

두만강 하류지역의 농경지 개간에 따른 환경문제

이민부¹ · 한 옥² · 김남신³ · 한주연³ · 신근하³ · 강철성³

한국교원대학교 지리교육과¹, 육군사관학교 환경학과², 한국교원대학교 통일교육연구소³

1. 서론

북한은 70년대 이후부터 부족한 식량문제 해결을 위해 구릉이나 사면경사가 16° 이상인 산지사면까지 개간하여 다락밭으로 이용하는 것으로 알려져 있다. 그렇지만 경사지 개간에 따른 농경지 확대에도 불구하고 북한의 식량문제는 농업에 대한 투자 소홀, 불리한 지형과 기상조건, 생산의욕 상실 등이 주된 원인으로 알려져 있다(김성훈, 1992; 권오홍, 1999; 부경생, 2001). 특히, 90년대에 발생한 자연재해 1993년의 냉해, 1994년 우박피해, 1995, 1996년 홍수 및 1997년의 가뭄 등은 북한의 경제와 식량수급 문제를 더욱 어렵게 하였다.

북한에서 농경지 개간이 경사도가 높은 산록대로 향할 수밖에 없는 것은 국토면적에서 산지비율이 80% 이상을 차지하기 때문이다. 일단 개간이 진행된 사면이 생태적인 안정성을 잃게 되면 식생 밀도가 약화되면서 고도가 높은 지역으로 후퇴를 하게 된다. 북한의 경우 식생의 감소는 직접적으로 개간에 의한 것도 있지만 산림지대와 개간지의 접이대에서 나타나는 지표환경의 불완전성에 의한 이차적인 식생의 감소효과도 크다고 본다. 특히 기후 조건이 한랭한 북한과 같이 토양발달이 적은 경사지에서는 토양의 토립이 작고 투수성이나 유실성이 높기 때문에 척박한 땅(badland)로 변하기 쉽다.

북한 지역에서 농경지 개간에 따른 환경변화는 삼림파괴, 홍수, 토양침식, 산사태 및 농경지 황폐화 등에 의한 것이다. 이에 농지 개간에 따른 북한의 지역별 농경지의 변화와 산림의 변화에 대해 살펴보고자 한다. 이 연구의 결과는 그 동안 알려지지 않은 북한의 농경지 분포 및 변화, 식생 변화에 대한 구체적이고 실증적인 정보를 제공할 수 있을 뿐만 아니라 사면의 토양침식, 가뭄 및 식생의 안정성에 대한 해석 등 이차적으로 자연재해를 일으키는 원인들에 대해서 모델링과 분석을 위한 접근이 가능하게 할 수 있으리라 본다.

사례 연구지역은 함경북도의 두만강 하류일대의 129° 45' E, 43° 00' N ~ 130° 30' E, 43° 30' N에 해당하는 온성군 온성, 경원군 새별, 은덕군 은덕 일대를 중심으로 하였다. 연구지역은 북서에서 동남 방향으로 흘러 동해로 유입하는 두만강 변에 발달한 유역분지들이다. 이 일대의 주요 기반암은 3기에 형성된 퇴적암과 심성암 및 화산암 등이다(Geology of Korea, 1993; 대한지질학회, 1999).

2. 연구지역 내용 및 연구방법

북한지역의 연구는 지역적 특수성 때문에 연구자료나 선행연구 결과물들을 구하기 쉽지 않으며, 또한 구체적이고 실증적인 자료가 거의 없는 실정이다. 따라서 어느 정도 구체적인 자료 획득이 가능한 방법 중 하나가 원격탐사 자료들이다.

본 연구의 목적을 수행하기 위해 Landsat 영상이 이용되었으며 시기별 농경지의 변화와 산림식생의 변화를 분석하기 위해 1992.10.17 영상인 Landsat TM(115-30)과 2000.9.29 영상 Landsat ETM(115-30)을 사용하였다. 8년간의 차이를 분석하고자 한 것은 앞에서 언급한 것과 같이 93~97년까지 이어지는 자연재해와 가뭄에 따른 토지이용에 있어 변화를 살펴보기 위함이다. 특히 이 기

간 이후에 북한에서는 식량난이 커졌기 때문에 이를 극복하기 위한 토지 개간이 보다 더 많았을 것으로 판단된다.

두 시기의 Landsat 영상은 계절적으로 농경지(예를 들어 논과 밭)와 산림지역의 분포 차이가 잘 드러나는 계절인 가을 영상을 채택하였다. 여름 영상의 경우는 수전지역에 대한 분석은 용이하지만 산록완사면에서 이루어지는 전작지의 경우는 분광적 특성에 때문에 산림식생과 구분이 잘 안되는 경우가 많다. 또한 경작지 분포에 대한 공간적 특성을 GIS로 분석하기 위해 미국 국방부지도청(defense mapping agency;DMA)의 표준포맷으로 제작되어 있는 수치고도자료(digital terrain elevation data;dted)를 사용하였다. 수치고도자료는 사면경사, 고도분포, 사면방향 등에 대한 정량적 분포와 유역분지 및 하계망 등의 수문학적 분석에 이용된다. 연구에서는 정량적 분석의 결과와 농경지 분포도를 중첩분석하여 개간지의 공간적 특성을 파악하였다.

위성영상과 수치고도 자료는 UTM Zone 52 구역으로 통일하였다. 위성영상의 GCP는 북한의 지형도 1:50,000에서 취득하였다. 연구에 사용된 지형도는 1981년에 구소련군 참모부에서 제작된 자료를 바탕으로 1997년에 제작된 「최신 북한 5만분의 1 지형도」를 사용하였다. GCP는 지표의 좌표 확인이 용이한 도로와 하천의 교차점을 중심으로 찾았다. 그런데 북한의 지형도는 TM에 기초한 Gauss-Krüger 투영법을 기반으로한 Krasovsky 타원체(연구지역은 zone 22구역)를 사용하기 때문에 좌표점의 값을 UTM으로 재투영하여 사용하였다.

3. 토지이용분석과 수치고도자료 분석

Landsat 영상의 GCP는 scene당 10 지점씩 사용하였으며 RMS error는 0.2로 계산되었고 영상소의 재배열은 cubic convolution을 적용하였다. 여기서 Landsat 1 픽셀 해상도 30m를 기준으로 할 때 RMS error는 픽셀당 6m이므로 1 픽셀의 범위를 충족하고 있다. 지상기준점으로 투영된 영상에 대해 은성, 새별, 은덕의 3지역으로 영상을 적출하였다.

다음으로 진행된 절차는 지표피복(landcover)들의 과장들을 분석하였다. 피복분류 항목 중에서 농경지 개간에 의한 환경변화를 살펴보기 위해 농경지와 산림이 일차적인 분석대상이 되었고 시가지, 하천에 의한 4 가지 분류 항목으로 나누었다.

근적외선에서는 시가지, 하천, 농경지, 산림에 있어 분명한 차이를 드러내고 있다. 특히 Band 4는 이와 같은 차이를 가장 잘 반영하는 밴드이다. 이상의 1992년과 2000년도의 지역별 과장분석에서도 같은 결과가 나왔다.

다음으로 분류를 위한 항목별 감독 분류를 위한 sample들에서의 항목이 차지하는 정도를 분석하였으며 감독분류를 실시하였다. 이것은 수확된 전후의 농경지는 영상에서는 나대지, 식생, 습지 등의 요소로 나타날 수 있기 때문이다. 이들은 지표상에서 모두 같은 농경지임에도 불구하고 작물 수확후에 나타나는 지표의 분광적 특성들이다. 따라서 무감독분류를 실시할 경우 나대지는 시가지, 사질퇴적지와 분광적 특성이 같고, 미수확단계의 작물 재배지는 산림식생으로 분류, 습지는 하천이나 이에 인접한 요소로서 분리되는 경우가 많다. 따라서 이러한 오류를 줄이기 위해, 1:50,000 지형도의 토지이용정보, 각 밴드들의 조합에 의한 RGB 필터를 적용한 false color composite (3/2/1), (4/3/2), (4/6/2) 조합과 밴드들의 주성분분석(PCA)의 결과들을 바탕으로 분류항목들에 대해 시각적으로 분석을 실시하였다. 이상들의 결과를 분석한 결과 밴드 3/2/1 조합에서 4가지 분류 항목들이 뚜렷이 구별되었다.

그런 다음에 농경지, 산림, 식생, 하천을 대상으로한 signature file을 작성하였고 signature file에서 sample에 대한 각 클래스들이 차지하는 비율을 살펴보기 위해 분류예측도(contingency)를 분석하였다. 전 지역에 대해 감독분류를 위한 sample에서 차지하는 항목들은 98% 이상 만족스럽게 분리될 수 있다는 것을 알 수 있다. 이상의 결과를 바탕으로 감독분류를 실시하였다.

감독분류에서 분류된 농경지와 산림은 본 연구에서 농경지 개간에 따른 환경변화를 분석하는 주요 인자로 보았기 때문에 시계열적인 변화에 대한 분석이 필요하다. 이를 위해 1992, 2000년의 농경지와 산림지역을 재분류한 다음 두시기에 대한 변화상을 분석하였다. 변화의 시작은 1992년을 기준으로 농경지와 산림지역의 증감을 살펴보았다. 농경지의 변화를 보면 세 지역 중 온성과 은덕 지역에서 뚜렷이 경지가 증가했음을 관찰할 수 있었고, 온성지역에서는 농경지의 확대가 거주지 지역과는 비교적 먼 산록완사면을 따라서 진행되고 있음을 알 수 있었다. 이에 반해 은덕지역은 골짜기를 따라 진행되고 있으며 거주지의 배후사면을 따라서 진행되었다. 새별지역은 전체적으로 증가된 것을 육안으로 관찰하기 어렵다. 이와 같이 농경지의 변화에 지역별 차이가 나타나는 것은 온성과 은덕 지역은 농지확보를 위한 평지의 비율이 낮은 반면 새별지역은 개간이 용이한 충적지와 낮은 구릉이 상대적으로 많기 때문으로 판단된다.

수치고도 자료에 의한 정량적 분석으로 농경지와 산림지역의 고도분포와 사면경사도를 분석하였다. Dted 자료는 고도값의 분포를 검토한 결과 실제 고도와는 편차가 있는 것으로 나타났다. 따라서 Dted 자료는 고도분포가 계단상으로 나타나는 곳이 많아 대표점(VIP)들을 35% 선정한 다음 재보간을 실시하여 연구지역의 고도분포와 사면경사도를 계산하였다.

4. 농경지와 산림지역 변화의 공간적 특성

감독분류에서 분류된 농경지와 산림은 본 연구에서 농경지 개간에 따른 환경변화를 분석하는 주요 인자로 보았기 때문에 시계열적인 변화에 대한 분석이 필요하다. 이를 위해 1992, 2000년의 농경지와 산림지역을 재분류한 다음 두시기에 대한 변화상을 분석하기 위해 1992년을 기준으로 농경지와 산림지역의 증감을 살펴보았다.

경지개간은 구릉이나 산사면의 산림지대를 축소할 수밖에 없다. 이와 같은 지표의 공간적 변화에 대하여 경지개간이 어느 고도와 경사도까지 어어지는지에 대한 정량적 분석이 필요하다. 경지개간의 정도를 결정하는 인자 중에 하나인 고도와 경사도는 토지이용 뿐만 아니라 지표의 환경변화에 미치는 영향이 크다. 즉 토지에 대한 압력이 임계고도, 경사도 이상 진행되면 발생하는 가장 큰 문제는 린류와 우곡동에 의한 사면침식에 의한 토사 유실과 사태와 같은 자연재해의 위험이 있다.

1992(TM)년의 농경지는 고도와 경사도에서 농경지의 전형적인 특징인 구릉대 개간의 특성을 보인다. 이에 반해 2000(ETM)의 농경지에서는 고도분석결과 농경지의 평균고도는 온성이 높게 나타났으며 새별과 은덕 지역은 해발고도 100m 정도로 나타났다. 또한 사면 경사는 6° 이내로 낮은 표준편차를 감안하면 전체적으로 농경지는 기복이 낮은 완경사 지대에서 이루어지고 있음을 알 수 있다. 두 시기를 비교할 때 2000년대는 토지이용의 고도와 경사도가 높은 곳으로 농경지가 이루어졌음을 알 수 있다.

농경지의 고도와 사면경사도가 30% 정도로 상승하거나 급해진 것을 알 수 있다. 그렇지만 이같은 지역에서, 위성사진에 대한 시각적 분석결과 기존의 농경지에서는 정리된 상태이지만 구릉지대의 경지개간은 계획성이 없고 경지의 구획에 대한 규칙성을 찾아 볼 수 없다. 특히 농경지가 확대된 지역에서는 토양침식과 나대지화 및 그에 따른 산림의 황폐화가 심화되고 있다는 것을 의미한다.

5. 결론

1992년의 영상에서 확인된 내용은 농경활동이 가능한 고도와 사면경사에서 진행되고 있는 것으로 나타났다. 또한 경사가 있는 전작지대에서 흔히 나타나는 나대지나 침식지는 심하게 나타나지 않았다. 그렇지만 2000의 영상은 고도와 경사도 면에서 높아지고 급해진 것으로 분석되었다. 새별에 비

해 온성과 은덕 지역에서 이러한 경지 분포의 변화는 컸다. 세 지역에서 기복이 낮은 구릉지대나 산지사면을 따라 개간이 진행되었다. 새별지역은 두만강의 범람에 의한 축적지가 넓게 발달하여 산지사면 개간의 주요한 적은 것으로 판단된다. 온성과 은덕 일대는 평지가 적기 때문에 개간이 산지로 진행된 것이다. 온성은 주로 경사가 완만한 산록완사면을 따라 진행되고 있으며 산지와외의 경사 변환점까지 진행된 상태이다. 은덕지역은 산록완사면이 이미 개간된 상태라 골짜기를 따라서 깊이 진행된 것으로 나타났다.

이와같이 농경지 개간과 더불어 산림은 상대적으로 축소되었다. 그렇지만 10여 년간의 변화에서 농지와 산림의 점이지대인 구릉지대와 산록완사면의 주변부를 따라서 산림의 지속적인 황폐화가 진행되고 있는 것을 확인할 수 있었다. 특히 위성사진에서 나대지들이 불규칙적인 patch 모양으로 관찰되는데 이는 식피의 감소에 따른 토양 유실로 인한 사면 침식이 활발한 지역이다. 이러한 것들이 생태적인 불안정 요소로 작용하여 산림 식생을 황폐화시키고 있는 것으로 판단된다. 사면에서 침식된 유사들은 하곡으로 퇴적되는 모습이 위성영상에서 반사도가 높게 나타나는 것을 확인할 수 있었다.

또한 산지사면의 개간된 농경지는 사면을 보호하기 위한 계단식이나 등고선식과 같은 경작 형태가 나타나지 않았다. 이러한 토지이용이 토양침식을 더 가속화시키는 역할을 하는 것으로 생각된다.

북한에 대한 영상자료 만을 사용했기 때문에 현황 확인이 어렵고 비교되는 여타지역을 설정할 수 없어 연구에 한계가 있다. 그렇지만 지금까지 북한에 대한 사실적인 정보는 거의 보고된 바가 없기 때문에 본 연구 결과는 농업과 관련된 환경문제에 대한 실태 파악 및 협력 방안 도출에 도움을 줄 것으로 판단된다.

참고문헌

- 건설교통부, 한국건설기술연구원(공편), 2000, 리모트센싱과 GIS를 이용한 자연재해분석 및 관리시스템 개발, 유니세크.
- 김동실, 1999, 인공위성(NOAA/AVHRR) 영상자료에 의한 한반도 식생분포에 관한 연구, 한국교원대학교 석사학위논문.
- 김두일·한 옥·정상조, 1998, "위성 영상을 이용한 황해도 농촌 지역의 토지이용 변화 연구", 지리학연구, 제32집 제4호, 한국지리교육학회, pp.135-146.
- 김명선, 1995, 「북한의 식량문제에 관한 연구 : 식량 수합 실태 및 식량난의 원인을 중심으로」, 서울대학교 행정대학원.
- 김수대, 2001, "최근 북한에서 전개된 토지(농경지)정리사업", 북한국토의 이해와 개발에 관한 국제 학술 세미나, pp.117~125, 대한지리학회.
- 김의홍·이석민, 1996, "NOAA AVHRR 자료를 이용한 한반도 토지피복 변화 연구", 한국GIS학회지, 4(1).
- 대한지질학회, 1999, 한국의 지질, 시그마프레스.
- 부경생, 2001, 북한농업 실상과 발전방향, 서울대학교 농업생명과학연구원 학술총서.
- 윤홍석, 2000, "북한의 1999/2000년도 식량수급", 극동문제, 통권253호, pp.115-124.
- 이기석·이옥희·최한성·안재섭·남영, 2002, "나진-선봉 경제 무역지대의 입지특성과 지역구조", 제37권 제4호, 대한지리학회지, pp. 293-316.
- 이승호, 1998, 한국 서·남해안 간석지의 식생변화에 관한 연구, 군산대 대학원 석사학위논문.
- 이형호·한옥·김두일, 1997, 인공위성 영상을 이용한 황해도 북부지역의 토지이용 변화연구, 화랑대연구소.
- 임상규, 2000, Landsat TM 자료를 이용한 농경지의 변화 분석에 관한 연구, 경희대학교 대학원 박

사학위논문.

- 임석민, 2001, 위성 영상을 이용한 비접근 지역에 대한 지형정보분석에 관한 연구, 한양대학교 산업대학원 석사학위논문.
- 최상규, 1999, 비접근 지역에 대한 지형정보 분석체계에 관한 연구, 건국대학교 산업대학원 석사학위논문.
- 황순옥, 1997, NOAA/AVHRR 자료를 이용한 북한 지역 지표식생 및 농경지 모니터링, 서울대학교 환경대학원 환경조경학과 석사학위논문.
- Henk J.B., Clevers, G.P.W., 1990, Land Observation by Remote Sensing, Gordon and Breach Science Publishers.
- Jensen, J.R., 1996, Introductory digital image processing -A remote sensing perspective-, Prentice hall.
- Kim, S-J. et al, 1993, Geology of Korea, Foreign Languages Book Publishing House.
- Han, K-H., 1985, Estimation of Major city population In Korea using Landsat Imagery, Doctor of Philosophy, Department of Geography, The University of Utah.
- Robert A. S., 1983, Techniques for Image Processing and Classification in Remote Sensing, Press Inc.