

NIE-IR 17-01(통권3호)

ISSN 2508-4690 (Print)  
ISSN 2508-5123 (Online)

# NIE Issue Report

동북아 접경지역의 환경 훼손과 생태계 변화



백두산 천지

국립생태원

NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

# NIE Issue Report

## 동북아 접경지역의 환경 훼손과 생태계 변화

**작성** 김남신 / 생태평가연구실 선임연구원  
(geotop@nie.re.kr, 041-950-5856)

이희철 / 국립생태원 원장

차진열 / 생태평가연구실 실장

권용수 / 생태평가연구실 연구원

김동환 / 생태평가연구실 연구원

황소영 / 생태평가연구실 전문위원

임치홍 / 생태평가연구실 전문위원

## 목 차

### 요약

- 「NIE Issue Report」는 특정분야의 정책 제안이나 연구동향을 시의성있게 제시하여 정책의 방향설정과 실현에 도움을 주고자 작성된 자료입니다.
- 「NIE Issue Report」에 게재된 내용은 국립생태원의 공식견해와 다를 수 있음을 밝힙니다.

- I. 변화하는 시대에 북한 생태연구의 필요성
- II. 북한지역의 산지개간에 따른 산림황폐화
- III. 접경지역의 산림훼손에 따른 지표침식
- IV. 고산지역 생태계의 변화
- V. 백두산 분화 시 환경 피해범위 예측

## I. 변화하는 시대에 북한 생태연구의 필요성

인간의 거주공간으로서 지표는 시간에 따라 변화를 거듭한다. 변화를 교류하지 못하여 우리의 삶의 세계에서 떨어진 지역은 타자(他者)의 공간이 되기 마련이다. 남한과 북한의 관계가 그렇다. 이데올로기적인 문제로 교류없이 유리되어온 결과 북한은 우리의 공감대와 인식에서 떨어진 대표적인 타자의 공간이 되었다. 또한 하나의 반도 내에서 분단되어 대치하고 있는 지정학적 상황은 북한에 대한 우리의 관심을 주로 정치와 경제 및 사회문제에 집중하게 만들었다. 따라서 북한에 대한 지식과 정보는 정치, 사회, 기타 몇몇 분야에 한정되어 있다. 북한에 대한 생물, 생태, 환경 및 지리적인 일부 자료는 존재하지만 오래되어 현실을 반영하지 못하는 것들이 많으며, 이마저도 산재하여 찾아보기 쉽지 않다. 이러한 연유로 북한의 자연환경에 대한 실체를 파악하기 힘들다. 그러나 세계적인 흐름 속에서 예측하여 볼 때, 21세기에 남북관계는 현재와 다르게 변화될 것이다. 예측되는 변화에 대응하여 한반도의 효율적인 이용과 보전을 위한 새로운 정책이 수립되어야 하지만, 정책 수립의 근거가 되는 정보의 제약과 편중은 이를 어렵게 만드는 제한요인이다. 일례로 북한의 식량난이 국제적인 현안으로 대두됨에 따라 관심이 높아지는 북한의 산림황폐화를 들 수 있다. 북한의 식량난은 자연재해와 기근, 사회적 체제, 토양황폐화와 부진한 종자개량 및 기후적 원인 등에 기인한다. 이러한 문제는 결과적으로 경작지 확대와 그에 따른 산림지의 훼손을 유발하였고, 이에 따른 지표침식과 토사의 유출에 따른 하상퇴적, 산사태 등의 이차적인 자연재해와 지력저하로 인해 식량문제가 개선되지 못하는 악순환이 반복되고 있다. 이에 대한 현실적이고 정밀한 연구가 요구되지만, 북한의 정치적 폐쇄성에 의해 정보가 단편적, 제한적으로 획득되어 실상을 파악하는 데에는 한계가 있다. 전 세계적으로 발생하고 있는 기후변화의 문제도 있다. 기온과 강수량 등의 변화에 따라 북한의 생태계가 변화할 것이 예측됨에도 불구하고 북한의 현 생태계에 대한 정보조차 부족한 실정이다. 특히 기후변화의 정도는 자연환경의 특성 뿐 아니라 토지이용과 관련한 인간 활동에도 영향을 받기 때문에, 대응방안 마련을 위해서는 자연·인문 전반에 걸친 다방면의 자료가 요구된다. 이러한 측면에서 북한의 현 환경 실태를 진단하기 위한 다각적인 연구가 필요한 실정이다. 이에 본 원고에서는 북한 전반의 지역에서 발생하고 있는 산림황폐화의 실태와 동북아 접경지역에서 나타나는 환경의 훼손과 생태계의 변화에 대한 문제점을 제시하고자 한다.

## II. 북한지역의 산지개간에 따른 산림황폐화

### ■ 산림면적 변화

1910년 일제에 의해 제작된 조선임야 분포도에 의하면 당시 북한 지역의 임야면적은 876만 ha이었고, 북한이 1970년에 발표한 산림면적은 985만ha이었다. 1997년 FAO와 UNDP 등에 의해 발표된 면적은 755만ha로 1910년 대비 14%(121만ha), 1970년 대비 23%(230만ha) 감소하였다. 특히 지난 30년간의 급격한 산림면적 감소는 북한의 만성적인 식량난에 기인하는데, 식량문제를 해결하기 위하여 산림지역을 농경지로 개간하였기 때문이다. 개간지역은 경사가 급하고 지력이 좋지 않아 황무지화되어 지표 침식은 가중되고 있으며, 지속적인 댐감채취로 인하여 산림이 관목림이나 무림목지(無林木地; unstocked land)로 변하는 지역도 늘고 있다. 이러한 변화는 급격한 생태적 변화를 수반한다. 세계은행(World Bank)의 보고에 따르면 2015년 기준 북한에서 산림황폐화로 인하여 포유류 9종, 조류 27종, 어류 17종, 식물 8종 등 총 61종이 멸종위기에 처해있으며, FAO가 발표한 ‘2011년 세계 산림현황’보고서에서는 산림면적이 감소함에 따라 이산화탄소 흡수량이 1990년 2억 3천 900만ton에서 2010년에는 1억 7천 100만ton으로 약 30% 줄었다고 산정한 바 있다.

### ■ 토지이용 변화<sup>2)</sup>

앞서 언급한 바 있듯 북한의 토지이용은 1990년대에 들어 막대한 산지경사지의 개간에 의해 급격하게 변화하였다(그림 1). 이 시기에 북한은 자연재해로 인하여 토지생산성이 급격히 떨어져 심각한 식량난을 겪었고, 지금까지도 이어지고 있는 실정이다. 식량난이 지속되면서 북한에서는 산지경사지의 산림을 개간하여 농경지로 전환함을 통해 활로를 모색하였다. 이에 따라 농경지 면적은 확대된 반면 산림의 면적은 감소하였으나 개간된 농경지는 지형과 기후의 열악한 조건에 의해 제대로 경작되지 못하고 폐경작지로 방치되었다. 1990년대의 토지이용특성을 분석한 결과는 이러한 양상을 잘 보여준다(그림 2). 북한에서 산림지역은 강원도(북), 량강도, 자강도, 함경남도, 함경북도에 주로 분포하는 반면, 농업지역은 강원도(북), 자강도, 평안남도, 평안북도, 함경남도, 함경북도, 황해남도, 황해북도 지역에 주로 분포하는 것으로 파악되었다(그림 3, 그림 4). 1990년대 농업을 위해 개간된 구릉이나 산지경사지의 면적은 1,487,700ha이었고, 지역별로는 평안북도, 평안남도, 자강도, 황해북도, 함경북도의 산지개간 면적이 넓었다(그림 5). 이러한 분포 양상은 이들 지역에 도시와 촌락이 형성됨에 따라 인구가 밀집한 데에 그 배경이 있다. 고도별 농경지와 산림의 분포를

1) 이규성, 정미령, 윤정숙. 1999. 북한지역 산림면적의 변화의 규모와 특성. 한국임학회지 88(3): 351-363.

2) 이민부, 김남신. 2013. 지오웹을 활용한 북한의 환경지리정보 구축. 한국연구재단 보고서를 재구성한 것임.

보면(그림 6), 산림지역은 해발고도 1,800m까지는 비교적 넓은 면적에 분포하지만 그 이상의 고도, 즉 고원지대에서는 면적이 급격히 감소한다. 농경지는 해발고도 200m이하에서 가장 넓은 면적에 분포하지만 200~1,200m까지도 분포하고 있는 것으로 파악되었다. 이처럼 해발고도가 높은 지역에 농경지가 분포하는 것은 산림지의 개간에 의한 결과로 해석된다. 경사도에 따른 농경지의 분포를 분석한 결과를 보면(그림 7), 경사도 0~14°의 범위에서 분포면적이 가장 넓어 일반적인 농경지의 분포 특성을 나타낸다고 할 수 있으나, 산림경사지 개간에 따라 14~34°의 경사에서도 넓은 면적으로 분포하는 것은 산림경사지의 개간에 따른 결과이다. 강원도(북), 자강도, 평안남도, 함경남도, 황해북도에서는 40°이상의 급경사지에서도 농업이 이루어지는 것으로 파악된다(표 1, 그림 8, 그림 9).

90년대에 개간된 급경사지를 대상으로 사면불안정지역을 분석한 결과, 개성직할시, 강원도(북), 남포직할시, 평안남도, 평양특별시, 함경남도, 황해남도, 황해북도에서 이들 지역의 분포비율이 높았다. 따라서 강수가 집중되는 우기에 이들 지역 중 도시의 시가지와 산지의 경계에서는 사태와 사면 토사유출이 빈번할 것으로 생각되며, 이에 따른 경제적 피해가 막대할 것으로 예측된다(그림 10, 그림 11).

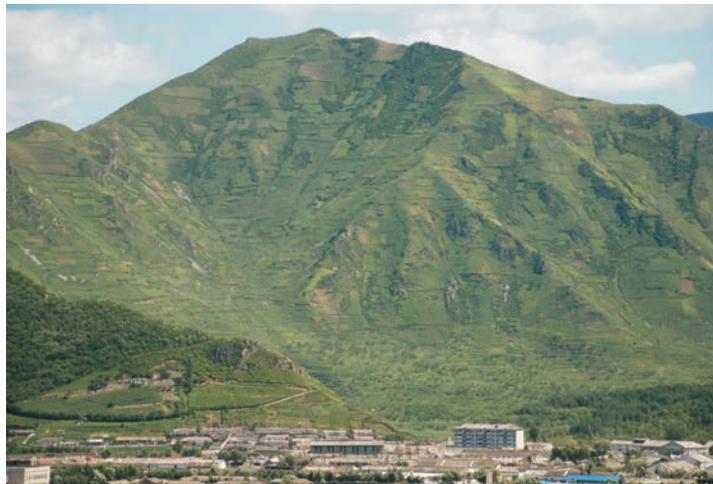


그림 1. 주거지 주변에 형성된 대규모 산지개간지의 모습(상:무산, 하:혜산).  
경사가 매우 심한 지역에도 개간지가 형성되어 있음  
(촬영 : 김남신 (2013.7.12))

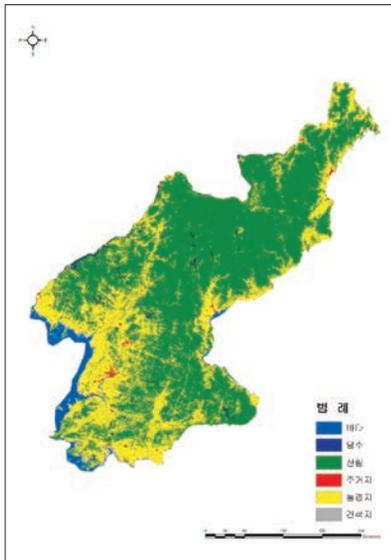


그림 2. 1990-2000 토지이용

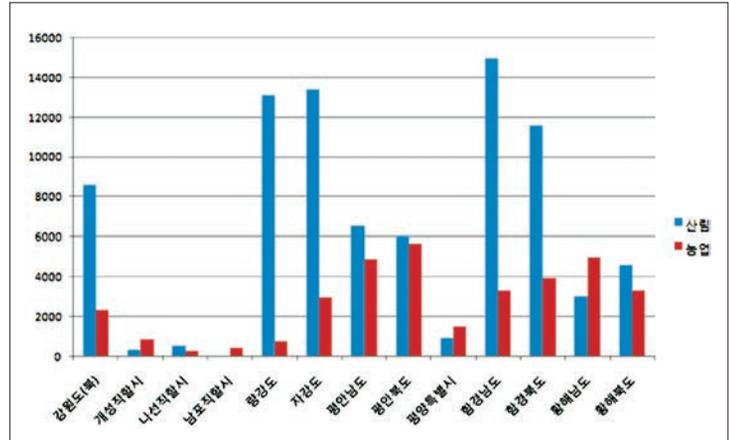


그림 3. 지역별 산림과 농경지 분포

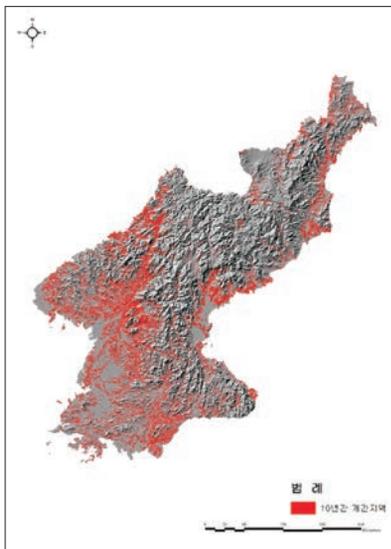


그림 4. 90년대 경사개간지분포

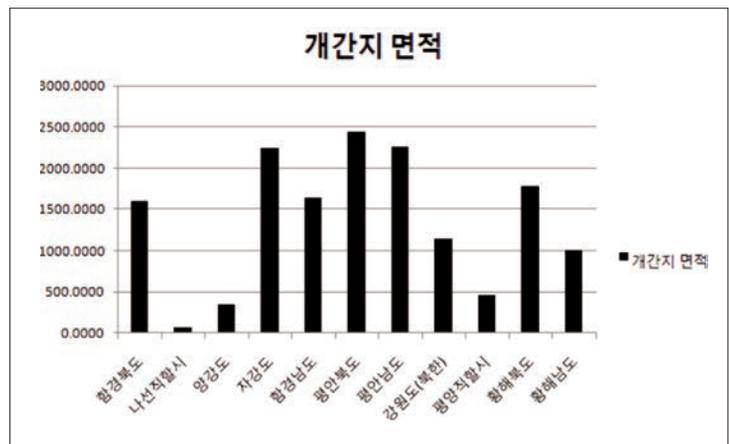


그림 5. 지역별 경사 개간지 비교

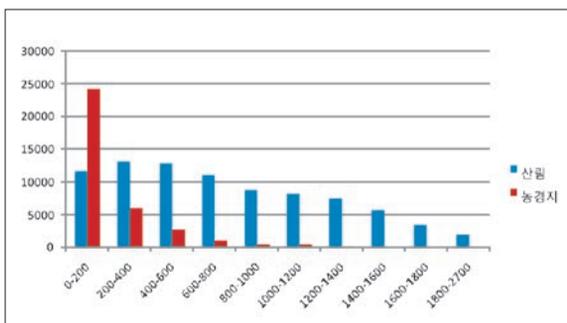


그림 6. 고도별 농경지와 산림의 분포

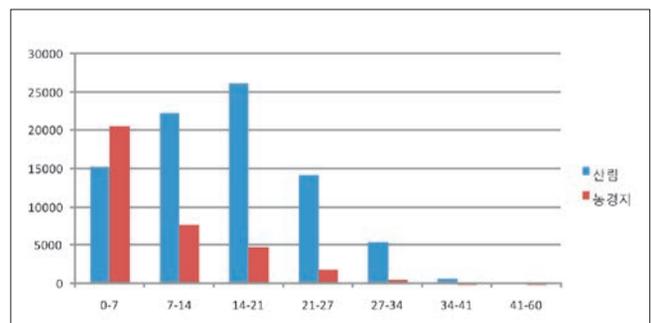


그림 7. 경사도별 농경지와 산림의 분포

표 1. 시도별 개간지 경사 특성

시도	면적(km <sup>2</sup> )	최대경사(°)	평균경사(°)
강원도(북)	1,056	42.056	13.303
개성직할시	432	30.497	9.308
나선직할시	63	25.186	11.247
남포직할시	137	29.722	10.09
량강도	326	37.853	14.678
자강도	2,406	45.291	16.233
평안남도	2,153	44.823	13.792
평안북도	2,459	37.353	11.798
평양특별시	443	32.428	11.431
함경남도	1,677	40.264	14.242
함경북도	1,568	37.372	12.197
황해남도	917	31.881	9.493
황해북도	1,279	40.404	11.959



그림 8. 만포 지역의 급경사 개간지역(촬영: 김남신(2005.10.9))



그림 9. 무산 지역의 급경사 개간지역. 지표피복 제거에 의해 침식된 토사가 곡지를 통해 유출되는 양상을 확인할 수 있음(촬영: 김남신(2012.8.6))



그림 10. 북한 온성 지역 두만강의 풍수기(좌)(촬영: 김남신(2010.7.1))와 갈수기(우)의 전경. 풍수기 시 발생한 홍수에 의해 하천변 주거지가 침수·훼손되어 재건 중인 모습을 확인할 수 있음(우)  
(촬영: 김남신(2016.10.23))



그림 11. 높아진 하상에 의해 통수단면적이 줄어들어 발생한 홍수의 영향으로 훼손된 하천변 농경지의 모습(온성)  
(촬영: 김남신(2016.10.23))

2000년 이후 산림과 농경지의 분포면적은 대체로 일정한 수준에서 유지되는 것으로 분석되었다(그림 12, 그림 13)<sup>3)</sup>. 이러한 양상은 1990년대 무분별한 개간이 가져온 산림의 훼손과 이에 따른 생태계의 황폐화를 경험한 북한이 지역적 수준에서 황무지의 개선을 위한 녹화사업을 실시하는 동시에(그림 14), 산지개간은 금지시킨 데에서 비롯된 것으로 해석된다. 한편으로 토지생산성 저하로 인한 폐경 및 휴경에 따라 방치된 경작지에서 자발적 복원(passive restoration)이 진행되어 식생이 정착한 것도 이러한 양상에 기여한 것으로 판단된다.(그림 15).

3) 이민부, 김남신, 2013. 지오웹을 활용한 북한의 환경지리정보 구축. 한국연구재단 보고서를 재구성한 것임.

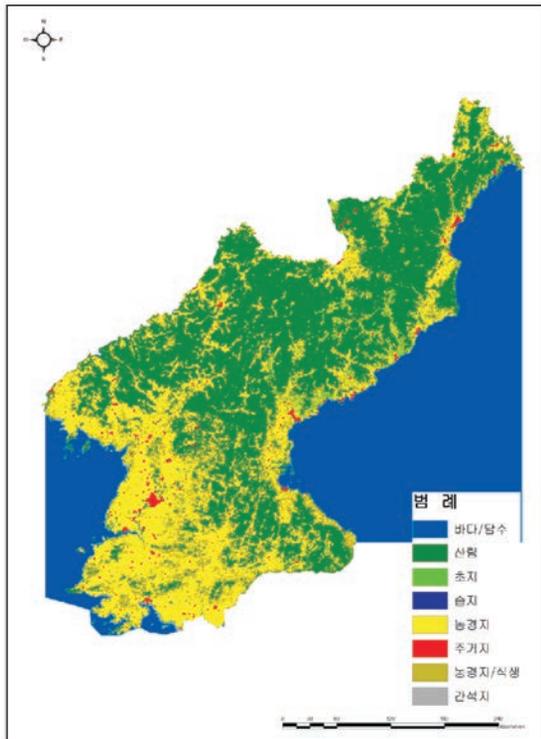


그림 12. 2001년 토지이용

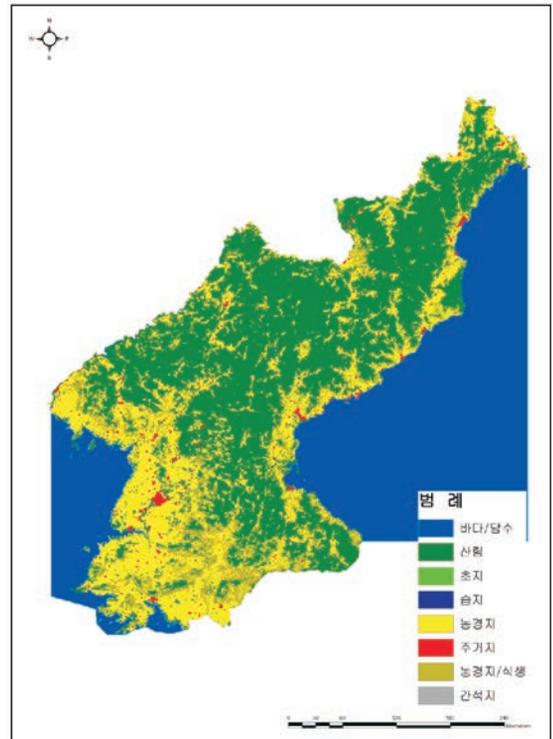


그림 13. 2007년 토지이용



그림 14. 개간 훼손지 식재(온성)  
(촬영: 김남신(2008.10.5))

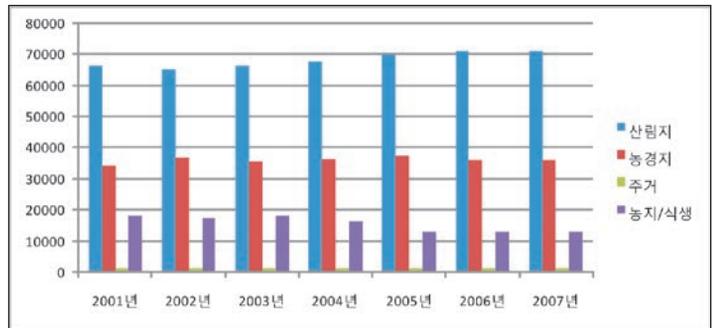


그림 15. 토지이용 변화(2001-2007)

### ■ 농경지 개간의 특징<sup>4)</sup>

북한의 농경지는 주로 평안남도, 평안북도, 황해남도, 황해북도 등 도시가 집중된 서해안을 중심으로 분포하는 경향을 보였으며, 이들 지역에서 농경지가 분포하는 해발고도는 80 ~ 750mm, 경사도는 7~15°이었다. 지역적 수준에서 보면, 산지경작지는 구릉과 산간지대를 중심으로 분포하며 고도는 314m, 경사는 19°로 경작지 전체의 평균보다 해발고도는 112m, 경사도는 10°높게 나타났다. 산지개간지의 경사가 심한 모습은 압록강, 두만강 일대의 국경 지역에서 육안 상으로도 확인할 수 있다(그림 16). 개간 과정에서 벌목하는 목재는 뗏목을 만들어 일정한 곳에 하적한 후(그림 17) 기차나 트럭을 이용하여 운반하고 있다(그림 18).

4) 이민부, 김남신, 2013. 지오웹을 활용한 북한의 환경지리정보 구축. 한국연구재단 보고서를 재구성한 것임.

경작지는 도시에서 약 20km, 도로로부터는 2.8km 이내에 분포하고 있었으며(그림 19), 이러한 기준을 적용하여볼 때 서해안지역 이외에도 압록강 일대의 송선, 온성, 자성, 혜산, 만포 장강, 동해안의 나진·선봉, 청진, 어랑, 함흥, 단천, 신포 등이 경작지역 주변 도시에 포함된다. 2000년대 토지이용의 변화가 가장 심했던 신의주 지역, 서해안 지역, 온성에 한정하여 1980년대의 토지이용과 비교한 결과, 역시 전반적으로 농경지는 증가하고 산림지역은 감소한 것으로 나타났다(표 2).



그림 16. 압록강 혜산지역의 경지개간  
(촬영: 김남신(2007.8.9))



그림 17. 압록강 상류 지역에서의 목재 운반  
(촬영: 김남신(2007.8.11))



그림 18. 압록강 중·하류 지역에서의 목재 운반  
(촬영: 김남신(2009.8.20))

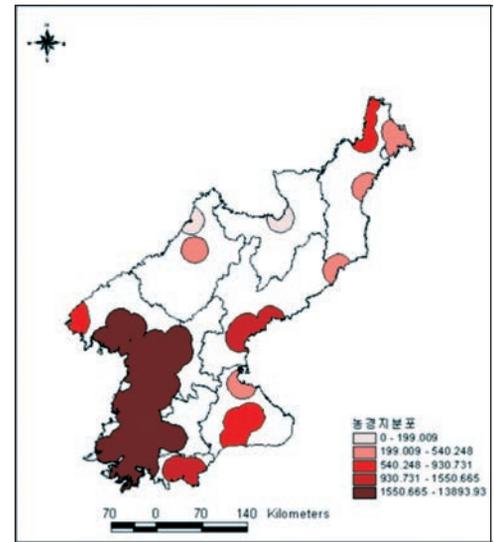


그림 19. 도시지역 20km내 농경지 분포

표 2. 주요지역 산림과 농경지 면적 변화 (단위: km<sup>2</sup>)

항목	서해안	2000년대	1980년대	신의주	2000년대	1980년대	이천	2000년대	1980년대
		산림	3924,9121		6077,9674	4156,0123		3643,986	1929,868
농경지	7584,8253	5481,4141	2897,2585	3541,55	1222,803	920,3661			

### III. 접경지역의 산림훼손에 따른 지표침식

#### ■ 압록강, 두만강 유역의 지표침식

70년대 이후 만성적인 식량문제에 직면한 북한에서 주거지 주변의 산지는 개간이 이루어져 산림이 대규모로 훼손되었으며, 뿐만 아니라 산정상부의 잔존 산림을 벌목하여 사면으로 운반하는 과정에서 지표침식이 심하게 진행된 곳도 있다. 개간되었던 지역에서 다락밭, 비탈밭의 흔적을 발견할 수 있지만, 침식이 심하게 진행되어 거의 사라진 상태이다. 전술한 바와 같이 이러한 개간은 주로 주거지로부터 반경 20km 이내에서 이루어지기 때문에, 거주지 인근의 산지는 심하게 훼손되어 사면에서는 침식이 우곡(雨谷; gully)이나(그림 20) 사태(砂汰; landslide)의 형태(그림 21)로 진행되고 있다. 침식에 따라 유출된 토사는 하천으로 유입하여 퇴적되어 하상은 높아지고, 하천변에는 모래가 퇴적되는 결과를 가져온다(그림 22). 일부 구룡대의 지류에서는 망상하도(網狀河道; braided channel)가 발달하기도 한다.



그림 20. 백두산 북측 사면에서 식생피복 제거에 의해 발달한 우곡(촬영: 김남신(2014.7.6))

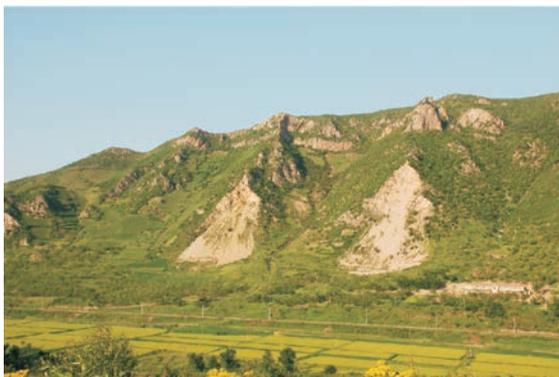


그림 21. 지표피복 제거에 따라 발생한 사태 (좌(촬영: 김남신(2011.6.20)): 온성, 우(촬영: 김남신(2012.8.15)): 강계)



그림 22. 침식에 의해 유출되어 하천에 퇴적된 토사(좌)와 이를 준설하는 모습(우)  
(촬영: 김남신(2011.6.23))

지형도와 위성영상을 분석하여 얻어진 결과로부터 두만강 인근에 발달한 무산지역과 회령 지역의 토지피복 변화를 살펴보면, 1917~2006년 사이에 무산과 회령지역의 경작지, 인공림, 건축용지, 미이용지의 면적은 증가한 반면 이를 제외한 토지이용유형의 면적은 감소하였다<sup>5)</sup>(그림 23, 그림 24). 무산지역의 건축용지 증가속도는 연간 증가율이 17.46%에 달하며, 미이용지의 연간 증가율 역시 16.93%로 매우 높았는데, 이는 주로 광산 주변의 미이용지 면적의 증가에 기인한다<sup>6)</sup>(그림 25, 그림 26). 회령 지역에서는 미이용지의 연간 증가율이 가장 빨라 11.56%에 달하며, 그 다음은 건축용지로서 4.02%의 연간 증가율을 나타내었다. 이는 경제 발전에 따라 기초시설 투입이 증가하고 공장과 기업소가 증가하면서 건축용지가 증가하였기 때문으로 사료된다. 토지이용 종합지수는 두 지역 모두 꾸준히 증가하고 있어, 이 지역의 토지이용정도가 날로 심해짐을 알 수 있다.

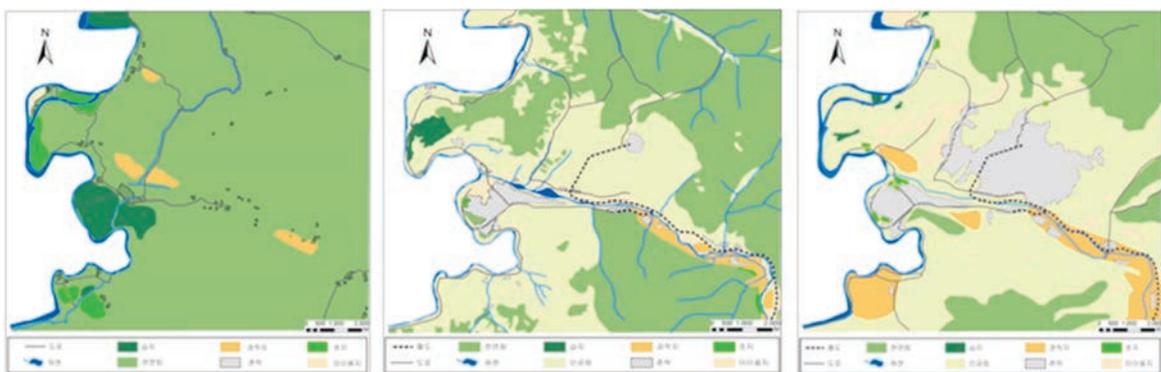


그림 23. 무산지역 토지이용도 (좌측부터 1917, 1976, 2006년)

5) 이민부, 김남신, 김석주, 김애분, 주철. 2011. 북한 무산시와 회령시의 토지이용 변화에 따른 생태서비스 가치 연구. 한국지역지리학회지. 17(4): 493-504.

6) 이민부, 김남신, 김석주. 2008. 북한의 인구와 농업의 변화에 따른 환경문제 연구. 한국지역지리학회지. 14(6): 709-717.

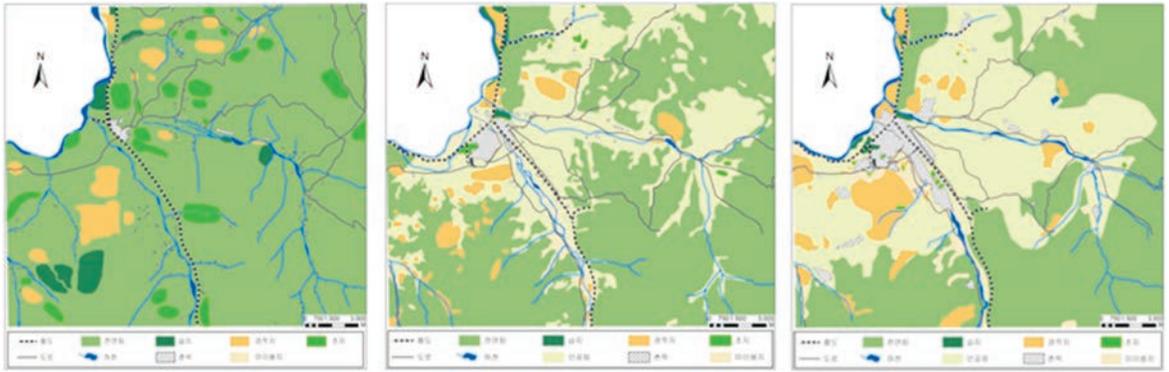


그림 24. 회령지역 토지이용도 (좌측부터 1917, 1976, 2006년)  
 <이민부 2011. 북한 무산시와 회령시의 토지이용 변화에 따른 생태서비스 가치 연구. 한국지역지리학회지. 재구성>



그림 25. 무산지역 철광산 개발 및 산지개간에 따른 산림 훼손  
 (촬영: 김남신(2015.10.23))



그림 26. 침식지역 주변의 광산으로부터 유출되어 퇴적된 폐철(좌)과 이를 준설하는 모습(우)(중성)  
 (촬영: 김남신(2011.7.2))

두만강 상류지역에서도 개간에 의한 산림의 훼손이 심각하게 진행된 상태이다. 급경사의 단애(斷崖; cliff)나 대지(臺地; plateau), 단구(段丘; terrace)일지라도 개간되어 농경지로 이용되고 있다. 용암대지는 발농사로 옥수수를 주로 재배하고 있고, 현생 하안단구 지역을 따라 제한적인 벼농사가 진행되고 있다. 압록강 중류 량강도 지역으로 내려오면 용암대지는 사라지며, 급경사의 산지들이 하곡 주변에 나타난다. 산세가 험한 지역 강변을 따라 표고 50m 내외의 하안단구가 발달하여 있는데, 현재는 경작지로 이용되고 있는 실태이다. 압록강 하류의 만포·강계 지역도 산세가 험한 급경사의 산지이지만 경작지로 개간되어 산림의 훼손이 심하게 진행되었다. 이에 따라 토양유실이 심하며, 유실된 토사는 하천에 퇴적되어 홍수의 원인이 되기도 하며<sup>7)</sup> (그림 27), 하안 지형을 변화시켜 결과적으로는 하천의 수리 체계를 변형시키기도 한다<sup>8)</sup>(그림 28, 그림 29).

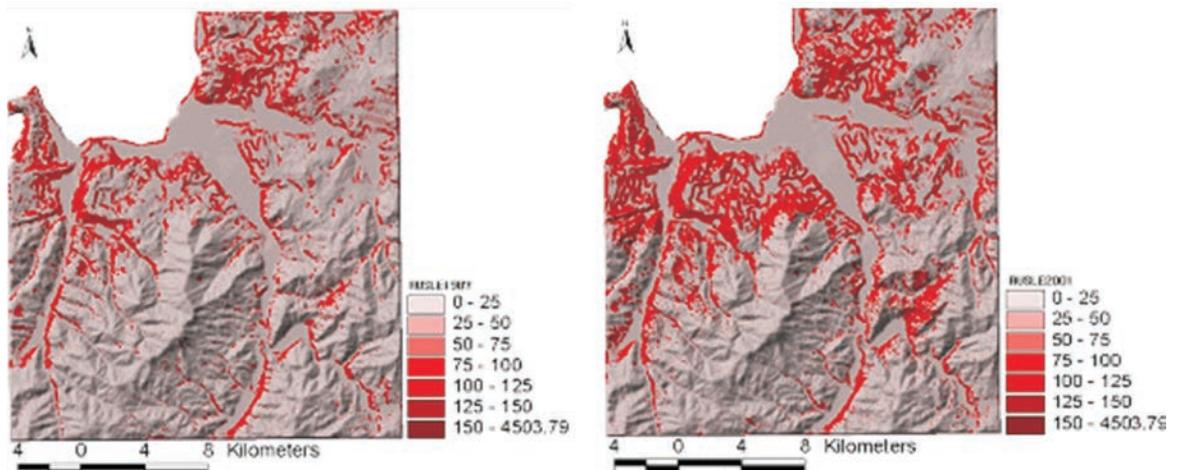


그림 27. 회령지역 토양침식량의 변화 (좌: 1987년, 우: 2001년; 단위: ton)

(이민부 외 5인, 2003. 북한 회령지역의 농경지 변화에 따른 토양침식 추정. 한국지역지리학회지, 재구성)

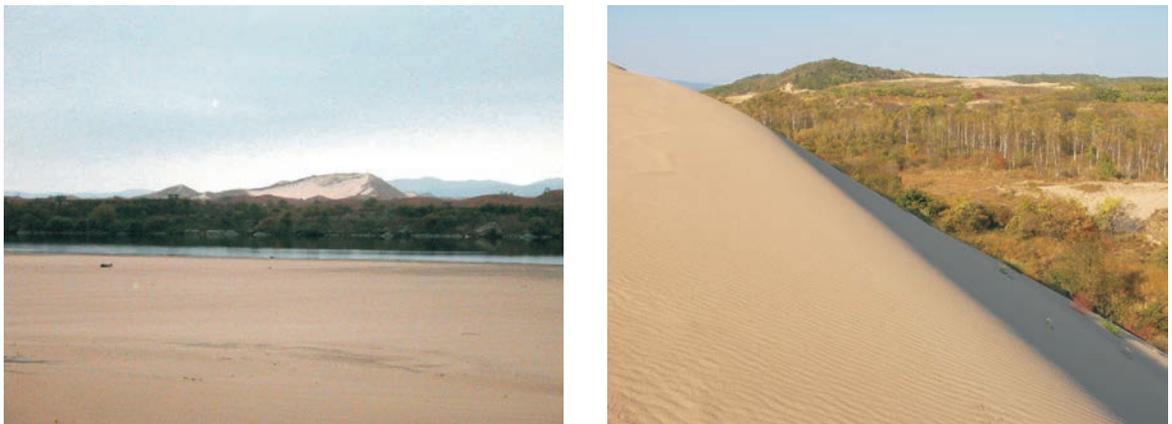


그림 28. 토사가 하천에 의해 운반되는 과정에서 하천변에 풍적되어 형성된 하안사구(두만강하류)  
(촬영: 김남신(2012.7.102))

7) 이민부, 김남신, 강철성, 신근하, 최한성, 한옥. 2003. 북한 회령지역의 농경지 변화에 따른 토양침식 추정. 한국지역지리학회지, 9(3): 373-384.

8) 이민부, 김남신, 이광률, 한옥, 김석주. 2006. 두만강 하류 사구의 분포와 변화에 관한 연구. 대한지리학회지, 41(3): 331-345.

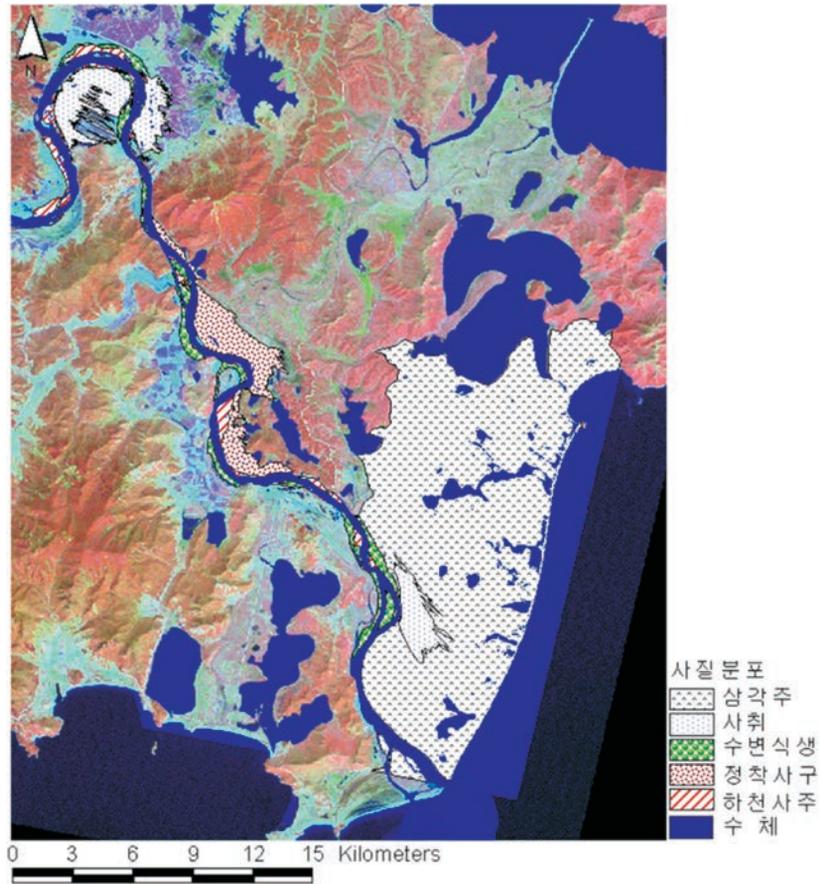


그림 29. 두만강하류 유역의 사질퇴적지형 분포.  
 (이민부 외 4인, 2006. 두만강 하류 사구의 분포와 변화에 관한 연구. 대한지리학회지. 재구성)

■ 임진강 유역 비무장지대의 지표침식<sup>9)</sup>

북한지역의 산림훼손이나 황폐화에 대한 연구에 비해, 남북이 접하는 연속지역에 대한 연구는 드물다<sup>10)</sup>. 이러한 경향은 이들 연속지역이 대체로 민간인의 출입이 제한되는 비무장지대(非武裝地帶; demilitarized zone; 이하 DMZ)로 지정되어 관리되는 것에서 비롯된다. 그러나 DMZ에서도 군 및 일부 거주민에 의한 개간이 이루어지고 있으며, 이는 특히 북한 지역에서 두드러진다. 생태계의 보고(寶庫)이자 생물다양성의 집중지역(hotspot)으로서 DMZ에 대한 국제적인 관심이 집중되고 있는 지금, 남북한이 접하는 지역으로서 비무장지대의 지표침식 현황을 살펴보는 것은 의미 있는 일이다. DMZ를 관통하는 임진강 수계를 대상으로 식생감소에 따른 지표침식의 차이를 분석하여 남북한이 공동으로 환경문제에 대처할 수 있는 정보를 제공하고자 한다(그림 30).

9) 이민부, 김남신, 김석주, 김항덕. 2008. 임진강유역의 토지이용에 따른 지표침식에 관한 연구. 대한지리학회지 43(3): 263-275를 재구성하였음.  
 10) 공우석. 2006. 북한의 자연생태계. 집문당.

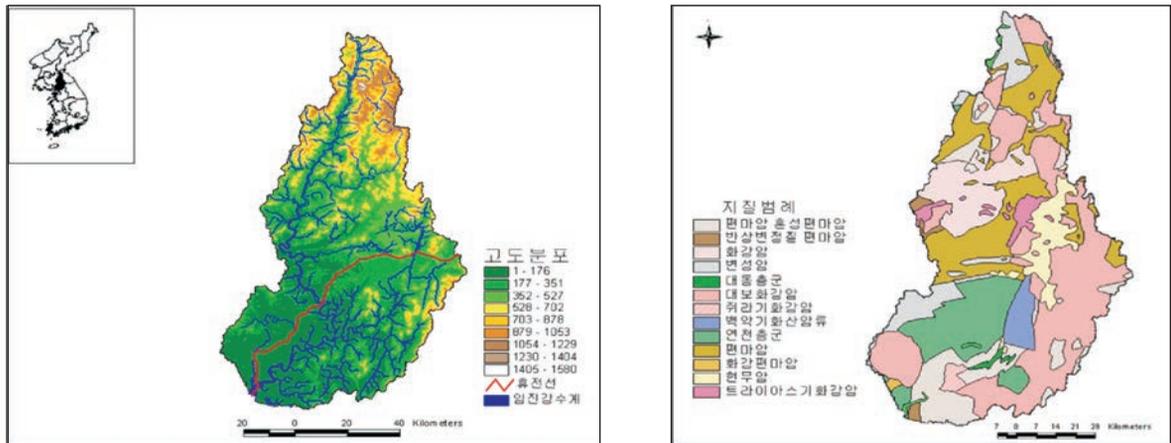


그림 30. 임진강 유역의 지형(좌)과 지질(우)

이 일대의 위성사진은 휴전선을 경계로 북한의 식생이 훼손된 모습을 잘 보여준다. 연구지역의 토지이용유형은 산림이 전체 면적의 67%(5,488km<sup>2</sup>)로 가장 넓었고, 논(1,055km<sup>2</sup>), 논을 제외한 경작지(678km<sup>2</sup>), 초지(366km<sup>2</sup>), 관목지(353km<sup>2</sup>) 등의 순으로 파악되어 상당한 면적의 경작지가 이 지역에 형성되어있음을 확인할 수 있었다.

DMZ를 경계로 남북한의 토양유실량을 비교한 결과, 북한지역의 유실량이 남한지역의 유실량보다 3배 이상 많은 것으로 분석되었다(표 3). 연구지역 중 남한에 속한 지역의 면적이 북한에 속한 지역의 면적보다 적은 것도 이러한 결과에 작용한 것으로 판단되나, 보다 근본적인 원인은 두 지역 간 토지이용의 차이에 있다. 남한지역은 나지(裸地; bare land)와 밭으로 개간된 토지가 거의 없으며 하천변은 정비되어 토양의 유실이 거의 없는 반면, 북한지역은 경제적인 여건에 의한 산림과 하천변 습지의 개간, 하천정비의 미비 등의 요인에 의해 토양 유실이 많은 것으로 판단된다. 결과적으로 유실된 토사는 하천을 따라 하류로 이동하여 퇴적되는데 이러한 퇴적물을 적시(適時)에 준설하지 않으면 댐과 하천의 담수용량이 작아져 홍수의 강도와 빈도를 높이는 환경을 만든다.

표 3. 임진강유역의 토양유실량 분석 결과

유실상태	지역	유실량(t/ha/yr)	면적(ha)	면적 비(%)
토양침식이 전혀 없는 곳	북한	0	272,533	33.38
	남한	0	199,752	24.46
	소계	0	472,285	57.84
거의 일어나지 않는 곳	북한	1-10	177,714	21.76
	남한	1-10	88,875	10.89
	소계	1-10	266,589	32.65
조금 일어나는 곳	북한	10-100	34,974	4.28
	남한	10-100	18,612	2.28
	소계	10-100	53,586	6.56
많이 일어나는 곳	북한	100-1000	21,654	2.65
	남한	100-1000	2,407	0.30
	소계	100-1000	24,061	2.95
심히 많이 일어나는 곳	북한	1000-3770	57	0.00007
	남한	1000-3770	24	0.00003
	소계	1000-3770	81	0.0001
합 계			816,602	100

DMZ 내에서 하천변에서 이루어지는 개간은 생태적 측면에서도 문제를 야기한다. 하천변에서 논과 밭으로 개간되는 공간은 주로 하천 배후의 습지로서 하천생물의 주요 서식지가 되므로 하천생태계의 비오톱(biotope)으로서의 가치가 매우 높다. 개간에 의해 이들 비오톱이 훼손 되면 필연적으로 생물다양성의 감소를 유발한다. 수변 지역(riparian zone)이 오염물질에 대해 발휘하는 완충능(buffer capacity)의 저하 역시 문제가 된다. 하천변의 습지에 정착한 수변식생(riparian vegetation)은 주변이나 상류에서 유입하는 오염물질을 정화하는 데 핵심적인 역할을 한다. 그런데 경작지 개간에 의해 이러한 식생이 제거되면 하천으로 유입되는 오염물질의 양이 급증할 것이고, 이는 하류로 흐르는 과정에서 누적되어 하천생태계를 훼손시킬 뿐 아니라 영양 농축(trophic concentration) 기작에 의해 생물다양성을 감소시키게 될 것이다.

## IV. 고산지역 생태계의 변화

산지지역의 식생은 인공림이나 저지대에 성립한 식생보다 기후환경의 변화에 취약하기 때문에<sup>11)</sup>, 기후변화에 대한 생태계 변화의 지표로서 가치가 높다<sup>12)</sup>. 또한 생태계에 대한 기후변화의 영향은 고위도 지방에서 심각할 것으로 예측되고 있는 바<sup>13)</sup>, 북한 북부의 해발고도 2,000m 이상의 일련의 산지는 한반도에서 기후변화에 의한 생태계 변화가 가장 심각하게 진행될 지역으로 판단된다. 이 지역은 현대기후대에 속하며 주목, 분비나무, 잎갈나무 등의 침엽수종이 우점하고 있는데, 최근 몇몇 두드러진 변화들이 관찰되고 있다. 백두산을 중심으로 하는 고산지역에서 관찰되고 있는 생태계 변화에 대한 분석결과를 제공하고자 한다.

### ■ 아고산 침엽수 고사<sup>14)</sup>

최근 아고산지역 식생의 주요한 변화는 과거에 성립한 침엽수의 고사가 빠르게 진행되고 있다는 점이다<sup>15) 16)</sup>. 아고산지역에서 발생하는 식생고사의 주요원인으로는 기온상승에 따른 해충의 번식횟수 증가와 전염성 질병의 확대 등이 보고되고 있다<sup>17)</sup>. 아고산대에서 나타나는 식생고사지역은 자연상태에서 진행되는 질병과 해충에 의한 피해와는 달리 대규모로 확대되며 고도가 점점 높아지는 경향을 보인다.

- 
- 11) Luther, J.E., Franklin, S.E., Hudak, J., Meades, J.P. 1997. Forecasting the susceptibility and vulnerability of balsam fir stands to insect defoliation with landsat thematic mapper data. *Remote Sensing of Environment* 59: 77-91.
- 12) Radeloff, V.C., Mladenoff, D.J., He, H.S., Boyce, M.S. 1999. Forest landscape change in the northwestern Wisconsin Pine Barrens from pre-European settlement to the present. *Canadian Journal of Forest Research* 29(11): 1649-1659.
- 13) IPCC. 2014. *Climate Change 2014: Synthesis Report*. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland. 151 p.
- 14) 김남신. 2012. 백두산 동사면 산지초지 분포와 변화에 관한 연구. *한국지역지리학회지*. 18(4): 364-373.
- 15) Faiz, R. 2012. Detecting spatiotemporal trends of mangrove degradation in Kalimantan using consistently cloud screened time series of MODIS imagery. [http://www.forestsclimatechange.org/fileadmin/tropical-workshop/Plenary-4/29P\\_RahmanF\\_Detecting%20spatiotemporal%20trends.pdf](http://www.forestsclimatechange.org/fileadmin/tropical-workshop/Plenary-4/29P_RahmanF_Detecting%20spatiotemporal%20trends.pdf).
- 16) 김남신. 2012. MODIS 시계열 자료를 이용한 백두산 아고산대 식생 고사지역 탐지, *대한지리학회지*. 47(6): 825-835. 채구성하였음.
- 17) Logan, J.A., Powell, J.A. 2009. Ecological consequences of climate change altered forest.

이러한 양상은 두만강 최상류의 해발고도 1,000~1,500m 지역에서 잎갈나무(*Larix olgensis* var. *koreana* Nakai) 군락에서도 관찰되고 있다(그림 31, 그림 32, 그림 33). 이러한 식생 고사의 문제에 대처하기 위해서는 진행지역 파악과 원인규명이 중요하지만, 산지지역의 특성상 접근의 제약으로 인해 현장조사만을 통한 고사지역 파악에는 한계가 있다. 대안으로 위성영상 분석을 통해 예비조사를 한 후, 현지조사를 수행하여 보완하는 것이 합리적이다.

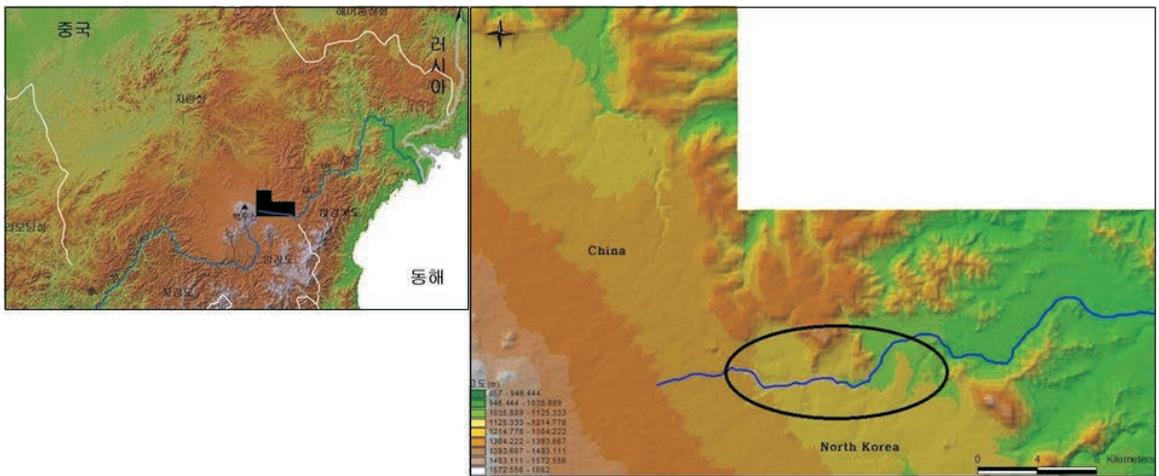


그림 31. 연구지역 위치 및 해발고도 분포



그림 32. 고사지역 전경 (좌) 및 구글 영상 (우) (촬영: 김남신(2006.5.30))

insect disturbance regimes, In: Wagner, F.H. (ed.), climate change in eastern north america: evidence and environmental effect. University of Utah Press.



그림 33. 접경지역에서 관찰된 잎갈나무 집단고사지역 (북한 두만강 상류)  
(촬영: 김남신(2006.5.30))

MODIS(MODERate-resolution Imaging Spectroradiometer) 시계열 자료로 부터 고사지역을 분류하였으며, 낙지(落枝; pruning) 단계에 따라 초기고사(initial dieback), 중간고사(middle dieback), 완전고사(end dieback)(그림 34) 지역으로 세분 하였다. 2001~2006년의 고사지역은 총 28km<sup>2</sup>로 확인되었으며, 초기고사 단계는 16km<sup>2</sup>, 중간고사 단계는 10km<sup>2</sup>, 완전고사 단계는 2km<sup>2</sup>의 면적을 점유하는 것으로 분석 되었다. 2006~2011년에는 고사지역의 총면적이 35km<sup>2</sup>로 분석되어 초기고사지역이 전 기간대비 7km<sup>2</sup> 이상 확대된 것으로 파악되었다. 2001~2011년의 변화에서 전체적으로 면적은 크게 확대되지 않은 경향을 보였으나 초기고사 지역이 중간고사 및 완전고사 단계로 진행된 것으로 분석되었다(표 4, 그림 35). 고사가 발생하는 지역을 대상으로 현장조사를 수행하여 원인을 규명한 결과, 이 지역에서 침엽수는 주로 해충인 나무좀류(bark beetle) 벌레에 의해 고사하는 것으로 파악되었다(그림 36). 아고산대 한랭한 기후 지역에 서식하는 나무좀류 벌레<sup>18)</sup>는 침엽수의 수액을 먹고 자라며, 1년에 1회 유충을 낳아 성충으로 자라는 것이 생활사적 특징이다. 그런데 지구온난화에 따라 고산대에 서식하는 나무좀류 벌레가 1년에 2회 이상 번식을 하면서<sup>19)</sup> 침엽수의 수액을 빨아먹기 때문에 침엽수의 고사 빈도가 높아지는 것으로 추측된다.



그림 34. 완전고사(촬영: 김남신(2009.6.15))

18) 이깔여덩이발나무좀 (북한명, *lps subelongatus*)

19) Singer, M.C., Parmesan, C. 2010. Phenological asynchrony between herbivorous insects and their hosts: signal of climate change or pre-existing adaptive strategy? Philosophical Transactions of the Royal Society B 365: 3161-3176.

표 4. 시기별 고사지역 면적 변화 (단위: km<sup>2</sup>)

Year	Initial Dieback	Middle Dieback	End Dieback	Total
2001 ~ 2006	16	10	2	28
2006 ~ 2011	23	10	2	35
2001 ~ 2011	14	17	4	35

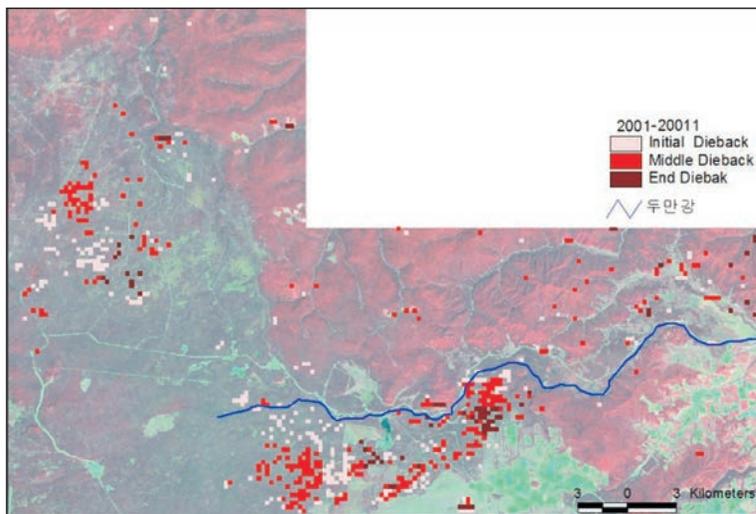


그림 35. 단계별 고사지역(2001-2011)



그림 36. 고사한 앞갈나무(좌)의 수피에서 발견된 유충(우)  
(촬영: 김남신(2015.8.20))

## ■ 백두산 동사면 산지초지 변화<sup>20)</sup>

백두산 동사면에는 북한과 중국 국경지대를 중심으로 해발고도 950~1,600m의 광대한 고원평탄지형이 나타난다(그림 37). 이 지역은 백두산의 다른 사면과는 달리 수목한계선 이하의 침엽수림지대에 크기가 다양한 패치 형태의 산지초지(montane meadow)가 분포하는 경관상의 특징을 나타낸다. 이러한 초지는 해발고도 1,000~1,300m에 분포하며, 초본종과 관목종이 우점하며, 주변부에는 잎갈나무와 자작나무(*Betula platyphylla* var. *japonica*)가 정착하여 있다.

산간지대에서 산지초지는 동·식물의 서식처로서 기능하여 생물다양성을 유지해주는 기능을 한다<sup>21)</sup>. 이들 초지는 일정 지역에 집중적으로 분포하기 때문에 이들의 형성과 발달 과정에 대한 연구는 산지지역 지형생태공간(ecotype)의 해석에 의미 있는 정보를 제공해줄 수 있다<sup>22)</sup>. 최근 수십 년 동안의 산지초지에 대한 연구들은 고산지역 및 아고산대 산지초지에서 나타나는 식생 동태에 변화가 관찰되며<sup>23)</sup>, 이러한 초지의 변화가 비단 직접적인 인간 간섭에 의한 변형 뿐 아니라 자연상태의 초지에도 진행되고 있다는 결과를 보고하고 있다. 그리고 일부 연구에서는 후자의 경우를 산간지대 기후변화에 의한 간접적 결과로 해석한 바 있다<sup>24) 25)</sup>. 그러나 정확한 원인 규명을 위해서는 산간지대 기후와 지형환경 변화에 대한 장기적이고 체계적인 연구가 필요하다. 백두산 동사면 산지초지의 분포 변화 양상과 현장조사를 통하여 파악한 초지의 식생동태에 대한 분석결과를 제공하고자 한다.

20) 김남신. 2012. 백두산 동사면 산지초지 분포와 변화에 관한 연구. 한국지역지리학회지 18(4): 364-373. 재구성하였음.

21) Lewis, M.S., Hinz, T., King. 2003. Montana wetlands and riparian areas: a 2002 survey. Montana Fish, Wildlife and Parks. RMU Research Summary 8.

22) Tricart, J., KiewietdeJonge, C. 1992. Ecogeography and rural management: a contribution to the International Geosphere-Biosphere Programme. Longman Scientific & Technical, Wiley, New York. 267 pp.

23) Ryan D.H., Charles, B.H. 2007. Vegetation responses to conifer encroachment in a western cascade meadow: a Chronosequence Approach. Canadian Journal of Botany 85: 285-298.

24) Hayes, D.J., Sader, S.A. 2001. Comparison of change-detection techniques for monitoring tropical forest clearing and vegetation regrowth in a time series. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 67: 1067-1075.

25) Hobbs, R.J., Yates, S., Mooney, H.A. 2007. Long-term data reveal complex dynamics in grassland in relation to climate and disturbance. Ecological Monographs 77(4): 545-568.

30m 공간해상도의 Landsat TM 위성영상을 분석하여 산지초지의 분포를 확인한 결과, 1988~2006년 간 산지초지의 면적은 54% 감소하였고, 목본성 수종이 우점하는 산림은 16% 증가하였다. 산지초지는 분포환경에 따라 수성초지(hydric meadow)(그림 38), 건성초지(xeric meadow)(그림 39), 중성초지(mesic meadow)(그림 40), 구조토초지(hummock meadow)(그림 41)의 4가지 유형으로 분류되었는데(그림 42), 유형별 변화에서는 구조토초지가 70%, 건성초지가 63%, 중성초지는 48% 감소한 반면, 수성초지는 4%의 낮은 감소율을 나타내었다(그림 43, 그림 44, 표 5). 현지조사 결과, 초지가 감소하는 지역은 관목과 잎갈나무가 침입하는 천이계열(sere) 단계에 있는 것으로 파악되었다. 정리하자면, 고산지역에 형성된 산지초지는 주빙하기후 지형토양환경 하에서 형성되는 습지성 초지로 기후변화에 민감하기 때문에 변화가 쉽게 일어날 수 있으며, 특히 백두산 동사면에 형성된 초지의 경우에도 습지성 초지에서 육화가 진행됨에 따라 목본류가 유입되는 과정에 있다. 같은 기간 이 지역의 기온은 2.16℃ 증가하였고, 강수량은 5.28mm 감소하였다는 것을 고려하면, 기후조건의 변화가 이 지역의 초지변화에도 영향을 주고 있는 것으로 해석된다.

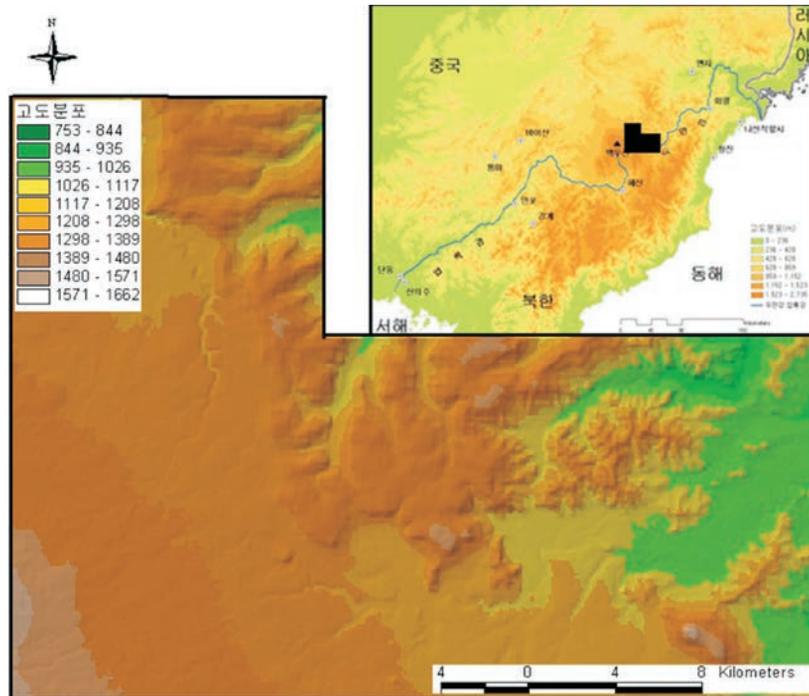


그림 37. 연구지역의 위치와 해발고도 분포



그림 38. 수성초지(촬영: 김남신(2015.7.28))



그림 39. 건성초지(촬영: 김남신(2015.7.28))



그림 40. 중성초지(촬영: 김남신(2012.5.28))



그림 41. 구조토초지(촬영: 김남신(2012.5.28))

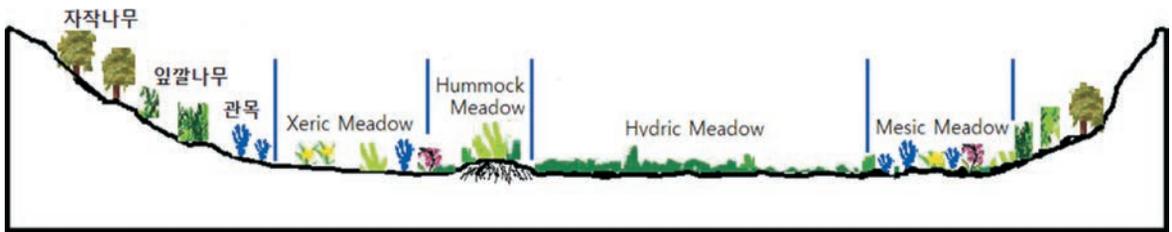


그림 42. 초지의 분류 유형

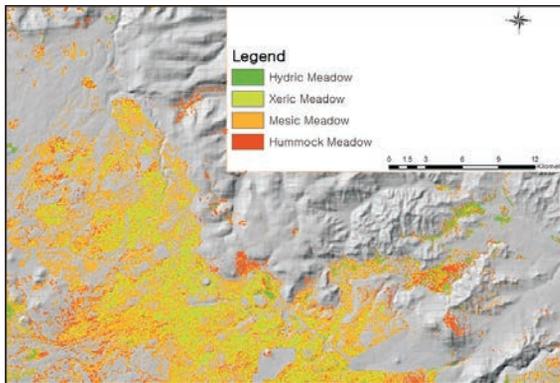


그림 43. 1988년 초지유형별 분포

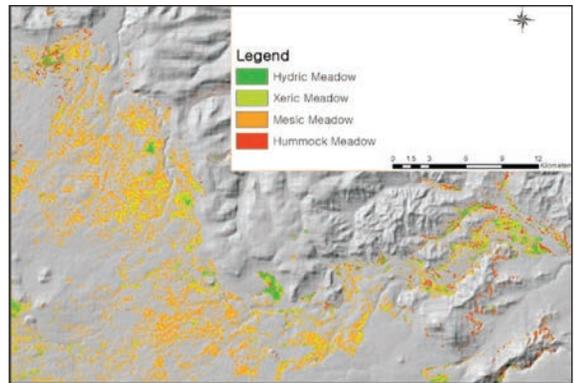


그림 44. 2006년 초지유형별 분포

표 5. 시기 별 산지초지 면적 및 면적 증감율

Class	1988년(km <sup>2</sup> )	2006년(km <sup>2</sup> )	증감(%)
Hydric meadow	13.12	12.56	-4.27
Xeric meadow	72.50	26.51	-63.43
Mesic meadow	164.69	84.36	-48.77
Hummock meadow	42.48	12.42	-70.76
total	292.79	135.86	-54

## V. 백두산 분화 시 환경 피해범위 예측<sup>26)</sup>

최근 백두산 일대에서 발생한 지진(그림 45, 그림 46), 온천수의 온도 상승, 화산가스의 분출 등 정보를 종합하면 백두산이 화산으로서의 활동기에 접어들었다는 측면이 학계의 중론이다. 역사상의 기록에 비추어 보아도 분화 가능성은 충분히 제기될 만하다. 다만 지질기록에 대한 정보가 부족하여 분화시기에 대한 의견은 다양하다. 지구 내적 지형형성작용(endogenic geomorphic process)인 조산활동을 사전에 방지하기 위한 노력은 불가능하지만, 이러한 결과가 발생했을 시 피해를 최소화하기 위한 대응책을 마련하기 위해서는 분화 시 영향범위 및 정도의 예측이 필요하다. 이러한 측면에서 볼때 백두산 분화 시물레이션을 통해 도출된 분화 시 용암류와 화산재의 확산이 환경에 미치는 영향정보를 제공하고자 한다.

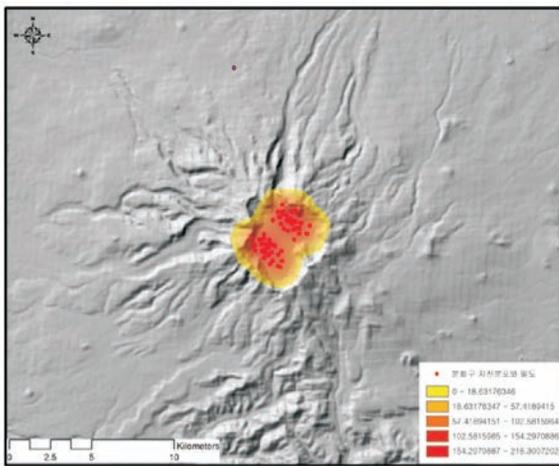


그림 45. 최근 발생한 진앙지 밀도

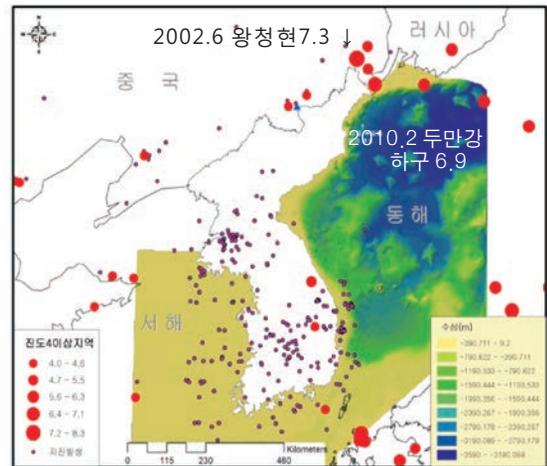


그림 46. 2004년 이후 발생한 지진분포

용암류의 흐름은 Felpeto model<sup>27)</sup>, 화산재 확산은 Armienti model<sup>28)</sup>을 이용하여 시물레이션을 실시하였다. 분화강도는 화산폭발지수 7로 가정하였으며, 가을에서 봄 사이 북서계절풍이 부는 계절을 상정하여 실시하였다. 폭발은 화산폭발 지수에 따라 대폭발을 2회로 가정하고 시물레이션을 실시하였다. 분석 결과 용암류는 분화구의 서북방향에 형성된 용암대지를 따라 중국 방향으로 55km 확산되는 것으로 모의되었다. 화산재는 북서계절풍의 영향으로 북한 방향으로 확산되었는데, 9시간 동안 23,200km<sup>2</sup>의 범위로 확산되었으며, 500km 떨어진 울릉도 인근까지 도달하였다(그림 47, 그림 48). 이 때 화산재에 의하여 북한의 3개도 27개 시군의 61개 도시와 마을이 영향을 받는 것으로 나타났다(표 6).

26) 김남신. 2011. 시물레이션에 의한 백두산 화산분출 영향범위 분석. 한국지역지리학회지. 17(3): 348-356. 재구성하였음.  
 27) Felpeto, A., Arana, R., Ortiz, M.A., Garcia, A. 2001. Assessment and modelling of lava flow hazard on Lanzarote island (Canary islands). Natural hazards 23: 247-257.  
 28) Armienti, P., Macedonio, G., Pareschi, M.T. 1988. A numerical-model for simulation of tephra transport and deposition-applications to May 18, 1980, Mount-St-Helens eruption. Journal of Geophysical Research 93(b6): 6463-6476.

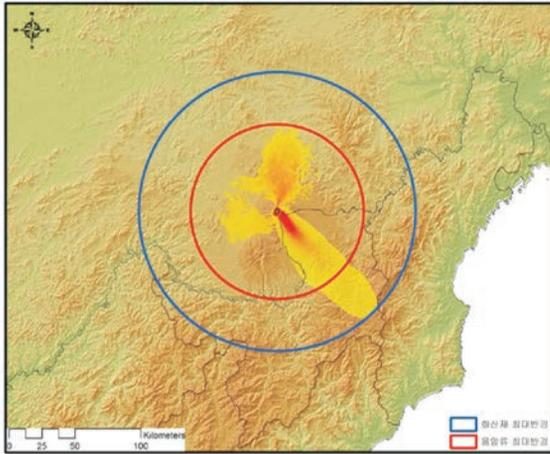


그림 47. 1차 폭발 시 3시간 내 피해 지역  
(용암류: 65km, 화산재: 100km)

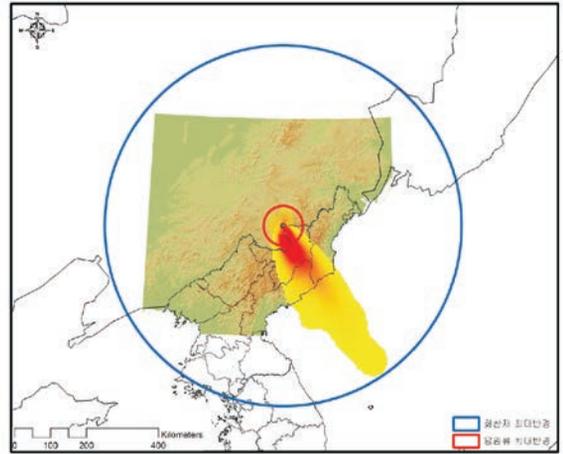


그림 48. 2차 폭발 시 9시간 내 피해지역  
(용암류: 55km, 화산재: 500km)

표 6. 백두산 화산 분출 시 화산재 영향지역

횟 수	지 역	세부지역
1차	량강도 5개군	운흥군, 보천군, 백암군, 삼지연군, 대흥단군
2차	량강도 11개 시군	갑산군, 삼지연군, 운흥군, 김정숙군, 혜산시, 김형권군, 대흥단군, 보천군, 풍서군, 백암군, 삼수군
	함경남도 7개 시군 함경북도 9개시군	신포군, 허천군, 부전군, 북청군, 리원군, 흥원군, 단천시 덕성군, 어랑군, 길주군, 화성군, 경성군, 명천군, 화대군, 김책시, 연사군

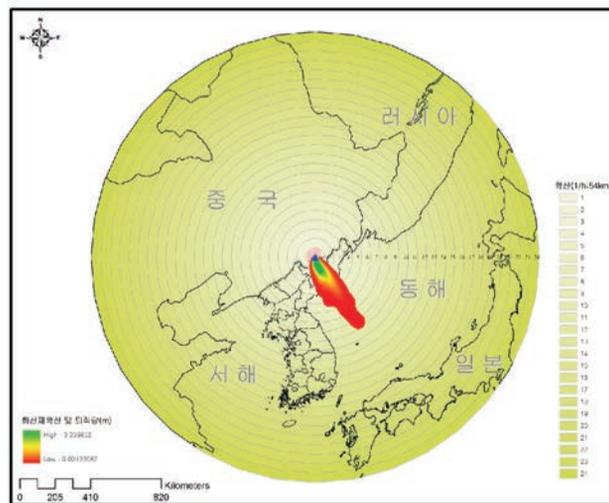


그림 49. 백두산 분화 시 시간대 별 화산재의 확산

다만 이와 같은 화산재의 확산 양상은 특정 계절의 주풍(主風; prevailing wind) 방향을 가정하였을 때 도출된 것으로, 실제 분화 시의 대기 상태에 따라 어느 방향으로도 향할 수 있다고 간주해야 한다. 만약 화산재가 한국으로 향한다면 서울, 경기도, 강원도 지역이 화산재의 영향권에 포함될 수 있다. 그리고 이 후 편서풍을 따라 지속적으로 확산된다면 24시간 후에는 일본열도를 통과할 것으로 예측되었다(그림 49). 제공되는 정보는 몇몇의 직접 변수만을 가정하여 수행한 시뮬레이션으로부터 도출된 것으로서 현실적인 대응방안 마련을 위해서는 보다 복합적인 변수(예를 들면, 칼데라호인 천지에서 분화되었을 경우 발생할 수 있는 수리적 변수, 화산 분화 시 일어날 수 있는 지진, 단층, 산사태 등의 지형·지질 변수 등)를 고려한 복합적인 모델의 구축이 필요하다. 그리고 이를 위해서는 다각적인 분야에서 기초연구 및 학제 간의 통합연구가 필수적으로 요구된다. 백두산의 화산활동에 대해서는 한국 뿐 아니라 북한, 중국이 모두 관심을 기울이고 있으므로, 공동연구가 진행되어야 한다고 본다. 공동연구의 프레임 내에서, 분화시기에 대한 예측 이외에도 현재 진행되고 있는 활동에 대한 지속적인 모니터링과 해당 자료의 공유, 분화 시 발생할 재난에 대한 대응 매뉴얼 제작, 심각한 자연재난 등 여러 측면에서의 연구가 수행될 필요가 있다. 또 하나 주목해야 할 점은 지질 및 역사 기록을 통하여 볼 때, 두만강 하구 동해지방에서 지진이 발생할 경우 백두산에서의 지진빈도도 증가해왔다는 점이다. 이들의 관련성 연구도 함께 진행되어야 할 것으로 본다.

NIE-IR 17-01(통권3호)

## **NIE Issue Report**

발간일 2017년 4월 28일

발행인 이희철

편 집 융합연구실

발행처 국립생태원 충남 서천군 마서면 금강로 1210

인쇄처 엠씨기획 (전화 02-587-0041)

1. 이 책의 무단 복제 및 전재는 삼가주시기 바랍니다.
2. 이 책은 국립생태원 홈페이지([www.nie.re.kr](http://www.nie.re.kr))를 통하여 보실 수 있습니다.
3. 문의: 국립생태원 융합연구실 연구기획관리팀 (전화 041-950-5860)

