

## 북한에서의 REDD+ 사업을 위한 산림황폐화 및 탄소저장량 평가

Dongfan Piao · 이우균\* · Yongyan Zhu · 김문일 · 송철호

고려대학교 환경생태공학과

### Assessment of Forest Degradation and Carbon Storage for REDD+ Project in North Korea

Dongfan Piao, Woo-Kyun Lee\*, Yongyan Zhu, Moonil Kim and Cholho Song

*Department of Environmental Science and Ecological Engineering, Korea University*

**Abstract** - As the deforestation in North Korea gets severed, the interest for REDD+ is also increasing. This study analyzed historical land cover changes of the study area which is 10,000 ha in Hwanghaebukdo of North Korea for assessing change in landcover and carbon storage. The result showed that the forest area had decreased from 7,035 ha to 4,293 ha which is approximately 39% of total forest area between 1989 and 2013. The deforestation caused that forest carbon storage had decreased approximately 284,399 tCO<sub>2</sub>. Set the baseline and analysed the potential reduction amount of carbon emission, it was estimated that REDD+ project could store approximately 364,704 tCO<sub>2</sub> for next 30 years. This study still has limitations such as lacking in direct field survey and the data of stand volume of each tree species which was replaced with the data of stand volume in South Korea. But, study can be applied for future REDD+ projects in North Korea.

**Key words** : climate change, REDD+, forest carbon stocks, climate mitigation

## 서 론

최근, 기후변화로 인한 영향과 피해가 전 지구적으로 심각해지면서, 온실가스 감축을 통해 기후변화를 통제할 수 있는 요소로 산림의 가치가 높아지고 있다. 북한 산림은 1990년을 전후하여 감소하기 시작하였다(Park and Yu 2009; FAO 2010). 1999년대 이후 북한은 산림 황폐화를 억제하려고 많은 노력을 하였지만, 오히려 산림 황폐화는 더 심해진 것으로 보고되고 있다(Park 2013). FAO (2012)는 북한의 산림 면적이 1990~2010년 동안 8,200,000 ha에서 5,660,000 ha로 약 31% 감소했다고 추정하였다. 이러한 산림 황폐화는 식량,

물, 연료 부족 등의 사회적 문제를 초래하고 있다. 따라서 산림 황폐화를 방지하고, 산림을 복구하는 사업이 시급하게 이뤄져야 할 실정이다.

REDD+ (Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation: 산림전용 및 산림 황폐화 방지를 통한 온실가스 배출 감축)는 개발도상국과 저개발국가에서의 산림전용 및 황폐화 방지를 통해 산림탄소감소를 막으려는 국제환경정책이다(Han and Youn 2009). REDD+ 사업에 있어 필요한 구체적인 방법론은 IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change)의 우수실행지침 (GPG; Good Practice Guide)에 잘 정리되어 있다(IPCC, 2006). 이를 바탕으로 Koo and Youn (2010) 등은 북한지역의 REDD+ 산림탄소 잠재량 산정을 통해 남한은 북한의 산림 황폐화 방지사업에 적극적

\* Corresponding author: Woo-Kyun Lee, Tel. 02-3290-3016, Fax. 02-3290-3470, E-mail. leewk@korea.ac.kr

으로 참여할 필요가 있다고 제안하였다. 이와 관련된 선행연구들을 보면, Kim and Youn (2014)은 기존문헌을 바탕으로 위성영상자료를 이용하여 북한 산림유실 현황을 탄소 배출 측면에서 수치화하여 REDD+ 사업 대상지에 적합한 지역을 추출하였다. Jo *et al.* (2011)은 국제 통계자료를 이용하여 북한의 20년간 탄소 배출권 잠재량을 추정하고, 경제적 타당성 분석을 하였다.

하지만, 이상의 연구들은 인공위성 영상자료를 활용하여 추정된 산림면적 자료를 제외하면 대부분 산림조사 결과를 바탕으로 하지 않은 단순한 가정을 기초로 추정되어, 신뢰성이 부족한 측면이 있다. 또한, Bae (2013)는 북한지역의 산림 황폐화를 방지하기 위한 수단으로 REDD+ 메커니즘의 적용 가능성을 국가 수준에서 검토한 결과 북한은 기후변화협약이 국가 단위의 REDD+ 메커니즘의 이행 조건으로 요구한 REDD+ 국가 전략 수립과 산림모니터링 시스템 등을 구비하지 못하였을 뿐만 아니라, REDD+ 메커니즘을 적용하기 위한 토대인 산림자원 통계의 신뢰성 역시 부족하고, 현장조사가 불가능하다는 제한점이 존재한다고 하였다.

현재, 국립산림과학원의 그린데탕트(Green Detente)와 북한 산림복구 지원방안(Park *et al.* 2013), 북한 산림복구 지원을 위한 거버넌스(Governance) 구축 및 운영방안 등이 있으나, UN기후변화대응 메커니즘을 활용하여 온실가스배출권을 확보하는 연구는 미미하다. 북한 산림의 황폐지 파악 및 탄소저장량 변화(Cui *et al.* 2014) 등에 대한 연구는 있으나, 이러한 연구 결과를 REDD+ 차원의 산림전용 및 황폐방지 사업으로 연계된 연구는 없는 실정이다. 또한, 북한은 아직까지 기후변화협약에서 요구하는 REDD+ 국가 전략 수립과 산림 모니터링(Monitoring) 시스템을 구비하지 못하고 있다(Bea 2013). 따라서, 북한에서 REDD+ 사업을 당장 추진하는 것에는 한계가 있고, 통계자료 구축을 위하여 연구 및 협력을 통하여 시범사업부터 단계적으로 시작해야 할 필요가 있다(Seok *et al.* 2014).

본 연구에서는 북한 황해북도에서 10,000 ha를 사례지역으로 Landsat 위성영상 기반 시계열 토지피복 변화와 그에 따른 산림탄소저장량 변화를 분석하고, REDD+의 기준선(Reference Level) 설정에 대한 산림탄소 감소방지량(온실가스배출 감축량)을 추정하고자 한다.

## 재료 및 방법

### 1. 연구대상지

연구대상지로 북한 황해북도에서 영상 확보가 용이하고 산림 황폐화가 비교적 심하게 일어난 서흥군 지역의 10,000

ha를 선택하였다. 지리적 위치는 동경 126°10'~126°17', 북위 38°18'~38°23'에 위치하고 있으며, 연구대상지의 연평균기온은 9.2°C, 1월 평균기온은 -7.8°C, 8월 평균기온은 24°C이며, 연평균강수량은 1,064 mm이다.

### 2. 입력자료

본 연구에서는 시범사업 가능성 확보가 주요 목표이므로, 고가의 영상 구입보다는 USGS (United States Geological Survey)에서 제공하고있는 MODIS 영상 기반 토지피복도(Landcover)를 분석에 사용하는 것이 용이하다. 하지만, 대상지의 면적이 작은 본 연구에서 토지피복도 변화분석을 시행하는 데 한계점이 존재한다. 따라서 국제적으로 널리 사용되고 해상도가 30 m인 Landsat 위성영상을 사용하였다. Landsat은 미국 NASA (National Aeronautics and Space Administration)와 USGS에서 1972년에 시작한 지구관측위성사업들 중 하나로, 40여 년간 지구의 모습과 변화에 대한 연구를 가능하게 한 인공위성이다.

### 3. 연구방법

본 연구에서 토지피복 변화 분석은 Landsat 5 TM과 Landsat 7 ETM+ 영상을 사용하여 이뤄졌다. 토지피복 분류는 감독분류법과 무감독분류법이 결합된 혼성분류법(Hybrid supervised)을 사용하였다(Jeon *et al.* 2003). 우선 무감독분류를 시행하여 각 클래스(Class)별 스펙트럼 특성을 파악하고, 이에 기반하여 각 훈련지역을 추출하여, 각 모집단의 특성을 최대우도(Maximum Likelihood, ML)기법에 의해 분류 결과를 산출하였다. 본 연구에서는 산림(Forest), 농경지(Cropland), 수역(Water), 시가화 건조지역(Urban)의 4가지로 토지피복 분류 항목을 설정하였다. 산림은 침엽수림과 활엽수림을 포함한 식생의 피복도와 밀집도 높은 지역, 농경지는 논과 밭, 수역은 하천과 저수지를 포함하였다. 이어, 분석한 자료를 이용해 변화 매트릭스(Matrix)를 작성해 토지피복 변화를 파악하였다.

대상지의 산림탄소저장량 추정을 위해서는, 대상지의 수종 및 수종별 탄소량 추정계수가 필요하다. 하지만, 대상지에 있는 산림을 최대우도법(Maximum Likelihood Method)을 이용하여 분류하지 않은 원인은 침엽수림과 활엽수림의 스펙트럼이 유사하여, 분류 결과의 정확성을 줄일 수 있기 때문이다. 따라서, 대상지의 여름영상과 겨울영상의 식생지수(Normalized Difference Vegetation Index, NDVI)를 이용하여 재분류를 수행하였다(Fig. 1).

UNEP(2003)의 통계자료에 따르면 1989년에 북한 산림의 평균 임목축적은 55.9 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>이며, 2005년에는 64 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>

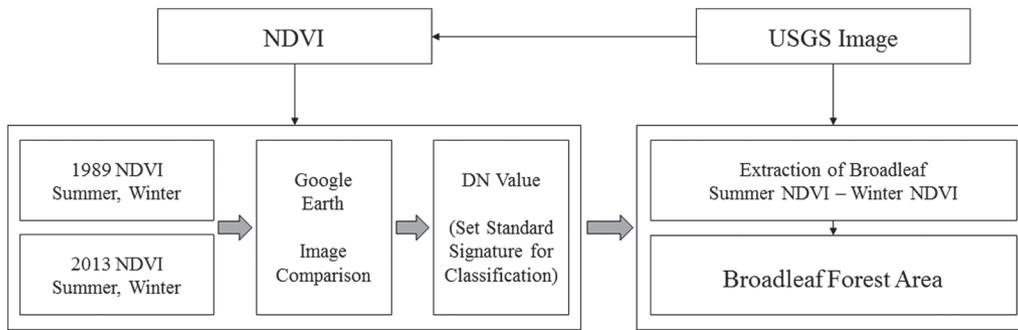


Fig. 1. Extraction of broadleaf forest by NDVI index.

소폭 증가한 것으로 나타났다. 그러나, 2013년의 임목축적은 공식적인 통계자료로 제시된 것이 없으므로 Nam *et al.* (2015)이 우리나라를 대상으로 개발한 성장모형을 적용하였다. 이 연구에서는 5차 국가산림자원조사 자료를 통해 우리나라 주요 수종의 성장패턴을 분석하여 성장모형을 개발하였으며, 대수차변형 (Algebraic difference form) 방법론을 적용하여 각 산림의 과거 상태를 기반으로 미래 변화량을 추정할 수 있는 모형을 개발하였다. 따라서, 본 연구에서는 과거 북한 산림 통계자료를 기반으로 성장모형과 수종별 계수를 적용하였으며 (Nam *et al.* 2015), 식 1과 식 2를 이용하여 연구대상지의 총 산림탄소저장량을 추정하였다.

$$\begin{aligned}
 & \text{ha당 산림탄소저장량} \\
 & = \text{ha당 산림축적} \times \text{목재기본밀도} \\
 & \quad \times \text{바이오매스확장계수} \times (1 + \text{뿌리함량비}) \\
 & \quad \times \text{탄소전환계수} \times 44/12 \quad (1)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & \text{총 산림탄소저장량} \\
 & = \text{산림면적} \times \text{ha당 산림탄소저장량} \quad (2)
 \end{aligned}$$

기준선 (Reference level)은 배출 감축량 측정을 위한 구체적인 기준 설정을 의미한다 (Korea Forest Service 2013). REDD+ 메커니즘은 배출 감축량이 어떻게 측정되는지 구체적으로 정의되어야 하는데, 기준선 REDD+의 이행으로 감축된 배출량을 결정하는 데 활용된다. 본 연구에서 기준선은 BAU (Business As Usual), 즉 아무 사업도 시행하지 않았을 때 (1989년)와 비교하여 REDD+ 사업이 시행된 이후 (2013년) 배출 감축이 얼마나 이루어졌는가를 25년간 토지 피복 변화로 분석하였다. 그리고, 2014년부터 REDD+ 사업을 시행하여 산림이 더 이상 황폐화되지 않는다고 가정하여 기준선을 설정하였다. 마지막으로 기준선까지 감소된 산림탄소저장량 분석을 통해 감소추세선을 추출하고, 이를 이용해 2044년까지 약 30년간의 산림탄소저장 감소방지량 (온실가스 배출감축량)을 산정하였다.

## 결과 및 고찰

### 1. 토지피복 변화 및 산림 황폐화

북한 황해북도 서흥군의 1989, 2005, 2013년 세 시기 영상 분류는 ERDAS IMAGINE 2010 프로그램을 이용하였다. 주로 산림 (Forest), 농경지 (Cropland), 수역 (Water), 시가화 건조지역 (Town)의 4가지로 훈련지역을 120개를 선정하고, 토지피복 분류를 시행하였으며, 최종적으로 결과에 대한 정확도 검증도 실시하였다.

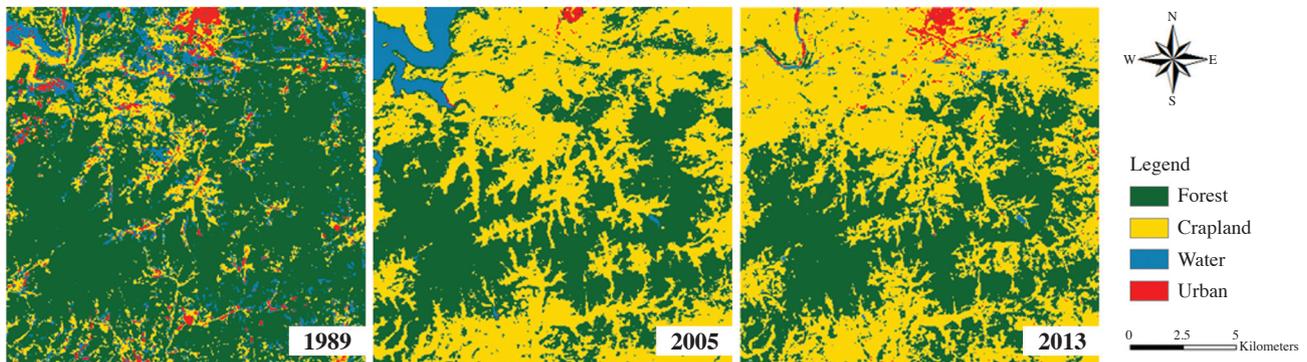
세 시기 영상을 분류한 결과 분류 정확도가 모두 95% 이상으로 나타났으며, Kappa value 또한 0.8 이상의 결과를 보였다 (Table 1). 2005년과 2013년의 수역 (Water)과 시가화 건조지역 (Town)의 분류 과정에서, 검증에 사용되는 포인트가 연구대상지 밖에 나타나서 정확도 검증에 참여할 수 없었지만, 본 연구의 주요 분류대상은 산림 (Forest)과 농경지 (Cropland) 두 개 클래스 (Class)이기 때문에 분석 결과에 전혀 영향을 미치지 않는다고 판단하였다.

분석 결과 산림면적은 감소하는 추세를 나타냈다. 1989년에는 대상지의 산림면적이 7,035 ha이었고, 2005년에는 1989년의 7,035 ha로부터 4,502 ha로 약 36% 감소하였다. 2013년에는 산림면적이 4,293 ha로 약 209 ha 감소된 것으로 나타났다 (Fig. 2).

Fig. 2를 보면 대상지의 산림면적은 1989년에는 전 대상지 면적의 71%를 차지하였으나, 2005년에는 산림면적이 전 대상지 면적의 45%로 줄어들었고, 주로 시가화 건조지역 근처에 있는 산림이 감소한 것으로 나타났다. 2013년의 산림 감소율은 2005년에 비하여 증가되지 않았으나, 계속 감소하는 추세를 보여주고 있다. 마을 인근지역이 경작지 개간 등으로 산림이 훼손됨에 따라 떨감용 나무를 벌채하기 위해서 점점 깊은 산으로 들어가게 되고, 이로 인해 산림 훼손이 더욱 확산되고 있는 것으로 추정할 수 있다.

**Table 1.** Error matrix of the landcover classification

	Class name	Reference totals	Classified totals	Number correct	Producers accuracy	Users accuracy
1989	Water	1	1	1	100.00%	100.00%
	Forest	103	106	102	99.03%	96.23%
	Town	9	7	6	66.67%	85.71%
	Cropland	7	6	6	85.71%	100.00%
	Overall Classification Accuracy = 95.83% Overall Kappa Statistics = 0.8223					
2005	Water	1	1	1	100.00%	100.00%
	Forest	74	76	72	97.30%	94.74%
	Town	0	0	0	—	—
	Cropland	45	43	41	91.11%	95.35%
	Overall Classification Accuracy = 95.00% Overall Kappa Statistics = 0.8947					
2013	Water	0	0	0	—	—
	Forest	67	66	64	95.52%	96.97%
	Town	0	0	0	—	—
	Cropland	53	54	51	96.23%	94.44%
	Overall Classification Accuracy = 95.83% Overall Kappa Statistics = 0.9157					

**Fig. 2.** Landcover classification of research area (1989, 2005, 2013).**Table 2.** Factors used to estimate forest carbon storage

Category	Basic wood density	Biomass expansion factor	Root-shoot ratio	Carton fraction
Value	0.66	1.50	0.42	0.5

source: NIFoS (2010)

## 2. 산림탄소저장량 추정

대상지의 겨울영상과 여름영상의 NDVI를 이용하여, 침엽수림과 활엽수림으로 분류하였다. 우선 대상지의 겨울영상과 여름영상의 NDVI 값을 DN 값으로 전환하여, Google Earth Map을 이용하여 침엽수와 활엽수의 분류기준을 선정하고(DN분류기준=140)하여, DN 값이 140보다 큰 NDVI<sub>여름</sub>과 NDVI<sub>겨울</sub>의 차이로 활엽수를 추출하였다.

그 결과, 1989년부터 2013년까지 주로 활엽수림은 약 61

% 감소한 것으로 나타내고 있다. 또한, 침엽수림은 활엽수에 비해 차지하는 비중이 적고, 산림감소율도 활엽수에 비해 매우 적은 것으로 나타나서 전체 대상지역의 산림으로 활엽수로 가정된 후 산림탄소저장량을 산출하기로 하였다. 현장조사를 수행할 수 없는 제한 요인으로 인해, 대상지의 활엽수림의 수종을 정확히 알 수 없지만, 대상지의 산림이 남한의 대표 낙엽활엽수인 참나무림으로 이루어져 있다고 가정된 후 국립산림과학원에 제시한 방법과 계수를 통해 산림축적으로부터 산림탄소량을 추정하였으며(식 1, 2), 한국의 대표

적인 참나무인 신갈나무의 계수를 적용하였다(Table 2).

과거 산림통계량에 Nam *et al.* (2015)이 개발한 생장모형을 적용한 결과 대상지의 2013년 평균 임목축적은 65.9 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>로 추정되었다. 2005년과 2013년 사이의 연간 임목축적 생장량은 0.24 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>로, 1989년에서 2005년 사이의 연간 임목 생장량인 0.50 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>에 비해 감소한 것으로 추정되었다. 이는 대상지의 평균 임령이 증가함에 따라 생장률이 저하되는 임목의 특성이 반영되었기 때문인 것으로 사료된다. 그러나 인위적, 자연적인 교란을 고려하지 못하였으며, 현장조사나 문헌자료 등과 같은 검증수단이 없기 때문에 추정 결과에 대한 불확실성이 높다는 한계가 존재한다.

대상지의 산림탄소저장량(tCO<sub>2</sub>)을 추정할 결과, 1989년에 단위면적(ha)당 산림탄소저장량은 144.1 tCO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup>이며, 2013년에는 산림으로 남아 있는 부분에서 169.8 tCO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup>까지 증가한 것으로 나타났다(Table 3). 그러나 1989년 산림면적(7,035 ha)을 적용하면, ha당 산림탄소저장량은 103.6 tCO<sub>2</sub>에 불과하다. 이와 같은 감소의 산림면적과 함께, 대상지의 전체 산림탄소저장량은 1989년에 1,013,540 tCO<sub>2</sub>에서,

2013년에는 729,141 tCO<sub>2</sub>으로 약 284,399 tCO<sub>2</sub>가 감소된 것으로 추정되었다.

### 3. 황폐화 원인 및 산림탄소저장 감소방지량(온실가스감축량) 추정 (2015년~2044년)

1990년대 경제난이 극심해지면서 북한의 산림은 빠른 속도로 황폐되어 갔다. 경제난의 악화로 식량배급이 중단되면서, 북한 주민들은 다락밭과 폐기밭, 화전을 무분별하게 증가시켰고, 취사 및 난방을 위해 떨감 채취를 과도하게 하면서 산림은 극도로 황폐화 되어갔다(Park 2013).

산림 황폐화 변화 원인을 파악하기 위해 북한 황해북도 서흥군 토지피복 변화 매트릭스를 작성하였다(Tables 4, 5). 1989년부터 2013년까지 클래스별 토지피복 변화를 분석해 본 결과, 많은 산림이 농경지로 변하게 된 것으로 나타났다. 대상지 산림면적은 1989년에서 2005년에 이르러 2,533 ha 감소하고, 농경지의 면적은 3,506 ha 증가하여, 주로 산림이 농경지로 변화된 것으로 추정하였다(Table 4). 2005년에서 2013년에 이르러 산림의 면적이 209 ha 감소하고, 농경지의 면적은 346 ha 증가한 것으로 나타났다(Table 5). 따라서, 북한의 산림 황폐화를 방지하기 위해서는 대체에너지 · 식량공급을 병행하여 산림보호를 위한 체계적인 관리 등 근본적인 대책을 마련하는 등의 복합적인 산림 보전 및 복구 방안을 강구해야 할 것이다.

이러한 방안 중 하나로 REDD+ 사업에서 적용되는 기준선을 통해 향후 산림 보전 및 복구에 따른 산림탄소저장 감소방지량(온실가스 배출감축량)을 적용해 볼 수 있다. 기준

**Table 3.** Estimation of forest carbon storage

Category	1989	2005	2013
Forest area (ha)	7,035	4,502	4,293
Forest volume (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )	55.9*	64*	65.9**
Forest carbon storage per ha (tCO <sub>2</sub> ha <sup>-1</sup> )	144.1	164.9	169.8
Total forest carbon storage (tCO <sub>2</sub> )	1,013,540	742,592	729,141

source: \* UNEP(2003), \*\* Nam (2015)

**Table 4.** Land cover changes in Seoheunggun, Hwanghaebukdo, North Korea (between 1989 and 2005)

(Unit: ha)

Year	2005					Total variation
	Classification	Forest	Cropland	Urban	Water	
1989	Forest	4,174	2,817	41	3	7,035
	Cropland	82	1,409	125	2	1,618
	Urban	230	632	125	1	988
	Water	16	266	33	23	338
Total variation	4,502	5,124	324	29	9,979	

**Table 5.** Land cover changes in Seoheunggun, Hwanghaebukdo, North Korea (between 2005 and 2013)

(Unit: ha)

Year	2005					Total variation
	Classification	Forest	Cropland	Urban	Water	
2013	Forest	3,518	737	38	0	4,293
	Cropland	918	4,288	258	6	5,470
	Urban	57	6	15	0	78
	Water	9	93	13	23	138
Total variation	4,502	5,124	324	29	9,979	

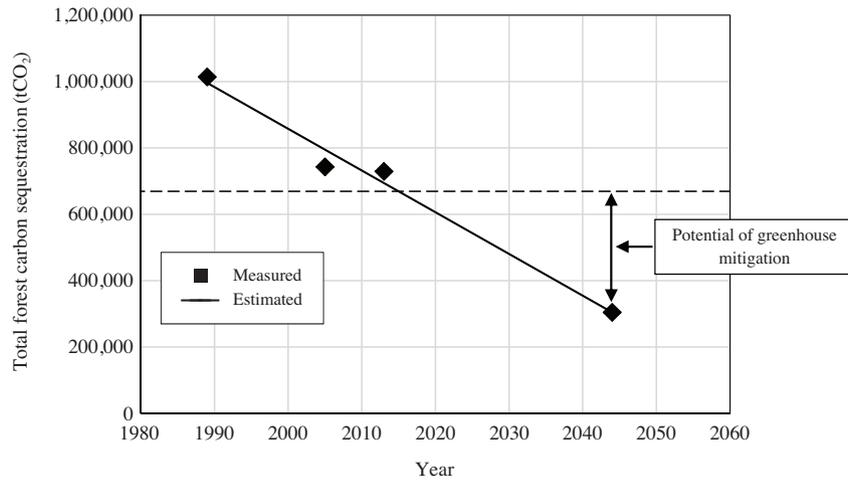


Fig. 3. Trend of declining of forest carbon storage and baseline.

선은 과거 기준선(Historical reference level)과 추정 기준선(Projected reference level)의 두 유형으로 나눈다(NIFoS 2010a). 본 연구에서 기준선을 탄소 감소추세선과 사업시작 직전의 탄소량을 고려하여 설정하였다. Table 3에서 추정된 연도별(1989, 2005, 2013) 탄소량을 바탕으로 산림탄소축적 감소추세선 식 1을 유도하였다(Fig. 3).

$$y = -12,576x + 1,008,681 \quad (3)$$

여기서,  $y$ 는 산림탄소저장량,  $x$ 는 연도에 해당하는 상수이다. 1989년을 1년차로 하여 1의 상수를 부여하고 각 연도의 연차를 상수로 활용한다.

산림탄소저장 감소추세선을 이용하여 대상지역의 2015년 온실가스 배출량과 2044년 이산화탄소저장량을 추정하고(식 3), 잠재감축량을 식 4를 이용하여 추정하였다(Fig. 3).

$$C_t = C_{2015} - C_{2044} \quad (4)$$

여기서,  $C_{2015}$ 은 2015년의 온실가스 배출량,  $C_{2044}$ 은 2044년 온실가스 배출량이다. 산림탄소저장 감소추세선을 이용하여 1989년부터 2044년까지 산림탄소저장량이 감소한다고 가정하고, 산림과학원에서 제공한 산림 축적 바이오매스, 탄소 전환계수를 이용하여 2015년부터 약 30년간의 산림탄소저장 감소방지량(온실가스배출 잠재감축량)이 약 364,704 tCO<sub>2</sub>으로 분석되었다.

## 결론

본 연구에서는 북한 황해북도에서 10,000 ha를 대상으로 선택하여 2015~2044년간의 REDD+ 사업에 따른 산림

탄소저장 감소방지량(온실가스배출 감축량)을 산정하였다. 1989년, 2005년, 2013년 세 시기의 Landsat 위성영상을 이용하여 토지피복 변화를 분석하고, 기준선과 산림과학원에서 제공한 산림탄소량 추정계수를 이용하여 30년 사이에 감소된 산림탄소저장량을 추정하였다. 대상지의 산림 황폐화는 계속 심해졌고, 1989년 7,035 ha로부터 2013년 4,293 ha로 약 39%가 감소하는 것으로 나타났고, 산림탄소저장량이 약 284,399 tCO<sub>2</sub> 감소한 것으로 나타났다. 감소추세선을 유도하기 위하여 다중시기의 산림탄소축적량을 이용하여 상관관계식을 추출하고, 이를 기반으로 2015년부터 2044년 사이에 REDD+ 사업으로 인해 감소되지 않은 산림탄소저장량(감축된 온실가스 배출량)이 약 364,704 tCO<sub>2</sub>으로 나타났다. 토지피복 분류 과정에서 현지조사를 수행할 수 없는 한계점과 기타 데이터의 불확실성이 존재하지만, 북한의 산림 황폐화를 방지하기 위한 REDD+ 사업의 적용에 활용될 수 있는 연구로 판단된다.

## 적요

북한의 산림 황폐화는 매우 심각한 것으로 보고되고 있으며, 이를 해결하기 위해 황폐화 방지와 온실가스 감축을 목표로 한 REDD+ 사업에 대한 관심이 높아지고 있다. 본 연구에서는 북한 황해북도에서 10,000 ha를 대상지에 대해 다중시기 토지피복 변화를 분석하였다. 연구 대상지의 산림 황폐화는 계속 심해져, 1989년 7,035 ha로부터 2013년 4,293 ha로 약 39%가 감소하는 것으로 나타났다. 그에 따라 산림탄소축적량은 약 284,399 tCO<sub>2</sub> 감소한 것으로 나타났다. 기준선을 설정하고 REDD+ 사업에 의한 산림탄소 감소방지

량(온실가스배출감축량)을 분석한 결과 약 364,704 tCO<sub>2</sub>가 감소하지 않고 유지될 수 있는 것으로 나타났다. 현장조사 수행이 불가능한 한계점과 단위면적 (ha)당 산림탄소축적량을 이용할 시 북한의 수종 재적 자료가 없는 제한 하에 남한의 자료를 사용한 한계는 향후 극복하여야 할 과제라고 판단된다. 그러나 본 연구는 향후 북한에서 REDD+ 사업을 위해 활용될 수 있을 것이다.

## 사 사

본 연구는 환경부 “기후변화대응환경기술개발사업 (2014 001310008)”의 지원으로 수행되었습니다.

## REFERENCES

- Bae JS. 2013. A Preliminary Review of REDD Mechanism for Rehabilitating Forest Degradation of North Korea. *J. Korean For. Soc.* 102:491-498 (in Korean with English abstract).
- Cui G, WK Lee, D Kim, EJ Lee, H Kwak, HA Choi, DA Kwak, SW Jeon and W Zhu. 2014. Estimation of forest carbon budget from land cover change in South and North Korea between 1981 and 2010. *J. Plant Biol.* 57:225-238.
- FAO. 2010. Global Forest Resources Assessment 2010 Country Report: The Democratic People's Republic of Korea. Rome, Italy. pp. 37.
- Han KJ and YC Youn. 2009. Integrating forestry offsets into a domestic emission trading scheme in Korea. *Journal of Environmental Policy* 8:1-30 (in Korean with English abstract). <https://www.kci.go.kr/kciportal/po/search/poCitaView.kci?sereId=001796&from=sereDetail>
- Intergovernmental Panel on Climate Change, 2006. 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories.
- Jeon YJ and JI Kim. 2003. Supervised classification systems for high resolution satellite images. *J. KIISE Comput. Pract. Lett.* 9:301-310 (in Korean with English abstract).
- Jo JH, JC Koo and YC Youn. 2011. Economic Feasibility of REDD Project for Preventing Deforestation in North Korea. *Journal of Korean Forest Society* 100:630-638 (in Korean with English abstract).
- Kim OS and YC Youn. 2014. An identification of project sites for lowering carbon emissions and saving forests in DPR Korea. *The Korean Geographical Society* 49:264-274 (in Korean with English abstract).
- Korea Forest Service. 2013. Lecture book of REDD+ : Introduction. Korea Forest Service. Seoul. p. 126 (in Korean).
- Koo JC and YC Youn. 2010. Potential REDD Projects and Cost Estimates in PDR Korea. *Journal of Korean Forest Society Routine Proceedings.* pp. 35-37 (in Korean).
- Nam K, WK Lee, M Kim, DA Kwak, WH Byun, H Yu, H Kwak, T Kwon, J Sung, DJ Chung and SH Lee. 2015. Spatio-temporal change in forest cover and carbon storage considering actual and potential forest cover in South Korea. *Sci. China Life Sci.* 58:713-723.
- NIFoS. 2010a. Carbon sinks sector response to climate change capacity plans for expanding international cooperation to strengthen in a developing country. *NIFoS.* pp. 29-30 (in Korean).
- NIFoS. 2010b. Forest Recovery Plan in North Korea. *NIFoS* (in Korean).
- Park CH and JS Yu. 2009. Forest degradation detection of North Korea using remote sensing. *Journal of environmental studies* 48:3-24 (in Korean). <http://scholar.ndsl.kr/schJournalDetail.do?cn=NJOU00290654>
- Park KS. 2013. Status of Forest and Forest Policy in North Korea. *KREI Quarterly Agricultural Trends in North Korea.* 15(3). p. 21 (in Korean).
- Park KS, SY Lee and SY Park. 2013. Green Detente and forest recovery support measures in North Korea. *NIFoS, Forest Policy Issues* 5. Seoul. p. 16 (in Korean).
- Seok HD, YH Kim, YH Lee, JC Koo, SH Park, CH Lee and TS Yoon. 2014. The strategy of the restoration and conservation of deforested and degraded mountainous area in North Korea. *KREI Political Research Report P193*, Seoul. p. 66 (in Korean with English abstract).
- UNEP. 2003. DPR KOREA : State of the Environment 2003.

Received: 25 January 2016

Revised: 8 March 2016

Revision accepted: 10 March 2016