

고정조사구 자료를 이용한 임분생장 해석 및 탄소흡수·저장량 평가¹

권순덕 · 손영모 · 이경학 · 정세경 · 김종명

Stand Growth Analysis and Carbon Storage/Removals Assesment using the Data of Forest Growth Monitoring Plots¹

Soon Duk Kwon, Yeong Mo Son, Kyeong Hak Lee, Se Kung Chong
and Jung Myeong Kim

요 약

본 연구는 강원도 홍천군 운두령 일대에 설치된 잣나무 등 6개소 생장고정조사구를 대상으로 생장변화를 구명하고, 탄소저장량 및 흡수량을 산정하여 운두령 산림관리에 기초적인 자료를 제공하고자 하였다. 임분생장변화는 유령림인 잣나무와 낙엽송 임분에서 연년수고생장과 흉고직경생장이 점진적으로 진행되었으며, 그 외 임분은 이들보다는 생장율이 낮은 것으로 나타났다. 직경급 분포 및 직경변화 예측에 있어서 신갈나무와 혼효림에서의 직경급분포는 현재와 유사할 것으로 예측되며, 잣나무와 낙엽송 등은 유령림인 관계로 비대생장 속도가 빨라 대다수의 현재 직경급이 상위경급으로 이동할 것이 예측되었다. 2003년도말 현재 운두령 모델림내의 총탄소량은 전년에 비해 2.7%인 149,000탄소톤 증가하였으며, 임상별로 보면 활엽수가 50%, 혼효림 34%, 침엽수림 16% 순이었다. 2003년도 한 해 동안 산림의 생장에 의해 흡수·저장한 총탄소량은 156,813탄소톤이며, 순탄소흡수량은 148,664탄소톤으로 전년 대비 2.613탄소톤(1.8%)이 증가하였다. 임상별로는 침엽수림(3.3%), 혼효림(3.1%), 활엽수림(2.8%) 순으로 나타났다. 결과적으로 운두령모델림은 온실가스 측면에서 볼 때 순흡수원으로 작용하고 있으며, 그 순흡수량도 최근 조금씩 늘어나고 있는 경향을 보이고 있다.

ABSTRACT

This study looked into the change of tree growth of seven forest growth monitoring plots which were set up at the Undulyeong Hongchungun Kangwondo, and was accomplished to offer the basic data for the forest administration calculating carbon storage and removal in the Undulyeong area. Annual height and DBH growth were slowly progressed in the *Pinus koraiensis* and *Larix kaempferi* stand which was young stand, but the growth rate of the other

stands was lower than those young stand. The diameter class of the mixed forest and *Quercus mongolica* stand was predicted to be similar to the now and *Pinus koraiensis* and *Larix kaempferi* stand was predicted to move now diameter class to the high diameter class because thickening growth speed of the those stands were rapid. Now the end of 2003, total carbon storage of the Undulyeong model forest increased 149,000TC(2.7%) compared with the previous year. Seeing by forest types, occupied broad-leaved forest(50%), mixed forest(34%) and coniferous forest. During in 2003, total carbon which was removed and stored according to growth of the forest was 156,813TC and net carbon removal(148,664TC) increased into 2,613TC(1.8%) compared with the previous year. Seeing by forest types, occupied coniferous forest(3.3%), mixed forest(3.1%), broad-leaved forest(2.8%). Resultingly, the Undulyeong model forest is acting to net removal resource when see as green-gas side and net carbon removal are showing the tendency to increase recently little by little.

Keywords : stand growth analysis, carbon storage/removal assesment, forest growth monitoring.

서 론

산림에 있어 임목생산량, 임분 동태변화, 장래 수확량 예측, 성장모델 개발 등은 임업경영과 시업 의사결정을 위해서는 필수불가결한 것이며, 이를 위한 바탕이 성장모니터링 표준지이다. 이곳에서의 정기적인 그리고 장기적인 모니터링은 현실 산림의 파악뿐만 아니라 미래 산림의 변화를 예측하는 근간이 되므로 극히 중요한 일이다. 그러나 우리나라의 국가차원에서 관리하는 성장고정조사구는 국립산림과학원에서 관리하는 영구성장표준지 40여개소와 생태 관련 일부 고정조사구가 전부이며, 일부 대학에서 극소수가 운영되고 있는 실정이다.

고정조사구의 효과적인 설치 및 관리를 위해서는 국가차원에서 하나의 별도 시스템을 구축해야 할 필요가 있다. 여기서 말하는 시스템이란 컴퓨터 시스템 등으로 연상되는 간단한 조사설계나 데이터의 처리 등 협의의 내용이 아닌 조직 등 까지를 포함하는 보다 넓은 의미를 갖는다. 우리 현실에서 새롭게 성장에 대한 모니터링을 실시하기 위하여는 이를 전담하는 조직이 필요하지만, 이것이 여건상 채

택될 수 없다면 다른 몇 가지 방안이 있다. 그중 하나가 국유림관리소를 이용하는 것이다. 이들 관할구역 내에 설치되는 고정조사구는 해당 관리소가 책임지고 조사하며, 조사된 자료는 Web상에서 입력하고, 이를 분석팀에서는 분석 및 결과 도출을 하며, 결과물은 다시 현지로 돌려보내는 일종의 feedback 시스템을 결성하는 것이다. 일선 관리소가 이런 역할을 할 수 없다면 지역에 있는 대학의 산림관련 학과에 위탁하는 방안도 고려해 볼만 하다. 물론 이러한 조직을 일사분란하게 설치, 운영함은 쉬운 일이 아닐 것이다. 그러나 발상의 전환이 요구되고 있고 행정계통에서 이를 받아들여 지혜를 모음으로서 가능할 것이다. 이렇게 고정조사구를 설치, 관리함으로써 산림에 관한 많은 정보가 획득될 것이며, 이 정보는 반드시 공개하여 누구라도 열람하거나 이용하여야 할 것이다. 21세기에는 정보공개나 주민참여가 한층 더 활발하게 될 것이므로 공용재로서의 측면을 가진 산림에 대한 관심도 당연히 높아질 것이다. 산림에 관한 객관적인 정보를 제공하는 것은 국가 산림 모니터링에 맡겨진 궁극적인 사명이라 볼 수 있다.

본 연구는 강원도 홍천군 운두령 일대에 설

치된 잣나무 등 6개소 성장고정조사구를 대상으로 성장변화를 구명하고자 하였으며, 또한 탄소저장량 및 흡수량을 산정하여 운두령 산림관리에 기초적인 자료를 제공하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 공시재료

분석에 이용된 재료는 2001년 설치된 강원도 홍천군 운두령 지역에 설치된 잣나무, 소나무, 낙엽송, 자작나무, 신갈나무 및 활엽수혼효림 고정조사구에서의 생장시작 시점에서 매목조사된 자료를 이용하였으며, 경시적인 생장변화와 탄소저장 및 흡수량 산정에 이용하였다.

2. 분석방법

성장고정조사구 설치 시점인 2001년부터 현재까지의 임분생장 및 임분구조 변화 구명 및 예측을 위하여 stand table projection 법을 이용하였으며, 분석 결과로서 경급변화 분포도를 도식화하였다. 그리고 탄소저장량 및 흡수량 산정은 축적량에 목재기본밀도(수종, 침, 활에 따라 다름), 바이오매스확장계수(침, 활에 따라 다름), 탄소변환계수(0.5) 을 적용시켜 구하였다.^(1,6,9,10,11,12)

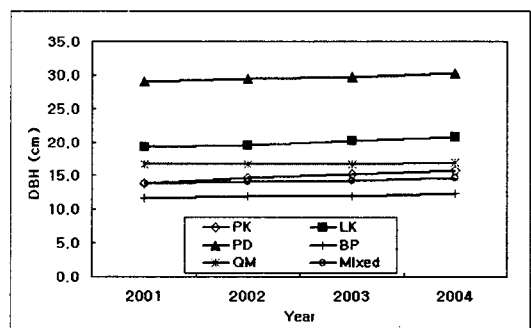
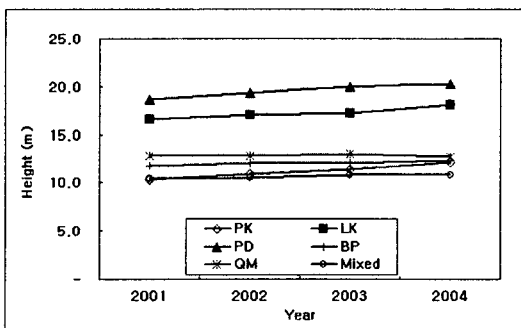
결과 및 고찰

1. 임분생장 변화

운두령 임목생장 고정조사구에서의 연년 수

Table 1. General description of the forest growth monitoring plots.

Plots	Area (ha)	Position(coordinates)	Aspect	Slope	Topography	Shape
Pinus koraiensis	0.04	N 37.42.05.8, E128.25.57.8	52°	34°	Hillside	Flat
Larix kaempferi	0.04	N 37.42.04.8, E128.25.32.4	85°	40°	//	//
Pinus densiflora	0.09	N 37.42.44.4, E128.25.40.4	262°	18°	//	//
Betula platyphylla	0.04	N 37.42.08.9, E128.26.03.5	10°	14°	//	//
Quercus monglica	0.04	N 37.41.42.3, E128.19.51.0	215°	37°	//	//
Broadleaved forest	0.04	N 37.41.30.3, E128.19.41.2	30°	35°	//	//



(A) Height growth by year

(B) Diameter growth by year

(* PK : Pinus koraiensis, LK:Larix kaempferi, PD:Pinus densiflora, BP:Betula platyphylla, QM : Quercus monglica, Mixed:Broadleaved forest)

Figure 1. Comparison of height and diameter growth according to species and year.

고 생장은 유령림인 잣나무와 낙엽송에서 생장이 점진적으로 진행됨을 알 수 있고, 그 외 수종은 생장이 거의 이루어지지 않거나, 신갈나무의 경우 임분내 고사목 발생 등으로 전체 임분단위로 볼 때는 감소하는 것으로 나타나고 있다. 흉고직경 생장 역시 잣나무와 낙엽송 임분에서 생장이 점진적으로 되고 있으며, 그 외 임분은 이들보다는 생장율이 낮은 것으로 나타났다(Figure 1).

2. 임분구조 변화 예측

임목생장 고정조사구에서의 현재 임분경급 구조와 이들 임분이 어떻게 변화할 것인지 지를 구명하는 것은 산림 시업 및 경영에 있어 아주 중요한 일이다. 따라서 이를 예측하기 위한 방법중 하나가 임분표 예측(stand table

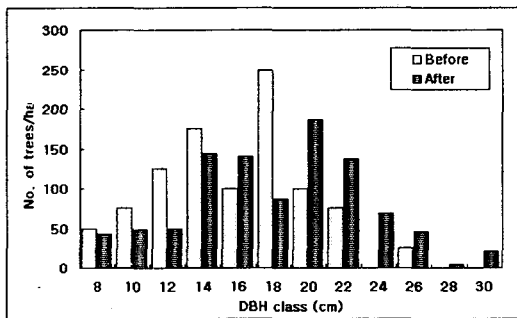
projection) 모델에 의한 방법이다. 이 방법에서 가장 중요한 것이 생장지수율을 구하는 것인데, 생장지수율이란 과거 조사에서는 일정 직경급에 이르지 못하였다가 최근 조사시 조사되어 분석에 이용되는 진계생장량(ingrowth)을 구하거나, 일정 직경급에서 상위로 이동되는 상위생장량(upgrowth)을 구하기 위하여 계산되는 것으로서 보통 다음과 같이 표기된다(Davis, 1987; Knowe, 1997; Nepal & Somers, 1992, 손영모 등, 2006).

$$\text{Movement ratio } (M) = \frac{g}{i} \times 100$$

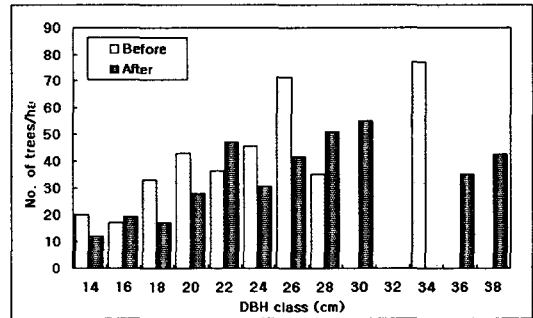
where, g = Diameter growth in the survey period

i = Diameter class section(rounding off)

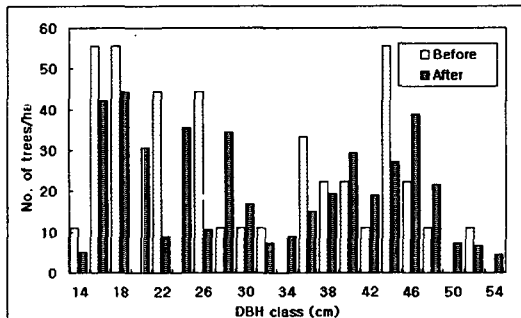
이로서 경급이 어느 정도 이동할 것인지 지를



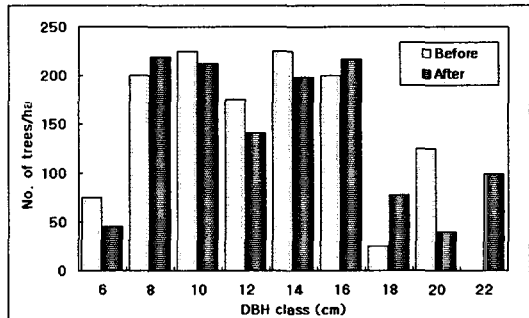
(A) Pinus koraiensis stands



(B) Larix kaempferi stands



(C) Pinus densiflora stands



(D) Betula platyphylla stands

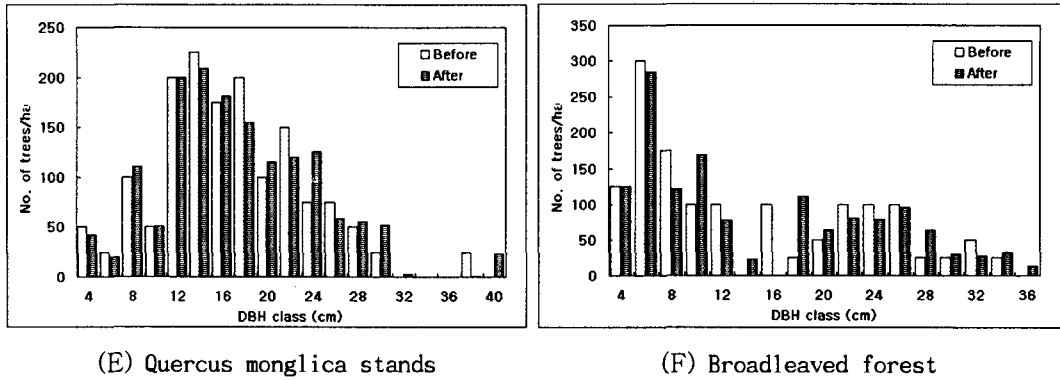


Figure 2. Transformation of the diameter class by species.

몇 단계를 거쳐 알 수 있으며, 다소 복잡하지만, 직경분포 모델로 많은 사용 빈도를 보이고 있다. 이 모델에 의하여 Figure 2와 같이 각 임분별 경급분포 변화를 예측하였다.

각 고정조사구별로 직경급 분포는 다양하며, 경급 이동도 차이가 있는 것으로 나타났다. 즉, 신갈나무와 혼효림에서의 직경급분포 이동은 그다지 차이가 없을 것으로 예측되며, 잣나무, 낙엽송 등은 유령림인 관계로 비대성장 속도가 빠름을 유추할 수 있다. 따라서 상위 경급으로의 이동율이 높으며, 이 의미는 결국 경급별 성장지수율이 높다고 말할 수 있다.

성장율은 잣나무 6.25% > 낙엽송 4.43% > 자작나무 2.70% 순이었으며, 나머지 수종은 모두 2% 미만의 성장율을 갖는 것으로 나타났다.

3. 탄소저장량 및 흡수량

3.1 임분 탄소저장량

2003년도말 현재 운두령 모델림(102.613ha) 내의 식생(교목)에 저장되어 있는 총탄소량은 5,668천 탄소톤으로 전년도에 비해 2.7%인 149천 탄소톤 증가하였다. 이를 임상별로 보면 활엽수가 50%를 차지하여 가장 많고, 그 다음으로 혼효림 34%, 침엽수림 16% 순이었다.

3.2 운두령 모델림에서의 고정조사구의 탄소 수지

2003년도 한 해 동안 운두령 모델림에서 산림(교목)이 성장에 의해 흡수저장한 총탄소량은 156,813탄소톤이며, 이 중 5.2%인 8,148탄소톤이 벌채로 인하여 배출된 것으로 나타났다. 결과적

Table 2. Carbon pool by forest types of the Undulyeong model forest.

Classification	Forest type	Years					
		1999	2000	2001	2002	2003	
Carbon removals (1,000TC)	Coniferous forest	808	832	858	882	906	16%
	Broad-leaved forest	2,533	2,600	2,669	2,739	2,810	50%
	Mixed forest	1,748	1,796	1,847	1,899	1,952	34%
	Total	5,089	5,228	5,373	5,519	5,668	100%

으로 운두령 모델림은 148,664탄소톤의 탄소를 순흡수하였으며, 이는 전년도에 비해 1.8%인 2.613탄소톤 더 늘어난 것이다. 이를 임상별로 보면 침엽수림에서 가장 많은 3.3%를 흡수하였으며, 그 다음이 혼효림과 활엽수의 순으로 각각 3.1%와 2.8%를 나타내었다. 결과적으로 운두령 모델림은 온실가스 측면에서 볼 때 순흡수원으로 작용하고 있으며, 그 순흡수량도 최근 조금씩 늘어나고 있는 경향을 보이고 있다.

3.3 운두령 고정조사구의 단위면적당 축적 및 탄소저장량 (교목)

각 고정조사구의 단위면적(ha)당 2003년말 현재 탄소저장량은 활엽수 천연림인 신갈나무가 151.1탄소톤으로 가장 많고 그 다음이 소나무, 활엽수 혼효림 순이었다. 임령이 이 보다 어린 인공림들은 아직 적은 탄소저장량을 보였으며, 그 중에서도 잣나무가 가장 적은 37.6탄소톤을 나타내었다. 그러나 실제 탄소증

Table 3. Carbon flux by forest types of the Undulyeong model forest.

Classification	Forest type	Years					
		1999	2000	2001	2002	2003	
Total removals (TC)	Coniferous forest	25,420	26,268	27,156	28,125	29,055	3.3%
	Broad-leaved forest	66,021	67,894	69,827	71,840	73,883	2.8%
	Mixed forest	47,720	49,182	50,694	52,263	53,874	3.1%
	Total	139,162	143,343	147,677	152,228	156,813	
Carbon emission (TC)	Coniferous forest	2,847	2,651	1,295	3,687	4,864	31.9%
	Broad-leaved forest	1,422	1,324	647	1,842	2,429	31.9%
	Mixed forest	500	466	228	648	855	31.9%
	Total	4,770	4,441	2,169	6,177	8,148	
Net carbon removal (TC)	Coniferous forest	22,573	23,616	25,861	24,438	24,192	-1.0%
	Broad-leaved forest	64,599	66,570	69,181	69,998	71,453	2.1%
	Mixed forest	47,220	48,716	50,466	51,615	53,019	2.7%
	Total	134,392	138,902	145,508	146,051	148,664	

Table 4. Carbon removals and emission by species of the forest growth monitoring plots

Species	Total volume		Carbon removals			Net removals
	2002	2003	2002	2003	Increase rate	2003
<i>Pinus koraiensis</i>	100.6	113.7	33.2	37.6	13.0%	4.3
<i>Larix kaempferi</i>	193.6	208.7	81.5	87.9	7.8%	6.3
<i>Pinus densiflora</i>	288.9	306.2	95.4	101.1	6.0%	5.7
<i>Betula platyphylla</i>	108.0	111.7	52.0	53.8	3.4%	1.8
<i>Quercus monglica</i>	259.4	254.6	154.0	151.1	-1.9%	-2.9
Broadleaved forest	195.7	201.4	92.6	95.3	2.9%	2.7

가을을 보면 아직 어린 인공림인 잣나무, 자작나무가 13.0%, 낙엽송이 7.8%로 높았으며, 천연림중에서는 소나무가 6.0%로 비교적 높은 반면, 활엽수 천연림인 활엽수혼효림에서 2.9%를 나타내었고, 신갈나무는 2003년은 거의 생장이 이루어지지 않았고, 또한 일부 임목이 고사하는 일이 발생하여 오히려 전년대비 흡수능력이 감소한 것으로 나타났다. 절대적인 탄소흡수량에 있어서는 낙엽송이 6.3탄소톤으로 가장 많았고, 그 다음이 소나무 5.7탄소톤, 자작나무 4.3탄소톤 순이었다.

결론

강원도 홍천군 운두령 지역에 지속가능한 산림경영 측정모니터링 체계 구축을 위하여 설치한 잣나무 등 6개 고정조사구의 주기별(연년) 성장량과 탄소 흡수 및 저장량을 구명하기 위하여 본 연구가 수행되었는 바, 결과는 다음과 같다.

연년 수고 생장은 유령림인 잣나무와 낙엽송에서 생장이 점진적으로 진행됨을 알 수 있고, 그 외 수종은 생장이 거의 이루어지지 않았으며, 흉고직경 성장 역시 잣나무와 낙엽송 임분에서 생장이 점진적으로 이루어 지고 있으며, 그 외 임분은 이들보다는 성장율이 낮은 것으로 나타났다.

고정조사구별로 현 직경급 분포 및 직경변화 예측에 있어서는 신갈나무와 혼효림에서의 직경급분포는 현재와 유사할 것으로 예측되며, 잣나무, 낙엽송 등은 유령림인 관계로 비대성장 속도가 빨라 대다수의 현재 직경급이 상위경급으로 이동할 것이 예측되었다.

2003년도말 현재 운두령 모델림(102,613ha) 내의 식생에 저장되어 있는 총탄소량은 5,668천 탄소톤으로 전년도에 비해 2.7%인 149천 탄소톤 증가하였다. 이를 임상별로 보면 활엽수가 50%를 차지하여 가장 많고, 그 다음으로 혼효림 34%, 침엽수림 16% 순이었다. 2003년

도 한 해 동안 운두령 모델림에서 산림이 생장에 의해 흡수저장한 총탄소량은 156,813탄소톤이며, 이 중 5.2%인 8,148탄소톤이 벌채로 인하여 배출된 것으로 나타났다. 운두령 모델림에서의 순 탄소흡수량은 148,664탄소톤이었으며, 전년 대비 2.613탄소톤(1.8%) 더 늘어난 것이다. 임상별로 구분하여 보면 침엽수림에서 가장 많은 3.3%를 흡수하였으며, 그 다음이 혼효림과 활엽수의 순으로 각각 3.1%와 2.8%를 나타내었다. 결과적으로 운두령모델림은 온실가스 측면에서 볼 때 순흡수원으로 작용하고 있으며, 그 순흡수량도 최근 조금씩 늘어나고 있는 경향을 보이고 있다. 수종별 각 고정조사구의 단위면적(ha)당 2003년말 현재 탄소저장량은 신갈나무가 151.1탄소톤으로 가장 많고 그 다음이 소나무, 활엽수 혼효림 순이었다. 임령이 어린 인공림들은 아직 적은 탄소저장량을 보였으며, 그 중에서도 잣나무가 가장 적은 37.6탄소톤을 나타내었다. 그러나 실제 탄소증가율을 보면 아직 어린 인공림인 잣나무, 자작나무가 13.0%, 낙엽송이 7.8%로 높았으며, 활엽수혼효림에서 2.9%를 나타내었고, 신갈나무는 2003년은 거의 생장이 이루어지지 않았고, 오히려 일부 임목이 고사하는 일이 발생하여 전년대비 흡수능력이 감소한 것으로 나타났다. 절대적인 탄소흡수량에 있어서는 낙엽송이 6.3탄소톤으로 가장 많았고, 그 다음이 소나무 5.7탄소톤, 자작나무 4.3탄소톤 순이었다.

산림내 고정으로 설치된 성장모니터링구의 활용성은 무한히 많음을 서두에서 밝힌 바 있다. 국내 열악한 산림경제 여건이나 연구 노동력으로 많은 수의 고정조사구를 설치하는 일은 어려운 현실일 것이다. 그러나 연구사업에서 발생하는 조사구를 연구 종결 후 방치하지 말고, 새롭게 이용할 수 있는 방안을 찾아야 할 것이며, 하나의 조사구를 설치하기 위해서는 많은 인력과 경비가 소요됨을 잊어서는 안 될 것이다.

인용 문헌

1. Aldred, A.H. and I.S. Alemdag. 1988. Guidelines for forest biomass inventory. Can. For. Serv., Petawawa Nat. For. Inst., Inf. Rep. PI-X-77. 134pp.
2. Davis, L.S. and K.N. Johnson. 1987. Forest management. McGraw-Hill Co. New York.
3. Knowe, S.A. G.R. Ahrens and D.S. DeBell. 1997. Comparison of diameter distribution prediction, stand table projection and individual tree growth modeling approaches for young red alder plantations. For. Ecol. Manage. 98:49-60.
4. Nepal, S.K. and G.L. Somers. 1992. A generalized approach to stand table projection. For. Sci. 38(1):120-133.
5. Pienaar, L.V. and W.M. Harrison. 1988. A stand table projection approach to yield prediction in unthinned even-aged stands. For. Sci. 34(3):804-808.
6. 김규현 외 11. 1998. 산림의 온실가스 저감방안. 임업연구원 연구자료 제143호. 205p.
7. 손영모 외 6. 2000. Stand Table Projection 을 이용한 영구표준지의 성장량 추정. 한국임학회 정기 학술발표대회(고려대학교).
8. 손영모 외 7. 2000. 고정수확시험지에서의 임분성장량 추정 및 정도비교-Stand table projection 및 기타 성장식 이용-. 한국임학회 하계 학술발표대회(대구대학교).
9. 손영모, 이경학, 정영교. 2001. 인제지역 73년생 강원지방소나무임분의 Biomass 추정. 한국산림측정학회지 4(1):8-14
10. 이경학, 정영교, 손영모. 1998. 경기도 포천지방 35년생 잣나무인공림의 바이오매스에 관한 연구. 한국산림측정학회지 1(1): 61-68.
11. 이경학, 손영모, 김영수. 2001. 임업 및 토지이용부문의 온실가스 흡수 및 배출 현황. 임산에너지 20(1):53-61.
12. 이경학 외 5. 2003. 임업부문의 기후변화 협약 국가보고서 작성. 임업연구원 연구자료 제211호. 193p.