

위성영상과 공간자료를 이용한 북한 지역의 재조림 CDM 대상지 선정 및 적지분석 방안

Approach for Suitable Site Selection and Analysis for Reforestation CDM using Satellite Image and Spatial Data in North Korea

유성진* · 이우균** · 이승호*** · 김은숙**** · 이종렬*****

Yoo, Seong Jin · Lee, Woo Kyun · Lee, Seung Ho · Kim, Eun Sook · Lee, Jong Yeol

要 旨

본 연구의 목적은 북한 지역을 대상으로 위성영상과 공간자료를 이용하여 재조림 CDM의 정의에 적합한 대상지 선정 방안을 제시하는데 있다. 재조림 CDM이 가능한 대상지는 1990년 이전부터 현재까지 산림이 아닌 지역으로 규정되어 있다. 연구대상지역은 북한 함흥 지역이며, 1988년 9월 27일 취득된 Landsat TM 영상과 2007년 9월 24일 취득된 SPOT Pan-sharpened 영상의 두시점 영상을 이용하였다. 두시점의 영상에 대해서 각각 영상분류를 실시하여 산림황폐지(무림목지, 개간산지, 산간나지)를 구분하였다. 그리고 두 영상분류 결과를 이용한 변화탐지 분석을 수행하여 잠재적인 재조림 CDM 대상지를 도출하였다. 영상분류 결과, 19년간 산림의 1,214 ha가 개간산지, 농경지 또는 산간나지로 변화된 것으로 분석되었다. 분석 결과, 2,245 ha가 재조림 CDM의 정의에 부합하는 것으로 나타났으며, 전체 잠재적 재조림 CDM 대상지 중 79.2%가 개간산지로 나타났다. 분석된 잠재적 재조림 CDM 대상지에 대하여 지형 및 접근성 분석을 통해 적합성 지수를 산출하였고 대상지를 적합성에 따라 등급화하여 사업우선 순위의 선정 등에 활용할 수 있도록 하였다.

핵심어 : 재조림 CDM, 영상분류, 피복변화탐지, 적지분석

Abstract

The objective of this study was to select appropriate sites for reforestation CDM using satellite image and spatial data in North Korea. A suitable site for reforestation CDM can be defined as non-forest area since 1990. To detect land cover change between two different years and to delineate potential reforestation CDM site(unstocked forest, converted crop land, denuded bare land), Landsat TM satellite image which was scanned in 1988 and SPOT Pan-sharpened image which was scanned in 2007 were used. As a result of classification, 1,214 ha of forest area in 1989 had been converted to other land cover types in 2007. and 2,245 ha of the total study area was detected to be suitable for reforestation CDM. 79.2% of total potential CDM sites was converted crop land. Through topography and accessibility analysis for potential reforestation CDM sites detected by satellite image, suitability index was calculated and the potential reforestation area was reclassified into suitability grades.

Keywords : Reforestation CDM, Image Classification, Change Detection, Site Suitability Analysis.

1. 서 론

교토의정서 발효로 시작된 온실가스 감축을 위한 국제적인 노력은 공동이행제도(Joint Implementation:

JI), 청정개발체제(Clean Development Mechanism: CDM), 배출권거래제도(Emission Trading: ET) 등과 같은 시장 원리에 입각한 교토메커니즘을 탄생시켰다 (배재수, 2006). 이러한 교토메커니즘은 온실가스를 직

2011년 4월 6일 접수, 2011년 5월 11일 채택

- * 정희원 · 고려대학교 환경생태공학과, 석사과정(yoosjin@gmail.com)
- ** 교신저자 · 정희원 · 고려대학교 일반대학원 환경생태공학과 교수(leewk@korea.ac.kr)
- *** 국립산림과학원 산림자원정보과 연구관(frishlee@forest.go.kr)
- **** 국립산림과학원 산림자원정보과 연구원(drummer1@snu.ac.kr)
- ***** 고려대학교 환경GIS/RS Center 연구교수(jylee1559@hanmail.net)

접적으로 배출하는 에너지, 수송 및 건설 분야와 더불어 이산화탄소를 직접적으로 고정할 수 있는 산림 분야에서도 적용 가능하다.

우리나라는 제 1차 공약기간 이후(2012년 이후) 온실가스 의무감축국이 될 가능성이 높아, 할당된 배출량을 효과적으로 감축하기 위한 방안을 검토하여 대비할 필요가 있다. 교토메커니즘의 CDM 사업 중 조림 CDM 사업은 제 1차 공약기간 동안 탄소 배출권을 확보할 수 있는 유일한 수단으로 주목받고 있다. 이는 2001년 모로코에서 개최된 UNFCCC 제 7차 COP에서 협의하고 채택된 마라케쉬 합의문(Marrakesh Accords)의 세부규칙에 상세히 규정되었다. 이 세부규칙에 의하면 1차 공약기간 동안 CDM 사업으로 인정받을 수 있는 활동은 신규조림(Aforestation) 및 재조림(Reforestation)으로 제한되어 있다(Penman et al., 2003). 우리나라가 1차 공약기간에 A/R CDM 사업을 유지하기 위해서는 마라케쉬 합의문에서 정의된 신규조림 및 재조림 기준에 적합한 토지를 찾아야 한다. 신규조림은 50년 이상 산림 이외의 용도로 이용해 온 토지에 조림, 파종, 인위적 천연 갱신의 촉진 등을 통해 새로이 산림을 조성하는 것이다. 또한, 재조림은 1990년 이전부터 산림이 아니었던 토지에 재조림하는 것을 말한다. 그러나 우리나라는 1970년대 시작된 치산녹화사업으로 황폐화된 산지가 대부분 녹화되어 A/R CDM 사업에 적합한 대상지를 찾기 어려운 실정이다. 또한, 기준에 적합한 대상지가 있더라도 소규모로 분산되어 있기 때문에 효율적 조림 및 경제성 측면에서 한계가 있다(배재수, 2006). 그러므로 대규모의 조림이 가능한 지역을 찾아야 하는 것이 현실적인 문제이다.

북한은 1970년대부터 식량 생산과 연료재 채취를 위한 벌채로 많은 지역이 황폐화되었으며, 1990년대 후반의 Landsat TM 위성영상 분석에 따르면 북한의 황폐산지는 북한 전체 면적의 13.3%를 차지하는 것으로 나타났다(이승호, 2004). 이로 인하여 발생한 산림 기능의 약화는 식량난을 가중시키고 경제 활동에 피해를 주는 것으로 보고되었다(박경석 등, 2009). 따라서 A/R CDM을 통해 우리나라가 북한 산림 황폐지의 복구 사업에 참여한다면 탄소배출권을 확보하면서 북한 주민의 생활에도 간접적인 도움을 줄 수 있는 효과를 낼 수 있다.

그간 우리나라에서는 위성영상을 이용한 북한의 산림 변화에 대한 연구(이동근 등, 2007)가 진행된 바 있고, 북한 전역의 황폐지에 대한 전반적인 분포에 대한 연구가 이루어진바 있다(이승호, 2004). 그러나 기존의 연구에서는 30m 해상도를 지닌 Landsat 위성

영상을 이용했기 때문에 실질적인 A/R CDM 계획을 위한 지역 도출 및 지도화의 정확성을 높일 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 피복 변화탐지를 위해 2.5m 해상도를 지닌 SPOT Pan-sharpened 영상을 이용하여 이러한 문제점 해결하고자 하였다. 그리고 위성영상을 통해 탐지된 잠재적 재조림 CDM 대상지에 대해 GIS 적지분석 기법을 통하여 적합성 지수를 계산하고, 이를 이용해 재조림 CDM 적지를 등급화하여 지도화하는 방법을 제안하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 연구대상지

연구대상지는 위도 $39^{\circ} 47'32.2'' \sim 40^{\circ} 0'52.3''$, 경도 $127^{\circ} 28'20.7'' \sim 127^{\circ} 41'48.6''$ 의 범위에 해당하는 지역이다. 이는 북한 함경남도의 도청 소재지인 함흥시의 일부 지역으로서 대상지의 면적은 458.37km^2 이다. 이 지역은 남서부 지역에 평야지대가 많이 분포하고 있으며 평균 고도는 75m로 비교적 낮은 편이나 북서부에는 고도가 600m에 이르는 지역도 분포하고 있다. 그림 1은 연구 대상지역 일원에 대한 구글 영상이다.

2.2 이용 자료 및 프로그램

토지피복 분류 및 변화탐지를 위한 위성영상 자료는 1988년 9월 27일에 취득된 Landsat TM4 영상과 2007년 9월 24일에 취득된 2.5m SPOT Pan-sharpened 영상이다. 이 두시기의 영상은 계절적으로 동일하므로 생물 계절주기의 차이에 따라 발생할 수 있는 변화탐지의 오류를 줄일 수 있으며, 산림의 활력도가 높아 비산림과의 구분이 용이하다.

지형인자분석에 사용된 지형 자료로는 30m 격자 크기를 가지는 ASTER GDEM 자료를 사용하였다(Hato et al., 2009). 접근성 분석에 사용된 도로와 주거지 자료는 영상에 대하여 육안분석을 수행한 후 그 결과를

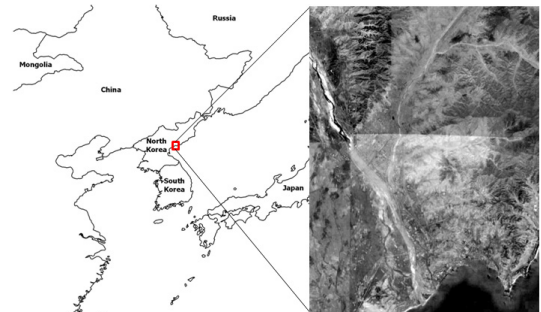


그림 1. Study area and satellite image

디지털라이징(Digitizing)하여 구축하였다.

영상분류에는 Erdas Imagine 9.1, 분할영상 생성에는 eCognition Developer 8.0, 입지환경 분석에는 ESRI의 ArcGIS 9.2가 이용되었다.

2.3 연구방법

2.3.1 위성영상 분류 및 피복변화탐지

① 화소기반 무감독분류

영상분류는 화소기반의 무감독분류 방법 중 ISODATA 방법을 사용하여 수행되었다(ERDAS, 2003; Stow et al., 2003; Jensen, 2005). 북한 지역의 경우 지상참조자료의 획득 활동이 거의 불가능하고 참고할 수 있는 문서자료의 검색 또한 불가능한 한계가 있다. 그러므로 무감독분류를 이용하여 분광정보에 따라 군집화(Clustering)를 먼저 실시하고 이후 분류 항목을 지정하는 방법을 이용하였다. 영상의 종류와 해상도에 따라 ISODATA 무감독 분류 항목을 다르게 지정하였다. 1990년 이전의 토지피복 상태를 분석하기 위한 영상으로 사용된 Landsat 영상의 경우 무감독 분류 군집 개수를 150개로 지정하여 ISODATA 무감독분류를 실시하였고, 최근의 상태를 분석하기 위한 영상인 SPOT 영상의 경우 군집 개수를 250개로 지정하여 군집화를 실시하였다.

② 분류항목 설정

가. Landsat 영상 분류 항목 설정

Landsat 영상은 30m의 낮은 해상도를 가지고 있어 분류 항목을 세분화하고 정확한 토지피복 분류에 어려움이 있으며, 1990년 이전 영상으로서 정확도 평가를 실시하기 위한 검증자료도 부족한 실정이다.

따라서 상세한 토지피복분류보다는 마라케쉬 합의문에서 설정한 재조림에 대한 정의에 따라 1990년 이전 산림이 아니었던 토지, 즉 비산림 지역을 추출하는 데 초점을 두었다. 따라서 Landsat 영상의 분류 항목을 산림, 비산림, 수역의 3가지로 단순화하여 설정하였다.

나. SPOT 영상 분류 항목 설정

SPOT 영상은 해상도가 2.5m로 비교적 높은 해상도를 가지고 있으며, 잠재적 CDM 대상지에 대해 세분화하기 위해 좀 더 많은 분류 항목을 지정하였다. 입목지, 무립목지, 개간산지, 나지, 농경지, 수역, 거주지의 7개로 분류하였다. 분류기준은 토지이용 및 변화탐지에 관한 IPCC 가이드라인을 참고로 하여 설정하였다(표 1). 여기서 입목지는 5m 이상 수고와 수관피복도 10% 이상인 지역을 말하며, 무립목지는 5m 이하의 수고 또는 수관피복도가 10% 이하인 초지 또는 관목 지역 말한다(Penman et al., 2003). 개간산지는 산림을 개간하여 현재 농경지로 사용되고 있는 토지로 경사도 8도 이상인 지역을 말한다(농림부, 2002). 나지는 어떤 토지이용도 하지 않으며 식생 또한 존재하지 않는 토지로 설정하였다. 농경지는 경사도 8° 미만이며 논 또는 밭으로 이용되고 있는 토지를 말하며, 수역은 강 또는 호수, 바다인 지역으로 하고 거주지는 아스팔트와 같은 인공물에 의해 덮여 있는 토지로 설정하였다.

Landsat 영상은 위에서 언급한 세 가지 분류 항목을 기준으로 재분류되었으며, SPOT 영상은 먼저 농경지를 제외한 6개 분류 항목으로 재분류한 후, 수치고도모델(Digital Elevation Model: DEM)을 통하여 도출된 경사 주제도를 중첩하여 경사도 8° 이상이면서 농경지인 지역은 개간산지로 재분류하고 8° 이하인 지역은 농경지로 분류결과를 그대로 적용하였다.

③ 분할영상 적용

화소기반에 의해 분류된 결과는 지피 유형이 혼합되는 문제(Salt and pepper)가 나타나기 때문에 토지 피복 구분과 변화탐지 시 오류가 발생하게 된다(정재서, 2003) 그러므로 이러한 효과를 없애기 위하여 영상에서 유사한 화소를 폴리곤의 형태로 군집화 하는 영상분할(image segmentation)을 실시하였다. 분할영상은 분류항목이 많은 SPOT영상을 이용한 영상 분류시에만 생성하여 이용하였다. 분할영상 제작 시 김은숙 등(2010)의 연구에서 북한산림 황폐지 분류시에 효과적

표 1. Criteria of the classification class

Land cover class	criteria
Forest	mean stand height \geq 5m and crown covering \geq 10%
Unstocked forest	mean stand height < 5m or crown covering < 10%
Converted crop land	cultivation area with slope \geq 8°
Denuded bare land	no land use and no vegetation
Crop land	cultivation area with slope < 8°
Water	river or lake, sea
Settlement	artificial construction

인 구분이 되었던 매개변수 임계치를 참고하였다. Color와 Shape factor를 0.7과 0.3으로 지정하였고, 분할영상 매개변수 값의 임계치인 Scale parameter는 40으로 지정하여 영상 분할을 수행하였다.

그리고 분할된 영상을 기존의 토지피복 분류 결과와 중첩하였고 다수원칙(majority principle)을 적용하여 Salt and pepper 효과를 제거하였다(Kim et al., 2010).

④ 분류 정확도 평가

이 연구의 가장 큰 한계점은 실제 조사지역 방문을 통한 토지피복 검증 자료의 획득이 불가능하여 분류 결과에 대한 정확도 평가가 어렵다는 것이다. 하지만 분류 결과의 정확도는 향후 결과 이용자에게 반드시 제공되어야 한다. 본 연구에서는 최근 영상(SPOT)의 분류 결과에 대해 정확도 평가를 실시하였다. 이를 위해 분류에 사용된 영상에서 그 분류항목이라 확실하게 판단되는 200개 지점을 선정하였고, 이를 이용하여 Kappa 분석을 실시하여 분류 정확도를 평가하였다. Kappa 분석은 정확도 평가에 사용되는 이산 다변량 기법 중 하나로서 원격탐사를 이용해 만든 분류지도와 오차행렬의 정확도를 통계적으로 평가하는데 사용되어 왔다(Hudson and Ramm, 1987; Jensen, 2005)

⑤ 재조림 CDM 대상지 선정

잠재적 재조림 CDM 대상지는 위에서 분석된 두 시기의 토지피복 변화탐지 기법을 이용하여 선정하였다. 두 시기의 영상분류 결과를 비교하여 변화를 탐지하는 기법은 가장 널리 사용되고 있는 정량적 변화탐지 기법 중 하나이다(Jensen, 2005). 마라케쉬 합의문에 규정된 조림 CDM 대상지의 정의에 의하여 1990년 이전에 비산림이었던 지역이면서 최근까지 무림목지, 개간산지, 산간나지로 남아 있는 지역을 중첩분석을 통해 추출하여 잠재적 재조림 CDM 대상지를 선정하였다. 그리고 IPCC에서 정의한 산림으로 정의할 수 있는 기준 면적인 0.05 ha 이상인 면적을 남겨두고 나머지 작은 조각(patch)들은 제거하였다(Penman et al., 2003).

2.3.2 GIS를 이용한 입지, 접근성 및 적지분석

① 지형분석

선정된 잠재적 CDM 대상지에 대하여 고도, 경사, 방위에 대한 지형분석을 실시하였다. 고도와 방위는 임목의 분포 범위를 결정지을 수 있기 때문에 CDM 사업 조림 수종 선정에 영향을 미칠 수 있다(김태민 등, 2009). 그리고 경사는 향후 조림 작업 시행시 작업 능력에 영향을 미칠 수 있다.

② 접근성 분석

- 도로

조림을 하기 위해서는 장비, 물자 및 인력의 수송이 필요하다. 그러므로 도로와의 접근성은 향후 재조림 CDM 사업의 경제성 분석에 중요하다. 따라서 대상지의 SPOT 위성영상 및 구글 영상을 참고로 하여 주요 도로에 대한 육안분석의 결과를 디지털화(digitizing)하였고, 도로에 대한 데이터베이스를 구축하였다(그림 2). 이를 바탕으로 잠재적 CDM 대상지에 대해 200m 간격으로 버퍼링 분석을 실시하여 각 등급별 면적을 산출하였다.

- 주거지

조림은 기계화가 어려운 노동집약적인 작업으로 조림 CDM 사업과 같은 대규모의 조림을 실시하기 위해서는 많은 노동 인력이 필요하게 된다. 또한, 사업기간이 긴 조림 CDM 사업의 성공을 위해서는 조림 이후 나무의 생육기간 전 단계에 걸쳐 임목 보육 및 간벌 등

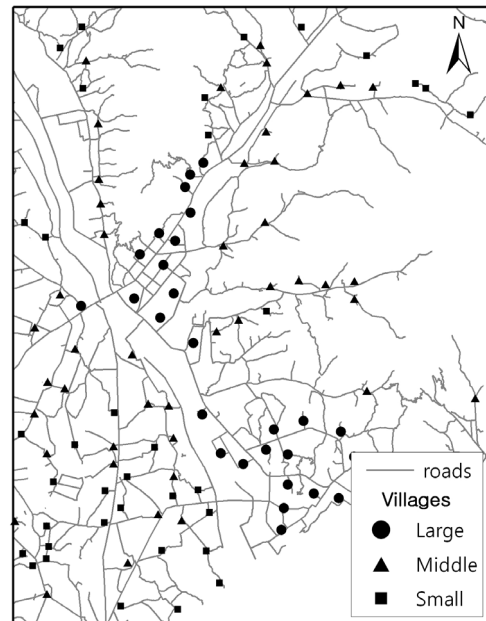


그림 2. The distribution map of roads and villages in the study area

표 2. The criteria of village class

Village class	criteria
large	No. of buildings \geq 100
middle	$50 \leq$ No. of buildings $<$ 100
Small	No. of buildings $<$ 50

표 3. The weighted values according to the grades of each criteria in topographical factors and accessibility

Grade	Topographical factors		Accessibility	
	(a) Elevation(m)	(b) Slope(°)	(c) Village(km)	(d) Road(km)
5	0-50	0-5	0-1	0-0.2
4	50-100	5-10	1-2	0.2-0.4
3	100-150	10-15	2-3	0.4-0.6
2	150-200	15-20	3-4	0.6-0.8
1	> 200	> 20	> 4	> 0.8
weighted	0.327	0.29	0.232	0.151

의 후속 작업이 필요하다. 그러므로 노동 인력 확보가 용이한 주거지와와 접근성도 대상지 선정 및 사업의 성공 여부에 있어서 매우 중요한 요소이다. 주거지로부터의 접근성을 분석하기 위한 주거지 선정에도 SPOT 및 구글 영상을 참고로 하여 육안분석을 실시하였다. 이를 통해 건물수를 기준으로 대규모 마을, 중규모 마을, 소규모 마을로 구분하였고(표 2), 각 지역별 거점 포인트를 추정하여 데이터베이스를 구축하였다(그림 2). 이를 기점으로 1km 단위로 버퍼링 분석을 실시하였다.

③ 적지 분석

위의 입지분석 및 접근성 분석 결과를 기초로 효과적인 조림 CDM 대상지를 선정하기 위해서 각 인자들 간의 중요도를 함께 고려할 필요가 있다. 본 연구에서는 인자별 가중치를 부여하여 대상지 별로 점수를 산출하였다. 각 요인별로 고도는 50m 간격으로 나누어 낮은 고도에 높은 점수를 부여하였고 경사는 5° 간격으로 구분하여 낮은 경사에 높은 점수를 부여하였다. 그리고 도로와 주거지로부터 가까운 거리에 위치할수록 높은 점수를 부여하였다. 각 인자별 가중치는 AHP(Analytical Hierarchy Process) 기법을 이용하여 산출하였다. AHP는 다수가 참여하는 의사 결정의 문제에서 사용될 수 있는 중요한 의사 결정 지원 방법론으로 정의할 수 있다(Saaty, 1987). AHP 기법은 GIS를 이용한 공간분석 및 의사 결정시 많이 이용되고 있다(최수명 등, 1998; 김태준과 이근상, 2006). AHP 분석에서 가장 중요한 변수는 전문가 그룹의 설정이다. 본 연구에서는 설문조사의 신뢰성을 확보하기 위해 경력 5년 이상의 임학과 교수님과 산림조합중앙회 경기도지회의 사업전문가 총 15명을 선정하여 설문조사를 실시하였다.

AHP 가중치 분석 결과, 고도에 대한 가중치가 32.7%로 가장 높은 값을 나타냈으며 경사가 29%, 마을로부터의 거리는 23.2%, 그리고 도로로부터의 거리는 15.1%로 가장 낮은 가중치를 보였다(표 3). 또한 AHP 분석 결과의 신뢰도를 평가할 수 있는 일관성 비

율인 C.I.(Consistency index)는 0.0124로서 본 연구에서 실시한 설문조사 및 분석결과가 의미를 갖는 것으로 평가되었다. C.I는 설문자의 일관성을 나타내는 척도로 0.1 이하의 값을 가질 때 논리적으로 일관성을 갖는 것으로 본다(김태준과 이근상, 2006). 이를 기반으로 전체 CDM 대상지에 대하여 1에서 5점 사이의 적합성 지수를 계산하였다(식 1). 본 연구에서는 적합성 지수가 4점 이상인 지역을 재조림 CDM 사업 실시에 우선순위가 가장 높은 지역으로 설정하고 면적을 분석하였다.

$$SI = 0.327a+0.290b+0.232c+0.151d \quad (\text{식 1})$$

∴ SI : Suitability Index

a: Elevation grade

b: Slope grade

c: Village grade

d: Road grade

3. 결과 및 고찰

3.1 위성영상 분류결과

영상분류 결과, 산림지역은 1988년에 비하여 2007년에는 15,621 ha에서 14,407 ha로 7.8% 감소한 것으

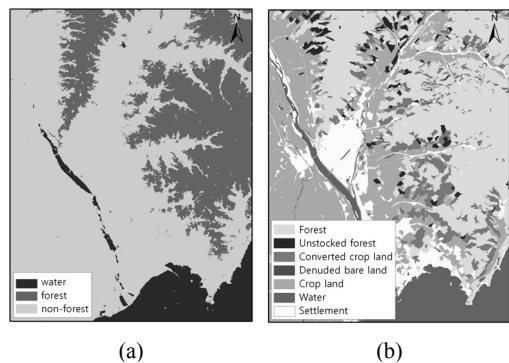


그림 3. Classification result of Landsat image in 1988 (a) and segment based classification result of SPOT image in 2007 (b)

표 4. The area of each class after image classification.

LANDSAT 1988. 09. 27		SPOT 2007. 09. 24	
Class name	Area(ha)	Class name	Area(ha)
Forest	15,621 (34.1%)	Forest	14,407 (31.4%)
Non-forest	26,378 (57.5%)	Unstocked forest	1,023 (2.2%)
		Converted crop land	3,349 (7.3%)
		Denuded bare land	52 (0.1%)
		Crop land	16,996 (37.2%)
		Settlement	5,450 (11.9%)
Water	3,837 (8.4%)	Water	4,558 (9.9%)
Total	45,836 (100%)	Total	45,837 (100%)

로 나타났으며, 감소된 산림의 대부분이 개간산지나 농경지로 전용된 것으로 분석되었다(표 4). 그림 3은 1988년과 2007년의 토지피복 분류를 나타낸다. 2007년도 분류 결과를 보면, 개간산지는 대부분 고도가 낮으며 경사가 낮은 산등성이에 분포하고 있었으며, 주거지와 가까운 지역에 많이 분포하고 있었다. 반면, 무림목지(관목지대, 초지)는 개간산지와 동일하게 고도와 경사가 낮은 산등성이에 분포하고 있었으며 주거지와는 어느 정도 먼 거리에 분포하는 것으로 나타났다.

3.2 정확도 평가 결과

Kappa 분석을 이용한 최근영상 분류 지도의 정확도 평가 결과, Khat 일치도계수가 0.81로 높게 나타났다. Khat 일치도계수는 우연히 옳게 분류된 경우가 없을 때 1이며, 모두 우연히 정확하게 분류되었을 경우 0이 된다(Hudson and Ramm, 1987). 일반적으로 Khat이 0.8 이상일 경우, 분류지도와 참조정보 사이의 정확도나 일치도가 강함을 나타낸다(Landis and Koch, 1977).

3.3 잠재적 조림 CDM 대상지

재조림 CDM 정의에 적합한 대상지를 선정한 결과, 개간산지가 1,777 ha로 선정된 잠재적조림 CDM 대상지의 79.2 %를 차지하였고 다음으로 무림목지가 459 ha(20.4 %)의 면적을 차지하고 있는 것으로 나타났다(표 5). 나지는 9 ha로 전체 대상지 면적의 0.4 %로 가장 작은 면적을 차지하는 것으로 나타났다(그림 4).

표 5. The area of potential reforestation CDM sites

Class name	Area(ha)
Unstocked forest	459 (20.4%)
Converted crop land	1,777 (79.2%)
Denuded bare land	9 (0.4%)
Total	2,245 (100%)

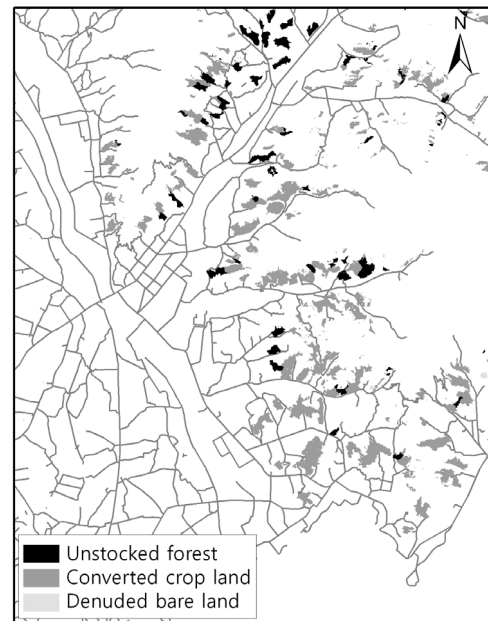


그림 4. The distribution maps of potential reforestation CDM sites

3.4 CDM 대상지의 입지 및 접근성

추출된 잠재적 CDM 대상지에 대한 지형인자 분석 결과, 고도 100 m 이내의 낮은 구릉 지대에 전체 면적의 약 71.9 %(1,615 ha)가 분포하는 것으로 나타났으며, 전체 면적의 약 65.2 %(1,464 ha)가 10° 이상의 높은 경사를 가진 것으로 나타났다. 경사 방향에 있어서는 전체 면적의 55.8 %(1,254 ha)가 남방향을 지닌 것으로 분석되었다(표 6).

버퍼 기능을 이용한 도로 및 주거지로부터의 접근성 분석 결과, 전체 잠재적 CDM 대상지의 70.5 %인 1,585 ha가 도로로부터 400 m 이내에 분포하고 있었고, 58 %인 1,303 ha가 주거지로부터 1 km 이내에 분포하고 있는 것으로 나타났다(그림 5).

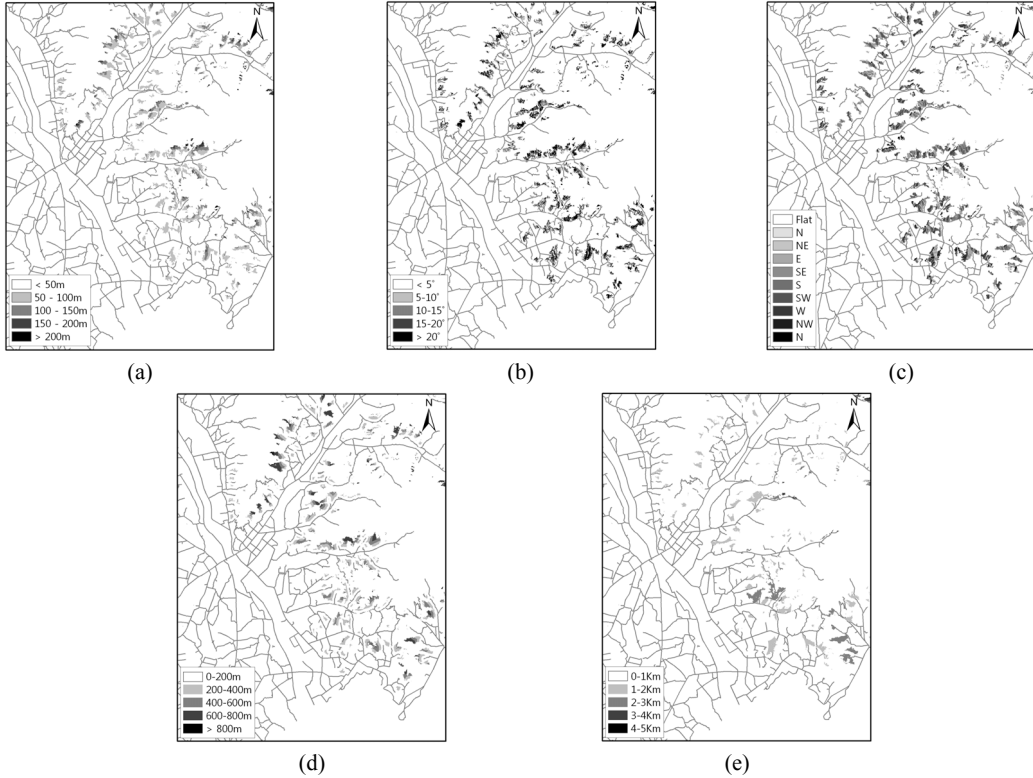


그림 5. Result maps of lanalysis (a) elevation (b) slope (c) aspect (d) distance from road (e) distance from villages

표 6. Topographical and geographical characteristics of the potential reforestation CDM sites

Elevation	Area (ha)	Slope	Area (ha)	Aspect	Area(ha)	Distance from road	Area (ha)	Distance from village	Area (ha)
< 50m	505 (22.5%)	< 5°	370 (16.5%)	Flat	91 (4.0%)	0-200m	818 (36.4%)	0-1km	1,303 (58.0%)
				N	78 (3.5%)				
50-100m	1,110 (49.4%)	5-10°	412 (18.4%)	NE	156 (6.9%)	200-400m	767 (34.1%)	1-2km	653 (29.1%)
				E	313 (14.0%)				
100-150m	507 (22.6%)	10-15°	587 (26.2%)	SE	418 (18.6%)	400-600m	415 (18.5%)	2-3km	262 (11.7%)
				S	425 (18.9%)				
150-200m	99 (4.4%)	15-20°	497 (22.1%)	SW	412 (18.3%)	600-800m	167 (7.4%)	3-4km	26 (1.2%)
				W	239 (10.7%)				
> 200m	24 (1.1%)	> 20°	378 (16.9%)	NW	113 (5.0%)	> 800m	78 (3.5%)	4-5km	1 (0.1%)
Total	2,245 (100.0%)	Total	2,245 (100.0%)	Total	2,245 (100.0%)	Total	2,245 (100.0%)	Total	2,245 (100.0%)

3.5 CDM 적지 분석

고도와 경사의 지형인자와 도로와 주거지로부터의 접근성 산출 결과를 Equation 1에 적용하여 적합성 지수를 계산한 결과, 재조림 사업에 적합한 4점 이상의 적합성 지수를 지닌 지역이 422 ha로 전체 면적의 18.8%를 차지하는 것으로 나타났다(표 7, 그림 6).

표 7. The suitability index of reforestation CDM

Suitability index	Area(ha)	
1 - 2	63	(2.8%)
2 - 3	555	(24.7%)
3 - 4	1,206	(53.7%)
4 - 5	422	(18.8%)
Total	2,245	(100.0%)

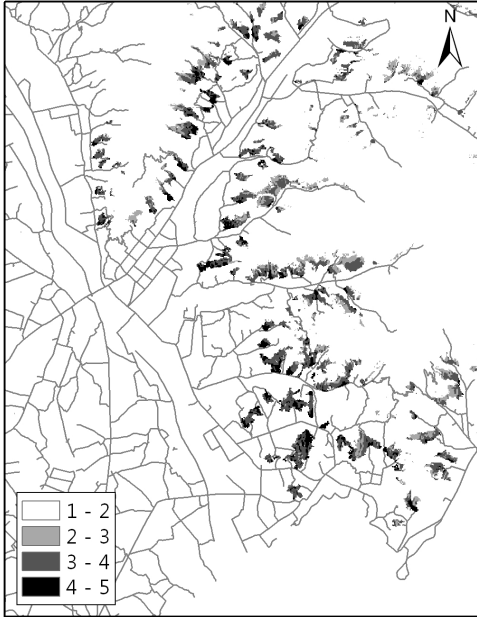


그림 6. Suitability Index map for reforestation CDM

4. 결론 및 고찰

본 연구에서는 위성영상자료와 GIS 공간자료를 이용하여 북한 지역을 대상으로 재조림 CDM의 정의에 적합한 대상지 탐지 방안을 제시하였다. 그리고 사업우선 순위 선정의 자료로 활용하기 위해 대상지에 대한 지형 및 접근성 분석을 통해 적지분석을 실시하여 적합성 지수를 유도하였다. 본 연구에서는 재조림의 기준이 되는 시점의 영상으로 30 m 해상도를 지닌 Landsat 영상, 그리고 최근 영상으로 2.5 m 해상도의 SPOT 영상을 채택하여 이를 분류하고 변화탐지 분석을 통해 재조림 CDM의 정의에 부합하는 지역을 도출하였다. 다만, 기준년도로 사용된 Landsat 영상의 해상도가 낮고 두 시기 영상간의 해상도 차이로 인해 일관성 있는 분석이 어려운 한계를 본 연구는 가지고 있다. 이를 보완하고 향후 성공적인 재조림 CDM 사업 실시를 위해서는 사업지 선정전 지역 주민을 통한 탐문조사나 문헌조사를 통한 대상지의 변천사와 경계정보에 대한 보완이 필요하다.

기존의 북한 지역 산림에 대한 연구(이승호, 2004; 이동근 등, 2007)는 위성영상을 이용하여 산림에 대한 변화와 조림 CDM을 위한 황폐지 추출에 중점을 두었다. 하지만 본 연구에서는 보다 실질적으로 재조림

CDM이 가능한 기준을 적용하여 도출하였고, 도로 및 주거지 자료를 구축하여 적지분석을 실시하였다는 점에 의의가 있다.

본 연구에서 도출된 결과는 북한 지역 내의 황폐화 지역 및 산림에 대한 정보 구축을 통해 북한 지역에서의 탄소배출권 확보를 위한 기초자료로 활용할 수 있다. 또한, 재조림 CDM 사업의 국제적 인증을 받기 위한 추가성(Additionality) 및 베이스라인(Baseline)에 대한 정보제공을 위한 기초자료로의 활용도 가능하다. 뿐만 아니라 향후 통일을 대비하여 북한 산림 황폐지 복구 실현과 산림관리 전략 개발에 있어 기초자료로 활용할 수 있다.

5. 참고문헌

1. 김은숙, 이승호, 조현국, 2010, "북한 산림황폐지의 질감 특성을 고려한 분할영상 기반 토지피복분류". *대한원격탐사학회지*, 제26권, 5호, pp.477-487.
2. 김태민, 이우균, 손요환, 유성진, 김소라, 2009, "소나무 공간분포의 지형학적 분석", *한국임학회지*, 제98권, 6호, pp.764-771.
3. 김태준, 이근상, 2006, "GIS 기반 AHP 기법을 이용한 작물재배 적지분석", *대한토목학회지*, 제26권, 4호, pp.695-702.
4. 농림부, 2002, "북한의 농업기반 특성과 정비방안 연구-북한의 산림과 산지의 개간실태 및 복구방안", pp.273-337.
5. 박경석, 이성연, 박소영, 2009, "1999년대 경제난 이후 북한 산림관리 변화 연구", *통일문제연구* 51호, pp.459-492.
6. 배재수, 2006, "교토의정서 제1차 공약기간의 신규조림/재조림 CDM 사업의 이해", *산림경제연구*, 제14권, 1호, pp.59-76.
7. 이규성, 정미령, 윤정숙, 1999, "북한 지역 산림면적 변화의 추이와 특성", *한국임학회지*, 제88권, 3호, pp.352-363.
8. 이동근, 오영출, 김재욱, 2007, "A/R CDM을 위한 북한 지역의 산림변화 연구", *한국환경보존학회지*, 제10권, 2호, pp.97-104.
9. 이승호, 2004, "북한 산림자원의 황폐화 현황과 남북한 입업협력의 발전방향", *농업생명과학연구*, 제38권, 3호, pp.101-113.
10. 정재서, 2003, "IKONOS 위성영상을 이용한 임상분류 및 구획기법", 고려대학교 석사학위 논문, 고려대학교, p.13.
11. 최수명, 김영주, 황한철, 1998, "의사결정기법을 이용한

- 농촌지역시설 적정입지선정 모델”, *한국농촌계획학회지*, 제4권, 1호, pp.98-107.
12. 홍석영, 임상규, 이승호, 이정철, 김이현, 2008, “위성영상을 이용한 북한의 농업환경 분석 I. Landsat TM 영상을 이용한 북한의 지형과 토지피복분류”, *한국환경농학회지*, 제27권, 2호, pp.120-132.
 13. Erdas Leica Geosystems, 2003, “*ERDAS Field Guide*”, Atlanta - Leica Geosystems, p.672.
 14. Hudson, W.D., Ramm, C.W., 1987, “Correct formulation of the Kappa Coefficient of Agreement”. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol.53, no.4, pp.421-422.
 15. Jensen, J. R., 2005, “*Introductory Digital Image Processing(3rd edition)*”, Pearson Prentice Hall, p.383.
 16. Kim S.R., Lee W.K., Kwak D.A., Biging G., Gong P., Lee J.H., Cho H.K., 2011, “Forest cover classification by optimal segmentation of high resolution satellite imagery”, *Sensors*, doi:10.3390/s110201943, pp.1943-1958.
 17. Landis, J.R., Koch, G.G., 1977, “An application of hierarchical kappa-type statistics in the assessment of majority agreement among multiple observers”, *Biometrics*, Vol.33 pp.363-374.
 18. Hato, M., Tsu, H., Tachikawa, T., Abrams, M., Bailey, B., 2009, “The ASTER Global Digital Elevation Model (GDEM)-for societal benefit”, *Proceedings of AGU 2009 Fall meeting*, p.65
 19. Penman, J., Gytarsky, M., Hiraishi, T., Krug, T., Kruger, D., Pipatti, R., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., Tanabe, K., Wagner, F., 2003, “*Good Practice Guidance for Land Use, Land-use Change and Forestry*”. Institute for Global Environmental Strategies.
 20. Saaty, R.W., 1987, “The analytic hierarchy process-What it is and how it is used”, *Mathematical Modeling*, Vol.9, pp.161-176.
 21. Stow, D., Coulter, L., Kaiser, J., Hope, A., Service, D., Schutte, K. and Walters, A., 2003, “Irrigated vegetating Assessments for Urban Environments”, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol.69, No.4, pp.381-390.