

미중부지역 농지보전 프로그램에 의한 경관구조 변화분석*

박선엽** · Stephen L. Egbert***

Spatial Analysis of Landscape Structure Changes Caused by the US Conservation Reserve Program in the Central High Plains*

Sunyurp Park** · Stephen L. Egbert***

요약 : 미전역에 걸쳐 80년대 중반부터 시행된 미농지보전 프로그램(CRP)은 1992년까지 약 1480만 헥타르에 이르는 농경지를 초지, 임지, 삼림, 또는 기타 보전용도로 전환하였다. CRP 시행에 의한 한 가지 주요 결과는 수백만 헥타르에 이르는 초지를 확보함으로써 야생동물을 위한 잠재서식처 면적을 현저하게 증가시킨 점이다. 본 연구는 CRP 시행에 따른 자연경관의 공간구조변화를 지역적으로 살펴보고자 하였다. 이를 위해, 계절별 Landsat Thematic Mapper 자료를 이용하여 캔자스주 남서부 6개 카운티에 대한 CRP 시행 이전과 이후의 경지 및 초지분포 지도를 생성하였다. 다음으로, 분류후 차이분석기법(post-classification differencing)을 적용하여 경지에서 초지로 전환된 지역의 분포를 파악해내었다. 공간구조분석 프로그램 FRAGSTATS을 이용하여 지표피복의 공간패턴을 나타내는 10개 주요 통계지표를 계산함으로써 CRP 시행에 따르는 경관구조변화를 살펴보았다. 연구지역에 미친 CRP의 주요 영향은, 전반적으로 자연초지 분포의 분절화가 현격하게 감소했다는 것이다. 야생동물 서식처관리의 측면에서 CRP 초지의 도입은 지편(地片)의 수, 평균 지편 크기, 지편 내부면적 등을 크게 증가시키는 효과를 낳았다. 또한, CRP 시행은 녹지간 연결성 및 결합도를 높였는데, 이는 넓게 연속된 서식처를 요하는 종들을 보호하는 데에 잠재적인 가치를 지닐 것으로 보인다. 끝으로, CRP는 이웃한 녹지간 거리를 감소시킴으로써 생물종들의 녹지간 이동을 용이하게 할 것이다. CRP 시행은 캔자스주 남서부 지역의 자연공간구조를 현저히 변화시킨 주요요인으로 나타났으며, 이는 향후 야생동물 서식처 보호를 위한 중요한 의미를 갖는다.

주요어 : 미농지보전 프로그램, Landsat Thematic Mapper, 공간구조분석, FRAGSTATS, 지편.

Abstract : The U.S. Conservation Reserve Program (CRP) resulted in the conversion of approximately 14.8 million ha(36.5 million acres) of cropland to grassland, woodland, and other conservation uses throughout the U.S. between 1986 and 1992. One of the major results of CRP has been the addition of millions of hectares of potential wildlife habitat, primarily as grassland. In this study, we examined regional changes in landscape structure caused by the introduction of CRP. Utilizing multi-seasonal Landsat Thematic Mapper imagery, we produced maps of cropland and grassland for the pre- and post-CRP enrollment periods for a six-county region in southwest Kansas. We then applied post-classification differencing to identify regions of cropland that had been converted to CRP. Using the FRAGSTATS spatial pattern analysis program, we calculated a variety of spatial statistics to analyze changes in landscape structure due to CRP. The major impact of CRP in the six-county study area has been the reversal of an overall trend of grassland habitat fragmentation. From the standpoint of potential wildlife habitat, the introduction of CRP has greatly increased the number of patches, mean patch size, and the interior or core area of grassland patches. In addition, CRP has increased connectivity and aggregation between grassland patches, potentially important factors for species of conservation interest, particularly those that require larger expanses of unbroken habitat. Finally, the distance between neighboring patches of grassland has decreased, reducing travel distance between patches. Clearly, the introduction of CRP has substantially modified the spatial structure of the southwest Kansas landscape, with important implications for wildlife habitat.

Key words : Conservation Reserve Program, Landsat Thematic Mapper, FRAGSTATS, Spatial pattern analysis, Patch.

* 본 연구는 캔자스대학교 원격탐사연구소의 대평원지역 지구과학연구센터를 통한 미항공우주국의 재정지원(연구비 번호 NAGW 3810, NAG 5-4900)으로 이루어졌다. 2001년 4월, 미국 미주리주 세인트루이스에서 열린 ASPRS 연례학회에 발표된 내용을 정리하였다.

** 캔자스대학교 원격탐사연구소 박사후 연구원(Post-Doctorate Research Fellow, University of Kansas)(spark@ku.edu)

*** 캔자스대학교 지리학과 조교수 및 원격탐사연구소 선임연구원(Assistant Professor, Department of Geography, University of Kansas and Assistant Research Scientist of Kansas Applied Remote Sensing Program)(s-egbert@ku.edu)

1. 서론

미중부 대평원지역에 위치한 캔자스의 자연경관은 프레리코 대표되며 지역에 따라 습지와 삼림이 소규모로 나타나는 특징을 지닌다(Küchler, 1974). 1800년대 이후로 진행된 광범위한 농경활동으로 인해, 캔자스 중서부지역은 야생동물종의 자연서식처 면적이 급감하고, 자연녹지의 공간구조가 분절화하는 결과를 낳았다. 이는 자연보전의 측면에서 여러 문제점을 야기하였는데, 그 한 예로, 자연녹지가 일정한 수준의 연결성을 갖지 못하고 분절화됨으로써 포유류를 비롯한 많은 생물종들이 새로운 서식처를 마련하여 정착하고 생식을 통해 개체수를 증식시키는 데에 어려움을 겪게 되었다. 또한, 종에 따라서는 포식자로부터의 위협에 쉽게 노출되게 되었는데, 이는 자연녹지의 숫자와 면적이 감소함에 따라 포식자들이 더욱 용이하게 그들의 포식대상을 포착하기 때문이다.

미국정부가 식량안보차원에서 1985년에 입법하여 국가적으로 추진해오고 있는 농지보전 프로그램(U.S. Conservation Reserve Program, 이하 CRP)은 미국 역사상 가장 큰 면적에 걸쳐 가장 빠른 속도로 농지의 용도변경을 초래하였다. 1992년에 와서는, 미국 전체 농지의 약 8%에 이르는 1480만 헥타르가 CRP에 등록되기에 이르렀다(Margheim, 1994). 캔자스주의 경우, 117만 헥타르의 경지가 CRP 초지로 전환되었는데, 이로 인해 주전체 초지 면적이 14% 증가하였다(Wildlife Legacy Partners, 1994). 카운티에 따라서, CRP 최대허용한계인 25%의 경지가 CRP 초지로 전환되었다. 따라서, CRP가 집중적으로 분포한 캔자스 남서부지역의 경우, 자연경관의 공간구조변화에 미치는 CRP 시행의 영향이 명확히 나타날 것으로 판단하였다.

CRP는 장기적인 목표를 가지고 진행되고 있지만, 각 CRP 등록계약이 10년 간격으로 되어 있기 때문에, 토지이용패턴이 시공간적으로 변화하고 있다. 지역에 따라서 CRP 토지는 10년 이후에 다시 농경지로 되돌려지며, 다른 경우에는 20~30년 동안 지속되는 경우도 있다. 이러한 CRP 시행의 변동성을 감안할 때, 장기적으로 CRP초지의 분포와 그에 따른 공간구조변화를 이해하기 위해서는 시계열적 패턴분석을 통한 모니터링이 필요하다. 또

한, 향후 CRP 토지의 존속 여부에 대한 의사결정을 위해서도 CRP에 의한 효과를 평가할 필요가 있다. 따라서, 농지보전의 효과적 운용과 CRP의 환경적, 경제적 영향을 고려할 때, 자원관리에 대한 적합한 연구방법과 국가정책의 의사결정을 지원하는데 필요한 공간정보 마련이 시급한 실정이다. CRP 토지에 대한 상세하고 정확한 수치지도는 그 중 한 가지 주요 자료가 된다. 하지만, CRP가 시행되고 있는 대다수 카운티에 대한 CRP 지도가 아직 마련되지 못하고 있고, CRP 분포도가 작성된 카운티의 경우라 할지라도, 카운티 전체에 대한 CRP 자료가 완전하지 못하거나, 공간해상도가 매우 낮거나, 또는 수치지도화 되지 않은 채 종이 위에 인쇄된 지도형태로 남아있을 뿐이다. 미전역에 걸쳐 많은 지역의 경우, 아직 CRP 토지의 정확한 위치와 분포를 나타내는 세부지도를 얻기 어려운 실정이다. 경우에 따라서는 CRP 토지의 소유주가 해당 토지가 속한 카운티가 아닌 다른 인접 카운티에 거주하고 있는 경우, 그 CRP 토지의 위치가 실제 지리적 위치가 아닌 소유자의 거주 카운티로 등록되는 등, 통계 자료상의 오류가 발생하기 쉽다. 따라서, 현재의 CRP 관련 지리정보로는 정확한 CRP 토지의 공간적 분포조차 파악하기 힘들다(Egbert et al., 1998). 수치화된 CRP 지도는 다음과 같은 여러 가지 주요 문제점에 대해 해결방안을 도출하는 데에 유용하게 이용될 것이다: 토양유실에 취약한 토지와 CRP는 어떠한 관련이 있는가? 현재의 CRP 토지가 다시 경작지로 되돌려질 경우, 어느 CRP 토지가 바람이나 유수에 의한 토양유실에 가장 민감할 것인가? 현 CRP가 변경되거나 갱신될 경우, 차후의 CRP 토지는 지리적·생태학적으로 어느 곳에 위치해야 할 것인가? CRP 토지의 기하학적, 공간적인 특성은 야생동식물의 개체수 변동과 어떤 상관관계를 갖는가? 이상과 같은 응용탐구의 과제들은 본 연구의 범위에 포함되지 않으나, 이 중 몇 가지 문제에 대해서는 수치화된 CRP 지도가 이미 적용된 바 있다(Nellis et al., 1996; Wu et al., 1997).

1) 연구목적

본 연구는 Landsat Thematic Mapper(이하

Landsat TM) 자료를 이용하여 CRP 수치지도를 생성하고, 이를 통해 CRP 시행에 따른 경관의 공간구조 변화를 살펴보는 데에 초점을 두었다. CRP 지도를 토대로 경관구조 특성을 나타내는 공간 지표를 계산·분석하여 CRP 시행이 자연경관의 공간패턴에 미치는 영향을 계량적으로 파악하고자 하였다. 야생잡채서식처와 같은 환경요인에 미치는 경관 변화의 영향을 다룸에 있어서 경관구조는 중요한 요소로 인식된다. 예를 들어, 많은 야생종들은 개체수를 보전하거나 증식시키기 위해 그들이 선호하는 종류의 지표피복에 대한 최소한의 면적을 필요로 한다. 번식을 위해 중요하게 여겨지는 기타 경관구조 지표로는 서로 다른 지표피복 종류간의 경계형태, 지평¹⁾ 내부면적, 선호하는 지평간 거리, 지평 형태 등이 있다. 위성화상자료를 이용하여 연구대상지역의 CRP 이전, 이후의 초지 분포 지도를 비교 분석한다면, 이와 같은 공간 구조 지표의 변화를 효과적으로 파악할 수 있을 것으로 기대하였다. 본 연구는 캔자스주 남서부에 위치한 단일 카운티(Finney 카운티)를 대상으로 수행한 선행연구의 성과를 바탕으로 진행되었다(Egbert et al., 2000). 이 선행연구에 따르면, CRP 시행으로 자연초지의 면적이 증가했을 뿐만 아니라 지평간 연결성 및 결합도도 향상되었는데²⁾, 이러한 결과는 여러 카운티에 걸쳐 보다 공간적으로 확대된 지역에서도 유사하게 나타날 것으로 예상하였다. 구체적으로, 본 연구의 목적은 첫째, 위성자료를 이용, 경관구조변화 파악을 위한 CRP 지도를 생성하여 그 정확성을 평가하고, 둘째, 표준화된 공간구조지표를 이용하여 경관구조변화에 미친 CRP 시행의 영향을 multi-county 규모의 경관수준³⁾에서 파악하는 것이다.

2) 미농지보전 프로그램

CRP의 주요목적은 농업활동으로 인하여 토양유실에 취약한 지역이나 환경적으로 민감한 지역에서의 토양유실을 억제하는 것이다. 소유주가 CRP 등록을 신청한 토지는 토양침식도(soil erodibility) 기준에 따라 CRP 시행 여부가 결정된다. 유수에 의한 침식지수 또는 바람에 의한 토양침식지수가 일정 기준(erodibility index 8 이상)을 상회한 경우,

CRP로 받아들여질 수 있다⁴⁾. 이와 별도로 이 보전 프로그램의 부차적인 목적으로는, 미국내 식량과 섬유생산능력의 보호, 부유물 퇴적으로 인한 수질 악화 방지, 야생동물을 위한 자연서식처 제공, 농작물에 대한 작황관리, 농업생산자를 위한 재정지원 등이 있다. 이 프로그램은 CRP 시행조건에 해당하는 경지를 가진 소유주가 자신의 경지를 CRP에 등록하여 향후 약 10년간 농업활동을 중단하고 다른 보전용으로 사용할 경우, 정부가 그에 대한 보상으로 일정액수의 재정지원을 한다는 것이 그 주요내용이다. 1990년의 농지법에서는 수질개선을 위한 CRP 역할이 강조됨에 따라, 습지와 같은 환경정화 기능을 가진 지역도 CRP 등록대상지로 편입하게 되었다(Heimlich and Osborn, 1994). 경지가 CRP에 편입되게 되면 경작자는 토질에 따라 미정부로부터 승인된 여러 종으로 구성된 초지용 씨앗을 파종하게 된다. 예를 들어, 'sandyland mixture'로 분류된 CRP 초지의 경우, sand blustem (*Andropogon hallii*), little bluestem(*Schizachyrium scoparium*), Indiangrass(*Bouteloua curtipendula*), switchgrass(*Panicum virgatum*), sideoats grama (*Bouteloua curtipendula*), blue grama(*Bouteloua gracilis*), sand lovegrass(*Eragrostos trichodes*)와 같은 종들이 포함된다. CRP 초지는 다른 목초지나 방목지와는 다르게 관리되기 때문에 경관상으로 독특한 외형을 지닌다. 현장에서 관찰할 경우, 비교적 밀도 높게 심어져 표면이 고른 초지 특성을 보이며, 경작지로 이용되던 곳이기 때문에 방목지와는 대조적으로 울타리가 거의 없는 특징이 있다(Egbert et al., 2002).

3) 자연서식처에 대한 CRP의 역할

CRP에 의한 초지 면적의 증가가 비록 인위적인 토지용도변경의 결과이기는 하지만, CRP 초지는 잠재적인 야생동물 서식처로서의 녹지면적을 증가시키는 데에 중추적인 역할을 하였다. 여러 선행연구에 따르면, CRP 시행이 야생동물의 개체수를 증가시키는 데에 긍정적인 영향을 끼친 것으로 조사되었다. Kantrud(1993)의 연구는 노스다코타, 사우스다코타, 미네소타주에 분포한 프레리지역 CRP 초지에서 조사된 물오리 생식률이 23.1%에 이르러,

유사 지표피복조건에서 조사된 8.2%를 크게 상회함을 보여줌으로써, CRP 초지가 보다 유리한 생식환경임을 입증하였다. 텍사스주 서부 Southern High Plains 지역에서 서식하는 조류에 대한 Berthelsen and Smith(1995)의 연구 또한 서로 다른 4가지 종의 조류 생식률이 CRP 초지에서 현저히 증가했음을 확인하였다. 북부 흰메추라기(*Colinus virginianus*)를 대상으로 한 Howell and Isaacs(1988)의 연구결과도, CRP 초지가 안정된 야생서식처로서의 잠재적 가치를 갖고 있음을 보여주었다. 한편, Roseberry et al.(1994)에 따르면, CRP 토지의 식생조성이 부적합하게 발달하거나 시의적절한 재초가 이루어지지 않을 경우, 오히려 흰메추라기의 개체수가 감소하였다. 이 연구결과를 바탕으로 이들은, 보다 명확한 인과관계를 파악하기 위해, 현재 시행 중인 CRP 초지와 앞으로 예정된 CRP 토지의 분포가 경관구조에 미치는 공간적 효과에 대한 연구가 필요하다고 보았다.

중요 야생서식처로서 CRP 초지가 갖는 주요 특성 중 하나는, 대부분의 CRP 토지가 분절되지 않은 비교적 큰 면적 단위로 분포한다는 점이다-보통 36ha 이상의 규모로 나타난다. Wildlife Legacy Partners(1994, 9)에 의해 지적된 대로, 미중부 프레리지역이 원산지인 프레리 치킨(prairie chickens)과 같은 지역적 조류들의 개체수와 분포는 서식처의 분절화로 인한 영향을 민감하게 받는다. 작은 규모나 띠형태의 녹지에 비해, 서식종이 거의 없는 넓은 면적의 자연초지는 그 자체로 이들 조류의 생식활동에 좋은 천연의 조건을 갖추고 있는 것으로 나타났으며, 반면에 생식지역의 녹지 규모가 작을 경우, 생식을 위한 최적의 조건이 마련되어있지 않더라도 조류 집단을 유도하기 어려운 것으로 보고되었다. 이들에 의하면, 가지뿔염양(Pronghorns, 학명 *Antilocapra americana*), 큰사슴(elk, 학명 *Cervus elaphus*), 서부산 검은꼬리 사슴(mule deer, 학명 *Odocoileus hemionus*), 흰꼬리 사슴(white-tailed deer, 학명 *Odocoileus virginianus*)과 같은 사냥용 대형 포유류들도 CRP 초지 확장에 따라 개체수가 증가함을 보여주었다.

이와 같은 자연녹지 구조변화가 야생종들의 생태 및 분포에 대해 갖는 함의를 정량적으로 표현하기 위해서는 연구대상지역의 공간적 규모에 따

른 자연녹지 요소의 계량화가 효과적 방법이다. 공간구조지표를 이용함으로써 지리적으로 또는 공간적으로 명시적인 구조변화를 제시할 수 있으며, 나아가 생태적으로 의미있는 수치지표의 표현이 가능해진다. 앞서 언급한 야생서식처의 분절화가 동물생태계에 미치는 영향에 비추어, 자연녹지구조의 변화가 지역적 또는 지구적 규모의 생물다양성변화에 미치는 역할에 관심이 점차 증가하고 있다. 최근의 광역적인 생물다양성 감소 위협에 직면하여, 연구자들은 다양한 시공간적 스케일의 경관생태관리를 보다 효과적으로 수행할 수 있는 방법론을 필요로 하고 있는 바, GIS와 원격탐사 기법의 발전을 바탕으로 한 경관생태학적 접근방법은 경관수준의 생태연구를 가속화하고 있다(Turner et al., 2001, 9-10).

2. 연구지역 및 연구방법

연구지역의 경관구조분석을 위해 일차적으로 CRP 분포도를 생성했는데, 이를 위해 계절별 Landsat TM 자료와 분류후 차이분석기법(post-classification differencing)¹⁾을 이용하였다. 공간구조분석은 FRAGSTATS 프로그램을 이용하여 수행하였는데, 이 프로그램은 CRP 시행 이전과 이후 기간에 해당하는 토지이용분류 지도를 입력자료로 하여 일련의 공간구조 지표를 계산, 경관구조 변화에 미치는 CRP의 영향을 계량화할 수 있게 한다.

1) 연구지역

연구지역으로는 캔자스주 남서부에 위치한 6개 카운티를 선정하였다-Grant, Hamilton, Morton, Seward, Stanton, Stevens 카운티(그림 1). 연구지역 북부에는 Arkansas강이, 남부로는 Cimarron강이 관통하여 흐르며, 대부분 지역이 밀, 옥수수, 귀리 등의 경작지로 이용되고 있다. 지역에 따라 관개농업이 이루어지지만, 대부분 경작지의 경우 강우량에 의존하고 있다. 자연초지의 주요 구성종은 sandsage류의 관목과 단초프레리로 이루어져 있으며, 강수량이 다소 높은 동부의 Cimarron강 주변으로는 장초와 단초프레리가 혼재하는 혼합프레리가 나타나기도 한다. 대다수 초본식생은 주요하천 및 그

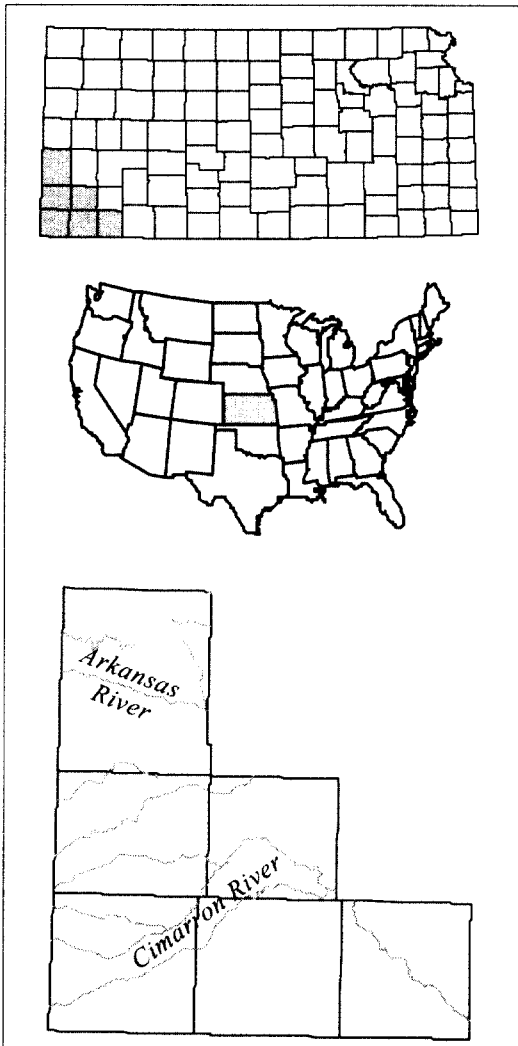


그림 1. 연구지역도. 미국 캔자스주 남서부에 위치한 6개 카운티를 대상으로 하였다. 연구지역 내에 분포하는 주요 하계망을 중첩하여 표현하였다.

지류를 따라 현저하게 나타나는데, 특히 Hamilton 카운티 Arkansas강 남쪽지역과 Morton 카운티 Cimarron강 남쪽지역에는 sandsage 관목류가 광범위하게 분포하고 있다. 캔자스주 모든 카운티에 걸쳐 CRP지역이 분포하지만, 남서부지역 카운티에서 가장 높은 시행률을 보이고 있으며, 인접해 있는 콜로라도주와 오클라호마주, 그리고 텍사스주에 걸쳐 연속되어 분포하는 패턴을 보이고 있다. 연구지역의 CRP 등록면적은 207,885ha에 이르며, 이는

표 1. 연구지역 카운티별 CRP 면적(USDA 조사기준, 1992) 및 전체 면적에 대한 비율.

카운티	CRP(ha)	CRP 비율(%)
Grant	13,144	7.9
Hamilton	57,827	19.9
Morton	40,044	18.9
Seward	19,733	10.6
Stanton	46,257	23.4
Stevens	30,880	14.9
전체	207,885	16.4

캔자스 전체 CRP 면적의 16%에 해당한다. 카운티별로는, Grant 카운티가 가장 낮은 비율(7.9%)을 보였고, Stanton 카운티가 가장 높은 비율(23.4%)을 보유, 전체적으로 CRP는 연구지역 전체 면적의 16.4%를 차지하였다(표 1).

2) CRP 지도 생성

본 연구에서는 CRP 시행 이전과 이후의 토지이용도들을 이용하여 CRP 토지의 공간분포를 수치지도화 하였다. CRP 이전에 관한 토지이용을 파악하기 위해, 1993년에 완료된 캔자스 토지이용도⁽⁶⁾ 제작 프로젝트(Kansas Land Cover Mapping Project)의 결과자료를 이용하였다(Whistler et al., 1995). 캔자스 토지이용도는 1989년부터 1990년에 걸쳐 지역별로 취득가능한 단일계절 Landsat TM 화상자료를 이용하여 제작되었다. 이들 화상자료의 취득일자가 CRP 시행연도보다 다소 늦은 시기에 해당했으나, 당시 캔자스 토지이용도 제작기법은 새로 시작한 CRP 지역을 경작지로 분류하는 경향을 보여, 이를 통해 만들어진 토지이용도는 전반적으로 CRP 시행초기의 상태를 반영하였다. CRP 시행 이후의 자료로는, 미국지질조사국(U.S. Geological Survey)의 주도하에 캔자스주에서 수행된 자연식생도⁽⁷⁾ 제작 프로젝트를 통해 최근 완성된 캔자스 식생도를 이용하였다(Stewart et al., 2000; Kansas Applied Remote Sensing Program, 2002). 캔자스 식생도는 1992~1997년에 걸쳐 취득된 계절별 Landsat TM 자료를 이용해 제작되었다. 이들 연도들은 CRP 시행이 집중적으로 진행된 시기 이후

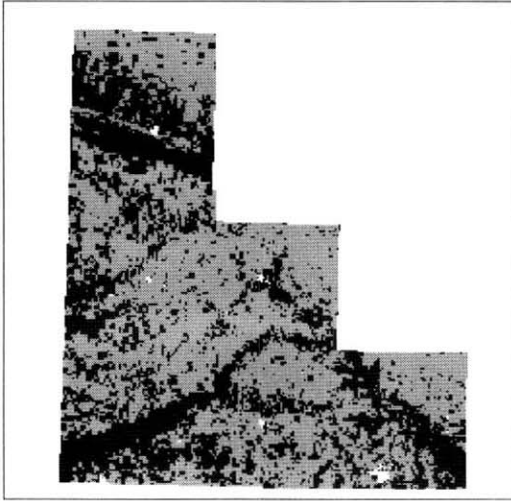


그림 2. CRP 시행 이전(a)과 이후(b)에 해당하는 토지이용분포를 초지, 경작지, 도시역으로 단순화하여 나타내었다.

이기 때문에, 캔자스 식생도는 CRP 토지등록시기 이후의 경관을 대표하는 자료로 판단되었다.(그림 2)는 CRP 시행 이전과 이후를 대표하는 이 두 지도를 단순화하여, 초지, 경작지, 도시역 등 3가지 구분을 사용하여 나타내었다. Finney 카운티에서 진행된 선행연구와 마찬가지로, 본 연구에서도 CRP 시행 이전과 이후를 반영하는 캔자스 토지이용도와 캔자스 식생도를 각각 이용하여 분류후 차이분석기법을 통해 CRP 토지의 분포를 파악하였다. 위성 자료분류를 통해 제작된 이 지도들을 분석하기 위한 프로그램으로는 Erdas Imagine 8.6 (Leica Inc.)을 사용하였다.

CRP 분포도의 정확도 평가를 위해서는 세 가지 방법을 취하였는데, 이에에는 육안 평가, 면적 비교, 샘플조사를 통한 분석이 포함되었다. 육안 평가는 분류된 CRP 토지의 공간적 분포와 기하학적 형태를 기준으로 진행되었다. 이는 CRP 시행에 따라 경지로부터 전환된 CRP 토지의 형태적 특징과 기존의 토지이용 패턴을 선행연구를 통해 알고 있기 때문에, 이 정보를 생성된 CRP 분포도와 비교하여 전반적 부합도를 한눈에 평가하고자 한 목적 하에 이루어졌다. 면적 비교를 위해서는 미농무성 자료를 통해 조사된 CRP 등록면적정보를 수치지도 상의 CRP 면적과 비교하였다. 이 두 가지 방법은

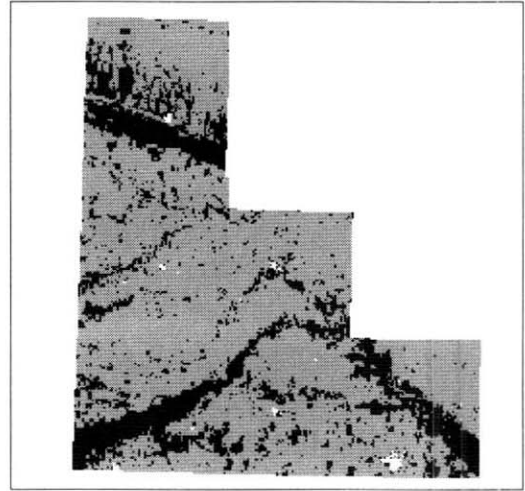


그림 3. FSA 항공사진 자료를 기초로 하여 디지털타이징한 CRP 표본지역의 위치.

CRP 토지의 공간적 분포에 대한 수치화된 정확도를 보여주지는 못하지만, 실제 CRP 분포의 윤곽을 CRP 분포도가 얼마나 부합되게 반영하는가를 전반적으로 조망해 주었다.

마지막으로, 표본자료를 통한 정확도 조사는 두 종류의 샘플 지역 자료를 이용하여 진행되었다. 첫 번째 샘플 자료는 Farm Service Agency(FSA)로부터 제공된 6개 카운티에 대한 항공사진이었다. FSA 조사요원에 의해 항공사진 위에 표시된 CRP 토지정보를 토대로 그 위치를 컴퓨터 화면 상에서 화상자료를 배경으로 디지털타이징하였다(그림 3). 이들 샘플 지역에 포함된 화소들이 CRP 분포도에서 어떻게 분류되었는지를 대조표를 통해 계산함으로써 정확도⁸⁾를 산출하였다. 두 번째 샘플 자료는 2000년 여름에 캔자스 자연식생도 제작 프로젝트를 위한 야외조사에서 수집된 것이다. 현장조사에서 기록한 위치정보(GPS 좌표)와 현장설명자료를 이용하여 같은 방법으로 디지털타이징하였다.

3) 경관구조 변화분석

CRP 시행결과로 나타난 경관구조변화 분석을 위해 유용한 방법 중 하나는, 경관을 구성하는 서로 다른 종류의 지표피복 지편들이 갖는 분포적 특징과 그들간의 공간관계를 정량적으로 나타내는

표 2. 본 연구에 사용된 경관구조 지표 정의(McGarigal and Marks, 1995).

경관구조 지표명	축약기호	정 의*
면적(total area)	TA	각 토지이용의 총면적.
최대 지편 지수 (largest patch index)	LPI	한 토지이용의 최대 지편 면적을 경관전체면적으로 나눈 값.
지편 수 (number of patches)	NP	각 토지이용의 지편의 전체 수.
지편 밀도(patch density)	PD	지편 수를 경관전체면적으로 나눈 값.
평균 지편 면적 (mean patch size)	MPS	각 토지이용의 지편 평균 면적.
지편면적 분산계수 (patch size coefficient of variation)	PCSV	한 토지이용의 지편 면적 표준편차를 해당 토지이용 평균 지편 면적으로 나눈 값.
둘레 굴곡도(edge density)	ED	지편 둘레 길이의 합을 경관전체 면적으로 나눈 값.
평균 형태 지수(mean shape index)	MSI	각 지편 둘레를 그 지편의 면적 제곱근으로 나눈 값을 동일 종류의 지편에 대해 합산한 뒤, 해당 지편의 전체 수로 나눈 값.
총내부 면적지수 (total core area index)	TCAI	토지이용별 지편들의 내부면적 총합을 같은 종류 지편 전체 면적으로 나눈 값. 각 지편의 '내부'는 경계로부터 50미터 안쪽으로 정하였다. 지수의 범위를 0-100으로 하기 위해 100을 곱한다.
평균 최근린 지수 (mean nearest neighbor index)	MNN	한 지편으로부터 가장 인접한 같은 종류의 지편까지의 거리를 평균한 값.

* 각 지표의 계산 공식은 다음과 같다(TA, PD, MPS, ED의 경우, 평방 미터를 헥타르 기준으로 변환하기 위해 1/10,000 또는 10,000을 곱하였다).

$$TA = \sum_{i=1}^n a_{ij} \left(\frac{1}{10,000} \right), \quad n = \text{지편 수}, \quad a_i = \text{토지이용 } i \text{에 속한 지편 면적.}$$

$$LPI = \frac{\sum_{i=1}^n \max(a_{ij})}{A}, \quad A = \text{연구지역 총면적.}$$

$$NP = n_i$$

$$PD = \frac{n_i}{A} * 10,000 * 100$$

$$MPS = \frac{\sum_{i=1}^n a_{ij}}{n_i} * \left(\frac{1}{10,000} \right)$$

$$PCSV = \frac{PSSD}{MPS} * 100, \quad PSSD = \text{토지이용 } i \text{에 대한 지편 면적 표준편차.}$$

$$ED = \frac{\sum_{k=1}^m e_{ik}}{A} * 10,000, \quad e_{ik} = \text{토지이용 } i \text{와 이웃한 토지이용}(k) \text{간의 경계 길이, } m = \text{인접 토지이용을 제외한 토지이용 총수.}$$

$$MSI = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{0.25 p_{ij}}{\sqrt{a_{ij}}} \right)}{n_i}, \quad p_{ij} = \text{지편 } ij \text{의 둘레길이.}$$

$$TCAI = \frac{\sum_{i=1}^n a_{ij}^c}{\sum_{i=1}^n a_{ij}} * 100, \quad a_{ij}^c = \text{지편 } ij \text{의 내부면적.}$$

$$MNN = \frac{\sum_{i=1}^n h_{ij}}{n'_i}, \quad h_{ij} = \text{지편 } ij \text{로부터 최단거리에 위치한 동종의 지편까지 거리, } n'_i = \text{토지이용 } i \text{에 대해, 최근린 지편을 갖는 지편의 수.}$$

것이다(Forman and Gordon, 1986). 이를 위해 공간구조분석 프로그램 FRAGSTATS를 이용하여 CRP 시행 이전과 이후에 대한 10개의 주요 경관구조 지표를 산출하였다 : 클래스 면적, 최대 지편 지수, 지편 수, 지편 밀도, 평균 지편 면적, 지편 면적 분산 계수, 굴곡도, 평균 형태 지수, 총내부 면적 지수, 평균 최단거리(각 지표에 대한 정의를 표 2)에 기술하였다). FRAGSTATS는 경관생태학 연구를 위한 분석도구로서, 미내무성과 오레곤 주립대학이 공동으로 개발한 공간분석 프로그램이다. 이질적이고 다양한 구성요소(토지이용, 지표피복)로 표현되는 자연경관의 공간구조를 다양한 수치 지표로 계산해 내며, 벡터 자료와 래스터 자료를 위한 두 가지 프로그램으로 개발되었다(McGarial and Marks, 1995). 본 연구에서 사용된 입력자료는 위성자료에 근거한 래스터자료였으므로, 래스터용 FRAGSTATS를 이용하여 각 분류구분에 대한 지표를 계산하였다. CRP 시행 이전, 이후의 모든 지표를 산출한 후에는 이들을 상호 비교하여 경관구조에 대한 CRP 시행의 영향을 파악하였다.

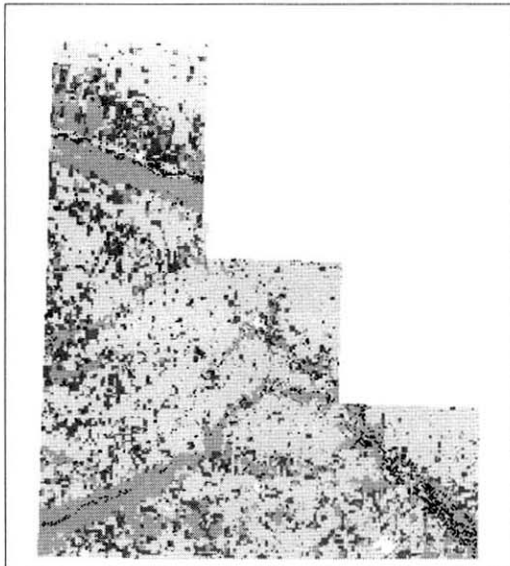


그림 4. 캔자스 자연식생도에 분류된 식생구분을 단순화하여 임지, 초지, 경작지, CRP, 및 도시역의 분포를 6개 카운티 지역에 대해 나타내었다. CRP의 경우, 연구지역 북부, 서부, 남부에 걸쳐 사각형의 형태적 특징을 가진 토지들이 집단화하여 분포함을 알 수 있다.

3. 연구결과 및 논의

6개 카운티 지역에 분포해 있는 경작지와 초지에 대해 CRP 토지가 갖는 공간패턴이 캔자스 식생도(그림 4)에 명확히 표현되어 있다. <그림 4>에 표시된 초지는 보다 세부적으로 분류된 초지종류들(예, shortgrass prairie, mixed-grass prairie, sand prairie 등)과 관목류(shrubland)를 하나의 분류군으로 묶어 일반화하였다. 관목지역은 관목류인 sagebrush(학명 *Artemisia filifolia*)와 초본류가 복합적으로 나타나는 지역으로 정의되며, 관목류의 면적이 25% 이상 차지하는 지역이다. 그러나, 많은 경우, 관목으로 분류된 지역의 우점종은 초본류가 차지하고 있기 때문에, 본 연구에서는 관목지역을 넓은 의미의 초지로 분류하였다.

캔자스 식생도에서 보듯이, 연구지역에서의 CRP 토지는 공간적으로 폭넓게 분포하고 있으며 경관구조상으로도 가시적인 영향을 미쳤음을 알 수 있다. CRP 초지는 연구지역 북부, 서부, 서남부에 비교적 우세하게 분포하는 양상을 보였으며, 상대적으로 Grant 카운티를 중심으로 한 중앙부에서는 그 분포가 적었다. 현존하는 자연초지와 관련해서는, 많은 CRP 분포가 Arkansas강 북부 단초프레리 지역과 Cimarron강 남부 관목성 프레리 지역에 걸쳐 나타났다. 자연초지 분포에 대한 CRP 토지의 1차적인 영향은 초지를 포함하여 광범위하게 분포한 녹지와 결합하여 그 면적을 더욱 확장시킨다는 것이다.

1) CRP지도의 정확도

앞서 기술한 세 가지 정확도 평가방법에 의한 결과가 다음과 같이 도출되었다.

(1) 육안 평가

CRP 토지의 형태적 특성과 분포패턴이 중점적으로 평가대상에 포함되었다. 첫째로, 현장조사와 토지관리를 담당하는 FSA 직원을 통한 조사에 따르면, 캔자스 남서부 대다수 CRP 토지의 경우, 기존 경작지가 CRP 토지로 전환되었기 때문에 CRP 토지는 형태적으로 경작지의 형태를 그대로 이어받는다는 것을 알 수 있다. 결과적으로 CRP 토지

는 크기로 보아 비교적 큰 면적을 가지며 기하학적으로는 사각형 또는 그 집합형으로 나타나게 된다. 둘째로, Finney 카운티에서 행한 선행연구에서 밝혀진 대로, CRP 토지들이 공간적으로 서로 합쳐져 분포하는 경향을 보인다는 점을 지적할 수 있다. 이에 따라, 한 CRP 토지는 다른 CRP 토지 또는 다른 초지나 관목지역과 병렬적으로 위치함으로 인해, 상호연결 또는 결합을 통한 녹지확장 효과를 가져왔다. CRP 분포도 생성작업을 통해 나타난 결과를 보면, 이러한 두 가지 특징이 모두 전형적으로 나타남을 알 수 있다. 즉, 토지당 면적이 크며, 형태적으로 직사각형의 모양을 한 경작지 특성과 공간분포 상으로도 인접 CRP 또는 초지와 서로 결합된 패턴이 쉽게 관찰되었다.

(2) 면적 비교

미농무성 자료에 따르면, 연구지역의 총 CRP 면적은 207,885ha에 달했다(표 1). 분류후 차이분석기법에 의해 추정된 CRP 분포도 상의 CRP 면적은 186,223ha로 나타나 농무성 자료와는 21,662ha의 차이를 보였다. 이는 농무성 조사자료의 약 90%에 해당하는 면적으로, 본 연구에 사용된 방법이 약 10%정도 CRP 면적을 과소 추정했음을 보여주고 있다. 이러한 수치는 CRP 시행 이전의 자료로 사용된 캔자스 토지이용도의 제작시기를 감안한다면 실제에 매우 근사한 추정값으로 볼 수 있다. 앞서서도 언급했듯이, 캔자스 토지이용도 제작에 사용

된 위성화상자료는 CRP 시행 직후에 취득된 것이기 때문에, 이미 CRP 토지로 전환된 면적을 어느 정도 포함하고 있을 가능성이 높다. 따라서, 여기에 해당하는 면적은 경지에서 CRP로 전환된 총면적에서 제외되었을 것이기 때문에, 이를 10% 오차 중 일부분으로 볼 수 있다.

(3) 표본조사를 통한 분석

FSA 항공사진 표본자료를 이용한 정확도는 88.7%로 나타났다. FSA로부터의 자료는 CRP에 국한된 것이었기 때문에 누락오류(혹은 제작자중심 정확도)만이 계산가능 하였다. 캔자스 식생도 제작을 위해 얻어진 표본은 CRP 외에 연구지역에 나타나는 다른 피복종류의 표본을 포함하고 있어서 제작자중심 정확도(누락오류)와 사용자중심 정확도(첨가오류) 모두를 계산할 수 있었는데, 정확도는 각각 77.6%와 65.3%로 나타났다. 두 가지의 서로 다른 표본자료를 이용한 정확도가 다소 차이를 보인 것은, 토지이용분류 상의 한 종류로서 CRP가 갖는 외형적 특징에 기인한다. CRP 토지에는 토질에 따라 정해진 몇 가지 초분류의 혼합체를 과중하게 되어 있는데, 경우에 따라서 CRP는 현장 표본자료 수집 과정에서 외형상 유사한 단초프레리 와 쉽게 혼동될 수 있다. 현장조사의 시기와 식물생장조건에 따라서 현지 전문가의 자문 없이는 CRP 초지와 CRP가 아닌 초지를 분간하기란 매우 어렵다. 이러한 현장조사 과정에서의 판정 오류가

표 3. CRP 시행 이전과 이후에 대한 경관구조 지표 계산 결과

	CRP 시행 이전			CRP 시행 이후		
	전체	초지	경작지	전체	초지	경작지
Area(ha)	1,085,570	100,607.8	859,869.7	1,085,570	286,830.4	673,647.1
LPI(%)	41.2	1.64	41.2	31.5	1.98	31.5
NP(#)	5,477	2,783	250	6,499	3,574	481
PD(#/100ha)	0.5	0.26	0.02	0.6	0.33	0.04
MPS(ha)	198.2	36.2	3,439.5	167.0	80.3	1,400.5
PSCV(%)	3,553.3	1,304.4	949.9	2,931.1	903.4	1,267.9
ED(m/ha)	18.5	14.6	7.2	24.6	22.3	11.6
MSI	3.02	3.07	2.19	2.76	2.66	1.93
TCAI(%)	85.5	48.3	93.8	80.4	65.3	90.9
MNN(m)	244.8	243.6	199	226.9	205.9	260.7

능성을 참작한다면, CRP 추정치의 실제 정확도는 FSA의 확인을 거친 항공사진 자료에 근거한 정확도 수치에 가깝다고 사료된다. 또한, 이 수치는 Finney 카운티에서의 연구결과(88.3%)와도 거의 일치한다(Egbert et al., 1998).

2) FRAGSTATS 경관구조 지표

FRAGSTATS 프로그램에 의해 계산된 경관구조 지표가 <표 3>에 요약되어 있다. 6개 카운티의 초지면적은 CRP 시행 이후 100,609ha에서 286,830ha로 거의 3배로 증가하였으며, 이 증가분에 상응하는 경작지 면적은 감소하였다. 초지에 대한 최대지편지수는 1.64에서 1.98로 증가하였는데, 이것은 소규모의 지편들이 CRP 시행으로 인해 서로 연결되어 보다 큰 규모의 지편을 형성했음을 의미한다. 최대지편지수는 0-100 범위에 있게 되는데, 경관전체가 단일 종류의 토지이용으로 구성될 경우 100에 이른다. 전체적으로 볼 때, CRP에 의한 초지분포의 변화는 두 가지 특징을 보이고 있다. 첫째, 연구지역 북부와 남서부의 경우, 주요하천에 인접한 초지의 면적이 크게 증가한 것으로 보인다(그림 2). 이는 하천 주변이라는 위치적 특성이라기 보다는 국지적인 지형적, 토양적 특성에 의한 것으로 판단된다. 즉, 연구지역 북부의 경우, 하천으로부터의 거리에 따라 사면경사가 높아짐에 따라 농경이 상대적으로 어렵고, 남서부의 경우, 사질이 우세한 토질로 인하여 토양의 수분을 높이기 위한 일환으로 CRP 전환이 많았을 것으로 판단된다. 캔자스 남서부지역에서 수행한 Wu et al.(1998)의 연구결과에 따르면, 경지로부터 CRP 초지로 전환한 중요 원인이 반드시 토양침식이라기보다 상당수의 경우, 비교적 적은 강우량을 가진 연구지역의 토양 수분을 보전하기 위함이었을 개연성이 높다. 둘째, CRP 초지가 하천 주변의 기존 자연초지와 연결되어 결합성을 높였으나, CRP 분포는 연구지역 전체를 통하여 광범위하게 나타났다. 본 연구에서 초지의 지편 수는 2,783개에서 3,574개로 증가하였다. 이는, CRP 토지간 또는 CRP와 인근 녹지간의 상호결합의 결과, 지편 수가 감소한 Finney 카운티의 연구사례에 비취볼 때 상반된 결과였다. Finney 카운티의 경우, 카운티 남부가 대규모 관개지역이기

때문에 대부분 CRP 초지가 북동부에 집중되어 분포하였고, 각 CRP 초지의 면적도 상대적으로 큰 규모였다. 따라서, CRP 초지들이 보다 효과적으로 기존의 자연초지와 결합한 결과 산발적으로 분리되어 분포한 CRP 초지가 적었다. 반면에 본 연구의 지역의 경우, 관개지역의 분포가 미미하고 연구대상지가 넓어 CRP 초지의 지리적 분산효과가 상대적으로 크게 작용한 결과로 많은 수의 소규모 CRP 초지가 전체 초지 지편 숫자를 크게 늘렸다. 녹지의 지편 밀도는 지편 수가 늘어남에 따라 0.26에서 0.33으로 증가하였다. CRP 초지 증가는 공간적으로 연속적인 기존 경작지의 잠식을 의미하므로, 경작지의 지편 수는 예상대로 250개에서 481개로 현저하게 증가하였다. 따라서, 경작지의 경우는 CRP로의 전환으로 인해 공간적인 분절화가 진행되었음을 알 수 있다.

녹지의 평균지편면적은 36.2ha에서 80.3ha로 큰 폭으로 증가하였다. 이는 두 가지 원인에 의한 변화를 의미한다. 첫째는 각 CRP 토지 개체의 크기가 비교적 크다는 점이고, 둘째는 이들 CRP 토지가 다른 인근 초지들과 합쳐져 개개 녹지의 전반적인 면적을 증가시켰다는 것이다. 경작지의 평균지편면적은 3439.5ha에서 1400.5ha로 감소하였는데, 이 또한 지편 수 증가와 함께 경작지의 분절화를 가리키는 추가적인 지표로 볼 수 있다. 초지에 대한 지편 면적 분산계수는 1304.4에서 903.4로 감소하였다(지편들의 크기가 모두 일정하다면 지편면적 분산계수는 0이다). 이 지수의 감소는 CRP 토지가 주로 1.6km(1mile) 크기의 정방형 section 전체, 또는 4등분으로 구획된 1/4 section 크기의 경지단위로 등록되는 특징을 반영하는 것으로 보인다⁹⁾. 녹지의 굴곡도는 14.6m/ha에서 22.3m/ha로 증가하였다. 둘레 굴곡도의 증가는 녹지와 경작지간 경계형태가 더욱 복잡해지거나 전체적으로 지편 수가 증가하여 경계의 길이가 상대적으로 늘어났음을 말해준다. 평균형태지수는 지편이 정방형에 가까워질수록 1에 근접하는데, 본 연구에서 녹지의 평균형태지수는 3.07에서 2.66으로 감소하여 사각형으로 구획된 경작지의 특성을 CRP가 그대로 이어받았음을 재차 확인하였다.

총내부면적지수는 48.3에서 65.3으로 증가하였다. 내부면적의 설정은 각 지편을 내부서식처와 외부

서식처로 나누는 생태적 개념, 즉 생물종에 따라 일정 영역의 내부를 선호하는 종류(interior species)가 있고 주변을 선호하는 종(edge species)이 있다는 사실에 비롯한다. 일반적으로 주변부 선호종은 내부면적의 증가에 따라 종의 다양성이 미미하게 증가하는 반면, 내부 선호종의 숫자는 서식처 면적에 비례하여 증가한다. 서식처면적이 커질수록 내부면적의 비율은 증가하기 때문에, 개개 녹지면적의 증가는 결국 다양한 종들의 서식을 포용할 잠재력의 증가를 의미한다(Forman, 1995, 61-62). 여기서 내부영역은 연구자가 설정하는 외부영역의 폭에 따라 결정되는데¹⁰⁾, 주변영역에 비해 내부영역의 면적비율이 커질수록 총내부면적지수는 100에 가까워진다. 따라서 본 연구지역에서 총내부면적지수가 증가한 것은 CRP 시행에 의해 녹지의 크기가 증가했으며, 아울러 내부영역의 면적이 상대적으로 증가, 궁극적으로 내부면적을 크게 필요로 하는 야생종 서식처로서의 기능이 향상되었음을 보여주었다. 특히 대규모 녹지의 결합도가 증가한 하천 인접 지역의 경우, 관목 또는 삼림지 하천변을 주요 서식처로 하는 녹지내부 선호종의 분포와 서식에 이점을 줄 것으로 예상된다. 끝으로 녹지의 평균최근린거리는 243.6m에서 205.9m로 감소하였다. 평균최근린거리의 감소는 경관 상에 녹지(CRP, 자연초지 모두 포함) 지편의 수가 증가하거나 CRP 지편들이 군집화 함에 따른 결과이다. 여기서는 두 가지 모두를 반영하는 것으로 보인다. 녹지의 경우와 대조적으로 경작지에 대한 평균최근린거리는 CRP 시행에 따른 분절화로 인해 199m에서 260.7m로 늘어났다.

경관구조의 측면에서 CRP의 중요 역할은 자연초지에서 경작지로의 토지이용변화를 역전환시킴으로써 분절화된 자연녹지를 이전의 상태로 되돌린다는 것이다. 전반적으로 볼 때 본 연구결과를 인접한 카운티에서 도출된 선행연구결과와 매우 유사한 내용을 보여주었다. CRP의 도입으로 녹지의 수, 평균녹지면적, 녹지의 내부면적 등이 증가하여, 야생종 잠재서식처로서 갖는 CRP 토지의 잠재적 가치를 재확인 할 수 있었다. 또한, CRP 시행은 녹지간 연결성, 결합도를 증대시켜, 넓은 면적에 걸쳐 연속된 서식지를 번식의 조건으로 하는 포유류종 등의 보호에 중요한 역할을 기대할 수

있다. 이러한 녹지의 팽창은 이웃한 녹지들간의 평균거리를 감소시켜, CRP 초지를 서식처로 하는 야생종 개체들의 녹지간 이동거리를 단축시킬 것으로 예상된다.

3) 연구의 한계

본 연구가 CRP 시행에 따른 경관구조변화를 이해하는 한 시각을 제공했지만, 앞으로 예상되는 추가적 연구에서 고려해야 할 사항으로 본 연구가 안고 있는 한계에 대해 지적 할 필요가 있다. 거의 모든 CRP 토지가 초지로 전환됨으로 인해 본 연구에서는 공간구조분석을 실행함에 있어 CRP를 다른 자연초지와 동일시하였다. 그러나 근본적으로 CRP는 주변에 분포하는 자연초지와는 초본류의 구성이나 관리의 측면에서 차이점을 보인다. CRP 초지는 해당 토지에 적합한 혼합초본류를 파종하여 만든 것이기 때문에, 지역에 따라 주위에 분포한 자연초지의 초본구성과 다른 특징을 보이거나, 또는 서로 유사한 특징을 가질 수 있다. 관리의 측면에서도, 다른 일반 초지에 적용되는 방목이나 풀베기, 또는 쟁기질 등이 특별한 상황을 제외하고는 허용되지 않는다. CRP는 파종된 초본류의 연령에 따라서도 구별되며, 그에 따른 식생구조와 안정성에 차이가 나타나는 특성이 있다(Berthelsen and Smith, 1995). 이러한 요인들을 감안할 때, CRP 초지의 기능은 자연초지가 갖는 야생서식처 기능과는 차별적으로 다루어져야 할 것이다. 계절별 위성 자료를 이용하여 초본구성, 관리방법, 초본 연령 등을 구분해 낸다면 야생종 보호를 위한 서식처 모델링에 더욱 상세한 입력정보로 제공될 수 있을 것으로 본다.

4. 요약 및 결론

계절별 Landsat TM자료와 식생도를 이용한 분류후 차이분석기법의 적용은 연구지역의 상세하고 정확한 CRP 분포도를 생성하는 데에 효과적인 방법으로 나타났다. 캔자스 남서부지역을 대상으로 한 본 연구를 통해 만들어진 CRP 분포도는 기존의 경작지가 초지로 되돌려 짐으로 인해 발생한 경관구조변화를 분석하기 위한 입력자료로 사용되

었다. 연구지역의 경관구조변화에 미친 CRP의 영향은 다양한 공간구조지표를 통해 나타났다. CRP 시행 이후, 지편 크기, 최대지편지수, 총내부면적지수가 현격히 증가한 것은, CRP 토지가 기존 녹지에 인접하여 분포함으로써 녹지간 연결성을 높이고, 녹지규모를 전체적으로 증가시킨 결과이다. 이러한 변화는 녹지간 최근린거리의 감소를 통해 계량적으로 재확인되었다. 경관구조변화분석을 통해 나타난 이와 같은 결과는, 녹지보전 측면에서 CRP 시행이 갖는 중요성을 부각시켰고, 아울러 CRP의 향후 역할과 관련된 최근의 논의에 많은 시사점을 줄 것으로 기대된다.

단일 카운티를 대상으로 한 선행 기초연구에 이어 본 연구는 multi-county 규모의 수준에서도 CRP 시행에 의한 각 자연녹지의 면적 증가가 명확히 나타나고 있음을 보여주었다. 하지만 이러한 일반적 녹지 연결성 증가는 지형, 토양, 관개시설 등 연구대상지역의 국지적 특성 및 규모에 따라 그 효과가 상이하게 나타남을 알 수 있다. CRP 시행은 토양유실을 막자는 원래의 취지에서 출발했으나, 연구지역 전체에 걸쳐 폭넓은 분포를 나타낸 점으로 미루어 볼 때, 토양침식 가능성 이외에 토양수분보전과 같은 다른 현실적 필요가 실제 CRP 토지 분포의 주요한 동력이 되었을 가능성이 있다고 보여진다. 따라서 차후 연구에서는 이러한 점을 자세히 파악하기 위해 CRP 분포와 지형, 토양 등을 비롯한 자연환경적 요인간의 상관관계를 세밀히 파악하여 이들의 생태적 특성을 명확히 할 필요가 있다. 본 연구는 캔자스 남서부에 초점을 맞추었으나, 중부 대평원 내의 다른 지역 또는 CRP가 집중적으로 시행되는 여타 지역에 연구를 확장한다면, 보다 광범위한 연구결과를 토대로 자원관리분야의 연구자와 농업정책결정자에게 유용한 연구결과와 의사결정의 기준을 제공할 수 있을 것이다.

사사

본 연구를 위한 미국 항공우주국의 재정적 후원에 감사드린다. 저자는 또한 본 연구에 사용된 캔자스 식생도 제작을 위해 재정적, 인적지원을 아끼지 않은 캔자스주 정부, 그리고 연방정부 산하 여러 기관의 도움에 감사드린다: the Kansas GIS Policy Board; the Kansas Department of Wildlife

and Parks; the Kansas Biological Survey; Kansas State University; the National Aeronautics and Space Administration; the Biological Resources Division of the U.S. Geological Survey; the U.S. Environmental Protection Agency, Region 7; and the National Park Service. 아울러, 본 연구지역 각 카운티의 CRP 표본자료를 제공한 Farm Service Agency의 임직원 여러분께도 감사의 말씀을 드린다.

註

- 1) 경관을 구성하는 기본단위를 칭하는 말로, patch, landscape component, landscape element, landscape unit, biotope 등 여러 가지 용어가 혼용되고 있다 (McGarial and Marks, 1995). 대부분의 문헌에서 'patch'를 선호하여 사용하고 있는 추세이며, 이는, '주변과 구별되는 속성(토지이용, 지표피복의 종류와 상태 등)을 가진, 등질적으로 연속된 지표 영역'으로 정의된다(Forman, 1995; Turner et al., 2001). 'patch'의 사전적인 의미는 '조각'을 뜻하는데, 이는 다양한 이질적 요소들로 구성된 경관을 하나의 모자이크로 보고, 각 구성 요소를 '조각'으로 간주한 데에서 비롯한다(이도원, 2001). 이러한 측면에서, 본문에서는 'patch'를 '지표상의 조각'이란 의미로 '지편(地片)'으로 번역하였다. 최근 Forman(1995)의 저서 Land Mosaic을 번역한 홍선기·김동엽(2000)은 '패치'라고 옮겼으며, 이도원(2001)은 '조각'으로 번역하였다. 아직 확립된 용어가 없는 실정이므로, 추후 더 적합한 번역을 기대한다.
- 2) 초지의 평균 면적은 70.7ha에서 115.7ha로 증가하였고, 녹지 숫자는 1035개에서 930개로 감소하였다.
- 3) '경관'에 대한 생태학적인 접근은 비교적 최근에 발전했는데, 이는 항공사진이나 인공위성자료가 범용화되면서 시작되었기 때문이다. 생물군집이나 생태계 범위보다 큰 공간적 범역을 연구대상으로 한다. '경관'은 '상호 이질적이지만 관련성을 가진 다양한 생태계들의 유기적인 집합체(Forman and Gordon, 1986)'로 정의된다. '경관생태학(landscape ecology)'이란 용어는 독일학자 Carl Troll에 의해 처음 사용되었으며, 생태계간 상호작용 및 변화에 대해 지표의 공간 패턴과 구조가 미치는 영향을 과학적으로 연구하는 분야이다. 원격탐사자료와 컴퓨터 분석기술의 발달로 생태학 분야에서 빠른 속도로 성장하고 있는 추세이다.
- 4) 미농무성 산하의 자연자원보전국(Natural Resources Conservation Services)에 의해 마련된 토양침식 계산법에 따라 크게 바람 또는 유수에 의한 토양침식 지수를 계산하여, 이 중 우세하게 나타나는 지수를 기준으로 8이상일 될 경우 CRP 등록요건에 부합하게 된다. 구체적인 토양침식지수 계산법은 다음과

같다(Wu et al., 1998).

*유수 침식지수(Water EI) = $R \cdot K \cdot LS / T$

R, 강우 계수(rainfall coefficient, Wischmeier and Smith, 1978 참조)

K, 토양 수분 침식 요인(soil water erodibility factor)

LS, 사면길이 및 사면경사 요인(slope length and gradient factor, Wischmeier and Smith, 1978 참조)

T, 토양 유실 저항력(soil loss tolerance)

*풍식지수(Wind EI) = $C \cdot I / T$

C, 풍식에 대한 기후요인(wind erosion climate factor, Woodruff and Siddoway, 1965 참조)

I, 토양 풍식도(soil wind erodibility)

T, 토양 유실 저항력(soil loss tolerance)

- 5) 분류후 변화포착기법(post-classification change detection)으로도 불리는 방법으로, 동일지점에 대한 서로 다른 두 시기의 화상자료를 비교하여 그 기간 동안 변화한 지표정보를 탐지하는 원격탐사 기법이다. 두 화상자료는 화소별로 비교되기 때문에, 상호 비교하는 두 화상자료는 기하보정을 통해 같은 좌표 체계 상에 각 화소의 위치가 서로 일치해야 한다. 입력되는 자료의 분류상 오류가 그대로 최종 출력 결과에 반영되기 때문에, 각 입력자료의 분류 오류를 최소화해야 한다(Jensen, 1996, 269-270).
- 6) 캔자스주 전체의 토지이용을 나타낸 최초의 수치지도로서, 앤더슨 1단계구분법에 의거하여 제작되었다.
- 7) 2002년에 최종 식생도가 발간되었다. 캔자스주에서 수행된 가장 종합적인 지도제작 프로젝트로서, 농경지를 제외한 자연식생을 식생군단(vegetation alliance) 수준에서 분류하였다(40 여개의 상세한 분류구분을 포함한다). 단일계절자료의 한계를 극복하기 위해 계절별 혹은 다계절(multiseasonal) 자료를 이용했다는 데에 큰 차이가 있다. 제작 방법으로는, unsupervised 및 supervised classification을 모두 사용한 하이브리드(hybrid) 기법을 적용하였다. 분류과정 이후에, 육안대조, 지질도, 잠재식생도 등의 보충자료를 이용하여 식생도의 신뢰도와 정확도를 향상시켰다(Egbert et al., 2001).
- 8) 전통적인 의미에서 분류의 정확도는, 하나의 분류구분(category)에 대해, 바르게 분류된 지도상의 화소 숫자를 현장샘플에 해당하는 같은 분류구분의 총 화소 숫자로 나눈 것으로 표시해왔다. 이는 특정 지역의 한 분류구분에 대해 잘못 분류된 화소 숫자를 제외한 정확도를 나타낸다는 의미에서 '누락오류(errors of omission)'라 부른다. 특정지역이 얼마나 정확하게 분류되었나에 관심이 있는 지도제작자의 입장을 고려하여 이를 '제작자중심 정확도(producer's accuracy)'라 부르기도 한다. 반면에, 지도이용자들은 특정 분류구분 A가 지도 전체에 걸쳐 얼마나 정확한 지에 관심이 있기 때문에, 분류결과가 100% 정확하지 않다면, 분류구분 A의 일부 화소는 잘못 분류된 것이다. A로 분류된 지도상의 화소 숫자 중 실제와 다른 화소 숫자의 비율을 계산하면 A로 잘못 분류된 정도를 나타낼 수 있다. 따라서 이 수치는 실제에 대한 분류구분 A의 過推定(overestimation)치를 보여주

며, '첨가오류(errors of commission)'로 불리기도 한다. 지도이용자의 입장에서, 이것은 분류된 지도의 신뢰도를 나타내며, 제작자중심 정확도에 대비하여 '사용자중심 정확도(user's accuracy)'라고도 알려져 있다(Story and Congalton, 1986).

- 9) 미국토지의 거래, 조사, 관리는 일정한 법률적 토지 관리기준체계에 의해 이루어지는데, 이를 Public Land Survey System이라 부른다. 각 카운티 토지는 동서 방향의 range와 남북방향의 township에 의해 구분되며, 각 range, township은 36개의 section이라 불리는 가로, 세로 1mile(1.6km)의 정방형 토지로 이루어져 있다(Lo and Yeung, 2002). 하나의 section은 흔히 4등분되어 있어서, 1/4 section 단위로 농경지가 구획되는 경우가 많다.
- 10) 생물종에 따라, 또한 식생의 종류에 따라 주변효과(edge effect)가 미치는 거리폭이 어느 정도인지는 아직 명확치 않다. 태양광선과 국지적으로 나타나는 미기후의 식생에 대한 영향에 따라 수십미터에서 수백미터에 이른다고 알려져 있으나(Gergel and Turner, 2002), 본 연구에서는 연구대상지의 면적과 각 CRP 초지 규모가 비교적 소규모인 점을 감안하여 식생외부에서 내부에 이르는 주변영역의 폭을 50 m로 제한하였다.

文 獻

- 이도원, 2001, 경관생태학, 서울대 출판부, 서울, 32.
- 홍선기 · 김동엽(공역), 2000, 토지 모자이크, 성균관대학교 출판부.
- Berthelsen, P.S. and Smith, L.M., 1995, Nongame bird nesting on CRP lands in the Texas Southern High Plains, *Journal of Soil and Water Conservation*, 50, 672-675.
- Egbert, S.L., Lee, R.Y., Park, S., Price, K.P., Wu, J., and Nellis, M.D., 2000, Using CRP Maps Derived From Satellite Imagery to Characterize Landscape Structure and Relationships, *Proceedings, Second International Conference on Geospatial Information in Agriculture and Forestry*, Vol. I:520-527. Lake Buena Vista, Florida, 10-12 January.
- Egbert, S.L., Lee, R., Price, K.P., Boyce, R., Nellis M.D., 1998, Mapping Conservation Reserve Program (CRP) grasslands using multi-seasonal thematic mapper imagery, *Geocarto International*, 13, 17-24.
- Egbert, S.L., Price, K.P., Nellis M.D., and Lee,

- R., 1995, Developing A land cover modelling protocol for the high plains using multi-seasonal thematic mapper imagery, *Proceedings, ACSM/ASPRS '95 Annual Convention and Exposition*, Charlotte, NC., 3, 836-845.
- Egbert, S.L., Park, S., Stewart, A.M., Peterson, D.L., Lauver, C.L., Price, K.P., and Martinko, E.A., 2001, Landscape structure and the U.S. Conservation Reserve Program on the Central High Plains, *ASPRS 2001: Gateway to the New Millenium*. St. Louis, Missouri, April 23-27.
- Egbert, S.L., Park, S., Price, K.P., Lee, R., Wu, J., and Nellis, M.D., 2002, Using conservation reserve program maps derived from satellite imagery to characterize landscape structure, *Computers and Electronics in Agriculture*, 37, 141-156.
- Forman, R.T.T., 1995, *Land mosaics-the ecology and landscapes and regions*, Cambridge University Press, Cambridge, p.39.
- Forman, R.T.T. and Godron, M., 1986, *Landscape Ecology*, John Wiley & Sons, New York, New York.
- Fuller, R.M., and Parsell R.J., 1990, Classification of TM imagery in the study of land use in lowland Britain: practical considerations for operational use, *International Journal of Remote Sensing*, 11, 1901-1917.
- Gergel, S.E. and Turner, M.G., 2002, *Learning landscape ecology: a practical guide to concepts and techniques*, Springer-Verlag, New York, New York, p.51-52.
- Heimlich, R.E., and Osborn, T., 1994, Buying More environmental protection with limited dollars. *Proceedings, When Conservation Reserve Program Contracts Expire: The Policy Options*. Edited by Soil and Water Conservation Society, 83-97.
- Howell, D., and Isaacs, B., 1988, Does CRP spell quail?, *Quail Unlimited Magazine*, 7, 6-9, 34.
- Jensen, J.R., 1996, *Introductory digital image processing*, Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, p.269-270.
- Kansas Applied Remote Sensing Program, 2002, *Kansas Vegetation Map*, Lawrence, Kansas. Kansas Biological Survey(1:750,000 scale map sheet).
- Kantrud, H.A., 1993, Duck nest success on Conservation Reserve Program land in the prairie pothole region, *Journal of Soil and Water Conservation*, 48, 238-242.
- Küchler, A.W., 1974, A new vegetation map of Kansas, *Ecology*, 55, 586-604.
- Nellis, M.D., Price, K.P., Egbert, S.L., Wu, J., 1996, Natural resource capability of CRP lands as grasslands in southwest Kansas: a remote sensing and GIS perspective, *Geocarto International*, 11, 23-28.
- Lo, C.P., and Yeung, A.K., 2002, *Concepts and techniques of geographic information systems*, Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, p.55.
- Margheim, G.A., 1994, Soil erosion and sediment control. *Proceedings, When Conservation Reserve Program Contracts Expire: The Policy Options*. Edited by Soil and Water Conservation Society, 15-18.
- McGarigal, K., and Marks, B., 1995, *FRAGSTATS: Spatial Analysis Program for Quantifying Landscape Structure*, USDA Forest Service.
- Roseberry, J.L., Richards, B.J., and Hollenhorst, T.P., 1994, Assessing the potential impact of Conservation Reserve Program lands on Bobwhite habitat using remote sensing, GIS, and habitat modeling, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 60, 1139-1143.
- Stewart, A., Peterson, D., Egbert, S., Price, K., Blodgett, C., Park, S., Lauver, C., Martinko, E.A., and Cully, J., 2000, Land cover mapping for GAP: A hybrid classification approach to identifying the vegetation of Kansas, *Proceedings, ASPRS 2000, Annual Meeting of the*

- American Society for Photogrammetry and Remote Sensing*, Washington, DC, May 23-26.
- Story, M. and Congalton, R.G., 1986, Accuracy assessment: a users perspective, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 52, 397-399.
- Turner, M.G., Gardner, R.H., and O'Neill, R.V., 2001, *Landscape ecology in theory and practice*, Springer, New York, New York, p.3.
- USDA, 1995, *CRP Statistics from the Kansas State Farm Service Office*, Manhattan, KS.
- USDA, 1996, Digest of conservation provisions of the Federal Agriculture Improvement and Reform Act of 1996, *USDA 1996 Farm Bill Conservation Provisions*, US Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service.
- Whistler, J.L., Egbert, S.L., Jakubauskas, M.E., Martinko, E.A., Baumgartner, D.W., and Lee, R.Y., 1995, The Kansas land cover mapping project: regional scale land use/land cover mapping using Landsat Thematic Mapper data, *Proceedings, ASPRS/ACSM Annual Meeting and Exposition*, Charlotte, NC, 3, 773-785.
- Wildlife Legacy Partners, 1994, *The Conservation Reserve Program: A Wildlife Conservation Legacy*, Washington, D.C.: Wildlife Management Institute.
- Wischmeier, W.H. and Smith, D.D., 1978, *Predicting rainfall erosion losses-a guide to conservation planning*, USDA, ARS, Agricultural Handbook 537. Washington DC.
- Woodruff, A. and Siddoway, F.H., 1965, A wind erosion equation, *Soil Science Society of America Proceedings*, 29, 602-608.
- Wu, J., Nellis, M.D., Ransom, M.D., Price, K.P., and Egbert, S.L., 1997, Evaluating soil properties of CRP land using remote sensing and GIS in Finney County, Kansas, *Journal of Soil and Water Conservation*, 52, 352-358.

(접수 : 2003. 8. 28, 채택 : 2003. 10. 6)