

북한 산림전용 방지수단으로서의 REDD 사업의 경제적 타당성 분석

조장환 · 구지춘 · 윤여창*

서울대학교 산림과학부

Economic Feasibility of REDD Project for Preventing Deforestation in North Korea

Jang Hwan Jo, Ja Choon KOO and Yeo Chang Youn*

Department of Forest Sciences, Seoul National University, Seoul 151-921, Korea

요약: 본 연구의 목적은 북한지역의 REDD 탄소배출권 잠재량과 그 사업비용을 추정하여 REDD 사업의 경제적 타당성을 가늠해 보는 데에 있다. 북한지역의 REDD 잠재량은 국제통계의 1990년부터 2010년까지의 산림면적과 인구수를 활용하여 산정하였으며, REDD 사업비용은 북한에서 단위면적 당 생산할 수 있는 식량을 남한이 지원해준다고 가정하고, 농업 부문의 토지기회비용을 활용하여 간접 추정하였다. 북한지역의 산림전용을 참조수준 대비 25% 감소시키는 시나리오를 적용했을 때의 REDD 탄소배출권 잠재량은 20년간 4,232만~5,290만tCO₂eq.으로 추정되었다. 이는 우리나라 중기 온실가스 감축 목표의 28~35%에 해당하는 양이다. 한편, 북한지역에서 산림 농지로 전용한 곳에서 농사를 지을 때 얻을 수 있는 수익과 같은 수준의 REDD 사업의 수익이 보장되는 REDD 크레딧 가격, 즉 REDD 사업의 손익분기가격은 산림의 비영속성에 대한 위험율을 20%로 가정할 경우 19.19\$/tCO₂eq.으로 추정되었다. 이 가격은 2010년 자발적 시장에서 거래된 REDD 탄소배출권 가격인 5\$/tCO₂eq.보다 높아 경제적 타당성이 없는 것으로 나타났다. 하지만 REDD 사업이 탄소 흡수 이외에 공편익을 제공한다는 점에서는 선행연구에서 제시한 산림소실에 의한 온실가스 배출의 사회적 한계비용인 20\$/tCO₂eq.보다 낮다는 점에서 그 타당성을 인정할 수 있다. 북한에서의 REDD 사업의 타당성은 위험율에 의해 결정된다고 할 것이다. 따라서 북한지역 REDD 사업의 경제적 타당성을 담보하기 위해서는 북한 정부와 주민들의 사업에 대한 확고한 보장과 참여가 필요하다.

Abstract: This study aims to verify the economic validity of the REDD project in North Korea by estimating the potential carbon credits and the cost of REDD project. The REDD potential credits of North Korea are estimated based on the international statistics of forest area and population from 1990 to 2010, and the cost of REDD project is estimated indirectly by annual land opportunity cost of agriculture assuming that South Korea will aid the food production per area in North Korea. When the 25% reduction scenario was applied to the annual deforestation rate in North Korea, the potential REDD credits were estimated to be 4,232 million~5,290 million tCO₂eq. for 20 years. It would account for 28~35% of South Korea's national medium-term greenhouse gas reduction target. On the other hand, the break-even price of REDD project was calculated as the profit of agriculture in the land available by forest conversion in North Korea. It was estimated to be 19.19\$/tCO₂eq. when the non-permanence risk of forest conserved through a REDD contract is assumed to be 20%. This price is higher than the price of REDD carbon credit 5\$/tCO₂eq. dealt in the 2010 voluntary carbon market, leading to no economic feasibility. However, REDD project provides co-benefits besides climate mitigation. As previous studies indicate, the break-even price is lower than 20\$/tCO₂eq., which is the social marginal cost of greenhouse gas emissions by loss of forest. Therefore REDD in North Korea can be justified against the social benefits. The economic feasibility of REDD project in North Korea can be largely influenced by the risk percentage. Thus, North Korean REDD project needs a strong guarantee and involvement by the government and people of North Korea to assure the project's economic feasibility.

Key words : REDD, North Korea, deforestation, opportunity cost, climate change

*Corresponding author
E-mail: youn@snu.ac.kr

서 론

남한은 1970년대와 1980년대에 걸쳐 치산 녹화 정책을 수립하여 수행함으로써 황폐화된 남한 지역을 성공적으로 녹화시켰다. 이에 반해 북한은 1990년대 이후 소련 및 동구 공산주의 정권 붕괴 이후 고립된 경제체제로 인하여 화석 에너지와 식량 부족 문제에 부딪혔다. 에너지 문제로 인해 무분별한 땔감 채취가 증가하였고, 부족한 식량자원을 보충하기 위해 다락밭 개간이 이루어지면서 북한의 산림황폐화가 진행되었다. 1980년대 중반 이후 북한의 산림은 급속도로 훼손되고 있다. 북한의 산림 비율은 1980년대 말 74.8%에서 1990년대 말 70.7%, 1994년 말 67.9%로 계속 낮아지고 있다(이승호, 2004). 이에 남한의 지방정부와 시민단체들은 북한의 산림 황폐화 문제를 돕기 위하여 지난 10여 년 동안 북한에 양묘장을 조성하였고, 산림병해충의 방제를 위해 약제 및 기술을 공급하는 등 북한의 산림황폐화 방지를 위한 남북교류협력사업을 추진해왔다. 하지만 남북교류협력사업은 북한의 핵문제와 같은 남북한의 정치, 군사적인 상황과 주변 국제 정세와 같은 여러 제한요소의 영향을 받아 효율적으로 수행되지 못하였다.

북한의 산림 문제는 남북관계 뿐만 아니라 국제적인 맥락에서 접근해야 한다. 2009년 12월 코펜하겐에서 열린 제 15차 기후변화협약 당사국 총회에서 부속서 국가들은 2013년부터 산림전용 및 산림황폐화 방지, 산림경영활동에 의한 숲의 탄소저장 기능 개선 활동을 통한 온실가스 배출저감(Reducing Emissions from Deforestation and Degradation: 이하 REDD라 한다) 사업에 대하여 재정적 지원을 지원하는 합의문(Copenhagen Accord)을 발표했다. REDD에 대한 논의는 2005년 제11차 유엔기후변화협약(UNFCCC) 당사국 총회에서 파푸아뉴기니와 코스타리카가 REDD를 의제로 상정하면서 시작되었다. REDD는 산림 전용 및 황폐화로 인해 발생하는 온실가스 배출량을 감축하고자 하는 국가 또는 감축할 수 있는 국가에게 재정적으로 보상하는 메커니즘이다. 현재 개도국의 산림전용으로 인해 배출되는 온실가스가 세계 온실가스 총 배출량의 17%를 차지하고 있으므로 REDD는 국제사회에서 온실가스 감축을 위한 사업으로써 그 타당성을 인정받고 있다(IPCC, 2007). 또한 REDD 사업은 생물다양성 증진, 원주민 지원 등 사회·환경적인 공편익을 동반할 수 있으므로 기후변화에 대한 적응과 지속가능한 발전을 동시에 달성할 수 있는 비용효율적인 온실가스감축 대안으로 주목받고 있다(Sathaye et al., 2006; Stern, 2007; UNEP-WCMC, 2007).

REDD에 관한 국외 연구로는 열대지역을 대상으로 한 REDD 사업의 탄소 축적 변화를 모니터링하고 측정할 수 있는 방법에 대한 연구(Gibbs et al., 2007), 국가별 REDD

잠재량과 사업비용 추정에 대한 연구(Gibbs et al., 2007; Naidoo and Iwamura, 2007)가 진행되었고, 이를 바탕으로 투자 타당성 검토 연구(Busch et al., 2009), 투자 가능 지역 선별 연구(Deveny et al., 2009), 사업 추진을 위한 인센티브 추정 연구(Strassburg et al., 2009), REDD 최적 사업지 선정에 관한 연구(Harris et al., 2008), 국가 단위에서의 REDD 사업 비용 추정에 관한 연구(Pagiola et al., 2009), 참조수준 설정에 따른 REDD 잠재량 측정 차이에 관한 연구(Leischner and Elsasser, 2010) 등이 진행되어 왔다. 대부분의 연구들은 방법론에 있어 임업관련 국가의 통계자료, FAO, WorldBank 등의 국제기구의 자료수집과 GeoCommunity, Joint Research Center, NASA등이 제작한 위성영상자료를 활용하였다.

국내 연구로는 99개 국가를 대상으로 개도국의 산림전용으로 인한 온실가스 배출량 감축 및 산림탄소축적증진 활동에 따른 온실가스 감축 잠재량과 탄소배출권 잠재량을 추정한 연구(배재수와 배기강, 2009)와 기후변화 협상에서 REDD에 대한 논의 및 REDD 사업의 국제지원프로그램에 대한 연구(한기주와 윤여창, 2010), 기후변화협약과 REDD+ 매커니즘의 협상 전망에 대한 연구(석현덕과 윤범석, 2010), 산림전용 및 황폐화 방지를 통한 온실가스 감축방안 논의 동향 및 도입 전망에 대한 연구(이수경 등, 2010) 등이 있으나 이들 연구는 주로 동향분석을 위주로 REDD 사업에 대한 우리나라의 전략에 초점을 맞춰 연구를 진행하고 있고, 특정 국가를 대상으로한 REDD 사업의 기술적, 경제적 분석 연구는 전무하다. REDD에 대한 국외의 선행 연구들은 주로 산림면적이 크고, 단위면적 당 탄소저장량이 많은 열대지역을 대상으로 진행되었다. 본 연구는 그 대상을 비열대지역인 동시에 체제의 폐쇄성으로 인해 자료 접근이 힘든 북한 지역으로 설정하였다. 본 연구의 목적은 북한 지역 REDD 사업의 경제적 타당성을 분석하는 데에 있다. 이를 위하여 REDD 잠재량을 추정하고, REDD 사업비용을 산정할 것이다. REDD 사업비용 산정에 필요한 작물 산출량, 생산자 가격, 노동자의 연간 비용 등은 매개변수의 불확실성을 감안하여 Monte-Carlo 시뮬레이션과 민감도 분석(sensitivity analysis)을 실시할 것이다. 위와 같은 연구목적 달성을 위한 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 분석모형에 대해 설명하고, III장에서는 분석대상에 대해 설명한다. IV장에서는 분석결과를 제시하고, 그 의미를 해석한다. V장에서는 결과를 요약하고, 정책 제언을 한다.

분석모형

1. 북한지역의 REDD 잠재량

REDD 사업을 통하여 획득할 수 있는 이산화탄소 잠재

량을 산정하기 위해서는 참조수준(Reference level)을 설정해야 한다. Busch *et al.*(2009)와 Deveny *et al.*(2009), 구지춘과 윤여창(2010)의 연구에서는 산림 전용의 면적 변화 추이를 선형으로 가정하고 참조수준을 설정하였다. 하지만, REDD의 참조수준을 추정하기 위해서는 대상 국가의 상황과 그 국가의 역사적인 산림 전용 추이를 파악하여야 한다. 산림전용은 농지 수요 증가에 중대한 영향을 받는다. 농지 수요 증가는 국가의 지리적 특성, 식량 공급을 위한 다른 자원의 접근 정도, 국가의 경제성장도 등에 영향을 받게 되는데, 그 중에서도 산림 전용에 가장 큰 영향을 미치는 요인은 인구밀도이다. Köthke *et al.*(2010)은 2010년도 비부속서(NAI) 81개 국가를 대상으로 한 연구 분석에서 산림 비율과 인구밀도 사이에서 모두 유의미한 음의 상관관계가 있음을 밝혀낸 바 있다. 본 연구에서는 북한의 인구 및 산림 통계를 활용하여 산림면적 추이를 예측할 수 있는 회귀식을 추정할 것이다. 또한 통계청(2010)의 북한 인구 예측 자료를 회귀식에 대입하여 북한 산림면적의 변화를 예측해 볼 것이다.

Zhang *et al.*(2005)은 중앙아프리카의 인공위성영상 분석을 통해 원시림과 황폐화된 산림을 식별하였다. 이 결과가 재연 가능하고 신뢰성 있는 것으로 입증된다면, 산림황폐화(Degradation)로 인한 탄소 손실까지도 측정할 수 있을 것이다. 하지만 현장 검증이 불가능한 북한의 경우, 원격탐사(remote sensing)결과에 대한 정확도 검증이 불가능하다. 이에 본 연구에서는 REDD 가운데 산림전용(Deforestation)만을 대상으로 하였다.

현재 REDD 사업을 통한 탄소배출권 확보와 관련하여 국제적으로 명확히 합의된 가정이나 방법론은 없으나, 다수의 유력한 접근 가능성 및 방법론이 논의되고 있다(이

수경 등, 2010). 여기에는 보상감축(compensated reduction), nested 접근법, 보상기금(compensating fund)이 있다 (Estrada, 2007; Bellassen and Gitz, 2008에서 재인용). 보상감축은 산림이 저장하고 있는 탄소 자체에 금전적 가치를 부여하여, 해당 양 만큼의 탄소배출권을 발행하는 것을 말한다(Santilli *et al.*, 2005). 본 연구에서는 REDD 잠재량을 산정함에 있어 보상감축 방법론을 활용할 것이다. 보상감축 방법론은 다른 두 접근 방법과 달리 교토의정서에서 시작된 탄소 시장과 직접적인 연계가 가능하다. 현재 존재하는 모든 탄소 시장에서 거래가 가능한 탄소 배출권에 대해 논의 하는 것이 REDD의 접근 가능성에 대해 가장 폭넓은 범위에서 적용될 수 있을 것이라 생각했다.

북한지역의 REDD 잠재량은 Deveny *et al.*(2009)이 전세계 국가를 대상으로 산림탄소지수(Forest Carbon Index)를 산정한 방법을 적용하였다(식 (1)). B는 산림사업의 비영속성에 대한 위험완충계수(Risk buffer coefficient)이다. Deveny *et al.*(2009)은 산림의 비영속성에 대한 선행연구와 사업기간을 고려하여 비영속성계수(B)를 0.8로 사용하였다.

$$\text{REDD를 통한 이산화탄소 배출 감축량}(t\text{CO}_2\text{eq./ha}) = \frac{\text{산림 총 탄소량}(tC)}{\text{총 산림면적}(ha)} \times \left[\frac{t\text{CO}_2\text{eq.}}{tC} \right] \times B \quad (1)$$

2. 북한지역의 REDD 사업비용

REDD 사업비용은 Table 1에서 나타나는 것과 같이 기회비용(Opportunity cost), 거래비용(Transaction cost), 이행비용(Implementing Cost)으로 구성되는데, 이 중 기회비용이 차지 하는 비율이 80~95%로 가장 많다(White and Minang, 2011).

이에 본 연구에서는 토지의 대안적인 이용에서 발생하

Table 1. Costs of REDD.

Opportunity cost	1. Direct, on-site
	- Profit difference between conserving forests and converting them to other, typically more valuable, land uses
	- The difference in profits from increasing carbon of restored forests
Opportunity cost	2. Socio-cultural
	- Livelihoods restricted or changed
	- Psychological, spiritual or emotional impacts
Opportunity cost	3. Indirect, off-site
	- Difference in value added activities (changes in economic sectors attributable to REDD)
	- Tax revenue differences
Implementation cost	- Agriculture and forest product price increases from economy feedbacks
	- Land use planning (land tenure)
	- Governance reform
Implementation cost	- Forest protection, improved forest and agriculture management
	- Job training
	- Administration
Transaction cost	- REDD program development
	- Agreement negotiation
	- Emission reduction certification (MRV: measuring, reporting, verification)
	- Stabilization, prevent deforestation moving to other countries

*Source: White and Minang (2011) revised

는 직접적인 농업기회비용을 이용하여 사업비용을 추정할 것이다. 북한지역은 체제의 폐쇄성으로 인해 자료의 접근이 용이하지 않기 때문에 토지기회비용을 직접 측정하기 어렵다. Naidoo and Iwamura(2007)는 토지, 강우량, 비용, 생산량, 작물종류 등 다양한 요소를 종합적으로 고려하여 국가별로 농업 토지기회비용을 계산하였는데, 북한지역에서의 연간 농업 토지기회비용을 25~75\$/ha로 추정하였다.

하지만 이는 국제간의 토지 기회비용을 범위로 추정해 비교하는 것에 의미가 있는 것으로 직접 적용하기에는 무리가 있다. 이에 Bellassen and Gitz(2008)가 카메룬의 농업 토지 수익을 추정한 단순 비용 모형의 일부를 변형하여 사용하였다. 식 (2)의 R_N 은 N년도까지 농업 토지에서 발생한 총 기회비용의 순 현재가치이다. R_i 는 i년도 농업 토지의 단위면적 당 수익으로, 총 판매 수익에서 총 비용을 차감한 값이다. 판매 수익은 단위면적 당 작물 산출량(Y)과 작물 가격(P)의 곱으로 산출하였다. 총 비용(L)은 식 (3)과 같이 북한 근로자의 평균 근로 소득(MI), 농부 수(NF), 경작지 총 면적(AL)을 활용하여 산출하였다.

$$R_N = \sum_{i=1}^N \frac{1}{(1+r)^i} \times R_i \quad (2)$$

r: 할인율, $R_i = Y_i \times P_i - L_i$

$$L_i = \frac{MI \times NF}{AL} \quad (3)$$

북한 통계 자료의 불확실성을 감안했을 때, 미래 사업 기간 동안의 Y, P, MI, NF, AL을 예측하기 어렵다. 이에 본 연구에서는 각 매개변수의 과거 추세에 대한 평균(σ)과 표준편차(μ)를 기준으로 몬테카를로 시뮬레이션을 실시하여 농업 토지 수익 R_N 의 평균과 표준편차를 추정하였다. 이는 한정된 관측 데이터에 대해 모형에서 가정한 확률분포에 따라 무작위 표본추출을 통한 데이터의 우연 결과를 발생시켜 줌으로써 데이터의 신뢰성을 높이기 위함이다. 몬테카를로 시뮬레이션은 다음의 절차를 따른다. 첫째, 각 매개변수가 평균이 μ 이고 표준편차가 σ 인 정규분포를 따른다고 가정하고, 각각의 분포에서 매개변수값을 10,000번 추출한다. 둘째, 각 10,000개의 매개변수들을 식 (2)에 대입하여 R_N 자체의 분포를 추정한다. 식 (4)는 N년 동안 REDD 사업을 실시하는 경우 사업 종료 시점까지 보상 받을 수 있는 수익의 순 현재가치이다. B는 위험완충계수, P_C 는 산림 탄소배출권 가격이다. 따라서 식 (2)와 식 (4)가 같아지는 P_C 는 손익분기가격(Break Even Price)이 된다.

$$\text{REDD를 통한 수익(USD/ha)} = \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^N \frac{\text{산림 총 탄소량 (tC)}}{\text{총 산림면적 (ha)}} \times \left[\frac{\text{tCO}_2 \text{ eq.}}{\text{tC}} \right] \times B \times P_C \times \frac{1}{(1+r)^i}$$

할인율의 경우에는 불확실성을 저감하기 위하여 몬테카를로 시뮬레이션 대신 할인율을 다르게 하여 결과를 도출하고, 이를 비교하는 민감도 분석(sensitive analysis)을 실시하였다. 할인율의 경우 손익분기가격을 추정하기 위한 식에서 확률변수가 되는 변수에 포함되지 않기 때문에 평균과 표준편차를 가정하는 것이 적절하지 않기 때문이다.

분석대상

1. 북한지역의 REDD 잠재량

북한의 산림면적, 탄소축적량, 산림전용면적은 FAO(2010)의 세계산림자원평가보고서(Global Forest Resources Assessment)를 활용하였다. 2010년 기준, 북한의 산림면적은 5,666천 ha이며, 1990년에서 2010년까지의 연평균 북한 산림전용면적은 126,750 ha이다(Table 2). 2005년부터 2010년까지의 북한지역의 산림면적 변화율은 -2.1%로, 같은 기간 전 세계 평균 변화율인 -0.14%의 15배에 달한다. 이는 브라질의 -0.4%보다도 높으며, 인도네시아의 -0.7%보다도 높은 수치이다(FAO, 2010).

2. 북한지역의 REDD 사업비용

북한에서 식량생산을 위해 산림을 개간하고 이뤄지는 다락밭 농업의 과정은 북한 관련 여러 연구에서 기술되어 왔다. 북한의 다락밭은 1963년 3월 과학자, 기술자 대회에서 김일성이 연설을 통해 경사지에 다락밭을 적극 조성하라고 지시한 것으로 알려져 있다. 부족한 식량 문제를 해결하기 위해 밭농사지대에 옥수수(강냉이)나 감자 같은 대체작물을 대대적으로 재배한 것이다(공우석, 2006). 이민부 등(2006)은 북한지역에서의 산림변화 지역은 대부분이 농지로 전환된 것이며, 산림에서 농지로 변한 비중이 전체 훼손 산림면적의 약 72.43%인 63만 ha에 달한다고 하였다. 본 연구에서는 연간 농업 토지기회비용을 북한 주민들이 식량 생산을 하지 않고 산림을 그대로 보전하는데 소요되는 비용으로 산정하였다. 또한, 북한에서 단위면적 당 생산할 수 있는 식량을 남한이 지원해준다고 가정하였다. FAO의 통계자료에 나타난 1990년부터 2008년까지 북한의 옥수수 및 감자의 단위 면적당 생산량을 근거로, 산림을 경작한 다락밭 농업 결정 이후의 N년간 ha당 경작지의 평균 수익을 계산할 수 있는 모형을 구축하였다.

Table 2. Changes in forest area of South Korea and North Korea (1990~2010). (Unit:1000 ha)

	1990	2000	2005	2010
South Korea	6,370	6,288	6,255	6,222
North Korea	8,201	6,933	6,299	5,666

*Source: FAO(2010)

Table 3. Mean and standard deviation of crop prices, yields in North Korea based on FAO data.

	Maize	Potato
Yield(ton/ha) 1990-2009	3.57	10.80
Mean (\pm annual standard deviation)	(± 1.58)	(± 1.35)
Producer price ¹⁾ (\$/ton) 1991-2008	580.63	541.17
Mean (\pm annual standard deviation)	(± 96.61)	(± 307.78)

*Source: FAO revised(2011).

Table 4. Mean and standard deviation of income, farmer quantity, total yield based on Statistics Korea and FAO data.

	Mean (\pm annual standard deviation)
Income(\$) ¹⁾ 1991-2008	592.12 (± 114.78)
Number of farmers (1000 people) 1991-2008	8112.32 (± 269.48)
Total yield (1000 ha) 1991-2008	3518.60 (± 49.66)

*Source: Statistics Korea(2011), FAO(2011) revised.

이때, 다음과 같은 가정을 추가하여 모형을 단순화 시켰다. 첫째, 경작지와 휴지기는 고려하지 않았다. 둘째, 경작지의 각 절반에서 옥수수와 감자가 재배된다고 가정하였다. 북한의 다락밭에서 재배되는 식물은 모두 성장기가 짧은 옥수수였고, 특히 외래종 사료용 옥수수인 덴트콘을 주로 재배하였다(공우석, 2006). 감자 역시 옥수수를 대체하는 식량 작물로 전 세계 130여 나라에서 재배되고 있으며, 옥수수에 비해 비료가 적게 들고 수확량도 많기 때문에 이러한 가정이 북한의 산림 경작지 상황을 반영하기에 적절하다고 사료된다. FAO 자료를 활용한 북한의 옥수수, 감자의 생산량 및 생산자 가격의 추이, 평균 및 표준편차는 Table 3과 같다.

북한의 근로자의 평균 근로 소득, 농부 수, 경작지 총면적은 통계청과 FAO의 북한 통계자료를 활용하여 산출하였다. 이때, 북한의 다락밭 농업에서 주된 투입량은 개인 노동으로 가정하였으며, 평균 근로 소득은 북한의 개성공단 근로자의 평균 근로 소득으로 근사하였다. 북한지역의 근로자 평균 근로 소득, 농부 수, 경작지 총면적의 추이,

평균 및 표준편차는 Table 4와 같다.

Deveny *et al.*(2009)은 할인율을 책정함에 있어 OECD 국가는 4%를, 최빈국에는 20%를, 기타에는 15%를 적용하였다. 본 연구에서는 최빈국에 해당하는 북한 지역의 이자율 20%, OECD에 속한 남한의 이자율 4%, 남한의 자본이 북한으로 유입 가능한 상황 하에서의 이자율 10%를 각각 적용하여 결과를 도출하고, 이를 비교하였다. 마지막으로, 본 연구에서는 북한의 산림 변화 예측 결과와 우리나라 중기 온실가스 감축목표 기간을 감안하여 REDD 사업 기간을 포스트 교토체계가 시작되는 2013년부터 20년으로 책정하였다.

분석결과 및 고찰

1. 북한지역의 REDD 잠재량

1990년부터 2010년까지의 북한지역 산림면적²⁾을 인구에 대하여 회귀분석한 결과는 Table 5와 같다. 인구에 대한 추정계수는 -0.46으로, 1% 유의수준에서 통계적 유의성을 보였다. 모형의 설명력을 나타내는 Adj-R2의 값은 0.9202이었다. 이 결과는 Köthke *et al.*(2010)의 연구 결과와 마찬가지로, 북한의 산림 전용은 인구수 증가에 영향을 받는 것으로 나타났다. 추정된 회귀식에 통계청(2010)

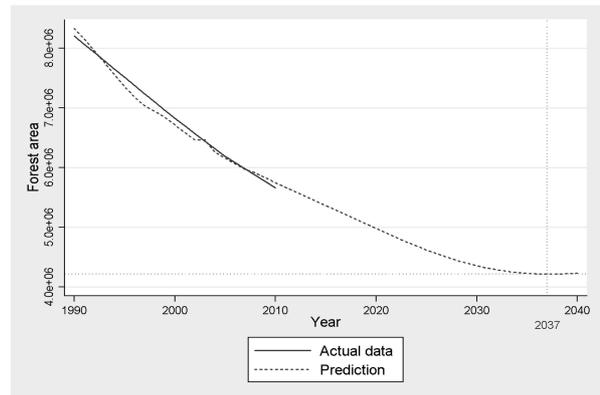


Figure 1. Prediction of forest area change in North Korea.

Table 5. The relation between forest area and population of North Korea(1999-2010).

	Coefficient	Standard deviation	t-value	(p)	95% range	
Population	-0.46**	0.03	-15.22	0.000	-0.53	-0.40
Cosntant	17300000***	677223	35.59	0.000	15900000	18700000

- Significance level * _10%, ** _5%, *** _1%.

¹⁾ 북한은 체제의 특수성으로 식량 작물의 시장가격이 형성되어 있지 않고, 북한에서 단위 면적 당 생산할 수 있는 식량을 남한이 지원해준다고 가정하였기 때문에 남한의 식량 작물 생산자 가격을 대체해서 적용했다. 생산자 가격이란 생산자가 생산물을 상인과 중간업자에게 판매할 때의 가격을 의미하는데, 통계자료를 통해 나타난 생산자 가격에 대해서는 한국은행에서 발표하는 생산자 물가지수를 반영한 실질 가격 수치를 재산정하여 적용했다.

²⁾ FAO의 자료에는 1990년, 2000년, 2005년 2010년의 산림면적 자료만 존재한다. 이에 본 연구에서는 관측치가 없는 년도에 대해서는 거점년도 간 평균 감소율을 적용하여 책정하였다.

의 북한 인구 추계 자료를 기준으로 한 북한의 인구 예측치를 적용하여 예측한 북한의 산림면적은 Figure 1과 같다. 산림면적이 줄어드나, 그 감소율이 감소하여 2037년에는 약 4,369,000 ha까지 감소하고, 이후에는 더 이상 감소하지 않는 것으로 예측되었다. 따라서 북한을 대상으로 한 REDD 사업 대상지의 최대 면적은 약 1,297,000 ha라 볼 수 있을 것이다.

산림의 탄소 축적량은 산림이라는 저장고(pool)에서 탄소를 배출하거나 축적할 수 있는 양의 정도를 의미한다. 산림의 탄소 저장고에는 산림의 살아있는 생물량(Living biomass)뿐만 아니라, 죽은 나무(Dead wood) 그리고 토양(soil)이 포함된다(FAO, 2005). 아직 구체적인 REDD 사업에 대한 산림 탄소 대상에 대한 가이드라인이 정해져 있지 않기 때문에, 본 연구에서는 REDD 사업의 인정 범위를 산림이 가진 살아있는 생물량의 총량만을 대상으로 했을 때와 죽은 나무를 포함했을 때, 그리고 산림 토양의 탄소량을 포함했을 때의 세 가지 경우에 대해서 REDD의 잠재량을 평가했다. 북한지역 산림 1 ha의 살아있는 바이오매스에 저장된 총 탄소의 양은 30tC 이다(FAO, 2010). 북한에 대한 산림 토양의 탄소량에 대한 연구가 없기 때문에, 국립산림과학원의 남한 5차 국가 산림자원조사(National Forest Inventory)에 기반한 남한의 산림 토양 탄소량을 추정했다(LEE *et al.*, 2010). 이는 북한에 대한 산림 토양 탄소량에 대한 데이터가 없는 상황에서 지리적으로 인접한 남한의 산림자원 조사에서 추정한 산림 토양의 탄소량이 북한의 산림 토양 탄소량과 가장 근사한 값을 가질 것이라 가정하고 추정한 값이다. 이산화탄소 변환 계수를 적용한 산림의 토양 탄소 축적량은 210.78 tCO₂eq./ha³⁾이다. Murty *et al.*(2002)은 열대지역의 산림을 경작지로 전용할 때 평균적으로 30%의 탄소가 소실된다고 하였고, Takahashi *et al.*(2010)은 일본지역의 산림을 경작지로 전용할 때 평균적으로 21%의 탄소가 소실된다고 하였다. 북한의 죽은 나무에 저장된 탄소 축적량을 이산화탄소 축적량으로 변환한 값은 14.9 tCO₂eq./ha이다(FAO, 2005). 이상의 선행연구 결과를 북한에 적용하면, 북한의 산림 1 ha의 전용을 방지하면 최대 169.16 tCO₂eq./ha⁴⁾의 이산화탄소를 저장할 수 있게 된다. 본 연구에서 설정한 참조수준에 따르면 2013년에 사업을 시행해 2033년 까지 사업 기간을 20년으로 설정하는 경우, 매년 평균 62,547 ha의 산림이 전용될 것이며, 사업기간 동안 소실이 예상되는 탄소의 양은 2,883,002 tC/년이다. 소실되는 탄소의 양을 tCO₂eq.으로 환산하고, 산림의 비영속성에 대한 위험율을 20%로 가정하여 2013년부터 2033년까지 20년 동안 산림

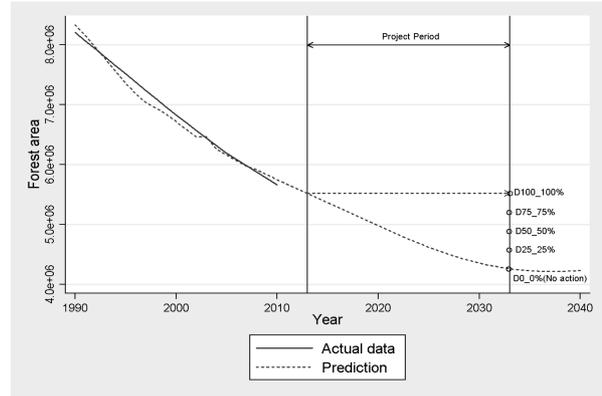


Figure 2. scenarios for preventing deforestation through REDD project.

Table 6. Potential REDD credits in North Korea according to the scenarios.

Scenario	Deforested area*(ha)	REDD credits(tCO ₂ eq.)	
		B=0.8	B=1.0 (No risk)
D25	938,198	42,322,465	52,903,081
D50	625,465	84,644,929	105,806,161
D75	312,733	126,967,394	158,709,242

*The results are estimated based on project durations to 20 years (2013~2033).

전용을 100% 억제하였을 때 최대한 획득할 수 있는 북한지역의 REDD 탄소배출권의 총 양은 169,289,858 tCO₂eq.이다. Harris *et al.*(2008)의 연구에서는 인도네시아의 동부 칼리만탄 지역의 산림 전용을 방지하는 시나리오에서 100%의 산림 전용을 방지했을 때의 상황을 가정해서 결과를 도출했으나, 현실적으로 북한의 산림전용을 100% 줄일 수 없으므로, 본 연구에서는 Figure 2와 같이 참조수준에 비하여 산림전용을 25%, 50%, 75%를 줄이는 3개의 시나리오를 설정하였다. 시나리오별로 사업기간 동안 획득할 수 있는 REDD 탄소배출권의 양은 Table 6과 같다.

우리나라는 2009년 11월에 2020년까지 온실가스를 BAU(Business As Usual) 기준 30% 감축, 2005년 대비 4% 감축이라는 국가중기감축목표를 확정하였다(녹색성장위원회, 2009). 이를 기준으로 온실가스 배출량을 점차적으로 감축한다고 가정하였을 때, 감축기간인 2013년부터 2020년까지 약 1억5천3백만 tCO₂eq.이 필요하게 된다(구자춘과 윤여창, 2010). 이를 Table 6의 북한지역 REDD 탄소배출권 잠재량과 비교하면, 산림 전용을 20년 동안 25% 감축하는 경우에 온실가스 배출량 감축목표의 28~35%를 충족할 수 있는 양이 된다.

³⁾ 침엽수림(171.76 tCO₂eq./ha), 혼효림(182.03 tCO₂eq./ha), 활엽수림(278.55 tCO₂eq./ha)의 평균을 적용하였다.

⁴⁾ 2010년 북한 산림 면적을 기준으로 살아있는 생물량과 죽은 나무에서의 탄소, 산림 토양 탄소의 21%를 적용하여 총 합한 값이다.

Table 7. Net present value of cultivation per ha of cropland.

Discount rate(%)	Net present value of cultivation per ha of cropland (USD)
4	35,283 ($\pm 5,178$)
10	22,081 ($\pm 3,671$)
15	16,263 ($\pm 3,058$)
20	12,637 ($\pm 2,640$)

Table 8. Break even price based on discount rates($r=0.04$).

	B=0.8	B=1.0
Living Biomass only = (A)	29.52 (± 4.37)	23.61 (± 3.50)
(A) including dead wood = (B)	26.00 (± 3.85)	20.80 (± 3.08)
(B) including soil carbon	19.19 (± 2.84)	15.35 (± 2.28)

Table 9. Break even price of REDD credits based on discount rates.

Discount rate(%)	Break Even Price	
	B=0.8	B=1.0 (no risk)
4	19.19 (± 2.84)	15.35 (± 2.28)
10	19.15 (± 3.18)	15.32 (± 2.55)
15	19.22 (± 3.60)	15.38 (± 2.88)
20	19.20 (± 4.05)	15.36 (± 3.24)

2. 북한지역의 REDD 사업비용

식 (3)을 활용하여 추정된 농업 토지 기회비용의 순현재가치는 Table 7과 같다. 할인율이 증가할수록 농업 토지 수익 R_N 이 작아짐을 확인할 수 있다.

식 (4)에 위험완충계수를 0.8과 1.0로 각각 적용하여 산출한 손익분기가격은 Table 8과 같다. 이때 이자율은 4%로 하였다. 한편, Table 9와 같이 할인율이 변화하여도 손익분기가격의 평균값은 크게 변화하지 않았다. 단지 손익분기가격의 표준편차만이 증가함이 확인되었다.

2010년 자발적 시장에서 거래된 REDD 탄소배출권 가격은 $5\$/tCO_2eq$ 이었다(Peters-Stanley *et al.*, 2011). 반면, Deveny *et al.*(2009)은 산림 탄소배출권 획득 사업이 가능한 최대 사회적 비용을 $20\$/tCO_2eq$ 로, 이보다 높게 책정하였다. REDD 사업이 탄소 흡수 이외에 지역사회에 사회·경제적 편익을 제공한다는 점을 고려하였기 때문이다. 따라서 본 연구에서 추정된 북한 지역의 REDD 산림 탄소배출권 공급 가능 가격은 경제적 타당성은 보장하기 어려우나, 사회적 타당성은 인정된다고 볼 수 있을 것이다.

Bellassen and Gitz(2008) 연구에서는 카메룬을 대상으로 그들의 화전 농업으로부터 산림을 보전함에 따른 손익분기가격을 $2.85\$/tCO_2eq$ 로 추정했다. 그 밖에 열대 지역을 대상으로 한 다른 REDD 연구들(Boucher, 2008; Pagiola *et al.*, 2009)에서 추정된 REDD 공급 가능 가격도 본 연구에서 추정된 공급 가격보다 낮은 수준이었다. 이처럼 북한 지역의 REDD 사업의 공급 가능 가격이 높게

산출된 이유는 다음 세 가지 원인 때문으로 판단된다. 첫째, 북한의 단위면적당 산림이 저장하고 있는 탄소의 양이 열대림에 비해 적기 때문이다. 둘째, 사업 시행에 있어 산림의 비영속성을 고려한 위험완충계수를 적용하였고, 셋째, 작물의 생산자 가격을 산정함에 있어 남한의 가격을 사용했기 때문이다.

북한에서의 REDD 사업의 타당성은 위험율에 의해 결정된다고 할 것이다. 본 연구에서는 위험완충계수로 0.8을 적용하였다. 하지만 북한의 불안정한 체제의 특성을 고려한다면, 위험완충계수는 이보다 작아질 수 있다고 판단된다. 따라서 북한지역 REDD 사업의 경제·사회적 타당성을 보다 담보하기 위해서는 북한 정부와 주민들의 사업에 대한 확고한 보장과 참여가 필요하다.

결론

본 연구의 목적은 북한의 REDD 사업에 대한 잠재량과 사업비용이 되는 손익 분기점을 추정하여 북한지역을 대상으로 한 REDD 사업의 타당성을 가늠해 보는 데에 있다. 본 연구의 결과는 다음과 같다. 첫째, 북한지역의 산림 전용을 참조 수준 대비 25% 저감할 경우 20년 동안 획득 가능한 REDD 탄소배출권량은 42,322,465~52,903,081 tCO_2eq 으로 추정되었다. 이는 우리나라 중기감축목표의 28~35%를 충당할 수 있는 양이다. 둘째, 북한지역의 REDD 사업비용이 되는 손익분기점은 산림의 비영속성에 대한 위험율을 20%로 가정할 경우 $19.19\$/tCO_2eq$ 으로 추정되었다. 이는 2010년 자발적 시장에서 거래된 REDD 탄소배출권 가격인 $5\$/tCO_2eq$ 보다 높아 경제적 타당성은 보장하기 어려운 것으로 나타났다. 하지만 기후변화대응을 위한 사회적 한계비용인 $20\$/tCO_2eq$ 보다 낮다는 점에서 사회적 타당성이 인정된다고 볼 수 있을 것이다. 위험율에 의해 손익분기가격이 결정되는 만큼 REDD 사업에 대한 철저한 검증을 실시하고, 책임 소재를 명확히 하는 등의 안전장치를 마련한다면 북한지역 REDD 사업의 경제·사회적 타당성을 보다 담보할 수 있을 것이다.

본 연구는 열대림에 국한되었던 REDD 잠재량 및 사업비용 추정 연구를 산림 전용율이 높은 북한에 적용했다는 것과, 이를 우리나라의 실질적인 온실가스 배출권 감축량과 비교하고 사업비용을 추정해보았다는 것에 의의가 있을 것이다.

본 연구는 다음과 같은 한계를 갖는다. 첫째 산림면적 추정에 대한 오차이다. 본 연구에서는 산림 면적의 변화와 관계된 자료를 국제기구의 통계 자료에 의존하였는데, 이는 북한의 실제 산림 전용 및 황폐화의 상황을 제대로 반영하지 않을 수 있어, 자료의 정확성에 문제가 있을 수 있다고 판단된다. 산림면적은 참조수준 설정에 있어 커다란

영향을 미칠 수 있으므로, 향후 위성 영상 자료 이용과 현지 검증을 통한 정확한 산림면적 추정에 관한 연구가 필요하다. 둘째, 북한만의 지역적 편차를 고려하지 않고 북한의 모든 지역에 산림 및 농업 생산성 등을 일정하다고 가정하여 분석함에 따른 문제이다. 박종화(2010)는 북한에서 개성 지역의 산림 전용율이 가장 높음을 밝힌 바 있다. 본 연구에서는 지역적 범위를 국가 단위로 설정하였기 때문에, 북한 지역 내에서 산림 전용이 빠르게 진행되고 있는 지역과 그렇지 않은 지역의 특성에 대해서는 고려할 수가 없었다. 향후 연구에서는 국제 통계 자료 외에 고해상도 위성영상을 사용해 지역별로 산림 상황 변화 양상을 분석한다면 지역적인 특성을 고려한 REDD 사업의 타당성을 분석할 수 있을 것이다. 셋째, 사업범위 설정의 문제이다. 2009년 12월 제15차 기후변화협약 당사국 총회의 결과물인 코펜하겐 합의문에 언급된 것은 REDD+이다. 본 연구에서는 사업의 범위를 산림의 질을 악화시키는 행동을 제외한 산림전용에 국한하였으므로, 향후 연구에서는 산림 질 저하 방지, 산림탄소축적증진, 지속가능한 산림경영을 포함시킬 필요가 있겠다. 마지막으로, 사업비용 추정의 문제이다. 본 연구에서는 REDD 사업을 시행하는데 있어 기회비용에 한정해 비용을 산정했는데, 향후 연구에서는 거래비용과 이행비용과 같은 실질적인 사업 시행을 위해 들어가는 비용을 추정해야 할 것이다. 이상 연구의 한계는 북한에 대한 정보의 폐쇄성에 기인한다고 볼 수 있다. 향후, 북한과의 연구 교류가 가능하다면, 잠재량 및 사업비용 추정의 범위를 좁힐 수 있을 것이다.

감사의 글

본 연구는 산림청 ‘산림과학기술개발사업(과제번호: S211011L010230)’의 지원을 받아 수행하였습니다(한반도 산림 복원 및 국제 산림 협력 연구 사업단).

인용문헌

- 공우석. 2006. 북한의 자연생태계. 집문당. 서울. pp. 447.
- 구자춘, 윤여창. 2010. 북한지역 REDD 잠재량 및 사업 비용 추정. 한국임학회 학술대회 발표논문. 3월 12일. 창원: 컨벤션센터. 미간행.
- 녹색성장위원회. 2009. 온실가스 감축 목표. <http://green-growth.go.kr/policy/onsil.cms>(2009. 9.17.)
- 박종화. 2010. MODIS 위성영상을 이용한 북한의 산림 황폐화 실태조사. 북한산림녹화를 위한 남북협력방안 심포지움 발표논문. 2월 9일. 서울: 프레스센터. 미간행.
- 배재수, 배기강. 2009. 개도국의 산림전용으로 인한 온실가스 배출량 감축 및 산림탄소축적 증진 활동의 탄소 배출권 잠재력 평가. 한국임학회지 98(3): 263-271.
- 석현덕, 윤범석. 2010. 기후변화협약 REDD+ 매커니즘의 이해와 향후 협상전망. 한국농촌경제연구원. 서울. pp. 127.
- 이민부, 김남신, 한옥, 한주연, 최한성, 강철성, 신근하. 2006. 북한의 환경변화와 자연재해. 한올아카데미. 파주. pp. 355.
- 이수경, 최현아, 손요환, 이우균. 2010. 산림전용 및 황폐화 방지를 통한 온실가스 감축방안(REDD 및 plus) 논의동향 및 도입 전망. 에너지기후변화학회지 5(2): 85-98.
- 이승호. 2004. 북한 산림자원의 황폐화 현황과 남·북한 임업협력의 발전방향. 농업생명과학연구 38(3): 101-113.
- 통계청. 2010. 1933~2055 북한 인구추계.
- 한기주, 윤여창. 2010. 산림전용과 산림황폐화 방지를 통한 온실가스 감축 방안. 기후변화대응 산림정책 연구개발 사업단. 서울. pp. 45.
- Bellassen, V. and Gitz, V. 2008. Reducing Emissions from Deforestation and Degradation in Cameroon-Assessing costs and benefits. *Ecological Economics* 68: 336-344.
- Boucher, D. 2008. Out of the Woods: A realistic role for tropical forests in Curbing Global Warming. Union of Concerned Scientists. Washington. pp. 33.
- Busch, J., Strassburg B., Cattaneo, A., Lubowski, R., Bruner, A., Rice, R., Creed, A., Ashton, R. and Boltz, F. 2009. Comparing climate and cost impacts of reference levels for reducing emissions from deforestation. *Environmental Research Letters* 4(4): 044006.
- Deveny, A., Nackoney, J. and Purvis, N. 2009. Forest Carbon Index. Climate Advisers and Resources for the Future. Washington. pp. 77.
- FAO. 2005. Global Forest Resources Assessment 2005. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome. pp. 350.
- FAO. 2010. Global Forest Resources Assessment 2010. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome. pp. 371.
- FAO. 2011. FAOSTAT.
- Gibbs, H.K., Brown S., Niles, J.O. and Foley, J.A. 2007. Monitoring and estimating tropical forest carbon stocks: Making REDD a reality. *Environmental Research Letters* 2(4): 045023.
- Harris, N.L., Petrova, S., Stolle, F. and Brown, S. 2008. Identifying optimal areas for REDD intervention: East Kalimantan, Indonesia as a case study. *Environmental Research Letters* 3(3): 035006.
- IPCC. 2007. IPCC Fourth Assessment Report.
- Köthke, M., Leischner, B. and Elsasser, P. 2010. Empirical evidence of a uniform global deforestation pattern-a key to establishing country specific REDD-Baselines. Forest day 4. 5 December 2010. Cancun, Mexico: Cancun Center. unpublished.
- Lee S.W., Byun J.K. and Rho D.K. 2009. Estimating carbon stock in litterfalls and forest soils, Korea. *International Symposium on Climate Change and Forest Fire Control*. Sun-

- day, 5 February 2009. Korea: Inje University. unpublished.
24. Leischner, B. and P. Elsasser. 2010. Reference emission levels for REDD: Implications of four different approaches applied to past period's forest area development in 84 countries. *Landbauforschung von Thünen-Institut Agriculture and Forestry Research* 60: 119-130.
 25. Murty, D., Kirschbaum, M., Mcmurtrie, R.E. and Mcgilvray, H. 2002. Does conversion of forest to agricultural land change soil carbon and nitrogen? a review of the literature. *Global Change Biology* 8: 105-123.
 26. Naidoo, R. and Iwamura, T. 2007. Global-scale mapping of economic benefits from agricultural lands: Implications for conservation priorities. *Biological Conservation* 140: 40-49.
 27. Pagiola, Stefano, and Bosquet, B. 2009. Estimating the costs of REDD at the country level. University Library of Munich. Germany. pp. 22.
 28. Peters-Stanley, M., Hamilton, K., Marcello, T. and Sjaradin, M. 2011. Back to the Future, State of the Voluntary Carbon Markets 2011. *Ecosystem Marketplace & Bloomberg New Energy Finance*. USA. pp. 93.
 29. Santilli, M., Moutinho, P., Schwartzman, S., Nepstad, D., Curran, L. and Nobre, C. 2005. Tropical Deforestation and the Kyoto Protocol. *Climatic Change* 71(3): 267-276.
 30. Sathaye, J., Makundi, W., Dale, L., Chan, P. and Andrasko, K. 2006. GHG mitigation potential, costs and benefits in global forests: A dynamic partial equilibrium approach. *Energy Journal* 27: 127-162.
 31. Stern N. 2007. The economics of climate change : the Stern Review. CAMBRIDGE. New York. pp. 712.
 32. Strassburg, B., Turner, R. K., Fisher, B., Schaeffer, R. and Lovett, A. 2009. Reducing emissions from deforestation-the "combined incentives" mechanism and empirical simulations. *Global Environmental Change* 19: 265-278.
 33. Takahashi, M., Ishizuka S., Ugawa, S., Sakai Y., Sakai, H., Ono, K., Hashimoto, S., Matsuura, Y. and Morisada, K. 2010. Carbon stock in litter, deadwood and soil in Japan's forest sector and its comparison with carbon stock in agricultural soil. *Soil Science and Plant Nutrition* 56: 19-30.
 34. UNEP-WCMC. 2007. Reducing Emissions from Deforestation : A key opportunity for attaining multiple benefits. UNEP World Conservation Monitoring Centre. Cambridge. pp. 15.
 35. White D. and Minang P. 2011. Estimating the opportunity costs of REDD+. World Bank Institute. Washington. pp. 262.
 36. Zhang, Q., Devers, D., Desch, A., Justice, C. and Townshend, J. 2005. Mapping tropical deforestation in Central Africa. *Environmental Monitoring and Assessment* 101: 69-83.

(2011년 7월 13일 접수; 2011년 10월 11일 채택)