기후변화 시나리오 (A1B)에 따른 농업용 저수지 유역의 미래 토지피복변화 예측 및 논 면적 변화 특성 분석

Prediction of Land-cover Changes and Analysis of Paddy Fields Changes Based on Climate Change Scenario (A1B) in Agricultural Reservoir Watersheds

오윤경* · 유승환* · 이상현** · 박나영** · 최진용***,† · 윤동균****

Oh, Yun-Gyeong · Yoo, Seung-Hwan · Lee, Sang-Hyun · Park, Na-Young · Choi, Jin-Yong · Yun, Dong-Koun

ABSTRACT

This study was aim to predict future land-cover changes and to analyze regional land-cover changes in irrigation areas and agricultural reservoir watersheds under climate change scenario. To simulate the future land-cover under climate change scenario - A1B of the SRES (Special Report on Emissions Scenarios), Dyna-CLUE (Conversion of Land Use Change and its Effects) was applied for modeling of competition among land-use types in relation to socioeconomic and biophysical driving factors. For the study areas, 8 agricultural reservoirs were selected from 8 different provinces covering all around nation. The simulation results from 2010 to 2100 suggested future land-cover changes under the scenario conditions. For Madun reservoir in Gyeonggi-do, total decrease amount of paddy area was a similar amount of 'Base demand scenario' of Water Vision 2020 published by MLTMA (Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs), while the decrease amounts of paddy areas in other sites were less than the amount of 'High demand scenario' of Water Vision 2020. Under A1B scenario, all the land-cover results showed only slight changes in irrigation areas of agricultural reservoirs and most of agricultural reservoir watersheds will be increased continuously for forest areas. This approach could be useful for evaluating and simulating agricultural water demand in relation to land-use changes.

Keywords: Climate change scenarios; Dyna-CLUE model; Land-cover change; Agricultural reservoir; Watersheds; Irrigation areas

I. 서 론

지난 100년 간 우리나라의 평균기온 상승률은 약 1.7 °C로 IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007)에서 보고된 지구 평균기온 상승률인 0.71~0.77 °C 보다 높으며, 강수량의 증가 및 고온일수·호우일수 증가, 계절 길이 변화 등 기후변화의 징후가 증가하는 것으로 나타나고 있다 (KMA, 2008; Yoo, 2009). 지구 온난화에 의한 가뭄과 홍수의 빈도가 높아지고 있는 상황에서 기후변화에 의한 가용 수자원의 변화는

작물생산량에 미치는 영향이 클 것으로 예상되며 주곡의 안정적 생산과 식량 안보를 위해서 기후변화에 의한 농업환경 변화를 예측하고 분석할 필요가 있다.

기후변화에 따른 미래 농업 수자원 변화를 분석한 연구를 살펴보면, Doll (2002)이 기후변화가 세계의 관개용수량에 미치는 영향을 분석하여 세계 농지의 2/3에서 관개용수량이 증가할 것으로 예측한 바 있으며, 국내에서 Hong et al. (2009)이 A2 시나리오의 기후자료를 이용하여 우리나라 논벼의 10년 빈도 증발산량 변화를 9개 대표 도시를 대상으로 분석한 바 있다. 또한 Yoo (2009)는 CGCM 3.1 (Coupled Global Climate Model Ver. 3.1)에서 제공하는 다양한 기후변화 시나리오를 활용하여 미래의 강수, 관개량 변화 등을 산정하여 전국 54개의 기상측후소별 농업기름을 평가하였고, Park et al. (2010c)는 A2, B2 시나리오에서의 논벼의 저류능 변화를 분석하였으며, Yun et al. (2011)은 A1B 시나리오에서의 논 필요수량을 분석하여, 잠재증발산량 및 필요수량이 증가한다는 결론을 도출한 바 있다. 그러나 기존의 연구들은 증발산량, 관개수량 등을 단위 면적당 깊이 (mm)로 산정하고 있어 수자원 총량의 변화를 분석하는 데는 한계가 있

* 서울대학교 농업생명과학대학 연수연구원

** 서울대학교 농업생명과학대학 지역시스템공학전공

*** 서울대학교 조경·지역시스템공학부 부교수, 농업생명과학연구원 겸무연구원

**** 한국농어촌공사 농어촌연구원 수자원연구팀 주임연구원

† Corresponding author Tel.: +82-2-880-4583

Fax: +82-2-873-2087

E-mail: iamchoi@snu.ac.kr

2012년 1월 10일 투고

2012년 2월 4일 심사완료

2012년 3월 6일 게재확정

다. 따라서 농업용수의 수요·공급량을 예측하고 기후변화에 대응하기 위해서는 토지이용면적의 변화를 함께 고려할 필요가 있다.

이에 미래 토지피복 변화 예측 연구들을 살펴보면, 국내에서는 CA-Markov 모형이 공간 예측 분석에 많이 이용되고 있으며 (Kim and Lee, 2007; Lee and Kim, 2007), 수자원분야에서는 위성영상과 CA-Markov 기법을 적용하여 예측된 토지이용변화 결과를 수문모형인 SLURP의 입력 자료로 활용하거나 (Lim et al., 2005; Ahn et al., 2008; Park et al., 2009a, 2009b, 2010a, 2010b), SWAT 모형에 입력하여 유역의 유출량 및 수문특성 변화를 예측하는 연구가 수행되어 왔다 (Park et al., 2008; Lee et al., 2008a, 2008b). 그러나 Markov 기법은 현재 토지이용의 변화된 경향을 잘 반영하지만 모델의 전이 확률이 모든 위치에 일정하게 적용되는 단점이 있으며 (Lee and Kim, 2007), 비선형 동적모형인 CA 기법 또한 시계열 자료의 변화양상을 공통적으로 적용시켜 인접격자의 상태를 지속적으로 변화시키는 원리로 도시 확장을 예측하는 데 유용하게 활용되고 있으나 농업지역 예측에는 한계를 나타내는 것으로 알려진 바 있다 (Lambin and Geist, 2006; Oh et al., 2010a, 2010b, 2011).

반면, Verburg et al. (1999, 2002)는 대상지의 토지이용제한 조건과 사회·경제적 요인을 반영할 수 있는 CLUE 모델을 이용하여 유럽지역의 농업지역을 중심으로 토지이용변화를 모의한 바 있으며 Schulp et al. (2008)은 SRES 시나리오를 기반으로 미래 토지이용변화에 따른 이산화탄소 배출량을 추정하는 연구를 수행하였다. 국내에서는 Oh et al. (2010a)이 위 모델을 활용하여 경기도 3개 시·군을 대상으로 토지이용변화 예측을 위한 회귀식 도출과 확률도 작성 연구를 수행하였으며 Oh et al. (2010b)의 연구에서는 국내 논지역의 변화를 예측하기 위해 지역 규모 (regional scale)의 기후변화 시나리오를 설정하고 미래 논 분포 변화를 모의한 바 있다.

본 연구에서는 선행연구 (Oh et al., 2010a, 2010b, 2011)를 통해 검증한 기후변화 시나리오에 따른 토지이용변화 모의방법을 도별 대표 농업용 저수지 포함 지역의 미래 토지피복분포 예측에 활용하여 관개면적과 저수지 유역 내 토지피복변화를 분석하였다. 이를 통해 농업 생산성과 밀접한 관련이 있는 농업용 저수지 유역의 경지면적 변화와 수문 특성 변화를 예측함으로써, 향후 농업 수자원 정책을 마련을 위한 기초자료를 제공하고자 하였다.

II. 재료 및 방법

1. 연구 방법

본 연구의 수행 과정은 Fig. 1와 같다. 대상지별 지역규모의 토

지이용변화 시나리오는 일본 국립환경연구소(National Institute of Environmental Studies)에서 기후변화 시나리오에 따른 환경영향 평가를 위하여 수행한 전지구 규모 (global scale)의 아시아 태평양 통합 모델 (Asia-Pacific Integrated Model) 결과를 바탕으로 토지이용면적 변화 비율을 정량적으로 분석하여 설정하였다. 이와 함께 국내의 도별 인구변화추세를 전지구 시나리오의 지역별 인구 변화와 비교하여 변화 패턴이 유사한 지역을 선정하여 토지이용변화 결과를 분석하고, 이 변화 추세와 연구대상지의 사회·경제적 제약조건을 종합적으로 고려하여 토지이용면적의 변화 시나리오를 구성하였다 (Oh et al., 2010b).

변화제한 구역으로는 농경지 보존을 위해 농식품부에서 지정한 농업 진흥 구역도를 활용하였으며, 토지피복도의 위치적 특성과 변화 구동요인 사이의 상관관계 규명은 로지스틱 회귀분석을 통해 분석하였다. 마지막으로 연구 대상지의 토지이용간의 상호 변화 특성과 토지이용별 전이 특성 (conversion elasticity) 값은 Oh et al. (2011)의 연구에서 도출한 A1B 시나리오 조건을 적용하여 모의에 활용하였다. 현재 국내 기상청에서는 기후변화 시나리오로 A1B 시나리오 자료를 제공하고 있다. 최종적으로 모의된 토지이용변화 결과를 농업용 저수지 지역의 물수지 분석에 활용하기 위해 적합한 형태로 재산정하여 도별 대표 농업용 저수지 지역의 관개면적 및 유역 내 토지피복변화를 살펴보았다.

Fig. 1 Schematic diagram for simulating land-cover change and regional analysis

2. 연구 대상지

본 연구에서는 2009년 농어촌연구원 (RRI, Rural Research Institute)에서 한반도 농업용수 영향평가를 위해 선정한 도별 대표 관측소를 중심으로 농업용 저수지를 포함하는 시/군 단위를

Table 1 Meteorological stations and agricultural reservoirs of this study

Region	Meteorological Station	Agricultural reservoir	Watershed (ha)	Study areas (Administrative boundaries)
Gyeonggi	Suwon	Madun	529	Anseong / Yongin / Icheon
Gangwon	Chuncheon	Wonchang	305	Chuncheon / Hocheon
Chungbuk	Cheongju	Wonnam	1,080	Umseong / Jincheon / Goesan
Chungnam	Seosan	Gopoong	1,293	Seosan / Dangjin / Yesan
Jeonbuk	Jeonju	Ingjo	841	Jeonju
Jeonnam	Yeosu	Daepo	260	Yeosu
Gyeongbuk	Pohang	Mabook	650	Pohang
Gyeongnam	Jinju	Namsung	72	Jinju

Legend

■ Watershed
 ■ Study areas

Fig. 2 Study areas

중심으로 연구 대상지를 결정하였다 (Yun, 2009; Choi, 2010). 대상 관측소는 증발량 모니터링 유무와 자료 축적의 정도, 도심지에서 떨어진 곳을 기준으로 하여 수원, 춘천, 청주, 서산, 전주, 여수, 포항, 진주 등을 도별 대표 관측소로 정하였다(Yun, 2009). 본 연구의 대상 관측소 및 농업용저수지의 명칭과 유역면적, 해당 시/군 지역은 Table 1과 같으며 각 저수지의 유역경계와 토지이용변화 모의 범위를 도시한 그림은 Fig. 2와 같다.

3. 시나리오 설정

AIM에서는 모델 구동을 위하여 WORLD, ASIAP, EFSU, ROW, OECD 지역별 인구와 각 지역 국내총생산의 변화 및 토지이용면적을 기후변화 시나리오별 모의치로 설정하여 기후변화 예측에 적용하고 있다 (Morita, 1999; Oh et al., 2010b). 본 연구에서는 도별로 지역 규모의 토지이용변화 시나리오 설정을 위해 통계청에서 제공하는 도별 장래인구추계 변화율과 AIM의 지역별 인구 변화율을 비교하여 (Fig. 3(a), (b)), 인구증가가 예상되는 곳은 OECD 지역의 토지피복변화 추세를 바탕으로 하고 (Fig. 3(c)), 인구감소가 예측되는 지역은 EFSU 지역의 토지이용변화 비율을 적용하였다 (Fig. 3(d)). 경기도 지역의 경우, 2030년까지의 인구 증가율이 AIM에서 제공하는 아시아지역의 인구 증가 비율을 상회하고 있으나, Oh et al. (2010b, 2011)의 연구에서 한반도 전체의 인구와 국내총생산의 변화 비율이 OECD 지역의 변화율과 유사함을 밝힌 바 있고 경제발전 수준이 안정화 단계에 도달한 국내 현황을 고려하여 시·도별 최대 변화비율을 OECD 수준으로 한정하여 적용하였다.

통계청 (KOSIS, 2006)의 시·도별 장래인구추계 결과에 따르면 2005년 전국인구는 48,138천명이며, 향후 2018년 49,340천명을 정점으로 감소하여 2030년에는 48,635천명이 될 것으로 전망하고 있다. 이를 도별로 살펴보면 Fig. 3(b)와 같이 2030년까지 경기도와 경남, 충남 지역에서는 인구가 증가하는 반면 강원, 충북, 전북, 전남, 경북은 인구감소가 지속될 것으로 예측하고 있다. 따라서 경기, 경남, 충남 지역의 시가화 지역은 인구 증가비율과 비례하여 시가화 면적이 증가할 것으로 설정하고 인구 감소 지역은 현재의 시가화 면적을 유지하는 것으로 결정하였다.

4. 기초자료 구축

토지이용변화 모의를 위한 기초 자료는 Table 2와 같다. 본 연구에서는 환경부의 2009년 중분류 토지피복지도를 활용하여 기준도를 작성하였고, 농경지 보존을 위한 개발제한 구역도는 농식품부의 농업진흥구역도를 활용하였다. 이와 함께 국가지리정보포털의 1:25,000 수치지도로부터 해당 지역의 수치표고 모델

Fig. 3 Outputs of AIM (Morita et al., 1999; Oh et al., 2010b)

Table 2 Description of spatially explicit allocation factors

Factor	Variable	Description
Land-cover	Built-up	Residential / industrial / commercial / and recreational areas, and public facilities
	Forest	Forest and natural areas
	Paddy	Paddy field area
	Upland	Agricultural land not included in paddy field
	Grassland	Grassland, including semi-natural grassland and biomass land calculated by the scenario
	Water	Water and wetlands
Driving factors	DEM	Height (in m)
	Aspect	Aspect based on DEM
	Slope	Slope based on DEM (in degrees)
	Soil depth	Effective depth class
	Soil drain	Soil drainage class
	Soil type	Rock, sandy loam, clay loam, etc.
	D_city	Distance to city (m)
Restrict condition	Agricultural promotion zone	Designated to guarantee a stable food supply

(DEM, Digital Elevation Model)과 경사도 (slope), 향 (aspect) 지도를 구축하였다. 또한, 농촌진흥청의 1:50,000 개략토양도를

바탕으로 토양특성 자료를 마련하고, ArcGIS의 유클리디안 거리 연산 도구를 활용하여 도시와의 접근성을 구동요인 자료로 구축

Fig. 4 Demand for aggregated area

하였다. 본 연구에서 활용된 독립변수는 선행연구를 참고하여 토지이용변화와 관련이 있을 것이라 추정되는 구동요인 중 공간자료인 GIS 자료를 중심으로 선정한 변수이다 (Schulp et al., 2008; Oh et al., 2010a, 2010b, 2011).

토지피복간 상호 변화 규칙의 경우, 시가화지역의 변화는 비가역적으로 설정하고 수역은 변화하지 않는 지역으로 규정하였으며 논과 밭, 밭과 산림 등은 상호 변화할 수 있는 지역으로 설정하였다. 지역별로 구축한 7가지의 구동요인들을 대상으로 회귀분석을 수행하여 토지이용변화의 구동요인을 정량화하여 위치적합성을 결정하였다. 단계적인 변수 선택 방법인 전진선택법 (forward selection method)을 사용하여 가능성이 많은 독립변수를 차례로 추가하여 지역별 회귀식을 도출하여 미래 토지피복변화 예측 모형의 기초자료로 활용하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 토지이용면적 시나리오

A1B 기후변화 시나리오를 고려하여 설정한 지역별 토지이용

면적 시나리오는 Fig. 4와 같다. Fig. 4(a)에 도시한 시가화면적 시나리오를 살펴보면, 인구 증가가 예상되는 경기, 충청과 경남 지역의 시가화면적 변화율은 도별 인구증가율과 비례하고, 그 외의 지역에서 시가화면적은 현재수준을 유지하는 것으로 설정되었음을 알 수 있다. 농업지역 시나리오는 OECD 지역과 유럽지역인 EFSU 지역의 농지 감소율을 적용하여, Fig. 4(b)와 같이 나타났으며 OECD 지역과 EFSU 지역의 산림 변화율과 초지면적을 합산하여 산정한 녹지면적의 변화 시나리오는 Fig. 4(c)와 같이 나타났다. 초지면적의 경우, 수역을 Fig. 4(d)와 같이 고정된 면적으로 정한 후, 대상지의 시가화 지역, 농업지역, 산림, 수역을 제외한 나머지 면적으로 산정하였다.

위 시나리오를 적용하여 도출된 일부 지역의 토지피복 변화 총량 시나리오를 도시하면 Fig. 5와 같다. 인구 증가 지역인 충청남도 고흥 저수지 포함 지역과 경상남도의 남성 저수지 포함 지역의 토지피복 변화 총량을 세부 항목별로 살펴보면 각각 Fig. 5(a), Fig. 5(b)와 같이 나타났다. 고흥 저수지를 포함하는 충청남도 서산시의 미래 토지피복변화는 산림면적과 논면적이 유사하게 분포하는 곳으로 바이오매스 작물 경작지를 포함하는 초지면적의 증가가 특징이다. 경상남도 진주시는 통계청 인구 추계를

Fig. 5 Land-cover demand for aggregated area by regions

반영하여 2012년 이후로 시가화면적의 변화가 없으며, 산림이 가장 넓고, 논면적과 밭면적이 유사한 비율로 분포하는 것을 알 수 있다.

2. 토지이용변화 모의 결과

Fig. 6은 유의수준 $p < 0.05$ 를 만족하는 지역별 회귀식과 토지피복변화 총량 시나리오를 활용하여 모의를 수행한 결과 중 경기도와 전라남도의 모습이다. 대상지내 토지피복 변화가 가장 큰 지역인 경기도 (Fig. 6(a))와 토지피복별 변화가 가장 적게 나타난 전라남도 (Fig. 6(b)) 지역의 변화 특성을 각각 살펴보면 다음과 같다. 시가화 지역의 증가가 가장 크게 나타난 경기도 마둔저수지 지역의 경우, 모의 대상지 전체적으로 논·밭 등 농경지면적이 약 18 % 정도 감소하는 것으로 모의되었다. 변화된 지역은 주로 시가화 지역에 인접한 지역에 분포한 농경지로서 다른 용도로 전환되는 것으로 모의되었다. 전라남도 대포저수지 지역의 경우, 토지피복변화를 모의한 전체 대상지내에서 경지면적 감소 비율이 2 % 이내로 나타나 다른 지역에 비해 변화 면적이 가장 적었으며, 변화 지역은 기존의 시가화 지역 주변지역으로서 농업용저수지 유역내 논 면적과 관개지구의 논의 변화는 전혀 없는 것으로 모의되었다.

또한, 본 연구의 토지피복 변화 비율과 수자원 장기종합계획 (MLTMA, 2006)에서 제시한 경지면적변화 비율을 비교하면 다음과 같다. 2020년의 경기도의 경우, 수자원 장기종합계획의 ‘기준수요’ 시나리오에서 제시한 값과 동일하게 경지면적이 약 10 % 감소할 것으로 예상되었다. 장기적으로 2100년에는 경기도의 경지면적이 18 % 감소하여, 수자원 장기종합계획의 ‘저수요’ 시나리오인 경지면적 20 % 감소와 유사한 결과를 나타냈다. 그러나 국토해양부의 수자원 장기종합계획은 2003년부터 2020년까지의

경지면적 및 수자원 수요량을 시나리오별로 제한한 값이므로, 본 연구의 결과 중 2020년 모의치만을 비교하면, 경기 지역을 제외한 모든 지역에서 ‘기준수요’ 시나리오 10 % 보다 적은 경지면적 감소를 예상하고 있으며, 충남, 경남을 제외한 5개 지역에서 수자원 장기종합계획의 ‘고수요’ 시나리오인 경지면적 2 % 감소보다도 적은 수준으로 논 면적이 감소할 것으로 모의되었음을 알 수 있다. 이를 통해 A1B 시나리오의 토지피복 변화 경향을 국내에 반영할 경우, 경지면적의 감소는 과거 감소 추세보다 적은 수준을 나타내는 것으로 예측되었음을 알 수 있다.

3. 관개면적 및 유역내 토지이용변화

일반적으로 농업용 저수지를 대상으로 지구별 물수지 분석을 하기 위해서는 유역내 수자원의 총 발생량과 관개구역에서의 수량 정보가 필요하다. 따라서 본 연구에서 모의된 결과를 활용하여 필요수량 산정에 필요한 관개지구내 논벼의 관개면적 변화를 각각 Table 3과 같이 산정하였다. 수원공에서 공급할 관개용수량 결정은 순용수량, 조용수량 등을 단위면적 당 깊이 (mm)로 산정하고 여기에 관개면적을 곱하여 총 공급량을 결정한다. 여기서 순용수량을 산정하기 위해 활용되는 기상자료는 주로 30년간의 평년값을 활용하므로 모의된 미래 토지피복 변화를 30년 단위로 환산하여 Table 3과 같이 나타내었다.

그 결과 2025s (2010~2040)까지는 충북 원남저수지 지역을 제외하고 모든 지역의 관개지구 내에서 토지피복변화는 수자원 장기종합계획의 고수요 시나리오보다 적은 경지면적 감소를 보였다. 따라서 관개지구 내의 논 지역이 농업진흥지역으로 지정되어 있는 경우가 상대적으로 많으므로 동일 지구내의 다른 논 지역보다 타 용도로의 전환이 적게 일어나는 것을 알 수 있다. 또한 대부분의 농업용저수지가 산림이 주로 분포한 오지에 위치하

(a) Land-cover map and changes in 2085 (Gyeonggi region)

(b) Land-cover map and changes in 2085 (Jeonnam region)

Fig. 6 Comparison of changes in land-cover by regions

고 그 하류지역에 관개지구가 위치하는 경우가 일반적이기 때문에, 장기적인 토지피복변화를 살펴보았을 경우, 관개면적인 논 감소폭은 약 5 % 이하의 값을 나타내고 있다. 그러나 충북의 경우 관개지구와 송산택지지가 인접하고 있어 다른 연구 대상지에 비해 관개면적의 감소가 크게 나타나고 있는 것으로 판단된다. 이는 향후 이용체계 개편사업으로 인해 신규 수혜구역이 증가할 수 있어 추후 연구에서 국내 정책의 세부 시나리오를 적용하면서 보완이 필요할 것으로 판단된다.

마지막으로 유역 유출량 산정을 위한 유역내 토지피복 변화 결과를 Table 4과 같이 정리하였다. 산림이 많은 강원도 원창저수지의 경우 저수지 유역내 농경지가 전혀 분포하지 않는 것으로 나타났으며 전반적으로 모든 대상지의 유역내 논면적은 감소하는 경향을 보였다. 반면 경기 마둔저수지, 충북 원남저수지, 충남 고풍저수지, 전북 인교저수지, 경남 남성저수지 등에서 산림면적이 증가하는 것으로 모의되어 농업용 저수지 근방의 토지피복 특성이 산림지로 분포할 확률이 높은 것으로 예측되었음을 알 수 있다.

Table 3 Land-cover changes in irrigation areas

Agricultural reservoir regions	1995s	2025s		2055s		2085s	
	Area (ha)	Area (ha)	Rate of change (%)	Area (ha)	Rate of change (%)	Area (ha)	Rate of change (%)
Madun	451.4	442.4	- 2.0	441.3	- 2.2	440.1	- 2.5
Wonchang	676.9	668.0	- 1.3	665.4	- 1.7	660.4	- 2.4
Wonnam	1402.2	1334.0	- 4.9	1297.0	- 7.5	1263.9	- 9.9
Gopoong	1185.0	1184.0	- 0.1	1154.4	- 2.6	1115.7	- 5.9
Ingyo	188.4	188.4	0.0	182.7	- 3.0	177.2	- 3.0
Daepo	296.7	296.7	0.0	296.7	0.0	296.7	0.0
Mabook	583.6	583.6	0.0	583.6	0.0	583.6	0.0
Namsung	221.7	220.3	- 0.6	216.3	- 2.5	212.2	- 4.3

Table 4 Land-cover changes in agricultural reservoir watersheds

Agricultural reservoir regions		1995s		2025s		2055s		2085s	
		Area (ha)	Ratio (%)	Area (ha)	Ratio (%)	Area (ha)	Ratio (%)	Area (ha)	Ratio (%)
Madun	Paddy	86	7.2	73	6.1	32	2.7	24	2.0
	Upland	63	5.3	51	4.3	29	2.4	15	1.3
	Forest	960	80.7	969	81.4	1,006	84.5	1,023	86.0
Wonchang	Paddy	-	-	-	-	-	-	-	-
	Upland	-	-	-	-	-	-	-	-
	Forest	1,253	98.4	1,247	98.0	1,247	98.0	1,247	98.0
Wonnam	Paddy	720	9.5	685	9.1	666	8.8	649	8.6
	Upland	962	12.7	780	10.3	757	10.0	752	9.9
	Forest	5,369	71.0	5,323	70.4	5,425	71.7	5,526	73.1
Gopoong	Paddy	153	6.0	138	5.4	115	4.5	90	3.5
	Upland	211	8.3	128	5.0	82	3.2	60	2.4
	Forest	2,032	80.1	2,120	83.6	2,159	85.1	2,176	85.8
Ingyo	Paddy	85	10.1	81	9.6	59	7	57	6.8
	Upland	23	2.7	3	0.4	3	0.4	2	0.2
	Forest	682	81.1	694	82.5	712	84.7	718	85.4
Daepo	Paddy	142	9.7	142	9.7	142	9.7	142	9.7
	Upland	116	8.0	93	6.4	80	5.5	80	5.5
	Forest	1,079	74.0	1,061	72.8	1,038	71.2	1,038	71.2
Mabook	Paddy	39	2.4	37	2.3	34	2.1	32	2.0
	Upland	23	1.4	19	1.2	19	1.2	14	0.9
	Forest	1,516	93.7	1,515	93.6	1,523	94.1	1,532	94.7
Namsung	Paddy	31	8.3	26	7.0	25	6.7	25	6.7
	Upland	2	0.5	2	0.5	1	0.3	1	0.3
	Forest	325	87.1	330	88.5	332	89.0	332	89.0

IV. 요약 및 결론

본 연구에서는 온실가스 배출 시나리오인 A1B 시나리오에 나타난 사회·경제적 가정에 따라 모의된 OECD 및 유럽지역 (EFSU)의 토지이용변화 결과를 바탕으로 국내의 도별 농업용 저수지 지

역의 미래 토지피복 변화를 공간적으로 예측하였다. 모의 결과를 수자원 장기종합계획의 경지면적 시나리오와 비교하고, 물수지 분석에 활용 가능한 형태로 재산정하여 미래의 관개면적과 농업용 저수지 유역내 토지피복변화 경향을 분석하였다. 본 연구를 요약하면 다음과 같다.

1. 전지구 규모의 통합모형인 AIM 모델에서 산출된 OECD 지역의 토지이용변화 결과와 인구 증가가 예상되는 지역의 사회·물리적 특성을 결합하여 구성된 지역 규모의 기후변화 시나리오를 경기, 충남, 경남의 농업용 저수지 지역에서 활용하였고, 유럽지역의 토지이용변화 결과는 인구 감소가 예상되는 지역의 토지피복변화 시나리오에 활용하였다. 농업진흥구역을 변화제한 조건을 적용하여 각 지역의 향후 100년간의 토지이용변화를 모의하였다.

2. 인구 증가 예상 지역의 토지피복 변화 경향은 시가화 면적이 증가하고 농업지역 감소가 상대적으로 크며 녹지면적의 요구량이 증가하는 추세를 보였다. 반면 인구 감소 예상 지역은 시가화 개발 수요가 없으므로 시가화 면적의 변화가 없고 농지 면적은 인구 감소와 같이 점차 감소하는 경향을 보이거나 바이오매스 농장을 포함하는 초지와 녹지 면적이 다소 증가하는 변화를 보였다.

3. 총 토지이용변화를 지역별로 살펴보면 대상지내 토지피복 변화가 가장 큰 지역은 경기도의 마둔저수지 포함지역으로 나타났다. 변화가 가장 작은 지역은 전라남도 대포저수지 지역으로 나타났다. 수자원 장기종합계획에서 제시한 2020년의 경지면적 변화 비율과 비교하면, 경기도의 경우 2020년대에 농경지가 10 % 감소할 것이라 모의되어 현재의 농업용수 수요량을 유지하는 것으로 가정한 '기준수요' 시나리오와 유사한 것으로 나타났으며, 유럽지역의 경지감소 비율을 적용한 지역은 모두 농업용수 '고수요' 시나리오보다 적은 2 % 이하의 경지면적 감소를 보였다.

4. 모의 결과를 활용하여 30년 단위의 관개면적과 유역내 토지피복변화를 산정한 결과, 관개지구의 수혜면적의 변화는 택지 지구가 인접한 충북지역을 제외한 모든 지역에서 0.0~2.0 %의

미미한 경지면적 감소를 나타내었고, 유역내 경지 변화 특성은 산림이 70 % 이상 90 % 미만 분포하는 지역에서 대부분 논이 산림으로 전환되는 것으로 나타나, 농업용 저수지 유역내 토지 피복 특성이 산림지로서 분포할 확률이 높은 것으로 나타났다.

본 연구 방법을 바탕으로 향후 수자원 장기종합계획과 같은 국내 고유의 농업용수 시나리오를 적용하여 전국의 토지피복변화 모의를 수행함으로써 미래 농업용수 변화를 예측하는데 기초자료로 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구는 한국농어촌공사 농어촌연구원의 ‘기후변화 시나리오에 따른 토지이용변화 및 논용수 변화 분석’ 용역의 일환으로 수행되었습니다.

REFERENCES

- Ahn, S. R., Lee, Y. J., G. A. Park, and S. J. Kim, 2008. Analysis of Future Land Use and Climate Change Impact on Stream Discharge, *Journal of Korean Society of Civil Engineers* 28(2): 215-224 (in Korean).
- Choi, J. Y.. 2010. Analysis of land-use change and water requirement for paddy rice affected by climate change, 13. Rural Research Institute (RRI) (in Korean).
- Doll, P., 2002. Impact of climate change and variability on irrigation requirements: a global perspective. *Climate Change* 54: 269-293.
- Hong, E. M., Choi, J. Y., Lee, S. H., S. H. Yoo, and M. S. Kang, 2009. Estimation of paddy rice evapotranspiration considering climate change using LARS-WG. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 51(3): 25-35 (in Korean).
- IPCC, 2007. *Climate Change 2007 : The Physical Science Basis*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Kim, S. J. and Y. J. Lee, 2007, The Effect of Spatial Scale and Resolution in the Prediction of Future Land Use Using CA-Markov Technique, *Journal of The Korean Association of Geographic Information Studies* 10(2): 58-70 (in Korean).
- Korea Meteorological Administration (KMA), 2008. Understanding of climate change and application of climate change scenario (1). Korea Meteorological Administration (in Korean).
- Korea Statistical Information System (KOSIS), 2006. Population projections for Korea. http://kosis.kr/nsportal/ups/ups_01List01.jsp.
- Lambin, E. F. and H. J. Geist (ed), 2006. Land-use and land-cover change. Springer Berlin Heidelberg New York.
- Lee, Y. J. and S. J. Kim, 2007. Surveying and Geo-Spatial Information Engineering : A Modified CA-Markov Technique for Prediction of Future Land Use Change. *Journal of Korean Society of Civil Engineers* 27(6): 809-817 (in Korean).
- Lee, Y. J., An, S. R., B. S. Kang, and S. J. Kim, 2008a, Assessment of Future Climate and Land Use Change Impact on Hydrology and Stream Water Quality of Anseongcheon Watershed Using SWAT Model (II), *Journal of Korean Society of Civil Engineers* 28(6): 665-673 (in Korean).
- Lee, Y. J., Park, J. Y., M. J. Park, and S. J. Kim, 2008b, Assessment of Future Climate and Land Use Change Impact on Hydrology and Stream Water Quality of Anseongcheon Watershed Using SWAT Model (I), *Journal of Korean Society of Civil Engineers* 28(6): 653-663 (in Korean).
- Lim, H. J., Kwon, H. J., D. H. Bae, and S. J. Kim, 2006, Analysis of Hydrological Impact Using Climate Change Scenarios and the CA-Markov Technique on Soyanggang-dam Watershed, *Journal of Korea Water Resources Association* 39(5): 453-466. (in Korean)
- Ministry of Land, Transport and Maritime Affair (MLTMA), 2006. Water Vision 2020, 28-48 (in Korean).
- Morita, T., Matsuoka, Y., Jiang, K., Masui, T., Takahashi, K., M. Kainuma, and R. Pandey, 1999. Quantification of IPCC-SRES storyline using the AIM/EMISSION-LINKAGE model. the IPCC Modeler Meeting of the Special Report on Emission Scenarios.
- Oh, Y.-G., Choi, J.-Y., Bae, S.-J., Yoo, S.-H. and S.-H. Lee, 2010a. Research Paper : A Probability Mapping for Land Cover Change Prediction using CLUE Model. *Journal of the Korean Society of Rural Planning (KSRP)* 16(2): 47-55 (in Korean).
- Oh, Y.-G., Choi, J.-Y., Yoo, S.-H. and S.-H. Lee, 2011. Prediction of Land-cover Change Based on Climate Change Scenarios and Regional Characteristics using

- Cluster Analysis. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 53(6): 34-41 (in Korean).
18. Oh, Y.-G., Yoo, S.-H., S.-H. Lee, and J.-Y. Choi, 2010b. Prediction of paddy field change based on climate change scenarios using the CLUE model. *Paddy and Water Environment* 9(3): 309-323.
 19. Park, G. A., Ahn, S. R., Park, M. J. and S. J. Kim, 2010b, Assessment of the Contribution of Weather, Vegetation, Land Use Change for Agricultural Reservoir and Stream Watershed using the SLURP model (II) - Calibration, Validation and Application of the Model -, *Journal of Korean Society of Civil Engineers* 30(2): 121-135 (in Korean).
 20. Park, G. A., Anh, S. R., Lee, Y. J., Shin, H. J., Park, M. J., and S. J. Kim, 2009a, Assessment of Climate Change Impact on the Inflow and Outflow of Two Agricultural Reservoir in Korea, *American Society of Agricultural and Biological Engineers* 52(5): 1869-1883.
 21. Park, G. A., Lee, Y. J., Shin, H. J. and S. J. Kim, 2010a, Assessment of the Contribution of Weather, Vegetation, Land Use Change for Agricultural Reservoir and Stream Watershed using the SLURP model (I) - Preparation of Input Data for the Model -, *Journal of Korean Society of Civil Engineers* 30(2): 107-120 (in Korean).
 22. Park, G. A., Park, J. Y., Shin, H. J., Park, M. J. and S. J. Kim, 2010c, Impact of Climate Change on Paddy Water Storage During Storm Periods, *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 52(6): 27-37 (in Korean).
 23. Park, G. A., Shin, H. J., Lee, M. S., Hong, W. Y. and, S. J. Kim, 2009b, Future potential impacts of climate change on agricultural watershed hydrology and the adaptation strategy of paddy rice irrigation reservoir by release control, *Journal of the International Society of Paddy and Water Environment Engineering* 7(4) (in Korean).
 24. Park, J. Y., Lee, M. S., Lee, Y. J. and S. J. Kim, 2008, The Analysis of Future Land Use Change Impact on Hydrology and Water Quality Using SWAT Model, *Journal of Korean Society of Civil Engineers* 28(2): 187-197 (in Korean).
 25. Schulp, C. J. E., G.-J. Nabuurs, and P. H. Verburg, 2008. Future carbon sequestration in Europe-Effects of land use change. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 127(3-4): 251-264.
 26. Verburg, P. H., De Koning, G. H. J., Kok, K., A. Veldkamp, and J. Bouma, 1999. A spatial explicit allocation procedure for modelling the pattern of land use change based upon actual land use. *Ecological Modelling* 116(1): 45-61.
 27. Verburg, P. H., Soepboer, W., Veldkamp, A., Limpiada, R. V. Espaldon, and S. S. A Mastura, 2002. Modeling the spatial dynamics of regional land use: The CLUE-S model. *Environmental Management* 30(3): 391-405.
 28. Yoo, S. H., 2009. Analyzing agricultural drought affected by climate change. Ph.D. diss. Seoul National University (in Korean).
 29. Yun, D. G., 2009. A study on the impact assessment of climate change on agricultural water, 64-65. Rural Research Institute (RRI) (in Korean).
 30. Yun, D. K., S. O. Chung, and S. J. Kim, 2011. Climate change impacts on paddy water requirement. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 53(4): 39-47 (in Korean).