

텍스트마이닝 기법을 이용한 국내 산림 작업 및 작업 안전 연구 동향 분석

최예준¹ · 이준우² · 최성민^{3*}

¹충남대학교 산림자원학과, ²충남대학교 산림환경자원학과, ³산림기술연구원

Using Text-Mining Techniques to Analyze Research Trends Related to Forest Operations and Forest Work Safety in South Korea

Ye Jun Choe¹, Joon-Woo Lee² and Sung-Min Choi^{3*}

¹Department of Forest Resources, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea

²Department of Environment and Forest Resources, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea

³Laboratory of Forest Engineering, Korea Forest Engineer Institute, Daejeon 35209, Korea

요약: 최근, 산림 작업은 그 범위가 점차 확대되며, 지속 가능한 산림경영의 실현을 위한 필수 요소로 부각되고 있다. 또한, 중대재해처벌법의 시행 등으로 인해 산림 작업 안전의 중요성이 강조되고 있음에도 불구하고, 타 산업에 비해 높은 재해율을 보이며, 관련 연구가 미흡한 실정이다. 이에 따라, 산림 작업의 효율성과 안전성을 제고하기 위해 선행 연구의 동향을 파악하고 후속 연구의 방향을 제시하는 연구가 필요한 시점이다. 따라서, 본 연구는 텍스트마이닝(Text-Mining) 기법을 이용하여 국내 산림 작업 및 산림 작업 안전과 관련된 연구 동향을 분석하고 주요 연구 주제를 도출하기 위해, TF-IDF 분석, LDA 토픽 분석, 동시출현빈도 기반 단어망 분석(N-gram, 클러스터링 분석)을 수행하였고, 시기별 분석을 통해 시대 흐름에 따른 연구 관심도 변화를 살펴보았다. 연구 결과, 산림 작업 분야는 산림 자원의 효율적 활용, 작업 기계화 및 시스템 개선, 작업 시간·비용 절감에 중점을 두고 있었으며, 작업 안전 분야는 물리적 부담과 안전 확보, 노동자 처우 개선, 심리·사회적 요인에 대한 대응, 제도적 기반 마련이 주요 연구 흐름으로 나타났다. 시계열 분석에서는 시대별로 부각된 키워드를 통해 연구 흐름이 기술 중심에서 제도와 사람 중심으로 전환되고 있음을 확인하였으며, 이를 바탕으로 기계화와 생산성, 안전 기술, 교육 효과, 정책 변화에 따른 연구 등 다양한 후속 연구 방향을 제시하였다. 종합적으로 본 연구는 산림 작업의 효율성과 안전성을 확보하기 위한 학술적 기반을 마련하고, 향후 연구 방향을 제시하여 산림 산업 및 정책 수립에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

Abstract: The scope of forest operations has recently gradually expanded, and forest operations are deemed an essential component for the achievement of sustainable forest management. Emphasis on forest work safety is increasing, particularly after the enforcement of the Serious Accidents Punishment Act. However, the forestry sector continues to exhibit higher accident rates than other industries, and related research remains insufficient. Therefore, trends evident in previous studies must be identified, and directions must be provided for future research initiatives aimed at improving the efficiency and safety of forest operations. This study applied text-mining techniques to analyze research trends related to forest operations and forest work safety in Korea and derive the major research topics. Specifically, it employed TF-IDF analysis, LDA topic modeling, and co-occurrence-based network analysis (including N-gram and clustering). It also conducted a time-series analysis to examine shifts in research interests over time. The study results revealed that extant investigations on forest operations have focused primarily on the efficient use of forest resources, mechanization and system improvement, and time and cost reduction. Conversely, studies on forest work safety have emphasized physical burden and accident prevention, probed the improvement of worker conditions, queried psychosocial factors, and scrutinized institutional support systems. The time-series analysis disclosed shifts in research focus from technical aspects to institutional and human-centered themes, as evidenced by the emergence of keywords such as “excavator,” “stress,” and “safety” in discrete decades. The study findings enable the delivery of several directions for future investigations. For instance, prospective researchers could attempt quantitative analyses of mechanization and productivity, examine the application of smart safety technologies, conduct empirical studies on training effectiveness, and evaluate research trends associated with policy changes. In conclusion, this study provides a scholarly foundation for the enhancement of the efficiency and safety of forest operations. Thus, it expects to contribute substantively to future academic research and policy-making endeavors in the forest sector.

Key words: forest operation, forest work safety, text-mining, work environment improvement, sustainable forest management

* Corresponding author
E-mail: goodday@kfei.kr

ORCID
Sung-Min Choi  <https://orcid.org/0000-0001-8605-7072>

서론

우리나라는 1970년대 대규모 조림 사업을 통해 성공적인 녹화를 이루었으며, 2023년 기준 176.0 m³/ha의 입목축적에 도달하면서 목재 생산의 적기가 도래하였다(Hwang et al., 2016; KFS, 2024). 이러한 목재 생산 시대의 도래는 지속 가능한 산림경영을 위해 보다 체계적인 목재 수확과 재조림이 필요함을 나타내며, 이에 따라 효율적인 산림 작업을 통해 경제적·환경적 가치를 극대화하는 것이 중요해지고 있다. 또한, 최근 탄소중립과 기후변화 대응이 주요 이슈로 대두되면서, 산림 작업을 통한 목재의 지속적인 공급과 산림의 건강성 유지가 중요한 과제로 꼽히고 있다(Marchi et al., 2018, Liang and Wang, 2022).

산림 작업은 목재 수확, 솎아베기, 가지치기, 조림, 시비, 산불 예방 등을 포함하는 광범위한 활동을 의미하며, 지속 가능한 산림경영의 등장 이후 그 중요성이 점차 증가하고 있다(Worrell and Hampson, 1997; Rummer et al., 2002). 이러한 중요성과는 별개로, 산림 작업은 가파른 지형과 불규칙한 기후 조건 속에서 이루어지며, 높은 노동 강도와 중장비 사용으로 인해 작업자의 안전사고 위험이 매우 높은 분야 중 하나이다(Lee and Park, 2001; Kim et al., 2013). 특히, 2022년 중대재해처벌법 시행 이후, 산림 작업에서의 안전 확보는 법적 의무 사항으로 강화되어 사업주 및 경영 책임자는 작업 환경 개선과 체계적인 안전 관리 시스템을 필수적으로 구축해야 한다. 그럼에도 불구하고,¹⁾ MOEL(2023)은 2023년 입업분야의 재해 천인율이 7.26%, 도수율이 3.89%로 각각 전 산업 평균(6.63%, 3.52%)보다 높은 수치를 나타내었고, 총 1,000건의 사고 중 절단·베임·찢림 사고가 231건(23.1%), 깔림·뒤집힘 사고가 199건(19.9%)을 차지한다고 보고하였다. 이러한 통계는 중대재해처벌법이 시행된 이후에도 산림 작업의 위험성이 여전히 높은 수준임을 보여주고 있으며 산림 작업에 있어 효율성과 안전성을 동시에 확보할 수 있는 방안 마련이 시급함을 나타낸다.

한편, 최근 다양한 분야에서 텍스트마이닝(Text-Mining) 기법이 연구 동향 및 핵심 주제 도출을 위한 방법으로 활용되면서, 산림 분야에서도 이를 적용한 연구가 활발하게 수행되고 있다. 산림 치유분야와 산림 생태분야에서는 Park and Yeon(2020), Lee and Lee(2021)가 연구 동향과 언론 보도 패턴을 파악하였으며, 산림 작업분야와 밀접하게 연관된 산림 공학분야에서는 Jeon et al.(2024)이 10년간의 임도 관련 언론 동향을 분석하여, 임도의 산림 재해 대응 역할의 중요성이 증가하고 있다고 밝힌 바 있다. 산

림 작업과 관련된 문헌은 논문, 보고서, 뉴스 기사 등 다양한 형태로 존재한다. 그 중 양적·질적 측면에서 우수하다고 판단되는 학술 논문을 분석함으로써 연구의 흐름을 파악하고 후속 연구 방향을 제시할 수 있으나, 이와 관련한 연구가 전무한 실정이다.

따라서, 본 연구는 텍스트마이닝 기법을 활용하여 산림 작업 및 산림 작업 안전과 관련된 연구 동향을 분석하고, 주요 연구 주제를 도출하여 후속 연구의 방향을 제시하고자 한다. 이를 통해 산림 작업의 효율성과 안전성 확보를 위한 학술적 기반을 마련하고, 산림 산업 및 정책 수립에 기여할 수 있는 기초 자료를 제공하고자 한다.

재료 및 방법

1. 데이터 수집 및 전처리

본 연구는 국내 산림 작업 안전과 관련된 연구 동향을 분석하기 위해 텍스트마이닝 기법을 적용하였다. 데이터는 학술 데이터베이스인 RISS(Research Information Sharing Service)를 활용하여 수집하였으며, 학위논문은 동일한 내용을 바탕으로 학술지에 투고되는 경우가 많아, 동일 연구 결과가 중복으로 포함될 가능성이 존재한다. 이에 따라 본 연구에서는 데이터의 중복성과 분석 결과의 왜곡 가능성을 최소화하기 위해 정식 학술지에 게재된 논문만을 분석 대상으로 선정하였다. 검색 키워드는 초기 파일럿 검색 과정을 거쳐 수집된 문헌의 주제 일치도, 비관련 문서 비율, 초록 및 본문 내용을 기반으로 한 질적 검토를 통해 ‘산림 작업’, ‘산림 작업 안전’, ‘산림 작업자’, ‘산림 안전’으로 설정하였다. 데이터 수집 범위는 1980년부터 2024년까지로 한정하였으며, 데이터 접근 경로와 원문 형태의 통일을 위해 국내에서 발표된 논문만을 분석 대상으로 포함하였다. 특히, 2000년대 이전에 출판된 논문의 경우 한문이 다수 포함되어 있어, 이를 한글로 변환하는 과정이 필요하였다. 이에 따라 AI 기반 기계번역(Machine Translation, MT) 기법을 활용하여 한문을 한글로 변환하였으며, 변환된 텍스트의 정확성을 확보하기 위해 수동 검토를 병행하였다. 이후, 주제와 관련이 없는 논문과 중복 논문을 수동 검토를 통해 제거하고, 특수문자 및 불필요한 단어를 삭제하는 등의 전처리 과정을 거쳤다. 이러한 데이터 전처리는 텍스트 데이터를 활용한 연구에서 필수적인 과정으로, 본 연구에서는 형태소 분석을 수행하여 명사 중심으로 단어를 추출하였으며, 연구 주제와 관련성이 낮은 불용어를 제거하였다(Table 1). 이를 통해 분석의 신뢰성을 확보하고 연구 주제에 적합한 텍스트 데이터를 구축하였다.

1) Ministry of Employment and Labor

Table 1. Examples of Processed Stopwords.

Types of Stopwords	Words
Keywords	Forest, Operation, Safety
One-syllable words	Year, Month, Thing, Won(₩) ...
Non-topic words	Relevance, Sector ...
Government institution	KFS(Korea Forest Service)

2. 중요 키워드 추출

산림 작업 안전과 관련된 주요 개념을 파악하기 위해 TF-IDF(Term Frequency-Inverse Document Frequency) 분석을 수행하였다. TF-IDF는 특정 문서 내에서 단어가 등장하는 빈도와 전체 문서에서의 출현 비율을 고려하여 해당 단어의 상대적 중요도를 평가하는 기법이다 (Sparck, 1972; Qaiser and Ali, 2018). 본 연구에서는 전처리된 텍스트 데이터를 기반으로 TF-IDF 값을 계산하여, 가장 중요한 키워드를 추출하였다. 이후, 연구 주제와 밀접한 단어를 도출하고, 산림 작업과 관련된 주요 이슈를 파악하는데 활용하였다.

3. 주제어 분석

수집된 데이터의 주제를 파악하기 위해 LDA(Latent Dirichlet Allocation) 토픽 모델링을 적용하였다. LDA는 문서 내에서 잠재적인 토픽을 찾아내는 확률 기반 알고리즘으로, 각 논문이 특정 주제에 얼마나 관련이 있는지를 확률적으로 계산하여 연구 분야의 핵심 토픽을 도출하는 기법이다(Jelodar et al., 2019). 본 연구에서는 이를 활용하여 주요 연구 주제를 분류하였다. 분석 과정에서는 최적의 토픽 개수를 결정하기 위해 복잡도(Perplexity) 및 응집도(CV coherence score)를 평가하였다. 복잡도가 낮을수록, 응집도가 높을수록 최적의 토픽 개수로 판단한다. 최종적으로 주요 연구 주제와 주요 단어를 도출하여 이를 통해 국내 산림 작업 연구의 흐름을 보다 체계적으로 이해하고자 하였다.

4. 동시출현빈도 기반 단어망 분석

본 연구에서는 동시출현빈도(Co-occurrence Frequency)를 활용한 단어망 분석을 수행하여, 산림 작업과 관련된 주요 개념들의 연관성을 도출하였다. 이를 위해, 전처리 과정을 통해 추출된 형태소를 동시출현관계를 기반으로 동시출현관계(Co-occurrence Network)를 구축하고, N-gram 분석과 Louvain 알고리즘을 활용한 클러스터링 분석을 수행하였다. N-gram 분석은 텍스트를 연속된 N개의 단어 단위로 나누어 구조적 패턴을 분석하는 기법으로, 텍스트 분

류, 정보 검색, 자연어 처리 등의 다양한 분야에서 활용된다. 특히, 불완전한 텍스트에서도 높은 매칭 성능을 제공하는 것이 특징이다(Cavnar and Tenkle, 1994).

한편, Louvain 알고리즘은 계층적 커뮤니티 분할(Hierarchical Partitioning) 기법을 기반으로 동작하며, 기존 커뮤니티 탐색 알고리즘보다 계산 속도가 빠르고, 데이터의 양이 방대한 경우에도 높은 효율성을 가진다는 특징이 존재한다(Que et al., 2015). 본 연구에서는 이러한 분석을 통해 산림 작업과 관련한 주요 주제별 군집을 도출하고, 단어망 시각화를 통해 핵심 키워드 간 관계를 분석하였다. 또한, 동시출현 빈도가 높은 단어들을 중심으로 주제의 의미를 분석함으로써, 산림 작업 연구의 특징을 도출하고자 하였다.

5. LDA 기반 시계열 분석

산림작업 분야의 시기별 주제 변화를 분석하기 위해, 수집된 문헌 데이터를 발표 연도 기준으로 세 시기로 구분하였다. 시기 구분은 1980~1990년대, 2000년대, 2010~2020년대로 설정하였으며, 각 시기별 문헌 수는 각각 78편, 71편, 80편으로 시기 간 문헌 수의 편차가 크지 않아 비교가 용이하도록 구성하였다.

각 시기별로 독립적인 LDA 토픽 모델링을 수행하였으며, 동일한 전처리 과정을 거친 텍스트 데이터를 기반으로 분석을 진행하였다. 이후, 시기별로 도출된 키워드들의 중요도를 정리하였으며 히트맵 작성을 통해 각 시대별 주제 키워드의 상대적 중요도를 비교할 수 있도록 하였다.

연구 결과

연구 결과는 산림 작업과, 최근 중요성이 증가하고 있는 산림 작업 안전으로 나누어 각각 작성하였다. 산림 작업 관련 논문은 총 229편이 수집되었으며, 그 중 산림 작업 안전 분야의 논문은 총 31편으로 나타났다(Figure 1).

1. 중요 키워드 추출

1) 산림 작업

산림 작업 분야에서 TF-IDF가 높게 나타난 단어는 ‘영림(Forest Management)’, ‘비용(Cost)’, ‘이용(Use)’, ‘생산(Production)’, ‘집재(Forwarding)’로 나타났으며, ‘직무(Duty)’, ‘사업(Project)’, ‘수종(Tree Species)’, ‘풀베기(Mowing)’ 등이 뒤를 이었다(Table 2).

2) 산림 작업 안전

산림 작업 안전 분야의 상위 TF-IDF 단어는 ‘자세(Posture)’,

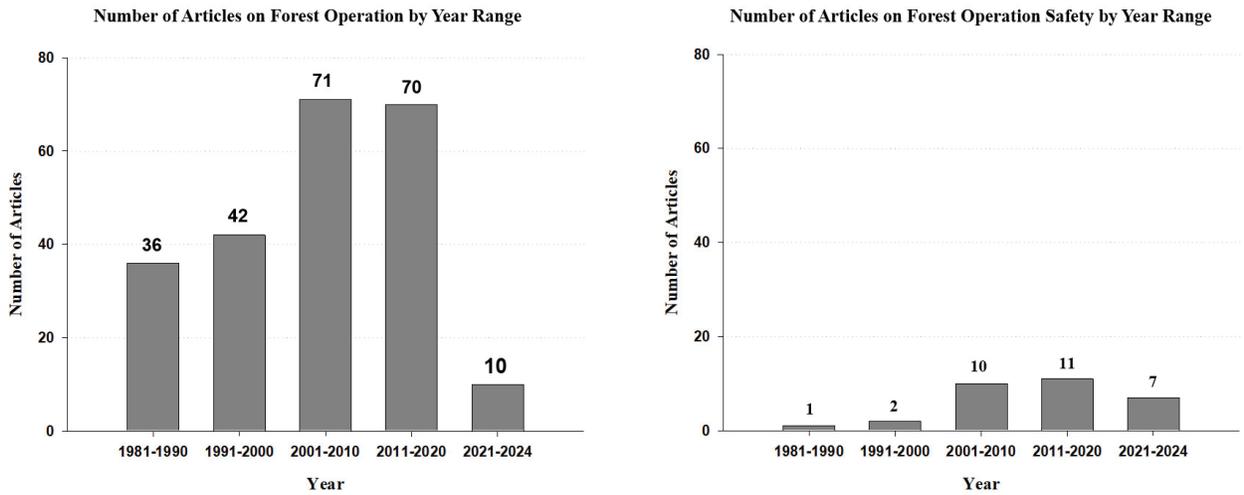


Figure 1. Number of Articles on Forest Operation and Forest Operation Safety by Year Range.

‘강도(Intensity)’, ‘임금(Wage)’, ‘영림(Forest Management)’, ‘풀베기(Mowing)’으로 나타났고, 그 외에 ‘작업자(Worker)’, ‘단원(Member)’, ‘교육(Education)’ 등이 주요 단어로 분석되었다(Table 2).

2. 주제어 분석

텍스트 데이터셋이 나타내는 최적의 토픽 개수를 판단하기 위해 복잡도와 응집도를 분석한 결과 모든 주제에서 두 수치 모두 음의 값을 나타내었다. 복잡도가 낮을수록,

Table 2. Top 20 TF-IDF words in the forest operation field and forest operation safety field.

Rank	Words	
	Forest Operation	Forest Operation Safety
1	Forest Management	Posture
2	Cost	Intensity
3	Usage	Wage
4	Production	Forest Management
5	Forwarding	Felling
6	Duty	Mowing
7	Project	Member
8	Tree Species	Worker
9	Mowing	Education
10	Survey	Walking
11	System	Duty
12	Time	Production
13	Process	Satisfaction
14	Forestry	Time
15	Region	Removal
16	Safety	Branch
17	Tower	Awareness
18	Improvement	Usage
19	Section	Level
20	Machinery	Function

응집도가 높을수록 최적의 토픽으로 분석되기 때문에 두 수치의 합이 가장 높은 토픽의 개수를 최적의 토픽 개수로 선정하였으며, 두 분야 모두 2개의 토픽이 최적의 토픽 개수로 분석되었다(Table 3).

1) 산림 작업

산림 작업에서 나타난 두 개의 주제와 관련된 단어로 주제 1에서는 ‘이용(Usage)’, ‘비용(Cost)’, ‘집재(Forwarding)’, ‘생산(Production)’ 등이 도출되었으며, 주제 2에서는 ‘이용(Usage)’, ‘집재(Forwarding)’, ‘시간(Time)’, ‘개선(Improvement)’, ‘조사(Survey)’ 등이 나타났다(Table 4).

2) 산림 작업 안전

산림 작업에서 나타난 두 개의 주제와 관련된 단어로 주제 1에서는 ‘강도(Intensity)’, ‘시간(Time)’, ‘영림(Forest Management)’, ‘작업자(Worker)’ 등이 도출되었으며, 주제 2에서는 ‘이용(Usage)’, ‘영림(Forest Management)’, ‘가지(Branch)’, ‘임금(Wage)’ 등이 나타났다(Table 4).

3. 동시출현빈도 기반 단어망 분석

1) 산림 작업

(1) N-gram 분석

단어의 동시출현빈도를 분석한 결과, ‘생산(Production)-비용(Cost)’, ‘수확(Harvesting)-시스템(System)’, ‘임업(Forestry)-기계(Machinery)’, ‘시스템(System)-비용(Cost)’, ‘바이오매스(Biomass)-이용(Usage)’이 높은 빈도로 동시 출현한 것을 확인할 수 있었다(Table 5).

(2) Louvain 알고리즘을 이용한 클러스터링

동시출현빈도를 기반으로 단어 군집을 형성한 결과, 총 4개의 단어 군집이 형성되었다. 군집 1에는 ‘이용(Usage)’, ‘집재(Forwarding)’, ‘비용(Cost)’, ‘생산(Production)’ 등이 포함되었고, 군집 2는 ‘개선(Improvement)’, ‘굴삭기(Excavator)’, ‘교육(Education)’, ‘영림(Forest Management)’ 등이, 군집 3은 ‘평가(Execution)’, ‘수준(Level)’, ‘중심(Core)’, ‘변화(Change)’ 등이 속해 있었으며, 마지막으로 군집 4는 ‘수종(Tree Species)’, ‘개발(Development)’, ‘활용(Utilization)’, ‘조림(Afforestation)’ 등으로 구성되었다(Table 6).

Table 3. Comparison of perplexity and coherence scores for different topic numbers in forest operation and forest operation safety.

Topic	Forest Operation			Forest Operation Safety		
	Perplexity	Coherence Score	Sum	Perplexity	Coherence Score	Sum
2	-8.67179	-4.63116	-13.3029	-8.00949	-12.024	-20.0335
3	-9.14237	-4.95487	-14.0972	-8.55683	-12.6055	-21.1623
4	-9.64377	-6.62437	-16.2681	-9.06337	-11.8017	-20.8651
5	-10.119	-5.92508	-16.0441	-9.65082	-11.9821	-21.6329
6	-10.4313	-7.20202	-17.6333	-10.1267	-11.6547	-21.7815
7	-10.8342	-6.77492	-17.6091	-10.321	-10.5772	-20.8982
8	-11.1936	-6.56663	-17.7603	-10.7113	-10.3655	-21.0768
9	-11.4677	-6.41792	-17.8856	-11.1021	-10.8352	-21.9374
10	-11.8136	-6.29481	-18.1084	-11.5256	-9.98845	-21.5141

Table 4. Topic words extracted using LDA modeling.

Topic	Words	
	Forest Operation	Forest Operation Safety
1	Usage, Cost, Forwarding, Production, System, Result, Forest Management, Process, Tree Species, Method	Intensity, Time, Forest Management, Wage, Worker, Labor Force, Measurement, Walking, Usage, Mowing
2	Usage, Forwarding, Time, Improvement, Survey, Forestry, Cost, Mowing, Afforestation, Forest Management	Usage, Forest Management, Branch, Wage, Felling, Level, Posture, Education, Worker, Satisfaction

Table 5. Top 20 word groups derived from n-gram analysis.

Rank	Forest Operation		Forest Operation Safety	
	Words	Frequency	Words	Frequency
1	Production Cost	17	Forest Management Member	14
2	Harvesting System	13	Adequacy Wage	12
3	Forestry Machinery	12	Branch Removal	10
4	System Cost	11	Construction Sector Standard Wage	10
5	Biomass Usage	11	Real Time	8
6	Cost Reduction	10	Duty Satisfaction	8
7	Function Forest Management	9	Production Cost	8
8	Safety Awareness	9	Standard Wage Unit Price	7
9	Usage Forwarding	8	Worker Adequacy	7
10	Forwarding System	8	Pulse Intensity	6
11	Forwarding Production	8	Chainsaw Usage	6
12	Forest Road Facility	8	Awareness Level	6
13	Track-type Mini-Forwarder	7	Measurement Body Part	6
14	Forestry Labor Force	7	Felling Processing	6
15	Survey Result	7	Intensity Factor	6
16	Job Stress	7	Walking Intensity	6
17	Usage Process	7	Human Ergonomics	6
18	Reduction Efficiency	7	Improvement Solution	5
19	Complex Work Equipment	7	Posture Risk	5
20	Policy Evaluation	6	Worker Wage	5

Table 6. Word cluster derived from clustering analysis.

Rank	Words	
	Forest Operation	Forest Operation Safety
1	Usage, Forwarding, Cost, Production, Time, System, Process, Tower, Harvest, Efficiency	Usage, Worker, Felling, Posture, Branch, Production, Removal, Evaluation
2	Improvement, Excavator, Education, Forest Management, Result, Forestry, Business, Machinery, Safety, Evaluation	Forest Management, Improvement, Fuction, Project, Education, Member,
3	Execution, Level, Core, Change, Policy, Average, Unit, Survey, Region, Method	Intensity, Level, Measurement, Mowing, Time
4	Tree Species, Development, Utilization, Afforestation, Judgement, Job, Branch, Impact, Target, Forest Road	-

2) 산림 작업 안전

(1) N-gram 분석

단어의 동시출현빈도를 분석한 결과, ‘영림(Forest Management)-단원(Member)’, ‘적정(Adequacy)-임금(Wage)’, ‘가지(Branch)-제거(Removal)’, ‘건설업(Construction Sector)-시중노임(Standard Wage)’, ‘순수(Real)-시간(Time)’이 높은 빈도로 동시 출현한 것을 확인할 수 있었다(Table 5).

(2) Louvain 알고리즘을 이용한 클러스터링

동시출현빈도를 기반으로 단어 군집을 형성한 결과, 총 3개의 단어 군집이 형성되었다. 군집 1에는 ‘사용(Usage)’, ‘작업

자(Worker)’, ‘벌도(Felling)’, ‘자세(Posture)’, ‘가지(Branch)’ 등이 포함되었고, 군집 2는 ‘영림(Forest Management)’, ‘단원(Member)’, ‘개선(Improvement)’, ‘기능(Function)’, ‘사업(Project)’, ‘교육(Education)’ 등의 단어가 존재하였다. 마지막으로 군집 3은 ‘강도(Intensity)’, ‘수준(Level)’, ‘측정(Measurement)’, ‘풀베기(Mowing)’ 등으로 구성되었다 (Table 6).

4. LDA 기반 시계열 분석

시기별 LDA 분석을 통해 도출된 키워드에 대한 LDA 기반 단어 중요도를 시각화한 히트맵 결과는 Figure 2와 같다. 1980~1990년대에는 ‘굴삭기(Excavator)’가 0.043으로

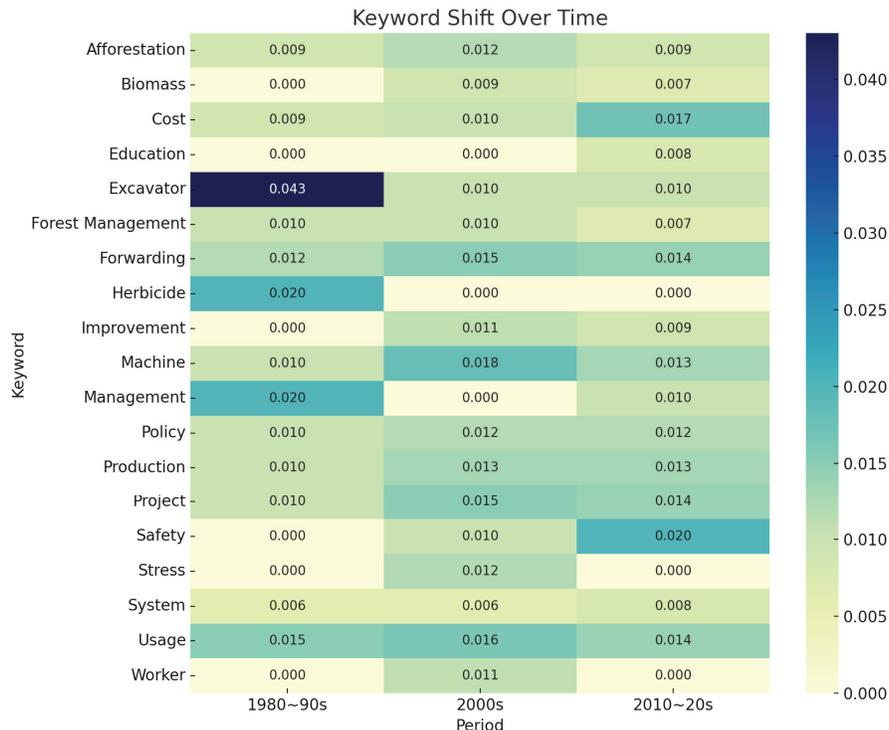


Figure 2. Keyword importance by period based on LDA topic modeling.

가장 높은 중요도를 보였고, ‘제초제(Herbicide)’와 ‘경영(Management)’은 각각 0.020, ‘개발(Development)’과 ‘사용(Usage)’은 각각 0.017의 중요도를 나타냈다. 같은 시기에 ‘면적(Area)’, ‘지원(Support)’, ‘협업(Collaboration)’은 0.011~0.012 수준이었으며, ‘효율(Efficiency)’, ‘수입(Import)’, ‘효과(Effect)’는 0.009로 확인되었다.

2000년대에는 ‘기계(Machinery)’가 0.018, ‘사업(Project)’는 0.015, ‘이용(Usage)’은 0.016, ‘조림(Afforestation)’은 0.012, ‘스트레스(Stress)’와 ‘단원(Worker)’은 각각 0.012 및 0.011의 중요도를 나타냈다. ‘정책(Policy)’과 ‘시스템(System)’은 각각 0.012 및 0.006의 중요도를 보였다.

마지막으로, 2010~2020년대에는 ‘안전(Safety)’이 0.020, ‘비용(Cost)’은 0.017, ‘기계(Machinery)’는 0.013, ‘생산(Production)’과 ‘정책(Policy)’은 각각 0.013 및 0.012의 중요도를 기록하였다. ‘교육(Education)’은 0.008, ‘시스템(System)’은 0.008, ‘개선(Improvement)’과 ‘과정(Process)’은 각각 0.009의 중요도로 확인되었다.

고 찰

1. 중요 키워드 추출

1) 산림 작업

‘영림(Forest Management)’이 가장 높은 TF-IDF 값을 기록한 것은 우리나라 산림 작업이 주로 영림단에 의해 수행되고 있기 때문으로 사료된다. 이를 통해 산림 작업의 수행 주체에 대한 관심이 높으며, 실질적인 작업 운영과 안전 관리를 담당하는 현장 인력을 중심으로 연구가 이루어졌음을 알 수 있다(Kang, 2005; Park and Kim, 2007; Hwang et al., 2023). 따라서, ‘영림(Forest Management)’이라는 단어의 중요도는 단순한 산림 경영의 개념보다는 작업 구조와 인력 운용 현실을 반영한 결과로 이해할 수 있다.

‘비용(Cost)’, ‘이용(Use)’, ‘생산(Production)’이 동시에 높은 TF-IDF 순위를 차지한 것은 선행 연구에서 경제적 측면을 중요하게 다루었기 때문이라 해석할 수 있다. 산림 작업 과정에서 발생하는 경제적 비용, 자원의 활용, 생산성 향상 등이 지속적으로 논의되고 있으며(Woo et al., 1990; Koo and Bileck, 1998; Kim and Park, 2010; Cho et al., 2016; Lee et al., 2024), 이를 통해 경제적인 가치를 높이고 지속 가능한 산림경영을 실현하는 것이 산림 작업 분야에서 중요한 연구 목표임을 알 수 있다.

그 외, ‘집재(Forwarding)’, ‘플베기(Mowing)’과 같은 단어들의 빈도가 높은 것은 산림 작업이 실질적인 노동과 기술이 투입되는 과정임을 의미하며(Chung and Chung,

1995; Mun et al., 2014), ‘시간(Time)’, ‘지역(Region)’은 산림 작업이 공간적·시간적 요인과 밀접한 관계를 맺고 있음을 나타낸다(Kim and Park, 2012; Kim et al., 2012). 또한, ‘안전(Safety)’이 TF-IDF 순위 상위권에 위치하여 산림 작업에서 노동자의 작업 안전이 중요한 연구 주제 중 하나임을 알 수 있었다. 마지막으로 ‘타워(Tower)’, ‘개선(Improvement)’, ‘기계(Machinery)’을 통해 타워 야더 등 다양한 임업 기계 등을 통해 산림 작업의 능률과 효율을 개선하고자 하는 연구가 수행되었음을 알 수 있다(Kim et al., 2017; Baek et al., 2019).

2) 산림 작업 안전

‘자세(Posture)’, ‘강도(Intensity)’가 높은 TF-IDF 값을 보인 것은 산림 작업이 가파른 지형에서 주로 이루어지고, 반복적인 동작으로 이루어지기 때문에 신체적 부담이 크고, 이러한 자세와 작업 강도가 주요 위험요인으로 작용함을 시사한다(Lee and Park, 2001; Lee et al., 2020; Cho et al., 2021).

또한, ‘임금(Wage)’, ‘작업자(Worker)’, ‘단원(Member)’ 등의 단어가 중요 키워드로 도출된 것은 산림 작업 안전이 단순히 물리적 사고를 예방하는 것을 넘어, 작업자의 처우와 근로 조건 개선과 밀접한 연관이 있음을 나타낸다. 상술한 바와 같이 국내 산림 작업은 영림단을 중심으로 수행되고 있으며 이들의 활동 실태, 노동 조건 및 작업 만족도에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있는 것을 알 수 있다(Park and Kim, 2007; Jung et al., 2010; Kim and Park, 2014).

‘교육(Education)’, ‘직무(Duty)’, ‘만족(Satisfaction)’ 등의 키워드는 산림 작업자의 안전 의식 향상 및 교육 효과에 대한 정량적 연구가 이루어지고 있음을 의미한다. 특히 작업자가 수행하는 노동의 특성과 만족도는 작업 스트레스 및 사고 발생 가능성과 직결될 수 있기 때문에 이러한 연구가 수행되어 온 것으로 파악된다(Kim et al., 2010; Kim and Park, 2014).

2. 주제어 분석

1) 산림 작업

산림 작업 분야의 첫 번째 주제는 ‘이용(Usage)’, ‘비용(Cost)’, ‘집재(Forwarding)’, ‘생산(Production)’, ‘시스템(System)’, ‘방법(Method)’ 등의 단어가 위 주제에 속하며, 산림 자원의 활용과 경제성에 초점을 두고 있었다. 특히 ‘시스템(System)’, ‘방법(Method)’과 같은 단어가 포함된 점은 목재수확시스템 방법에 따른 산림 자원의 수확과 관리의 차이를 나타내고자 했을 것이며, 효율성과 경제성을 향상시키고자 한 연구가 활발하게 이루어졌음을 보여준

다(Park, 1997; Park and Ham, 2002; Cho et al., 2014). 즉, 산림 작업에서의 최적의 활용과 공정 개선이 선행 연구자들의 주된 관심사였음을 확인할 수 있었다.

두 번째 주제는 ‘이용(Usage)’, ‘비용(Cost)’, ‘개선(Improvement)’, ‘시간(Time)’ 등의 단어가 속해있었다. 이는 산림 작업 과정에서 시간과 비용을 절약하여 효율성을 높이고자 한 연구가 주된 흐름이었음을 보여준다(Kang, 1989; Kim and Park, 2012; Kim and Park, 2013). 산림 작업의 효율성을 높이고자 한 점에서는 첫 번째 주제와 유사하나, 작업 시간에 초점을 맞춘 연구가 주로 수행되었다는 점에서 차이가 존재한다.

이러한 연구 동향을 종합하면, LDA 토픽 분석을 통해 도출된 국내 산림 작업 연구는 목재수확시스템을 비교 및 분석하는 연구와, 시간과 비용 절감을 통한 효율성 향상을 목표로 하는 연구로 나뉘고 있음을 추정할 수 있다.

2) 산림 작업 안전

산림 작업 안전 분야의 첫 번째 주제는 작업 강도 및 근로 환경에 관한 연구로 ‘강도(Intensity)’, ‘임금(Wage)’, ‘노동력(Labor Force)’, ‘작업자(Worker)’ 등의 키워드가 도출되었다. 이는 산림 작업이 고강도의 육체노동이며, 특히 심박수 증가와 근골격계 질환 위험이 높기 때문에 이에 대한 연구가 주로 수행된 것으로 판단된다(Park and Kang, 1996; Park et al., 2003; Park et al., 2023). ‘임금(Wage)’과 ‘노동력(Labor Force)’은 작업자 처우와 근로 여건 문제를 반영한 연구가 수행됨을 나타내며, 이에 대한 개선 필요성이 꾸준히 제기되고 있음을 알 수 있다(Park and Kim, 2007; Kim et al., 2010; Park et al., 2023).

두 번째 주제는 작업 자세와 작업자 교육 및 교육 만족도에 관한 연구로 ‘벌도(Felling)’, ‘자세(Posture)’, ‘만족(Satisfaction)’, ‘수준(Level)’, ‘교육(Education)’ 등의 키워드가 중심을 이룬다. 이를 통해 벌도와 같은 산림 작업에 있어 작업 자세가 작업자 안전에 큰 영향을 미침을 나타내며(Lee and Park, 2001; Cho et al., 2021), 작업자의 작업 만족도, 직무 스트레스 등 심리·사회적 요인에 대한 관심을 반영한 연구가 주로 수행되었음을 추정할 수 있다(Kim et al., 2010; Kim, 2018).

3. 동시출현빈도 기반 단어망 분석

1) 산림 작업

(1) N-gram 분석

‘집재(Forwarding)’는 ‘이용(Usage)’, ‘시스템(System)’,

‘생산(Production)’과 함께 등장하며, 벌목과 집재 작업에 관련된 연구가 주요 주제임을 시사한다. 이는 상술한 주제 분석과 같은 맥락으로, 집재 방식과 생산성의 간의 관계를 분석하거나, 집재 시스템의 최적화 방안에 관한 연구가 주로 이뤄졌을 가능성이 높다(Park, 1997; Park, 2014; Cho et al., 2022).

비용(Cost)과 관련된 단어로는 ‘생산(Production, 17회)’, ‘시스템(System, 11회)’, ‘절감(Reduction, 10회)’, 이 나타났다. 이는 산림 작업에서 비용을 절감하면서 생산성을 높이는 연구가 이루어졌음을 의미한다. 특히, ‘시스템’과의 조합을 통해 작업시스템을 개선하는 과정에서 비용 분석이 중요한 요소로 작용했음을 시사한다(Kim and Park, 2013; Mun et al., 2014).

또한, ‘정책(Policy)-평가(Evaluation)’를 통해 정책의 효과성을 분석하는 연구가 진행되었으며(Jung et al., 2010; Park, 2020), ‘임도(Forest Road)-시설(Facility)’을 통해 임도시설과 산림 작업이 상호 작용하며 미치는 영향에 대해 분석한 연구가 수행되었음을 추정할 수 있다(Cha and Cho, 1994; Hwang et al., 2015; Hwang et al., 2016).

(2) Louvain 알고리즘을 이용한 클러스터링

첫 번째 그룹은 ‘이용(Usage)’, ‘비용(Cost)’, ‘생산(Production)’ 등의 단어로, 작업 시스템 및 생산성과 관련된 키워드가 주로 포함되었다. 선행 분석과 마찬가지로 산림 작업에서 생산성을 높이고 비용을 절감하며, 최적의 작업 시스템을 구축하고자 한 연구가 이루어졌음을 시사한다(Park, 1997; Park and Ham, 2002; Park, 2004; Kim and Park, 2013; Cho et al., 2022).

두 번째 그룹은 ‘굴삭기(Excavator)’, ‘교육(Education)’, ‘개선(Improvement)’ 등의 단어가 포함되었다. 이는 산림 작업 교육과 관련된 그룹으로, 산림 작업의 효율성과 안전성 향상을 위해 수행되는 작업자 교육에 관한 연구가 다뤄졌음을 알 수 있다(Park, 2003; Park and Kim, 2007; Kim, 2018).

세 번째 그룹은 ‘평가(Execution)’, ‘수준(Level)’, ‘안전(Safety)’, ‘정책(Policy)’ 등이 포함되어 있으며, ‘평가(Execution)’와 ‘수준(Level)’과 같은 단어를 통해 산림 작업 정책을 평가하고, 안전 수준을 측정하는 연구가 이루어졌다고 판단된다(Jung et al., 2010; Kim and Park, 2014; Park, 2020).

네 번째 그룹은 작업 환경 요인 및 작업 방식과 관련이 있다고 사료된다. ‘임도(Forest Road)’, ‘방법(Method)’, ‘활용(Utilization)’, ‘지역(Region)’ 등의 단어를 통해 산림 작업이 지역별 환경 조건과 작업 방법, 그리고 임도시설에 영향을

받으며, 이를 고려한 연구가 진행되었음을 시사한다(Lee and Park, 1998; Hwang et al., 2015; Hwang et al., 2016).

종합적으로 클러스터링 분석을 통해 산림 작업 분야 연구는 생산성 향상, 산림 작업 교육, 산림 안전 및 정책 평가, 작업 환경 요인 분석 등의 방향으로 진행되고 있음을 확인할 수 있었다.

2) 산림 작업 안전

(1) N-gram 분석

가장 많이 동시 출현한 단어쌍은 ‘영림(Forest Management)-단원(Member)’으로, 이는 영림단 중심이 산림작업이 이루어지고 있음을 재확인할 수 있는 근거로 작용한다. 이들에 대한 기능, 교육, 조직 관리에 대한 연구도 지속적으로 진행되었음을 시사한다(Park and Kim, 2007; Kim et al., 2010; Kim and Park, 2014).

또한, ‘작업자(Worker)’와 관련하여, ‘적정(Adequacy)’, ‘임금(Wage)’ 등의 조합이 도출되었다. 이는 작업자의 처우 및 보상 체계가 산림 작업 안전과 직접적으로 연결되어 연구되어 왔음을 보여준다(Kim and Park, 2014; Kim, 2018).

‘임금(Wage)’과 관련하여 ‘적정(Adequacy)’, ‘작업자(Worker)’와 같은 단어가 동시에 출현하였고 ‘건설업(Construction)-시중노임(Standard Wage)’과 같은 단어쌍도 출현하였다. 이는 산림작업 임금이 건설업 임금과 비교되는 맥락에서 논의되어 왔으며, 시중노임 대비 산림작업자의 적정 보상을 제도적으로 정립하려는 시도가 이루어졌음을 보여준다(Cho et al., 2014; Park et al., 2023).

‘자세(Posture)’ 관련 조합 단어인 ‘자세(Posture)-위험(Risk)’, ‘강도(Intensity)-요소(Factor)’, ‘맥박(Impulse)-강도(Intensity)’ 등은 산림 작업의 높은 신체적 부담과 근골격계 질환 유발 가능성에 주목한 인간공학적 분석의 일환으로 판단된다(Park and Kang, 1996; Lee and Park, 2001; Cho et al., 2021).

(2) Louvain 알고리즘을 이용한 클러스터링

첫 번째 그룹은 작업자(Worker), 벌도(Felling), 자세(Posture), 제거(Removal), 생산(Productivity), 평가(Evaluation) 등의 단어로 구성되었다. 이는 산림 작업의 수행 행위와 작업자 자세에 대한 인간공학적 분석에 초점이 맞춰져 있음을 보여준다. 특히, 벌도 및 가지제거 작업에서의 위험 자세 식별, 근골격계 부담 분석 등은 해당 군집의 대표적 연구 주제로, 실제 작업자의 물리적 부담을 정량화하고 개선 방향을 제시한 연구들이 포함된다(Lee and Park, 2001; Lee

et al., 2020; Cho et al., 2021).

두 번째 그룹은 영림(Forest Management), 임금(Wage), 교육(Education), 단원(Member), 기능(Skill) 등의 키워드로 구성되어, 산림 작업자의 처우 개선 및 조직 운영에 초점을 둔 연구들이 중심을 이루었다. 영림단 중심의 작업 구조, 정기 안전교육의 효과성, 적정 임금 체계 수립과 같은 이슈가 주로 논의되었으며, 직무 만족(Job Satisfaction), 직무 스트레스(Job Stress) 등 심리·사회적 요인을 포함한 연구도 다수 확인된다(Kim et al., 2010; Kim, 2018).

마지막으로, 세 번째 그룹은 강도(Intensity), 시간(Time), 풀베기(Mowing), 수준(Level), 측정(Measurement) 등의 단어로 구성되며, 작업 강도와 효율성에 대한 정량적 평가 연구들이 해당 클러스터의 핵심을 이룬다. 심박수 기반 작업강도 측정, 작업시간 분석, 피로도 평가 등은 산림 작업자의 효율성과 안전 간의 균형을 추구하는 방향에서 연구되어 왔다(Park and Kang, 1996; Mun et al., 2014; Park et al., 2023).

종합적으로, 클러스터링 분석은 산림 작업 안전 연구가 작업자의 행위 기반 분석, 조직과 인적자원 중심의 제도적 접근, 강도와 효율성에 대한 정량적 평가의 세 축을 중심으로 발전해왔음을 보여주며, 향후 이 세 영역의 통합적 접근이 안전성 제고를 위한 효과적인 전략이 될 수 있음을 시사한다.

4. LDA 기반 시계열 분석

1980~1990년대에는 ‘굴삭기(Excavator)’, ‘제초제(Herbicide)’, ‘경영(Management)’, ‘개발(Development)’ 등의 키워드가 상대적으로 높은 중요도를 기록하였다. 이는 당시 연구가 산림 작업의 기계화 가능성, 작업 효율성 향상을 위한 제초 기술 도입, 경영 방식 개선 등의 주제에 관심을 두고 있었음을 시사한다(Kim and Kim, 1982; Park, 1984; Lee and Park, 1998). 이 시기의 키워드들은 현장 중심의 기술 활용과 산림 경영 기법에 대한 실용적 접근에 대해 중요하게 다루었다고 판단할 수 있다.

2000년대에는 ‘이용(Usage)’, ‘스트레스(Stress)’, ‘단원(Worker)’ 등의 키워드가 중요하게 나타났으며, 이는 산림 작업의 기계화와 더불어 작업자의 효율성, 노동 환경, 인력 운용에 대한 관심이 증가하였음을 보여준다(Lee and Park, 2001; Cho et al., 2008). 특히 ‘스트레스’와 ‘단원’은 작업자의 정신적·육체적 부담, 현장 조직의 기능과 역할에 대한 연구가 이루어졌음을 의미한다(Kim et al., 2010).

2010~2020년대에는 ‘안전(Safety)’, ‘비용(Cost)’, ‘교육(Education)’, ‘개선(Improvement)’, ‘과정(Process)’ 등의 키워드가 상대적으로 높은 중요도를 보였다. 이를 통해 산

림 작업의 연구 주제가 단순한 생산 활동에서 벗어나 작업자의 안전 확보, 작업 공정의 표준화, 교육 체계의 구축 등 제도적 기반 마련을 위한 연구로 전환되고 있음을 추정할 수 있다(Kim and Park, 2014; Kim, 2018; Cho et al., 2021; Park et al., 2023).

한편, 시간의 흐름에 따라 중요도가 점차 증가한 키워드로는 ‘안전(Safety)’, ‘교육(Education)’, ‘개선(Improvement)’ 등이 있으며, 이는 최근 산림작업이 사람 중심의 안전성과 체계화된 작업 방식에 대한 관심으로 확장되고 있음을 보여준다.

반대로, 모든 시기에 걸쳐 높은 중요도를 나타낸 단어는 ‘기계(Machinery)’, ‘집재(Forwarding)’, ‘정책(Policy)’, ‘생산(Production)’, ‘사업(Project)’ 등이 있다. 이러한 키워드들은 시기별로 연구 주제가 변화하더라도, 산림 작업 관련 문헌에서 해당 주제들이 지속적으로 언급되어 왔음을 보여주며 해당 요소들이 시대를 초월한 관심사로 기능해왔을 가능성을 시사한다.

결론

본 연구는 텍스트마이닝(Text-Mining) 기법을 활용하여 국내 산림 작업 및 산림 작업 안전과 관련된 연구 동향을 분석하고 핵심 키워드를 기반으로 주요 연구 주제를 도출하였다. 이를 위해 TF-IDF, LDA 토픽 모델링, 동시출현빈도 기반 분석(N-gram, Louvain 알고리즘 기반 클러스터링 분석)을 수행하였으며, 시계열 분석을 통해 산림 작업 및 작업 안전 분야에서 시대별 연구 동향을 파악하였다.

분석 결과, 산림 작업 분야는 크게 산림 자원의 효율적 활용, 작업 기계화 및 시스템 개선, 작업 시간·비용 절감에 대한 관심을 중심으로 연구가 진행되어 왔으며, ‘영림’, ‘집재’, ‘기계’, ‘비용’ 등과 같은 키워드가 지속적으로 중요하게 나타났다. 또한, 시기별 LDA 분석을 통해 1980~90년대에는 기초 기술의 도입과 실용적 접근이 중심이었고, 2000년대에는 작업자 중심의 효율성과 조직 체계, 2010년대 이후에는 안전, 교육, 제도화된 시스템 정비로 연구 관심이 변화하고 있음을 확인하였다. 이는 산림 작업이 단순 기술적 작업에서 벗어나 사람 중심의 통합적 연구의 단계에 접어들었음을 나타낸다.

산림 작업 안전 분야에서는 작업자의 물리적 부담과 안전 확보, 노동자 처우 개선, 심리사회적 요인에 대한 대응, 제도적 기반 마련이 주요 연구 흐름으로 나타났다. 그러나 전체 분석에서 해당 분야의 논문 비중이 낮고, 기술 도입을 중심으로 한 실증적 분석 사례로 제한적인 연구가 수행되었다는 점에서 연구의 양적·질적 확장이 필요함으로 확인되었다.

따라서, 본 연구의 분석 결과를 바탕으로 다음과 같은 후속 연구 방향을 제안한다.

첫째, 본 연구의 TF-IDF 및 LDA 분석에서 ‘기계(Machinery)’, ‘집재(Forwarding)’, ‘생산(Production)’ 등이 지속적으로 높은 중요도를 보인 점을 바탕으로, 산림 작업의 기계화 수준과 현장 생산성 간의 정량적 연계 분석은 앞으로도 꾸준히 진행되어야 할 연구 주제로 파악된다. 이를 통해 작업 여건에 따른 기계 선택 및 운용 기준을 마련할 수 있을 것이다.

둘째, ‘자세(Posture)’, ‘강도(Intensity)’, ‘작업자(Worker)’ 등의 키워드가 클러스터링 분석과 N-gram 결과에서 높은 연관성을 보인 점에 근거하여, 작업자 안전 확보를 위한 생체 신호 기반 스마트 센서 기술의 적용 및 그 효과를 실증적으로 검증하는 연구가 필요하다.

셋째, ‘교육(Education)’과 ‘만족(Satisfaction)’ 등의 키워드가 클러스터 분석에서 함께 나타난 것은 작업자 교육의 효과성과 심리적 요인 간의 관계를 시사한다. 따라서 산림 작업 교육의 효과성 평가 및 프로그램 개선 방안에 대한 실증적 연구, 특히 작업자 만족도와 사고 감소 간의 인과관계 분석이 후속 연구로 수행되어야 한다.

넷째, 시계열 LDA 분석 결과에서 ‘안전(Safety)’, ‘교육(Education)’, ‘개선(Improvement)’ 등의 키워드 중요도가 최근 시기로 갈수록 증가하는 흐름을 보였다. 이는 산림 작업이 생산 중심에서 안전 중심으로 연구 관심이 확장을 의미한다고 볼 수 있으므로, 산림 작업 안전과 관련된 정책, 제도, 교육 등의 분야에서 후속 연구가 더욱 활성화될 필요가 있다.

한편, 본 연구는 한정된 키워드와 데이터셋을 기반으로 연구가 수행되어 연구자의 주관적 개입될 가능성이 존재한다. 또한, 산림 작업 분야는 산림 생태, 산림 복지 등 다른 산림 연구 분야에 비해 연구 수행 실적이 상대적으로 적어 충분한 데이터를 확보하지 못한 한계가 존재한다. 향후, 추가적인 데이터 확보와 함께 실증 연구를 병행한 다양한 분석이 수행된다면, 산림 작업 및 산림 작업 안전 분야의 정책적 의사결정에 유용한 학술적 기반이 보다 강화될 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 한국임업진흥원 산림과학기술 연구개발사업(RS-2022-KF002053)의 지원에 의하여 이루어진 것입니다.

References

- Baek, S.H., Choi, Y.S., Cho, M.J., Mun, H.S., Han, S.K., Kim, D.H. and Oh, J.H. 2019. Traction performance improvement study on a small-scale tower yarder attached to a farm tractor. *Journal of Korean Society of Forest Science* 108(4): 562-573.
- Cavnar, W.B., and Trenkle, J.M. 1994. N-gram-based Text Categorization. In *Proceedings of SDAIR-94, 3rd Annual Symposium on Document Analysis and Information Retrieval* 161175: 14.
- Cha, D.S. and Cho, K.H. 1994. Studies on the design of forest road network for mechanized yarding operation(II) -Optimal road spacing and density-. *Journal of Korean Society of Forest Science* 83(3): 299-310.
- Cho, K.H., Oh, J.H., Park, M.S. and Cha, D.S. 2008. The pruning works efficiency of manual pruning saw. *Journal of Forest and Environmental Science* 24(1): 47-51.
- Cho, M.J., Kim, M.H., Min, D.H., Han, W.S., Han, H.S. and Cha, D.S. 2014. Survey on forest workers' fair wage. *Journal of Forest Science Joint Conference 2014*: 264-264.
- Cho, M.J., Cho, K.H., Oh, J.H., Han, H.S. and Cha, D.S. 2014. Harvesting productivity and cost of whole-tree clear cutting using a tower yarder in a *Larix leptolepis* stand. *Journal of Forest and Environmental Science* 30(1): 107-112.
- Cho, M.J., Choi, Y.S., Mun, H.S., Lee, C.G., Lee, E.J., Jung, E.J., Oh, J.H., Han, S.K., Kim, D.H. and Cha, D.S. 2016. Productivity and costs of felling operation for three harvesting methods in mixed forest stands. *Journal of Korean Society of Forest Science* 105(4): 441-448.
- Cho, M.J., Jeong, E.J., Oh, J.H. and Han, S.K. 2021. Comparison of three ergonomic risk assessment methods(OWAS, RULA, and REBA) in felling and delimiting operations. *Journal of Korean Society of Forest Science* 110(2): 210-216.
- Cho, M.J., Choi, Y.S., Mun, H.S. and Oh, J.H. 2022. Comparison of the timber harvesting productivity and cost of single-operation using a forestry combi-machine versus multi-operation using a tower-yarder and processor. *Journal of Korean Society of Forest Science* 111(4): 583-593.
- Chung, J.S. and Chung, W.D. 1995. A study on ground vehicle mechanics for steep slope forest operations -Rubber-tired log skidding tractor operation. *Journal of Korean Society of Forest Science* 84(2): 218-225.
- Hwang, B.J., Oh, H.J., Kang, H.M. and Choi, S.I. 2023. Analysis of organizational changes and forest project performances of the forest craft workers units in Korea. *Korean Journal of Forest Economics* 30(2): 63-74.
- Hwang, J.S., Ji, B.Y., Kweon, H.K. and Jung, D.H. 2016. Effect of forest road network on accessibility and cost reduction for forest operations(II) -Harvesting operations-. *Journal of Korean Society of Forest Science* 105(4): 456-462.
- Hwang, J.S., Ji, B.Y., Kweon, H.K., Jung, D.H. and Cho, M.J. 2015. Effect of Forest road network on accessibility and cost reduction for forest operations(I) -Silvicultural operation-. *Journal of Korean Society of Forest Science* 104(4): 615-621.
- Jelodar, H., Wang, Y., Yuan, C., Feng, X., Jiang, X., Li, Y. and Zhao, L. 2019. Latent dirichlet allocation(LDA) and topic modeling: Models, applications, a survey. *Multimedia Tools and Applications*. 78: 15169-15211.
- Jeon, H.J., Choe, Y.J., Kweon, H.K., Hwang, J.S. and Lee, J.W. 2024. Analyzing changes in media coverage of forest roads from 2014 to 2023: A text mining approach. *Korean Journal of Agricultural Science* 51(4): 655-669.
- Jung, B.H., Kim, C.S. and Kim, K.D. 2010. The Forest prospect of forestry work for forest management in mountain villages. *Journal of Korean Institute of Forest Recreation* 14(4): 33-39.
- Kang, G.U. 1989. A study on the relation between working time and tree form characteristics. *Journal of Korean Society of Forest Science* 78(4): 381-395.
- Kang, G.U. 2005. Strategies for improving forest work team management. *Journal of Korean Society of Forest Science* 94(3): 153-160.
- KFS (Korea Forest Service). 2024. *Statistical yearbook of forestry*. 54: 18-19.
- Kim, H.Y., Park, S.H., Lee, S.H. and Park, J.M. 2013. Analysis on safety accident characteristics of forestry workers in Korea. *Journal of Korean Society of Forest Science* 102(4): 550-559.
- Kim, H.Y. and Park, J.M. 2014. Study on the system improvement for accident prevention of forestry operations in Korea. *Journal of Korean Society of Forest Science* 103(4): 574-582.
- Kim, J.H. and Park, S.J. 2010. An analysis of the yarding productivity and cost in forest tending operation. *Journal of Korean Society of Forest Science* 99(4): 625-632.
- Kim, J.W. and Kim, D.K. 1982. Research on the application of herbicides in forest land use. *Journal of Korean Society of Forest Science* 57(1): 56-56.
- Kim, K.D., Jung, B.H. and Kim, C.S. 2010. A study on the

- job stress and job satisfaction of forest workers. *Journal of Institute of Forest Recreation* 14(4): 27-33.
- Kim, K.D. 2018. Analysis of the satisfaction levels of safety education of forest workers. *Journal of Korean Society of Forest Science* 107(4): 428-435.
- Kim, M.K. and Park, S.J. 2012. An analysis of the operational time and productivity in whole-tree and cut-to-length logging operation system. *Journal of Korean Society of Forest Science* 101(3): 344-355.
- Kim, M.K. and Park, S.J. 2013. An analysis of the operational cost in the whole-tree and cut-to-length logging operation system. *Journal of Korean Society of Forest Science* 102(2): 229-238.
- Kim, M.K., Baek, S.A., Cho, K.H. and Jung, D.H. 2017. Productivity, cost, and optimal forest road network density of tree-length yarding operations with tower yarder. *Journal of Korean Society of Forest Science* 106(3): 300-309.
- Kim, Y.J., Sung, J.H., Yang, H.M. and Shin, M.Y. 2012. Changes in stand structures before and after silvicultural treatments in natural deciduous forests of Pyungchang area. *Journal of Korean Society of Forest Science* 101(2): 297-304.
- Koo, C.D. and Bilek, E.M. 1998. Financial analysis of vegetation control for sustainable production of Songyi (*Tricholome matsutake*) in Korea. *Journal of Korean Society of Forest Science* 87(4): 519-527.
- Lee, E.J., Baek, S.A. and Cho, K.H. 2020. Postural risk assessment of weed and kudzu removal operations. *Journal of Korean Society of Forest Science* 109(2): 195-201.
- Lee, E.J., Lee, S.T., Mun, H.S. and Oh, J.H. 2024. Effect of wedging on tree felling direction and productivity. *Journal of Korean Society of Forest Science* 113(2): 164-169.
- Lee, J.K. and Lee, C.B. 2021. A study on domestic research trends (2001-2020) of forest ecology using text mining. *Journal of Korean Society of Forest Science* 110: 308-321.
- Lee, J.W. and Park, B.J. 1998. Performance analysis of earth work using excavator in the case of forest road construction. *Journal of Korean Society of Forest Science* 87(1): 82-89.
- Lee, J.W. and Park, B.J. 2001. Analysis of working posture using OWAS in forest work. *Journal of Korean Society of Forest Science* 90(3): 388-397.
- Liang, Z. and Wang, Y. 2022. Research on forest operation plan based on carbon sequestration model. *Highlights in Science, Engineering and Technology* 16: 422-429.
- Marchi, E., Chung, W.D., Visser, R., Abbas, D., Nordfjell, T., Mederski, P. S., McEwan, A., Brink, M. and Laschi, A. 2018. Sustainable forest operation(SFO): A new paradigm in a changing world and climate. *Science of the Total Environment*. 634: 1385-1397.
- MOEL (Ministry of Employment and Labor). 2023. Analysis of industrial accident statistics. 13-13.
- Mun, H.S., Cho, K.H. and Park, S.J. 2014. An analysis of the operational productivity and cost for the utilization of forest-biomass(I) -The operational time and productivity-. *Journal of Korean Society of Forest Science* 103(4): 583-592.
- Mun, H.S., Cho, K.H., Kim, C.S., Song, T.Y. and Kim, H.S. 2014. Heart rate strain of forest-workers in mowing. *Journal of Korea Society of Forest Engineering and Technology*. 12(2): 95-103.
- Park, B.J. 2003. Report on the study about the prevention of accident in Japanese forestry. *Journal of the Korea Society of Forest Engineering and Technology* 1(1): 56-61.
- Park, H.I., Kim, C. and Choi, S.M. 2023. Estimation of appropriate wage by development of wage survey framework for forest workers. *Journal of Korean Society of Forest Science* 112(20): 217-229.
- Park, H.S., Lee, J.W., Choi, Y.H., Park, B.J. and Kim, M.J. 2003. Evaluation of work intensity by moving work in forest. *Journal of Korean Society of Forest Science* 92(4): 388-396.
- Park, S.J. and Ham, Y.C. 2002. An analysis of operation efficiency and working cost of tower-yarder and grapple saw with shovel type excavator. *Journal of Korean Society of Forest Science* 71(4): 507-516.
- Park, S.J. 2004. The optimizing of yarding operation system with a mobile tower-yarder. *Journal of Korean Society of Forest Science* 93(7): 436-445.
- Park, S.J. 2020. Analysis of policy and status of the logging operation system for forest biomass. *Journal of Environmental Science International* 29(2): 155-166.
- Park, S.J. and Kim, D.G. 2007. An analysis of the situation and training plan of forestry labor. *Journal of Forest and Environmental Science* 23(2): 109-118.
- Park, S.K. and Kang, G.U. 1996. Studies on working intensity in felling operation of the thinning forest. *Journal of Korean Society of Forest Science* 85(3): 396-408.
- Park, S.M., Kweon, H.K. and Choi, S.M. 2023. A case study on the estimation of forest work load index in the type of forest tending operation. *Journal of Korean Society of Forest Science* 112(3): 303-321.

- Park, J.M. 1997. Choosing economical optimum logging machines based on the operating volume. *Journal of Korean Society of Forest Science* 86(4): 450-458.
- Park, J.S. and Yeon, P.S. 2020. A network analysis on the forest healing issues using big data. *Journal of Institute of Forest Recreation* 24: 63-71.
- Park, T.S. 1984. The Improvement on forest planning and management in view of present forest situation, timber supply and demand in Korea. *Seoul National University College of Agriculture Research Journal* 9(1): 127-137.
- Qaiser, S. and Ali, R. 2018. Text Mining: Use of TF-IDF to examine the relevance of words to documents. *International Journal of Computer Applications* 181(1): 25-29.
- Que, X., Checoni, F., Petrini, F. and Gunnels, J. A. 2015. Scalable community detection with the louvain algorithm. In *2015 IEEE International Parallel and Distributed Processing Symposium*. 28-37.
- Rummer, B., Wear, D.N. and Greis, J. 2002. Forest operations technology. *Southern Forest Resource Assessment*. General Technical Report. SRS-53, USDA-Forest Service, Southern Research Station, Asheville NC, 341-353.
- Sparck, J.K. 1972. A statistical interpretation of term specificity and its application in retrieval. *Journal of Documentation* 28: 11-21.
- Woo, B.M., Park, J.M., Lee, J.W. and Chung, N.H. 1990. A study on economical analysis of yarding operation by cable crane. *Journal of Korean Society of Forest Science* 79(4): 413-418.
- Worrell, R. and Hampson, A. 1997. The influence of some forest operations on the sustainable management of forest soils – A review. *Forestry: An International Journal of Forest Research* 70(1): 61-85.

Manuscript Received : February 18, 2025

First Revision : April 15, 2025

Second Revision : April 25, 2025

Accepted : June 2, 2025