

# 농업용수의 기후변화 적응능력 지표 개발

—가뭄에 대한 적응을 중심으로—

유가영\* · 김진택\*\* · 김정은\*\*\*

Development of an Adaptive Capacity Indicator to Climate Change  
in the Agricultural Water Sector

Yoo ga young · Kim jin teak · Kim jung eun

I. 서 론 ■

II. 선행 연구 ■

III. 방법론 ■

IV. 결과 및 토의 ■

V. 요약 및 결론 ■

참고문헌 ■

\* 한국환경정책·평가연구원(Korea Environment Institute)

\*\* 농어촌연구원(Rural Research Institute)

\*\*\* 시라큐스대학교(Syracuse University, USA)

## 국문요약

기후변화 적응정책 수립을 위해서는 취약성 평가가 선행되어야 하며 기후변화에 대한 적응능력은 취약성을 구성하는 주요한 요소이다. 본 연구는 농업용수 관리 시스템의 적응능력에 관한 지표를 전라도 지역 벼 생산에 관련된 농업용수 수요량과 공급량 자료를 이용하여 개발하였다. 농업용수 공급량은 한국농촌공사가 관리하는 주요 댐 및 저수지의 저수량 자료를 이용하였고, 벼 생산을 위한 농업용수 수요량은 한국농촌공사의 농업용수 수요량 산정 시스템의 모형 구동결과를 활용하였다. 자료 분석의 공간적 범위는 시·군·구이며, 시간적 범위는 월별 평균량을 1991년-2003년까지 정리한 것이다. 가뭄 스트레스에 대한 농업용수의 적응능력 지표(Adaptive Capacity for Drought Stress index: ACDS index)는 농업용수의 공급량이 수요량보다 큰 시점의 자료가 전체 자료 중에서 차지하는 백분율로 표시하였다. 즉, 농업용수 공급량이 수요량보다 큰 경우가 차지하는 비율이 높을수록 가뭄에 대한 기후변화 적응능력이 높은 것으로 보였다. 개발된 ACDS 지표는 이미 제안된 대형 댐의 물 공급 가능량을 표시하는 지표인 Standard Water Storage Capacity Index(SWSCl)와 비교되었는데, ACDS 지표와 SWSCl은 높은 상관관계( $R^2 = 0.84$ )를 보였으며, 이는 개발된 ACDS 지표가 농업용수의 수요와 공급 간의 균형관계를 잘 표현하고 있음을 의미한다. 특히 ACDS 지표는 SWSCl에 비하여 규모가 작은 농업용 저수지의 상태를 보다 잘 표현해 주는 것으로 분석되었다. 본 연구는 농업용수 시스템이 향후 기후변화로 인해 가뭄과 같은 극한상황에 보다 더 자주 노출될 것으로 예측되고 있는 시점에서 기후변화 취약성 지표를 개발하는 데 도움을 주는 방법론적 틀을 제공했다고 할 수 있다. 향후에는 벼 이외의 작물에 대한 농업용수 수요량을 고려한 연구 및 개발된 ACDS 지표의 미래 예측을 통해 기후변화에 농업수자원 분야가 미리 적응할 수 있는 기반을 마련하는 데 도움을 주는 연구로 발전되어야 할 것이다.

■ 주제어 ■ 적응능력, 농업용수, 기후변화

## Abstract

Assessing vulnerability to climate change is the first step to take when setting up appropriate adaptation strategies. Adaptive capacity to climate change is the important factor comprising vulnerability. An adaptive capacity index in agricultural water management system was developed considering agricultural water supply and demand for rice production in Jeolla-do, Korea. The agricultural water supply was assumed to be equal to the amount of water stored in the major agricultural reservoirs, while data on the agricultural water demand was obtained from the dynamic simulation results by Korea Agriculture Corporation (KAC). The spatial unit for analysis was conducted at the county (Si, Gun, Gu) level and temporal scale was based on every month from 1991~2003. Adaptive capacity for drought stress index (ACDS index) was calculated as the percentage of data points where the irrigated water supply was greater than the crop water demand. The ACDS index was compared with SWSCl (Standard Water Storage Capacity Index) and the relationship showed high degree of fit ( $R^2 = 0.84$ ) using the exponential function, indicating that

the developed ACDS index is useful for evaluating the status of the balance between agricultural water supply and demand, especially for the small sized agricultural reservoirs. This study provided the methodological basis for developing climate change vulnerability index in agricultural water system which is projected to be more frequently exposed to drought condition in the future due to climate change. Further research should be extended to the study on the water demand of the crops other than rice and to the projection of the change in ACDS index in the future.

**Keywords** | adaptive capacity, agricultural water system, climate change

## I 서론

한국은 하천이 경사가 급하고 유로가 짧으며 연강수량의 65% 이상이 여름철에 집중되는 특성 때문에, 수자원 관리가 어려운 지역적 특성을 가지고 있다. 농업용수는 우리나라 전체 수자원 이용 중 약 48%를 차지하고 있는(국토해양부, 2008) 매우 중요한 자원으로, 농업용수 관리정책은 홍수 시 피해를 줄이고, 갈수 시 충분한 용수공급량을 확보하기 위한 댐과 저수지의 건설 및 운영을 기본으로 하고 있다.

정부는 안정적 식량 공급을 위한 관개시설 구축에 많은 노력을 기울인 결과, 1980년 수리안전담의 비율이 이미 75%에 달했고, 이어 2005년에는 80%까지 증가되었다(농림 통계 연보, 2006). 관개시설은 농업용수 분야에 있어서 가장 대표적인 기후적응 조치로서, 우리나라의 수리안전담 비율만 본다면 우리나라의 농업용수 분야의 기후적응능력은 매우 높다고 판단할 수 있다. 그러나, 지난 96년간 (1904년-2000년) 우리나라의 농업재해 유형별 발생일수를 조사한 논문에서는 가뭄이 5,109일로 가장 많고 다음이 호우, 대설, 이상고온, 강풍, 이상저온, 태풍, 우박, 황사의 순서로 나타났다고 보고되었다(강종원 외, 2008). 가뭄에 따른 농업적 피해현황도 관개시설 확충으로 인해 피해면적은 감소하고 있지만 피해액의 규모로 따지면 풍수해 다음으로 크다고 보고되고 있다. 우리나라의 가뭄은 주로 모내기철과 이앙 직후인 5-7월에 큰 피해를 나타내고 있고(박기욱 외, 2006), 특히 벼농사의 경우 가뭄이 피해를 주느냐 마느냐는 5-6월의 강수량에 의해 결정된다고 알려져 있다. 즉, 5-6월에 강수량이 충분하면, 7-8월의 강수량이 적다하더라도 가뭄의 피해가 크게 염려되지 않는다는 것이다. 이는 벼농사의 경우 5-6월 이앙기에 물 수요량이 크기 때문이다.

농업과 관련된 가뭄지수는 여러 개가 제안되어 활용되고 있다(박기욱 외, 2006). 팔머 가뭄지수 (Palmer Drought Severity Index), 표준강수지수(Standard Precipitation Index), 평년강우비율(Percent of Normal Precipitation), 백분위(Deciles), 저수율 및 과우일수 등이 흔히 쓰이는 가뭄지수인데, 이런 지수들은 농업분야의 대책을 수립하기 위한 지표로서 가뭄 발생빈도를 예측하고 단계별 가뭄 예보 시스템을 마련하기 위해 사용되고 있다. 그러나 가뭄은 태풍이나 호우처럼 일시적으로 발생하는 것이라기보다는 정상적이면서 주기적으로 발생하는 기후의 한 특성이다(박기욱 외, 2005). 그러므로 가뭄이라는 것을 자연재해로 인식하여 상황 발생시 신속한 대처에 집중하는 것도 중요하지만, 농업 분야에 있어 가뭄을 정상적이고 주기적으로 발생하는 스트레스의 한 부분으로 인식하여 작물의 용수 수요량과 공급량 간의 균형을 바라보는 새로운 시각이 필요한 시점이다.

기후변화에 따른 부정적 영향에 대처하기 위한 적응대책을 위해서는 기후변화 현상에 대한 “적응능력”을 파악하는 것이 필수적이다. “적응능력”은 한 시스템이 기후변화에 맞게 스스로를 조절하거나, 잠재피해를 감소시키고 기회로 활용하거나, 기후변화 결과에 대처하는 능력으로 정의된다(IPCC, 2001). 기후변화에 대한 높은 적응능력은 동일한 외부의 스트레스가 시스템에 가해져도 부정적 영향의 크기가 줄어들 수 있으므로 매우 중요하다. 농업 분야에서의 적응능력을 구성하는 요소는 유연성, 안정성, 자원 접근성으로 정리된다(Wehbe et al., 2005). 이 중 유연성 측면에서 농업용수의 공급은 적응능력을 구성하는 매우 중요한 요소이며, 용수 공급량을 작물의 용수 수요량과 비교하여 농업용수 부분의 적응능력을 평가하는 연구는 이 분야의 선도적 연구로서 IPCC 4차 보고서에 최근 소개되었다(Cohen and Neale, 2003; Neilson et al., 2004).

기후변화 현상은 평균적인 기온 및 강수량 변동뿐만 아니라 가뭄, 호우, 태풍 등의 극한 사상의 빈발까지를 포함한다(IPCC, 2007). 농업용수 수요와 공급 차원에서 향후 기후변화는 가뭄사상의 빈발로 인한 용수 공급량의 불안정성 증가, 평균기온의 증가로 인한 작물의 용수 수요량 증가가 예상되어 농업용수 공급량이 수요량에 미치지 못할 수도 있는 위험성이 있다. 이런 수요와 공급의 불균형이 벼 생산에 있어서 용수가 절대적으로 필요한 모내기 시기에 일어날 경우, 이는 농업용수 분야에 있어 기후변화에 대한 적응능력을 저하시킬 것이다. 이런 의미에서 농업용수의 수요와 공급량을 고려한 적응능력 지수를 개발하는 것은 큰 의미를 가진다고 할 수 있다.

본 연구의 목적은 농업용수 수요량과 공급량의 시간적 변화 및 공간적 분포를 조사하고, 이들 둘을 고려한 농업용수 부분의 기후변화에 대한 잠재 적응능력을 표현하는 지수를 개발하는 것이다. 본 연구에서 개발된 적응능력 지수는 향후 기후변화 시나리오에 따라 시스템이 갖게 될 미래 적응능력의 예측으로 확장되어 기후변화에 대비한 농업용수 관리 및 정책 수립의 근거가 될 수 있을 것이다.

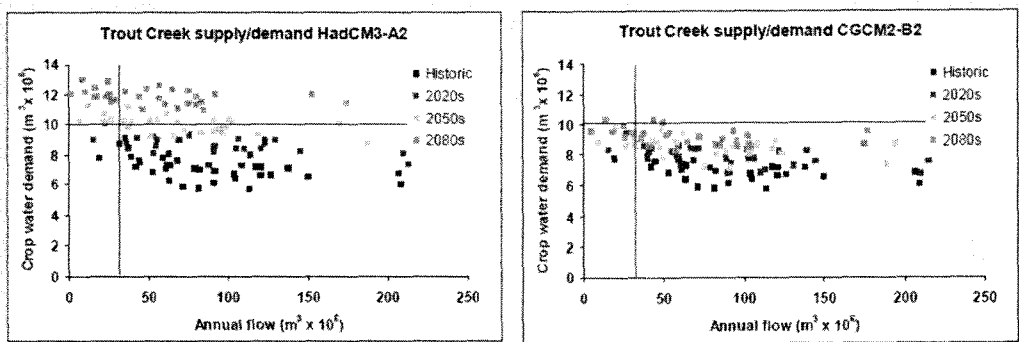
## II 선행 연구

2007년도에 발표된 IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change) 제2실무그룹의 4차 평가보고서는 기후변화의 영향, 취약성 및 적응에 관한 내용을 다루고 있다. 부문별

기후변화의 영향 중 담수 생태계와 그 관리에 대한 부분(Chapter 3. Freshwater resources and their management)에는 기후변화에 따른 농업용수의 수요와 공급량 간의 관계에 관한 연구가 소개되어 있다.

Cohen과 Neale(2003), Neilsen et al.(2004) 등은 캐나다의 Okanagan 지역에서 작물의 용수수요량과 수자원 가용성(하천 유량) 간의 관계를 분석하고 이를 농업용수에 대한 기후변화 위험평가라고 정의하였다. 1961년-1990년 사이의 과거 기상자료를 기반(baseline)으로 하고 IPCC의 두 개 시나리오(A2와 B2)에 따른 농작물 용수 수요량과 수자원 가용성을 예측하였다. 결과는 <그림 1>과 같은데, 여기서 수직선은 연간 하천 유량이 30 million m<sup>3</sup>/a를 표시하는 선이며 하천유량이 이 수직선의 왼쪽에 있는 경우를 가뭄이라고 정의할 수 있다. 수평선은 1961년-1990년 사이에 기록된 최대 작물 용수 수요량을 나타낸다. 이 그림에 따르면 수직선의 왼쪽에, 그리고 수평선의 위쪽에 점들이 분포할 경우 기후변화에 따른 농업용수의 수요와 공급에 있어서의 위험(risk)이 높아진다고 말할 수 있다. A2 시나리오에 따르면 작물의 용수 수요량은 과거 자료(1961년-1990년)에 비해 2080년에 이르기까지 확실한 증가 패턴을 보이는 반면, 하천의 유량은 과거 자료에 비해 증가 추세가 명확하지 않음을 알 수 있다. B2 시나리오의 경우는 A2와 유사한 경향을 보이기는 하지만 경향성은 더 적다. 즉, 농업용수의 수요와 공급에 있어서 기후위험은 B2 시나리오보다는 A2 시나리오에서 더 크게 나타남을 알 수 있고, 이는 A2 시나리오에서 더 높은 온도 증가가 예측됨으로써 농업용수 수요량 증가폭이 더 커졌기 때문이라고 설명하고 있다.

그림1 IPCC의 A2와 B2 시나리오에 따른 Canada의 Trout Creek에서의 작물 용수수요량과 강유량 간의 관계



출처: IPCC (2007)

한편, 중국 농업과학아카데미(Chinese Academy of Agricultural Science) 소속의 농업 환경 및 지속가능발전연구소 (Institute of Environment and Sustainable Development in Agriculture)에서는 기후변화에 따른 밀의 취약성 평가에 관한 연구를 수행하였다(Sun et al., 2005). IPCC의 B2 시나리오에 대하여 기후변화에 따른 밀 생산량의 변동성을 예측하고 동시에 농업용수 부문의 적응능력을 평가함으로써 밀의 취약성을 계산하였다. 농업용수 부문의 적응능력에 관해서는 두 가지를 고려하였는데, 하나는 GDP 인자이고 다른 하나는 물부족 현황(water deficiency status)이었다. GDP 부문에서는 중국 전역을 2070년을 기준으로 예측된 일인당 GDP에 따라 세 등급(developed, developing, under-developed)으로 나누고, 일인당 GDP가 높은 지역의 경우는 기후변화에 따른 적응능력이 높아서 미래에 예측된 기후변화에 따른 밀 생산량 감소에 따른 피해를 어느 정도는 완화시킬 수 있는 것으로 보았다. 농업용수 부문에 있어서는 중국 전역을 중국의 수자원정보센터(Water Information Center)에서 예측한 지역별 물 부족 현황을 기반으로 하여 네 개의 등급으로 나누었다. 등급별로 물 영향계수(water influence coefficient)를 1, 0.8, 0.5, 0.2로 각각 부여하고, 물 영향계수와 GDP 등급을 종합적으로 고려하여 밀 생산량 감소 피해를 완화시키는 함수에 반영하였다. 중국의 지역별 물 부족 현황에 관한 예측 역시 지역의 농업용수 수요량과 그 지역의 용수 공급 가능량 간의 균형에서부터 시작된 것이며, 위의 두 가지 사례 연구를 통하여 볼 때 기후변화에 따른 농업용수 분야의 연구는 용수의 수요량과 공급량 간의 상호작용을 반드시 살펴야 한다는 교훈을 얻을 수 있었다.

국내에서도 이동률 외(2006)는 저수지의 가뭄감시를 위하여 저수율을 기반으로 한 표준 물 공급능력지수(Standard Water Storage Capacity Index)를 제안하였다. 이는 한 저수지의 현재 공급 가능한 물의 양이 향후 몇 달치의 수요량에 부합할 수 있는가를 표현하는 지표로서 용수의 수요량에 대한 공급량의 비교를 기반으로 한 것이다. 이 연구에서 얻은 시사점 역시 기후변화에 따른 가뭄 측면에서의 농업용수 적응능력은 한 지역의 농작물에 의한 용수 수요량과 그 지역에서 공급 가능한 용수의 양 사이의 관계를 바라보아야 한다는 점이다.

### Ⅲ 방법론

#### 1. 연구대상지

한반도의 남서부지역은 국가 주요 작물 생산의 36%(2005년 기준; 농림부, 2006)를 차지하는 곡창지대로 벼농사에 관계된 농업용수에 대한 연구를 수행하기에 적합한 지역이어서 본 연구의 대상지로 선정되었다. 행정구역으로는 전라남도, 전라북도, 광주광역시에 속해 있다. <그림 2>의 표시지역은 연구대상지를 나타낸다. 연구는 시, 군, 구를 공간적 기본단위로 하여 수행되었다.

그림2 연구대상지: 전라북도, 전라남도, 광주광역시



#### 2. 자료구조

작물의 물 수요량에 대한 자료는 한국농촌공사의 농업 물 수요-공급을 위한 동태모형(한국농촌공사, 2004)을 통해 얻어진 자료를 이용하였다. 모형은 증발산량, 작물 계수, 작부시기, 재배관리 용수, 침투량, 수로 손실 등을 고려하여 논 용수 수요량을 계산하였다. 전체 자료는 1973년부터 2003년까지 일별로 구축되었으며, 공간범위는 유역코드로 구분되어 있다.

농업용수 공급량 자료는 한국농촌공사가 관리하는 3,300개의 저수지, 댐, 양수장의 총 저수량 자료를 이용하였다. 대규모 다목적댐의 경우에는 총 저수량에 농업용수로 공급되는 용수의 비율을 곱하여 농업용수 공급 가능량으로 수정하였다. 자료의 시간적 범위는 1991



년에서 2006년이며, 저수지의 주소가 입력되어 있다.

위에서 설명한 두 자료의 공간규모 일치를 위하여 논 용수 수요량 자료와 저수량 용수 공급 자료를 Arc GIS (version 9.0, 2004)에 입력하였다. 행정구역 지도와 유역코드 지도를 중첩하여 각 시·군·구에 속하는 유역코드를 파악함으로써 작물 수요량 자료를 시·군·구별로 정리하였다. 하나의 유역코드가 두 지역의 시·군·구에 속하는 경우에는 수요량은 양쪽 시·군·구에 모두 넣어 계산하였다. 우편주소로 되어 있는 저수지의 자료 역시 시·군·구별로 정리하였다. <표 1>은 각 자료의 구조를 요약하여 보여 준다.

**표 1 물 수요량 및 저수량 자료구조**

자료	공간적 범위	시간적 범위
논 용수수요량	유역코드	1973-2003, 일별
저수지 저수량	시, 군, 구 우편주소	1991-2006, 10일간격
사용된 범위	시, 군, 구	1991-2003, 월별

### 3. 가뭄 적응능력 지표

Wehbe et al. (2005)은 농업부문의 적응능력을 대표하는 특성으로 유연성, 안정성, 자원 접근성을 고려하였다. 유연성은 농업시스템의 다양성, 농가 소득의 다양성, 그리고 생물, 물리, 사회, 재정적 측면에서의 자원 획득 용이성을 포함한다. 안정성은 기후나 시장 위험에 노출되는 정도를 말하고, 자원 접근성은 정부의 농가 지원 교육이나 재정 프로그램 접근 및 활용 가능성을 의미한다. 본 연구에서는 이 세 가지 특성 중 유연성 측면의 적응능력 지표에 초점을 맞추어 연구를 진행시켰다. 유연성을 이루는 여러 요소들 중 자원 획득 용이성 측면에서 농업용수의 공급을 고려하였다. 시·군·구 별로 정리된 농업용수 공급량을 논 용수 수요량과 각각 해당 월평균치와 비교함으로써 그 지역(시·군·구)의 시기에 따른 농업용수 공급에 있어서 얼마나 유연성이 있는지를 정량적으로 표현하려 하였다. 이를 위해서 작물의 용수 수요량을 x축, 용수 공급량을 y축으로 하는 분산그래프(scatter plot)를 그렸다. 이 그래프에서 공급량이 수요량보다 큰 시점( $y > x$ )의 자료 수가 전체 자료 중 차지하는 비율을 백분율로 나타내고, 이 백분율을 농업용수의 가뭄에 대한 적응능력(ACDS: Adaptive Capacity for Drought Stress) 지수로 제시하였다. 이렇게 얻어진 적응능력 지수는 UNDP (2006)에서 제안하는 Dimension index를 이용하여 표준화되었다. 표준화 과정은 [수식 1]에 따르고, 지수는 0에서 100의 값을 갖는다.

$$Dimension\ index = \frac{Actual\ value - Minimum\ value}{Maximum\ value - Minimum\ value} \times 100 \quad \text{----- [수식 1]}$$

#### 4. 기존 지표(SWSCl)의 확장 및 ACDS 지표와의 비교

본 연구에서 제안한 지표가 농업용수의 가뭄에 대한 적응능력 지표로서의 타당성을 검증하기 위해 기존에 제안된 저수지의 공급 가능량을 표현한 농업 가뭄 지표인 물 공급 지수(SWSCl) (이동률 외, 2006)를 본 연구의 대상지에 맞게 수정하여 계산하고, 이 지수와 ACDS 지표와의 상관성을 검토하였다. 원래 SWSCl은 저수지 저수량과 이 저수지가 향후 공급해야 하는 물 수요량 간의 물수지 평가를 수행함으로써 현재 저수지의 저수량이 향후 얼마만큼의 시간 동안 필요한 물(수요량)을 공급할 수 있는가를 정량화한 지수이다. 해당 월의 저수량을 익월의 용수 수요량으로 감한 후 남은 저수량과 그 다음 월의 용수 공급량을 비교하게 되며, 남아 있는 저수량이 용수 수요량보다 많을 경우 동일한 절차를 반복하여 앞으로 몇 개월 후의 용수 수요량까지를 충족할 수 있는가를 계산함으로써 지수가 산정된다. 본 연구에서는 저수량을 하나의 저수지가 아니라 시·군·구내에 포함된 총 용수 공급량으로 확대하고, 물 수요량의 범위를 농업용수 수요량으로 국한시켜서 계산하였다. 상관성 검토를 위해 Pearson Correlation Coefficient를 계산하였으며(SAS Institute, 2004), 분석에 사용된 유의수준은 5%이다.

## IV 결과 및 토의

### 1. 농업용수 수요

연구 대상지의 논 용수 수요량은 1991년에서 2003년 사이 소폭의 감소 추세를 보인다(그림 3). 이러한 감소는 1991년 587,835 ha이었던 논·밭 경지면적이 2003년 554,589 ha로 5.7% 감소하였다는 데에서 부분적 이유를 찾을 수 있다. 논 용수 수요량의 연중 변동은 <그림 4>와 같은데, 3월부터 증가하기 시작하여 6월에 가장 높은 수요량을 보이고, 10월 이후 작물 생장이 끝나면서 0으로 감소하는 패턴을 보인다.

그림3 전라남북도 및 광주광역시의 농업용수 수자원 연간 변동 추세(1991년-2003년)

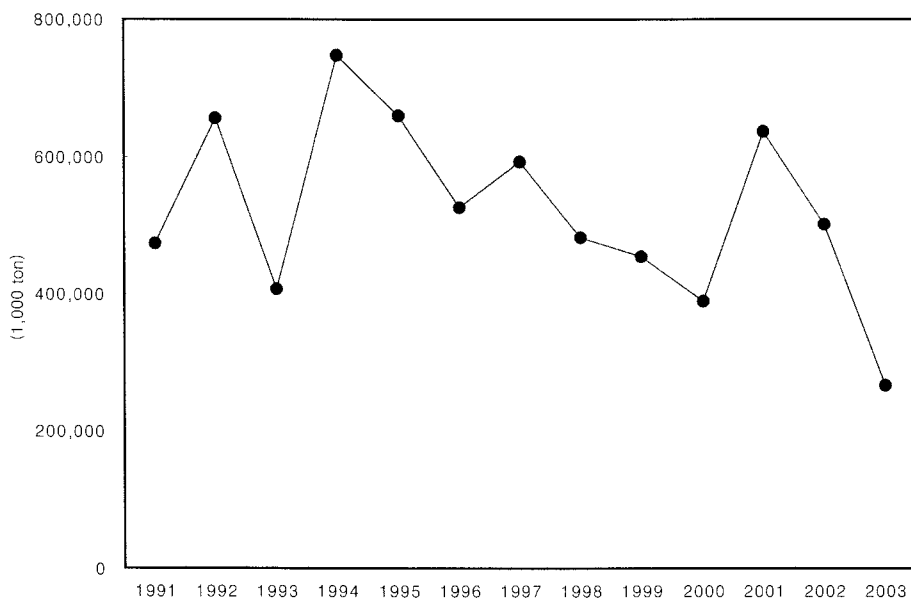
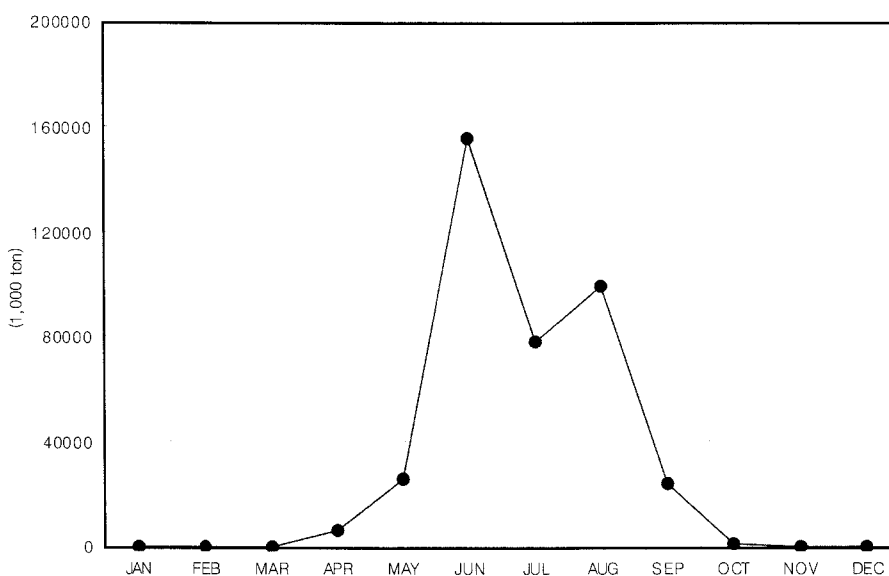


그림4 전라남북도 및 광주광역시 지역의 월별 농업용수 수요량 변동(해당 연도: 2000년)



## 2. 농업용수 공급량

<그림 5>는 연간 전라도 지역의 관개용수 공급량 변화를 보여주는데 1994년, 1995년, 1997년, 2001년의 저수량의 감소는 가뭄에 의한 것으로 설명할 수 있다. 총 저수량은 1991년부터 2003년까지 꾸준한 증가세를 보인다. 특히 1994년, 1995년, 1997 등 1990년 중반의 심각한 가뭄으로 인해 이후 댐 및 저수지의 대규모 건설이 이루어졌다. 이 결과 이 지역의 저수량은 상당한 증가를 하게 되어 2001년에 있었던 대규모 가뭄에도 이로 인한 저수량 감소폭이 1990년대에 비해 훨씬 적어진 것을 알 수 있다. <그림 6>은 저수량의 연중 변동 추세를 알아보기 위해 2000년을 사례연도로 하여 월별 저수량 변화를 보여 준다. 월별 저수량은 경작지에 물대기가 시작되는 3월에 감소하기 시작하여 작물 성장 시기가 거의 종료되는 8월말 경에는 다시 동절기 저수량 수준으로 회복된다.

그림5 연간 전라도지역 주요 저수지의 저수량 변화

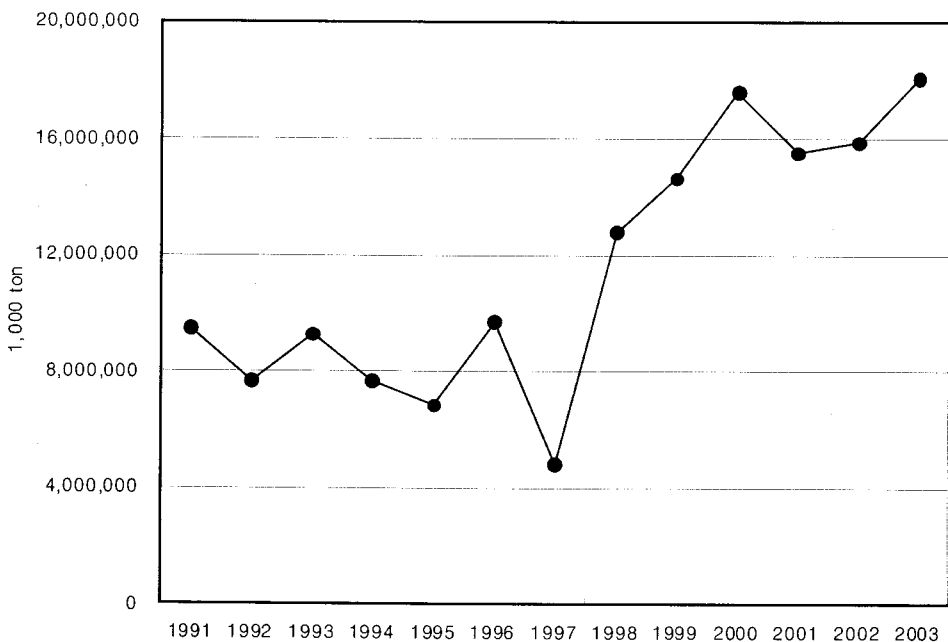
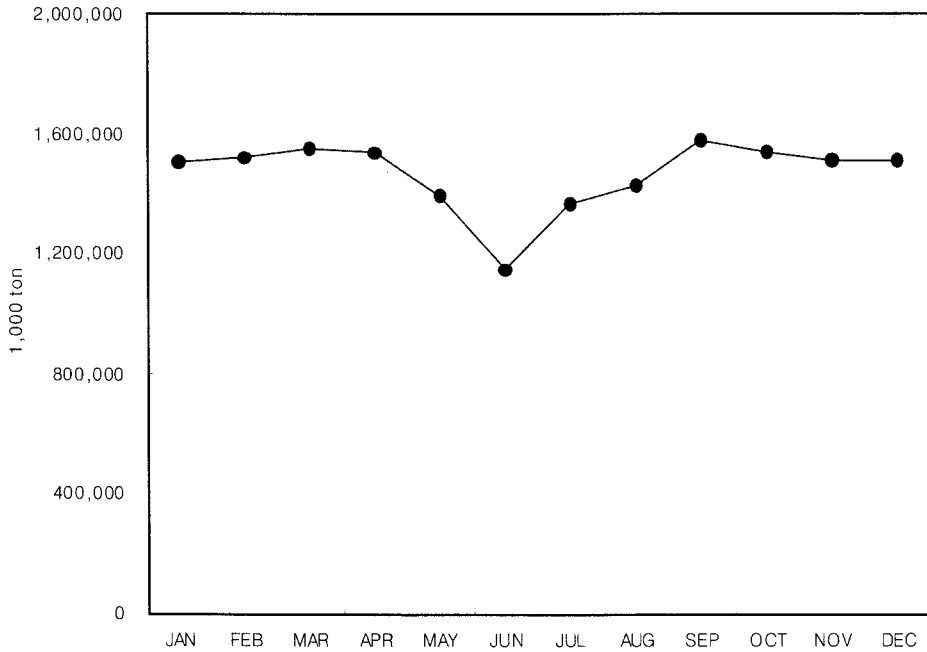


그림6 2000년 전라도지역 주요 저수지의 월별 저수량



### 3. 농업용수 가뭄 적응능력 (ACDS) 지수

각 시·군·구별 ACDS 지수 계산 과정을 전라남도 화순군과 광주광역시 북구를 사례지역으로 살펴보기로 하겠다. <그림 7>은 화순군의 용수 수요량 및 용수 공급량의 그래프이다. 화순군은 일년 내내 용수 공급량이 용수 수요량보다 항상 크다. 한편 북구의 경우(그림 8) 용수 수요량이 곡물 성장기에 용수 공급량보다 크다. 따라서 화순군은 용수 공급량이 용수 수요량보다 큰 달의 비율이 전체 연구기간(1991년-2003년) 동안 94.87%를 달하는 데 반해(그림 9), 북구는 70.51%로 용수 공급량이 용수 수요량보다 큰 달의 비율이 낮은 것으로 나타났다.

그림7 1991년 화순군의 용수 수요량과 저수량 비교

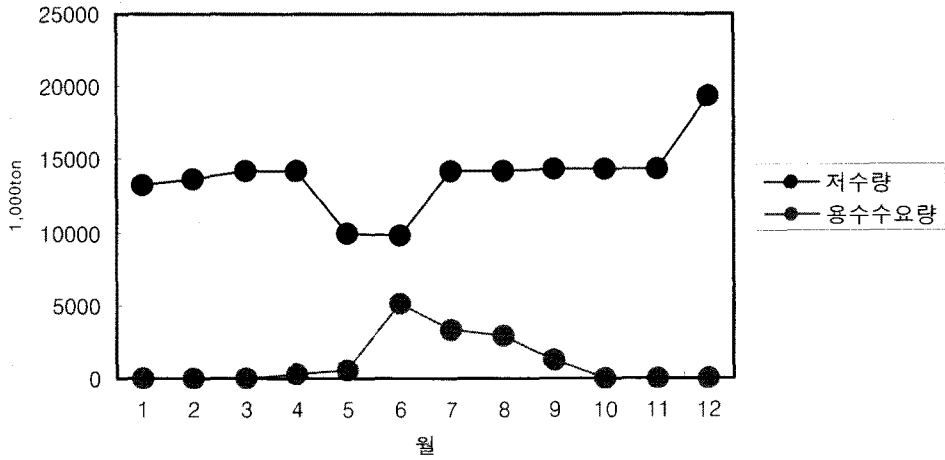


그림8 1991년 복구의 용수 수요량과 저수량 비교

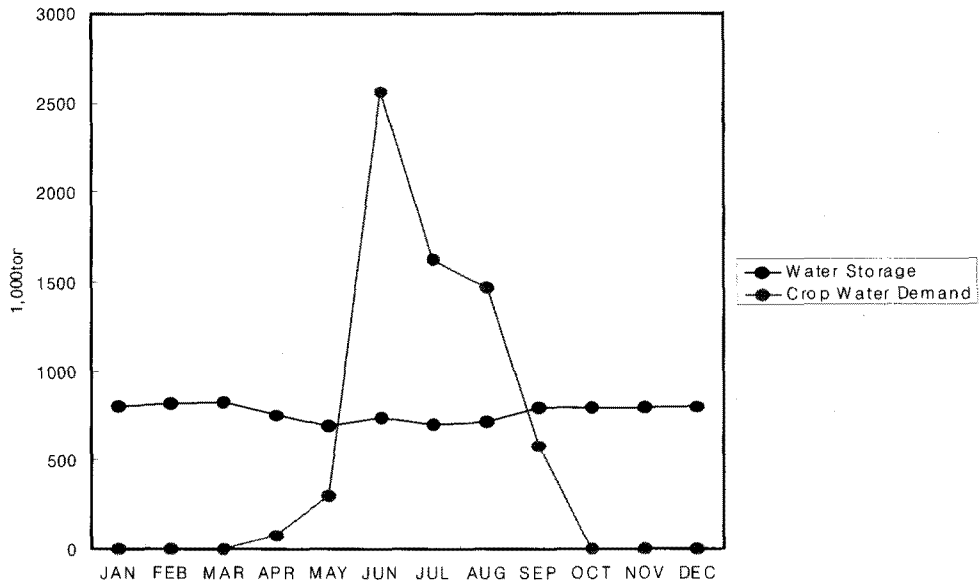
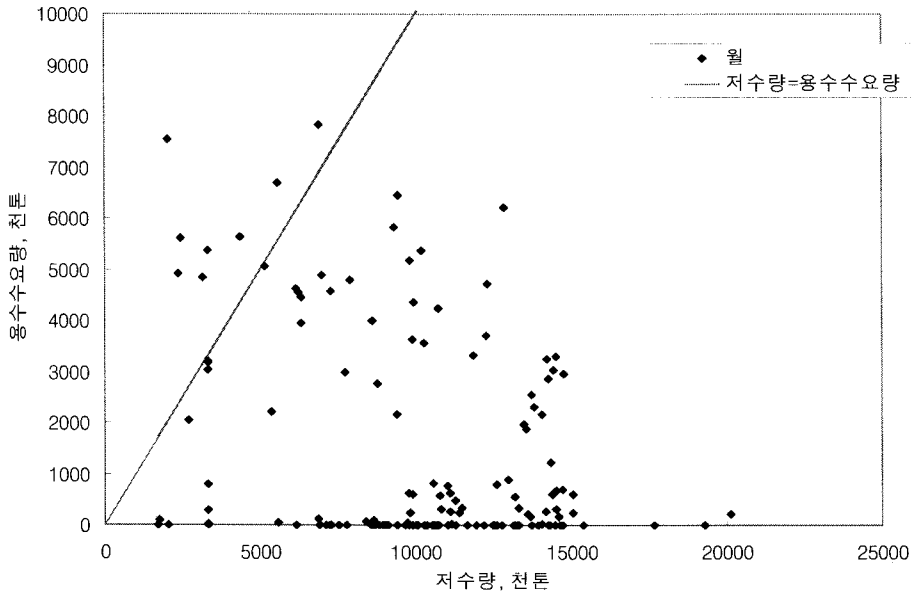


그림9 화순군의 용수 수요량과 용수 공급량의 분산 (1991년-2003년)



계산된 백분율을 Dimension index로 표준화하여 ACDS 지수를 만들었고, 이의 공간적 분포는 <그림 10>에 나타나 있다. 지역별 분포를 살펴보면 해남군, 영암군, 담양군, 진도군, 완도군에서 높게 나타나고 진안군, 익산시, 곡성군, 전주시, 광주시에서는 낮은 것으로 나타났다.

#### 4. 물 공급능력 지수(SWSCl)와의 비교

<그림 11>은 1991년부터 2003년 동안 각 시·군·구별 SWSCl 평균치를 나타낸다. SWSCl가 높은 곳은 임실, 진도, 나주, 무안 등이고 낮은 곳은 곡성, 익산, 전주시, 진안 등이었다. 상관 분석 결과 SWSCl와 ACDS 지표 간의 전체 Pearson correlation coefficient는 0.54( $p=0.0007$ )로 비교적 높은 상관관계를 나타내고 있다. 지역별 SWSCl와 ACDS 지표와의 상관도를 살펴보면 SWSCl가 낮은 지역에서는 ACDS 지표와의 상관도가 컸고, SWSCl가 높은 지역에서는 매우 낮았다. 즉, SWSCl가 낮은 곳에서는 ACDS 지표와의 상관도는 0.47 ( $p<0.0001$ )로 비교적 높은 반면, 높은 SWSCl를 갖는 지역의 경우 상관도가

0.10 ( $p=0.4567$ )에 불과했다. <그림 12>의 분산 그래프에서는 SWSCI와 ACDS 지표 간의 관계가 지수함수의 추세를 보이고 있으며 지수함수의  $R^2$ 도 0.57로 비교적 높은 편임을 잘 나타내어 준다. 임실, 진도, 나주, 담양, 부안, 군산, 장성 등 SWSCI가 높은 지역이 지수 추세선에서 떨어져 있는 것을 볼 수 있다. 이는 SWSCI라는 지수의 개발 목적이 가뭄에 대비한 감시이므로 저수량이 큰 저수지 간의 비교에 초점이 맞추어지는 반면, ACDS 지표는 오히려 지역의 규모가 작은 저수지에서 용수 공급량이 부족한 경우에 대하여 더 세밀한 정보를 전해주기 때문인 것으로 사료된다. <그림 12>의 작은 타원 내부에서 알 수 있듯이 SWSCI가 5-7 사이에 있던 지역의 ACDS 지수는 82-95 사이로 비교적 큰 변이를 보이는 것을 알 수 있다. 이는 ACDS 지표가 지역별 적응능력을 비교하는 데 보다 세밀한 정보를 제공하고 있음을 의미하며, SWSCI가 가뭄 대비 및 예측이라는 목적에 중점을 둔 반면, ACDS 지수는 가뭄사상 자체의 스트레스 이외에도 해당 지역의 전반적 용수 수요량과 공급량 간의 균형 관계를 보여주는 적응능력을 표현하기에 적합하다는 점을 시사한다.

그림10 가뭄 적응능력 (ACDS) 지표 분포

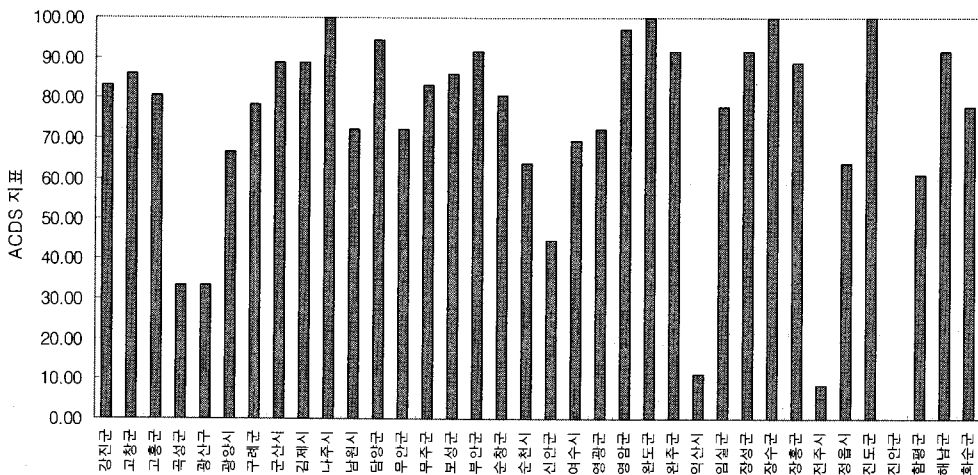




그림11 물 공급능력 지수(SWSCl) 평균의 분포

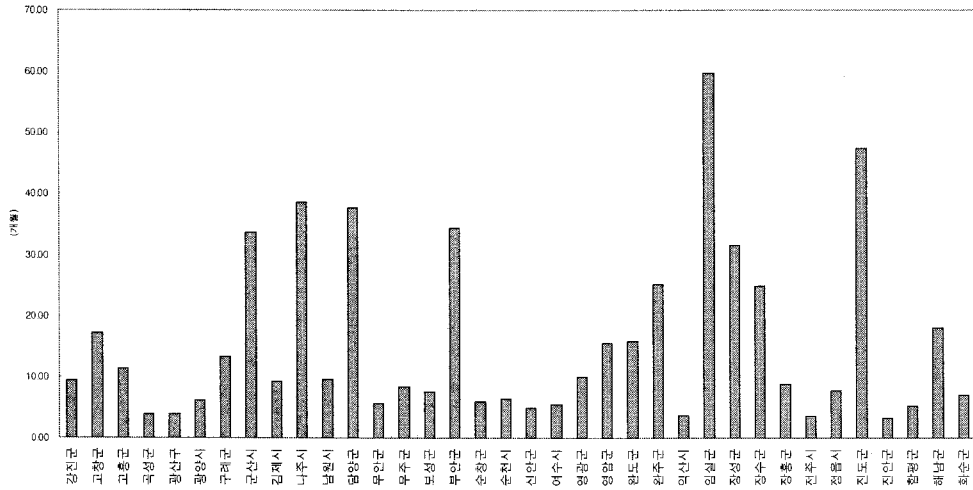
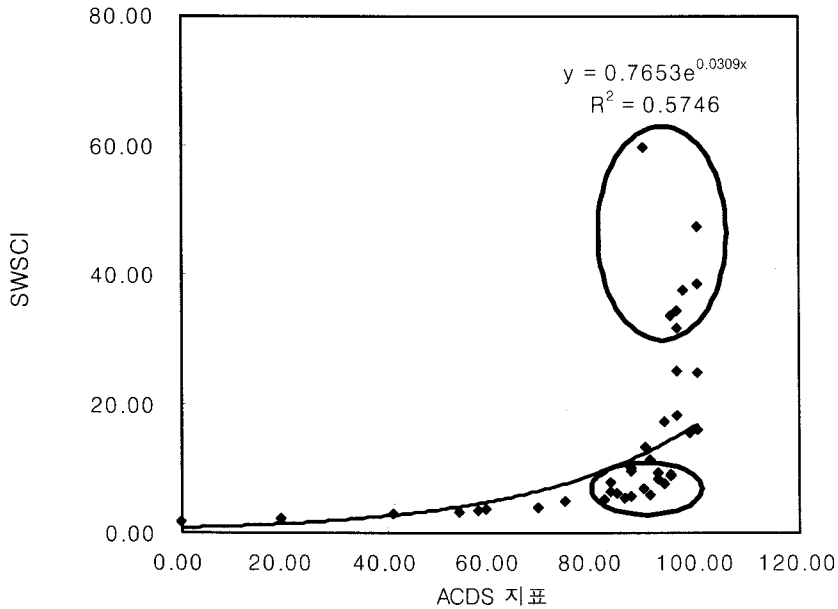


그림12 ACDS 지표와 SWSCl 간의 분산도



\* 큰 타원 내부의 지점은 임실, 진도, 나주, 담양, 부안, 군산, 장성으로 SWSCl이 매우 높은 곳임. 작은 타원 내부는 SWSCl 변이에 비해 ACDS 변이폭이 크다는 것을 보여줌.

## 5. 농업용수 가뭄 적응능력 지표의 활용

가뭄이란 드물게 일시적으로 발생하는 것이 아니라 정상적이면서 주기적으로 발생하는 기후의 한 특성임을 감안할 때, 본 연구에서 제안한 가뭄 적응능력 지표인 ACDS 지수는 시·군·구 규모에서 정상적이며 주기적인 가뭄에 대한 적응능력을 표현해 주는 농업 가뭄 지표로 활용이 가능하다. 특히, 이 지표가 미래 변화된 기후에 따라 어떻게 변화할지를 예측하는 것은 농업용수의 안정적 공급을 위한 대책을 수립하는 데 큰 도움을 줄 것이다. IPCC에서 제안한 여러 개의 배출 시나리오 중 고성장 시나리오인 A2 시나리오에 따르면 향후 한반도의 평균 기온은 21세기 후반까지 과거 100년 평균치에 비해 약 5.6℃, 강수량은 약 17% 증가할 것이라고 예측하였다(기상연구소, 2005). 이러한 평균적인 변화만 고려한다면 하더라도 기온 상승에 따른 작물 수요량의 증가로 인해 ACDS 지수는 미래에 더 낮아질 수도 있다. 물론 ACDS 지수의 미래 예측은 이렇게 단순하지만은 않다. 사회경제적 요인으로는 FTA 등에 의한 우리나라 농업 경제의 예측, 정부의 영농정책이나 농업정책의 변화를 고려한 경작지 면적 변화의 추세와 농작물 교체, 수자원 관리 차원에서의 향후 댐, 저수지 건설 계획 등을 고려해야 한다. 한편 생물물리적으로는 기온 증가에 따른 농업용수 수요량의 변화뿐만 아니라, 강수량 증가 및 극한사상 빈발에 따른 저수지 저수량 변동 추세까지도 예측해야 하는 것이다. 본 연구를 시작점으로 하여 기후변화가 향후 농업용수 가뭄 적응능력에 미치는 영향을 분석하는 연구가 계속 진행되어야 할 것이다.

## V 요약 및 결론

본 연구에서는 향후 기후변화로 작물의 물 수요량이 증가되고, 농업용수 공급량의 불안정성이 증가할 것이라는 예상에 따라 농업용수 부문에 있어서 지역별 기후변화에 따른 적응정책 수립의 근거가 될 적응능력 지수를 개발하였다. 작물의 용수 수요에 맞는 원활한 농업용수의 공급 여부는 기후변화에 따라 일어날 수 있는 농업 부문의 작물 생산량의 감소와 함께 기후변화에 따른 농업 취약성을 결정짓는 주요한 요인이 된다. 수리안전담의 비율이 상대적으로 매우 높아 관개시설이 잘 되어 있는 우리나라도 향후 기후변화로 인한 가뭄의 빈발이 예상될 경우 저수지의 용수량이 충분치 않게 되고, 기후변화로 인한 고온으로

논 용수 수요량이 증가될 경우, 논농사에 있어서 가뭄에 대한 적응능력이 상대적으로 낮아질 위험이 있다. 개발된 지표를 전라남북도 및 광주광역시에 적용해 본 결과, 가뭄에 대한 농업용수의 적응능력은 해남군, 영암군, 담양군, 진도군, 완도군에서 높게 나타나고 진안군, 익산시, 곡성군, 전주시, 광주시에서는 낮은 것으로 나타났다. 개발된 지표와 SWSCI와의 상관 분석 결과 제안된 ACDS 지표는 기존의 SWSCI와 상대적으로 높은 상관성을 보였으며, SWSCI에 비하여 규모가 작은 저수지의 경우 수요와 공급 간 관계에 관한 상세한 정보를 다루고 있음을 알 수 있었다.

그러나 본 연구에서 제안된 기후변화 적응능력 지표인 ACDS 지수는 논 용수 수요량만을 고려한 것으로, 향후 농업용수 공급에 보다 더 민감하게 반응할 수 있는 밭에서의 용수 수요량으로 내용을 확장시킬 필요가 있다. 또한 저수지에서의 저수율은 농업용수 공급량의 간접 지표가 될 수는 있지만 실제로 농작지에 공급된 수자원의 양을 직접 표현하지는 못한다. 한편, 본 연구에서 제안된 ACDS 지수는 현재의 적응능력으로서, 미래의 본 지수 변화에 대한 예측이 필요하다. 이를 위해서는 작물의 용수 수요-공급 동태 모형에 기후변화 인자를 추가하여 확장시켜야 하고, 저수지의 저수율을 예측할 수 있는 모형을 개발해야 한다. 가뭄 스트레스에 대한 적응능력에는 본 연구에서 고려한 용수의 공급-수요 관계 이외에도 지역의 용수 관리 시스템이라든지, 가뭄관리에 사용 가능한 예산의 규모 등 사회적인 요인도 중요한 요인으로 작용한다. 그러므로 향후 연구는 용수의 범위를 논 용수에서 밭 용수까지 고려하고, 적응능력 구성요소도 생물물리적 시스템에서 사회경제적 영역까지 확장시키는 방향으로 발전되어야 할 것이다.

## 참고문헌

- 강종원, 진상현. 2008. "기후변화 대비 강원도의 농업대책" 「강원발전연구원 정책브리프」 38.
- 국토해양부. 2008. [http://construct.mltm.go.kr/USR/WPGE0201/m\\_6663/DTL.jsp](http://construct.mltm.go.kr/USR/WPGE0201/m_6663/DTL.jsp)
- 기상연구소. 2005. "한반도 기후 100년 변화와 미래 전망" 「기후변화 전문가 워크숍」 세종문화회관.
- 농림통계연보. 2006. 「Agricultural and Forestry Statistical Yearbook」.
- 박기욱, 김진택, 주옥중, 박지환. 2005. "농업가뭄지표 실용화 및 정보제공방안 연구" 농촌공사 농어촌 연구원.
- 박기욱, 김진택, 주옥중, 이용직. 2006. "농업 가뭄의 평가를 위한 가뭄지수의 적용성 분석" 「한국관개배수」 13(1): 72-81.
- 심교문, 이정택, 이양수, 김건엽. 2003. "20세기 한국의 농업기상재해 특징" 「한국농림기상학회지」 5(4): 255-260.
- 이동률, 문장원, 이대희, 안재현. 2006. "저수지 가뭄감시를 위한 물공급능력지수의 개발" 「한국수자원학회논문집」 39(3): 199-214.
- 한국농촌공사. 2004. 「농업용수 수요 및 공급 산정 시스템 (내부자료)」
- Cohen, S. and T. Neale (Eds.). 2003. "Expanding the Dialogue on Climate Change & Water Management in the Okanagan Basin, British Columbia". *Interim Report*.
- IPCC. 2001. 「Climate Change 2001: Impacts, Adaptation & Vulnerability」, Third Assessment Report. McCarthy et al.(Eds). UK. Cambridge University Press.
- IPCC. 2007. 「Climate Change 2007: Impacts, Adaptation & Vulnerability」. *Fourth Assessment Report*. Parry et al.(Eds). UK. Cambridge University Press.

- Moss, R. H. A. L. Brenkert, and E. L. Malone. 2001. "Vulnerability to climate change: A quantitative approach" PNNL-SA-33642. Prepared for the U.S. Department of Energy.
- Neilson, D. et al. 2004. "Risk assessment and vulnerability: Case studies of water supply and demand" *Expanding the dialogue on climate change and water management in the Okanagan Basin* Cohen, S., D. Neilsoen, and R. Welbourn (Eds.) British Columbia. 115-135.
- SAS Institute. 2004. "SAS user's guide" SAS Inst. Cary, NC.
- Sun, F., X. Yang, E. Lin, H. Ju, and W. Xiong, 2005. "Study on the sensitivity and vulnerability of wheat to climate change in China" *Agricultural Sciences in China* 4(3):175-180.
- UNDP. 2005. *Adaptation policy frameworks for climate change: Developing strategies, policies, and measures*. USA: Cambridge University Press.
- UNDP. 2006. 「Human Development Index」
- Wehbe, M. B., R. A. Seiler. M. R. Vinocur. H. Eakin, C. Santos, and H. M. Civitaresi. 2005. "Social methods for assessing agricultural producers' vulnerability to climate variability and change based on the notion of sustainability". *Assessments of Impacts and Adaptations of Climate Change (AIACC) Working Papers*. [www.aiaccproject.org](http://www.aiaccproject.org).