연구논문 「환경정책」 제34권 제3호 2026. 9: 21-55
DOI http://dx.doi.org/10.15301/jepa.2026.34.3.21
pISSN 1598-835X eISSN 2714-0601

인도네시아·말레이시아 팜유 학술연구 담론의 시기별 변화:
텍스트 마이닝 기반 분석*

Temporal Changes in Palm Oil Research Discourse in Indonesia and Malaysia: A Text Mining-Based Analysis

안대한** · 김상민*** · 이돈민**** · 최선영***** · 김태건******
Daehan An · Sangmin Kim · Donmin Lee · Seon Yeong Choi · Tae Kun Kim

요약: 본 연구는 2015~2025년 Web of Science와 Scopus에 수록된 인도네시아·말레이시아 팜유 관련 영문 학술 논문 50편을 대상으로 키워드 빈도 분석과 BERTopic 토픽 모델링을 적용하여 학술연구 담론의 시기별 지식구조 변화를 탐색적으로 규명하였다. 분석 결과 7개 핵심 토픽이 도출되었으며, 1기(2015-2018)의 토지·삼림벌채 중심 담론이 2기(2019-2021)의 무역경쟁력 담론으로, 3기(2022-2025)에는 바이오연료 정책·ISPO 거버넌스 담론으로 이동하는 세 단계의 연구 어젠다 이동 패턴이 관찰되었다. 이러한 전환은 파리협정, 국제 규범 압력(EU RED II, EUDR 등), 양국 정책·규제 변화 및 학술 연구 관심의 변화가 함께 나타났다. 본 연구는 문헌분석에서 BERTopic의 적용 가능성을 검토하고, SDGs 연계·ESG 거버넌스·사회적 지속가능성 등 팜유 연구의 미진한 영역을 향후 연구 어젠다로 제안한다.
핵심주제어: 팜유, 인도네시아, 말레이시아, BERTopic, 텍스트 마이닝

Abstract: This study explores temporal shifts in academic discourse on Indonesian and Malaysian palm oil from 2015 to 2025. Using keyword frequency analysis and BERTopic modeling of 50 articles indexed in Web of Science and Scopus, seven core topics were identified. The research agenda shifted from land use and deforestation in 2015-2018, to trade competitiveness in 2019-2021, and to biofuel policy and ISPO governance in 2022-2025. These shifts coincided with the Paris Agreement, international regulatory pressures such as EU RED II and EUDR, and policy and regulatory changes in both countries. The study also demonstrates the applicability of BERTopic to literature analysis and identifies SDG linkages, ESG governance, and social sustainability as underexplored areas for future research.
Key Words: Palm oil, Indonesia, Malaysia, BERTopic, Text mining

* 본 논문은 2025년 국가과학기술연구회 발주사업인 [[글로벌-2025-010] 인도네시아 글로벌 어젠다 협력과제 발굴 연구: 팜트리 바이오매스 폐기물 활용의 민관연계형 지속가능성 확보]의 지원으로 수행됨.
** 주저자, 국가녹색기술연구소 제도혁신센터 박사후연구원
*** 공동저자, 국가녹색기술연구소 제도혁신센터 연구원
**** 공동저자, 국가녹색기술연구소 제도혁신센터 선임연구원
***** 공동저자, 국가녹색기술연구소 제도혁신센터 박사후연구원
****** 교신저자, 국가녹색기술연구소 제도혁신센터 책임연구원

I. 서론

팜유(palm oil)는 전 세계 식물성 기름 소비량의 약 40%를 차지하며, 식품·화장품·바이오연료를 아우르는 광범위한 산업을 지탱하는 핵심 원료이다(Meijaard et al., 2020). 동시에 팜유 산업은 열대 삼림 파괴, 이탄지 전환, 온실가스 배출, 생물다양성 감소 등 전 지구적 환경·사회 논란의 중심에 있으며(Prabowo, Maryudi and Imron, 2017; Susanti and Maryudi, 2016), 지속가능성 인증(Roundtable on Sustainable Palm Oil, RSPO; Indonesian Sustainable Palm Oil, ISPO; Malaysian Sustainable Palm Oil, MSPO), 무역 규제(RED II, EUDR), 초국적 공급망 기업책임, 소농 생계, 이탄지·생물다양성 보전, 바이오연료 에너지 전환이 복합적으로 교차하는 글로벌 지속가능성 논쟁의 핵심 의제로 부상하였다. 이러한 글로벌 팜유 담론의 구조적 중심에는 전 세계 생산량의 약 85%를 공급하는 인도네시아와 말레이시아가 위치한다(Purnomo et al., 2020). 두 국가는 단순한 지리적 분석 대상을 넘어, 글로벌 팜유 정책·제도·거버넌스 담론이 가장 집중적으로 생산되고 소비되는 핵심적인 제도적 중심지 역할을 한다.

European Union(EU)는 재생에너지 지침(RED II) 개정을 통해 삼림 벌채 위험성이 높은 원료에서 생산된 바이오연료에 대한 규제를 강화하였으며, 이는 양국 수출에 직접적인 타격을 주었다(Naidu and Moorthy, 2021; Taheripour, Hertel and Ramankutty, 2019). 이에 인도네시아는 ISPO 인증 체계 구축과 바이오디젤 혼합의무제(B30, B40) 강화를 추진하였고(Farobie and Hartulistiyoso, 2022; Mayandi, 2024), 말레이시아는 MSPO 인증 확대와 바이오리파이너리(Bio-refinery) 전환을 가속하였다(Hassan, Farid, Zakaria, Ariffin, Andou and Shirai, 2024; Rajakal et al., 2024). 인도네시아와 말레이시아는 주요 수입국으로부터 동일한 국제 규범 압력을 받으면서도 상이한 정책 대응 경로를 선택하였다. 본 연구는 이러한 제도적 특수성을 지닌 두 국가의 학술 문헌에 주목하였다. 이를 통해 글로벌 팜유 관련 학술 담론에서 가장 밀도 높게 전개되는 제도적 논쟁을 탐색할 수 있을 것이다.

이처럼 규제 환경과 산업 전략이 동시에 전환되는 국면에서 학술 담론이 어떤 방향으로 재편되고 있는지를 파악하는 것은 향후 정책 설계와 연구 어젠다 수립에 실질적 함의를 제공한다. 그러나 팜유와 관련된 연구 담론 전체의 시계열적 구조 변화를 정량적으로 추적한 사례는 드물다. 기존 팜유 관련 문헌은 특정 정책 이슈(ISPO, RSPO, 바이오연료 규제 등)나 특정 환경 문제(삼림전용, 이탄지 등)를 개별적으로 분석하는 경향이 강하며, 글로벌 팜유 학술 담론 전반에서 나타나는 지식구조의 시계열·구조적 변화를 체계적으로 추적한 연구는 아직 부족하다. 특히 인도네시아와 말레이시아를 동시에 분석 대상으로 삼아 담론의 패러다임 전환을 비교한 연구는 매우 제한적인 상황이다.

이러한 한계점을 극복하고자 본 연구는 텍스트 마이닝(키워드 분석, BERTopic)을 활용하여 영문 학술 논문 50편의 초록을 대상으로 인도네시아와 말레이시아의 팜유 정책·제도·거버넌스 이슈가 학술연구에서 어떻게 다루어졌는지를 분석한다. 글로벌 팜유 담론 전체를 다루는 것이 아니라 해당 담론의 핵심 생산국인 인도네시아와 말레이시아에 초점을 맞춘 학술 문헌을 텍스트 데이터로 삼는다. 이 두 국가가 팜유 정책·제도·거버넌스 학술 담론 안에서 어떤 주제적 위치를 점유하며 그것이 어떻게 변화해 왔는지를 탐색적으로 추적한다. 이는 글로벌 팜유 담론 지형을 이해하기 위한 핵심 사례 분석이다. 구체적인 연구 목적은 다음과 같다. 첫째, 2015~2025년간 팜유 정책 연구의 핵심 토픽을 귀납적으로 도출한다. 둘째, 세 시기의 토픽 분포 변화를 통해 패러다임 전환의 방향성을 규명한다. 셋째, 키워드 빈도 분석과의 교차 검토를 통해 발견의 강건성을 확보한다.

II. 연구 방법

1. 체계적 문헌 고찰

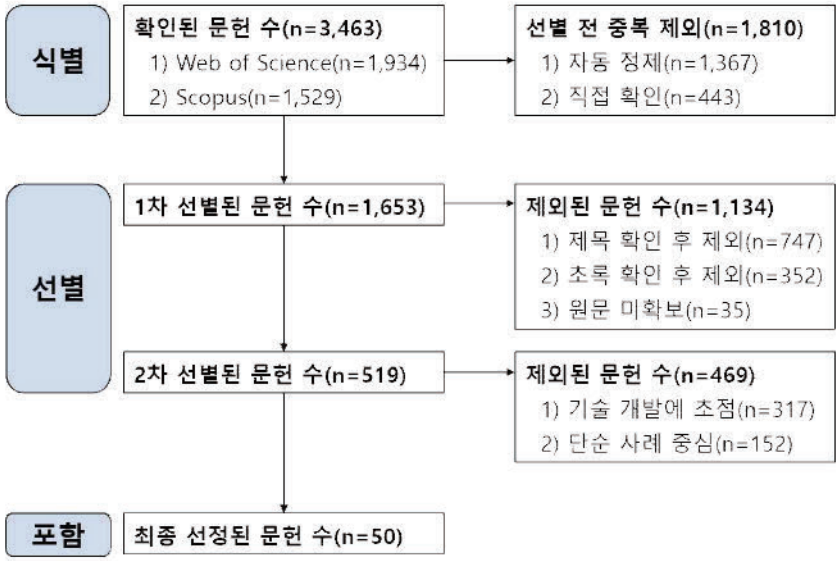
Web of Science(WoS)와 Scopus에서 문헌 수집을 위해 불리언 연산자

(boolean operators) AND로 결합한 구조를 설계하였으며, 구체적인 검색식은 다음과 같다: ("palm oil" OR "oil palm") AND (policy OR policies OR regulation* OR govern* OR institution* OR certification OR sustainability* OR deforestation) AND (Indonesia OR Indonesian OR Malaysia OR Malaysian). 첫 번째 블록은 분석 주제인 팜유를 특정하는 핵심 용어로 "palm oil"과 "oil palm"을 OR로 연결하여 표기 방식에 따른 검색 누락을 방지하였다. 두 번째 블록은 본 연구의 분석 초점인 정책·제도·거버넌스 관련 개념어 범주에 와일드카드(*)를 적용하여 어미 변화에 따른 파생어(regulatory, governance, institutional, sustainable 등)를 포괄적으로 포함하였다. 세 번째 블록은 연구 지역을 인도네시아와 말레이시아로 한정하는 국가명 블록으로 형용사형(Indonesian, Malaysian)을 함께 포함하여 누락을 최소화하였다.

검색 필드는 제목(title), 초록(abstract), 저자 키워드(author keywords)에 적용하였으며, 출판 기간은 2015년부터 2025년까지로 설정하였다. 문헌 유형은 Article 및 Review, 언어는 영어로 제한하였다. 선정된 문헌들은 PRISMA 가이드라인(Page et al., 2021)에 따른 선별 과정을 거쳐 최종 50편의 논문으로 확정되었다〈그림 1〉.[1] 구체적으로는 WoS에서 1,934건, Scopus에서 1,529건이 검색되었으며, 중복 제거 후 1,653건이 확보되었다. 제목·초록 수준의 1차 검토에서 팜유와 무관하거나 정책·거버넌스 초점이 없는 문헌 1,134건을 제외하였고, 전문(full-text) 검토를 통해 분석 요건을 충족하지 못하는 469건을 추가 제외하여 최종 50편을 확정하였다. 수집된 문헌의 색인 분포는 SCIE 32편, SSCI 6편, ESCI 12편으로 나타났으며, 검색은 2026년 5월에 수행하였다.

1) 선정된 논문 50편 명단은 〈부록-표 1〉, 〈부록-표 2〉에 첨부하였다.

〈그림 1〉 PRISMA 가이드라인에 따른 문헌 선별 과정



시기별 분포는 1기(2015~2018) 10편, 2기(2019~2021) 15편, 3기(2022~2025) 25편이다. 문헌 수의 후기 집중은 팜유 연구의 전반적 증가 추세를 반영한다〈표 1〉. 이러한 분석 시기 구분은 팜유 관련 국제 정책 환경의 구조적 전환점에 근거하였다. 1기(2015~2018)는 파리협정(2015.12) 채택으로 기후·삼림 이슈가 국제 정치 어젠다의 전면에 부상하고, 인도네시아 이탄지 대형 화재(2015)로 삼림전용·이탄지 거버넌스 담론이 국제적 주목을 받기 시작한 시기이다. 2기(2019~2021)는 EU 재생에너지 지침(RED II) 개정(2018.12)과 팜유 기반 바이오연료의 단계적 퇴출 결정이 양국 수출 정책에 본격적인 압력을 가하기 시작한 전환기로 무역경쟁력·공급망 담론의 부상이 예상되는 구간이다. 게다가 COVID-19에 따른 공급망 불안은 무역·거버넌스 논의를 증폭시키는 배경으로 작용하였다. 3기(2022~2025)는 러시아-우크라이나 전쟁(2022)으로 에너지 안보 논의가 재부상하고, 인도네시아의 B40 바이오디젤 의무화 추진과 EU 삼림전용방지규정(EUDR, 2023.6 발효)이 공급망 추적가능성 및 탈탄소 담론을 새롭게 형성한 시기이다. 이처럼 정책·사건 기반의 시기 구분은 국제 정책 환경 변화와 연구 담론 변화 간 대응

관계를 더욱 직접적으로 검증할 수 있다는 점에서 본 연구의 분석 목적에 부합한다.

〈표 1〉 시기 구분 기준 및 문헌 분포

시기	기간	문헌 수(비중)	시기 구분 배경
1기	2015~2018	10편(20%)	■ 파리협정(2015) 및 인도네시아 이탄지 화재(2015)로 환경 담론 고조
2기	2019~2021	15편(30%)	■ EU RED II 개정 발표(2018) 및 COVID-19(2020)로 인한 무역·거버넌스 갈등 부상
3기	2022~2025	25편(50%)	■ 러시아-우크라이나 전쟁(2022)으로 에너지 안보 및 탈탄소 전환 가속화
합계	2015~2025	50편(100%)	

2. 텍스트 전처리

본 연구의 텍스트 분석은 수집된 문헌의 초록(abstract)을 분석 단위로 설정하였다. 초록은 연구 목적, 방법, 주요 결과를 압축적으로 담고 있어 문헌의 핵심 내용을 대표하고, 전문(full text) 대비 일관된 구조와 길이를 유지하여 텍스트 마이닝의 입력 단위로 적합하다(Syed and Spruit, 2017). 수집된 50편의 초록 텍스트에 대해 다음과 같은 전처리를 적용하였다.

첫째, 소문자 변환 및 특수문자 정리를 수행하였다. 모든 텍스트를 소문자로 통일하고, 전각 대시(–, —)는 하이픈(-)으로 변환하였다. 숫자, 알파벳, 하이픈 이외의 문자는 공백으로 처리하였다.

둘째, 정규식 패턴을 통해 유효 토큰을 추출하였다. 알파벳으로 시작하고 알파벳 또는 하이픈으로 이어지는 문자열만을 토큰으로 인식하였으며, 3자 미만의 토큰은 분석에서 제외하였다.

셋째, 두 종류의 불용어를 제거하였다. 우선 일반 영어 불용어[2]를 제거하였다. 이에 더하여 팜유 연구 맥락에서 분석적 변별력이 없다고 판단되는 도메인 특화 불용어 45개를 별도로 정의하여 추가 제거하였다. 도메인 특화 불용어는 국가명(indonesia, indonesian, malaysia, malaysian), 분석 주제 자

2) Python의 scikit-learn에서 제공하는 ENGLISH_STOP_WORDS를 활용함.

체를 가리키는 용어(palm, oil 등), 학술 메타어(study, paper, result, method, analysis 등), 과도한 일반어(challenge, impact, effect, issue 등)의 네 범주로 구성된다. 이들은 거의 모든 문헌에서 자주 등장하는데 시기 간 변별성이 낮아서 그대로 포함할 경우 실질적인 주제어의 가중치를 희석시킬 우려가 있다.

넷째, 어형 통합(variant mapping)을 적용하였다. 팜유 분야에서 빈출하는 29개 단어에 대해 복수형·파생형을 표준형으로 통합하는 규칙을 수동으로 정의하였다. 예를 들어 policies는 policy로, plantations는 plantation으로, environmental은 environment로, social과 societal은 society로, emissions은 emission으로, biofuels는 biofuel로 각각 통합하였다.

3. 빈도 분석 및 공출현 네트워크 분석

키워드 빈도 분석은 텍스트 내 단어의 출현 횟수를 계수하여 문헌 집합의 주요 개념과 관심사를 파악하는 가장 기본적인 텍스트 마이닝 기법이다(Manning, Raghavan and Schütze, 2008). 특정 단어가 얼마나 자주 등장하는지를 정량화함으로써 연구 담론에서 어떤 개념이 중심적으로 다루어지는지를 직관적으로 확인할 수 있다. 또한, 시기별 빈도 변화를 비교함으로써 연구 트렌드의 이동 방향을 추적하는 데 유용하다. Dayeen, Sharma and Derrible(2020)은 Web of Science에 수록된 기후변화 문헌 35,000여 편의 초록을 대상으로 키워드 빈도 분석을 적용하여 1990년부터 2018년까지의 연구 트렌드 변화를 정량적으로 추적한 바 있다. 본 연구에서는 시기별 Unigram 및 Bigram 빈도와 상위 30개 키워드를 도출하였다.

단순 빈도 분석은 모든 시기에 걸쳐 고르게 등장하는 일반적인 단어에 과도한 가중치를 부여하는 한계가 있다. 이를 보완하기 위해 Term Frequency-Inverse Document Frequency(TF-IDF) 분석을 병행하였다. TF-IDF는 특정 문서(시기) 내에서 단어의 출현 빈도(TF)와 해당 단어가 전체 문서 집합에서 등장하는 문서 수의 역수(IDF)를 곱하여 산출되는 가중치로서 특정 시기에는 자주 등장하지만 다른 시기에서는 드물게 나타나는 변별적 용어에 높은 점수를 부여한다(Manning et al., 2008; Spärck Jones, 1972). 즉,

범용적으로 빈출하는 단어의 가중치는 낮추고 특정 시기를 대표하는 핵심 어휘를 부각하여 시기 간 담론의 질적 차이를 포착하는 데 적합하다. Chang, Yu, Chang and Yu(2021)은 환경교육 분야 학술지 초록에 TF-IDF를 적용하여 연구 주제의 시기별 변별적 특성을 효과적으로 식별한 바 있다. 본고에서도 이를 적용하여 시기별 TF-IDF를 추출하고 상위 10개를 제시하였다.

단순 빈도 분석의 한계를 보완하기 위해 키워드 공출현 네트워크 분석을 추가로 수행하였다. 초록 전체를 공출현 단위로 설정하고, 동일 초록 내에서 2회 이상 동시 등장한 단어 쌍만을 엣지로 포함하였다. 노드는 시기별 상위 빈도 단어 30개로 제한하였으며, 연결중심성(Degree Centrality, DC)과 매개중심성(Betweenness Centrality, BC)을 산출하였다. 연결중심성(DC)은 특정 노드가 얼마나 많은 다른 노드와 직접 연결되는지를 측정하여 해당 시기 담론의 핵심 키워드를 파악하는 데 활용하였으며, 매개중심성(BC)은 해당 노드가 서로 다른 개념 군집 사이의 경로에서 차지하는 교량 역할을 측정하여 담론 구조의 연결 방식과 이질적 개념 간 매개 관계를 파악하는 데 활용하였다. 두 지표를 병행함으로써 단순 출현 빈도로는 포착되지 않는 담론의 구조적 변화를 분석하였다(Leydesdorff, 1989).

4. BERTopic

BERTopic은 대규모 언어 모델(BERT) 기반의 문장 임베딩, 차원 축소, 밀도 기반 클러스터링, c-TF-IDF 키워드 추출을 순차적으로 결합하는 토픽 모델링 알고리즘이다(Grootendorst, 2022). 단어의 동시출현 통계에 의존하는 전통적 Latent Dirichlet Allocation(LDA)와 달리, 문장의 맥락적 의미를 보존한 임베딩 공간에서 클러스터링을 수행하므로 소규모 자료에서도 의미론적으로 일관된 토픽을 도출하는 데 강점이 있다(Egger and Yu, 2022).

분석 파이프라인은 4단계로 구성된다. 첫째, 사전학습 문장 임베딩 모델을 사용하여 각 초록을 고차원 벡터로 변환하였다. 둘째, UMAP을 통해 고차원 벡터를 저차원 공간으로 축소하였다(McInnes, Healy and Melville, 2018). 분석 결과의 재현성을 확보하기 위해 난수 시드를 고정하였으며, 텍스트 임

베딩 간 유사도 측정에 적합한 코사인 거리를 적용하였다. 셋째, HDBSCAN으로 클러스터링을 수행하였다(Campello, Moulavi and Sander, 2013). HDBSCAN은 클러스터 수를 사전에 지정하지 않아도 되며, 어떤 토픽에도 귀속되지 않는 문서를 노이즈로 자동 처리한다는 장점이 있다. 소규모 자료의 특성을 고려하여 클러스터 형성에 필요한 최소 문서 수와 핵심 포인트 판단 기준을 낮게 설정하는 방향으로 10개 후보 조합에 대한 그리드 서치를 수행하였다. 유의미한 토픽 수, 토픽 수의 안정성, 노이즈 문서 수를 순차적 기준으로 최적 설정을 선택하였다. 넷째, c-TF-IDF를 통해 각 토픽의 상위 10개 대표어를 추출하였으며, 단어 단위와 2단어 연속 표현을 모두 고려하였다. 분석 완료 후 시기별 토픽 점유율을 산출하여 담론 변화를 추적하였다.

Ⅲ. 연구 결과

1. 빈도 분석 및 공출현 네트워크 분석 결과

1) Unigram 빈도 분석

〈표 2〉는 세 시기별 상위 10개 단어 빈도를 정리한 것이다. 세 시기 모두에서 'sustainability'가 상위권 혹은 최상위권 키워드로 등장하였으며, 그 빈도는 1기 17회에서 3기 52회로 약 3배 증가하였다. 이는 지속가능성 개념이 팜유 연구 전반에서 점점 더 중심적 위치를 차지하게 되었음을 보여준다. 'policy' 역시 세 시기 모두 상위권을 유지하였으며(18회→19회→32회), 팜유 연구에서 정책 분석의 비중이 지속적으로 높음을 확인할 수 있다.

시기별로 뚜렷한 변화도 관찰된다. 1기(2015-2018)에서는 'land'(21회)와 'expansion'(11회)이 두드러지며, 토지이용과 플랜테이션 확장이 핵심 연구 주제였음을 보여준다. 2기(2019-2021)에서는 'plantation'(19회), 'production'(15회), 'international'(13회), 'global'(11회), 'renewable'(11회)이 새롭게 부상하며 국제 시장과 재생에너지로 관심이 확산되었음을 알

수 있다. 3기(2022-2025)에서는 'society'(24회)와 'smallholder'(19회)가 처음 상위권에 진입하였고, 'biodiesel'(16회), 'emission'(15회)이 부상하여 사회적 포용과 탈탄소화가 새로운 연구 어젠다로 부각되고 있음을 나타낸다.

〈표 2〉 시기별 상위 10개 Unigram 빈도

순위	2015-2018	빈도	2019-2021	빈도	2022-2025	빈도
1	land	21	sustainability	32	sustainability	52
2	policy	18	plantation	19	production	34
3	sustainability	17	policy	19	policy	32
4	industry	12	production	15	plantation	27
5	expansion	11	development	14	society	24
6	development	9	environment	14	environment	20
7	environment	9	forest	13	industry	20
8	government	9	international	13	smallholder	19
9	plantation	9	economy	12	potential	18
10	economy	8	energy	12	biodiesel	16

2) Bigram 빈도 분석

〈표 3〉은 시기별 상위 10개 Bigram(2단어 연속 표현) 빈도이다. 이는 단어 빈도 분석(unigram)이 포착하지 못하는 개념 간 연결 관계를 보여준다는 점에서 보완적 가치가 있다(Tan, Wang and Lee, 2002).

1기(2015-2018)에서는 'land allocation'(5회), 'intensification expansion'(3회), 'rapid expansion'(3회), 'sectoral policy'(3회)가 상위권을 차지하였다. 이는 토지 배분 정책과 플랜테이션 확장 속도가 이 시기의 핵심 연구 쟁점이었음을 단어 수준보다 구체적으로 보여준다. 'timber plantation'(4회)의 등장은 팜유 확장이 기존 목재 플랜테이션 지역을 대체하는 과정을 다룬 연구의 비중이 컸음을 시사한다.

2기(2019-2021)에서는 'renewable energy'(10회)가 가장 높은 빈도를 보이며, 이 시기에 재생에너지 맥락에서의 팜유 활용 연구가 급증하였음을 보여준다. 'international trade'(5회), 'carbon trading'(4회), 'greenhouse

gas'(3회), 'ispo certification'(3회)이 뒤를 이으며, 국제 탄소시장과 무역 규범이 새로운 연구 초점으로 부상하였음을 확인할 수 있다.

3기(2022-2025)에서는 'climate change'(9회)가 1위로 올라섰고, 'sustainability industry'(6회), 'smallholder farmer'(5회), 'emission reduction'(4회), 'waste management'(4회), 'sustainability ispo'(4회)가 골고루 분포하였다. 이는 3기 연구가 기후변화 대응, 소농 문제, 폐기물 관리, 생산성 향상 등 다양한 하위 주제로 분산되었음을 보여준다.

〈표 3〉 시기별 상위 10개 Bigram 빈도

순위	2015-2018	빈도	2019-2021	빈도	2022-2025	빈도
1	land allocation	5	renewable energy	10	climate change	9
2	timber plantation	4	international trade	5	sustainability industry	6
3	economy growth	3	carbon trading	4	crude cpo oil*	5
4	energy industry	3	greenhouse gas	3	largest producer	5
5	import demand	3	international demand	3	smallholder farmer	5
6	intensification expansion	3	ispo certification	3	cpo production	4
7	local community	3	sustainability plantation	3	emission reduction	4
8	policy framework	3	sustainability production	3	sustainability ispo	4
9	rapid expansion	3	capital stock	3	sustainability policy	4
10	sectoral policy	3	gas emission	3	waste management	4

* 한 단어라서 단일 토큰으로 처리함

3) TF-IDF 분석

〈표 4〉는 시기별 TF-IDF 상위 10개 용어이다. TF-IDF는 특정 시기에서 높은 빈도로 등장하는 동시에 다른 시기에서는 상대적으로 드물게 나타나는 변별적 용어를 부각시킨다(Salton and Buckley, 1988). 따라서 단순 빈도 분석에서 놓칠 수 있는 시기별 특수성을 포착하는 데 유용하다.

1기(2015~2018)에서는 'intensification'(0.123), 'land allocation'(0.123), 'timber'(0.123), 'allocation'(0.123), 'community'(0.112), 'sectoral'(0.099)

이 이 시기를 가장 잘 변별하는 용어로 나타났다. 단순 빈도에서 1위였던 'land'와 'policy'는 모든 시기에 걸쳐 고르게 분포하는 탓에 TF-IDF 상위권에 오르지 못하였으며, 오히려 이 시기에만 집중적으로 등장하는 'intensification'과 'timber plantation'이 특징적 용어로 부각된다. 이는 1기 연구가 단순 확장이 아닌 집약화 대 확장의 대비, 그리고 기존 임업지와의 토지 경합 문제를 특별히 다루었음을 보여준다.

2기(2019~2021)에서는 'products'(0.142), 'carbon'(0.114), 'biodiversity'(0.1), 'emission'(0.1), 'trading'(0.094), 'firms'(0.094), 'suitability'(0.094), 'conversions'(0.094)가 변별적 용어로 나타났다. 'products'의 부상은 CPO를 넘어 팜유 파생 제품의 무역경쟁력으로 연구 초점이 이동하였음을 반영하며, 'carbon trading'과 'firms'는 기업 단위의 탄소시장 참여와 지속가능성 정책이 기업 성과에 미치는 영향을 다룬 연구의 증가를 보여준다.

〈표 4〉 시기별 상위 10개 TF-IDF 용어

순위	2015~2018	점수	2019~2021	점수	2022~2025	점수
1	intensification	0.123	products	0.142	cpo	0.148
2	land allocation	0.123	carbon	0.114	sdg	0.146
3	timber	0.123	biodiversity	0.1	governance	0.138
4	allocation	0.123	emission	0.1	emission	0.138
5	community	0.112	trading	0.094	replanting	0.097
6	sectoral	0.099	firms	0.094	ispo	0.092
7	timber plantation	0.099	suitability	0.094	domestic	0.083
8	import	0.099	conversions	0.094	management	0.083
9	rapid	0.094	ispo	0.085	bioenergy	0.074
10	intensification expansion	0.074	carbon trading	0.075	zero-deforestation	0.073

3기(2022~2025)에서는 'cpo'(0.148), 'sdg'(0.146), 'governance'(0.138), 'emission'(0.138), 'replanting'(0.097), 'ispo'(0.092)가 이 시기를 대표하는 변별적 용어로 확인되었다. 특히 'sdg', 'zero-deforestation', 'emission'이

동시에 상위권을 형성한 것은 3기 연구가 SDGs 프레임과 넷제로 목표 달성을 팜유 연구의 핵심 준거로 삼기 시작하였음을 보여준다.

4) 연결중심성 및 매개중심성 분석

〈표 5〉는 시기별 연결중심성과 매개중심성의 상위 10개 키워드를 나타낸다. 공출현 네트워크 분석에서 1기의 연결중심성(DC) 상위 노드는 'national'(0.54), 'policy'(0.52), 'land'(0.5) 순이었다. 그러나 담론의 구조적 연결 방식을 파악하는 매개중심성(BC)에서는 'policy'(0.13)가 전체 1위를 기록하였다. 이는 'policy'가 단순히 많이 등장하는 키워드가 아니라, land, deforestation, forest 등 환경 노드 군집과 national, government, development 등 제도 노드 군집을 연결하는 핵심 교량임을 의미한다. 1기(2015~2018) 담론은 토지-삼림 문제를 국가 정책 틀 안에서 다루는 단일 클러스터 구조를 형성하고 있었으며, 이는 파리협정(2015) 채택과 인도네시아 이탄지 대형 화재(2015)를 배경으로 삼림·토지 거버넌스가 정책 담론의 핵심 의제로 부상한 시기적 맥락과 부합한다.

2기(2019~2021)에서는 네트워크 구조가 뚜렷하게 재편된다. 1기에서 상위권에 없던 'economy'(DC 0.43, BC 0.11)와 'production'(DC 0.42, BC 0.11)이 모두 최상위로 부상하고, 'international'(DC 0.39, BC 0.09)이 신규 진입하였다. 특히 주목되는 것은 1기에서 핵심 교량이었던 'policy'가 2기에서도 BC 1위(0.12)를 유지하면서, 이제는 환경-토지 노드가 아닌 경제-무역 노드를 연결하는 방향으로 교량 역할이 전환되었다는 점이다. 1기에서 DC 3위(0.5)였던 'land'는 2기에서 DC 0.12로 순위가 크게 하락한 반면, 'trade'(DC 0.18, BC 0.06)와 'conversion'(DC 0.22, BC 0.06)이 새로운 연결 허브로 진입하였다. 이는 EU RED II 개정(2018) 이후 팜유 수출경쟁력과 국제시장 분석이 긴급 연구 과제로 부상하면서, 기존의 환경-토지 중심 담론이 경제-무역 담론과 경쟁하는 다중 허브 구조로 전환되었음을 시사한다.

3기(2022~2025)에서는 'sustainability'(DC 0.63)가 가장 높은 빈도로 자리 잡으면서, 2기 최상위였던 'economy'(3기 DC 0.29, 순위 10위로 하락)를

대체하는 구조적 전환이 포착된다. 매개중심성에서는 'production'(0.14)이 전체 1위를 기록하여, 생산 시스템이 지속가능성·인증·배출감축 등 다양한 담론 군집을 연결하는 교량으로 기능하고 있음을 보여준다. 가장 주목할 변화는 1기·2기 상위권에 부재하던 'strategies'(DC 0.38)가 3기에 6위로 신규 진입한 것이다. 이는 삼림전용 방지라는 문제 제기 중심의 담론에서 EUDR 준수 전략·탈탄소 이행·재식재 계획 등 실천적 해결책 모색으로 담론의 무게중심이 이동하고 있음을 나타내며, EUDR 발효(2023) 시점과 부합한다. 또한 'certification'(DC 0.25)의 신규 진입은 RSPO·ISPO·MSPO 인증의 실효성을 검증하는 연구가 본격화되고 있음을 반영한다.

〈표 5〉 시기별 연결중심성·매개중심성 상위 10개 키워드*

순위	2015~2018			2019~2021			2022~2025		
	키워드	DC	BC	키워드	DC	BC	키워드	DC	BC
1	national	0.54	0.10	economy	0.43	0.11	sustainability	0.63	0.12
2	policy	0.52	0.13	production	0.42	0.11	production	0.62	0.14
3	land	0.50	0.09	policy	0.41	0.12	plantation	0.54	0.08
4	sustainability	0.47	0.10	sustainability	0.40	0.10	industry	0.47	0.06
5	government	0.44	0.06	international	0.39	0.09	policy	0.39	0.05
6	environment	0.43	0.08	deforestation	0.32	0.03	strategies	0.38	0.05
7	plantation	0.39	0.04	plantation	0.32	0.06	environment	0.32	0.03
8	forest	0.39	0.04	development	0.29	0.06	society	0.30	0.03
9	development	0.35	0.07	expansion	0.29	0.02	government	0.29	0.02
10	deforestation	0.34	0.05	demand	0.26	0.03	economy	0.29	0.03

* DC = 연결중심성(Degree Centrality), BC = 매개중심성(Betweenness Centrality), DC 기준 내림차순 정렬, 공출현 단위는 초록 전체이며, 엣지 최소 가중치 2회 이상

2. BERTopic 분석 결과

1) 토픽 구조

BERTopic 분석을 통해 50편의 문헌은 7개의 유의미한 토픽(T0–T6)과 1개의 노이즈 클러스터(T-1)로 분류되었다. 〈표 6〉은 각 토픽의 명칭, 문헌 수, 전체 점유율, 상위 대표어를 정리한 것이다. 각 토픽의 해석 타당성을 검증하

기 위한 토픽별 대표 문헌의 초록 발췌문은 〈부록-표 3〉에 제시하였다. 예컨대 T5(ISPO 거버넌스)의 해석은 단순히 'ispo' 키워드 빈도에만 의존하는 것이 아니라, Pramudya, Hospes and Termeer(2017)의 발췌문에 나타난 '내부 비일관성(internal incoherence)'과 '경쟁적 거버넌스 구조'라는 개념이 토픽의 핵심 논지와 정확히 일치한다는 점에서 타당성을 확보한다.

〈표 6〉 BERTopic 도출 토픽 구조 및 대표어

토픽	토픽명	문헌 수	점유율	상위 대표어
T0	토지·농장 확장 및 삼림벌채	9편	18%	land, plantation, expansion, forest, policy, production, government, interests, development, yield
T1	무역경쟁력 및 글로벌 시장	9편	18%	export, trade, countries, global, market, products, demand, sustainability, international, production
T2	바이오디젤 및 국내 에너지 정책	6편	12%	biodiesel, production, land, domestic, cpo, biofuel, energy, utilization, food, policy
T3	지속가능성 인증 및 투자	4편	8%	sustainability, plantation, environment, certification, industry, investment, unintended consequences, review
T4	재생에너지 및 바이오매스	4편	8%	energy, biomass, renewable, power, emission, electricity, potential, plants, pathways
T5	ISPO 거버넌스 및 제도화	4편	8%	ispo, governance, sustainability, institutional, smallholder, certification, incentives
T6	소농·경제성장·혁신	3편	6%	smallholder, economy, innovation, factors, waste, society, growth, environment
T-1	노이즈(미분류)	11편	22%	sustainability, society, policy, sdg, company, government, environment, zerodeforestation, climate

T0(토지·농장 확장 및 삼림벌채)은 팜유 플랜테이션 확장이 산림과 토지에 미치는 영향, 토지 배분 정책의 정합성, 재식재 전략 등을 다룬 연구들로 구성된다. T1(무역경쟁력 및 글로벌 시장)은 인도네시아·말레이시아 CPO

의 비교우위, 국제 수입수요 변화, 수출경쟁력 분석 연구들이 포함된다. T2(바이오디젤 및 국내 에너지 정책)는 바이오디젤 혼합의무제, 식량-연료 딜레마, 국내 CPO 수급 균형을 다룬 연구들이다. T3(지속가능성 인증 및 투자)는 RSPO, MSPO 등 인증 체계의 효과성과 지속가능성 투자 전략 연구들을 포함한다. 대표 문헌의 분포를 보면 T3는 말레이시아 관련 문헌의 비중이 높으며, 이는 말레이시아가 MSPO를 통한 민간 주도 인증 전략을 조기에 정비한 맥락과 연동된다. T4(재생에너지 및 바이오매스)는 팜유 바이오매스의 전력 생산 및 탈탄소화 경로를 다룬 연구들이다. T5(ISPO 거버넌스 및 제도화)는 인도네시아 ISPO의 제도적 형성 과정, 내부 비일관성, 소농 인센티브 부재 등을 분석한 연구들로 구성된다. T5는 인도네시아 특화 토픽으로서 말레이시아의 MSPO 관련 연구가 T3에 귀속되는 것과 달리 인도네시아 강제 인증의 제도적 복잡성이 독자적 토픽을 형성할 만큼 학술 담론의 집중을 받아왔음을 보여준다. T6(소농·경제성장·혁신)는 소농의 제도적 장벽, 국가의 금융 역할, 폐기물 관리 정책을 다룬 연구들이다.

〈그림 2〉는 BERTopic이 도출한 7개 토픽 각각의 상위 5개 대표어와 c-TF-IDF 점수를 시각화한 것이다. c-TF-IDF 점수는 해당 토픽 내에서의 상대적 중요도를 나타내며, 점수가 높을수록 그 단어가 해당 토픽을 다른 토픽과 구별하는 핵심 개념어임을 의미한다(Grootendorst, 2022). T2(바이오디젤 정책)에서 biodiesel(0.082)은 전체 토픽 중 가장 높은 값으로, 해당 토픽이 biodiesel이라는 단어와 가장 강하게 연관된 토픽임을 시사한다. T5(ISPO 거버넌스)에서는 ispo(0.060)와 governance(0.048)가 나란히 상위를 차지하여 인증 거버넌스의 제도적 특수성을 반영한다. T0(토지·삼림벌채)에서는 land(0.038), plantation(0.033), expansion(0.031)이 균등하게 분포하며, 이 토픽이 단일 개념이 아닌 토지-플랜테이션-확장의 복합적 과정을 다루고 있음을 시사한다. 모든 토픽의 x축 스케일을 0.09로 통일하여 토픽 간 점수의 상대적 크기를 직접 비교할 수 있다.

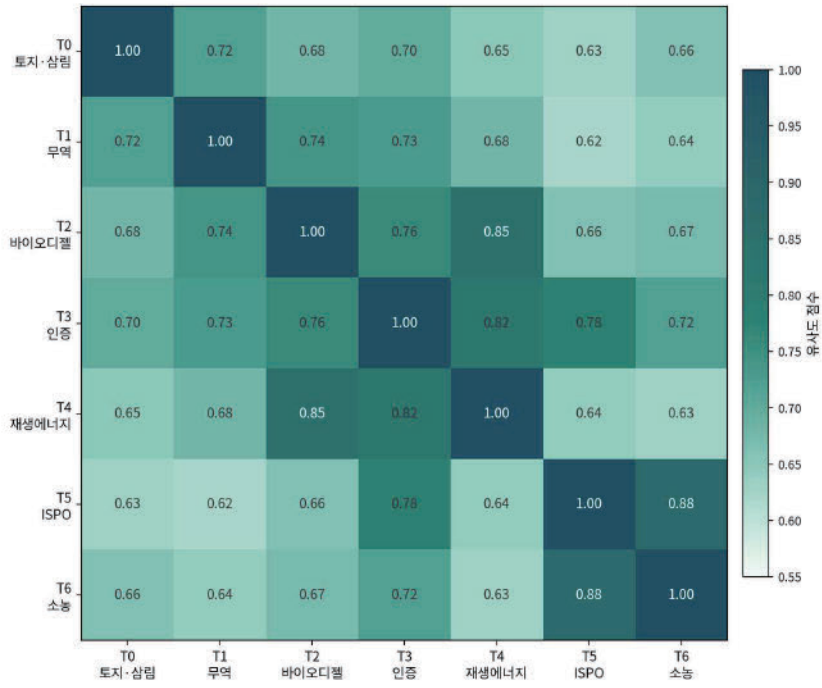
〈그림 2〉 토픽별 상위 대표어 및 c-TF-IDF 점수



〈그림 3〉은 7개 토픽 간 코사인 유사도를 행렬로 나타낸 것이다. 색이 진할수록 두 토픽의 임베딩 공간 내 거리가 가깝고, 각 셀의 수치는 유사도 점수(0

-1)를 나타낸다. 대각선은 자기 자신과의 유사도(1.00)이다.

〈그림 3〉 토픽 간 코사인 유사도 행렬



주목할 만한 패턴은 두 가지이다. 첫째, T2(바이오디젤)와 T4(재생에너지·바이오매스)의 유사도가 0.85로 높게 나타났다. 두 토픽 모두 팜유를 에너지 원료로 활용하는 맥락을 공유하며, 대표어 분석에서도 energy, biofuel, production이 공통적으로 등장한다. 이는 바이오디젤 정책과 재생에너지 기술 연구가 하나의 연속적인 에너지 전환 담론을 형성하고 있음을 시사한다. 둘째, T5(ISPO 거버넌스)와 T6(소농·경제성장)의 유사도가 0.88로 매우 높다. ISPO 인증의 제도적 문제를 다루는 T5와 소농의 경제적 장벽을 다루는 T6가 높은 유사도를 보이는 것은, 두 주제가 모두 소농(smallholder)을 핵심 행위자로 공유하기 때문이다. 반면 T0(토지·삼림벌채)는 대부분의 토픽과 유사도가 0.65–0.72 수준으로 상대적으로 낮아, 토지이용과 삼림벌채 담론

이 에너지·거버넌스 담론과는 독립적인 주제 영역을 형성하고 있음을 확인할 수 있다.

2) 시기별 토픽 분포 변화

〈표 7〉은 세 시기별 토픽 점유율을 정리한 것이다. 시기에 따른 분포 변화가 뚜렷하게 관찰된다.

1기(2015~2018, n=10)에서는 T0(토지·삼림벌채)가 40%로 가장 높은 비중을 차지하였다. 이 시기는 인도네시아의 급속한 팜유 확장이 야기한 삼림 손실과 토지 갈등 문제가 국제적 주목을 받던 시기로, 플랜테이션 확장의 결정요인, 행위자 권력 동학, 토지 배분 정책 정합성 등을 다룬 연구가 집중적으로 발표되었다. T6(소농·경제성장)도 20%를 차지하며, 소농의 투자 장벽과 국가의 금융 역할이 초기 연구 담론에서 중요하게 다루어졌음을 보여준다. 반면 T3(지속가능성 인증)와 T5(ISPO 거버넌스)는 이 시기에 전혀 등장하지 않았다.

2기(2019~2021, n=15)에서는 T1(무역경쟁력)이 33.3%로 증가 추세를 보이며 가장 핵심적인 토픽이 되었다. EU RED II 개정(2018)과 이에 따른 양국의 대응, CPO 파생 제품의 수출경쟁력 분석, 글로벌 공급망에서의 인도네시아 팜유 의존도 연구가 이 변화를 주도하였다. T3(지속가능성 인증)가 13.3%로 처음 등장하였고, T5(ISPO 거버넌스)도 6.7%로 출현하기 시작하였다. T6(소농·경제성장)으로 분류된 문헌은 이 시기에 나타나지 않았다.

3기(2022~2025, n=25)에서는 토픽 분포가 전반적으로 분산되고 노이즈 비율이 32%로 급등하는 양상을 보였다. 어떤 단일 토픽도 20%를 넘지 않는다. T2(바이오디젤 정책)가 16%로 부상하였고, T5(ISPO 거버넌스)도 12%로 증가하였다. 반면 1기를 주도하던 T0(토지·삼림벌채)는 8%로 크게 축소되었다. 노이즈 비율의 급증은 최근 팜유 연구가 SDGs, 사회적 LCA, 시스템다이내믹스, 4차 산업혁명 기술 등 다양한 방향으로 확산되어 단일 토픽으로 귀속되기 어려운 복합적 주제가 증가하였음을 반영한다.

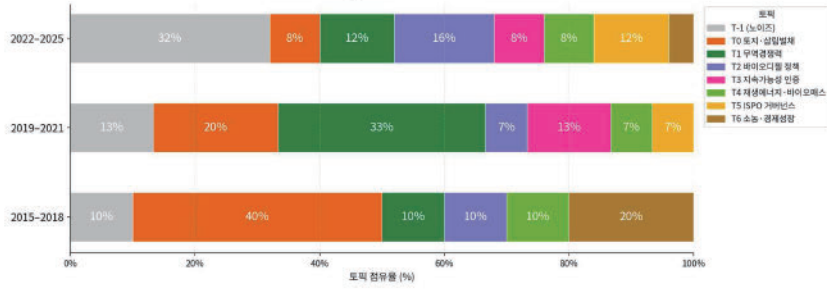
〈표 7〉 시기별 BERTopic 토픽 점유율

토픽	토픽명	1기 (2015–18)	2기 (2019–21)	3기 (2022–25)
T-1	노이즈(T-1)	10%	13.3%	32%
T0	T0 토지·삼림	40%	20%	8%
T1	T1 무역	10%	33.3%	12%
T2	T2 바이오디젤	10%	6.7%	16%
T3	T3 인증	0%	13.3%	8%
T4	T4 재생에너지	10%	6.7%	8%
T5	T5 ISPO	0%	6.7%	12%
T6	T6 소농	20%	0%	4%

〈그림 4〉는 세 시기별 토픽 점유율을 누적 가로 막대 그래프로 나타낸 것이다. 이 그림은 시기별 담론의 전체 구성을 한눈에 비교하는 데 적합하다. 각 막대의 전체 길이는 100%를 나타내며, 색상별로 구분된 각 구간의 너비가 해당 토픽의 시기별 점유율을 보여준다. 5% 이상인 구간에는 점유율 수치를 직접 표기하였다.

그림에서 가장 두드러지는 변화는 주황색(T0, 토지·삼림벌채)의 급격한 축소와 회색(T-1, 노이즈)의 팽창이다. T0는 1기(40%)에서 3기(8%)로 대폭 감소한 반면, 노이즈 비율은 1기(10%)에서 3기(32%)로 약 3.2배 증가하였다. 초록색(T1, 무역경쟁력)은 2기에서만 33%로 급팽창하였다가 3기에 12%로 다시 수축하는 역U자형 패턴을 보이며, 보라색(T2, 바이오디젤)은 3기에 16%로 소폭 증가하였고, 노란색(T5, ISPO 거버넌스)은 2기부터 출현하여 3기에 12%로 확대되었다.

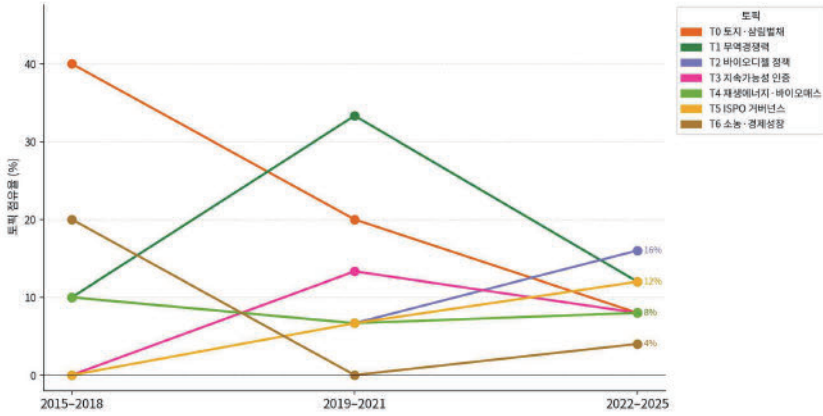
〈그림 4〉 시기별 BERTopic 토픽 점유율 분포(누적 막대 그래프)



〈그림 5〉는 노이즈(T-1)를 제외한 7개 토픽의 시기별 점유율 변화를 선 그래프로 나타낸 것이다. 누적 막대 그래프(그림 4)가 전체 구성 비율을 보여준다면, 선 그래프는 개별 토픽의 시계열적 궤적을 더 명확하게 추적한다.

토픽별 궤적을 보면, T0(주황색)는 우하향하는 단조 감소 패턴을 보이는 반면 T1(초록색)은 2기에서 급등 후 하락하는 역U자형 곡선을 그린다. T2(보라색)와 T5(노란색)는 3기에 뚜렷한 상승세를 보이며, T3(분홍색)는 2기에 처음 등장한 이후 소폭 감소하는 패턴이다. T4(연두색)는 세 시기 모두 8–10% 수준에서 비교적 안정적으로 유지되고 있어, 재생에너지·바이오매스 연구가 특정 시기에 편중되지 않고 꾸준히 진행되어 왔음을 보여준다. T6(갈색)는 1기(20%)에서 2기(0%)로 급락한 뒤 3기에 4%로 미약하게 회복하는 V자형 패턴을 보이며, 소농 경제 연구가 초기 담론에서 중심적 위치를 차지하다가 무역·거버넌스 담론의 부상과 함께 주변화되었음을 시사한다. 그림의 오른쪽 끝에 표기된 수치는 3기(2022~2025) 기준 각 토픽의 최종 점유율이다.

〈그림 5〉 토픽별 시기별 점유율 변화 추이(노이즈 제외)



3) 두 분석의 교차 검토

키워드 빈도 분석과 BERTopic 토픽 모델링의 결과는 대체로 수렴하며 상호 보완적인 해석을 제공한다. 먼저 수렴하는 지점을 보면, 1기의 'land',

'expansion' 단어 우위는 T0(토지·삼림벌채) 40% 점유율과 정확히 대응하며, 2기의 'international', 'global', 'trade' 단어 부상은 T1(무역경쟁력) 33.3% 점유율과 일치한다. 3기의 TF-IDF에서 'governance', 'ispo', 'emission', 'sdg'가 변별적 용어로 부각된 것은 T5(ISPO 거버넌스)의 상승 및 노이즈 클러스터 내 SDG 관련 연구의 증가와 맥락을 같이한다.

두 분석이 서로를 보완하는 지점도 확인된다. 단어 빈도 분석에서는 'sustainability'가 모든 시기의 최상위 키워드로 등장하지만, BERTopic에서는 'sustainability'가 특정 단일 토픽을 형성하지 않고 여러 토픽에 분산되어 있다. 이는 지속가능성 개념이 팜유 연구의 범분야적 언어로 자리잡았으나, 그 내용적 초점은 인증(T3), 거버넌스(T5), 에너지(T4) 등으로 시기에 따라 다르게 구성되고 있음을 보여준다. 또한 연어 분석에서 2기의 'renewable energy'(10회) 부상이 관찰되었다. 이는 동일 시기 T4(재생에너지·바이오매스)의 비중이 6.7%로 큰 변화가 없었던 것과 대비되며, 단어 수준의 변화가 토픽 수준의 변화보다 더 민감하게 반응하였음을 시사한다.

Ⅳ. 결론

1. 연구 개관 및 주요 발견

본 연구는 2015~2025년 기간 Web of Science와 Scopus에 수록된 인도네시아·말레이시아 팜유 관련 영문 학술 논문 50편을 대상으로 키워드 빈도 분석(unigram, bigram, TF-IDF)과 BERTopic 토픽 모델링을 병행하여 연구 담론의 시기별 지식구조 변화를 탐색적으로 규명하였다. 분석은 2015~2018년, 2019~2021년, 2022~2025년의 세 시기로 구분하여 수행되었으며, 두 방법의 결과를 교차 검토함으로써 결과의 강건성을 확보하였다.

BERTopic 분석 결과, 50편의 문헌은 T0(토지·삼림벌채), T1(무역경쟁력), T2(바이오디젤 정책), T3(지속가능성 인증), T4(재생에너지·바이오매스), T5(ISPO 거버넌스), T6(소농·경제성장)의 7개 유의미한 토픽으로 구조화되었

다. 시기별 토픽 점유율 분석에서는 1기(2015~2018)의 토지이용·삼림벌채 중심 담론(T0, 40%)이 2기(2019~2021)에는 무역경쟁력·공급망 담론(T1, 33%)으로, 3기(2022~2025)에는 바이오연료 정책·탈탄소 담론(T2 16%, T5 12% 부상)으로 이동하는 세 단계의 패러다임 전환이 관찰되었다. 키워드 분석에서는 'sustainability'의 빈도가 1기 17회에서 3기 52회로 3배 이상 증가하였으며, TF-IDF 분석에서 3기의 변별적 용어로 'sdg', 'zero-deforestation', 'governance'가 동시에 부각되어 토픽 모델링 결과를 일관되게 뒷받침하였다.

2. 해석 및 시사점

세 시기에 걸친 패러다임 전환은 단순한 연구 관심의 이동이 아니라 양국의 국가 정책 변화와 국제 규범 압력이 학술 담론을 재편하는 '정책-연구 공진화(policy-research co-evolution)' 과정으로 해석된다. 1기의 토지·삼림 담론은 파리협정(2015) 채택과 인도네시아 이탄지 대형 화재(2015)가 촉발한 환경 위기 의식을 반영하며, 2기의 무역경쟁력 담론 급부상은 EU RED II 개정(2018) 및 이에 따른 통상 갈등과 시기적으로 일치하며, 이것이 학술 어젠다 변화를 촉진한 것으로 추정된다. 3기의 에너지 전환·탈탄소 담론은 러시아-우크라이나 전쟁(2022) 이후 에너지 안보의 재부상, 인도네시아의 B40 정책 시행, EU 삼림벌채 규정(EUDR, 2023) 발효와 시기적으로 상응하는 양상을 보인다. 이 패턴은 팜유 분야 학술연구가 정책에 선행하기보다 정책 환경에 반응하는 경향이 강함을 시사하며, 역으로 정책 설계 단계에서 선제적 연구 투자가 필요함을 보여준다.

이러한 패턴은 기존 이론 체계와의 연결에서 추가적 설명력을 얻는다. 초국적 민간규제(transnational private regulation) 이론은 RSPO·ISPO·MSPO와 같은 민간 인증 표준이 국가-기업-시민사회의 삼자 협상 속에서 정당성 경합의 장을 형성하며, 이 경합이 학술 담론으로 전이된다고 설명한다(Büthe and Mattli, 2011). 본 분석에서 T3(지속가능성 인증)와 T5(ISPO 거버넌스)가 2기 이후 출현하여 지속 성장하는 패턴은 이 이론의 예측과 일치하며, 민간 규제의 제도화 과정이 학술 어젠다를 생성하는 메커니즘을 실증적

으로 지지한다. 또한 지속가능성 전환(sustainability transitions) 연구는 에너지 시스템 전환이 정책·기술·사회 층위로 분기하여 발전함을 강조하는데(Geels, 2002), 본 연구에서 T2(바이오디젤 정책)와 T4(재생에너지·바이오매스)가 높은 유사도(0.85)를 보이며 별개의 토픽으로 분화된 현상은 에너지 전환 담론이 정책 층위와 기술 층위로 분화하여 독자적 학술 군집을 형성하기 시작하였음을 시사한다. 글로벌 가치사슬 이론 측면에서는 2기 T1(무역 경쟁력)의 급부상이 바이어 주도형 가치사슬에서 규제 압력이 상류 생산자의 행동을 변화시키는 거버넌스 메커니즘과 연동됨을 보여준다(Gereffi, Humphrey and Sturgeon, 2005).

토픽 유사도 분석에서는 두 개의 내용적 클러스터가 확인되었다. T2(바이오디젤 정책)와 T4(재생에너지·바이오매스)의 높은 유사도(0.85)는 에너지 전환 담론이 정책 측면과 기술 측면으로 나뉘어 발전하고 있음을 보여주며, 향후 정책-기술 통합 분석의 필요성을 제기한다. T5(ISPO 거버넌스)와 T6(소농·경제성장)의 유사도(0.88)는 두 토픽이 소농(smallholder)을 핵심 행위자로 공유하며 상호보완적 연구 흐름을 형성하고 있음을 나타낸다. 반면 T0(토지·삼림벌채)의 상대적 고립성(타 토픽과 유사도 0.65~0.72)은 삼림벌채 담론이 에너지·거버넌스 담론과 통합적으로 논의되지 못하는 담론적 단절의 문제를 드러내며, Water-Energy-Food(WEF) Nexus 같은 통합 연구의 필요성을 시사한다. 토픽 구조에서 관찰되는 또 하나의 주목할 점은 국가별 담론 특수성이 토픽 수준에서도 부분적으로 분리된다는 것이다. T5(ISPO 거버넌스)는 인도네시아의 강제 인증 제도화 과정에 특화된 담론을 형성하고 있으며, T3(지속가능성 인증)는 MSPO 중심의 말레이시아 인증 전략 담론을 주로 포함한다. 이는 두 국가가 유사한 외부 압력(RSPO, EU RED II)에 노출되면서도 상이한 제도적 대응 경로를 선택한 결과가 학술 담론의 토픽 구조에도 반영됨을 시사한다. 다만 본 연구가 두 국가 문헌을 통합 분석했다는 한계로 인해 국가별 차별성을 완전히 포착하기 위해서는 향후 국가별 분리 분석에서 보완되어야 한다.

노이즈 비율의 급증(1기 10%→3기 32%)은 두 가지 가능성을 함께 고려하

여 해석해야 한다. 첫째, 3기 문헌 수(n=25)가 증가하면서 HDBSCAN의 클러스터 밀도 기준을 충족하지 못하는 문헌이 알고리즘적으로 더 많이 노이즈로 처리되었을 가능성이 있다. 소규모 단위에서 초매개변수 설정에 따른 노이즈 비율 민감성은 본 연구의 방법론적 한계이다. 둘째, 노이즈에 귀속된 문헌들의 대표어(sdg, zero-deforestation, society, climate)를 검토하면 SDGs 프레임, 탈삼림벌채 공약 이행, 사회적 LCA 등 기존 7개 토픽 경계를 넘는 복합 주제를 다루는 문헌들이 다수 포함되어 있다. 이는 3기 팜유 연구 담론이 단일 이슈 중심에서 복합 어젠다 탐색 단계로 분화하고 있음을 시사하는 것으로 잠정적으로 해석할 수 있다. 단, 이러한 해석은 알고리즘적 요인과 실질적 담론 변화를 완전히 분리할 수 없다는 한계 아래에서 제시된다.

학술적 차원에서 본 연구는 두 가지 방법론적 기여를 제공한다. 우선 BERTopic이 환경·에너지 정책 분야의 소규모 문헌 고찰(n=50)에서도 의미론적으로 일관된 토픽 구조를 도출할 수 있음을 실증하였다. 또한 키워드 빈도·TF-IDF·BERTopic의 삼각 검증 구조는 체계적 문헌고찰에 텍스트 마이닝을 결합하는 방법론적 참조 모델로 활용될 수 있다.

정책결정자에 대한 시사점으로 본 연구는 팜유 분야 학술 담론이 정책에 선행하기보다 정책 환경에 반응하는 경향이 강함을 보여준다. 1기 토지·삼림 담론, 2기 무역경쟁력 담론, 3기 탈탄소 담론 모두 각 시기의 핵심 정책 이벤트 이후에 학술 생산이 집중되는 패턴을 보인다. 이는 정책 설계 단계에서 선제적 연구 투자가 필요함을 시사한다. 구체적으로는 EUDR 이행 비용 분석, 소규모 공급자 준수 역량 지원, 공급망 추적가능성 기술의 현장 적용이 우선적 연구 과제로 제안된다.

인증기관 및 민간 거버넌스 기구에 대해서는 T3(지속가능성 인증)와 T5(ISPO 거버넌스)가 소농(smallholder)을 공통의 제도적 취약 지점으로 공유한다는 분석 결과가 중요한 함의를 갖는다. 재정 접근성 부족, 인증 비용 부담, 역량 미흡이라는 소농 장벽이 인증 제도 설계의 핵심 병목임을 학술 담론이 지속적으로 지적하고 있으며, RSPO·ISPO·MSPO 모두 이에 대한 구조적 해법 마련이 시급하다.

연구자에게는 노이즈 클러스터(T-1)에서 식별된 미진한 연구 영역들이 전략적 연구 어젠다로서 높은 가치를 지닌다. 구체적으로는 SDG 복수 목표 간 상충관계 정량화, ZDC 공약 이행의 실증 분석, EUDR 준수 비용 분석, 사회적 LCA(S-LCA) 방법론 적용이 향후 연구 과제로 제안된다.

기업 및 ESG 투자자에게는 2기 이후 ISPO·MSPO 인증과 CPO 공급망 투명성에 관한 학술 담론이 급성장하고 있다는 사실이 중요한 함의를 갖는다. 인증 준수 비용과 공급망 리스크 관리가 이미 학술적 검증의 대상이 되었음을 의미하며, 관련 연구 성과를 ESG 전략 수립에 적극 반영할 것을 권고한다.

3. 본 연구의 한계 및 향후 과제

본고의 한계는 다섯 가지이다. 첫째, 표본 규모(n=50)의 제약으로 분야 전체의 대표성을 주장하기 어렵다. 하지만 본 연구는 글로벌 팜유 담론 전체 지형을 포괄적으로 매핑하는 것이 아니라, 인도네시아·말레이시아 관련 학술 문헌이라는 특정 하위 분야를 분석한 것이다. 향후 연구에서는 국가 필터를 제거한 전체 팜유 담론 텍스트 데이터를 구축하여, 그 안에서 각국 관련 문헌의 상대적 위치와 주제 분포를 비교하는 설계가 보완될 필요가 있다. 이러한 이유로 본 연구의 발견은 가설 생성적(hypothesis-generating) 성격을 가지며, 200편 이상의 확장된 문헌분석을 통한 후속 연구가 필요하다. 둘째, Web of Science와 Scopus의 영문 문헌에 한정하여 인도네시아어·말레이어 국내 학술 담론이 분석 대상에서 제외되었다. 향후 다국어 분석을 통해 생산국 내부의 정책 담론과 국제 학술 담론 간의 시차와 관점 차이를 비교하는 연구가 의미 있을 것이다. 셋째, 인도네시아와 말레이시아 문헌을 통합 분석하여 양국의 담론 특수성을 직접 비교하지 못하였다. 향후 국가별 문헌을 구축하여 BERTopic을 개별 적용하고 토픽 구조를 비교하는 연구 설계가 필요하다. 넷째, BERTopic의 UMAP-HDBSCAN 조합은 초매개변수 선택에 따라 결과가 달라질 수 있다. LDA와의 병렬 비교를 통한 방법론적 강건성 검증이 후속 연구에서 보완될 필요가 있다. 다섯째, 문헌 수집을 위한 검색식이 제도·규제 중심 개념어로 구성됨에 따라 노동권, 공급망 추적가능성, ESG 공시, 생물다

양성 상쇄 등 최근 부상하는 팜유 연구 주제가 검색 범위에서 일부 누락되었을 수 있다.

이러한 한계에도 불구하고, 본 연구는 텍스트 마이닝 기반으로 팜유 연구 담론의 2015~2025년 지식구조 변화를 체계적으로 추적한 탐색적 연구이다. 이는 향후 대규모 계량서지학적 연구와 국가별 비교 담론 분석의 출발점을 제공한다.

▮참고문헌▮

Arsyad, M., A. Amiruddin, S. Suharno, and S. Jahroh, 2020, "Competitiveness of palm oil products in international trade: An analysis between Indonesia and Malaysia," Caraka Tani: Journal of Sustainable Agriculture, 35(2), pp.157-167.

Büthe, T. and W. Mattli, 2011, *The new global rulers: The privatization of regulation in the world economy*, Princeton, NJ: Princeton University Press.

Campello, R. J., D. Moulavi, and J. Sander, 2013, "Density-based clustering based on hierarchical density estimates," In Pacific-Asia Conference on Knowledge Discovery and Data Mining, pp.160-172, Berlin: Springer Berlin Heidelberg.

Chang, I. C., T. K. Yu, Y. J. Chang, and T. Y. Yu, 2021, "Applying text mining, clustering analysis, and latent dirichlet allocation techniques for topic classification of environmental education journals," Sustainability, 13(19), 10856.

Dayeen, F. R., A. S. Sharma, and S. Derrible, 2020, "A text mining analysis of the climate change literature in industrial ecology," Journal of Industrial Ecology, 24(2), pp.276-284.

Egger, R. and J. Yu, 2022, "A topic modeling comparison between LDA, NMF, Top2Vec, and BERTopic to demystify Twitter posts," Frontiers in Sociology, 7, 886498.

Farobie, O. and E. Hartulistiyoso, 2022, "Palm oil biodiesel as a renewable energy resource in Indonesia: Current status and challenges," Bioenergy Research, 15(1), pp.93-111.

Geels, F. W., 2002, "Technological transitions as evolutionary reconfiguration processes: A multi-level perspective and a case-study," Research Policy,

31(8-9), pp.1257-1274.

Gereffi, G., J. Humphrey, and T. Sturgeon, 2005, "The governance of global value chains," Review of International Political Economy, 12(1), pp.78-104.

Grootendorst, M., 2022, "BERTopic: Neural topic modeling with a class-based TF-IDF procedure," arXiv preprint arXiv:2203.05794.

Hassan, M. A., M. A. A. Farid, M. R. Zakaria, H. Ariffin, Y. Andou, and Y. Shirai, 2024, "Palm oil expansion in Malaysia and its countermeasures through policy window and biorefinery approach," Environmental Science & Policy, 153, 103671.

Leydesdorff, L., 1989, "Words and co-words as indicators of intellectual organization," Research Policy, 18(4), pp.209-223.

Manning, C. D., P. Raghavan, and H. Schütze, 2008, *Introduction to information retrieval*, Cambridge: Cambridge University Press.

Martin, S., A. Rieple, J. Chang, B. Boniface, and A. Ahmad, 2015, "Small farmers and sustainability: Institutional barriers to investment and innovation in the Malaysian palm oil industry in Sabah," Journal of Rural Studies, 40, pp.46-58.

Mayandi, Z., 2024, "Palm oil-based biodiesel industry sustainability model using dynamic systems to balance food, energy, and export allocations," Smart Agricultural Technology, 7, 100421.

McInnes, L., J. Healy, and J. Melville, 2018, "UMAP: Uniform manifold approximation and projection for dimension reduction," arXiv preprint arXiv:1802.03426.

Meijaard, E., T. M. Brooks, K. M. Carlson, E. M. Slade, J. Garcia-Ulloa, D. L. Gaveau et al., 2020, "The environmental impacts of palm oil in context," Nature Plants, 6(12), pp.1418-1426.

Naidu, L. and R. Moorthy, 2021, "A review of key sustainability issues in Malaysian palm oil industry," Sustainability, 13(19), 10839.

Page, M. J., J. E. McKenzie, P. M. Bossuyt, I. Boutron, T. C. Hoffmann, C. D. Mulrow et al., 2021, "The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews," BMJ, 372, n71.

Prabowo, D., A. Maryudi, and M. A. Imron, 2017, "Conversion of forests into oil palm plantations in West Kalimantan, Indonesia: Insights from actors' power and its dynamics," Forest Policy and Economics, 78, pp.32-39.

Pramudya, E. P., O. Hospes, and C. J. A. M. Termeer, 2017, "Governing the palm-oil sector through finance: The changing roles of the Indonesian state," Bulletin of Indonesian Economic Studies, 53(1), pp.57-82.

Purnomo, H., B. Okarda, A. Dermawan, Q. P. Ilham, P. Pacheco, F. Nurfatriani et al., 2020, "Reconciling oil palm economic development and environmental conservation in Indonesia: A value chain dynamic approach," Forest Policy and Economics, 111, 102089.

Rajakal, J. P., F. Y. Ng, A. Zulkifli, B. S. How, J. Sunarso, D. K. Ng et al., 2024, "Analysis of current state, gaps, and opportunities for technologies in the Malaysian oil palm estates and palm oil mills towards net-zero emissions," Heliyon, 10(10).

Salton, G. and C. Buckley, 1988, "Term-weighting approaches in automatic text retrieval," Information Processing & Management, 24(5), pp.513-523.

Spärck Jones, K., 1972, "A statistical interpretation of term specificity and its application in retrieval," Journal of Documentation, 28(1), pp.11-21.

Susanti, A. and A. Maryudi, 2016, "Development narratives, notions of forest crisis, and boom of oil palm plantations in Indonesia," Forest Policy and Economics, 73, pp.130-139.

Syed, S. and M. Spruit, 2017, "Full-text or abstract? Examining topic coherence scores using latent dirichlet allocation," In *2017 IEEE International Conference on Data Science and Advanced Analytics (DSAA)*, pp.165-174, IEEE.

Taheripour, F., T. W. Hertel, and N. Ramankutty, 2019, "Market-mediated responses confound policies to limit deforestation from oil palm expansion in Malaysia and Indonesia," Proceedings of the National Academy of Sciences, 116(38), pp.19193-19199.

Tan, C. M., Y. F. Wang, and C. D. Lee, 2002, "The use of bigrams to enhance text categorization," Information Processing & Management, 38(4), pp.529-546.

〈부록-표 1〉 선정된 50편의 논문

발간 연도	제목	저널
2015	Small farmers and sustainability: Institutional barriers to investment and innovation in the Malaysian palm oil industry in Sabah	Journal of Rural Studies
2015	The challenges and prospects of palm oil based biodiesel in Malaysia	Energy
2016	Evolution of sustainable palm oil policy in Southeast Asia	Cogent Environmental Science
2016	Development narratives, notions of forest crisis, and boom of oil palm plantations in Indonesia	Forest Policy and Economics
2017	Conversion of forests into oil palm plantations in West Kalimantan, Indonesia: Insights from actors' power and its dynamics	Forest Policy and Economics
2017	Governing the Palm-Oil Sector through Finance: The Changing Roles of the Indonesian State	Bulletin of Indonesian Economic Studies
2017	Land allocation to meet sectoral goals in Indonesia—An analysis of policy coherence	Land Use Policy
2017	Risks and opportunities from key importers pushing for sustainability: the case of Indonesian palm oil	Agricultural and Food Economics
2018	Palm oil intensification and expansion in Indonesia and Malaysia: Environmental and socio-political factors influencing policy	Forest Policy and Economics
2018	A policy framework and industry roadmap model for sustainable oil palm biomass electricity generation in Malaysia	Renewable Energy
2019	Market-mediated responses confound policies to limit deforestation from oil palm expansion in Malaysia and Indonesia	Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS)
2019	Oil palm plantations in Peninsular Malaysia: Determinants and constraints on expansion	PLOS ONE
2019	Sustainability assessment for crude palm oil production in Malaysia using the palm oil sustainability assessment framework	Sustainable Development
2019	The Conundrum of Carbon Trading Projects towards Sustainable Development: A Review from the Palm Oil Industry in Malaysia	Energies
2019	Decentralization and the environment: Assessing smallholder oil palm development in Indonesia	Ambio
2019	Save Palm Oil, Save the Nation: Palm Oil Companies and the Shaping of Indonesia's National Interest	Asian Politics & Policy
2020	Competitiveness of Palm Oil Products in International Trade: An Analysis between Indonesia and Malaysia	Caraka Tani: Journal of Sustainable Agriculture

2020	Sustainability of oil palm plantations in Malaysia	Environment, Development and Sustainability
2020	Transitioning to a sustainable development framework for bioenergy in Malaysia: policy suggestions to catalyse the utilisation of palm oil mill residues	Energy, Sustainability and Society
2020	Sustainable Production Policy Impact on Palm Oil Firms' Performance: Empirical Analysis from Indonesia	Sustainability
2020	Trends in global dependency on the Indonesian palm oil and resultant environmental impacts	Scientific Reports
2021	A Review of Key Sustainability Issues in Malaysian Palm Oil Industry	Sustainability
2021	Commodity exports and macroeconomic performance: The case of palm oil in Malaysia	Cogent Economics & Finance
2021	Evaluating the palm oil demand in Indonesia: production trends, yields, and emerging issues	Biofuels
2021	The ambiguities of Indonesian Sustainable Palm Oil certification: internal incoherence, governance rescaling and state transformation	Asia Europe Journal
2022	Bio-economy for sustainable growth in developing countries: The case of oil palm in Malaysia and Indonesia	Biofuels, Bioproducts and Biorefining
2022	Palm oil-based bioenergy sustainability and policy in Indonesia and Malaysia: A systematic review and future agendas	Heliyon
2022	An overview of palm oil biomass for power generation sector decarbonization in Malaysia: Progress, challenges, and prospects	WIREs Energy and Environment
2022	Impact of Malaysian palm oil on sustainable development goals: co-benefits and trade-offs across mitigation strategies	Sustainability Science
2022	Nexus between climate change and oil palm production in Malaysia: a review	Environmental Monitoring and Assessment
2022	Social life cycle assessment of crude palm oil production in Malaysia	Sustainable Production and Consumption
2022	Between zero-deforestation and zero-tolerance from the state: Navigating strategies of palm oil companies of Indonesia	Forest Policy and Economics
2022	Incentives for Palm Oil Smallholders in Mandatory Certification in Indonesia	Land
2022	Making illegality visible: The governance dilemmas created by visualising illegal palm oil plantations in Central Kalimantan, Indonesia	Land Use Policy

2022	Palm Oil Biodiesel as a Renewable Energy Resource in Indonesia: Current Status and Challenges	BioEnergy Research
2022	The Oil Palm Governance: Challenges of Sustainability Policy in Indonesia	Sustainability
2023	Social Issues and Challenges among Oil Palm Smallholder Farmers in Malaysia: Systematic Literature Review	Sustainability
2023	Goal-Based Private Sustainability Governance and Its Paradoxes in the Indonesian Palm Oil Sector	Journal of Business Ethics
2023	Replanting and yield increase strategies for alleviating the potential decline in palm oil production in Indonesia	Agricultural Systems
2023	Sustainable investment strategies in the palm oil industry in Indonesia	Journal of Infrastructure, Policy and Development
2024	Analysis of current state, gaps, and opportunities for technologies in the Malaysian oil palm estates and palm oil mills towards net-zero emissions	Heliyon
2024	Palm oil expansion in Malaysia and its countermeasures through policy window and biorefinery approach	Environmental Science and Policy
2024	New Challenges and Opportunities of Indonesian Crude Palm Oil in International Trade	Caraka Tani: Journal of Sustainable Agriculture
2024	Palm oil-based biodiesel industry sustainability model using dynamic systems to balance food, energy, and export allocations	Smart Agricultural Technology
2025	Sustainable palm oil certification inadvertently affects production efficiency in Malaysia	Communications Earth & Environment
2025	The benefits and perspectives of the palm oil industry in Malaysia	Environment, Development and Sustainability
2025	Exploring the food-versus-fuel debate in Indonesia's palm oil industry toward sustainability: A model-based policymaking approach	Energy Nexus
2025	Sustainable pathways in Indonesia's palm oil industry through historical institutionalism	World Development Sustainability
2025	The global sway of Indonesian palm oil: An export analysis	Journal of Agriculture and Food Research
2025	Towards an Environmentally Friendly Palm Oil Industry: A Critical Review of Waste Reduction Policies by Indonesian Government	International Journal of Sustainable Development and Planning

〈부록-표 2〉 수집 문헌의 저널별 분포 및 WoS & Scopus 색인 현황

저널명	WoS 색인	비고(분야 및 등급)
Journal of Rural Studies	SSCI	Q1
Energy	SCIE	Q1
Cogent Environmental Science	ESCI	동남아 환경 특화
Forest Policy and Economics	SCIE	Q1
Forest Policy and Economics	SCIE	Q1
Bulletin of Indonesian Economic Studies	SSCI	Q2, 인도네시아 경제 특화
Land Use Policy	SCIE	Q1
Agricultural and Food Economics	ESCI	농업경제 특화
Forest Policy and Economics	SCIE	Q1
Renewable Energy	SCIE	Q1
Proceedings of the National Academy of Sciences	SCIE	Q1
PLOS ONE	SCIE	Q2
Sustainable Development	SSCI	Q1
Energies	SCIE	Q3
Ambio	SCIE	Q1
Asian Politics & Policy	SSCI	Q3, 아시아 정치 특화
Caraka Tani: Journal of Sustainable Agriculture	ESCI	Q2, 인도네시아 농업 특화
Environment, Development and Sustainability	SCIE	Q2
Energy, Sustainability and Society	SCIE	Q3
Sustainability	SCIE	Q2
Scientific Reports	SCIE	Q2
Sustainability	SCIE	Q2
Cogent Economics & Finance	ESCI	경제·금융 특화
Biofuels	ESCI	바이오연료 특화
Asia Europe Journal	SSCI	Q2, 아시아-유럽 관계 특화
Biofuels, Bioproducts and Biorefining	SCIE	Q2
Heliyon	SCIE	Q2
WIREs Energy and Environment	SCIE	Q1
Sustainability Science	SCIE	Q1
Environmental Monitoring and Assessment	SCIE	Q2
Sustainable Production and Consumption	SCIE	Q1
Forest Policy and Economics	SCIE	Q1
Land	SCIE	Q2
Land Use Policy	SCIE	Q1
BioEnergy Research	SCIE	Q2
Sustainability	SCIE	Q2

Sustainability	SCIE	Q2
Journal of Business Ethics	SSCI	Q1
Agricultural Systems	SCIE	Q1
Journal of Infrastructure, Policy and Development	ESCI	정책·개발 특화
Heliyon	SCIE	Q2
Environmental Science and Policy	SCIE	Q1
Caraka Tani: Journal of Sustainable Agriculture	ESCI	Q2, 인도네시아 농업 특화
Smart Agricultural Technology	ESCI	Q1
Communications Earth & Environment	SCIE	Q1
Environment, Development and Sustainability	SCIE	Q2
Energy Nexus	ESCI	에너지 복합 특화
World Development Sustainability	ESCI	지속가능발전 특화
Journal of Agriculture and Food Research	ESCI	농업·식품 특화
International Journal of Sustainable Development and Planning	ESCI	지속가능계획 특화

〈부록-표 3〉 토픽별 해석 근거: 대표 문헌 초록

토픽	대표어	대표 문헌의 초록 기반 해석 근거
T0	land, plantation, expansion	The process of deforestation and the rapid oil palm expansion cannot be viewed in isolation from broader development contexts(Susanti and Maryudi, 2016)
T1	trade, competitiveness, cpo	The research aims at assessing the competitiveness of palm oil products between Indonesia and Malaysia in international trade using the Revealed Comparative Advantage (RCA) method(Arsyad et al., 2020)
T2	biodiesel, biofuel, energy	Starting from 2020, the Government of Indonesia issued the mandatory program of biodiesel called B30, making Indonesia the highest implementer of biodiesel in the world (Farobie and Hartulistiyoso, 2022)
T3	certification, rspo, mspo	The overall sustainability score for a typical crude palm oil supply chain in Malaysia is 3.47/5, which is below the sustainability target using the POSA framework(Naidu and Moorthy, 2021)
T4	biomass, renewable, power	A total of 4,487 MW of additional power could be connected to the grid upon successful implementation of a large-scale biomass power plant programme(Hassan et al., 2024)
T5	ispo, governance, institution	ISPO certification is an ambiguous policy with degrees of internal incoherence(Pramudya et al., 2017)
T6	smallholder, economy, finance	Based on interviews with 38 smallholders, we identify a number of factors that reduce the smallholders' propensity to invest in more sustainable practices(Martin et al., 2015)

안대한: 일본 교토대학교에서 환경정책학 박사학위를 취득하고, 현재 국가녹색기술연구소 제도혁신센터에서 박사후연구원으로 재직 중이다. 관심 연구 분야는 WEF nexus, 기후변화 정책, 지속가능한발전 등이다(zzank1900@naver.com).

김상민: 포항공과대학교에서 환경공학 박사학위를 취득하고, 현재 국가녹색기술연구소 제도혁신센터에서 연구원으로 재직 중이다. 관심 연구분야는 환경미생물, 바이오에너지, 바이오가스, 탄소중립 관련 정책이다(sangmin.kim@nigt.re.kr).

이돈민: 현재 국가녹색기술연구소 제도혁신센터 선임연구원으로 재직하고 있으며, 주요 연구분야는 기후테크 및 순환경제분야 국내 중소스타트업의 해외진출 지원현황 분석·활성화 등이다(donmin@nigt.re.kr).

최선영: 단국대학교에서 환경법학 박사학위를 취득하고, 현재 국가녹색기술연구소 제도혁신센터에서 박사후연구원으로 재직 중이다. 관심연구분야는 탄소중립 법제 및 녹색기술 지원 법제, 녹색금융 및 재정 지원 법제 등이다(sunyoung9479@naver.com).

김태건: 독일 뮌스터대학교에서 사회학 박사학위를 취득하고 현재 국가녹색기술연구소 제도혁신센터에서 책임연구원으로 재직 중이다. 주요 연구분야는 국제협력 및 과학외교, 그린 ODA, 기후기술 협력사업 등이다(taekun@nigt.re.kr).

투 고 일: 2026년 05월 22일
심 사 일: 2026년 05월 22일
게재확정일: 2026년 06월 12일