

# 백두산에서 탄소저장량 비교분석을 통한 UN REDD/AR-CDM 등록대상 소유역 추적

## Exploring Sub-watershed suitable to UN-REDD/AR-CDM by Comparative Evaluation of Carbon Stock in Baekdu Mountain

주승민\* · 엄정섭\*\*

Seung-Min Joo · Jung-Sup Um

**요 약** UN-REDD/AR-CDM이 산림파괴로 인한 이산화탄소 배출을 줄이기 위한 중요한 제도로 국제사회에서 부상되고 있다. 북한의 산림 파괴를 막는 동시에 남한의 탄소배출권 확보라는 측면에서 북한 지역을 UN-REDD/AR-CDM 사업 대상지로 등록하고자 하는 논의가 지속되고 있다. 백두산의 산림은 황폐화되어 있는 지역과 거대한 숲의 바다를 이루고 있는 지역이 혼재하고 있어 UN-REDD와 AR-CDM의 등록대상이 될 수 있는 것으로 확인된다. 따라서 본 연구의 목적은 기존의 REDD와 AR-CDM의 개별 등록방식에서 탈피하여 소유역별 탄소저장량 변화추세에 의거 UN-REDD와 AR-CDM 등록가능성을 모색하는 데 있다. 소유역별로 AR-CDM/REDD을 동시에 적용할 경우 AR-CDM 단일 방식보다 21.9%, REDD 단일방식보다 53.2% 높은 탄소저장량을 나타내었다. 본 연구의 결과는 소유역별 탄소저장량 변화특성에 의거 UN-REDD나 AR-CDM을 선택하여 등록여부를 검토하는 과정에서 중요한 참고자료로 활용될 수 있을 것이다.

**키워드** : UN-REDD, AR-CDM, 백두산, 탄소저장, 소유역

**Abstract** UN-REDD (United Nations programme on Reducing Emissions from Deforestation and forest Degradation in Developing Countries) and AR-CDM (Afforestation/Reforestation-Clean Development Mechanism) is currently being emerged as one of important mechanism to reduce carbon dioxide in relation to the deforestation. Discussion on North Korea as UN-REDD/AR-CDM project target continues with a view to preventing deforestation and to securing CER(certified emission reduction) for South Korea. The forests in Mt. Baekdu are degraded, deforestation is occurred, nevertheless, portion of forested area is still high, where both REDD and AR-CDM investment potential are quite high. Accordingly, this study is intended to explore a simultaneous registration potential to UN-REDD/AR-CDM for Mt. Baekdu although separate registration to UN-REDD or AR-CDM has already gained worldwide recognition as a typical method in the process of GHG (Greenhouse Gas) reduction project. The results indicate that selecting UN-REDD or AR-CDM in accordance with sub-watershed forest condition could capture 53.2% more carbon dioxide than REDD alone and 21.9% more than AR-CDM alone. It is anticipated that this research output could be used as a realistic evidence to introduce carbon sequestering project in accordance with sub-watershed forest condition.

**Keywords** : UN-REDD, AR-CDM, Mt. Baekdu, Carbon Stock, Sub-watershed

### 1. 서 론

AR-CDM(Afforestation/Reforestation-Clean Development Mechanism)은 산림 황폐화 지역에서 신규조림 및 재조림을 통하여 온실가스 흡수원을 증가시키는 기후변화 대응 사업이다. 반면에 REDD(Reducing Emissions from Deforestation and forest Degradation in Developing Countries)는 기존의 산림을 그대로 보

존하는 경우, 농업 등 다른 경제활동을 하지 못함으로써 받게 되는 손해, 즉 기후변화를 억제하는 기회비용 (opportunity cost)을 국제사회가 지불하는 시스템이다. 즉 개발도상국들에게 직접적으로 돈을 주고 현존하는 산림을 보존하도록 만드는 것이다. 선진국들은 이미 AR-CDM과 REDD 시장을 선점하기 위해 활발한 투자를 하고 있다[13]. 한국도 아시아 산림 협력 기구인 AFOCO(Asia Forest Cooperation) 설립을 주도

† This work was supported by the National Research Foundation of Korea Grant funded by the Korean Government (NRF-2011K1A5A2000042).

\* Seung-Min Joo, Doctoral Student, Dept. of Spatial Information, Kyungpook National University. jooseacool@knu.ac.kr

\*\* Jung-Sup Um, Professor, Dept. of Geography, Kyungpook National University, jsaom@knu.ac.kr(Corresponding author)

하고 있으며, 인도네시아 등 다양한 국가에서 REDD 시장을 선점하기 위한 노력을 하고 있다[20].

백두산은 한민족의 생성과 역사 문화 사회적 변천 과정을 함께 하며 한민족의 발상지라는 공간적 고리를 형성하여 한민족에게 마음속의 고향으로 부각되는 지역이다. 백두산의 산림은 주민들이 직접 거주하면서 대면하게 되는 생활경관으로써 주민과 함께 호흡하고 추억을 생산하는 주민의 애정 어린 생활공간으로서 자리 잡고 있다. 하지만 백두산에서 각종 개발 사업으로 인해 대규모 산림 황폐화가 이루어지고 있다. 북한 김정은(노동당 제1비서)이 2012년 4월 27일 당, 국가 경제기관, 근로단체 대표자들에게 한 발언을 노동신문이 같은 해 5월 9일자로 보도한 자료에는 ‘지방을 다녀 보면 생땅이 드러난 곳이 많아, 보기에 불안 좋고 바람 불면 먼지가 일어난다. 청년림, 소년단림에도 나무가 거의 없다.’ 라는 내용이 있다. 이는 북한의 산림황폐화 실정이 심각하며, 북한 스스로 인정하고 대책에 부심할 정도라는 것을 알 수 있다. 이러한 배경 하에 최근 북한에서는 민둥산을 복구하기 위한 조림사업이 진행되고 있다.

REDD와 AR-CDM을 백두산에 동시에 적용할 경우 사라진 산림을 복원할 수 있으며 개발압력에 시달리는 산림이 보전되고 홍수 등 자연재해에 대한 대처방안을 마련할 수 있다. 북한지역의 REDD와 AR-CDM을 통해 남한은 탄소배출권을 확보할 수 있어 쌍방이 Win-Win 하면서 남북이 비정치적인 분야에서 상호 협력하는 분위기를 조성할 수 있는 장점이 있다.

산림훼손을 유발하는 토지이용은 대부분 개발자에 의해 결정되기 때문에 환경적으로 적절한 관리를 위해서는 토지이용 계획에서부터 환경에 대한 영향을 고려해야 한다[2]. 하지만 백두산에서 개발압력 증가로 인해 단순히 민족의 발상지를 보전해야 한다는 선언적인 구호만으로는 한계가 있어 산림훼손이 계속되고 있다. 따라서 UN-REDD/AR-CDM을 통해 백두산에서 산림 보전에 대한 기회비용이 확보된다면 사전 예방적 토지이용계획의 타당성을 확보하는 데 크게 기여할 수 있을 것이다.

최근 기후변화의 원인으로 지목되고 있는 온실가스를 흡수하는 산림의 기능에 주목하면서 북한에서 AR-CDM과 REDD 프로젝트의 전략 설정과 이를 위한 탄소흡수량 산정 방법에 대해 다양한 연구가 이루어지고 있다[2, 5, 10, 14, 17, 19, 20]. 이러한 산림 프로젝트 도입과정에서 가장 중요한 과제는 산림의 탄소저장량 변화를 추적하는 것이다. 대상지역에 따라서 다르게 나타나는 탄소저장량은 프로젝트의 경제

성에 큰 영향을 미치기 때문에 프로젝트의 성공여부를 결정하는 가장 핵심적인 사항이다[12, 16]. 하지만 동일한 지역에서 REDD와 AR-CDM 사업을 동시에 시행할 것을 전제로 탄소저장량 변화 평가를 시도한 연구는 확인되지 않는다.

본 연구는 기존의 REDD와 AR-CDM이 별개로 시행되는 전형적인 방식에서 탈피하여 백두산에서 REDD와 AR-CDM 프로젝트를 동시에 시행하여 조림과 산림보전 효과의 극대화를 위한 전략을 검토하고자 한다. 백두산 유역을 소유역으로 분할하여 소유역별로 REDD와 AR-CDM 중 적절한 방식을 제시하고 동시에 시행 가능성에 대한 기초자료를 제시하고자 출발하였다. 전체적인 연구방법은 백두산 유역을 소유역으로 나눈 후 소유역별 REDD 탄소배출 저감량과 AR-CDM 탄소흡수량을 비교한 후 그 양이 큰 프로젝트를 각각 적용한 것과 비교하고자 한다. 본 연구는 이러한 관심을 대변하는 기초연구로서 앞으로 보다 많은 연구가 축적되어 백두산 산림자원의 탄소거래에 대해 보다 구체적인 대안들이 제시되면 한층 진일보한 사전예방적인 백두산 산림보전체계가 구축될 수 있을 것이다.

## 2. AR-CDM과 REDD의 Credit 비교

유엔기후변화협약(UNFCCC: UN Framework Convention on Climate Change)에서 채택한 교토의정서는 온실가스 배출에 대한 선진국의 구체적 감축량을 설정함으로써 국제사회에서 기후변화에 대한 대책을 실행하기 위한 첫 시도였다. 산림의 용도 전환으로 인한 배출은 기후변화협약과 교토의정서 논의과정에서 이미 인식되었고 선진국이 개도국의 숲을 보호하기 위한 지원방안이 도입되면서 산림전용 및 황폐화 방지를 줄이고자 AR-CDM 과 REDD의 개념이 부각되었다. 북한지역에서 AR-CDM 사업을 유치하기 위해서는 신규조림 및 재조림 기준에 적합한 토지를 찾아야 한다[21]. 신규조림은 50년 이상 산림이외의 용도로 이용해온 토지에 조림, 파종, 인위적 천연 갱신의 촉진 등을 통해 새로이 산림을 조성하는 것이다. 재조림의 경우 1989년 12월 31일 이전부터 산림이 아니었던 토지에 재조림을 하는 것을 말한다.

AR-CDM은 신규조림이나 재조림을 해야 배출권이 인정되기 때문에 수목생장이 왕성한 열대지역이 절대적으로 유리하다. 하지만 백두산 지역의 경우 산림 황폐화로 인한 조림 가능지가 넓고 수목 성장량 또한 우수하기 때문에 AR-CDM도 가능하다고 보고 있다

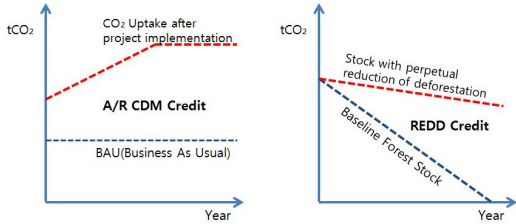


Figure 1. AR-CDM and REDD Credit comparison[22]

[19]. REDD도입을 위한 가장 주요한 과제는 기저선(baselines)의 설정이다. 기저선은 산림전용과 훼손이 진행되고 있는 현 상태에서 발생되고 있는 탄소배출량이다. 기저선을 계산하는 가장 간단한 방법은 “참조기간(reference period)” 즉 지난 5, 10, 15년 동안의 과거 연배출의 평균치를 사용하거나, 혹은 최근 특정한 해의 연배출치를 사용하는 것이다. 이는 신규조림사업의 경우 50년간 비산림이었던 지역, 재조림사업의 경우 산림이었던 지역이 1989년을 기준으로 현재까지 비산림인 지역에서 프로젝트가 시행되지 않았을 경우를 상정하는 상황에서의 온실가스 배출량으로 정의된다.

REDD의 경우 현재의 산림 상태를 유지하지만 하더라도 탄소저장량에 대한 권리가 인정된다는 점에 가장 큰 차이가 있다[1]. REDD Credit의 경우 프로젝트를 도입하기 이전에 전용이 빈번하게 일어난 산림 전용 면적을 기준으로 하여 프로젝트 도입 후 줄어든 산림전용 면적의 CO<sub>2</sub> 흡수량을 환산하여 계산한다. AR-CDM Credit의 경우 AR-CDM 사업을 수행하지 않았을 경우의 온실가스 배출량과 비교하여 산림이 광합성을 통해 온실가스를 흡수하는 것을 온실가스 감축 저감분으로 계산하는 것이다(Figure 1). 즉 각각의 프로젝트 Credit은 탄소흡수량과 탄소저감량에 기인한다[1, 4].

### 3. 산림 훼손 추세 평가

AR-CDM과 REDD의 경계설정과정에서는 누출(leakage)효과를 가장 중요한 변수로 고려해야 한다 [1]. 이는 AR-CDM과 REDD 프로젝트를 통해 산림 개발이 불가능하게 되면 프로젝트 대상지역 밖으로 산림 훼손이 확산되는 것을 의미한다. 백두산 남쪽의 저고도 지역은 도시와 인접하여 누출효과가 차단될 수 있는 여건이 마련되어 있지 않아 누출효과를 막을 수 있는 방안이 요구된다. 배수구역(watershed)은 누출효과를 제어할 수 있는 최적의 단위지역이라는 것

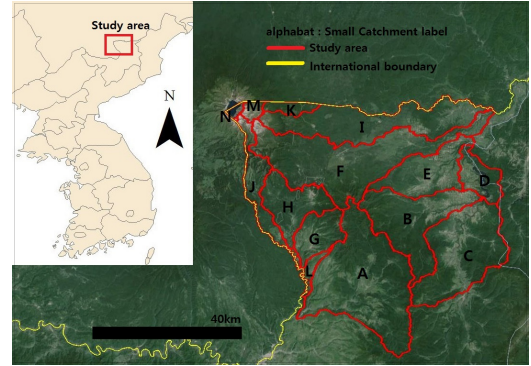


Figure 2. Study area and satellite image Sub-watershed id is presented A to N

이 다양한 선행연구에서 이미 제시되었다[12].

이에 따라 본 연구에서는 백두산 지역의 DEM(Aster Global DEM)을 활용하여 대유역(Basin)을 추출하고 백두산을 포함하는 유역을 추출하여 북(국경경계), 서(유역경계), 동(유역경계), 남(유역경계)를 임계지역으로 설정하여, 대상지의 경계로 활용하였다 (Figure 2). 이렇게 추출된 유역을 다시 소유역으로 구분하여 REDD와 AR-CDM에 적합한 지역을 추적하기 위한 단위지역으로 활용하였다(Figure 2).

재조림 CDM의 경우 1989년 12월 31일 이전 데이터가 필요하며, REDD 요건을 충족하기 위해서는 최소 10년 이상의 산림 변화 추세를 관찰해야 한다[1]. 따라서 본 연구에서는 1989년 12월 31일 이전의 영상을 활용하였다. MODIS와 같은 저해상도 위성의 경우 국가단위의 거시적 분석에 사용되므로 본 연구에는 적합하지 않으며, IKONOS, Quickbird와 같은 고해상도 위성의 경우 화소기반 자동분류기법을 적용하는 데 어려움이 있어 육안판독 과정에서 상당한 시간과 비용 문제가 대두된다[6, 11]. 또한 고해상도 영상은 취득 가능한 영상이 최근 10년에 불과하기 때문에 시계열분석을 위한 영상을 확보하는 데 문제가 있다. Landsat TM 영상은 현지조사에 비해 세부적인 데이터를 얻을 수는 없지만 넓은 지역에 대한 자료의 수집이 용이하고, 과거의 산림현황을 파악할 수 있는 자료가 구축되어 있어 백두산 지역의 산림 및 토지이용 변화 추세를 평가를 통해 프로젝트의 타당성을 평가할 수 있는 최적의 영상으로 판단된다. 따라서 본 연구에서는 Landsat TM영상을 활용하였다. 중, 고위도 지역에서 위성영상을 활용한 식생 분류는 식생의 활력도가 양호한 6월-9월간 영상을 선호한다. 따라서 식생의 녹음이 유지되는 9월 초의 영상을 활용하였다. 또한

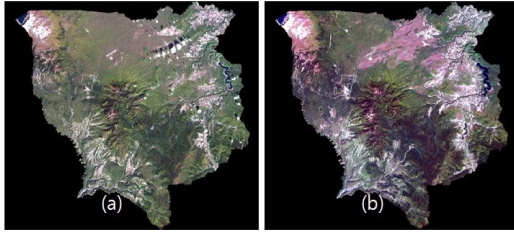


Figure 3. Landsat TM images of study area (a) 1988. 09.27. (b) 2013.09.16

분류과정에서 구름에 의한 오차를 줄이기 위해서 구름이 10% 이하인 자료를 검색하여 최적의 영상 2개를 활용하여 분석하였다 (Figure 3). 연구과정에서 영상 분류와 분할 영상 생성, 영상의 정확도 평가에는 Erdas Imagine 9.2를 활용하였으며, 격자 생성 등 공간데이터의 구축에는 ESRI Arcgis 10.1이 활용되었다.

통상 TM 영상을 활용할 경우 자동판독에 주안점을 두고 육안판독은 자동판독결과의 신뢰도를 평가하는 과정에서 수행되고 있다[2, 3, 14]. 그러나 본 연구는 분석결과의 신뢰도 평가과정에서 현지조사가 불가능하다는 한계를 감안하여 수행되었다. 북한 지역의 경우 지상참조자료의 획득이 불가능하고 참고할 수 있는 문서자료의 검색 또한 불가능한 한계가 있다. 특히 최근 TM 영상의 경우 고해상도 영상을 참조자료로 활용할 수 있지만 과거의 영상의 경우 고해상도 영상조차 존재하지 않는다. 따라서 본 연구에는 1988년 영상의 경우 화소기반의 무감독 분류방법 중 ISODATA 방법을 사용하여 수행되었다.

1988년 영상의 경우 북한지역의 경우 지상참조자료의 획득이 불가능하기 때문에 ISODATA Clustering 방법에 의해 무감독분류를 실시하고, 이를 바탕으로 각 항목에 대해서 동질성(homogeneity)와 대표성(representative)을 가진 지역에 대하여 생성된 3~6개의 군집(cluster)을 훈련 지역(training sample)으로 설정하고 최종적으로 최대우도법(maximum likelihood classifier)에 근거한 감독분류를 진행하고 육안판독을 통해 감독분류 결과를 보완하였다.

2013년 영상의 경우 고해상도 영상이 존재한다. 따라서 고해상도 영상이 포함하고 있는 정보를 그대로 반영하기 위해 자동판독과 육안판독을 동일한 비중을 두고 자동판독의 결과를 고해상도 영상과 비교하면서 육안판독으로 보완하였다. TM영상에서 공간객체에 대한 명확한 경계를 정의하기 어려운 경우 GeoEye-1 (41cm 공간 해상도), KOMPSAT-2 (1m공간해상도)

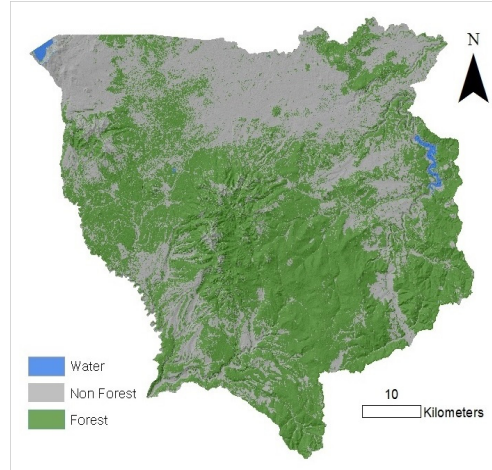


Figure 4. Forest and non-forest area(1988)

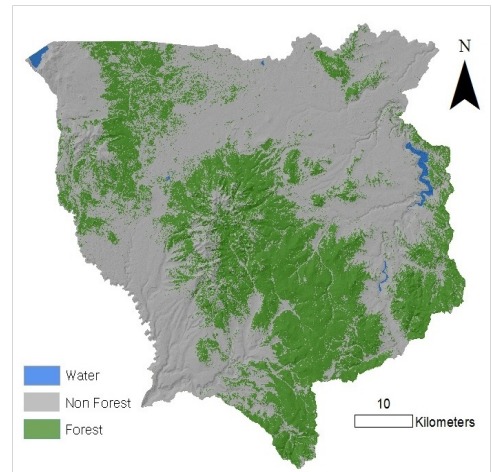


Figure 5. Forest and non-forest area(2013)

영상에서 직접 벡터라이징(Vectorizing)을 수행하여 그 결과에 의거하여 TM 영상의 분류를 수정하였다. 따라서 판독결과는 TM 영상이 지니고 있는 정보라기 보다는 고해상도 영상이 가지고 있는 정보를 TM 영상에 반영하였다는 표현이 적절할 것으로 판단된다 (Figure 4-5).

위성영상을 활용하여 산림의 훼손 면적 및 토지 이용의 변화를 추정하는 과정에서 공간객체의 분류기준이 토지이용활동과 연관된 온실가스 배출량과 흡수량을 산정하는 기준이 된다[9]. IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change) 국가온실가스 인벤토리 우수 실행지침(GPG : Good Practice Guideline)은 토지 이용형태(산림, 농경지, 초지, 습지, 주거지, 기타 등)

를 구분하고 이를 기반으로 하여 탄소축적량의 평가와 온실가스배출량 및 흡수량을 추정하도록 권고하고 있다[7].

IPCC에서 제시하고 있는 전 세계를 기준으로 하는 토지이용 카테고리에는 특정 지역의 기후나 생태계 특성을 반영하기 어렵다. 북한의 경우는 북한 정부에서 공인된 토지 분류 체계가 확인되지 않고 있어, 지역의 특성을 반영하는 분류 체계를 정하는 것이 한계가 있다. 이에 북한 지역과 기후와 생태계 특성이 유사한 남한 지역의 토지 분류 객체를 활용하는 것이 효과적인 것으로 판단되었다.

환경부는 1998년부터 지표의 물리적인 특성을 분류하여 토지피복도를 제작하고 있다. 토지피복도 대부분류는 남한뿐만 아니라 북한 지역에 대한 토지 이용을 7가지(시가화 건조지역, 농업지역, 산림지역, 초지, 습지, 나지, 수역)로 제시하고 있다. 이러한 토지피복분류(대분류)의 활용은 IPCC에서 권고하고 있는 토지이용분류와 유사할 뿐만 아니라 지역의 토지이용을 대표할 수 있을 것으로 판단된다[2]. 특히 중해상도 위성영상(TM영상)을 통해서도 데이터를 취득할 수 있고 표현가능한 정보가 주기성을 가지고 있어 토지이용에 대한 자료를 구축하는데 유용한 분류 체계로 활용될 수 있을 것으로 판단된다. 따라서 본 연구에서 환경부 토지피복도(대분류)의 토지 이용 분류를 위한 기준으로 정하고, 영상 취득시기의 계절적 차이로 오류가 발생할 수 있는 초지와 나지, 수역과 습지를 하나의 분류 객체로 설정하였다(Table 1).

일반적으로 위성영상 분류의 정확도 평가는 GCP (Ground Control Point)에 대한 지상자료 수집을 통해 영상의 분류 결과와의 오차 여부를 판별하고, 그 결과를 오차행렬표(error matrix)를 통해 계산하는 과정을

거치게 된다. 그러나 현재 백두산 유역에 대한 현지조사 기반의 지상보조자료 수집은 현실적으로 불가능하다. 이에 따라 본 연구에서는 각 객체 마다 30개씩의 비교 지점을 산출하여 총 150개의지점을 생성하였다 (Figure 6).

이를 Google Earth에서 제공하고 있는 IKONOS, GeoEye-1 등의 고해상도 영상을 활용하여 TM영상의 분류결과와 상호 대조를 통해 정확도를 평가하고, 이를 전체 정확도(overall accuracy)와 kappa 계수로 환산하였다. 영상의 분류와 정확도 검증은 분류 전체 정확도 80%이상, kappa 계수 0.8 이상일 때 분류에 대한 정확도가 검증된 것으로 인정하고 있다 [2, 8, 12]. 정확도 검증 결과 백두산 유역에 대한 전체 정확도는 약 89.33%로 나타났으며, 우연의 일치에 의한 효과를 제거한 결과 Kappa 계수는 약 0.87로 나타났다. 따라서 해당 토지피복분류 결과는 매우 높은 신뢰도 (0.80~1.00)가 나타나고 있음을 알 수 있었다(Table 2).

거의 모든 소유역에서 산림 훼손이 확인되는 데 (Table 3), K와 M 소유역의 경우 산림이 증가된 것으로 확인된다. 가장 높은 산림 훼손이 나타난 소유역은 A소유역으로 한해 평균 663.75 ha의 산림이 전용되었

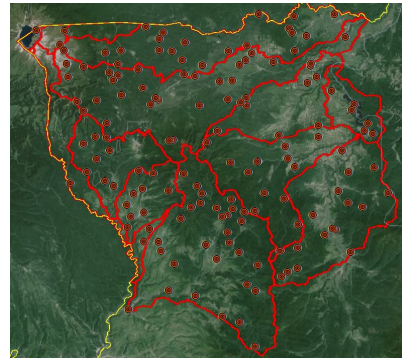


Figure 6. Accuracy assessment point

Table 1. Thematic classes modified from the IPCC guideline and land cover mapping classes of South Korea

IPCC class	South Korea	thematic classes used in this study
Settlements	Settlements	Settlements
Cropland	Cropland	Cropland
Forest land	Forest land	Forest land
Grassland	Grassland	Grassland (Open space included)
Wetlands	Wetlands	
	Open space	
Other land	Water	Waters (Wetlands included)

Table 2. The error matrix for accuracy assessment

Google TM	Settle ments	Cropland	Forest land	Gras land	Waters	Total
Settlements	24	3	NA	1	NA	28
Cropland	3	25	4	NA	NA	32
Forest land	2	1	26	NA	NA	29
Grassland	1	1	NA	29	NA	31
Waters	NA	NA	NA	NA	30	30
Total	30	30	30	30	30	150
Percentage	0.8	0.83	0.87	0.97	1	

Table 3. Deforestation trends in sub-watershed

watershed-ID	1988 forest area (Unit : ha/)	2013 forest area (Unit : ha/)	annual deforested space * (Unit : ha/year)	AR-CDM suitable space (Unit : ha)
A	49369.5	33439.32	663.75	14547.6
B	27242.73	21277.8	248.53	6621.03
C	32510.7	23452.29	377.43	8912.79
D	6620.94	2442.6	174.09	2886.03
E	9662.58	3814.92	243.65	12148.74
F	24643.35	16858.89	324.35	30579.12
G	7848.81	2761.74	211.96	4843.35
H	14313.87	6174.54	339.13	4324.41
I	10289.25	9073.35	50.66	26639.91
J	7021.8	2984.31	168.22	5856.03
K	1734.93	2521.98	-32.79	1189.89
L	1596.24	17.64	65.77	2049.3
M	35.46	36.63	-0.04	2401.02
N	72.63	70	0.10	687.87
total	192962.8	124926	2834.86	122,999.22

\*Estimation of annual deforested space: (1988 forest area- 2013 forest area)/24 years (1988-2013)

다. C, F, H, 유역에서도 평균보다 높은 산림 전용이 나타나는 것을 확인된다. 백두산 상류지역인 M, N소 유역에서는 변화가 거의 나타나지 않았다. 천지 주변 수역으로 대부분 물과 바위로 식생이 서식하기 어려운 공간이기 때문이다.

1988년도 영상에서 비산림 지역이며 2013년 현재에도 비산림인 지역이라는 두 가지 조건을 만족하는 pixel을 AR-CDM 가능지역으로 도출하였다. 모든 소유역에서 조림가능 지역이 나타났는데 이는 모든 소유역에 1989년에 이미 나지로 존재하여 2013년 현재까지도 나지로 존재하는 공간이 분포한다는 것을 의미한다. 특히 E, F, I 소유역에서 월등하게 넓은 면적의 AR-CDM 가능지를 확인할 수 있다. 이는 1989년 이전에 이미 대규모 벌목 등으로 인해 산림이 파괴되어 나지로 존재하는 지역이 넓게 나타나기 때문이다.

#### 4. REDD/AR-CDM 대상 소유역 추적

##### 4.1 탄소흡수 및 축적계수

AR-CDM의 경우 조림수종은 단일수종 식재 혼합수

종 식재 등 다양한 수종과 식재 방법이 있을 수 있으나 본 연구에서는 북한지역의 주요조림수종이며 백두산 유역의 주요 식생인 소나무(Pinus densiflora)로 정하여 분석을 실시하였다[5, 16]. 통상 AR-CDM과 REDD 프로젝트의 최소 기간 20년으로 설정하는 데[1, 7, 8, 13], 본 연구에서도 20년에 의거하여 탄소흡수량을 산정하였다. 사업기간 동안 축적되어 흡수되는 이산화탄소량은 국립산림과학원 기후변화연구센터(2011)의 수목별 연평균 탄소흡수량을 활용하여 추정하였다 (Table 4).

REDD 프로젝트의 탄소감축량 산출은 과거의 산림 전용 면적에 대한 변화 추세를 파악한 후 이를 산림의 탄소 축적계수를 적용하여 산정한다. 축적계수의 경

Table 4. AR-CDM carbon uptake by year

Age	annual uptake of CO <sub>2</sub> (tCO <sub>2</sub> ) Pinus densiflora :Korea Forest Research Institute(2011)	annual uptake of CO <sub>2</sub> (tCO <sub>2</sub> ) for entire AR-CDM suitable space*
1	0.37	45455.01
2	0.74	90910.01
3	1.10	136365.02
4	1.47	181820.02
5	1.84	227275.03
6	2.21	272730.03
7	2.57	318185.04
8	2.94	363640.04
9	3.31	409095.05
10	3.68	454550.06
11	4.04	500005.06
12	4.41	545460.07
13	4.78	590915.07
14	5.15	636370.08
15	5.51	681825.08
16	5.88	727280.09
17	6.25	772735.09
18	6.62	818190.10
19	6.98	863645.11
20	7.35	909100.11
		8,636,451.06

\*Estimation of annual uptake of CO<sub>2</sub> (tCO<sub>2</sub>) for entire AR-CDM suitable space = AR-CDM suitable space (123,687.09 ha, see table 4) x annual uptake of CO<sub>2</sub> (tCO<sub>2</sub>) of Pinus densiflora

Table 5. Reference to estimate C-Stock in Mt. Baekdu (Unit : tCO<sub>2</sub>/ha)

	Reference Site	C-stock
IPCC (2003)	Asia (temperate continental forest)	121
FAO (2005)	North Korea	157.34
Lee (2011)	Mt. Bukhan in Seoul	149
Park and Lee (2011)	Gangwon-Do	132.48

우 조사의 위계 수준(Tier 1-Tier 3)에 따라 대상 국가의 가장 적합한 수준을 선택하여 활용할 수 있다.

백두산의 경우 산림을 구성하는 수종별 탄소의 축적계수에 대한 직접적인 자료가 없기 때문에 IPCC 가이드라인에서 제시한 기본 값 또는 생태형이 유사한 인접국가의 계수를 사용하는 Tier 1 수준의 계수 적용이 불가피하다. 백두산 지역의 산림과 관련되어 참조될 수 있는 탄소 저장계수는 Table 5와 같다. IPCC 기본 값의 경우 온대 대륙성 숲의 생태공간에 해당하는 북한과 남한에 대해서 공통적으로 121 tCO<sub>2</sub>/ha를 제시하고 있으며[8], FAO(Food and Agricultural Organization)에서는 북한 지역의 산림 탄소 축적량을 약 157.34 tCO<sub>2</sub>/ha로 발표했다[4]. 남한의 경우 서울 북한산의 경우 149 tCO<sub>2</sub>/ha로 탄소계수를 계상한 연구도 있었다[15]. 또한 강원도 산림지역을 대상으로 하여 132.48 tCO<sub>2</sub>/ha로 산정한 사례 등이 확인된다[18].

IPCC와 FAO의 경우 전 세계를 대상으로 추정한 값으로서 개별국가나 지역의 실정에 대한 구체성이 결여되는 문제점이 발생할 수 있다. 또한 북한산 사례의 경우 북한의 백두산지역과 식생과 고도 등의 차이로 인해 적용에 한계가 있다. 연구대상지에 대한 직접적인 탄소배출계수가 없는 상황에서 생태형이 비교적 유사한 강원도의 계수를 활용하여 백두산 지역에 대한 탄소 감축량을 추정하는 것이 현실적인 대안으로 판단된다. 그리하여 본 연구에서는 강원도의 사례를 직접 추적한 132.48 tCO<sub>2</sub>/ha를 활용하였다[18]. 이는 고도와 식생에서 연구지역인 백두산 유역과 상대적으로 비슷하며, 나머지 연구에서 산출된 계수와 달리 직접 측정을 통해 산출된 계수로 통계 등 간접추계 방법을 이용한 타 방식보다 신뢰성을 가진다고 판단된다.

#### 4.2 탄소흡수 및 감축량 비교평가

소유역 별로 각각의 프로젝트에 대한 탄소흡수량과

Table 6. AR-CDM carbon uptake and REDD emission reduction in sub-watershed (Unit: tCO)

Sub-watershed	AR-CDM*	REDD**
A	1,123,074.72	1,758,691.87
B	511,143.52	658,528.27
C	688,067.39	1,000,048.46
D	222,801.52	461,288.74
E	937,882.73	645,581.66
F	2,360,708.06	859,404.38
G	373,906.62	561,612.53
H	333,844.45	898,582.03
I	2,056,601.05	134,235.36
J	452,085.52	445,738.90
K	91,859.51	-
L	158,205.96	174,277.44
M	185,358.74	-
N	53,103.56	90.35
separate registration	9,495,539.79	7,597,989.64
simultaneous registration	11,644,281.90 tCO <sub>2</sub>	

\*Estimation of AR-CDM carbon uptake = AR-CDM suitable space (123,687.09 ha) per watershed x annual uptake of CO<sub>2</sub> (tCO<sub>2</sub>) of Pinus densiflora x 20 years(project period)

\*\*Estimation of REDD emission reduction= annual deforested space per watershed x carbon storage factor(132.48) x 20 years(project period)

감축량을 계산한 결과 REDD의 감축량이 높게 나타난 유역은 A, B, C, D, G, H, L 총 7개 유역이며, AR-CDM 흡수량이 높게 나타난 유역은 E, F, I, J, K, M, N 총 7개유역이다(Table 6에서 grey color).

K와 M의 경우 1988년부터 2013년 사이에 오히려 산림이 증가하였으므로 REDD를 시행한다고 추가성의 관점에서 탄소배출량이 줄어들지 않았다. 산림 훼손이 일어나지 않고 오히려 증가하였기 때문에 산림 감소분을 대상으로 추적하고 있는 REDD 탄소감축분이 발생할 수 없는 지역이며, REDD 프로젝트에 적합하지 않은 지역으로 확인된다. 반면에 이 지역은 1989년 이전에 이미 파괴되어 현재까지 조림이 되어 있지 않은 나지는 고루 분포하여 AR-CDM은 가능한 것으로 확인된다. Table 6의 결과를 종합적으로 판단할 때 지속적인 산림 훼손이 일어나고 있지만 일정규모의 삼림을 보유하고 있는 유역에서는 REDD 감축량이 높

게 나타나는 것을 확인 할 수 있었다. AR-CDM 흡수량이 우세하게 나타난 소유역은 1988년 당시 이미 산림훼손이 발생된 지역으로 현재에도 조림 가능한 나지의 면적이 넓게 나타나는 지역이다.

방법론의 차이에 따라 발생하는 저장량의 차이는 소유역별, AR-CDM, REDD 순으로 나타났다. 소유역별로 동시에 시행했을 때의 증가하는 Credit은 매우 크게 나타났다 (11,644,281.90 tCO<sub>2</sub>). 소유역으로 분할하여 프로젝트를 시행할 경우 AR-CDM 단일 방식보다 2,095,638.55 tCO<sub>2</sub>을 더 저장할 수 있으며 REDD 단일방식보다 4,046,201.91 tCO<sub>2</sub>를 더 저장할 수 있다.

## 5. 결 론

본 연구는 백두산 유역을 REDD와 AR-CDM 프로젝트에 등록하는 과정에서 기존의 단일 등록 방법에서 탈피하여 대상지역을 소유역으로 구분하여 REDD와 AR-CDM에 적절한 소유역을 추적하여 동시 등록 시 증가할 수 있는 탄소저장량을 제시하였다는데 의의가 있다. 백두산 유역을 소유역 별로 분할하여 REDD와 AR-CDM을 동시에 시행할 경우에는 11,644,281.90 tCO<sub>2</sub>의 흡수 및 감축이 발생하는 것으로 추정되었다. 소유역별로 AR-CDM/REDD를 동시에 적용할 경우 AR-CDM 단일 방식 보다 21.9%, REDD 단일방식보다 53.2% 높은 탄소저장량을 나타내었다.

본 연구는 백두산 유역에 적용하기에 적합할 것이라고 판단되는 탄소저장계수와 식재수종을 선정하여 토지이용변화와 REDD/AR-CDM 가능지역에 따라 지상부 바이오매스만에 의거, 변화하는 탄소저장량을 산정한 것이며 다양한 수종별 탄소저장량의 차이가 고려되지 않았다. 하지만 이러한 오차를 감안하더라도 탄소저장량은 확연한 차이를 드러내었다. 이는 백두산 지역을 소유역별로 분할하여 REDD와 AR-CDM에 적절한 소유역을 선정하여 시행하는 것이 백두산의 산림의 효율적인 보전과 보다 많은 탄소배출권을 확보할 수 있다는 객관적인 근거를 제시하였다.

위성영상만을 활용하여 소유역별 탄소저장량을 산정하는 것은 사실상 단순 추정의 수준에 불과하기 때문에 상당한 한계가 있다. 후속연구에서 북한 산림에 대한 다양한 활동자료(국가 고유 계수, 산림관련통계, 임목축적통계)를 보완하여 보다 미시적인 수준의 연구가 필요하다. 이러한 문제는 근본적으로 남북관계의 경색에 기인하므로 구체적인 북한 지역의 REDD와 AR-CDM의 논의는 남북한 간의 정치적 협력이 중요

하다. 백두산 유역의 REDD와 AR-CDM 프로젝트는 탄소배출권 확보라는 측면과 민족의 영산에서 남북한과의 유연한 정치적 교류가 확대될 수 있는 계기로 작용할 수 있어 본 연구가 남북한이 서로 Win-Win할 수 있는 기반을 조성하는 출발점이 되기를 바라는 심정이다.

## Reference

- [1] American Carbon Registry, 2010, Methodology for REDD avoiding planned deforestation.
- [2] Choi, J. H; Um, J. S. 2012, Application of Satellite Image to Evaluate UN-REDD Registration Potential of North Korea : a Case Study of Mt.Geumgang, Journal of the Korean Society for Geospatial Information System, 20(4):77-87.
- [3] Choi, J. H; Joo, S, M; Um, J. S. 2013, Evaluating Cross-correlation of GOSAT CO<sub>2</sub> Concentration with MODIS NDVI Patterns in North-East Asia, Journal of Korea Spatial Information Society, 21(5):15-22.
- [4] FAO, 2005, Global forest resource assessment 2005, Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- [5] Han, K. J; Youn, Y. C. 2007, An Economic Feasibility Study of AR CDM project in North Korea, Journal Of Korea Forest Society, 96(3): 235-244.
- [6] Hansen, M. C; Roy, D. P; Lindquist, E; Adusei, B; Justice, C. O; Altstatt, A. 2008, A method for integrating MODIS and Landsat data for systematic monitoring of forest cover and change in the Congo Basin, Remote Sensing of Environment, 112(5):2495-2513.
- [7] Hardcastle, P. D; Baird, D. 2008, Capability and cost assessment of the major forest nations to measure and monitor their forest carbon, Report prepared for the Office of Climate Change, Penicuick, UK 2008.
- [8] IPCC, 2003, Good practice guidance for land use, land-use change and forestry, Institute for Global Environmental Strategies(IGES) for the IPCC.
- [9] Jenson, J. R. 2005, Introductory digital image processing : a remote sensing perspective, Pearson



- Prentice Hall, 3rd edition, NJ, pp. 526.
- [10] Jo, J. H; Koo, J. C; Youn, Y. C. 2011, Economic feasibility of REDD project for preventing deforestation in North Korea, *Journal of Korean Forest Society*, 100(4):630-638.
- [11] Jung, M. H; Lee, S. H; Chang, E. M; Hong, S. W. 2012, Method of Monitoring Forest Vegetation Change based on Change of MODIS NDVI Time Series Pattern, *Journal of Korea Spatial Information Society*, 20(4):47-55.
- [12] Kim, J. W; Um, J. S. 2013, Comparative Evaluation between Administrative and Watershed Boundary in Carbon Sequestration Monitoring, *Journal of Environmental Impact Assessment*, 22(5):439-454.
- [13] Khl, M; Baldauf, T; Plugge, D; Krug, J. 2009, Reduced emissions from deforestation and forest degradation (REDD): a climate change mitigation strategy on a critical track, *Carbon Balance and Management*, 4(10):4-10.
- [14] Lee, D. K; Oh, Y. C; Kim, J. U. 2007, A Study on Forest Changes for A/R CDM in North Korea, *The Korea Society For Environmental Restoration And Revegetation Technology*, 10(2):97-104.
- [15] Lee, N. Y. 2011, Estimation of carbon storage in three cool-temperate broad-leaved deciduous forests at Bukhansan national park, Korea, *Journal of National Park Research*, 2(2):53-57.
- [16] Lee, S. H. 2004, Situation of Degraded Forest Land in DPRK and Strategies for Forestry Cooperation between South and North Korea, *Journal of Agriculture & Life Sciences*, 38(3): 101-113.
- [17] Oh, Y. C. 2012, A study on the UNFCCC forestry mechanism in North Korea, Ph.d. thesis Seoul National University.
- [18] Park, J. W; Lee, J. S. 2011, Analysis of spatial distribution and estimation of carbon emissions in deforestation using gis and administrative Data, *Journal of Korean Forest Society*, 100(3): 466-475.
- [19] Park, K. S. 2004, The main species and trends of forestry industry in North Korea, Korea Forest Research Institute.
- [20] Park, T. J; Lee, W. K; Jung, R. S; Kim, M. I; Kwon, T. H. 2011, Application of remote sensing technology for developing REDD+ monitoring systems, *Journal of Korean Forest Society*, 100(3):315-326.
- [21] Penmean, 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.
- [22] RFF, 2007, Policies to Reduce Emissions from Deforestation and Degradation (REDD) in Tropical Forestry, pp.54.

---

논문접수 : 2013.12.02

수정일 : 2014.04.04

심사완료 : 2014.04.07