

국내 수송용 바이오디젤 생산 및 보급 확대 방안의 상대적 중요도 분석

홍선아* · 허성윤**†

*서울과학기술대학교 융합과학대학원 에너지정책학과 석사과정, **서울과학기술대학교 창의융합대학 미래에너지융합학과 조교수

Assessing the relative importance of strategies for enhancing transportation bio-diesel production and distribution in South Korea

Hong, Sun-A* and Huh, Sung-Yoon**†

*Master Student, Dept. of Energy Policy, Seoul National University of Science and Technology, Korea

**Assistant Professor, Dept. of Future Energy Convergence, Seoul National University of Science and Technology, Korea

ABSTRACT

In October 2022, the Ministry of Trade, Industry, and Energy of South Korea unveiled the "Eco-friendly Biofuel Supply Plan," signaling a commitment to advancing biofuel utilization. The plan targets an increase in the Renewable Fuel Standard, the mandatory blending ratio of renewable bio-diesel for transportation fuel, from 5% to 8% by 2030. Although greenhouse gas emissions in the domestic transportation sector have steadily declined since 2016, as of 2020, the road sector still contributed to about 96% of total emissions. South Korea initiated the RFS mandate in 2015; however, progress has been slow. The recent objectives emphasize the urgency of comprehensive enhancements and targeted efforts to attain this goal. This study endeavors to explore supply chain-related factors requiring improvement for expansion of transportation bio-diesel production and distribution in South Korea. The Analytic Hierarchy Process is employed to assign weights to various factors, identifying "raw material acquisition and development factors" as the most significant criterion, with a weight of 49.2%. Among sub-criteria, "commercialization factors of next-generation raw materials" is of substantial relative importance at 22.8%. These analysis results will inform future energy policy, particularly implementation of the RFS of an 8% mandatory blending ratio.

Key words: Bio-Diesel, Transportation Sector, Renewable Fuel Standard, Analytic Hierarchy Process, Relative Importance

1. 서론

한국 산업통상자원부는 2022년 10월에 ‘친환경 바이오 연료 확대 방안’을 발표한 바 있다(Ministry of Trade, Industry and Energy, 2022a). 이에 따르면, 정부는 국내 바이오연료 사용을 늘리고, 2030년까지 수송용 바이오디젤 의무 혼합비율을 기존의 5%에서 8%로 상향할 예정이다.

국내 수송부문의 온실가스 배출량은 2016년에 98.8백만 톤으로 정점을 찍은 이후 점차 감소하고 있지만, 2020년 기준으로 도로 부문은 수송부문 전체 온실가스 배출

량의 96%를 차지하고 있다 (Ministry of Environment, 2022). 정부는 수송 부분 탄소저감을 위해 전기·수소차의 확대 보급을 이행하는 동시에 바이오디젤¹⁾ 혼합률 상향 목표를 두고 있다(Joint Ministries Concerned, 2021a, 2021b). 즉 정부가 국내 신재생에너지 연료 의무혼합(RFS, Renewable Fuel Standard)²⁾의 비율을 높일 경우, 기존 2030년까지 매년 약 0.2%씩 늘려야 했던 것을 0.5%씩 늘려야 함을 의미한다.

현재 국내에서 바이오디젤은 경유차량(트럭, 화물차, 경유SUV 등)에 사용되는 기존 디젤에 3.5% 정도 섞여 보

†Corresponding author : sunghuh@seoultech.ac.kr (232 Gongneung-ro Nowon-gu, Seoul 01811, Korea. Tel. +82-2-970-6061) ORCID 홍선아 0009-0008-0111-8584 허성윤 0000-0002-1410-4578

급되고 있다. 우리나라의 바이오디젤 보급은 2007년 혼합물 0.5%로 시작하여 2015년 7월부터 RFS 법령을 발효한 바 있다. 바이오디젤 5% 혼합물은 연구개발 초창기에 정유업체, 자동차 업계 등 이해당사자들이 모여 합의 및 목표한 비율이다. 그러나 2030년까지 의무 혼합비율 5%를 달성하는 것은 그 기간과 생산 가능성을 고려할 때, 비교적 저조한 성과로 지적되고 있다(Kim, 2021).

정부는 국내 바이오디젤 생산력을 고려하여 2030년까지 RFS 8% 달성을 목표로 두었으나, 이른 시기부터 바이오디젤 보급이 활발히 이뤄지고 있는 타 국가들에 비해 높은 수준이라고 보기는 어렵다. 예로, 2019년에 이미 유럽은 최대 7%에 해당하는 바이오디젤 RFS를 적용하고 있었으며, 아시아에서는 인도네시아가 20%를 달성하였다(Park and Kang, 2022).

국내 바이오디젤의 생산량과 수출은 매년 증가하는 추세이다. 그러나, 국내 바이오디젤 원료 수입 의존도는 2019년 기준, 71%이다. Kim(2009)은 수입의존형 에너지원은 바람직한 에너지정책이 아님을 언급하고 있다.

EU 의회(Strasbourg General Assembly, 2018)에서는 2021년부터 수송연료 분야에서 팜유(Palm oil)에 기반한 바이오연료를 퇴출하는 RED 개정안을 가결(Park, 2019)한 바 있다. 또한, 최근 우크라이나 사태가 일어나면서 에너지원 가격은 불안정한 모습을 보이고 있으며, 이로 인한 국내 바이오디젤 원료의 주수입국인 인도네시아가 일정기간 팜유 및 부산물 수출을 중단하는 상황이 이어졌다. 이에 정부는 대체 수입국에 대한 긴급논의(Ministry of Trade, Industry and Energy, 2022b)를 가졌다. 향후에는 우리나라가 수입하고 있는 팜유 및 부산물에 대한 의존도를 낮추고, 국내 원료를 개발 및 생산하는 것이 필요하다.

이와 같은 배경 하에, 본 연구는 수송 부문 바이오연료 의무 혼합 비율을 확대하는 과정에서 효율적인 생산과 보급을 위해선 국내 바이오디젤의 생산 및 보급의 전반적인 과정을 검토할 필요가 있다고 판단하였고, 이에 따라 공급사슬(Supply chain)의 관점에서 연구를 진행하였다. 즉 국내 수송용 바이오디젤 생산 및 보급 확대 방안에서 바이오디젤 생산의 전반적인 흐름을 공급사슬(Supply chain)의 측면에서 살펴보았다.

본 연구는 정부의 바이오디젤 의무 혼합비율 상향계획

을 달성하기 위해 개선해야 하는 요소들을 탐색한다. 그리고 효과적인 바이오디젤 생산 및 보급에 있어 어떤 요인이 보다 중요하게 다뤄져야 하는지 계층분석법(AHP, Analytic Hierarchy Process)으로 분석하고, 관련 시사점을 도출하였다. 이후 연구내용은 연구방법, 결과 및 고찰, 결론의 순서로 구성하였다.

2. 연구방법

2.1. 계층분석법 (AHP)

최선의 대안을 선정하기 위해서 여러 기준이 동시에 고려되는 경우를 ‘다기준 의사결정(Multi-Criteria Decision Making)’이라고 하는데 AHP는 그중 하나이다. AHP는 적용이 용이하고 의사결정 과정을 쉽게 표현할 수 있으며, 의사결정 문제를 계층 구조화하여 대안의 우선순위를 도출한다는 장점이 있다. 이에 특정 목적을 위한 집단적 의사결정, 대규모 사업, 정부 정책평가와 같이 중대하거나 객관성이 필요한 의사결정일수록 AHP를 사용하는 경우가 많으며, 그 대표적인 예로 정부의 예비타당성조사가 있다.

AHP에는 목표(Goal), 기준(Criteria), 대안(Alternative)이라는 3대 요소를 가지고 있다. 목표(Goal)는 의사결정의 목적으로, 아래 기준(Criteria)이 판단 근거가 되는 이유를 제공한다. 그러므로 목표는 해당 기준들과 대안에 대해서 응답자의 판단 방향을 설정하므로 신중하고 구체적으로 설정해야 한다. 기준(Criteria)은 상위항목(요인)과 하위항목(요인)으로 나뉘며, 목표의 적합한 대안을 결정하기 위한 판단 근거를 의미한다. 기준 간에는 쌍대비교가 이뤄지므로 기준구성이 곧 계층구조를 형성하며, 해당 의사결정에서 AHP 적용의 의의를 대부분 좌우하게 된다. 대안(Alternative)은 AHP를 통해 의사결정을 내리고자 하는 대상이다. AHP 분석의 최종 결과물로서, 정량적 수치 비교로 여러 대안 간 우선 비중(%)이 도출된다.

2.2. AHP 적용 및 분석과정

AHP의 적용과정은 의사 결정하기 위한 계층설정을 기본으로 문헌조사와 전문가의 의견을 바탕으로 진행된다.

- 1) 바이오디젤(Bio-diesel)은 폐식용유 및 식물성 유지원료를 바탕으로 생산되는 친환경 수송연료다. 기존의 경유 차량 엔진에 설비 변경 없이 사용 가능하고, 폐식용유 재활용을 통한 수질 개선 및 대기오염물질의 배출감소 효과를 유발하는 장점이 있다.
- 2) 신재생 연료 의무혼합제(RFS, Renewable Fuel Standard)는 석유정제업자 또는 혼합의무자에게 수송용 연료에 신재생에너지 연료(바이오디젤, 바이오에탄올, 바이오가스 등)를 일정 비율 이상 혼합하여 공급하도록 의무화한 제도다.

AHP는 특성상 해당분야의 전문지식을 보유한 전문가의 자료를 수집함으로써 논리와 신뢰가 있는 결과를 도출할 수 있다. 이 과정에서는 아래 표(Table 1)와 같이 Saaty가 제안한 1-9점 척도를 이용해 응답자들의 해당 요인별 쌍대비교가 진행된다. 쌍대비교는 말 그대로 평가요인을 두 개씩 두어 어느 요인이 더 중요(같음, 약간 중요, 중요, 매우 중요, 절대 중요)한 지 점수화하는 과정이다.

Table 1. 1-9 Scale (Saaty, 1980)

Intensity of Importance	Definition	Explanation
1	Equal Importance	Two activities contribute equally to the objective
3	Moderate importance	Experience and judgement slightly favor one activity over another
5	Strong importance	Experience and judgement strongly favor one activity over another
7	Very strong or demonstrated importance	An activity is favored very strongly over another; its dominance demonstrated in practice
9	Extreme importance	The evidence favoring one activity over another is of the highest possible order of affirmation
2, 4, 6, 8	An intermediate value of nearby numbers	to be used as needed

설문 대상자의 응답으로 각 항목에 대한 상대적 점수화 및 중요도가 나오면, 일관성 검사를 통해 비일관적으로 나온 응답 데이터를 제외한 종합 중요도를 도출하게 된다. 이와 관련된 산정방식 과정은 아래 식 (1)~(4)와 같다.

$$A = [a_{ij}] = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} w_1/w_1 & w_1/w_2 & \dots & w_1/w_n \\ w_2/w_1 & w_2/w_2 & \dots & w_2/w_n \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ w_n/w_1 & w_n/w_2 & \dots & w_n/w_n \end{bmatrix} \quad (1)$$

위 식 (1)에서 행렬 A는 $a_{ij}=1/a_{ji}$, $a_{ii}=1$ 이 성립한다. 각 요인을 쌍대비교 할 때, w_i 는 i 번째 평가요인의 상대적 중요도를 의미하며, 평가요인 i 를 다른 평가요인 j 와

쌍대비교할 경우 중요도는 a_{ij} 가 된다. 따라서 행렬의 대각선의 값은 모두 1이 되며 역수행렬을 나타내게 된다.

$$A' \cdot w' = \lambda_{\max} \cdot w' \quad (2)$$

중요도 추정에서는 식 (2) 고유치방법을 사용한다. A' 의 최대고유치인 λ_{\max} 는 n에 근접할수록 행렬 A 값들이 일관성 있다고 본다.

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (3)$$

행렬 A가 완전한 일관성을 가질수록 CI(Consistency Index)는 0에 가깝고($\lambda_{\max} = n$), 비일관성을 가질수록 CI는 큰 값을 가진다. 따라서, 응답자의 결과가 일관성을 가질수록 CI는 낮아진다. CI는 식 (3)과 같이 표현할 수 있다.

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (4)$$

일관성비율(Consistency ratio)은 일관성지수(Consistency Index)를 평균무작위지수(Average Random Consistency Index)로 나눈 비율이다. Saaty (1980)에 따르면, 일관성비율(CR)이 0.1 이내일 경우 합리적인 일관성을 갖는 것으로 신뢰성 있는 결과임을 의미하며, 0.2 이내일 경우 용납할 수 있는 수준의 일관성을 갖는 것으로 판단할 수 있고, 그 이상일 경우 일관성이 부족하여 재조사가 필요하다고 제안한 바 있다.

2.2.1. 항목선정

목표달성을 위한 각 항목의 선정은 바이오연료 부문 주제에 AHP를 적용한 선행연구와 바이오디젤 생산과정 (Korea Biofuels Forum, 2022)을 참고하여 결정하였다. Ruhani et al. (2022)에서는 바이오디젤 공장 설립에 적합한 지역을 선택하기 위해 AHP를 이용하였고, 그에 필요한 항목들과 지역들을 나누어 계층화하였다. Haris Mahmood Khan et al. (2021)에서는 SWOT-AHP 및 TOWS 등 분석을 통해 바이오디젤 생산과 활용에 있어 강점 및 기회를 고려하고 약점과 위협을 제거할 수 있음을 언급하고 있으며, Bayraktar et al. (2023)에서도 AHP-SWOT을 이용하여 미래선택에 대한 바이오디젤의

Table 2. Relevant studies cited in AHP criteria selection

Thesis	Criteria	Sub Criteria
Ruhani et al. (2022)	<ul style="list-style-type: none"> • Biomass resource availability • Investments costs • Land use • Job creation 	<ul style="list-style-type: none"> • Northern Area • Southwest Area • Aouthern Area
Khan et al. (2021)	<ul style="list-style-type: none"> • Strengths • Weaknesses • Opportunities • Threats 	<ul style="list-style-type: none"> • S1 Waste based feedstock availability and reliability for fuel and energy production • S2 Government support for RES • S3 Strengthen economy • S4 Environmental protection • W1 Waste cooking oil purity and recovery issues • W2 Lower energy content than diesel • W3 Engine performance concerns • W4 Road map and commercialization problems • O1 Industrial development and profitability • O2 Breakthrough in R and D • O3 Achievement of emissions control targets and waste management • O4 Availing opportunities of international financing channels • O5 Policies reforms • T1 Global sump in oil prices • T2 Lacking of blending facilities • T3 Changing governmental policies
Bayraktar et al. (2023)	<ul style="list-style-type: none"> • Strengths • Weaknesses • Opportunities • Threats 	<ul style="list-style-type: none"> • S1 High energy efficiency • S2 Low Production cost at Generation • S3 Environmentally Friendly and Renewable Energy • S4 Not include raw material and reserve problem such as petroleum-based fuels • S5 Versatile that mean different products other than bio-diesel can be produced such as bioethanol and biomethanol • W1 Initial investment cost, operating and production cost at last generations • W2 Lack of infrastructure, insufficient and complec production, lack of maturity in especially in new generations • W3 Low efficiency particularly in the 2nd generations NOx Emission • W4 Incompatibility of the required location and production • W5 Long payback period with existing technology • O1 High production efficiency to be achieved in the 3rd and 4th generations • O2 Decarbonization targets of international authorities in 2030 and 2050 • O3 Creating alternatives to fossil fuels and revealing new business opportunities • O4 Tax privilege on green and alternative fuels supported by the authorities • O5 Ongoing technological performances on fuel production from biomass • T1 Occurrence od various health problems during energy production especially on respiration • T2 Food-fuel debate on 1st Generation • T3 Presence of fossil fuels produces at lower cost than bio-diesel fuels • T4 Uncertainty of future policies on biofuel production • T5 Deforestation

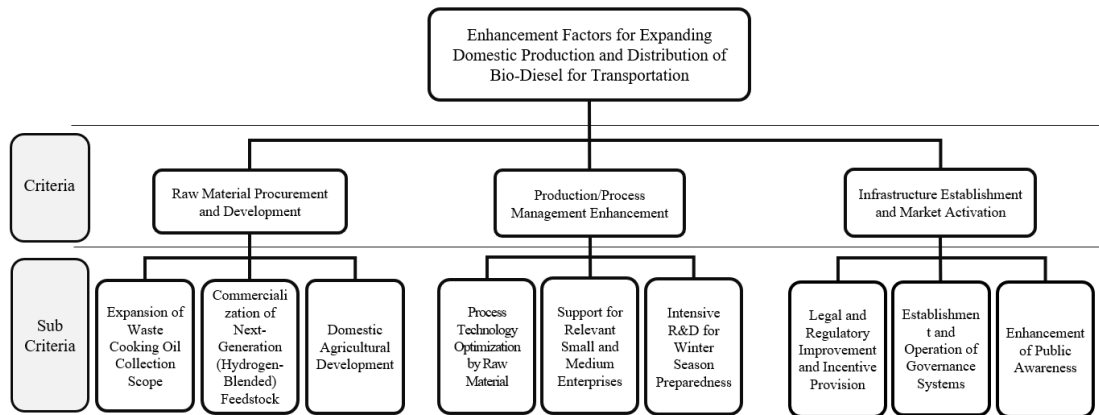


Fig. 1. Hierarchical structure for improvement factors for the production and distribution of bio-diesel for domestic transportation

내적, 외적요인들을 파악하는 연구를 보여주고 있다. 이에 한국 바이오연료 포럼에서 소개하고 있는 바이오디젤 제조기술을 토대로 공급망(Supply Chain)의 관점에서 주요 이슈들을 살펴보았다. 선행연구들과 공급망 측면에서 다루어지는 주요 범위들을 대항목으로 넣었으며, 각 대항목안에서 공통적으로 다루고있고 개선될 여지가 있는 이슈들을 소항목으로 설정하였다. Table 2는 선행연구에서 다룬 항목들을 정리하였다.

2.2.2. AHP 계층화

계층분석법(AHP) 의사결정(목표)을 위한 적절한 계층 설정은 매우 중요한 요소이다. 본 연구에서는 바이오디젤 공급사슬(Supply Chain)의 관점에서 계층을 구조화했다. 대항목에는 크게 3가지로 ‘원료확보 및 개발’, ‘생산/공정 관리 및 개선’, ‘기반조성 및 시장 활성화’가 있으며, 소항목은 각 대항목을 바탕으로 3개씩, 총 9개의 요인(폐기물 수거범위 확장, 차세대(수첨)원료 상용화, 국내 농업개발, 원료별 공정기술 최적화, 관련 중소기업 지원, 겨울철 대비 집중 R&D, 법·규제개선 및 인센티브 부여, 거버넌스 체계수립 및 운영, 국민인식 제고)으로 구성하였다. 각 대항목과 소항목에 대한 구체적인 설명은 Table 3에 정리하였다.

2.2.3. 전문가 데이터 수집(설문조사)과 데이터 분석

본 연구에서는 온라인설문지(자기기입식)를 통한 데이터를 수집하였다. 응답자는 에너지 관련 종사자로 학계, 연구기관, 산업계에 전문가를 대상으로 진행하였다. Table

4는 설문에 참여한 전문가들에 대한 기초통계이며, 본 AHP 분석결과와 전문성과 객관성의 근거가 된다. 설문 기간은 2023년 3월 말부터 약 한 달 동안 한국궤협(설문업체)에 의뢰해 실시하였다. 설문 내용으로는 설정한 AHP 계층을 기준으로 각 대항목과 소항목의 요인들을 쌍대비교를 진행하였고, Saaty의 1-9점 척도를 이용하여 요인별 순위를 종합할 수 있었다. 설문에 응답한 전문가 수는 총 38명이며, Expert Choice 분석프로그램을 통해 응답의 비밀관성 지수를 제거하여 일관성이 있게 응답한 수는 31명으로 집계되었다.

대항목	설명
원료확보 및 개발	국내 수송용 바이오디젤 생산 및 보급 확대를 위한 원료 확보를 체계적으로 확보하려는 노력이 필요하다. 폐기물 수거 범위 확장, 차세대(수첨)원료 상용화, 국내 농업개발 소항목으로 구성됨
생산/공정관리 및 개선	바이오디젤 생산 및 공정 과정에서의 이슈들을 살펴보고 그에 맞는 보완 및 개선을 통해 바이오디젤 생산 및 보급 확대를 기대함. 원료별 공정기술 최적화, 관련 중소기업 지원, 겨울철 대비 집중 R&D 소항목으로 구성됨
기반조성 및 시장활성화	바이오디젤 생산 및 보급 확대를 위해서는 바이오디젤 환경의 전반적인 기반을 다지고 시장활성화를 위한 요인들을 살펴볼 필요가 있음. 법·규제 개선 및 인센티브 부여, 거버넌스 체계 수립 및 운영, 국민인식 제고 소항목으로 구성됨

문1-1. 원료확보 및 개발, 생산/공정관리 및 개선, 기반조성 및 시장활성화에서 국내 수송용 바이오디젤 생산 및 보급 확대를 위해 우선적으로 개선해야할 요인으로 생각하시는 순서대로 1위부터 3위까지 순위를 정답해 주십시오.

요인	순위
원료확보 및 개발	_____ 위
생산/공정관리 및 개선	_____ 위
기반조성 및 시장활성화	_____ 위

문1-2. 다음은 앞서 평가하신 3개 요인에 대해 한 요인이 다른 요인에 어느 정도 중요한지 평가하는 질문입니다. 앞서 평가하신 순위 중단을 바탕으로 다음 3개의 질문에 응답해 주십시오.

평가항목	중요 ←				→ 중요				평가항목
	매우 중요	중요	약간 중요	중요	약간 중요	중요	매우 중요		
원료확보 및 개발	○	○	○	○	○	○	○	○	생산/공정관리 및 개선
원료확보 및 개발	○	○	○	○	○	○	○	○	기반조성 및 시장활성화
생산/공정관리 및 개선	○	○	○	○	○	○	○	○	기반조성 및 시장활성화

Fig. 2. AHP questionnaire form

Table 3. Explanation for each factor

Enhancement Factors for Expanding Domestic Production and Distribution of Bio-Diesel for Transportation		Explanation	
Criteria	Raw Material Procurement and Development	In order to enhance the domestic production and distribution of bio-diesel for transportation, it is imperative to take steps to ensure a self-sustaining supply of production materials.	
	Production/Process Management Enhancement	Through a comprehensive analysis of bio-diesel production and processing challenges, we foresee the potential for expanding bio-diesel production and distribution by implementing suitable solutions and enhancements.	
	Infrastructure Establishment and Market Activation	In order to facilitate the expansion of bio-diesel production and distribution, it is imperative to establish a robust foundation within the bio-diesel ecosystem and meticulously assess factors conducive to market activation.	
Sub Criteria	Raw Material Procurement and Development	Expansion of Waste Cooking Oil Collection Scope	In South Korea, the predominant sources for the acquisition of used cooking oil are educational institutions, fried chicken restaurants, residential complexes, and sizable dining establishments. To achieve a more secure and domestically stable supply of feedstock for bio-diesel (BD) production through local sourcing, it is imperative to broaden the existing collection framework to encompass private residences and coffeehouses.
		Commercialization of Next-Generation (Hydrogen-Blended) Feedstock	We are currently investigating first-generation (edible crops) and second-generation (non-edible crops, waste wood) materials for bio-diesel production. In addition, active pilot studies are in progress for third-generation feedstocks like seaweed and microalgae, as well as next-generation feedstocks involving hydrogen blending. To meet the government's commercialization timeline for next-generation feedstocks (2026-2030), we need to intensify our efforts to ensure successful commercialization.
		Domestic Agricultural Development	Countries like Indonesia and Germany, which have stringent Renewable Fuel Standard (RFS) requirements and a high bio-diesel (BD) utilization rate, source their raw materials primarily from tree fruits (palm oil), crop oils (rapeseed), and their byproducts. In a similar vein, South Korea should focus on developing energy crop varieties that are well-suited to its local land and climate conditions. Furthermore, it is crucial to invest in greenhouse-related technology and take measures to stimulate the agricultural sector for future sustainability.
	Production /Process Management Enhancement	Process Technology Optimization by Raw Material	The variety of biomass sources used for bio-diesel (BD) production is expanding. This requires the creation and implementation of specialized process technologies customized for specific feedstock or process stage needs, including impurity removal, catalyst utilization, additive integration, pretreatment processes, and more, within the domestic manufacturing and processing sectors.
		Support for Relevant Small and Medium Enterprises	Previously, most domestic bio-diesel (BD) production companies were small and medium-sized enterprises. However, the revision of the Renewable Fuel Standard (RFS) and the participation of large corporations in the BD market have led to significant investments, production scale-up, and self-sufficiency by these corporate players. This has raised concerns about the diminished competitiveness and potential exit of existing small and medium-sized BD producers. To address this issue, it is crucial for the government to provide financial and non-financial support specifically tailored to support small and medium-sized enterprises engaged in BD production. These measures can help foster a balanced domestic bio-diesel ecosystem.

Table 3. Explanation for each factor (Continued)

Enhancement Factors for Expanding Domestic Production and Distribution of Bio-Diesel for Transportation		Explanation
Sub Criteria	Production /Process Management Enhancement	Intensive R&D for Winter Season Preparedness Bio-diesel (BD) encounters challenges, including cold-weather solidification and potential strain on vehicles when blended extensively with regular diesel. These concerns are linked to the government's possible revision of the Renewable Fuel Standard (RFS) and consumer worries. To tackle these issues, concentrated efforts on managing BD processes during winter and advancing technology through research and development (R&D) are crucial for finding solutions.
	Infrastructure Establishment and Market Activation	Legal and Regulatory Improvement and Incentive Provision With anticipated enhancements in bio-diesel (BD)-related regulations, including the simplification of registration criteria for domestic BD manufacturers, the domestic BD market is expected to thrive. Furthermore, both existing and new BD production firms could gain advantages from incentives such as rebates and research project grants, while consumers may enjoy incentives like tax exemptions for bio-diesel consumption. It is essential for governmental bodies or financial institutions to implement incentive schemes aimed at expanding the bio-diesel distribution and consumption market.
		Establishment and Operation of Governance Systems As exemplified by the establishment of the 'Green Biofuel Activation Alliance' by the Ministry of Industry, Trade, and Energy in November (2022c), the bio-diesel sector should strive for organic growth and self-sufficiency. To promote enhancements in bio-diesel (BD) production and distribution, it is crucial to foster collaborative relationships among pertinent ministries, ensure a reliable supply chain, and institute an effective governance system that facilitates seamless government-industry communication for successful coordination.
		Enhancement of Public Awareness At present, public awareness regarding bio-diesel (BD) and the Renewable Fuel Standard (RFS) system is relatively limited. It is essential to undertake initiatives such as region-specific public idea competitions related to domestic BD production and distribution, the establishment of a BD education network, and the implementation of biofuel promotion campaigns. These measures can collectively enhance public awareness of the system designed to attain bio-diesel RFS goals.

Table 4. Respondent demographic statistics

		Number of cases	%
Affiliation	University	17	44.7
	Research Institute	15	39.5
	Industry	6	15.8
Work experience in the relevant field	less than 10 years	11	28.9
	more than 10 years	27	71.1
Highest education level	Bachelor's Degree	5	13.2
	Master's Degree	1	2.6
	Doctoral Degree (Completion/Graduation)	32	84.2

3. 결과 및 고찰

전체 응답자 중 일관성이 있게 응답한 31명(CR 0.2 이내)을 대상으로 국내 수송용 바이오디젤 생산 및 보급 확대 방안의 요인별 가중치를 살펴보았다. 대항목에서는 ‘원료 확보 및 개발’, ‘기반조성 및 시장활성화’, ‘생산/공정관리 및 개선’ 순으로 높은 가중치를 보였으며, 그 중 ‘원료 확보 및 개발’이 49.2%로 전체 응답의 약 절반 정도의 중요도를 나타냈다. 소항목(GRI)에서는 ‘차세대(수첨)원료 상용화’, ‘폐기물수거 범위확장’, ‘법·규제개선 및 인센티브 부여’ 등의 순으로 가중치가 높게 나타났으며, ‘차세대(수첨)원료 상용화’가 22.8%를 차지하면서 가장 높은 중요도를 나타냈다. 분석 결과는 다음 Fig. 3 및 Table 5에 제시하였다.

분석 결과, 대항목에서 ‘원료 확보 및 개발’(49.2%)의 상

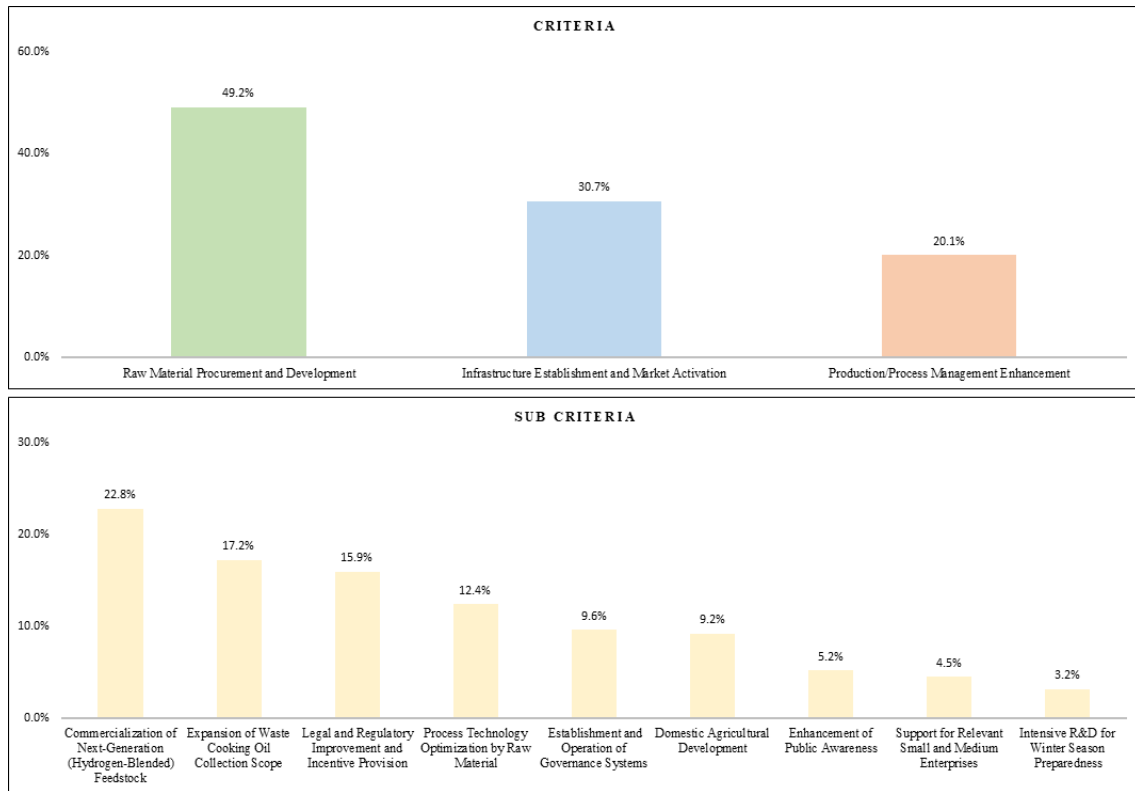


Fig. 3. Analysis of the importance of enhancement factors for domestic transportation bio-diesel production and distribution (Criteria, Sub Criteria)

Table 5. Relative importance of enhancement factors for expanding bio-diesel production and distribution for domestic transportation: Comprehensive analysis results (%)

Enhancement Factors for Expanding Domestic Production and Distribution of Bio-Diesel for Transportation				
Criteria		Sub Criteria	LRI	GRI
Raw Material Procurement and Development	49.2%	Expansion of Waste Cooking Oil Collection Scope	34.9%	17.2%
		Commercialization of Next-Generation (Hydrogen-Blended) Feedstock	46.4%	22.8%
		Domestic Agricultural Development	18.6%	9.2%
Production/Process Management Enhancement	20.1%	Process Technology Optimization by Raw Material	61.4%	12.4%
		Support for Relevant Small and Medium Enterprises	22.5%	4.5%
		Intensive R&D for Winter Season Preparedness	16.1%	3.2%
Infrastructure Establishment and Market Activation	30.7%	Legal and Regulatory Improvement and Incentive Provision	51.9%	15.9%
		Establishment and Operation of Governance Systems	31.2%	9.6%
		Enhancement of Public Awareness	16.9%	5.2%

※LRI (Local Relative Importance) : Relative importance among factors within each layer

※GRI (Global Relative Importance) : Overall relative among the lowest-level factors

대적 중요도가 가장 높게 나타났으며, 이는 바이오디젤을 생산 및 공급하는 과정에서 원료확보에 대한 원천적 해결이 중요함을 의미한다. 이미 국내에서는 원료에 대한 다양한 연구가 진행되고 있다. 해외 수입의존도를 줄이고 원료를 확보하기 위해선 무엇보다 어떤 원료를 어떻게 확보할지와, 확보 및 개발에 이어 생산에 적용하는 과정이 중요하다. 특히 소항목의 ‘차세대(수첨)원료 상용화’가 전체 소항목의 가장 중요한 요인으로 나오므로써 ‘원료확보 및 개발’(대항목)에 대한 향후 추진 방향을 가늠할 수 있다.

‘기반조성 및 시장활성화’(30.7%)는 대항목 세 요인 중 두 번째 중요도를 가졌다. 바이오디젤 생산과 보급을 위한 환경조성은 가장 기본적인 요소 중 하나이며, 정부에서도 RFS 의무혼합율을 높이면서 더 세부적인 계획과 이행을 두고 있다. 바이오디젤의 원활한 공급을 위해서는 정부의 역할이 큰 만큼 기존의 정책적, 법적 측면들에서 보완 가능한 부분들을 개선하는 것이 필요하다. 반면 ‘생산/공정 관리 및 개선’(20.1%)은 대항목 중 여타 두 요인보다 상대적 중요도가 낮았다.

차세대(수첨) 바이오디젤은 동·식물성 유지에 수소를 첨가해 생산하여 기존 바이오디젤에 추가해 혼합이 가능(Jo, 2022)한 것을 의미한다. 국내 R&D 분야에서는 바이오디젤 생산을 위해 원료(바이오매스)에 관해 다양한 연구가 진행되고 있으며, 국가의 RFS 상용화 계획에 따라 차세대(수첨)원료는 그 가치가 점점 높아지고 있다. ‘차세대(수첨)원료 상용화’를 위해서 정부는 차세대(수첨)원료를 이용하는 수요처를 확장하여 상용화를 이루는 것에 집중하는 것이 필요하다. 현재 정부는 수소공급에 대한 확대계획과 이행에 있으나, 안정된 공급망을 사용하기에는 시간이 더 필요할 것으로 보인다. 이에 수소공급에 대한 구체적인 방안들을 모색하고, 활성화 및 안정화하는 것은 가장 중요한 과제이다.

소항목에서 뒤이어 높게 나온 ‘폐기물 수거 범위 확장(17.2%)’과 ‘법·규제개선 및 인센티브 부여(15.9%)’는 ‘차세대(수첨)원료 상용화(22.8%)’와 차이가 크지 않은 것으로 보아 세 요인은 목표 달성에 있어 같이 고려해야 하는 점으로 여겨진다. Dinh et al. (2009)에서는 바이오디젤의 생산 지속가능성에 대한 원료별 환경지표를 통해 팜유 사용은 미래 환경 편익에 좋지 않음을 언급한 바 있다. 이에 바이오디젤의 생산 및 보급을 위해서는 수첨디젤에 대한 추진과 함께 분석 결과에서 두 번째로 중요하게 나온 ‘폐기물 수거 범위확장’을 같이 고려할 수 있다. 이는 국내 수송용 바이오디젤 생산 및 보급이라는 목표달성에 있어

두 요인을 같이 고려함으로써 협동적 개선으로 나아갈 수 있다.

Cha (2007)에서는 국내 원료생산에 있어 농업개발은 국토의 면적 한계와 원가 경쟁력을 갖출 수 있는지에 대한 해결방안과 아이디어들이 더 필요하다고 언급한 바 있다. 따라서 현행하고 있는 폐기물 수거에 대한 범위확장은 원료 수입의존도를 낮추는 방법이자 국가 정책으로도 바람직할 것으로 사료된다.

‘폐기물 수거 범위 확장’에 관한 사례로 Park et al. (2016)에서는 습식 커피 찌꺼기로 직접 바이오디젤을 생산하는 것에 관해 연구하여 바이오디젤 생산의 효과적인 공정설계에 대해 언급하였으며, 국내 BGF리테일은 폐유 스마트 수거 시스템을 도입하는 계획을 발표(Jung, 2022)하여 폐식용유의 회수율 확대와 재활용률을 높이는 방안을 제시하였다. 사례들은 국내 자체 원료확보에 기여할 수 있는 해결책이자 국민이 동참할 수 있는 리사이클 생활의 본보기가 될 수 있다. 이처럼 정부는 국내 원료확보 여건과 향후의 원료 사용을 위해 수입하는 팜유 및 부산물의 의존도를 낮추고, 원료개발 및 확보에 지속적인 연구 및 관련 지원이 이루어져야 한다.

이러한 측면에서 소항목의 세 번째로 중요하게 나온 ‘법·규제개선 및 인센티브 부여(15.9%)’는 위 우선 요인들을 실행하는데 필요한 필수요인으로 작용한다. 산업통상자원부가 공표한 ‘바이오연료 활성화 추진 협의회’와 ‘바이오 연료센터’가 운영되고 같이 정부와 전담기관은 바이오디젤과 관련된 법률 및 규제개선과 인센티브 제도를 명확화하고 표준화하는 것이 중요하다. 법·규제 개선의 세부 사항으로는 원료생산과 관련된 허가 절차의 간소화 및 효율화, 생산 시 필요한 규제 요건의 표준화, 원료의 수송·저장 및 유통에 대한 규제의 개선 등이 있다. 바이오디젤과 관련된 진입장벽을 표준화함으로써 바이오디젤 생산과 보급의 기반을 조성하고, 원료생산 업체에 대한 지원금, 보조금, 세제 감면 등의 재정지원과 원료 사용업체에 대한 우대 조건 설정 및 혜택을 제공하는 등 인센티브 부여를 통해 시장을 활성화해야 한다. 이에 바이오디젤 원료 관련 연구 프로젝트에 대해 정부는 자금 지원 및 연구 지원 기구의 참여 유도가 필요할 것으로 보이며, 전문적인 연구 인프라 구축과 인력 양성은 정부와 연구기관 간의 협력과 자금 지원을 강화할 수 있다. 결국 상기 세 요인(소항목)은 향후 국내 수송용 바이오디젤 생산 및 보급 확대를 위한 주요 방안으로 다루어질 필요가 있다.

4. 결론

본 연구는 국내 에너지 분야 전문가들을 대상으로 ‘국내 수송용 바이오디젤 생산 및 보급 확대를 위한 방안의 상대적 중요도’를 AHP 기법을 이용해 분석하였다. 분석 결과, 대항목에서는 원료확보 및 개발(49.2%)이, 소항목에서는 차세대(수첨)원료 상용화(22.8%)가 가장 높은 가중치를 보였으며, 이는 향후 바이오연료 보급 확대에 있어 위 두 전략이 우선적으로 고려될 필요가 있음을 의미한다.

전체 부분에서의 각 대항목과 소항목의 차순위 요인들은 대항목에서 기반조성 및 활성화(30.7%), 생산/공정관리 개선(20.1%) 순으로 나왔으며, 소항목에서는 폐기물 수거범위 확장(17.2%), 법·규제개선 및 인센티브 부여(15.9%) 순으로 각 항목에서 꽤 높은 비중을 차지하는 것으로 나타났다. 이는 차순위 요인들을 제쳐두는 것이 아닌 같이 고려되어야 하는 요인으로 보고 개선에 힘써야 할 것이다. 이에 반해 겨울철 대비 집중 R&D(3.2%), 관련 중소기업 지원(4.5%), 국민 의식제고(5.2%) 등은 상대적으로 가중치가 낮게 나타남으로써 덜 중요한 요인들로 고려되고 있었다. 즉 우선 요인인 원료확보 및 개발이 선행된 이후 차순위 요인들이 순차적으로 개선될 수 있을 것이다.

추가적으로 분석한 응답자 분야별 내(학계, 연구소, 산업계) 결과에서도 분야별 가장 중요하게 여기는 요인들은 같았다. 모두 대항목의 ‘원료확보 및 개발’과 소항목의 ‘차세대(수첨)원료 상용화’가 중요하다는 선택 결과를 보였다. 이를 통해서는 분야별 의견들이 목표 달성에 있어 모두 같은 방향을 추구하고 있음을 알 수 있었으며, 전체 소항목 중 중요도가 높게 나온 세 가지 요인에 대한 관련된 정책적, 전략적 함의를 연구 결과와 고찰 부분에서 논하였다.

본 연구는 응답자 분야 중 현장에 있는 산업계의 응답수가 다른 두 군(학계, 연구소)에 비해 다소 적은 수였다는 점에서 한계가 있었다. 그러나 전체 응답자들의 경력 및 학문에 기여한 것을 보았을 때, 연구주제와 관련하여 오랜 시간 쌓아온 것으로 사료되었고, 이러한 부분에서 한계점이 보완 가능한 것으로 보았다. 향후 연구에서는 분야별 응답자 수를 비슷하게 맞추어 고른 분포의 결과를 얻을 수 있도록 고려할 필요가 있다.

사사

이 논문은 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2022R1F1A1 064096).

References

- Anwar M. 2021. Biodiesel feedstocks selection strategies based on economic, technical, and sustainable aspects. *Fuel* 283: 119204. doi: 10.1016/j.fuel.2020.119204
- Bayraktar M, Pamik M, Sokukcu M, Yuksel O. 2023. A SWOT-AHP analysis on biodiesel as an alternative future marine fuel. *Clean Techn Environ Policy* 25(7): 2233-2248. doi: 10.1007/s10098-023-02501-7
- Cha WO. 2007. Special plan (1): Trends in the biodiesel industry. *News Inf Chem Eng* 25(6): 609-613.
- Cho WB. 2009. Enhancement of the localization ratio of process pumps for refinery and chemical plant markets [master's thesis]. Hanyang University (in Korean with English abstract).
- Dinh LT, Guo Y, Mannan MS. 2009. Sustainability evaluation of biodiesel production using multicriteria decision-making. *Environ Prog Sustain Energy* 28(1): 38-46. doi: 10.1002/ep.10335
- Jo DI. 2022 Oct 13. Next-generation biodiesel mix rises to 8.0%. *Todayenergy*.
- Joint Ministries Concerned. 2021a. Carbon neutrality scenario 2050. Korea: Author. Policy Report 2021-10.
- Joint Ministries Concerned. 2021b. Upward revision of 2030 national greenhouse gas reduction target (NDC). Korea: Author. Policy Report 2021-10.
- Jung MJ. 2022 Nov 27. CU introduces waste oil smart collection system for the first time in franchise. *EBN Industrial Economy*.
- Khan HM, Iqbal T, Yasin S, Irfan M, Kazmi M, Fayaz H, Mujtaba MA, Ali CH, Kalam MA, Soudagar MEM, Ullah N. 2021. Production and utilization aspects of waste cooking oil based biodiesel in Pakistan. *Alex Eng J* 60(6): 5831-5849. doi:

- 10.1016/j.aej.2021.04.043
- Kim CG. 2009. Problems of expanding biodiesel penetration. *Korea Pet Assoc J* 272: 40-43.
- Kim JO. 2021 Feb 25. Oil refiners encroach on biodiesel market, problems and alternatives. *E2news*.
- KITA(Korea International Trade Association). 2023. Biodiesel; [accessed 2023 Jun]. <https://stat.kita.net/>
- Korea Bio-energy Association. 2022. What's Bio-diesel; [accessed 2022 Nov]. <http://www.kbea.or.kr/front/site/business/bio-diesel.php>
- Korea Biofuels Forum. 2022. What's Bio-diesel; [accessed 2022 Nov]. <https://k-biofuels.or.kr/front/kor/bio/bio-diesel>
- KOSIS(Korean Statistical Information Service). 2023. Biodiesel import and export; [accessed 2023 Jun]. <https://kosis.kr/index/index.do>
- Ministry of Environment. 2021. Estimated national greenhouse gas emissions for the year 2021: 670 million, 900 thousand tons. Sejong, Korea: Author. 2022-06.
- Ministry of Environment. 2022. The greenhouse gas emissions in 2020 were 656.22 million tons, marking a consecutive two-year decrease. Sejong, Korea: Author. South Korea Policy Briefing.
- Ministry of Trade, Industry and Energy. 2022a. Expansion measures for eco-friendly biofuels. Sejong, Korea: Author. 2022-10.
- Ministry of Trade, Industry and Energy. 2022b. Discussion on ways to strengthen public-private cooperation to stabilize supply chains such as food security. Sejong, Korea: Author. 2022-05.
- Ministry of Trade, Industry and Energy. 2022c. Launch of the eco-friendly biofuel activation alliance. Sejong, Korea: Author. 2022-11.
- Mohseni S, Pishvae MS, Sahebi H. 2016. Robust design and planning of microalgae biomass-to-biodiesel supply chain: A case study in Iran. *Energy* 111: 736-755. doi: 10.1016/j.energy.2016.06.025
- Park HG. 2022. Field-based study on carbon neutrality of electricity sector using analytic hierarchy process and in-depth interviews [Doctoral dissertation]. Sejong university.
- Park JH, Kang YJ. 2022. Biofuel. Eumseong, Korea: KISTEP(Korea Institute of S&T Evaluation and Planning). KISTEP Brief 09.
- Park JS, Kim B, Lee JW. 2016. In-situ transesterification of wet spent coffee grounds for sustainable biodiesel production. *Bioresour Technol* 221: 55-60. doi: 10.1016/j.biortech.2016.09.001
- Park YS. 2019. Current status and improvement tasks of the renewable fuel standard (RFS). Seoul, Korea: National Assembly Research Service. NARS Analysis of Issues Vol. 59.
- REN21. 2019. Renewables 2019 global status report; [accessed 2023 Mar 15]. <https://ren21.net/gsr-2019/>
- Ruhani B, Movahedi P, Saadi S, Ghasemi A, Kheradmand A, Dibaj M, Akrami M. 2022. Comprehensive techno-economic analysis of a multi-feedstock biorefinery plant in oil-rich country: A case study of Iran. *Sustainability* 14(2): 1017. doi: 10.3390/su14021017
- Saaty TL. 1980. The analytic hierarchy process. New York: McGraw-Hill.
- Seo HJ, Jung SC, Jeon EC. 2021. Economic effects of a biodiesel sector analyzed using input-output analysis. *J Clim Change Res* 12(3): 203-213. doi: 10.15531/ksccr.2021.12.3.203
- Ye CY, Kim DJ. 2022. Achieving carbon neutrality in the transportation sector by 2050: Key issues and response strategies. *Mon Transp* 288: 6-16.