



Research Paper

Analysis of the Contribution to the Domestic Timber Industry according to the Shortening of Final Age

Soon Gil Kwon^{1,3} · Yong Woo Hwang^{2†} · Junbeum Kim³ · Jong Hyo Lee¹

¹Program in Circular Economy Environmental System, Inha University, Republic of Korea

²Department of Environmental Engineering, Inha University, Republic of Korea

³CREIDD Research Center on Environmental Studies & Sustainability, UR InSyTE (Interdisciplinary research on Society-Technology-Environment Interactions), University of Technology of Troyes, France

(Received September 16, 2023; Revised December 30, 2023; Accepted March 5, 2024)

Objectives : The domestic forest area is about 6,298 thousand ha as of 2020, accounting for 62.7% of the national land area of 10,041 thousand ha, but the domestic wood and wood product market is seriously dependent on imported products. As of 2020, the domestic wood utilization rate is 15.9%. This has been secured from around 5% by 1990 to about 16% by the last 10 years from '11 to '20, but has been maintained without increase until '21. As domestic demand for wood is 83% dependent on imports, uncertainties in the wood market in the international market are expected to increase in the future due to climate change, resource reporting, and international trade relations.

Methods : In this study, the production and collection production of domestic wood by use were calculated by reducing the actual distribution nationwide and the number of trees being planted later by 5 to 10 years, respectively. Based on 2,310 thousand ha, the research target site was divided into 26.20% and 73.80% of national forests and private forests, respectively, and the corresponding cutting age was applied by matching them by tree type.

Results and Discussion : The area subject to the logging order for timber production forests was calculated as a ratio of the actual logging area, and the result was calculated as a ratio of the actual logging amount. Afterwards, the final wood volume was calculated based on the results of the actual logging volume performance and the ratio of domestic wood production and collection performance. The calculated final volume of wood is produced for lumber, plywood, boards, chips/pulp, and other uses. As a result, when the harvesting age was shortened to 5 and 10 years as of 2020, timber increased at a rate of approximately 12.70% and 25.36% compared to the previous year. It was confirmed that this could increase the domestic wood utilization rate from about 16% to up to 20%.

Conclusion : In this study, the contribution of the domestic timber industry to the shortening of the harvesting period for timber production forests. It is believed that the results can be used as useful indicators for establishing policies for shortening the cutting period and managing persistent forests in the future.

Keywords : Final age, Age class, Representative afforestation tree species, Timber industry, Circular economy

The Korean text of this paper can be translated into multiple languages on the website of <http://jksee.or.kr> through Google Translator.

† Corresponding author

E-mail: hwangyw@inha.ac.kr

Tel: 032-860-7501

© 2024, Korean Society of Environmental Engineers



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

연구논문

벌기령 단축에 따른 국내 목재산업 기여도 분석

권순길^{1,3} · 황용우^{2*} · 김준범³ · 이종효¹

¹인하대학교 순환경제환경시스템전공

²인하대학교 환경공학과

³트루아공과대학교, 환경정보기술학과, 환경 및 지속가능성연구센터

목적: 국내의 산림면적은 2020년 기준 약 6,298천 ha로 국토면적 10,041천 ha의 62.7%를 차지하고 있는 산림국이지만, 국산 목재 및 목제품 시장은 대부분을 수입제품에 의존하고 있다. 2020년 기준으로 국산 목재자급률은 15.9%이며, 1990년대 5% 수준에서 꾸준히 증가하였으나 최근까지 약 16%수준에서 머무르고 있다. 현재 국내의 목재수요는 83%로 수입의존국임에 따라 이에 따라 향후 기후변화, 자원보고, 국제 통상관계 등에 국제시장에서 목재시장의 불확실성이 커질 것으로 예상된다.

방법: 본 연구에서는 전국 실제 분포 및 추후 조립되고 있는 수종을 대상으로 일반고시벌기령 대비 각각 5, 10년씩 단축하여 용도별 국산목재 생산·수집 생산량을 산출하였다. 연구대상지는 목재생산림인 2,310천 ha를 기준으로 국유림과 민유림을 26.20%와 73.80%로 구분하고, 수종별로 해당하는 벌기령을 일괄 적용하였다.

결과 및 토의: 목재생산림의 벌기령 대상 면적을 실제 벌채면적의 비율로 적용시키고, 해당 값을 실제 벌채량의 비율로 결과값을 산출하였다. 이후 실제 벌채량을 토대로 국내목재 생산 및 수집 실적비율로 최종 목재량을 산출하였다. 산출된 최종 목재는 제재용, 합판용, 보드용, 칩/펄프용, 기타용도로 생산된다. 해당 결과로 2020년 기준으로 5, 10년씩 단계별로 벌기령을 단축하였을 때, 기존 대비 약 12.70%와 25.36%의 비율로 목재생산량이 증가하였다. 이는 약 기존 16%의 국내 목재 이용률이 최대 20%까지 상승되었음을 확인할 수 있었다.

결론: 본 연구에서는 목재생산림에 대한 벌기령 단축에 따른 국내 목재산업 기여도 분석을 하였다. 다만 적극적인 목재수확에 따른 산림의 환경생태적 가치변화를 함께 고려하지 못한 한계가 있다. 본 연구결과는 향후 경제림육성단지 중심의 영급구조 개선 정책 수립 및 향속림 경영에 유용한 지표로 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

주제어: 벌기령, 영급, 대표 조립수종, 목재산업, 순환경제

1. 서론

산림청 입엽통계연보(Korea Forest Service, 2022)에 의하면 국내 산림면적은 2020년 기준 6,298,134 ha로 국토 면적 10,041,260 ha의 62.7%를 차지하고 있는 산림국이지만, 국산 목재 및 목제품 시장은 수입 제품에 심각한 수준으로 의존적이다.¹⁾ 2020년 기준 국내 목재 총이용량은 27,925천 m³ 중 국산목재는 4,447천 m³인 반면, 수입목재는 22,583천 m³으로 국산 목재 이용률은 15.9%이다.²⁾ 이는 '90년도까지 5% 안팎에서 '11 ~'20년까지 최근 10년까지 16%대까지 확보 후 유지하고 있었으나, '21년까지 증가하지 않고 있다.³⁾ 제재목, 목재 펄릿, 펄프 등을 포함하는 수입 목제품의 경우, 20,387천 m³, 수입원목 2,595천 m³으로 전체 수입목재의 15,016천 m³로 점점 의존도가 높아지고 있는 실정이다.⁴⁾ 원자재의 수입 비중이 높은 국내 목재 시장은 최근 COVID-19 등의 요인으

로 인해 목재의 원자재 수입이 원활하지 못한 상황에 직면해 있으며, 이에 따라 목재시장의 산출액 감소 및 수급 불안정 등에 직면하고 있다.⁵⁾ 이는 향후 기후변화, 자원보고, 국제 통상관계 등에 국제시장에서 목재시장의 불확실성이 커질 것으로 예상되며⁶⁾, 국제 목재시장의 변동성이 상당히 취약한 국내 목재생산의 지속적인 발전을 위하여 개선이 불가피한 상황이다.⁷⁾ 국산목재는 산림 탄소흡수 능력의 연계와 임목에 저장된 탄소를 계속 고정시키는 역할을 하기 때문에 반드시 풀어야 할 과제이다.⁸⁾

이러한 문제점을 해결하고자 국내·외적으로 산림자원에 대한 순환경제 활성화를 위해 지속 가능한 목재생산과 자원순환에 관한 많은 연구가 수행되고 있다.⁹⁾ 국내의 경우, 70년대 이후부터 시작된 무분별한 벌목을 줄이기 위하여 산림 보호 정책에 따라 벌목 행위가 엄격하게 규제되었다.¹⁰⁾ 그 결과, 국내 목재 및 목제품 산업은 수입원목 및 수입 완제품에 크게

의존하게 되었으며, 국내에서 생산되는 일부 목재는 파티클보드, 펄프 등 저급용재로 이용 및 사용이 제한되고 있다.¹¹⁾ 이는 산림면적이 점차 줄어들고 임목이 성숙함에 따라 도래하는 목재 생산기에 직면하고 있지만, ‘조림·육림·벌채·이용·재조림’이라는 순환구조 측면에서의 벌채 부분이 정체됨에 따라 효율적인 산림경영을 수행하기에 어려운 구조가 되었으며¹²⁾, 이러한 문제는 점점 심각해질 것으로 예측되고 있다.¹³⁾

한편 최신 기후변화라는 이슈에 발맞춰 벌기령과 관련된 산림 경영사업, 탄소고정¹⁴⁾ 및 생물 다양성 등에 대한 연구가 집중적으로 이루어지고 있다.¹⁵⁾ 특히, 임분성장 모델과 프로그래밍 접근법을 이용하여 목재생산과 탄소고정을 고려하는 최적의 관리 방안의 분석 연구가 국외에서도 수행되고 있지만, 지역 여건상 특정 수종과 일부 지역에 국한되어 있다.¹⁶⁾ 또한, 성공적인 목재생산은 오랜 경험이 필요하기 때문에, 단기계획을 진행하기에는 목재생산의 경제적 성과를 높이는 대안이 될 수 없다는 연구결과도 수행되었지만¹⁷⁾, 직접적으로 벌기령과 목재생산에 관한 연구는 많지 않다.¹⁸⁾

이에 따라 현재 산림자원 순환경제 기반 구축 최신 경향에 맞게 벌기령 및 벌채량 연구를 통하여 지속가능한 목재생산 및 수요 증가에 초점을 맞추기 위해서는 정량분석을 통한 최적화 산림관리계획의 결과 도출이 필요한 상황이다.¹⁹⁾ 이를 위한 기본 방향으로서 조림 계획도 중요하지만, 이후 경제적으로 가치 있는 수종들에 대한 벌채량을 최적화 수준으로 증가해야 한다.

이에 본 연구에서는 벌기령 단축을 통해 국내 목재생산 기여도를 평가하고, 국내 산림자원을 지속가능한 방향으로 관리될 수 있도록 기초자료 제공을 목적으로 연구를 진행하였다. 전국 목재생산림을 기준으로 대표 조림 수종에 대해 벌기령을 각각 5년과 10년씩 단축하여 국산 목재 생산·수집량을 산출하여 국내 목재 산업에 미치는 영향을 분석하였다.

2. 자료 및 연구방법

2.1. 연구 자료

2020년 기준으로 국내 산림면적 6,298,134 ha 중 전국 단위로 실제 분포하는 수종면적은 5,949,864 ha이다. 해당 연도의 임목축적은 1,040,447,273 m³이며, 평균임목축적은 165.2 m³/ha로 산림면적은 계속 감소하고 있는 반면, 임목축적은 늘어가고 있는 추세이다.¹⁾ 임상별 면적으로는 침엽수림은 2,295,022 ha (38.57%), 활엽수림은 2,941,428 ha(49.43%), 혼효림은 713,414 ha(12.00%)가 분포하고 있다.²⁾

전체 영급으로 봤을 때, 1영급은 212,427 ha(3.57%), 2영급은 169,347 ha(2.85%), 3영급은 822,362 ha(13.82%), 4영급은 3,000,083 ha(50.42%), 5영급은 1,460,853 ha(24.55%), 6영급은 244,775 ha(4.11%), 7영급은 28,653 ha(0.48%), 8영급은 9,196 ha(0.15%), 9영급 이상은 2,168 ha(0.04%)의 면적을 차지하고 있다. 4영급 이상의 경우, 약 80%로 현재 심한 영급불균형을 이루고 있다.

전국적으로 분포하는 수종으로는 침엽수 12개 수종(이하 소나무, 낙엽송, 리기다소나무, 곰솔, 잣나무, 편백나무, 삼나무, 잔나무, 기타침엽수, 은행나무, 비자나무, 가문비나무)과 활엽수 29개 수종(이하 기타침엽수, 기타참나무류, 신갈나무, 굴참나무, 상수리나무, 밤나무, 자작나무, 아까시나무, 백합나무, 포플러, 기타상록활엽수, 서어나무, 호두나무, 고로쇠나무, 느티나무, 물푸레나무, 오리나무, 벗나무, 가시나무, 구실잣밤나무, 황칠나무, 후박나무, 굴거리나무, 층층나무, 녹나무, 박달나무, 때죽나무, 사스레피나무, 새덕이), 혼효림까지 총 42개 이상의 수종으로 정의된다.²⁰⁾

2.2. 연구 범위 설정

2.2.1. 연구 대상지 설정

『산림자원의 조성 및 관리에 관한 법률』 제8조 제1항에 의거 국가 차원에서의 산림자원의 효율적 육성과 조성을 도모하기 위하여 산림의 위치, 입지조건, 이용 방향 및 사회·경제적 여건 등을 고려하여 전국의 산림을 관계 중앙행정기관의 장과 협의하여 기능별로 구분하고 그에 따라 도면(이하 “기능구분도”라 한다)이 작성된다. 해당 법률에 따라 산림은 목재생산과 같은 경제적 기능과 수원 함양, 재해 방지, 휴양공간

Table 1. Forest area and forest accumulation by forest function.

| Forest Function | Forest Area | Forest Accumulation |
|--|------------------------------|--|
| 1) Water Conservation Forest | 891,371 ha (14.2%) | 147,117,391 m ³ (165.0 m ³ /ha) |
| 2) Disaster Prevention Forest | 508,205 ha (8.1%) | 81,230,268 m ³ (159.8 m ³ /ha) |
| 3) Natural Environment Conservation Forest | 1,392,905 ha (22.1%) | 252,847,867 m ³ (181.5 m ³ /ha) |
| 4) Timber Production Forest | 2,310,223 ha (36.7%) | 355,971,243 m³ (154.1 m³/ha) |
| 5) Recreation Forest | 577,700 ha (9.2%) | 100,904,936 m ³ (174.7 m ³ /ha) |
| 5) Living Environment Conservation Forest | 313,323 ha (5.0%) | 50,365,933 m ³ (160.7 m ³ /ha) |
| 6) Etc * | 304,407 ha (4.8%) | 52,009,635 m ³ (170.9 m ³ /ha) |
| National Forest Area | 6,298,134 ha (100.0%) | 10,040,447,273 m³ (166.7 m³/ha) |

* Other border areas such as the northern part of the Mintung Line (8 cities and counties, including Gimpo, Paju, and Yeoncheon)

Source : Korea Forest Service, Basic Forest Statistics

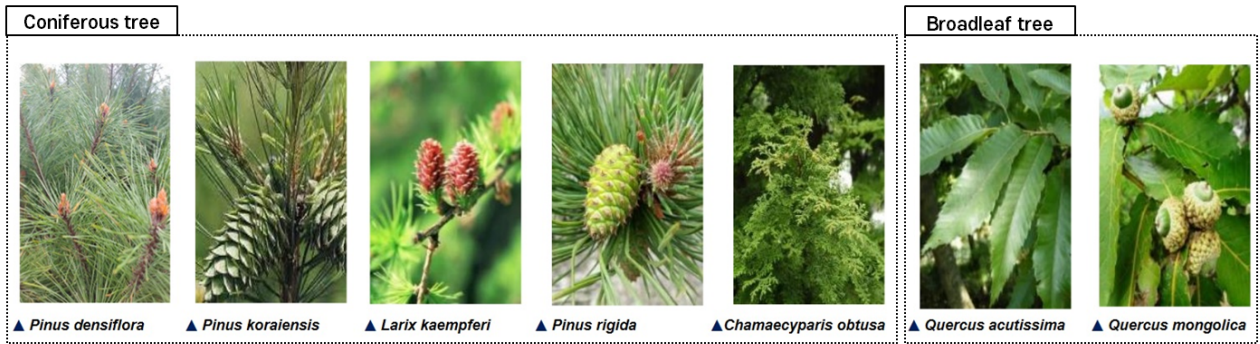


Fig. 1. Representative tree species of afforestation.

제공, 산림자원 및 종 다양성 보존 등 사회적, 환경적으로 다양한 공익기능이 발휘되고 있다.

이러한 기능은 『산림자원의 조성 및 관리에 관한 법률 시행규칙』 제3조로부터 총 6가지로 구분된다. 앞서 언급한대로 전국적으로 산림면적은 6,298천 ha(100.0%)이며, 임목축적 10,040,447천 m³(166.7 m³/ha)으로 각 산림기능별의 산림면적 및 임목축적은 Table 1과 같이 구분하였다.

산림의 6대 기능을 분석하면, 첫 번째는 수원함양림으로 수자원함양과 수질정화를 위한 기능을 한다. 전국 대비 891천 ha(14.2%) 분포되어 있고, 147,117천 m³(160.0 m³/ha)이다. 두 번째로 산지재해방지림으로 산사태, 토사유출, 대형산불, 산림병해충 등 각종 산림재해의 방지 및 임지의 보전을 위한 산림이다. 전국 대비 508천 ha(8.1%) 분포되어 있고, 81,230천 m³(159.8 m³/ha)이다. 세 번째로 자연환경보전림은 생태, 문화, 역사, 경관, 학술적 가치의 보전하는 기능으로 전국 대비 1,392천 ha(22.1%) 분포되어 있고, 252,847천 m³(181.5 m³/ha)이다. 네 번째로 목재생산림으로 생태적 안정을 기반으로 하여 경제활동에 필요한 양질의 목재를 지속적이면서 효율적으로 생산 및 공급할 수 있는 기능이다. 전체 대비 2,310천 ha

(36.7%) 분포되어 있고, 355,971천 m³(154.1 m³/ha)이다. 다섯 번째로 산림휴양림은 산림휴양 및 휴식공간의 제공을 위한 기능으로 전국 대비 577천 ha(9.2%) 분포되어 있고, 100,904천 m³(174.7 m³/ha)이다. 마지막으로 생활환경보전림은 도시나 생활권 주변의 경관 유지, 쾌적한 생활환경의 유지하는 기능으로 전국 대비 313천 ha(5.0%) 분포되어 있고, 50,366천 m³(160.7 m³/ha)이다. 그 외로는 민통선 이북지 등 접경지역으로 해당 분포지는 304천 ha(4.8%)로 52,009 m³(170.9 m³/ha)이다. 위의 산림기능 중 연구의 목적에 맞는 목재생산림을 연구대상지로 설정하였다.

2.2.2. 연구 수종 및 영급 설정

국내에는 총 42개 이상 수종 중 Fig. 1와 같은 7개의 대표 수종이 전국 단위로 조림되고 있다.²¹⁾ 침엽수 대표 조림수종은 소나무, 잣나무, 낙엽송, 리기다소나무, 편백이며, 활엽수 대표 조림수종은 상수리나무, 신갈나무로 구분된다. 대표 7개의 조림 수종 이외의 상대적으로 조림 및 분포 면적이 현저히 낮은 수종들은 기타침엽수와 기타활엽수로 일괄설정하여 분류하였다. 마지막으로 혼효림까지 추가하여 총 10개의 수종

Table 2. Selection of representative afforestation trees and classification of trees.

(Unit : ha)

| The type of tree | Age class | I (0~10) | II (11~20) | III (21~30) | IV (31~40) | V (41~50) | VI or more (51~) | Sum |
|-----------------------------|-----------|----------------|----------------|----------------|------------------|------------------|---------------------|------------------|
| <i>Pinus densiflora</i> | | 38,785 | 8,925 | 114,057 | 618,950 | 473,289 | 78,308 | 1,332,313 |
| <i>Pinus koraiensis</i> | | 19,413 | 18,778 | 43,871 | 61,627 | 11,186 | 1,655 | 156,530 |
| <i>Larix kaempferi</i> | | 7,686 | 9,581 | 44,372 | 161,752 | 34,992 | 1,640 | 260,022 |
| <i>Pinus rigida</i> | | 1,935 | 4,342 | 38,003 | 158,094 | 36,105 | 663 | 239,142 |
| <i>Chamaecyparis obtusa</i> | | 19,160 | 10,952 | 12,802 | 8,764 | 455 | 160 | 52,293 |
| Other conifer trees | | 9,102 | 9,390 | 40,378 | 139,166 | 50,984 | 5,701 | 254,721 |
| <i>Quercus acutissima</i> | | 18,163 | 6,616 | 17,200 | 51,730 | 10,800 | 690 | 105,199 |
| <i>Quercus mongolica</i> | | 130 | 2,596 | 26,259 | 101,274 | 108,437 | 25,383 | 264,078 |
| Other broadleaf trees | | 85,849 | 91,256 | 402,341 | 1,272,744 | 570,973 | 148,988 | 2,572,151 |
| Mixed forest | | 12,205 | 6,911 | 83,079 | 425,983 | 163,632 | 21,604 | 713,414 |
| Total | | 212,427 | 169,347 | 822,362 | 3,000,083 | 1,460,853 | 284,791 | 5,949,864 |

Source : Korea Forest Service, Forestry Statistics Yearbook

분포 면적을 1차 연구설계하였다.

영급의 경우, 기존 1~9영급 이상으로 분포되어 있던 공시 자료에 대해 7~9영급 이상의 수종은 일반적으로 낮은 분포도 및 국가공시데이터나 연구자료 등에서 6영급 이상으로 일괄 포함시키는 경우가 많기 때문에 1~6영급 이상으로 2차 연구 설계하였다. 이에 전국 목재생산림을 대상으로 총 10개의 대표 조림 수종과 6영급 이상으로 **Table 2**와 같이 최종적인 연구설계를 하였다.

2.2.3. 벌기령 면적 시나리오 설정

벌기령은 산림청에서 공시된 일반기준벌기령을 기준으로 5, 10년씩 단축 후 벌기령에 따라 각각 별채하였을 때, 목재 생산 변화량에 대한 시나리오로 설정하였다. 해당 시나리오는 **Fig. 2**와 같이 도식화하였다. 전국의 목재생산림의 수종 면적을 기준으로 국유림과 비국유림인 민유림(공유림, 사유림)으로 분류하였다. 2020년 기준으로 국유림은 26.24%이고, 민유림은 73.76%로 이 중 공유림 7.67%와 사유림 66.09%의 비율을 보

였다.

한편, 본 연구에서는 산림청에서 고시한 일반기준벌기령은 다음과 같다. 소나무의 국유림 벌기령은 60년(공·사유림 벌기령은 40년), 잣나무의 국유림 벌기령은 60년(공·사유림은 50년), 낙엽송의 국유림 벌기령은 50년(공·사유림은 30년), 리기다소나무의 국유림 벌기령은 30년(공·사유림은 25년), 편백의 국유림 벌기령은 60년(공·사유림 벌기령은 40년), 기타침엽수의 국유림 벌기령은 60년(공·사유림은 40년), 참나무류는 60년(공·사유림은 25년), 기타활엽수는 60년(공·사유림은 25년)으로 **Table 3**과 같이 정의된다.²²⁾ 해당 일반기준벌기령의 기준을 각 수종·영급별로 일괄 매칭시킨 뒤, 5, 10년씩 벌기령을 단축하였다. 수종은 오랜 기간에 걸쳐 성장하고, 산림의 경영과 장기 관점에 따라 최소 5년 단위의 주기로 중·장기 계획이 수립되고 시행되기 때문에 본 연구의 시나리오인 벌기령 단축도 임업 분야의 성격을 맞춰 진행하였다.

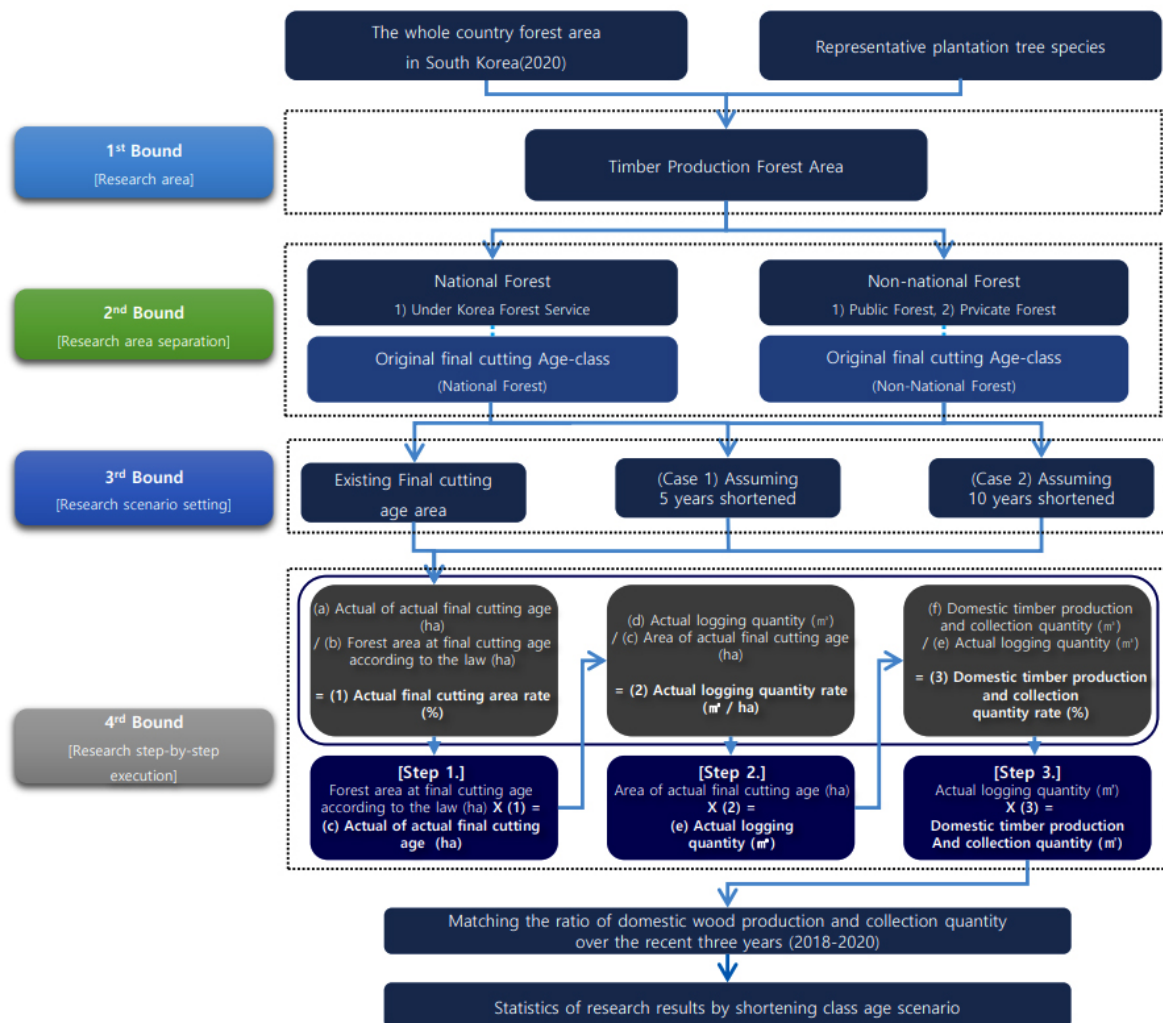


Fig. 2. Flow chart for assessing effect of shortened final cutting age on future the wood industry of forest.

Table 3. General standard final cutting age and reduction in logging by 5, 10-year.

(Unit : Year)

| Species | National Forest | 5 years shorter than standard | 10 years shorter than standard | Non-national Forest | 5 years shorter than standard | 10 years shorter than standard |
|--------------------------------|-----------------|-------------------------------|--------------------------------|---------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| 1) <i>Pinus densiflora</i> | 60 | 55 | 50 | 40 | 35 | 30 |
| 2) <i>Pinus koraiensis</i> | 60 | 55 | 50 | 50 | 45 | 40 |
| 3) <i>Larix kaempferi</i> | 50 | 45 | 40 | 30 | 25 | 20 |
| 4) <i>Pinus rigida</i> | 30 | 25 | 20 | 25 | 20 | 15 |
| 5) <i>Chamaecyparis obtusa</i> | 60 | 55 | 50 | 40 | 35 | 30 |
| 6) Other conifer trees | 60 | 55 | 50 | 40 | 35 | 30 |
| 7) <i>Quercus spp.</i> | 60 | 55 | 50 | 25 | 20 | 15 |
| 8) Other broadleaf trees | 60 | 55 | 50 | 40 | 35 | 30 |
| 9) Mixed forest | 55 | 50 | 45 | 35 | 30 | 25 |

Source : Enforcement Rules of the Act on Creation and Management of Forest Resources

3. 연구결과 및 고찰

3.1. 벌채면적 및 벌채량, 목재 생산량 산출

벌기령 대상 수종은 벌기 기간이 도래되었다고 해서 바로 벌채하지 않고, 사전계획을 통하여 다양한 여건과 가능성 등을 고려하여 시행된다. 또한, 산림 특성상 예상치 못한 자연적·인위적 변수가 다른 산업군에 비해 영향을 많이 받음으로 인하여 벌채량 대비 목재 생산량 역시 일정치가 않고, 특정하기 힘들

다. 이에 본 연구에서는 공시데이터를 활용하여 진행하였다.

우선 2020년 기준 국유림, 민유림(공·사유림)에서 법적으로 실제 벌기령에 도달한 면적은 1,392,712 ha로 산출되었다. 벌기령을 5, 10년씩 단축한다고 가정하였을 때, 대상 면적은 각각 1,564,879 ha와 1,740,243 ha로 Table 4와 같이 정리하였다. 대상 면적 중 실제 벌채가 시행된 비율은 8.59%로 산출식은 식(1)과 같다. 해당 비율로 적용시, 실제 벌채면적은 119,679 ha, 134,853 ha, 150,022 ha의 순으로 나타났다.

Table 4. Research results on shortened final cutting age area period (including 5 and 10 years).

(Unit : ha)

| National species area | Sortation | Final cutting age area | (Case 1) Assuming 5 years shortened | (Case 2) Assuming 10 years shortened |
|-----------------------------|---------------------|------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|
| <i>Pinus densiflora</i> | National Forest | 7,526 | 30,267 | 53,009 |
| | Non-National Forest | 316,865 | 332,303 | 347,740 |
| <i>Pinus koraiensis</i> | National Forest | 159 | 697 | 1,234 |
| | Non-National Forest | 20,158 | 26,096 | 32,034 |
| <i>Larix kaempferi</i> | National Forest | 3,520 | 11,293 | 19,065 |
| | Non-National Forest | 65,713 | 67,010 | 68,307 |
| <i>Pinus rigida</i> | National Forest | 22,379 | 22,587 | 22,796 |
| | Non-National Forest | 63,624 | 64,212 | 64,474 |
| <i>Chamaecyparis obtusa</i> | National Forest | 15 | 37 | 59 |
| | Non-National Forest | 2,539 | 4,272 | 6,004 |
| Other conifer trees | National Forest | 548 | 2,998 | 5,448 |
| | Non-National Forest | 53,017 | 58,482 | 63,947 |
| <i>Quercus acutissima</i> | National Forest | 66 | 585 | 1,104 |
| | Non-National Forest | 22,665 | 23,561 | 26,019 |
| <i>Quercus mongolica</i> | National Forest | 2,439 | 7,650 | 12,860 |
| | Non-National Forest | 71,099 | 71,450 | 71,468 |
| Other broadleaf trees | National Forest | 14,318 | 41,754 | 69,189 |
| | Non-National Forest | 539,422 | 593,879 | 648,335 |
| Mixed forest | National Forest | 9,939 | 17,801 | 38,270 |
| | Non-National Forest | 176,701 | 187,945 | 188,881 |
| Total | | 1,216,011 | 1,376,935 | 1,551,364 |

Source : Korea Forest Service, Forestry Statistics Yearbook

Table 5. Actual logging quantity rate over recent 7 years (2015-2021).

| Classification | Area of actual final cutting age (ha) | Actual logging quantity (m ³) | Rate (m ³ /ha) |
|---|---------------------------------------|---|---------------------------|
| 2021 | 94,155 | 4,911 | 5.22 |
| 2020 | 119,679 | 5,457 | 4.56 |
| 2019 | 83,372 | 5,184 | 6.22 |
| 2018 | 116,931 | 5,462 | 4.67 |
| 2017 | 183,362 | 6,750 | 3.68 |
| 2016 | 265,684 | 7,670 | 2.89 |
| 2015 | 166,871 | 7,768 | 4.66 |
| Average ratio for the past 7 years | | | 4.56 |

Source : Korea Forest Research Institute, Wood supply and demand performance

$$\text{Forest area at final cutting age according to the law (ha)} \times \text{식(1)} \\ = \text{Area of actual final cutting age (All by age-class and type) (ha)}$$

$$\frac{\text{(a) Area of actual final cutting age (ha)}}{\text{(b) Forest area at final cutting age according to the law (ha)}} \\ = \text{Actual final cutting age rate (\%)} \quad (1)$$

그 다음 단계는 대상 면적에서 벌목이 이루어지면 벌채량이 산출되며, 해당 식은 식(2)와 같다. 산림 특성상 다른 산업군에 비해 예상치 못한 자연적·인위적 변수의 영향을 더 많이 받기 때문에 벌채면적 대비 벌채량은 일정치가 않고, 특정하기 쉽지 않다. 이에 본 과정에서는 최근 7년간의 공시 데이터를 이용 및 적용하였다. 2015년부터 2021년까지 평균 비율은 **Table 5**와 같이 4.56%로 산출했다. 벌기령 대상 면적 대비 벌채물의 연구결과로는 5,457 m³, 6,149 m³, 6,841 m³ 순으로 나타났다.

$$\text{Area of actual final cutting age (All by age-class and type) (ha)} \times \text{식(2)} \\ = \text{Actual logging quantity (m}^3\text{)}$$

$$\frac{\text{(d) Actual logging quantity (m}^3\text{)}}{\text{(c) Area of actual final cutting age (ha)}} \\ = \text{Actual logging quantity rate (m}^3\text{/ha)} \quad (2)$$

벌채된 목재는 전부 생산군으로 되지 않고, 운반 및 가공과정 등의 과정을 거치게 된다. 위에서 산출된 벌채량에서 실질적인 목재 생산·수집 실적을 구하였으며, 해당 식(3)과 같다. 해당 비율은 81.5%로 최종적으로 목재 생산·수집량은 4,447천 m³, 5,012천 m³, 5,575천 m³ 순으로 산출되었다. 여기서, 1 m³는 목재의 부피에 대한 단위로 가로 1 m × 세로 1 m × 높이 1 m로 약 300개로 **Fig. 3(a)**와 같이 정의된다. 1재의 단위는 1치(가로) × 1치(세로) × 12자(길이)며, 1재는 30.3 mm × 30.3 mm × 3636.3 mm = 약 0.0033 m³로 산출되며, **Fig. 3(b)**과 같다. **Fig 3(c)**의 경우는 200 mm × 86 mm × 640 mm로 해당 목재는 3.3024개로 표현된다.

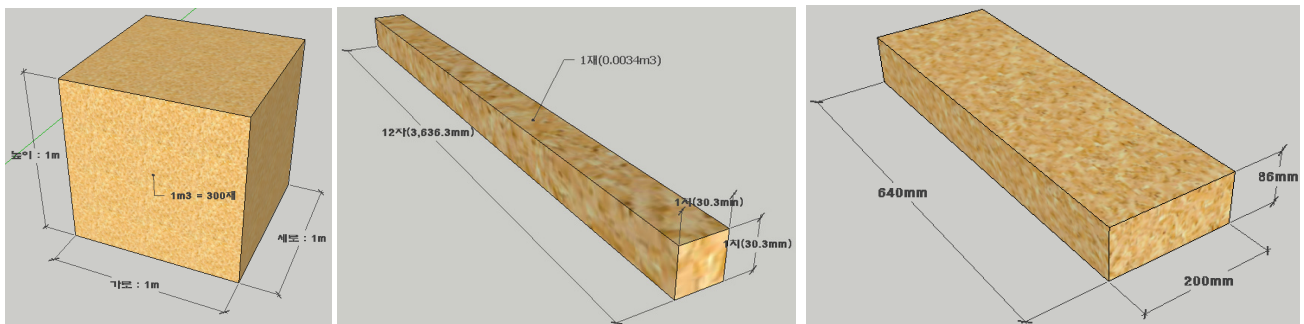
$$\text{Actual logging quantity (m}^3\text{)} \times \text{식(3)} \\ = \text{Domestic timber production and collection quantity (m}^3\text{)}$$

$$\frac{\text{(f) Domestic timber production and collection quantity (m}^3\text{)}}{\text{(e) Actual logging quantity (m}^3\text{)}} \\ = \text{Domestic timber production and collection quantity rate (\%)} \quad (3)$$

3.2. 목재 수집·생산량 산출

앞서 식(1)~(3)의 과정을 거쳐 최종 수집된 목재는 **Table 6**와 같이 각 용도별 생산된다. 최근 3년간 (2018~2020년)의 통계를 토대로 각 항목의 평균 비율을 매칭시켜 산출하였다.²³⁾ 목재의 비율은 제재용(15.3%), 합판용(0.2%), 보드용(0.7%), 칩/펄프용(48.3%), 바이오매스용(7.1%), 기타용[토목(0.1%), 한옥목조주택용(0.1%), 표고자목용(5.0%), 톱밥용(4.7%), 장작용(1.6%), 목탄용(1.0%), 기타(13.1%), 부산물(2.8%)] 순으로 나타났다. 목재 생산·수집량의 최종 결과값을 평균 비율에 맞춰 최종적인 목재 생산량을 **Fig. 4**와 같이 산출하여 비교·분석하였다. 결과적으로 2020년 기준으로 5, 10년의 각각 벌기령을 단축하였을 때, 기존 생산량 대비 각각 12.7%와 25.3%로 증가하였다. 해당 수치는 10년간 평균 16%대를 유지했던 전국 국내 목재 이용률을 최대 20%대까지의 상승할 수 있는 수치임을 확인할 수 있다.

이처럼 목재 생산이 구현되기 위해서는 다음과 같은 3가지



(A) 1 m³ = 300 pieces of wood

(B) 1 Pieces of wood (0.0034 m³)

(C) 3.3024 Pieces of wood

Fig. 3. Units and classification of timber.

Table 6. Domestic wood production and collection quantity over recent 3 years (2018-2020).

(Unit : Thousand m³, %)

| Sortation | 2018 | | 2019 | | 2020 | | An average of three years |
|--------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|---------------------------|
| | Quantity | Ratio | Quantity | Ratio | Quantity | Ratio | |
| For Wood production | 828 | 18.1 | 673 | 14.6 | 592 | 13.3 | 15.3 |
| For Plywood | 15 | 0.3 | 2 | 0.0 | 16 | 0.4 | 0.2 |
| For Boards | 43 | 0.9 | 21 | 0.5 | 29 | 0.7 | 0.7 |
| For Chips and Pulp | 2,127 | 46.5 | 2,336 | 50.7 | 2,125 | 47.8 | 48.3 |
| For Biomass | 284 | 6.2 | 389 | 8.4 | 295 | 6.6 | 7.1 |
| For Civil engineering purposes | 10 | 0.2 | - | - | 1 | 0.0 | 0.1 |
| For Korean-style wooden houses | - | - | 1 | 0.0 | 1 | 0.0 | 0.1 |
| For Elevation purposes | 235 | 5.1 | 260 | 5.6 | 190 | 4.3 | 5.0 |
| For Sawdust | 280 | 6.1 | 208 | 4.5 | 155 | 3.5 | 4.7 |
| For Firewood | 95 | 2.1 | 62 | 1.3 | 66 | 1.5 | 1.6 |
| For Charcoal | 53 | 1.2 | 57 | 1.2 | 23 | 0.5 | 1.0 |
| Etc. | 607 | 13.3 | 596 | 12.9 | 588 | 13.2 | 13.1 |
| By-Product | - | - | - | - | 366 | 8.2 | 2.8 |
| Total | 4,577 | 100.0 | 4,605 | 100.0 | 4,081 | 91.8.0 | 97.2.0 |

Source : Korea Forest Service, Timber supply and demand plan

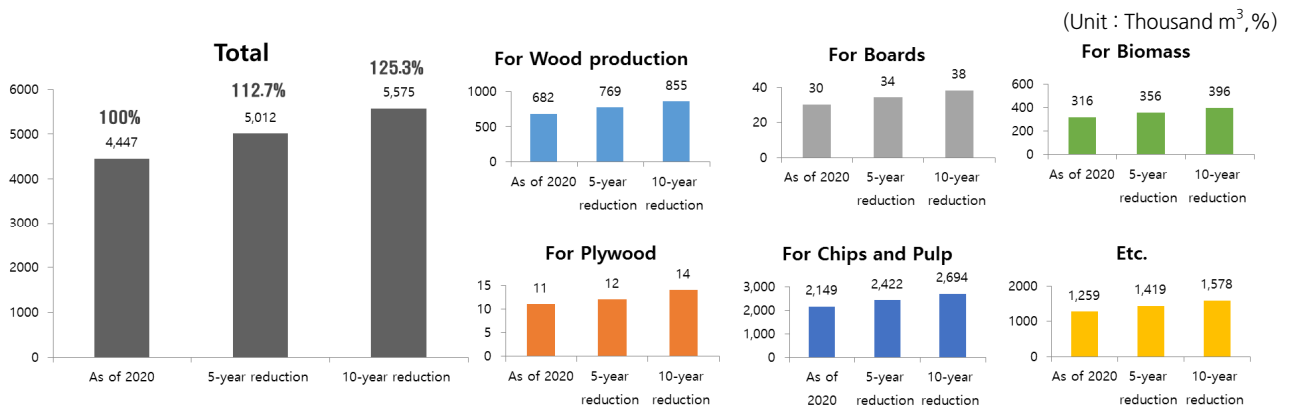


Fig. 4. Statistics of research results by shortening class age scenario.

계획이 수반되어야 한다. 첫째, 임업분야 특성상 장기 관점에서의 체계적인 목표 설정이다. 향후 목재자원량을 예측하기 위해서는 단계별로 조림·벌채 계획, 숲가꾸기에서의 순환경제계획이 수립되어야 한다. 두 번째로 산림경영에 대한 전문성이 필요하다. 차후 적기에 수종, 즉, 산림자원을 벌채하여 자원으로 활용하였을 때, 그 임야에 수종을 다시 식재하여 생육을 보다 더 잘 유지하도록 하는 산림 전문인력 양성 및 시스템 구축이 필수적으로 시행되어야 한다. 세 번째로는 국가단위 R&D 사업 지속화 및 임도 확장, 임업 기계화를 통해 각 지자체의 자체사업으로 확장하여 국산 목재에 대한 안정적인 공급과 가격 경쟁력을 높여야 하겠다. 결국 앞으로는 목재산업의 직·간접적 기여로 인한 잠재가능성이 더 커질 수 있을 것으로 예상되기 때문에 해당 산업의 성장을 위한 국가나 지자체, 산업계 차원에서 노력해야 하겠다.

4. 결론

본 연구에서는 실제 조림되는 수종면적 중 목재생산림을 대상으로 수종별 벌기령을 분석 후 5년 단위로 최대 10년간의 벌기령을 단축함에 따라 기존 대비 목재생산·수집량을 정량화하였다. 시나리오 흐름은 (1) 목재생산림의 벌기령 대상 면적 [국유림, 민유림(공·사유림) 구분] × 목재생산림의 벌채면적률 = (2) 목재생산림의 벌채면적 × 목재생산림의 벌채량비율 = (3) 목재생산림의 벌채량 × 국내 목재 생산 및 수집 실적률 = 국산 목재 생산·수집량 [제재, 합판, 보드, 칩·펠프, 바이오매스, 기타(토목 갱목, 한옥목조주택, 표고자목, 톱밥, 장작, 목탄, 기타, 부산물)] 순으로 산출하였다. 연구결과는 10년의 벌기령을 단축하였을 때, 목재 생산이 최대 25.3%까지 증가하였음을 확인할 수 있었다.

연간 4천만 m³의 목재는 산림의 공익적 가치(사회적, 생태

적, 문화적)로 환산하였을 때, 연간 130조에 이르고, 10년 단위로 3,000 m³/ha를 반복하여 목재를 생산하였을 때, 매년 3조에 상응하는 경제적 잠재력을 지니고 있다. 현재 지속가능한 목재 생산이라는 목표를 설정한 후 항속림 경영이 필요한 시기 임은 분명하다.

본 연구는 2020년 전국을 대상으로 분석하였기 때문에 지역별 특성 및 지형 등 세부적인 요인까지 고려하지 못하고, 산림의 생태환경적 가치에 대한 영향을 반영하지 못하였다는 점에서 분명히 연구한계는 존재한다. 하지만 현 시점에서 목재 생산에 직결되는 필수 요소인 벌기령을 분석하여 그 결과를 정량적으로 산출하였다. 추후 성장 및 저해 요인과 이에 따른 국가경제 기여도를 파악하여 체계적인 벌채와 목재산업과 관련된 후속 연구가 필요한 시점이다. 해당 연구를 시작으로 벌기령 단축과 목재 산업에 관련된 계획 및 정책 등에 있어서 중요한 의사결정 자료로 활용될 것으로 사료된다.

Acknowledgement

이 연구는 2023년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국에너지기술평가원의 지원을 받아 수행된 연구임(2024000000420, 순환자원 분야 글로벌 인재양성)이며, 본 논문에 대해 도움을 주신 서울대학교 한희 교수님께 감사를 드립니다.

References

1. National Institute of Forest Science, Potential of Timber Production for Establishing a Virtuous Cycling System of Forest Resources in Korea, Research Report, pp. 7-9(2021).
2. Korea Forest Service, 2022 STATISTICAL YEARBOOK OF FORESTRY(52), pp. 143-145(2022).
3. J. E. Song, Forest management plan for carbon neutrality in 2050, Special Committee on Agriculture, Fisheries and Rural Community, pp. 45-49(2021).
4. N. H. Han, T. H. Kim, A Case study on the structure of Supply Chain in the Japanese timber industry, Institute of Industrial and Business Management of Kyungnam University 44(1), 183-204(2019).
5. B. H. Lee, S. B. Kim, C. J. Lee, Y. J. Sung, C. B. Lee, S. J. So, T. H. Kim, Analysis on Industrial Structure and Stable Supply and Demand of Wood Chip, J.of Korea TAPPI, 50(3), 53-61(2018).
6. K. S. Nam, H. S. Lim, M. S. Kang, B. I. Ahn, Analysis of the contribution of the domestic timber industry to the national economy and its growth factors, JRD 44(3), 53-74(2021).
7. H. B. Kwon, J. W. Park, D. H. Jo, Relationship between Convergence, Capacity and Performance of Supply Chain: Focusing on the Timber Industry. Korean Journal of Logistics 23(2), 111-130(2015).
8. M. Y. Park, Y. Y. Chang, A Study on Conditions for Facilitating Forest Carbon Projects for Greenhouse Gas Reduction: A Forest Management Project Case with Extended Rotation Age in Private Forests, J. Korean Soc. For. Sci., 110(3), 440-452(2021).
9. E. K. Sadanandan Nambiar, Strengthening Vietnam's forestry sectors and rural development: Higher productivity, value, and access to fairer markets are needed to support small forest growers, Trees, Trees For People 3, 100052(2021).
10. H. K. Shin, J. S. Park, K. B. Shim, Y. S. Choi, K. H. Kim, Study on Strategy for Unification Process between Korean Standards (KS) and Technical Regulations: Wood-based Industry, Journal of Standards, Certification and Safety 8(1), 1-10(2018).
11. K. T. Min, Input-Output Analysis Focused on Forestry and Wood Industry in Korea, Korean Soc. For. Sci., 109(4), 521-531(2020).
12. Y. H. Kim, Analysis of Forest Carbon Offset Credits from Forest Management Project based on to the Korean Forest Carbon Offset Standard and the VCS Methodology - Case Study on the Methodology for Forest Management through Extension of Rotation Age -, J. Climate Change Res., 8(4), 369-375(2017).
13. H. J. Ahn, S. M. Lee, S. J. Cho, Pilot Research on How to Achieve Circular Economy for Forest Resources With a Focus on Forest Management, Korea Rural Economic Institute 876, pp. 139-140(2019).
14. D. H. Ryu, W. K. Lee, C. H. Song, C. H. Lim, S. G. Lee, D. F. Piao, Assessing effects of shortening final cutting age on future CO₂ absorption of forest in Korea, J.Climate Change Res., 7(2), 157-167(2016).
15. S Zimová, L Dobor, T Hlásny, W Rammer, R Seidl, Reducing rotation age to address increasing disturbances in Central Europe: Potential and limitations, For Ecol Manage, 475, 118408(2020).
16. K. T. Min, Analysis of forest cutting age considering carbon fixation effect, JRD, 34(5), 43-54(2011).
17. H. K. Won, H. S. Jeon, H. Han, S. J. Lee, B. H. Jung, Combining Timber Production and Wood Processing for Increasing Forestry Income: A Case Study of 6th Industrialization in Korean Forestry, JFES, 33(4), 355-360(2017).
18. T. Pukkala, S. Kellomäki, Anticipatory vs adaptive optimization of stand management when tree growth and timber prices are stochastic, Forestry, 85(4), 463 - 472(2012).
19. T. Lundmark, B.C. Poudel, G. Stål, A. Nordin, J. Sonesson, Carbon balance in production forestry in relation to rotation length, Can J For Res, 48(6), 672-678,(2018).
20. Korea National Arboretum.
<http://www.nature.go.kr/main/Main.do>(2022).
21. Korea Forest Service, Forestry Statistics Yearbook, <https://kfs.forest.go.kr/stat/ptl/main/main.do> (2020).
22. Enforcement Rules of the Act on the Creation and Management of Forest Resources. Standards for facilities, such as logging and excavation standards, forest road, etc(2019).
23. J. C. Jeong, Korea Forest Research Institute, Wood supply and demand performance, <https://www.forest.go.kr/>(2022).

Declaration of Competing Interest

The authors declare that they have no known competing interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

Authors and Contribution Statement

Soon Gil Kwon

CREIDD Research Center on Environmental Studies & Sustainability, Interdisciplinary research on Society-Technology Environment Interactions, University of Troyes, France / Program in Circular Economy Environmental System, Inha University, Republic of Korea, Post Doctoral Researcher, ORCID[®] 0000-0002-1824-7138, Writing - review and editing, Funding acquisition, Project administration, Resources, Validation, Visualization.

Yong Woo Hwang

Department of Environmental Engineering, Inha University, Republic of Korea, Professor, ORCID[®] 0000-0001-9844-7596, Writing - review and editing, Funding acquisition, Resources, Supervision, Validation, Visualization.

Junbem Kim

CREIDD Research Center on Environmental Studies & Sustainability, Interdisciplinary research on Society-Technology-Environment Interactions, University of Technology of Troyes, France, Professor, ORCID[®] 0000-0003-0665-7989, Writing - review and editing, Funding acquisition, Project administration, Resources, Validation, Visualization.

Jong Hyo Lee

Program in Circular Economy Environmental System, Inha University, Republic of Korea, Researcher, ORCID[®] 0000-0002-0041-9827, Writing - review and editing, Funding acquisition, Resources, Validation, Visualization.