3,951.0	2,269.7	152.7	12,416.1
2024	13,962.4	5,084.3	8,878.1	2,865.4	3,355.2	156.5	5,650.0
2025	18,782.2	6,298.3	12,483.9	4,415.5	1,805.1	150.7	15,643.3
2026	15,733.0	5,214.8	10,518.2	3,534.5	2,686.2	154.3	5,985.7
2027	14,958.7	6,408.9	8,549.9	4,459.1	1,761.5	150.5	11,315.2
2028	11,289.5	5,621.8	5,667.7	3,056.2	3,164.5	155.9	3,203.4
2029	15,588.9	6,623.9	8,965.0	4,439.6	1,781.0	150.5	10,242.9
2030	13,619.7	5,275.5	8,344.2	2,575.0	3,645.6	157.4	5,419.9
2031	13,660.9	6,165.6	7,495.2	3,624.7	2,596.0	153.9	9,379.1
2032	13,035.2	5,363.6	7,671.6	2,001.3	4,219.3	159.1	5,261.5
2033	17,906.9	6,273.0	11,633.9	3,990.4	2,230.2	152.5	13,225.0
2034	17,280.8	5,083.7	12,197.1	2,410.0	3,810.7	157.9	9,999.1
2035	14,745.7	5,959.3	8,786.4	3,723.9	2,496.7	153.6	11,290.8
2036	14,595.9	4,861.3	9,734.7	3,021.1	3,199.6	156.0	6,541.0
2037	16,987.5	5,981.4	11,006.1	4,337.4	1,883.2	151.0	13,721.5
2038	14,377.3	4,953.4	9,423.9	3,169.3	3,051.3	155.5	6,330.5
2039	13,897.2	6,605.7	7,291.5	4,580.2	1,640.4	149.9	10,060.6
평 균	15,043.9	5,669.3	9,374.6	3,218.5	3,002.2	155.1	9,138.1

8.3 경상북도 마북저수지 2055s 물수지 분석

단위: 천㎥

연 도	유 입 량	전 체 필요수량	물 수 지	연 최 대 필요저수량	연 최저수량	연 최저수위	무효방류량
2040	12,919.1	5,368.4	7,550.8	2,333.0	3,887.7	158.2	8,130.4
2041	17,468.8	6,781.7	10,687.0	4,740.0	1,480.7	149.1	13,653.4
2042	15,412.8	5,468.9	9,943.9	3,845.7	2,375.0	153.1	6,712.6
2043	19,312.4	6,233.0	13,079.4	3,615.1	2,605.6	154.0	14,150.9
2044	15,988.2	4,938.2	11,050.1	2,172.5	4,048.1	158.6	8,752.3
2045	19,586.2	6,047.1	13,539.1	3,595.2	2,625.4	154.1	14,976.1
2046	17,174.0	4,524.8	12,649.3	1,759.3	4,461.3	159.8	10,466.6
2047	12,769.6	6,503.7	6,265.9	4,577.5	1,643.1	149.9	8,538.6
2048	11,890.3	5,091.4	6,798.9	2,669.8	3,550.8	157.2	3,966.9
2049	18,230.7	5,745.6	12,485.1	3,366.5	2,854.1	154.9	13,544.0
2050	16,424.2	3,927.5	12,496.7	1,897.8	4,322.8	159.4	10,229.6
2051	20,542.3	6,461.3	14,081.0	4,125.9	2,094.8	151.9	16,593.3
2052	15,994.1	5,101.9	10,892.3	2,741.8	3,478.8	156.9	8,081.7
2053	19,315.6	5,782.9	13,532.8	2,848.4	3,372.3	156.6	14,804.4
2054	20,924.2	4,689.2	16,235.0	1,495.0	4,725.6	160.6	14,358.8
2055	16,395.6	7,030.0	9,365.6	5,014.0	1,206.7	147.5	12,827.4
2056	14,133.4	5,727.2	8,406.2	3,518.8	2,701.8	154.3	5,323.6
2057	22,987.1	6,436.4	16,550.6	4,028.0	2,192.7	152.4	16,766.2
2058	19,152.3	5,031.9	14,120.4	2,675.8	3,544.8	157.1	12,733.3
2059	20,632.9	5,783.0	14,849.9	2,815.7	3,404.9	156.7	15,354.0
2060	20,756.3	4,120.5	16,635.9	1,489.1	4,731.5	160.6	15,649.0
2061	20,630.9	5,783.0	14,848.0	2,815.7	3,404.9	156.7	15,352.0
2062	20,756.3	4,131.5	16,624.9	1,491.4	4,729.3	160.6	15,644.6
2063	15,431.9	6,638.8	8,793.1	4,481.1	1,739.6	150.3	12,041.8
2064	13,824.2	5,159.5	8,664.7	3,308.8	2,911.8	155.1	5,255.2
2065	13,809.3	6,864.5	6,944.8	4,722.6	1,498.0	149.2	9,530.0
2066	11,277.1	5,349.1	5,928.0	3,003.5	3,217.2	156.1	2,829.8
2067	18,342.0	5,998.8	12,343.3	3,672.6	2,548.1	153.8	12,983.0
2068	16,662.7	4,215.7	12,446.9	1,308.3	4,912.3	161.1	10,319.4
2069	18,359.5	6,008.9	12,350.5	3,735.3	2,485.3	153.5	13,202.8
평 균	17,236.8	5,564.8	11,672.0	3,128.8	3,091.8	155.3	11,425.7

8.4 경상북도 마북저수지 2085s 물수지 분석

단위: 천㎥

연 도	유 입 량	전 체 필요수량	물 수 지	연 최 대 필요저수량	연 최저수량	연 최저수위	무효방류량
2070	17,322.0	4,348.4	12,973.6	1,025.8	5,194.8	161.8	12,572.8
2071	13,725.9	6,877.6	6,848.2	4,982.1	1,238.6	147.7	10,179.2
2072	10,989.4	5,471.1	5,518.2	3,414.4	2,806.2	154.7	2,180.7
2073	22,949.9	6,308.8	16,641.1	4,059.2	2,161.4	152.2	18,842.6
2074	18,876.3	4,662.4	14,213.9	2,731.1	3,489.6	157.0	11,347.6
2075	19,405.6	7,280.1	12,125.4	5,510.5	710.1	144.2	16,206.4
2076	17,950.4	5,582.8	12,367.6	4,389.8	1,830.8	150.8	9,296.8
2077	16,484.5	6,918.1	9,566.4	4,975.5	1,245.2	147.8	12,174.6
2078	13,796.4	5,734.9	8,061.4	4,178.8	2,041.8	151.7	4,490.2
2079	24,854.1	5,380.8	19,473.3	1,848.0	4,372.6	159.6	18,419.8
2080	27,555.4	3,614.3	23,941.1	719.6	5,501.0	162.6	22,823.4
2081	19,551.4	6,463.1	13,088.4	4,243.5	1,977.2	151.4	16,435.9
2082	16,841.1	5,222.4	11,618.6	3,533.4	2,687.2	154.3	8,868.6
2083	22,079.8	6,360.3	15,719.4	3,501.3	2,719.3	154.4	17,286.1
2084	18,506.1	4,935.6	13,570.5	2,676.5	3,544.1	157.1	10,796.1
2085	24,423.0	6,587.2	17,835.8	3,796.4	2,424.3	153.3	20,031.8
2086	20,059.6	4,664.0	15,395.6	2,471.2	3,749.4	157.8	12,583.5
2087	23,406.1	6,544.0	16,862.1	4,333.5	1,887.2	151.0	20,070.9
2088	19,187.2	5,113.0	14,074.2	3,564.5	2,656.2	154.2	10,917.8
2089	21,428.5	6,071.3	15,357.2	3,495.1	2,725.5	154.4	16,125.2
2090	18,359.8	4,456.1	13,903.6	1,716.6	4,504.0	160.0	11,923.3
2091	20,184.2	6,269.6	13,914.5	3,287.6	2,933.0	155.1	16,223.6
2092	19,173.2	4,457.0	14,716.2	2,619.0	3,601.7	157.3	11,863.3
2093	16,507.1	6,968.2	9,538.9	5,060.6	1,160.0	147.3	14,038.9
2094	16,445.5	5,524.7	10,920.8	4,792.8	1,427.8	148.8	7,526.5
2095	21,321.3	6,144.3	15,177.0	3,124.4	3,096.2	155.7	14,686.2
2096	20,035.9	4,375.5	15,660.3	1,517.1	4,703.5	160.5	13,678.8
2097	23,981.0	6,631.4	17,349.6	4,480.7	1,740.0	150.4	19,050.3
2098	18,681.4	5,116.4	13,565.0	1,964.5	4,256.2	159.2	11,042.9
2099	18,891.3	6,791.0	12,100.3	4,288.2	1,932.5	151.2	15,853.2
평 균	19,432.4	5,695.8	13,736.6	3,410.1	2,810.6	154.1	13,584.6

9. 전라남도 대포저수지 필요수량 분석

9.1 전라남도 대포저수지 1995s 필요수량 분석

단위: mm

연 도	강 우 량	잠 재 증발산량	논벼작물 증발산량	필요수량	유효우량	순용수량	조용수량
1980	1,359.5	495.9	563.2	1,339.3	859.2	213.1	250.7
1981	985.4	542.2	633.9	1,407.1	544.9	526.7	619.6
1982	807.0	571.1	670.5	1,455.7	474.7	703.6	827.7
1983	899.1	560.0	657.4	1,434.3	546.6	600.6	706.6
1984	983.9	544.6	642.6	1,420.2	634.7	478.2	562.6
1985	1,869.1	560.4	663.5	1,441.9	586.7	620.0	729.4
1986	1,112.3	533.2	622.5	1,400.7	659.3	446.9	525.7
1987	1,338.9	475.5	542.0	1,328.3	804.1	310.4	365.2
1988	636.0	537.8	632.4	1,412.2	544.0	650.3	765.0
1989	1,192.0	543.8	637.0	1,409.8	728.2	359.7	423.1
1990	974.1	529.6	630.6	1,415.2	674.6	498.6	586.6
1991	948.3	505.6	587.3	1,373.7	767.8	261.2	307.3
1992	666.4	581.2	676.7	1,453.4	490.7	744.8	876.2
1993	1,188.8	510.7	594.5	1,372.8	768.1	406.2	477.9
1994	724.1	607.8	726.0	1,504.4	448.5	820.9	965.8
1995	808.5	563.5	661.7	1,439.0	532.1	636.9	749.3
1996	799.2	542.6	640.2	1,417.2	575.7	564.6	664.3
1997	1,054.3	552.0	651.2	1,433.0	560.4	651.1	766.1
1998	1,087.3	514.1	604.1	1,387.7	761.3	422.4	497.0
1999	1,351.1	530.7	604.7	1,386.6	773.8	310.0	364.7
2000	876.2	568.6	666.3	1,444.3	696.3	402.9	474.0
2001	754.1	603.5	709.1	1,479.3	440.4	731.0	860.0
2002	1,157.2	510.9	598.9	1,375.8	668.7	532.2	626.1
2003	1,626.9	484.4	563.9	1,349.4	943.1	157.6	185.4
2004	997.1	551.4	650.5	1,429.8	549.8	694.5	817.1
2005	873.7	530.1	614.5	1,390.7	694.0	491.7	578.5
2006	1,156.4	517.2	614.1	1,394.9	656.4	497.5	585.3
2007	1,030.8	528.9	611.7	1,392.9	628.8	480.3	565.0
2008	721.8	553.2	649.9	1,431.0	456.9	660.5	777.1
2009	977.5	544.2	626.3	1,399.3	526.4	578.3	680.3
평 균	1,031.9	539.8	631.6	1,410.7	633.2	515.1	606.0

9.2 전라남도 대포저수지 2025s 필요수량 분석

단위: mm

연 도	강 우 량	잠 재 증발산량	논벼작물 증발산량	필요수량	유효우량	순용수량	조용수량
2010	880.5	561.3	637.1	1,409.3	678.3	431.5	507.7
2011	723.0	564.3	646.8	1,425.8	548.7	603.3	709.8
2012	592.3	573.8	654.7	1,430.4	507.7	613.1	721.3
2013	1,074.2	580.4	666.6	1,448.3	620.6	559.4	658.1
2014	887.1	569.1	650.2	1,429.2	669.0	465.4	547.5
2015	809.4	574.4	663.0	1,439.1	638.9	526.5	619.5
2016	781.4	592.3	675.7	1,457.6	566.1	566.8	666.8
2017	685.7	584.4	669.4	1,445.8	522.6	655.8	771.6
2018	634.4	575.8	657.4	1,432.7	500.6	625.8	736.3
2019	814.5	576.6	657.3	1,434.0	648.1	516.5	607.7
2020	796.9	600.3	685.0	1,461.7	568.9	571.4	672.2
2021	767.2	578.0	662.6	1,442.4	598.7	586.7	690.2
2022	754.2	583.6	665.6	1,440.6	534.6	614.7	723.2
2023	845.0	572.6	659.1	1,438.5	592.2	596.8	702.1
2024	751.4	562.7	640.0	1,416.9	577.6	552.8	650.3
2025	594.9	563.1	645.6	1,420.7	464.6	677.1	796.6
2026	528.9	560.9	643.7	1,425.6	440.7	674.2	793.1
2027	821.5	605.2	690.6	1,464.3	544.1	639.1	751.9
2028	639.7	569.4	649.6	1,423.5	485.9	629.9	741.0
2029	674.4	573.4	658.1	1,437.8	504.2	666.9	784.6
2030	700.6	597.9	685.3	1,461.5	512.2	642.7	756.1
2031	729.1	594.9	679.6	1,456.5	568.5	629.2	740.2
2032	673.0	584.3	666.6	1,441.9	521.3	610.5	718.3
2033	870.5	581.4	666.6	1,444.8	616.2	581.3	683.9
2034	842.5	587.5	670.2	1,447.6	572.4	582.8	685.7
2035	842.2	557.2	636.1	1,415.1	607.9	547.5	644.2
2036	753.3	579.8	662.5	1,439.8	576.4	558.0	656.5
2037	835.6	586.5	670.2	1,445.6	540.0	624.4	734.5
2038	642.5	575.5	656.5	1,433.8	504.6	611.8	719.8
2039	677.9	598.1	685.6	1,461.6	557.6	626.1	736.6
평 균	754.1	578.8	661.9	1,439.1	559.6	592.9	697.6

9.3 전라남도 대포저수지 2055s 필요수량 분석

단위: mm

연 도	강 우 량	잠 재 증발산량	논벼작물 증발산량	필요수량	유효우량	순용수량	조용수량
2040	627.9	577.6	640.0	1,417.3	511.7	639.9	752.8
2041	635.3	584.1	652.2	1,423.1	541.9	529.5	622.9
2042	715.9	591.9	659.8	1,434.9	523.1	658.4	774.6
2043	875.1	588.1	651.0	1,426.7	723.3	343.8	404.5
2044	883.2	603.3	668.3	1,443.3	641.3	545.8	642.2
2045	1,091.5	568.1	629.0	1,400.0	758.6	288.7	339.6
2046	975.0	572.0	636.0	1,416.6	713.3	462.9	544.6
2047	1,091.5	568.1	629.0	1,400.0	758.6	288.7	339.6
2048	975.0	570.9	634.4	1,415.0	713.2	461.4	542.8
2049	1,345.4	580.1	643.5	1,420.2	696.9	375.2	441.4
2050	1,013.6	611.0	679.8	1,456.0	713.0	482.4	567.5
2051	918.8	597.2	656.9	1,428.7	641.2	416.3	489.8
2052	805.7	633.7	706.4	1,482.2	608.7	612.0	720.0
2053	958.9	575.9	641.0	1,417.3	730.5	333.1	391.8
2054	954.3	586.5	649.3	1,425.5	623.5	549.2	646.1
2055	685.7	604.8	672.2	1,445.9	561.2	502.7	591.4
2056	664.6	616.6	687.2	1,461.4	554.3	648.5	763.0
2057	628.5	611.8	682.4	1,452.7	484.4	604.0	710.6
2058	648.0	603.9	672.6	1,451.5	455.1	745.7	877.2
2059	1,104.1	583.7	644.7	1,419.7	687.1	372.7	438.5
2060	922.8	617.9	684.9	1,457.7	649.0	546.7	643.2
2061	822.0	627.5	700.6	1,477.6	656.6	446.2	525.0
2062	728.2	645.3	719.6	1,492.2	598.0	623.2	733.2
2063	757.6	629.3	703.8	1,473.2	607.0	510.4	600.5
2064	624.6	614.0	691.5	1,468.3	539.1	649.7	764.3
2065	1,271.0	602.8	667.9	1,443.9	714.5	381.0	448.2
2066	994.7	618.6	689.8	1,466.1	752.0	459.8	541.0
2067	802.9	618.2	687.5	1,461.3	602.3	507.5	597.0
2068	698.7	622.7	695.5	1,473.8	491.3	725.9	854.0
2069	680.5	609.2	680.0	1,453.8	509.0	586.8	690.4
평 균	863.4	601.2	668.6	1,443.5	625.3	509.9	599.9

9.4 전라남도 대포저수지 2085s 필요수량 분석

단위: mm

연 도	강 우 량	잠 재 증발산량	논벼작물 증발산량	필요수량	유효우량	순용수량	조용수량
2070	500.8	618.0	690.3	1,466.9	428.4	721.4	848.7
2071	1,035.7	617.1	694.5	1,476.0	684.2	503.8	592.8
2072	716.0	613.4	688.2	1,467.3	522.9	637.0	749.4
2073	824.4	613.1	694.1	1,476.0	593.2	590.6	694.8
2074	611.8	631.9	705.6	1,481.6	473.0	698.6	821.8
2075	795.5	636.0	707.2	1,483.9	638.5	509.4	599.3
2076	575.7	652.8	725.1	1,497.1	488.9	689.9	811.7
2077	1,460.8	596.7	664.5	1,443.9	858.6	305.3	359.1
2078	1,209.4	598.1	664.5	1,440.1	745.5	391.6	460.7
2079	805.8	617.1	690.2	1,468.9	668.8	467.9	550.5
2080	702.6	604.6	677.0	1,455.9	554.6	584.4	687.5
2081	885.4	610.4	680.7	1,459.3	683.3	442.2	520.2
2082	729.5	612.6	682.2	1,456.5	597.2	542.7	638.5
2083	908.6	632.9	711.8	1,489.5	641.4	546.9	643.4
2084	687.1	642.7	718.8	1,493.5	513.8	669.5	787.7
2085	1,105.2	647.6	723.3	1,498.7	719.2	486.4	572.3
2086	800.8	618.1	689.8	1,470.8	587.4	556.9	655.2
2087	1,059.9	613.6	684.1	1,463.3	786.6	372.5	438.2
2088	868.2	639.0	709.2	1,485.3	667.5	497.3	585.0
2089	1,066.8	620.4	695.9	1,474.0	779.7	397.8	468.0
2090	904.8	614.2	680.4	1,453.0	661.2	483.7	569.0
2091	700.0	622.8	695.9	1,473.3	590.5	566.0	665.9
2092	599.2	637.5	716.3	1,492.3	483.9	694.7	817.3
2093	1,166.4	606.2	683.5	1,462.2	736.2	437.1	514.3
2094	844.1	633.6	702.9	1,477.6	652.1	502.2	590.8
2095	846.4	631.2	709.3	1,487.4	634.9	542.7	638.5
2096	637.3	633.7	706.0	1,474.5	498.0	668.4	786.3
2097	777.9	634.6	706.5	1,482.4	626.4	538.9	634.0
2098	643.3	654.9	724.6	1,496.5	505.6	678.1	797.7
2099	1,033.5	593.4	668.6	1,449.4	690.7	456.8	537.4
평 균	850.1	623.3	696.4	1,473.2	623.7	539.4	634.5

10. 전라남도 대포저수지 물수지 분석

10.1 전라남도 대포저수지 1995s 물수지 분석

단위: 천㎥

연 도	유 입 량	전 체 필요수량	물 수 지	연 최 대 필요저수량	연 최저수량	연 최저수위	무효방류량
1980	18,135.7	743.9	17,391.7	164.3	1,218.0	19.4	17,039.1
1981	12,800.0	1,838.4	10,961.6	579.8	802.6	17.3	10,678.4
1982	10,377.6	2,455.8	7,921.7	763.3	619.0	16.2	7,151.6
1983	12,047.4	2,096.3	9,951.0	605.0	777.3	17.1	9,677.2
1984	10,387.8	1,669.1	8,718.7	507.6	874.7	17.7	8,275.6
1985	25,033.3	2,164.2	22,869.1	553.3	829.1	17.4	22,232.3
1986	13,553.1	1,559.9	11,993.2	494.3	888.0	17.7	11,036.0
1987	15,382.4	1,083.4	14,299.0	432.7	949.6	18.1	13,959.2
1988	6,939.3	2,269.9	4,669.4	549.9	832.5	17.4	4,430.7
1989	15,810.8	1,255.4	14,555.4	274.6	1,107.7	18.9	13,689.5
1990	13,759.0	1,740.3	12,018.7	560.8	821.5	17.4	11,509.3
1991	12,370.3	911.7	11,458.6	167.5	1,214.8	19.4	11,028.3
1992	10,551.5	2,599.7	7,951.8	1,048.7	333.6	14.3	7,564.9
1993	14,234.3	1,417.9	12,816.4	181.4	1,200.9	19.3	12,305.6
1994	9,201.3	2,865.4	6,335.8	1,667.8	0.0	8.0	6,101.1
1995	9,437.4	2,223.1	7,214.2	666.5	715.9	16.8	6,367.3
1996	10,045.9	1,970.9	8,074.9	942.8	439.5	15.1	7,702.7
1997	14,473.0	2,272.9	12,200.1	583.8	798.6	17.3	11,615.1
1998	16,232.4	1,474.5	14,757.8	342.1	1,040.3	18.5	14,222.5
1999	20,365.6	1,082.1	19,283.4	233.9	1,148.5	19.1	18,900.7
2000	10,763.4	1,406.4	9,357.1	797.3	585.1	16.1	8,774.3
2001	8,605.8	2,551.7	6,054.2	792.4	590.0	16.1	5,840.7
2002	14,984.5	1,857.6	13,126.9	686.8	695.6	16.7	12,216.9
2003	21,334.9	550.0	20,785.0	246.1	1,136.2	19.0	20,438.1
2004	13,436.3	2,424.3	11,011.9	919.5	462.9	15.3	10,648.8
2005	10,649.7	1,716.4	8,933.3	237.2	1,145.2	19.0	8,630.8
2006	14,544.6	1,736.7	12,807.9	586.8	795.5	17.2	12,518.9
2007	13,727.0	1,676.4	12,050.6	525.6	856.7	17.6	11,800.6
2008	8,123.2	2,305.7	5,817.5	896.9	485.4	15.4	5,413.8
2009	11,000.4	2,018.5	8,981.8	624.7	757.7	17.0	8,755.6
평 균	13,276.9	1,798.0	11,479.0	587.8	804.1	17.1	11,017.5

10.2 전라남도 대포저수지 2025s 물수지 분석

단위: 천㎥

연 도	유 입 량	전 체 필요수량	물 수 지	연 최 대 필요저수량	연 최저수량	연 최저수위	무효방류량
2010	15,663.2	1,506.2	14,157.0	673.4	708.9	16.8	13,466.6
2011	12,303.8	2,105.9	10,197.9	493.5	888.9	17.7	10,162.3
2012	11,718.5	2,140.2	9,578.3	688.6	693.7	16.7	9,007.2
2013	17,296.7	1,952.7	15,344.0	528.8	853.5	17.6	15,049.9
2014	15,136.0	1,624.5	13,511.5	715.1	667.3	16.5	12,697.5
2015	13,374.0	1,837.9	11,536.0	431.4	950.9	18.1	11,307.1
2016	15,005.3	1,978.4	13,026.9	692.7	689.6	16.7	12,395.0
2017	11,369.1	2,289.3	9,079.8	522.1	860.2	17.6	8,950.1
2018	14,634.3	2,184.5	12,449.8	677.7	704.6	16.7	12,097.5
2019	14,424.2	1,803.0	12,621.2	575.9	806.5	17.3	12,395.4
2020	15,264.1	1,994.5	13,269.6	730.1	652.2	16.4	12,512.2
2021	11,510.4	2,047.9	9,462.5	456.9	925.5	17.9	9,413.9
2022	11,967.3	2,145.6	9,821.7	645.6	736.7	16.9	9,221.8
2023	14,092.7	2,083.0	12,009.7	665.7	716.7	16.8	11,840.4
2024	14,161.1	1,929.5	12,231.6	802.4	579.9	16.0	11,710.6
2025	11,886.8	2,363.6	9,523.1	575.7	806.6	17.3	9,392.9
2026	11,188.5	2,353.2	8,835.3	942.9	439.4	15.1	8,406.6
2027	14,206.6	2,230.9	11,975.7	863.4	518.9	15.6	11,751.5
2028	13,482.6	2,198.7	11,283.9	583.2	799.2	17.3	10,849.5
2029	11,047.0	2,327.9	8,719.1	609.4	772.9	17.1	8,442.0
2030	13,260.7	2,243.4	11,017.3	1,009.6	372.8	14.6	10,694.4
2031	10,981.3	2,196.1	8,785.2	597.0	785.4	17.2	8,577.9
2032	11,728.5	2,131.1	9,597.5	728.9	653.5	16.4	9,126.3
2033	15,013.4	2,029.2	12,984.3	500.7	881.7	17.7	12,636.2
2034	16,121.9	2,034.4	14,087.5	569.6	812.7	17.3	13,420.3
2035	12,467.6	1,911.2	10,556.4	380.4	1,001.9	18.3	10,416.4
2036	11,132.4	1,947.7	9,184.7	636.8	745.6	17.0	8,533.3
2037	14,218.1	2,179.4	12,038.7	720.8	661.6	16.5	11,804.8
2038	14,994.0	2,135.6	12,858.4	601.1	781.3	17.2	12,468.3
2039	10,240.6	2,185.5	8,055.2	509.1	873.3	17.7	7,891.5
평 균	13,329.7	2,069.7	11,260.0	637.6	744.7	16.9	10,888.0

10.3 전라남도 대포저수지 2055s 물수지 분석

단위: 천㎥

연 도	유 입 량	전 체 필요수량	물 수 지	연 최 대 필요저수량	연 최저수량	연 최저수위	무효방류량
2040	10,601.7	2,233.6	8,368.1	334.6	1,047.8	18.6	8,101.2
2041	13,274.8	1,848.2	11,426.5	438.1	944.3	18.0	11,020.1
2042	14,178.6	2,298.2	11,880.5	513.0	869.3	17.6	11,711.4
2043	15,997.7	1,200.0	14,797.7	381.5	1,000.9	18.3	14,388.4
2044	18,831.4	1,905.3	16,926.1	286.8	1,095.6	18.8	16,115.3
2045	18,288.9	1,007.7	17,281.2	329.9	1,052.4	18.6	16,830.7
2046	18,310.7	1,615.8	16,694.9	205.9	1,176.5	19.2	15,937.1
2047	18,164.1	1,007.7	17,156.4	330.2	1,052.1	18.6	16,706.2
2048	18,310.7	1,610.6	16,700.1	204.8	1,177.5	19.2	15,949.2
2049	18,713.6	1,309.7	17,403.9	347.0	1,035.3	18.5	16,951.4
2050	16,782.4	1,683.9	15,098.5	264.6	1,117.7	18.9	14,350.8
2051	16,930.1	1,453.1	15,476.9	529.0	853.3	17.6	14,951.9
2052	15,386.3	2,136.2	13,250.0	307.0	1,075.3	18.7	12,804.6
2053	16,750.2	1,162.6	15,587.6	400.9	981.4	18.2	14,983.6
2054	18,270.4	1,916.9	16,353.5	254.0	1,128.3	19.0	15,744.8
2055	13,077.9	1,754.8	11,323.1	386.0	996.3	18.3	10,942.2
2056	13,660.3	2,263.8	11,396.5	475.4	906.9	17.8	11,033.4
2057	11,505.4	2,108.5	9,396.9	806.4	576.0	16.0	9,115.1
2058	14,170.0	2,602.8	11,567.2	685.8	696.5	16.7	11,454.2
2059	18,510.3	1,301.1	17,209.2	413.2	969.1	18.2	16,601.1
2060	17,569.4	1,908.3	15,661.1	227.8	1,154.6	19.1	14,810.4
2061	14,750.3	1,557.6	13,192.6	423.8	958.5	18.1	12,770.0
2062	14,187.3	2,175.4	12,011.9	323.4	1,058.9	18.6	11,589.5
2063	11,573.1	1,781.6	9,791.4	527.4	854.9	17.6	9,293.3
2064	12,031.9	2,267.8	9,764.1	363.5	1,018.9	18.4	9,266.6
2065	21,916.8	1,329.8	20,587.0	328.1	1,054.2	18.6	20,088.8
2066	19,628.9	1,605.0	18,023.8	282.3	1,100.0	18.8	17,048.3
2067	14,473.8	1,771.4	12,702.4	741.2	641.1	16.4	12,260.1
2068	13,786.8	2,533.8	11,253.0	292.5	1,089.8	18.8	11,104.0
2069	9,799.4	2,048.3	7,751.1	900.6	481.7	15.4	7,358.6
평 균	15,647.8	1,780.0	13,867.8	410.2	972.2	18.1	13,376.1

10.4 전라남도 대포저수지 2085s 물수지 분석

단위: 천㎥

연 도	유 입 량	전 체 필요수량	물 수 지	연 최 대 필요저수량	연 최저수량	연 최저수위	무효방류량
2070	10,197.9	2,518.2	7,679.7	413.3	969.0	18.2	7,454.2
2071	18,248.2	1,758.7	16,489.5	846.6	535.7	15.7	16,403.8
2072	15,599.0	2,223.4	13,375.6	417.3	965.0	18.1	12,714.7
2073	13,693.7	2,061.6	11,632.2	787.2	595.2	16.1	11,550.6
2074	12,375.5	2,438.4	9,937.1	721.3	661.1	16.5	9,442.5
2075	14,651.7	1,778.1	12,873.6	747.3	635.0	16.3	12,646.1
2076	13,090.5	2,408.2	10,682.2	436.2	946.2	18.0	10,229.9
2077	22,239.4	1,065.5	21,173.9	246.5	1,135.8	19.0	20,843.1
2078	20,611.9	1,366.8	19,245.0	284.9	1,097.4	18.8	18,371.2
2079	14,797.4	1,633.3	13,164.0	467.0	915.4	17.9	12,717.7
2080	14,895.8	2,039.8	12,856.0	389.9	992.4	18.3	12,287.5
2081	16,777.0	1,543.5	15,233.5	409.8	972.5	18.2	14,854.3
2082	15,386.9	1,894.5	13,492.5	376.2	1,006.2	18.3	12,768.7
2083	17,570.3	1,908.9	15,661.4	773.7	608.6	16.2	15,293.8
2084	14,927.3	2,337.1	12,590.2	353.5	1,028.8	18.5	12,028.2
2085	17,906.9	1,697.9	16,209.0	587.0	795.3	17.2	16,070.6
2086	15,080.9	1,943.9	13,137.0	401.4	980.9	18.2	12,525.5
2087	19,273.1	1,300.3	17,972.9	380.0	1,002.3	18.3	17,642.1
2088	18,244.2	1,735.8	16,508.4	371.3	1,011.1	18.4	15,675.9
2089	16,325.4	1,388.6	14,936.8	396.0	986.3	18.2	14,472.6
2090	15,386.4	1,688.2	13,698.2	294.5	1,087.8	18.8	12,866.7
2091	12,623.8	1,975.8	10,648.0	448.6	933.7	18.0	10,314.6
2092	11,277.3	2,425.0	8,852.3	637.8	744.5	17.0	8,491.8
2093	16,899.7	1,525.8	15,373.9	354.8	1,027.6	18.5	15,088.7
2094	14,547.9	1,752.9	12,795.1	313.8	1,068.5	18.7	12,033.6
2095	16,502.5	1,894.4	14,608.2	712.1	670.2	16.5	14,467.3
2096	17,793.7	2,333.1	15,460.7	340.7	1,041.6	18.5	15,053.1
2097	14,873.5	1,881.1	12,992.4	452.1	930.3	18.0	12,748.6
2098	13,688.2	2,366.9	11,321.3	415.8	966.5	18.1	10,942.5
2099	16,055.8	1,594.6	14,461.2	413.0	969.3	18.2	14,074.8
평 균	15,718.1	1,882.7	13,835.4	473.0	909.3	17.8	13,402.5

11. 전라북도 백석저수지 필요수량 분석

11.1 전라북도 백석저수지 1995s 필요수량 분석

단위: mm

연 도	강 우 량	잠 재 증발산량	논벼작물 증발산량	필요수량	유효우량	순용수량	조용수량
1980	1,002.8	459.4	526.0	1,443.5	758.3	347.6	386.3
1981	1,030.8	499.2	581.0	1,494.7	668.1	469.9	522.1
1982	550.2	536.7	625.5	1,545.6	463.1	791.8	879.8
1983	822.9	539.8	631.3	1,545.8	571.3	678.4	753.8
1984	1,141.2	535.8	628.6	1,544.5	578.8	647.8	719.8
1985	1,082.8	534.7	629.8	1,545.3	731.2	549.4	610.4
1986	898.4	503.8	588.7	1,505.7	674.2	551.4	612.7
1987	1,293.4	501.1	581.3	1,500.1	818.0	382.5	425.0
1988	497.1	528.4	618.4	1,534.1	304.1	905.8	1,006.5
1989	907.1	513.1	598.1	1,509.3	577.8	549.8	610.9
1990	916.5	487.3	574.8	1,497.5	611.0	594.1	660.2
1991	878.4	501.8	582.2	1,505.2	680.8	444.6	494.0
1992	694.0	531.4	619.6	1,532.3	415.8	759.5	843.9
1993	1,165.9	482.9	553.8	1,466.3	737.2	450.1	500.1
1994	521.3	582.1	693.3	1,609.0	440.5	843.6	937.3
1995	704.8	529.3	620.4	1,535.7	503.6	735.2	816.9
1996	804.0	504.2	594.6	1,511.2	569.8	609.1	676.8
1997	1,123.4	518.8	611.8	1,530.9	664.9	575.9	639.9
1998	962.4	492.6	571.9	1,491.8	624.6	547.5	608.3
1999	791.9	546.6	632.7	1,550.5	628.7	568.9	632.1
2000	1,270.4	522.6	612.3	1,531.2	720.5	412.2	457.9
2001	640.4	543.3	637.6	1,547.8	446.3	743.3	825.9
2002	713.0	505.9	587.0	1,499.6	500.5	715.5	795.0
2003	1,450.2	465.1	535.1	1,453.3	911.7	315.9	351.0
2004	1,162.0	542.9	640.5	1,552.8	642.7	607.7	675.2
2005	1,108.6	552.2	637.0	1,546.4	570.1	612.2	680.3
2006	918.5	508.8	597.9	1,514.8	619.3	588.8	654.3
2007	946.1	519.6	600.0	1,514.8	591.6	541.0	601.1
2008	823.2	535.7	625.9	1,544.6	679.6	538.0	597.8
2009	917.9	547.1	633.2	1,541.9	564.6	670.7	745.2
평 균	924.7	519.1	605.7	1,521.5	609.0	591.6	657.3

11.2 전라북도 백석저수지 2025s 필요수량 분석

단위: mm

연 도	강 우 량	잠 재 증발산량	논벼작물 증발산량	필요수량	유효우량	순용수량	조용수량
2010	1,511.7	499.8	581.6	1,508.2	842.3	434.8	483.1
2011	479.0	534.4	617.2	1,536.8	396.5	799.2	888.0
2012	1,172.4	507.1	586.6	1,512.1	812.4	456.6	507.4
2013	545.8	517.2	594.9	1,516.4	432.4	745.4	828.2
2014	1,415.5	499.0	580.2	1,507.0	845.8	403.1	447.8
2015	539.6	517.4	592.2	1,512.3	321.0	814.5	905.0
2016	914.0	499.3	578.5	1,502.0	754.7	475.8	528.7
2017	436.7	542.7	620.3	1,540.4	310.8	875.7	973.0
2018	758.4	516.9	601.2	1,527.2	654.6	622.7	691.9
2019	650.0	515.3	586.2	1,504.7	462.3	714.2	793.6
2020	1,296.2	512.4	596.1	1,522.8	910.2	424.8	472.0
2021	504.6	538.5	620.8	1,540.5	388.1	834.0	926.7
2022	1,103.1	504.1	586.8	1,515.1	763.3	520.1	577.9
2023	463.5	539.8	619.0	1,537.4	365.0	847.8	942.0
2024	934.2	519.3	602.4	1,531.3	688.7	606.0	673.4
2025	408.5	538.0	615.4	1,535.9	340.7	858.3	953.6
2026	1,103.5	516.3	604.5	1,531.4	709.5	603.3	670.3
2027	480.4	531.6	611.2	1,530.3	390.3	790.9	878.8
2028	1,153.4	504.8	587.6	1,514.1	776.8	497.5	552.8
2029	557.0	542.2	628.1	1,548.5	383.5	864.1	960.1
2030	1,031.6	505.1	589.5	1,516.6	742.6	568.1	631.2
2031	382.3	543.4	622.8	1,545.4	300.6	875.0	972.2
2032	902.2	524.6	611.0	1,535.9	710.6	583.9	648.8
2033	473.6	546.2	628.7	1,549.9	381.9	821.1	912.3
2034	1,283.6	518.5	603.3	1,529.3	835.5	485.7	539.7
2035	616.4	531.1	610.8	1,532.3	432.6	777.2	863.6
2036	1,297.1	501.8	586.4	1,516.7	863.7	438.7	487.4
2037	507.9	532.5	609.7	1,527.0	431.9	746.3	829.2
2038	1,250.6	505.7	589.2	1,517.0	816.7	470.3	522.5
2039	396.9	532.8	610.3	1,529.7	320.9	843.5	937.2
평 균	819.0	521.3	602.4	1,525.8	579.5	660.0	733.3

11.3 전라북도 백석저수지 2055s 필요수량 분석

단위: mm

연 도	강 우 량	잠 재 증발산량	논벼작물 증발산량	필요수량	유효우량	순용수량	조용수량
2040	925.6	506.4	573.7	1,493.7	707.4	553.0	614.4
2041	592.5	525.5	592.9	1,514.3	449.1	783.4	870.4
2042	1,246.3	509.8	572.7	1,488.7	777.3	493.2	548.0
2043	640.4	534.7	595.4	1,510.9	439.0	804.4	893.8
2044	1,128.6	511.8	575.9	1,494.8	773.4	504.7	560.8
2045	648.5	536.0	598.6	1,518.0	520.6	707.3	785.9
2046	1,613.8	526.4	598.4	1,518.7	882.0	426.9	474.3
2047	561.6	544.6	606.0	1,524.2	411.4	780.0	866.7
2048	1,263.7	521.6	585.0	1,503.4	798.3	468.4	520.4
2049	702.7	534.7	597.1	1,514.5	601.9	686.2	762.5
2050	1,841.4	526.1	595.6	1,515.1	891.5	424.4	471.6
2051	556.6	532.4	596.4	1,515.9	455.3	772.3	858.1
2052	1,261.4	534.0	600.8	1,516.0	798.7	512.9	569.9
2053	786.8	528.9	591.4	1,507.7	436.1	737.1	819.0
2054	1,335.2	528.9	595.6	1,512.6	836.1	417.6	464.0
2055	572.2	552.4	618.9	1,538.1	398.3	821.3	912.5
2056	1,131.2	521.7	583.7	1,499.3	766.2	513.9	571.0
2057	706.3	564.4	628.2	1,541.7	494.0	793.8	882.0
2058	1,511.8	541.9	614.6	1,538.0	833.2	497.2	552.4
2059	760.1	540.0	606.5	1,524.4	574.5	677.9	753.2
2060	1,905.9	515.3	579.9	1,497.7	913.9	381.2	423.6
2061	586.8	537.8	599.2	1,521.5	485.6	709.5	788.3
2062	1,652.8	552.6	623.3	1,541.6	867.4	452.2	502.4
2063	440.5	576.3	642.3	1,558.8	335.5	879.7	977.5
2064	944.3	551.4	623.1	1,543.2	718.2	607.5	675.0
2065	590.2	538.3	607.1	1,526.4	449.3	774.4	860.4
2066	1,424.6	531.2	601.1	1,518.0	849.6	455.7	506.3
2067	582.1	551.6	615.1	1,534.7	437.4	813.3	903.7
2068	1,254.0	544.0	614.8	1,533.9	805.3	525.4	583.8
2069	500.5	552.8	619.3	1,539.2	382.8	857.5	952.8
평 균	988.9	535.8	601.8	1,520.2	636.3	627.7	697.5

11.4 전라북도 백석저수지 2085s 필요수량 분석

단위: mm

연 도	강 우 량	잠 재 증발산량	논벼작물 증발산량	필요수량	유효우량	순용수량	조용수량
2070	850.0	532.4	594.5	1,509.6	671.1	603.0	670.0
2071	575.6	547.9	610.7	1,528.2	454.1	793.6	881.7
2072	1,354.8	539.7	604.7	1,522.4	828.8	531.3	590.4
2073	402.4	559.9	627.5	1,540.7	334.8	918.0	1,020.0
2074	1,153.9	562.5	628.9	1,546.2	641.1	696.5	773.9
2075	418.7	551.2	611.7	1,529.4	316.5	877.7	975.2
2076	1,096.5	553.0	613.1	1,529.6	755.7	562.9	625.5
2077	871.9	518.2	576.5	1,492.3	641.6	565.4	628.3
2078	1,950.6	502.4	560.3	1,479.0	915.8	377.6	419.6
2079	652.2	544.1	606.7	1,520.5	472.6	739.7	821.8
2080	1,201.2	536.8	604.3	1,523.1	830.2	520.5	578.4
2081	605.6	550.1	606.9	1,519.7	436.4	724.5	805.0
2082	981.5	544.8	606.9	1,524.0	732.1	536.4	596.0
2083	722.4	543.1	611.4	1,529.8	580.2	700.8	778.7
2084	1,749.0	554.5	626.1	1,545.9	913.2	485.8	539.7
2085	644.0	537.7	601.3	1,517.2	541.7	707.2	785.8
2086	1,602.5	547.5	610.8	1,530.3	798.7	559.4	621.6
2087	759.3	537.4	596.4	1,511.6	537.4	687.0	763.4
2088	1,606.2	528.7	588.5	1,503.9	892.5	427.3	474.8
2089	644.1	550.9	611.6	1,526.2	483.4	722.0	802.2
2090	1,387.7	543.6	602.2	1,519.3	834.2	482.3	535.8
2091	664.0	564.2	627.7	1,542.4	459.3	746.5	829.4
2092	1,184.6	561.9	624.2	1,540.4	819.8	516.9	574.3
2093	707.3	560.4	624.4	1,538.4	591.0	619.6	688.5
2094	1,776.2	552.6	617.5	1,536.7	848.8	476.9	529.9
2095	744.5	564.8	626.6	1,536.7	485.1	755.6	839.6
2096	1,548.4	547.3	611.4	1,527.6	896.3	466.7	518.6
2097	640.0	544.7	610.5	1,523.6	545.5	716.9	796.5
2098	1,760.2	537.5	596.9	1,520.4	857.4	500.7	556.3
2099	633.8	545.1	612.8	1,528.1	529.6	692.2	769.1
평 균	1,029.6	545.5	608.4	1,524.8	654.8	623.7	693.0

12. 전라북도 백석저수지 물수지 분석

12.1 전라북도 백석저수지 1995s 물수지 분석

단위: 천㎥

연 도	유 입 량	전 체 필요수량	물 수 지	연 최 대 필요저수량	연 최저수량	연 최저수위	무효방류량
1980	159,973.1	3,302.6	156,670.5	134.6	1,313.3	29.5	156,576.1
1981	139,837.9	4,463.7	135,374.2	611.9	836.0	28.3	135,240.8
1982	88,843.2	7,522.5	81,320.6	1,146.3	301.7	25.9	81,131.8
1983	120,462.0	6,445.1	114,016.9	883.2	564.8	27.2	113,922.5
1984	158,593.7	6,154.4	152,439.3	14.2	1,433.7	29.8	152,344.9
1985	181,205.8	5,218.9	175,986.9	588.6	859.3	28.4	175,924.7
1986	134,662.1	5,238.4	129,423.6	176.8	1,271.1	29.4	129,298.7
1987	182,943.8	3,633.8	179,310.0	34.3	1,413.6	29.7	179,121.2
1988	67,770.0	8,605.5	59,164.6	1,089.2	358.7	26.2	58,880.6
1989	150,001.5	5,223.0	144,778.6	107.6	1,340.3	29.6	144,577.0
1990	139,782.0	5,644.4	134,137.6	290.7	1,157.3	29.2	133,988.8
1991	133,537.8	4,223.4	129,314.3	3.4	1,444.6	29.8	129,312.6
1992	109,033.6	7,214.9	101,818.7	951.8	496.1	26.9	101,629.9
1993	163,474.4	4,276.1	159,198.3	113.0	1,334.9	29.6	158,947.2
1994	79,244.4	8,014.0	71,230.4	822.6	625.3	27.5	70,898.8
1995	83,868.7	6,984.4	76,884.3	1,232.7	215.2	25.4	76,506.7
1996	120,484.2	5,786.3	114,697.9	16.4	1,431.5	29.8	114,603.5
1997	165,764.1	5,471.2	160,293.0	38.5	1,409.5	29.7	160,198.6
1998	167,745.6	5,201.1	162,544.5	168.9	1,279.1	29.4	162,504.8
1999	140,885.9	5,404.1	135,481.8	649.2	798.8	28.2	135,387.4
2000	176,673.1	3,915.4	172,757.7	575.5	872.4	28.4	172,586.1
2001	102,019.3	7,061.8	94,957.5	1,331.7	116.3	24.6	94,647.1
2002	110,510.0	6,796.9	103,713.0	538.5	909.5	28.5	103,335.4
2003	201,324.9	3,000.7	198,324.2	104.9	1,343.1	29.6	198,229.8
2004	154,603.0	5,772.8	148,830.2	992.3	455.7	26.7	148,735.8
2005	147,027.5	5,816.2	141,211.3	173.9	1,274.1	29.4	140,928.1
2006	120,292.0	5,594.0	114,698.0	560.4	887.5	28.5	114,603.6
2007	152,781.2	5,139.8	147,641.4	1,131.0	316.9	26.0	147,446.7
2008	101,918.0	5,110.9	96,807.1	0.0	1,448.0	29.8	96,807.1
2009	115,277.3	6,371.2	108,906.1	1,085.5	362.4	26.2	108,717.3
평 균	135,684.7	5,620.3	130,064.4	518.9	929.0	28.2	129,901.1

12.2 전라북도 백석저수지 2025s 물수지 분석

단위: 천㎥

연 도	유 입 량	전 체 필요수량	물 수 지	연 최 대 필요저수량	연 최저수량	연 최저수위	무효방류량
2010	235,702.9	4,130.2	231,572.6	0.0	1,448.0	29.8	231,572.6
2011	134,395.9	7,592.6	126,803.2	254.2	1,193.8	29.2	126,345.9
2012	194,167.0	4,338.0	189,828.9	0.0	1,448.0	29.8	189,828.9
2013	122,495.6	7,081.1	115,414.6	264.8	1,183.1	29.2	114,918.2
2014	222,928.5	3,829.1	219,099.4	0.0	1,448.0	29.8	219,099.4
2015	156,175.3	7,737.7	148,437.5	212.5	1,235.5	29.3	147,977.0
2016	159,940.1	4,520.2	155,419.9	0.0	1,448.0	29.8	155,419.9
2017	124,984.3	8,319.5	116,664.9	344.8	1,103.1	29.0	116,180.3
2018	138,757.3	5,915.7	132,841.6	0.0	1,448.0	29.8	132,841.6
2019	184,439.9	6,785.0	177,654.9	108.6	1,339.3	29.6	177,424.6
2020	223,382.9	4,035.7	219,347.2	0.0	1,448.0	29.8	219,347.2
2021	118,546.9	7,923.2	110,623.6	228.2	1,219.7	29.3	110,087.2
2022	166,461.8	4,940.8	161,521.0	0.0	1,448.0	29.8	161,521.0
2023	127,493.7	8,054.2	119,439.5	207.0	1,240.9	29.4	119,022.0
2024	146,094.1	5,757.2	140,336.9	0.0	1,448.0	29.8	140,336.9
2025	134,255.1	8,153.5	126,101.5	165.3	1,282.7	29.5	125,702.4
2026	178,695.9	5,731.0	172,965.0	0.0	1,448.0	29.8	172,965.0
2027	127,371.1	7,513.5	119,857.6	228.4	1,219.6	29.3	119,446.0
2028	182,917.4	4,726.1	178,191.3	0.0	1,448.0	29.8	178,191.3
2029	143,472.8	8,209.3	135,263.6	164.9	1,283.0	29.5	134,885.7
2030	174,602.9	5,397.0	169,205.9	0.0	1,448.0	29.8	169,205.9
2031	114,660.8	8,312.5	106,348.4	277.0	1,170.9	29.2	105,940.8
2032	156,022.0	5,547.3	150,474.7	0.2	1,447.7	29.8	150,444.0
2033	153,584.1	7,800.0	145,784.0	160.4	1,287.6	29.5	145,470.1
2034	220,570.8	4,614.4	215,956.4	0.0	1,448.0	29.8	215,956.4
2035	133,654.9	7,383.9	126,271.0	201.6	1,246.4	29.4	125,928.0
2036	182,203.5	4,167.4	178,036.0	0.0	1,448.0	29.8	178,036.0
2037	138,628.1	7,089.4	131,538.7	211.7	1,236.3	29.3	131,184.1
2038	195,400.4	4,467.4	190,932.9	0.0	1,448.0	29.8	190,932.9
2039	121,848.4	8,013.4	113,835.0	224.5	1,223.5	29.3	113,507.4
평 균	160,461.8	6,269.5	154,192.3	108.5	1,339.5	29.6	153,990.6

12.3 전라북도 백석저수지 2055s 물수지 분석

단위: 천㎥

연 도	유 입 량	전 체 필요수량	물 수 지	연 최 대 필요저수량	연 최저수량	연 최저수위	무효방류량
2040	164,592.0	5,253.5	159,338.6	0.0	1,448.0	29.8	159,338.6
2041	148,598.3	7,442.0	141,156.2	69.5	1,378.4	29.7	140,817.4
2042	196,094.1	4,685.2	191,408.9	0.0	1,448.0	29.8	191,408.9
2043	149,205.2	7,642.1	141,563.1	142.6	1,305.4	29.5	141,199.3
2044	179,842.9	4,794.5	175,048.4	0.0	1,448.0	29.8	175,048.4
2045	160,116.6	6,719.7	153,396.9	110.4	1,337.6	29.6	153,093.4
2046	246,097.6	4,055.3	242,042.3	0.0	1,448.0	29.8	242,042.3
2047	123,429.3	7,410.2	116,019.1	202.5	1,245.4	29.4	115,443.5
2048	183,137.2	4,449.7	178,687.4	0.0	1,448.0	29.8	178,687.4
2049	146,103.9	6,519.2	139,584.7	38.3	1,409.7	29.7	139,490.3
2050	257,710.0	4,032.1	253,678.0	0.0	1,448.0	29.8	253,678.0
2051	166,413.2	7,336.5	159,076.7	36.3	1,411.6	29.7	158,828.9
2052	209,482.7	4,872.7	204,609.9	0.0	1,448.0	29.8	204,609.9
2053	182,343.8	7,002.2	175,341.6	82.6	1,365.4	29.6	175,241.5
2054	217,918.3	3,967.1	213,951.1	0.0	1,448.0	29.8	213,951.1
2055	140,987.3	7,802.2	133,185.1	166.2	1,281.7	29.4	132,660.2
2056	179,895.8	4,882.3	175,013.5	0.0	1,448.0	29.8	175,013.5
2057	175,598.1	7,540.8	168,057.3	122.9	1,325.1	29.5	167,547.8
2058	258,506.6	4,723.4	253,783.2	0.0	1,448.0	29.8	253,783.2
2059	165,620.1	6,440.0	159,180.1	39.9	1,408.1	29.7	159,048.9
2060	268,277.9	3,621.4	264,656.5	0.0	1,448.0	29.8	264,656.5
2061	152,506.4	6,739.9	145,766.5	38.2	1,409.8	29.7	145,424.1
2062	250,875.2	4,295.4	246,579.8	0.0	1,448.0	29.8	246,579.8
2063	115,576.6	8,357.3	107,219.3	387.6	1,060.3	28.9	106,910.6
2064	147,371.3	5,771.3	141,600.0	0.0	1,448.0	29.8	141,600.0
2065	134,228.0	7,356.5	126,871.5	71.2	1,376.8	29.7	126,375.7
2066	201,510.3	4,329.0	197,181.3	0.0	1,448.0	29.8	197,181.3
2067	141,731.2	7,726.6	134,004.6	99.1	1,348.8	29.6	133,566.8
2068	199,165.4	4,991.3	194,174.2	0.0	1,448.0	29.8	194,174.2
2069	119,460.3	8,146.2	111,314.1	349.2	1,098.8	29.0	110,913.2
평 균	179,413.2	5,963.5	173,449.7	65.2	1,382.7	29.7	173,277.2

12.4 전라북도 백석저수지 2085s 물수지 분석

단위: 천㎥

연 도	유 입 량	전 체 필요수량	물 수 지	연 최 대 필요저수량	연 최저수량	연 최저수위	무효방류량
2070	171,521.1	5,728.8	165,792.3	0.0	1,448.0	29.8	165,792.3
2071	148,524.3	7,538.9	140,985.5	168.6	1,279.3	29.4	140,584.1
2072	244,431.7	5,047.7	239,384.0	0.0	1,448.0	29.8	239,384.0
2073	136,024.4	8,721.0	127,303.4	343.8	1,104.2	29.0	126,926.2
2074	204,726.0	6,617.1	198,108.9	0.0	1,448.0	29.8	198,108.9
2075	120,299.9	8,338.2	111,961.7	450.7	997.2	28.8	111,719.6
2076	187,358.5	5,347.7	182,010.7	0.0	1,448.0	29.8	182,010.7
2077	215,188.8	5,371.7	209,817.1	0.0	1,448.0	29.8	209,817.1
2078	324,848.0	3,587.5	321,260.4	0.0	1,448.0	29.8	321,260.4
2079	179,459.1	7,026.8	172,432.3	85.6	1,362.4	29.6	172,335.8
2080	221,668.5	4,945.1	216,723.4	0.0	1,448.0	29.8	216,723.4
2081	165,943.3	6,883.1	159,060.3	235.3	1,212.7	29.3	158,839.6
2082	189,906.2	5,095.5	184,810.7	0.0	1,448.0	29.8	184,810.7
2083	165,312.3	6,657.7	158,654.6	34.2	1,413.8	29.7	158,534.3
2084	296,269.4	4,614.6	291,654.8	0.0	1,448.0	29.8	291,654.8
2085	166,582.2	6,718.7	159,863.4	34.9	1,413.1	29.7	159,746.4
2086	251,033.3	5,314.3	245,719.0	0.0	1,448.0	29.8	245,719.0
2087	159,162.4	6,526.8	152,635.6	159.5	1,288.4	29.5	152,446.1
2088	253,009.6	4,059.2	248,950.3	0.0	1,448.0	29.8	248,950.3
2089	147,765.8	6,858.8	140,907.0	219.3	1,228.6	29.3	140,708.8
2090	218,752.6	4,581.4	214,171.2	0.0	1,448.0	29.8	214,171.2
2091	143,249.2	7,091.6	136,157.5	143.1	1,304.9	29.5	136,044.8
2092	187,937.2	4,910.4	183,026.8	0.0	1,448.0	29.8	183,026.8
2093	171,833.2	5,886.4	165,946.8	14.0	1,433.9	29.8	165,852.4
2094	283,503.1	4,530.8	278,972.2	0.0	1,448.0	29.8	278,972.2
2095	173,029.9	7,178.3	165,851.6	100.4	1,347.6	29.6	165,430.4
2096	277,278.1	4,434.1	272,844.0	0.0	1,448.0	29.8	272,844.0
2097	176,309.0	6,810.3	169,498.7	3.8	1,444.2	29.8	169,255.2
2098	280,536.2	4,756.5	275,779.7	0.0	1,448.0	29.8	275,779.7
2099	154,338.3	6,575.9	147,762.4	51.9	1,396.0	29.7	147,550.3
평 균	200,526.7	5,925.2	194,601.5	68.2	1,379.8	29.7	194,500.0

13. 충청남도 고풍저수지 필요수량 분석

13.1 충청남도 고풍저수지 1995s 필요수량 분석

단위: mm

연 도	강 우 량	잠 재 증발산량	논벼작물 증발산량	필요수량	유효우량	순용수량	조용수량
1980	1,006.1	453.0	513.8	1,451.1	749.8	413.2	459.1
1981	885.0	486.7	562.2	1,503.7	449.7	680.8	756.4
1982	601.8	527.8	608.9	1,541.6	433.2	763.6	848.4
1983	796.1	495.7	563.2	1,498.2	594.4	621.6	690.6
1984	1,119.2	505.8	585.0	1,515.9	515.5	695.9	773.2
1985	559.7	521.1	605.0	1,538.3	424.3	845.8	939.8
1986	786.4	479.0	543.3	1,476.2	581.3	583.3	648.1
1987	1,205.6	479.4	545.3	1,479.7	749.6	387.4	430.5
1988	528.8	535.2	614.4	1,543.3	422.3	803.1	892.4
1989	616.8	538.5	621.7	1,554.0	422.0	801.8	890.9
1990	1,163.6	471.2	550.7	1,490.7	735.4	472.0	524.4
1991	681.6	507.9	580.3	1,511.6	488.1	680.3	755.9
1992	614.1	515.5	591.5	1,527.5	363.4	843.5	937.2
1993	731.9	477.2	541.5	1,476.6	531.1	604.5	671.7
1994	772.7	570.2	667.8	1,602.3	480.4	795.5	883.9
1995	1,280.0	518.9	601.0	1,535.4	493.5	710.0	788.9
1996	465.2	498.4	575.6	1,507.3	398.7	774.9	861.0
1997	837.8	531.0	624.2	1,557.0	440.9	790.4	878.2
1998	1,225.0	481.3	550.4	1,487.0	820.9	407.5	452.8
1999	981.2	537.7	621.2	1,559.0	440.0	807.4	897.1
2000	983.7	498.7	577.8	1,517.7	419.2	760.8	845.4
2001	775.3	522.3	600.9	1,535.4	497.4	651.5	723.9
2002	1,141.9	494.3	560.1	1,494.4	617.0	640.8	712.0
2003	1,062.4	450.9	505.8	1,442.9	746.1	463.3	514.8
2004	870.7	507.9	585.8	1,517.6	616.4	632.4	702.7
2005	878.3	498.2	565.3	1,500.1	612.2	513.6	570.6
2006	935.0	475.5	549.1	1,489.0	592.5	593.4	659.4
2007	969.2	464.8	530.1	1,467.9	656.6	470.6	522.9
2008	704.4	485.2	558.0	1,497.1	498.6	633.2	703.6
2009	797.0	517.4	594.1	1,533.8	482.2	704.6	782.9
평 균	865.9	501.6	576.5	1,511.7	542.4	651.6	723.9

13.2 충청남도 고풍저수지 2025s 필요수량 분석

단위: mm

연 도	강 우 량	잠 재 증발산량	논벼작물 증발산량	필요수량	유효우량	순용수량	조용수량
2010	1,210.8	512.0	591.0	1,525.3	661.6	585.6	650.7
2011	583.0	514.7	598.5	1,536.1	407.6	847.3	941.4
2012	975.9	496.5	576.5	1,513.9	629.0	577.0	641.2
2013	643.8	534.4	615.9	1,548.7	431.5	838.5	931.6
2014	1,130.5	528.6	613.7	1,545.1	656.8	592.6	658.5
2015	484.0	541.1	624.8	1,555.6	309.9	915.9	1,017.6
2016	833.3	524.6	611.1	1,544.9	549.3	670.3	744.8
2017	517.9	546.7	632.2	1,564.4	341.8	917.1	1,018.9
2018	899.3	530.7	618.1	1,552.4	576.7	666.9	741.0
2019	628.1	537.0	624.5	1,557.4	413.4	820.1	911.2
2020	1,156.0	522.3	608.5	1,545.0	635.1	585.0	649.9
2021	459.6	545.1	630.3	1,562.8	334.3	916.4	1,018.2
2022	818.2	517.3	598.1	1,533.7	579.7	638.2	709.1
2023	381.2	529.8	612.4	1,545.8	280.9	951.5	1,057.2
2024	669.9	523.8	613.4	1,548.2	527.3	665.9	739.9
2025	410.0	530.5	615.3	1,547.6	298.7	958.9	1,065.5
2026	655.6	520.0	604.0	1,537.4	556.7	703.6	781.8
2027	537.2	554.2	638.4	1,565.1	411.0	886.6	985.1
2028	883.7	524.2	605.7	1,538.3	624.3	642.1	713.4
2029	657.0	547.3	631.1	1,562.8	404.2	890.7	989.6
2030	1,017.3	514.7	592.3	1,530.1	555.8	708.8	787.5
2031	346.9	565.3	648.9	1,576.0	291.8	970.9	1,078.8
2032	670.0	525.5	610.2	1,547.4	527.2	681.9	757.7
2033	433.1	543.5	624.9	1,555.2	352.8	924.3	1,027.0
2034	748.9	534.1	611.2	1,543.6	581.7	648.8	720.9
2035	612.1	549.0	631.7	1,562.5	416.8	875.0	972.2
2036	1,024.5	528.1	613.1	1,548.2	689.9	588.0	653.4
2037	530.8	551.7	631.9	1,559.3	399.9	898.9	998.8
2038	930.8	529.0	605.5	1,535.6	672.6	585.7	650.8
2039	399.5	555.6	633.9	1,561.6	327.1	908.4	1,009.3
평 균	708.3	532.6	615.6	1,548.3	481.5	768.7	854.1

13.3 충청남도 고풍저수지 2055s 필요수량 분석

단위: mm

연 도	강 우 량	잠 재 증발산량	논벼작물 증발산량	필요수량	유효우량	순용수량	조용수량
2040	817.1	531.1	585.7	1,518.4	600.6	558.7	620.8
2041	564.8	550.8	608.4	1,544.5	433.4	850.0	944.5
2042	1,003.6	522.3	580.2	1,509.7	714.1	508.6	565.1
2043	561.7	547.9	603.7	1,537.9	387.0	885.6	984.0
2044	852.7	528.6	584.3	1,511.6	616.2	602.4	669.3
2045	588.0	543.2	603.7	1,542.0	457.1	807.4	897.1
2046	1,185.5	528.0	590.3	1,522.0	677.4	537.7	597.4
2047	488.6	573.1	638.9	1,570.7	371.8	874.7	971.8
2048	906.0	544.4	606.4	1,534.0	589.4	585.7	650.8
2049	488.6	553.9	609.4	1,539.6	381.6	843.4	937.1
2050	906.0	523.1	580.2	1,509.9	588.4	572.1	635.7
2051	457.4	545.1	599.9	1,532.5	370.7	860.9	956.6
2052	849.7	511.5	569.1	1,501.9	636.6	551.2	612.5
2053	586.7	542.8	599.4	1,534.2	384.5	807.2	896.9
2054	1,197.6	523.2	575.9	1,504.1	655.2	493.7	548.5
2055	591.9	544.8	600.6	1,532.8	433.9	820.0	911.1
2056	1,090.9	530.9	592.9	1,523.4	727.3	497.4	552.7
2057	618.1	568.6	624.3	1,555.9	392.4	869.9	966.5
2058	1,133.2	525.8	590.7	1,527.6	557.5	634.8	705.3
2059	728.4	551.8	608.6	1,547.1	523.9	775.6	861.8
2060	1,298.1	533.2	591.1	1,521.0	797.1	463.2	514.7
2061	557.8	585.3	646.9	1,579.8	432.6	840.2	933.6
2062	1,231.5	539.8	603.0	1,536.4	713.6	500.4	556.0
2063	383.4	574.1	635.6	1,567.2	304.8	928.4	1,031.5
2064	736.7	520.9	579.0	1,511.2	626.4	558.2	620.2
2065	489.3	564.9	622.6	1,554.0	408.1	861.6	957.3
2066	1,007.7	547.7	612.5	1,542.4	697.2	544.2	604.7
2067	474.3	566.3	630.9	1,562.9	373.4	902.4	1,002.7
2068	861.4	550.0	611.2	1,541.3	664.4	556.6	618.5
2069	516.5	538.7	590.1	1,522.3	371.3	861.1	956.8
평 균	772.4	543.7	602.5	1,534.6	529.6	698.4	776.0

13.4 충청남도 고풍저수지 2085s 필요수량 분석

단위: mm

연 도	강 우 량	잠 재 증발산량	논벼작물 증발산량	필요수량	유효우량	순용수량	조용수량
2070	905.2	528.5	581.4	1,512.0	643.6	575.1	639.0
2071	712.9	553.5	602.4	1,534.9	484.9	811.7	901.9
2072	966.0	516.3	568.7	1,506.2	740.3	510.3	567.0
2073	524.5	565.9	619.9	1,552.9	425.1	844.1	937.9
2074	914.5	570.7	633.9	1,565.1	626.5	635.1	705.7
2075	522.1	585.6	636.9	1,571.0	364.0	895.8	995.3
2076	847.8	566.9	621.0	1,553.6	609.8	625.0	694.4
2077	729.9	545.5	590.1	1,517.5	481.0	714.5	793.9
2078	1,407.3	528.3	584.5	1,518.9	719.9	488.6	542.9
2079	600.9	575.3	630.8	1,564.2	448.4	836.1	929.0
2080	943.1	538.4	587.8	1,521.2	641.2	575.7	639.7
2081	484.3	569.1	617.8	1,548.3	326.0	872.1	969.0
2082	713.2	531.1	586.2	1,519.4	556.5	615.4	683.7
2083	976.1	557.0	608.5	1,540.9	581.9	745.1	827.9
2084	1,560.6	549.1	608.4	1,541.7	833.8	503.3	559.2
2085	637.3	545.3	593.6	1,527.3	477.8	788.9	876.5
2086	1,107.3	539.7	591.7	1,523.9	705.6	559.3	621.4
2087	746.8	570.2	622.4	1,553.6	469.6	776.6	862.9
2088	1,204.1	515.2	569.0	1,504.5	721.9	484.2	538.0
2089	628.0	570.2	620.8	1,551.6	455.5	805.7	895.2
2090	1,107.0	537.4	590.0	1,524.5	699.2	528.0	586.7
2091	688.2	563.6	619.4	1,554.5	505.5	762.5	847.2
2092	1,239.1	556.0	619.1	1,554.8	677.0	570.8	634.2
2093	660.5	574.0	626.2	1,557.7	469.3	755.8	839.8
2094	1,243.7	548.5	613.0	1,548.3	712.9	515.1	572.3
2095	694.8	559.3	616.7	1,550.1	447.8	844.2	938.0
2096	1,039.2	564.6	622.4	1,554.6	718.6	556.1	617.9
2097	848.3	568.7	621.5	1,555.2	582.6	763.2	848.0
2098	1,418.6	551.4	608.6	1,541.3	819.9	518.2	575.8
2099	707.6	564.9	625.1	1,559.2	511.2	746.5	829.4
평 균	892.6	553.7	607.9	1,541.0	581.9	674.1	749.0

14. 충청남도 고풍저수지 물수지 분석

14.1 충청남도 고풍저수지 1995s 물수지 분석

단위: 천㎥

연 도	유 입 량	전 체 필요수량	물 수 지	연 최 대 필요저수량	연 최저수량	연 최저수위	무효방류량
1980	26,259.5	5,440.3	20,819.2	2,267.4	4,926.0	81.3	20,819.2
1981	20,513.9	8,963.5	11,550.4	5,181.9	2,011.5	76.1	11,550.4
1982	15,600.5	10,053.7	5,546.8	6,631.3	562.1	71.3	5,546.8
1983	21,227.6	8,184.1	13,043.5	4,034.2	3,159.2	78.5	13,043.5
1984	23,797.3	9,162.4	14,634.9	3,863.0	3,330.4	78.8	14,634.9
1985	23,098.4	11,136.2	11,962.2	7,095.3	98.1	67.7	11,962.2
1986	17,789.2	7,679.6	10,109.7	3,352.2	3,841.2	79.6	10,109.7
1987	27,036.4	5,101.0	21,935.4	2,409.3	4,784.1	81.1	21,935.4
1988	9,777.1	10,574.7	-797.6	4,903.0	2,290.4	76.8	1,533.9
1989	19,967.1	10,557.3	9,409.8	5,566.5	1,626.9	75.1	7,078.2
1990	32,542.3	6,214.4	26,327.9	2,148.5	5,044.9	81.4	26,327.9
1991	17,639.0	8,957.1	8,681.9	2,934.9	4,258.5	80.3	8,681.9
1992	16,156.6	11,106.2	5,050.5	8,217.0	1.9	64.6	6,076.0
1993	17,389.0	7,959.3	9,429.7	2,153.2	5,040.2	81.4	9,429.7
1994	21,125.8	10,474.1	10,651.7	3,971.2	3,222.2	78.6	10,651.7
1995	26,582.9	9,348.2	17,234.8	6,172.5	1,020.9	73.3	17,234.8
1996	12,571.8	10,202.5	2,369.3	4,728.4	2,465.0	77.1	3,424.5
1997	19,709.5	10,407.2	9,302.3	4,455.8	2,737.6	77.7	9,873.9
1998	30,501.0	5,365.2	25,135.8	2,006.1	5,187.3	81.6	23,509.0
1999	33,924.6	10,630.1	23,294.4	4,109.0	3,084.4	78.3	23,294.4
2000	25,731.8	10,017.6	15,714.3	4,640.0	2,553.4	77.3	15,714.3
2001	16,454.3	8,578.5	7,875.7	4,716.1	2,477.3	77.2	8,525.7
2002	23,916.9	8,437.5	15,479.4	4,641.7	2,551.7	77.3	14,829.4
2003	24,770.8	6,099.9	18,670.9	2,712.8	4,480.6	80.6	18,670.9
2004	23,112.1	8,327.1	14,785.1	3,093.7	4,099.7	80.1	14,785.1
2005	22,642.0	6,761.9	15,880.1	2,358.2	4,835.2	81.1	15,880.1
2006	19,319.5	7,813.5	11,506.0	2,899.2	4,294.2	80.3	12,783.0
2007	25,428.4	6,196.8	19,231.6	3,364.6	3,828.8	79.6	17,954.7
2008	13,934.2	8,337.1	5,597.0	2,641.3	4,552.1	80.7	5,597.0
2009	17,013.3	9,277.2	7,736.1	4,290.7	2,902.7	78.0	7,736.1
평 균	21,517.8	8,578.8	12,939.0	4,052.0	3,175.6	77.8	12,973.1

14.2 충청남도 고풍저수지 2025s 물수지 분석

단위: 천㎥

연 도	유 입 량	전 체 필요수량	물 수 지	연 최 대 필요저수량	연 최저수량	연 최저수위	무효방류량
2010	33,432.4	7,703.9	25,728.5	2,100.6	5,092.8	81.5	25,728.5
2011	22,094.1	11,146.4	10,947.7	5,732.4	1,461.0	74.7	10,947.7
2012	30,440.6	7,591.3	22,849.3	1,716.8	5,476.6	82.0	22,849.3
2013	18,858.0	11,030.6	7,827.4	5,771.8	1,421.6	74.6	7,827.4
2014	31,895.2	7,796.2	24,099.0	1,719.5	5,473.9	82.0	24,099.0
2015	16,256.9	12,048.9	4,207.9	7,307.2	1.9	64.6	7,003.1
2016	27,257.3	8,818.7	18,438.6	2,784.3	4,524.9	80.7	15,759.2
2017	16,239.0	12,064.3	4,174.7	7,273.8	1.9	64.6	6,441.9
2018	25,973.7	8,774.0	17,199.8	2,249.9	5,025.8	81.4	15,014.9
2019	24,920.6	10,788.9	14,131.7	5,405.1	1,788.3	75.6	14,131.7
2020	36,963.6	7,695.4	29,268.3	1,841.5	5,351.9	81.8	29,268.3
2021	14,118.2	12,055.5	2,062.7	7,897.8	1.9	64.6	4,994.0
2022	24,274.6	8,395.5	15,879.1	2,923.7	4,976.0	81.3	13,654.0
2023	15,385.6	12,517.4	2,868.3	8,072.6	1.9	64.6	6,727.6
2024	21,987.5	8,760.9	13,226.5	3,851.2	4,223.4	80.2	10,248.4
2025	15,160.3	12,615.3	2,545.0	9,597.7	1.9	64.6	9,688.2
2026	21,117.7	9,256.0	11,861.7	7,134.1	2,465.5	77.1	7,124.8
2027	18,301.2	11,664.0	6,637.2	7,182.8	10.6	65.5	8,564.6
2028	27,372.7	8,446.9	18,925.8	1,917.2	5,276.2	81.7	16,998.4
2029	21,639.4	11,717.3	9,922.2	7,076.2	117.2	68.0	9,922.2
2030	29,733.2	9,324.1	20,409.1	3,674.2	3,519.2	79.1	20,409.1
2031	13,029.2	12,772.9	256.3	9,387.7	1.9	64.6	6,375.2
2032	19,588.5	8,970.8	10,617.8	6,107.2	3,282.4	78.7	6,695.1
2033	20,064.5	12,160.1	7,904.3	8,098.1	1.9	64.6	8,810.9
2034	27,925.6	8,535.9	19,389.7	1,694.1	5,499.3	82.0	19,389.7
2035	19,943.2	11,511.0	8,432.2	5,900.9	1,292.5	74.2	9,239.1
2036	30,784.6	7,736.0	23,048.5	1,623.2	5,570.2	82.1	22,241.7
2037	17,778.7	11,825.6	5,953.1	6,565.9	627.5	71.6	10,714.5
2038	27,910.0	7,705.7	20,204.3	4,751.3	2,442.1	77.1	15,442.8
2039	15,017.7	11,950.4	3,067.3	6,973.7	219.7	69.1	7,000.9
평 균	22,848.8	10,112.7	12,736.1	5,144.4	2,505.1	74.5	13,110.4

14.3 충청남도 고풍저수지 2055s 물수지 분석

단위: 천㎥

연 도	유 입 량	전 체 필요수량	물 수 지	연 최 대 필요저수량	연 최저수량	연 최저수위	무효방류량
2040	26,153.4	7,166.1	18,987.3	1,675.1	5,518.3	82.0	18,987.3
2041	25,844.9	10,903.2	14,941.7	5,050.4	2,143.0	76.4	14,941.7
2042	32,312.7	6,523.3	25,789.4	1,711.1	5,482.3	82.0	25,789.4
2043	21,045.4	11,359.0	9,686.4	5,813.7	1,379.7	74.4	10,276.0
2044	27,881.0	7,726.5	20,154.6	1,714.1	5,479.3	82.0	19,565.0
2045	23,426.9	10,356.5	13,070.4	4,170.0	3,023.4	78.2	13,070.4
2046	36,284.3	6,896.5	29,387.8	1,496.9	5,696.5	82.3	29,387.8
2047	18,378.9	11,218.9	7,160.0	5,669.1	1,524.3	74.9	7,160.0
2048	27,318.6	7,512.4	19,806.2	1,668.8	5,524.6	82.1	19,806.2
2049	18,341.1	10,818.3	7,522.8	5,361.9	1,831.5	75.7	7,522.8
2050	27,296.2	7,338.4	19,957.8	1,629.6	5,563.8	82.1	19,957.8
2051	23,584.9	11,042.8	12,542.2	5,857.6	1,335.8	74.3	12,542.2
2052	31,813.3	7,070.4	24,742.9	2,190.2	5,003.2	81.4	24,742.9
2053	22,408.5	10,353.6	12,055.0	3,543.1	3,650.3	79.3	12,055.0
2054	35,115.6	6,332.4	28,783.2	1,577.6	5,615.8	82.2	28,783.2
2055	21,193.9	10,517.8	10,676.1	3,675.6	3,517.8	79.1	10,676.1
2056	31,107.6	6,380.1	24,727.5	1,718.5	5,474.9	82.0	24,727.5
2057	26,973.8	11,157.6	15,816.2	5,968.3	1,225.1	74.0	15,816.2
2058	36,841.4	8,142.3	28,699.1	1,752.9	5,440.5	81.9	28,699.1
2059	23,798.2	9,948.3	13,849.8	2,932.2	4,261.2	80.3	13,849.8
2060	38,954.6	5,941.5	33,013.2	1,509.6	5,683.8	82.2	33,013.2
2061	18,231.0	10,777.4	7,453.6	5,068.3	2,125.1	76.4	7,825.1
2062	32,984.7	6,419.0	26,565.7	1,590.1	5,603.3	82.1	26,194.2
2063	15,497.2	11,908.0	3,589.3	7,838.2	1.9	64.6	5,863.7
2064	22,200.8	7,159.6	15,041.2	2,264.7	5,166.1	81.6	13,413.6
2065	17,198.1	11,050.8	6,147.3	6,502.0	691.4	71.9	6,499.0
2066	28,373.3	6,980.6	21,392.7	2,120.9	5,072.5	81.5	21,041.0
2067	19,472.2	11,574.9	7,897.3	6,278.8	914.6	72.9	8,706.9
2068	25,218.1	7,139.5	18,078.6	1,719.3	5,474.1	82.0	17,269.0
2069	16,674.1	11,045.2	5,628.9	5,582.1	1,611.3	75.1	6,740.3
평 균	25,730.8	8,958.7	16,772.1	3,521.7	3,701.2	78.6	16,830.7

14.4 충청남도 고풍저수지 2085s 물수지 분석

단위: 천㎥

연 도	유 입 량	전 체 필요수량	물 수 지	연 최 대 필요저수량	연 최저수량	연 최저수위	무효방류량
2070	27,202.0	7,129.2	20,072.9	1,953.5	5,239.9	81.7	20,072.9
2071	22,986.8	10,062.0	12,924.8	5,348.4	1,845.0	75.7	13,320.8
2072	30,191.1	6,326.5	23,864.6	1,860.1	5,333.3	81.8	23,468.6
2073	21,860.8	10,464.3	11,396.5	5,063.3	2,130.1	76.4	13,472.3
2074	30,433.3	7,873.6	22,559.7	2,237.7	4,955.7	81.3	20,483.9
2075	17,805.1	11,104.4	6,700.7	7,655.0	1.9	64.6	7,164.3
2076	26,138.4	7,747.9	18,390.6	2,278.7	4,914.7	81.2	18,390.6
2077	27,405.3	8,857.3	18,548.0	2,890.4	4,303.0	80.4	18,548.0
2078	42,613.1	6,057.4	36,555.7	1,650.1	5,543.3	82.1	36,555.7
2079	21,340.2	10,365.2	10,975.0	4,579.2	2,614.2	77.4	12,461.2
2080	30,401.7	7,137.3	23,264.5	1,898.9	5,294.5	81.7	21,778.2
2081	20,402.4	10,810.7	9,591.7	6,349.7	843.7	72.6	9,641.1
2082	24,663.8	7,628.6	17,035.3	2,204.1	4,989.3	81.3	16,985.9
2083	30,556.3	9,237.3	21,319.0	2,739.5	4,453.9	80.6	21,319.0
2084	44,965.3	6,239.4	38,725.9	1,733.3	5,460.1	82.0	38,725.9
2085	20,422.7	9,779.5	10,643.2	4,723.1	2,470.3	77.1	10,643.2
2086	34,881.9	6,932.9	27,949.1	1,783.8	5,409.6	81.9	27,949.1
2087	25,009.8	9,627.5	15,382.3	3,191.5	4,001.9	79.9	15,382.3
2088	35,646.6	6,002.6	29,643.9	1,755.4	5,438.0	81.9	29,643.9
2089	18,413.5	9,988.1	8,425.5	3,632.9	3,560.5	79.2	8,425.5
2090	30,557.7	6,545.5	24,012.2	1,869.1	5,324.3	81.8	24,012.2
2091	18,615.2	9,452.7	9,162.5	3,802.1	3,391.3	78.9	9,162.5
2092	32,959.8	7,075.5	25,884.3	1,738.4	5,455.0	82.0	25,884.3
2093	23,804.5	9,369.7	14,434.8	2,999.7	4,193.7	80.2	14,434.8
2094	38,776.3	6,385.5	32,390.9	1,634.9	5,558.5	82.1	32,390.9
2095	30,486.6	10,465.0	20,021.6	6,038.6	1,154.8	73.7	20,021.6
2096	37,076.3	6,894.1	30,182.3	1,848.1	5,345.3	81.8	30,182.3
2097	29,756.6	9,461.2	20,295.4	3,631.4	3,562.0	79.2	20,295.4
2098	47,320.1	6,423.7	40,896.4	1,733.1	5,460.3	82.0	40,896.4
2099	22,482.8	9,254.1	13,228.7	3,679.4	3,514.0	79.1	13,228.7
평 균	28,839.2	8,356.6	20,482.6	3,150.1	4,058.7	79.4	20,498.0

15. 충청북도 원남저수지 필요수량 분석

15.1 충청북도 원남저수지 1995s 필요수량 분석

단위: mm

연 도	강 우 량	잠 재 증발산량	논벼작물 증발산량	필요수량	유효우량	순용수량	조용수량
1980	1,276.3	478.9	540.7	1,530.2	811.5	405.4	477.0
1981	809.0	520.3	594.9	1,586.7	532.6	651.7	766.7
1982	538.7	567.4	652.2	1,635.2	466.5	796.4	936.9
1983	862.2	554.2	635.2	1,622.9	670.9	654.4	769.8
1984	859.1	555.2	637.9	1,618.5	563.3	737.9	868.1
1985	730.9	542.4	628.4	1,616.8	560.4	733.6	863.1
1986	850.1	535.0	608.1	1,593.6	625.5	607.2	714.4
1987	1,356.1	511.2	576.5	1,563.0	751.9	437.5	514.7
1988	714.3	555.1	635.8	1,619.7	476.9	795.4	935.8
1989	686.2	568.9	653.0	1,634.1	548.6	713.3	839.1
1990	962.8	505.2	593.0	1,585.0	543.2	718.3	845.1
1991	696.8	567.3	646.6	1,626.0	535.4	726.7	854.9
1992	601.8	556.5	641.3	1,627.5	449.7	856.1	1,007.1
1993	929.8	503.1	564.3	1,551.1	690.9	511.2	601.4
1994	680.0	622.5	728.3	1,713.6	509.3	854.5	1,005.3
1995	1,205.0	569.6	659.9	1,647.4	561.1	750.6	883.1
1996	617.1	571.3	658.7	1,639.6	463.9	799.8	941.0
1997	1,037.1	572.2	660.9	1,642.6	577.4	702.6	826.6
1998	1,122.6	531.1	606.5	1,592.4	708.9	588.3	692.2
1999	639.1	598.4	685.9	1,673.6	468.8	859.1	1,010.8
2000	967.2	512.4	590.3	1,578.9	586.8	622.4	732.2
2001	548.8	527.9	601.7	1,587.0	418.4	749.9	882.3
2002	980.9	551.9	621.9	1,605.0	579.7	767.7	903.2
2003	1,232.8	474.7	533.5	1,521.2	853.8	456.1	536.6
2004	1,160.5	537.3	616.5	1,598.1	638.8	640.4	753.4
2005	963.6	532.2	599.9	1,585.2	613.3	568.3	668.5
2006	828.7	517.1	591.7	1,580.7	537.8	690.9	812.9
2007	997.9	522.8	590.8	1,578.3	699.0	555.6	653.6
2008	721.6	531.5	604.7	1,593.7	487.5	690.4	812.2
2009	750.4	536.1	613.7	1,606.0	567.1	673.3	792.2
평 균	877.6	541.0	619.1	1,605.1	583.3	677.2	796.7

15.2 충청북도 원남저수지 2025s 필요수량 분석

단위: mm

연 도	강 우 량	잠 재 증발산량	논벼작물 증발산량	필요수량	유효우량	순용수량	조용수량
2010	922.7	551.2	641.0	1,631.4	531.8	779.7	917.3
2011	887.9	527.8	613.2	1,607.3	553.2	743.0	874.1
2012	838.6	523.1	607.8	1,604.0	638.9	630.9	742.2
2013	642.2	509.6	592.3	1,584.9	523.3	799.8	941.0
2014	1,098.2	500.0	582.0	1,574.6	683.3	713.6	839.5
2015	780.5	526.4	609.7	1,599.5	530.1	843.4	992.2
2016	849.6	503.8	585.8	1,575.7	659.6	743.5	874.7
2017	873.0	518.6	610.9	1,606.3	608.6	860.8	1,012.7
2018	917.5	505.8	586.0	1,578.8	618.6	801.1	942.5
2019	538.5	517.6	601.3	1,596.8	444.0	812.0	955.3
2020	646.8	516.8	597.4	1,586.8	452.5	889.5	1,046.5
2021	500.4	523.3	609.0	1,600.9	361.9	862.0	1,014.2
2022	584.5	536.5	629.5	1,621.8	417.9	969.4	1,140.5
2023	603.6	526.5	612.7	1,603.6	540.7	823.8	969.2
2024	740.7	529.8	620.2	1,613.8	501.0	914.9	1,076.4
2025	1,096.1	519.6	605.7	1,600.0	424.0	961.2	1,130.8
2026	556.1	531.8	619.8	1,613.9	319.5	1,075.0	1,264.7
2027	490.2	539.1	630.9	1,623.9	367.7	920.6	1,083.0
2028	604.5	517.3	597.7	1,593.0	395.5	815.8	959.7
2029	1,137.5	524.9	608.7	1,602.9	659.5	685.9	807.0
2030	1,440.4	495.4	583.2	1,577.4	672.4	754.2	887.3
2031	723.4	525.6	610.8	1,600.7	640.1	729.4	858.1
2032	728.8	524.0	602.5	1,588.3	415.2	916.2	1,077.8
2033	994.5	521.0	605.7	1,597.6	549.0	819.5	964.1
2034	941.7	535.5	620.3	1,607.3	554.2	827.4	973.4
2035	694.1	538.4	628.6	1,617.5	515.7	827.9	973.9
2036	1,554.5	504.8	587.8	1,580.0	601.2	766.4	901.7
2037	1,271.5	499.7	580.6	1,572.3	808.4	616.5	725.3
2038	843.4	539.1	634.4	1,629.3	607.1	815.9	959.9
2039	478.9	544.8	627.4	1,613.5	436.6	892.3	1,049.8
평 균	832.7	522.6	608.1	1,600.1	534.4	820.4	965.2

15.3 충청북도 원남저수지 2055s 필요수량 분석

단위: mm

연 도	강 우 량	잠 재 증발산량	논벼작물 증발산량	필요수량	유효우량	순용수량	조용수량
2040	737.0	492.1	547.3	1,541.0	624.3	622.5	732.3
2041	638.1	537.4	604.1	1,593.4	486.5	963.0	1,133.0
2042	805.1	528.7	587.0	1,579.2	659.9	759.4	893.4
2043	678.2	527.7	579.0	1,565.2	442.8	873.9	1,028.1
2044	874.9	515.3	580.7	1,568.1	572.3	804.7	946.8
2045	1,029.9	516.0	571.1	1,559.8	661.5	650.3	765.1
2046	940.6	532.5	586.9	1,572.6	609.6	669.9	788.1
2047	397.6	513.7	568.4	1,556.3	310.0	880.9	1,036.4
2048	1,412.8	521.2	584.7	1,571.5	933.4	421.9	496.3
2049	1,292.3	509.1	562.5	1,554.7	715.2	695.1	817.7
2050	1,206.8	534.4	592.5	1,583.6	732.2	692.9	815.2
2051	561.3	526.2	576.5	1,558.3	398.4	834.1	981.3
2052	836.4	495.8	544.3	1,530.4	658.8	620.8	730.4
2053	630.6	554.5	622.9	1,608.8	464.4	842.4	991.1
2054	970.6	512.6	570.2	1,560.1	758.2	470.6	553.6
2055	697.2	540.1	599.5	1,585.6	415.2	925.8	1,089.1
2056	1,236.8	546.4	606.4	1,593.8	643.3	780.7	918.5
2057	763.3	505.7	564.8	1,559.2	574.4	840.7	989.0
2058	536.5	530.6	586.1	1,570.4	376.4	905.2	1,064.9
2059	915.9	508.9	566.6	1,557.4	556.8	809.8	952.7
2060	1,122.9	513.8	564.7	1,552.7	675.8	663.5	780.6
2061	782.2	526.5	575.2	1,567.4	632.7	651.9	766.9
2062	538.3	531.8	580.6	1,569.8	418.2	753.5	886.5
2063	773.3	528.8	582.6	1,573.7	590.7	616.3	725.1
2064	592.8	525.2	576.9	1,560.7	386.2	913.0	1,074.1
2065	860.1	533.6	590.1	1,581.1	604.1	746.8	878.6
2066	688.1	524.0	581.4	1,566.6	551.6	776.9	914.0
2067	1,486.1	516.1	569.4	1,556.8	743.8	639.9	752.8
2068	1,221.0	516.3	575.5	1,569.4	782.8	538.6	633.7
2069	1,011.1	512.2	561.4	1,548.4	720.8	543.2	639.1
평 균	874.6	522.6	578.6	1,567.2	590.0	730.3	859.1

15.4 충청북도 원남저수지 2085s 필요수량 분석

단위: mm

연 도	강 우 량	잠 재 증발산량	논벼작물 증발산량	필요수량	유효우량	순용수량	조용수량
2070	652.6	519.4	570.2	1,556.2	525.4	783.4	921.6
2071	695.9	543.4	591.5	1,571.6	474.6	831.5	978.3
2072	810.8	533.9	580.3	1,561.8	505.1	778.4	915.7
2073	593.5	541.5	597.5	1,583.3	509.9	864.8	1,017.4
2074	885.8	535.6	592.9	1,575.5	503.0	857.4	1,008.7
2075	737.0	520.1	563.3	1,549.2	541.8	692.5	814.7
2076	894.9	546.2	596.7	1,582.3	553.0	780.4	918.1
2077	915.5	517.7	567.4	1,548.7	648.3	619.7	729.0
2078	877.1	531.0	583.4	1,574.7	659.2	684.6	805.4
2079	680.4	507.1	553.1	1,540.9	536.0	692.5	814.7
2080	998.0	508.1	561.4	1,549.2	616.7	729.6	858.4
2081	488.6	537.4	592.6	1,579.3	410.4	911.6	1,072.5
2082	456.5	551.3	597.6	1,580.4	370.4	828.8	975.0
2083	1,167.3	535.8	594.4	1,579.0	716.6	632.0	743.5
2084	1,300.8	530.2	593.6	1,582.7	805.9	699.7	823.2
2085	1,017.3	513.9	566.5	1,552.3	682.7	681.3	801.5
2086	920.9	529.0	580.8	1,566.7	611.8	719.5	846.5
2087	862.0	545.6	605.2	1,589.2	529.6	823.2	968.4
2088	1,343.0	527.1	578.8	1,561.1	778.5	474.5	558.2
2089	774.1	542.2	592.8	1,573.9	592.4	685.9	807.0
2090	692.6	535.6	581.9	1,562.9	409.8	806.8	949.2
2091	966.1	527.8	585.6	1,572.2	631.1	700.9	824.5
2092	921.7	529.8	585.7	1,574.0	705.6	614.4	722.9
2093	822.6	554.0	616.4	1,597.6	645.9	697.6	820.7
2094	740.2	535.6	594.2	1,582.2	540.0	732.7	862.0
2095	749.3	540.4	595.7	1,577.5	463.1	830.0	976.5
2096	1,237.6	554.3	605.9	1,589.9	507.9	759.1	893.0
2097	1,180.8	535.4	593.7	1,580.7	673.3	702.9	827.0
2098	1,472.5	534.2	585.4	1,570.3	862.0	609.6	717.2
2099	861.9	524.7	579.8	1,565.7	758.2	641.5	754.7
평 균	890.6	532.9	586.1	1,571.0	592.3	728.9	857.5

16. 충청북도 원남저수지 물수지 분석

16.1 충청북도 원남저수지 1995s 물수지 분석

단위: 천㎥

연 도	유 입 량	전 체 필요수량	물 수 지	연 최 대 필요저수량	연 최저수량	연 최저수위	무효방류량
1980	97,397.1	6,688.3	90,708.8	870.6	7,933.3	114.9	89,858.7
1981	59,324.1	10,751.0	48,573.1	4,717.8	4,086.1	110.9	47,740.4
1982	40,850.5	13,137.1	27,713.4	7,330.0	1,474.0	105.3	27,324.8
1983	65,405.9	10,794.6	54,611.3	4,085.3	4,718.7	111.7	53,244.7
1984	56,498.0	12,173.1	44,324.9	3,719.8	5,084.1	112.1	42,230.5
1985	72,067.9	12,102.0	59,965.9	5,754.1	3,049.8	109.3	58,932.1
1986	60,128.2	10,016.8	50,111.3	2,971.8	5,832.2	113.0	48,737.9
1987	94,456.2	7,216.5	87,239.7	2,638.2	6,165.7	113.3	86,261.1
1988	43,728.8	13,121.9	30,606.9	4,923.8	3,880.2	110.6	29,746.9
1989	67,207.5	11,766.2	55,441.3	3,123.3	5,680.7	112.8	53,249.0
1990	80,459.1	11,849.4	68,609.7	3,020.1	5,783.9	112.9	67,519.9
1991	58,268.1	11,987.5	46,280.6	2,558.7	6,245.3	113.4	45,187.5
1992	48,901.7	14,121.8	34,779.8	6,118.5	2,685.5	108.5	34,770.3
1993	68,874.8	8,433.3	60,441.5	3,037.4	5,766.6	112.9	59,429.8
1994	51,691.8	14,097.0	37,594.8	4,515.7	4,288.3	111.1	36,234.0
1995	74,575.5	12,382.4	62,193.2	6,664.6	2,139.4	107.3	60,859.9
1996	45,935.8	13,194.5	32,741.3	4,270.7	4,533.3	111.5	31,464.3
1997	79,923.0	11,590.9	68,332.0	2,117.2	6,686.8	113.8	67,138.7
1998	91,811.7	9,705.6	82,106.1	2,957.1	5,846.9	113.0	81,304.0
1999	71,744.8	14,172.8	57,572.0	3,050.7	5,753.3	112.9	56,314.5
2000	74,222.2	10,267.4	63,954.8	4,921.8	3,882.2	110.6	62,568.9
2001	38,699.8	12,371.5	26,328.4	5,639.6	3,164.4	109.5	25,441.5
2002	66,750.8	12,664.2	54,086.5	4,468.6	4,335.3	111.2	52,887.6
2003	87,685.3	7,524.5	80,160.8	1,597.4	7,206.6	114.3	79,427.1
2004	83,808.0	10,564.3	73,243.6	3,380.9	5,423.1	112.5	72,400.4
2005	78,255.6	9,374.3	68,881.2	2,112.0	6,691.9	113.8	67,798.9
2006	56,413.2	11,398.2	45,015.0	2,679.2	6,124.8	113.2	43,476.5
2007	83,590.4	9,165.3	74,425.2	4,220.2	4,583.8	111.5	72,909.3
2008	45,310.5	11,388.5	33,922.0	2,901.0	5,902.9	113.0	32,373.9
2009	49,608.1	11,107.9	38,500.3	3,578.4	5,225.5	112.3	36,274.7
평 균	66,453.1	11,171.0	55,282.2	3,798.1	5,005.8	111.8	54,103.6

16.2 충청북도 원남저수지 2025s 물수지 분석

단위: 천㎥

연 도	유 입 량	전 체 필요수량	물 수 지	연 최 대 필요저수량	연 최저수량	연 최저수위	무효방류량
2010	82,793.1	12,236.7	70,556.4	2,714.9	6,089.0	113.2	69,474.7
2011	127,527.8	11,660.7	115,867.1	1,729.4	7,074.5	114.2	114,427.5
2012	118,220.6	9,900.8	108,319.8	1,499.5	7,304.5	114.4	106,244.3
2013	93,013.8	12,552.7	80,461.1	4,393.2	4,410.8	111.3	78,726.0
2014	101,100.2	11,199.1	89,901.1	3,197.1	5,606.9	112.7	88,907.9
2015	104,805.2	13,236.5	91,568.8	5,494.1	3,309.9	109.7	91,062.5
2016	112,271.5	11,667.9	100,603.6	4,938.0	3,866.0	110.6	99,411.8
2017	113,840.5	13,509.6	100,330.9	4,952.8	3,851.2	110.5	99,285.8
2018	100,174.9	12,573.3	87,601.6	4,443.3	4,360.7	111.2	87,010.7
2019	92,234.2	12,744.3	79,490.0	3,268.1	5,535.8	112.6	77,901.1
2020	99,731.2	13,960.0	85,771.2	3,441.7	5,362.3	112.4	84,994.0
2021	69,468.4	13,528.8	55,939.6	8,083.6	720.3	102.1	54,750.6
2022	76,200.8	15,214.3	60,986.5	3,716.6	5,087.4	112.1	60,212.8
2023	112,316.8	12,929.2	99,387.6	3,151.7	5,652.2	112.8	97,970.7
2024	93,815.7	14,358.6	79,457.1	6,309.2	2,494.7	108.1	78,459.8
2025	128,150.0	15,084.9	113,065.1	5,764.4	3,039.6	109.2	113,050.2
2026	97,457.7	16,871.6	80,586.0	10,278.9	101.1	97.0	81,847.0
2027	63,752.2	14,447.9	49,304.3	7,228.6	1,575.4	105.6	48,617.9
2028	80,351.7	12,803.0	67,548.7	4,201.7	4,602.3	111.5	66,619.9
2029	141,999.0	10,765.1	131,233.9	4,120.9	4,683.0	111.6	130,556.0
2030	153,776.8	11,836.5	141,940.3	4,596.1	4,207.9	111.0	140,805.2
2031	89,332.0	11,446.7	77,885.3	1,540.9	7,263.1	114.3	76,092.3
2032	63,777.6	14,378.4	49,399.2	5,883.9	2,920.1	109.0	48,160.0
2033	135,736.8	12,861.1	122,875.7	2,804.8	5,999.1	113.1	121,951.3
2034	153,277.4	12,985.7	140,291.7	5,504.9	3,299.1	109.7	138,936.1
2035	74,506.3	12,992.5	61,513.9	5,406.4	3,397.5	109.9	60,324.8
2036	146,638.4	12,028.1	134,610.3	2,306.6	6,497.4	113.6	133,503.2
2037	110,763.8	9,675.1	101,088.7	1,070.6	7,733.4	114.8	98,843.5
2038	135,659.5	12,805.1	122,854.4	3,244.2	5,559.8	112.7	122,070.3
2039	87,971.1	14,004.2	73,966.8	4,202.5	4,601.4	111.5	73,288.1
평 균	105,355.5	12,875.3	92,480.2	4,316.3	4,540.2	110.8	91,450.2

16.3 충청북도 원남저수지 2055s 물수지 분석

단위: 천㎥

연 도	유 입 량	전 체 필요수량	물 수 지	연 최 대 필요저수량	연 최저수량	연 최저수위	무효방류량
2040	82,361.9	9,497.9	72,864.0	2,058.7	6,745.3	113.9	71,771.0
2041	189,042.9	14,694.9	174,348.0	4,852.7	3,951.3	110.7	174,038.8
2042	158,685.6	11,587.4	147,098.2	1,620.5	7,183.4	114.3	145,505.4
2043	125,255.7	13,335.1	111,920.6	3,579.1	5,224.9	112.3	111,117.7
2044	129,025.7	12,279.5	116,746.2	4,156.4	4,647.5	111.6	115,301.6
2045	163,775.6	9,923.2	153,852.4	1,859.1	6,944.9	114.0	151,879.5
2046	135,670.4	10,221.3	125,449.1	3,905.9	4,898.1	111.9	124,815.4
2047	80,431.3	13,441.6	66,989.7	3,893.6	4,910.3	111.9	65,950.2
2048	128,078.8	6,437.6	121,641.2	343.4	8,460.6	115.4	119,401.3
2049	151,897.8	10,605.9	141,291.9	1,501.3	7,302.7	114.4	139,667.4
2050	129,311.0	10,573.6	118,737.4	2,780.7	6,023.3	113.1	118,320.2
2051	107,880.7	12,727.7	95,153.0	2,572.3	6,231.7	113.4	94,033.4
2052	154,928.3	9,473.2	145,455.1	815.6	7,988.4	115.0	143,429.8
2053	118,129.9	12,854.3	105,275.6	2,248.9	6,555.1	113.7	103,380.2
2054	114,200.2	7,180.1	107,020.1	1,256.9	7,547.0	114.6	105,293.9
2055	100,399.9	14,126.3	86,273.7	4,277.1	4,526.9	111.4	84,887.7
2056	130,018.5	11,912.6	118,105.9	1,950.6	6,853.3	114.0	116,892.4
2057	173,323.3	12,827.5	160,495.8	2,956.4	5,847.6	113.0	159,716.0
2058	161,752.1	13,811.9	147,940.2	5,458.3	3,345.6	109.8	147,173.5
2059	149,319.5	12,357.0	136,962.5	3,243.7	5,560.3	112.7	136,568.7
2060	177,536.3	10,123.9	167,412.3	1,939.4	6,864.6	114.0	165,056.9
2061	124,689.3	9,946.5	114,742.8	2,696.0	6,107.9	113.2	113,889.2
2062	88,661.2	11,497.3	77,163.9	3,966.3	4,837.7	111.8	76,394.3
2063	98,377.4	9,404.5	88,972.8	2,835.6	5,968.3	113.1	86,347.1
2064	76,985.9	13,931.2	63,054.7	4,123.2	4,680.7	111.6	62,708.2
2065	89,275.6	11,395.3	77,880.3	5,517.9	3,286.0	109.7	76,973.3
2066	110,312.2	11,854.8	98,457.4	2,079.7	6,724.3	113.8	96,807.4
2067	154,216.4	9,764.3	144,452.1	1,303.5	7,500.5	114.6	143,568.1
2068	161,305.1	8,218.8	153,086.3	459.0	8,344.9	115.3	151,426.0
2069	115,171.0	8,289.3	106,881.7	2,622.9	6,181.0	113.3	105,165.7
평 균	129,334.0	11,143.2	118,190.8	2,762.5	6,041.5	113.0	116,916.0

16.4 충청북도 원남저수지 2085s 물수지 분석

단위: 천㎥

연 도	유 입 량	전 체 필요수량	물 수 지	연 최 대 필요저수량	연 최저수량	연 최저수위	무효방류량
2070	89,263.0	11,648.6	77,614.4	1,925.6	6,878.3	114.0	76,610.7
2071	103,393.6	12,364.2	91,029.4	3,319.6	5,484.4	112.6	90,529.9
2072	151,123.4	11,574.1	139,549.3	1,707.6	7,096.3	114.2	137,875.1
2073	126,476.7	12,858.3	113,618.3	3,685.8	5,118.2	112.2	111,866.6
2074	117,665.2	12,749.2	104,916.0	3,442.6	5,361.4	112.4	104,207.3
2075	127,300.9	10,296.5	117,004.4	2,261.1	6,542.8	113.7	114,539.6
2076	101,747.8	11,604.3	90,143.5	5,463.8	3,340.2	109.8	89,860.7
2077	155,758.0	9,213.9	146,544.1	647.6	8,156.4	115.1	145,458.2
2078	99,326.0	10,179.1	89,146.9	4,779.3	4,024.7	110.8	88,420.7
2079	112,911.1	10,297.1	102,614.0	1,635.0	7,169.0	114.3	101,972.7
2080	114,146.8	10,849.2	103,297.6	2,002.8	6,801.1	113.9	102,057.4
2081	121,105.6	13,555.3	107,550.3	3,465.3	5,338.6	112.4	106,362.8
2082	67,168.2	12,323.4	54,844.8	3,332.1	5,471.9	112.6	54,105.5
2083	150,195.8	9,397.4	140,798.4	1,021.6	7,782.3	114.8	139,369.5
2084	142,401.5	10,404.8	131,996.6	2,976.2	5,827.8	113.0	131,650.2
2085	116,279.2	10,130.6	106,148.5	1,832.6	6,971.4	114.1	104,636.4
2086	124,718.5	10,698.8	114,019.8	1,057.0	7,746.9	114.8	113,393.1
2087	137,316.7	12,239.9	125,076.8	2,390.2	6,413.8	113.5	124,352.9
2088	164,266.3	7,055.4	157,210.9	1,230.2	7,573.8	114.6	155,618.5
2089	112,789.3	10,199.1	102,590.2	3,147.6	5,656.4	112.8	101,897.2
2090	101,244.6	11,996.7	89,247.8	3,709.9	5,094.1	112.1	88,596.8
2091	132,452.6	10,421.2	122,031.3	1,532.4	7,271.6	114.3	120,366.2
2092	102,121.3	9,136.4	92,984.9	885.0	7,919.0	114.9	90,338.9
2093	137,480.4	10,372.8	127,107.6	1,707.8	7,096.1	114.2	125,594.1
2094	98,753.7	10,895.4	87,858.2	3,889.4	4,914.6	111.9	87,124.4
2095	130,526.3	12,341.4	118,184.8	5,105.4	3,698.6	110.3	118,003.5
2096	215,508.0	11,287.0	204,221.1	1,701.6	7,102.3	114.2	203,114.9
2097	185,402.1	10,452.3	174,949.8	1,898.3	6,905.7	114.0	173,733.9
2098	157,115.0	9,064.7	148,050.3	1,594.3	7,209.7	114.3	146,820.2
2099	119,511.9	9,539.1	109,972.8	1,165.8	7,638.2	114.7	108,198.1
평 균	127,182.3	10,838.2	116,344.1	2,483.8	6,320.2	113.3	115,222.5

주 의

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

■ 발 행 처

기후변화에 따른 농업용수 영향평가 연구(Ⅱ)	
발행일	2010. 121
발행인	정 해 창
발행처	한국농어촌공사 농어촌연구원
주 소	경기도 안산시 상록구 사동 해안로 870 전 화 031 - 400 - 1700 FAX 031 - 409 - 6055

※ 이 책의 내용을 무단 전재하거나 복사하면 법에 저촉됩니다. 단, 이 책의 출처를 명시하면 인용이 가능합니다.