

미이용 산림바이오매스 공급에 있어 수확벌채의 원목 혼입량 추정

양지윤¹⁾ · 이재정²⁾ · 정한섭³⁾ · 한상훈⁴⁾ · 이수민^{5)*}

Estimation of the Amount of Round Wood in Unused Forest Biomass Reporting in Forest Clearing

Jiyeon Yang¹⁾ · Jaejung Lee²⁾ · Hanseob Jeong³⁾ · Sang Hun Han⁴⁾ · Soo Min Lee^{5)*}

Received 14 November 2022 Revised 14 December 2022 Accepted 20 December 2022

ABSTRACT To respond to global warming, there is an increasing interest in eco-friendly alternative energy sources. Therefore, unused forest biomass that has been neglected due to a lack of marketability is attracting attention. With the introduction of the “unused forest biomass certification system” in 2019, ways of determining quantity of unused forest biomass have steadily increased. However, there have been reported cases whereby unused forest biomass weighed more than the amount of harvested trees. It was found that it was possible that forest resources that can be used as round wood were mixed with unused forest biomass. In this context, this study aimed to estimate the amount of mixed round wood in the unused forest biomass supply. The relative expression of growing stock/ha versus the amount of final clearing/ha collected was modeled ($y=1.490x-94.341$, $R^2=0.861$). As a result, it was found that round wood was mixed into the unused forest biomass, contributing to the disparity observed between the weighted forest biomass and the amount of trees harvested. In conclusion, proper declaration and certification procedures should be carried out for the use of forest resources and promoting unused forest biomass usage.

Key words Unused forest biomass(미이용 산림바이오매스), Round wood(원목), Final clearing(주벌)

1. 서론

갈수록 심각해지는 기후변화에 대응하기 위해 온실가스

배출을 줄이는 다양한 노력을 하고 있다. 특히, 화석연료를 대체할 수 있는 친환경 대체 에너지원에 대한 관심이 고조되고 있다.^[1] 이 중 재생가능하며, 지속적으로 이용 가능한 에너지원으로 산림바이오매스에 대한 관심이 높아지고 있다. 산림바이오매스는 화석연료보다 단위 에너지당 훨씬 낮은 탄소를 배출한다고 알려졌다.^[2] 이러한 산림바이오매스를 활용하여 산림 탄소축적량을 체계적으로 변화시켜 화석연료를 대체한다면 기후변화 완화에 기여할 수 있을 것이다.^[3]

산림청은 목재의 생산과 지속 가능한 경영을 위하여 목재 수확 시 ‘산림자원의 조성 및 관리에 관한 법률’ 시행규칙 제44조에서 정한 기준과 절차에 따르도록 하고 있으며, 벌채구역 및 벌채 예정수량 조사서 등의 서류를 작성하고

1) Doctor Research Associate, Forest Industrial Materials Division, National Institute of Forest Science

2) Research Scientist, Forest Industrial Materials Division, National Institute of Forest Science

3) Research Scientist, Forest Industrial Materials Division, National Institute of Forest Science

4) Senior Staff, Wood Products Quality Management Division, Korea Forestry Promotion Institute

5) Senior Researcher, Forest Industrial Materials Division, National Institute of Forest Science

*Corresponding author: lesoomin@korea.kr

Tel: +82-2-961-2742

Fax: +82-2-961-2769

산림청 및 지자체로부터 허가를 득하도록 하고 있다. 별채된 목재는 원목으로 활용이 가능한지 선별작업이 이루어지며, 이는 산림청 고시 제2018-90호 '원목규격고시'에 따른다.^[4] 원목이란 '목재의 지속가능한 이용에 관한 법률' 제2조 제1의 2호에서 정하는 목재를 말한다. 이 외의 부분은 숲 내에 방치되고 있다.

산림청에서는 산림경영 활동 등으로 발생한 부산물 중 원목 규격에 못 미치거나 수집이 어려워 이용이 원활하지 않은 산물을 '미이용 산림바이오매스'라 정의하고 있으며, 7종의 산물을 제시하고 있다. 주벌(final clearing), 숲가꾸기 산물(forest tending), 수종갱신(species conversion), 병해충 및 산불 등으로 인한 피해목(damaged tree), 및 산지개발 부산물(products of forest land conversion) 등이 해당한다.^[5,6] 이러한 미이용 산림바이오매스가 산림 중에 방치되면 산불 발생 시 연료 역할을 하여 산불의 대형화와 이로 인한 피해 확대를 초래할 수 있으며, 산사태에서 민간의 2차 피해와 하천으로 유입 시 홍수 및 수질 오염의 문제를 일으킬 수 있다.^[7] 하지만 미이용 산림바이오매스는 재생 가능한 자원으로서 화석연료를 대체할 수 있어 연료로 사용하고자 하는 노력이 진행되고 있다.^[8,9]

원목 규격에 못 미치는 부산물들은 미이용 산림바이오매스로 분류하며 증명제도는 '산림자원의 조성 및 관리에 관한 법률 시행 규칙' 제48조의 2 제4항, '산림바이오매스 에너지의 이용·보급 촉진에 관한 규정(산림청고시 제2021-25호)'을 따른다. 지금까지 상품성이 없어 산림 중에 방치되었던 미이용 산림바이오매스의 잠재적 가치가 알려지며 주목받고 있다. 국내 신재생에너지 보급확대를 위해 화석연료의 주요 사용처인 발전 부문에 적용하고 있는 재생에너지 공급의무화제도(RPS)가 2012년부터 시행하고 있다. 이는 국내에서 생산되는 전기의 일정량은 재생에너지를 사용토록 의무화하는 것으로 2022년 전체 전기공급량의 10%를 재생에너지를 이용하여 생산하도록 한다. 국내 주요 발전공기업 및 발전사에 적용되고 있는 정책에 2018년에는 미이용 산림바이오매스가 신재생에너지 공급인증서(REC) 가중치를 부여받아 공식적으로 편입되었다. 이후 연간 미이용 산림바이오매스 증명서를 기반으로 시장 공급량은 증가하고 있으며, 반면, 시장에 원목 공급량은 증가하지 않고 있어 시민단체 등과 논쟁이 지속되고 있다.^[10-12]

본 연구에서는 미이용 산림바이오매스의 증명량 중 직접적으로 생산된 원목이 미이용 산림바이오매스로의 편입 가능성 여부를 추정하기 위한 국가 통계자료와 미이용 산림바이오매스 증명 자료를 중심으로 검토하였다.

2. 연구방법

2.1 자료의 수집

분석을 위해 사용된 주요 자료는 국가 기본통계인 산림임업 통계 연보와 한국임업진흥원 내부 자료인 미이용 산림바이오매스 증명 통계를 기반으로 작성되었다. 행정조사자료 및 임상도 자료 등을 이용하여 산출한 산림면적과 국가 산림자원조사 결과 및 임상도 자료를 연계하여 산출한 임목축적을 분석하였다.

국내 산림자원의 이용 현황을 추적하기 위하여 2017년부터 2021년까지 별채 사업종에 따른 임목 별채량 및 원목 수집량을 분석하였다. 임목 별채량 및 수집량은 재적량을 기반으로 추정되었다. 현 산림임업 통계 연보에서 임목 별채사업은 주벌, 숲가꾸기, 수종 갱신, 피해목, 산지전용 및 기타로 분류한다. 통계 단위는 면적(ha)과 부피(m³)로 제공하고 있는데, 미이용 산림바이오매스의 경우 중량 단위로 취급되기 때문에 직접 비교를 위해서는 부피 단위를 전환하기 위한 기준이 필요하다.

미이용 산림바이오매스의 공급확인서 및 발급 내역은 한국임업진흥원으로부터 받은 데이터를 참고하였다. 미이용 산림바이오매스의 증명 수량은 '국유임산물 매각예정가격 사정 기준 등 시행요령'(산림청예규 제 642호) 중량단위 매각 기준 제4호를 적용하여 중량 단위 수량을 추정하였다.

2.2 원목생산량 모델을 위한 가설 수립

목재생산과 관련된 산림작업 중 국내 원목 공급량의 50% 이상을 차지하는 주벌을 주요 분석대상으로 선정하였다. 산림임업 통계 연보에 따르면 대체로 개별 형태의 산림작업에서 목재의 별채량 대비 수집량이 많았으며, 이는 생산공정의 경제성과 밀접한 관계가 있을 것으로 가정하였다. 예를 들어 숲가꾸기의 경우 별채 면적 대비 수집면적은 25% 수준에 머물고 있어 원목 생산량이 많지 않았으며,

생산량의 변동이 크기 때문이다. 수종 갱신의 경우 대상 면적 전체를 개별 형태로 별채하나 생육상태의 변동성이 크기 때문에 지역의 임목 축적량을 정확하게 반영할 수 없을 것으로 판단하였다.

원목 공급량은 ha 당 원목 생산량(m³)을 기준으로 선정하였으며, 이는 주벌의 경우 목재 수확시기가 도래하였고, 연간 임목 축적량은 지속적으로 증가하기 때문에 동일한 면적의 주벌을 시행하여도 단위 면적 당 목재생산량은 증가할 것으로 추정하였다.

이를 위하여, 2011-2021년 ha당 임목 축적량과 주벌에 의한 ha당 원목 생산량을 변수로 설정하고 1차 회귀 모델을 구성하였다. 통계분석은 R 4.2.1(R foundation for statistical computing platform)을 이용하여 수행하였으며, 모델에 적합하지 않은 이상치(outlier)를 검출하기 위해 Bonferroni p가 0.05보다 작은 경우 모델적용에서 제외하였다. 이상값을 제거한 후 원목의 미이용 산림바이오매스로 혼입량을 증명하기 위해 재적량을 증량으로 환산하였다. 환산할 때의 기준은 ‘국유임산물 매각예정가격 사정기준 등 시행요령’(산림청예규 제680호) 중량단위 매각기준에 따라 추정하였다(Table 1 참조).

Table 1. Application of weight conversion of round wood volume

Kind of tree	Applicable weight
Poplars	0.70
Pine trees	0.85
Larch trees	0.77
Cypress trees	0.73
Other conifers	0.85
Other broadleaved trees	1.00

3. 결과 및 고찰

3.1 국내 산림면적 및 임목 축적량

2021년 우리나라의 산림면적은 6,294,334 ha로 국토의 62.7%를 차지하는 것으로 나타났다. 전체적인 산림면적은 도로 신설, 주택건설 및 산업단지 조성 등 다른 용도로 변경되면서 2017년 대비 23,673 ha 감소하였다(Fig. 1 참조).

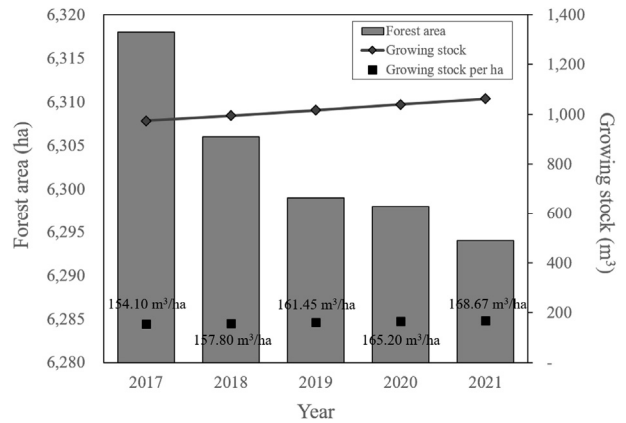


Fig. 1. Forest area and growing stock by year

반면 국내 산림자원의 양은 지속적으로 증가하고 있는데, 우리나라 산림의 총 임목 축적량은 1,061,662,354 m³로 전년 대비 2.0% 증가하였다. 다양한 원인으로 인하여 산림면적이 지속적으로 감소하고 있으나 산림자원의 양은 증가하고 있어 단위면적 당 목재 생산 가능량의 증가를 추정할 수 있다.

3.2 시기별 목재 별채량 및 원목 수집량

목재생산량은 별채 허가량, 수집량 등의 항목을 통하여 산출된다. 별채 허가를 위해서는 임목 별채 허가 신청서, 별채 구역도, 별채 예정수량 조사서 등의 서류를 제출하여야 하며, 사유림의 경우 지자체를 통해 별채 허가 여부를

Table 2. Round wood production and supply status

Year	Permitted volume (m ³)	Produced volume (m ³)	Collected volume (m ³)
2010	8,680,633	4,220,007	4,220,007
2011	9,952,691	4,606,883	4,606,883
2012	10,700,577	5,391,841	5,391,841
2013	9,323,354	4,897,290	4,897,290
2014	8,763,290	5,305,468	5,305,468
2015	7,768,855	5,012,206	5,012,206
2016	7,669,642	5,253,288	5,253,288
2017	7,615,711	4,833,798	4,698,154
2018	5,971,818	4,577,144	4,345,341
2019	5,697,004	4,605,184	4,311,892
2020	5,849,635	4,446,721	4,080,385
2021	5,451,606	4,293,815	3,851,900

통보한다. 임업 통계 연보에서는 국유림 및 사유림에 대하여 허가면적 등의 정보를 이용하여 통계를 작성하고 있으며, 미이용 산림바이오매스 적용 시기와 연계하여 분석하기 위해 2010-2021년도 임목 벌채 허가 및 공급실적을 Table 2에 나타냈다.

벌채 허가량은 2017년 이후 540만 m³에서 600만 m³ 사이에 허가신청이 있었던 것으로 보이며, 벌채 후 생산된 목재는 2017년을 정점으로 점차 감소하고 있는 것으로 분석된다. 미이용 산림바이오매스 제도가 시작된 2018년과 미이용 목재펠릿이 발전사에 공급되기 시작한 시점이 2019년 임을 고려하면 영향이 있을 수 있음을 추정할 수 있다.

최근에는 목재 수확 이슈 및 소극적 벌채로 임목 벌채 허가량은 지속적으로 감소하는 추세이며, 2021년 말 기준 2017년 대비 28.4%, 전년대비 6.8% 감소하였다. 생산된 목재 대비 수집된 원목은 2021년 말 기준 89.7%로 2017년 대비 7.5%, 전년대비 2.1% 감소하며 임목부산물 수집량이 증가하였다.

시기별 수집량의 감소가 주로 일어나는 벌채 작업목 업종을 조사하였다(Table 3 참조). 벌채구역 면적은 2021년 기준 106,031 ha로 전년대비 17.0%(21,669 ha) 감소하였으며, 벌채량은 4,910,804 m³로 전년대비 10.0%(545,855

m³) 감소하였다. 벌채사업 중 주벌에 의한 벌채면적이 전년대비 1.7% 증가하였으나, 숲 가꾸기에 의한 벌채면적이 28.5%로 감소하였다.

원목 수집량은 2021년 기준 전년대비 주벌 및 산지전용 작업에 의해 증가하였지만, 나머지 사업종에서는 감소하였다. 특히 숲 가꾸기 (159,319 m³ 감소) 및 피해목(27,985 m³ 감소)에서의 감소 폭이 큰 것으로 분석되었다. 전체 원목 수집률은 증가하나 2018년 및 2019년부터 수종 갱신과 피해목에 의한 원목 수집률이 꾸준히 감소하였다.

3.3 미이용 산림바이오매스 증명량 변화 추이

2018년 6월부터 RPS 제도에 도입된 미이용 산림바이오매스의 2019-2021년 기간 동안 사용량 변화를 살펴 보았다(Fig. 2 참조).

미이용 산림바이오매스의 공급량은 지속적으로 증가하는 추세이며, 2021년에 증명수량은 829,399 ton으로 2019 (220,177 ton) 대비 2.3배, 2020(495,793 ton) 대비 1.2 배 증가하여 국내 시장규모가 빠르게 확장하고 있음을 확인할 수 있다. 제도 시행 초기 2019년의 경우 주벌에서 원목생산 후 부산물의 수집이 전체 공급량의 46%를 차지하였고, 소나무재선충병 등 병해충 피해목과 산지전용(개발)을

Table 3. The amount of logging and collection by logging business types (unit: ha/area, m³/volume)

Classification		Total	Final clearing	Forest tending	Species conversion	Damaged tree	Status co forest land	Others
2017	Cutting area	183,362	17,044	84,449	7,802	66,953	5,478	1,636
	Cutting volume	6,749,635	2,291,319	2,310,551	824,342	802,753	478,222	42,448
	Collected volume	4,698,154	2,220,839	592,983	760,856	667,711	418,377	37,388
2018	Cutting area	116,931	16,694	37,226	7,618	47,159	5,508	2,727
	Cutting volume	5,461,812	2,358,698	1,004,094	885,948	719,522	472,069	21,481
	Collected volume	4,345,341	2,299,129	315,585	819,850	451,647	447,664	11,465
2019	Cutting area	100,588	16,988	24,126	7,998	39,363	11,456	656
	Cutting volume	5,184,256	2,435,002	719,628	918,817	728,241	355,928	26,640
	Collected volume	4,311,891	2,336,940	199,441	832,238	626,034	299,592	17,646
2020	Cutting area	127,700	16,413	59,518	8,895	37,905	4,719	249
	Cutting volume	5,456,659	2,131,842	1,543,744	780,327	609,647	374,041	17,058
	Collected volume	4,080,385	2,038,957	526,457	699,519	456,362	343,692	15,398
2021	Cutting area	106,031	16,691	42,553	7,901	33,917	4,619	350
	Cutting volume	4,910,804	2,312,264	1,148,086	727,958	367,206	340,545	14,745
	Collected volume	3,851,900	2,238,088	367,138	651,247	267,265	315,707	12,455

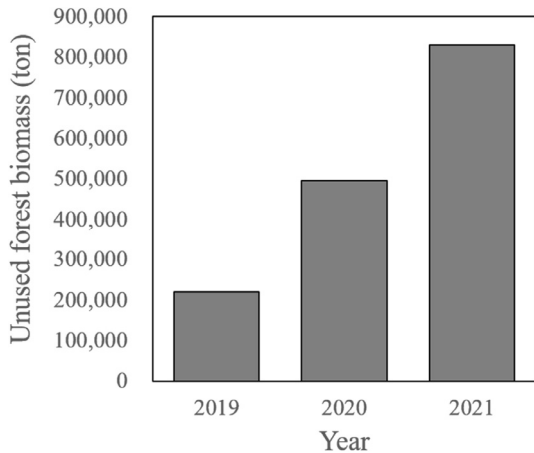


Fig. 2. The total amount of unused forest biomass supplied from 2019 to 2021

통한 부산물의 공급이 대부분이었으나, 2021년에는 전체 미이용 산림바이오매스 공급량의 30.6%가 주벌 목재생산의 부산물에서 공급되어 비중이 감소하고 있으며, 산불피해목과 병해충피해목 및 산지전용에서 공급되는 증명량이 증가하고 있음이 확인되었다(Table 4 참조). 정책이 지속적으로 추진되면서 종류와 다양성이 확대되는 것으로 분석된다.

주벌을 통해 공급된 미이용 산림바이오매스의 양은 2019년 약 10만 ton에서 2021년에 약 25만 ton으로 2.5 배 증가한 수치로 분석되었으며, 이는 목재 수확 과정에서 미이용 산림바이오매스의 수집제도가 점차 시장에서 인식되고 정착되는 과정으로 이해된다.

Table 4. Unused forest biomass by logging business types (unit: ton)

Item	2019	2020	2021
Final cutting	101,186	163,892	254,143
Species conversion	16,538	36,300	64,034
Status co forest land	45,185	96,247	202,027
Forest tending	-	2,319	30,507
Damaged tree (Disease)	56,535	97,466	168,274
Roadside tree	733	8,702	8,218
Damaged tree (Forest fire)	-	90,867	101,482
Damaged tree (Others)	-	-	715
Total	220,177	495,793	829,399

Table 5. The amount of collection and unused forest biomass by period (2017-2021) (unit: ton)

Year	Cutting volume	Collection amount of round wood	Unused forest biomass
2017	5,606,546	3,889,879	-
2018	4,539,678	3,616,116	-
2019	4,322,217	3,591,891	220,177
2020	4,543,369	3,398,282	495,793
2021	4,092,929	3,211,591	829,399

반면, 동일 기간에 원목 수집량은 감소하는 것으로 분석되었다(Table 5 참조). 미이용 산림바이오매스 증명수량은 꾸준히 증가하였다. 기간별 벌채량 대비 원목 및 미이용 산림바이오매스의 수집량을 비교하기 위해 원목 재적량의 중량 환산을 적용하여 추정하였다.

미이용 산림바이오매스가 본격적으로 수집 및 활용되기 시작하자 벌채량 대비 원목 수집량이 4.6% 감소하였고, 미이용 산림바이오매스 증명수량은 9.8% 증가하였다.

시기별 벌채사업 종류에 따른 미이용 산림바이오매스의 증명수량을 비교하였다(Fig. 3 참조).

산림사업 중 주벌, 산지전용, 피해목이 주요 공급원이었으며, 주벌 및 산지전용 작업을 통한 미이용 산림바이오매스 공급은 꾸준히 증가하는 추세였다. 특히 눈에 띄는 점은 피해목의 경우 2020년에 전년대비 3.6배 증가하였고, 이듬해에 19.9% 감소하였다. 그해 병해충방제에 의한 수집량이 55.8%를 차지하였으나, 산불 피해목이 전년대비 큰 폭으로 증가한 것이 주요 원인으로 사료된다(Fig. 4 참조).

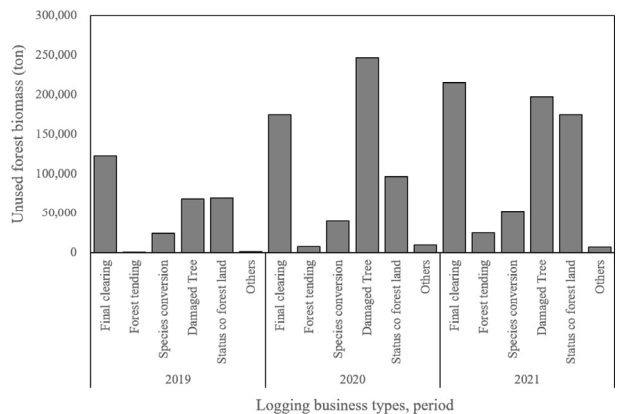


Fig. 3. The amount of unused forest biomass by logging business type

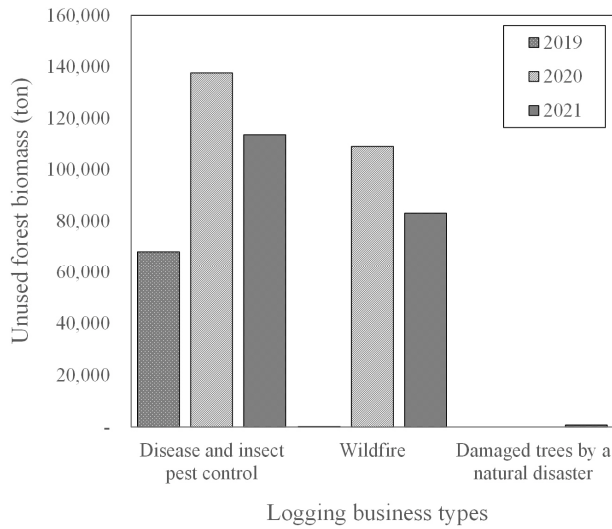


Fig. 4. The amount of unused forest biomass by damaged tree

하지만 산림청 ‘산불통계연보’에 의하면 2019-2021년 도 산불피해 현황은 다른 추이를 보였다.^[13] 산불에 의한 피해 건수는 증가하였으나 피해면적 및 피해재적은 지속적으로 감소하였다. 산불에 의한 피해재적은 2019년도에 501,836 m³, 2020년 486,459 m³, 2021년 5,641 m³으로 미이용 산림바이오매스 증명수량과 다른 변화추이를 보였다.

미이용 산림바이오매스 공급에 혼입된 원목량을 추정하기 위하여 미이용 산림바이오매스의 주요 공급원인 주벌, 피해목, 산지전용을 대상으로 2019년부터 2021년까지 미이용 산림바이오매스 증명수량을 비교하였다(Table 6 참조).

지역별로 살펴보면 충청북도, 충청남도, 경상북도에서 발생하는 미이용 산림바이오매스량이 전체 미이용 산림바이오매스 증명수량의 50% 이상을 차지하였다. 충청북도

(64.2%–80.3%)와 충청남도(64.9%–65.5%)는 대부분 주벌에 의해 미이용 산림바이오매스가 발생하였으며, 경상북도(62.1%–73.0%)의 경우 피해목에 의해 미이용 산림바이오매스가 발생하였다. 경상북도는 2020년에 주로 병해충 방제에 의해 미이용 산림바이오매스가 발생하였으며, 2021년에는 산불 피해목에 의해 미이용 산림바이오매스가 발생하였다. 강원도의 경우 2020년에 전년 대비 8.7%으로 증명수량이 크게 증가하였는데, 이는 산불 피해목으로 인해 증가하였다. 반면에 충청도의 경우 산불피해 없이 많은 수량의 미이용 산림바이오매스가 수집되었다.

원목 수집량과 미이용 산림바이오매스 수집량의 합이 벌채량보다 많게 나타난 벌채작업은 대부분 주벌, 피해목, 산지전용에서 일어났다. 2019년 기준 대구에서 신고된 산지전용 미이용 산림바이오매스(14,712 ton)는 벌채량(957 ton)보다 더 많았다. 2021년 경우에도 피해목 미이용 산림바이오매스(3,567 ton)도 벌채량(1,348 ton)보다 더 많은 양이 수집되었다. 2020년 기준 부산과 광주에서도 벌채량보다 더 많은 미이용 산림바이오매스가 수집되었다. 부산의 경우 산지전용을 통해 벌채량(3,500 ton)보다 많은 11,523 ton 미이용 산림바이오매스가 수집되었으며, 광주에서는 수확벌채에 의한 벌채량이 없음에도 불구하고 395 ton의 미이용 산림바이오매스가 신고되었다. 2021년 기준 인천에서는 산지전용에 의한 벌채량이 356 ton이고, 원목 수집량이 없는 것에 반해 1,147 ton 미이용 산림바이오매스가 수집되었다.

3.4 미이용 산림바이오매스로 원목 혼입량 추정

원목생산량의 모델링을 위하여 국내 벌채사업중 중에서 원목 공급량의 대부분을 차지하는 작업들을 대상으로 원목

Table 6. The amount of collection and unused forest biomass by province (unit: ton)

Classification	2019			2020			2021		
	Final clearing	Damaged tree	Status co forest land	Final clearing	Damaged tree	Status co forest land	Final clearing	Damaged tree	Status co forest land
Cutting volume	2,041,274	587,362	296,272	1,783,078	492,424	311,863	1,928,837	296,627	288,640
The amount of round wood	1,958,223	505,362	250,661	1,705,403	368,830	286,824	1,867,086	216,462	267,584
The amount of unused forest biomass	122,938	68,268	69,476	174,876	246,629	96,920	215,376	197,438	174,740

수집 면적 및 원목 생산량을 변수로 설정하고 상관분석을 수행하였다(Fig. 5 참조).

주벌(Fig. 5(a))의 경우 국내 원목 공급량의 큰 비중을 차지하는 작업이며, 수집면적에 따른 수집량이 큰 변동이 없어 임목 축적량에 따른 원목 생산량을 정확하게 반영할

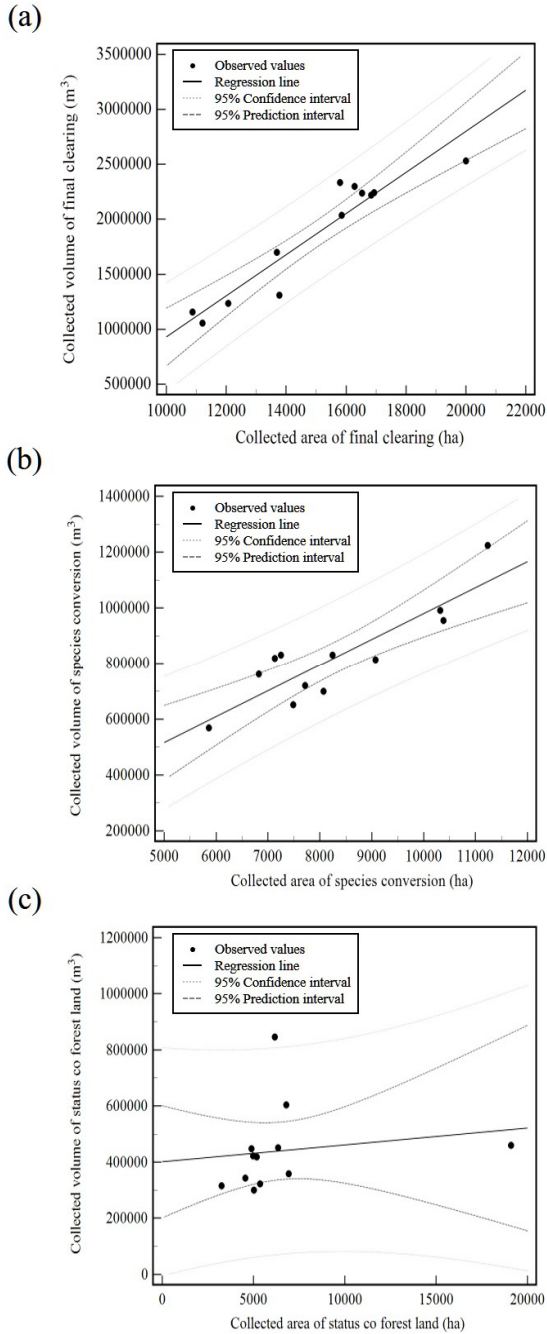


Fig. 5. The correlation between collection area and amount by logging business. (a) final clearing, (b) species conversion, (c) status co forest land

것으로 판단되었다($R^2=0.94$). 수종갱신(Fig. 5(b))도 수집 면적에 따른 수집량의 변동이 작았지만 ($R^2=0.87$), 생육상태가 하나의 변수로 작용하기 때문에 모델링에 적합하지 않았다. 산지전용(Fig. 5(c))은 수집면적에 따른 원목 생산량을 예측하기 어려워 고려대상에서 제외하였다.

상관계수를 통해 분석한 원목 생산량의 주요 요인으로 2010-2021년도 ha당 임목 축적량 대비 주벌사업에 의해 실제 수집된 ha당 원목 수집량의 관계를 바탕으로 회귀식을 구성하였다(Fig. 6 참조). 이를 추정식에 표현하면 아래 수식 (1)과 같다.

$$y = 1.490x - 94.341 \quad [R^2=0.971] \quad (1)$$

x = Growing stock per ha (m^3/ha)

y = The amount of Final cleaning (m^3/ha)

ha당 임목 축적량이 증가할수록 ha당 원목 수집량이 증가함을 알 수 있다. 해당 관계식에 따라 2019-2021년 주벌에 의해 생산될 ha당 예측 원목 생산량을 산출하였다. 2019년 $146.2 m^3/ha$, 2020년 $151.8 m^3/ha$, 2021년 $157.0 m^3/ha$ 이 예측값으로 산출되었으며, 실제 원목 수집량과 비교한 결과 모델링 값보다 적은 양이 수집된 것으로 나타

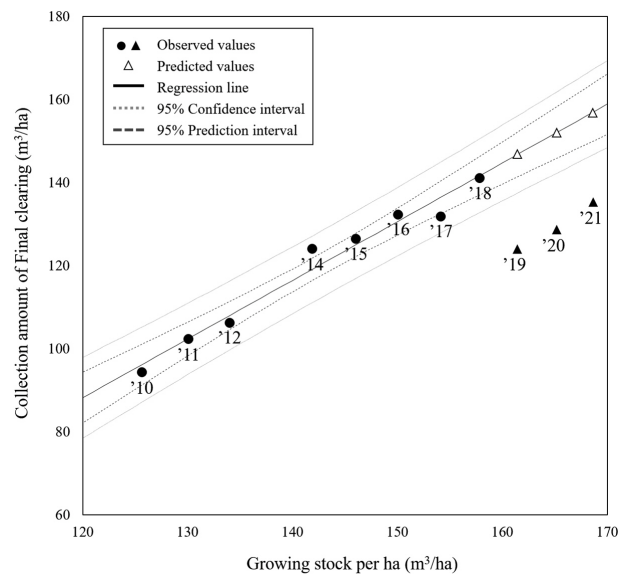


Fig. 6. A simple regression model for estimating the amount of round wood according to growing stock per ha

Table 7. Comparison of model expectation and actual round wood production in final cutting

Year	Expected collection volume (m ³ /ha)	An actual collected volume (m ³ /ha)	Insufficient volume (m ³ /ha)
2019	146.2	123.9	22.3
2020	151.8	128.6	23.2
2021	157.0	135.3	21.7

Table 8. The estimated volume of round wood certified for unused forest biomass in final clearing

Year	2019	2020	2021
Area (ha)	15,799	15,853	16,539
Insufficient volume (m ³ /ha)	22.3	23.2	21.7
Estimated volume of Round wood (m ³)	352,318	367,790	358,896

났다.

2019-2021년도 실제로 수집된 주벌 생산량은 2,336,940 m³, 2,038,957 m³, 2,238,088 m³이었다. 주벌 수집면적 15,799 ha, 15,853 ha, 16,539 ha에 따른 생산량은 123.9 m³/ha, 128.6 m³/ha, 135.3 m³/ha으로 모델값보다 각 22.3 m³/ha, 23.2 m³/ha, 21.7 m³/ha가 부족하였다 (Table 7 참조).

주벌에 의해 실제 수집되는 원목과 모델값 사이에 오차 범위를 감안하면 해당 모델이 원목 수집량을 예측하고자 할 때 적용 가능한 것을 알 수 있다. 주벌에서의 원목 공급량 추이를 고려하였을 때 연간 약 350,000 m³의 원목이 미이용 산림바이오매스에 편입되었을 수 있음을 추정할 수 있다 (Table 8 참조).

4. 결론

미이용 산림바이오매스는 국내 기존 목재 수확 체계의 변화와 직접적으로 관련 되어 있기 때문에 시장의 적응에 시간이 필요할 것으로 보인다. 다만, 본 연구 결과는 미이용 산림바이오매스로 인정받기 위해서는 제도가 정하고 있는 기준을 충족할 필요가 있으며, 시장의 투명성을 높이기 위한 제도적 보완이 필요함을 제시했다고 사료된다. 이는

목재를 기반으로 한 순환경제 가치체계에서 지속 가능한 재생에너지 공급을 위한 자원의 공급체계와 시장육성이 정책적으로 함께 고민되어야 함을 의미한다. 이러한 고민들은 유럽을 중심으로 목재자원 이용에 대한 패러다임의 전환에서도 나타나고 있다. 공급 활성화 및 활용은 정부의 기후변화 대응정책, 탄소중립 2050, 신재생에너지 비중 확대로 요약되는 에너지 전환정책에 부합하는 방안이다. 따라서, 탄소중립을 위한 목재자원의 가치가 높아지고 있는 만큼 국내에서 발생하는 미이용 산림바이오매스에 대해 올바른 신고 및 증명 절차가 이루어져야 할 것이다. 풍부한 국내 산림자원을 효과적으로 이용하기 위해 원목과 미이용 산림바이오매스를 나누는 정확한 기준이 있어야 하며, 규격에 맞게 이용할 수 있는 방법을 검토할 필요가 있다. 합리적인 지원제도를 기반으로 미이용 산림바이오매스의 안정적인 공급 및 수요가 이뤄져야 우리나라 현행 재생에너지 공급 의무화제도가 지속가능하고 그 가치를 인정받을 수 있을 것이다.

감사의 글

본 연구는 국립산림과학원(FP0700-2022-01-2022)과 산림청(2021351D10-2223-AC03)의 지원을 받아 수행되었습니다.

References

- [1] Lee, J.A., Oh, J.H., and Cha, D.S., 2013, "Prediction of forest biomass resources and harvesting cost using GIS", *J. For. Environ. Sci.*, **29**(1), 81-89.
- [2] Lee, S.R., and Han, G.S., 2021, "UK case study for sustainable forest biomass policy development of South Korea", *New. Renew. Energy*, **17**(1), 50-60.
- [3] Son, Y.M., Lee, S.J., Kim, S.W., Hwang, J.S., Kim, R.H., and Park, H., 2014, "Mapping and assessment of forest biomass resources in Korea", *J. Korean Soc. For. Sci.*, **103**(3), 431-438.
- [4] Choi, Y.S., Jeong, I.S., Cho, M.J., Mun, H.S., and Oh,

- J.H., 2021, “Production and fuel properties of wood chips from logging residues by timber harvesting methods”, *J. Korean Soc. For. Sci.* **110**(2), 217-232.
- [5] Han, S.W., Seo, M.W., Park, S.J., Son, S.H., Yoon, S.J., Ra, H.W., Mun, T., Moon, J.H., Yoon, S.M., and Kim, J.H., *et al.*, 2019, “Air gasification characteristics of unused woody biomass in a lab-scale bubbling fluidized bed gasifier”, *Korean Chem. Eng. Res.*, **57**(6), 874-882.
- [6] Yoon, S.H., Beak, G.U., Moon, J.H., Jo, S.H., Park, S.J., Kim, J.Y., Seo, M.W., Yoon, S.J., Yoon, S.M., and Lee, J.G., *et al.*, 2021, “Air-staging effect for NOx reduction in circulating fluidized bed combustion of domestic unused biomass”, *Korean Chem. Eng. Res.*, **59**(1), 127-137.
- [7] Lee, S.J., 2018, “Creating a bioenergy village using forest biomass”, *Magazine of the Korean Society of Agricultural Engineers*, Accessed 24 September 2022, <https://koreascience.kr/article/JAKO201809361757613.pdf>.
- [8] Kim, S.S., and Lee, B.H., 2018, “Estimation of the production potential of domestic wood pellets using unused forest biomass by analyzing the potential volume of forest biomass and the growth of forest trees”, *Journal of Oil & Applied Science*, **35**(1), 247-253.
- [9] Um, B.H., and Kang, C.H., 2019, “An economical analysis on fuel switching model of coal power plant using herbaceous biomass”, *J. Korean Soc. Agric. Eng.*, **61**(3), 89-99.
- [10] Kang, H.K., Park, K.C., and Kim, L.H., 2014, “The feasibility analysis for energy utilization of forest biomass”, *J. Energy. Eng.*, **23**(1), 7-20.
- [11] Lee, S.I., Roh, J.H., and Baek, C.W., 2015, “A study on efficient renewable energy policy”, *Korea Development Institute*.
- [12] Lee, S.J., and Yun, S.J., 2011, “Theory and practice of renewable portfolio standards: Based on an analysis of nations with RPS”, *Journal of Environmental Policy and Administration*, **19**(3), 79-111.
- [13] Korea Forest Service, 2021, “Status of Forest Fire Outbreaks”, 18 November 2022, https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=136&tblId=TX_13601_A020&conn_path=I2.