

북한 지역을 대상으로 한 조림 CDM 사업의 경제적 타당성 연구

한기주¹ · 윤여창^{2*}

¹브리티시 컬럼비아 대학 산림자원관리학과, ²서울대학교 산림과학부

An Economic Feasibility Study of AR CDM project in North Korea

Ki Joo Han¹ and Yeo-Chang Youn^{2*}

¹Department of Forest Resource Management, University of British Columbia, Canada

²Department of Forest Sciences, Seoul National University, Seoul 151-921, Korea

요 약: 본 연구는 교토의정서에서 인정하고 있는 조림 CDM을 북한 지역에 적용하였을 때의 경제적 타당성을 분석하였다. 기존의 북한 산림면적 추정에 관한 연구결과를 활용하여 조림 CDM을 적용할 수 있는 잠정 대상 면적을 추정하고 결과 북한에는 조림 CDM 사업이 가능한 황폐면적이 약 51만 ha가 존재하는 것으로 추정되었으며, 경제적 타당성 검토 대상지로 선정된 개성지역에는 약 8,000 ha의 CDM조림사업이 가능한 황폐면적이 존재하는 것으로 나타났다. 개성지역의 산림황폐지에 북한의 주요조림수종 가운데 하나인 아까시나무(*Robinia pseudoacacia*)를 인공조림하고 20년 동안 유지함으로써 기존의 토지이용에 비하여 탄소고정을 증가시키는 사업을 조림 CDM사업으로 설정하였다. 수목의 탄소흡수량을 추정하고 사업을 시행하는데 필요한 산림조성 비용, 사전행정비용, 배출권 관련 행정비용을 포함하는 비용을 분석함으로써 조림 CDM사업의 경제적 효과성을 평가하였다. 개성지역 황폐지에 아까시나무를 조림하여 20년 동안 유지하는 CDM 사업을 통해서 흡수할 수 있는 이산화 탄소량은 ha당 약 376 tCO₂로 추정되었으며 배출권 판매 시나리오별로 생산할 수 있는 배출권량은 총 사업기간을 통해 tCER이 503 tCER/ha, ICER이 265 ICER/ha로 나타났다. 총 투입된 비용을 기준으로 tCER 한 단위를 생산하는 데 투입된 비용은 US\$ 4.04로 나타났고 ICER 한 단위를 생산하는 데는 US\$ 7.67로 나타났다. 그러나 tCER과 ICER은 시장 가격이 다를 수 있기 때문에 단순히 배출권량만으로 그 경제적 수익성에 있어서의 우위를 가름하기는 힘들다.

Abstract: Potentials of AR CDM project in North Korea are assessed and feasible land area for AR CDM project is estimated. According to our estimation, There could be 515,000 hectares of forest lands deforested before 1990 in North Korea and 8,854 hectares at the regional level of Gae-sung City, which are eligible for AR CDM project, based on researches of satellite image analyses conducted from 1980's to 1990's. A baseline scenario assumed 44.73 tones of carbon stored in soil per hectare with no vegetation above ground remained during the project period following the default value of IPCC's Good Practice Guidance for LULUCF considering soil structure, climate and land use of the project area. The scenario also assumes that black roscut (*Robinia pseudoacacia*) is planted and the CDM project is implemented for 20 years. The costs for producing greenhouse gases CER (certified emission reduction) credits include costs of tree planting and forest management, and costs of project negotiation and transactions for issuing the credits. It is estimated that 376 tones of carbon dioxide per hectare can be accumulated and 503 temporary CER credits per hectare and 265 long-term CER credits per hectare could be produced during the project period. It is estimated to cost US\$ 4.04 and US\$ 7.67 to provide one unit of temporary credit and long-term credit, respectively. These values can be regarded as the cost of conferring emission commitment of a country or a private entity. However, it is not clear which option is better economically because the replacement periods are different in these two cases.

Key words : UNFCCC, Kyoto Protocol, Clean Development Mechanism, LULUCF, North Korea, tCER, ICER, Sink

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

연구 배경 및 목적

기후변화에 대한 우려는 기후변화협약(UN Framework Convention on Climate Change: UNFCCC)과 교토의정서(Kyoto Protocol)의 채택을 가져왔으며 이후 8년이 경과한 2005년 2월 16일 교토의정서가 발효되어 2008년부터 첫 번째 의무감축 공약기간이 시작된다.

교토의정서에서는 온실가스 감축의 경제적 부담을 덜기 위해 교토메커니즘¹⁾ 개념을 도입하였고 의무당사국들은 교토메커니즘을 활용한 보조적 감축수단을 활용하는 연구에 투자를 하고 있다. 또한, 산림의 온실가스 흡수기능을 인정하여 자국 내 산림관리나 청정개발체제 형태의 산림조성에 대해 온실가스 감축 실적을 인정하고 있으며 1차 공약기간동안에는 조림(afforestation)과 재조림(reforestation)만 허용하고 배출권량에 있어서도 자국의 기준년도 배출량의 1%로 제한하고 있다(UNFCCC, 2001).

산림 조성을 통한 온실가스 감축의 경제성에 주목한 온실가스 감축 의무 대상국들은 1990년대 이후 자국내 산림관리와 조림 CDM²⁾ 사업에 대해 지속적으로 연구를 해오고 있다. 사업 내용에 대한 불확실성이 높았던 초기단계에서는 AIJ³⁾(Activity Implemented Jointly)사업을 바탕으로 한 기초적인 연구가 진행되었으며 기후변화협약 7차 당사국총회에서 마라케시 합의문을 통해 CDM사업에 대한 구체적인 사업규정을 확정된 이후 구체적인 타당성 연구가 이어지고 있다.

우리나라의 경우 2002년을 기준으로 현재 대한민국의 온실가스 배출수준은 세계 9위 수준이며, 이전 1990년대 대비 2002년 배출량이 183%로 증가량 측면에서 세계 최고수준을 보이고 있는 만큼 향후 온실가스 감축에 대한 국제적 압력이 예상된다(에너지경제연구원과 산업자원부, 2004). 이러한 시점에서 온실가스의 보조적 감축을 위해 활용 가능한 흡수원 CDM에 대한 연구가 필요하다. 특히 우리나라와 거의 같은 지리적 환경을 갖고 있는 북한에는 산림황폐지가 많아, 이중 1990년 이전에 황폐화된 임지, 즉 조림 CDM사업을 시행할 수 있는 대상지가 많을 것으로 판단된다.

본 연구는 북한의 황폐지를 대상으로 한 조림 CDM 사업을 가정하여 조림 CDM 사업 여건을 분석하고, 조림 CDM 사업 시나리오를 설정하고 그에 따른 경제적 타당

성 분석을 목적으로 한다. 조림 CDM사업 가능성이 높은 곳은 수목생장이 왕성한 열대지역이지만 마라케시 합의문의 조건을 충족하는 면적은 제한적일 수 있고 아직도 대상지 선정에 어려움이 적지 않은 열대지역은 조림 CDM 대상지를 확보하는 것부터 용이하지 않을 수 있다. 이에 본 연구는 대상지를 열대지역이 아닌 대안지역으로 황폐 임지가 많은 북한을 사례연구의 대상으로 선택하였다.⁴⁾

연구방법

본 연구에서는 조림 CDM 사업의 타당성 분석의 기초가 되는 기후변화협약 및 교토의정서의 제도적 측면검토, 가설적 연구대상지인 북한에 대한 환경 분석, 조림 CDM 사업의 시나리오 설정, 경제적 타당성 분석을 포함한다.

제도적 측면에 있어서는 1992년 기후변화협약 채택 이후의 국제협상 동향을 공식문서를 통해 분석하고 그 중 조림 CDM 사업과 관련된 내용을 검토하였다. 북한 환경 분석 단계에서는 기존의 위성사진 분석결과를 바탕으로 북한에 있어서의 조림 CDM 사업의 가능면적을 추정하고 사업 대상지를 선정하였다. 시나리오 설정단계에서는 선정된 대상지를 기준으로 베이스라인 시나리오를 설정하고 북한의 주요 조림 수종을 바탕으로 조림 수종을 선택하였다. 투자비용의 경우 기존 연구에서 도출된 행정비용과 산림청의 조림고시비용에 북한의 인건비를 적용한 조림비용을 활용하였다. 탄소 흡수량은 해당 대상지에 적용 가능한 해당 조림수종의 임분 생장곡선을 도입하여 추정하였다.

결과 및 고찰

1. 기후변화협약과 교토의정서

1992년 채택된 기후변화협약은 1994년 3월 21일 발효되어 2006년 6월 12일 현재 협약에는 189개국이 가입하였으며 우리나라는 1993년 12월 기후변화협약에 가입하였다(UNFCCC, 2006).

협약 17조에서는 협약이행을 위한 의정서 도입에 대해 언급하고 있는데, 이후 교토의정서의 채택근거가 되어 1997년 제3차 당사국 총회에서 교토의정서가 채택되었다. 교토의정서는 2005년 2월 16일 발효되었으며 2006년 8월

¹⁾교토의정서가 인정하는 교토메커니즘에는 청정개발체제(CDM: Clean Development Mechanism), 공동이행(JI: Joint Implementation), 배출권거래제(ET: Emissions Trading)가 있다.

²⁾산림 흡수원을 활용한 CDM 사업은 조림 CDM, AR CDM, 임업 CDM 등으로 다양하게 불리고 있으나 1차공약기간에 신규 조림과 재조림만을 인정하고 있으므로 이하에서 조림 CDM으로 통일하였다.

³⁾교토의정서 채택 초기단계에 청정개발체제와 공동이행의 가능성을 검토하기 위해 시행된 사업

⁴⁾CDM투자 유치국은 우선 UNFCCC 및 Kyoto Protocol에 참여하여 비준하고, 정부가 인정하는 DNA(Designated National Agency)를 설치하여 UNFCCC에 등록함으로써 CDM사업을 승인할 수 있는 준비를 갖추어야 한다. 북한은 아직 DNA를 설립하지 않았으나 장차 설치할 것을 전제하고 북한을 연구대상지로 삼았다.

Table 1. Definition of terms used for LULUCF under the Marrakesh Accord.

용어	정의
산림 forest	최소면적(0.05-1.0ha), 수관율폐도(10-30%) 및 성숙시의 최소수고(2-5m)를 기준으로 정의한다. 수확 등 인위적인 간섭의 결과 형성되어 본 기준에 미치지 못하는 어린 자연 임분 (young natural stands) 과 모든 조림지(plantation)도 앞으로 산림의 정의에 부합될 것으로 기대되는 경우 “산림”으로 정의
신규조림 afforestation	50년 이상 산림 이외의 용도로 이용해 온 토지에 조림, 파종, 인위적 천연갱신 촉진 등을 통해 새로이 산림을 조성하는 것
재조림 reforestation	본래 산림이었다가 산림 이외의 용도로 전환되어 이용해 온 토지에 조림, 파종, 인위적 천연갱신 촉진 등을 통해 다시 산림을 조성하는 것이다. 제1차 공약기간의 재조림 활동은 1989년 12월31일 당시 산림이 아니었던 토지에 재조림하는 것으로 제한
산림전용 deforestation	산림을 산림 이외의 용도로 전환하는 것
식생복구 revegetation	신규조림이나 재조림의 정의에 부합하지 않지만 최소 0.05ha 면적을 포함하는 식생의 조성을 통해 그 입지에서의 탄소축적량을 증가시키는 직접적인 인위적 활동을 의미
산림 경영 forest management	임업의 생태, 경제, 사회적 기능 발휘를 목적으로 산림을 관리이용하기 위한 실행 시스템
경작지 경영 cropland management	작물 생산을 목적으로 농작물이 자라고 있거나 잠시 휴경하고 있는 토지에서의 실행 시스템
목초지 경영 grazingland management	축산물 생산을 위해 식생과 가축의 양과 형태를 조절하는 토지에서의 실행 시스템

출처: UNFCCC Decision 6/CMP.1 국문 번역

30일까지 164개의 국가와 지역 경제 통합체가 가입하였다.

교토 의정서 2조와 3조에서는 부속서 I 국가들이 추진해야 할 의무사항과 감축해야 하는 온실가스 종류와 목표량을 명시하고 있다. 의정서 3조 3항과 4항에서는 LULUCF(Land Use, Land-Use Change and Forestry)라는 이름으로 산림의 온실가스 감축 역할을 인정하고 있으며 이에 대한 세부내용 논의를 요구하고 있다. 의정서 6조와 12조, 17조에서는 교토의정서의 보조적 감축방안인 교토메커니즘에 대해 명시하고 있다. 의정서 6조는 공동이행을 통해 모든 경제 부문에서 온실가스의 배출원에 의한 인위적 배출량의 감축이나 흡수원에 의한 인위적 제거량의 증대를 목표로 하는 사업으로부터 발생하는 배출량의 감축단위를 다른 부속서 I 의 당사자에게 이전하거나 그들로부터 취득할 수 있도록 하였다. 의정서 12조에서는 청정개발체제에 대해 정의하고 부속서 I 국가가 부속서 I 이외의 국가에서 행한 사업에서 발생하는 배출량의 감축단위를 자국의 배출목표 달성을 위해 취득할 수 있게 하였다. 의정서 17조에는 부속서 I 국가가 자국의 배출 목표를 달성하기 위해 시장을 통해 배출권을 취득할 수 있는 배출권 거래제를 온실가스 감축에 있어서의 보조수단으로 활용할 수 있도록 명시하고 있다.

2. 청정개발체제 및 임업분야

교토의정서에서는 교토메커니즘과 기후변화협약에서의 산림 역할에 대한 개괄적인 내용을 명시하는데 그쳤고 이후 협상을 통해 보다 구체화되어 2001년 제7차 당사국총회에서 현재 적용되는 절차에 대해 합의가 이루어졌다.

1998년 제4차 당사국총회에서는 의정서 3조 3항에 대한 해석을 내리게 되는데, 1차 공약기간에 설정된 배출가능량 산정에 있어 1990년 이후에 인위적으로 이루어진 신규조림, 재조림, 산림전용에 따라 2008-2012년 사이에 발생하는 흡수원의 순흡수량만큼 많아지고 순배출량만큼 줄어들도록 하였다. LULUCF 활동에 대한 범위는 ‘LULUCF에 관한 특별보고서’ 완성 이후 첫 과학기술자문보조기구 (SBSTA: Subsidiary Body for Scientific and Technological Advice) 회의에서 당사국총회 결정을 위한 결정안 도출을 요청하였다(UNFCCC, 1998).

2000년과 2001년의 제6차 당사국총회에서는 협약 차원에서 기후변화특별기금(Special Climate Change Fund), 최빈국기금(Least Developed Countries Fund)과 교토의정서 적응 기금(The Kyoto Protocol Adaptation Fund) 도입을 결정하였고 교토메커니즘의 활용이 선진국과 후진국에 부정적 영향을 주지 않기 위한 방안을 채택하였다.

2001년 제7차 당사국총회에서는 청정개발체제의 구체적인 규정과 절차가 마라케시 합의문을 통해 구체화되었다. 제7차 당사국총회에서 채택된 마라케시 합의문은 교토의정서상의 LULUCF 활동에 대한 구체적인 이행규칙과 사업절차에 대한 내용을 포함하고 있다. 우선 제7차 당사국총회에서 LULUCF 활동들에 대한 정의에 합의하였다(Table 1).

마라케시 합의문을 통해 1차 공약기간에 대한 LULUCF 정책이 확립되었는데, 조림 CDM에서 생산된 배출권의 의무 당사국이 1990년 기준 배출량의 1%까지만 활용할 수 있도록 제한하고 있으며 사업의 형태도 신규조림

Table 2. Previous researches on land use in North Korea by using satellite images.

연구명	대상자료	발표년도	연구자	대상지역
Land Form, Land Cover, and Crop Use Intensity Mapping for Agriculture Rehabilitation and Food Security in the DPRK*	90년대 초반 Landsat	1998	UNEP/미국지리원	북한전역
Vegetation Cover Type Mapping over Korean Peninsula Using Multitemporal AVHRR data	1991 NOAA	1994	이규성	북한전역
원격탐사에 의한 북한의 산림자원 조사	1991-1993 Landsat TM	1998	임업연구원	북한 전역
북한지역 산림면적 변화의 규모와 특성	1973-1993 Landsat	1999	이규성 외	평양, 혜산지역
위성 JESR-1 OPS자료를 이용한 룡천 평야지역의 홍수피해 분석	1997 JESR-1 OPS	2000	김천, 정강호	평북, 황해일대
북한 산림자원의 황폐화 현황과 남북한 임업협력의 발전방향	1997-1999 Landsat TM	2004	이승호	북한전역

출처: 동북아산림포럼(1999) 재인용

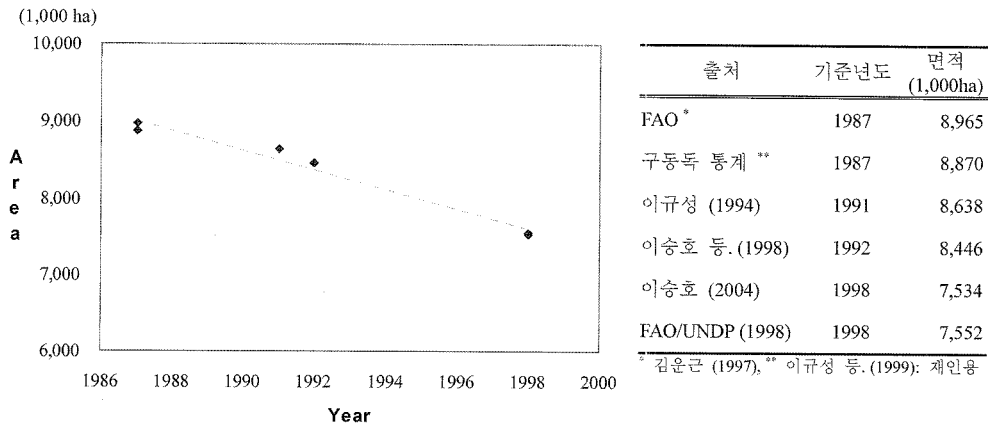


Figure 1. Forest area change from 1980's to 1990's in North Korea.

(afforestation)과 재조림(reforestation)으로 제한하고 있다.

2000년 이후에 착수되고, 본 결정문 채택 이전의 사업 활동은 2005년 12월 31일 이전에 등록하는 경우에 한하여 배출권의 인증 및 등록이 가능하도록 하였다. 개도국이 적응 비용을 충당하도록 CDM 사업이 비용을 부담하는 것으로 결정하였는데 기부금은 배출권의 형태로 하게 되며 청정개발체제 사업 활동으로 발행된 인증 배출권(CERs)의 2%이다.

2003년 제9차 당사국총회에서는 조림 CDM의 미결사항에 대한 합의가 이루어졌다. 결정문 19/CP.9에서는 1차 공약기간 중 조림 CDM의 형식 및 절차에 관해 명시하고 교토의정서 발효 이후를 위한 결정문 초안을 작성하고 있다. 우선 LULUCF 사업에 있어서의 비영속성을 보완하기 위한 tCER/ICER 개념을 도입하였으며 누출(leakage)을 고려한 배출권 인정범위를 명시하였다.

2004년 제10차 당사국 총회에서는 소규모 조림 CDM 사업 규정에 대한 결정문이 채택되어 연평균 흡수량이 8,000 tCO₂ 이하의 사업은 간소화된 사업절차를 따를 수 있도록 배려하였으며 소규모 사업에 대한 방법론은 기후 변화협약 사무국에서 준비하도록 합의되었다. 조림 CDM 사업의 세부규칙 및 절차 등에 대한 결정은 2005년 제1차

UNFCCC COP/MOP에서 최종적으로 결정되었다.

3. 북한 조림 CDM 환경 분석

1) 조림 CDM 가능면적

북한지역에 대한 조림 CDM 사업의 가능성을 검토하기 위해서는 우선 사업 기준에 부합하는 대상지 확인이 우선이다. 이를 위해 우수실행지침에서 원하는 위성사진 분석으로 해당지역의 적격 여부를 확인하고 현재의 관리현황을 확인하여 대상지 규모를 추정할 수 있다. 조림 CDM 사업이 가능한 이론적 대상지는 1990년 1월 1일 이후 황폐화된 산림지역을 제외한 비 산림지 전체 또는 1989년 12월 31일을 기준으로 산림인 지역을 제외한 전체면적이 되는데 여기에는 도시 주거지역과 농지를 모두 포함되는데 현실적인 대안 검토를 위해 재조림 CDM 대상지만으로 제한할 필요가 있다. 즉, 1989년 12월 31일 기준으로 황폐지이면서 현재 산림이 아닌 지역이 재조림 CDM 사업의 잠재적인 대상지가 될 수 있다.

북한지역을 대상으로 한 위성사진 분석연구는 국내외에서 수차례 이루어졌다. <Table 2>는 현재까지의 북한 산림면적에 관한 공식, 비공식 발표자료 및 연구결과를 보여주고 있다.

Table 3. Land use pattern in North Korea in 1998.

단위: 천 ha

전체면적	산림면적 (입목지)	산림황폐지				기타 (논/밭/시가지)
		계	개간산지	무림목지	나지	
12,298.6	7,534.1	1,631.7	972.0	533.5	126.2	3,132.9

출처: 이승호 (2004)

Table 4. International cooperation sites and special economic zones in North Korea.

구분	위치	시작년도	면적
개성공단 ^a	개성시, 판문군 일대	2002	66.1 km ²
KEDO ^b	함경남도 신포, 금호지역	2001	-
금강산 ^c	금강산 일대	1998	-
신의주경제특구 ^d	신의주시 및 의주, 영주군 지역	2002	132 km ²
나진선봉경제특구 ^d	함경북도 나진 선봉지역	1993	746 km ²

a) 개성공단 추진현황. 통일부 개성공단사업지원단 2005.4

b) <http://www.kedo.org/>

c) 금강산 관광 추진현황. 통일부 2004. 5

d) 남궁영(2003)

각각의 연구결과에 따른 북한 전역의 산림면적과 1990년 이전 문헌 연구 자료에 나타난 북한의 산림면적을 연도별로 나타내면 <Figure 1>과 같이 나타났다.

단순 선형회귀모형을 통해 1990년 1월 1일의 산림면적은 1989년 회귀값과 1990년 회귀값을 평균하여 추정하였는데 약 8,650,730 ha이다. 따라서 북한 전체육지면적 12,298,600 ha에서 위의 추정치를 빼면 약 370만 ha라는 값을 얻을 수 있는데 이는 1989년 12월 31일을 기준으로 산림이 아닌 지역을 나타내며 조립 CDM의 이론적으로 가능한 면적이 된다. 앞서서도 언급하였듯이 여기에는 시가지와 논, 밭 등 산림이 아닌 모든 면적이 포함된다. 현실적인 가능면적을 구하기 위해서 산림지만을 고려하여 재조립 CDM 사업의 가능 대상지 면적을 추정할 수 있다. 이승호(2004)가 보여주는 1998년경의 토지이용현황 자료<Table 3>를 바탕으로 산림황폐지가 산림이었던 지역이 변한 곳임을 가정할 때 기준년도(1990년)의 산림면적은 약 8,650,730 ha이고 1998년경의 산림면적이 7,534,100 ha 이므로 기준년도 이후 황폐화된 산림은 약 1,116,600 ha가 된다.

90년대 황폐화된 산림이 주거지로 변한 면적은 크지 않을 것이므로 개간산지, 무림목지 또는 나지로만 변했다고 가정할 수 있을 것이다. 1989년 이전 산림황폐지는 1998년도의 산림황폐지 면적인 1,631,700 ha에서 1990년 이후 황폐화된 면적인 1,116,600 ha를 뺀 515,100 ha로 추정할 수 있고 이 면적이 재조립 CDM 사업의 가능 면적이 된다. 이 이외에 신규조립이 가능한 한계농지나 도시숲 조성 등은 조립 CDM 사업의 대상면적을 증가시킬 수 있다.

2) 대상지 선정

본 연구에서는 행정비용과 관리비용을 고려하여 현재 해외 협력 사업이 진행되는 곳을 기준으로 가능대상지를

검토하였다. <Table 4>는 현재 북한 내에서 진행 중인 해외 협력 사업을 보여준다.

환경부에서 구축한 1980년대와 1990년대의 한반도 토지피복지도를 참고해 볼 때 개성공단 주변에 황폐지가 많은 것으로 나타나고 있으며 개성지역은 남한에서의 거리가 가까울 뿐 아니라 개성공단 건설을 통해서 경제협력의 제도적 기반이 마련되어 있어 사업 추진의 준비시간 단축과 비용의 불확실성을 낮출 수 있을 것으로 기대가 된다.

개성지역의 대상지 면적은 이승호 등(1998)과 이승호(2004)에 나타난 위성사진 분석결과를 통해 추정할 수 있다. 1992년경(1991년부터 1993년 위성사진을 분석)의 위성사진에 따르면 개성시의 산림면적은 약 53,000 ha이고 1998년경(1997년부터 1999년 위성사진을 분석)의 입목지 면적은 약 37,046 ha으로 나타나고 있다. 이전의 북한 전체를 대상으로 한 조립 CDM 대상지 면적을 추정하는 것과 같은 방식으로 기준년도인 1990년의 산림면적을 59,648 ha 수준으로 추정할 수 있다. 그렇다면 기준년도 이후 1998년까지 개성시내에서 황폐화된 산림면적은 약 22,601 ha가 된다. 1998년 기준으로 개성시내의 황폐지 면적은 개간산지, 무림목지, 나지를 포함하여 31,455 ha로 나타났으므로 기준년도 이전에 황폐화된 산림지역이 황폐지로만 바뀌었고 주거지로 변하지 않았다고 가정한다면 기준년도 이전 황폐지면적은 약 8,854 ha가 된다. 이 면적이 개성지역의 조립 CDM 가능 면적이 된다.

4. 조립 CDM 사업의 시나리오 설정

1) 베이스라인 시나리오

UNFCCC(2003)에서는 베이스라인을 설정하는 기준으로 역사적 변화, 보편적 토지이용, 경제적 매력을 들고 있다. 본 연구에서는 조립 CDM 대상지가 연료채취 및 개간

Table 5. Amount of carbon sink per hectare of AR CDM project in Gae-sung.

수종	임령	바이오매스 탄소흡수량(tC)	토양탄소 흡수량(tC)	총탄소흡수량 (tC)	이산화탄소 흡수량 (tCO ₂)
아까시나무	8	25.89	7.30	33.19	121.70
	13	48.84	11.87	60.71	222.61
	20	83.66	18.26	101.92	373.72

으로 인해 무림목지의 상태가 되었으며 연료난과 북한의 경제사정으로 인해 사업 기간 동안 산림으로 회복될 가능성이 낮은 것으로 가정하여 그 지역이 사업 기간 동안 황폐 상태가 유지되는 것으로 가정하였다.⁵⁾ 베이스라인의 탄소량을 추정하기 위해 IPCC(2003)에서 제공하는 국가별로 농지, 산지, 나지별 탄소량 일반값을 적용하였다. 이에 따르면 북한 개성지역의 무림목지를 가정했을 때 사업 기간동안 토양에는 ha당 44.73 tC 가 유지되고 지상부의 축적량은 0으로 유지된다.

2) 사업 시나리오

사업의 정당성과 관련된 추가성(additionality) 검증은 최근 기후변화협약 사무국에서 마련한 추가성 검증 도구(additionality test tool)을 적용하여 해석할 수 있다. 식량난으로 인해 산림이 개간산지로 바뀌고 산림 조성을 통해 목재나 비목재임산물을 통해 경제적 이득을 추구하는 것이 일반적이지 않기 때문에 산림황폐지에 산림을 조성하는 것이 타 토지이용에 비해 경제적 매력도에 있어 우위에 있다고 볼 수 없다. 따라서 북한의 산림황폐지에 대한 조림

CDM사업은 추가성을 가진다고 볼 수 있다. 정확한 배출권 산정에 필요한 누출(leakage)은 없는 것으로 가정하여 배출권량을 산정하였다.⁶⁾ 사업기간은 20년, 조림면적은 1,000 ha로 하고 조림수종은 북한지역의 주요조림수종이며 속성수인 아까시나무(*Robinia pseudoacacia*)로 하였다.

3) 흡수량 추정

사업기간동안 축적된 탄소량은 김갑덕 등(1985)이 제시한 경기도 지역 아까시나무 수목 성장량을 활용하여 추정하였다. 토양내의 탄소량변화는 베이스라인과 일관성을 유지하기 위해서 IPCC(2003)에서 제공하는 토양 내 탄소 변화량을 적용하였다. 기타 용도의 토지가 산림으로 변화했을 때의 산림토양의 탄소값은 베이스라인 산출시의 참조 값인 63 tC의 값을 가지게 되는데 베이스라인 값인 44.73 tC의 탄소량이 20년간 선형적으로 증가하는 것으로 가정하였다.⁷⁾ 사업 기간 20년 동안 ha당 흡수하는 탄소의 총량은 <Table 5>와 같다.

각 임령사이를 선형적 증가로 가정하면 사업 기간 동안 생산 가능한 배출권량은 <Figure 2>와 같다. 탄소 흡수량

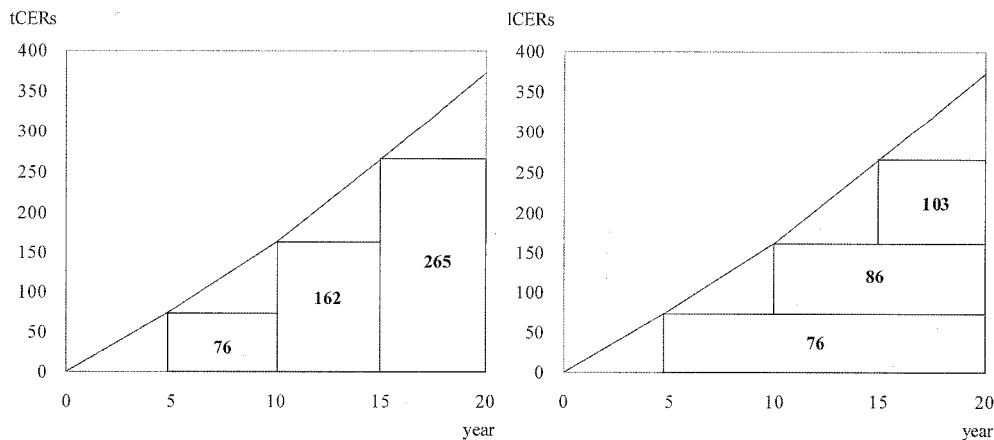


Figure 2. Amount of credits issued in the AR CDM project.

⁵⁾이러한 가정은 북한의 에너지 수급 전망에 기초한다. UNEP(2003)보고서에 의하면 북한의 연료재 생산량은 1990년에 3백만 m³이던 것이 1996년에 7.2백만m³으로 증가하였다(UNEP 2003). 또한 1996년에 비하여 2000년에는 북한 에너지 공급량 가운데 목질에너지로 공급된 비중이 33%에서 42%로 증가하였다.(Von Hippel 2006) 이러한 북한 에너지 공급실정에 비추어보면 북한의 산림황폐지가 특별한 조치가 없을 경우 황폐상태로 남아 있게 될 것으로 보인다.

⁶⁾북한 사회는 정부에 의하여 극도로 통제되어 있어, 외국 자본과 북한 정부가 보장하는 외부투자에 의한 사업은 사업 목적에 부합하도록 사업 환경이 보장된다고 보며, 이미 황폐화된 CDM조림사업으로 인하여 다른 지역에서 추가적인 임산연료의 채취가 이루어지지 않을 것으로 본다.

⁷⁾아까시나무의 성장곡선이 비선형적일 것이나 선형적인 성장함수와 비선형적인 성장함수 사이의 탄소량 축적 차이는 크지 않아 이 연구의 목적에는 크게 영향하지 않을 것이다.

Table 6. Category of costs for implementing AR CDM project.

구분	설명	항목
토지비용	CDM사업에 필요한 토지를 확보하는 비용으로 매입, 임대, 무상임대형태를 띌 수 있으며 투자국과 유치국의 계약에 의해 결정될 사항임	<ul style="list-style-type: none"> • 토지임대비용 • 토지매입비용 • 토지기회비용
조림 및 산림 관리비용	조림에 필요한 인건비, 묘목대, 기타 사업종료시까지의 산림 관리에 필요한 제반 비용	<ul style="list-style-type: none"> • 조림비용 • 관리비용
사업 준비비용 ^a	일반 조림사업비용 이외에 CDM으로 등록하기 위해 필요한 비용	<ul style="list-style-type: none"> • 사업협상비용 • 방법론 개발비용 • 유치국 및 투자국 승인비용 • 유효성검증 비용 (Validation cost)
CDM 행정비용 [*]	배출권 검증 및 등록 관련 비용	<ul style="list-style-type: none"> • 사업등록비용 (Registration cost) • 모니터링 비용 • 배출권 검증 비용 (Verification cost) • 배출권 승인 비용 (Certification cost)

a) Michaelowa *et al.* (2003), Michaelowa *et al.* (2005)

Table 7. Forest management cost for AR CDM project in Gae-sung.

단위: US\$/ha

비용 항목	Man*Day	인건비단가	인건비	재료비	경비	부가세 ^a	부대비 ^b	총액
풀베기(2년차)	7.25	2.52	18.27	13.47	30.18	3.02	1.30	66.24
풀베기(3년차)	7.25	2.65	19.18	13.47	30.18	3.02	1.32	67.17
풀베기(4년차)	7.25	2.78	20.14	13.47	30.18	3.02	1.34	68.15
가지치기(6년차)	3.66	3.06	11.21	13.47	15.24	1.52	0.83	42.27

a) 총경비의 10%, b) 총원가의 2%

*₩1,000=1US\$

곡선을 기준으로 조림 CDM 사업 시작시점에서 매 5년마다 배출권을 행사하는 것을 가정하였다. 현재 5년 기준으로 되어 있는 국가별 배출량 감축의무 기간에 따라 배출권을 활용할 국가의 의지와 배출권 시장의 변동에 따라 실제 배출권의 행사시기는 다양하게 나타날 수 있다.

5. 경제적 타당성 분석

1) 비용분석

조림 CDM 사업을 추진하는데 필요한 비용은 산림조성과 관리를 포함하는 산림관련 활동비용과 CDM 사업으로 발전시키기 위한 사전 사업 준비 비용, 배출권 등록과 관련된 CDM 행정비용으로 나누어 볼 수 있다. <Table 6>에서는 비용항목과 세부비용 내역을 보여준다. 배출권 행사 이후 판매 및 구매에 따른 중계비용과 거래비용은 제외하였다.

토지비용의 경우 북한과 같이 토지 국유화가 유지되는 국가에서는 조림 CDM 사업이 진행되는 토지의 대안적 활용(다락밭)을 통해 얻을 수 있는 이득 보다 조림 CDM 사업에 따른 토사유출방지 및 임산연료 확보 등 사회적 편익이 높아 토지를 무상으로 제공하여도 사회적 손실이 없을 것으로 가정하였다. 기존의 연구 중에서도 남은 산림자원의 보상 측면에서 토지비용을 무상으로 가정한 경우가 있었다(van Kooten *et al.*, 1992; Xu, 1995).

조림 비용을 결정하는 주요 요인은 인건비와 식재밀도이다. 인건비는 북한지역 인건비를 기준으로 해야 하며 식

재밀도는 재적증가와 관련이 있으므로 수종별 값이 필요하다. 남한의 경우 일반 용재림을 기준으로 ha당 3,000 그루를 기준으로 하지만 북한 지역은 수종별, 경영목적별로 식재밀도를 달리하고 있다. 잣나무는 일반용재림의 경우 2,000-2,500그루를 식재하고 油脂林 조성시에는 1,600본을 식재하고 있다(동북아산림포럼, 1999). 북한 2004년 현재 자료에 의하면 아까시나무는 목재생산목적으로 심을 때는 ha당 4,000그루, 연료림은 10,000그루 이상, 일반보호림은 6,000그루 이상, 해안방풍림이나 토사방지림에서는 7,000-8,000그루를 심는 것으로 나타났다(박경석과 오정수, 2004). 참나무는 북한의 낮은 지역에서 ha당 5,000 그루로 활엽수 밀식조림을 하는 사례가 있다(동북아산림포럼, 1999). 하지만, 본 연구에서 적용하고 있는 수목 생장량은 자연림을 기준으로 하거나 인공림이라도 초기 식재밀도에 대한 정보가 없어 식재밀도를 판단하기가 어렵다. 이에 따라 남한에서 일반적으로 시행하는 ha당 3,000 그루를 식재하는 것으로 가정하였다.

조림비용은 ha당 3,000그루 식재를 기준으로 2005년 산림청 사업단비에서 북한 현실에 맞게 인건비부분을 조정하여 적용하였다. 개성공단 입주 시작되면서 공단 인건비에 대해 월 US\$ 57.5를 기준으로 연 최대 상승률을 5%로 제한하는 것으로 합의하였는데 조림 및 산림관리 비용을 추정하는데 이 값을 활용할 수 있다.

산림청 일반 용재림 조림단비에서는 인건비를 Man*Day

Table 8. Project negotiation cost for AR CDM project.

구분	비용(1,000 €/project) ^a					
	일반적		최소		최대	
협상비용	250	(324.25)	125	(162.13)	366	(474.70)
국가 승인비용	40	(51.88)	35	(45.40)	207	(268.48)
방법론 개발	35	(45.40)	30	(38.91)	40	(51.88)
유효성검증	30	(38.91)	30	(38.91)	35	(45.40)
예비비(10%)	36	(46.69)	22	(28.53)	65	(84.31)
합계	391	(507.13)	242	(313.87)	713	(924.76)

a) ()안의 값은 US\$ 추정치, 기준: € 1 = 1.297 US\$

Table 9. Registration cost of AR CDM project.

사업 규모 (연평균 감축 추정량, tCO ₂ e)	등록비용(US\$)
< 15,000	5,000
15,000 - 50,000	10,000
50,000 - 100,000	15,000
100,000 - 200,000	20,000
> 200,000	30,000

출처: UNFCCC, <http://cdm.unfccc.int/>

로 나타내고 있는데 한 달은 월 24일 근무를 기준으로 24 Man*Day가 된다. 따라서 개성지역이 Man*Day 단가는 약 US\$ 2.40 이 된다. 이 결과를 기준으로 추정한 조립비용은 ha 당 약 US\$ 1,275⁸⁾ 이다.

조립이후의 관리 작업으로는 풀베기와 가지치기로 한정하였으며 비용은 2005년도 산림청 사업단비를 기준으로 인건비만 개성공단 수준으로 적용하여 산출하였다 (Table 7). 개성공단의 인건비인 월 US\$ 57.5는 다른 개도국에 비해 낮은 수준이므로 매년 상승 제한비율인 5% 상승을 가정하였다. 아까시나무의 초기 성장량에 따른 풀베

Table 10. Cost of AR CDM project scenario in Gae-sung.

구분	항목	투입시기	비용
조립 및 산림 관리비용	조립비용	1	1,275,000
	관리비용	2,3,4,5,6	243,830
사업 준비비용	사업협상비용	0	324,250
	방법론 개발비용	0	45,400
	유치국 및 투자국 승인비용	0	51,880
	유효성검증 비용(Validation cost)	0	38,910
CDM 행정비용	사업등록비용(Registration cost)	0	5,000
	모니터링 비용	5,10,15	각 4,500
	배출권 검증 비용(Verification cost)	5,10,15	각 12,970 (€ 1 = US\$ 1.297)
	배출권 승인 비용(Certification cost)	5,10,15	행사배출권의 2%

⁸⁾US\$ 1 = 1,000원 기준

⁹⁾사업 준비 비용 가운데 방법론개발 비용은 30,000-40,000 €/project(일반적으로 35,000 €/project)인데, 만약 북한의 황폐지에 서의 CDM조립사업에 기존에 개발된 방법론, 예를 들어 중국에서 개발된 방법을 원용할 수 있다고 전제할 경우 준비 비용 이 약 35,000 €/project 만큼 감축될 수 있다. 이 경우 북한 황폐지의 CDM사업의 경제성은 약간 향상될 수 있을 것이다.

기는 2-4년차(3년간) 실시하는 것으로 가정하였다.

사업 준비비용은 Michaelowa & Jotzo(2005)에서 분석한 Prototype Carbon Fund의 사례에 있어서의 비용을 활용하였다(Table 8).⁹⁾ 그 외에 Michaelowa *et al.*(2003)은 조립 CDM 사업 사례분석을 통해 모니터링 비용은 매회 약 10,000 €로 예상하고 있는데 이 항목 또한 사업 준비 비용으로 포함시켰다.

배출권을 등록할 때에는 행사 배출권의 2%를 현물로 납부해야 하며 사업을 등록하기 위해서도 비용이 요구되는데 이는 연평균 GHG배출 감축량을 기준으로 CDM 집행 위원회에서 정하고 있다(Table 9).

이상의 비용항목을 기준으로 산출한 개성지역 조립 CDM 사업의 비용은 <Table 10>과 같다.

2) 경제성 분석

경제성 분석은 투자된 비용과 흡수한 탄소량, 생산된 배출권량을 기준으로 하였으며 결과는 <Table 11>과 같다. <Table 11>에 나타난 탄소흡수량 비용효과는 흡수한 탄소량에 대한 산림조성 및 관리비용만을 고려한 것으로

Table 11. Cost-effectiveness of AR CDM project in Gae-sung.

비용 (1,000 ha 기준)	조립비용(US\$/ha)	1,275.00
	관리비용(US\$/ha)	243.83
	사업준비비용(사업전체, US\$)	421,530
	CDM 행정비용(사업전체, US\$)	96,320
	총비용	2,036,680
흡수량 (단위면적당)	tCO ₂ /ha	373.72
	tC/ha	101.92
배출권량 ^{a)} (단위면적당)	tCER/ha	503
	ICER/ha	265
탄소흡수량 비용효과성	US\$ / tCO ₂	5.44
	US\$ / tC	19.93
배출권량 비용효과성	US\$ / tCER	4.04
	US\$ / ICER	7.67

a) 생산된 배출권량에서 배출권 승인비용 2% 제외 한량

tCER/ICER 개념 도입이전의 연구결과들과 비교할 수 있는 의미를 가진다. Richards and Stokes(2004)는 1990년대부터 국가 또는 대륙을 대상으로 한 흡수원 사업의 비용 효과성을 비교 분석하였다. 이에 따르면 비용효과성은 열대지역 개발도상국부터 선진국에 이르기까지 US\$1-US\$100/tCO₂로 다양하게 나타나고 있다. 비용효과성 측면에서 북한을 대상으로 한 조립 CDM 사업은 US\$ 5.44/tCO₂로서 열대지역에 비해서는 상대적으로 비용이 높으나 타 선진국에 비해서는 비용이 낮음을 보여준다.

배출권량 비용효과성은 사업을 통해 생산할 수 있는 배출권량에 대한 비용을 평가한 것이다. 생산되는 tCER의 양이 ICER의 양보다 많기 때문에 비용은 낮게 나타나고 있다. 하지만, 5년마다 영구배출권으로의 대체비용이 발생하므로 tCER이 ICER에 비해 비용효과성이 높다고 판단할 수 없다. 또한 tCER과 ICER의 비교우위는 할인율과 영구배출권 가격에 따라 달라질 수 있어 사업의 비용효과성의 비교우위를 판단하기 쉽지 않다.

전체 비용에 있어서 사전준비비용과 CDM 행정비용이 차지하는 비율은 21%와 5%를 차지할 것으로 추정되어 산림조성 및 관리 이외의 비용이 전체 사업비용의 26%를 차지하는 것으로 나타났다.

6. 고 찰

본 연구는 북한의 개성지역을 대상으로 황폐지 복구를 통한 배출권 확보의 경제적 타당성을 검토하였다. tCER/ICER 개념이 도입된 이후 조립 CDM의 경제성을 분석하는 방식은 배출권 중심으로의 변화를 필요로 한다. 우선 흡수량이 중심이 되던 기존방식에서 벗어나 시기별로 발생하는 배출권의 양에 따른 분석이 필요하다. 또한, 각각의 배출권이 행사할 수 있는 시기가 자유롭고 행사한 배출권에 대해서는 일정기간이 경과한 후 영구적 배출권으로 교체해야 하므로 향후 기존 배출권 시장가격 변화를

염두에 두고 실제 조립 CDM 사업을 디자인하는 것이 필요하다. 예를 들어, tCER과 ICER의 선택은 조립 CDM 사업의 제안단계에서 결정을 하여야 하지만 최소 20년에서 최대 60년에 이르는 사업 기간을 감안할 때 어떤 배출권이 유리할 것인지에 대한 의문이 생긴다. 장기간의 배출권 가격이 낮아진다면 현재의 비싼 배출권 구입대신 ICER의 확보를 통해 배출량 감축의무 시기를 최대한으로 미루는 것이 유리하지만 배출권 가격 전망이 불투명하거나 제도 자체의 불확실성이 있다면 사업 기간이전에 영구 배출권으로 대체하고 다시 전체 배출권에 대해 행사가 가능한 ICER이 유리할 수 있다.

한편 북한 황폐지를 대상으로 한 조립 CDM 사업 비용 가운데 사전준비비용이 차지하는 비율이 21%나 되는 점을 감안한다면, 사전 준비 비용을 감축하기 위하여 북한 황폐지 조립 CDM사업을 위한 기초연구에 대한 정부 차원의 지원이 요구된다.

결 론

본 연구에서는 개성지역을 대상으로 조립 CDM 사업을 가정하고 현재까지 확정된 규정과 절차를 반영하여 사업 시나리오의 비용을 분석하였다. 북한 전역에 있어서 조립 CDM이 가능한 면적은 약 51만 ha로 추정되었으며 연구 대상지로 삼은 개성지역은 약 8,000 ha가 가능한 것으로 나타났다. 비용측면에서는 조립 CDM 사업의 전체비용에 있어 산림조성 및 관리비용과 사업 준비비용, CDM 행정비용을 포함하였으며 1,000 ha 사업을 가정하였을 때 산림조성 및 관리 이외의 비용이 차지하는 비율은 26% 수준으로 나타났다. 20년 기간의 개성지역 조립 CDM 사업을 통해서 흡수할 수 있는 이산화 탄소량은 아까시나무 조림을 가정하여 ha당 약 376 tCO₂로 추정되었으며 시나리오별로 생산할 수 있는 배출권량은 총 사업기간을 통해

tCER이 503 tCER/ha, ICER이 265 ICER/ha로 나타났다. 총 투입된 비용을 기준으로 tCER 한 단위를 생산하는 데 투입된 비용은 US\$ 4.04로 나타났고 ICER 한 단위를 생산하는데는 US\$ 7.67로 나타났다. 이 비용은 배출권 감축 의무를 현재 시점에서 미래의 특정시점으로 유예시키는데 필요한 비용으로 해석할 수 있다. 그러나 tCER과 ICER은 배출권 상환시기가 다르기 때문에 시장 가격이 다르게 결정될 수 있어 단순히 배출권량만으로 그 경제적 수익성에 있어서의 우위를 가름하기는 힘들다.

산림의 공익적 기능으로서의 탄소흡수능이 교토의정서를 통해 경제적 내부화(internalization) 과정이 실현되면서 산림관리에 있어 긍정적인 인센티브로 받아들여 진다. 그런 만큼, 조림 CDM 사업의 타당성 검토는 기후변화협약과 교토의정서의 틀 안에서 다루어져야 한다. 장기간인 산림관리의 특성을 고려하여 기후변화협약과 교토의정서의 협상결과에 유연하게 대처해야하며 농업 및 에너지 분야와 같은 타 분야를 포함하는 방향모색이 필요할 것이다. 현재 조림 CDM에 대한 규정과 절차는 제 1차 공약기간인 2012년까지만 결정이 되어 있으며 그 이후 방향에 대해서는 현재 협상이 진행 중에 있다. 또한, 기후변화협약 체계에서 이전 LULUCF(Land Use, Land-Use Change and Forestry)로 분류되었던 산림분야는 AFOLU(Agriculture, Forestry and Other Land Use)로 분류되고 있다.

나아가 교토의정서의 산림분야 대책에 있어 기타 생물다양성 협약(CBD: Convention on Biological Diversity) 또는 사막화 방지협약(UNCCD: UN Convention to Combat Desertification)과의 연계 움직임은 조림 CDM 사업의 배출권량 측면의 접근과 함께 질적인 면을 고려해야할 필요성을 제기하고 있다.

이 연구에서는 북한에의 접근성의 제한으로 많은 가정을 전제로 하여 북한 개성지방 황폐산림지에서의 조림 CDM 사업의 경제적 타당성을 검토하였는바, 앞으로 구체적으로 북한 어느 곳에 얼마만큼의 조림 CDM 사업 대상 適地가 존재하는지에 대한 구체적인 연구조사가 추가적으로 요구된다.

감사의 글

이 논문을 심사하여 논문 초안의 부족한 점을 지적하여 준 익명의 심사위원에게 감사를 표한다. 다만 이 논문의 잘못된 부분이 있다면 모두 저자의 책임임을 밝힌다.

인용문헌

1. 김갑덕, 김태욱, 이경재, 김준선. 1985. 아까시나무 조림지의 물질생산량에 관한 연구. 한국임학회지 68: 60-68.
2. 김운근. 1997. 북한의 농·임업. 공보처. pp. 181
3. 남궁영. 2003. 북한의 경제특구전략: 신의주 경제특구정책을 중심으로. 중소기업 99: 143-168.
4. 동북아산림포럼. 1999. 남북 임업협력방안 연구. 산림청.
5. 박경석, 오정수. 2004. 북한 산림 임업 동향 및 주요 수종. 임업연구원. pp. 195
6. 에너지경제연구원, 산업자원부. 2004. 기후변화협약 대응을 위한 중장기 정책 및 전략에 관한 연구(제1차년도). 에너지경제연구원. pp. 901
7. 이규성. 1994. Vegetation Cover Type Mapping over Korean Peninsula Using Multitemporal AVHRR data. 한국임학회지 83(4): 441-449.
8. 이규성, 정미령, 윤정숙. 1999. 북한지역 산림면적 변화의 규모와 특성. 한국임학회지 88(3): 352-363.
9. 이승호, 정성학, 송장호. 1998. 원격탐사에 의한 북한의 산림자원조사. 산림과학논문집 58: 1-13.
10. 이승호. 2004. 북한 산림자원의 황폐화 현황과 남·북한 임업협력의 발전방향. 농업생명과학연구 38(3): 101-113.
11. IPCC. 2003. Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change, and Forestry. IGES.
12. Michaelowa, A., Stronzik, M., Eckermann, F., and Hunt, A. 2003. Transaction costs of the Kyoto Mechanism. Climate Policy 3: 261-278.
13. Michaelowa, A. and Jotzo, F. 2005. Transaction costs, institutional rigidities and the size of the clean development mechanism. Energy Policy 33: 511-523.
14. Richards, K. R. and Stokes, C. 2004. A Review of Forest Carbon Sequestration Cost Studies: A Dozen Years of Research. Climatic Change 63: 1-48.
15. Von Hippel, D. Sage T., and P. Hayes. 2006. Estimated DPRK energy sector: Estimated energy balance and suggested approach to sectoral development. A report prepared by Natalius Institute for Security and Sustainable Development for Korean Energy Economics Institute.
16. UNEP. 2003. State of the Environment - DPR Korea.
17. UNFCCC. 1998. Decision 9/CP.4 Land-use, land-use change and forestry. available <http://www.unfccc.int/>.
18. UNFCCC. 2001. Decision 17/CP.7 Modalities and procedures for a clean development mechanism, as defined in Article 12 of the Kyoto Protocol. available <http://www.unfccc.int/>.
19. UNFCCC. 2006. List of Signatories & Ratification of the Convention Parties http://unfccc.int/files/essential_background/convention/status_of_ratification/application/pdf/ratlist.pdf (2006. 9. 1).
20. van Kooten, G., Arthur, L., and Wilson, W. 1992. Potential to Sequester Carbon in Canadian Forests: Some Economic Considerations. Canadian Public Policy XVIII (2): 127-138.
21. Xu, D. 1995. The Potential for Reducing Atmospheric Carbon by Large-Scale Afforestation in China and Related Cost/Benefit Analysis. Biomass Bioenergy 8(5): 337-344.