

용인시의 토지이용면적과 지표면 온도 변화를 이용한 환경보전 기능 변동 계량화

고병구* · 강기경 · 홍석영 · 이덕배 · 김민경 · 서명철¹⁾ · 김건엽 · 박광래 · 이정택

농촌진흥청 국립농업과학원 농업환경부, ¹⁾국립식량과학원 기능성작물부
(2009년 2월 16일 접수, 2009년 3월 23일 수리)

Assessment of Environmental Conservation Function using Changes of Land Use Area and Surface Temperature in Agricultural Field

Byong-Gu Ko*, Kee-Kyung Kang, Suk-Young Hong, Deog-Bae Lee, Min-Kyeong Kim, Myung-Chul Seo¹⁾, Gun-Yeob Kim, Kwang-Lai Park, and Jung-Taek Lee (Department of Agricultural Environment, National Academy of Agricultural Science(NAAS), RDA, ¹⁾Department of Functional Crop, National Institute of Crop Science(NIAS), RDA)

ABSTRACT: This study was aimed at assess environmental conservation functions by analyzing the change of land use areas in agricultural fields between 1999 and 2006, and comparing land surface temperature distribution between 1994 and 2006 in Yongin city. Land use maps of Yongin city were obtained from soil maps for 1999, Quickbird satellite images(less than 1 m) and parcel map for 2006. The land use area for Yongin city was in the order of forest > paddy field > upland > residence & building in 1999, and forest > residence & building > paddy field > upland in 2006. Decrease of paddy and upland fields reduced 34% and 41% of the capability of agricultural multifunctionality as to environment including flood control, groundwater recharge, and air cooling. Land surface temperature(LST) was derived from Landsat TM thermal infrared band acquired in September of 1994 and 2006 and classified into three grades. The results implied that green vegetation in agricultural field and forest play an important role to reduce land surface temperature in warm season.

Key Words: change detection, land use, agricultural multifunctionality, land surface temperature, Landsat TM

서 론

농업의 다원적 기능(Agricultural multi-functionality)이란 일차적으로 식량을 생산하여 국민들에게 안정적인 먹거리를 공급하는 기능 외에 홍수조절, 대기정화, 유기성폐기물 분해 등과 같은 환경보전기능¹⁾과 농촌경관 및 농촌활력 제공, 전통문화유지 및 식량안보 등에 기여하는 기능^{2,3)}들을 총칭하여 일컫는 용어이다. 자연생태계와 도시생태계를 조화롭게 유지시켜 주는 중요한 다리역할을 하며 외부 경제효과로서 사회적 후생을 증진시킨다. 농업의 다원적 기능을 WTO에서는 비교역적 관심사항(NTC, Non-Trade Concerns),

FAO에서는 농업의 역할(Role of agriculture), 미국에서는 환경서비스(Environmental service), 한국에서는 농업의 공익기능(Agricultural beneficial functions) 등 여러 가지 용어로 사용되어 왔으며^{4,5)} 더욱 구체적이고 세부적인 기능들로 구분되어 논의 및 연구들이 진행되고 있다.

우리나라와 일본의 경우 농업의 다원적 기능을 식량안보, 환경보전기능, 농촌활력, 농촌경관과 문화 등 4개의 큰 범주를 설정하고 여기에 세부적인 기능을 설정하고 각 세부적인 기능들에 대한 계량화 연구들이 진행되어 왔다⁶⁾. 특히, 우리나라에서는 환경보전 기능을 홍수조절 기능, 수자원함양 기능, 대기정화 기능, 기후순화 기능, 토양유실저감 기능, 수질정화 기능, 유기성폐자원소화 기능, 생물다양성보전 기능 등으로 구분하고 각 기능들에 대해 계량화하여 가치를 평가하였다⁷⁾.

최근 국가 정책부서에서는 농경지 보전을 위하여 농업의 다원적 기능 관련 정책논리 개발을 요구하고 있으며, 또한

*연락처:
Tel: +82-31-290-0219 Fax: +82-31-290-0208
E-mail: bgko@rda.go.kr

2008년 람사르 총회에서 벼 논농의 중요성이 강조되었고 보전을 강화할 것을 결의문에 삽입하였다. 이미 농업의 다원적 기능에 대해서는 다양한 평가가 없었으나, 경지이용 및 전용 사례에 대한 조사와 분석이 필요하고 다원적 기능 측면에서 문제점을 발굴하여 정책 및 기술적인 대안을 제시할 수 있는 방법에 대한 모색이 필요하다.

최근 도시화로 인하여 농경지가 지속적으로 줄어들고 있어 농업의 환경적 공익기능도 축소되고 있다. 따라서 본 시험은 농업의 공익기능 관련 실증 분석사례를 제공함으로써 식량안보 및 농업의 공익기능을 유지하고 농지보전 정책을 논리를 제공하고, 토지이용도와 위성영상을 이용한 용인시의 연차별 농경지 이용 면적과 변화를 분석하고 지표면 온도 추정을 통하여 환경보전 기능을 평가하는 것을 목적으로 하였다.

재료 및 방법

토지이용현황 및 변화분석

최근 10년간 급격한 농지전용에 따른 토지이용 변화가 컸던 용인시를 대상으로 약 10년 전과 최근의 농경지 이용현황을 조사하고 면적변화를 분석하였다. 10년 전의 농경지 이용현황은 농촌진흥청 국립농업과학원이 주관하여 수행한 밭토양 세부정밀토양조사사업의 일환으로 1995년부터 1999년에 걸쳐 조사 작성된 세부정밀토양도(1:5,000)에 기반하여 구축된 토지이용도를 이용하였다⁸⁾. 토지이용도는 컴퓨터에서 분석이 가능한 파일형태(shape file)로 전산화되었고, 논, 밭, 시설재배지, 과수원, 산림, 주거지, 물, 불모지, 초지, 묘지 등 약 10개의 토지이용으로 분류되는데 본 연구에서는 논, 밭, 시설재배지, 과수원, 산림, 주거지, 물과 나머지는 기타로 구분하여 모두 8개의 토지이용 항목으로 재분류하고 그리드(grid) 형태로 변환한 후 분석에 사용하였다. 최근의 토지이용도는 1 m급 고해상도 위성영상(QuickBird, 2006년 촬영)을 이용하여 2007년도에 작성된 농경지 지도와 국토해양부에서 구축한 연속지적도를 사용하였다⁹⁾. 농경지 지도에서 작성된 논, 밭, 시설재배지, 과수원, 연속지적도로부터 산림, 주거지, 물 및 기타 지역을 각각 추출하여 그리드 형태로 변환한 후 중첩하여 자료 분석에 사용하였다.

세부정밀토양도 기반 토지이용도(1999년)와 위성영상기반 토지이용도(2006)를 이용한 연차간 토지이용 변화분석을 위하여 후분류변화탐지법(post-classification change detection)의 하나인 매트릭스 분석을 수행하였다¹⁰⁾. 위성영상 분석 소프트웨어인 ERDAS Imagine 9.0(Leica Geosystems Ltd., USA)에서 제공되는 매트릭스(matrix) 모델을 이용하여 농경지를 포함한 토지이용 항목별 연차간 토지이용 변화를 분석하고 면적을 산출하였다.

지표면 지표면 온도 추출 및 변화 분석

위성영상을 이용한 지표면 온도 추출과 연차별 지표면 온

도변화 분석을 위해서는 영상 촬영일이 같아야 하는 것이 기본적이나 대개 ± 1 일로 3일 정도 범위는 같은 시기로 보고 있다. 본 연구에서 지표면 온도 추출과 변화 분석을 위해 사용된 영상은 미국 NASA에서 발사한 Landsat 5호의 TM(thematic mapper) 영상의 7개 밴드 중 열적외광 정보를 가진 6번 밴드를 이용하였고, 각각 1994년 9월 12일과 2006년 9월 13일에 촬영된 영상을 이용하였다. 이는 토지이용 현황과 변화 분석에 사용된 자료가 1995년에서 1999년의 조사된 토지이용도와 2006년 위성영상을 이용하여 작성된 농경지 이용 현황 자료이므로 가장 일관성을 갖기 위해 선택된 것이다. Landsat TM 6번 밴드는 지표면에서 방출되는 복사에너지 중 열적외광 영역(10.40~12.50 μm , thermal infrared)의 에너지를 감지하여 0~255 범위의 밝기값을 제공하는데 영상 자료의 밝기는 에너지의 세기 즉, 지표면의 지표면 온도를 반영하고 있다. 본 연구에서는 Landsat TM 밴드 6의 자료값(data file value)과 밝기지표면 온도와의 관계를 이용하여 다음의 식 1과 같이 지표면 지표면 온도를 구하였다¹¹⁾.

$$R = [5.1292 \times 10^{-5} \times T^2] - [1.7651 \times 10^{-2} \times T] + 1.602 \quad (\text{식 1})$$

여기서, R은 Landsat TM 밴드 6으로 관측된 방사휘도($\text{mW cm}^{-2} \text{sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$)이고, T는 절대지표면 온도(K)이다.

위 식을 통해 얻어진 간접 측정에 의한 지표면 온도는 위성이 감지하여 영상의 자료값으로 기록되는 밝기지표면 온도는 흑체에 대한 추론값이기 때문에 지표면 온도계로 직접 측정할 때의 실제 대기 지표면 온도와는 다소 차이가 있다.

환경보전기능 평가

경지전용 및 이용형태변화 유형별 연관되는 다원적 기능 계량화하기 위하여 농업과학기술원의 농업의 다원적 기능 평가¹²⁾를 참조하여 홍수조절 기능, 수자원함양 기능, 대기냉각 효과 기능, 토지유실방지 기능, 대기정화 기능, 수질정화 기능을 분석하였다.

홍수조절 기능은 논농의 경우 논둑높이와 홍수기간 동안 투수되는 강우의 양으로 표현할 수 있으며 이를 수식으로 나타내면 다음의 식 2와 같고, 밭의 경우에는 다음의 식 3과 같이 홍수기 강우량에서 유출량을 제거하고 남은 양으로 표현할 수 있다.

$$W_f = H_r + I_p \times D_i \quad (\text{식 2})$$

여기서, W_f 는 홍수조절량(mm), H_r 는 논둑높이(mm), I_p 는 투수속도(mm day^{-1}), D_i 는 홍수기간(days)이다.

$$W_f = R_f - R_{off} \quad (\text{식 3})$$

여기서, R_f 는 홍수기 강수량, R_{off} 는 홍수시 유출량이다. 수자원함량 기능은 지하수함량 기능만을 수자원함량 기능으로 설정하였으며, 이를 추정하기 위한 모형은 다음의 식 4와 같다.

$$W_g = I_p \times D_c \times (1 - R_f) \quad (\text{식 4})$$

여기서, W_g 는 지하수함량 기능 물량(mm), I_p 는 평균 투수속도(mm day⁻¹), D_c 는 담수기간(days), I_p 는 평균 투수속도(mm day⁻¹), D_w 는 평균 담수심(mm), R_f 는 하천유입률이다.

대기냉각효과 기능은 작물에 의한 여름철 대기 냉각효과를 의미하는 것으로 논과 밭에서의 추정모형은 각각 다음의 식 5와 6과 같다.

$$ET = E_a \times D_h \quad (\text{식 5})$$

여기서, ET 는 고온기간 중 총 증발산량, E_a 는 고온기 평균 일 증발산량(mm day⁻¹), D_h 는 고온기간 28℃ 이상 기록한 연평균 일수(30년 평균)일이다.

$$ET = PET \times K_c \times K_w \times D_h \quad (\text{식 6})$$

여기서, ET 는 고온기간 중 총 증발산량, PET 는 잠재증발산량(mm), K_c 는 작물계수, K_w 는 토양수분계수, D_h 는 고온기간 28℃ 이상 기록한 연평균 일수(30년 평균)일이다.

토지유실방지 기능은 다음의 식 7과 같이 토양 유실량을 근거로 산출하였으며, 논, 밭의 토지유실방지 기능은 피복된 밭에서의 토양 유실량에서 논, 밭의 토양 유실량을 제거하여 구하였으며, 밭의 토지유실방지 기능은 나지 밭에서의 토양 유실량에서 피복된 밭에서의 토양 유실량을 제거하여 구하였다

$$A = R \times K \times LS \times C \times P \quad (\text{식 7})$$

여기서, A 는 토양 유실량(ton ha⁻¹ yr⁻¹), R 은 강우인자, K 는 토성인자, LS 는 지형인자, C 는 작물인자, P 는 토양관리인자이다.

대기정화 기능은 논, 밭의 경우 CO₂ 흡수량과 O₂ 발생량을 다음의 식 8과 9를 이용하여 구하였고, 밭에서는 다음의 식 10과 11를 이용하여 CO₂ 흡수량과 O₂ 발생량을 추정하였다.

$$T_{CO_2} = P_p \times C_t \times C_f \times L_a \quad (\text{식 8})$$

여기서, T_{CO_2} 는 벼의 총CO₂ 흡수량(ton ha⁻¹), P_p 는 벼의 총 건물생산량(ton ha⁻¹), C_t 는 벼 식물체의 총 C함량(%), C_f 는 환산계수(CO₂/C). L_a 는 벼 재배면적(ha)이다.

$$T_{O_2} = T_{CO_2} \times C_f \quad (\text{식 9})$$

여기서, T_{O_2} 는 벼에 의한 O₂ 방출량(ton ha⁻¹), T_{CO_2} 는 벼의 CO₂ 흡수량(ton ha⁻¹), C_f 는 환산계수(O₂/CO₂)이다.

$$T_{CO_2} = \sum(P_p \times C_t \times C_f \times L_a) \quad (\text{식 10})$$

여기서, T_{CO_2} 는 밭작물의 총CO₂ 흡수량(ton ha⁻¹), P_p 는 벼의 총 건물생산량(ton ha⁻¹), C_t 는 벼 식물체의 총 C함량(%), C_f 는 환산계수(CO₂/C). L_a 는 벼 재배면적(ha)이다.

$$T_{O_2} = T_{CO_2} \times C_f \quad (\text{식 11})$$

여기서, T_{O_2} 는 밭작물에 의한 O₂ 방출량(ton ha⁻¹), T_{CO_2} 는 밭작물의 CO₂ 흡수량(ton ha⁻¹), C_f 는 환산계수(O₂/CO₂)이다.

수질정화 기능은 질소 수지식을 기본으로 질소 정화율을 구할 수 있는데, 다음의 식 12와 같이 관개수 유입 질소량에서 유출수 질소량과 침출수 질소량을 제거하여 구할 수 있다.

$$R_N = [N_{irr} - (N_{off} + N_{drain})] \times 100 \quad (\text{식 12})$$

여기서, R_N 는 질소 정화율(kg ha⁻¹), N_{irr} 는 관개수 유입 질소량(kg ha⁻¹), N_{off} 는 지표수 유거에 의한 유출량(kg ha⁻¹), N_{drain} 는 지하 침투에 의한 유출량(kg ha⁻¹)이다.

결과 및 고찰

용인시의 연차간 토지이용 현황 및 변화 분석

최근 10년간 도시화가 현저히 진행된 용인시를 대상으로 세부정밀토양도에 기반한 1999년 토지이용 현황과 위성영상에서 추출한 농경지 지도와 지적도에 기반한 2006년의 농경지를 중심으로 한 토지이용 현황 분포를 그림 1과 같이 각각 작성하고 비교하였다. 1999년과 2006년의 토지이용 현황을 비교해 보면 논, 밭, 과수원 등 농경지와 산림의 분포가 현저히 감소한 반면, 주거·도심지의 면적이 크게 확대된 것으로 나타났다. 특히 처인구에서 농경지 감소와 도심지 확장 현상이 눈에 띄게 나타났다.

1999년과 2006년의 토지이용 분포에 대한 지목별 면적과 면적변화 및 비율은 표 1과 같았다. 토지이용 면적 및 지목별 변화를 살펴보면 논이 1999년에 8,063.3 ha에서 2006년에는 5,309.3 ha가 되어 면적변화가 2,754.0 ha(34%)로 가장 많은 줄어들었다. 다음으로 산림이 2,043.2 ha가 없어졌지만 상대적으로 면적이 넓어 1999년에 비해 2006년은 산림전체의 약 6%가 줄어 들었다. 밭면적 또한 1,459.6 ha가 줄어 약 41%가 감소하였고, 특히 과수원의 면적은 약 90%가 감소한 반면 시설재배지의 면적은 159.4 ha에서

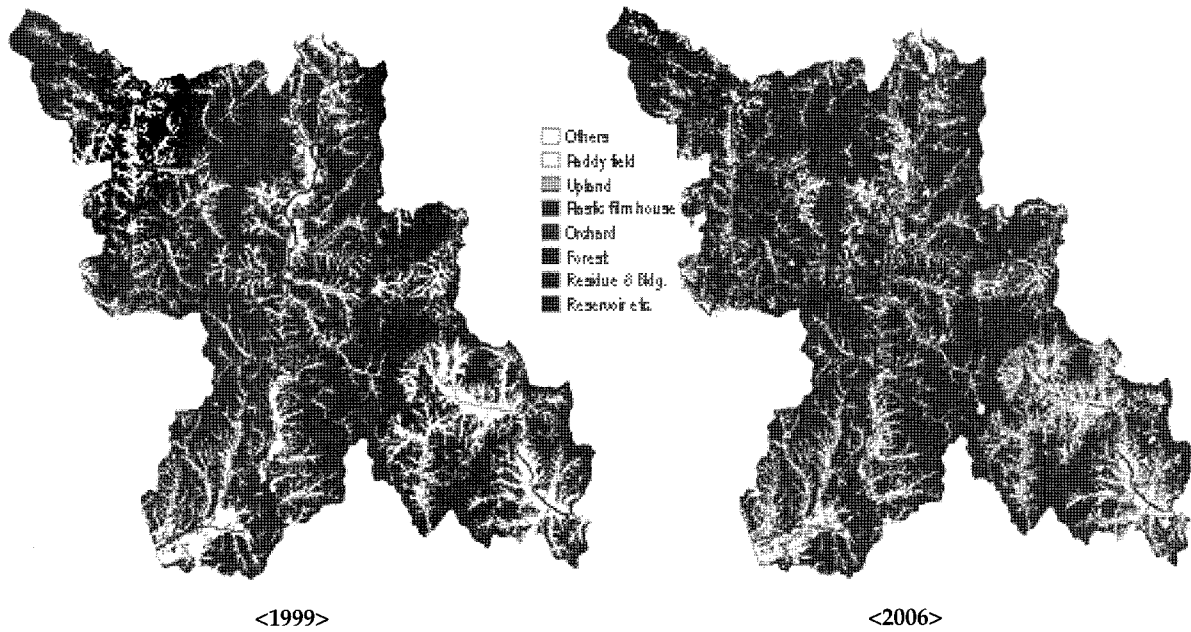


Fig. 1. Land use map of Yongin city classified in 1999 and 2006.

Table 1. Land use area and the difference between 1999 and 2006 in Yongin city

Land use	1999 (A, ha)	2006 (B, ha)	Difference (B-A)	The rate of increase and decrease (%)
Paddy field	8,063.3	5,309.3	-2,754.0	△34
Upland	3,572.1	2,112.5	-1,459.6	△41
Plastic film house	159.4	379.1	219.7	138
Orchard	310.3	30.9	-279.4	△90
Forest	34,588.6	32,545.4	-2,043.2	△6
Residence & Bldg.	2,456.0	8,483.0	6,027.0	245
Water & Reservoir	1,076.6	1,366.1	289.5	27

379.1 ha로 130% 증가하였다. 농경지 면적의 변화로 볼 때 과거와 최근의 농업형태를 비교하면 논농사와 밭 및 과수원 농사는 줄어들었고, 대신 단기 생산성이 높은 시설재배 농업이 확장되었다.

한편 주거·도심지 면적은 1999년에 2,456.0 ha 이었으나, 2006년에는 8,483.0 ha로 가장 많은 면적이 늘어 총 245% 증가하였다. 이로써 줄어든 농경지가 대부분 주거·도심지로 바뀐 것으로 볼 수 있는데, 1999년 용인시 토지이용 면적은 산림 > 논 > 밭 > 주거·도심지 순이었으나, 2006년의 토지이용 면적은 산림 > 주거·도심지 > 논 > 밭 순으로 바뀌었다.

후분류변화탐지법(post classification change detection)의 하나인 매트릭스 분석 결과 1999년과 2006년의 토지이용 각 항목별 면적 변화는 표 2와 같았다.

논이 주거·도심지로 전용된 면적이 1,751.1 ha이고, 밭

이 주거·도심지로 전용된 면적이 1,242.1 ha으로 논과 밭이 주거·도심지로 전용된 면적이 가장 많은 부분을 차지하는 것으로 나타났다. 시설재배지도 많이 확장되었는데 그 중 논으로 사용하던 토지 265 ha가 전용되어 시설재배지로 변경되었으며, 밭은 48 ha가 시설재배지로 전용되었다.

모든 지목 중 주거·도심지의 면적이 과거 1999년에 비하여 2006년도에 가장 크게 변화한 것으로 나타났는데 1999년 산림으로 이용되었다가 2006년에 주거·도심지로 전용된 면적이 3,530.7 ha로 도시화에 가장 많이 기여한 것으로 나타났다.

용인시 농경지 면적 변화에 따른 농업환경기능 계량화

용인시의 논 면적이 1999년 998,063 ha에서 2006년 5,309 ha으로 축소됨에 따라 농업환경기능의 변화를 계량화한 결과는 표 3과 같았다.

Table 2. The area of each land use changed between 1999 and 2006 by matrix analysis of land use data (Unit : ha)

1999 \ 2006	Paddy field	Upland	Plastic film house	Orchard	Forest	Residence & Bldg.	Water & Reservoir	Total
Paddy field	4,852.5	548.5	265.0	2.7	390.0	1,751.3	253.4	8,063.3
Upland	240.4	1,052.3	48.1	6.6	883.7	1,242.1	99.1	3,572.1
Plastic film house	61.7	18.4	44.6	0.0	3.3	28.7	2.6	159.4
Orchard	4.7	30.3	1.9	13.7	222.3	36.6	0.7	310.3
Forest	72.3	307.9	9.6	7.0	30,610.1	3,530.7	51.0	34,588.6
Residence & Bldg.	58.0	151.1	9.5	0.9	371.3	1,788.5	76.7	2,456.0
Reservoir	19.7	4.2	0.4	0.0	64.6	105.1	882.5	1,076.6
Total	5,309.3	2,112.5	379.1	30.9	32,545.4	8,483.0	1,366.1	50,226.2

Table 3. Comparison of multifunctionality according to the change of paddy field area¹⁾ between 1999 and 2006 in Yongin city

Multifunctionality type	1999	2006	Loss
Flood control function (10 ⁷ ton)	2.4	1.6	0.8
Groundwater recharge (10 ⁷ ton)	3.3	2.2	1.1
Air cooling (10 ⁷ ton)	2.5	1.6	0.9
Soil loss prevention function (10 ⁴ ton)	89.3	58.8	30.5
Air refreshing function CO ₂ Uptake (10 ⁴ ton)	17.7	11.6	6.0
O ₂ Emission (10 ⁴ ton)	12.8	8.4	4.4
Water purification function (N ton)	163.4	107.6	55.8

¹⁾ Paddy field area : 8,063 ha('99) → 5,309 ha('06)

홍수조절 기능이란 홍수기인 집중강우 시 내린 강우가 도시나 하천으로 바로 유입되지 않고 일시적 혹은 장기적으로 가둘 수 있는 물의 양으로써(엄기철 등, 2001; 농업과학기술원, 2008) 논 면적 축소에 따라 그 기능이 기존 2.4×10⁷ ton yr⁻¹에서 1.6×10⁷ ton yr⁻¹으로 줄어 기능손실이 0.8×10⁷ ton yr⁻¹에 이른다. 논이 가지는 홍수조절 기능이 줄어들음에 따라 집중호우 시 용인시의 배수시설에 대한 영향과 용인시의 아래에 위치한 도시 또는 농경지에 미치는 상관관계는 좀 더 연구가 필요하다고 생각된다.

수자원함양 기능은 빗물 혹은 관개에 의해 농경지를 통해 지하로 침투되는 물의 양으로 정의되어 있는데, 그 기능이 기존 3.3×10⁷ ton yr⁻¹에서 2.2×10⁷ ton yr⁻¹으로 줄어 기능손실이 1.1×10⁷ ton yr⁻¹에 이른다. 기후순화 기능은 작물에 의한 여름철 고온기에 대기 냉각효과를 의미하며, 토양이나 작물에 의해 물이 증발산될 때, 대기 중의 열을 빼앗아 감으로써 냉각효과를 가져오는 이치에 의해 28℃ 이상의 고온기에 증발산되는 물의 양으로써 표시한다. 논 면적 축소에 따라 그 기능이 기존 2.5×10⁷ ton yr⁻¹에서 1.6×10⁷ ton yr⁻¹으로 줄어 기능손실이 0.9×10⁷ ton yr⁻¹에 이른다. 전체적으로 논에 의한 환경적 공익기능 34% 감소되었다.

용인시의 밭 면적이 1999년 3,572 ha에서 2006년 2,112 ha으로 축소됨에 따라 농업환경기능의 변화를 계량화한 결과는 표 4와 같았다. 밭 면적 축소에 따라 홍수조절기능 기능이 기존 4.3×10⁶ ton yr⁻¹에서 2.6×10⁶ ton yr⁻¹으로 줄어 기능손실이 1.8×10⁶ ton yr⁻¹에 이른다. 수자원함양 기능이 기존 0.34×10⁷ ton yr⁻¹에서 0.2×10⁷ ton yr⁻¹으로 줄어 기능손실이 0.14×10⁷ ton yr⁻¹에 이른다. 기후순화 기능은 기존 2.5×10⁷ ton yr⁻¹에서 1.6×10⁷ ton yr⁻¹으로 줄어 기능손실이 0.9×10⁷ ton yr⁻¹에 이른다. 전체적으로 밭에 의한 환경적 공익기능 41% 감소되었다.

위성영상 열적외광 밴드 이용 토지이용 변화에 따른 시기별 지표면 온도변화 분석

1994년 9월 12일과 2006년 9월 13일에 촬영된 Landsat TM 영상의 6번 밴드인 열적외광(10.40~12.50 μm)으로부터 용인시의 지표면 밝기 온도를 계산하여 그림 2와 같이 각각 지표면 온도 분포도를 작성하였다. 지표면 온도 등급은 20℃ 이하, 20~25℃, 25℃ 이상 세 등급으로 분류하였다. 1994년 9월에는 20℃ 이하인 지역이 가장 넓게 분포하였고 20~25℃가 그 다음으로 넓게 분포하였으며 25℃ 이상인

Table 4. Comparison of multifunctionality according to the change of upland area¹⁾ between 1999 and 2006 in Yongin city

Multifunctionality type	1999	2006	Loss	
Flood control function (10 ⁷ ton)	4.3	2.6	1.8	
Groundwater recharge (10 ⁷ ton)	0.34	0.20	0.14	
Air cooling (10 ⁷ ton)	5.5	3.3	2.3	
Soil loss prevention function (10 ⁴ ton)	30.3	17.9	12.4	
Air refreshing function	CO ₂ Uptake (10 ⁴ ton)	4.5	2.7	1.9
	O ₂ Emission (10 ⁴ ton)	3.3	1.9	1.3
Water purification function (N ton)	1.9	1.1	0.8	

¹⁾ Upland area : 3,572 ha('99) → 2,112 ha('06)

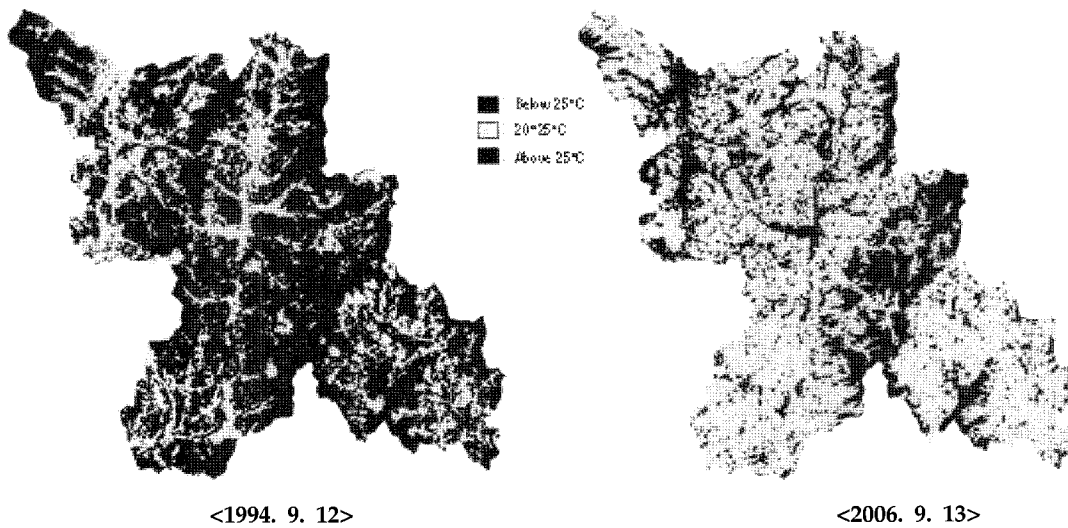


Fig. 2. Land surface temperature derived from Landsat TM band 6 taken on September 12, 1994 and September 13, 2006 in Yongin city.

Table 5. Statistics of surface temperature derived from Landsat TM band 6 taken on September 12, 1994 and September 13, 2006 in Yongin city

Date	Minimum Temp. (°C)	Maximum Temp. (°C)	Mean Temp. (°C)	Median Temp. (°C)	Mode Temp. (°C)	Standard deviation (°C)
'94.9.12.	14.4	35.3	19.7	19.4	19.0	1.48
'06.9.13.	14.8	39.3	22.2	21.7	20.8	2.53

지역은 주거·도심지의 극히 일부에서만 나타났다. 반면 주거·도심지의 면적이 현저하게 확대된 2006년 9월에는 20~25°C 되는 지역이 일부 산림지역을 제외한 도시 전체에 가장 넓게 분포하였고 주거·도심지를 중심으로 25°C 이상 되는 지역도 넓게 분포하는 것으로 나타났다. 이와 같이 농경지 면적이 줄어들고 주거·도심지 면적이 증가함에 따른 지표면 온도의 증가 추세는 박과 정¹³⁾이 주거·도심지와 같은 인공 포장면의 증가에 따른 도시열섬 효과가 지표면 온도 증가의 효과이므로 녹지계획 수립시 고려해야 한다고 보고한 것과 일치하였다.

위성영상 열적외광을 이용해 작성된 1994년과 2006년의 용인시 지표면 온도의 최저값, 최고값 및 평균값을 비교해 보았다(표 5). 1994년 9월 영상에서 계산된 용인시의 평균 지표면 온도는 19.7°C, 최고 지표면 온도는 35.8°C 이었고, 2006년 9월은 평균지 표면 온도가 22.2°C, 최고 지표면 온도가 39.3°C로 나타나 두 시기의 지표면 온도 차이가 큰 것으로 나타났다. 이는 농경지의 면적이 크게 감소하고 반면 주거·도심지와 같은 인공 건조물의 면적이 크게 감소한 까닭으로 생각된다.

조사지역인 용인의 기상관측소가 없어 도시개발로 인한

Table 6. Comparison of surface temperature grade between 1994 and 2006 according to land use class in Yongin city

Observation time	Temp. grade	Paddy field	Upland	Plastic film house	Orchard	Forest	Residence & Bldg.	Reservoir	Total
'94. 9.12. 10:30 am	Below 20°C (%)	61.1	41.5	25.4	67.1	82.7	14.5	31.6	69.4
	20~25°C (%)	38.7	58.2	74.0	32.8	17.2	82.3	68.2	30.3
	Above 25°C (%)	0.2	0.2	0.7	0.1	0.1	3.2	0.2	0.3
	Ratio (%)	18.7	9.6	0.4	0.6	62.8	5.6	2.2	100
'06. 9.13. 10:30 am	Below 20°C (%)	3.6	4.5	1.1	1.5	28.1	3.1	3.3	19.2
	20~25°C (%)	90.8	76.8	77.8	87.5	67.9	59.2	76.4	69.5
	Above 25°C (%)	5.6	18.6	21.1	11.0	4.0	37.7	20.3	11.4
	Ratio (%)	10.3	4.2	0.7	0.1	63.8	17.6	3.3	100

토지이용 변화가 상대적으로 적었던 인근 이천의 기상관측소에서 측정된 대기 지표면 온도는 1994년 9월이 19.0°C, 2006년 9월이 19.2°C으로 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 또한, 영상 촬영시간을 중심으로 오전 10시와 11시 사이의 일조시간도 1994년 9월과 2006년 9월이 각각 1시간으로 기록되어 일사량 조건도 거의 동일한 것으로 나타났다.

1994년 용인시의 인구는 21만명이었고 2006년에 78만 명으로 약 4배 증가하였다⁴⁾. 농경지와 산림 면적의 축소, 주거·도심지 면적의 증가와 더불어 인간 활동에 의한 다양한 측면의 에너지 소비로 많은 열 방출을 예상할 수 있으며 결과적으로 지표면 온도를 상승시키는 영향을 미치는 것을 확인할 수 있었다.

용인시의 시기별 토지이용별 지표면 온도 분포 면적을 비교하였다(표 6). 1994년 9월 12일에 25°C 이상인 지역은 전체 면적의 0.3%로 나타났고, 2006년 9월 13일은 11.2%로 넓게 분포하는 것으로 나타났다. 2006년 9월 13일에 지표면 온도가 25°C 이상 되는 지역에 분포하는 주거·도심지의 면적 비율이 37.7%로 가장 높게 나타났으며, 논과 산림이 각각 5.6%와 4%로 비율이 가장 낮은 것으로 나타났다. 시설재배지와 밭 또한 21.1%와 18.6%로 논에 비하여 지표면 온도가 상대적으로 높게 나타난 지역이 많은 것으로 나타났다. 이와 같은 결과로 고온기에 논과 산림이 주변의 지표면 온도를 낮춰주는 기후순화 기능³⁾이 크다고 추정할 수 있었다.

요 약

도시화로 인하여 농경지가 지속적으로 줄어들며 따라 농업의 환경적 공익기능도 축소되고 있다. 따라서 농업의 공익기능 관련 실증 분석사례를 제공함으로써 식량안보 및 농업의 공익기능을 유지하고 농지보전 정책 논리를 제공하고자,

용인시를 대상으로 토지이용도를 이용한 연차별 농경지 이용 면적과 변화를 분석하고 지표면 온도 추정을 통하여 환경보전 기능을 평가하였다.

최근 10년간 도시화가 현저히 진행된 용인시를 대상으로 세부정밀토양도에 기반한 1999년 토지이용 현황과 위성영상에서 추출한 농경지 지도와 지적으로 기반한 2006년의 농경지를 중심으로 한 토지이용 현황을 비교해 보면 논, 밭, 과수원 등 농경지와 산림의 분포가 현저히 감소한 반면, 주거·도심지의 면적이 크게 확대된 것으로 나타났다. 특히 처인구에서 농경지 감소와 도심지 확장 현상이 눈에 띄게 나타났다. 토지이용 면적 및 지목별 변화를 보면 1999년 용인시 토지이용 면적은 산림 > 논 > 밭 > 주거·도심지 순으로 나타났으나 2006년의 토지이용 면적은 산림 > 주거·도심지 > 논 > 밭 순으로 바뀌었다. 논과 밭의 면적은 1999년에 비해 2006년에 각각 34%와 41% 감소하였고, 주거·도심지 면적은 245% 증가하였다. 논이 주거·도심지로 전용된 면적이 1,751.1 ha이며, 밭이 주거·도심지로 전용된 면적이 1,242.1 ha로 나타나 전용된 면적의 가장 많은 부분을 차지하는 것으로 나타났다.

용인시의 농경지 면적 변화에 따른 농업의 환경적 기능 변화에 대하여 계량화한 결과는 논 면적이 1999년에 8,063.3 ha에서 2006년에 5,309.3 ha로 감소한 결과, 농경지의 환경적 공익기능이 34% 감소한 것으로 나타났다. 마찬가지로 밭 면적이 1999년에 3,572.1 ha에서 2006년 2,112.5 ha로 줄어들며 따라 환경적 공익기능이 41% 감소된 것으로 나타났다.

Landsat TM 영상의 열 적외광을 이용하여 용인시의 두 시기별 지표면 온도 분포를 비교 분석하였다. 1994년 9월에는 20°C 이하가 대부분이었으나, 농경지 및 산림 감소와 도시 확장 이후인 2006년 9월에는 25°C 이상 되는 지역의 면

적이 현저히 넓게 분포하는 것으로 변화하였다. 시기별 토지 이용별 지표면 온도분포 비교를 하였을 때 1994년 9월 지표면 온도 영상에서 25℃ 이상인 지역은 전체 면적의 0.3%로 나타났고, 2006년 9월은 11.2%로 넓게 분포하는 것으로 나타났다. 2006년 9월에 지표면 온도가 25℃ 이상 되는 지역에 분포하는 주거·도심지의 면적이 37.7%로 가장 높게 나타났으며, 논과 산림의 분포면적 비율이 각각 5.6%와 4%로 나타났다. 위의 결과로 여름철 고온기에 논과 산림이 주변의 지표면 온도를 낮춰주는 기후순화 기능이 크다는 것으로 추정할 수 있었다.

참고문헌

1. 엄기철, 성기석 (2001) 농업의 다원적 기능 평가 방법: 대체법을 이용한 농업의 환경 보전적 기능 계량화 평가, 농촌진흥청-농업경영관실.
2. Ahn, Y. S., Kim, E. J., Kim, Y. and Seo, J. H. (2005) Monetary valuation of the sociocultural commonweal functions from the rural communities in Korea, *The Korean Rural Sociological Society* 15(1), 175-213.
3. 이상영, 신용광, 김영 (2004) 지속가능한 농촌지역 개발을 위한 환경자원의 가치평가. 농촌자원개발연구소.
4. Abler, D. (2001) A Synthesis of Country Reports on Jointness between Commodity and Non-commodity Outputs in OECD Agriculture, *paper Presented to OECD Workshop on Multifunctionality*.
5. 이용기 (2003) WTO와 농업의 다원적 기능성, 농업경제연, 44(4), 199-219.
6. 오세익, 김수석, 강창용 (2001) 농업의 다원적 기능의 가치 평가 연구. 농림기술개발사업 연구보고서, 한국농촌경제연구원.
7. Seo, M. C., Yun, H. B. and Kim, S. G. (2004) Assessment of environmental conservation function at paddy farming according to productional environmental conditions, Research Report of National Institute of Agricultural Science and Technology(NIAST), RDA.
8. National Institute of Agricultural Science and Technology(NIAST) (2001) Soil Information System of Korea, Rural Development Administration(RDA).
9. Hyun, B. K., Hong, S. Y., Jung, S. J., Sonn, Y. K. and Song, K. C. (2008) Soil survey and land use analysis using satellite imagery. Research Report of National Academy of Agricultural Science(NAAS), RDA.
10. ERDAS (1997) Field Guide, 4th Edition, ERDAS Inc.
11. Hong, S. Y. (1999) Analysis on rice growth information and estimation of paddy field area by using remotely sensed data. Ph.D Dissertation, Kyungpook National University.
12. 농업과학기술원 (2008) 농업의 다원적 기능 평가-연구성과 및 적용, 농촌진흥청.
13. Park, K. H. and Jung, S. K. (1999) Analysis on urban island effects for the metropolitan green space planning. *Korean J. of Geographic information studies* 2(3), 5-45.
14. 용인시청 (2008) 용인시 통계연보, (<http://yongin.estat.go.kr/>).