

탄소고정효과를 고려한 산림벌기령 분석

민 경 택*

Keywords

기후변화(climate change), 벌기령(forest cutting age), 탄소고정(carbon sequestration), 파우스트만 공식(Faustmann's formula)

Abstract

This paper analyzes an optimal forest cutting age for even-aged forest management of Gangwon pines and Korean pines when the carbon sequestration service of a forest is considered. Carbon price and tax will affect the optimal forest cutting age and the carbon storage in forests. It is shown that inclusion of the benefits from carbon sequestration results in cutting ages a bit longer than when the carbon sequestration service has not value. The optimal cutting age is affected by how to deal with the carbon released after harvesting, which is a key issue of “harvested wood products” in the UNFCCC. The more the carbon contents in harvested wood products are, the shorter the optimal cutting age is. And the supply curve of forest carbon sequestration service is inelastic with carbon price. Therefore it is important to maintain the cycle of harvest and replant in the forest carbon offset scheme.

차례

- | | |
|-----------|---------------|
| 1. 서론 | 4. 분석 결과 및 고찰 |
| 2. 이론적 모형 | 5. 결론 |
| 3. 분석 자료 | |

* 한국농촌경제연구원 부연구위원.

1. 서론

대기 중 온실가스 농도의 증가는 인류가 당면한 가장 큰 환경문제의 하나이다. 화석 연료 이용의 증가로 인한 기후변화에 대응하기 위하여 세계 정상들은 1992년 기후변화협약을 채택하였는데, 2005년 교토의정서가 발효되면서 온실가스 감축을 위한 실질적인 노력이 시작되었다. 산림은 성장과정에서 대기 중 이산화탄소를 흡수하는 역할을 하기 때문에 온실가스 감축에서 중요한 수단으로 주목받고 있다. 특히 최근의 UNFCCC 협상은 산림부문에 집중하고 있는데 세계 온실가스 배출량의 17.4%가 산림, 대부분 개발도상국의 산림전용에서 비롯된다고 알려져 있고(IPCC, 2007), 이를 억제하는 것이 가장 비용효과적인 방법이라고 알려져 있기 때문이다(Stern, 2006).

우리나라는 OECD 국가임에도 산업혁명 시기에 산업 활동을 하지 않았다는 이유로 기후변화협약 의무당사국은 아니다. 그럼에도 한국의 지속적인 경제성장과 에너지 소비량, 높은 에너지 탄성치 등을 이유로 기후변화협약의 의무이행 참가를 강하게 요구받고 있으며, 이는 피하기 어려울 것으로 예상된다. 우리 정부는 이미 2020년까지 전 산업분야에서 배출되는 온실가스량을 30% 줄이기로 발표한 바 있다. 우리나라는 녹색성장기본법에 의거하여 2011년도부터 온실가스 목표관리제를 시행하고 있으며 탄소배출권 거래제의 도입을 검토하고 있다. 탄소배출권 거래제는 당초 2013년 도입 예정이었으나 산업계의 반대로 2015년으로 연기되어 있는 상태이다.

우리나라는 국토의 약 65%가 산림으로 구성되어 있기 때문에 탄소배출량 감축에서 산림의 기능을 적극 활용할 필요가 있다. 우리나라 산림은 약 70%가 사유림으로 구성되어 있어 사유림 소유자들을 참여시키는 메커니즘 마련이 필요하다. 산림경영의 입장에서 보면 목재생산을 중심으로 해 오던 전통적인 임업에서 탄소고정 서비스라는 새로운 가치를 창출할 수 있는 기회가 될 것이다. 이는 사유림 경영자들이 산림경영에 관심을 가지도록 하여 사유림 경영을 활성화할 수 있는 수단으로서 기대를 모으고 있다. 이를 위해 임업경영에 참가하는 산림경영자들의 행태를 분석하는 연구가 필요하다.

이와 관련된 연구는 외국에서 일부 이루어진 바 있지만(van Kooten et al., 1995; Akao, 2008; 田家, 2009) 우리나라에서 산림의 탄소고정 서비스에 착목하여 별기령을 분석한 연구는 많지 않다. 이상민 외(2010, 2011)는 동적임분생장모델과 다이나믹프로그래밍 접근법을 이용하여 산림의 목재생산과 탄소고정을 고려하는 최적의 산림관리 방안을 분석하였다.

이 논문은 우리나라 인공림의 대표 수종인 소나무와 잣나무에 대하여 산림경영의 목

재생산 편익과 탄소 편익을 동시에 고려하였을 때의 최적 벌기령의 변화, 탄소가격 변화에 따른 최적 벌기령의 변화를 분석한 것이다. 분석에는 임업경제학에서 널리 알려진 파우스트만 공식을 응용하였다. 이에 기초하여 산림의 탄소고정 서비스의 공급곡선을 도출하고 그에 따른 시사점을 살펴보았다. 여기에서는 포스트 교토의정서에서 수확후 목제품(harvested wood products)의 탄소계정 반영에 대한 논의가 이어지는 점을 고려하여 이를 모형에 반영하였다. 그러나 숲가꾸기 사업의 실시가 산림 바이오매스에 미치는 효과에 대해서는 신뢰할 만한 수치자료를 입수하지 못하여 이에 대한 영향은 반영하지 못하였다. 이러한 점과 분석에 이용한 기초자료에서 선행연구와 차별성을 갖는다.

2. 이론적 모형

전통적인 산림경영의 목적은 벌기령에 수확가능한 임목을 판매하여 얻을 수 있는 수익을 최대화하는 것이다. 숲의 목재가치는 그 숲이 생산할 수 있는 판매가능 재적에 의해 결정된다. 숲이 생산할 수 있는 임목재적은 임령에 따라 달라지는데 이는 생장함수로 표현된다. 벌기령은 조림부터 수확할 때까지의 기간을 말하는데 수종과 경제여건에 따라 달라진다. 나무를 조림하여 임령이 벌기령에 도달하여 수확한다면 목재생산 편익의 현재가치는 다음과 같이 수식화할 수 있다(Hanley et al., 1997).

$$(1) \quad v_L = pg(T)e^{-rT} - c$$

여기에서 $g(t)$ 는 시간 t 에 따른 임분재적을 나타내는 생장함수이다. 임분재적은 시간에 따라 증가하므로 $g'(t) > 0$ 이고, 어느 시점이 지나면 생장률이 감소하므로 $g''(t) < 0$ 이다. 또, T, p, r, c 는 각각 벌기령, 입목(立木)가격, 할인율, 조림비용을 가리킨다. 입목가격은 임목(林木)판매 가격에서 벌채비용을 제외한 가격이다. 조림과 수확의 순환을 무한히 반복한다면 목재생산의 편익은 다음과 같다.

$$(2) \quad V_L = [pg(T)e^{-rT} - c] [1 + e^{-rT} + (e^{-rT})^2 + \dots] = \frac{pg(T)e^{-rT} - c}{1 - e^{-rT}}$$

이것을 최대화하는 T 가 파우스트만의 벌기령 T_F 이다. 이는 19세기 독일의 임학자 M. Faustmann(1849)에 의해 제안된 것이다. 식(2)를 T 로 미분하면 최대화 1계 조건을 얻을 수 있다.

$$(3) \quad pg'(T) = rpg(T) + r \frac{pg(T)e^{-rT} - c}{1 - e^{-rT}}$$

T_F 는 이 식을 만족시킨다. 여기에서 식(3)의 좌변은 벌채를 연장하여 얻는 한계수익이며, 우변은 벌채로 얻을 수 있는 입목수익을 다른 곳에 투자하였을 때 얻을 수 있는 이자수익과 목재생산편익을 다른 곳에 투자하였을 때 기대할 수 있는 이자수익의 합을 나타낸다. 여기에서 우변의 두 번째 항은 나무와 토지에 고정되어 있는 투자의 기회비용으로 볼 수 있다. 양변을 같게 하는 임령에서 벌채하는 것이 산림경영 수익을 최대화하게 된다.

목재생산에 더하여 산림의 탄소 고정효과를 반영하기 위하여 Hartman(1976)의 이론적 구조를 이용한다. 산림경영자는 산림경영 과정에서 발생하는 탄소고정 서비스를 판매할 수 있으며 입목을 수확하여 대기 중 탄소를 배출할 때에는 탄소세를 지불해야 하는 것으로 가정할 수 있다. 산림의 탄소 고정 효과는 임분의 바이오매스 성장량에 포함된 탄소량으로 설명할 수 있다. 산림이 성장하면서 벌채될 때까지 탄소고정 서비스의 현재가치는 다음과 같이 수식화할 수 있다.

$$(4) \quad v_C = p_c \int_0^T \alpha g'(t) e^{-rt} dt - p_c(1-s)\alpha g(T) e^{-rT}$$

여기에서 $g'(t)$ 는 임분재적의 단위시간당 성장량이다. 각 시점의 탄소고정량은 체적으로 표현되는 산림 바이오매스의 재적성장량에 탄소량 환산 파라미터 α 를 곱하여 구한다. p_c 는 탄소의 가격이다. 식(4)의 우변의 제2항은 벌채에 의해 지금까지 고정된 탄소가 대기 중으로 방출되어 생기는 외부비용이다. s 는 벌채 후 목재·목제품(harvested wood products)에 고정된다고 여겨지는 탄소함량의 비율인데, 벌채에 의해 대기 중으로 방출되는 탄소의 비율은 $(1-s)$ 가 된다. 벌채에 의해 대기 중으로 탄소를 배출하게 되면 탄소세를 지불하게 되는데 이는 $p_c(1-s)\alpha$ 로 나타낼 수 있다. 탄소편익은 목재생산과정에서 부수적으로 발생하는 결합생산물이기 때문에 식(4)에는 조림비용이 포함되어 있지 않다. 식(4)의 우변 제1항을 부분적분(integral by parts)하여 정리하면 다음과 같다.

$$(5) \quad v_C = p_c \alpha s g(T) e^{-rT} + p_c \alpha r \int_0^T g(t) e^{-rt} dt$$

목재생산에 결합생산물인 탄소편익을 더하였을 때 산림경영의 편익은 식(6)과 같다.

$$(6) \quad v = v_L + v_C$$

조림과 수확을 무한히 반복한다면 산림경영의 전체 편익은 식(7)과 같다.

$$(7) \quad V = \frac{v_L + v_C}{1 - e^{-rT}}$$

이것을 최대화하는 별기령 T^* 를 구하면 이것이 목재생산과 탄소고정 서비스를 동시에 고려하는 산림경영의 최적 별기령이 된다. 식(7)을 미분하여 1계 조건을 구하여 정리하면 식(8)과 같다.

$$(8) \quad (p + p_c \alpha s)g'(T) = r(p - p_c \alpha(1 - s))g(T) + rV(T)$$

T^* 는 이를 만족한다. 여기에서 $(p - p_c \alpha(1 - s))$ 는 벌채하였을 때 대기로 배출되는 탄소의 외부비용을 고려한 입목 단위재적의 새도우 가격(shadow price)이라 할 수 있다. 좌변은 벌채를 연장하였을 때 입목가격과 탄소가치로 나타난 한계수익이며, 우변은 벌채를 연장하는 기회비용인데 새도우 가격으로 나타난 입목가치를 투자한 때의 이자와 목재생산편익 및 탄소편익(임지가치)를 투자하였을 때의 이자를 나타낸다. 양변을 같게 하는 임령에서 벌채하는 것이 최적의 선택이 된다. 여기에서 $p_c = 0$ 이라면 이 조건은 식(3)의 파우스트만 별기령 1계 조건과 같아진다. 식(7)이 최대값을 가질 수 있게 하는 2계 조건은 다음과 같다.

$$(9) \quad \frac{\partial^2}{\partial T^2} V = ((p + p_c \alpha s)g''(T^*) - r(p - p_c \alpha(1 - s))g'(T^*)) \frac{e^{-rT^*}}{1 - e^{-rT^*}} < 0$$

이를 정리하면 다음과 같다.

$$(10) \quad (p + p_c \alpha s)g''(T^*) - r(p - p_c \alpha(1 - s))g'(T^*) < 0$$

임분재적 성장함수의 특성에 따라 $g'(T^*) > 0$, $g''(T^*) < 0$ 이므로 식(10)은 임의의 T^* 에 대해서 항상 부(負)가 된다.

3. 분석자료

3.1. 임분생장함수

벌기령 분석에서 가장 중요한 요소는 임분의 재적 성장함수이다. 임분재적은 숲이 임령에 따라 생산할 수 있는 재적을 나타내는데 대개 표준화된 임분수확표를 이용한다. <표 1>은 본 연구의 사례로서 이용하는 강원지방소나무와 잣나무의 지위지수(SI, site index) 18에 해당하는 임분수확표이다.

표 1. 수종별 임분수확표

임령 (년)	강원지방 소나무(SI=18)				잣나무(SI=18)			
	재적 (m ³ /ha)	정기평균 생장량 (m ³)	정기평균 생장율 (%)	연평균 생장량 (m ³ /ha/yr)	재적 (m ³ /ha)	정기평균 생장량 (m ³)	정기평균 생장율 (%)	연평균 생장량 (m ³ /ha/yr)
10	50.7			5.07	25.7			2.57
15	91.0	8.06	11.38	6.06	63.8	7.61	17.00	4.25
20	133.6	8.52	7.59	6.68	105.7	8.39	9.90	5.29
25	176.0	8.48	5.48	7.04	146.7	8.19	6.49	5.87
30	216.7	8.15	4.15	7.22	184.7	7.61	4.60	6.16
35	255.0	7.65	3.24	7.29	219.5	6.94	3.43	6.27
40	290.3	7.07	2.59	7.26	250.9	6.29	2.67	6.27
45	322.6	6.45	2.11	7.17	279.4	5.70	2.15	6.21
50	351.7	5.84	1.73	7.04	305.4	5.20	1.78	6.11
55	378.0	5.25	1.44	6.87	329.2	4.76	1.50	5.99
60	401.4	4.69	1.20	6.69	351.1	4.39	1.29	5.85
65	422.3	4.17	1.01	6.50	371.5	4.07	1.13	5.72
70	440.7	3.68	0.85	6.30	390.5	3.80	1.00	5.58
75	456.8	3.22	0.72	6.09	408.3	3.56	0.89	5.44
80	470.5	2.74	0.59	5.88	425.1	3.35	0.81	5.31

자료: 산림청, 2009. 재적중량표 및 임분수확표

임분재적은 임령에 따라 증가하지만 어느 시점에 도달하면 안정기에 도달하고 그 다음에는 쇠퇴하게 된다. 임령과 임분재적의 관계를 나타내는 성장함수의 함수 형태는 여러 가지가 있지만 이 연구에서는 분석의 편의를 위하여 비교적 단순한 형태의 2차 함수 $g(t) = k + at + bt^2$ 로 하였다. 표의 자료를 이용하여 최소자승법으로 계수를 추정하면 식(11), 식(12)와 같다. 추정결과를 보면 최적벌기령 이하에서 $g'(t) > 0$,

$g''(t) < 0$ 이고, ()안의 t 통계량과 R^2 가 높게 나타나 이 함수는 강원지방소나무와 잣나무의 임분재적 변화를 잘 나타낸다고 볼 수 있다.

$$(11) \quad g(t) = -56.2842 + 10.6868t - 0.0512t^2 \quad (\text{강원지방소나무})$$

$$(-21.90) \quad (82.66) \quad (-36.41) \quad R^2 = 99.99$$

$$(12) \quad g(t) = -68.9583 + 9.7449t - 0.0451t^2 \quad (\text{잣나무})$$

$$(-26.89) \quad (75.53) \quad (-32.17) \quad R^2 = 99.97$$

3.2. 기타 자료

산림 바이오매스의 탄소축적량(C)은 $C = VOL \times D \times BEF \times (1 + R) \times CF$ 에 의해 산정된다. 여기에서 VOL 은 줄기재적(m^3)이다. 기타 계수는 나무의 생물학적 특성에 따라 달라지는데 손영모 외(2008)의 연구결과를 이용하였다. D 는 단위 줄기재적의 건조량을 나타내는 줄기밀도(t/m^3)인데 강원지방소나무는 0.40, 잣나무는 0.43으로 하였다. BEF 는 상업용 재적을 지상부 임목재적으로 환산하는 바이오매스 확장계수인데, 강원지방소나무는 1.49, 잣나무는 1.29로 하였다. R 은 뿌리-지상부 비율인데 강원지방소나무는 0.25, 잣나무는 0.28로 하였다. CF 는 탄소계수인데 전건 목질부내 탄소가 차지하는 비율로서 IPCC가 제안하는 0.5를 사용한다. 강원지방소나무를 예로 들어 VOL 을 임분재적의 성장함수 $g(t)$ 라고 한다면 $\alpha = 0.4 \times 1.49 \times 1.25 \times 0.5 \approx 0.3725$ 이다. 잣나무의 경우는 $\alpha \approx 0.3550$ 이다.

임목 가격은 산불피해액 산정에서 사용하는 산림목 시가표준액을 사용하였는데, 소나무는 m^3 당 62,177원, 잣나무는 28,408원을 적용하였다. 이 가격은 제재용으로 판매되는 중경목 2등급 가격(2010년 10월 기준) 소나무 154,000원/ m^3 , 잣나무 111,000원/ m^3 에 시장가역산법을 적용하여 도출한 것이다. 임목가격은 줄기재적의 이용재적 m^3 당 가격이므로 임목판매수익을 산정할 때는 조재율을 곱하여 주는데, 소나무 85%, 잣나무 79%를 적용하였다.

탄소는 국내에서 거래되는 시장이 없기 때문에 가격자료를 구할 수 없다. 외국의 탄소시장을 살펴보면 2010년 4월 EU 탄소시장에서 CO_2 톤당 CERs는 17달러(14유로), EU배출권은 19.67달러에 거래되고 있다(Tissari, J., 2010). 일본의 자발적 탄소거래시장인 J-VER에서는 산림이 흡수한 탄소가 CO_2 톤당 3,000~10,000엔에 거래되고 있다.

CO₂단위 가격에 44/12를 곱하면 탄소가격을 구할 수 있다. 이에 근거하여 탄소가격을 1만원, 3만원, 5만원, 10만원으로 가정하여 분석에 적용하였다.

조림비용은 산림청에서 제시하는 표준 조림비용고시(2009년)에 따라 소나무는 3,454,543원, 잣나무는 3,793,543원을 적용하였다. 두 수종의 조림비에 차이가 있는 것은 묘목의 가격이 다르기 때문인데, 소나무 조림에는 2년생(1-1묘)을 주로 사용하고 잣나무 조림에는 4년생(2-2묘)을 주로 사용하기 때문이다. 여기에 정부 보조율을 감안하여 자부담 10%만을 조림비용으로 하였다. 분석의 편의를 위하여 산지의 경사도, 도로 접근성 등 경영여건에 따른 할인·할증 요소는 감안하지 않기로 한다. 그리고, 현재가 환산을 위한 할인율은 2009년 임업정책자금 이자율인 3%를 적용하였다.

목제품에 고정되는 탄소함량의 비율(s)은 0.0, 0.5, 1.0의 경우를 가정하였다. 목제품의 탄소함량에 대해서는 여러 가지 접근법이 있지만 현재 교토의정서에서 채택하고 있는 IPCC 기본접근법(default approach)은 수확 후 모두 방출되는 것으로 가정하고 있다. 즉 $s = 0$ 으로 보고 있다. 그러나 산림이 수확 후 방출하는 탄소는 원래 대기중에서 흡수한 탄소이므로 대기 중 탄소량을 증대시키지 않기 때문에 탄소중립적 특성을 가지며, 에너지로 사용할 경우에는 화석연료 사용을 대체하여 탄소배출을 저감시키는 효과를 가지기도 한다. 이러한 특성을 긍정적으로 평가한다면 $s = 1$ 로 볼 수도 있다.

4. 분석 결과 및 고찰

4.1. 최적 벌기령의 선택

산림의 탄소고정 효과를 반영하는 최적 벌기령을 구하기 위하여 목재생산 가치와 탄소 편익을 합한 가치를 현재가로 평가한 식(7)을 이용한다. 여기에 구체적인 성장함수를 대입하면 다음과 같다.

$$(13) \quad V = \frac{1}{1 - e^{-rT}} \left\{ (p + p_c \alpha s)(k + aT + bT^2)e^{-rT} + p_c \alpha r \int_0^T (k + at + bt^2)e^{-rt} dt - c \right\}$$

여기에서 정적분 부분을 부분적분을 이용하여 정리하면 다음과 같다.

$$(14) \int_0^T g(t)e^{-rt} dt = \frac{k}{r} + \frac{a}{r^2} + \frac{2b}{r^3} - \left(\frac{k}{r} + \frac{aT}{r} + \frac{a}{r^2} + \frac{bT^2}{r} + \frac{2bT}{r^2} + \frac{2b}{r^3} \right) e^{-rT}$$

식(13)의 파라미터에 수치를 대입하여 이를 최대화하는 정수의 임령을 최적벌기령 T^* 로 한다. 여기에서 탄소가격(p_c)을 0으로 둘 때의 벌기령은 목재생산 가치만을 최대화하는 파우스트만 최적 벌기령이 된다. <표 2>는 수확 후 목제품에 포함되는 탄소의 비율(s)과 탄소가격을 변화시키면서 분석한 최적 벌기령의 계산결과이다.

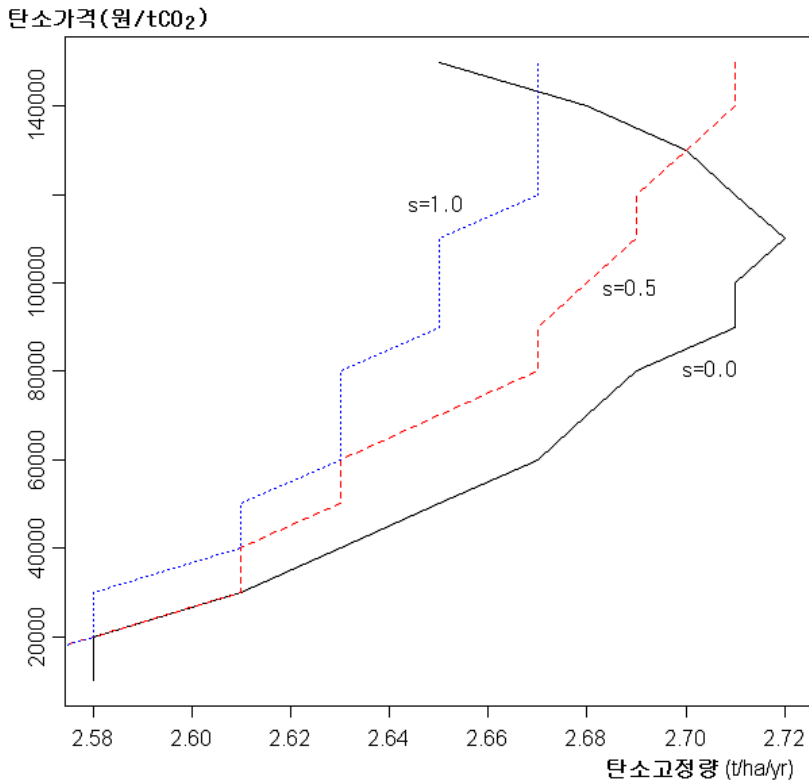
표 2. 최적 벌기령 계산결과

p_c		10,000원	30,000원	50,000원	100,000원	T_F ($p_c = 0$)
소 나 무	$s=0.0$	21	22	24	31	20
	$s=0.5$	20	22	23	26	
	$s=1.0$	20	21	22	24	
잣 나 무	$s=0.0$	27	33	43	-	25
	$s=0.5$	27	30	34	45	
	$s=1.0$	27	29	30	34	

목재생산 편익만을 고려했을 때 벌기령은 소나무 20년, 잣나무 25년이였다. 숲이 제공하는 탄소고정 서비스에 대하여 톤당 5만 원을 지불한다면, 벌기령은 소나무 24년, 잣나무 43년으로 길어진다. 이처럼 산림경영에서 탄소 편익을 포함하였을 때의 최적 벌기령은 목재생산만을 고려하는 파우스트만 벌기령보다 길어지는 것으로 나타났다. 그리고 탄소가격이 높아지면 최적 벌기령은 더욱 길어지는 것으로 나타났다. 여기에서 계산된 벌기령은 이상민 외(2011)의 결과와 다소 차이가 있다. 그 차이는 분석에 사용한 기초 자료와 가정의 차이에서 비롯되는 것으로 생각된다.

만약 수확 후 목제품에 포함되어 있는 탄소를 50% 고정으로 인정해 준다면 벌기령은 소나무 23년, 잣나무 34년이 된다. 100% 고정으로 인정해 준다면 벌기령은 소나무 22년, 잣나무 30년으로 줄어든다. 이처럼 수확 후 목제품의 탄소함량이 높아지면 벌기령은 짧아진다. s 가 1에 가까워지면 산림벌채의 탄소배출에 따른 탄소세 부담이 없어지고 목재수확의 가치가 증가하기 때문이다. 현재 교토의정서 체제에서 목제품의 탄소 고정효과는 인정되지 않는다. 즉, $s = 0$ 이다. 그러나 포스트 교토의정서 논의에서 목제품의 탄소계정 반영 문제가 주요 주제로 다루어지고 있기 때문에 다양한 가정으로 분석하는 것도 의미가 있을 것이다.

그림 1. 탄소고정 서비스의 공급곡선



4.2. 탄소고정 서비스의 공급 곡선

탄소가격이 오르면 벌기령이 길어지고 숲의 탄소고정량도 많아질 것이다. 산림의 탄소고정 서비스의 공급 곡선을 검토하기 위하여 탄소가격 변화에 따른 연평균 탄소고정량을 분석하였다. 탄소고정 서비스의 연평균 공급은 재적 성장량에 탄소함량 전환계수를 곱하고 벌기령으로 나누어 구하였다.

<그림 1>은 강원지방 소나무에 대하여 탄소가격을 변화시켰을 때 산림의 연평균 탄소고정량을 시뮬레이션한 결과로서 탄소고정 서비스의 공급곡선으로 볼 수 있다. 공급곡선이 계단 모양으로 나타난 것은 벌기령이 정수로 나타나기 때문이다. IPCC 기본 접근법에 따른다면($s = 0$), 탄소가격이 5만 원일 때 소나무의 벌기령은 24년이 되고 1ha당 연평균 탄소고정량은 2.65톤이 된다.

탄소가격이 높으면 탄소고정 서비스 공급량도 증가하겠지만 점차 비탄력적이 되어 가격상승에 비하여 탄소고정량은 크게 증가하지 않는다. 뿐만 아니라 지나치게 높은

가격이 부여되면 연평균 탄소고정량은 오히려 감소할 수도 있음을 보여준다. 이것은 숲의 탄소고정기능이 유행림에서 잘 발휘되기 때문이다. 따라서 산림의 탄소배출권에 대해서 지나치게 높은 가격을 부여하는 것은 숲의 장별기 경영을 유도하게 되며 이는 숲의 탄소고정 기능 증진에는 적절하지 않음을 시사한다.

수확 후 목제품의 탄소함량이 높으면 공급곡선은 더욱 비탄력적이 된다. s 가 1에 가까워지면 수확의 탄소배출에 의한 탄소세 부담이 적어지고 상대적으로 목재수확의 가치가 증가하기 때문에 탄소고정 서비스 공급에 대한 관심은 낮아지기 때문이다.

5. 결 론

기후변화 대응은 인류의 과제가 되고 있으며 이에 따른 산림의 역할도 점차 중요해지고 있다. 산림정책의 추진에서도 기후변화 대응을 위하여 숲가꾸기 사업 등은 증가하고 있지만 산림소유자들의 산림경영을 유인하는 정책은 아직 마련되지 않는 것으로 보여진다.

건강한 산림관리를 위해서는 조림 이후에도 어린나무 가꾸기, 숲가꾸기 등을 실행해야 한다. 이러한 작업들은 조림 후 10년 이내에 해야 하지만 투자 수익이라 할 수 있는 벌채수익은 적어도 수십 년 뒤에 발생하게 된다. 그 사이의 위험부담과 가격변화를 고려한다면 산림소유자의 수익을 평가는 매우 낮아진다. 이것이 임업경영을 어렵게 하고 산림소유자의 경영의욕을 약화시키는 요소이다. 숲의 탄소고정 편익을 산림경영에 내부화하게 되면 장기간 산림을 보유하면서 적지만 매년 수익을 올릴 수 있게 된다. 이것은 산림소유자들이 산림경영에 관심을 갖도록 유도하는 인센티브가 될 것이다. 일본의 J-VER을 비롯하여 선진국에서 행하여지는 자발적인 탄소 오프셋 제도 등이 그 사례라고 할 수 있다. 우리나라가 기후변화협약의 의무당사국이 되고 탄소거래시장이 조성된다면 이러한 제도를 산림경영에 활용할 수 있는 방안이 필요할 것이다.

산림부문의 탄소 오프셋 제도를 도입하면 탄소가격에 따라 산림경영자의 별기령 선택은 달라진다. 탄소 가격이 비싸게 형성되면 별기령은 길어질 것이다. 그러나 탄소공급곡선이 비탄력적인 특성을 가지기 때문에 탄소 가격이 높아도 탄소고정 서비스의 공급은 크게 증가하지 않는다는 점에 유의해야 한다. 이뿐만 아니라 지나치게 높은 탄소 가격은 오히려 연평균 탄소고정 서비스의 공급을 감소시키기도 한다. 이는 산림의 탄소고정 기능이 유행림에서 더욱 발휘되기 때문이다. 따라서 산림의 탄소 오프셋 제도

를 도입한다면 적절한 수확과 재조림의 사이클을 유지하도록 가격형성을 조장하는 것이 중요하다.

참고 문헌

- 산림청. 2009. 「재적증량표 및 임분수확표」.
- 손영모 등. 2008. 「산림부문 온실가스 흡수·배출계수 관리 방안」. 연구보고 08-11. 국립산림과학원.
- 이상민, 김정덕, 송성환. 2010. 「기후변화협약에 대응한 산림의 역할과 관리 최적화 방안」. R607. 한국농촌경제연구원.
- 이상민, 김정덕, 송성환. 2011. “탄소가치를 고려한 산림관리 최적화 방안.” 농촌경제34(4): 59-81.
- 田家邦明. 2009. “森林のCO₂吸収と伐期齡”. 「林業經濟」 62(9):1-16. 林業經濟研究所.
- Akao, K. 2008. “Optimal forest program when the carbon sequestration service of a forest has value.” <<http://www.accessecon.com/pubs/PET08/PET08-08-00062S.pdf>>.
- Faustmann, M. 1849. “Calculation of the value which forest land and immature stands possess for forestry.” In 1995. *Journal of Forest Economics* 1(1): 7-44. Umea Forest University Press.
- Hanley, N., Shogren, J.F. and White, B. 1997. *Environmental Economics in Theory and Practice*, pp. 335-355. Oxford University Press.
- Hartman, R. 1976. “The harvesting decision when a standing forest has value.” *Economic Inquiry* 14: 52-58.
- IPCC. 2007. *Fourth assesment report, climate change 2007. Synthesis report: summary for policymakers*. <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_spm.pdf>.
- Stern, N. 2006. *Review on the Economics of Climate Change*. <www.kemco.or.kr/up_load/weather/pds/Stern%20Review%20Report.pdf>.
- Tissari, J. 2010. “Tumultuous year for emitters but carbon markets grow: Forest sector carbon markets, 2009-2010.” *Forest Products Annual Market Review 2009-2010*. Geneva Timber and Forest Study Paper 25. United Nations.
- van Kooten, G.C., Binkley, C.S. and Delcourt, G. 1995. “Effect of Carbon Taxes and Subsidies on Optimal Forest Rotation Age and Supply of Carbon Services.” *American Journal of Agricultural Economics* 77(2): 365-374.

원고 접수일: 2011년 9월 15일

원고 심사일: 2011년 10월 1일

심사 완료일: 2011년 11월 10일