

## 기후변화가 국내 목재시장에 미치는 영향 분석

안병일\* 김의경\*\* 김형호\*\*\* 김동현\*\*\*\*

### Keywords

기후변화(climate change), 균형대체모형(equilibrium displacement model), 목재시장(timber market)

### Abstract

The objective of this paper is to assess the impacts of climate changes on the coniferous and broadleaf timber markets. In order to assess these impacts, an equilibrium displacement model is developed in this paper. The substitution between imported and domestically produced timber is considered and several scenarios regarding the changes in timber production caused by climate changes are reflected in the model. Simulation results indicate that climate changes will result in a small decrease in the quantity of timber that is domestically produced and relatively large increase in the equilibrium price. These results imply that climate changes have a positive influence on the total revenue of domestic timber production.

### 차례

1. 서론
2. 기후변화가 국내 목재 시장 균형에 미치는 영향
3. 기후변화가 초래하는 경제적 효과 추정을 위한 시뮬레이션 모형
4. 목재(원목)시장에 대한 시뮬레이션 분석결과
5. 요약 및 결론

---

이 논문은 산림청이 지원하는 “기후변화 대응 산림정책 연구개발사업단(연구과제번호: S210909L010140)의 연구비 지원에 감사드립니다.”

\* 경상대학교 농업경제학과 조교수 및 동대학 농업생명과학연구원 책임연구원

\*\* 교신저자, 경상대학교 환경산림과학부 교수 및 동대학 농업생명과학연구원 책임연구원

\*\*\* 경상대학교 환경산림과학부 전임강사 및 동대학 농업생명과학연구원 책임연구원

\*\*\*\* 경상대학교 대학원 산림자원학과 박사과정

## 1. 서론

기후변화에 관한 정부 간 협의체인 IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change) 4차 보고서에 따르면 19세기 이후 산업 활동이 활발해지면서 이산화탄소, 메탄, 질산, CFC 등 온실가스의 대기 중 농도가 급속히 증가하고 있으며, 이에 따라 지난 100년간 지구의 평균 온도는 0.6~0.74℃ 상승한 것으로 추정하고 있다. 또한 이와 같은 지구 온난화로 인해 해수면도 10~25cm 상승한 것으로 보고되고 있다. IPCC는 지구온난화를 방지할 경우 자연생태계가 변화하여 막대한 경제적 손실이 발생하고 손실의 규모는 시간이 갈수록 큰 폭으로 증가할 것으로 보고 있는데, 이산화탄소 농도가 산업화 이전에 비해 2배로 높아질 경우(2030년경으로 예측), 선진국들은 GDP의 1~3%, 개도국들은 GDP의 2~9%에 달하는 피해가 발생할 것으로 예측하고 있다.

기후변화는 경제전반에 영향을 미치고 있지만, 특히 기상조건에 따라 생육이 영향을 받는 산림분야에는 그 파급 영향이 보다 클 것으로 여러 선행연구가 예측하고 있다(전성우 외 2000, 2001, 2002; IPCC, 2007). 전성우 외(2000, 2001, 2002)에 따르면 기후변화에 따라 백두산 산정부와 개마고원의 한대림 일부지역은 아한대림으로 변하게 되어 산림면적이 증가하고 남부지역의 온대림은 아열대림으로 변화할 것이라고 추정하고 있다. 임종환과 신준환(2005)은 우리나라에서 기온이 1℃ 상승하면 졸참나무, 서어나무, 개서어나무의 점유율은 증가하나 잣나무와 신갈나무는 감소할 것으로 전망하였고 2℃ 상승하는 경우는 기온상승 시작 후 150년이 지나면서 잣나무와 신갈나무는 전체 산림에서 차지하는 점유율이 감소할 것으로 예측하였다. 김재욱과 이동근(2006)은 냉온대림과 난온대림은 기후변화에 영향을 받지 않으나, 아한대림은 기온상승에 따라 냉온대림으로 변화하여 생물다양성에 많은 피해가 예상된다고 밝히고 있다. 이동근과 김재욱(2007)은 기온 증가에 따른 기후변화로 고지대에서 서식하는 고산·아고산 식생이 분포할 확률이 많이 낮아지는데, 남한지역보다는 고산지대가 많은 북한지역이 더 많은 영향이 있을 것으로 예상하고 있다.

외국의 경우 Lexer(2002) 등은 기후변화 시나리오에 따른 산림의 민감도를 수정된 Gap 모델과 산림 축적 자료를 이용하여 분석한 결과, 강우량의 변화 없이 1℃ 가깝게 기온이 상승하면 고지대에서는 활엽수종의 경쟁이 증가하여 목재수확을 위한 적합한 수종 집합이 늘어나는 반면, 저지대에 있는 독일가문비나무는 목재수확에 적합하지 않은 것으로 보고하였다. Andalo(2005) 등은 기후변화에 따른 수목생장에 관한 영향을 다양한 시나리오로 분석하였는데, 온도만 증가한다면 생장은 줄어드는 것이 확실하지

만 온도뿐만 아니라 강우량이 증감함에 따라 생장에 큰 영향을 주는 것으로 보고한 바 있다. Kellomäki(1997) 등은 기후변화에 따라 북부지역 목재생산량의 증감을 연구한 결과, 온도와 강우량에 따라 최대 30%의 이산화탄소를 농축할 수 있음을 밝히고 그로 인하여 목재생산량이 증가할 것으로 예측한 바 있다.

기후변화가 이와 같이 산림의 생육에 미치는 영향은 자명한 것으로 평가되고 있으나 기후변화의 영향이 산림부문 특히 목재 생산량에 어떠한 영향을 미치고 이것이 경제적인 효과로 어떻게 귀결되는지에 대한 연구는 아직까지는 매우 드문 실정이다. 기후 변화는 특정 수종의 산림면적은 증가시키기도 하지만 또한 다른 수종의 산림면적은 감소시키는 결과를 초래하기 때문에 목재시장에 기후변화가 미치는 영향은 기후변화 시나리오에 따른 목재 생산량의 증감이 어떻게 나타나는지를 알아보는 것이 매우 중요하며, 또한 목재 시장의 수급 특성을 반영하여 기후변화로 인한 생산량 감소가 시장균형에 영향을 주는 메커니즘을 규명하는 것이 매우 필요하다고 할 수 있다.

본 논문은 기후변화가 영향을 미치는 다양한 목재 생산량 증감에 대한 시나리오를 설정하고 이것이 국내 목재 시장의 균형가격과 물량에 어떠한 영향을 미치는 지를 사전적으로 추정해 보고자 하는 의도에서 비롯되었다. 기후변화로 인한 목재 생산량의 변화는 시장의 수급 측면에서 보면 시장 외적인 충격으로 받아들여질 수 있기 때문에 시장 균형모형에 입각하여 기후변화의 영향을 추정해 볼 수 있다. 이러한 맥락에서 본 논문에서는 먼저 기후변화가 국내의 목재 시장에 미치는 영향을 이해할 수 있는 이론적인 틀을 논의하고 이를 바탕으로 시뮬레이션 모형을 수립한 다음, 기후변화 시나리오에 따른 시장 수급에의 영향을 평가하고자 한다.

## 2. 기후변화가 국내 목재 시장 균형에 미치는 영향

기후변화가 국내 목재시장에 미치는 영향은 국산목재와 수입산 목재가 국내시장에서 완전대체적인 상품으로 취급되는 지의 여부와 기후변화의 영향이 국산목재의 공급에만 영향을 미치는 것이 아니라 수출국의 목재시장에도 영향을 미쳐 수입단가 역시 상승시키는 지의 여부에 따라 여러 가지 경우로 나눌 수 있다. 본 논문에서는 이들 각각의 경우에 대해서 시장균형이 어떻게 달성되고 기후변화의 영향이 어떻게 평가될 수 있는지를 먼저 수급균형 모형을 통해 알아보하고자 한다.

## 1. 수입목재와 국산목재가 불완전 대체관계에 있을 경우

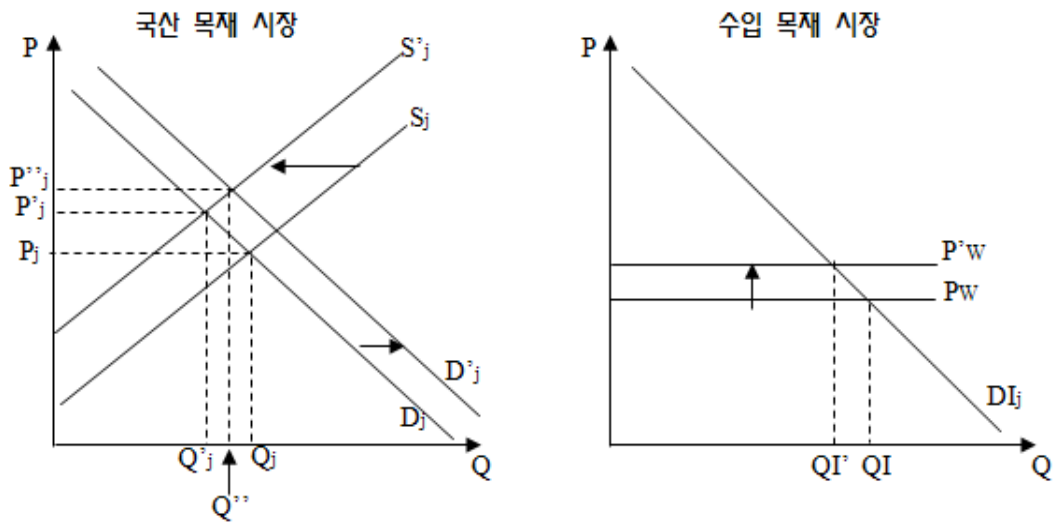
수입목재와 국산목재가 완전대체관계에 있지 않은 경우라면 국산목재  $j$ 에 대한 시장의 균형은 공급곡선과 수요곡선이 만나는 수준에서 달성되고 이는 <그림 1>과 같이 묘사할 수 있다. <그림 1>은 수입목재와 국산목재가 완전대체관계에 있지 않고 서로 경쟁관계에 있는 경우로 국산목재 수요곡선에서 국산목재 수요에 영향을 미치는 대체재 가격은 경쟁관계에 있는 수입목재의 가격(그림에서  $P_w$ )이 된다고 할 수 있다. 국산목재에 대한 균형가격과 시장 균형물량은 <그림 1>의 왼쪽 그래프와 같이 국산목재의 수요( $D_j$ )와 국산목재에 대한 공급( $S_j$ ) 곡선이 만나는 점에서 ( $P_j, Q_j$ )로 결정된다고 할 수 있다. 반면 수입목재시장에서는 우리나라를 소국(Small Country)으로 가정했을 경우 세계시장 가격 (혹은 수입가격이)  $P_w$ 로 주어진 경우 <그림 1>의 오른쪽 그래프와 같이 수입 목재에 대한 국내 수요곡선  $D_{Ij}$ 가 수입가격인  $P_w$ 와 만나는 점에서 수입량  $Q_I$ 가 결정된다.

기후변화의 영향은 <그림 1>의 왼쪽 그래프에서 목재의 공급곡선을  $S'_j$ 로 이동시키는 효과로 나타나게 될 것인데, 이 상황에서 국산목재에 대한 균형가격과 균형물량은 ( $P'_j, Q'_j$ )로 결정된다고 할 수 있다.

만일 기후변화의 영향이 국산목재의 공급곡선을 이동시키는 것뿐만 아니라 국제시장에서 수출국의 목재공급량을 감소시켜 국제 가격을 상승시킨다면 이러한 상황은 <그림 1>의 오른쪽 그래프에서 국제시장 가격 (혹은 수입가격)이  $P_w$ 에서  $P'_w$ 로 상승하는 것으로 묘사할 수 있다. 따라서 국산목재의 공급곡선 이동과 수입목재의 가격 상승이 동반되는 경우 수입 목재에 대한 수요는  $Q'_I$ 로 줄어들게 될 것이다. 수입가격이 상승하는 것은 경쟁관계에 있는 국산목재에 대한 수요를 증가시키는 효과를 초래하여 <그림 1>의 왼쪽 그래프에서 수요곡선을  $D_j$ 에서  $D'_j$ 로 이동시키므로 국산목재에 대한 균형가격과 균형물량은 ( $P''_j, Q''_j$ )로 결정되는데, 이는 기후변화가 국내시장에만 영향을 미치는 경우 (즉, ( $P'_j, Q'_j$ ))보다 가격과 균형물량이 더 높은 수준이다. 기후변화의 영향이 목재 시장에 미치는 영향은 <표 1>에 요약되어 있다.

국내시장에서 목재생산에서 오는 총 수입은 목재의 시장균형 가격과 시장 균형물량의 곱으로 계산할 수 있는데, 기후변화 이전의 총 수입은  $P_j \times Q_j$ 로 계산할 수 있고, 기후변화의 영향이 국내 목재 공급에만 영향을 미칠 경우 목재 생산의 총수입은  $P'_j \times Q'_j$ 로 계산되며, 국내 목재 공급뿐만 아니라 국제 시장에서의 목재 공급에도 영향을 미칠 경우 국내에서의 목재 생산에서 얻는 총수입은  $P''_j \times Q''_j$ 로 계산된다.

그림 1. 수입목재와 국산목재가 불완전 대체관계에 있는 경우 목재시장의 균형



여기서 흥미로운 점은 경우에 따라 기후변화 후의 총수입  $P'_j \times Q'_j$  이 기후변화 전의 총수입  $P_j \times Q_j$  보다 클 수 있다는 사실이다. 구체적으로 기후 변화 후의 총수입의 크기가 어떻게 변화할지는 기후변화로 인한 공급곡선의 이동 폭이 어느 정도이고, 수입가격 상승으로 인한 국산목재에 대한 수요 증가의 효과가 어느 정도인가에 달려 있다고 할 수 있다.

표 1. 국산목재와 수입목재가 불완전 대체관계에 있을 경우 기후변화가 목재 시장에 미치는 효과

|                            | 국내목재 공급에만 영향을 미치는 경우                          | 국제목재 공급에도 영향을 미치는 경우                          |
|----------------------------|---|---|
| 수입가격의 변화                   | 변화 없음   | $P_w \rightarrow P'_w$                        |
| 국산목재 수요곡선 변화               | 변화 없음   | $D_j \rightarrow D'_j$                        |
| 국산목재 공급곡선의 변화              | $S_j \rightarrow S'_j$                        | $S_j \rightarrow S'_j$                        |
| 국산목재의 균형가격 변화              | $P_j \rightarrow P'_j$                        | $P_j \rightarrow P'_j$                        |
| 국산목재의 시장균형물량 변화            | $Q_j \rightarrow Q'_j$                        | $Q_j \rightarrow Q'_j$                        |
| 국산목재에 대한 총 수입(revenue)의 변화 | $P_j \times Q_j \rightarrow P'_j \times Q'_j$ | $P_j \times Q_j \rightarrow P'_j \times Q'_j$ |
| 수입목재 수요량 변화                | 변화 없음   | $Q_I \rightarrow Q_I'$                        |

## 2. 수입목재와 국산목재가 완전 대체재인 경우

수입목재와 국산목재가 완전대체관계에 있다면(즉, 동일한 상품으로 간주된다면) 목재  $j$ 에 대한 시장의 균형은 <그림 2>로 묘사가 가능하다. 수입목재와 국산목재가 완전 대체관계에 있고 우리나라가 소국이라면, 국제가격 (수입가격)  $P_w$ 로 해외에서 원하는 만큼의 수입이 얼마든지 가능하기 때문에 국내시장 가격은 국산목재의 수요와 공급이 만나서 결정되는 것이 아니라 수입가격 자체가 된다. 따라서 수입가격  $P_w$ 하에서는 국산목재의 공급량은  $P_w$ 와 국산목재 공급곡선  $S_j$ 가 만나는 <그림 2>에서  $QS_j$ 로 결정되며, 국내시장에서 목재 전체에 대한 수요량은 수요곡선  $D_j$ 와 가격  $P_w$ 가 만나는  $QD_j$ 로 결정되며, 수요량과 국산공급량의 차이인  $(QD_j - QS_j)$ 가 수입량이 된다.

만일 기후변화로 국산목재의 총 요소생산성이 하락한다면, 이는 <그림 2>에서 국산목재의 공급곡선을  $S'_j$ 로 이동시키는 효과로 나타나는데, 이 상황에서 목재에 대한 수요량은  $QD_j$ 로 변함이 없으나, 국산목재의 공급량은  $S'_j$ 와  $P_w$ 가 만나는  $QS'_j$ 로 결정되기 때문에 수입량은  $(QD_j - QS'_j)$ 이 된다.

만일 기후변화로 국산목재에 대한 총 요소생산성이 하락할 뿐만 아니라 국제시장에서도 목재 공급이 감소하여 수입가격이  $P_w$ 에서  $P'_w$ 로 상승한다면, 국산목재 공급량은  $P'_w$ 와  $S'_j$ 가 만나는  $QS''_j$ 로 결정되며, 국내시장에서 목재에 대한 수요량은  $P'_w$ 와  $D_j$ 가 만나는  $QD'_j$ 로 결정된다. 이때 목재 수요량은 수요량과 국산목재 공급량의 차이인  $(QD'_j - QS''_j)$ 가 된다. 국산목재와 수입목재가 완전대체관계에 있는 경우 기후변화의 영향이 목재 시장에 미치는 영향은 <표 2>에 요약되어 있다.

그림 2. 수입목재와 국산목재가 완전대체관계에 있는 경우 목재 시장의 균형

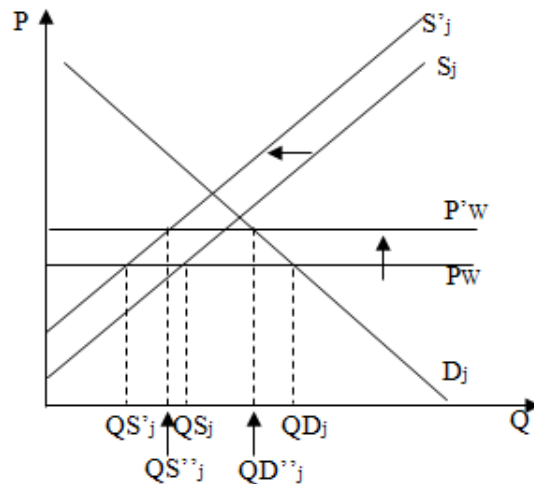


표 2. 국산목재와 수입목재가 완전대체관계에 있는 경우

|                            | 국내목재 공급에만 영향을 미치는 경우                           | 국제목재 공급에도 영향을 미치는 경우                             |
|----------------------------|--|--|
| 수입가격의 변화                   | 변화 없음  | $P_w \rightarrow P'_w$                           |
| 목재 수요곡선 변화                 | 변화 없음  | 변화 없음  |
| 국산목재 공급곡선의 변화              | $S_j \rightarrow S'_j$                         | $S_j \rightarrow S'_j$                           |
| 국산목재의 균형가격 변화              | 변화 없음 ( $P_w$ )                                | $P_w \rightarrow P'_w$                           |
| 국산목재의 공급량 변화               | $QS_j \rightarrow QS'_j$                       | $QS_j \rightarrow QS''_j$                        |
| 국내시장 목재 수요량 변화             | 변화 없음 ( $QD_j$ )                               | $QD_j \rightarrow QD''_j$                        |
| 국산목재에 대한 총 수입(revenue)의 변화 | $P_w \times QS_j \rightarrow P_w \times QS'_j$ | $P_w \times QS_j \rightarrow P'_w \times QS''_j$ |
| 수입목재 수요량 변화                | $(QD_j - QS_j) \rightarrow (QD_j - QS'_j)$     | $(QD_j - QS'_j) \rightarrow (QD''_j - QS''_j)$   |

목재 생산에서 오는 총 수입은 목재의 시장균형 가격과 시장 균형물량의 곱으로 계산할 수 있는데, 기후변화 이전의 총 수입은  $P_w \times QS_j$  로 계산할 수 있고, 기후변화의 영향이 국내 목재 공급에만 영향을 미칠 경우 목재 생산의 총수입은  $P_w \times QS'_j$  로 계산되며, 국내 목재 공급뿐만 아니라 국제 시장에서의 목재 공급에도 영향을 미칠 경우 국내에서의 목재 생산으로부터 얻는 총수입은  $P'_w \times QS''_j$  로 계산된다.

흥미로운 점은 <그림 1>에 묘사된 상황과 마찬가지로 경우에 따라 기후변화 후의 총수입  $P'_w \times QS''_j$  이 기후변화 전의 총수입  $P_w \times QS_j$ 보다 클 수 있다는 사실이다. 구체적으로 기후 변화 후의 총수입의 크기가 어떻게 변화할지는 기후변화로 인한 공급곡선의 이동 폭이 어느 정도이고, 수입가격 상승폭이 어느 정도인가에 달려 있다고 하겠다.

### 3. 기후변화가 초래하는 경제적 효과 추정을 위한 시뮬레이션 모형

#### 1. 수입목재와 국산목재가 불완전 대체관계에 있을 경우

수입목재와 국산목재가 대체관계에 있을 경우 국내목재 시장의 균형은 국산목재의 수요곡선과 공급곡선이 만나는 점에서 이루어지는데, 먼저 목재의 공급곡선은 (1)과 같이 표시할 수 있다.

$$(1) Q_j^S = S_j(P_j, z_j, r)$$

목재 j의 공급곡선은 목재 j의 시장가격 ( $P_j$ )과 총요소생산성( $z_j$ ) 및 투입요소의 가격 ( $r$ )의 함수로 표시할 수 있다. 여기서 목재의 공급곡선을 총요소생산성의 함수로 표시한 이유는 기후변화의 영향은 다른 모든 조건이 동일할 경우 총요소생산성을 변화시켜 목재공급량에 영향을 미치기 때문에, 이 관계를 명시적으로 표시하기 위해서이다.<sup>1</sup> 다음으로 목재의 수요함수는 식(2)와 같이 표시할 수 있다.

$$(2) Q_j^D = D_j(P_j, PC_j; W_j)$$

여기서  $PC_j$ 는 목재 j와 대체관계에 있는 재화의 가격이고  $W_j$ 는 목재 j의 수요에 영향을 미치는 기타 요인이다. 식(1)과 (2)를 전미분 하면 다음과 같은 식을 얻을 수 있다.

$$(1') dQ_j^S = \frac{\partial S_j}{\partial P_j} dP_j + \frac{\partial S_j}{\partial z_j} dz_j + \frac{\partial S_j}{\partial r} dr$$

$$(2') dQ_j^D = \frac{\partial D_j}{\partial P_j} dP_j + \frac{\partial D_j}{\partial PC_j} dPC_j + \frac{\partial D_j}{\partial W_j} dW_j$$

식 (1')과 식 (2')를 각각  $Q_j^S$ 와  $Q_j^D$ 로 나누어 정리하면 다음과 같은 식을 얻을 수 있다.

<sup>1</sup> 이러한 공급곡선은 목재 j의 생산함수를  $Q_j = z_j F(K_j)$  (여기서  $K_j$ 는 투입요소)로 설정하고 시장 가격  $P_j$ 를 이용하여 이윤극대화 문제를 설정한 다음, 도출되는 1계 조건을 이용하여 최적 투입요소를 선택하고 이를 이용하여 비용함수를 설정함으로써 유도할 수 있다. 여기서  $z_j$ 는 노동 및 자본과 같은 개별 생산요소의 생산성에 공통으로 영향을 미치는 기술수준 또는 총요소생산성(total factor productivity: TFP)을 나타낸다(정운찬, 김영식, 2009). 총 요소생산성  $z_j$ 는 목재 생산의 기술수준이나 기후와 같은 요인들에 의해 결정되기 때문에  $z_j = f(Tec_j, Temp, Oth_j)$ 와 같은 함수로 표시할 수 있다. 여기서  $Tec_j$ 는 목재 j생산에 대한 기술수준,  $Temp$ 는 기후여건,  $Oth_i$ 는 목재 j의 총요소생산성에 미치는 기타 요인이다. 따라서 이와 같은 상황에서는 이윤극대화 문제로부터 도출되는 개별 생산자의 공급곡선은 식(1)에서 표시한 것과 같이 목재의 가격 및 생산요소 가격과 총요소생산성의 함수로 표시된다.



$$(1'') \frac{dQ_j^S}{Q_j^S} = \frac{\partial S_j}{\partial P_j} \frac{P_j}{Q_j^S} \frac{dP_j}{P_j} + \frac{\partial S_j}{\partial z} \frac{z_j}{Q_j^S} \frac{dz_j}{z_j} + \frac{\partial S_j}{\partial r} \frac{r}{Q_j^S} \frac{dr}{r}$$

$$(2'') \frac{dQ_j^D}{Q_j^D} = \frac{\partial D_j}{\partial P_j} \frac{P_j}{Q_j^D} \frac{dP_j}{P_j} + \frac{\partial D_j}{\partial PC_j} \frac{PC_j}{Q_j^D} \frac{dPC_j}{PC_j} + \frac{\partial D_j}{\partial W_j} \frac{W_j}{Q_j^D} \frac{dW_j}{W_j}$$

식 (1'')과 식 (2'')을 탄성치를 이용하여 재정리하면, 다음 식 (3)과 (4)를 얻을 수 있다.

$$(3) EQ_j^S = \eta_j^p EP_j + \eta_j^z Ez_j + \eta_j^r Er$$

$$(4) EQ_j^D = \epsilon_j^p EP_j + \epsilon_j^{pc} EPC_j + \epsilon_j^W EW_j$$

여기서  $EQ_j^S$ ,  $EP_j$ ,  $Ez_j$ ,  $Er$ ,  $EQ_j^D$ ,  $EPC_j$  및  $EW_j$ 는 각각 해당변수의 변화율로써  $\frac{dQ_j^S}{Q_j^S}$ ,  $\frac{dP_j}{P_j}$ ,  $\frac{dz_j}{z_j}$ ,  $\frac{dr}{r}$ ,  $\frac{dQ_j^D}{Q_j^D}$ ,  $\frac{dPC_j}{PC_j}$  및  $\frac{dW_j}{W_j}$ 를 나타낸다. 또한  $\eta_j^p$ ,  $\eta_j^z$ ,  $\eta_j^r$ 은 각 변수의 공급에 대한 탄성치로써  $\frac{dQ_j^S}{dP_j} \frac{P_j}{Q_j^S}$ ,  $\frac{dQ_j^S}{dz_j} \frac{z_j}{Q_j^S}$ ,  $\frac{dQ_j^S}{dr} \frac{r}{Q_j^S}$ 을 나타내며,  $\epsilon_j^p$ ,  $\epsilon_j^{pc}$ ,  $\epsilon_j^W$ 는 각 변수의 수요에 대한 탄성치로써  $\frac{dQ_j^D}{dP_j} \frac{P_j}{Q_j^D}$ ,  $\frac{dQ_j^D}{dPC_j} \frac{PC_j}{Q_j^D}$ ,  $\frac{dQ_j^D}{dW_j} \frac{W_j}{Q_j^D}$ 를 나타낸다. 시장 균형에서는 수요의 변화율과 공급의 변화율이 같아지게 되므로 식 (5)가 추가되어 식 (3) 및 식 (4)와 함께 균형방정식을 구성하게 된다.

$$(5) EQ_j^D = EQ_j^S$$

균형방정식에서 모형 내에서 결정되는 내생변수는 균형물량과 균형가격의 변화율을 나타내는  $EQ_j^S$ ,  $EQ_j^D$  및  $EP_j$ 이며 나머지는 외생변수인데, 식 (3), (4) 및 식(5)를 행렬식 형태로 표현하여 정리하면 내생변수의 변화율을 다음과 같이 식(6)을 통해 구할 수 있다.

$$(6) \begin{bmatrix} EQ_j^S \\ EQ_j^D \\ EP_j \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -\eta_j^p \\ 1 & 0 & -\epsilon_j^p \\ 1 & -1 & 0 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \eta_j^z Ez_j + \eta_j^r Er \\ \epsilon_j^{pc} EPC_j + \epsilon_j^W EW_j \\ 0 \end{bmatrix}$$

식 (6)에서 기후변화의 영향은 총요소생산성의 변화  $Ez_j$ 로 일차적으로 나타날 것이며, 기후변화가 국제시장 가격에도 영향을 미친다면 수요함수에서 대체재 가격의 변화

$EPC_j (=EPw_j)$ 로 이차적으로 나타날 것이다.

## 2. 수입목재와 국산목재가 완전대체관계에 있는 경우

수입목재와 국산목재가 완전대체관계에 있는 경우 국내 목재 시장 구성하는 방정식 체계에서 수요곡선과 공급곡선은 식(1)과 식(2)와 같으나, <그림 2>에서 묘사된 상황과 같이 시장균형 조건은 다음과 같이 식(7)로 표시되어야 한다.

$$(7) Q_j^S + M_j = Q_j^D$$

여기서  $M_j$ 은 목재 수입량이다. 식(1)과 식(2)를 탄성치와 변화율로 이용하여 나타낸 식 즉, 국산목재의 수요와 공급조건을 나타내는 식은 수입목재와 국산목재가 완전대체관계에 있는 상품인 경우에도 식(3)과 식(4)와 같은 형태로 표현되나, 시장 균형을 나타내는 조건을 탄성치와 변화율로 나타내려면 식(7)을 전미분하여 도출해야 한다. 식(8)은 식(7)을 전미분하여 국내수요량  $Q_j^D$ 로 나누어 정리한 것이다.

식(8)에서  $s_j$ 는 국내의 목재  $j$ 의 총 수요량에서 국산 공급량이 차지하는 비율 (share) 즉,  $\frac{Q_j^S}{Q_j^D}$ 이다.

$$(8) s_jEQ_j^S + (1 - s_j)EM_j = EQ_j^D$$

식(3), 식(4)와 식(8)로 이루어지는 균형방정식에서 모형 내에서 결정되는 내생변수는 균형물량의 변화율을 나타내는  $EQ_j^S$ ,  $EQ_j^D$  및  $EM$ 이며 나머지는 외생변수이다. 특히 가격 변화율  $EP_j$ 는 모형 내에서 결정되는 내생변수가 아니라 외생변수인데, 그 까닭은 <그림 2>을 통해 설명한 바와 같이 국내 시장 가격은 수입가격 자체가 되기 때문에 (즉,  $EP_j = EPw_j$ ) 모형 내에서 결정되는 것이 아니라 해외에서 결정되기 때문이다. 식(3), 식(4) 및 식(8)을 행렬식 형태로 표현하여 정리하면 내생변수의 변화율을 다음 식(9)를 통해 구할 수 있다.

$$(9) \begin{bmatrix} EQ_j^S \\ EQ_j^D \\ EM_j \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ s_j & -1 & (1-s_j) \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \eta_j^p EP_j + \eta_j^z Ez_j + \eta_j^r Er \\ \epsilon_j^p EP_j + \epsilon_j^{pc} EPC_j + \epsilon_j^W EW_j \\ 0 \end{bmatrix}$$

## 4. 목재(원목)시장에 대한 시뮬레이션 분석결과

### 1. 영향평가를 위한 파라미터 및 시나리오

원목은 나무의 종류에 따라 다양하나, 활엽수와 침엽수는 가장 크게 구분되는 목재의 종류이고 또한 활엽수 목재 상호간 그리고 침엽수 목재 상호간에는 대체관계가 매우 큰 반면 침엽수 목재와 활엽수 목재 상호간에는 대체관계가 매우 작기 때문에 시뮬레이션 영향 분석을 위한 원목시장은 크게 침엽수림과 활엽수림으로 구분하여 접근하기로 한다.

시뮬레이션에서 중요한 것은 국내산 원목과 수입산 원목의 품질 차이를 어느 정도나 고려해야 할 것인가이다. 주린원 외(2007)에서는 국산목재와 수입산 목재의 품질의 차이가 크게 나타나지 않는다고 보고 사실상 ‘완전대체관계’라는 가정을 바탕으로 수요함수를 추정하였다.<sup>2</sup> 따라서 본 연구에서도 우선 국내산과 수입산은 품질측면에서 크게 다르지 않다고 보고 식 (9)에 근거하여 시뮬레이션을 수행하고, 다음으로 수입산과 국내산 간의 대체 탄성치를 가정하고 식 (6)에 근거하여 시뮬레이션을 수행하였다.

기후변화가 수입 원목에 대한 가격에 어떠한 영향을 미치는지에 대해서는 사실상 합리적으로 판단할 만한 자료가 존재하지 않는다. 따라서 본 연구에서는 두 가지 시나리오를 가정하였는데, 첫 번째는 수입가격이 변화가 없는 경우이며, 두 번째는 수입가격이 5%가 상승하는 경우이다. 첫 번째 시나리오는 기후변화의 영향이 다른 목재 수출국에는 매우 미미할 것이라는 점을 암묵적으로 가정하는 것이며, 두 번째 시나리오는 기후변

<sup>2</sup> 주린원 외(2007)의 연구에서는 목재시장을 크게 침엽수와 활엽수 시장으로 나누고 있으며, 활엽수와 침엽수 제재목의 수요함수를 추정할 때 국산과 수입산을 합산하여 총 수요량을 구하고 이를 수요함수 추정의 종속변수로 사용하고 있다. 따라서 이 연구에서는 국산과 수입산을 사실상 “완전대체관계”라고 암묵적으로 가정하고 있다고 볼 수 있다.

화의 영향은 산림을 대상으로는 즉각적으로 나타나지 않을 것이기 때문에 전 세계적인 영향이 있다고 하더라도 그 크기가 상대적으로 매우 작을 것이라는 판단 때문이다.

시뮬레이션에 필요한 침엽수 및 활엽수 원목에 대한 수요탄성치는 선행연구에서는 추정된 바가 없기 때문에 본 연구에서는 1980년~2005년의 연간 자료를 이용하여 추정 계수의 값이 탄성치를 바로 나타내도록 다음과 같이 로그(log)-로그식을 설정하여 추정하였다.

$$(10) \ln Q_D = \alpha_0 + \alpha_p \ln P + \alpha_{gdp} \ln GDP + \alpha_{value} \ln Value + \alpha_T trend + \alpha_d D98 + \epsilon$$

여기서  $Q_D$ 는 일인당 침엽수 혹은 활엽수의 원목 수요량,  $P$ 는 실질가격,  $GDP$ 는 1인당 실질 GDP,  $Value$ 는 1인당 실질 건설업 총 생산액,  $D98$ 은 외환위기의 효과를 나타내는 더미변수로 1998년과 그 이후는 1이고 그 이전은 0,  $trend$ 는 추세를 보기 위한 변수이다. 수요함수 추정결과는 <표 3>에 제시되어 있다. 침엽수, 활엽수의 원목 수요 각각에 대해서 설명변수가 96%이상 회귀방정식을 설명하는 것으로 추정되었으며, 침엽수 원목에 대한 수요탄성치는 -0.157로 추정되었고, 활엽수 원목에 대한 수요탄성치는 -0.362로 추정되었다.

표 3. 침엽수 및 활엽수 원목의 수요함수 추정결과

| 추정계수             | 침엽수 원목 수요            | 활엽수 원목 수요             |
|------------------|----------------------|-----------------------|
| $\alpha_0$       | -2.870<br>(-1.571)   | 6.798<br>(1.869)*     |
| $\alpha_p$       | -0.157<br>(-1.768)*  | -0.362<br>(-2.433)**  |
| $\alpha_{gdp}$   | 0.949<br>(3.235)**   | 2.426<br>(4.404)***   |
| $\alpha_{value}$ | 0.272<br>(2.100)**   | 0.224<br>(0.915)      |
| $\alpha_{trend}$ | 0.033<br>(3.058)***  | -0.101<br>(-4.812)*** |
| $\alpha_d$       | -0.182<br>(-1.864)** | 0.147<br>(0.775)      |
| $\overline{R^2}$ | 0.9646               | 0.9625                |

주: 괄호 안은 t-값임. \*, \*\*, \*\*\*는 각각 유의수준 10%, 5%, 1%에서 유의함을 나타냄.

기후변화가 원목 시장에 미치는 영향만을 평가하기 위해 식 (9)에서 다른 외생변수의 변화는 모두 0으로 간주하기로 하였다. 영향평가에 사용된 파라미터는 <표 4>와 같

이 주린원 외 (2007)의 연구결과에서 공급탄성치를 참조하고, 국립산림과학원의 자료를 이용하여 총 목재 수요량 중에서 국내 공급량의 비중을 계산하였다.

표 4. 목재 영향 평가에 사용된 파라미터

| 파라미터               | 침엽수                | 활엽수                |
|--------------------|--------------------|--------------------|
| $e^p$              | -0.157             | -0.362             |
| $\eta^p$           | 0.56               | 0.09               |
| $\eta^z$           | 1                  | 1                  |
| s(총수요 중 국산 원목의 비중) | 0.25 <sup>1)</sup> | 0.43 <sup>2)</sup> |

주: 1) 2005년 기준임, 2) 2007년 기준임

기온 상승에 따른 기후변화가 침엽수와 활엽수 원목의 공급곡선에 미치는 영향을 분석하기 위해서는 우선 기온 상승이 가져올 목재생산 능력의 변화를 추정하는 것이 중요하다. 기온상승에 따른 목재생산능력의 변화를 추정하기 위해서는 우리나라의 산지에 분포하고 있는 수종 가운데 어떤 수종들이 기온상승에 따른 영향을 받고 그러한 수종들이 현실의 입지조건에 따라 어느 정도 영향을 받게 되는지를 먼저 파악해 내야 한다. 그런 다음에 우리나라의 산지에 분포하는 수종 가운데 기온의 영향을 받는 일부 수종을 감안하여 우리나라 전체 산림의 목재생산능력 변화를 추정해 내는 일련의 과정을 밟아서 추정하게 된다.

임목의 생장은 토양의 비옥도 조건인자, 방위·경사 등의 입지환경인자 그리고 강수량·기온 등의 기후인자 등에 의하여 그 크기가 정해지게 된다. 이렇게 3개의 생장과 관련된 인자를 모두 고려한 성장함수식을 도출한 연구결과는 노의래(1983), 이동섭 외(1986), 정주상 외(2001) 그리고 김의경 외(2005)의 연구결과가 있는데, 특히 김의경 외(2005)의 연구에서는 연평균기온의 크기가 생장에 영향을 미치는 수종은 낙엽송, 잣나무, 리기다소나무, 해송, 상수리나무, 신갈나무 등 6개 수종으로 나타났다. 6개 수종 가운데 리기다소나무는 현재 산림사업상 갱신대상 수종으로서 가까운 시기에 벌채되어 사라질 수종이며, 해송은 바닷가 근처에 주로 분포하기 때문에 생육적인 한계로 본 분석에서는 제외시켰다. 따라서 본 분석에 사용된 수종은 침엽수로는 낙엽송과 잣나무, 활엽수는 상수리나무와 신갈나무의 4개 수종으로 국한시켰다.

기온 상승의 영향을 받는 수종이 실제로 어느 정도 생장에 영향을 받는지 추정하기 위해서는 우리나라의 산림생태계의 대표가 되는 지역을 선정하여 실제로 현지에서의 목재 잠재생산능력 변화의 크기를 밝혀내는 것이 필요하다. 이를 위하여 김의경과 김형호(2006)가 개발한 「적지적수 판정 GIS 응용모델 ver.1.0」을 이용하여 우리나라 대표

적인 산림생태계인 난대지역, 온대남부지역, 온대중부지역, 온대북부지역에 적게는 5,429 ha에서 많게는 15,563 ha 크기의 사례지를 선정하여 분석하였는데, 세 지역의 평균 목재생산능력 감소율은 활엽수보다는 침엽수가 높은 것으로 나타나 1도<sup>o</sup>C 증가하면 3.0% 감소하고, 3<sup>o</sup>C 증가하면 7.6% 감소하는 것으로 나타났다.

표 5. 대표 수종에 대한 시나리오별 목재생산능력 감소율

| 시나리오                | 침엽수림 | 활엽수림 |
|---------------------|------|------|
| 1 <sup>o</sup> C 증가 | 3.0% | 2.2% |
| 2 <sup>o</sup> C 증가 | 5.1% | 4.9% |
| 3 <sup>o</sup> C 증가 | 7.6% | 6.1% |

수종별 기온 상승에 따른 우리나라 전체의 목재생산능력의 증감을 추정하기 위해서는 기온상승에 따라 목재생산능력에 영향을 받는 수종과 영향을 받지 않는 수종의 면적을 우리나라 전체로 파악한 다음, 영향을 받는 면적만을 기온 상승에 따라 목재생산능력의 변화를 파악하여 우리나라 전체 산림의 목재생산능력 증감률을 최종적으로 도출하게 된다.

임업분야의 대표적인 통계인 임업통계연보 상에 존재하는 임상별 수종 구성은 활엽수림에 있어서 대상 수종별 면적이 존재하지 않기 때문에, 국립산림과학원 제4차 전국 산림자원조사(1996~2005) 및 활엽수자원조사(1993~1995)를 이용하여 상수리나무(26.7%)와 신갈나무(22.1%) 비중을 감안하여 전체 활엽수림에 있어서 상수리나무와 신갈나무의 면적을 이 비율로 분할하였다. 그리고 그 외의 활엽수림의 면적은 비활엽수림면적으로 가정하여 산출하였다.

그런 다음 임업통계연보 상에서 활엽수로 분류할 수 있는 밤나무, 포플러의 면적을 총합산하여 총활엽수림 면적을 각 기온 상승 시나리오에 따라 우리나라 전체를 대상으로 확장하여 분석하였으며, 그 결과는 당연한 것이지만 사례지와는 달리 침엽수의 목재생산능력 감소율이 활엽수보다 오히려 낮게 나타났다. 그 이유는 본 분석에 사용된 신갈나무와 상수리나무는 우리나라의 대표적인 활엽수림으로 우리나라 전역에 분포하고 있는 반면, 낙엽송과 잣나무는 상대적으로 우리나라 전체 산림의 약 16% 정도에 불과하기 때문에 침엽수가 전체적으로 영향을 덜 받기 때문이다.

표 6. 우리나라 전체 임상에 대한 기온 상승 시나리오에 따른 목재생산능력 감소율

| 시나리오   | 침엽수  | 활엽수  |
|--------|------|------|
| 1°C 증가 | 0.8% | 1.1% |
| 2°C 증가 | 1.6% | 2.4% |
| 3°C 증가 | 2.4% | 3.0% |

따라서 기온 상승에 따른 목재생산능력의 변화는 우리나라 전체적으로는 적지만 사례지에서와 같은 크기의 최대 변화를 초래할 수 있기 때문에 목재 공급 변화의 시나리오는 기온상승에 따라 우리나라 전체 변화율을 최소치로 설정하고 연구 사례지를 최대치로 설정하였다.

표 7. 기온 상승 시나리오에 따른 목재생산능력 증감률

| 시나리오   | 침엽수             |                  | 활엽수             |                  |
|--------|-----------------|------------------|-----------------|------------------|
|        | 최소<br>(우리나라 전체) | 최대<br>(연구대상지 기준) | 최소<br>(우리나라 전체) | 최대<br>(연구대상지 기준) |
| 1°C 증가 | -0.8%           | -3.0%            | -1.1%           | -2.2%            |
| 2°C 증가 | -1.6%           | -5.1%            | -2.4%           | -4.9%            |
| 3°C 증가 | -2.4%           | -7.6%            | -3.0%           | -6.1%            |

## 2. 시뮬레이션 분석결과 1 - 수입산과 국내산이 완전대체관계에 있다고 가정할 경우

### (1) 침엽수 원목

기후변화의 영향이 침엽수에 대한 수입가격을 변화시키지 않을 경우, 기온 상승으로 인한 국내 목재의 요소생산성 하락은 다음과 같이 수입물량의 증가로 귀결될 것으로 분석된다. 우선 기온이 1°C 증가할 경우 침엽수 원목 수입량은 0.27%~1.0% 감소할 것으로 보이며, 기온이 2°C와 3°C 증가할 경우 원목수입량은 각각 0.53%~1.7% 및 0.8%~2.53% 증가할 것으로 보여 침엽수 원목의 수입가격이 변하지 않는다면 기후변화로 인한 침엽수 원목의 수입량 증가는 크지 않을 것으로 전망된다.<sup>3</sup>

<sup>3</sup> 수입침엽수 원목과 국산침엽수 원목을 완전대체관계에 있는 상품으로 가정하였기 때문

표 8. 국산과 수입산이 완전대체관계에 있는 경우 기후변화가 침엽수 원목 수입량에 미치는 영향 (수입가격이 변화가 없을 경우)

|        | 침엽수 수입량       |
|--------|---------------|
| 1°C 증가 | 0.27% ~ 1.0%  |
| 2°C 증가 | 0.53% ~ 1.7%  |
| 3°C 증가 | 0.80% ~ 2.53% |

기후변화의 영향으로 수입가격이 5% 상승할 경우 <표 9>와 같이 수입량뿐만 아니라 국산 침엽수의 공급량과 침엽수 원목에 대한 총수요량도 영향을 받을 것으로 분석된다. 기온이 1°C 증가할 경우 국산 공급량은 0.2%에서 5.2% 감소할 것으로 보이며, 수입량 변화율은 -0.98~0.69%, 국산 침엽수 원목생산의 총수입 변화율은 -0.46~4.79% 사이가 될 것으로 분석된다. 기온이 2°C 증가할 경우 국산 침엽수 공급량은 -2.3~1.2%, 수입량 변화율은 -0.28~-1.45%, 국산 침엽수 원목생산의 총수입 변화율은 2.59~6.26% 사이가 될 것으로 분석된다. 만일 기온이 3°C 증가할 경우 국산 침엽수 공급량은 -4.8~0.4%, 수입량 변화율은 -1.18~0.55%, 국산 침엽수 원목생산의 총수입 변화율은 -0.04~5.42% 사이가 될 것으로 분석된다.

표 9. 국산과 수입산이 완전대체관계에 있는 경우 기후변화가 국내 침엽수 원목 시장에 미치는 영향 (수입가격이 5% 상승할 경우)

| 기후변화 시나리오 | 목재 생산능력 감소 시나리오 | 국산 공급량 변화율 | 수입량 변화율 | 수요량 변화율 | 국산 침엽수 원목생산의 총수입 변화율 |
|-----------|-----------------|------------|---------|---------|----------------------|
| 1°C 증가    | 최소              | -5.20%     | 0.69%   | -0.79%  | -0.46%               |
|           | 최대              | -0.20%     | -0.98%  | -0.79%  | 4.79%                |
| 2°C 증가    | 최소              | 1.20%      | -1.45%  | -0.79%  | 6.26%                |
|           | 최대              | -2.30%     | -0.28%  | -0.79%  | 2.59%                |
| 3°C 증가    | 최소              | 0.40%      | -1.18%  | -0.79%  | 5.42%                |
|           | 최대              | -4.80%     | 0.55%   | -0.79%  | -0.04%               |

에 모형에서 수입가격은 곧 국내시장의 균형가격으로 간주된다. 따라서 수입가격의 변화가 없다면 모형에서는 침엽수 원목의 수요량은 변화가 없는 것으로 계산되며, 또한 가격의 변화가 없다면 기온 1°C, 2°C, 3°C 상승 각각에 대해서 국내의 침엽수 생산에서 오는 총수입의 변화는 공급량의 변화와 동일하게 각각 0.8~3.0%감소, 1.6~5.1%감소, 2.4~7.6% 감소로 귀결된다.



시물레이션 분석모형이 수요는 가격에 반응하는 것으로 구성되었기 때문에 국내 침엽수 시장에서 총 수요량 변화율은 모든 시나리오에서 0.79% 감소할 것으로 분석된다.

## (2) 활엽수 원목

기후변화의 영향이 활엽수에 대한 수입가격을 변화시키지 않을 경우, 기온 상승으로 인한 국내 목재의 요소생산성 하락은 <표 10>의 결과와 같이 수입량을 증가시킬 것으로 분석된다. 기온이 1°C 증가할 경우 침엽수 원목 수입량은 0.83~1.66% 증가할 것으로 보이며, 기온이 2°C와 3°C 증가할 경우 원목수입량은 각각 1.81~3.70% 및 2.26~4.60% 증가할 것으로 분석된다. 따라서 활엽수의 경우 침엽수보다 수입량 증가율이 클 것으로 보이나 여전히 그 증가율은 적은 수준일 것으로 전망된다.<sup>4</sup>

표 10. 국산과 수입산이 완전대체관계에 있는 경우 기후변화가 활엽수 원목 수입량에 미치는 영향 (수입가격이 변화가 없을 경우)

|        | 활엽수 수입량       |
|--------|---------------|
| 1°C 증가 | 0.83% ~ 1.66% |
| 2°C 증가 | 1.81% ~ 3.70% |
| 3°C 증가 | 2.26% ~ 4.60% |

기후변화가 국산 활엽수생산에 영향을 미치고 수입가격이 5% 상승할 경우 이로 인한 국내 활엽수 원목 시장의 영향은 <표 11>에 제시되어 있다. 특징적인 것은 침엽수와 마찬가지로 대부분의 시나리오에서 국산 활엽수 생산에서 오는 총 수입은 증가할 것으로 분석된다는 것이다. 기온이 1°C 증가할 경우 국산 활엽수 공급량은 0.65%에서 1.75% 감소할 것으로 보이며, 수입량 변화율은 -1.86~-2.69%, 국산 침·활엽수 원목 생산의 총수입 변화율은 3.16~4.32% 사이가 될 것으로 분석된다. 기온이 2°C 증가할 경우 국산 활엽수 공급량은 -1.95~-4.45%, 수입량 변화율은 -1.70~0.18%, 국산 활엽수 원목생산의 총수입 변화율은 0.33~2.95% 사이가 될 것으로 분석된다. 만일 기온이

<sup>4</sup> 수입활엽수 원목과 국산 활엽수 원목을 완전대체관계에 있는 상품으로 가정하였기 때문에 가격의 변화가 없다면, 기온 1°C, 2°C, 3°C 상승 각각에 대해서 국내의 활엽수 생산에서 오는 총수입의 변화는 공급량의 변화와 동일하게 각각 1.1~2.2% 감소, 2.4~4.9% 감소, 3.0~6.1% 감소로 귀결된다.

3°C 증가할 경우 국산 활엽수 공급량은 -2.55~-5.65%, 수입량 변화율은 -1.25~1.09%, 국산 활엽수 원목생산의 총수입 변화율은 -0.93~2.32% 사이가 될 것으로 분석된다. 또한 국내 활엽수 시장에서 총 수요량 변화율은 모든 시나리오에서 1.81% 감소할 것으로 분석된다.

표 11. 국산과 수입산이 완전대체관계에 있는 경우 기후변화가 국내 활엽수 원목 시장에 미치는 영향 (수입가격이 5% 상승할 경우)

| 기후변화 시나리오 | 목재 생산능력 감소 시나리오 | 국산 공급량 변화율 | 수입량 변화율 | 수요량 변화율 | 국산 활엽수 원목생산의 총수입 변화율 |
|-----------|-----------------|------------|---------|---------|----------------------|
| 1°C 증가    | 최소              | -0.65%     | -2.69%  | -1.81%  | 4.32%                |
|           | 최대              | -1.75%     | -1.86%  | -1.81%  | 3.16%                |
| 2°C 증가    | 최소              | -1.95%     | -1.70%  | -1.81%  | 2.95%                |
|           | 최대              | -4.45%     | 0.18%   | -1.81%  | 0.33%                |
| 3°C 증가    | 최소              | -2.55%     | -1.25%  | -1.81%  | 2.32%                |
|           | 최대              | -5.65%     | 1.09%   | -1.81%  | -0.93%               |

### 3. 시뮬레이션 분석결과 2 - 수입산과 국내산이 불완전 대체관계에 있을 경우

수입산 원목과 국내산 원목 간에 대체관계를 연구한 선행연구는 존재하지 않기 때문에 본 논문에서는 대체관계가 미미한 정도로 국내목재에 대한 수입목재가격의 대체탄성치가 0.1인 경우, 대체관계가 보다 큰 경우로 대체탄성치 0.3의 두 가지 경우를 가정하였다.

#### (1) 침엽수 원목

기후변화의 영향이 국내 침엽수 시장에 미치는 영향을 시뮬레이션 한 결과는 <표 12>와 같다. 수입가격이 변화가 없다면 식(6)에서  $EPC_j (= EPw_j)$ 가 “0”이기 때문에 대체탄성치 ( $\epsilon_j^{pc}$ )가 어떤 값을 가지든 간에 분석결과에는 영향을 미치지 못한다. 따라서 <표 12>에서 볼 수 있는 바와 같이 국내시장의 가격과 균형물량변화는 기후변화가 국내목재에 대한 공급곡선을 이동시킨 효과에 전적으로 기인한다고 할 수 있다.

수입가격이 변하지 않는다고 가정할 경우 국내 침엽수 원목시장에서 균형물량은 모든 기후변화 시나리오에서 감소하는 것으로 나타난 반면, 가격은 모든 기후변화 시나리오에서 상승하는 것으로 나타났다. 또한 균형물량 감소폭이 가격 상승폭보다 작아서 침엽수 생산에서 오는 총 수입은 모든 시나리오에서 증가하는 것으로 나타났다. 수입가격이 변화가 없다면 기후변화 시나리오의 여하에 따라 국산 침엽수 원목생산의 총 수입은 최소 0.94%에서 최대 8.76% 증가하는 것으로 분석되었다.

수입가격이 5% 상승하고 수입 침엽수 원목과 국산침엽수 원목의 대체관계가 미미한 경우 (대체탄성치 0.1), 기후변화가 국산 침엽수 원목의 공급량 변화율에 미치는 효과는 기후변화 시나리오에 따라 최대 0.22%에서 최소 -1.27%가 될 것으로 분석되었다. 반면 국내 시장에서 침엽수 원목의 가격은 모든 기후변화 시나리오에서 상승할 것으로 분석되었는데, 가격 상승률은 최대 11.3%에서 최소 1.81%에 이를 것으로 나타났다. 수입가격이 5% 상승하고 대체탄성치가 0.1인 경우에도 수입가격이 상승하지 않는 경우와 마찬가지로 모든 기후변화 시나리오에서 침엽수 원목생산에서 오는 총 수입의 변화율은 증가하는 것으로 나타났다.

표 12. 국산과 수입산이 불완전 대체관계에 있을 경우 기후변화가 국내 침엽수 원목 시장에 미치는 영향

| 시나리오                      |        | 목재 생산능력 감소 시나리오 | 국산 공급량 변화율 | 가격 변화율 | 국산 원목 생산의 총수입 변화율 |
|---------------------------|--------|-----------------|------------|--------|-------------------|
| 수입가격 '0%' 상승              | 1°C 증가 | 최소              | -0.18%     | 1.12%  | 0.94%             |
|                           |        | 최대              | -0.66%     | 4.18%  | 3.50%             |
|                           | 2°C 증가 | 최소              | -0.35%     | 2.23%  | 1.87%             |
|                           |        | 최대              | -1.12%     | 7.11%  | 5.92%             |
|                           | 3°C 증가 | 최소              | -0.53%     | 3.35%  | 2.80%             |
|                           |        | 최대              | -1.66%     | 10.60% | 8.76%             |
| 수입가격 '5%' 상승<br>대체탄성치=0.1 | 1°C 증가 | 최소              | 0.22%      | 1.81%  | 2.03%             |
|                           |        | 최대              | -0.27%     | 4.88%  | 4.60%             |
|                           | 2°C 증가 | 최소              | 0.04%      | 2.93%  | 2.97%             |
|                           |        | 최대              | -0.73%     | 7.81%  | 7.03%             |
|                           | 3°C 증가 | 최소              | -0.14%     | 4.04%  | 3.90%             |
|                           |        | 최대              | -1.27%     | 11.30% | 9.88%             |
| 수입가격 '5%' 상승<br>대체탄성치=0.3 | 1°C 증가 | 최소              | 1.00%      | 3.21%  | 4.24%             |
|                           |        | 최대              | 0.51%      | 6.28%  | 6.82%             |
|                           | 2°C 증가 | 최소              | 0.82%      | 4.32%  | 5.18%             |
|                           |        | 최대              | 0.05%      | 9.21%  | 9.26%             |
|                           | 3°C 증가 | 최소              | 0.65%      | 5.44%  | 6.12%             |
|                           |        | 최대              | -0.49%     | 12.69% | 12.14%            |

수입가격이 5% 상승하고 국산 침엽수 원목 수요의 수입원목에 대한 대체탄성치가 0.3인 경우, 국산 침엽수 공급량은 기온이 3°C 증가하는 일부 경우를 제외하고 모든 기후변화 시나리오에서 증가하는 것으로 나타났다. 국산 침엽수 원목에 대한 균형가격 역시 상승하는 것으로 나타났는데, 가격 상승률은 최소 3.21%에서 최대 12.69%에 이를 것으로 분석되었다. 국산 원목 생산의 총 수입변화율 역시 모든 기후변화 시나리오에서 증가할 것으로 분석되어 최대 12.14%에서 최소 4.24%에 이르는 것으로 시뮬레이션 되었다.

전반적으로 수입가격이 상승하지 않는 경우에 비해서 수입가격이 5% 상승하는 경우 공급량 감소율이 작게 나타났으며, 국산 침엽수 가격은 더 큰 폭으로 상승하는 것으로 나타났고 그 결과 원목 생산의 총수입변화율 역시 수입가격이 상승할 때 더 큰 폭으로 상승하는 것으로 나타났다. 또한 대체탄성치가 작은 경우에 비해서 대체탄성치가 큰 경우 국산 침엽수 가격 상승률과 침엽수 생산의 총수입 증가율이 더 큰 것으로 시뮬레이션 되었다.

## (2) 활엽수 원목

기후변화의 영향이 국내 활엽수 시장에 미치는 영향을 시뮬레이션한 결과는 <표 13>과 같다. <표 12>의 결과와 마찬가지로 수입가격이 변화가 없는 경우 대체탄성치는 분석결과에 영향을 미치지 못한다. 수입가격이 변하지 않는다고 가정할 경우 국내 활엽수 원목시장에서 균형물량은 모든 기후변화 시나리오에서 감소하는 것으로 나타난 반면, 가격은 모든 기후변화 시나리오에서 상승하는 것으로 나타났으며, 균형물량 감소폭이 가격 상승폭보다 작아서 활엽수 생산에서 오는 총 수입은 모든 시나리오에서 증가하는 것으로 나타났다.

수입가격이 5% 상승하고 수입 활엽수 원목과 국산 활엽수 원목의 대체관계가 미미한 경우(대체탄성치 0.1), 기후변화가 국산 활엽수 원목의 공급량 변화율에 미치는 효과는 기후변화 시나리오에 따라 최대 -4.79%에서 최소 -0.78%가 될 것으로 분석된 반면, 국내 시장에서 활엽수 원목의 가격은 모든 기후변화 시나리오에서 상승할 것으로 분석되었는데, 가격 상승률은 최대 14.6%에서 최소 3.54%에 이를 것으로 나타났다. 또한 모든 기후변화 시나리오에서 침엽수 원목생산에서 오는 총 수입의 변화율은 증가하는 것으로 나타났다.

수입가격이 5% 상승하고 국산 활엽수 원목 수요의 수입원목에 대한 대체탄성치가 0.3인 경우, 국산 활엽수 공급량은 모든 기후변화 시나리오에서 감소하는 것으로 나타

났는데, 공급량 변화율은 최대 -4.59%에서 최소 -0.58%에 이르는 것으로 분석되었다. 국산 활엽수 원목에 대한 균형가격은 상승하는 것으로 나타났는데, 가격 상승률은 최소 5.75%에서 최대 16.81%에 이를 것으로 분석되었다. 국산 원목 생산의 총 수입변화율 역시 모든 기후변화 시나리오에서 증가할 것으로 분석되어 최대 11.46%에서 최소 5.14%에 이르는 것으로 시뮬레이션 되었다.

시뮬레이션 결과 기후변화의 영향은 국내 활엽수 공급량을 감소시키지만, 가격을 보다 큰 폭으로 상승시켜 모든 시나리오에서 국내 활엽수 생산에서 오는 총 수입을 증가시킬 것이라는 점을 시사하고 있다.

표 13. 국산과 수입산이 불완전 대체관계에 있을 경우 기후변화가 국내 활엽수 원목 시장에 미치는 영향

| 시나리오                    |        | 구분           | 국산<br>공급량<br>변화율 | 가격<br>변화율 | 국산 원목<br>생산의<br>총수입<br>변화율 |
|-------------------------|--------|--------------|------------------|-----------|----------------------------|
| 수입가격 0% 상승              | 1°C 증가 | 수종별 면적구성비 감안 | -0.88%           | 2.43%     | 1.53%                      |
|                         |        | 대표수종의 평균값    | -1.76%           | 4.87%     | 3.02%                      |
|                         | 2°C 증가 | 수종별 면적구성비 감안 | -1.92%           | 5.31%     | 3.29%                      |
|                         |        | 대표수종의 평균값    | -3.92%           | 10.84%    | 6.49%                      |
|                         | 3°C 증가 | 수종별 면적구성비 감안 | -2.40%           | 6.64%     | 4.08%                      |
|                         |        | 대표수종의 평균값    | -4.89%           | 13.50%    | 7.95%                      |
| 수입가격 5% 상승<br>대체탄성치=0.1 | 1°C 증가 | 수종별 면적구성비 감안 | -0.78%           | 3.54%     | 2.73%                      |
|                         |        | 대표수종의 평균값    | -1.66%           | 5.97%     | 4.21%                      |
|                         | 2°C 증가 | 수종별 면적구성비 감안 | -1.82%           | 6.42%     | 4.48%                      |
|                         |        | 대표수종의 평균값    | -3.82%           | 11.95%    | 7.67%                      |
|                         | 3°C 증가 | 수종별 면적구성비 감안 | -2.30%           | 7.74%     | 5.26%                      |
|                         |        | 대표수종의 평균값    | -4.79%           | 14.60%    | 9.12%                      |
| 수입가격 5% 상승<br>대체탄성치=0.3 | 1°C 증가 | 수종별 면적구성비 감안 | -0.58%           | 5.75%     | 5.14%                      |
|                         |        | 대표수종의 평균값    | -1.46%           | 8.19%     | 6.60%                      |
|                         | 2°C 증가 | 수종별 면적구성비 감안 | -1.62%           | 8.63%     | 6.86%                      |
|                         |        | 대표수종의 평균값    | -3.63%           | 14.16%    | 10.02%                     |
|                         | 3°C 증가 | 수종별 면적구성비 감안 | -2.10%           | 9.96%     | 7.64%                      |
|                         |        | 대표수종의 평균값    | -4.59%           | 16.81%    | 11.46%                     |

## 5. 요약 및 결론

기후변화는 이미 전 지구적인 관심사가 되었으며, 기후변화가 미치는 영향에 대해 다양한 방법을 통한 사전적 평가가 많이 이루어지고 있다. 산림분야에서도 기후변화가 미치는 여러 가지 영향이 추정되고 있으나, 대부분의 연구는 ‘기후변화가 산림식생대와 산림면적의 변화로 어떻게 귀결되는가’에만 머무르고 그 영향이 어떠한 경제적인 파급 효과를 미치는지에 대해서는 아직까지 연구가 매우 부족한 실정이라고 할 수 있다.

본 논문은 기후변화가 우리나라의 목재시장에 미치는 영향을 활엽수와 침엽수 시장으로 나누어 수입목재와의 대체관계에 대한 시나리오와 기후변화에 따른 목재생산량 변화에 대한 다양한 시나리오를 설정하여 사전적으로 평가하였다. 본 논문의 시뮬레이션 결과에 따르면 기후변화는 원목시장에서 국산목재의 시장 공급량을 감소시키겠지만 목재의 균형가격을 상승시켜 결과적으로 목재 생산에서 오는 총수입을 증대시킬 것이라는 일관된 결론을 보여주고 있다. 이러한 결과는 앞으로 기후변화에 대응한 산림청의 정책방향에 일정한 함의를 준다. 기후변화는 원목생산자들에게 피해를 주는 것이 아니기 때문에 기후변화로 인한 생산자 피해 보전과 같은 정책보다는 국산목재 시장이 기후변화로 축소되지 않도록 시장 여건을 개선할 수 있는 정책이 보다 적극적으로 검토될 필요가 있다. 기후변화로 국산목재의 공급량이 급격하게 축소되지 않도록 관련 기술이나 제도를 마련하는 것이 우선되어야 한다고 할 수 있다.

본 논문에서는 우리나라의 목재시장을 크게 두 종류로 구분하여 기후변화의 영향을 시뮬레이션하였다. 기후변화는 수종에 따라 다양한 영향을 미칠 것이기 때문에 기후변화가 수종별 목재시장에 미치는 영향을 자세하게 평가하는 것 역시 의미있는 작업일 것이다. 보다 자세한 경제적 영향 평가는 향후의 과제로 돌리기로 한다. 또한 본 논문에서는 기후변화 이외에는 다른 경제여건이 변하지 않는 상황을 기본적인 전제로 설정하였기 때문에 분석결과에 대한 해석은 이와 같은 상황을 고려해서 신중한 접근이 필요하다고 하겠다.

### 참고 문헌

- 김의경 등. 2005. 「주요조림수종의 경제성을 고려한 적지판정 GIS모델 개발」. 농림부.  
 김의경, 김형호. 2006. 「적지적수 판정 GIS 응용모델 ver.1.0.」. 지적재산권 NO. 2006-01-183-006734.

- 김재욱, 이동근. 2006. 「지역기후모형을 이용한 산림식생의 취약성 평가에 관한 연구」. 한국환경복원녹화기술학회지 9(5): 32-40.
- 노의래. 1983. 「기상인자에 의한 우리나라 삼림수종의(森林樹種) 생육범위 및 적지적수에 (適地適樹) 관한 연구」. 한국임학회지 62(0): 1-18.
- 이동섭, 정영관. 1986. 「삼림환경인자에 의한 굴참나무입분(林分)의 생산력추정」. 한국임학회지 75(1): 1-18.
- 이동근, 김재욱. 2007. 「한반도 지역의 기후변화에 의한 고산·아고산 식생 취약성 평가」. 한국환경복원녹화기술학회지 10(6): 110-119.
- 임중환, 신준환. 2005. 「지구온난화에 따른 산림식생대 이동과 식물계절 변화」. 자연보존 130: 8-17.
- 전성우, 박용하. 2000. 「기후변화에 따른 생태계 영향평가 및 대응방안: 산림생태계 부문을 중심으로」. 한국환경정책평가연구원.
- 전성우 등. 2001. 「기후변화에 따른 생태계 영향평가 및 대응방안 연구(II)」. 한국환경정책평가연구원.
- 전성우 등. 2002. 「기후변화에 따른 생태계 영향평가 및 대응방안 연구(III): 산림부분을 중심으로」. 한국환경정책평가연구원.
- 정운찬, 김영식. 2008. 「거시경제론」. 제8판. 을국출판사.
- 정주상, 김형호. 2001. 「적지적수 판정을 위한 Neural Network 기법의 응용」. 한국임학회지 90(4): 437-444.
- 주린원 등. 2007. 「산림부분의 추세 및 장기 전망」. 국립산림과학원 연구보고 07-19.
- Andalo, C., Beaulieu, J., Bousquet, J. 2005. "The impact of climate change on growth of local white spruce populations in Québec, Canada." *Forest Ecology and Management* 205(1): 169-182.
- Intergovernmental Panel on Climate Change(IPCC). 2007. *Climate Change 2007 -Mitigation of Climate Change*. 840p.
- Kellomäki, S., Karjalainen, T., Väisänen, H. 1997. "More timber from boreal forests under changing climate?" *Forest Ecology and Management* 94(3): 195-208.
- Lexer, M. J., Hönninger, K., Scheifinger, H., Matulla, Ch., Groll, N., Kromp-Kolb, H., Schadauer, K., Starlinger, F., Englisch, M. 2002. "The sensitivity of Austrian forests to scenarios of climatic change: a large-scale risk assessment based on a modified gap model and forest inventory data." *Forest Ecology and Management* 162(1): 53-72.

|                      |
|----------------------|
| 원고 접수일: 2009년 8월 11일 |
| 원고 심사일: 2009년 8월 20일 |
| 심사 완료일: 2009년 12월 6일 |