

북한 무산시와 회령시의 토지이용 변화에 따른 생태서비스 가치 연구*

이민부** · 김남신*** · 金石柱**** · 김애분***** · 주철*****

A Study on the Eco-Service Values by Landuse Changes in Musan and Hoeryeung, North Korea*

Lee, Min Boo** · Kim, Nam Sin*** · Jin, Shi Zhu**** · Kim, Ae Bun***** · Zhu, Zhe*****

요약 : 본 연구는 RS/GIS 기술을 바탕으로 무산과 회령지역의 3시기 토지이용 데이터를 이용하여 양 지역의 토지이용 변화와 이에 따른 생태서비스가치의 변화를 살펴보았다. 연구결과, 1917~2006년 사이 무산과 회령지역의 경작지, 인공림, 건축용지, 미이용지는 증가하고 천연림, 초지, 수역, 습지면적은 꾸준히 감소하였다. 무산지역의 천연림 면적의 감소량은 $7,925.34\text{ha}$ 에 달하여 가장 많고 건축용지의 증가 폭이 가장 빠르다. 회령지역은 초지가 $1,594.34\text{ha}$ 감소하여 감소폭이 가장 크고 미이용지의 증가가 가장 많다. 무산지역의 ESV는 1917년의 $66,135.26 \times 10^6\text{원}$ 에서 2006년의 $37,894.51 \times 10^6\text{원}$ 으로 감소하여 감소량이 $28,240.75 \times 10^6\text{원}$ 에 달하였으며 감소폭은 42.71%에 달하였다. 회령지역의 ESV는 1917년의 $145,862.69 \times 10^6\text{원}$ 에서 2006년의 $106,948.44 \times 10^6\text{원}$ 으로 감소하여 감소량이 $38,914.25 \times 10^6\text{원}$ 에 달하였으며 감소폭은 26.68%에 달하였다. 따라서 이 지역은 생태환경의 지속가능한 개발을 유지하기 위해 효율적인 조치가 필요하다.

주요어 : 무산지역, 회령지역, 토지이용변화, 생태서비스가치

Abstract : Based on 3-period land use data using RS and GIS, this paper analyzed landuse change and subsequent loss of ecosystem service value, using the ecosystem service value coefficients put forward by Costanza. Results show that from 1917 to 2006, area of crop land, plantation, building site, unused land increased and natural forest, grassland, water area, wetland decreased, in Musan region and Hoeryeung region. But the area of natural forest is acute reduced by $7,925.34\text{ha}$ and the amplitude of building site is increased rapidly in Musan region. The area of grass land is acute reduced by $71,594.34\text{ha}$ and the amplitude of unused land is increased rapidly in Hoeryeung region. Total ecosystem services value of Musan region reduced dramatically, from $66,135.26 \times 10^6\text{won}$ to $37,894.51 \times 10^6\text{won}$ in period 1917~2006. The net decreased ecosystem services value is $28,240.75 \times 10^6\text{won}$ and the increased amplitude is 42.71% in Musan region. Total ecosystem services value of Hoeryeung region reduced dramatically, from $145,862.69 \times 10^6\text{won}$ to $106,948.44 \times 10^6\text{won}$ in period 1917~2006. The net decreased ecosystem services value is $38,914.25 \times 10^6\text{won}$ and the increased amplitude is 26.68% in Hoeryeung region. Therefore, the effective measures should be taken to maintain sustainable development of environment.

Key Words : Musan region, Hoeryeung region, landuse change, ecosystem services value

1. 머리말

1) 문제의 제기

최근 몇십 년 아래, 인구가 급속히 증가하고

* 이 논문은 2010년도 한국교원대학교 KNUE 학술연구비에 의해 수행되었음.

** 한국교원대학교 지리교육과 교수(Professor, Department of Geography Education, KNUE)(minblee@knue.ac.kr)

*** 전남대학교 지리교육과 강사(Lecturer, Department of Geography Education, Chonnam National University)(kns9027@dreamwiz.com)

**** 연변대학 지리학과 부교수(Associate professor, Department of Geography, Yanbian University, China)(jinsz@hanmail.net)

***** 연변대학 지리학과 부교수(Associate professor, Department of Geography, Yanbian University, China)(afjin@ybu.edu.cn)

***** 한국교원대학교 지리교육과 박사과정(Graduate Student, Department of Geography Education, KNUE)(zhu zhe77@hanmail.net)

북한 무산시와 회령시의 토지이용 변화에 따른 생태서비스 가치 연구

인류활동이 자연환경에 대한 영향이 날로 더해짐에 따라 생태계가 심각히 파괴되면서 토지이용과 토지피복이 극심한 변화를 가져와 환경재해로 나타나고 있다. 그리하여 삼림의 감소, 토지의 알칼리화, 초지의 퇴화, 사막화, 호수의 퇴화, 습지퇴화 등과 같은 문제들이 대두되고 있다.

이로부터 알 수 있는 바, 인류가 직면한 문제는 어떻게 인간과 자연환경과의 관계를 조화롭게 하는가 하는 것이다. 토지이용과 토지피복변화는 바로 인류와 자연환경이 상호 영향의 문제이다. 때문에 토지이용과 토지피복변화 및 그에 영향을 주는 요인을 규명하고 이를 바탕으로 생태가치변화에 대해 예측하는 것은 한 지역의 향후 지속가능한 발전에 있어 매우 중요한 의의가 있다고 하겠다.

지역 차원에서의 토지이용과 토지피복 변화 문제는 환경변화 연구에 있어서 이슈로 되는 과제이고 또한 지구환경변화 연구의 중요한 구성부분이다. 토지이용과 토지피복변화 및 생태서비스에 대한 종합적인 연구는 생태환경의 보호와 회복을 위한 과학적인 근거를 제시할 수 있고 생태환경과 경제의 지속가능한 발전을 추진할 수 있다.

생태서비스는 자연환경의 생태계통과 생태계 발달과정을 형성·유지시켜 그 결과로서 인류의 생존과 삶의 질에 기여하는 생태계통 제품과 생태계통 기능을 제공하는 것을 의미한다(Costanza, et al., 1997). 생태서비스에는 크게 두 가지가 포함되는데 인류생활에 필요한 제품과 인류생활의 질을 보장한다. 생태계통 제품은 본질적으로 생태계통에 대한 에너지에 대한 유지와 물질의 순환을 의미한다.

많은 연구자들이 생태서비스기능에 대한 분류와 가치분류에 대한 연구를 진행하였다. 그 중에서 잘 알려진 기능 분류는 Costanza et al.(1997)의 연구로, 생태서비스의 기능을 생물생산, 물질순환조절, 토양의 형성과 유지, 기후 조절, 기후와 기체구성, 환경정화, 생물다양성 유지, 화분 전파와 파종, 재해 방지와 사회문화 원천 등 17개 유형으로 분류하고 여러 가지 경제평가 방법을 이용하여 매개 기능의 단위면적 가치를 계산하였다. 지구의 생태계통은 16개 생물지리 군락 중 17종 생태서비스 기능에 대해 평가하였는데, 자연생태계통이 제공하는 제품과 서비스의 총 가치는 33×10^{12} 달

러/ha에 달하여 전 세계 국민총생산액인 18×10^{12} 달러/ha의 2배에 달하였다.

본 연구에서는 이와 같은 상황에 비추어 RS/GIS 기술을 이용하여 두만강 연안의 접경도시 무산시와 회령시의 토지이용과 토지피복 변화를 살펴보고 생태서비스가치(Ecosystem Services Value:ESV) 평가방법을 이용하여 토지이용 경관의 변화로 인한 생태서비스기능의 변화와 가치의 손익에 대해 정량적으로 비교·분석하고자 한다. 본 연구에서는 무산시는 북한의 주요한 광산도시이고 회령시는 일반 도시로서 두 도시의 생태환경 변화는 일정한 차이를 갖고 있다는 가정을 전제로 한다.

2) 연구범위와 방법

(1) 연구범위

본 연구의 시간적 범위는 일제에 의해 연구지역의 1:5만 지형도가 제작되기 시작한 1917년부터 2006년 사이이다. 공간적 범위는 무산시와 그 주변 지역, 회령시와 그 주변지역이다. 구체적으로 무산지역은 $129^{\circ}10' \sim 129^{\circ}20'E$, $42^{\circ}11' \sim 42^{\circ}18'N$

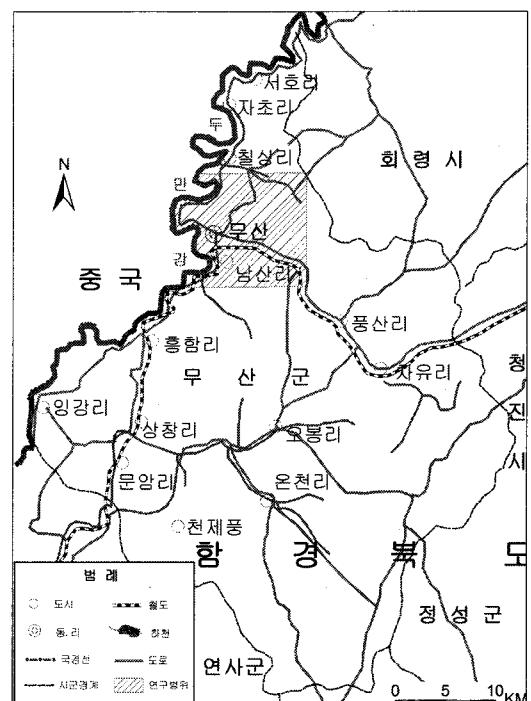


그림 1. 무산군 연구지역

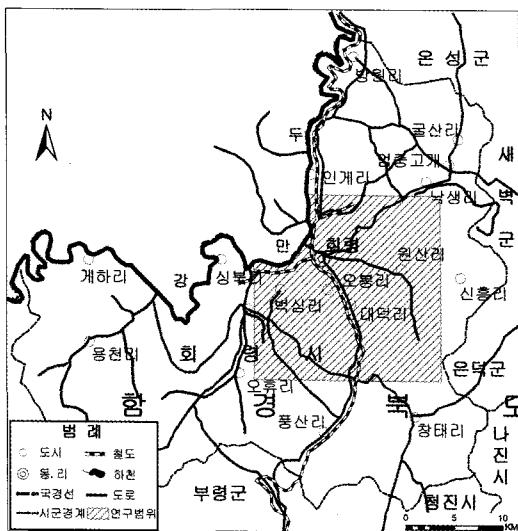


그림 2. 회령시 연구지역

으로서 면적은 약 32,475.24ha이다. 회령지역은 $129^{\circ}40' \sim 129^{\circ}56'E$, $42^{\circ}20' \sim 42^{\circ}30'N$ 으로서 면적은 약 12,505.61ha이다(그림 1, 2).

무산군은 북한 함경북도 중부 내륙지역에 위치해 있는 군으로서 북동쪽은 회령시, 동쪽은 부령군·청진시, 남쪽은 경성군, 서쪽과 남서쪽은 연사군과 접해 있으며 북서쪽은 두만강을 사이에 두고 중국의 화룡시와 마주하고 있다. 대부분 지역은 800m 이상의 산지로 되어 있으며 연평균 강수량은 약 500mm로서 비교적 적다. 면적은 1,300여 km^2 에 달하며 현재의 행정구역은 1읍 6구 15리로 되어 있고 소재지는 무산읍이다. 이곳은 북한에서 가장 큰 철광석 산지인 무산철광이 있다.

회령시는 함경북도 북부 두만강 연안에 위치해 있는 시로서 서쪽은 무산군, 남쪽은 부령군·청진시, 동쪽은 은덕군·새별군·온성군과 접해 있으며 북쪽은 두만강을 사이에 두고 중국의 용정시와 마주하고 있다. 지형은 산지가 대부분이며 500~800m의 산지면적이 높은 비중을 점한다. 연평균 강수량은 600mm로서 비교적 적다. 회령시의 면적은 1,750여 km^2 에 달하며 행정구역은 19동 28리로 되어 있다. 회령시는 두만강 연안에서 가장 큰 도시로서 제지공업, 석탄공업, 식품공업, 기계공업 등이 입지해 있다.

(2) 연구방법

① 토지이용/토지피복 수량의 변화

첫째, 토지이용/토지피복 수량 변화폭으로 토지이용유형의 면적 변화는 한 지역의 토지이용 변화의 중요한 측면으로서 이를 통하여 토지이용변화의 종적인 추세를 이해할 수 있다.

둘째, 토지이용/토지피복의 변화속도로 토지이용 상황은 한 지역의 토지이용 변화의 속도를 정량적으로 나타낼 수 있다. 이는 토지이용 변화의 지역 차이와 미래의 토지이용변화 추세를 예측함에 있어 중요한 작용을 한다.

셋째, 토지이용정도의 종합지수 모델을 설정한다. 토지이용정도는 주로 토지이용의 범위와 정도를 나타내는데, 토지이용 중의 토지 본연의 자연속성을 나타낼 뿐만 아니라 인위적 요인과 자연요인의 종합 효과를 나타낸다. 劉紀遠(1996)이 제출한 토지이용 정도의 종합분석 방법에 의하면 토지이용 정도를 토지 자연종합체가 사회적 요인의 영향 하의 자연평형상태에 대해 약간의 등급으로 나누고 분류 지수를 부여하여 토지이용정도 종합지수 및 토지이용정도 변화모델의 정량적인 공식을 제출하였다.

② 생태서비스가치 평가방법

생태서비스의 경제적 가치를 평가하는 것은 환경과 생태계통 보호에 대한 사회적 가치를 부여하는 중요한 방법이다(陳仲新·張新時, 2000). 토지이용/토지피복변화(Land Use and Land Cover Change: LUCC)는 생태계통의 구조와 기능을 변화시키는 것을 통하여 생태계통의 유지와 서비스 기능에 대해 결정적인 작용을 한다(Turner II, et al., 1995). 따라서 LUCC 배경 하에서 한 지역의 ESV 변화를 연구하는 것은 매우 중요하기에 세계 여러 나라의 연구자들이 이에 대해 많은 연구를 하였다(盧遠 등, 2006; 吳後建 등, 2006; Wang, et al., 2005; 王宗明 등, 2004; 張峰 등, 2003; 任志遠, 2003; Boluan, et al., 1999; Holmund, et al., 1999; David, 1997).

무산과 회령지역은 중국과 인접한 지역으로서 생태환경이 비슷하기에 중국에서 사용하는 생태계통 단위면적 당 생태서비스표를 이용하고자 한다. 그러나 연구지역의 실질 상황을 고려하여 謝高地 등(2006)의 생태서비스가치표를 일부 수정 하였다. 즉, 연구지역의 인공임지는 주로 벌채한 후의 나

북한 무산시와 화령시의 토지이용 변화에 따른 생태서비스 가치 연구

표 1. 생태계 단위면적 당 생태계서비스가치

(단위: 원/ha)

서비스유형	경작지	천연림	인공림	초지	수역	습지	미이용지
기체조절	89,049.90	623,389.56	311,694.78	142,491.92	0	320,591.72	0
기후조절	158,514.46	480,897.64	240,458.88	160,305.92	81,924.30	3,045,671.63	0
수원함양	106,863.9	569,947.54	284,983.83	142,491.92	36,298,744.00	2760707.92	5,334.14
토양형성과 보호	260,044.23	694,625.45	347,322.79	347,322.79	1,771.34	304,569.18	3,562.80
폐기물처리	292,109.44	233,333.28	116,666.64	233,333.28	3,238,043.00	3,238,042.76	1,771.34
생물다양성 보호	126,449.25	580,635.94	290,317.97	194,142.47	443,498.30	445,289.76	60,547.49
食物생산	178,119.93	17,814.01	8,917.07	53,442.02	17,814.01	53,442.02	1,771.34
원자재	17,814.01	463,083.63	231,541.82	8,896.94	1,771.34	12,459.74	0
위락	1,771.34	227,979.02	113,989.51	7,125.60	772,986.90	988,506.22	1,771.34
총가지	1,230,736.46	3,891,706.06	1,945,853.02	1,289,552.85	40,856,552.91	11,169,280.93	74,758.44

자료: 謝高地·魯春霞·冷允法, 2010, 青藏高原生態資產的價值評估, 自然資源學報, 18(2), 189~196.

지로서 일부 이차림이 형성되기는 하였지만 일부 지역은 여전히 나지로 나타난다. 때문에 토지이용 유형 중 인공임지 각 항목의 생태서비스가치는 천연림의 반을 취하여 각 항목의 생태서비스가치로 정하였다. 수정한 후의 표는 다음과 같다(표 1).

앞에서도 지적하였지만 Costanza(1997)의 생태계통 서비스의 기능 분류 관련 연구는 이 분야에서 가장 권위적인 연구이다. 그의 연구 이후 많은 연구자들은 생태계통서비스 기능의 분류와 가치와 관련되는 연구를 진행 하여 이 분야가 생태학과 경제학 분야의 새로운 이슈로 되었다. 주요한 연구를 살펴보면 David(1997)는 생태계통 서비스의 여러 측면에 대해 계통적으로 연구하고 나서 사회시스템은 자연생태시스템에 의존한다고 하였다. 湯潔等(2007)은 중국 흑룡강성 松嫩平原의 토지이용 변화 상황을 분석한 다음 송눈평원의 생태계통 서비스 가치를 계산하였다. 李方等(2007)은 흑룡강성 穀棲-興凱 유역의 지형도와 여러 시기의 위성 영상을 이용하여 각 시기의 생태계통 서비스 가치와 구성을 분석하였다. 謝高地等(2006)은 Costanza(1997)의 방법을 이용하여 중국의 자연초지 생태계통 서비스 가치를 평가한 결과 중국의 실정에 적합한 것으로 평가하였다. 본 연구지역은 비록 북한이지만 중국과 접경하여 자연과 인문적인 요소들이 비슷하고 모두 사회주의 국가로서 앞으로의 지속적인 비교연구에 도움이 될 수 있다고 판단되기에 Costanza(1997)의 가치표를 이용하였다.

3) 연구자료

최근에 와서 RS/GIS기술이 발전함에 따라 공간자리 데이터는 개발과 계획에 중요한 역할을 하고 있다. 토지이용 자료는 GIS 프로그램을 바탕으로 지형도와 TM 영상을 주요한 자료원으로 데이터베이스를 구축하였다.

본 연구에서는 89년 사이의 1917년과 1976년 및 2006년 3개 시점을 선택하여 지형도와 TM영상 및 통계수치와 관련되는 도면을 이용하여 토지이용의 동태적인 변화를 분석하였다.

본 연구에서는 연구의 수요와 지형도에 따라 토지유형을 경작지, 천연림, 인공림, 초지, 수역, 습지, 건축용지(광산 포함) 및 미이용지 등 8개 유형으로 구분하였다. 1917년과 1976년의 데이터는 1:5만 지형도의 수치화를 통하여 얻었고 2006년은 TM영상(2006년 10월, 115~31)을 통하여 얻었다. 토지이용 분류시 지형도와 위성영상을 바탕으로 하고 조선총독부(1921, 1923, 1936), 박경석 등(2009), 부경생(2001), 조선향토대백과사전(2006)을 참고로 하여 분류하였다. 특히 천연림과 인공림은 영상과 지형도의 정보만으로 분류할 수 없기 때문에 산림 지역을 작성한 후에 식생밀도가 낮을 지역을 중심으로 문현을 재해석하여 인공림지역을 구분하였다. 또한 현장 자료 확보기 어렵기 때문에 국경지역 답사를 통해 관찰 결과를 분류에 반영함으로써 정확도의 한계를 보완하였다. 분석을 통하여 얻은 연구지역 토지이용도는 <그림 3~8>과 같다.

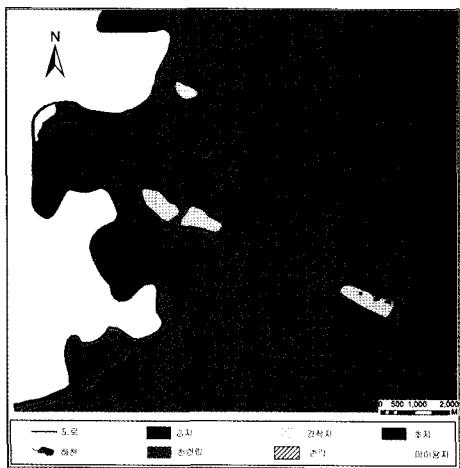


그림 3. 무산지역 1917년 토지이용도

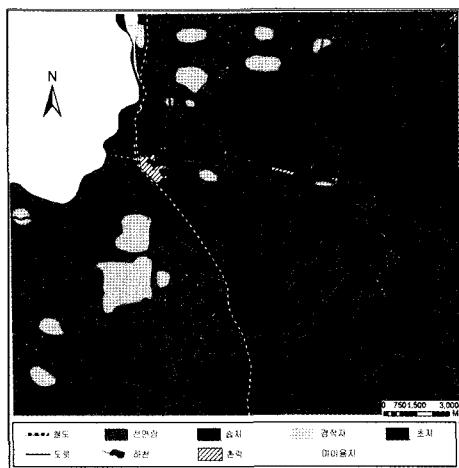


그림 4. 회령지역 1917년 토지이용도

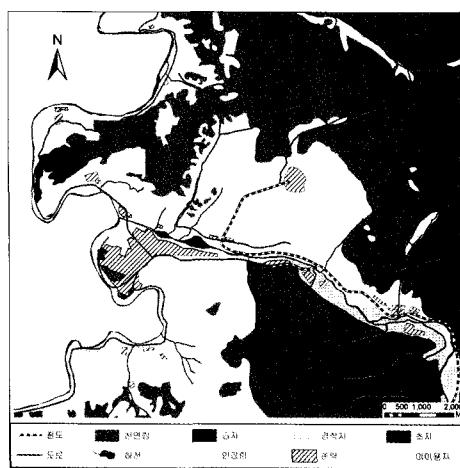


그림 5. 무산지역 1976년 토지이용도

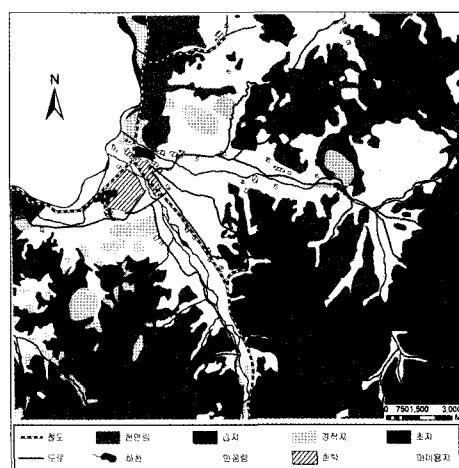


그림 6. 회령지역 1976년 토지이용도

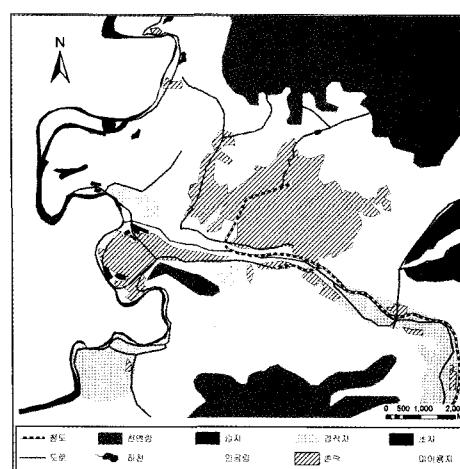


그림 7. 무산지역 2006년 토지이용도

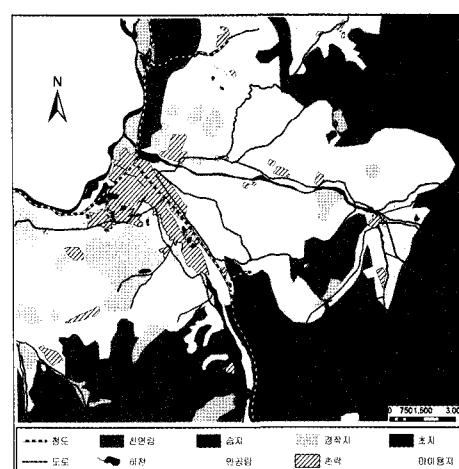


그림 8. 회령지역 2006년 토지이용도

북한 무산시와 회령시의 토지이용 변화에 따른 생태서비스 가치 연구

표 2. 분류 결과 검증

(단위: 개, %)

샘플	경작지	천연림	인공림	초지	수역	습지	건축용지	미이용지
隨機點數 무작위로 분포된 점의 수	102	167	348	313	83	37	56	154
正確點數 정확한 점의 수	99	162	343	310	80	33	51	148
정확도	97.06	97.00	98.56	99.04	96.39	89.18	91.07	96.10

토지이용도를 작성한 다음 정확도 평가를 진행하였다. 특히 영상 특징이 뚜렷하지 않은 유형에 대해 정밀한 평가를 실시하였다. 정확도 평가는 모든 위성영상을 이용한 분류에서 필수 과정이다. 영상 취득과정에서 만들어진 지표정보와 관련 없는 얼룩, 무늬, 점들과 대기 및 자형에 의한 난반사 영상 사상들은 연구자에게 해석 오류를 일으키게 한다. 작업양이 많은 경우에 이런 오차는 피하기 어렵다. 때문에 적당한 정확도 평가방법을 선택하는 것은 분류 정확도를 높이는 가장 효과적인 방법이다.

전형적인 정확도 평가에는 세 가지 부분이 포함된다. 즉, response design, sampling, analysis and estimation 등이다. response design은 참조데이터를 사용하여 평가하는 것이고, sampling은 샘플 방법을 설계하여 분류 정확도를 평가하는 방법이고, analysis and estimation은 정확도 계산과 표준 오차의 평가 및 오차 가능한 원인을 분석하여 평가하는 방법이다. 본 연구에서는 연구지역의 샘플

추출 조사를 통하여 검증하였다. 검증은 지형도와 위성의 위치한 지점의 토지이용 정보와 작성한 토지이용 분류도에서 무작위 점을 추출하여 두 지점의 분류 정확도를 분석하였다. 분류결과 <표 2>와 같이 관독 정확도는 95% 이상에 달하여 정확도 요구를 만족 시켰다.

2. 토지이용/토지피복 변화

1) 토지이용/토지피복 변화폭

무산지역의 1917~2006년 데이터에 대해 통계분석을 한 결과, 다음의 <표 3>과 같은 결과를 얻었다.

상기 표에서 알 수 있는 바, 무산지역의 토지이용 변화특징은 다음과 같다.

첫째, 경작지 면적이 큰 폭으로 증가되었다. 무산지역의 경작지 면적은 1917~2006년 사이에 186.4ha에서 946.3ha로 증가되어 토지이용 변화 총량의 4.34%를 점하였다. 그중 1917~1976년 사

표 3. 1917~2006년 무산지역의 토지이용 변화표

(단위: ha)

변화	경작지	천연림	인공림	초지	수역	습지	건축용지	미이용지
면적	1917	186.3881	10992.1160	0	309.4374	428.0858	468.9843	91.3518
	1976	226.8954	6663.208	4189.0214	26.3281	217.6249	111.9542	322.4743
	2006	946.3221	3066.7806	6099.9681	34.3695	304.9946	34.0061	1510.8974
1917~1976	면적변화	40.5073	-4328.908	4189.0214	-283.1093	-210.4609	-357.0301	231.1225
	변화폭%	21.7328	-39.3819	-	-91.4916	-49.1633	-76.1284	253.0027
	연변화율%	0.3684	-0.6675	-	-1.5507	-0.8333	-1.2903	4.2882
1976~2006	면적변화	719.4267	-3596.43	1910.947	8.0414	87.3697	-77.9481	1188.423
	변화폭%	317.0742	-53.9745	45.6179	30.543	40.1469	-69.625	368.5326
	연변화율%	10.5691	-1.7992	1.5206	1.0181	1.3382	-2.3208	12.2844
1917~2006	면적변화	759.934	-7925.340	6099.968	-275.068	-123.091	-434.978	1419.546
	변화폭%	407.7159	-72.1002	-	-88.8929	-28.7538	-92.7489	1553.933
	연변화율 %	4.5811	-0.8101	-	-0.9988	-0.3231	-1.0421	17.4599

이에는 40.5ha 밖에 증가되지 않았지만 1976~2006년 사이에는 719.4ha 증가되어 경지 확대가 주로 이 시기에 진행되었음을 알 수 있다.

둘째, 천연림의 면적이 뚜렷이 감소되었다. 1917~2006년 사이에 무산지역의 천연림은 10,992.1ha에서 3,066.8ha로 감소되어 토지이용 변화 총량의 45.24% 점함으로써 토지이용 유형 중 변화폭이 가장 커다. 1976~2006년 사이에 인공림의 면적이 4,189.0ha에서 6,100.0ha로 증가되었지만 인공림은 천연림을 벌채한 후의 이차림으로서 아직 삼림을 형성하지 않아 삼림으로서의 생태효과가 뚜렷하지 않고 있다. 때문에 무산지역의 천연림은 비교적 심한 파괴를 받아 삼림자원 보호가 필요하다.

셋째, 초지와 습지 및 수역의 면적이 뚜렷이 감소하였다. 1917~2006년 사이에 습지는 469.0ha에서 34.0ha로 감소되어 변화폭이 -92.8%에 달하였다. 수역과 초지도 89년 사이에 각각 123.1ha와 275.1ha 감소되었다.

넷째, 건축용지의 면적이 급속히 확대되었다. 1917~2006년 사이에 무산지역의 건축용지는 91.4ha에서 1,510.89ha로 증가되어 토지이용 변화 총량의 8.10%를 점하였다. 이는 주로 이 지역은 북한에서 가장 큰 철광산인 무산철광이 위치해 있어 이의 개발이 확대되었기 때문이다.

회령지역의 1917~2006년 데이터에 대해 통계분석을 한 결과, 다음의 <표 4>와 같은 결과를 얻었다. 상기 표에서 알 수 있는 바, 회령지역의 토지이

용 변화특징은 다음과 같다.

첫째, 천연림의 면적이 급속히 감소되었다. 1917~2006년 사이에 회령지역의 천연림은 27,687.6ha에서 15,079.3ha로 감소되어 토지이용 변화 총량의 42.5%를 점하였다. 이는 무산지역의 그것과 비슷한 양상을 나타내었다. 이 지역에서도 인공림은 약간의 증가추세를 나타내지만 아직 삼림을 형성하지 못하고 있는 실정이다.

둘째, 건축용지가 급속히 확대되었다. 1917~2006년 사이에 회령지역의 건축용지는 310.1ha에서 1,420.1ha로 증가되어 연간 증가율은 4.0%에 달하였다.

셋째, 초지와 습지 및 수역의 면적이 뚜렷이 감소하였다. 그 중 감소폭이 가장 큰 것이 초지이다. 1917~2006년 사이에 초지는 1,638.1ha에서 43.8ha로 감소되어 변화폭이 -97.33%에 달하였다. 습지와 수역도 89년 사이에 각각 656.0ha와 135.3ha 감소하였다.

넷째, 경작지 면적이 뚜렷이 증가하였다. 1917~2006년 사이에 회령지역의 경작지는 1,362.1ha에서 2,220.7ha로 증가되어 변화폭이 63.04%에 달하였으며 토지이용 변화 총량의 2.86%를 점하였다. 경작지 변화 속도는 전반 시기에 걸쳐 비교적 평온하게 증가하는 추세를 나타내었다.

이상의 분석을 통하여 알 수 있는 바, 무산과 회령지역의 각 토지이용 유형은 89년 사이에 뚜렷한 변화를 가져왔다. 이는 변화속도를 통하여 알

표 4. 1917~2006년 회령 지역의 토지이용 변화표

(단위: ha)

변화	경작지	천연림	인공림	초지	수역	습지	건축용지	미이용지
면적	1917	1362.084	27687.6405	0	1638.1391	626.0235	782.3680	310.1386
	1976	1861.0848	19761.7375	8939.7617	95.3278	196.9042	154.6074	819.9791
	2006	2220.6954	15079.2827	12311.2954	43.8025	490.7666	126.4104	1420.0429
1917~1976	면적변화	499.0008	-7925.903	8939.7617	-1542.8110	-429.1193	-627.7606	509.8405
	변화폭%	36.6351	-28.6261	-	-94.1807	-68.5468	-80.2386	164.3912
	연변화율%	0.6209	-0.4852	-	-1.5963	-1.1618	-1.3599	2.7863
1976~2006	면적변화	359.6106	-4682.4548	3371.5337	-51.5253	293.8624	-28.197	600.0638
	변화폭%	19.3226	-23.6946	37.7139	-54.0507	149.2413	-18.2378	73.1804
	연변화율%	0.2171	-0.2662	0.4238	-0.6073	1.6769	-0.2049	0.8223
1917~2006	면적변화	858.6114	-12608.4	12311.3	-1594.34	-135.257	-655.958	1109.904
	변화폭%	63.0366	-45.538	-	-97.3263	-21.6057	-83.8426	357.8735
	연변화율 %	0.7083	-0.5117	-	-1.0936	-0.2428	-0.9421	4.0211
								11.5555

북한 무산시와 희령시의 토지이용 변화에 따른 생태서비스 가치 연구

수 있다. 무산지역은 89년 사이에 토지이용 증가 속도가 가장 빠른 것이 건축용지로서 연간 증가율이 17.46%에 달하였다. 두 번째로 증가속도가 빠른 것이 미이용지로서 연간 증가율이 16.93%에 달하였다. 이는 이 지역은 철광석이 풍부한 지역으로서 일제시기부터 철광석 개발이 본격적으로 진행되었기 때문이라고 사료된다. 경작지면적의 연간 증가율은 4.53%로서 세 번째로 증가속도가 빠른 토지유형이다. 이는 광산개발이 증가함에 따라 이 지역의 인구가 급속히 증가되면서 농경지 수요가 확대되었기 때문이라고 하겠다. 여타 토지이용 유형은 모두 감소하는 추세를 나타내고 있다.

희령지역은 89년 사이에 토지이용 증가속도가 가장 빠른 것이 미이용지로서 연간 증가율이 11.56%에 달하였다. 두 번째로 증가속도가 빠른 것이 건축용지이고 그 다음은 경작지이다. 여타 토지이용 유형도 무산지역과 마찬가지로 모두 감소하는 추

를 부여한 것이 <표 5>이다. 이 분류지수를 이용하여 토지이용정도의 종합지수 및 토지이용정도의 변화를 구할 수 있다.

어떤 연구지역의 토지이용 정도 종합지수를 구하는 공식은 다음과 같다.

$$L_j = 100 \times \sum_{i=1}^n A_i \times C_i \quad (1)$$

위의 공식에서 L_j 는 어떤 연구지역의 토지이용 정도 종합지수이고; A_i 는 연구지역 내 i 번째 급 토지이용정도 분류지수이고; C_i 는 연구지역내 i 번재 급 토지이용정도 분류면적 비중이고; n 는 토지이용정도 분류 수이다. 공식 (1)에 의하여 계산한 양 지역의 1917~2006년 사이 토지이용유형 종합지수는 <표 6, 7>과 같고, <그림 9, 10>은 각각의 토지이용 종합지수 추세도이다.

표 5. 토지자원 이용 유형 분류표

항목	미이용지 등급	삼림, 초지, 수역 등급	농업용지 등급	건축용지 등급
토지이용유형	미이용지 혹은 난이용지 등	임지, 초지, 수역 등	경작지, 원림, 인공초지 등	도시, 촌락, 광산, 교통용지 등
분류지수	1	2	3	4

세를 나타내고 있다. 이는 이 지역은 두만강 연안에서 가장 큰 도시로서 인구가 상대적으로 많기 때문이라고 사료된다.

양 지역에서 특히 무산지역의 경작지 면적 증가 속도는 연간 4.58%로서 희령지역의 그것(0.71%)에 비하여 훨씬 빠른 양상을 나타내는데 이는 무산지역은 희령지역에 비하여 평야가 상대적으로 적기 때문에 식량 생산을 위한 경작지 개간이 많이 이루어졌기 때문이라고 사료된다. 무산지역의 건축용지 면적의 증가 속도도 연간 17.46%로서 희령지역의 그것(4.02%)에 비해 훨씬 빠르게 나타나는데, 이는 무산지역의 건축용지에 광산구역이 포함되어 큰 면적을 점하였기 때문이다.

2) 토지이용정도 종합지수

劉志遠(1996)이 제시한 토지이용 종합분석방법에 의하여 토지이용 정도를 재구성하여 분류지수

표 6. 1917~2006년 무산지역 토지이용 종합지수

항 목	1917	1976	2006
미이용지 등급	0.25	6.01	4.08
삼림, 초지, 수역 등급	93.78	55.22	27.23
농업용지 등급	1.49	35.3	56.34
건축용지 등급	0.73	2.58	12.08
토지이용 종합지수	195.2	232.67	275.88

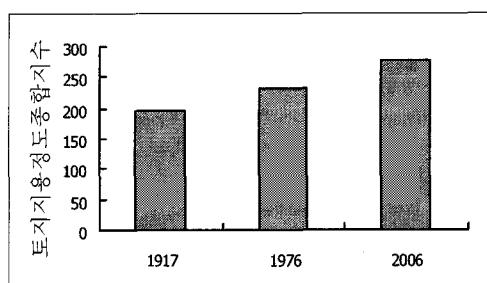


그림 9. 1917~2006년 무산지역 토지이용종합지수 추세도

표 7. 1917~2006년 회령지역 토지이용 종합지수

항 목	1917	1976	2006
미이용지 등급	0.21	1.99	2.41
삼림, 초지, 수역 등급	94.64	62.23	46.43
농업용지 등급	4.19	32.26	44.75
건축용지 등급	0.95	2.52	4.37
토지이용 종합지수	202.06	226.31	229.52

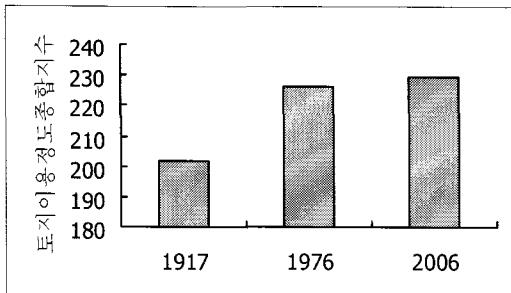


그림 10. 1917~2006년 회령지역 토지이용종합지수 추세도

<그림 9>에서 알 수 있는 바, 무산지역의 토지이용 종합지수는 꾸준히 증가하는 추세를 나타내고 있다. 그러나 1976~2006년 사이의 증가폭은 그 전에 비해 조금 빠른 증가세를 보이고 있어 이 시기에 토지이용 정도가 그 이전 시기에 비하여 빠름을 알 수 있다.

<그림 10>에서 알 수 있는 바, 회령지역의 토지이용 종합지수도 증가하는 추세를 나타내고 있다. 그러나 1917~1976년 사이의 변화폭은 24.25로서

1976~2006년 사이의 그것(3.21)에 비해 훨씬 빠르다. 이는 1917~1976년 시기의 토지이용 정도가 그 이후의 시기에 비하여 빠름을 알 수 있다.

3. 생태계서비스가치(ESV) 변화

ESV 계산공식은 다음과 같다(Costanza, et al., 1997).

$$ESV = \sum VC_k \times A_k \quad (2)$$

$$ESV_f = \sum VC_{fk} \times A_k \quad (3)$$

위 공식에서 ESV 는 토지이용 유형별 생태계통 서비스 총가지(원)이고, VC_k 는 생태계통 서비스 가치표 중의 토지이용 유형 k 의 분포면적(ha)이며; ESV_f 는 생태계통 기능 서비스 총가지(원)이고, VC_{fk} 는 각 토지이용 유형의 서비스 기능 가치계수(원/ha)이다.

즉 한 지역 내의 생태계통 서비스 총가치는 각 토지이용 유형의 면적과 그의 생태계통 서비스 가치표 중의 총가지 weight를 곱하고 나서 모든 가치의 합을 구한 것이다. 각 토지이용 유형의 생태계통 서비스 가치는 각 토지이용 유형의 면적에 상응한 각 생태계통 서비스 기능의 weight를 곱하고 다시 생태계통 서비스 유형에 따라 합을 구한 것이다.

표 8. 1917~2006년 무산지역의 ESV와 구성 변화

(단위: ha)

변화	경작지	천연림	인공림	초지	수역	습지	미이용지	합계
가치계수 (백만원/ha)	1,230,736.46	3,891,706.06	1,945,853.02	1,289,552.85	40,856,552.91	11,169,280.93	74,758.44	-
1917년 ESV(백만원)	229.47	42,777.77	0	398.56	17,489.93	5237.52	2.01	66,135.26
비중(%)	0.35	64.68	0	0.60	26.45	7.92	0	-
1976년 ESV(백만원)	279.79	25,931.96	8,150.16	34.22	8,890.90	1,249.99	56.36	44,593.38
비중(%)	0.63	58.15	18.28	0.08	19.94	2.80	0.12	-
2006년 ESV(백만원)	1,165.46	11,934.38	11,869.97	44.28	12,461.75	380.43	38.24	37,894.51
비중(%)	3.08	31.49	31.32	0.12	32.89	1.00	0.10	-
1917~2006년 ESV변화	935.99	-30,843.40	11,869.97	-354.28	-5,028.18	-4,857.09	36.23	-28,240.75
변화 절대치 비중(%)	1.74	57.19	22.01	0.66	9.32	9.01	0.07	-

표 9. 1917~2006년 회령지역의 ESV와 구성 변화

(단위: ha)

변화	경작지	천연림	인공림	초지	수역	습지	미이용지	합계
가치계수 (백만원/ha)	1,230,736.46	3,891,706.06	1,945,853.02	1,289,552.85	40,856,552.91	11,169,280.93	74,758.44	-
1917년 ESV (백만원)	1,676.73	107,752.19	0	2112.12	25,577.69	8,737.92	6.04	145,862.69
비중(%)	1.15	73.87	0	1.45	17.54	5.99	0	-
1976년 ESV (백만원)	2,290.50	76,906.87	17,395.46	122.93	8,044.83	1,726.85	48.44	106,535.77
비중(%)	2.15	72.19	15.33	0.12	7.55	1.62	0.04	-
2006년 ESV (백만원)	2,733.49	58,683.56	23,955.31	56.36	20,050.32	1,411.03	58.37	106,948.44
비중(%)	2.56	54.87	22.39	0.05	18.75	1.32	0.06	--
1917~2006년 ESV변화	1,056.76	-49,068.6	23,955.31	-2,055.76	-5,527.37	-7,326.89	52.33	-38,914.25
변화 절대치 비중(%)	1.19	55.10	26.90	2.31	6.21	8.23	0.06	-

1) ESV의 변화

공식 (2)에 근거하여 계산한 무산지역의 ESV 및 구성 변화는 <표 8>과 같다. 무산지역의 ESV는 1917년의 $66,135.26 \times 10^6$ 원으로부터 2006년의 $37,894.51 \times 10^6$ 원으로 감소하여 감소폭이 42.8%에 달하였으며 연간 감소율은 0.48%에 달하였다. 그 중 천연림이 감소함에 따라 ESV는 $30,843.40 \times 10^6$ 원 감소하여 총변화가치의 57.19%를 차지하였다. 비록 인공림과 경작지 및 미이용지가 증가하여 ESV가 $12,842.19 \times 10^6$ 원 증가하였지만 여전히 감소세를 나타내었다.

공식 (2)에 근거하여 계산한 회령지역의 ESV 및 구성 변화는 <표 9>와 같다. 회령지역의 ESV는 1917

년의 $145,862.69 \times 10^6$ 원에서 2006년의 $106,948.44 \times 10^6$ 원으로 감소하여 감소폭이 26.68%에 달하였으며 연간 감소율은 0.30%에 달하였다. 이 지역은 천연림의 면적이 감소함에 따라 ESV가 모두 $49,068.6 \times 10^6$ 원 감소하였다. 인공림의 면적이 증가함에 따라 ESV가 $23,955.31 \times 10^6$ 원 증가하였지만 전반적인 감소세를 막지는 못했다.

이상에서 알 수 있는 바, 무산지역과 회령지역의 ESV는 전반적으로 감소하는 추세를 나타내어 양 지역 모두 생태환경 파괴가 심각함을 알 수 있다.

2) 생태계 기능서비스 가치(ESV_f)의 변화

공식 (3)에 근거하여 계산한 무산지역 ESV_f 의

표 10. 1917~2006년 무산지역 ESV_f 변화표

(단위: 백만 원)

변화	기체조절	기후조절	水源涵養	토양형성 과 보호	폐기물 처리	생물다양 성 보호	식물 생산	원자재	위력	합계
1917	ESV_f	7,063.20	6,827.69	23,162.23	7,934.78	5,597.82	6,865.94	277.79	5,104.67	3,303.14
	%	10.68	10.33	35.02	12.00	8.46	10.38	0.42	7.72	4.99
1976	ESV_f	15,334.62	12,450.32	21,600.86	17,398.74	7,359.28	14,518.80	781.26	11,257.44	5,834.45
	%	14.39	11.69	20.28	16.33	6.91	13.63	0.73	10.57	5.47
2006	ESV_f	3,913.04	3,226.65	14,761.46	4,518.92	2,809.98	3,858.69	288.84	2,850.21	1,666.67
	%	10.33	8.52	38.95	11.93	7.42	10.18	0.76	7.52	4.39
1917~ 2006	ΔESV_f	-3,150.16	-3,601.04	-8,400.77	-3,415.86	-2,787.84	-3,007.25	11.05	-2,254.46	-1,636.47
	%	-44.6	-52.74	-36.27	-43.05	-49.8	-43.8	3.62	-44.16	-49.54

표 11. 1917~2006년 회령지역 ESV_f 변화표

(단위: 백만 원)

생태서비스 기능		기체조절	기후조절	水源涵養	토양형성 과 보호	폐기물 처리	생물다양 성 보호	식물생산	원자재	위력	합계
1917	ESV_f	17,864.33	16,234.89	41,042.86	20,394.53	11,799.51	17,196.05	875.60	12,870.37	7,584.54	145,862.69
	%	12.25	11.13	28.14	13.98	8.09	11.79	0.60	8.83	5.19	100.00
1976	ESV_f	15,617.85	12,578.39	21,837.66	17,556.36	7,208.13	14,752.31	613.93	11,517.71	5,972.23	107,654.57
	%	14.51	11.68	20.28	16.13	6.7	13.70	0.57	10.70	5.55	100.00
2006	ESV_f	13,482.28	10,995.37	30,513.28	15,384.46	7,613.73	12,940.82	793.07	9,875.18	5,350.25	106,948.44
	%	12.61	10.28	28.53	14.38	7.12	12.1	0.74	9.23	5.01	100.00
1917~ 2006	ΔESV_f	-4,382.05	-5,239.52	-10,529.60	-5,010.07	-4,185.78	-4,255.23	-82.53	-2,995.19	-2,234.29	-38,915.25
	%	-24.53	-32.26	-25.65	-24.57	-35.47	-24.75	-9.43	-23.27	-29.46	-

변화는 <표 10>과 같다. 이 표에서 알 수 있는 바, 가장 주요한 생태서비스기능인 水源涵養의 감소폭이 가장 큰데 89년 사이에 $8,400.77 \times 10^6$ 원 감소하였다. 이는 주로 천연림, 초지, 수역, 습지의 때문이다. 기후조절과 기체조절 및 토양형성과 보호 항목의 감소량은 비슷하여 89년 사이에 각각 $3,501.04 \times 10^6$ 원, $3,150.16 \times 10^6$ 원, $3,415.86 \times 10^6$ 원 감소하였다. 이는 주로 천연림과 초지 면적의 감소 때문이다.

공식 (3)에 근거하여 계산한 회령지역의 ESV_f 의 변화는 <표 11>과 같다. 이 표에서 알 수 있는 바, 역시 가장 주요한 생태서비스기능인 수원함양의 감소폭이 급격하여 89년 사이에 도합 $10,529.60 \times 10^6$ 원 감소하여 전체 변화량의 25.6%를 점하였다. 이는 주로 습지와 수역 면적의 감소 때문이다. 기후조절과 토양형성과 보호 항목의 감소량은 비슷하여 89년 사이에 각각 $5,239.524 \times 10^6$ 원과 $5,010.07 \times 10^6$ 원 감소하였다. 토양형성과 보호 항목의 비중은 증가하였는데 이는 주로 기후조절과 폐기물처리 비중이 급감하였기 때문이다. 이밖에 기체조절과 폐기물처리 및 생물다양성 보호 항목의 감소폭은 비슷하다.

이상에서 알 수 있는 바, 무산과 회령지역의 ESV_f 는 전반적으로 감소하는 추세를 나타내었다. 이는 생태계통 서비스기능에 있어 주요한 작용을 해야 할 각 항목들이 정상적인 기능을 발휘하지 못하고 있음을 시사한다.

4. 요약 및 결론

북한의 토지이용변화에 관한 연구는 90년대 이래 국제 학술계의 이슈로 떠오르고 있다. 본 연구에서는 RS와 GIS기술 및 통계방법을 이용하여 상이한 시기의 지형도와 위성영상 분석을 통하여 무산시와 회령시의 토지이용과 토지피복 변화의 정량적인 변화특징, 구조변화특징 및 토지이용 정도의 변화특징을 살펴보았다. 이에 더하여 생태서비스의 변화에 대해 살펴보았다. 그 결론은 다음과 같다.

첫째, 1917~2006년 사이에 무산과 회령지역의 경작지, 인공림, 건축용지, 미이용지의 면적은 증가하는 추세를 나타내고 기타의 토지이용 유형은 감소하는 추세를 나타내고 있다. 그 중 무산지역의 건축용지 증가속도는 가장 빨라 연간 증가율이 17.46%에 달한다. 그 다음은 미이용지의 연간 증가율이 16.93%에 달하였는데 이는 주로 광산주변의 미이용지 면적이 증가하였기 때문이다. 회령지역의 미이용지의 증가속도는 가장 빠른데 연간 증가율이 11.56%에 달하였다. 그 다음은 건축용지로서 연간 변화율이 4.02%에 달하였다. 이는 경제가 발전함에 따라 기초시설 투입이 증가하고 공장과 기업이 증가하면서 건축용지가 증가하였기 때문이라고 해석된다.

둘째, 토지지용 종합지수는 양 지역 모두 꾸준히 증가하는 추세를 나타내고 있어 토지이용 정도가 날로 심화됨을 알 수 있다.

셋째, 무산지역과 회령지역은 생태환경 파괴가 심각해지면서 ESV 는 전반적으로 감소하는 추세를 나타내고 있다.

넷째, 무산과 회령지역의 ESV_f 는 전반적으로 감소하는 추세를 나타내었다. 이는 생태계통 서비스

기능에 있어 주요한 작용을 해야 할 각 항목들이 정상적인 기능을 발휘하지 못하고 있음을 시사한다.

이상의 분석을 통하여 무산과 회령지역의 토지 이용은 생태서비스 가치의 변화에 있어 결정적인 작용을 힘을 알 수 있다. 전반적으로 볼 때, 양 지역 모두 생태환경은 매우 취약하다. 따라서 상기와 같은 분석은 앞으로 양 지역의 생태환경의 지속 가능한 발전에 과학적인 근거를 제시할 수 있을 것이다.

문 헌

- 박경석 · 이성연 · 박소영, 2009, 1990년대 경제난 이후 북한 산림관리 변화 연구, 통일문제연구, 21(1), 459-492.
- 부경생, 2001, 북한의 농업, 서울대학교 출판부.
- 평화문제연구소, 2006, 조선향토대백과사전, 합경 북도(1,2).
- 朝鮮總督府, 1921, 朝鮮의 林業.
- 朝鮮總督府, 1923, 朝鮮의 林業.
- 朝鮮總督府 農林局, 1936, 朝鮮林業調查事業 報告書.
- 劉紀遠, 1996, 中國資源環境遙感宏觀調查與動態研究, 中國科學技術出版社.
- 謝高地 · 魯春霞 · 冷允法, 2010, 青藏高原生態資產的價值評估, 自然資源學報, 18(2), 189-196.
- 謝高地 · 肖玉 · 魯春霞, 2006, 生態系統服務研究: 進展, 局限和基本範式, 植物生態學報, 30(2), 191-199.
- 湯潔 · 斯萬 · 盧遠遠等, 2007, 土地利用變化對松嫩平原腹地生態系統服務價值的影響, 干旱地區農業研究, 25(4), 30-35.
- 陳仲新 · 張新時, 2000, 中國生態系統效益的價值, 科學通報, 45(1), 17-22.
- 盧遠 · 華瑾 · 王娟, 2006, 東北農牧交錯帶典型區土地利用變化及其生態效應, 中國人口資源與環境, 16(2), 58-62.
- 謝高地 · 肖玉 · 魯春霞, 2006, 生態系統服務研究: 進展, 局限和基本範式, 植物生態學報, 30(2), 191-199.
- 吳後建 · 王學雷, 寧龍梅, 2006, 土地利用變化對生態系統服務價值的影響-以武汉市为例, 长江流域资源与环境, 15(2), 185-190.
- 王宗明 · 張樹清, 張柏, 2004, 土地利用變化對三江平原

生態系統服務價值的影響, 中國環境科學, 24(1), 125-128.

李方 · 張柏 · 張樹清等, 2007, 農田—濕地區域景觀動態及其對生態系統服務功能的影響, 農業系統科學與綜合研究, 23(1), 22-26.

任志遠, 2003, 區域生態環境服務功能經濟價值評價的理論與方法, 經濟地理, 23(1), 1-4.

任志遠 · 張艷芳, 2003, 土地利用變化與生態安全評價, 科學出版社.

劉紀遠, 1996, 中國資源環境遙感宏觀調查與動態研究, 中國科學技術出版社.

張峰 · 周維芝 · 張坤, 2003, 濕地生態系統的服務功益及可持續利用, 地理科學, 23(6), 674-679.

Bolund, P. and Hunhammar, S., 1999, Ecosystem services in urban areas, *Ecological Economics*, 29, 293-301.

Costanza, R., d' Arge, R., and de Groot, R., 1997, The value of the world's ecosystem services and natural capital, *Nature*, 387, 253-260.

David, P., 1997, Ecological accountancy, *Science*, 387, 253-260.

Holmund, C. and Hammer, M., 1999, Ecosystem services generated by fish populations, *Ecological Economics*, 29, 253-268.

Turner II, B. L., Skole, D. L., Sanderson, S., Fischer, G., Fresco, L.O., and Leemans, R., 1995, Land-use and land-cover change, *Science/Research Plan*, Stockholm and Geneva: IGBP Report No. 35 and HDP Report 7, 132.

Wang, Z., Zhang, B., and Zhang, S., 2005, Estimates of loss in ecosystem service values of Songnen plain from 1980 to 2000, *Journal of Geographical Sciences*, 15(1), 80-86.

•교신 : 김남신, 500-757, 광주광역시 북구 용봉로 77 전남대학교 지리교육과 (이메일:kns9027@dreamwiz.com, 전화:010-2557-5148)

Correspondence : Kim, Nam-Sin, Department of Geographic Education, Chonnam National University, 77, Yongbong-ro, Bu-gu, Gwang-Ju 500-757, Korea (e-mail:kns9027@dreamwiz.com, Phone:+82-10-2557-5148)

(접수: 2011.4.19, 수정: 2011.6.8, 채택: 2011.7.15)