

보안 과제(), 일반 과제(○) / 공개(○), 비공개()

2017년 국토교통연구기획사업 기획연구 보고서

R&D / 17RDPP-C138986-01

바이오항공유 산업지원 및 활용 기획연구 최종보고서

2019. 4.

주관연구기관 / (재)한국기후변화연구원

국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥원

제 출 문

국토교통과학기술진흥원장 귀하

이 보고서를 “바이오항공유 산업지원 및 활용 기획연구” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2019년 4월 18일

주관연구기관명: 재단법인 한국기후변화연구원

주관연구책임자: 유 종 익

연 구 원: 정 유 경

“ : 이 현 수

“ : 김 혜 준

“ : 이 대 한

“ : 김 소 희

“ : 정 은 영

“ : 신 광 문

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제29조에 따라 최종보고서 열람에
동의합니다.

보고서 요약서

과제고유번호	17RDPP-C13898 6-01	해 당 단 계 연 구 기 간	2017.12.29 ~2018.12.28	단 계 구 분	(1단계)/ (총1단계)
연구사업명	중 사업명	-			
	세부 사업명	국토교통연구기획사업			
연구과제명	대 과 제 명	-			
	세부 과제명	바이오항공유 산업지원 및 활용 기획연구			
연구책임자	유종익	해당단계 참 여 연구원 수	총: 8명 내부: 8명 외부: 0명	해당단계 연 구 비	정부:14,400천원 민간: 0천원 계:14,400천원
		총 연구기간 참 여 연구원 수	총: 8명 내부: 8명 외부: 0명	총 연구비	정부:14,400천원 민간: 0천원 계:14,400천원
연구기관명 및 소 속 부 서 명	(재)한국기후변화연구원 녹색사업부			참여기업명: -	
국제공동연구	상대국명: -			상대국 연구기관명: -	
위 탁 연 구	연구기관명: -			연구책임자: -	
요약				보고서 면수 : 245쪽	
☐ 본 기획연구는 지속가능 항공대체연료 국내 공급체계 구축을 위한 세부 기술요소를 도출하는 연구로서 바이오항공유 공급체계에 대한 국내·외 정책/시장/기술 동향 분석 등을 기반으로 하여 기술개발 전략과 중점 추진과제를 도출하고 실행 로드맵을 수립하여 과제 수행계획을 작성하는데 목표를 두고 있음 ☐ 해외의 경우 현재 바이오항공유 이용 시험비행단계를 넘어서 상용화단계로서 bioport를 구축 운영하고 있으며, 공급망 구축 기술이 높은 수준임 ☐ 바이오항공유 공급망 구축 단계를 연료생산 및 인증과 연료공급체계 구분하여 분석한 결과 국내는 연료생산 단계에서도 연료확보를 위한 원천기술만 확보되어있는 단계로 연료 공급을 위한 상용화 기술확보 및 인증, 공급을 위한 인프라 구축(법,제도 포함) 등이 필요함 ☐ 본 연구에서는 바이오항공유 벨류체인별(생산, 혼합, 인증, 공급, 수송, 법, 제도 등)로 핵심기술을 파악하고 국내 바이오항공유 이용기반 구축을 위한 기술요소를 파악하고 사제안요구서를 제시함					
색 인 어	한 글	지속가능 항공대체연료, 바이오항공유, 온실가스 감축, 하이드런트 시스템, 시험비행			
	영 어	Sustainable Aviation Fule, Biojet fuel, GHG reduction, Hydrant system, Test flight			

요 약 문

I. 제 목

- 바이오항공유 산업지원 및 활용 기획연구

II. 기술의 정의 및 필요성

- 바이오항공유의 공급망(supply-chain)은 원료 확보, 바이오항공유 생산, 일반항공유와의 혼합, 수송, 급유 및 활용의 단계로 나누어지며 ① 연료생산 및 인증 단계, ② 연료 공급단계로 구분됨
- 연료생산 기술은 바이오항공유 생산이 가능한 다양한 원료를 기반으로 ASTM D7566에서 승인하고 있는 5개 공정을 활용하여 생산하는 기술로서 현재 국내에서는 HEFA 공정 등을 기반으로 한 원천 기술을 확보하고 있음
- 인증 기술은 생산된 바이오항공유를 ASTM D7566(바이오항공유 인증)과 D1655(혼합 이후 인증) 인증 여부를 확인하는 기술로 현재 국내에는 인증체계가 미구축되어 있음
- 수송기술은 차량 및 송유관, 유조화차 및 유조선을 통해 공항 저장시설까지 수송하는 기술이며, 급유기술은 급유차 및 하이드런트를 이용하여 기체에 급유하는 기술로 수송기술과 급유기술 모두 국내 기술수준이 높은 수준임



<바이오항공유 공급망 value chain별 기술>

- 바이오항공유 생산 설비를 포함한 이용을 위한 인프라 구축은 바이오항공유 시장이 전무한 국내에서는 신규 시장 구축과 더불어 수요자 확보의 어려움 등 민간에서 단독으로 개발하기에는 초기 시장진입 장벽이 높고 부담이 큰 만큼 정부차원의 지원이 필요함
- 현재 국내는 바이오항공유 생산을 위한 원천기술개발 연구 초기단계로서 기술개발이 완료된 이후 국내 생산 바이오항공유가 보급된 이후 바이오항공유 상용화 단계에서 국내 공급체계를 확보하기 위한 인프라 구축에 관한 연구는 전무한 실정으로 향후 국내 바이오항공유 공급체계 구축을 위한 심도 깊은 연구가 필요함
- 따라서 기획연구를 통하여 바이오항공유 공급 체계구축을 위한 기술요소를 파악하고 이를 실증함으로써 항공부문 온실가스 감축 대응을 위한 국내 바이오항공유 공급체계를 마련할 필요가 있음

III. 국내외 동향 및 환경분석

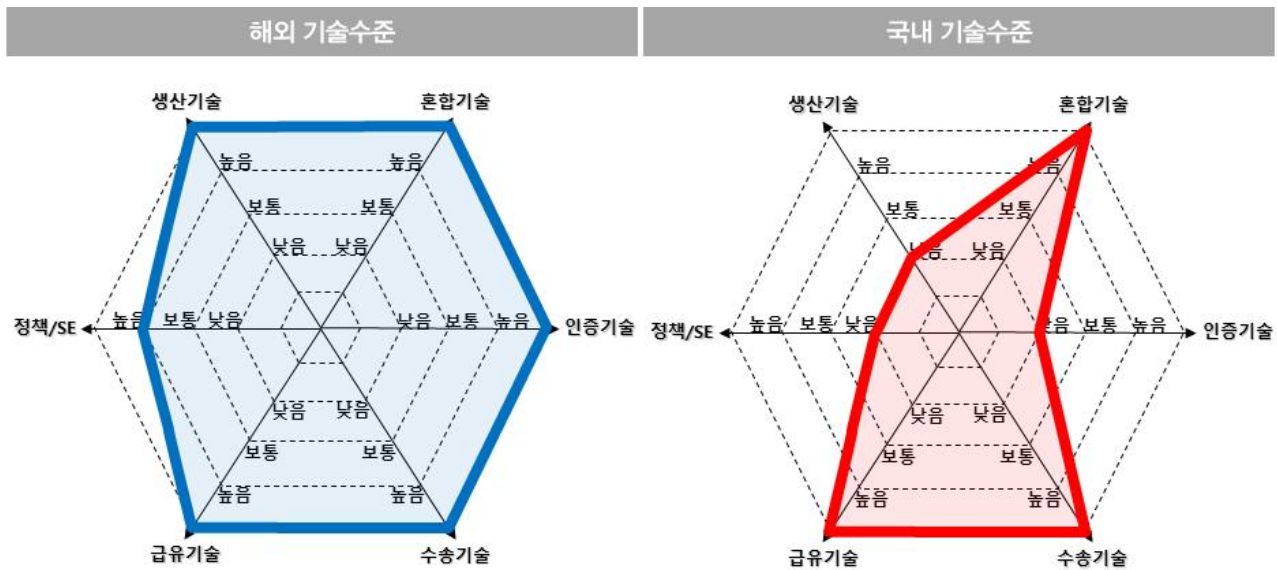
- 해외 주요국에 비해 국내에는 아직 바이오항공유 사용에 대한 뚜렷한 인센티브 제도나 정책적 기반이 부족하고, 정부 및 민간 주도의 이니셔티브를 통한 자발적 바이오항공유 활성화 사업 및 정부 지원 사업 실적이 없음
- 반면, 해외에서는 이미 바이오항공유가 상용화되어 미국 및 유럽을 중심으로 시장형성이 진행되고 있는 상황이며 항공사 및 바이오포트 구축 공항을 중심으로 바이오항공유 장기 연료 공급계약(off-take)과 함께 바이오항공유의 수요가 계속해서 증가하며 시장이 확대되고 있음
- 우리나라의 경우 현재 전 세계 항공유 소비량의 약 2%를 소비하고 있고, 국제 항공부문 추세를 따라 향후 바이오항공유 도입이 실시될 경우 바이오항공유의 수요가 급격히 증가할 가능성이 있음에도 불구하고 상용화를 위한 가동 가능 바이오항공유 생산 시설이 구축된 바 없으며 정부와 관련 업계의 저조한 관심으로 바이오항공유 시범비행 및 국내 급유 기록도 해외에 매우 뒤쳐져 있는 상황임
- 기술동향 조사 결과, drop-in-fuel을 활용할 경우 석유계 항공유와 기존 인프라의 공동 사용이 가능하기 때문에 생산단계 이후 바이오항공유 사용을 위한 원천 기술급 기술개발의 필요성은 없으나, 국내 확보된 바이오항공유 생산 기술의 TRL 향상(실증 스케일 이상) 및 Supply-Chain 차원에서의 국내 추가 연구가 필요한 상황임

- 특히 국내 활용 시나리오에 맞는 생산기술의 기술경제성, 전주기적 지속가능성 평가, 최적 공급망(생산 시설의 위치 및 필요 용량, 수송옵션, 급유 공항 등) 디자인에 대한 검토와 평가가 필요하며, 공급망 구축을 위한 투자 및 재정 지원 방법에 대한 방안 마련도 시급함
- 이 같은 노력은 정부를 비롯하여 항공 및 생산 업계 다양한 이해관계자, 대학 및 연구기관의 협력 사업의 형태로 이루어져야 하며 해외 다수 이니셔티브의 사례들이 좋은 예시가 되고 있음

IV. 연구개발과제 구성 및 추진전략

1. 비전 및 목표

- 국제적으로 항공부문의 온실가스 감축을 위한 정책 및 규제가 시행됨에 따라 온실가스 감축 주요기술로서 바이오항공유의 중요성이 확대되고 있으며, 주요국가에서는 바이오항공유 생산 및 보급 기술 개발을 통해 주도적으로 높은 기술 수준을 확보하기 위한 노력을 실행하고 있음
- 현재 국제적으로 바이오항공유 생산 및 이용 기반 구축과 관련한 정책이 점차 확대되고 있는 반면 우리나라는 바이오항공유와 관련된 정책 기반이 부재하며, 국외의 경우 바이오항공유 상용화기술까지 확보하고 있는 반면, 국내는 일부 원천기술만 확보한 상태로 대용량 생산 기술 및 상용화 기술 확보가 필수적임
- 혼합, 인증, 수송, 급유 기술은 기존의 항공유 공급 기술과 동일하게 적용할 수 있기 때문에 바이오항공유 공급을 위한 별도의 기술개발 요소가 필요하지 않으며, 국내 항공유 공급 기술 수준은 해외 기술수준과 마찬가지로 높은 수준이므로 별도 기술개발 요소가 없으므로 목표 및 비전설정에서 고려하지 않음
- 따라서 비전 및 목표는 바이오항공유 국내 생산 및 공급체계 구축에 필수적인 대량 생산 기술 확보와 제도적 기반 마련, 환경기반 시스템 최적화, 환경건전성 평가 기술을 확보하는 것으로 설정하였으며, 각 분야별로 필요한 기술요소를 파악하여 바이오항공유 국내 기술수준을 국제동향에 맞춰 세계기술수준과 부합하도록 설정하고자 하였음



〈바이오항공유 기술부문별 해외 및 국내 기술수준 비교〉

비전	지속가능 항공대체연료 국내 공급체계 구축을 통한 항공부문 온실가스 대응 新기술력 확보
----	--

목표	국내 바이오항공유 활용을 위한 생산 상용화 기술 및 정책, 환경기반 시스템 최적화 기술 확보
----	--

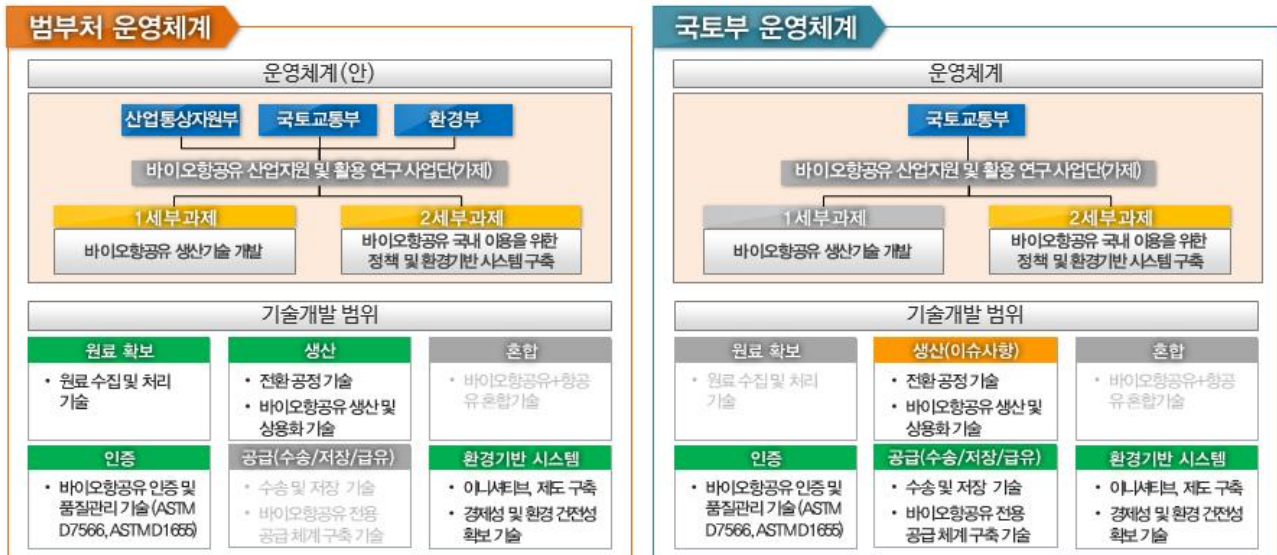
전략 방향		
생산 기술	전략 I	- 바이오항공유 생산 원천기술을 활용한 상용화 기술 개발을 통한 산업 확대
	전략 II	- 생산기술 고도화를 통한 바이오항공유 산업 지원 전략
	전략 III	- 기 확보된 바이오항공유 생산 원천기술을 활용한 상용화 기술 개발
	전략 IV	- 바이오항공유 원료 및 생산·보급기술 개발로 가격경쟁력 확보
	전략 V	- 우수한 항공유 공급 인프라 기술을 활용한 바이오항공유 공급 국산화
	전략 VI	- 상용화기술 개발을 통한 바이오항공유 track record 확보
공급 인프라	전략 VII	- 높은 수준의 공급 인프라 및 공항 건설 운영기술을 바탕으로 Bioport 최적 설계 및 운영기술 개발
정책 및 환경 기반 시스템	전략 VIII	- 인센티브 및 제도 구축을 위한 연구 추진
	전략 IX	- 국내 바이오항공유 기술경제성 및 환경경제성 평가 기술 확보
	전략 X	- 한국형 지속가능 항공대체연료 민간학연 정부주도 이니셔티브 구축
세부목표		
바이오항공유 상용화 기술 개발	Bioport 최적 설계 및 운영 기술 개발	바이오항공유 경제성 및 환경성 평가·정책 기술개발

2. 연구개발과제 구성 및 추진전략

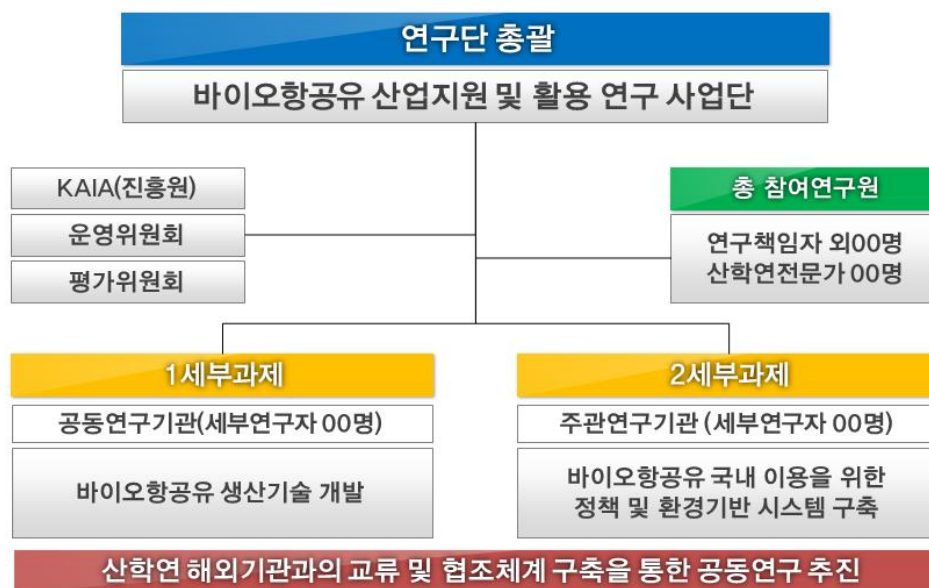
- 바이오항공유 생산기술 및 정책, 환경기반 시스템 최적화 기술 확보를 위하여 연구개발과제는 바이오항공유 생산기술 개발, 바이오항공유 국내 이용을 위한 정책 및 환경기반 시스템 구축으로 구성함

세부과제명	세부기술명	연구내용
1. 바이오항공유 생산기술 개발	1-1. OTJ (Oil-to-Jet) 생산기술	1-1-1. OTJ(Oil-to-Jet) 생산기술 개발
2. 바이오항공유 국내 이용을 위한 정책 및 환경기반 시스템 구축	2-1. 제도 구축 및 품질 표준화	2-1-1. 바이오항공유 국내 이용기반 정책 및 제도 개발
		2-1-2. 바이오항공유 분석기술과 품질관리 시스템 개발
	2-2. 환경기반 시스템 최적화	2-2-1. 원료생산 기술별 경제성 평가 기술 개발
		2-2-2. 바이오항공유 공급시스템 최적화 연구
		2-2-3. 지속가능 항공대체연료 이니셔티브 구축
	2-3. 환경건전성 (지속가능성) 평가	2-3-1. 원료 공정별 LCA 배출계수 개발
		2-3-2. 바이오항공유 지속가능성 평가기준 개발

- 바이오항공유 시험비행을 통하여 연료 확보(바이오항공유) 단계에서 시험비행까지의 일련의 절차를 테스트 해봄으로써 지속가능한 항공대체연료 구축을 위한 세부 기술/인프라/운영의 필수요소를 파악하고 실용화 가능성을 확대할 수 있음
- 연구개발 운영체계는 범부처 운영체계 및 국토부 단일 운영체계를 고려할 필요가 있음
- 범부처 운영체계는 바이오항공유 생산에서 이용까지 담당부처 연계를 통한 일원화된 연구개발 체계로서 기술개발이 필요한 바이오항공유 생산 및 상용화 기술, 인증 및 품질관리기술, 이니셔티브 및 제도 구축, 경제성 및 환경건전성 확보기술이 기술개발 범위에 포함됨
- 따라서 국내 바이오항공유 산업지원을 위한 본과제 운영체계는 바이오항공유 생산부터 환경기반시스템 분야를 모두 포함하여 기술개발이 이루어질수 있도록 일원화된 연구개발 체계인 범부처 운영체계가 적합할 것으로 판단됨



- 바이오항공공유 산업지원 및 활용 본과제를 체계적이고 과학적으로 관리하기 위한 핵심요소기술을 개발하고 이를 유기적으로 연계하여 국내 바이오항공공유 이용기반 구축 방안을 마련하는 과제로서 연구의 목적과 최종결과물의 성격상 일체형 기술을 총괄주관기관 주도하에 연구진행이 가능한 통합형 과제고 구성하는 것이 적합하며, 장기적이고 집중적인 투자가 필요한 연구기술 개발로서 “연구단 수준”의 추진체계를 구성하여 추진하는 것이 적합할 것으로 판단됨



<그림 9-3> 연구단 연구추진체계

목 차

제1장 연구의 배경 및 필요성	3
제1절 연구배경 및 목적	3
제2절 기술의 정의 및 분류체계	11
1. 기술의 정의	11
2. 기술분류체계	20
제2장 국내외 정책 및 시장 동향	29
제1절 국내외 정책동향 및 분석	29
1. 국외 정책동향	29
2. 국내 정책동향	35
제2절 국내외 시장현황 및 전망	37
1. 국외 시장현황 및 전망	37
2. 국내 시장현황 및 전망	44
제3장 국내외 기술동향 및 분석	53
제1절 국외 기술동향	53
1. 생산기술	53
2. 혼합기술	56
3. 인증기술	57
4. 수송기술	58
5. 급유기술	59
6. 정책 및 환경기반 시스템	62
제2절 국내 기술동향	67
1. 생산기술	67
2. 혼합기술	68

3. 인증기술	68
4. 수송기술	69
5. 급유기술	70
6. 정책 및 환경기반 시스템	71

제4장 특허 및 논문, 연구개발 인프라 분석 75

제1절 특허분석	75
1. 분석범위	76
2. 분석방법	81
3. 특허동향 분석 결과	83
4. 특허 경쟁력 분석 결과	92
5. 분석결과 종합 결론	98
제2절 논문분석	102
제3절 연구개발 및 인프라 분석	107
1. 연구사업 투자 현황	107
2. 연구인력 인프라	108
3. 기존 기술(연구) 인프라	110

제5장 국내외 동향 분석 시사점 115

제1절 정책동향 분석 시사점	115
제2절 시장동향 분석 시사점	116
제3절 기술동향 분석 시사점	118
제4절 특허 및 논문 분석 시사점	121

제6장 연구개발과제 구성 및 추진전략 125

제1절 비전 및 목표	125
1. 거시 환경분석(PEST)	125
2. 내외부 환경분석(SWOT)	127

3. 비전 및 목표 설정	129
제2절 핵심기술요소(CTE) 선정	132
1. 핵심기술 도출	132
2. 후보과제 선정	134
제3절 연구개발 과제 구성	136
1. 기술수요조사	136
2. 연구과제의 전체 구성	137
3. 세부과제 구성	138
제4절 세부과제별 주요내용 및 추진방법	141
1. 1세부과제: 바이오항공유 생산기술 개발	141
2. 2세부과제 : 바이오항공유 국내이용을 위한 제도 및 정책기반 마련	142
3. 추진방법	143
제5절 바이오항공유 시험비행	145
1. 시험비행 개요	145
제6절 세부과제 간 연계관계	151
제7절 기술로드맵 및 성과로드맵	152
1. 기술로드맵	152
2. 성과로드맵	153
제8절 산업생태계 분석	155
1. 바이오항공유 산업생태계 구조와 특성	155
2. 바이오항공유 산업생태계 발전단계 및 대응방안	161
제9절 연구과정상 위험요소 및 대응방안	165
제10절 성과활용 및 사업화전략	168
1. 연구 성과의 핵심가치	168
2. 사업화를 위한 시장 규모 및 성장성 분석	169
3. 바이오항공유 사업화 비즈니스 모델	171
4. 최종 성과물의 수요처별 활용방안	174
제7장 사전타당성 검토	177
제1절 논리모형	177
1. 논리모형 개발의 목적과 적용	177
2. 논리모형 개발 고려사항과 논리모형	177

제2절 정책적 타당성	180
1. 정책적 타당성 검토 기준	180
2. 상위계획과의 부합성	180
3. 국가 정책과의 부합성	182
4. 관련 정책과의 연관성	185
5. 정부 지원의 타당성	187
제3절 기술적 타당성	189
1. 기술적 타당성 검토 기준	189
2. 관련 이슈	189
3. 기술개발의 성공 가능성	191
4. 기존 연구와의 차별성	192
제4절 경제적 타당성	193
1. 경제적 타당성 검토 기준	193
2. 연구개발 투자의 효율성	193
3. 경제적 파급효과(비용효과분석)	194
4. 환경비용 평가	199
제8장 소요예산 산정	203
제1절 인력투입계획	203
1. 전체과제 인력투입계획	203
2. 세부과제별 상세 인력투입계획	203
제2절 소요예산 산정	205
1. 예산 산정방법	205
2. 소요예산 산정	205
제3절 예산적정성 검토	211
1. 예산계획 수립체계 및 과정의 적절성	211
2. 과제별 예산 작성 및 배분의 합리성	211
3. 인력투입 및 확보 계획의 적절성	211
제9장 과제공모 방안	215
제1절 운영체계 및 추진방안	215

1. 운영체제	215
2. 추진방식 및 추진단계	216
제2절 과제 제안요구서(안)	218
1. 총괄과제	218
2. 세부 과제	222
제3절 연구단계별 평가기준(안)	229
1. 1세부과제	229
2. 2세부과제	229
3. 공모방법 및 평가항목	229
4. 평가점수의 가점 및 감점 기준	231
5. 연구단계별 검토 필수사항	233
 부 록	 235

표 목 차

〈표 1- 1〉 지속가능한 항공대체연료 확대를 위한 ICAO의 주요 정책	4
〈표 1- 2〉 바이오항공유 전환공정에 따른 온실가스 감축효과	7
〈표 1- 3〉 바이오항공유 생산기술	12
〈표 1- 4〉 혼합 방식의 구분	13
〈표 1- 5〉 ASTM D4054 시험에 필요한 최소 연료량	14
〈표 1- 6〉 항공유 품질 규격	16
〈표 1- 7〉 수송수단별 특징	17
〈표 1- 8〉 바이오항공유 활용 급유기술	19
〈표 1- 9〉 기획위원회 구성	21
〈표 1-10〉 기술분류체계 구축을 위한 기획위원회 수행 현황	21
〈표 1-11〉 기술분류체계 도출	22
〈표 1-12〉 A 생산기술 중분류별 정의 및 개념	23
〈표 1-13〉 B 혼합기술 중분류별 정의 및 개념	23
〈표 1-14〉 C 인증기술 중분류별 정의 및 개념	24
〈표 1-15〉 D 수송기술 중분류별 정의 및 개념	24
〈표 1-16〉 E 급유기술 중분류별 정의 및 개념	24
〈표 1-17〉 F 정책 및 환경기반 시스템 중분류별 정의 및 개념	25
〈표 2- 1〉 항공대체연료에 대한 ICAO 비전(안)	29
〈표 2- 2〉 이산화탄소 감축을 위한 IATA 비전	30
〈표 2- 3〉 EU Renewable Energy Directive 1차 및 2차 수송부문 바이오연료 관련 주요 내용	31
〈표 2- 4〉 국내·외 바이오항공유 활용 인센티브 정책 비교	33
〈표 2- 5〉 국가별 지속가능 바이오항공유(SAF) 활용 목표	33
〈표 2- 6〉 바이오항공유 관련 정부 지원 사업 내용 비교	34
〈표 2- 7〉 국내 신재생에너지 연료 혼합의무	36
〈표 2- 8〉 국가별 바이오항공유 생산 가능 용량 현황	38
〈표 2- 9〉 공정 별 바이오항공유 생산 가능 시설 현황	38
〈표 2-10〉 Off-take 계약 현황 (2017년 12월 기준)	40
〈표 2-11〉 전 세계 바이오항공유 관련 이니셔티브 현황 및 특징	41
〈표 2-12〉 바이오항공유 최소연료판매단가(MFSP) 및 항공유 가격 비교	44

<표 2-13> 국내 바이오디젤 보급용량 및 생산량 현황	45
<표 2-14> 미국 <Fly Green Day> 바이오항공유 비행	46
<표 2-15> 분기별 연평균 성장률	47
<표 2-16> 시나리오 별 국내 연간 바이오항공유 수요전망	47
<표 2-17> 국내 바이오항공유 수요 및 바이오디젤 생산용량 분석 결과	48
<표 2-18> 국내 바이오항공유 시장 규모 전망	49
<표 3- 1> 바이오항공유 생산기술별 연구개발 및 상용화 현황	54
<표 3- 2> 바이오항공유 생산 R&D 관련 해외 이니셔티브 현황	55
<표 3- 3> Line blender의 시스템 및 구성 제품	56
<표 3- 4> ASTM D7566 부속서에 등록된 상용화 가능 바이오항공유	57
<표 3- 5> ASTM D7566 부속서 포함을 위해 등록 진행 중인 바이오항공유	58
<표 3- 6> 공급단계별 항공유 취급 관련 규격 및 기준	59
<표 3- 7> Oslo 공항 바이오항공유 종류 및 공급 방법	60
<표 3- 8> 해외 Bioport 운용 현황	62
<표 3- 9> 국내 · 외 바이오항공유 활용 인센티브 정책 비교	63
<표 3-10> 해외 바이오항공유/바이오연료 관련 지속가능성 기준	66
<표 3-11> ICAO의 SAF 지속가능성 기준	66
<표 3-12> 바이오항공유 생산 관련 국내 연구개발 현황	68
<표 3-13> 국내 송유관 구축 현황(출처: 산업통상자원부, 2016)	69
<표 3-14> 국내 급유 가능 공항의 항공유 수송 경로	70
<표 3-15> 국내 공항 급유시설 현황	71
<표 3-16> 김포공항 하이드린트 시스템(출처: 한국공항 홈페이지)	71
<표 3-17> 국내 법 내 바이오에너지의 정의	72
<표 4- 1> 지역별 바이오연료 관련 기술 특허(출처: WIPO)	75
<표 4- 2> 국내 바이오항공유 생산 관련 특허 등록 현황	76
<표 4- 3> 특허검색 DB 및 범위	77
<표 4- 4> 분석대상 기술 정의	77
<표 4- 5> 검색어 (국문, 영문)	78
<표 4- 6> 유효특허건수	81
<표 4- 7> 특허동향 및 특허경쟁력 분석방법	82
<표 4- 8> 특허평가 지표	92
<표 4- 9> 출원인 국적별 기술력(TS) 지수	93

<표 4-10> 출원인 국적별 특허활동 지수	93
<표 4-11> 출원인 국적별 기술원천성 지수	94
<표 4-12> 출원인 국적별 시장확장성 지수	95
<표 4-13> 출원인 국적별 특허 규모	96
<표 4-14> 출원인 국적별 특허 관심(중요)도	97
<표 4-15> ATJ 기술에 대한 종합 분석	98
<표 4-16> OTJ 기술에 대한 종합 분석	99
<표 4-17> GTJ 기술에 대한 종합 분석	100
<표 4-18> STJ 기술에 대한 종합 분석	101
<표 4-19> 논문발행 국가/지역 분류	103
<표 4-20> 국가별 발행 논문 키워드별 분류	104
<표 4-21> Supply-chain 분석 관련 주요 논문	104
<표 4-22> LCA 관련 주요 논문	105
<표 4-23> 기술경제성 평가 관련 주요 논문	105
<표 4-24> 정책 관련 주요 논문	106
<표 4-25> 시장 전망 관련 주요 논문	106
<표 4-26> 국토교통분야 관련 연구사업 투자 실적	107
<표 4-27> 국내 바이오산업별 연구인력 현황	108
<표 4-28> 국내 바이오에너지원별 인력 현황	108
<표 4-29> 기타 관련 산업별 연구원 현황	109
<표 4-30> 연도별 연구주체별 국토교통분야 연구개발인력 추이	110
<표 4-31> 국내 바이오항공유 관련 국가 연구개발 과제 현황	110
<표 4-32> 바이오항공유 관련 국내 논문 현황	111
<표 4-33> 바이오항공유 생산 및 공급, 제도 기반 구축 관련 국내 인력 인프라 현황	111
<표 5- 1> 국내외 바이오항공유 관련 정책 수준 비교	115
<표 5- 2> 국내외 바이오항공유 시장 종합 비교	117
<표 5- 3> 바이오항공유 보급 및 활용을 위한 국내 기술 수준	118
<표 6- 1> 바이오항공유에 대한 PEST 분석 결과	126
<표 6- 2> SWOT 분석 및 전략 방향	129
<표 6- 3> 비전 및 목표 설정	131
<표 6- 4> Factoring에 의한 중점분야 선정 결과	132
<표 6- 5> 중점 분야별 핵심기술 평가 결과	133

〈표 6- 6〉 중점 기술분야별 우선순위 도출 후보과제 목록	134
〈표 6- 7〉 우선순위 평가기준 설정	135
〈표 6- 8〉 후보과제 우선순위 평가 결과	135
〈표 6- 9〉 기술수요조사 개요 및 대상 선정	136
〈표 6-10〉 기술수요조사에 따른 기술 아이템	137
〈표 6-11〉 세부과제별 연구설계도: Level 1	138
〈표 6-12〉 세부과제별 연구설계도: Level 2	139
〈표 6-13〉 세부 과제별 연구활동 및 산출물	140
〈표 6-14〉 바이오항공유 시험비행 추진절차 및 주요내용	145
〈표 6-15〉 바이오항공유 시험비행 선정 연료공급사 개요	146
〈표 6-16〉 바이오항공유 시험비행 연료 주요정보	147
〈표 6-17〉 바이오항공유 시험비행 추진경위	149
〈표 6-18〉 바이오항공유 시험비행 수요조사 결과	150
〈표 6-19〉 과제별 주요 산출물 및 성과물 형태	154
〈표 6-20〉 바이오항공유 산업생태계 구성요소	155
〈표 6-21〉 국내외 바이오항공유 산업생태계 관련 업체 현황	157
〈표 6-22〉 바이오항공유 산업생태계 주요 영향인자	159
〈표 6-23〉 국제에너지기구(IEA)의 탄소가격 예측치	170
〈표 6-24〉 CORSIA이행을 위한 장래항공수요 예측기반 우리나라 상쇄 예상 비용(억원)	171
〈표 6-25〉 국내 바이오항공유 시장 규모 전망	171
〈표 6-26〉 최종 성과물 수요처별 활용방안	174
〈표 7- 1〉 바이오항공유 산업지원 및 활용사업의 논리모형	179
〈표 7- 2〉 깨끗하고 편리한 환경 조성 부문의 세부과제	181
〈표 7- 3〉 120개 중점과학기술 중 에너지·자원 분류 기술	181
〈표 7- 4〉 국가 온실가스 감축로드맵 수정(안)	183
〈표 7- 5〉 바이오항공유 생산 관련 국내 특허	191
〈표 7- 6〉 비용효과분석을 위한 연도별 적용 상쇄배출권가격	196
〈표 7- 7〉 비용효과분석을 위한 분류별 대안 내용	197
〈표 7- 8〉 온실가스 상쇄의무 이행을 위한 연도별 소요비용 (CASE 1 및 CASE 2)	198
〈표 7- 9〉 온실가스 상쇄의무 이행을 위한 연도별 소요비용 (CASE 3 및 CASE 4)	198
〈표 8- 1〉 연차별 총 투입 연구인력	203
〈표 8- 2〉 1세부과제 연차별 투입 연구인력	203

<표 8- 3> 2세부과제 연차별 투입 연구인력	204
<표 9- 1> 평가항목 및 배점	230
<표 9- 2> RFP에 대한 부합성, 중복성, 보안등급 분류 적정성 평가기준	231
<표 9- 3> 평가점수 산정방법	231
<표 9- 4> 연구개발과제 선정의 우대·감점 기준 및 방법 (제19조 제9항 관련)	232
<표 9- 5> 연구단계별 검토 필수사항	233

그 립 목 차

<그림 1- 1> IATA 비전 및 감축 추진전략(4-pillar strategy)	5
<그림 1- 2> 바이오항공유 주요 원료 및 전환공정	5
<그림 1- 3> 항공유의 온실가스 배출 전주기 분석	6
<그림 1- 4> 본 기획연구의 필요성	9
<그림 1- 5> 바이오항공유 공급망 value chain별 기술	11
<그림 1- 6> Line blenders	13
<그림 1- 7> 바이오항공유 항공유 ASTM D7566 등록을 위한 절차	15
<그림 1- 8> 공항 hydrant system 모식	18
<그림 1- 9> 항공기 급유차	18
<그림 1-10> 바이오항공유 및 일반항공유의 fuel farm 및 hydrant system 공동 사용	19
<그림 2- 1> ICAO의 Basket of Measures	30
<그림 2- 2> 국내외 항공부문의 온실가스 정책	35
<그림 2- 3> 지역별 항공유 소비 현황	42
<그림 2- 4> 전 세계 바이오항공유 수요 전망	42
<그림 2- 5> 미국 항공유 수요 및 가격 동향 및 전망	43
<그림 2- 6> 탄소 가격을 고려한 바이오항공유의 가격 경쟁력 전망	44
<그림 2- 7> 국내 항공유 수요 전망 (2015-2035)	46
<그림 2- 8> BD RFS 유사제도 도입 시 국내 바이오항공유 수요 전망	48
<그림 2- 9> ICAO 비전 적용 시 국내 바이오항공유 수요 전망	48
<그림 2-10> 바이오항공유 생산기술별 최저판매단가(MFSP) 비용 구조	49
<그림 3- 1> 공정 기술 별 바이오항공유의 현재 Fuel Readiness Level(FRL)	53
<그림 3- 2> Line blender 설치된 barge	56
<그림 3- 3> 정유소에서 기체까지 항공유 공급 및 보급 루트	59
<그림 3- 4> 바이오항공유 급유 옵션	62
<그림 3- 5> Southwestern Ontario 지역의 HEFA 바이오항공유 공급망(안)	63
<그림 3- 6> Seattle Tacoma의 바이오항공유 공급 옵션에 따른 인프라 비용 및 최대 확보 연 료량 추정	64
<그림 3- 7> 독일 정유시설 및 파이프라인 현황	65
<그림 3- 8> 국내 송유관 현황	70

<그림 4- 1> 특허 발행국별 연도별 동향	83
<그림 4- 2> 기술 분류별 연도별 동향	84
<그림 4- 3> 기술 분류별 특허 발행국별 동향	85
<그림 4- 4> 출원인 국적별 특허출원 동향	86
<그림 4- 5> 전체 기술 주요 출원인별 특허출원 동향	87
<그림 4- 6> 세부 기술별 주요 출원인 동향	88
<그림 4- 7> 주요 출원인의 특허활동지수	89
<그림 4- 8> 한국 국적 출원인 동향	90
<그림 4- 9> 한국의 IP 장벽도	91
<그림 4-10> 최근 10년(2008-2018)내 논문 발행 추이	102
<그림 4-11> 논문 키워드별 분류	103
<그림 4-12> 국내 항공부문 산업 인력 현황	109
<그림 6- 1> 바이오항공우 기술부문별 해외 및 국내 기술수준 비교	130
<그림 6- 2> 핵심요소기술 및 과제 선정 프로세스	132
<그림 6- 3> 중점분야 및 핵심 키워드	133
<그림 6- 4> 연구개발 과제의 구성 및 체계	138
<그림 6- 5> 바이오항공우 산업 지원 및 활용 과제 연구체계도	144
<그림 6- 6> 세부과제 간 연계관계	151
<그림 6- 7> 세부과제 기술 로드맵	152
<그림 6- 8> 세부과제 성과로드맵	153
<그림 6- 9> 바이오항공우 산업생태계 기본구조	156
<그림 6-10> 바이오항공우 생산가능 설비 현황	160
<그림 6-11> KLM 바이오항공우 공급 및 가격전망	161
<그림 6-12> 바이오항공우 산업생태계 발전단계 국내외 현황	162
<그림 6-13> 연구과정상 위험요소 및 대응방안	167
<그림 6-14> 연구개발 성과물의 활용목적 및 성과활용방안	168
<그림 6-15> 국적사의 국제항공 온실가스 배출량 예측	170
<그림 6-16> 바이오항공우 사업 비즈니스 모델 개요	173
<그림 6-17> 바이오항공우 사업화 비즈니스모델 구성요소	173
<그림 7- 1> 제4차 기본계획의 비전 및 목표	182
<그림 7- 2> 바이오연료 관련 핵심기술개발 전략	184
<그림 7- 3> 핵심기술개발 분야별 추진전략 - 바이오에너지	184

<그림 7- 4> 신재생에너지연료 혼합의무제도 홈페이지-한국에너지공단	185
<그림 7- 5> 발전용 바이오중유 관련 보도자료	186
<그림 7- 6> 신재생 에너지 기술혁신 지원을 위한 단계별 금융 (UNEP 2005)	188
<그림 7- 7> 항공부문 온실가스 배출 전망과 감축수단 비율 (ICAO, 2016)	190
<그림 7- 8> 온실가스 상쇄의무 이행을 위한 연도별, 대안별 소요비용	199
<그림 9- 1> 바이오항공유 기술분야에 따른 관련 부처 현황	215
<그림 9- 2> 과제공모를 위한 연구개발 운영체계(안)	216
<그림 9- 3> 연구단 연구추진체계	217

제1장 연구의 배경 및 필요성

제1장 연구의 배경 및 필요성

제1절 연구배경 및 목적

□ 국제항공부문 온실가스 감축 규제 강화

- 국제민간항공기구(ICAO, International Civil Aviation Organization)는 2010년 제37차 총회에서 국제항공분야의 온실가스 배출량을 2020년 수준으로 동결 (Carbon Neutral Growth 2020, CNG 2020)하고, 2050년까지 매년 연료효율 전년 대비 2% 개선이라는 환경목표를 수립함
- ICAO는 환경목표 달성을 위해 기술개발, 운영개선, 시장기반정책, 대체연료 활용 등의 환경정책을 발굴하였으며, ICAO의 환경목표 달성을 위해서는 절대적으로 시장기반정책과 바이오항공유가 도입되지 않으면 불가능 할 것으로 분석되고 있음¹⁾
- ICAO 제39차 총회(2016.10)에서는 항공부문의 시장기반정책으로서 국제항공 탄소감축 상쇄제도(CORSIA, Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation)를 2021년부터 시행하기로 합의함에 따라 주요 감축수단 중의 하나인 시장기반정책이 본격화될 예정이며 이로 인해 항공사는 증가세를 지속하고 있는 국제 항공 부문의 배출량을 감축하기 위한 노력이 더욱 절실히 요구됨

□ 항공부문 온실가스 감축목표에 따른 의무화

- 우리나라 항공사는 국제선뿐만 아니라 국내선에서도 2015년부터 온실가스 배출권거래제도에 의해 온실가스 배출량 감축이 요구되고 있으며, 국내 차원에서 국제선 온실가스 배출량 감축을 위한 자발적 감축협약을 운영 중(2010년~)에 있어 항공부문의 획기적인 온실가스 감축기술의 도입이 필요한 상황임
- 자발적 감축협약에 의해 운항관리, 비행운영, 성능개선, 중량관리 등의 온실가스 감축수단을 이행하고 있으나 해당 기술에 의한 추가적인 온실가스 감축의 기대는 어려운 상황이므로 바이오항공유 등의 새로운 감축수단의 발굴이 필요함
- ICAO는 국제항공 부문의 환경목표 달성을 위해 지속가능한 대체연료(SAF, Sustainable Aviation Fuel)의 활용, 시장기반의 활용 등을 포함하는 종합적인 접근이 필요하며, 이

1) Report on IATA Sustainable Aviation Fuel Roadmap International Air Transport Association IATA (<https://www.iata.org/whatwedo/environment/Documents/safr-1-2015.pdf>)

러한 맥락에서 항공 대체연료(SAF)의 보급은 2020년 이후 항공부문 탄소중립성장에 기여할 수 있는 하나의 이니셔티브이며, UN의 지속가능한 개발목표(SDGs)의 사회·경제적 개발에 기여할 것으로 예견하고 있음

□ 국제민간항공기구의 바이오항공유 개발 노력 확대

- 2009년 첫 번째 ICAO의 항공 대체연료 컨퍼런스 이래로 항공 대체연료(SAF) 산업은 지속적인 발전을 이루었으며, ICAO의 주도하에 이해관계자들 간 연계와 협력으로 SAF 산업의 견고한 토대가 마련됨
- ICAO는 2017년 두 번째 컨퍼런스에서 2040년까지 연간 128백만 톤의 항공 대체연료 생산 목표를 제안함, 그러나 아직 좁혀지지 못한 일반항공유(CAF)와 대체연료(SAF)의 가격 격차로 지속가능한 항공대체연료(SAF) 생산과 소비에 대한 인센티브의 필요성을 강조하고 있음
- ICAO는 일반항공유와 지속가능한 항공대체연료(SAF)의 가격 격차를 줄이기 위해 다양한 정책을 마련하고 있으며, 각 국가의 적극적인 참여를 독려하고 있음

<표 1-1> 지속가능한 항공대체연료 확대를 위한 ICAO의 주요 정책

구분	주요 정책 현황
1	국가 행정과 재정지원(민간-공공 파트너십 포함)을 고려한 개발 촉진
2	항공대체연료(SAF)를 우선순위로 하거나 다른 수송부문과의 동일한 경쟁조건 보장정책 채택
3	현재 미사용 또는 사용율이 적은 기존 생산 기반시설을 지속가능한 항공대체연료(SAF)의 생산을 위해 재사용토록 장려
4	지상 수송부문에서의 바이오연료처럼 더 많은 지속가능한 항공대체연료(SAF)가 생산되도록 장려
5	높은 혼합율, 승인과정 간소화 포함 지속가능한 항공대체연료(SAF) 생산 연구개발 장려
6	ICAO 회원국 간의 협력 도모
7	기존 지속가능한 항공대체연료(SAF)의 life cycle에서 환경영향을 줄이도록 노력
8	지속가능한 항공대체연료(SAF) 고부가가치 부산물을 위한 시장 확보
9	지속가능한 항공대체연료(SAF) 공급망의 최적화 및 통합
10	항공사와 지속가능한 항공대체연료(SAF) 생산자 간의 off-take 협약 지원
11	국제공항이 지속가능한 항공대체연료(SAF)를 상업화하도록 지원

- ICAO는 지속가능한 항공대체연료(SAF)의 발전을 촉진하기 위한 회원국의 정책개발을 장려하고 있으며, 이와 관련하여 ICAO 회원국에게 그들의 국가 상황에 따라 지속가능한 대체연료의 사용을 포함하는 일련의 정책 조치를 설정하도록 요청함

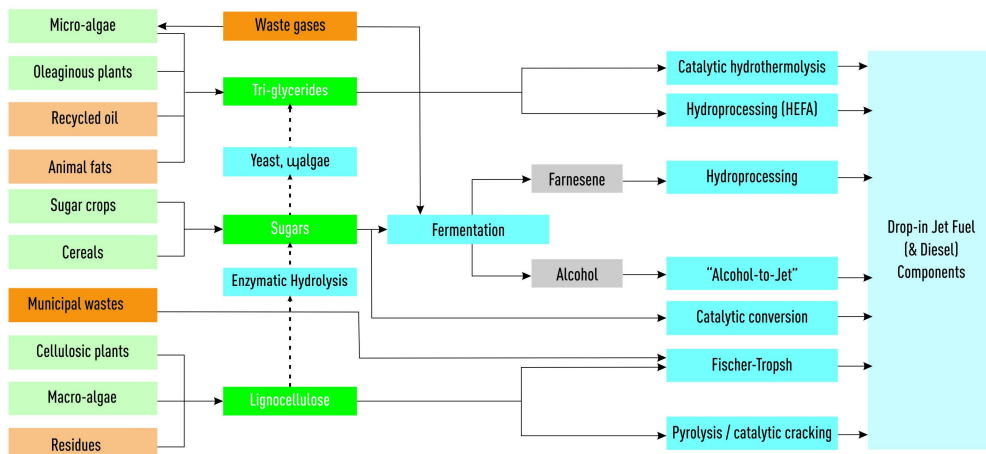
- 이와 관련하여 ICAO는 회원국의 초기시장 장벽 극복을 지원하기 위해 인센티브 및 지속 가능한 항공대체연료(SAF) 인프라 개발 프로젝트 자금 조달을 위한 금융지원 등을 수행하고 있으며, 국제항공운송협회(IATA, International Air Transport Association)는 항공 온실가스 감축을 위한 세부 목표를 수립하고, 목표 달성을 위한 4가지 추진전략을 마련하여 운영 중이며 그 중 하나로 항공 대체연료 활용을 제시하고 있음



<그림 1-1> IATA 비전 및 감축 추진전략(4-pillar strategy)

출처: IATA 웹사이트(www.iata.org), A global approach to reducing aviation emissions (IATA, 2009)

- 바이오항공유는 오일 및 지방계열, 당류계열 및 목질바이오매스 계열 등의 바이오매스 기원 원료를 이용하여 합성기술을 통하여 제조된 항공연료로 일정 기준을 충족하면 기존제트연료와 혼합하여 사용이 가능한 연료임



<그림 1-2> 바이오항공유 주요 원료 및 전환과정

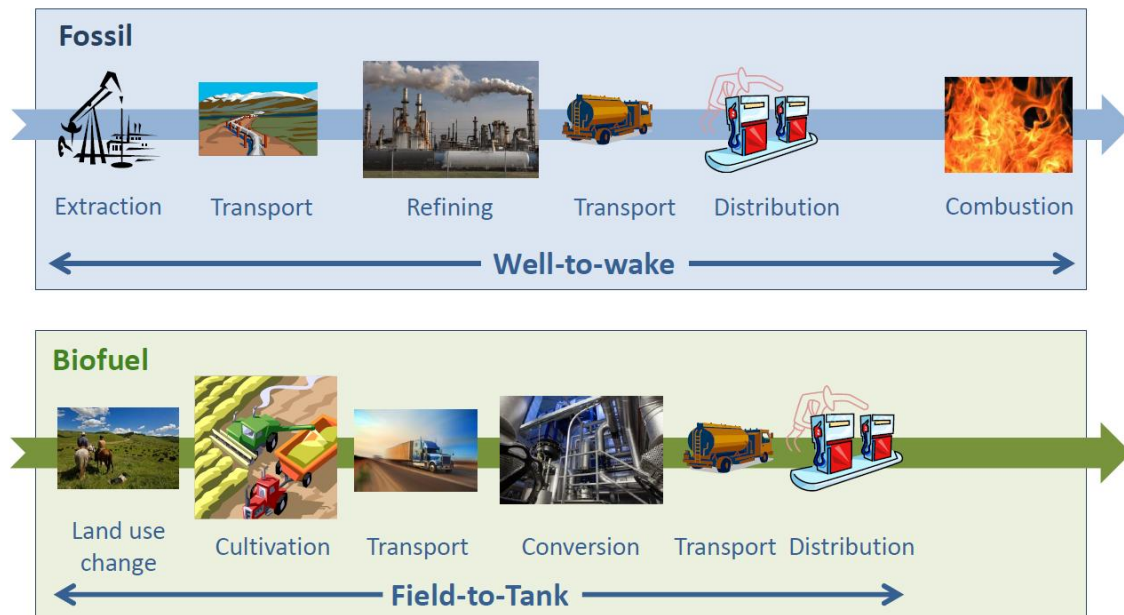
출처: ICAO 홈페이지

□ 항공부문 온실가스 감축 수단으로서의 바이오항공유

- ICAO에서는 항공부문의 온실가스 배출감축 목표를 달성하기 위한 주요 대안 중의 하

나로 지속가능한 항공대체연료인 바이오항공유의 사용을 권고하고 있으며, 이미 다양한 국가 및 항공사에서는 바이오항공유의 생산 확대 정책 수립과 더불어 바이오항공유 상용화를 진행하고 있음

- 국제항공부문에서 온실가스 감축 수단으로 ICAO가 제시하고 있는 주요 수단은 지속가능한 항공대체 연료 사용으로 인한 직접적인 감축과 국제항공 이외 분야에서 생성된 탄소배출권을 확보하여 배출량을 상쇄하는 방법으로 바이오항공유의 활용이 온실가스 감축의 직접적인 수단으로 적용 가능함
- 바이오매스를 이용하여 생산된 바이오항공유는 원료작물을 재배할 때 이산화탄소가 흡수되기 때문에 IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change)는 바이오항공유를 기존 화석연료 기반 항공유보다 이산화탄소 배출량을 감축할 수 있는 탄소중립²⁾원으로 인정하고 있음
- ICAO에서는 항공유의 온실가스 배출 전주기 분석(Life Cycle Assessment, LCA³⁾) 측면에서 바이오항공유를 사용하는 경우 이산화탄소 배출량을 0으로 적용하도록 하고 있으며, 다양한 문헌 결과에 따르면 바이오항공유는 원료와 생산기술에 따라 온실가스 감축 효과에 차이가 있음



〈그림 1-3〉 항공유의 온실가스 배출 전주기 분석

2) 탄소중립(Carbon Neutral): 바이오매스에서 기인한 이산화탄소는 탄소순환에 의해 재순환되기 때문에 대기 중의 이산화탄소 농도 증가에 영향을 미치지 않음

3) 원료 및 에너지 소비, 오염물질과 폐기물 발생 등 생산·유통·폐기의 전 과정에 걸쳐 환경에 미치는 영향은 분석하는 것

- 바이오항공유는 전환 공정에 따라 온실가스 저감 효과에 차이가 있으며, 평균적으로 기존 화석연료 기반의 항공유 대비 온실가스 저감 효과가 40%~82%의 저감 효과를 가지는 것으로 알려져 있음

〈표 1-2〉 바이오항공유 전환공정에 따른 온실가스 감축효과

전환공정	STJ	GTJ	OTJ	ATJ
감축효과	82%	75%	50%	40%
1) STJ (Sugar to Jet) : 당질계로부터 탄화수소 등 항공유로 전환하는 공정 2) GTJ (Gas to Jet) : 바이오가스, 천연가스 또는 합성가스를 항공유로 전환하는 공정 3) OTJ (Oil to Jet) : 동·식물성오일(폐식용유 등)로부터 항공유 등으로 전환하는 공정 4) ATJ (Alcohol to Jet) : 알코올로부터 항공유 등으로 전환하는 공정				

출처: 미세조류 유래 바이오연료 생산 기술에 대한 고찰(박조용 등, 2016)

□ 주요 국가의 바이오항공유 생산 및 보급 기술 개발 노력 확대

- 세계적으로 항공부문의 온실가스 감축을 위하여 바이오항공유 개발 및 보급정책을 활발하게 진행하고 있으며, 정부보조금 외에 제도 및 세제혜택을 부여함으로써 바이오항공유 도입을 촉진하기 위한 정책을 동시에 진행 중임
- 미국, 유럽, 노르웨이 등에서 인센티브 정책을 운영 및 검토하며 바이오항공유 보급에 선도적인 노력을 기울이고 있으며, 일본은 2020년 도쿄올림픽까지 국내 생산의 바이오항공유를 활용한 비행 실현을 목표로 다양한 이해관계자로 구성된 민간위원회를 구성하여 바이오연료 보급 확대 정책 마련을 위해 노력하고 있음
- 말레이시아, 인도네시아, 브라질 및 멕시코 등은 풍부한 원료자원을 바탕으로 바이오항공유 개발에 노력을 기울이고 있음

□ 국내 바이오항공유 보급 및 생산 기술 개발의 한계

- 우리나라는 2011년에 그린에너지 전략로드맵의 일환으로 바이오연료 산업 육성을 통한 수송 부문의 온실가스 저감과 신규 수출산업 창출을 목표로 바이오연료 로드맵을 수립하였으며, 현재 바이오연료 생산 원천 기술개발까지 진행되어있으며, 생산기술 실증 및 상용플랜트 기술개발은 미비한 실정임
- 또한 수송부문의 온실가스 감축과 지속적인 바이오에너지 산업 육성을 위해 신재생에너지 연료혼합의무제도(RFS)를 운영하며 현재 바이오디젤에 한하여 우선 시행하고 있으며 국산화 원료 수급 비율 및 가격 경쟁력, 차량 안전성 등을 고려하여 바이오에탄

을 및 바이오가스 등으로 대상을 확대해 나가기 위한 제도 및 정책을 수립하는 노력을 지속적으로 수행 중이나, 바이오항공유는 미포함되어 있음

- 바이오항공유 국내 기술개발은 2010년부터 진행되어 왔으며 비식용 유지 및 목질계 바이오매스, 미세조류 등 다양한 원료를 통한 바이오항공유 기술 개발이 이루어지고 있으며, 국내의 다양한 연구기관에서 바이오매스를 활용하여 전환공정을 통해 바이오항공유를 생산하는 기술개발을 수행하고 있음
- 현재 국내는 바이오항공유 생산을 위한 연료확보 기술개발 연구 초기단계로서 기술개발이 완료된 이후 국내 생산 바이오항공유가 보급된 이후 바이오항공유 상용화 단계에서 국내 공급체계를 확보하기 위한 인프라 구축에 관한 연구는 전무한 실정으로 향후 국내 바이오항공유 공급체계 구축을 위한 심도 깊은 연구가 필요함
- 바이오항공유 사용에 대한 국제규격은 이미 마련되었으며, 많은 국가에서 상용화되고 있을 뿐 아니라 항공사와 연료공급사간의 장기계약과 같은 바이오항공유 대량생산을 위한 본격적인 준비과정이 진행되고 있음
- 이는 어떤 원료를 어떤 방법으로 누가, 얼마나 생산하고 유통을 담당할 것인지 구체적인 논의가 진행되고 있다는 의미로 온실가스 배출규제 압력을 받고 있는 항공 운송산업의 온실가스 감축 대안으로 바이오항공유 활용이 가속화될 수 있음을 의미함
- 항공부문의 바이오항공유 활용은 국제적 기후변화 완화 효과뿐만 아니라 더 나아가 경제적 성장과 고용창출, 기반시설의 활성화 등의 기회를 제공하며, 항공유값을 더욱 안정시키고 보급 안정성을 확보하여 경제발전에도 기여할 수 있음
- 그러나 국내 바이오항공유 산업은 생산기술에 치중되어 있는 연구개발과 연료보급 관련 정부 정책의 부재로 아직 기초 수준에 머물러있는 상태임, 전기와 같은 다른 에너지원을 사용할 수 있는 육상수송 부문과 달리 항공부문은 아직까지는 액체연료 이외에는 그 대안이 없음

□ 국내 바이오항공유 공급기반 마련을 위한 기술요소 확보의 필요성

- 바이오항공유 상용화의 주요 이슈로는 원료의 안정적 수급방안이므로 국제적으로 완전한 상용화 단계에 도달하기 이전에 국내외적으로 안정적 원료수급 방안을 검토하여 바이오항공유 시장선점이 필요한 시기이며, 그와 동시에 바이오항공유 본격 활용을 위한 기반구축도 함께 진행되어야 함
- 국내 항공수송산업 분야는 9개의 민간항공사로 대표되는 산업으로 타 산업분야에 비해 상대적으로 작은 시장이며 신재생에너지 산업 특성 상 정책적 방향 제시 없이는 산업계가 선도하는 자발적인 투자와 바이오항공유 개발 및 활용을 위한 시설확충의

기대가 어려운 상황임

- 국제적으로 상용화 수준에 도달한 바이오항공유 시장 진입 및 원료 확보를 위해서는 바이오항공유 생산 기술 연구와 동시에 인센티브 등의 정책 개발과 유상운송을 위한 시험비행 및 연료공급체계 확보 연구가 시급히 요구됨
- 바이오연료는 기존 항공유보다 가격이 높아 시장조성을 위해서는 지원 정책이 필수적이지만 국내에서는 바이오연료에 대한 지원 제도(차액보전, 세액감면 등)가 미흡하며, 특히 바이오항공유의 경우 정부의 연료 보급에 대한 의지를 확인할 수 있는 뚜렷한 장기 정책의 부재로 연료 개발 및 유통 등의 에너지 사업 추진에 장애가 되고 있음
- 또한 국내 바이오항공유 관련 기술은 생산을 위한 원천기술에 한정되어 있는 실정이며 이를 활용한 생산기술 실증 및 상용플랜트 기술, 바이오항공유 인증, Bioport 구축 및 운영을 포함하여 국내의 바이오항공유 이용기반 구축은 미비한 실정임
- 바이오항공유 생산 설비를 포함한 이용을 위한 인프라 구축은 바이오항공유 시장이 전무한 국내에서는 신규 시장 구축과 더불어 수요자 확보의 어려움 등 민간에서 단독으로 개발하기에는 초기 시장진입 장벽이 높고 부담이 큰 만큼 정부차원의 지원이 필요함
- 따라서 국내 바이오항공유 생산 및 이용기반 구축을 위해서는 정부의 정책 방향과 중장기적인 계획수립과 같이 연료 보급에 대한 확실한 의지를 드러낼 수 있는 체계적인 대응 계획의 마련이 필요함
- 바이오항공유 공급 체계구축을 위한 기술요소를 파악하고 국제 항공부문 온실가스 감축 대응을 위한 국내 바이오항공유 공급체계를 마련할 필요가 있음



<그림 1-4> 본 기획연구의 필요성

- 항공부문 온실가스 감축의 주요수단으로서의 바이오항공유 이용을 위한 국내 공급망 전반을 아우르는 기술 개발연구가 필수적이므로 본 기획연구에서는 국내외 바이오항공유 정책 및 시장 현황 분석을 비롯하여 각 value chain 단계별 기술현황 분석을 통하여 국내 바이오항공유 공급 체계 구축을 위해 필수적으로 필요한 확보 기술을 파악하고자 함
- 본 기획연구는 국내 바이오항공유 공급체계 구축을 위하여 공급망 value chain별로 각 기술요소를 파악하고 국내외 동향분석을 실시함으로써 개발이 필요한 기술 등을 확인하여 공급기술별 핵심과제를 도출하는데 목적이 있음

제2절 기술의 정의 및 분류체계

1. 기술의 정의

- 국내 바이오항공유의 공급체계를 구축하기 위해서는 생산, 인증, 혼합, 수송, 급유 기술을 포함하여 생산 및 이용확대를 위한 정책수립을 포함하여 경제성 및 환경건전성 평가를 위해 필요한 기술개발요소를 도출할 필요가 있음



<그림 1-5> 바이오항공유 공급망 value chain별 기술

가. 생산기술

- 바이오항공유 생산기술은 크게 출발 물질 및 공정에 따라 OTJ(Oil-to-Jet), ATJ (Alcohol-to-Jet), GTJ(Gas-to-Jet), STJ(Sugar-to-Jet) 4가지의 기술 유형으로 분류 가능함
- OTJ은 동·식물성 유지의 수소처리를 통해 바이오항공유를 생산하는 기술로서 대표적인 기술인 HEFA 공정은 폐식용유와 같은 유지의 전이 에스테르화(trans-esterification)를 통해 생성된 지방산 메틸에스테르(FAME, Fatty Acid Methyl Ester)에 수소첨가반응(hydro-treatment)을 하여 파라핀 성분의 HVO(Hydro-treated Vegetable Oil, HVO)을 생산함
- STJ 기술에는 당질 및 전분질계 원료를 발효 및 생화학적 전환을 통해 탄화수소로 직접 전환하는 DSHC(Direct Sugar to Hydrocarbons) 기술이 있고, 원료의 가수분해 및 촉매를 이용한 탈산소, 업그레이딩을 통해 연료를 생산하는 기술(Aqueous Phase Reforming)이 있음
- ATJ은 목질계 바이오매스의 가스화나 당질계 원료의 가수분해를 통해 생성된 알코올을 탈수, 올리고머화를 통해 바이오항공유를 생산하는 기술임

- GTJ에는 목질계 바이오매스 원료를 가스화반응을 통해 합성가스로 전환한 후 F-T(Fischer-Tropsch) 공정을 통해 바이오항공유를 생산하는 F-T to Jet기술이 있고, Gas Fermentation의 기술이 있음

<표 1-3> 바이오항공유 생산기술

기술 유형	생산 공정
Acohol to Jet(ATJ)	Ethanol to Jet
	N-butanol to Jet
	Iso-butanol to Jet
	Methanol to Jet
Oil to Jet(OTJ)	Hydro-processed Renewable Jet (HRJ)
	Catalytic Hydro-thermolysis (CH)
	Hydrotreated Depolymerized Cellulosic Jet (HDCJ)
Gas to Jet(GTJ)	Fischer-Tropsch(F-T) Synthesis
	Gas Fermentation
Sugar to Jet(STJ)	Direct Sugar to Hydrocarbons (DSHC)
	Catalytic Upgrading

출처: Bio-jet fuel conversion technologies (Wang 외, 2016)

나. 혼합기술

- 바이오항공유는 ASTM D7566에 등록된 연료에 한하여 기존 항공유와 혼합하여 drop-in-fuel의 형태로 활용이 가능하기 때문에 혼합기술이 필요함
- 보통 항공유의 연료첨가물은 Line system에 의해 혼합되며 바이오디젤과 디젤 혼합의 경우 Line 혼합과 splash 혼합 방식이 여건에 따라 모두 적용됨
- 바이오항공유의 혼합도 기본적으로 바이오디젤이나 기타 연료첨가물의 혼합방식에서 크게 벗어나지 않음
- Line 혼합 방식은 유량계와 컨트롤 펌프/밸브가 장착된 dosing system 장비를 이용하여 정밀하게 혼합량을 조절 및 제어하는 시스템인 반면, 단순 첨가 방식의 splash 혼합 방식은 두 종류의 연료를 한꺼번에 섞고 (top vs. bottom loading) 연료의 수송을 위한 transfer/receipt 또는 이동 과정 중 발생하는 agitation에 의해 자연스럽게 연료가 혼합하도록 하는 방식임

<표 1-4> 혼합 방식의 구분

혼합 방식	단계	내용
Splash (sequential) Blending	Truck	연료트럭에 바이오디젤을 첨가, 혼합은 트럭이 이동시 탱크 안에서 연료의 움직임에 의해 일어남
	Tank	탱크에 주입 시 연료가 충분히 섞일 정도로 높은 fill rate로 하여 혼합
Line (injection) Blending	Pipeline/ hose	파이프라인/호스를 통한 연료 수송 과정에서 바이오연료를 dose
	Fuel rack	연료첨가제와 비슷한 방식으로 fuel rack에 있는 바이오연료를 트럭으로 직접 dose

출처: Inform, American Oil Chemists' Society (2008), Targray 사 홈페이지(www.targray.com), www.spectrosci.com 등



<그림 1-6> Line blenders

출처: Emerson 사 홈페이지

- 연료 혼합 후에는 사용 전 수시로 혼합이 제대로 되었는지를 확인하는 균질성 검사를 위해 탱크 및 트럭으로부터 연료 샘플을 채취하여 혼합 성분 검사를 실시함
- 샘플의 혼합성분/비율 검사 방법 중 Infrared (IR) spectroscopic analysis는 짧은 분석 시간과 적절한 정확도로 가장 널리 적용되는 방법임
- FTIR(Fourier transform IR) spectrometer은 EN 14078 및 ASTM D7371에서 제시하는 방법으로써 mid-IR 이용, 높은 분석력으로 실험실용으로는 좋으나 가격 및 장비의 크기 등이 실제 사용에는 제약이 될 수 있음
- 이밖에도 연료 혼합 시 온도 등 환경 조건을 유지하는 것이 중요하며, 환경에 따라 연료의 gelation 방지를 위해 온도를 연료의 Cloud Point보다 높게 유지하기 위한 추가 단열 시설 등을 설치하기도 함

다. 인증기술

- 항공유는 기본적으로 국제적으로 통용되는 항공유 규격 및 품질조건이 있으며, 민간 상용 제트유의 경우 보통 ASTM이나 DEF-STAN91-91(영국), IATA 등의 규격이, 군용 제트유의 경우 MIL-DTL-83,133E가 적용되고 있음
- ASTM에는 등유형(kerosene) 일반 항공유에 대한 ASTM D1655와 합성 탄화수소(Synthetic Hydrocarbons), 즉 바이오항공유 등과 같은 항공대체연료의 품질 규격인 ASTM D7566이 있음
- 따라서 바이오항공유는 생산된 neat(100%) 바이오연료의 상태로 ASTM D7566 규격에 따라 인증 후(RCQ 발행) 화석연료 항공유와 혼합된(blended) 후 ASTM D1655/DEF-STAN91-91을 다시 받게 되어 있음(COA 발행)
- ASTM D1655나 DEF-STAN91-91 인증을 통과한 혼합(blended)된 drop-in-fuel 형태의 바이오항공유는 기존 화석연료 항공유와 동일하게 취급되기 때문에 동일한 인프라 활용 및 취급관리방법이 적용됨
- ASTM D7566에 새로운 바이오항공유를 등록하기 위해서는 먼저 ASTM D4054(Standard Practice for Qualification and Approval of New Aviation Turbine Fuels and Fuel Additives)에 따라 다음과 같은 네 개의 시험이 필요하며, 단계별 인증 시험 후 지정된 절차에 따라 연료의 최종 등록이 이루어짐

- ① 연료 물성 시험
- ② “fitness for purpose” 시험
- ③ 부품 시험
- ④ 엔진 및 APU 시험

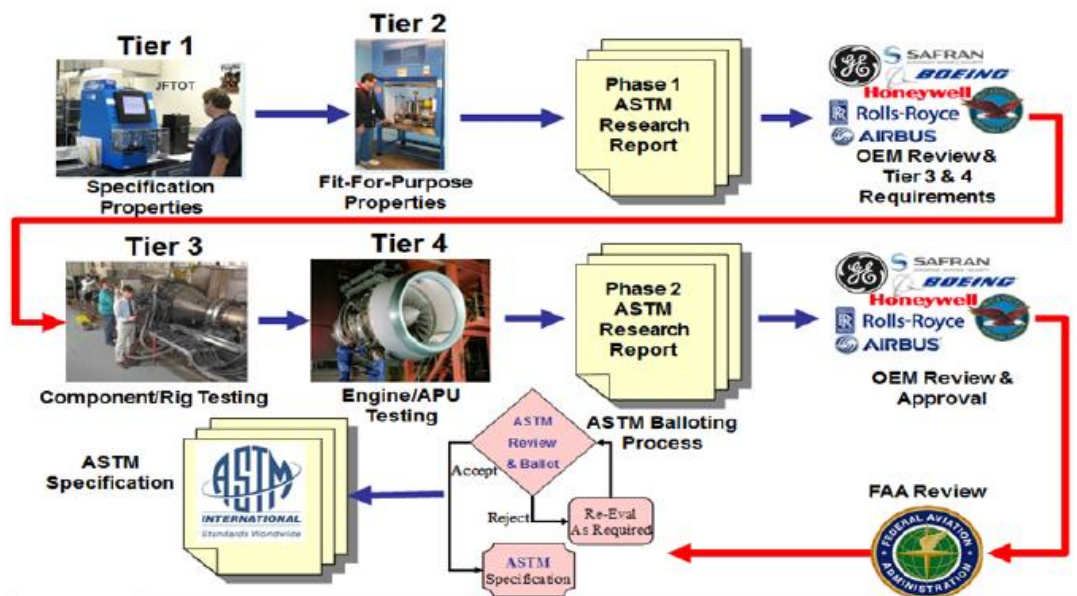
<표 1-5> ASTM D4054 시험에 필요한 최소 연료량

Tier	내용	필요 연료량 (갤런)/(리터)
1	연료 물성 시험	10/38
2	Fit for Purpose 시험	10-100/38-380
3	부품 및 Rig 시험	250-10,000/950-38,000
4	엔진 시험	최대 225,000/852,000

출처: Alternative Aviation Fuels: Overview of Challenges, Opportunities, and Next Steps (미국 에너지부, 2017)

D4054 시험 완료 후 D7566 등록 절차:

- ② 연료생산자 보고서 초안 제출
- ③ 엔진 및 항공기 제작사의 보고서 검토
- ④ 제작사의 피드백을 반영한 최종 보고서 제출
- ⑤ 최종보고서에 대한 ASTM 투표
- ⑥ D7566 추가에 대한 ASTM 투표



<그림 1-7> 바이오항공유 항공유 ASTM D7566 등록을 위한 절차

출처: Alternative Jet Fuels Overview-U.S. FAA 발표자료 (FAA, 2017)

<표 1-6> 항공유 품질 규격

Jet A-1					JP-8
Composition	ASTM D1655-04a	IATA	Def Stan 91-91	ASTM D7566	MIL-DTL-8 3,133E
Acidity, total(mg KOH/g)	0.1, max	0.015, max	0.012, max	0.1, max	0.015, max
Aromatics (vol %)	25, max	25, max	25, max	25, max (8, min)	25, max
Sulfur, total(wt %)	0.3, max	0.3, max	0.3, max	0.3, max	0.3, max
Volatility					
Distillation temperature:					
10%Recovery(°C)	205, max	205, max	205, max	205, max	205, max
20% Recovery(°C)	–	–	–	–	–
50% Recovery(°C)	–	–	–	(15, min)	–
90% Recovery(°C)	–	–	–	(40, min)	–
Final BP(°C)	300, max	300, max	300, max	300, max	300, max
Flash point(°C)	38, min	38, min	38, min	38, min	38, min
Density @15 °C (kg/m3)775-840	775-840	775-840	775-840	775-840	775-840
Fluidity					
Freezingpoint(°C), max	–47	–47	–47	–40 JetA; –47JetA1	–47
Viscosity @ 20 °C(cSt)	8, max	8, max	8, max	8, max	8, max
Combustion					
Net heat of comb.(MJ/kg)	42.8, min	42.8, min	42.8, min	42.8, min	42.8, min
Smoke point (mm)	25, min	25, min	25, min	25, min	25, min
Smoke point (mm) and naphthalenes(vol%)	19 (min), 3 (max)	19 (min), 3 (max)	19 (min), 3 (max)	18 (min), 3 (max)	19 (min), 3 (max)
Thermal stability					
JFTOT DeltaP@260 °C(mmHg)	25, max	25, max	25, max	25, max	25, max
Tube deposit Rating(Visual)	<3	<3	<3	<3	<3
Conductivity					
Conductivity (pS/m)	50-450	50-450	50-600	–	–
Lubricity					
BOCLE wear scar diameter(mm)	–	0.85, max	0.85, max	0.85, max	–

출처: Bio-jet fuel conversion technologies (Wang 외, 2016)

라. 수송기술

- 기본적으로 항공유를 포함한 석유 제품의 수송은 크게 유조선, 유조화차, 송유관 등을 통한 1차 수송과 유조차 등을 통한 2차 수송으로 나누어짐
- 송유관 이외에도 1차와 2차 수송 사이 탱크에 석유제품을 임시 저장 및 출하하는 저유소와 송유관으로 석유를 수송하기 위해 일정 수송압력을 유지하기 위한 가압소 설비가 존재함
- 일반적으로 서로 다른 유종을 단일관을 통해 수송할 때에는 혼유량을 최소화하기 위한 송유 압력 유지 기술을 사용하며, 송유 계획 및 제품의 송유 배치 혹은 최소 송유량 등을 조정하기도 함
- 바이오항공유 수송기술은 일반 항공유와 동일하며, 생산시설로부터 공항 급유시설까지 수송수단은 기존 항공유 및 석유 제품 수송수단과 동일함

〈표 1-7〉 수송수단별 특징

구분	장점	단점
유조선	대량, 원거리수송에 적합 저렴한 수송비 수송계획수립이 용이	긴 수송시간 기상조건에 따라 하역과 운행에 제약 항만, 부두시설에 대규모 투자 소요
유조화차 (철도)	원거리 내륙수송에 적합 사고위험이 적어 안전 기상조건에 영향을 받지 않음	화차작업시간이 길고 배치가 수동적 근거리 수송 시 수송단가가 높음 수송지역이 철도부설지역으로 제한
유조차	근거리 수송 시 경제적 수송 대기시간이 짧음 수송지역 제한이 거의 없음	원거리 수송 시 수송단가가 높음 대량수송이 불가능 악천후 및 교통혼잡시 수송 장애 발생
송유관	전천후 대량수송이 가능함 수송비가 저렴함 지속적으로 사고위험이 적음	중질제품의 수송에 적합하지 않음 초기 건설비가 막대하게 소요됨 대량의 수요확보가 필요함

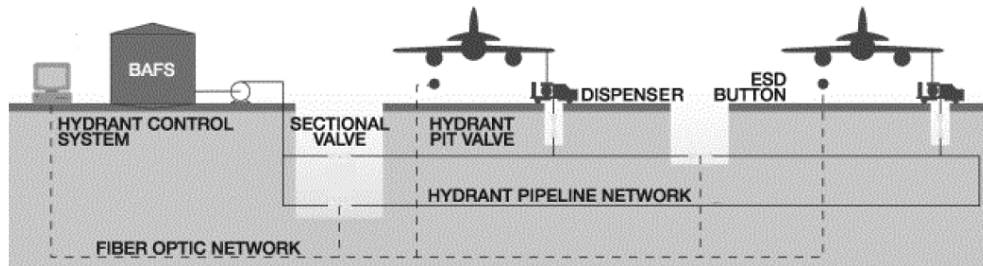
출처: 대한석유협회 홈페이지(oil.webmaker21.kr/ko)

마. 급유기술

- 급유기술은 항공연료를 비행기에 급유하는 기술로서 일반적으로 항공유 급유는 급유조건에 따라 크게 하이드런트 급유전(hydrant system)을 이용한 급유와 전용 급유 차량(refuller)을 이용한 급유 방법이 있음
- Hydrant System(하이드런트 급유전)은 연료 저장 탱크에서 파이프라인을 통해 항공기 주기장에 설치된 PIT까지 항공유를 수송하는 고정 설비로서 안전하고 빠르고 효율적이며 환경 친화적이기도 하여 가장 이상적인 급유 방식이지만 시설 투자비용이 높기

때문에 주로 이용객이 많은 대규모 공항에서 주로 사용됨

- Hydrant system의 각종 규격: NFPA, FAA, API, JIG-1 issue 10, IATA governing hydrant Servicer
- 분당 송유량(flow-gallons per minute, gpm)에 따라 성능이 차별화됨



<그림 1-8> 공항 hydrant system 모식

출처: Hydrant Refueling System as an Optimization of Aircraft Refuelling (Hromadka and Ciger, 2015)

- Refueller (급유차)는 항공유 급유용으로 지정 설비 규격에 맞게 제작되어진 급유, 배유, 순환 등의 기능을 가진 이동식 차량으로 급유전에 비해 비교적 유동적으로 다양한 여건에서 적은 제약으로 급유가 가능함
- 급유차의 각종 규격: NEPA 385, NEPA 407, ATA-103, JIG-1 issue 10, IATA 2010.01.30.
- 급유차는 용량, 용도(민간/군용)에 따라 여러 종류가 있으며 탱크와 샤시 이외에도 급유 및 de-fuelling을 위한 각종 설비가 장착되어 있음
- 급유 장비 구성: 탱크, 펌프, 필터/세퍼레이터(separator), 유량계, 비상 밸브, 압력조정 밸브, Bypass 밸브, Air vent 밸브, 센서, 노즐, 승강기, 컨트롤 패널 등



<그림 1-9> 항공기 급유차

출처: GS글로벌 홈페이지

- 바이오항공유 활용을 위한 공항 내 급유 체계는 크게 두 가지 유형이 가능함:
 - 바이오항공유 전용의 인프라 사용 (분리형)
 - 기존 항공유와의 공동 인프라 사용 (혼합형)
- 바이오항공유 전용 인프라를 구축하는 경우, 별도의 하이드런트 시스템을 분리 설치하거나 (터미널 분리 등) 바이오항공유 전용 refueller를 통해 급유하는 방법이 있음
- 바이오항공유가 기존 항공유와 공동으로 인프라를 사용하는 경우는 공항 내 연료 저장 탱크(fuel farm)에 기존 항공유와 함께 보관되는 경우이며 (섞일 수 있는 여지 존재), 공항 이용 항공사 및 이해관계자의 협의가 필요함



<그림 1-10> 바이오항공유 및 일반항공유의 fuel farm 및 hydrant system 공동 사용

출처: Logistics challenges in segregated and non-segregated fueling systems (SkyNRG, 2016)

<표 1-8> 바이오항공유 활용 급유기술

구분	급유 방식	세부 내용	요구 사항
분리형 바이오항공유 전용 급유	하이드런트	기존 설비 이용 (터미널만 분리)	기존 설비의 분리 검토 및 지정
	Refueller	바이오항공유 전용 refueller 지정 운용	새로운 터미널/공항 구축 바이오항공유 전용 refueller 상시 대기
혼합형 기존 급유	하이드런트	fuel farm에서부터 바이오항공유와 일반항공유 혼유	공항 내 모든 항공사 및 이해관계자의 동의 필요, 바이오항공유 전용 공항 선정 필요
	Refueller	동일 refueller가 바이오항공유 및 일반항공유 모두 급유	유종 변경 시 refueller 세척 및 탱크 내 잔량 처리

바. 정책 및 환경기반 시스템

- 정책 및 환경기반 시스템 바이오항공유를 보급하기 위한 인센티브 및 사용의무화 제도 등을 포함한 관련 제도 및 법규 등의 ①정책적 인프라와 바이오항공유 생산부터 공급까지 전과정에 이르는 경제성 평가 분석 등의 ②환경기반 시스템 최적화, 바이오항공유 원료 및 생산기술별 전과정 평가(LCA) 분석을 통한 온실가스 배출량 등을 평가하는 ③환경건전성(지속가능성) 평가 기술로 구분함

2. 기술분류체계

- 기술분류체계는 동향분석 결과를 기반으로 기획연구진이 초안을 구축하였으며, 각 분야별 전문가로 구성된 기획위원회 검토, 기획평가 타당성 회의 의견을 반영하여 최종적으로 확정함
- 기술분야는 해외 기술동향을 분석하여 바이오항공유 생산, 혼합, 인증, 수송, 급유, 정책 및 환경기반 시스템(법 및 제도, 경제성, 환경건전성 등) 등 6가지 분야로 구분하였으며, 세부기술은 분야별 전문가로 구성된 기획위원회를 통하여 검토함
- 기획위원회는 바이오항공유 이용 및 공급과 관련한 연구기관을 비롯하여 정유사, 항공사, 지상조업사, 공사 등에 소속된 전문가를 대상으로 구성하였으며, 기술분류체계 도출을 위한 자문을 포함하여 바이오항공유 시험비행 자문도 함께 수행하였음

〈표 1-9〉 기획위원회 구성

구분(분과)	소속기관	인원	구분	소속기관	인원
생산, 혼합, 인증 등 (연구기관)	에너지기술연구원	3	수요자 (항공사)	대한항공	2
	한국화학연구원	2		아시아나	2
	한국교통연구원	2		t'way	2
	한국석유관리원	2		진에어	1
	차세대바이오매스사업단	3		제주항공	1
	고등기술연구원	1		에어부산	1
	세종대학교	1		에어인천	1
	아세아항공전문학교	1		한국항공진흥협회	1
	솔루티스	1	지상조업 (조업사)	KAS 한국공항	1
	한서대학교	1		아시아나에어포트	1
공급자 (정유사)	대한석유협회	1	공항 인프라 (공사)	한국공항공사	1
	현대오일뱅크	1		인천국제공항공사	1
	GS 칼텍스	3		대한송유관공사	1
	SK 에너지	1		교통안전공단	2
	SK Innovation	1	해외생산업체	SkyNRG	1
	한화토탈	1	총 인원		45명
	에쓰오일	1			

- 기술분야별 세부 기술을 파악하고 기술분류체계를 구축하기 위하여 분과별로 기획위원회(자문회의)를 실시하였으며, 자문방법은 유선, 이메일, 방문자문 등으로 실시함

〈표 1-10〉 기술분류체계 구축을 위한 기획위원회 수행 현황

구분	분과	자문기관	회의방법	비고
1	총괄	전체	착수회의 동시진행	기획위원회(T/F) 구성
2	생산, 공급	SkyNRG	유선회의	기술분류체계 자문
3	지상조업	한국공항(KAS)	방문회의	기술분류체계, 시험비행 자문
4	지상조업	아시아나 에어포트	방문회의	기술분류체계, 시험비행 자문
5	공급업체	SkyNRG	유선회의	기술분류체계 자문
6	공급업체	SK 에너지	유선회의	기술분류체계, 시험비행 자문
7	지상조업	한국공항(KAS), 아시아나 에어포트	유선회의	기술분류체계 검토
8	공항 인프라	한국공항공사	방문회의	기술분류체계, 시험비행 자문
	수요자	t'way		
9	생산	에너지기술연구원	방문회의	기술분류체계 검토
	생산	차세대바이오매스사업단		
10	생산, 공급	SkyNRG	유선회의	시험비행 자문
11	환경기반 시스템	한국석유관리원	자문회의	기술분류체계 검토

- 기술분류체계는 공급망 단계로 구분하여 바이오항공유 생산, 혼합, 인증, 수송, 급유, 정책 및 환경기반 시스템(법 및 제도, 경제성, 환경건전성 등) 등 대분류 6가지 분야와 19개의 중분류로 구분하였음

<표 1-11> 기술분류체계 도출

분류기준	대분류		분류기준	중분류	
Value-Chain	A	생산 기술	기술종류	A-1	ATJ(Alcohol-to-Jet)
				A-2	OTJ(Oil-to-Jet)
				A-3	GTJ(Gas-to-Jet)
				A-4	STJ(Sugar-to-Jet)
	B	혼합 기술	기술종류	B-1	Line 블렌딩
				B-2	Splash 블렌딩
	C	인증 기술	기술종류	C-1	물성 시험 기술
				C-2	Fit-for-Purpose 시험 기술
				C-3	Component/Rig 시험 기술
				C-4	엔진 및 APU 시험 기술
	D	수송 기술	운송수단	D-1	송유관 수송 기술
				D-2	유조차 수송 기술
				D-3	유조화차 수송 기술
				D-4	유조선 수송 기술
	E	급유 기술	급유방식	E-1	Refueller 급유 기술
				E-2	Hydrant system 급유 기술
	F	정책 및 환경 기반 시스템	기타	F-1	제도 구축 및 품질 표준화
				F-2	환경기반 시스템 최적화
				F-3	환경건전성(지속가능성) 평가 기술

- 바이오항공유 생산기술은 기술종류를 분류기준으로 하여 ATJ, OTJ, GTJ, STJ 등 4개의 중분류로 구성하였음

〈표 1-12〉 A 생산기술 중분류별 정의 및 개념

대분류	중분류	정의 및 개념
생산 기술	ATJ (Alcohol-to-Jet)	목질계 바이오매스나 당질계 원료의 가수 분해를 통해 생성된 중간생성물인 알코올(메탄올, 에탄올, 부탄올, 지방산 알코올 등)의 탈수, 올리고머화(oligomerization)등을 통해 항공유를 생산하는 기술을 말하며, 알코올의 종류에 따라 Ethanol-to-Jet, Butanol-to-Jet 등의 기술로 나뉨
	OTJ (Oil-to-Jet)	폐식용유, 우지, 미세조류 등 동·식물성 유지계 원료로부터 항공유를 생산하는 기술로서, 크게 HEFA공정으로 대표적인 HRJ(Hydro-processed Renewable Jet)와 촉매 수소화열분해인 CH(Catalytic Hydro-thermolysis), 그리고 급속 열분해를 통한 HDCJ(Hydro-treated Depolymerized Cellulosic Jet)이 있음
	GTJ (Gas-to-Jet)	목질계 등 바이오매스 원료를 가스화한 바이오가스, 천연가스 또는 합성가스를 생화학적 경로나 열화학 경로를 통해 항공유로 전환하는 기술로서, 크게 Gas Fermentation과 Fischer-Tropsch 공정 기술이 있음
	STJ (Sugar-to-Jet)	당질계나 전분질계 원료를 촉매 전환 공정을 통해 탄화수소로 업그레이딩하거나 생물학적 전환 공정을 통하여 항공유를 생산하는 기술로서, 크게 DSHC(Direct Sugar to Hydrocarbons)과 Catalytic Upgrading의 공정 기술이 있음

- 바이오항공유 혼합기술은 기술종류를 분류기준으로 하여 Line 블렌딩과 Splash 블렌딩 등 2개의 중분류로 구성하였음

〈표 1-13〉 B 혼합기술 중분류별 정의 및 개념

대분류	중분류	정의 및 개념
혼합 기술	Line 블렌딩	제품 출하 전 파이프라인에서 바이오항공유와 일반항공유를 펌핑하여 혼합하는 기술로, 혼합시 정확한 미터링을 통해 혼유량이 조절됨
	Splash 블렌딩	배치 상태(트럭 등)의 연료 탱크에 단순 첨가방식으로 두 종류의 연료를 혼합하는 기술로서, 연료 첨가 위치에 따라 Top-loading, Bottom-loading으로 나뉠 수 있음

- 바이오항공유 인증기술은 기술종류를 분류기준으로 하여 물성 시험 기술, Fit-for-Purpose 시험 기술, Component/Rig 시험 기술, 엔진 및 APU 시험 기술 등 4개의 중분류로 구성하였음

〈표 1-14〉 C 인증기술 중분류별 정의 및 개념

대분류	중분류	정의 및 개념
인증 기술	물성 시험 기술	ASTM D1655나 Def Stan 91-91 등의 기준에 따른 연료의 기본 물성 측정 및 평가 기술
	Fit-for-Purpose 시험 기술	기본적인 물성 테스트 이후 연료의 탄화수소나 추적 물질 등 화학성분이나, 전기적 성질, 취급시 안전성, 다른 물질과의 호환성(compatibility) 등에 대한 평가 기술
	Component/Rig 시험 기술	필터나 펌프, 노즐 등 엔진 요소와 연소기 및 구성장비에 대한 안전성 평가 기술
	엔진 및 APU 시험 기술	바이오항공유에 대한 엔진 내구성(endurance) 평가 기술

- 바이오항공유 수송기술은 운송수단을 분류기준으로 하여 송유관, 유조차, 유조화차, 유조선 수송기술 등 4개의 중분류로 구성하였음

〈표 1-15〉 D 수송기술 중분류별 정의 및 개념

대분류	중분류	정의 및 개념
수송 기술	송유관 수송기술	정유소(리파이너리) 또는 항구에서부터 공항 연료 저장 시설(fuel farm)까지 연결된 송유관을 통해 항공유를 수송하는 기술
	유조차 수송기술	정유소(리파이너리) 또는 항구에서부터 공항 연료 저장 시설(fuel farm)까지 전용 유조차(또는 유류 운반용 탱크로리)를 활용하여 항공유를 수송하는 기술
	유조화차 수송기술	정유소(리파이너리)에서 공항 연료 저장 시설(fuel farm)까지 전용 유조화차를 활용하여 항공유를 수송하는 기술
	유조선 수송기술	정유소(리파이너리)에서 공항 근처 항구까지 전용 유조선을 활용하여 항공유를 수송하는 기술

- 바이오항공유 급유기술은 급유방식을 분류기준으로 하여 Refueller 급유 기술, Hydrant system 급유 기술 등 2개의 중분류로 구성하였음

〈표 1-16〉 E 급유기술 중분류별 정의 및 개념

대분류	중분류	정의 및 개념
급유 기술	Refueller 급유 기술	Refueller 급유 기술이란 항공유 급유용으로 지정 설비 규격에 맞게 제작된 급유, 배유, 순환 등의 기능을 가진 이동식 급유 차량(refueller)를 활용하여 기체 급유를 하는 기술을 말함
	Hydrant system 급유 기술	Hydrant system(하이드런트 급유전) 급유 기술은 공항 연료 저장 탱크에서 파이프라인을 통해 항공기 주기장에 설치된 PIT까지 항공유를 수송하는 고정 설비를 활용하여 기체 급유를 하는 기술을 말함

- 바이오항공유 정책 및 환경기반시스템은 급유방식을 분류기준으로 하여 제도 구축 및 품질 표준화, 환경기반 시스템 최적화, 환경건전성(지속가능성) 평가 기술 등 3개의 중분류로 구성하였음

<표 1-17> F 정책 및 환경기반 시스템 중분류별 정의 및 개념

대분류	중분류	정의 및 개념
정책 및 환경기반 시스템	제도 구축 및 품질 표준화	바이오항공유 국내 산업지원을 위한 법 및 정책기반을 구축하고 구체적 방법 및 절차에 대해 국내 법규 및 제도 내에 규정
	환경기반 시스템 최적화	바이오항공유 활용 원료, 생산 기술, 공급망 형태에 따른 전 과정 통합 경제성 평가 분석을 통해 국내 바이오항공유 공급 시스템을 최적화하는 기술
	환경건전성(지속가능성) 평가 기술	바이오항공유의 원료 및 생산 기술별 전과정평가(LCA) 분석을 통해 원료 재배에서 바이오항공유 활용 단계까지의 온실가스 배출량 및 지속가능성을 평가

제2장 국내외 정책 및 시장 동향

제2장 국내외 정책 및 시장 동향

제1절 국내외 정책동향 및 분석

- 정책동향은 기술분류체계에 정의된 기술별로 구분하여 정책 분석이 불가능하므로 바이오항공유 활용 지원에 관한 전반적인 국내외 정책 동향으로 분석하였으며, 국외 동향 부분에서는 국제기구와 지역별 바이오항공유 사용 비전 및 목표, 바이오항공유 사용에 대한 인센티브와 정부 지원 사업에 대해 분석하고, 아직 바이오항공유 지원 정책이 뚜렷이 없는 국내 동향 부분에서는 바이오항공유와 관련될 수 있는 국내 타 제도(온실가스, 수송 연료)에 대해 분석하였음

1. 국외 정책동향

가. 국제기구 정책동향

- 국제 항공 및 해운부문의 경우 온실가스 발생이 국가 간 이동에 의해 발생됨에 따라 국제 수송 분야는 온실가스 감축에 기여를 위해 해당 국제기구를 중심으로 부문별 목표 설정 및 달성 방안 마련 등이 활발하게 이루어지고 있음
- UN 산하기구인 ICAO(국제민간항공기구)와 항공 기업으로 구성된 IATA(국제 항공 운송 협회)는 전 세계 온실가스 배출량의 약 2%를 차지하는 항공부문의 온실가스 배출량 감축을 위해 2050년까지의 중장기 비전을 수립함
- ICAO는 단기(2025년), 중기(2040년), 장기(2050년)적 국제항공의 지속가능 대체 연료 사용량을 단계적으로 최고 50%까지 늘리는 비전을 세웠으며, 대체연료를 활용한 이산화탄소 감축 목표를 2050년 33%로 설정함

<표 2-1> 항공대체연료에 대한 ICAO 비전(안)

구 분	단기목표 2025	중기목표 2040	ICAO 비전 2050
국제항공 SAF 사용량(Mt/년)	5	128	285
국제항공 유류 사용량 중 SAF 점유율	2%	32%	50%
SAF 사용으로 인한 국제항공 이산화탄소 감축 비율	0.95%	12%	33%

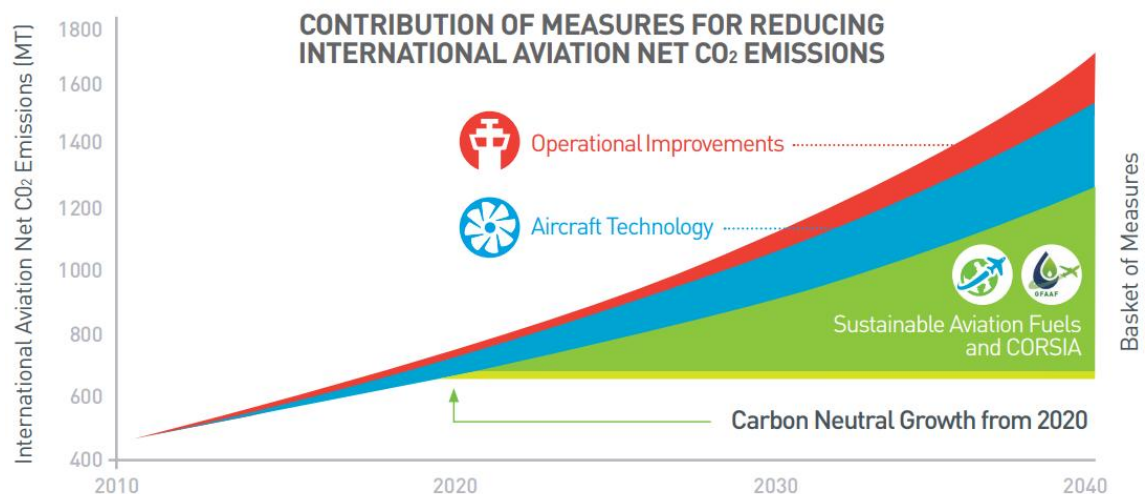
출처: CAAF WP 13(ICAO, 2017)

- IATA는 2020년부터 탄소중립성장(CNG 2020), 2009년부터 2020년까지 연료 효율 연평균 1.5% 향상, 2050년까지 2005년 대비 이산화탄소 배출량 50% 감축, 2025년까지 지속가능 연료 비행 탑승객 1십억 명 목표의 비전을 수립함
- 특히 CNG 2020 및 2050년 이산화탄소 배출 감축 목표 이행을 위해 IATA는 바이오연료 및 급진적 기술 개발을 중요 수단으로 명시하고 있음

<표 2-2> 이산화탄소 감축을 위한 IATA 비전

단기목표 2020	단기 목표 2025	IATA 비전 2050
탄소중립성장 (CNG 2020) 연평균 연료 효율 1.5% 향상	2025년까지 지속가능연료 비행 탑승객 1십억명	2005년 대비 이산화탄소 배출량 50% 감축

출처: Resolution on the Commercial Deployment of Sustainable Alternative Fuel for Aviation (73rd IATA Annual General Meeting)



<그림 2-1> ICAO의 Basket of Measures

출처: ICAO CORSIA 브로셔

- 또한, 중국, 멕시코, 프랑스, 뉴질랜드, 미국, 일본, 영국, 네덜란드, 호주, 독일, 싱가포르 등의 국적항공사들을 포함한 전 세계 주요 항공사들은 지속가능한 바이오항공유의 개발과 상용화를 촉진하기 위하여 자발적 참여 선언을 통해 SAFUG(Sustainable Aviation Fuel User Group)라는 국제 파트너십을 형성하여 바이오항공유 관련 기술 및 정책 정보를 공유하고 있음 (우리나라 가입 국적항공사 없음)

나. 지역별 정책 동향

(1) EU: RED(Renewable Energy Directive 2009/28/EC) 및 RED II

- 현재 RED에 대한 개정안 RED II가 2016년 11월 집행위원회(European Commission)에 의해 제안된 이후 2017년 12월 이사회(European Council)에 의해 채택되었고, 유럽 의회(European Parliament)와 5번에 걸친 합의 끝에 2018년 6월 최종합의안이 나온 상태임
- Trilogue의 결과인 최종합의안은 2018년 10월 유럽의회에서 투표를 거쳐 최종적으로 이사의 승인을 거치면 2019년 이후 개정안이 발효될 예정
- RED II는 지속가능성 등을 보다 신중하게 고려했던 RED(1차)에 비해 바이오항공유를 포함한 Advanced Biofuel에 대한 에너지 사용량 가중치(multiplier) 및 온실가스 감축량에 대한 인정 범위를 구체적으로 명시함
- 예) 신재생에너지 에너지 사용량 산정시 바이오항공유의 경우 에너지 함량에 1.2의 multiplier를 적용
- 예) 특정 원료를 사용한 Advanced biofuel(2세대, 3세대) 생산 시 에너지 함량에 2배의 가중치 적용 (대상 원료: 미세조류, 도시폐기물, 음식물쓰레기, 폐식용유, 우지 등)
- 예) 2021년 1월부터 온실가스 감축량 산정시 비생물학적 기원(non-biological origin)로부터 생산된 재생가능 수송연료의 경우 최소 70% 적용

<표 2-3> EU Renewable Energy Directive 1차 및 2차 수송부문 바이오연료 관련 주요 내용

Renewable Energy Directive 2009/28/EC
◆ 2020년 신재생에너지 목표 20% ◆ 2020년 수송부문 신재생에너지 목표 10% ◆ 항공부문 바이오연료의 기술 개발에 관해 계속적 검토 및 보고 ◆ Advanced Biofuel의 경우 지속가능성, 간접적 영향을 신중하게 검토
Renewable Energy Directive II (최종합의안) ⁴⁾
◆ 2030년 신재생에너지 목표 32%(2023년 이전 상향 조정), ◆ 2030년 수송부문 신재생에너지 목표 14%(의무혼합, 부문별 multiplier 적용) ◆ 팜오일 등 ILUC 고위험 연료 2019년에 counting 동결, 2023~2030년까지 단계적으로 Phase-out ◆ EU 내 바이오에탄올 등 1세대 바이오연료 생산량 2020년 수준(최대 7%)에서 동결 ◆ 산림부산물 등 비식용 원료 활용 Advanced Biofuel 목표 0.2%(2022), 1%(2025) 3.5%(2030)

출처: European Council, 2018 (<http://www.consilium.europa.eu>)

4) 개정을 위한 5차 EU Trilogue 합의 결과, EU ambassador(Council of the EU)의 승인 완료(2018년 6월)

(2) 독일: 수송 및 연료 전략(Mobility and Fuels Strategy, MFS)

- 독일 정부는 2010년 Energy Concept을 통해 국가 수송 부문 에너지 소비량 감축 목표를 2005년 대비 2020년까지 10%, 2050년까지 40% 감축으로 설정하였고, 독일 교통부(Federal Ministry of Transport)는 이를 실현하기 위해 2013년 수송 및 연료 전략(Mobility and Fuels Strategy, MFS)을 수립함
- MFS에서 독일 교통부는 항공부문에서의 항공 대체연료(바이오항공유)에 대한 중요성을 명시하였고, 항공부문 이해관계자들이 자발적으로 결성한 이니셔티브인 AIREG(Aviation Initiative for Renewable Energy in Germany)이 수립한 항공대체연료를 위한 국가 개발 계획(National Development Plan for Alternative Aviation Fuel)을 MFS에 반영하기 위해 2015년 대규모 스케일의 바이오 리파이너리 건설에 대한 사전 타당성 연구를 시작함

(3) 영국: RTFO(Renewable Transport Fuel Obligation) 제도

- RTFO(Renewable Transport Fuel Obligation) 제도는 미국 RFS제도와 유사한 수송부문 신재생에너지 의무연료혼합제도로써 450,000 리터 이상의 수송 연료 공급자(바이오 연료 포함)에 대해서 공급 연료의 일정 퍼센트 이상을 재생가능 또는 지속가능 연료(바이오연료)로 공급하는 의무를 규정하며, 공급한 바이오연료만큼 RTFC를 부여하고 남거나 모자라는 RTFC에 대해서는 제도 참여자들 간 매매를 허용함
- 2017년 9월 영국은 기존의 RTFO 제도를 개정하면서 “2018년 4월 15일부터는 항공부문에서 사용되는 지속가능한 항공연료에 대해서도 인센티브를 주도록” 바이오항공유 사용에 대한 인센티브를 포함하였고, 지속가능성을 인증 받은 바이오항공유에 대해 리터당 1 RTFC(Renewable Transport Fuel Certificates)를, 폐기물이나 부산물(waste, residues) 원료의 바이오항공유는 2 RTFC 부여하도록 결정함
- British Airways는 바이오항공유에 대한 RTFO 인센티브 정책 변화에 따라 2016년 실패로 끝난 GreenSky⁵⁾ 프로젝트에 이어 다시 2017년 Velocys사와 실증 플랜트 건설을 위한 타당성 평가에 착수함

(4) 미국: Renewable Fuel Standard Program (RFS2)

- 2005년 Energy Policy Act에 의해 처음 시작된 Renewable Fuel Standard(RFS) 제도는 2007년 Energy Independence and Security Act(EISA)에 의해 크게 확장되면서 휘발유 및 경유의 바이오연료 의무혼합율을 지정하는 것뿐만 아니라 종류별 바이오연료 생산

5) 2010년 미국 Solena사와 영국 British Airways가 장기 연료공급계약을 통해 Essex에 위치한 생신시설에서 도시 폐기물을 이용한 연간 약 16백만 갤런의 바이오항공유를 BA의 항공편에 활용하도록 계약한 실증 프로젝트

목표를 설정함

- RFS2 제도에서 휘발유 및 경유의 생산 및 수입자들은 의무혼합에 대한 증빙을 Renewable ID Numbers(RINs)라는 크레딧을 통해 하는데, 항공유는 비록 바이오연료 의무혼합 대상이 아니지만 바이오항공유에 대한 RIN을 발행받을 수 있도록 하여 바이오항공유 생산자가 RIN의 판매를 통해 수익을 얻을 수 있도록 인센티브를 제공하고 있음

〈표 2-4〉 국내·외 바이오항공유 활용 인센티브 정책 비교

국가	관련 제도/법	시행년도	인센티브 내용	효과
노르웨이	Fuel CO2 Tax	1999	바이오항공유(국내선 비행)에 대한 CO2 세금은 면제	바이오항공유 활용 항공사들의 연료비 절감
미국	RFS2 제도	2010	바이오항공유 공급자(수입자)에 대해 미국 RFS에서 사용가능한 증서(RIN) 발행	바이오항공유 공급자의 RIN 판매 수익 증가
영국	RTFO 제도	2018 (개정)	지속가능 바이오항공유에 리터당 1 RTFC, 폐기물/부산물 원료는 2 RTFC 부여	바이오항공유 공급자의 RTFC 판매 수익 증가
유럽	RED II 법	2019/2020	신재생에너지 소비량 산정시 바이오항공유 에너지함량에 1.2의 multiplier 적용	바이오항공유 사용 실적에 대한 가중치 부여

출처: Renewable Transport Fuel Obligation Guidance Part One Process Guidance (영국 Department for Transport, 2018); Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council on the promotion of the use of energy from renewable sources (유럽 이사회, 2018); IEA/GAFT Workshop-Aviation Biofuels through Biomass Gasification (Avinor, 2016)

〈표 2-5〉 국가별 지속가능 바이오항공유(SAF) 활용 목표

국가/지역	기관/이니셔티브	목표	목표년도
네덜란드	Bioport Holland	1%	2015
인도네시아	정부	2%	2016
미국	FAA	5%	2018
EU	EC(Biofuels Flightpath)	3-4%	2020
북유럽	NISA	3-4%	2020
독일	AIREG	10%	2025
이스라엘	FCI	20%	2025
EU	EC(Transport White Paper)	40%	2050
호주	AISAF	50%	2050

출처: Sustainable Aviation Fuel Roadmap(IATA, 2015)

다. 바이오항공유 관련 정부지원 사업

- 미국, 캐나다 독일 등 항공 선진국에서는 부처, 정부기관 주도로 바이오항공유 활용 지원 및 시장 형성을 위한 다방면 지원 사업을 실시하고 있음
- 특히 미국은 관련 기관 포함 범부처 사업을 가장 활발히 하고 있으며, 캐나다의 경우 교통부의 주도로 다양한 연구개발 및 지원 사업이 이루어지고 있음
- 우리나라의 경우 과학기술정보통신부, 산업통상자원부 주도 생산관련 R&D 투자를 제외하고 바이오항공유의 상용화를 위한 기타 지원 사업은 하고 있지 않음

<표 2-6> 바이오항공유 관련 정부 지원 사업 내용 비교

국가	수단	내용/주체
미국	이니셔티브 주도	CAAFI(Commercial Aviation Alternative Fuels Initiative) 공공(USG)-민간 파트너십 형태
	연구개발 및 생산을 위한 다부처 투자	관련 연구개발 과제 투자 (USDA, DOC, DOE, DOD, EPA, FAA, NASA, NSF)
	범부처 협력 사업	Supply Chain 및 생산 인프라 구축을 위한 “Farm to Fly 2.0” (USDA, DOE, FAA)
	바이오항공유 생산 플랜트 투자	대통령령으로 3개의 바이오 리파이너리 건설 및 운영에 투자 (US Navy, DOE, USDA)
	바이오항공유 ASTM 등록 지원	바이오항공유 시험 및 인증과정 지원(DOD)
	바이오항공유 배출가스의 대기질 영향 조사	협력 연구 사업 (NASA, FAA, US Air Force)
캐나다	관련 연구개발 투자	GARDN (Green Aviation Research & Development Network) PARTNER (Partnership for AiR Transportation Noise and Emissions Reduction) 정부주도 Clean Transportation Initiative 지원을 받아 관련 연구과제 지원(National Research Council)
	바이오항공유 연구 및 실증 지원	BioFuelNet 네트워크 구축(교통부) 바이오항공유 실증 프로젝트(Agrisoma, MARA)에 12백만달러 지원(지속가능개발기술부)
	국제 협력	정보교환(US FAA, 캐나다 교통부) 미국 상용 항공 대체연료 이니셔티브 참여(교통부) ICAO Sustainable Fuels Task Force 참여(교통부) ASCENT 프로그램 설립 지원 (교통부, US FAA) 연구개발 (교통부, NASA)
독일	이니셔티브 지원	AIREG (Aviation Initiative for Renewable Energy in Germany)
한국	생산 기술개발을 위한 R&D 투자	과학기술정보통신부, 산업통상자원부 주도 원천기술개발 R&D사업 지원

출처: ICAO, 2018 (<https://www.icao.int>) 국가별 Action Plan

2. 국내 정책동향

- 국내 항공분야 온실가스는 항공 산업의 특성상 국내선과 국제선의 온실가스 배출량은 각각 다른 제도의 규제를 받고 있음
- 국내선 운항에 따른 온실가스 배출량의 경우 2015년부터 실시된 온실가스 배출권거래 제도를 통해 할당된 허용배출량을 준수하도록 규제하고 있으며, 배출량 통계가 국가 온실가스 인벤토리에 매년 보고되고 있음
- 국제선 운항에 따른 온실가스 배출량의 경우 현재 EU 노선을 운항하는 항공사는 EU ETS Aviation(유럽 항공부문 배출권거래제)에 추가적으로 참여할 의무가 있으며, 2021년부터 2035년까지 시행되는 CORSIA(국제항공탄소감축상쇄제도)에는 국제선을 운항하는 모든 국적항공사가 참여하게 됨



<그림 2-2> 국내외 항공부문의 온실가스 정책

- 국내외 탄소감축제도의 성공적 이행과 장기적인 관점에서의 항공 부문 기후변화 대응 및 경쟁력 강화를 위해서는 이 같은 시장 기반 방법 이외에도 대체연료를 활용한 온실가스 감축이 요구되는 상황임
- 하지만 우리나라는 2015년 ICAO에 제출한 ‘제2차 국제항공 온실가스 감축 국가이행 계획’ 중 국제항공 부문의 온실가스 감축을 위한 주요 수단에서 바이오항공유에 대한 내용은 포함시키지 않음
- 더불어 2015년부터 시행된 신재생에너지 연료혼합의무제도(RFS)를 통해 규정상 의무적으로 혼합되고 있는 자동차용 바이오디젤과는 대조적으로 바이오항공유 이용을 위한 인센티브나 정부의 지원 제도가 국내에 별도로 마련되어 있지 않음

<표 2-7> 국내 신재생에너지 연료 혼합의무

해당 연도	자동차용 경유에 대한 바이오디젤 혼합의무비율 (단위: 부피%)
2015	2.5
2016	2.5
2017	2.5
2018	3.0
2019	3.0
2020	3.0

출처: 신에너지 및 재생에너지 개발, 이용, 보급촉진법

제2절 국내외 시장현황 및 전망

- 바이오항공유 관련 시장동향의 경우 기술분류체계 기술별로 제시되어있는 자료가 부재하여 바이오항공유 사용과 관련한 국내외 시장 현황 및 전망에 대해 바이오항공유 공급 여건, 바이오항공유 수요 현황 및 전망, 그리고 바이오항공유 가격 전망으로 분류하여 각각 국외와 국내 사례를 비교·분석하였음

1. 국외 시장현황 및 전망

가. 바이오항공유 공급여건

- 전 세계적으로 가동 중 혹은 가동 예정인 바이오연료 생산설비가 늘어나고 있는 추세이며, 특히 바이오디젤에 대한 RFS 제도가 있는 북미와 유럽을 중심으로 바이오 항공유 생산 가능 시설이 확대되고 있는 추세임
- 그 중에서도 2015년 9월 가동 시설 기준으로 스웨덴, 네덜란드, 싱가포르가 가장 많은 생산 용량을 가지고 있고, 개발 계획 중인 신설 시설을 포함하면 향후 미국이 가장 많은 생산 용량을 구축할 것으로 예상됨
- 현재 가동 중인 제조 시설의 경우 대부분이 바이오디젤 생산을 위한 생산시설인 동시에 바이오항공유 생산 가능 시설로 분류되고 있고, AltAir(LA)에 위치한 제조시설만이 바이오항공유 전용 제조 시설을 보유하고 있는 것으로 알려짐
- 연료제조사별로 보았을 때 유럽은 Neste Oil(핀란드), Preem(스웨덴), Total(프랑스), ENI(이탈리아) 등과 같이 기존의 주요 정유사들을 주축으로 바이오항공유 및 바이오연료 생산 설비를 구축하고 있고, 미주지역에서는 Fulcrum(미국), Gevo(미국), SG Preston(미국), Red Rock(미국) 등 바이오 대체연료 생산 전문 업체들이 주요 생산자가 되고 있음
- 또한 SkyNRG(네덜란드)와 같이 바이오항공유의 구매부터 인증, 유통, 급유까지 공급체계 전반을 지원하는 중간자적 공급자도 생겨났으며, 이들은 항공사, 엔진제작사, 공항공사 및 연료제조사와의 협력을 지원하며 전 세계적으로 각종 이니셔티브를 지원하고 있음

〈표 2-8〉 국가별 바이오항공유 생산 가능 용량 현황

국가	연간 생산용량 (MMgal/yr) 및 연료제조사			비중 (%)
	가동 중	가동 예정	합계	
스웨덴	271(Preem)	–	271	13.5
영국	24(Solena)	17(Solena)	41	2.0
핀란드	161(Neste Oil, UPM)	–	161	8.0
네덜란드	271(Neste Oil)	–	271	13.5
이탈리아	115(ENI)	–	115	5.7
프랑스	0	169(Total)	169	8.4
미국	233 (REG Synthetic Fuels, Diamond Green Diesel, Green Energy Products)	179 (AltAir, Fulcrum, Red Rock, SG Preston 등)	412	20.5
싱가포르	271(Neste Oil)	–	271	13.5
UAE	0	288(Petrixo)	288	14.3
브라질	13(Amyris)	–	13	0.6
총 계	2,012			100.0

데이터 출처: The Flight Paths for Biojet Fuel (미국에너지정보국, 2015)

〈표 2-9〉 공정 별 바이오항공유 생산 가능 시설 현황

공정	생산자	지역	상태	생산용량(tpa)
Hydro-processed Esters and Fatty Acids (HEFA)	Neste	Finland	가동중	38,000
			가동중	38,000
		Singapore	가동중	160,000
		Netherlands	가동중	160,000
	UOP	USA	가동중	2,000
	ENI	Italy	가동중	62,000
	Dynamic Fuels	USA	가동중	47,000
	Darling Int. and Valero	USA	공사중	90,000
	Alt Air	USA	공사중	56,000
	Emerald Biofuels	USA	–	53,000
			–	94,000

공정	생산자	지역	상태	생산용량(tpa)
Fischer-Tropsch (FT)	Haldor Topsoe	USA	가동중	350
	Syntroleum	China	가동중	1,400
	TRI	Canada	가동중	7,000
		USA	-	7,000
			-	13,000
	UPM	Finland	공사중	20,000
		France	-	37,000
	Red Rock Biofuels	USA	-	17,000
	Solena	UK	-	50,000
		Italy	-	50,000
		Australia	-	50,000
		Ireland	-	50,000
		India	-	150,000
		Turkey	-	50,000
		Germany	-	50,000
		Sweden	-	50,000
	Forest BTL	Finland	-	29,000
Alcohol-to-jet (ATJ)	Terrabon	USA	가동중	80
			-	800
	Fulcrum Biofuels	USA	가동중	실증
			-	5,000
	Swedish Biofuels	Europe	-	5,000
	LanzaTech	China	-	40,000
Direct sugars to hydrocarbons (DSHC)	Virent	USA	가동중	<10
	Solazymes	Galva/Iowa/US	가동중	50,000
	Amyris	Brazil	가동중	40,000
			-	40,000
	LS9	USA	가동중	700
			-	16,000
		Brazil	-	120,000
Hydrotreated depolymerized cellulosic jet (HDCJ)	Allenotech	USA	가동중	파일럿
	KiOR	USA	가동중	7,800
			-	23,000
	UOP	Hawaii	공사중	30
	BTG	Netherlands	-	3,500

출처: Sustainable Aviation Fuels Potential for the UK Aviation Industry (E4Tech, 2015)

나. 바이오항공유 수요 현황 및 전망

(1) 연료공급계약 현황(Off-Take Agreement)

- 우리나라의 경우 바이오항공유 생산업체가 부재하나 해외의 경우 현재 바이오항공유 유상운송을 실시하고 있는 항공사들은 생산자와 다년간의 off-take 계약을 통해 낮은 프리미엄에서 바이오항공유를 구매·활용하고 있으며, 바이오항공유 활용 농도를 많게는 50%, 적게는 3%까지 희석하여 사용하고 있음
- United, Cathay, Fedex, JetBlue 등 항공기 운영자가 개별적으로 바이오항공유를 활용하기 위해 off-take 계약을 하는 경우도 있지만, 노르웨이 Oslo 공항, 호주 Brisbane 공항, 캐나다 Toronto 공항, 스위스 Geneva 공항에서는 공항(공사)측에서 보다 많은 항공사들에게 바이오항공유를 공급할 수 있는 여건을 마련하기 위해 공항 내 바이오항공유 급유 체계 구축과 더불어 공급 계약을 체결하기도 함

<표 2-10> Off-take 계약 현황 (2017년 12월 기준)

항공사/공항	연료 공급사	공급량 (톤/년)	연료 생산 기술	계약년도	공급 시작년도	기간 (년)
United	AltAir	17,000	HEFA	2013	2016	3
Cathay	Fulcrum	100,000	FT/도시쓰레기	2014	2019	10
Fedex /Southwest	Red Rock	10,000	FT/산림 폐기물	2014	2017	8
United	Fulcrum	270,000+	FT/도시쓰레기	2015	2019	10
JetBlue	SG Preston	100,000	HEFA	2016	2019	10
Qantas	SG Preston	80,000	HEFA	2017	2020	10
Oslo Airport	Neste/Alt Air	250	HEFA	2016	2016	1
Brisbane Airport	GEVO	80	AtJ	2017	2018	2
Toronto Airport	AltAir	200	HEFA	2016	2017	1
Geneva Airport	TBD	TBD(1%)	TBD	2017	2018	5

출처: Fact Sheet Alternative Fuels (IATA, 2017)

(2) 국가/지역별 이니셔티브 현황

- 해외에서는 바이오항공유의 잠재적 시장 확대를 위한 정부 및 민간 차원의 자발적 노력이 이니셔티브의 형태로 이루어지고 있음
- 이니셔티브의 종류에는 크게 바이오항공유 원료 확보 및 생산 R&D 관련 사업(6건)과

바이오항공유의 보급(활용)을 위한 공급망 전반에 관한 사업(7건), 그리고 이해관계자 Action Group 네트워크 구축을 위한 사업(8건) 등이 있음

- 이니셔티브 재원은 민간에서 자발적으로 출자한 경우(33%), 정부가 부담한 경우(25%), 그리고 민간-정부 파트너십을 통해 조달되는 경우(43%)가 가장 많음
- 이니셔티브가 형성된 지역을 보았을 때 약 절반 이상은 유럽과 북미에서 시작된, 선진국 주도의 사업의 형태를 보임

<표 2-11> 전 세계 바이오항공유 관련 이니셔티브 현황 및 특징

특징	구분	건수	비율
펀딩 형태	민간	7	33%
	공공	5	24%
	민-공	9	43%
	합계	21	100%
이니셔티브 유형	보급(deployment)	7	33%
	R&D	6	29%
	이해관계자 Action Group	8	38%
	합계	21	100%
이니셔티브 지역	유럽/NATO	10	48%
	북미	4	19%
	중동	2	10%
	남미	2	10%
	아시아-태평양	1	5%
	아프리카	1	5%
	국제	1	5%
	합계	21	100%

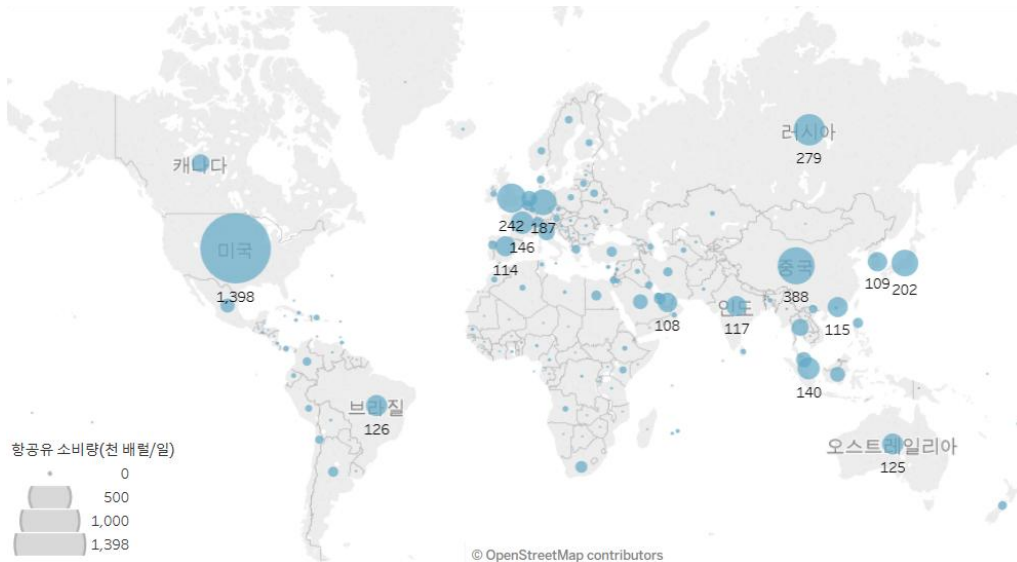
출처: ICAO 홈페이지(www.icao.int)

(3) 항공유 및 바이오항공유 수요 전망

- 전 세계 항공유 소비량은 하루 평균 약 5,380 천 배럴로 2010년 이후 계속해서 증가하고 있는 추세임
- 지역별로 항공유의 수요는 북미와 유럽, 그리고 동북아시아 지역에서 가장 많으며, 국가 별로 보았을 때 미국과 중국, 러시아, 영국, 일본, 독일 순으로 소비량이 높음 (우리나라는 14위로 하루 평균 약 109 천 배럴을 소비하고 있음)
- 국내 항공유 소비는 1980년대부터 계속해서 증가하는 추세를 보이고 있으며 같은 추세가 계속된다면 2024년에는 40,000 천 배럴을 초과할 것으로 예측됨
- 2008년 첫 바이오항공유 유상운송을 시작으로 2018년 현재까지 약 100,000편 이상의

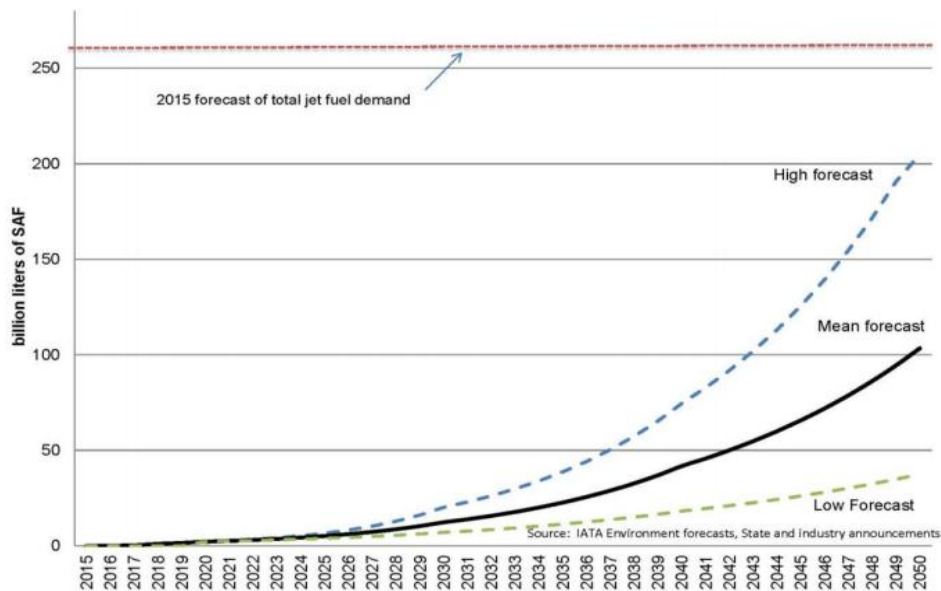
바이오항공유 유상 운행이 실시되었으며, 이 수치는 2020년 약 1,000,000편으로 증가할 것으로 예측되고 있음(IATA)

- 현재 약 5.5 십억 리터의 바이오항공유가 항공사에 의하여 공급 계약이 맺어진 상태이며, 현재까지 발표된 전 세계 항공사들의 SAF 활용계획을 바탕으로 보았을 때 ICAO는 향후 바이오항공유의 수요가 2050년 약 100 십억 리터, 긍정적인 시나리오에서는 약 200 십억 리터까지도 도달할 것으로 전망하고 있음



<그림 2-3> 지역별 항공유 소비 현황

데이터 출처: www.indexmundi.com (2018년 기준)

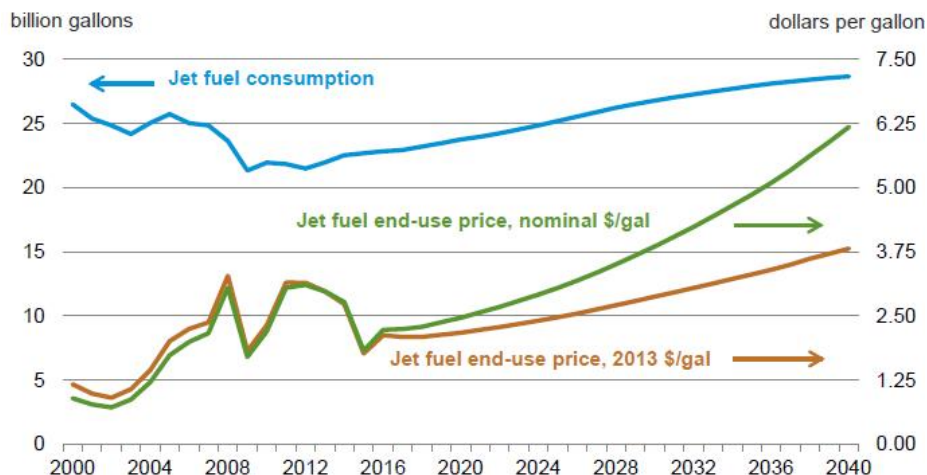


<그림 2-4> 전 세계 바이오항공유 수요 전망

출처: IATA Sustainable Aviation Fuel Roadmap (IATA, 2015)

다. 가격(Fuel price parity) 전망

- 바이오항공유의 가격은 현재 높은 프리미엄으로 인해 일반 제트유에 비해 평균 약 2~3배 높은 수준이고, 프리미엄은 연료 공급 계약 조건 등에 따라 상이함
- 바이오항공유의 최소 연료 판매 단가(Minimum Fuel Selling Price, MFSP)는 원료 및 생산기술 별로 상이하지만 그 중에서도 HEFA, HTL, Pyrolysis 기술로 생산되는 바이오항공유가 비교적 경제성이 높음(생산 지역에 따라 상이)
- 바이오항공유 생산 단가 구조를 보았을 때 상당 부분이 바이오원료(feedstock) 및 초기 시설 투자비용에서 발생하기 때문에 규모의 경제를 통한 원료비용 절감이나 수율 개선, 공정 간소화를 위한 생산 기술 개발이 모두 필요함
- ATAG은 향후 탄소배출권 수요의 확대에 따른 가격 증가와 제트유의 가격이 중장기적으로 증가할 경우 바이오항공유의 price parity를 달성할 수 있을 것으로 전망하고 있음
- 이와 더불어 현재 바이오항공유 원료 발굴 및 생산 공정 개선 등의 기술개발을 통하여 바이오항공유의 가격 경쟁력을 지속적으로 확보하기 위한 노력을 다양한 국가에서 진행 중에 있어 바이오항공유의 price parity를 달성 시기는 앞당겨질 수 있을 것으로 예상됨



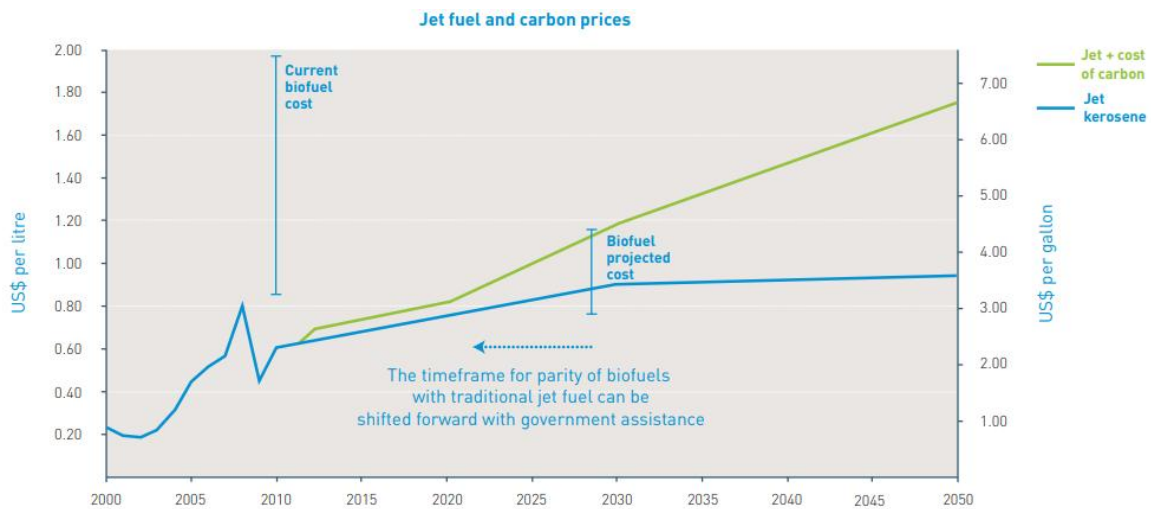
〈그림 2-5〉 미국 항공유 수요 및 가격 동향 및 전망

출처: The Flight Paths for Biojet Fuel (미국 에너지정보국, 2015)

<표 2-12> 바이오항공유 최소연료판매단가(MFSP) 및 항공유 가격 비교

구분	종류	원료	MFSP(USD/톤)	판매단가비(제트유기준)
바이오항공유	HEFA	폐식용유	1.518	1.9
	FT	산림 부산물/밀짚	2,024~2,980	2.5 ~ 3.7
	HTL	산림 부산물/밀짚	1,012~1,460	1.3 ~ 1.8
	Pyrolysis	산림 부산물/밀짚	1,460~2,080	1.8 ~ 2.6
	ATJ	산림 부산물/밀짚	2,700~3,935	3.4 ~ 4.9
	DSHC	산림 부산물/밀짚	5,397~7,196	6.8 ~ 9.0
일반항공유	JET A/A-1	석유	798	1

데이터 출처: IRENA, 2017; 일반항공유 2018년 6월 기준가(2,684원/gal) 적용



<그림 2-6> 탄소 가격을 고려한 바이오항공유의 가격 경쟁력 전망

출처: Powering the Future of Flight (ATAG, 2012)

2. 국내 시장현황 및 전망

가. 바이오항공유 공급여건

- 현재 국내에서는 항공유 및 석유제품을 공급하는 주요 정유사(현대오일뱅크, S-Oil, SK 에너지, GS 칼텍스 등) 중 어떤 곳에서도 바이오항공유를 생산하거나 취급하고 있지 않음
- 반면, 차량용 바이오디젤은 국내 의무혼합제도(RFS) 제도의 실행으로 인한 시장 형성의 결과로 SK 케미칼, JC 케미칼, 애경유화, 단석산업, GS바이오 등 국내 바이오디젤 생산업체(약 9개사)가 4대 정유사에 공급하고 있음
- 하지만 한때 120만 kl까지 증가했던 바이오디젤 생산용량은 현재 약 85만kl로 감소한 실정이며, 이중에서도 실제 바이오 생산량은 약 49만 kl로써 총 생산 용량의 절반 정

도만 활용하고 있는 실정임

- 국내 RFS의 의무혼합율이 2015년 2.5%에서 2018년 3%로 인상되었음에도 불구하고 아직까지 업계 이해관계자의 반발로 의무혼합율 5%를 웃도는 해외 주요국가와 달리 바이오디젤 추가 확대는 어려움을 겪고 있음
- 국내 바이오디젤 생산업체: SK 케미칼, JC 케미칼, 애경유화, 단석산업, GS바이오, 엠에너지, 이맥바이오, SMPOT 등

〈표 2-13〉 국내 바이오디젤 보급용량 및 생산량 현황

	2010	2011	2012	2013	2014	2015
보급용량 (kl/년)	1,104,400	1,204,400	1,204,400	1,177,468	887,087	854,687
생산량 (kl/년)	394,279	317,330	397,697	407,825	428,397	489,839
설비가동율 (%)	35.7	26.3	33.0	34.6	48.3	57.3

데이터 출처: 2015년 신재생에너지 보급통계 (한국에너지공단, 2016)

나. 바이오항공유 수요 현황 및 전망

(1) 연료공급계약 현황(Off-Take Agreement)

- 현재까지 국내에서는 해외 항공사와 같이 바이오항공유 장기 공급 계약을 맺은 사례가 전무하며 향후 바이오항공유 공급 계획에 대한 논의도 이루어진 바 없음

(2) 국내 이니셔티브 현황

- 우리나라의 경우 바이오항공유와 관련된 이니셔티브는 구성된 바 없으며, 연구사업을 위한 사업단 (미래창조과학부, 차세대 바이오매스 연구단) 내, 바이오항공유 연구팀이 있음
- 바이오항공유 급유 실적은 2017년 대한항공의 “Fly Green Day” 행사 참여를 통해 시카고 O’ Hare 공항에서 Gevo 社의 바이오항공유를 급유하여 인천까지 운항한 기록이 유일하며 국내 급유를 통한 바이오항공유 활용 비행기록 및 관련 이니셔티브 사례가 부재함

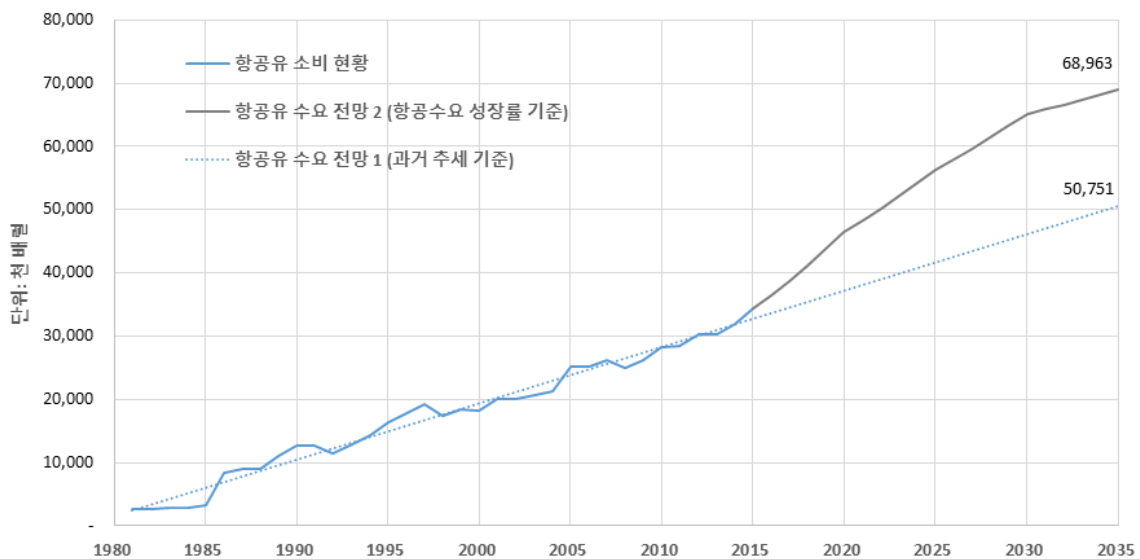
<표 2-14> 미국 <Fly Green Day> 바이오항공유 비행

공항	Chicago O'Hare 공항
일시	2017년 11월 8일
연료 종류	Bio-isobutanol 활용 Alcohol to Jet(ATJ)
연료 제조사	Gevo
연료 혼합, 공급사	Air BP
급유 방법	공항 하이드런트 시스템
참여 항공사	Lufthansa, United Airlines, Etihad, Cathay Pacific, Emirates, Japan Airlines, Korean Air, Atlas Air (8개 항공사), FedEx(화물기)

출처: Biofuels Digest, 2017 (<http://www.biofuelsdigest.com>)

(3) 항공유 및 바이오항공유 수요전망

- 국내 과거 항공유 소비 추세 기준(수요 전망 1)과 항공 부문 여객, 화물 등 항공 수요 성장률을 반영(수요 전망 2)하여 분석한 결과에 따르면 국내 총 항공유 수요는 2035년 약 50,750 천 배럴에서 68,960 천 배럴까지 증가할 것으로 예상됨



<그림 2-7> 국내 항공유 수요 전망 (2015-2035)

데이터 출처: 2016 에너지통계연보(에너지경제연구원, 2017), 제5차 공항개발 중장기 종합계획 수립 연구(한국교통연구원, 2015)

- 항공유 수요 전망 2에 사용된 분기별 연평균 항공유 성장률은 다음과 같이 여객, 화물, 운항횟수의 국내 및 국제선 분기별 연평균 성장률의 평균값을 적용함 (각 인자별 항공유 소비량과의 상관관계 확인)

<표 2-15> 분기별 연평균 성장률

분기	여객(만명)		화물(천톤)		운항횟수(회)		항공유 수요
	국내	국제	국내	국제	국내	국제	적용 평균
2016~2020	4.8	6.6	7.1	6.1	6.7	6.1	6.2
2021~2025	3.4	4.1	4.5	3.5	3.9	3.9	3.9
2026~2030	1.7	3.8	3.2	3.4	1.6	4.0	3.0
2031~2035	(0.0)	2.4	(0.0)	2.3	0.0	2.4	1.2

데이터 출처: 제5차 공항개발 중장기 종합계획 수립연구 (한국교통연구원, 2015)

- 위 항공유 수요전망에 두 가지 시나리오(국내 RFS 도입, 국제 ICAO 비전)를 적용, 국내 바이오항공유 수요전망을 예측하면 2035년 최소 1,520~2,070 천 배럴, ICAO 비전을 적용할 경우 약 11,170~15,170 천 배럴의 바이오 항공유 수요가 가능함

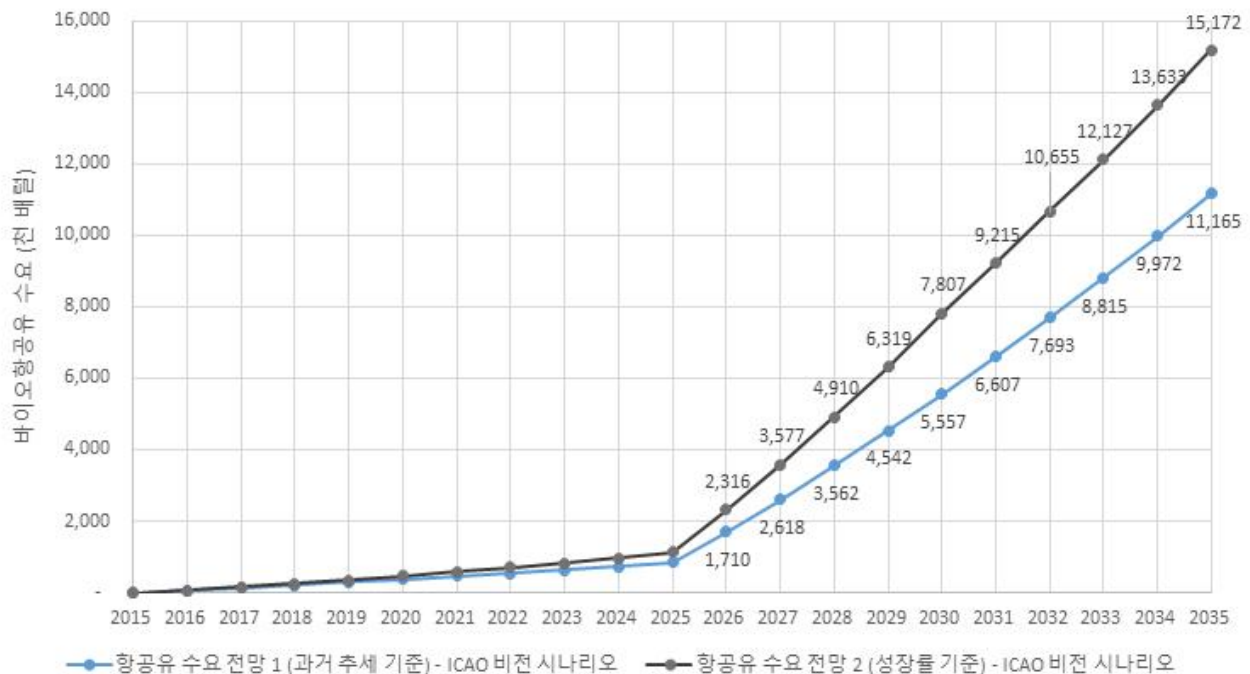
<표 2-16> 시나리오 별 국내 연간 바이오항공유 수요전망

(단위: 천 배럴)

바이오항공유 시나리오	수요 전망 1(과거 추세 기준)					수요 전망 2(항공수요 성장률 기준)				
	국내 RFS(BD) 시나리오		ICAO 비전 시나리오			국내 RFS 시나리오		ICAO 비전 시나리오		
목표년도	2025	2030	2025	2040	2050	2025	2030	2025	2040	2050
활용비율(%)	2.5	3.0	2.0	32.0	50.0	2.5	3.0	2.0	32.0	50.0
2015	-		-			-		-		
2016	-		68			-		73		
2017	-		139			-		155		
2018	-		214			-		247		
2019	-		292			-		350		
2020	-		374			-		465		
2021	192		460			241		580		
2022	392		549			502		702		
2023	601		641			782		834		
2024	819		737			1,083		975		
2025	1,047		837			1,406		1,125		
2026	1,069		1,710			1,448		2,316		
2027	1,091		2,618			1,490		3,577		
2028	1,113		3,562			1,534		4,910		
2029	1,135		4,542			1,580		6,319		
2030	1,389		5,557			1,952		7,807		
2031	1,416		6,607			1,975		9,215		
2032	1,443		7,693			1,998		10,655		
2033	1,469		8,815			2,021		12,127		
2034	1,496		9,972			2,045		13,633		
2035	1,523		11,165			2,069		15,172		



<그림 2-8> BD RFS 유사제도 도입 시 국내 바이오항공유 수요 전망



<그림 2-9> ICAO 비전 적용 시 국내 바이오항공유 수요 전망

<표 2-17> 국내 바이오항공유 수요 및 바이오디젤 생산용량 분석 결과

구분	단위	바이오디젤	→	국내 RFS 시나리오	ICAO 비전 시나리오
국내 보급용량	(kl/년)	854,687		국내 잉여 BD 생산 시설 활용 가능	2025/2026년 이후 추가 설비 확보 필요
	(천 bbl/년)	5,376			
국내 생산량	(kl/년)	489,839			
	(천 bbl/년)	3,081			
국내 잉여 생산 용량	(kl/년)	364,848			
	(천 bbl/년)	2,295			

데이터 출처: 2015년 신재생에너지 보급통계 (한국에너지공단, 2016)

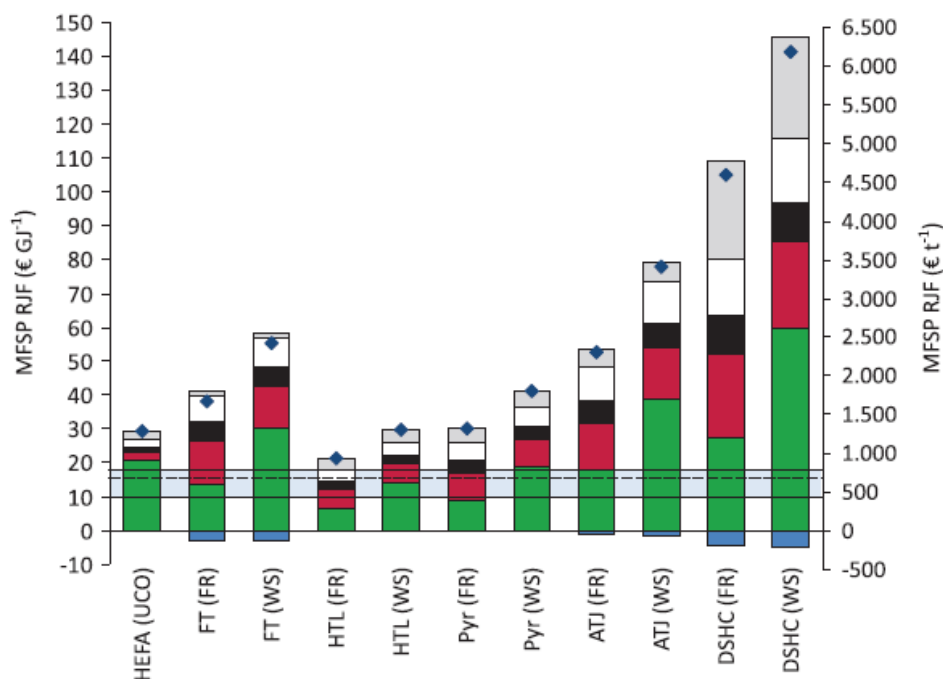
- 현재 가장 경제성이 높고 활용이 많이 되고 있는 HEFA 유형의 바이오항공유가격(평균 1,500 USD/톤)을 적용하였을 때 향후 2035년 국내 바이오항공유 시장의 규모는 최소 3억 달러~4억 달러(국내 RFS 시나리오)에서 최대 21억~29억 달러(ICAO 비전 시나리오)가 될 것으로 전망됨
- 현재까지의 항공유 소비량 추세가 계속된다면 2050년에는 바이오항공유의 수요가 연간 약 2,000 천 배럴(3%활용, 국내 RFS 시나리오)에서 32,000 천 배럴(50%, ICAO 비전 시나리오)이 되어 시장 규모가 최소 약 4억 달러에서 최대 약 60억 달러까지 성장 가능함

〈표 2-18〉 국내 바이오항공유 시장 규모 전망

연도	구분	시나리오 1	시나리오 2	시나리오 3	시나리오 4
2035년	수요(천 배럴)	1,523	11,165	2,069	15,172
	시장규모(천 USD)	290,500	2,130,300	394,700	2,894,800
2050년	수요(천 배럴)	1,923	32,043	—	—
	시장규모(천 USD)	366,800	6,113,800	—	—
*시나리오 1 = 항공유 수요 전망 1 (과거 추세 기준) + 바이오항공유 국내 RFS 제도 적용 *시나리오 2 = 항공유 수요 전망 1 (과거 추세 기준) + 바이오항공유 CAO 비전 적용 *시나리오 3 = 항공유 수요 전망 2 (항공수요 성장률 기준) + 바이오항공유 국내 RFS 제도 적용 *시나리오 4 = 항공유 수요 전망 2 (항공수요 성장률 기준) + 바이오항공유 ICAO 비전 적용 *현재 시장(바이오항공유) 가치 = 1,500 USD/톤 적용 (HEFA 바이오항공유 평균 최소 연료 판매 단가)					

다. 가격(Fuel price parity) 전망

- 아직까지 국내에서는 바이오항공유가 상용화 및 대량생산이 이루어진 적이 없기 때문에 국산 바이오항공유 판매 단가 정보가 존재하지 않음
- 하지만 국내 여건을 고려했을 때 여러 생산기술 중에서도 HEFA 공정과 같은 유지계(OTJ) 수소화 기술이 가장 경제성이 뛰어난 것으로 평가받고 있음
- 한편, HEFA 공정의 최저연료판매단가 (MFSP) 구조에서 원료비용이 약 70% 정도를 차지하기 때문에 국산 바이오항공유 단가도 현재 상용화되고 있는 해외 제품 가격 범위에서 큰 차이가 없을 것으로 예상됨



Legend

- ◆ MFSP
- Utilities & other raw materials
- Other OPEX (incl. corporate taxes)
- Maintenance and repairs
- CAPEX
- Feedstock
- Non-hydrocarbon co-products

Top ten percentile of the fossil jet fuel in the period 2005-2014 (17.6 € GJ⁻¹)

Average fossil jet fuel price 2014 (15.1 € GJ⁻¹)

Bottom ten percentile of the fossil jet fuel in the period 2005-2014 (9.4 € GJ⁻¹)

Abbreviations

HEFA = Hydroprocessed Esters and Fatty Acids
 FT = Fischer-Tropsch
 HTL = Hydrothermal Liquefaction
 Pyr = Pyrolysis
 ATJ = Alcohol-to-Jet
 DSHC = Direct Sugars to Hydrocarbons
 UCO = Used cooking oil
 FR = Forestry residues
 WS = Wheat straw

<그림 2-10> 바이오항공유 생산기술별 최저판매단가(MFSP) 비용 구조

출처: The feasibility of short-term production strategies for renewable jet fuels – a comprehensive techno-economic comparison (de Jong 외, 2015)

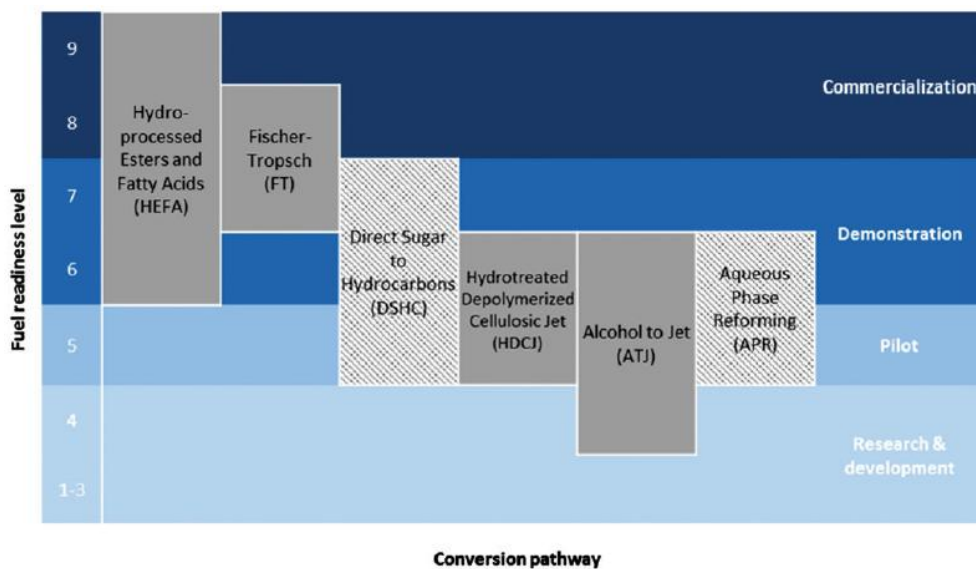
제3장 국내외 기술 동향 및 분석

제3장 국내외 기술동향 및 분석

제1절 국외 기술동향

1. 생산기술

- 현재 국내외에서 개발 및 상용화되고 있는 바이오항공유는 원료 별 생산 공정의 다양하며 서로 다른 기술개발성숙도를 가지고 있음
- Fuel Readiness Level(FRL)을 볼 때 기술성숙도가 가장 높은 바이오항공유 공정은 유지를 활용한 OTJ(Oil-to-Jet)의 수소처리 에스테르 및 지방산(HEFA, Hydro-processed Esters and Fatty Acids)이며 기술완성이 거의 이루어져 이미 외국의 UOP, AltAir, Neste Oil사 등에서 상용화함
- 바이오매스의 가스화를 통한 FT(Fischer-Tropsch)와 당질계 발효 및 촉매전환 공정의 DSHC(Direct Sugar to Hydrocarbons), 그리고 알코올 전환공정의 ATJ(Alcohol-to-Jet)도 잇따라 활발하게 연구개발 되고 있지만 실질적으로 활용 측면에서 경제성이 HEFA/HRJ(Hydrotrated Renewable Jet)보다 낮음



<그림 3-1> 공정 기술 별 바이오항공유의 현재 Fuel Readiness Level(FRL)

출처: Production pathways for renewable jet fuel: a review of commercialization status and future prospects (Mawhood 외, 2015)

<표 3-1> 바이오항공유 생산기술별 연구개발 및 상용화 현황

구분	생산기술	제조사	항공사/엔진 제작사
Alcohol-to-Jet (ATJ)	Ethanol-to-Jet	Terrabon/MixAlco; Lanza Tech/Swedish Biofuels ; Coskata	Boeing, Virgin Atlantic
	Butanol-to-Jet	Gevo; Byogy; Albemarle/Cobalt; Solazyme	Continental Airlines ; United Airlines
Oil-to-Jet (OTJ)	Hydroprocessed Renewable Jet (HRJ)	UOP; SG Biofuels; AltAir Fuels; Agrisoma Biosciences; Neste Oil; PetroChina; Sapphire Energy, Syntroleum/Tyson Food; PEMEX ; ASA	Boeing, Lufthansa, Virgin Atlantic, Virgin Blue, GE Aviation, Air New Zealand, RollsRoyce, Continental, CFM, JAL, Airbus, KLM, Pratt & Whitney, Air China, TAM Airlines, Jet Blue Airways, IAE, United Airlines, Air France, Finnair, Air Mexico, Thomson Airways, Porter Airlines, Alaska Airlines, Horizon Air, Etihad Airways, Romanian Air, Bombardier
	Catalytic Hydrothermolysis (CH)	Applied Research Assoc., Aemetis/Chevron Lummus Global	Rolls-Royce, Pratt & Whitney
	Hydrotreated Depolymerized Cellulosic Jet (Pyrolysis or HDCJ)	Kior/Hunt Refining/Petrotech, Envergent, GTI, Dynamotive	-
Gas-to-Jet (GTJ)	FT Synthesis	Syntroleum; SynFuels; Rentech; Shell; Solena	Qatar Airways, United Airlines, Airbus, British Airways
	Gas Fermentation	Coskata; INEOS Bio/Lanza Tech; Swedish Biofuels	Virgin Atlantic
Sugar-to-Jet (STJ)	Catalytic Upgrading of Sugar to Jet	Virent/Shell, Virdia	-
	Direct Sugar Biological to Hydrocarbons	Amyris/Total, Solazyme, LS9	Boeing; Embraer; Azul Airlines; GE; Trip Airlines

출처: Review of Biojet Fuel Conversion Technologies (NREL, 2016)

<표 3-2> 바이오항공유 생산 R&D 관련 해외 이니셔티브 현황

지역	이니셔티브 개요	
EU	사업명	Alfa-Bird (Alternative Fuels and Biofuels in Aviation) (2008-2012)
	재원	European Commission 7 th Framework Program (6.8 million EUR)
	참여기관	European Virtual Institute for Integrated Risk Management (EU-VRi), Airbus, Avio, CNRS, Technologica, Dassault Aviation, DLR, INERIS, LISBP, IFPEN, Lesaffre, MTU, Onera, Rolls-Royce, Sasol, Shell, Snecma, University of Sheffield, Unikarl, Gratz Technical University, University of Toronto, INRA
	내용	기술성, 경제성, 전주기 환경성 평가를 통한 적합 원료 및 기술 선정, 선정된 연료에 대한 fit-for-purpose 시험(연소, 재료 호환성, 안전성 평가 등) 진행
	사업명	CORE-JetFuel (2013-2016)
	재원	European Commission 7 th Framework Program (0.3 million EUR)
	참여기관	Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V., Bauhaus Luftfahrt, Servicios y Estudios para la Navegacion Aerea y la Seguridad Aeronautica, IFP Energies Nouvelles, WIP Renewable Energy, EADS Innovation Works
	내용	원료, 생산 공정, 경제성 평가, 인증, 보급, 정책 등 공급망 전체에 대한 EU의 연구개발 현황 파악 및 정보공유를 위한 각종 이니셔티브 연결, 네트워크 조성
독일	사업명	BurnFAIR Project(2011)
	재원	German Ministry of Economics and Technology (2.5million EUR)
	참여기관	Lufthansa, DLR, Technical University of Hamburg-Harburg, Technical University of Munich, Bauhaus Luftfahrt, Airbus Operations GmbH, EADS, MTU Aero Engines, German Biomass Research Center, Hamburg Airport
	내용	지속적 바이오항공유 활용에 대한 신뢰성 평가 및 활용 단계 이슈 점검 Lufthansa Hamburg-Frankfurt 노선 6개월간 하루 4회 바이오항공유 비행
미국	사업명	Northwest Advanced Renewables Alliance (NARA) (2011-2016)
	재원	USDA-National Institute of Food and Agriculture (40 million USD)
	참여기관	Catchlight Energy, CLH, Cosmo Specialty Fibers, Facing the Future, Gevo, Montana State University, Oregon State University, Pennsylvania State University, Salish Kootenai College, Steanfast Management, Tomas Spink Inc, University of Idaho, University of Minnesota, University of Montana, University of Utah, University of Washington, USFS Forest Products Laboratory, USFS Pacific Northwest Research Station, Washington State University, Western Washington University, Weyerhaeuser
	내용	산림부산물 활용 바이오항공유 생산, 지역 공급망 구축, 교육
호주	사업명	Queensland Sustainable Aviation Fuel Initiative (QSAFI) (2010-)
	재원	Queensland Government National and International Research Alliances Program Queensland Government's Research Partnerships Program
	참여기관	Australian Institute for Bioengineering and Nanotechnology and the Institute for Molecular Biosciences, James Cook University, Boeing Research & Technology Australia, Virgin Australia, Mackay Sugar Limited, General Electric, IOR Energy, Amyris.
	내용	Queensland 바이오연료 생산시설 건설을 위한 사전타당성 연구 (사탕수수, Pongamia유, 조류)

출처: ICAO 홈페이지(initiatives and project), European Commission FP7, Lufthansa AG

2. 혼합기술

- 연료 혼합에서는 특별한 기술이 필요하지 않고 연료 혼합 시점에 따라 크게 파이프라인에서의 주입 방식이나 탱크 배치 상태에서의 단순 첨가 방식의 테크닉 정도로만 나뉘며, 해외에서도 마찬가지로 바이오디젤이나 바이오연료, 첨가제 등을 혼합 시 이 두 가지 유형의 기술을 적용하고 있음
- 단, Line blending의 경우 실시간으로 연료를 균질하게 혼합 가능하고 혼유량을 정확히 컨트롤 할 수 있기 때문에 품질 면에서는 더욱 신뢰성이 있고 대량 출하시 더욱 경제적이고 효율적인 방법이기때문에 석유제품 혼합에서 널리 사용되고 있음
- 해외에서는 이러한 Line blending 시스템 및 설비의 효과적인 컨트롤과 제품의 품질 향상을 위해서 다양한 회사들이 블렌딩 시스템 및 구성 제품을 판매 및 보급하고 있음

<표 3-3> Line blender의 시스템 및 구성 제품

구분	종류(예시)
시스템	- Ratio control blender - Density rim blender - Viscosity trim blender
구성 제품	- 컨트롤러 - 믹서 - 계측기 (밀도 측정기, 점도 측정기 등)

출처: Jiskoot 홈페이지



<그림 3-2> Line blender 설치된 barge

출처: IBIA Guide to Line Blending(IBIA, 2014)

3. 인증기술

- 항공대체연료의 승인은 ASTM 국제항공 연료분과위원회(Subcommittee J)에서 진행하며, 연료시험데이터와 규격기준을 설립하고 대체연료 승인을 위한 ASTM D4054(새로운 항공터빈 연료와 연료 첨가물의 정량화와 승인을 위한 실행기준)와 ASTM D7566(합성 탄화물을 포함한 항공터빈연료)의 기준규격을 발행하였음
- ASTM D4054는 대체연료 평가를 위한 시험방법 및 규격사항에 대한 목표치를 제시하고 있으며, 미국연방항공국(FAA)는 합성혼합성분으로 만들어진 항공유가 국제기준인 ASTM D7566을 만족할 경우 Jet A나 Jet A-1으로 운영되는 항공기와 엔진에 운영될 수 있게 허가하고 있음
- 현재 ASTM 7566에 등록된 drop-in-fuel의 형태로 상용화 가능한 바이오항공유 종류는 다섯 가지 공정 기술(FT-SPK, HEFA-SPK, SIP-HFS, SPK/A, ATK-SPK)의 바이오항공유이며, 일반제트유와 최대 50%까지 혼합 가능함
- 또한 ASTM D7566 부속서에 등록되어 있지는 않지만 ASTM D4054 절차에 따라 승인 및 등록 과정 중에 있는 다섯 개의 추가 공정이 있으며, 현재 진행 중인 추가 생산기술에 대한 ASTM 등록이 이루어지면 상용화 가능한 바이오항공유의 생산 루트는 더 늘어날 것으로 전망됨

<표 3-4> ASTM D7566 부속서에 등록된 상용화 가능 바이오항공유

승인된 전환공정	사용가능원료	혼합가능비율	상업화 회사
Fischer-Tropsch hydroprocessed synthesized paraffinic kerosene (FT-SPK)	석탄*, 천연가스, 바이오매스	50%	Fulcrum Bioenergy, Red Rock Biofuels, SG Preston, Kaidi, Sasol, Shell, Syntroleum
Synthesized paraffinic kerosene produced from hydroprocessed esters and fatty acids (HEFA-SPK)	식물성오일, 동물성지방, 폐기물	50%	AltAir Fuels, Honeywell UOP, Neste Oil, Dynamic Fuels, EERC
Synthesized iso-paraffins produced from hydroprocessed fermented sugars (SIP-HFS)	당분 생산용 바이오매스	10%	Amyris, Total
Synthesized kerosene with aromatics derived by alkylation of light aromatics from non-petroleum sources (SPK/A)	석탄*, 천연가스, 바이오매스	50%	Sasol
Alcohol-to-jet synthetic paraffinic kerosene (ATJ-SPK)	전분 및 당분생산용 바이오매스, 이소부탄올 생산용 셀룰로오스 바이오매스	30%	Gevo, Cobalt, Honeywell UOP, Lanzatech, Swedish Biofuels, Byogy

출처: ICAO 홈페이지(www.icao.int) 2017년 기준

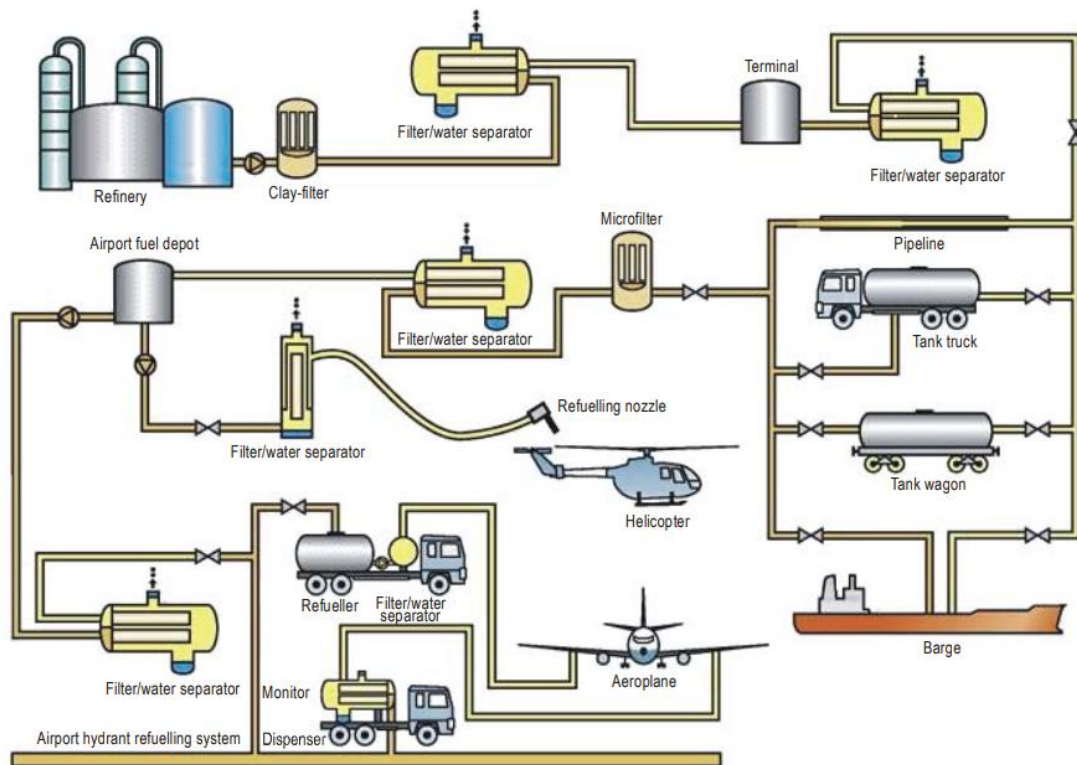
<표 3-5> ASTM D7566 부속서 포함을 위해 등록 진행 중인 바이오항공유

승인 진행 공정	용어	사용가능원료	상업화 회사	비 고
Catalytic Hydrothermolysis Jet/ High Freeze Point HEFA	CHJ/HFP-HEFA	식물성오일, 동물성지방 폐기름	Chevron Lummus Global, Applied Research Associates, Blue Sun Energy	식물성오일은 고온 및 고압 조건에서 물과 반응, 혼합하지 않고 사용 가능
Co-processing bio-oils in existing refineries	Co-processing	식물성오일	Chevron, Phillips66, BP	Co-processing은 기존의 정유 공장에서 중간 증류액을 사용한 식물성 오일처리를 기반으로 함
Alcohol-to-jet synthetic paraffinic kerosene	ATJ-SPK (besides isobutanol)	전분 및 당분생산용 바이오매스, 알코올 생산용 셀룰로오스 바이오매스	Gevo (butanol), LanzaTech (ethanol)	ASTM은 ATJ-SPK(부속서 5)로 이미 승인된 이소부탄올 외에 부탄올과 에탄올로부터 제트연료의 생산을 검토 중
Alcohol-to-jet -synthetic kerosene with aromatics	ATJ-SKA	전분 및 당분생산용 바이오매스, 알코올 생산용 셀룰로오스 바이오매스	Byogy, Swedish Biofuels	보다 높은 혼합비율을 고려하기 위한 바이오-방향족으로 생산된 연료
HEFA Plus	Green Diesel	식물성오일, 동물성지방, 폐기름	Boeing	HEFA 디젤 (“그린디젤”) 15%를 혼합한 최초의 시험비행 이미 진행 완료

출처: ICAO 홈페이지(www.icao.int) 2017년 기준

4. 수송기술

- 항공유 수송은 지역조건에 따라 다르지만 공통적으로 크게 유조선, 파이프라인, 유조차, 유조화차의 네 가지 중 한 가지 수송 방식에 의해 공급 되고 있으며, drop-in-fuel 바이오항공유 수송도 일반항공유와 동일하게 취급되어 수송·보급되고 있음
- 수송 범위는 보통 정유소(생산 시설)의 터미널에서 공항 연료 저장 시설까지를 말하며, 각 수송 방식에 따라 품질 관리를 위한 국제통용 규격이 정해져 있음



<그림 3-3> 정유소에서 기체까지 항공유 공급 및 보급 루트

출처: Manual on Civil Aviation Jet Fuel Supply (ICAO, 2012)

<표 3-6> 공급단계별 항공유 취급 관련 규격 및 기준

공급 단계	세부 단계	관련 규격
공급 및 보급	정유소 내 항공유 품질 관리	EI/JIG 1530, JIG 3, API RP 1543, API RP 1595
	업스트림 항공유 품질 관리	JIG 3, API RP 1543, API RP 1595, EI/JIG 1530
	다유종 송유관 운용	JIG 3, API RP 1543, API RP 1595, EI/JIG 1530, EI Multi-product pipelines: minimum criteria to determine additive acceptability
	유조선 선박 운용	JIG 3, API RP 1543, API RP 1595, EI/JIG 1530, EI HM 50
	이동식 2차 수송 수단(유조차 등)	JIG 3, API RP 1595, EI/JIG 1530

출처: Manual on Civil Aviation Jet Fuel Supply (ICAO, 2012)

5. 급유기술

- 장기적인 관점에서 바이오항공유 시장 확대가 전망됨에 따라 해외에서는 바이오항공유 급유가 가능한 공항(Bioport)을 구축하기 시작함

- 해외의 경우 다양한 국가에서 바이오항공유 이용확대를 위한 일환으로 바이오항공유 생산시설 확대와 더불어 바이오항공유 이용이 가능한 전용 공항(bioport)이 증가하고 있음
- 유럽의 경우 네덜란드 Schiphol 공항과 노르웨이 Oslo 공항에서는 바이오항공유 전용 refueller를 이용한 급유(분리형) 및 기존 fuel farm을 통한 하이드런트 급유(혼합형) 시도가 모두 이루어졌음

가. 노르웨이

- 노르웨이의 Oslo 공항은 2016년 세계 최초로 기존의 공항 급유 체계(fuel farm-hydrant system)를 활용하여 모든 항공사가 언제든지 바이오항공유를 활용할 수 있게 급유 인프라를 구축한 세계 최초의 bioport가 됨
- Oslo 공항의 공항공사인 Avinor은 장기적인 노르웨이 바이오항공유 공급망 구축과 2030년까지 노르웨이에서 사용되는 항공유 중 30%(약 400 백만 리터)를 바이오항공유로 활용할 것을 목표로 설정함 (팜유 기원 연료 제외)
- 노르웨이는 Bioport 구축 과정에서 바이오항공유 활용으로 인한 국내선 CO2 세금 감면이나 EU-ETS 내 배출량감축 인정과 관련한 행정 기반을 함께 마련함
- 2016년 Lufthansa, KLM, SAS 항공사가 처음으로 Oslo 공항에서 약 1.25 백만 리터의 바이오항공유 계약을 맺고 SkyNRG와 AirBP로부터 연료를 공급받아 정기노선 편에 활용함

<표 3-7> Oslo 공항 바이오항공유 종류 및 공급 방법

바이오항공유	원료 (원산지)	제조사 (국가)	Blending Ratio
First batch	Camelina 유 (스페인)	Neste (핀란드)	50%
Second batch	폐식용유 (미국)	AltAir (캘리포니아, 미국)	50%
공급 방법	스웨덴 Gävle 항으로 선박 운송, Oslo 공항까지 차량 운송		

출처: Avinor, ICAO Seminar on Alternative Fuels 발표자료, 2017

- Avinor가 운영하는 노르웨이 Bergen 공항도 2017년 8월 새 터미널을 구축하면서 AirBP가 처음으로 바이오항공유를 공급하며 노르웨이에서 두 번째로 모든 항공사가 바이오항공유를 활용할 수 있는 bio-port가 됨

나. 스웨덴

- 스웨덴 Halmstad 공항도 2017년 6월 AirBP로부터 바이오항공유를 공급받아 스웨덴 국내선 항공사인 BRA(Braathens Regional)의 ATR 72-600 항공기에 급유하였으며 1년 동안 공항을 이용하는 모든 항공사의 바이오항공유 활용을 가능하게 함
- AirBP는 또한 간헐적으로(ad-hoc basis) 스웨덴의 Arlanda(ARN), Stockholm Bromma(BMA), Göteborg Landvetter(GOT)공항에서도 몇몇 항공사에 바이오항공유를 공급한 바 있음
- 스웨덴의 Karlstad 공항은 SkyNRG, StatOil으로부터 연료를 공급받 IATA 등과 협력하여 바이오항공유 전용 탱크설비를 구축하는 실증사업을 실시하였고, Karlstad와 Frankfurt를 연결하는 노선을 BMI의 운항을 시작으로 모든 항공사가 바이오항공유를 활용할 수 있게 시설을 구축함

다. 미국

- 미국 Los Angeles 국제공항(LAX)에서는 2016년 United Airlines 항공사가 AlrAir와의 연료공급계약(3년, 약 15백만 갤런)을 맺고 LA-San Francisco 구간의 정기노선에 바이오항공유를 최대 30%까지 활용한다고 발표함
- 호주 Qantas 항공사도 Los Angeles 국제공항(LAX)에서 바이오연료 제조사인 SG Preston과의 장기 연료공급계약을 맺고 50/50 혼합의 30백만 리터의 바이오항공유를 구매, 2020년부터 LA-호주간 노선에 활용하겠다고 발표함

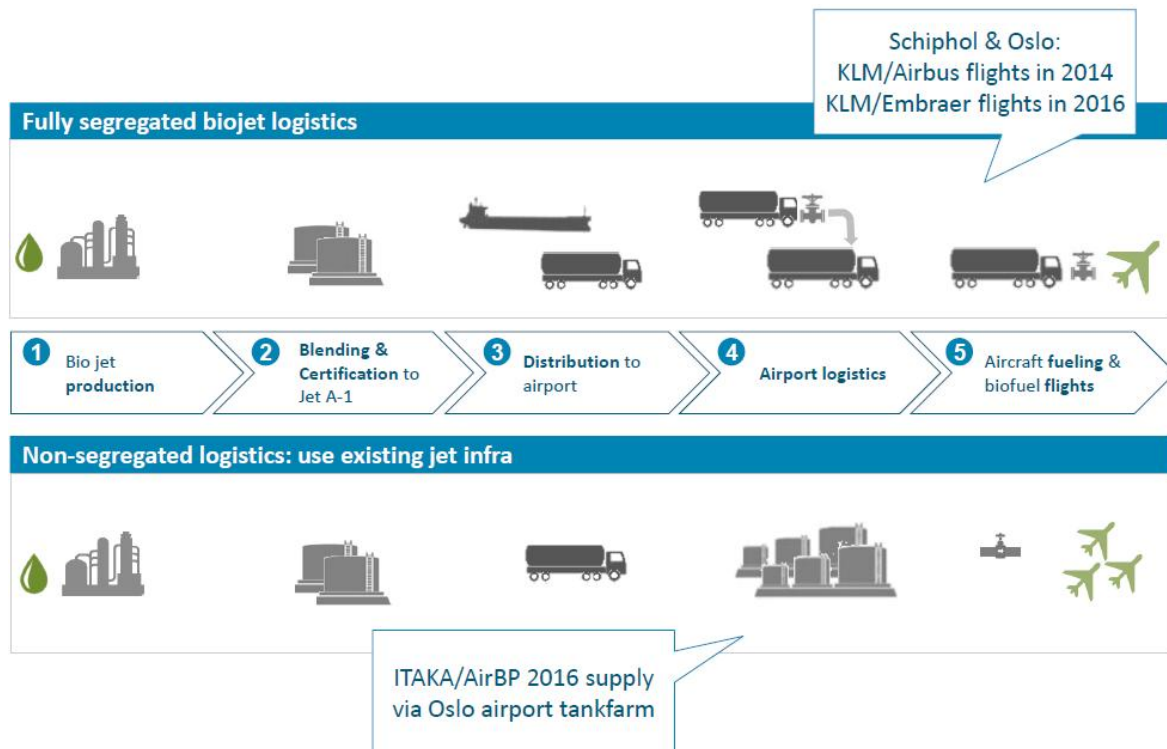
라. 기타

- 호주의 Brisbane 공항은 2017년 Virgin Australia와 미국의 연료제조사 Gevo와 파트너십을 맺고 ATJ의 바이오항공유를 약 2년간 Virgin Australia를 포함한 브리즈번 공항 출항 항공편에 급유하기 시작함
- 2017년 스위스의 Geneva 공항도 2018년 말부터 최소 1%의 연료사용량을 바이오항공유로 활용하는 계획을 선언, Neste사와 연료공급계약을 맺음
- 네덜란드는 Bioport Holland 이니셔티브의 일환으로 암스테르담 Schiphol 공항에, 일본은 도쿄 올림픽 2020 목표를 위한 이니셔티브인 Initiative for Next Generation Aviation Fuels (INAF)의 일환으로 Narita 공항의 바이오항공유 급유를 계획 중에 있음

<표 3-8> 해외 Bioport 운용 현황

국가	공항	운용년도	급유 설비	구분
노르웨이	Oslo(OSL)	2016-	하이드런트	모든 항공사 활용 가능
	Bergen(BGO)	2017-	n/a	모든 항공사 활용 가능
스웨덴	Halmstad(HAD)	2017-	n/a	모든 항공사 활용 가능(1년간)
	Karstad(KSD)	2014-	연료저장탱크 등	모든 항공사 활용 가능
미국	LA(LAX)	2016-	급유차	United Airlines, 3년(2016-) Qantas (2020-)
호주	Brisbane(BNE)	2017-	n/a	Virgian Australia 포함 브리즈번 출항 항공사
네덜란드	Schipol(AMS)	2020-	n/a	진행 중
스위스	Geneva(GVA)	2018 말-	n/a	진행 중
일본	Narita(NRT)	2020-	n/a	진행 중

출처: IATA, 2015; World Economic Forum(WEF), 2017;



<그림 3-4> 바이오항공유 급유 옵션

출처: Logistics challenges in segregated and non-segregated fueling systems (SkyNRG, 2016)

6. 정책 및 환경기반 시스템

가. 법 및 제도

- 유럽과 미국을 비롯한 선진국들은 바이오항공유를 비롯한 다양한 바이오연료의 시장 선점을 위해 경제적으로 법 및 제도 내 직·간접적 인센티브를 부여하고 있음

〈표 3-9〉 국내·외 바이오항공유 활용 인센티브 정책 비교

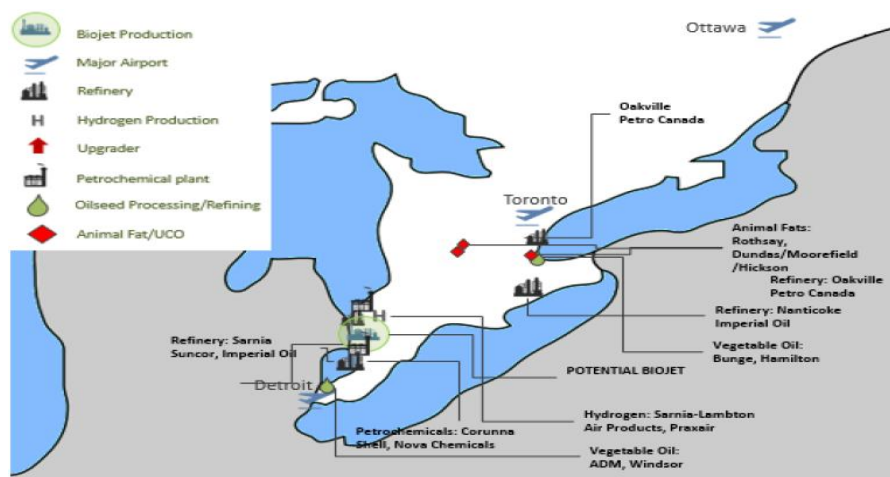
국가	관련 제도/법	시행년도	인센티브 내용	효과
노르웨이	Fuel CO2 Tax	1999	바이오항공유(국내선 비행)에 대한 CO2 세금은 면제	바이오항공유 활용 항공사들의 연료비 절감
미국	RFS2 제도	2010	바이오항공유 공급자(수입자)에 대해 미국 RFS에서 사용가능한 증서(RIN) 발행	바이오항공유 공급자의 RIN 판매 수익 증가
영국	RTFO 제도	2018 (개정)	지속가능 바이오항공유에 리터당 1 RTFC, 폐기물/부산물 원료는 2 RTFC 부여	바이오항공유 공급자의 RTFC 판매 수익 증가
유럽	RED II 법	2019/2020	신재생에너지 소비량 산정시 바이오항공유 에너지함량에 1.2의 multiplier 적용	바이오항공유 사용 실적에 대한 가중치 부여

출처: Renewable Transport Fuel Obligation Guidance Part One Process Guidance (영국 Department for Transport, 2018); Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council on the promotion of the use of energy from renewable sources (유럽 이사회, 2018); IEA/GAFT Workshop-Aviation Biofuels through Biomass Gasification (Avinor, 2016)

나. 환경기반 시스템 최적화

(1) 캐나다

- 캐나다는 ‘Clean Transportation Initiative’의 일환으로 바이오항공유 공급망 개발 사업을 실시하여 캐나다 내 바이오항공유 원료 수급지역에서 이용 가능 공항까지 유통망 전 과정(생산, 수송, 저장 및 보급)에 필요한 인프라를 분석하고 기존의 바이오 연료 제조시설 및 정유소를 활용한 생산시설 구축에 대한 평가와 지리·위치적 특성을 고려한 공항별 바이오항공유 연료 수송 옵션을 도출함

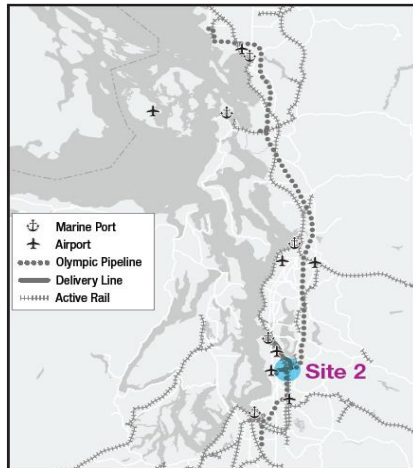


〈그림 3-5〉 Southwestern Ontario 지역의 HEFA 바이오항공유 공급망(안)

출처: Feasibility study of Canadian biojet fuel supply chain (Novo Energy Group, 2015)

(2) 미국

- 미국의 시애틀 공항 공사인 Port of Seattle와 Alaska Airlines, 그리고 Boeing 사는 시애틀 공항의 바이오항공유 공급 옵션 및 인프라 구축을 위한 사전 평가 연구 ‘Aviation Biofuels Infrastructure Feasibility Study’ 를 통해 시애틀 Tacoma 공항의 바이오항공유 급유를 위한 잠재적 공급 옵션에 대해 검토하고 옵션별 공급 경로와 개발에 필요한 사업비용, 그리고 확보 가능 바이오항공유 최대 용량을 추정한 바 있음



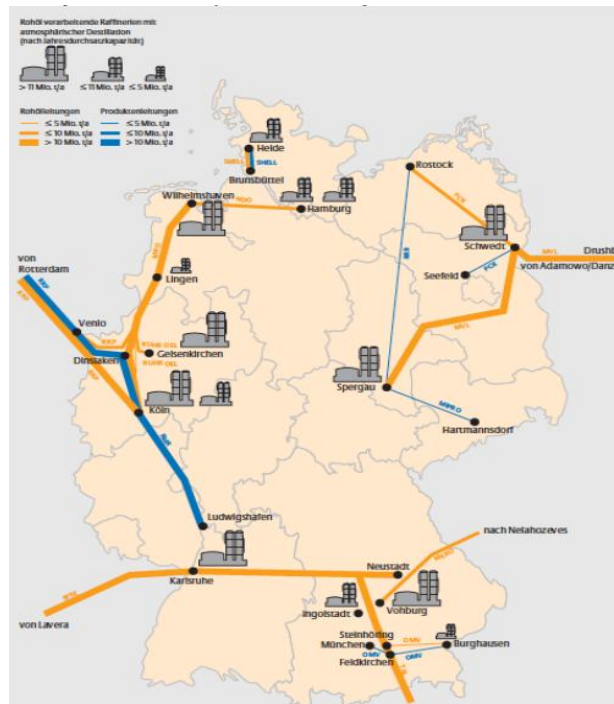
Option	Description	Estimated Construction Cost for Infrastructure Only	Estimated Project Cost	Max Annual Neat Biofuel Throughput (gal/yr)
1A	Sea-Tac Airport Small Volume – Existing Roadway	\$11,720,000	\$13,950,000	5,000,000
1B	Sea-Tac Airport Small Volume – SR 509 Connector	\$9,800,000	\$11,700,000	5,000,000
2A	Renton – Receive aviation biofuel via truck	\$2,430,000	\$2,830,000	14,308,000 (20/80 blend) to 35,770,000 (50/50 blend)
2B	Renton – Receive neat biofuel via truck and Jet-A via pipeline	\$69,200,000	\$82,360,000	71,529,780
2C	Renton – Receive neat biofuel via rail and Jet-A via pipeline	\$69,600,000	\$82,790,000	82,680,000
3	Tesoro – Blend aviation biofuel at refinery; receive neat biofuel via rail or marine via existing infrastructure	\$87,500,000	\$104,160,000	100,000,000+

<그림 3-6> Seattle Tacoma의 바이오항공유 공급 옵션에 따른 인프라 비용 및 최대 확보 연료량 추정

출처: Aviation Biofuels Infrastructure Feasibility Study (WSP Parsons Brinckerhoff, 2016)

- 독일

- 독일은 HEFA, GtL, Co-processing 등을 통해 지속가능 수송 대체 연료 생산이 가능한 바이오 리파이너리 건설을 위해 독일 내 모든 정유소에 대한 업그레이드 혹은 확장에 대한 타당성 분석을 수행하였으며, 플랜트 건설 기술 수출, 고용 창출 및 수입 의존성 감소 등으로 생기는 경제적 효과에 대해 함께 분석하고 리파이너리 운영 모델 및 부산물 활용 계획을 수립함



<그림 3-7> 독일 정유시설 및 파이프라인 현황

출처: AIREG 홈페이지(www.aireg.de)

다. 지속가능성 평가

- EU의 RED 및 FQD에서는 바이오연료의 지속가능성 기준에 대하여 크게 최소 온실가스(GHG) 배출저감량, 원료에 대한 항목에서 제한 조건을 규정하고 있음
- 최소 온실가스 배출저감량은 원료 재배, 생산 및 수송을 포함한 전주기 평가(LCA)를 기초로 하며, 토지 사용 기준에서는 숲이나 늪지, 또는 생물다양성이 높은 토지에서 재배되는 원료를 제한하고 있음
- 미국도 RFS2 제도 내 EISA(Energy Independence and Security Act)법에 따른 바이오연료 전주기 최소 온실가스 배출저감량 기준이 마련되어 있고, 네 가지 종류의 바이오연료에 따른 각기 다른 기준을 적용함
- 각각의 최소 배출저감량(%)은 2005년 기준 평균 휘발유 혹은 디젤의 온실가스 배출량을 기준으로 하며, 신재생 바이오매스(renewable biomass)의 정의를 통해 인정되는 바이오 원료 및 토지에 대한 제한을 적용함
- 이밖에도 최근 ICAO에서 발표한 국제항공탄소감축제도(CORSIA)의 Standards and Recommended Practices (SARPs) 초안에서는 지속가능 항공연료(SAF)에 대한 지속가능성에 LCA 배출량 변화와 탄소 축적지에 관한 기준을 포함하고 있음

〈표 3-10〉 해외 바이오항공유/바이오연료 관련 지속가능성 기준

기준	EU RED & FQD	미국 RFS2
최소 GHG 배출저감량 (화석연료 대비)	- 35%(2011년 이후) - 50%(2017년 이후) - 60%(2018년, 2017년 신설 플랜트만)	- 신재생연료(일반): 20% - 선진(Advanced) 바이오연료: 50% - 바이오매스 디젤: 50% - 셀룰로오스계 바이오연료: 60%
원료	<원료 재배지 제한> - 높은 생물다양성 지역 제외 - 고농도 탄소 축적(carbon stock) 지역 제외 - 2008년 기준 이탄지(peatlands) 제외	<허용 원료> - 2007년 12월 19일 이전의 농경지 농작물 및 부산물 - 2007년 12월 19일 이전의 비연방 소유 지역 나무 및 부산물 - 동물 폐기물 및 부산물 - 비연방 소유 산림의 슬래시(slash), thinnings - 거주 지역 및 공공 시설, 산불 위험 지역 근처에서 재배된 바이오매스 - 조류 - 음식쓰레기, 도시 고형 폐기물 등 재활용 쓰레기
간접 토지 사용 전환 (ILUC)	- 모니터링 및 간접 토지 사용 전환 영향 제한 권고	- LCA 평가에 정량적으로 반영

출처: Sustainability requirements for biofuels and biomass for energy in EU and US regulatory frameworks, 네덜란드 Ministry of Economic Affairs, Agriculture and Innovation(2011)

〈표 3-11〉 ICAO의 SAF 지속가능성 기준

구분	원칙	기준
1. GHG 배출량	SAF의 LCA 배출량은 화석연료 항공유보다 낮아야함	기준 1: LCA 배출량이 화석연료 항공유보다 최소 10% 낮아야 함
2. 탄소 축적 (carbon stock)	SAF는 고농도 탄소 축적지에서 재배된 원료를 사용할 수 없음	기준 1: 2008년 1월 1일 이후 숲, 늪지, 이탄지 등 고농도 탄소 축적지로부터 전환된 토지에서 재배된 원료를 사용할 수 없음 기준 2: 직접 토지 사용 변화(DLUC)에 대한 배출량이 계산되어야 함. 만약 DLUC 배출량이 간접 토지사용 변화(ILUC) 기본값을 초과할 경우, ILUC 수치 대신 DLUC 수치가 적용됨.

출처: Proposal for the First Edition of Annex 16, Volume IV, concerning Standards and Recommended Practices relating to the Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation (ICAO, 2017)

제2절 국내 기술동향

1. 생산기술

- 국내에서도 2010년부터 다양한 원료 및 공정으로 바이오항공유 생산을 위한 연구개발을 수행하였고, 연구개발 사업은 주로 과학기술정보통신부, 산업통상자원부, 국방부 등에 의해서 지원되었음
- 통상 TRL 4 정도가 pilot 이전 벤치 테스트정도를 완료한 수준, TRL 5~6은 Pilot scale 정도, 7 정도가 Demo scale을 말하는데, 주로 대학, 정부출연연 등 연구기관에서 현재까지 수행된 R&D 과제는 바이오항공유 생산 관련 원천기술개발(TRL3~5)을 위한 과제가 대부분이었음
- 원료 및 제조공법에 따라 상이하지만 현재까지 수행된 바이오항공유 생산관련 R&D 과제들의 최종 TRL 수준은 평균 4 정도(pilot 이전 벤치 테스트 완료 단계)이며, pilot 및 실증 이상의 개발을 위해서는 명확한 시장 수요나 바이오항공유 관련 정책이 실현되지 않는 이상 추가적 정부 지원이 필요한 상황임
- 해외와 마찬가지로 생산 기술 중에서는 HEFA 등 유지계 공정이 원료(팜유 등) 확보의 용이성과 경제성으로 국내에서도 가장 높은 기술성숙도를 가지고 있으며, 국내 기업((주) SK 이노베이션)에서도 수첨바이오디젤(HBD, Hydrotreated Biodiesel) 생산 및 바이오항공유로의 업그레이드 실증을 시도한 적 있으나 HBD 실증플랜트가 현재는 철거되고 바이오항공유도 pilot scale까지 진행된 후 중단됨
- 현재 국내에서는 HEFA 공정으로 대표적인 UOP(미국) 공정보다 수율이 높고 경제성 있는 촉매를 개발함으로써 기술국산화를 이루고 단가를 낮출 수 있는 기술개발이 핵심요소임
- 하지만 전반적으로 수소첨가반응이 필요한 유지계 공정의 실증을 위해서는 수소 플랜트를 이미 보유한 정유사 혹은 석유화학사 주도의 실증 사업이 불가피하며, 이를 위해서는 기존에 진행된 생산기술 성과의 기업이전 및 기업이 참여하는 연구기관-기업 형태의 컨소시엄으로 구성된 바이오항공유 생산 사업이 필요함

<표 3-12> 바이오항공유 생산 관련 국내 연구개발 현황

기간	과제명	기술군	수행기관	부처	TRL
2010-2012	석유대체자원을 이용한 Bio-jet Fuel 제조 기술연구	GTJ	한국화학연구원	국방부	2
2010-2019	바이오매스 대량생산 및 저에너지 소모형 오일 추출/전환 공정 개발	OTJ	(재)탄소순환형차세대바이오매스생산전환기술연구단(장용근)	과학기술정보통신부	3~4
2013-2016	비식용바이오매스로부터 통합형 바이오항공유 제조 기술 개발	OTJ	한국에너지기술연구원(이진석)	미래창조과학부	3~4
2015-2018	바이오부탄올 유래 n-부텐 소중합반응을 통한 항공유 제조용 고활성 촉매 개발	ATJ	공주대학교(전종기)	교육부	n/a (2~3)
2014-2015	미세조류로부터 추출한 Oil의 Bio Jet Fuel 생산	OTJ	SK이노베이션(유재욱)	미래창조과학부	6~7
2015-2019	항공유 및 윤활기유 생산을 위한 촉매 공정 개발	OTJ	한국과학기술원(최민기)	과학기술정보통신부	3~4
2015-2018	에탄올 발효산물 업그레이딩을 통한 항공유급 바이오연료 생산기술 개발	ATJ	희성금속(박주현)	산업통상자원부	5

출처: 국가과학기술지식정보서비스(NTIS), 기획위원회 자문회의 결과

2. 혼합기술

- 국내에는 아직 바이오항공유 혼합 시설이 존재하지는 않지만 바이오항공유를 위한 혼합기술이 기타 유류제품 혼합 기술과 크게 차이가 없으므로 국내에도 혼합 기술이 이미 확보되어 있다고 할 수 있음
- 실제로 현재 바이오디젤의 경우에도 정유사가 바이오디젤 생산업체로부터 납품받은 바이오디젤을 정유소 라인에서 직접 Line blending을 통해 디젤과 혼합 후 출하하고 있음

3. 인증기술

- 국내의 경우 석유제품의 품질인증을 한국석유관리원이 수행하고 있으나, 항공유의 경우 생산 후 정유사가 민간에서 자체적으로 인증·보급하고 있음
- 정유사는 생산된 항공유에 대해 국제 규격(ASTM/Defstan)에 따른 on-spec 품질 테스트를 실시하며, 기본적인 물성 검사나 성분검사를 할 수 있는 설비와 기술을 갖추고 있음

- 하지만 국내에서 바이오항공유에 대한 엔진 테스트가 직접 이루어진 바는 없으며, ASTM D4054의 Tier 3 및 Tier 4를 시험할 수 있는 활용 가능 테스트 엔진 및 관련 설비가 구축되어 있지 않으므로 엔진 테스트 이상의 인증 기술 수준의 판단은 현재로서 불가함

4. 수송기술

- 국내 항공유의 경우 정유시설에서 생산된 항공유가 공항까지 직접 송유관이나 수송차를 이용하여 수송되고(1차 수송), 공항 연료 저장시설에 보관되었다가 급유전이나 급유차를 통해 항공기로 급유됨(2차 수송)
- 국내 공항의 경우 송유관이 구축된 인천 및 김포 공항만 송유관을 통한 수송이 가능하며 나머지 급유 가능 지방공항은 차량을 통해 항공유가 수송됨

<표 3-13> 국내 송유관 구축 현황(출처: 산업통상자원부, 2016)

송유관로	관로연장	송유경로
남북송유관	456km	온산-울산-대구-추풍령-대전-천안-판교-과천
	479km	여수-곡성-전주-대전-천안-판교
경인송유관	31km	인천-고양(일반유)
	25km	인천-김포공항(항공유)
	23km	인천-인천국제공항(항공유)
호서송유관	97km	대산-당진-천안
TKP	76km	성남-인덕원-평택
지선	23km	DOPCO 저유소-정유사저유소
합계	1,210km	

출처: 석유유통 물류시스템 개선방안 연구 (한국산업조직학회, 2016)

〈표 3-14〉 국내 급유 가능 공항의 항공유 수송 경로

대상공항	1차 수송	2차 수송
인천공항, 김포공항	유조선 (정유소 -> 인천항)	공항 송유관 (인천항 -> 공항 연료 저장 시설)
제주공항	유조선 (정유소 -> 제주항)	차량 (인천항 -> 공항 연료 저장 시설)
그 외 공항	차량 (정유소 -> 공항 연료 저장 시설)	

출처: 기획위원회 자문회의 결과



〈그림 3-8〉 국내 송유관 현황

출처: Petronet 홈페이지

5. 급유기술

- 국내에서도 일반항공유의 경우 해외 공항들과 동일하게 하이드런트 시스템이나 리퓨얼러를 활용한 항공기 급유를 하고 있음
- 하이드런트 설비가 구축된 공항은 인천, 김포, 제주 공항같이 규모가 큰 국제공항이며, 나머지 공항은 리퓨얼러로 급유를 하거나 아예 급유 시설이 갖춰져 있지 않은 공항도 존재함
- 인천 공항은 제 2터미널 신설 과정에서 제 1터미널과는 별도의 하이드런트 시스템을 구축하였으며, 김포 공항도 현재 공항 확장 공사로 하이드런트 라인을 추가 구축하고 있는 것으로 알려짐

- 단, 국내에서는 이전에 바이오항공유를 급유한 공항 사례가 없으며 bioport 개발과 관련된 검토나 선행연구가 이루어진 바 없음

〈표 3-15〉 국내 공항 급유시설 현황

급유시설 유무	급유 설비	공항
급유시설 구축	하이드런트+리퓨얼러	인천, 김포, 제주
	리퓨얼러	부산, 대구, 양양, 청주, 무안
급유시설 비구축	-	포항, 여수, 진주, 광주 등

출처: 부문별 기획위원회 자문회의 결과

〈표 3-16〉 김포공항 하이드런트 시스템(출처: 한국공항 홈페이지)

지역	SPOT(EA)	PIT(EA)	Hydrant(km)
김포공항	92	140	9.9

출처: 한국공항 홈페이지(www.kas.co.kr)

6. 정책 및 환경기반 시스템

가. 법 및 제도

- 해외와 달리 국내 연료 혼합의무화제도(RFS)에서는 바이오항공유에 대한 규제나 인센티브가 마련되어 있지 않아 제도적 측면에서의 기반 마련이 시급함

나. 환경기반 시스템 최적화

- 국내에서는 아직까지 해외 사례와 같이 바이오항공유 공급망 개발에 관한 연구가 수행된 기록이 없으며, 제4차(2011~2015)나 제 5차(2016~2020) 공항개발 중장기 종합계획에서도 바이오항공유 공급과 관련된 논의도 부재함
- 또한 연료 생산과 관련된 R&D사업 이외에 바이오항공유의 수급부터 공항에서의 활용을 위한 전 과정 supply-chain 옵션 및 인프라에 대해 조사한 해외 사례와 대조됨
- 이에 국내에서도 향후 바이오항공유 수요 증가에 따른 공항을 비롯한 밸류체인 단계별 이해관계자의 대응 방안 마련을 위해 공급망 개발에 관한 중장기적 분석이 요구됨

다. 지속가능성 평가

- 우리나라에서도 바이오에너지의 지속가능성 기준에 대한 논의가 있었지만 아직까지 해외와 같이 지속가능성 기준을 법적으로 규정하고 있지 않음

〈표 3-17〉 국내 법 내 바이오에너지의 정의

구분	세부내용
가. 기준	1) 생물유기체를 변환시켜 얻어지는 기체, 액체 또는 고체의 연료 2) 1)의 연료를 연소 또는 변환시켜 얻어지는 에너지 ※ 1) 또는 2)의 에너지가 신재생에너지가 아닌 석유제품 등과 혼합된 경우에는 생물유기체로부터 생산된 부분만을 바이오에너지로 본다
나. 범위	1) 생물유기체를 변환시킨 바이오가스, 바이오에탄올, 바이오액화유 및 합성가스 2) 쓰레기매립장의 유기성폐기물을 변환시킨 매립지가스 3) 동물·식물의 유지를 변환시킨 바이오디젤 4) 생물유기체를 변환시킨 펄프, 목재칩, 펄프 및 목탄 등의 고체연료

출처: 신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법 시행령[별표 1]

제4장 특허 및 논문, 연구개발 인프라 분석

제4장 특허 및 논문, 연구개발 인프라 분석

- 기술동향 분석 결과, 기술분류체계의 대분류군에 해당하는 생산, 혼합, 인증, 수송, 급유, 정책 및 환경기반 시스템 중 실재 혼합, 인증, 수송, 급유에 대한 기술개발의 필요성이 없다고 판단되었으므로, 특허 및 논문 분석은 생산, 정책 및 환경기반 시스템으로 제한하여 분석을 실시하였음

제1절 특허분석

- 바이오연료 및 바이오항공유 관련 기술 특허 분석 결과, 우리나라는 바이오 연료와 관련된 기술 특허를 미국(175건)과 중국(105건)에 이어 약 105건 보유하고 있는 것으로 확인됨

<표 4-1> 지역별 바이오연료 관련 기술 특허(출처: WIPO)

구분	지역	특허(건)	비율(%)
1	미국	175	20.4
2	국제(PCT)	124	14.5
3	중국	105	12.2
4	한국	105	12.2
5	인도	80	9.3
6	유럽(EPO)	63	7.3
7	일본	49	5.7
8	캐나다	48	5.6
9	호주	26	3.0
10	말레이시아	18	2.1
11	멕시코	13	1.5
12	영국	8	0.9
13	독일	7	0.8
14	러시아	7	0.8
15	기타	30	3.5
합계		858	100.0

- 특히 바이오항공유 생산 관련 기술에서 우리나라는 ‘알루미늄이 그래프팅된 규칙적인 메조기공 실리카 담체에 백금-마그네슘을 공침시킨 촉매를 사용한 바이오 합성유로부터 항공유 제조용 촉매 및 그 촉매를 사용한 항공유 제조 방법’ (한국화학연구원,

2018년), ‘비식용 유지를 이용한 고성능 바이오항공유 생산기법’ (한국에너지기술연구원, 2016년), ‘식물성 기름으로부터 바이오항공유를 선택적으로 합성하기 위한 백금 실리카 알루미나 촉매제’ (한국화학연구원, 2015년) 등 국내 특허 4건을 보유하고 있음

<표 4-2> 국내 바이오항공유 생산 관련 특허 등록 현황

구분	바이오항공유 생산 관련 국내 특허
1	비식용 유지를 이용한 고품질 바이오항공유 제조방법 및 이에 의해 제조된 바이오항공유 2014 / 한국에너지기술연구원; / (10-2014-0138134)
2	「국가R&D」 비식용 유지를 이용한 고품질 바이오항공유 제조방법 및 이에 의해 제조된 바이오항공유 2016 / 한국에너지기술연구원 / (10-1607868-0000)
3	식물성 오일로부터 바이오항공유분의 선택적 제조를 위한 백금 담지 실리카-알루미나 촉매 2014 / 한국화학연구원; / (10-2014-0136874)
4	알루미늄이 그래프팅된 규칙적인 메조기공 실리카 담체에 백금-마그네슘을 공침시킨 촉매를 사용한 바이오 합성유로부터 항공유 제조용 촉매 및 그 촉매를 사용한 항공유 제조 방법 2016 / 한국화학연구원; / (10-2016-0146429)

출처: KIPRIS 특허정보넷(<http://www.kipris.or.kr>)

1. 분석범위

가. 분석대상 특허 검색 DB 및 검색범위

- 분석대상 검색 DB는 Kiwee 검색 툴을 사용하였고, 특허 검색범위는 특허 권리존속기간(출원일로부터 20년)을 고려하여 1998년 01월 이후 출원일로 한정된 상태에서 특허 데이터를 도출함
- 검색 국가는 6개 특허 발행국(한/미/일/유/중/PCT)에 공개/등록된 특허를 대상으로 추출하되, IP5 체제에서 중국의 특허출원이 급속도로 성장하고 있으나, 나머지 국가에 비해 중국의 특허검색 환경이 중국원어검색(영문기계번역포함)으로 되어 본 보고서에서는 제외하기로 함

<표 4-3> 특허검색 DB 및 범위

항목	구분	비고
검색 DB	Kiwee	특허정보진흥센터에서 제공하는 웹 기반 유료검색 툴
검색 국가	한국(KR), 미국(US), 일본(JP), 유럽(EP), PCT(WO)* 특허	* PCT(Patent Cooperation Treaty) : 특허협력조약의 약자로, 국적국 또는 거주국의 특허청(수리관청)에 하나의 PCT 출원서를 제출하고, 그로부터 정해진 기간 이내에 특허획득을 원하는 국가(지정(선택)국가)로의 국내단계에 진입할 수 있는 제도로 PCT 국제출원의 출원일이 지정국가에서 출원일로 인정받을 수 있다. 다만, 선(先) 출원에 대한 우선권을 주장하여 출원하는 경우 선출원의 출원일로부터 12개월 이내에 PCT 국제출원을 하여야 우선권주장을 인정받을 수 있다.
검색 범위	출원일 기준 1998년 1월 ~ 2018년 08월 사이에 출원된 특허	특허 권리존속기간(출원일로부터 20년)을 고려하여, 본 분석에서 도출된 특허 중 1998년 1월 이전 출원건은 특허분석 모집단에서 제외함

나. 분석대상 기술 및 검색식 도출

- 본 분석에서 대상으로 하는 기술은 바이오 항공유를 생산하기 위한 주 원료(Biomass) 및 처리 과정에 따라, ATJ (Alcohol-to-Jet), OTJ (Oil-to-Jet), GTJ (Gas-to-Jet) 및 STJ (Sugar-to-Jet) 총 4가지 핵심기술을 대상으로 함

<표 4-4> 분석대상 기술 정의

기술분류	정의
ATJ(Alcohol-to-Jet)	목질계 바이오매스나 당질계 원료의 가수 분해를 통해 생성된 중간생성물인 알코올(메탄올, 에탄올, 부탄올, 지방산 알코올 등)의 탈수, 올리고머화(oligomerization)등을 통해 항공유를 생산하는 기술을 말하며, 알코올의 종류에 따라 Ethanol-to-Jet, Butanol-to-Jet 등의 기술로 나뉨
OTJ(Oil-to-Jet)	폐식용유, 우지, 미세조류 등 동·식물성 유지계 원료로부터 항공유를 생산하는 기술로서, 크게 HEFA공정으로 대표적인 HRJ(Hydro-processed Renewable Jet)와 촉매 수소화열분해인 CH(Catalytic Hydro-thermolysis), 그리고 급속 열분해를 통한 HDCJ(Hydro-treated Depolymerized Cellulosic Jet)이 있음
GTJ(Gas-to-Jet)	목질계 등 바이오매스 원료를 가스화한 바이오가스, 천연가스 또는 합성가스를 생화학적 경로나 열화학 경로를 통해 항공유로 전환하는 기술로서, 크게 Gas Fermentation과 Fischer-Tropsch 공정 기술이 있음
STJ(Sugar-to-Jet)	당질계나 전분질계 원료를 촉매 전환 공정을 통해 탄화수소로 업그레이딩하거나 생물학적 전환 공정을 통하여 항공유를 생산하는 기술로서, 크게 DSHC(Direct Sugar to Hydrocarbons)과 Catalytic Upgrading의 공정 기술이 있음

- <표 2-40>의 대상기술을 바탕으로 검색식을 구성 - 항공유라는 공통 키워드에 ATJ, OTJ, GTJ, STJ 기술별 논문 자료 등을 참고하여 바이오매스의 종류, 일반/화학 용어 및 특징이 되는 핵심 공정 기술들을 정리한 다음, 이를 and 조합하여 특허검색식을 구성함

<표 4-5> 검색어 (국문, 영문)

기술 분류	키워드		검색식 및 설명
	공통	세부	
ATJ	(항공유* or 바이오항공유* or 제트유* or 항공연료* or 제트연료* or (항공* or 제트*) a/1 (연료* or 바이오연료*) or 항공터빈연료* or 항공 a/1 터빈 a/1 연료 or (jet* or aviation*) a/2 (fuel* or biofuel* or gasoline*)) and (tl:(연료* or 항공유* or 항공연료* or 제트유* or 제트연료* or 바이오연료* or fuel* or biofuel* or 오일* or oil* or 가솔린* or gasoline*) or ab:(연료* or 항공유* or 항공연료* or 제트유* or 제트연료* or 바이오연료* or fuel* or biofuel* or 오일* or oil* or 가솔린* or gasoline*) or cl:(연료* or 항공유* or 항공연료* or 제트유* or 제트연료* or 바이오연료* or fuel* or biofuel* or 오일* or oil* or 가솔린* or gasoline*))	[A-1] (알콜* or 알코올* or 메탄올* or 에탄올* or 부탄올* or alcohol* or methanol* or ethanol or methyl a/1 tertiary or butyl a/1 ether or ethyl a/1 tertiary or butyl a/1 ether or methyl a/1 ether or Butanol)	(검색식) 공통+[A-1]+[A-2]+[A-3]+[A-4] (설명) 항공유를 생산, 처리하는 과정이 포함된 특허 중 당질계 또는 목질계 성분과 알콜성분이 포함되어 가수분해와 탈수 또는 올리고머화 과정을 포함하는 특허를 추출
		[A-2] (가수분해* or 가수* a/1 분해* or hydrolysis or hydrolyz* or hydrolytic)	
		[A-3] (올리고머* or oligomer* or 탈수* or dehydrat*)	
		[A-4] (당질* or 목질* or saccharinity or glucide or carbohydrates or saccharic or glucostatic OR lignum or wood a/1 substance or lignification or woody or libriform a/1 fibres))	
OTJ	(연료* or 항공유* or 항공연료* or 제트유* or 제트연료* or 바이오연료* or fuel* or biofuel* or 오일* or oil* or 가솔린* or gasoline*) or cl:(연료* or 항공유* or 항공연료* or 제트유* or 제트연료* or 바이오연료* or fuel* or biofuel* or 오일* or oil* or 가솔린* or gasoline*))	[A-1] (생물연료* or 바이오매스* or 생물* a/1 연료* or 바이오* a/1 매스* or biomass*) or (동물* or 라드* or 돼지* or 텔로* or 탈로우* or 텔로우* or 탈로* or 머튼* or 고래* or lard* or schweinefett* or (hog* a/1 fat*) or tallow* or rindertalg* or mutton* or fish* or whale*) a/1 (오일* or 기름* or 유지* or 지방* or oil*) or 돈지* or 돈지유* or 우지* or 어유* or 소기름* or 소지방* or 양기름* or 양지방* or 페그리스* or (황색* or 흰색* or 화이트* or 옐로우* or 다크* or brown* or dark* or yellow* or white*) a/1 (grease*) or pongam* or (낙농* a/1 폐액*) or (dairy* a/1 waste*) or (식물* or 카놀라* or canola* or 대두유* or 두유* or 콩* soybean* or soy* or 팜* or	(검색식) 공통+[A-1]+[A-2] (설명) 바이오매스로 동물성/식물성 유지, 미세조류, 오일을 포함하며, 수소화 처리 공정, HEFA, 수소화열분해, 급속 열분해 공정 등을 포함하는 특허 추출

기술 분류	키워드		검색식 및 설명
	공통	세부	
		palm* or, 면실* or 목화* or cotton* or 자트로파* or jatropha* or 코코넛* or coconut* or 피치커넬* or (peach* a/1 kernel*) or 옥수수* or 땅콩* or peonut* or groundnut* or 유채* or rapeseed* or 올리브* or olive or 미강* or 쌀겨* or (rice* a/1 bran*) or 아보카도* or avocado* or 겨자* or mustard* or 해바라기* or sunflower* or (재활용* or 사용*) a/1 식물성* or RVO or (recycle* a/1 vegetable*) or UVO or (use* a/1 vegetable*) or 폐식용* or WVO or UCO or (waste* a/1 vegetable*) or (waste* a/1 cooking*) or (use* a/1 cooking) or 거터* or gutter* or 트렌치* or trench* or 유칼립투스* or eucalyptus* or 사탕수수* or (sugar* a/1 cane*) or 카멜리나* or camelina* or 통통마디* or salicornia* or 동실박* or 투엥* or Tung* or 염생식물* or halophyte*) a/1 (오일* or 기름* or 유지* or 지방* or oil*) or (vegetable* a/1 fat*) or 카놀라유* or 팜유* or 면실유* or 미강유* or 아보카도유* or 해바라기유* or 폐식용유* or 지방종자* or oilseed*) or ((미세* or 마이크로* or 미크로* or micro*) a/1 (조류* or algae*) or 플랑크톤* or plankton* or 해조류* or seaweed*) [A-2] (HEFA* or (hydro* a/1 process*) or (fat* a/1 acid*) or HRJ or (자유* or 유리* or free*) a/1 (지방산* or (fat* a/1 acid*)) or FFA or 에스테르화* or 에스터화* or esterifica* or 지방산 메틸에스테르* or (methy* a/1 ester*) or FAME) or ((cataly* a/1 hydrotherm*) or 수소* or hydrogen* or 탈산소* or deoxygenation* or 열분해* or pyrolysis* or 액상화* or 액화* or	

기술 분류	키워드		검색식 및 설명
	공통	세부	
		liquefaction*) or (HDCJ or (hydro* a/1 treat*) or (depolymer* a/1 cellulose*) or HVO)	
GTJ		[A-1] (옥수수 or corn* or 나무* or 우드* or 목질* or 야채* or 채소* or 베지터* or wood* or 바이오매스* or biomass* or bio-mass* or 음식* or 쓰레기* or waste* or vegeta* or 식물* or Coal*	(검색식) 공통+[A-1]+[A-2] (설명) 목질계 등 바이오매스 원료의 가스화, 발효, Fischer-Tropsch 공정, 수소화 분해 반응 처리기술 등을 포함하는 특허 추출
		[A-2] (가스* or gas* or 기체* or 피셔* or 핏쳐* or 피쳐* or 핏셔* or Fischer n/1 Tropsch or fischer* or 가스화* or 발효* or fermentat* or gas-to-jet* or gas a/2 jet or 개스투제트* or 가스투제* or 개스투젯* or 가스투젯* or gasifi* or hydro a/1 crack* or hydro a/1 isomer*)	
STJ		[A-1] (바이오* or bio* or 옥수수* or corn a/1 stover* or 사탕수수* or sugarcane* or 밀대* or 밀짚* or 목질* or 우드* or wood* or wheat a/1 straw*)	(검색식) 공통+[A-1]+[A-2]+[A-3] (설명) 당질계 바이오매스로부터 항공유를 생산하기 위한 DSHC, 촉매 업그레이딩을 비롯한 촉매 전환, 당화 발효 공정 등을 포함하는 특허 추출
		[A-2] (당* or sugar* or 단당* or monosaccharid* or 이당* or disaccharid* or 다당* or polysaccharid* or 올리고당* or oligosaccharid* or 글루코스* or 글루코오스* or glucose* or 과당* or 프럭토스* or 프럭토오스* or fructose* or 말토스* or 말토오스* or maltose* or 락토스* or 락토오스* or lactose* or 만노스* or 만노오스* or mannose* or oxygenated* a/1 hydrocarbon* or (산소화* or 함산소*) a/1 탄화수소*)	
		[A-3] (((당* or sugar*) n/5 (탄화수소* or hydrocarbon*) or 촉매* or cataly* or 생물학적* or biological*) and (전환* or 변환* or 컨버* or conver*)) or 가수분해* or hydrolysis* or	

기술 분류	키워드		검색식 및 설명
	공통	세부	
		((촉매* or cataly*) and (탈산소* or deoxygenat* or 업그레이드* or upgrad* or 수상* or 수성 a/1 상* or aqueous* a/2 phase* or HMF* or hydroxymethylfurfu* or DMF* or Dimethylfu*)) or 탈수소* or dehydrat* or 올리고머화* or 다량체화* or 고분자화* or 소중합체화* or oligomerizat* or 수소화* or hydroprocess* or hydro a/1 process* or 발효* or fermentat*)	

다. 유효특허 선별 기준 및 결과

- 바이오 항공유(Bio-Jet Fuel)란 표현이 특허 원문상에 언급되어 있으면서, 세부기술별 핵심 키워드 및 공정 기술은 특허의 초록 및 청구항상에 언급된 건들을 중심으로 유효특허를 도출함
- 또한, 바이오 항공유 4가지 기술별 관련 주요 기업과 국제특허분류(IPC)를 병행 참조하여 다음과 같이 유효특허 1,575건을 최종 도출함

<표 4-6> 유효특허건수

공보 구분	KR	US	JP	EP	WO	합계
유효특허건수	217	661	221	92	384	1,575

2. 분석방법

가. 특허동향 및 특허경쟁력 분석 방법

- 바이오 항공유 기술분야에 대한 특허동향 및 지표를 활용한 분석은 다음 기준에 의해 진행됨
- 특허동향은 하나의 기준에 의한 정량적인 기준에 의한 분석이며, 특허경쟁력은 2개 이상의 변수를 활용한 지표로써 정성분석에 가까운 분석결과 확인이 가능함

〈표 4-7〉 특허동향 및 특허경쟁력 분석방법

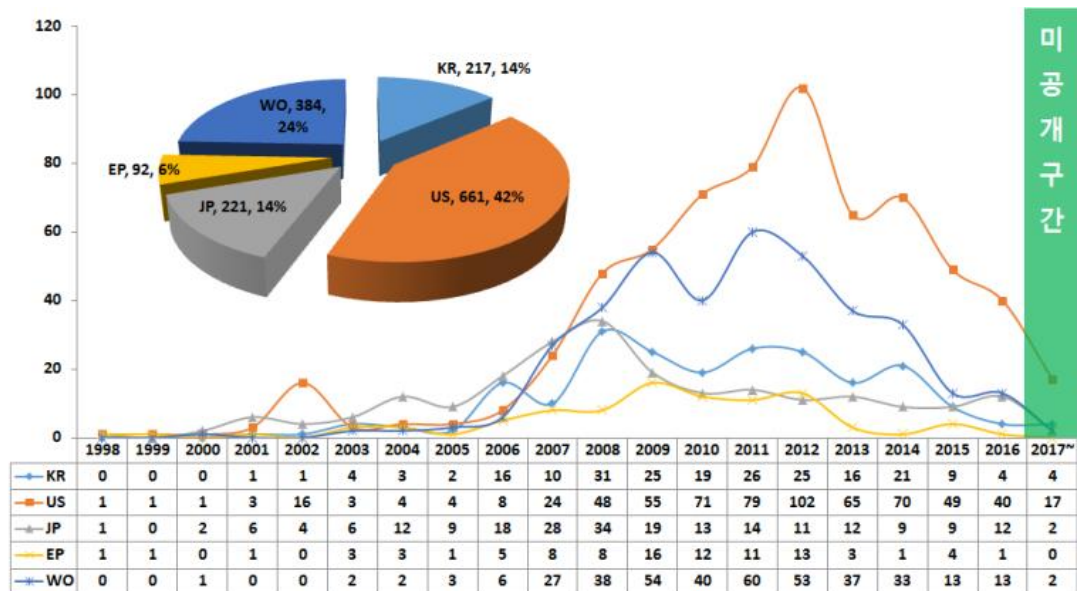
분석항목(분석지표)		내용
특허동향	특허 발행국별 연도별	전체특허의 특허 발행국별 점유율 및 연도별 특허 출원량
	기술 분류별 연도별	기술 분류별 특허 발행국별 점유율 및 연도별 특허 출원량
	기술 분류별 특허 발행국별	기술 분류별 특허 발행국별 특허 출원량
	출원인 국적별 특허출원	출원인 국적별 특허 출원량
	전체 기술에 대한 주요기업	전체 기술에 대한 상위 다출원 기업들의 특허출원 동향
	기술 분류별 주요기업	기술 분류별 다출원 기업들의 특허출원 동향
	국내 주요기업 특허출원	대한민국 다출원 기업들의 특허출원 동향
특허 경쟁력	한국의 IP 장벽도	각 기술 분류에 대한 국외 특허권자의 특허 점유율 파악을 위한 것으로, 한국에서 해외 국적 특허권자의 특허 출원량을 파악하여 특허권리 확보를 위한 진입 장벽 정도를 파악
	출원인 국적별 기술력	출원인 국적별(한미일, 유럽) 특허 인용지수(Forward Reference, Count of Citing Patents) 등을 조사하여 글로벌 시장에서 해당 기술이 미치는 영향력 분석
	출원인 국적별 특허활동 지수	출원인 국적별 집중 투자 기술 분야를 파악하기 위한 것으로, 기술 분류별 상대적인 특허 역량 집중도 분석
	출원인 국적별 기술원천성	출원인 국적별 NPL(Non-patent Literature) 피인용지수, 즉, 해당 특허가 인용하고 있는 논문, 표준, 기고서 등의 개수를 파악하여, 해당 특허의 기초과학 지수 및 기술원천성 분석
	출원인 국적별 시장 확장성	미래 시장에서 끼칠 기술 영향력 예측을 위해 해당 기술 관련특허가 출원된 국가 수(특허진입 국가 수)를 분석
	출원인 국적별 특허규모	출원인 국적별 기술 수준 파악을 위해 해당 기술 분야에 출원된 전체 특허 중, 출원인 국적별로 차지하는 비중을 분석
	출원인 국적별 특허관심(중요)도	해당 기술에 대한 출원인 국적별 중요도를 파악하기 위해 출원인 국적별 특허권자의 패밀리 수를 파악함으로써, 특허 권리를 확보를 위한 국적별 자원 투입 정도를 파악

3. 특허동향 분석 결과

- 본 분석에서는 선별된 유효특허 1,575건을 기초로, 특허 발행국별, 기술별, 출원인 국적별, 주요 기업별 동향 및 한국의 IP 장벽도에 대해 정량적 측면의 분석 결과를 살펴봄

가. 특허 발행국별 연도별 동향

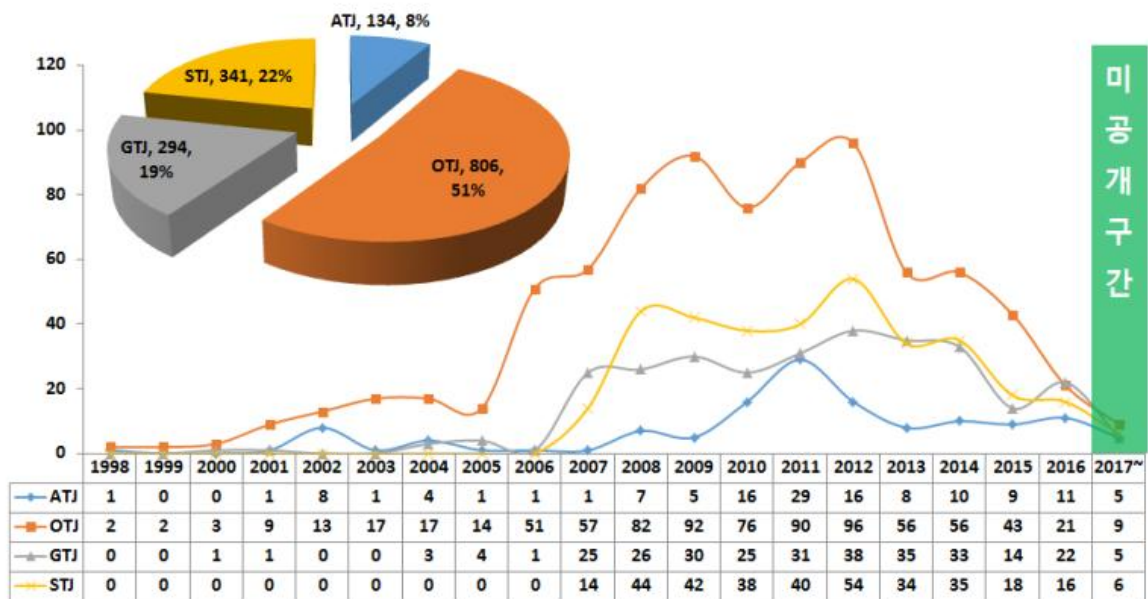
- 바이오 항공유 기술에 대한 특허 발행국별 연도별 동향을 살펴보면, 2006년을 기점으로 국내외 기업들의 특허출원이 가파르게 증가하였고, 특히 미국이 특허 출원을 주도하고 있는 것으로 나타남
- 특허 발행국별 점유율에서는, 미국특허의 비중이 42%로, 향후 국내외 기업들의 특허 경쟁이 가장 치열한 시장으로 파악되었고, 국제(WO) 24%, 일본 14%, 한국 14% 순으로 파악됨
- 한편, 유럽에서의 특허출원 비중은 6%에 그쳐, 유럽 시장에 대한 기업들의 특허 관심도는 낮은 것으로 나타남



<그림 4-1> 특허 발행국별 연도별 동향

나. 기술 분류별 연도별 동향

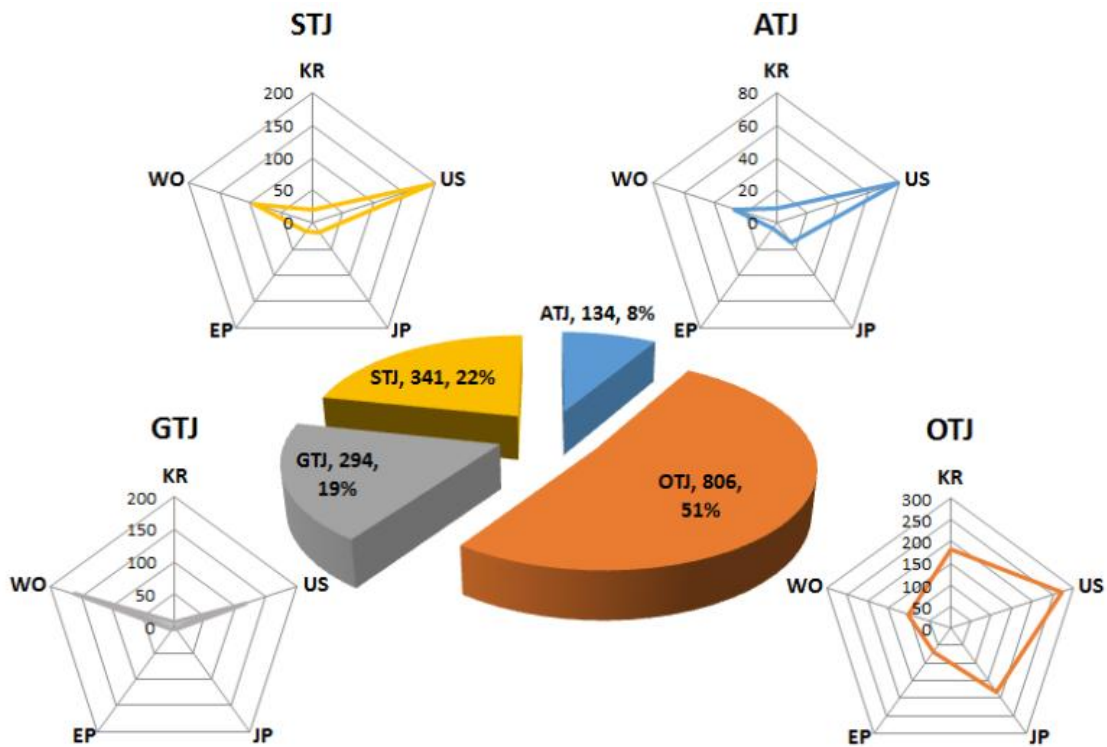
- 기술 분류별 연도별 동향을 살펴보면 2005년을 기점으로 OTJ 기술 관련 특허출원이 급격히 증가하였고, 최근 출원량이 감소하고 있긴 하나 타 기술 대비 많은 특허출원이 이루어지고 있음
- STJ와 GTJ 기술의 경우에는 2007년부터 글로벌 기업들의 본격적 특허출원 활동이 이루어지고 있는 것으로 나타남
- 반면, ATJ 기술은 타 기술 대비 소폭의 출원 증가를 보이고 있으며, 최근에는 출원 감소 추세를 나타내고 있음
- 기술 분류별 특허 점유율을 살펴보면 ATJ 특허기술이 전체 특허의 과반 이상(51%)을 차지하고 있어, 바이오 항공유 기술에서 글로벌 기업들의 특허 경쟁이 가장 치열한 분야로 나타났고, 그 다음으로 STJ 22%, GTJ 19%, ATJ 8% 순으로 나타남



〈그림 4-2〉 기술 분류별 연도별 동향

다. 기술 분류별 특허 발행국별 동향

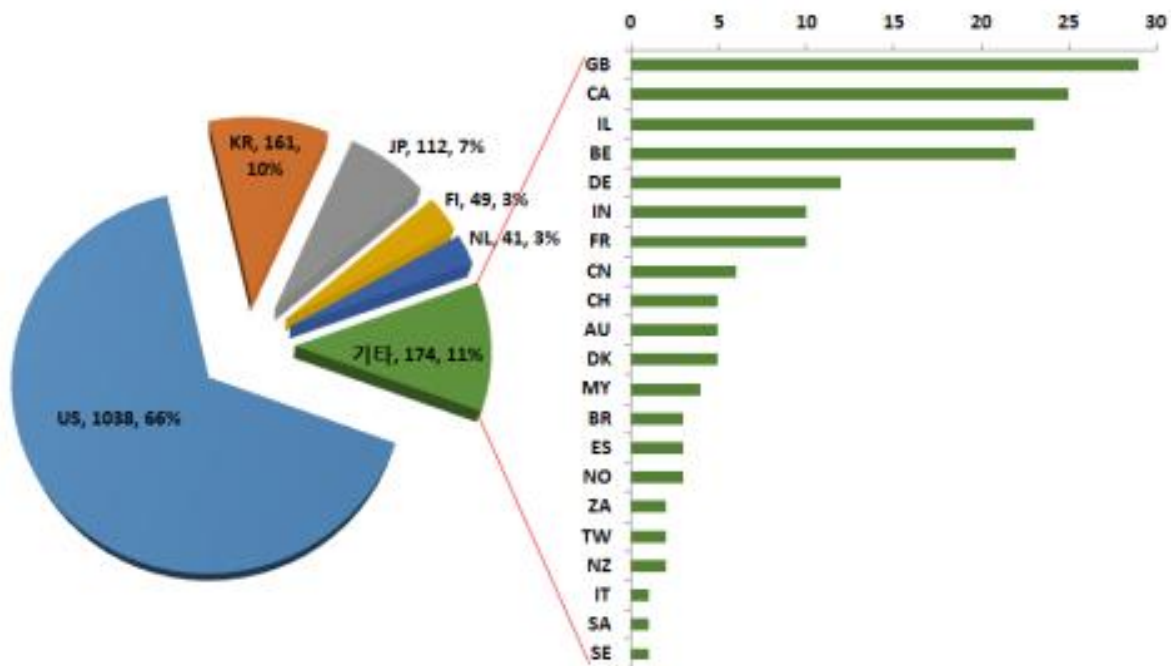
- 바이오 항공유 세부 기술별 특허 발행국 현황을 살펴보면, GTJ 기술을 제외한 나머지 기술들 모두 미국에서의 특허출원 비중이 가장 높게 나타남
- 4가지 기술들 중 가장 많은 특허비중을 차지하고 있는 OTJ 기술의 경우에는 미국, 한국, 일본에서의 특허출원이 많았고, STJ 및 ATJ 기술은 미국출원이 대부분이며, 일부 국제출원(WO)이 이루어지고 있는 것으로 나타남
- 한편, GTJ 기술은 향후 글로벌 시장 선점을 염두한 국제출원(WO)을 적극 활용하고 있는 것으로 나타남



<그림 4-3> 기술 분류별 특허 발행국별 동향

라. 출원인 국적별 특허출원 동향

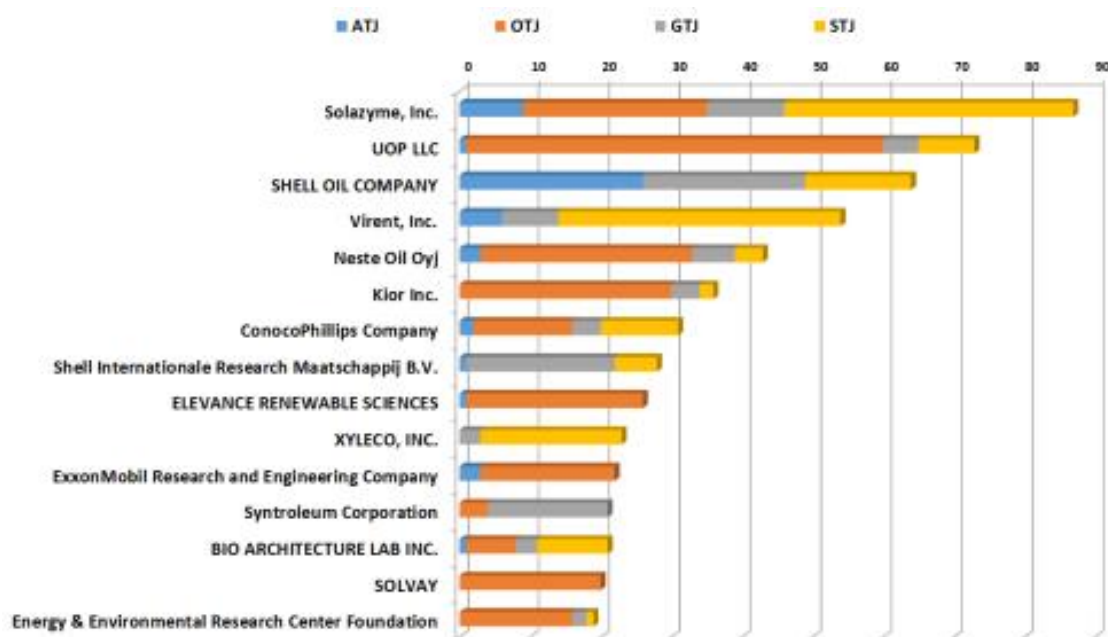
- 바이오 항공유 기술에 대한 출원인 국적별 동향을 살펴보면, 미국 국적 출원인에 의한 특허 점유율이 66%로 과반 이상의 높은 비중을 차지하고 있어, 강력한 특허 장벽을 형성하고 있는 것으로 파악됨
- 그 다음으로는 한국 10%, 일본 7%, 핀란드 3%, 네덜란드 3% 국적 출원인 순으로 나타남
- 기타 11%에는 영국, 캐나다, 이스라엘 및 벨기에 국적 출원인에 의한 특허비중이 높게 나타났고, 대만, 스웨덴 국적 출원인의 바이오 항공유 기술에 대한 특허관심도는 낮은 것으로 나타남.



<그림 4-4> 출원인 국적별 특허출원 동향

마. 전체 기술 주요 출원인 동향

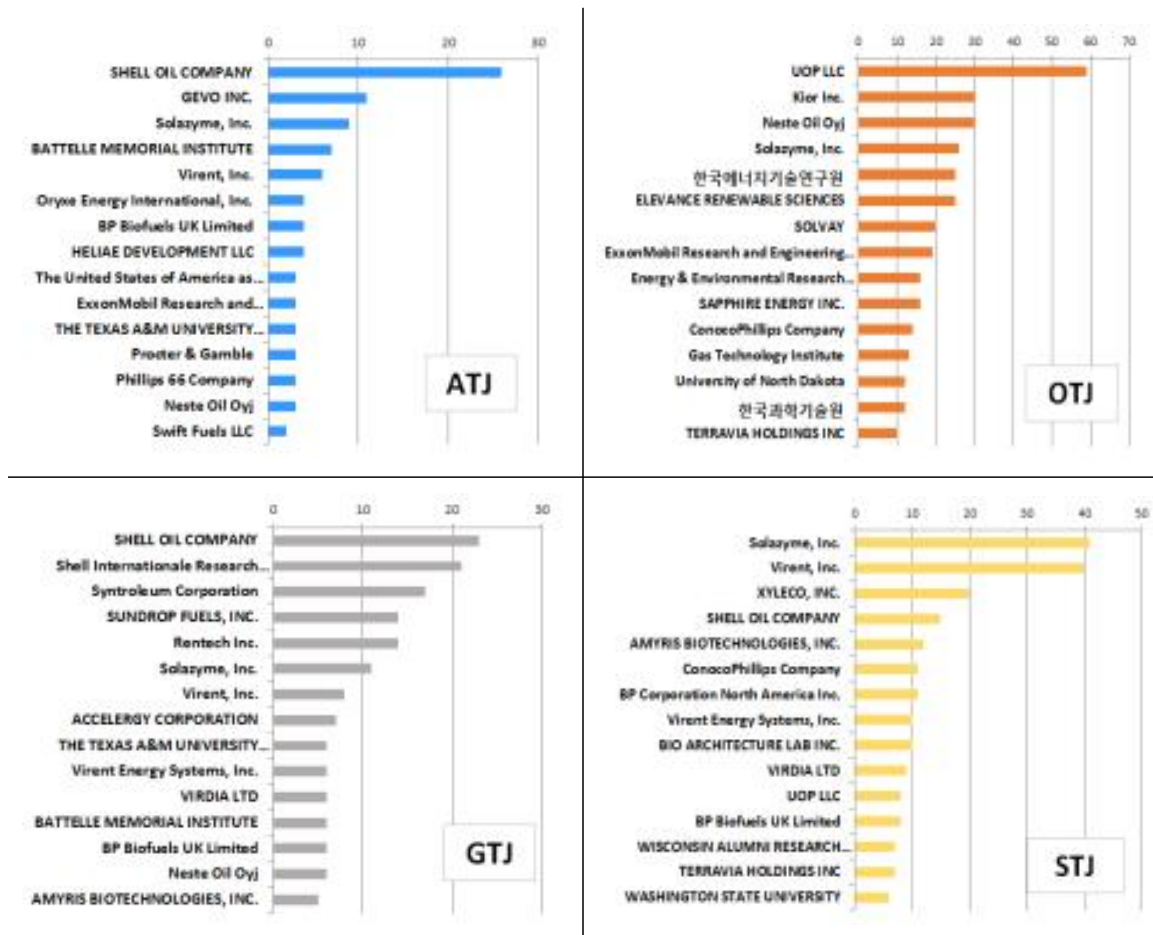
- 바이오 항공유 기술 관련 주요 출원인별 동향을 살펴보면, olazyme, UOP LLC, Shell Oil을 비롯한 미국 국적 기업들 대다수가 상위 다출원인에 포함되어 있어 강력한 특허포트폴리오를 구축하고 있는 것으로 파악되었고, 미국 이외 국적 기업은 핀란드의 Neste Oil, 네덜란드의 Shell Internationale Research Maatschappij B.V. 및 벨기에의 Solvay인 것으로 나타남
- ATJ 특허기술 확보에 주력하고 있는 주요 출원인은 Shell Oil로 나타났고, OTJ 특허기술은 UOP LLC, Neste Oil, Kior 및 Elevance Renewable Sciences에서 출원 활동이 활발한 것으로 나타남
- Solazyme 및 Virent는 STJ 기술 관련 특허출원 활동이 매우 활발한 것으로 나타남



<그림 4-5> 전체 기술 주요 출원인별 특허출원 동향

바. 세부 기술별 주요 출원인 동향

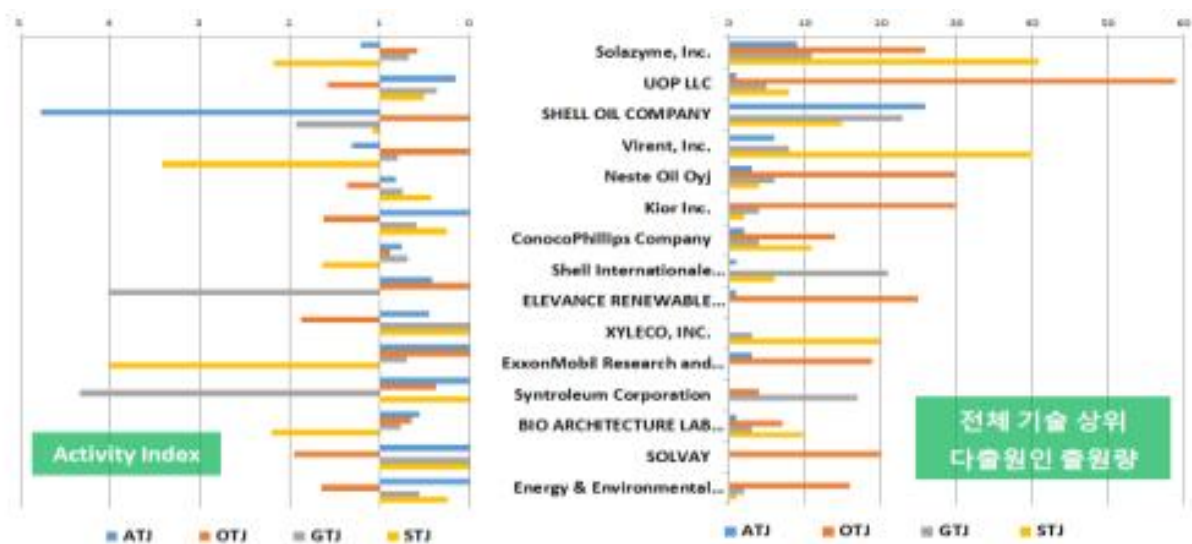
- 세부 기술별 주요 출원인 동향을 살펴보면, Shell Oil, UOP LLC, Solazyme 및 Virent 등 미국 국적 기업들을 중심으로 바이오 항공유 세부 특허기술 모두를 주도하고 있는 것으로 나타남
- 반면, 한국 국적 기업의 특허출원 활동은 매우 저조하며, 한국에너지기술연구원 및 한국과학기술원에서 OTJ 기술에 대해 일부 특허출원 활동을 진행하고 있는 것으로 나타남
- Solazyme의 경우 STJ를 비롯한 바이오 항공유 세부 기술들 모두에 대해 폭넓은 특허 기술 확보를 위해 노력하고 있는 것으로 파악됨



<그림 4-6> 세부 기술별 주요 출원인 동향

사. 전체 기술 주요 출원인의 특허활동지수(Activity Index)⁶⁾

- 바이오 항공유 주요 출원인의 특허활동지수를 살펴보면, Shell Oil은 타 기술 대비 ATJ 기술에 대한 특허활동이 매우 활발한 것으로 나타나, ATJ 기술력 확보를 위한 집중적 연구개발이 진행된 것으로 예측됨
- Virent 및 Xyleco는 STJ 특허기술 확보에 집중하고 있으며, Shell Internationale Research Maatschappij B.V.는 GTJ에 특화된 기술 확보에 주력하고 있는 것으로 나타남
- OTJ 기술의 경우에는 타 기술에 비해 특허역량 집중도는 약하나 Solvay등을 중심으로 특허활동이 활발한 것으로 나타남



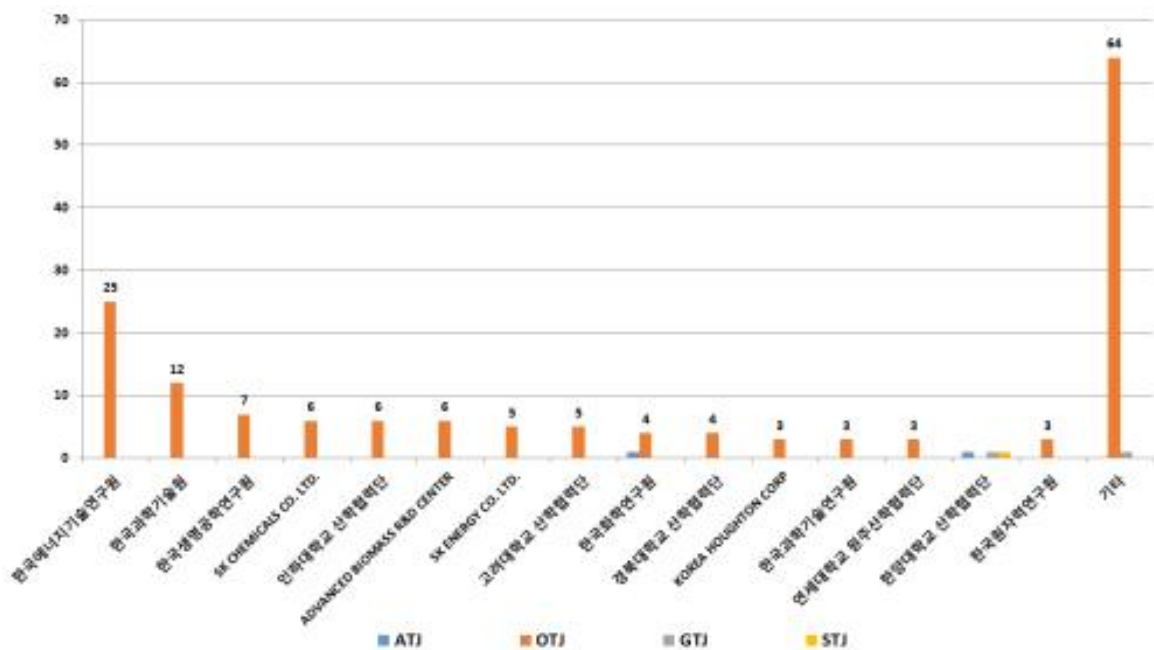
<그림 4-7> 주요 출원인의 특허활동지수

6) AI(Activity Index) : 특허활동지수로서, 기술 특화 현황의 파악을 위해 가장 많이 사용되는 지수 중 하나로, 그 값이 1보다 큰 경우에는 상대적 특허활동이 활발함을 나타내는 지표임. 수식에서 분모는 전 분야의 특허에서 i 분야가 차지하는 비율이고, 분자는 j의 특허에서 i 분야가 차지하는 비율을 나타냄. 그리고 P_{ij} 는 i 분야에 대한 j의 특허수를 나타냄

$$A_I = \frac{(P_{ij} / \sum_i P_{ij})}{(\sum_j P_{ij} / \sum_i \sum_j P_{ij})} = \frac{\text{특정기술분야의 특정출원인건수}}{\text{특정기술분야전체건수}} \div \frac{\text{특정출원인총건수}}{\text{전체 특허총건수}}$$

아. 한국 국적 출원인 동향

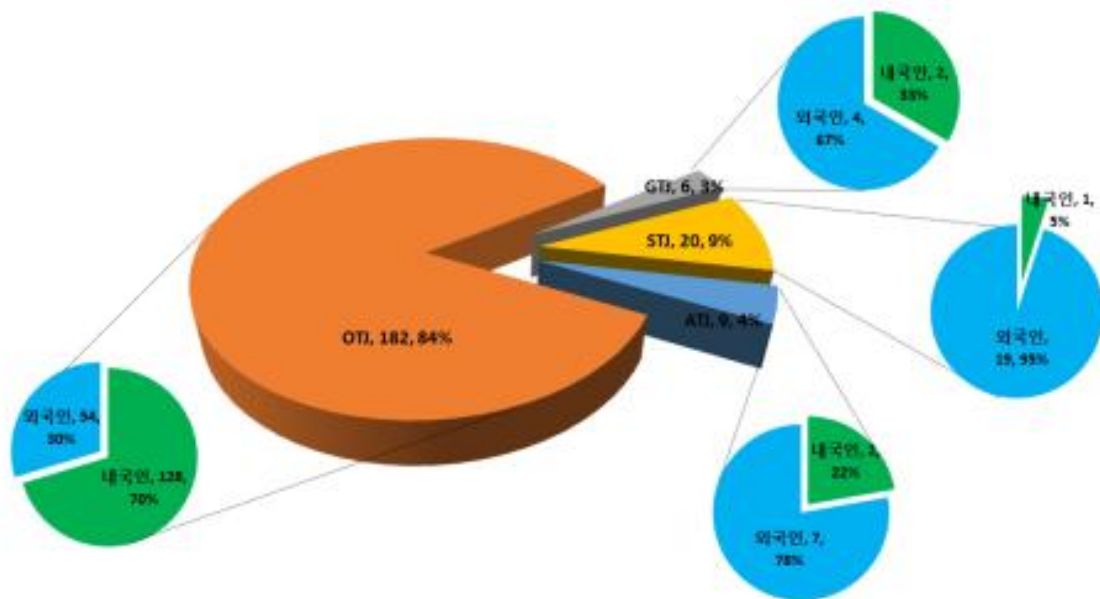
- 바이오 항공유 기술에 대한 한국 국적 출원인 동향을 살펴보면, 한국 출원인에 의해 총 161건의 특허가 출원되었는데, 이는 국외 대비 특허출원 활동이 상대적으로 매우 저조한 것으로, 특허 경쟁력이 많이 뒤쳐져 있다고 볼 수 있음
- 한국에너지기술연구원과 한국과학기술원 등 연구소를 중심으로 OTJ 기술에 대한 특허출원이 이루어지고 있으며, ATJ, GTJ 및 STJ 기술에 대한 특허출원은 한 두건에 불과한 것으로 나타남
- 기타 출원인에 의한 특허출원은 65건으로 한국 국적 출원의 39.4%를 차지하고 있으며, 한국에너지기술연구원을 제외하면 국내 산/학/연의 특허출원 활동이 전반적으로 저조한 것으로 나타남



<그림 4-8> 한국 국적 출원인 동향

자. 한국의 IP 장벽도

- 한국의 IP 장벽도는 한국특허청에서 발행한 공개/등록 특허로 한정된 상태에서 바이오 항공유 세부기술별 내국인(한국 국적 출원인) 대비 외국인(해외 국적 출원인)의 특허 점유율을 살펴봄으로써, 한국에서의 외국 기업에 의한 IP 장벽을 개략적으로 유추해 볼 수 있는 통계 항목임
- 바이오 항공유 4가지 기술들 중, OTJ 기술은 내국인의 특허점유율이 상대적으로 높아 IP 장벽이 낮은 것으로 나타남
- 반면, ATJ, GTJ 및 STJ 기술들은 내/외국인 출원건이 매우 적으며, 상대적 측면에서 외국인에 의한 한국의 IP 장벽도가 높은 것으로 나타남



<그림 4-9> 한국의 IP 장벽도

4. 특허 경쟁력 분석 결과

- 본 분석에서는 출원인 속성별 출원 건수, 특허의 인용 정보 등을 활용하여 <표 2-6>에 기재된 특허지표를 산출하고, 바이오 항공유 분야의 각 국가의 기술력, 특허 활동지수, 원천성, 시장성 등을 살펴보고자 함

<표 4-8> 특허평가 지표

지표	평가목적 및 내용
출원인 국적별 기술력	출원인 국적별(한미일, 유럽) 특허 인용지수(Forward Reference, Count of Citing Patents) 등을 조사하여 글로벌 시장에서 해당 기술이 미치는 영향력 분석
주요출원인 특허활동지수	주요출원인의 집중 투자 기술 분야를 파악하기 위한 것으로, 기술 분류별 상대적인 특허 역량 집중도 분석
출원인 국적별 기술원천성	출원인 국적별 NPL(Non-patent Literature) 피인용지수, 즉, 해당 특허가 인용하고 있는 논문, 표준, 기고서 등의 개수를 파악하여, 해당 특허의 기초과학 지수 및 기술원천성 분석
출원인 국적별 시장 확장성	미래 시장에서 끼칠 기술 영향력 예측을 위해 해당 기술 관련특허가 출원된 국가 수(특허진입 국가 수)를 분석
출원인 국적별 특허규모	출원인 국적별 기술 수준 파악을 위해 해당 기술 분야에 출원된 전체 특허 중, 출원인 국적별로 차지하는 비중을 분석
출원인 국적별 특허관심(중요)도	해당 기술에 대한 출원인 국적별 중요도를 파악하기 위해 출원인 국적별 특허권자의 패밀리 수를 파악함으로써, 특허 권리를 확보를 위한 국적별 자원 투입 정도를 파악

가. 출원인 국적별 기술력(TS)⁷⁾

- 바이오 항공유 기술에 대한 출원인 국적별 기술력 지수를 살펴보면, 모든 기술 분야에서 미국 출원인의 기술력이 압도적으로 뛰어난 것으로 나타남
- 우리나라는 OTJ 기술 분야에서 기술력이 뛰어난 것으로 나타났으며, 일본, 핀란드, 캐나다 등 많은 국가에서 OTJ 기술에 대한 기술은 어느 정도 확보하고 있는 것으로 파악됨
- 한편, ATJ 기술은 대부분의 국가의 기술력이 낮은 것으로 나타남

7) TS(Technology Strength) : 특정 국가 또는 기관의 기술적 역량을 살펴보기 위해 사용되는 지표로, 기술의 질적인 측면과 양적인 측면을 모두 고려한 기술적 영향력 또는 기술적 역량에 대한 정보를 제공함

〈표 4-9〉 출원인 국적별 기술력(TS) 지수

국가	ATJ		OTJ		GTJ		STJ	
미국	132.21	1	657.75	1	257.03	1	284.57	1
한국	0.11	5	30.85	3	0.00	10	0.00	8
일본	0.00	6	22.85	4	0.52	7	N/A	9
핀란드	1.18	3	41.88	2	1.33	6	1.39	6
네덜란드	0.00	6	2.23	12	16.47	2	4.29	4
영국	1.93	2	2.45	11	2.31	5	11.32	3
캐나다	N/A	8	17.66	5	8.26	3	4.19	5
이스라엘	N/A	8	0.00	13	4.97	4	33.62	2
벨기에	N/A	8	6.63	6	N/A	11	N/A	9
독일	N/A	8	3.39	7	N/A	11	N/A	9
프랑스	0.56	4	2.67	10	N/A	11	N/A	9
인도	N/A	8	2.96	9	0.12	8	0.07	7
중국	N/A	8	3.03	8	0.06	9	N/A	9

나. 주요 출원인 국적별 특허활동지수

- 앞서 특허동향에서 추출한 주요 출원인⁸⁾의 국적별 집중 기술 투자 기술 분야를 파악하기 위해 특허 활동 지수를 산출함
- 주요출원인의 국적은 미국, 네덜란드, 핀란드, 벨기에이며, 3개국(미국, 핀란드, 벨기에) 주요 출원인은 OTJ 분야에 가장 많은 투자를 하고 있으며, 네덜란드의 주요기업은 GTJ 분야에 투자가 많으며, 그 밖에 미국은 STJ 분야에도 활발한 투자를 하고 있는 것으로 보임

〈표 4-10〉 출원인 국적별 특허활동 지수

기술 분류	미국		네덜란드		핀란드		벨기에	
	AI ⁹⁾	순위	AI	순위	AI	순위	AI	순위
ATJ	13.86	4	0.10	3	0.80	4	0.00	2
OTJ	46.19	1	0.00	4	8.04	1	11.75	1
GTJ	19.40	3	2.05	1	1.61	2	0.00	2
STJ	35.10	2	0.59	2	1.07	3	0.00	2

8) 바이오 항공유 분야 주요 출원인 : Solazyme, Inc., UOP LLC, SHELL OIL COMPANY, Virent, Inc., Neste Oil Oyj, Kior Inc., ConocoPhillips Company, Shell Internationale Research Maatschappij B.V., XYLECO, INC., ExxonMobil Research and Engineering Company, BIO ARCHITECTURE LAB INC., Syntroleum Corporation, SOLVAY, ELEVANCE RENEWABLE SCIENCES, GEVO INC., Energy & Environmental Research Center Foundation

다. 출원인 국적별 기술원천성(NPL)¹⁰⁾

- 바이오 항공유 기술에 대한 출원인 국적별 기술 원천성 지수를 살펴보면, 미국은 모든 분야에서 원천 기술에 가까운 출원을 하는 것으로 나타난 반면, 한국은 원천기술 보다는 응용기술에 가까운 출원을 진행한 것으로 나타남
- 그 밖에 캐나다, 핀란드 등이 STJ, OTJ 기술분야에서 원천기술과 관련된 출원을 하고 있는 것으로 파악됨

〈표 4-11〉 출원인 국적별 기술원천성 지수

국가	ATJ		OTJ		GTJ		STJ	
미국	45.61	1	8.32	2	11.57	1	33.56	2
한국	0.00	5	0.49	10	0.00	10	0.00	8
일본	0.00	5	0.69	8	1.00	6	N/A	9
핀란드	12.00	2	15.00	1	0.67	9	7.75	6
네덜란드	0.00	5	0.40	11	0.79	8	5.45	7
영국	6.00	3	1.00	6	9.50	3	15.08	4
캐나다	N/A	8	6.47	3	2.71	5	31.67	3
이스라엘	N/A	8	0.00	13	1.00	6	81.00	1
벨기에	N/A	8	0.36	12	N/A	11	N/A	9
독일	N/A	8	0.75	7	N/A	11	N/A	9
프랑스	3.00	4	1.25	5	N/A	11	N/A	9
인도	N/A	8	0.50	9	10.00	2	10.00	5
중국	N/A	8	1.40	4	4.00	4	N/A	9

9) AI(Activity Index) : 특허활동지수로서, 기술 특화 현황의 파악을 위해 가장 많이 사용되는 지수 중 하나로, 그 값이 1보다 큰 경우에는 상대적 특허활동이 활발함을 나타내는 지표임. 수식에서 분모는 전 분야의 특허에서 i 분야가 차지하는 비율이고, 분자는 j의 특허에서 i 분야가 차지하는 비율을 나타냄. 그리고 P_{ij}는 i 분야에 대한 j의 특허수를 나타냄

$$A_I = \frac{(P_{ij} / \sum_i P_{ij})}{(\sum_j P_{ij} / \sum_i \sum_j P_{ij})} = \frac{\text{특정 기술분야의 특정출원인건수}}{\text{특정 기술분야 전체건수}} = \frac{\text{특정출원인 총건수}}{\text{전체 특허 총건수}}$$

10) NPL(Non-Patent Literature) : 특허에서 인용하고 있는 비특허 문헌 관련 정보로, 해당 특허에 담겨진 기술이 과학의 연구 성과들과 얼마나 밀접한 관련을 맺고 있는가를 나타냄. 본 지수를 통해서 어떤 국가나 기업이 해당 산업부문에서 선도적인 위치에 있으며, 기초연구 또는 원천기술 개발에 주력하고 있는가를 간접적으로 파악할 수 있음. 즉, 해당 특허기술이 논문/표준/기고서 등을 많이 인용하고 있다는 것은 보다 기초적이고 원천적인 기술일 가능성이 높다는 것을 의미하며, 개별 국가나 기업의 NPL 지수가 높은 수치를 보인다는 것은 경쟁 국가나 기업에 비해 보다 선도적 지위를 차지하고 있을 가능성이 높은 것으로 해석할 수 있음

라. 출원인 국적별 시장 확장성¹¹⁾

- 바이오 항공유 분야의 국가별 시장 확장성을 분야별로 살펴보면, STJ 분야는 핀란드와 미국이 특허진입 국가의 수가 많은 것으로 나타났고, OTJ 기술은 프랑스와 벨기에, GTJ 기술은 중국, 핀란드, ATJ 기술은 핀란드와 네덜란드가 해당 기술에 대한 특허를 많은 국가에 출원한 것으로 파악됨
- 우리나라는 아직 특허에 대한 투자가 미비한 것으로 나타남

<표 4-12> 출원인 국적별 시장확장성 지수

국가	ATJ		OTJ		GTJ		STJ	
미국	6.06	3	5.45	9	4.04	6	6.64	3
한국	1.00	6	1.13	13	0.00	10	0.00	8
일본	1.00	6	4.22	11	3.67	7	N/A	9
핀란드	8.67	1	6.11	8	8.50	2	8.25	1
네덜란드	8.00	2	6.60	5	4.29	5	7.55	2
영국	6.00	4	7.50	4	6.63	3	5.58	5
캐나다	N/A	8	3.60	12	3.29	8	1.00	6
이스라엘	N/A	8	8.00	3	5.56	4	5.69	4
벨기에	N/A	8	8.14	2	N/A	11	N/A	9
독일	N/A	8	6.50	6	N/A	11	N/A	9
프랑스	3.50	5	10.00	1	N/A	11	N/A	9
인도	N/A	8	4.50	10	1.00	9	1.00	6
중국	N/A	8	6.20	7	9.00	1	N/A	9

11) 시장 확장성 : 특허진입 국가 수가 많을수록 범용성을 갖춘 것으로 판단

마. 출원인 국적별 특허 규모¹²⁾

- 바이오 항공유 관련된 특허는 미국이 모든 기술 분야에서 압도적인 출원 규모를 나타내고 있음
- 그 밖에 STJ 기술에서는 이스라엘과 영국, OTJ 기술에서는 한국, 일본, 핀란드, GTJ 기술에서는 네덜란드와 이스라엘, ATJ 기술에서는 영국과 핀란드가 강세로 파악됨
- 우리나라는 OTJ 기술과 ATJ 기술에서 경쟁국보다 큰 특허 규모를 나타냄

<표 4-13> 출원인 국적별 특허 규모

국가	ATJ		OTJ		GTJ		STJ	
미국	85.07	1	50.25	1	77.21	1	85.63	1
한국	1.49	4	19.35	2	0.68	8	0.29	7
일본	0.75	6	13.40	3	1.02	7	0.00	9
핀란드	2.24	3	4.47	4	2.04	6	1.17	5
네덜란드	0.75	6	0.62	10	8.16	2	3.23	4
영국	5.22	2	0.25	12	2.72	4	3.52	3
캐나다	0.00	8	1.86	6	2.38	5	0.88	6
이스라엘	0.00	8	0.12	13	3.06	3	3.81	2
벨기에	0.00	8	2.73	5	0.00	11	0.00	9
독일	0.00	8	1.49	7	0.00	11	0.00	9
프랑스	1.49	4	0.99	8	0.00	11	0.00	9
인도	0.00	8	0.99	8	0.34	9	0.29	7
중국	0.00	8	0.62	10	0.34	9	0.00	9

12) 국가의 특정 기술 분야에 대한 특허 출원량을 기초로 특정 기술 분야의 해당 국가의 특허 영향력을 판단

바. 출원인 국적별 특허관심(중요)도¹³⁾

- 바이오 항공유 중 STJ 분야에서는 미국과 이스라엘에서 특허에 대한 투자를 많이 하고 있으며, OTJ 분야에서는 벨기에, 프랑스가 특허 포트폴리오 확장을 위해 투자를 하고 있는 것으로 파악됨
- GTJ 분야에서는 중국, 이스라엘, ATJ 분야는 네덜란드와 미국이 특허에 대한 투자가 활발한 것으로 판단됨
- 반면 우리나라는 4개 기술분야 모두에서 특허에 대한 투자가 미비한 것으로 나타남

<표 4-14> 출원인 국적별 특허 관심(중요)도

국가	ATJ		OTJ		GTJ		STJ	
미국	18.35	2	12.39	5	10.16	4	19.24	1
한국	1.00	6	1.34	13	0.00	10	0.00	8
일본	1.00	6	6.97	11	4.33	8	N/A	9
핀란드	11.33	3	13.11	3	12.00	3	10.50	4
네덜란드	36.00	1	10.20	7	5.79	7	14.45	3
영국	8.29	4	12.00	6	8.75	5	8.17	5
캐나다	N/A	8	6.93	12	6.00	6	3.00	6
이스라엘	N/A	8	13.00	4	13.89	2	15.08	2
벨기에	N/A	8	61.05	1	N/A	11	N/A	9
독일	N/A	8	8.50	8	N/A	11	N/A	9
프랑스	4.50	5	14.50	2	N/A	11	N/A	9
인도	N/A	8	7.25	10	1.00	9	1.00	7
중국	N/A	8	8.40	9	14.00	1	N/A	9

13) 특허관심도 : 출원인 국적별 특허 패밀리 사이즈가 높을수록 중요 기술로 판단

5. 분석결과 종합 결론

가. ATJ (Alocohol to Jet)

- 출원건수 : 전체 1,575건 중 134건(8%)
- 출원분포 : 한국(9건, 6.7%), 미국(79), 일본(15), 유럽(4), WO(27)
- 출원인 국적(13개) 대상으로 기술력, 원천성, 확장성, 특허규모, 관심도에 대한 종합 평점 결과 미국이 1위, 핀란드 2위, 영국의 순위로 나타남
- 미국은 대부분의 지표에서 상위권을 나타내고 있으며, SHELL OIL COMPANY, GEVO INC., Solazyme, Inc.등이 주요 출원인으로 나타남

〈표 4-15〉 ATJ 기술에 대한 종합 분석

국가	기술력	원천성	확장성	규모	관심도	종합	주요기관
미국	1위	1위	3위	1위	2위	1위	SHELL OIL COMPANY, GEVO INC., Solazyme, Inc.
한국	5위	5위	6위	4위	6위	6위	-
일본	6위	5위	6위	6위	6위	7위	-
핀란드	3위	2위	1위	3위	3위	2위	Neste Oil Oyj
네덜란드	6위	5위	2위	6위	1위	4위	-
영국	2위	3위	4위	2위	4위	3위	BP Biofuels UK Limited
캐나다	8위	8위	8위	8위	8위	8위	-
이스라엘	8위	8위	8위	8위	8위	8위	-
벨기에	8위	8위	8위	8위	8위	8위	-
독일	8위	8위	8위	8위	8위	8위	-
프랑스	4위	4위	5위	4위	5위	5위	-
인도	8위	8위	8위	8위	8위	8위	-
중국	8위	8위	8위	8위	8위	8위	-

나. OTJ (Oil to Jet)

- 출원건수: 전체 1,575건 중 806건(51%)
- 출원분포: 한국(182건, 22.6%), 미국(272), 일본(183), 유럽(67), WO(102)
- 출원인 국적(13개) 대상으로 기술력, 원천성, 확장성, 특허규모, 관심도에 대한 종합 평점 결과 미국, 핀란드, 벨기에 순위로 나타남
- 핀란드는 Neste Oil Oyj 가 순위의 대부분에 영향을 주었으며 ATJ 분야에서도 2위를 기록하고 있을 정도로 특허활동이 활발함
- 우리나라의 순위는 낮으나 한국에너지기술연구원(25건)과 한국과학기술원(12건)이 상대적으로 많은 건의 특허를 확보함

<표 4-16> OTJ 기술에 대한 종합 분석

국가	기술력	원천성	확장성	규모	관심도	종합	주요기관
미국	1위	2위	9위	1위	5위	1위	Kior Inc., Elevance Renewable Science, UOP LLC, Solazyme, Inc.
한국	3위	10위	13위	2위	13위	10위	에기연, 과기원
일본	4위	8위	11위	3위	11위	6위	
핀란드	2위	1위	8위	4위	3위	2위	Neste Oil Oyj
네덜란드	12위	11위	5위	10위	7위	11위	
영국	11위	6위	4위	12위	6위	9위	
캐나다	5위	3위	12위	6위	12위	7위	
이스라엘	13위	13위	3위	13위	4위	12위	
벨기에	6위	12위	2위	5위	1위	3위	SOLVAY
독일	7위	7위	6위	7위	8위	5위	Cognis IP Management GmbH
프랑스	10위	5위	1위	8위	2위	4위	ARKEMA FRANCE
인도	9위	9위	10위	8위	10위	12위	
중국	8위	4위	7위	10위	9위	7위	

다. GTJ (Gas to Jet)

- 출원건수: 전체 1,575건 중 294건(19%)
- 출원분포: 한국(6건, 2.0%), 미국(116), 일본(5), 유럽(6), WO(161)
- 출원인 국적(13개) 대상으로 기술력, 원천성, 확장성, 특허규모, 관심도에 대한 종합 평점 결과 미국이 1위, 이스라엘 2위, 영국의 순위로 나타남
- 미국은 여러 출원인이 특허활동을 하고 있는데 그 중 Rentech Inc., SHELL OIL Company, SUNDROP FUELS, Inc. 이 출원을 주도하고 있음

<표 4-17> GTJ 기술에 대한 종합 분석

국가	기술력	원천성	확장성	규모	관심도	종합	주요기관
미국	1위	1위	6위	1위	4위	1위	Rentech Inc., SHELL OIL Company, SUNDROP FUELS, Inc.
한국	10위	10위	10위	8위	10위	10위	
일본	7위	6위	7위	7위	8위	8위	
핀란드	6위	9위	2위	6위	3위	6위	
네덜란드	2위	8위	5위	2위	7위	4위	Shell Internationale Research Maatschappij B.V.
영국	5위	3위	3위	4위	5위	3위	BP Biofuels UK Limited
캐나다	3위	5위	8위	5위	6위	7위	
이스라엘	4위	6위	4위	3위	2위	2위	VIRDIA LTD
벨기에	11위	11위	11위	11위	11위	11위	
독일	11위	11위	11위	11위	11위	11위	
프랑스	11위	11위	11위	11위	11위	11위	
인도	8위	2위	9위	9위	9위	9위	
중국	9위	4위	1위	9위	1위	4위	

라. STJ (Sugar to Jet)

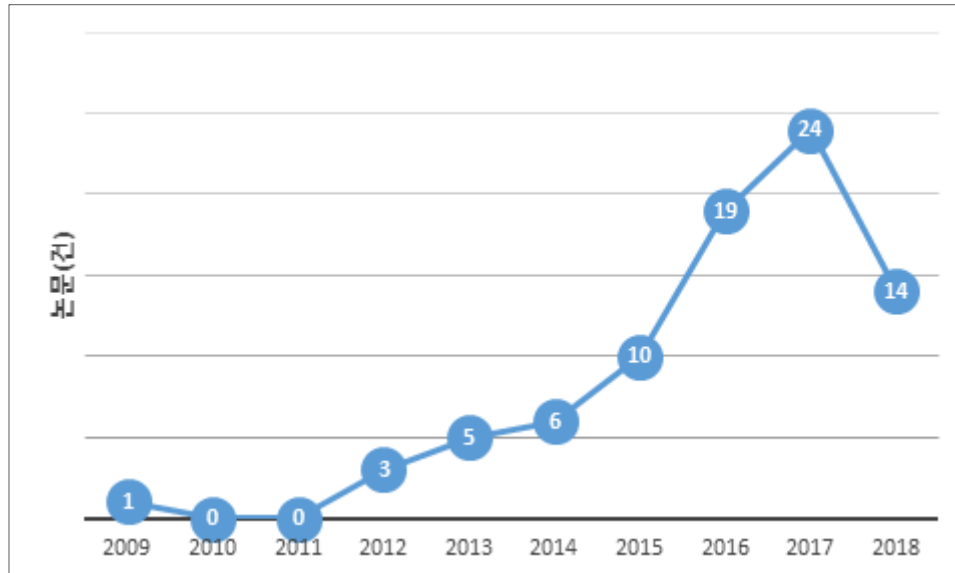
- 출원건수: 전체 1,575건 중 341건(22%)
- 출원분포: 한국(20건, 5.9%), 미국(194), 일본(18), 유럽(15), WO(94)
- 출원인 국적(13개) 대상으로 기술력, 원천성, 확장성, 특허규모, 관심도에 대한 종합 평점 결과 미국이 1위, 이스라엘 2위, 핀란드, 네덜란드, 영국의 순위로 나타남
- 미국은 Solazyme, Inc., Virent, Inc., 두 개 기업이 순위에 상당 부분 영향을 주고 있음

<표 4-18> STJ 기술에 대한 종합 분석

국가	기술력	원천성	확장성	규모	관심도	종합	주요기관
미국	1위	2위	3위	1위	1위	1위	Solazyme, Inc., Virent, Inc., XYLECO, INC.
한국	8위	8위	8위	7위	8위	8위	
일본	9위	9위	9위	9위	9위	9위	
핀란드	6위	6위	1위	5위	4위	3위	Neste Oil Oyj
네덜란드	4위	7위	2위	4위	3위	3위	DSM IP ASSETS B.V.
영국	3위	4위	5위	3위	5위	3위	BP Biofuels UK Limited
캐나다	5위	3위	6위	6위	6위	6위	
이스라엘	2위	1위	4위	2위	2위	2위	VIRDIA LTD
벨기에	9위	9위	9위	9위	9위	9위	
독일	9위	9위	9위	9위	9위	9위	
프랑스	9위	9위	9위	9위	9위	9위	
인도	7위	5위	6위	7위	7위	7위	
중국	9위	9위	9위	9위	9위	9위	

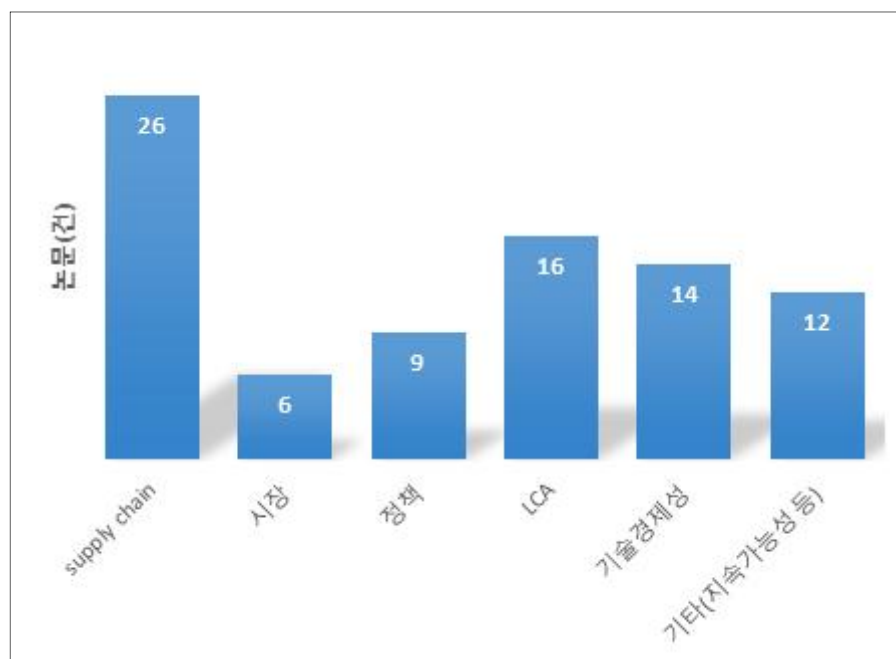
제2절 논문분석

- 바이오항공유 공급망에 관한 국제 저널 게재 논문을 분석한 결과, 공급망의 디자인, 경제성, 최적화 등 supply-chain 관련 주제뿐만 아니라 바이오항공유 활용 및 보급 전반에 걸친 기술경제성 및 환경건전성, LCA 분석 등에 관한 연구 사례도 다수 존재함
- 연구 논문은 특히 최근 3년간 급격한 증가세를 보이고 있으며, 앞으로 바이오연료 및 바이오항공유에 관한 시장성, 정책적 분석의 중요성이 커짐에 따라 더욱더 활발하게 논의될 것으로 예측됨
- 논문 건수는 미국(45.8%)이 가장 많고 그 뒤를 이어 유럽의 네덜란드(26.5%), 영국(13.3%), 그리고 호주(10.9%), 독일(12.8%)이 뒤를 이음
- 우리나라는 해외 저널에 게재한 바이오항공유 보급 관련 연구 논문이 없으며 국내 학회에서 바이오항공유 생산기술 별 경제성, LCA 배출량 등에 관해 요약한 ‘항공분야 온실가스 감축을 위한 바이오항공유 제조기술’ 논문이 1건 존재함
- 국가별 논문 주제 현황을 보면 미국의 경우 supply-chain(34%)과 LCA(26%)에 대한 연구가 가장 많고, 네덜란드의 경우 supply-chain(67%) 관련 논문이 압도적으로 많음



<그림 4-10> 최근 10년(2008-2018)내 논문 발행 추이

<표 4-19> 논문발행 국가/지역 분류



<그림 4-11> 논문 키워드별 분류

<표 4-20> 국가별 발행 논문 키워드별 분류

국가	주제	논문(건)	비율(%)	국가	주제	논문(건)	비율(%)
미국	supply chain	13	34	네덜란드	supply chain	6	67
	LCA	10	26		LCA	1	11
	기술경제성	4	11		기술경제성	1	11
	정책	2	5		정책	0	0
	시장	2	5		시장	1	11
	기타	7	18		기타	0	0
	합계	38	100		합계	9	100
영국	supply chain	1	17	독일	supply chain	1	20
	LCA	0	0		LCA	0	0
	기술경제성	0	0		기술경제성	1	20
	정책	3	50		정책	1	20
	시장	0	0		시장	1	20
	기타	2	33		기타	1	20
	합계	6	100		합계	5	100
호주	supply chain	1	17	캐나다	supply chain	1	25
	LCA	2	33		LCA	0	0
	기술경제성	3	50		기술경제성	3	75
	정책	0	0		정책	0	0
	시장	0	0		시장	0	0
	기타	0	0		기타	0	0
	합계	6	100		합계	4	100

◦ 대표 논문 분석

<표 4-21> Supply-chain 분석 관련 주요 논문

키워드		supply-chain
검색건수		83
유효논문건수		26
대표 논문 및 관련성	논문명	Strategic spatial and temporal design of renewable diesel and biojet fuel supply chains: Case study of California, USA
	학술지명	Energy
	저자	Mohamed Leila; Joann Whalen; Jeffrey Bergthorson
	개제년도	2018
	관련성	80%
	주요 내용 연구결과	BioGeSTO 모델(Mixed-integer linear program) 을 이용한 supply-chain 최적화(시뮬레이션 기간 내 NPV 최대화) 솔루션 도출을 통해 캘리포니아 군(military) 바이오항공유 활용 목표를 이루기 위한 시나리오(활용 가능 원료, 석유계 항공유 가격, 생산시설 인센티브)별 보급량 및 생산 시설의 위치 및 생산 기술 선정

출처: ScienceDirect(www.sciencedirect.com)

<표 4-22> LCA 관련 주요 논문

키워드		LCA
검색건수		83
유효논문건수		16
핵심논문 및 관련성	논문명	Life-Cycle Energy Use and Greenhouse Gas Emissions Analysis for Bio-Liquid Jet Fuel from Open Pond-Based Micro-Algae under China Conditions
	학술지명	Energies
	저자	Xiliang Zhang ; Xu Zhang ; Xunmin Ou ; Xiaoyu Yan
	개제년도	2013
	관련성	60%
	주요내용	LCA 모델을 이용하여 중국 내 미세조류를 이용한 바이오항공유의 LCA 배출량 산정 (바이오가스 생산 및 열병합 발전을 통한 에너지 회수 등 부가 가치 고려 및 중국의 에너지 mix 반영)

출처: MDPI(<http://www.mdpi.com/journal>)

<표 4-23> 기술경제성 평가 관련 주요 논문

키워드		기술경제성
검색건수		83
유효논문건수		14
핵심논문 및 관련성	논문명	Technoeconomic analysis of biojet fuel production from camelina at commercial scale: Case of Canadian Prairies
	학술지명	Bioresource Technology
	저자	Li, Xue ; Mupondwa, Edmund ; Tabil, Lope
	개제년도	2018
	관련성	70%
	주요내용	SuperPro Designer 모델 이용 투자 대비 수익성 산정을 통해 Canadian Prairies 지역의 camelina oil을 사용한 hydro-processed renewable jet(HRJ) 바이오항공유의 생산플랜트 규모별 최저판매단가(MFSP)를 산정

출처: ScienceDirect(www.sciencedirect.com)

<표 4-24> 정책 관련 주요 논문

키워드		정책
검색건수		83
유효논문건수		9
핵심논문 및 관련성	논문명	Aviation CO2 emissions reductions from the use of alternative jet fuels
	학술지명	Energy Policy
	저자	Staples, Mark D. ; Malina, Robert ; Suresh, Pooja ; Hileman, James I. ; Barrett, Steven R.H.
	개제년도	2018
	관련성	80%
	주요 내용	바이오항공유의 LCA 배출량 산정, 온실가스감축 목표에 따른 필요 생산 시설 및 투자 금액 도출 및 정책적 시사점 도출

출처: ScienceDirect(www.sciencedirect.com)

<표 4-25> 시장 전망 관련 주요 논문

키워드		시장
검색건수		83
유효논문건수		6
핵심논문 및 관련성	논문명	Renewable jet fuel supply scenarios in the European Union in 2021–2030 in the context of proposed biofuel policy and competing biomass demand
	학술지명	GCB Bioenergy
	저자	de Jong, Sierk ; van Stralen, Joost ; Londo, Marc ; Hoefnagels, Ric ; Faaij, André ; Junginger, Martin
	개제년도	2018
	관련성	80%
	주요 내용	유럽 내 정책, 기술적 맥락에서 2030 비식용 바이오항공유 공급 시나리오 도출

출처: Wiley Online Library(onlinelibrary.wiley.com)

제3절 연구개발 및 인프라 분석

1. 연구사업 투자 현황

- 본 기획연구와 관련한 국토교통분야 관련 연구사업 투자현황을 분석하기 위하여 국토교통기술촉진연구사업, 국토교통기술사업화지원사업, 국토교통연구기획사업 등의 투자실적을 분석하였음
- 현재 기존 연구사업 중에서 바이오항공유와 관련한 국토교통분야 관련 연구사업 투자실적은 2012년 국토교통연구기획 분야 실적뿐이나, 향후 본 기획연구를 통하여 세부과제가 수행될 경우 글로벌기술협력, 정책개발 등이 포함된 국토교통기술촉진연구사업과 기술사업화가 포함된 국토교통기술사업화지원사업 등을 활용한 연구사업 수행이 가능할 것으로 판단됨

<표 4-26> 국토교통분야 관련 연구사업 투자 실적

(단위: 백만원)

구분	'07~'13	'14	'15	'16	'17	'18
국토교통기술촉진연구사업	101,922	47,896	58,329	56,278	54,291	53,643
-창의도전연구	39,730	27,000	26,549	26,099	27,975	32,055
-글로벌기술협력	5,951	1,296	2,500	2,967	2,666	2,427
-연구장비 인프라	6,000	19,600	29,280	27,212	23,650	19,161
-공공기반기술	46,924	-	-	-	-	-
-정책개발	3,317	-	-	-	-	-
국토교통기술사업화지원사업	20,357	11,977	18,410	20,508	21,214	24,788
-공공기술 중소기업 이전 및 사업화	3,052	2,397	3,651	3,951	3,175	5,361
-중소기업 보유기술 사업화	14,588	7,580	10,133	9,797	9,607	9,597
-국토교통 안전기술 사업화	-	-	-	6,010	8,432	7,830
-서비스 R&D 융합기술 사업화	-	-	-	-	-	2,000
-창조경제타운 연계 사업화	-	-	750	750	-	-
-공공구매조건부 기술사업화	-	2,000	3,876	-	-	-
-해당분야 기술사업화	2,717	-	-	-	-	-
국토교통연구기획사업	7,215	3,100	3,600	4,096	4,066	4,066
-국토교통연구기획	7,215	3,100	3,600	4,096	4,066	4,066

출처: 국토교통과학기술진흥원 홈페이지(www.kaia.re.kr)

2. 연구인력 인프라

- 현재 바이오항공유와 관련하여 연구인력 인프라의 세부적인 통계자료가 미구축되어 있으므로 크게 바이오산업 분야로 확대하여 연구인력 인프라 분석을 실시함
- 2016년 바이오산업별 연구개발인력 현황을 보면 바이오화학 및 바이오에너지 분야의 연구직이 가장 많으며 이 중 박사인력이 314명, 석사 인력이 1,147명, 학사 인력이 684명인 것으로 파악됨
- 국내 바이오에너지 관련 연구직 고용인원은 총 144명으로 중 에너지원별 관련 연구인력을 보면 바이오디젤에 관련된 연구직이 31명으로 가장 많았으며, 바이오에너지 생산직종의 인력은 총 984명으로 연구직보다 약 6.8배 많으며 BioSRF, 바이오디젤, 하수슬러지고형연료, 바이오중요 분야에 종사함

<표 4-27> 국내 바이오산업별 연구인력 현황

바이오산업별 (연구직)	2016				
	소계	박사	석사	학사	기타
	인원수 (명)	인원수 (명)	인원수 (명)	인원수 (명)	인원수
바이오화학.에너지산업	2,283	314	1,147	684	138
바이오환경산업	356	36	125	169	26
바이오장비및기기산업	324	40	103	143	38
바이오자원산업	322	44	95	70	113
바이오서비스업	1,557	167	530	777	83
합계	4,842	601	2,000	1,843	398

출처: KOSIS-산업통상자원부, 국내바이오산업실태조사

<표 4-28> 국내 바이오에너지원별 인력 현황

바이오-에너지원별	2016				
	고용인원 (명)				비중 (%)
	연구직	생산직	관리직	기타	
바이오디젤	31	163	62	16	16.9
바이오가스	1	8	4	1	0.9
바이오중유	22	112	39	7	11.2
BioSRF	29	285	117	27	28.6
우드칩	23	97	42	4	10.4
목재펠릿	6	62	25	2	5.9
목재펠릿보일러	29	90	26	8	9.5
하수슬러지고형연료	4	167	60	36	16.6
합계	144	984	375	100	100.0

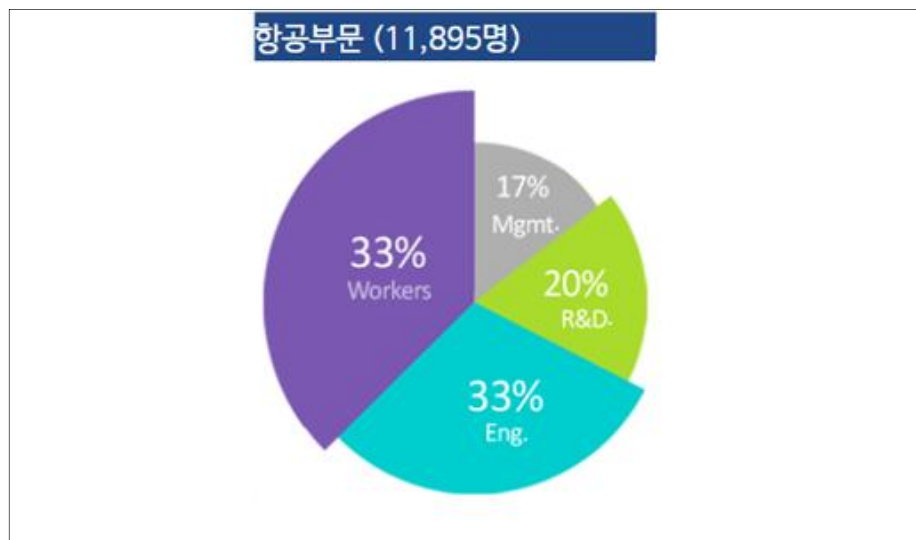
출처: KOSIS-한국에너지공단, 신재생에너지설비·연료산업조사

<표 4-29> 기타 관련 산업별 연구원 현황

산업 구분	연구원(명), 2016 기준
제조업 코크스, 연탄, 및 석유 정제품	738
건설업	7,772
전문, 과학 및 기술서비스	15,881
연구개발업	3,942
합계	28,333

출처: 과학기술통계백서 (KISTEP, 2017)

- 국내 항공부문 산업 인력은 총 11,895명으로 이 중 연구개발 인력은 약 20%를 차지하며 이들 중 75.2%가 대기업에, 24.8%가 중소기업에 종사하고 있음



<그림 4-12> 국내 항공부문 산업 인력 현황, 2014

출처: 한국항공우주산업진흥협회 (<http://www.aerospace.or.kr>)

- 연도별 국토교통분야 연구개발인력은 2013년 기준 연구기관에 2,685명, 기업체에 9,632명, 대학에 4,634명으로 기업체에 가장 많이 포진되어 있고, 연도별 추이를 보아도 기업체의 연구개발인력 비중이 증가하는 추세임

〈표 4-30〉 연도별 연구주체별 국토교통분야 연구개발인력 추이

(단위: 명, %)

구분		2008년		2009년		2010년		2011년		2012년		2013년	
		인력	비중	인력	비중	인력	비중	인력	비중	인력	비중	인력	비중
연구개발인력	연구기관	2,450	14	3,080	19	3,202	19	4,115	21	2,723	16	2,685	16
	기업체	6,322	38	7,364	46	7,699	46	9,057	46	10,691	62	9,632	57
	대학	8,017	48	5,683	35	5,732	35	6,486	33	3,803	22	4,634	27
	합계	16,789	100	16,127	100	16,633	100	19,658	100	17,217	100	16,951	100

출처: 2013년 국토교통분야 연구개발활동조사 (국토교통과학기술진흥원, 2015)

3. 기존 기술(연구) 인프라

- 현재까지 진행된 바이오항공유 관련 국가 R&D사업은 연료 생산과 관련된 기술개발 사업이 주를 이루며, 이와 연계하여 국토교통부 차원의 활용을 위한 유통 인프라 분석, 공급망 구축 및 기술 상용화에 관한 사업 및 연구 사례는 전무함
- 현재까지 발표된 국내 관련 연구 논문도 바이오원료 잠재량 분석, 바이오 디젤 및 바이오 연료의 경제성 및 전망에 대해 일부 다루었으나 내용상 한국형 바이오항공유 supply-chain에 관한 내용은 없음

〈표 4-31〉 국내 바이오항공유 관련 국가 연구개발 과제 현황

연구명	연구기관	목표 및 내용
비식용바이오매스로부터 통합형 바이오항공유 제조 기술 개발	한국에너지기술연구원	-저가의 비식용유지로부터 바이오항공유 제조 핵심 원천기술 확보
미세조류 유래 바이오연료의 수송연료 적용 기술 개발	한국석유관리원	-미세조류 유래 바이오연료(바이오디젤, 바이오항공유)의 품질 최적화 및 적용성 평가에 따른 수송용 연료화 기술개발
바이오매스 대량생산 및 저에너지 소모형 오일 추출/전환 공정 개발	차세대 바이오매스 연구단	효율적인 미세조류 고농도 대량 배양에 필요한 원천 기술 확보 배양/수확, 추출/전환의 일원화를 통한 바이오디젤, 그린디젤, 항공유 생산의 효율성 확보 -지질추출 후 잔사 바이오매스의 효율적인 당화 및 당화액 기반 발효를 통한 유용물질 생산 원천기반기술 다수 확보
바이오부탄올 유래 n-부텐 소중합반응을 통한 항공유 제조용 고활성 촉매 개발	공주대학교	-Hydrogen-free 공정을 통한 항공유 제조 기술 구현을 위해 바이오부탄올 유래 2-부텐과 1-부텐 혼합물을 원료로 사용한 항공유 제조용 고활성 촉매 개발
미세조류로부터 추출한 Oil의 Bio Jet Fuel 생산	SK 이노베이션	-SK HBD(수첨바이오디젤)에 사용한 촉매 기술을 ABC 연구단의 미세조류 유래 Microalgae Oil(MAO)에 적용, 바이오항공유 생산에 대한 기술타당성 확인 및 최적 반응 조건 도출 파일럿 설비를 활용한 바이오항공유 생산 방안 수립
항공유 및 윤활기유 생산을 위한 촉매 공정 개발	한국과학기술원	-미세조류오일, 팜 오일과 같은 트리글리세라이드 기반의 바이오매스로부터 액체 연료 및 고부가가치 화학물의 생산을 위한 고성능 촉매 및 공정개발

출처: 국가과학기술지식정보서비스(NTIS)

〈표 4-32〉 바이오항공유 관련 국내 논문 현황

논문명	저자	저널명
국내 바이오연료 보급정책의 Q방법을 활용한 이해관계자별 인식요인과 정책적 시사점	임찬수, 2015	신재생에너지
국내 주요도시 주변의 바이오매스 에너지 잠재량 분석	국진후 외, 2015	공업화학
수송용 바이오연료 정책에 따른 품질기준 영향에 관한 연구	박조용 외, 2015	한국유화학회지
항공분야 온실가스 감축을 위한 바이오항공유 제조기술	김재곤 외, 2015	한국수소 및 신에너지학회 논문집
목질계 바이오연료 생산을 위한 산업화 기술 및 전망	김영숙, 2016	목재공학
바이오리파이너리를 이용한 바이오연료 및 바이오화합물의 생산	이채영 외, 2016	한국수소 및 신에너지학회 논문집
한국의 바이오디젤 원료 잠재량 분석 연구	민경일 외, 2016	한국수소 및 신에너지학회 논문집

출처: 국가과학기술정보센터(NDSL)

- 바이오항공유 생산관련 국내 인력 인프라는 현재 바이오항공유 생산 분야가 가장 많으며, 바이오항공유 공급(항공유와 동일), 국내 이용을 위한 제도 및 환경기반 시스템 구축을 위한 인력인프라가 구성되어 있음

〈표 4-33〉 바이오항공유 생산 및 공급, 제도 기반 구축 관련 국내 인력 인프라 현황

구분	소속	성명	관련 분야
1	에너지기술연구원	이진석	바이오항공유 생산
2	에너지기술연구원	황경란	바이오항공유 생산
3	한국화학연구원	채호정	바이오항공유 생산
4	한국화학연구원	김태완	바이오항공유 생산
5	국방과학연구소	한정식	바이오항공유 생산
6	국방과학연구소	정병훈	바이오항공유 생산
7	카이스트	장용근	바이오항공유 생산
8	아주대학교	박은덕	바이오항공유 생산
9	한서대학교	최연철	바이오항공유 생산
10	대한석유협회	한성준	바이오항공유 생산
11	현대오일뱅크	이인규	바이오항공유 생산
12	GS 칼텍스	지용훈	바이오항공유 생산
13	SK 에너지	임석현	바이오항공유 생산
14	SK 에너지	김현석	바이오항공유 생산
15	SK Innovation	이준식	바이오항공유 생산
16	S-Oil	남건우	바이오항공유 생산
17	KAS 한국공항	이시중	바이오항공유 공급
18	아시아나에어포트	김유식	바이오항공유 공급
19	한국공항공사	육심규	바이오항공유 공급
20	인천국제공항공사	박효신	바이오항공유 공급
21	한국교통연구원	조준행	제도 및 환경기반시스템
22	한국교통연구원	박진서	제도 및 환경기반시스템
23	한국석유관리원	박천규	제도 및 환경기반시스템
24	한국석유관리원	황인하	제도 및 환경기반시스템
25	교통안전공단	이주형	제도 및 환경기반시스템

제5장 국내외 동향 분석 시사점

제5장 국내외 동향 분석 시사점

제1절 정책동향 분석 시사점

- 우리나라 항공부문은 국내선의 경우 배출권거래제도, 국제선의 경우 CORSIA와 같이 규제에만 의존한 제한적인 온실가스 감축 전략을 적용하고 있음
- 해외 주요국과 비교해 국내에는 아직까지 바이오항공유 사용에 대한 인센티브가 마련되어 있지 않으며 특히 미국과 유럽의 수송 부문 전반에 걸친 바이오연료 사용 정책적 지원 기반과 비교하여 우리나라는 차량용 및 발전용 바이오연료에 국한되어 있음
- 정책 및 제도적 역할이 큰 비중을 차지하는 바이오항공유 지원 및 활성화를 위해 해외에서는 다양한 이해관계자들을 포함한 정부 및 민간 주도의 이니셔티브로 바이오항공유 실증 및 지원 사업을 수행하며 끊임없이 소비자 및 업계의 인식 변화와 시장 환경 조성을 도모하고 있음
- 반면 국내 항공업계에서는 자발적 바이오항공유 활성화 사업 또는 이니셔티브에 참여하는 국적항공사 혹은 관련 기업이 없으며, 자발적 바이오항공유 관련 이니셔티브가 부재하여 국내 생산 및 수입 바이오항공유의 유통 및 활용을 위한 관련 사업 사례도 없음
- 또한 국내에서는 현재까지 기본적인 연료 생산과 관련된 R&D 사업 지원 이외에는 해외 사례처럼 바이오항공유 보급 및 시장 지원을 위한 범부처, 공공-민간 협력 형태의 지원 사업을 수행한 사례가 없음

<표 5-1> 국내외 바이오항공유 관련 정책 수준 비교

구분	해외 수준	국내 수준
바이오항공유 인센티브 제도(RFS 등)	구축	미구축
공급확대 지원제도(이니셔티브, 보급사업 등)	구축	미구축

- 해외의 경우 바이오항공유 산업 지원을 위해 다양한 인센티브 및 공급확대 지원 제도 등을 마련함으로써 바이오항공유 산업 활성화를 위한 시장 견인자로서의 역할을 정부 주도로 수행하고 있는 것이 일반적임
- 따라서 국내에서도 바이오항공유 산업지원 및 활용을 위한 정책적 기반요소인 인센티브 제도 및 공급 확대 지원 제도 구축을 검토할 필요가 있음

제2절 시장동향 분석 시사점

- 현재 해외에서는 이미 바이오항공유 상용화가 시작되어 바이오항공유 생산 가능 시설을 보유한 미국 및 유럽 공급사(Altair, Fulcrum, Red Rock, SG Preston, Neste Oil, Gevo 등)들을 중심으로 시장 형성이 진행되고 있음
- 우리나라는 바이오디젤의 의무혼합제도(RFS) 시행으로 인해 바이오디젤 생산 업체(SK 케미칼, GS바이오, 단석산업, 애경유화 등)를 중심으로 바이오디젤을 생산 및 보급하고 있지만, 현재 바이오항공유 생산이 가능한 설비를 구축한 곳은 없음
- 바이오항공유 수요도 항공사 및 바이오포트를 구축하고자 하는 공항 차원에서 점점 늘어나는 추세이며, 최근 5년 이내 장기 연료 공급계약(off-take)을 체결 건수만 10건으로 이는 약 55억 리터의 바이오항공유에 달함
- 항공사들의 바이오항공유 장기 수급 계획은 현재 진행되고 있는 바이오항공유 관련 다양한 이니셔티브 및 시범비행 사업과도 관련이 있으며, 이니셔티브가 많은 유럽과 북미의 항공사들이 압도적으로 진행하고 있음
- ICAO는 이 같은 SAF 활용 추세가 지속된다면 향후 바이오항공유의 수요가 2050년 약 100 십억 리터까지 도달할 것으로 전망함
- 우리나라를 포함한 전 세계적으로 항공유 수요가 지속적으로 증가하는 상황에서 우리나라는 현재 항공유 소비 14위의 국가로 전 세계 항공유 소비량의 약 2%를 소비하고 있음
- 국내 바이오항공유 도입이 실시된다는 가정 하에 바이오항공유의 수요는 2035년 최소 약 1,500 천 배럴에서 최대 약 15,000 천 배럴까지 증가할 것으로 전망됨 (국내 RFS 유사제도 혹은 ICAO 비전 시나리오에 따라 상이)
- 약 2,000 천 배럴 정도의 바이오디젤 잉여 생산 용량이 있는 것을 활용하여 국내 바이오항공유 생산 설비 구축 방안을 모색하거나 향후 바이오항공유 수요 추가 증가를 대비하여 대규모 생산 시설을 추가적으로 신설할 필요가 있음
- 바이오항공유 가격은 현재 원료 및 생산 공정에 따라 최소판매단가가 상이하며 기존 석유계 항공유 대비 최소 1.3배에서 9.0배까지 기술별로 가격 차이가 크며, 가장 많이 활용되고 있는 유지계 HEFA 및 목질계 사용 FT 기술의 경우 기존 제트유 대비 평균 약 2~3배 정도 가격임
- 향후 석유계 항공유의 가격 증가와 탄소 가격을 포함한 전망을 바탕으로 ATAG(Air Transport Action Group)은 2035~2050년 바이오항공유가 석유계 항공유와 Price parity를 이룰 것으로 예측하고 있음

- 따라서 바이오항공유 시장이 확대에 따른 국내 바이오항공유 생산 및 보급 기반을 마련하고 관련 기술경쟁력을 강화함으로써 시장 진출 기회를 확보해야할 필요가 있음

〈표 5-2〉 국내외 바이오항공유 시장 종합 비교

구분	해외 시장	국내 시장
공급 여건	- 미국, 유럽 중심 바이오항공유 상용화 및 생산 시설 가동 중 (Altair, Fulcrum, Red Rock, SG Preston, Neste Oil, Gevo), - 바이오항공유 급유 가능 공항 확대	- 바이오항공유 생산 시설 부재 - 바이오항공유 급유 가능 공항 없음
수요 현황 및 전망	- 항공사 장기공급계약(10건, 55억 리터)을 통한 수요 증가 - 다수의 시범비행 사례	- 시범비행 1건(2017)년 제외 활용 기록 및 자발적 수요 부재
가격 전망	- 생산기술별 경제성 상이(1.3~9배) - 중장기적 Price parity 예상	- N/A (국내 최소판매단가 산정 필요)

제3절 기술동향 분석 시사점

- 기술동향 조사 결과, drop-in-fuel을 활용할 경우 기존 인프라 사용이 가능하기 때문에 바이오항공유 보급을 위한 혼합, 인증, 수송 및 급유기술에 대한 기술개발의 필요성은 없는 것으로 분석됨
- 하지만 국내 바이오항공유 생산 원천 기술들은 아직 TRL이 평균 4(pilot 단계) 정도로 실증 및 바이오항공유 상용화를 위해서는 원천기술의 성숙과 대량 생산을 목표로 TRL을 향상시켜야 할 필요가 있음
- 또한 법적, 제도적 인프라 차원에서 바이오항공유 지원 인센티브 마련, 바이오항공유 관리 체계 구축, 최적 공급망 구축 방안 연구(바이오포트 등), 바이오항공유 지속가능성 평가 및 기준 마련을 위한 연구가 필요한 것으로 파악됨

<표 5-3> 바이오항공유 보급 및 활용을 위한 국내 기술 수준

대분류	중분류	관련기술 (TRL/%)	비고
생산 기술	Alcohol-to-Jet	5~6	파일럿 및 실증 필요
	Oil-to-Jet	6~7	실증 및 대량 생산 필요
	Gas-to-Jet	4~5	원천기술개발 필요
	Sugar-to-Jet	1~2	원천기술개발 필요
혼합 기술	Line 블렌딩	100%	기존 유류 혼합 기술과 동일
	Splash 블렌딩	100%	기존 유류 혼합 기술과 동일
인증 기술	물성시험	100%	기존 항공유 시험 기술과 동일
	Fit-for-purpose	100%	기존 항공유 시험 기술과 동일
	Component/rig	100%	기존 항공유 시험 기술과 동일 (활용 가능 엔진 설비 부족, 국내 시험 불가)
	Engine 및 APU	100%	기존 항공유 시험 기술과 동일 (활용 가능 엔진 설비 부족, 국내 시험 불가)
수송 기술	송유관	100%	기존 항공유 수송 기술과 동일
	유조차	100%	기존 항공유 수송 기술과 동일
	유조화차	100%	기존 항공유 수송 기술과 동일
	유조선	100%	기존 항공유 수송 기술과 동일
급유기술	Refueller	100%	기존 항공유 급유 기술과 동일
	Hydrant	100%	기존 항공유 급유 기술과 동일
정책 및 환경기반 시스템	제도 구축 및 품질 표준화	미구축	국내 인센티브, 활성화 방안, 관리체계 결핍
	환경기반 시스템 최적화	미구축	국내 공급망 최적화에 대한 연구 사례 결핍
	지속가능성 평가	미구축	LCA 배출량 등 지속가능성 평가 기준 결핍

출처: 기술동향 분석 및 기획위원회 자문 결과

① 바이오항공유 생산

- 생산 관련 기술 개발 사업의 형태를 보았을 때 해외 바이오항공유 선진국에서는 대학이나 연구기관 뿐만이 아니라 연료 생산과 관련된 기업 및 항공사, 정유사, 항공기 제조사 등 관련 업계 이해관계자도 참여하는 이니셔티브의 형태로 연구개발을 진행한 사례가 다수 존재하는데 비해 국내에서는 대학, 정부출연연 중심의 연구과제들만 산발적으로 진행됨
- 또한 해외에서는 연료 개발시 지역적 특징을 반영하여 확보 가능한 다양한 대체원료를 평가, 적합 바이오연료(바이오 항공유 포함) 생산기술의 우선순위를 정하고, 기술개발을 통해 생산되는 연료의 경제성(최소연료생산단가 등), 환경건전성 등을 모두 통합적으로 평가하는데 비해 국내 생산 관련 R&D 과제에서는 이러한 요소들이 연계 분석되고 있지 않음
- 해외에서는 원료에서부터 연료생산 뿐만 아니라 그에 따른 지역적 공급망(supply chain) 구축, 투자 방안 마련, 대중의 인식 제고 등 바이오항공유 활용을 위한 지원 사업들이 이니셔티브의 형태로 함께 진행되고 있는데 비해 정부 지원과 이해관계자들의 자발적 참여가 부족한 국내에서는 R&D를 통해 확보된 바이오항공유 생산기술들의 사후관리 및 상용화가 제대로 이루어지지 않고 있음

② 바이오항공유 혼합

- 바이오항공유의 혼합은 기존 유류 제품(디젤, 첨가제 등)의 혼합 방식을 그대로 적용할 수 있으므로 별도의 기술개발 필요성이 없음

③ 바이오항공유 인증

- 바이오항공유의 인증이나 품질관리 분야에서 우리나라는 항공유 및 관련 인프라의 국제규격(ASTM)을 적용하여 국제 기준에 맞는 기본적인 물성 및 성분검사를 실시하여 보급하고 있으므로 인증 기술 자체의 개발보다는 바이오항공유 국내 취급에 앞서 관리에 대한 표준화 체계를 구축해야할 필요가 있음

④ 바이오항공유 수송

- 바이오항공유의 수송도 마찬가지로 기존 유류 제품의 수송 인프라 활용이 그대로 가능하므로 별도의 기술개발 필요성이 없음

⑤ 바이오항공유 급유

- 바이오항공유의 급유도 기존 항공유 급유기술을 그대로 적용 가능하므로 별도의 기술 개발 요소가 없음

⑥ 정책 및 환경기반 시스템

- 국내에서도 바이오항공유 등 현재 의무혼합대상이 아닌 다양한 바이오 연료 및 생산 기술의 시장 진입을 지원하기 위해 법적으로 차등화된 인센티브를 마련이 필요함
- 해외에서 진행된 공급망(supply-chain) 개발 연구사례와 같이 국내에서도 활용 가능 인프라(리파이너리, 송유관, 급유시설, 공항 등)를 분석하고 기존 항공유 급유 체계와의 효율적 융합 방안에 대한 연구가 필요함
- 유럽이나 미국의 사례처럼 국내에서도 법적으로 바이오항공유 등 바이오연료에 대한 LCA 배출량 평가 및 추가적 지속가능성 평가 항목(원료 재배지, 간접토지이용변화 등)에 대해 ICAO의 SAF 기준에도 부합하는 국내 기준 마련이 필요함

제4절 특허 및 논문 분석 시사점

- 우리나라는 전반적으로 바이오연료 생산에 관한 기술특허를 이미 많이 보유하고 있고 바이오항공유와 관련하여서도 국내 특허 4건 보유, 바이오항공유 생산을 국산화를 할 수 있는 원천기술을 확보하고 있는 것으로 판단됨
- 하지만 보유하고 있는 생산 기술을 활용, 바이오항공유를 국내 도입하기 위해서는 우리나라에 맞는 알맞은 시장 정책이나 인센티브, 보급망 최적화에 관한 추가 연구가 부족함
- 더불어 원료 및 기술별 기술경제성이나 지속가능성이 국내 활용 시나리오를 기준으로 분석된 결과가 없음
- 반면, 해외에서는 이미 관련한 주제에서 다수의 연구 논문을 발표하고 있으며, 지역/국가별 특성을 반영한 supply-chain 분석, 기술경제성, 지속가능성, LCA 분석 등에 대한 논문이 계속해서 증가하고 있는 추세로 관련 분야의 기술수요가 증가하고 있는 것으로 분석되었음

제6장 연구개발과제 구성 및 추진전략

제6장 연구개발과제 구성 및 추진전략

제1절 비전 및 목표

1. 거시 환경분석(PEST)

- 비전수립 및 전략적 방향 설정을 위하여 PEST 분석을 실시하였으며, 분석결과를 바탕으로 연구과제 추진전략 방향을 도출함

가. 법·제도적 환경

- 해외에서는 RFS 연료혼합제도에 바이오항공유 사용에 대한 인센티브를 인정하고 있으나 국내에서는 이러한 인센티브가 아직 마련되어있지 않으며, 국내 활용 기록 부재로 인해 신재생에너지 개발·이용·촉진법(신재생에너지법)에서도 바이오항공유 또는 바이오제트유에 대한 구체적 명시 없음
- 또한 지속가능한 대체항공연료 생산과 더불어 바이오항공유 전용 공급을 위한 bioport 구축 및 운영까지 주요국가에서는 바이오항공유 시장을 빠르게 점유해나가고 있는 반면 우리나라는 바이오항공유 생산 원천기술의 일부만 확보하고 있어 에너지 안보 측면의 대응이 필요한 실정임

나. 경제적 환경

- 최근 10년간 전 세계적으로 바이오항공유 생산 설비가 증가하고 바이오항공유 시범비행 및 정규 노선 운항 항공사 및 급유공항이 계속해서 늘어나는 등 바이오항공유 수요가 지속적으로 증가할 것으로 전망됨
- 앞으로도 지속적인 바이오항공유 지원 정책과 탄소시장 확대가 계속된다면 중장기적으로 바이오항공유의 가격경쟁력이 확보될 수 있을 것으로 전망되며, 석유계 항공유의 가격 증가 및 변동에 따라 항공대체연료 시장의 확대와 필요성이 계속적으로 모색되고 있음

다. 사회-문화적 환경

- 국가 및 지역별로 바이오항공유 활용을 활성화하기 위한 자발적 민간 및 공공 부문에

서 이니셔티브가 활발히 활동하고 있으며, 이니셔티브의 결과, 업계 환경 및 대중의 인식 제고, 정보 공유 등 바이오항공유에 관련 지적 및 인적 네트워크가 지속적으로 형성되고 있음

- 항공 소비자를 포함한 대중들의 대체연료 및 신재생에너지 인식이 높아지면서 바이오항공유 탑재 비행기에 추가 요금을 지불하는 소비자 사례도 늘고 있어 사회/문화적 환경에서도 바이오항공유 시장의 필요성이 확대되고 있음

라. 기술적 환경

- 해외 바이오항공유 생산기술 개발은 상용화수준을 확보한 상태로 바이오항공유 생산과 관련 기술경제성을 높이기 위한 연구개발 사업은 세계적으로 지속적으로 진행되고 있고 안전성 테스트 등 ASTM 인증을 받은 생산 공정 루트가 계속해서 추가되어 활용 가능 원료 및 생산 기술의 종류가 늘어나고 있음
- 기존의 석유계 연료생산 시설의 일부를 바이오항공유 생산에 활용하거나 항공유 이외의 기타 고부가가치 산물(co-product)의 생산을 통해서도 기술경제성 향상이 이루어지고 있으며, 바이오항공유는 인증기준을 충족하면 기존 항공유와 동일한 공급체계 내에서 활용 가능하므로 생산 원천기술 개발 이후 상용화 및 이용단계까지 기술 개발이 상대적으로 용이함
- 현재 국내의 경우 바이오항공유 생산기술은 원천기술 일부를 확보하고 있으며, 혼합 및 인증, 수송, 급유 기술을 기확보하고 있으므로 대량 생산기술 및 정책 및 환경기반 시스템 마련이 필요함

<표 6-1> 바이오항공유에 대한 PEST 분석 결과

Political	Economical
- 국제기구(ICAO 등) 및 주요국가의 바이오항공유 지원 정책에 따른 바이오항공유 활용 목표 제시 및 확대 등의 국제 정책 다변화 - 주요국의 신재생에너지 보급 확대를 위한 제도(RFS, RED 등) 내 바이오항공유의 인센티브 적용 정책 확대 - 에너지 안보 측면의 항공대체연료 확보	- ICAO 바이오항공유 비전 수립에 따른 바이오항공유 수요 및 시장 확대 예상 - 바이오항공유 생산 기술 다양화 및 상용화 확대에 따른 가격 경쟁력 확보 전망 - 유가의 가격 변동에 따른 기존 항공유 가격의 불안정성 존재
Socio-cultural	Technological
- 민간 및 공공 부문의 자발적 이니셔티브 구성 및 바이오항공유 활성화 사업 진행 - 바이오항공유 업계 환경 및 소비자 인식 변화 - 지속가능한 항공대체연료의 지적/인적 네트워크 확대 및 성장	- 원료 및 생산기술의 다양화를 통한 기술경제성 및 경쟁력 강화 - 부산물 활용 기술 개발로 부가가치 생산을 통한 바이오항공유 경제성 향상 - 기존항공유 공급기술 변경 없이 동일한 방식으로 활용 가능

2. 내외부 환경분석(SWOT)

- 내외부 환경분석을 위해 국내외 동향 및 환경분석을 통하여 SWOT 분석을 실시하였으며, 분석결과를 바탕으로 연구과제 추진전략 방향을 도출함

가. 내부환경

- 생산기술의 경우 현재 국내 바이오항공유 관련 R&D는 바이오연료 및 바이오항공유에 대한 생산 원천 기술을 확보하는 것을 목표로 바이오항공유 생산 분야의 기술수준을 일부 확보(TRL 3~4)하고 있으나, 국내 바이오항공유 상용화를 위한 대량 생산 기술은 미확보 되어있음
- 혼합 및 인증, 수송, 급유 등 바이오항공유 수송 및 보급 관련하여 기존의 공급 인프라 및 급유 체계가 잘 구축되어 있으며, 기술도 모두 확보 하고 있어 바이오항공유 전용체계 마련의 기본발판으로 적용 가능함
- 또한 우리나라는 2016년 기준 항공운송실적(RTK: Revenue Ton-Kilometer)¹⁴⁾ 종합 세계 7위로 항공 선진국으로서의 위상을 확보하고 있으며, 국적 항공사 및 항공운항 실적이 지속적으로 증가하고 있음
- 더불어 우수한 국내 공항구축 및 운영기술을 활용하여 해외 공항 플랜트 건설기술을 수출할 만큼 국내 공항 건설 기술이 뛰어나며 공항의 관리 운영 수준이 선진국으로서 강점으로 적용될 수 있음
- 반면 바이오항공유를 활용함에 있어 뚜렷한 정책적 인센티브나 제도에 대한 불확실성으로 정부의 확고한 정책적 방향 설정이 구축되지 않으면 민간 기업의 바이오항공유 시장진입이 매우 어려운 실정임
- 또한 현재 국내 바이오항공유 생산기술은 원천기술 확보만 이루어진 상황으로 실증 및 상용화 단계까지 진행여부가 미확정된 상태로 현재 시점에서 국내에서 생산된 바이오항공유를 이용하기는 어려우므로 국내 바이오항공유 시장 구축 및 향후 국제 바이오항공유 시장진출을 위한 대응 방안 마련이 시급함
- 바이오항공유 국내 생산 기반 구축에 필요한 요인 중 약점으로 작용할 수 있는 것은 국내 바이오원료 자원의 부족이며, 바이오디젤과 마찬가지로 바이오항공유 제작 원료를 수입에 의존해야 할 가능성이 있음

14) RTK(Revenue Ton-Kilometer): 유상톤킬로미터. 각 운항구간마다 운송된 유상탑재중량에 운항거리를 곱한 것의 합계로, 여객과 화물을 포함하여 1톤이 1km 운송된 것을 1RTK라고 함

나. 외부환경

- 해외의 경우 바이오항공유 생산기술 및 상용화 기술까지 확보하고 있으며, 실제 바이오항공유 공급 전용 공항까지 구축되어 있고 바이오항공유 생산 및 이용 확대를 위한 정책은 물론 기술경제성 확보 등을 포함한 환경기반 시스템 최적화, 지속가능성 평가를 포함한 환경건전성 평가 기술을 확보하고 있음
- 석유 제품 수출 사례와 같이 바이오항공유 생산을 통해 2차 수출이 가능하며, 싱가포르, 중국, 일본 등 아시아 내 바이오항공유 수요 시장 타겟이 가능하고 지속가능 바이오항공유를 통한 온실가스 감축활동을 실시함으로써 국제항공 부문의 온실가스 감축 목표에 기여할 수 있음
- 단, 석유계 항공유의 가격과 원료 가격에 따른 리스크, 정책 변화로 인한 인센티브 및 지원 제도 변화 가능하다는 위협요인이 존재하며, 유럽 및 미국은 이미 상용화를 시작으로 국내 기업보다 많은 기술력 및 펀딩 노하우를 보유하고 있어 초기시장 선점 확보 어려움이 존재함

다. 전략방향 설정

- 국내외 동향 및 환경분석을 통해 SWOT 분석을 실시하였으며, 결과를 바탕으로 비전 수립을 위한 전략방향을 설정함
- SO 전략으로 생산기술 측면에서 바이오항공유 생산 원천기술을 활용한 상용화 기술 개발을 통한 산업 확대 전략을 설정하였으며, 공급인프라의 경우 높은 수준의 공급 인프라 및 공항 건설 운영기술을 바탕으로 Bioport 최적 설계 및 운영기술 개발을 전략으로 설정함
- ST 전략으로는 생산기술 측면에서 우수한 항공유 공급 인프라 기술을 통한 바이오항공유 공급 국산화 기술 확보와 기 확보된 바이오항공유 생산 원천기술을 활용한 상용화 기술 개발을 도출함
- WO 전략으로 생산기술 측면에서 바이오항공유 생산기술 고도화를 통한 바이오항공유 산업 지원 전략을 도출하였으며, 정책 측면에서 인센티브 및 제도 구축을 위한 연구 추진, 국내 바이오항공유 기술경제성 및 환경경제성 평가 기술 확보, 한국형 지속가능 항공대체연료 민관학연 정부주도 이니셔티브 구축을 전략으로 도출함
- WT 전략으로 생산기술 측면에서 바이오항공유 원료 및 생산·보급기술에 따른 가격경쟁력 확보기술 개발과 상용화기술 개발을 통한 바이오항공유 track record 확보를 세부 전략으로 도출함

<표 6-2> SWOT 분석 및 전략 방향

외부환경 내부환경	O(기회)	T(위협)
	- 국내외 바이오항공유 시장 진출 및 수출 효과 기대 - 바이오항공유 이용 보급 정책 확대 및 바이오항공유 시장 확대에 따른 진입시장 확대 - 국가주도 지속가능 항공대체연료 이니셔티브 확대	- 항공유가 변동 리스크 - 바이오항공유 생산기술 다양화 및 상용화 기술 확대에 따른 경쟁 어려움 - 바이오항공유 생산공정에 따른 단가 변동
S(강점)	SO 전략	ST 전략
- (생산기술) 바이오항공유 생산 원천 기술 확보 - 뛰어난 항공유 공급 인프라 기술 및 공항 건설, 운영 기술 보유	- (생산기술) 바이오항공유 생산 원천기술을 활용한 상용화 기술 개발을 통한 산업 확대 - 높은 수준의 공급 인프라 및 공항 건설 운영기술을 바탕으로 Bioport 최적 설계 및 운영 기술 개발	- (생산기술) 우수한 항공유 공급 인프라 기술을 통한 바이오항공유 공급 국산화 기술 확보 - 기 확보된 바이오항공유 생산 원천기술을 활용한 상용화 기술 개발
W(약점)	WO 전략	WT 전략
- (생산기술)바이오항공유 대량 생산기술 및 상용화된 생산 설비 부재 - (정책) 정책적 인센티브/제도 결핍 및 바이오항공유 기술 경제성 평가 및 환경건전성 평가 기술 부재 - 국내 바이오항공유 급유 및 이니셔티브 운영 실적 전무	- (생산기술) 생산기술 고도화를 통한 바이오항공유 산업 지원 전략 - (정책)인센티브 및 제도 구축을 위한 연구 추진 - 국내 바이오항공유 기술경제성 및 환경경제성 평가 기술 확보 - 한국형 지속가능 항공대체연료 민관학연 정부주도 이니셔티브 구축	- (생산기술) 바이오항공유 원료 및 생산·보급기술에 따른 가격 경쟁력 확보기술 개발 - 상용화기술 개발을 통한 바이오항공유 track record 확보

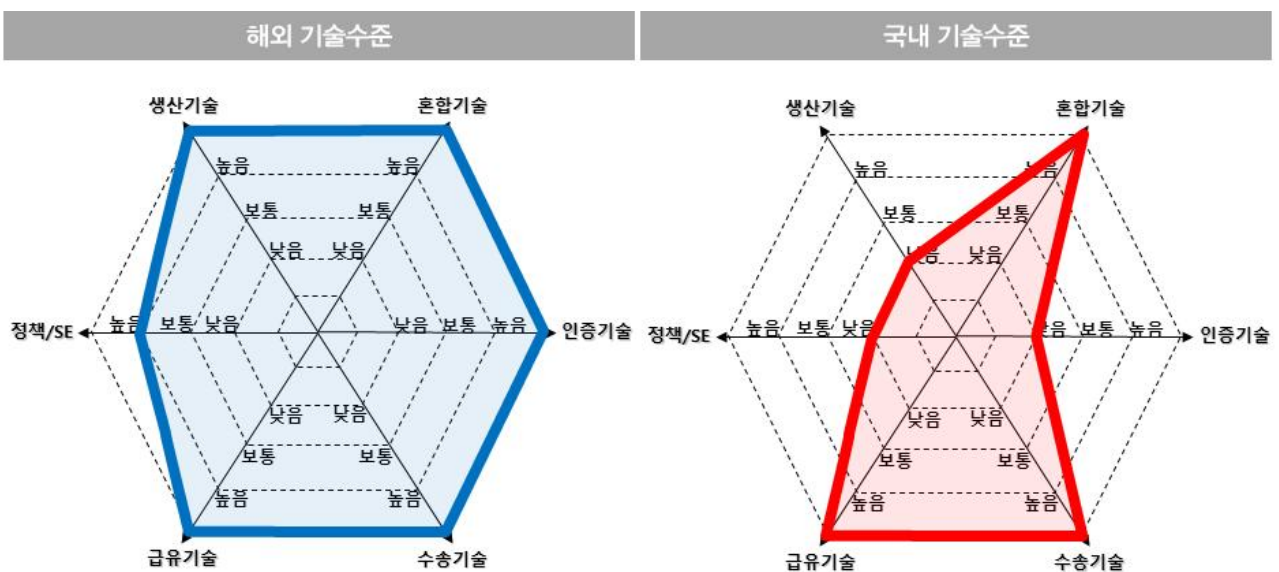
3. 비전 및 목표 설정

가. 비전 및 목표설정을 위한 종합분석

- 국내 바이오항공유 이용 기반 구축을 위한 비전 및 목표설정을 위하여 국내외 기술수준을 생산기술, 혼합 및 인증기술, 수송 및 공급기술, 경제성 및 환경성 평가기술, 제도 및 정책분야를 포함한 정책 및 환경기반 시스템으로 설정하여 비교하였음
- 국외의 경우 바이오항공유 이용 공급체계와 관련된 각 분야별 기술수준은 상위수준이며, 특히 생산기술 분야의 경우 대량 생산기술은 물론 상용화기술까지 확보하고 있는 반면 국내의 경우 생산기술 측면에서 기술 수준이 상대적으로 낮은 것으로 분석되었음
- 혼합, 수송, 급유 기술의 경우 기존의 항공유에 적용되는 기술과 거의 동일하기 때문에 우리나라의 기술수준도 해외 기술수준과 유사한 것으로 분석되었으나, 인증기술의

경우 엔진 구성요소별 안전성 및 내구성 평가 관련 기술은 상대적으로 기술수준이 낮은 편임

- 반면 국제적으로 바이오항공유 생산 및 이용 기반 구축과 관련한 정책이 점차 확대되고 있는 반면 우리나라는 바이오항공유와 관련된 정책 기반은 전무한 실정으로 기반이 매우 미약하며, 환경기반 시스템 최적화 기술 및 환경건정성 평가기술도 상대적으로 기술수준이 낮은 편임
- 따라서 비전 및 목표는 바이오항공유 국내 기술수준을 국제 동향에 맞춰 세계기술수준과 부합하도록 설정하고자 하였음



<그림 6-1> 바이오항공유 기술부문별 해외 및 국내 기술수준 비교

나. 비전 및 목표

- 바이오항공유 관련 국내 연구개발 비전은 2011년 고탄소바이오연료 생산에 대한 목표 설정 이후 개정 또는 개선되지 않았으며, 2017년 12월 발표된 ‘재생에너지 3020 이행계획’ 에도 바이오연료에 대한 비전 또는 목표가 설정되지 않음
- ICAO에서는 항공대체연료에 대한 비전 및 목표를 수립, 기속가능성 기준 수립 등 항공부문에서의 온실가스 감축수단으로서 바이오항공유 사용에 대한 적극적 의지를 표명하고 있으며 해외 주요 선진국은 기술개발 및 상용서비스가 지속적으로 증가하고 있음
- 우리나라는 항공운송량 세계 7위의 항공선진국으로서 항공분야의 지속가능한 발전을

위해 노력해야 할 책임이 있으며, 항공유 급유기술 및 공항운영기술은 세계 최고수준에 있음

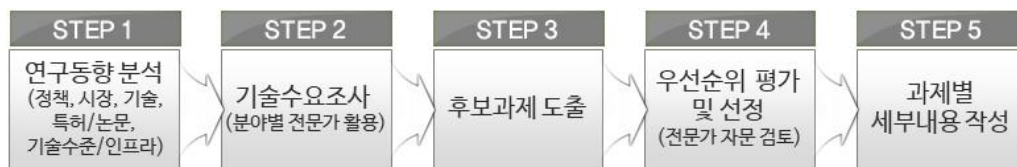
- 또한 바이오항공유 사용을 통해 기존 화석연료를 대체함으로써 항공부문 온실가스 감축뿐만 아니라 에너지 안보 측면에서도 바이오항공유 사용은 적극적이어야 함
- 따라서 바이오항공유 생산 상용화 기술 및 정책적인 기반을 마련하여 바이오항공유 활용 공항 운영 기술과 지속가능한 바이오항공유의 국내 공급체계 Track Record를 확보함으로써 아시아권 바이오항공유 활용을 선도하는 것을 비전으로 수립함
- 세계 일류 기술수준의 지속가능 항공 대체연료 국내 공급체계구축을 위해 바이오항공유 생산부터 활용까지 필요한 기술을 확보하는 것을 목표로 설정함

〈표 6-3〉 비전 및 목표 설정

비전	지속가능 항공대체연료 국내 공급체계 구축을 통한 항공부문 온실가스 대응 新기술력 확보		
목표	바이오항공유 생산기술 및 정책, 환경기반 시스템 최적화 기술 확보		
전략 방향			
생산 기술	전략 I	- 바이오항공유 생산 원천기술을 활용한 상용화 기술 개발을 통한 산업 확대	
	전략 II	- 생산기술 고도화를 통한 바이오항공유 산업 지원 전략	
	전략 III	- 기 확보된 바이오항공유 생산 원천기술을 활용한 상용화 기술 개발	
	전략 IV	- 바이오항공유 원료 및 생산·보급기술 개발로 가격경쟁력 확보	
	전략 V	- 우수한 항공유 공급 인프라 기술을 활용한 바이오항공유 공급 국산화	
	전략 VI	- 상용화기술 개발을 통한 바이오항공유 track record 확보	
정책 및 환경 기반	전략 VII	- 인센티브 및 제도 구축을 위한 연구 추진	
	전략 VIII	- 국내 바이오항공유 기술경제성 및 환경경제성 평가 기술 확보	
	전략 IX	- 한국형 지속가능 항공대체연료 민관학연 정부주도 이니셔티브 구축	
세부목표			
바이오항공유 생산 기술 개발		바이오항공유 국내 이용을 위한 제도 및 정책 기반 마련	바이오항공유 환경기반 시스템 구축

제2절 핵심기술요소(CTE) 선정

- 세부과제의 핵심기술 및 우선순위 과제 선정을 위하여 세부 절차는 연구동향분석 및 기술수요조사를 반영하여 기술분야별 핵심요소기술 선정 및 후보과제를 도출함
- 도출된 후보과제를 대상으로 전문가 자문검토를 실시하여 우선순위 과제를 선정하고 과제별 세부내용을 작성하는 것으로 진행하였음



<그림 6-2> 핵심요소기술 및 과제 선정 프로세스

1. 핵심기술 도출

가. 중점분야 도출

- 바이오항공유 산업지원 및 활용을 위한 국내 이용기반 구축과 관련한 기술, 정책, 특허 및 논문, 인프라 등의 국내외 동향분석 결과를 활용하여 중점분야 및 핵심키워드를 도출하였음
- 중점추진 분야 선정을 위하여 핵심투자영역 분석을 실시하였으며, 분석기준은 기술성(기술시급성), 시장성(시장과급성), 정책성(정책적 중요성)으로 적용하여 상대적으로 비교분석하기 위하여 등급화 한 후 점수를 적용하였으며, 평가는 전문가 및 연구진 설문을 통하여 평가하였음

<표 6-4> Factoring에 의한 중점분야 선정 결과

분야	점수				중점분야 선정
	기술성	시장성	정책성	합계	
생산기술	47	44	47	138	2순위
혼합기술	16	16	16	48	-
인증기술	16	16	16	48	-
수송기술	16	16	16	48	-
급유기술	16	16	16	48	-
정책 및 환경기반 시스템	48	45	48	141	1순위

- 도출된 중점분야는 바이오항공유 생산 기술 분야와 바이오항공유 국내 이용을 위한 정책 및 환경기반 시스템 구축 분야임



〈그림 6-3〉 중점분야 및 핵심 키워드

나. 핵심기술 도출

- 핵심 키워드에 따른 중점분야별 기술목록을 선정하여 핵심기술 도출을 위한 적합성 세부평가항목 및 평가기준을 도출하고 평가를 실시하였음
- 중점 분야는 바이오항공유 생산기술 확보와 정책 및 환경기반 시스템 구축으로 각 중점분야에 해당되는 기술에 대하여 핵심기술여부를 평가하였음
- 평가결과 바이오항공유 생산기술 확보 분야에서는 OTJ 생산기술이 핵심기술로 평가 되었으며, 정책 및 환경기반 시스템 구축분야에서는 제도 및 정책구축, 품질표준화, 환경기반 시스템 최적화, 환경건전성(지속가능성) 평가기술이 핵심기술로 판정됨

〈표 6-5〉 중점 분야별 핵심기술 평가 결과

중점 기술분야	세부기술명	매력도	적합성	결과	종합판정
바이오항공유 생산기술	ATJ(Alcohol-to-Jet) 생산기술	3.40	3.19	6.6	제외
	OTJ(Oil-to-Jet) 생산기술	4.40	4.26	8.7	핵심
	GTJ(Gas-to-Jet) 생산기술	2.66	-	-	제외
	STJ(Sugar-to-Jet) 생산기술	2.73	-	-	제외
정책 및 환경기반 시스템	제도 구축 및 품질 표준화	4.64	4.22	8.9	핵심
	환경기반 시스템 최적화	4.19	3.79	8.0	핵심
	환경건전성(지속가능성) 평가	4.11	3.65	7.8	핵심

* 매력도 3.35 이상 적합성 평가 실시, 종합점수 6.7 이상이면 핵심기술로 선정

2. 후보과제 선정

가. 우선순위 평가 절차

- 우선순위 평가는 핵심기술 후보과제에 대하여 평가하였으며, 평가 순서는 후보과제 선정, 우선순위 평가기준 설정 및 우선순위 평가 순으로 추진하였음
- 동향조사 및 전문가 대상 기술수요조사를 통해 도출된 결과를 바탕으로 기획연구진 및 전문가 자문회의를 통해 중복성 및 유사성을 검토하여 재분류하여 중점분야별 후보과제 목록을 도출함
- 중점분야별 후보과제는 기술분류체계에 매칭하여 분류한 후, 전문가자문 및 기획연구진 의견을 종합하여 검토한 후 우선순위 도출을 위한 최종 후보과제 목록을 작성함

〈표 6-6〉 중점 기술분야별 우선순위 도출 후보과제 목록

중점 기술분야	세부기술명	후보과제	출처
바이오 항공유 생산기술	OTJ(Oil-to-Jet) 생산기술	OTJ(Oil-to-Jet) 생산기술 개발	기술동향, 기술수요조사
정책 및 환경기반 시스템	제도 구축 및 품질 표준화	바이오항공유 분석기술과 품질관리 시스템 개발	기술수요조사
		바이오항공유 국내 이용기반 정책 및 제도 개발	기술동향
	환경기반 시스템 최적화	원료생산 기술별 경제성 평가 기술 개발	기술동향, 기술수요조사
		바이오항공유 공급시스템 최적화	기술동향
		지속가능 항공대체연료 이니셔티브 구축	기술동향
	환경건전성 (지속가능성) 평가	원료 공정별 LCA 배출계수 개발	기술동향, 기술수요조사
		바이오항공유 지속가능성 평가 기준 개발	기술동향, 기술수요조사

- 우선순위평가를 위한 평가항목을 설정하고 각 항목별 평가기준을 설정함
- 우선순위 평가 항목은 기술중요도(기술성, 시장성, 정책성)와 기술수준으로 설정하여 전문가 의견수렴을 통하여 평가하였음
- 기술성은 기술실현가능성, 기술파급성, 기술시급성 등을 고려하여 5점 척도로 평가하였으며, 시장성은 시장수용성, 시장규모성, 시장파급성을 고려하여 5점 척도로 평가하였음
- 정책성은 사회정책적 중요성, 정부지원 타당성, 사회적 영향성으로 구분하여 5점 척도로 평가하였으며, 기술수준은 과학기술 혁신역량을 5점 척도로 평가하였음

- 기술수준은 세계 기술수준 대비 국내 기술혁신역량으로 평가하였음

〈표 6-7〉 우선순위 평가기준 설정

평가항목		평가기준
중요도	기술성	기술자체의 시급성, 기술개발의 시급성, 기술개발과급성 등의 가치여부
	시장성	기술이 적용된 시장 수용성, 잠재적 시장규모 및 시장과급성 등의 성장 전망
	정책성	정부가 추진하고자하는 정책과의 부합성, 관련 산업 발전에 대한 기여정도
기술수준	기술역량	국외 선도 기술 대비 국내 기술의 수준

나. 우선순위 평가 결과

- 후보과제의 우선순위 평가 결과 기술중요도와 기술수준이 가장 높은 기술은 제도 구축 및 품질 표준화 기술이었으며, 또한 바이오항공유 생산기술인 OTJ 생산기술이 기술중요도 및 기술수준이 상대적으로 낮은 것으로 분석되었음

〈표 6-8〉 후보과제 우선순위 평가 결과

기술분야	세부기술명	후보과제명	기술 중요도				기술수준
			기술성	시장성	정책성	결과	
바이오 항공유 생산기술	OTJ (Oil-to-Jet) 생산기술	OTJ(Oil-to-Jet) 생산기술 개발	3.5	3.4	3.5	3.4	67.8%
정책 및 환경기반 시스템	제도 구축 및 품질 표준화	바이오항공유 분석기술과 품질관리 시스템 개발	4.4	4.0	4.4	4.3	65.6%
		바이오항공유 국내 이용기반 정책 및 제도 개발	4.6	4.1	4.7	4.5	66.7%
	환경기반 시스템 최적화	원료생산 기술별 경제성 평가 기술 개발	4.0	3.2	3.9	3.7	54.4%
		바이오항공유 공급시스템 최적화	4.3	3.5	4.2	4.0	57.8%
		지속가능 항공대체연료 이니셔티브 구축	4.3	3.7	4.3	4.1	61.1%
	환경건전성 (지속가능성) 평가 기술	원료 공정별 LCA 배출계수 개발	3.3	2.9	3.4	3.2	60.0%
		바이오항공유 지속가능성 평가 기준 개발	3.8	3.5	4.3	3.9	63.3%

제3절 연구개발 과제 구성

1. 기술수요조사

가. 기술수요조사 방법

- 기술수요조사는 예상되는 성과물이 활용될 수 있는 최종 수요처 및 관련 연구 과제 등을 수행하고 있는 공공기관, 산업계, 학계/연구기관을 대상으로 외부 전문가 및 기획연구진을 포함하여 조사대상자를 선정하였음
- 공기업은 공공부문으로 분류하여 관련 항공유 공급 체계 구축과 관련한 담당자를 기술수요조사 대상으로 선정하였으며, 산업계는 바이오항공유의 생산, 공급, 이용단계까지의 수요를 고려하여 정유사, 바이오디젤 생산업체, 항공사, 지상조업사의 관련 담당자를 대상으로 선정하였음
- 학계/연구기관은 바이오항공유 생산 및 법규 체계 마련 등을 전문분야로 하는 담당교수 및 연구원을 기술수요조사 대상으로 선정하였으며, 기획연구진을 포함하여 기술수요조사를 진행하였음
- 기술수요조사는 기술개발 우선순위를 파악하고 과제 간의 효율적인 자원배분 방안을 마련하기 위한 사전조사로서 본 연구에서는 기술분류체계를 공급망 단계별로 세분화하여 다양한 수요를 반영코자 하였으며 연구개발 아이템이 제안되지 않은 기술분야는 니즈가 없는 기술분야로 적용하였음
- 기술분류체계와 동일하게 바이오항공유 공급체계 구축 분야를 설정하여 각 분야별 기술수요조사를 실시하였으며, 조사방법은 기술수요조사서를 이메일로 발송하여 회신하는 방법으로 실시하였음

〈표 6-9〉 기술수요조사 개요 및 대상 선정

구분	세부내용	
조사기간	2018년 6월 1일~6월 30일(외부), 2018년 7월 1일~7월 20일(내부)	
조사대상	외부전문가(자문위원 포함), 내부 기획연구진	
조사방법	이메일 송부/회신 및 회신 등	
조사대상	공공부문	한국교통안전공단, 한국공항공사, 인천국제공항공사, 대한송유관공사 항공유 공급관련 담당자
	산업계	정유사(대한석유협회 포함), 바이오디젤 생산업체(바이오에너지협회 포함), 항공사(한국항공진흥협회 포함), 지상조업사 등 바이오항공유/항공유 공급관련 담당자
	학계/연구기관	바이오항공유 생산 및 공급 관련 학계 교수 및 연구기관 담당 연구원
	기획연구진	기획연구 참여연구진

나. 기술수요조사 결과

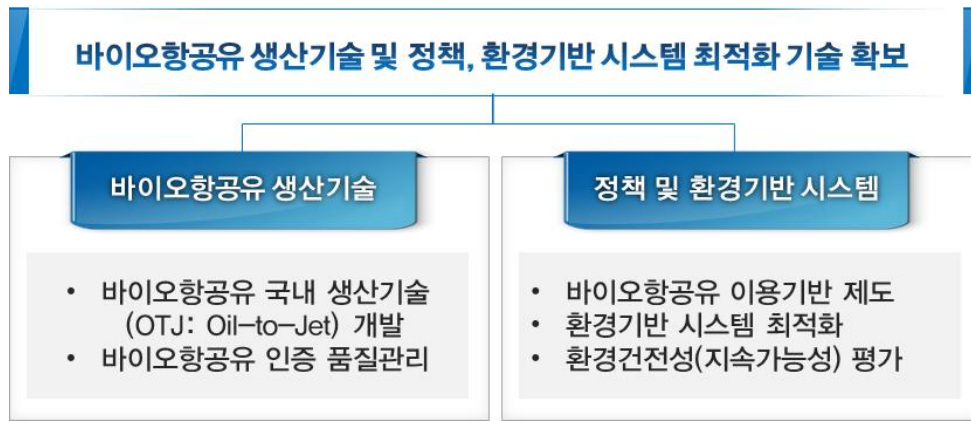
- 기술수요조사 결과 수합된 기술아이템은 총 10건이며, 제안된 기술아이템은 생산기술과 바이오항공유 국내 이용 정책 및 환경기반 시스템 분야에 대하여 수합되었으며, 기술분류체계에 제시된 혼합, 인증, 수송, 급유 기술 분야의 기술아이템은 없음
- 바이오항공유 혼합, 인증, 수송, 급유 기술 분야의 경우 동향분석 결과에 따르면 바이오항공유만을 위한 별도의 기술개발이 필요 없으며, 기존 항공유와 동일한 공급망을 그대로 활용해도 되기 때문에 기술수요가 없는 것으로 분석되었음
- 기술수요조사 결과는 회신된 내용으로 동향 및 환경 분석 내용을 보완하고 기술아이템은 추가 분석을 통하여 후보과제를 구성하여 향후 수행과제 선정에 활용하였음

<표 6-10> 기술수요조사에 따른 기술 아이템

기술분야	기술 아이템
생산기술	미세조류 유래 바이오항공유 생산기술 개발 및 실증
	실증용 바이오항공유 제조/공정/시스템 설계-구축-운전 기반기술
	바이오항공유 원료의 타당성 및 접근성 평가
정책 및 환경기반 시스템	바이오연료 기존공항 활용 설비 구축
	바이오항공유 분석기술과 품질관리 시스템 개발
	항공업종 배출권 할당 정량지표 개발
	바이오항공유 온실가스 감축효과 정량화기술
	원료 공정별 LCA 배출계수 개발
	지속가능성 평가 기준 개발
	원료생산 기술별 경제성 평가 기술

2. 연구과제의 전체 구성

- “바이오항공유 산업지원 및 활용” 연구개발 과제는 바이오항공유 생산 및 인증기술과 정책 및 환경기반 시스템으로 전체 연구를 구성함



〈그림 6-4〉 연구개발 과제의 구성 및 체계

○ 세부과제별 목표 및 구성

- 1세부과제 “바이오항공유 생산기술 개발”로 OTJ(Oil-to-Jet) 생산기술 개발과 바이오항공유 품질표준 및 인증체계 구축으로 구성하였으며, 국내에서 생산 가능한 바이오항공유 기술을 확보하는 것을 목표로 생산 공정별 경제성 및 환경건전성 기초 자료를 확보하여 2세부과제와 연계함
- 2세부과제 “바이오항공유 국내 이용을 위한 정책 및 환경기반 시스템 구축” 과제로 바이오항공유 국내 이용기반 구축을 위한 제도 마련과 환경기반 시스템 최적화 방안 수립, 환경건전성(지속가능성) 평가 방법론 개발로 구성되어 있으며, 1세부과제 기초자료를 활용하여 연계함

3. 세부과제 구성

- 세부과제는 바이오항공유 생산기술 개발과 바이오항공유 국내 이용을 위한 정책 및 환경기반 시스템 구축으로 구성하였음

〈표 6-11〉 세부과제별 연구설계도: Level 1

세부과제명	최종성과물	최종성과물 유형
1. 바이오항공유 생산기술 개발	• 연 5톤 규모 실증용 바이오항공유 제조공정/시스템 개념-기본설계도 및 시제품	공법/기법
	• 바이오항공유 품질표준 및 인증체계	제도/표준화
2. 바이오항공유 국내 이용을 위한 정책 및 환경기반 시스템 구축	• 바이오항공유 이용기반 정책 및 제도 제안	제도/표준화
	• 경제성 평가 기술 및 환경기반 시스템 최적화	제도/표준화
	• 지속가능성 지표 및 평가 표준 방법론	제도/표준화

- 세부과제에 따른 필요기술은 총 5가지로 OTJ(Oil-to-Jet) 생산기술, 바이오항공유 품질 표준화, 국내 이용기반 제도, 환경기반 시스템 최적화, 환경건전성(지속가능성) 평가로 연구설계도를 구성하였음
- 동향분석 결과 및 전문가 자문의견을 활용하여 세부 과제에 해당하는 각 세부 기술별 목표성능 및 TRL 유형, TRL 단계, CTE 여부를 <표 3-11>에 제시하였음

<표 6-12> 세부과제별 연구설계도: Level 2

세부과제명	세부 기술명	세계 수준	목표 성능	TRL 유형	TRL 단계	CTE 여부
1. 바이오항공유 생산기술 개발	1-1. OTJ(Oil-to-Jet) 생산기술	100%	88.9%	공법/기법	TRL 6	○
	1-2. 바이오항공유 품질 표준화	100%	100%	-	-	○
2. 바이오항공유 국내 이용을 위한 정책 및 환경기반 시스템 구축	2-1. 바이오항공유 이용기반 제도	100%	100%	-	-	○
	2-2. 환경기반 시스템 최적화	100%	100%	-	-	○
	2-3. 환경건전성(지속가능성) 평가	100%	100%	-	-	○

- 세부과제별 세부기술에 따른 연구활동은 기술수요조사 및 동향분석 결과에서 제시된 후보과제를 대상으로 기술중요도, 기술수준 등을 고려하여 도출하였으며, 결과를 반영하여 본 연구 추진을 위한 세부과제별 연구활동을 선정하였음
- 세부과제별 연구활동 및 산출물은 <표 3-12>에 제시하였음

〈표 6-13〉 세부 과제별 연구활동 및 산출물

세부과제명	세부 기술명	연구활동	산출물	연구 기간	1차 년도	2차 년도	3차 년도	4차 년도	5차 년도
1. 바이오항공유 생산기술 개발	1-1. OTJ (Oil-to-Jet) 생산기술	1-1-1. OTJ(Oil-to-Jet) 생산기술 개발	- 연 5톤 규모 실증용 바이오항공유 제조공정/시스템 개념-기본설계도 - 바이오항공유 생산 시제품	5년					
	1-2. 바이오항공유 품질 표준화	1-2-1. 바이오항공유 분석기술과 품질관리 시스템 개발	- 품질 표준문서 1건 - 국내 품질 인증체계 구축 2건	3년					
2. 바이오항공유 국내 이용을 위한 정책 및 환경기반 시스템 구축	2-1. 바이오항공유 이용기반 제도	2-1-1. 바이오항공유 국내 이용기반 정책 및 제도 개발	바이오항공유 국내 이용기반 정책 제안 1건	3년					
	2-2. 환경기반 시스템 최적화	2-2-1. 원료생산 기술별 경제성 평가 기술 개발	경제성 평가모델 2건	4년					
		2-2-2. 바이오항공유 공급시스템 최적화 연구	공급시스템 평가기술 1건	2년					
		2-2-3. 지속가능 항공대체연료 이니셔티브 구축	지속가능 항공대체연료 이니셔티브 운영	5년					
	2-3. 환경건전성 (지속가능성) 평가	2-3-1. 원료 공정별 LCA 배출계수 개발	- 원료·공정별 LCA 배출계수 각 1건 - LCA 평가 표준문서 1건	3년					
		2-3-2. 바이오항공유 지속가능성 평가기준 개발	지속가능성 평가 표준 방법론 1건	3년					

제4절 세부과제별 주요내용 및 추진방법

1. 1세부과제: 바이오항공유 생산기술 개발

과제명	OTJ(Oil-to-Jet) 생산기술 개발
연구목표	OTJ(Oil-to-Jet) 생산기술 개발을 통한 바이오항공유 국내 생산기술 확보
연구 필요성	상용급 공정/시스템 기술을 기 확보한 국외 기술수준에 비해 국내 기술수준이 미비한 실정이며, 상용 플랜트 규모 바이오항공유 제조 공정/시스템 설계-구축-운전에 필요한 기반기술 확보가 시급한 가운데, 파일럿 규모 바이오항공유 제조 공정/시스템의 설계 및 운전 경험을 통해 얻어진 노하우를 기반기술로 체계화하여 기술수요기업에 제공하는 기술지원이 필요
기술유형/성과유형	공법/기법
주요 구성기술	◦ 원료수급 및 상용화 가능한 바이오항공유 제조기술 확보 ◦ 파일럿 규모 확보기술 활용 상용화 대상 기술수요기업에 대한 기술공급 체계 확보 ◦ 파일럿 규모 바이오항공유 제조 공정/시스템 설계-구축-운전 노하우 체계화 ◦ 실증용 바이오항공유 제조/공정 시스템 스케일-업 설계-운전인자 도출, 개념/기본설계 ◦ 파일럿 규모 바이오항공유 제조설비 활용 바이오항공유 시제품 공급
기술개발 최종성과물	◦ 파일럿 규모 바이오항공유 제조 공정/시스템 운전 매뉴얼 및 결과 보고서 ◦ 연 5톤 규모 실증용 바이오항공유 제조 공정/시스템 개념-기본설계 자료 ◦ 파일럿 규모 바이오항공유 제조 설비 활용 생산 바이오항공유 시제품

과제명	바이오항공유 분석기술과 품질관리 시스템 개발
연구목표	바이오항공유 생산-유통-사용의 전주기 품질관리 체계 구축
연구 필요성	바이오매스로부터 전환된 바이오항공유의 연료성분은 기존 석유계 항공유와 거의 유사하여 이를 식별할 수 있는 분석기술이 필요하며, 바이오항공유의 보급에 따른 적정 품질과 안전성 확보를 위해 생산-유통-사용에 이르는 전주기적 품질관리 시스템이 요구됨
기술유형/성과유형	제도/표준화
주요 구성기술	◦ 바이오항공유와 석유계 항공유의 식별체계 개발 ◦ 바이오항공유의 전주기 품질관리 방안 시스템 개발 ◦ 바이오항공유의 국가 품질관리 방안 도출
기술개발 최종성과물	◦ 바이오항공유 국가 품질기준 ◦ 바이오항공유 분석시스템 ◦ 바이오항공유 국가 품질관리 체계 방안

2. 2세부과제 : 바이오항공유 국내이용을 위한 제도 및 정책기반 마련

과제명	바이오항공유 국내 이용기반 정책 및 제도 개발
연구목표	바이오항공유 국내 이용을 위한 인센티브 및 지원 정책 제언
연구 필요성	항공부문 온실가스 감축 확대하기 위한 바이오항공유 국내 이용기반 구축을 위하여 항공대체연료인 바이오항공유 지원 정책 및 인센티브 제도 구축 방안 마련 시급
기술유형/성과유형	제도/표준화
주요 구성기술	◦ 바이오항공유 이용확대를 위한 지원 정책 사례 확보 ◦ 국내 적용가능한 공급확대 지원 제도 및 인센티브 제도
기술개발 최종성과물	◦ 바이오항공유 이용확대 정책 제언 1건

과제명	원료생산 기술별 경제성 평가 기술 개발
연구목표	바이오항공유 원료생산 기술에 따른 경제성 평가 모델 개발
연구 필요성	원료 생산 기술에 따른 성공가능성 및 경제적 파급 효과 추정이 어려우므로 사전 타당성 검토를 위한 바이오항공유 경제성 평가기준 및 모델 구축 필요
기술유형/성과유형	제도/표준화
주요 구성기술	◦ 경제성 평가 항목 선정 ◦ 원료생산 기술별 경제성 평가 기법 개발 ◦ 경제성 평가 모델 검증
기술개발 최종성과물	◦ 원료생산 경제성 평가 모델 및 평가 기준 2건

과제명	바이오항공유 공급시스템 최적화 연구
연구목표	바이오항공유 활용 원료, 생산기술, 공급망 형태에 따른 공급시스템 최적화 기술 개발
연구 필요성	바이오항공유 공급망 개발을 위한 원료수급 지역에서 이용가능 공항까지의 전과정에 필요한 인프라를 분석하여 최적의 바이오항공유 공급시스템 사전 평가 필요
기술유형/성과유형	제도/표준화
주요 구성기술	◦ 바이오항공유 연료 수송 옵션 도출 ◦ 바이오항공유 공급옵션에 따른 인프라 비용 및 최대 확보 연료량 분석 ◦ 바이오항공유 생산가능 리파이너리 운영 모델 개발
기술개발 최종성과물	◦ 바이오항공유 공급시스템 최적화 방법론 및 평가기술 1건

과제명	지속가능 항공대체연료 이니셔티브 구축
연구목표	국내 바이오항공유 공급을 위한 지속가능 항공대체연료 이니셔티브 구축
연구 필요성	잠재적 시장 확대를 위한 정부 및 민간차원의 자발적 노력의 일환으로 국내 바이오항공유 개발 및 보급 촉진을 위한 이니셔티브 구축 필요
기술유형/성과유형	제도/표준화
주요 구성기술	- 공급망 단계별 이해관계자 확보를 통한 이니셔티브 구성 - 지속가능 항공대체연료 이니셔티브 구축 및 운영
기술개발 최종성과물	지속가능 항공대체연료 이니셔티브 운영

과제명	원료 공정별 LCA 배출계수 개발
연구목표	원료 공정별 전과정 평가를 통한 온실가스 배출계수 개발
연구 필요성	바이오항공유 지속가능성 인증을 위한 바이오항공유 원료 및 생산 기술별 전과정 평가 분석을 통해 원료 재배에서 활용 단계까지의 온실가스 배출량 산정 필요
기술유형/성과유형	제도/표준화
주요 구성기술	- 원료공정별 LCA 배출계수 산정 기술 - 원료공정별 LCA 평가 표준 개발
기술개발 최종성과물	- 원료 공정별 LCA 배출계수 각 1건 - LCA 평가 표준문서 1건

과제명	바이오항공유 지속가능성 평가 기준 개발
연구목표	바이오항공유 지속가능성 평가 항목 개발 및 기준 수립
연구 필요성	기존 항공유 대비 바이오항공유 이용이 지속가능성을 충족하는지 여부를 판단하기 위한 세부 기준 마련 필요
기술유형/성과유형	제도/표준화
주요 구성기술	- 지속가능성 평가 항목 및 원칙 개발 - 바이오항공유 지속가능성 평가 기준 수립
기술개발 최종성과물	지속가능성 평가 표준 방법론 1건

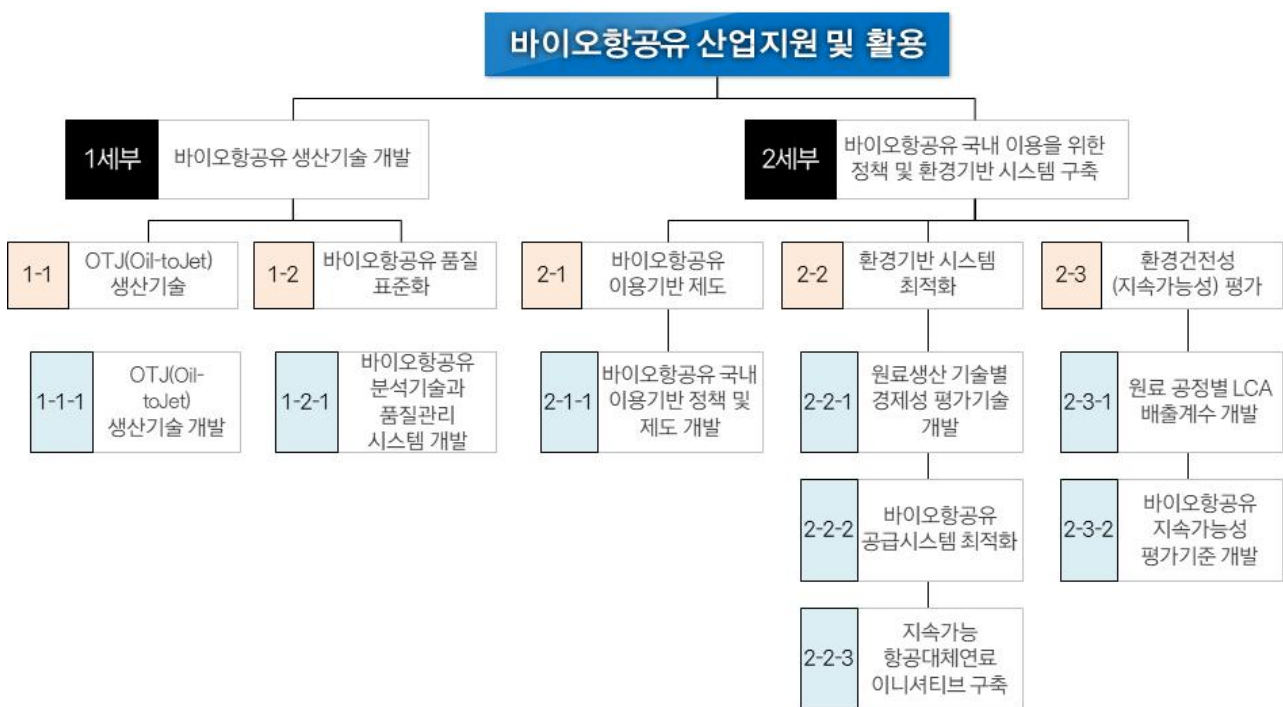
3. 추진방법

가. 연구추진체계

- 연구추진 시 주관 및 협동기관은 담당 연구내용에 부합하는 연구 성과물을 도출하고 연구 계획 단계에서 연구를 성공적으로 달성할 수 있는 수준의 성과목표 및 성과지표를 제안 유도하도록 연구추진체계를 구성해야 함
- 전문기관의 검증을 통하여 연구 성과를 검증하고 실용화를 모색할 수 있도록 연구를 추진함

나. 과제관리체계

- 연구기간 중 환경 및 여건변화에 대한 지속적 모니터링을 통하여 유연하게 대처 가능토록 조직을 구성하여 연구를 추진함
- 세부과제별 연계성 확보를 통하여 최종목표 도출 추진체계를 수립하고 전체 예산규모 확정에 따른 과제별 성과를 고려하여 예산을 배정하고 연구수행기간을 조정함으로써 우수한 과제지원이 가능하도록 함
- 본 기획연구를 통해 도출되는 본연구의 내용은 2가지 세부과제로 구성됨



〈그림 6-5〉 바이오항공유 산업 지원 및 활용 과제 연구체계도

제5절 바이오항공유 시험비행

1. 시험비행 개요

- 바이오항공유 시험비행을 통하여 연료 확보(바이오항공유) 단계에서 시험비행까지의 일련의 절차를 테스트 해봄으로써 지속가능한 항공대체연료 구축을 위한 세부 기술/인프라/운영의 필수요소를 파악하고 실용화 가능성을 확대할 수 있음
- 따라서 본 기획연구의 사업추진 전략 방안으로 바이오항공유를 활용한 시험비행을 추진코자 하였음
- 본 기획연구에서는 항공기 연료를 공급하는 정유사, 급유 시설을 운영하는 공항공사 그리고 연료를 사용하는 항공사 및 정부(국토교통부)를 주요 이해관계자로 설정하고, 각 단계별 필수요소를 파악하기 위한 바이오항공유 시험비행을 추진코자 하였음
- 현재 국내에서는 바이오항공유 생산 및 공급업체가 없으므로 현 시점에서 바이오항공유를 이용한 시험비행을 수행하는 방법은 ① 바이오항공유를 국내로 수입하는 방법, ② 해외에 있는 bioport를 활용하는 방법 등 두 가지가 존재함
- 기존 선행연구에서 해외 bioport를 활용한 사례가 있으므로 본 기획연구에서는 바이오항공유를 국내로 수입하여 시험비행을 실시하는 것으로 진행함

<표 6-14> 바이오항공유 시험비행 추진절차 및 주요내용

단계	추진절차	주요내용	협의대상
계획수립	계획 수립	시행 단계별 계획 수립	-
	국토부 협의	시험비행 기획 업무 협의	국토부
	계획 확정	국토부 검토 최종 확정	국토부
	구입주체 선정	1안: 정유사, 수입등록업체 2안: 참여항공사 직접 수입	정유사, KAS, 참여 항공사
	참여항공사 선정	국내 항공사 대상 참여 항공사 모집 (다수의 항공사 참여 가능토록 협의)	국토부, 국내 항공사
연료공급	연료주문	계획 확정 후 바로 주문	SkyNRG
	비용정산	연료 공급업체 문의 필요	SkyNRG
	연료확보	최대한 시험비행 일정에 맞추어 확보 필요(연료보관 기간 최소화)	SkyNRG
시험비행	시험비행 실시	시험비행 실시	국토부, 참여 항공사
	결과보고	온실가스 감축량 산정 및 결과보고	-
기타사항	홍보	시험비행 시행 홍보(국내, ICAO)	국토부, 참여 항공사

(1) 진행단계별 주요 검토사항

- 바이오항공유 국내 시험비행을 위하여 연료 확보부터 시험비행단계까지 진행단계별 주요사항을 검토하였으며, 바이오항공유 시험비행은 국내 항공사를 대상으로 진행하며, 국내 다수 항공사 노선이 있는 김포공항을 시험비행 대상 공항으로 적용하는 방안으로 검토함

① 연료공급

- 환경건전성이 높은 원료(폐식용유)를 사용한 바이오항공유로 선정할 필요가 있으며, 국내에는 바이오항공유 생산업체가 부재하므로 해외 바이오항공유 공급 업체 중에서 다수의 공급 및 국외 공급이력 확보업체로 고려하여 시험비행 바이오항공유 공급 업체를 선정함

<표 6-15> 바이오항공유 시험비행 선정 연료공급사 개요

구분	주요내용																																																																																										
연료공급사	SkyNRG																																																																																										
국가	네덜란드(본사)																																																																																										
공급사 특징	- 바이오항공유 시험비행 참여 최대기록 보유 - 현 바이오항공유 보급시장 독점적 선두 - 유럽 내 다수 항공사와의 바이오항공유 유상비행 협업 수행(KLM 등) - 미국, 아시아 내 바이오항공유 비행 프로젝트 수행 경험																																																																																										
공급이력	<table><tr><th>Airline</th><th>Delivered by</th><th>Description*</th><th>Route</th><th>Feedstock**</th><th>Conv. Method</th><th>Blend</th></tr><tr><td></td><td></td><td>Test with passengers</td><td>AMS - CDG</td><td>Camelina</td><td>HEFA</td><td>50 %</td></tr><tr><td></td><td></td><td>Commercial</td><td>AMS - CDG</td><td>Used cooking oil</td><td>HEFA</td><td>50%</td></tr><tr><td></td><td></td><td>Commercial</td><td>AMS - HEL</td><td>Used cooking oil</td><td>HEFA</td><td>50%</td></tr><tr><td></td><td></td><td>Commercial</td><td>BHX - ACE</td><td>Used cooking oil</td><td>HEFA</td><td>50%</td></tr><tr><td></td><td></td><td>Commercial series (75)</td><td>SEA - PDX</td><td>Used cooking oil</td><td>HEFA</td><td>20 %</td></tr><tr><td></td><td></td><td>Commercial</td><td>BKK - CNX</td><td>Used cooking oil</td><td>HEFA</td><td>50%</td></tr><tr><td></td><td></td><td>Commercial</td><td>SEA - AUH</td><td>Used cooking oil</td><td>HEFA</td><td>50%</td></tr><tr><td></td><td></td><td>Commercial series (200)</td><td>AMS - CDG</td><td>Used cooking oil</td><td>HEFA</td><td>40%</td></tr><tr><td></td><td></td><td>Commercial</td><td>SCL - CCP</td><td>Used cooking oil</td><td>HEFA</td><td>50%</td></tr><tr><td></td><td></td><td>Commercial</td><td>SYD - ADL</td><td>Used cooking oil</td><td>HEFA</td><td>50%</td></tr><tr><td></td><td></td><td>Commercial</td><td>YTZ - YOW</td><td>Camelina, carinata</td><td>HEFA</td><td>50%</td></tr></table>							Airline	Delivered by	Description*	Route	Feedstock**	Conv. Method	Blend			Test with passengers	AMS - CDG	Camelina	HEFA	50 %			Commercial	AMS - CDG	Used cooking oil	HEFA	50%			Commercial	AMS - HEL	Used cooking oil	HEFA	50%			Commercial	BHX - ACE	Used cooking oil	HEFA	50%			Commercial series (75)	SEA - PDX	Used cooking oil	HEFA	20 %			Commercial	BKK - CNX	Used cooking oil	HEFA	50%			Commercial	SEA - AUH	Used cooking oil	HEFA	50%			Commercial series (200)	AMS - CDG	Used cooking oil	HEFA	40%			Commercial	SCL - CCP	Used cooking oil	HEFA	50%			Commercial	SYD - ADL	Used cooking oil	HEFA	50%			Commercial	YTZ - YOW	Camelina, carinata	HEFA	50%
Airline	Delivered by	Description*	Route	Feedstock**	Conv. Method	Blend																																																																																					
		Test with passengers	AMS - CDG	Camelina	HEFA	50 %																																																																																					
		Commercial	AMS - CDG	Used cooking oil	HEFA	50%																																																																																					
		Commercial	AMS - HEL	Used cooking oil	HEFA	50%																																																																																					
		Commercial	BHX - ACE	Used cooking oil	HEFA	50%																																																																																					
		Commercial series (75)	SEA - PDX	Used cooking oil	HEFA	20 %																																																																																					
		Commercial	BKK - CNX	Used cooking oil	HEFA	50%																																																																																					
		Commercial	SEA - AUH	Used cooking oil	HEFA	50%																																																																																					
		Commercial series (200)	AMS - CDG	Used cooking oil	HEFA	40%																																																																																					
		Commercial	SCL - CCP	Used cooking oil	HEFA	50%																																																																																					
		Commercial	SYD - ADL	Used cooking oil	HEFA	50%																																																																																					
		Commercial	YTZ - YOW	Camelina, carinata	HEFA	50%																																																																																					

- 또한 공급되는 바이오항공유는 바이오항공유 인증기준인 ASTM D7566을 충족해야하며, 일반항공유와 혼합하여 ASTM D1655 인증까지 받아 항공설비 교체가 필요없는 drop-in-fuel로 공급되어야 함
- ASTM D7566 부속서에 등록된 상용화 가능 바이오항공유는 최대 50%까지 기존 항공유와 혼합하여 활용할 수 있으므로 공급사로부터 공급 가능한 최소 혼유율을 확인하였으며, SkyNRG 공급 바이오항공유 최소 혼유율은 30%로 구매 가능한 최소 구매 수량은 20톤임
- 혼합하기 이전의 순(neat) 바이오항공유는 미국 LA에 위치한 AltAir사에서 제조하며, 원료는 폐식용유로 제조공법은 HEFA 공정임

〈표 6-16〉 바이오항공유 시험비행 연료 주요정보

구분	세부 조건	비고
연료 형태	Drop-in-fuel	ASTM D7566 및 ASTM D1655 인증 완료
최소 구매량	20톤	iso tank 단위
Drop-in-fuel의 바이오연료 최소 혼유율	30%	제조사사의 Standard blending ratio
연료제조사	AltAir	미국 LA 위치
바이오연료 원료	폐식용유	-
바이오연료 제조 공법	HEFA ¹⁵⁾	-

- **(구입주체 및 비용)** 국내 석유 및 석유대체연료 사업법에 따르면 석유 연료 수입시 석유 사업법에 의거하여 석유대체연료 수출입업체 등록이 필요하므로 정유사 또는 기존 원유 수출입등록업체(한국공항, KAS)를 활용하여 연료를 구입하는 방향을 검토함
- 또한 시험비행을 위한 바이오항공유 수입은 제조 및 수출입업 목적이 아닌 시험비행을 위한 것이므로 예외조항(석유사업법 제32조1항2호, 시행령 32조)을 적용하여 시험비행 주체인 항공사가 수입하는 방안을 고려함
- 구입 비용은 본 기획연구의 바이오항공유 시험비행 예산을 항공사의 연료구매 보조금으로 활용하고 나머지 연료비용을 항공사에서 부담하는 방안을 고려하였으며, 구입비용 지급은 구입주체가 일관 결재하도록 적용하는 방안을 검토함

15) Hydroprocessed Esters and Fatty Acids(HEFA)

② 연료수송

- 바이오항공유 수입은 ISO 탱크 에 넣어 선박으로 수송 예정이며 미국 LA에서 인천항 구로 선박을 통해 수입되므로 수송 소요기간 확인 수입에 따른 관련 법규 검토를 수행하였으며, 인천항에서 김포공항까지 수송을 위하여 구입주체와 업무협의를 통해 수송하는 방안을 검토함

③ 연료보관

- 시험비행을 위해 김포공항 급유시설에 보관하는 방안을 검토하였으며, 이에 따라 서울시 위험물안전관리 조례에 명시되어 있는 이동탱크 저장소 임시적치 허가 요청사항을 한국공항공사에 협조 요청 필요함
- 보관형태는 시험비행 이전까지 ISO 탱크에 보관하도록 하며, 연료공급업체의 ISO 탱크 회수에 따른 최대 보관일수와 시험비행일을 고려하여 보관기간을 최소화하는 방안으로 검토 필요함
- 또한 기존의 항공유는 송유관을 통해 공항 내에 있는 급유전을 통하여 공급되지만 시험비행을 위한 바이오항공유는 정확한 혼합을 파악 및 기존항공유와의 혼합을 방지하기 위하여 바이오항공유 전용 refuller를 이용하는 것을 검토함

④ 급유

- **(혼합비율 및 급유량)** 바이오항공유 시험비행을 위한 최종 혼합비율은 기존 시험비행 사례 검토결과를 바탕으로 최소 5%로 적용하고 최종 혼합율에 따라 급유량을 산정할 필요가 있음
- **(운항편수 및 급유)** 시험비행 운항 편수는 최종 혼합비율, 참여항공사, 적용 노선 등에 따라 변동가능하며, 다수의 항공사가 참여하는 경우 각 항공사별 지상조업사가 상이하므로 시험비행 기간 동안 효율적으로 급유를 실시하기 위하여 시험비행기간은 1~2일 이내로 진행하는 방안으로 고려하여 지상조업사, 참여항공사와 협의를 진행할 필요가 있음

⑤ 운항

- 시험비행은 국내 항공사를 대상으로 참여항공사를 모집하고 및 다수의 항공사 참여 가능토록 협의할 필요가 있으며 시험비행 공항은 국내 항공사의 운항 노선이 모두 포함되어 있고 다수 항공사가 참여가능한 공항인 김포공항으로 선정하는 방안 고려

- 시험비행 운행 노선은 김포공항 출발편(국내선/국제선)으로 선정 및 참여항공사 의견 반영하여 최종 선정할 필요 있음

⑥ 모니터링 및 보고

- 시험비행 이후 각 항공사별 바이오항공유 혼합비율 및 사용량에 따라 국내 제도 산정 방법론 및 ICAO 제공 배출계수 적용 온실가스 감축량 산정이 필요하며 향후 ICAO 제출에 필요한 대체연료 사용량 인증 관련 15개 항목 정보자료 확보 및 확인이 필요함

⑦ 기타사항

- 국내 최초 바이오항공유 적용 시험비행이므로 이와 관련한 홍보계획 수립이 필요함

(2) 시험비행 추진경위

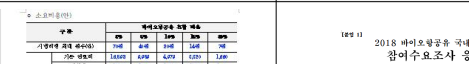
- 바이오항공유 시험비행을 추진하기 위하여 이해관계자 의견 청취 및 국내 항공운송사업자를 대상으로 시험비행 수요조사를 실시하였음

〈표 6-17〉 바이오항공유 시험비행 추진경위

일정	구분	주요내용	대상
1.26	이해관계자 토론회	바이오항공유 기획연구 및 시험비행 내용 공유	국내 항공운송사업자, 지상조업사, 정유사 등
5.15	업무협의	바이오항공유 시험비행 계획 보고	국토부
6.19	의견청취	시험비행 참여를 위한 의견청취	국내 항공운송사업자
8.7~8.20	수요조사	바이오항공유 시험비행 참여 수요조사 1차(무응답)	국내 항공운송사업자
9.7~9.13	수요조사	바이오항공유 시험비행 참여 수요조사 2차(응답완료)	국내 항공운송사업자

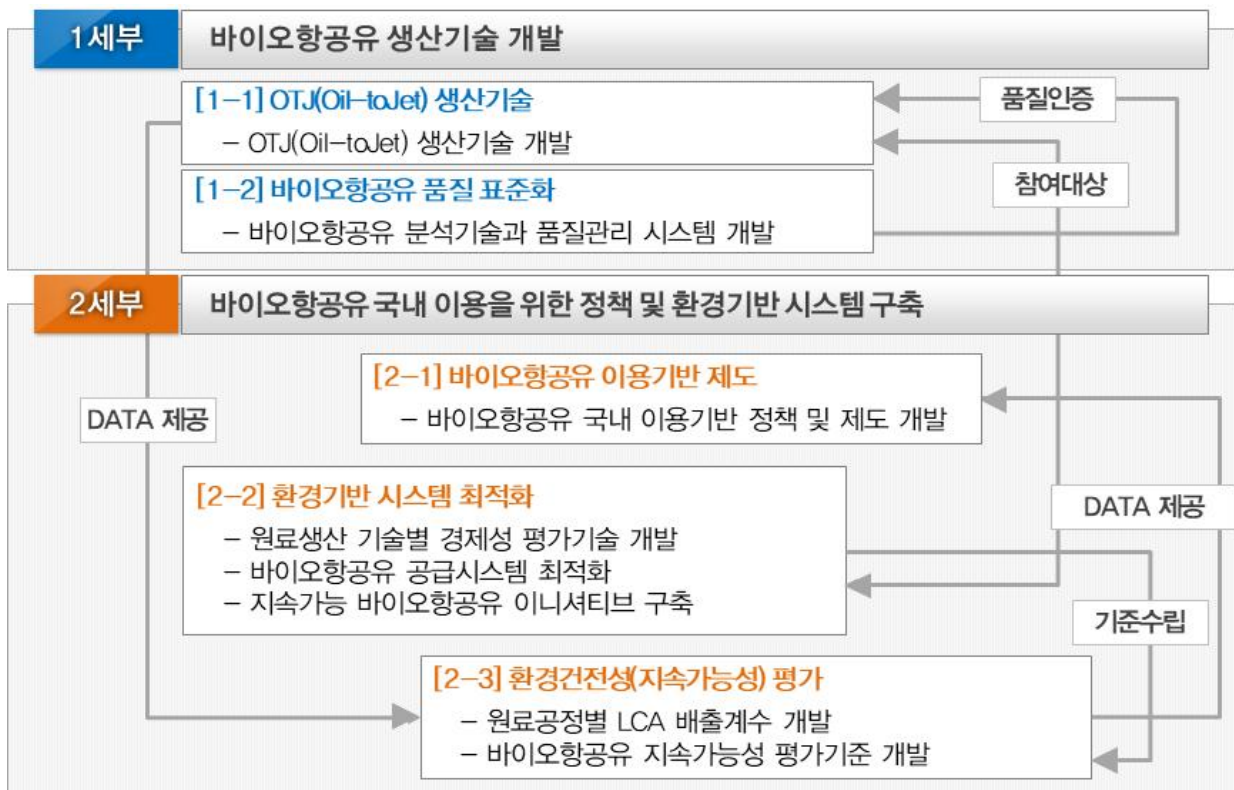
- 수요조사는 국내 항공운송사업자를 대상으로 실시하였으며 총 2회에 걸쳐 실시하였으며, 참여수요조사 응답서 제출 양식을 활용하여 참여여부를 확인하였으며, 수요조사 결과 대상업체 모두 불참 의사를 제출하여 시험비행을 연구범위에서 제외함

〈표 6-18〉 바이오항공유 시험비행 수요조사 결과

구분	조사기간	주요내용	수요조사결과
1	8.7~8.20	바이오항공유 시험비행 참여 수요조사 1차	대상업체 무응답
2	9.7~9.13	바이오항공유 시험비행 참여 수요조사 2차	대상업체 응답(불참)
시험비행 계획 송부 자료			수요조사 응답서 양식
			

제6절 세부과제 간 연계관계

- 1세부과제 기술을 기반으로 바이오항공유 생산 기술 확보에서 세부 기초자료를 확보함으로써 2세부과제에서 환경기반 시스템 최적화 기술 및 환경건전성(지속가능성) 평가에서 활용 가능한 원료 생산 단계별 경제성 평가 기초 자료 및 온실가스 배출계수 산정 기초자료를 사용할 수 있도록 연계관계를 구성함
- 1세부과제 기술의 하나인 바이오항공유 품질 관리시스템 개발을 통하여 1세부 과제에서 개발하는 바이오항공유 시제품의 품질 인증을 수행함으로써 연계관계를 구성하였음
- 2세부 내에서는 원료 생산기술별 경제성 평가기술을 활용하여 바이오항공유 공급시스템 최적화 방안 구축에 반영되도록 연계되었으며, 원료 공정별 LCA 배출계수 개발 결과를 활용하여 국내 생산 바이오항공유 지속가능성 평가 기초자료로 사용할 수 있도록 연계관계를 구성함
- 2세부 내에서 지속가능 항공 대체연료 이니셔티브 구축 및 운영을 통하여 1세부 과제의 바이오항공유 생산기술 개발 시 실증용 플랜트 구축을 위한 민간기업 확보에 활용될 수 있도록 연계관계를 구성함

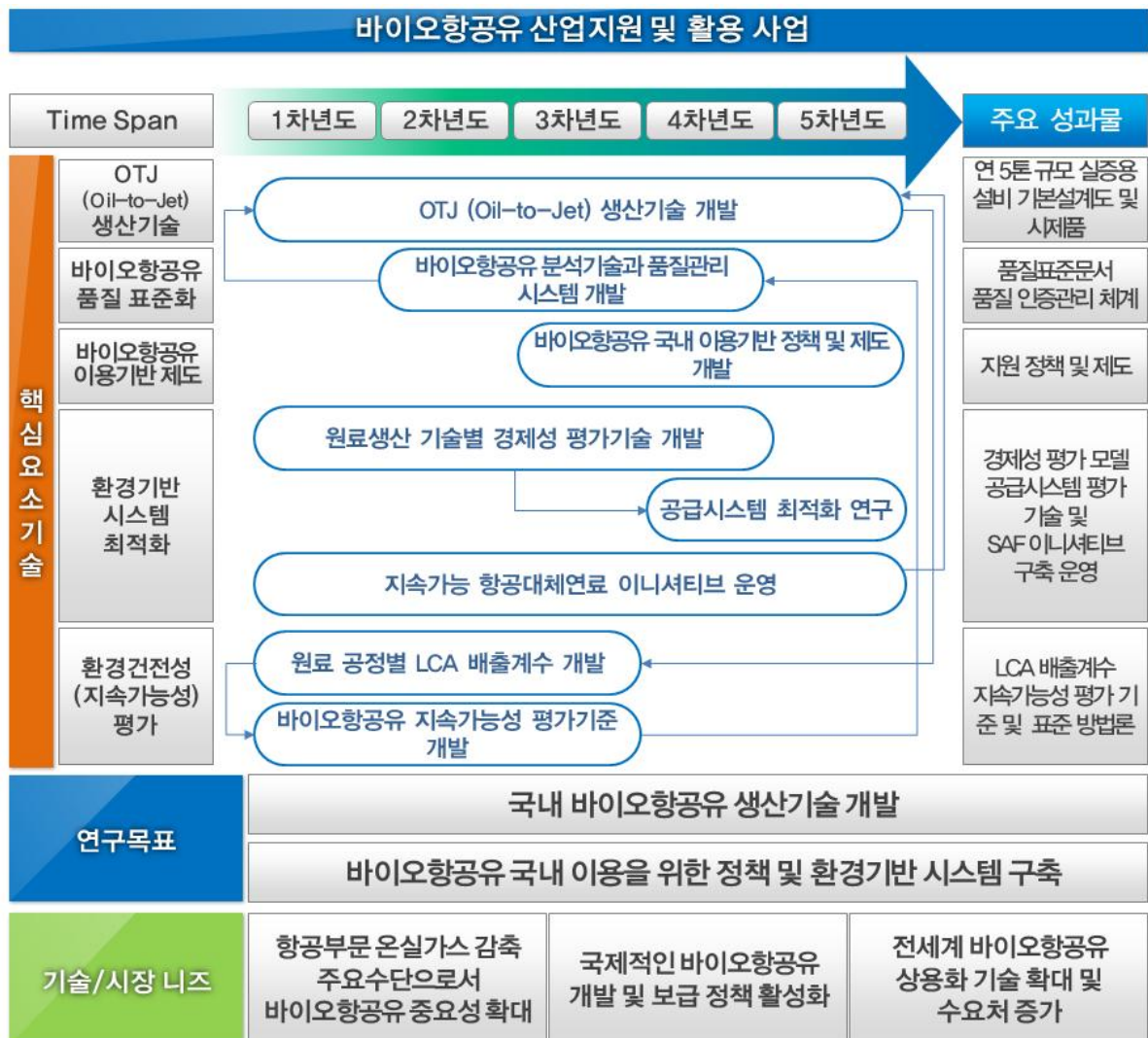


<그림 6-6> 세부과제 간 연계관계

제7절 기술로드맵 및 성과로드맵

1. 기술로드맵

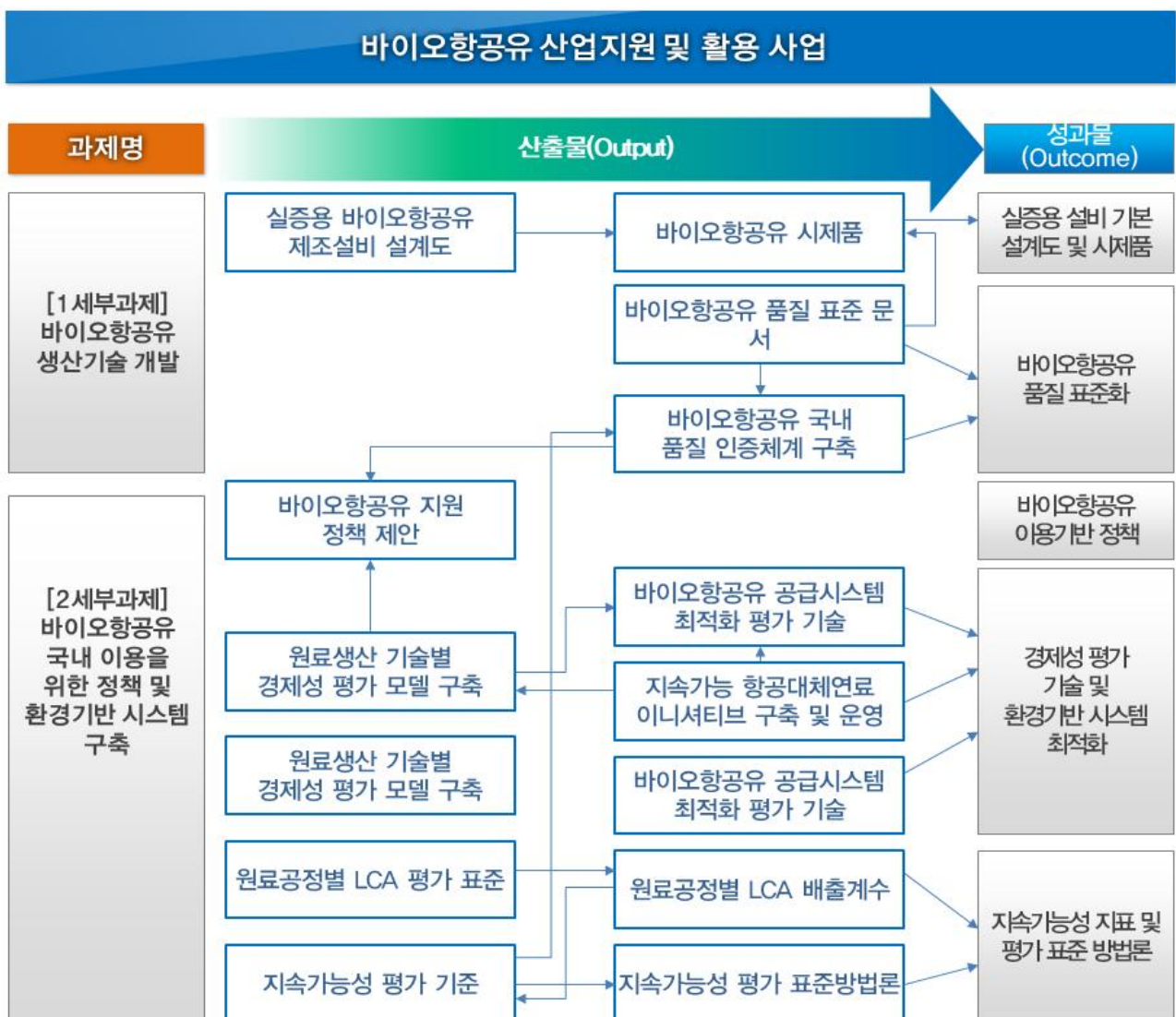
- 1세부과제 : 바이오항공유 생산기술 개발
 - (1-1) OTJ(Oil-to-Jet) 생산기술 개발
 - (1-2) 바이오항공유 품질 표준화
- 2세부과제 : 바이오항공유 국내 이용을 위한 정책 및 환경기반 시스템 구축
 - (2-1) 바이오항공유 이용기반 제도
 - (2-2) 환경기반 시스템 최적화
 - (2-3) 환경건전성(지속가능성) 평가



<그림 6-7> 세부과제 기술 로드맵

2. 성과로드맵

- 연구 성과물은 필수적으로 도출해야할 산출물과 최종적으로 도출되는 최종성과물을 세부 과제별로 선정하였으며, 세부과제별 성과물이 각각 연계되어 최종 연구성과물을 달성 할 수 있음
- 성과물은 세부별로 각각 실증용 설비 기본 설계도 및 시제품, 바이오항공유 이용기반 정책 및 품질 표준화, 경제성 평가기술 및 환경기반 시스템 최적화, 지속가능성 지표 및 평가 표준 방법론으로 도출됨
- 과제별 주요 산출물은 총 11건으로 도출되었으며, 성과물 형태는 공법/기법, 제도/표준화 등이 있음



〈그림 6-8〉 세부과제 성과로드맵

<표 6-19> 과제별 주요 산출물 및 성과물 형태

과제명		산출물	성과물 형태
1. 바이오항공유 생산기술 개발	1-1-1. OTJ(Oil-to-Jet) 생산기술 개발	- 연 5톤 규모 실증용 바이오항공유 제조공정/시스템 개념-기본설계도 - 바이오항공유 생산 시제품	공법/기법
	1-2-1. 바이오항공유 분석기술과 품질관리 시스템 개발	- 품질 표준문서 1건 - 국내 품질 인증체계 구축 2건	제도/표준화
2. 바이오항공유 국내 이용을 위한 정책 및 환경기반 시스템 구축	2-1-1. 바이오항공유 국내 이용기반 정책 및 제도 개발	바이오항공유 정책 제안 1건	제도/표준화
	2-2-1. 원료생산 기술별 경제성 평가 기술 개발	경제성 평가모델 2건	제도/표준화
	2-2-2. 바이오항공유 공급시스템 최적화 연구	공급시스템 평가기술 1건	제도/표준화
	2-2-3. 지속가능 항공대체연료 이니셔티브 구축	지속가능 항공대체연료 이니셔티브 운영	제도/표준화
	2-3-1. 원료 공정별 LCA 배출계수 개발	- 원료·공정별 LCA 배출계수 각 1건 - LCA 평가 표준문서 1건	제도/표준화
	2-3-2. 바이오항공유 지속가능성 평가기준 개발	지속가능성 평가 표준 방법론 1건	제도/표준화

제8절 산업생태계 분석

1. 바이오항공유 산업생태계 구조와 특성

가. 기본구조와 주요 구성요소

- 바이오항공유 산업생태계의 기본구조는 기존 항공유 산업생태계와 유사하게 공급체계를 기준으로 바이오항공유 생산, 공급인프라, 이용, 인프라 등으로 구성할 수 있음
- 바이오항공유 생산은 바이오항공유 생산자, 인증기관 등의 직간접 수요자로 구성되며, 공급인프라는 생산자와 수요자를 연결하는 공급업체로 구성됨
- 바이오항공유 이용은 바이오항공유를 직접적으로 활용하는 항공사와 엔진제작사 등의 직·간접 수요자 등으로 구성되며, 인프라는 제도 및 정책적 인프라를 구축하는 정부, 바이오항공유 산업 관련 이니셔티브, 바이오포트로 구성됨

〈표 6-20〉 바이오항공유 산업생태계 구성요소

구분	구성요소
생산	생산업체
	인증기관
공급	공급업체
이용	항공사/엔진 제작사
인프라	정부
	이니셔티브
	바이오포트

- 바이오항공유의 핵심사업 분야는 최종수요자가 필요로 하는 제품 및 서비스(바이오항공유 공급)을 제공하기 위해 필요한 일련의 과정으로 바이오항공유 생산, 연료인증, Bioport가 직접적인 공급자이며, 직접수요자는 바이오항공유를 직접 이용하는 국내외 항공사와 공항공사로 구축됨
- 또한 바이오항공유 생산과 관련한 간접공급자는 바이오원료 공급자, 항공기/엔진제작사, 공항설계업체 등으로 확대될 수 있으며, 간접수요자는 바이오항공유를 이용을 위한 지상조업사, 생산자와 수요자를 연결하는 공급자, 바이오항공유의 지속가능성 인증 및 온실가스 감축 실적 확보를 위한 컨설팅 업체로 구성할 수 있음
- 바이오항공유 산업은 기존 항공유 산업생태계와 유사하며 바이오연료 산업생태계 특성이 반영되어 기존 항공유 산업 생태계보다 다양한 형태를 가짐

- 공급측면 비즈니스 생태계는 바이오항공유 생산 및 공급을 위한 원료 공급, 바이오항공유 생산 및 수입, 플랜트 엔지니어링과 관련된 사업 등이 있으며, 수요측면의 비즈니스 생태계는 항공유 산업과 유사하나 바이오항공유 혼합을 위한 설비 구축 사업 등이 있음
- 공급자(항공유 생산업체)와 수요자(항공사)간의 직접적인 거래를 통한 비즈니스모델이 기본인 항공유 산업생태계와 달리 바이오항공유 산업생태계는 공급자와 수요자를 연결해주는 새로운 사업 서비스가 등장하고 있음
 - 바이오항공유는 새로운 항공대체연료로서 신규 연료로서 인증부터 공급 체계 전반에 걸쳐 바이오항공유 생산자와 수요자인 항공사를 연계하는 서비스 산업 등장
 - 네덜란드의 SkyNRG는 바이오항공유 시장 확대를 위한 대내외 홍보, 관련 협력과제 수행 등을 병행하는 컨설팅 업체로 바이오항공유 생산자와 수요자인 항공사를 연계하는 사업 수행



<그림 6-9> 바이오항공유 산업생태계 기본구조

- 국내 바이오항공유 생산과 관련한 생산업체는 바이오디젤을 생산하는 10여개 업체 및 정유사 4개 업체 등이 존재하며, 2015년을 기준으로 국내 바이오디젤 보급 용량 대비 현재 바이오디젤 생산량은 약 57%로 현재 생산되고 있는 바이오디젤 생산량을 제외하고 향후 바이오디젤 생산업체의 잉여 생산용량(약 43%)을 활용하여 바이오항공유 국내 생산이 가능할 것으로 판단됨

- 바이오항공유 인증은 국제 규격인 ASTM 인증을 통하여 진행되며 국내 관련 기관은 한국석유관리원 및 항공안전 기술원등이 있음
- 바이오항공유 이용과 관련하여 국내에는 8개 항공사 및 외항사가 있으며 인프라 구축과 관련한 정부부처는 국토교통부, 과학기술정보통신부, 산업통상자원부, 국방부 등으로 이를 활용하여 산업생태계 기반 구축이 가능함

<표 6-21> 국내외 바이오항공유 산업생태계 관련 업체 현황

구분	구성요소	국내(적용 가능 현황)	해외
생산	생산업체	(바이오디젤 생산업체) SK케미칼, GS바이오, 단석산업, JC케미칼, 엠에너지, 애경유화, SMPOT, 엠에너지, 이맥바이오, BDK 등 (정유사) SK에너지, GS칼텍스, 현대오일뱅크, S-OIL 등	Terrabon/MixAlco, Lanza, Tech/Swedish Biofuels, Coskata, Gevo, Byogy, Albemarle/Cobalt, Solazyme, UOP, SG Biofuels, AltAir, Fuels, Agrisoma, Biosciences, Neste Oil, PetroChina, Sapphire, Energy, Syntroleum/Tyson, Food, PEMEX , ASA, Applied Research Assoc, Aemetis/Chevron Lummus Global, Kior/Hunt Refining/Petrotech, Envergent, GTI, Dynamotive, Syntroleum, SynFuels, Rentech, Shell, Solena, Coskata, INEOS Bio/Lanza Tech, Swedish Biofuels, Virent/Shell, Virdia, Amyris/Total, Solazyme, LS9 등
	인증기관	한국석유관리원, 항공안전기술원 등	ASTM 인증기관 등
공급	공급업체	(정유사) SK에너지, GS칼텍스, 현대오일뱅크, S-OIL 등	SkyNRG, Gevo, Neste Oil, UOP, Dynamic Fuels. Amyris, Altair, Fulcrum, Red Rock, SG Preston 등
이용	항공사/ 엔진 제작사	대한항공, 아시아나, 에어부산(주), 에어인천, 이스타항공(주), (주)진에어, 제주항공(주), 티웨이항공, 외항사 등	Boeing. GE Aviation, Air New Zealand, RollsRoyce Continental, CFM, JAL, Airbus, KLM, Pratt&Whitney, Air China, TAM Airlines, Jet Blue Airways, IAE, Air France, Finnair, Air Mexico, Thomson Airways, Porter Airlines, Alaska Airlines, Horizon Air, Etihad Airways, Romanian Air, Bombardier, Rolls-Royce, Qatar Airways, British Airways, Embraer, Azul Airlines, GE, Trip Airlines 등

구분	구성요소	국내(적용 가능 현황)	해외
인프라	정부	국토교통부, 과학기술정보통신부, 산업통상자원부 등	USDA, DOC, DOE, DOD, EPA, FAA, NASA, NSF, US Air Force 등
	이니셔티브	-	Australian Initiative for Sustainable Aviation Fuels(AISAF), Aliança Brasileira para Biocombustíveis de Aviação(ABRABA), Brazilian Biojetfuel Platform(BBP), BioFuelNet's Aviation Task Force Aviation Initiative for Renewable Energy in Germany(AIREG), Sustainable Aviation Fuel User Group(SAFUG), Nordic Initiative for Sustainable Aviation(NISA), The Netherlands and Finland Dutch Initiative(Bioport Holland), Commercial Aviation Alternative Fuels Initiative(CAAFI), Midwest Aviation Sustainable Biofuels Initiative(MASBI) 등
	바이오 포트	-	LA(LAX), Oslo(OSL), Bergen(BGO), Stockholm(ARN), Vaxjo(VXO) 등

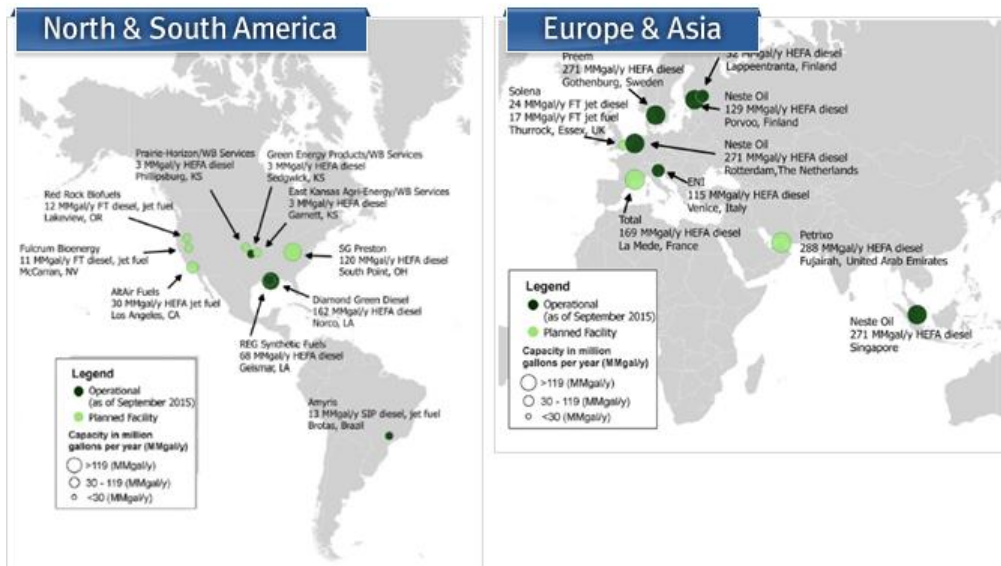
나. 계층별 구조와 생태계에 영향을 미치는 요인

- 바이오항공유 산업생태계에 가장 큰 영향을 미치는 요인은 수요로 기존의 항공유를 대체하여 수요를 확장해야 하며, 유가추이, 온실가스 감축 등의 환경규제 강도가 바이오항공유 생태계 활성화에 큰 영향을 미침
- 바이오항공유 생태계의 발전 수준 및 진행속도는 내외부 요인들이 복합적으로 작용하여 결정됨
 - 국제 유가변동 같은 외적 요인을 제외하면 바이오항공유 생산기술 개발 수준, price parity 등이 중요한 요인
 - 바이오항공유는 항공유라는 특이성 때문에 안전성 등 요구 성능이 높은 데다 개발 비도 많이 소요되어 현재까지 양산효과는 크지 않으며, 바이오항공유 생산비용을 낮추는 것이 바이오항공유 생태계 활성화의 주요 요인
 - 국내 항공부문 온실가스 감축 목표 및 국제 항공부문 온실가스 감축 상쇄제도의 시행에 따라 온실가스 감축 수단으로서 바이오항공유의 수요 증가 예상
 - 또한 가격변동 및 환경 규제에 따라 항공사 및 전용 공항 구축에 따라 수요 확대 예상

〈표 6-22〉 바이오항공유 산업생태계 주요 영향인자

구분	영향인자
가격변동	국제 유가변동에 따른 항공유 가격 변동
	바이오항공유 생산 기술개발 확대
	바이오항공유 price parity
환경규제	국내 항공부문 온실가스 감축 목표
	신재생에너지 사용 의무
	국제 항공부문 온실가스 감축상쇄제도(2021~) 시행
수요	항공사 수요
	전용 공항(BIOPORT) 구축

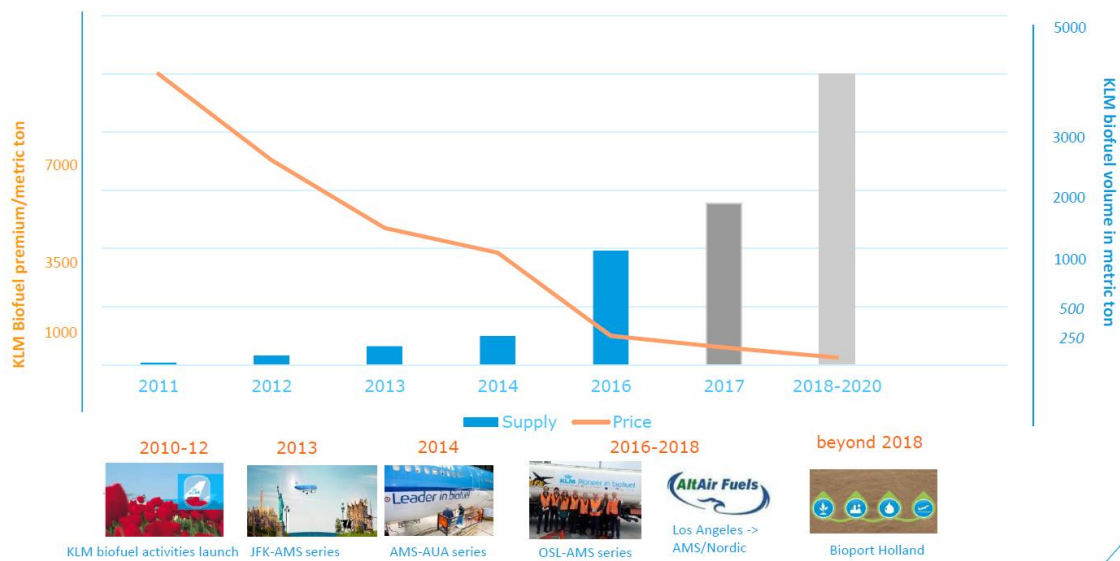
- 환경규제와 관련하여 세계 여러 항공선진국 및 ICAO에서는 항공부문의 온실가스 감축 제도 시행에 따른 감축 목표를 달성하기 위하여 다양한 정책 활동을 수행하고 있으며, 이와 연계하여 항공대체연료로서의 바이오항공유의 필요성이 확대됨에 따라 관련분야 기술개발과 상용화가 가속화되고 있음
- ICAO 총회 결의안 A39-3에서는 지속가능한 대체연료의 사용을 통한 온실가스 감축 방법 개발을 요구하고 있으며, 2021년부터 시행되는 국제항공부문 온실가스 감축제도(CORSIA)에서는 바이오항공유를 포함한 지속가능한 항공대체연료 활용을 항공부문의 온실가스 감축 주요 방안으로 제시하고 있어 바이오항공유 수요는 확대될 것으로 전망됨
- 이에 따라 세계 주요국가에서는 지속가능한 항공대체연료 생산 및 원료 확보를 위한 정책 및 연구가 지속적으로 확대되고 있으며, RFS 제도가 있는 북미와 RED 제도가 있는 유럽을 중심으로 바이오항공유 생산가능 시설이 증가하는 등 바이오항공유 산업도 확대되고 있는 것으로 분석됨
- 특히 항공유 수요시장이 큰 유럽과 미국이 바이오항공유 이용에 대한 인센티브를 적용하는 지원 정책을 시행하고 있으며, 항공기 엔진 제작사 및 바이오디젤 생산업체에서 바이오항공유 생산기술 개발에 적극 참여하면서 이미 상용화까지 완료되어 관련 산업 시장이 지속적으로 확대될 것으로 예상됨
 - 현재 유럽의 경우 기존의 주요 정유사가 주축이 되어 바이오항공유 생산설비를 구축하고 있으며, 미국의 경우 기존에 바이오 연료를 생산하던 전문 업체들이 바이오항공유 생산 진행



<그림 6-10> 바이오항공유 생산가능 설비 현황

출처: 미국에너지정보국(www.eia.gov)

- 바이오항공유 산업생태계가 구축되어 있는 해외에서는 바이오항공유의 실제 수요자인 항공사 수요가 증가함에 따라 생산 및 공급 인프라 관련 산업 생태계가 활발하게 확대되고 있음
 - 항공사는 일정기간 동안 정해진 가격으로 일정량의 연료를 구매하는 방식으로 바이오항공유 생산자와 장기계약을 체결하고 이를 통해 바이오항공유 생산자는 플랜트 건설을 위한 자금을 확보하는 등의 비즈니스 모델로 활용
 - 바이오항공유 이미 상용화되어 온실가스 감축이 가능한 친환경 연료로서 활용되고 있으며, 세계 주요 항공사의 경우 바이오항공유 off-take 계약을 맺고 일부 국가에서는 바이오항공유 전용 공급체계를 갖춘 바이오포트도 구축도 확대되어 관련 산업 생태계 확대 가능성 증가
- 바이오항공유 산업생태계는 이제 상용화되기 시작한 성장기로 직접적인 수요자인 항공사를 포함한 다수의 바이오연료 생산 기업들이 가격경쟁력을 확보하기 위한 생산기술을 지속적으로 개발하고 있어 fuel price parity 도달하는 기간이 감축될 것으로 전망됨
 - 기존 항공유 산업생태계에서는 주요 생산자가 정유사였으나, 바이오항공유 산업생태계에서는 항공사, 바이오디젤 업체, 관련부처를 포함한 이니셔티브 등 새로운 형태의 공급자 등장
 - 네덜란드 국영항공사인 KLM 항공은 2020년까지 승객 당 이산화탄소발자국을 2011년 대비 20%까지 감축하는 것을 목표로 설정하고 바이오항공유 생산업체와의 협업 및 기술개발을 통하여 가격 경쟁력 확보 중



<그림 6-11> KLM 바이오항공유 공급 및 가격전망

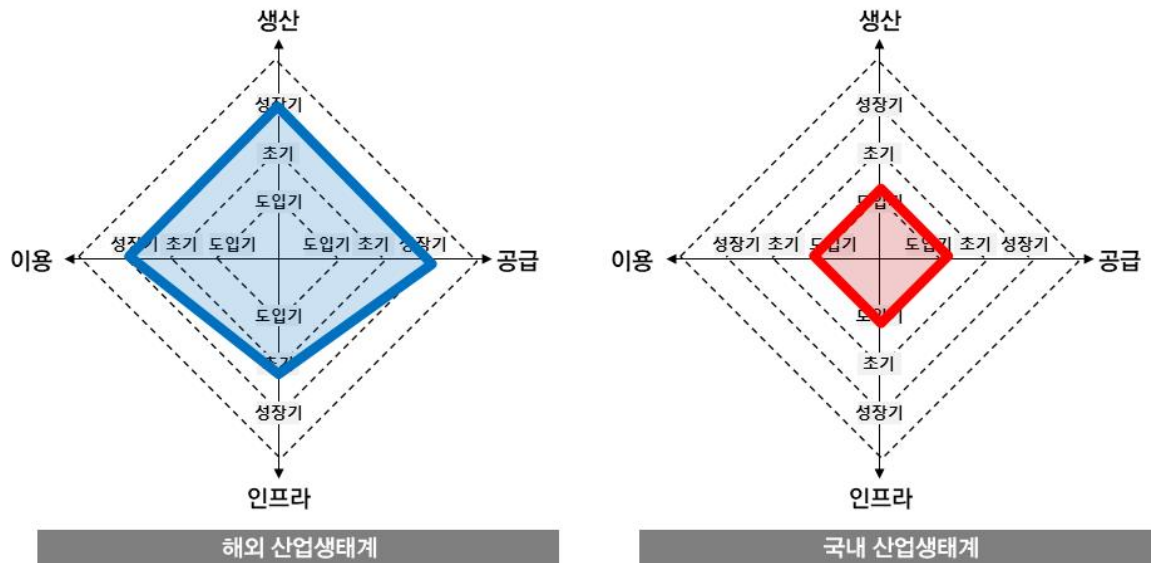
출처: Successful Deployment of Aviation Alternative Fuels(KLM, 2017)

- 미국 유나이티드 항공은 2009년부터 해조류로 추출한 바이오항공유 개발 및 시험 비행을 통하여 바이오항공유를 활용한 상용여객기를 운항하고 있으며, 바이오항공유 생산업체인 Fulcrum Bioenergy에 3,000만 달러 규모 주식을 직접 투자하는 등 바이오항공유 생산기술 확보 및 가격 경쟁력 확보에 주력
- 또한 바이오항공유 산업에 직접적인 영향을 미치는 국제 항공부문의 온실가스 감축 규제는 지속적으로 확대될 예정으로 온실가스 감축 수단으로서 바이오항공유 수요는 지속적으로 증가할 것으로 전망됨
- 단기적으로는 기존 항공유보다 평균 공급단가가 높아 수요 위축이 우려되지만 장기적으로는 관련 기술개발을 통한 가격 경쟁력 확보를 통하여 수요 성장세가 지속될 것으로 전망됨

2. 바이오항공유 산업생태계 발전단계 및 대응방안

가. 바이오항공유 산업생태계 발전단계 및 특성

- 미국과 유럽 등 해외의 바이오항공유 산업생태계 발전단계는 도입기를 넘어 상용화가 진행되는 초기단계에 이르고 있으나 국내의 경우에는 바이오항공유 생산 원천기술만을 확보하고 있어 도입기라고 할 수 있음



<그림 6-12> 바이오항공유 산업생태계 발전단계 국내외 현황

- 바이오항공유 산업은 기존 항공유 산업 및 바이오연료 산업과 유사한 생태계를 가지고 있음.
- 또한 바이오항공유 산업은 원천 기술개발 비중이 높아 생산기술 중심으로 기술개발이 활발하게 이루어지고 있으며, 기존 생산기술을 활용한 상용화 기술 확대와 새로운 전환공정을 통한 생산기술 개발이 동시에 이루어지고 있음
- 해외의 경우 바이오항공유 생산 분야에는 정유사를 비롯하여 기존에 바이오디젤을 생산하던 업체가 바이오항공유 생산 산업에 적극적으로 참여함으로써 원천기술 확보 이후 대규모 생산플랜트를 구축하여 상용화 확대 기반을 마련함
 - 일본 경제산업성은 2020년 도쿄올림픽까지 바이오연료 비행 실현을 목표로 바이오항공유 대량 생산 및 국산화 계획을 수립하고 있으며, JX 닛코 일본 석유에너지, 히타치 플랜트 테크놀로지, 유글레나 등 3개사는 조류인 유글레나를 원료로 바이오항공유 생산 기술 개발을 시작하였으며, 2020년 실용화를 목표로 사업 수행 중
- 더불어 바이오항공유 공급과 관련하여 바이오항공유 생산업체가 직접적으로 수요자에게 공급하는 방법 외에 바이오항공유 원유를 공급받아 혼합하여 공급하거나, 바이오항공유를 직접 생산하는 업체가 아니지만 수요자를 직접 확보하여 생산업체와 수요자를 연계해주는 역할을 수행하는 신규 컨설팅 업체 등이 출현하는 등 공급단계에서의 생태계도 활발하게 확대되고 있음
 - 컨설팅 업체는 생산자와 수요자간의 Off-take 및 바이오항공유 지속가능성 인증을 수행하는 역할도 수행하고 있음

- 이용단계에서의 생태계 현황을 살펴보면 바이오항공유 상용화 및 수요 증가에 따라 바이오항공유 급유가 가능한 Bioport가 구축되고 있으며, 바이오항공유 공급이 기존 항공유와 동일한 체계로 공급이 가능하기 때문에 기존 공항을 활용한 Bioport 구축도 점차 증가하고 있어 수요확대가 예상됨
 - 현재 2018년 11월 기준으로 바이오항공유를 지속적으로 공급받을 수 있는 공항은 5개소이며, 간헐적으로 필요할 때 배달을 통하여 공급 가능한 공항은 8개로 점점 확대되고 있음
- 또한 바이오항공유 생산자와 직접수요자인 항공사와 일정기간 동안 계약 생산량에 맞춰 유통계약(Off-take)을 체결하는 사례가 점점 증가하고 있어 향후 우리나라에서도 국내 항공사 뿐만 아니라 외항사와의 유통계약 체결을 통해 수요처 확보가 가능할 것으로 판단됨
 - 2017년 12월 기준으로 10여개의 항공사 및 공항이 연료공급사와 유통계약을 체결하였으며, 바이오항공유 생산자가 구매자에게 공급하는 기간은 짧게는 1년부터 길게는 10년까지로 현재까지도 지속적인 유통계약이 진행되고 있어 바이오항공유 수요는 더욱 증가할 것으로 예측됨
- 인프라의 경우 산업생태계를 성장기로 전인하기 위하여 해외에서는 범부처 차원의 다양한 정책 마련 및 제도 지원을 수행하고 있으며, 항공대체연료 이니셔티브를 별도 운영하여 바이오항공유 산업 활성화에 적극적인 노력을 기울여 바이오항공유 이용을 위한 정책적, 제도적 생태계 기반 확대가 진행되고 있음
 - 미국에서는 2006년에 항공우주산업협회(AIA), 연방항공청(FAA), 미국항공(A4A), 국제공항협의회(ACI-NA)¹⁶⁾가 공동후원하고 항공사, 항공기 및 엔진 제조업체, 공항, 에너지 생산 업체, 미국 정부기관 등이 회원으로 참여하여 CAAFI(Commercial Aviation Alternative Fuels Initiative)를 발족하고 에너지 보안 및 환경 지속가능성을 향상시키는 노력 진행 중

나. 산업생태계 조성과정의 제약요인 및 대응방안

- 새로운 산업으로서 바이오항공유를 확대하기 위해서는 연구 개발 전단계에 걸쳐 초기 시장 장애물을 극복해야 함
 - 적절한 공급원료의 가용성 및 품질 확보
 - 화학공정, 인프라요건, 운송 네트워크, 환경영향에 관한 지식 개발

16) AIA(Aerospace Industries Association), FAA(Federal Aviation Administration), A4A(Airlines for America), ACI-NA(Airports Council International-North America)

- 새로운 지속가능 항공대체연료 생산기술의 설계
- 연료시험 및 인증을 위한 소량의 지속가능한 항공대체연료 생산시설 건설
- 상업적 보급을 위한 생산시설 대형화
- 새로운 연료의 기술인증 확보
- 새로운 연료의 수명주기 환경편익에 대한 확인
- 기존 항공유 산업과의 경쟁 및 기존항공유 가격의 변동성
- 이와 관련하여 바이오항공유 산업 성장에 제약이 되는 요인은 크게 수요적 요인과 기술적 요인으로 구분할 수 있음
- 수요적 요인은 현재 국내 항공유 수요 규모 및 바이오항공유 가격에 따른 수요 확대에 한계가 있어 기술개발 투자 활동에 견인 역할이 미흡하기 때문에 향후 해외 수요처 개발에 적극적으로 대응해야할 필요가 있음
 - 바이오항공유 산업은 생산기술 및 상용화에 많은 비용이 소요되는 자본집약적 산업으로 생산기술 확보에 성공했다고 하더라도 바이오항공유에 대한 시장 수요가 뒷받침되지 않으면, 생태계 구축이 어려움
 - 더욱이 국내 바이오항공유 시장은 부재하며, 항공유 시장도 국내 석유류 관련 시장에 대한 상대적 비중은 크지 않은 편으로 국내 수요만은 한계가 있으므로 현재 빠르게 성장하고 있는 해외 수요 개척이 필수적임
- 기술적인 측면에서는 국내 항공유 생산 기업 및 바이오연료 기업들이 바이오항공유에 대한 기술 및 정책에 관련한 정보가 부족하므로 바이오항공유 생산 기술 개발에 필요한 지속적인 정보 공유 및 인프라 지원이 필요함
 - 미국, 유럽 등의 경우 바이오항공유에 대해 정부뿐만 아니라 바이오연료 생산업체 및 항공사의 관심도가 높고 기술개발에 대한 적극적인 의지를 가지고 있어 기술 확보를 위한 연구 개발이 점점 확대되고 있음
 - 특히 정부, 항공사, 항공기 및 엔진제작사, 연료공급사, 연구기관 등을 포함한 바이오항공유 관련 이니셔티브 구축 및 운영을 통하여 지속적인 정보 교류와 인프라 구축 역할을 수행하고 있음

제9절 연구과정상 위험요소 및 대응방안

- 우리나라는 기술적 측면에서 바이오항공유 생산기술과 관련된 핵심 역량 및 개발 경험 부족으로 관련 인프라가 효과적으로 구축되지 못함
 - 바이오항공유 생산 원천기술, 대용량 생산기술 등 바이오항공유 생산을 위한 핵심 기술 및 기반 구축 수준이 해외에 비하여 상대적으로 낮으며, 관련 산업을 확대해 나갈 수 있는 제도적 기반도 부족하기 때문에 이러한 문제들에 대한 대응방안이 미비함
- 기존에 수행하였던 관련 R&D 사업도 각 부처 간의 연계 및 전략적 협력이 원활하게 이루어지고 있지 않아서 총괄적인 측면의 시너지 효과 창출이 어려움
 - 기존에 수행하였던 바이오항공유 생산 관련 R&D 사업은 다수의 부처에서 개별적으로 사업을 진행하였으며, 생산기술 분야의 R&D만 수행하여 바이오항공유 활용을 위한 인프라 구축 단계는 미비한 실정임
- 따라서 바이오항공유 연구과정에서 생산, 상업화에 이르기까지 요구되는 필수기술에 대해서 이를 확보하기 위한 부처 간 공동 연구 개발 및 기반 기술 확보를 위한 대응방안이 필요함
- 전 단계에서의 기반 기술 확보, 기술력 제고를 위하여 생산기술 개발 연구에서는 생산 기술 확보 및 인증과 직접적인 연관이 있는 과학기술정보통신부, 산업통상자원부 등의 부처와 항공유 공급 인프라 구축을 담당하는 국토교통부의 협업을 통하여 연구수행할 필요가 있음
 - 바이오항공유 생산기술 개발 및 인프라 구축을 위하여 범부처 차원의 R&D 추진 및 지원이 필요하며 해외사례를 참고하여 관련 산업계 및 연구기관 등이 포함된 통합 이니셔티브 구축 등을 통한 연계 방안 필요함
- 또한 우리나라의 바이오항공유 생산 기초기술 부문은 2010년부터 빠르게 연구를 시작하여 원천기술을 확보한 상태로 우수한 수준이지만 산업화 기술수준이 낮아서 기초기술단계의 연구결과를 최종적 성과로 확대하고 있지 못하고 있는 상태임
 - 현재 국내에는 R&D 연구 등을 통하여 연구기관 등에서 바이오항공유 원천기술만을 확보하고 있으며, 대용량 생산을 위한 기술이 미확보되어 국내 바이오항공유 공급체계 개발에 제약요인이 되고 있음
- 따라서 적극적인 산업화 기술 수준 확보를 위하여 정부 주도하에 기업들이 참여하는 형태의 기술개발이 필요하며, 데모 플랜트 규모의 대용량 생산 기술 실현이 가능하고

향후 바이오항공유 생산이 직접적으로 가능한 정유사 등의 참여를 유도하여 연구과제를 진행함으로써 기술 상용화를 용이하게 할 필요가 있음

- 해외의 경우 기술개발 확대를 위하여 바이오항공유 기술개발 연구와 관련하여 개발자가 사용할 수 있는 다양한 프로그램임 자금 지원 정책을 보유하고 있어 연구 개발에 대한 부담요소를 보완하고 있음
 - 미국의 경우 신성장하고 있는 바이오경제(bioeconomy) 분야에 지원금을 확대하고 있으며, 바이오항공유와 관련한 국가기관인 미국 에너지부(DOE), 미국 국립 과학원(NAS), 공항 협력 연구 사업(ACRP), 미국 바이오매스 연구개발 이니셔티브(BRDI), 미국 연방 항공국(FAA) 등에서는 관련사업 후원 및 지원을 진행하고 있음
- 현재 우리나라에는 바이오항공유에 대한 수요 등이 전무하고 관련 정보가 부족한 실정으로 직접적인 생산자가 될 수 있는 정유사 및 바이오연료 산업계에서 적극적인 기술개발에 대한 부담요소를 가지고 있으므로 연구과제 수행을 위한 협조체계가 불완전할 가능성이 있음
- 따라서 과업수행 초기단계에서 관련 이니셔티브를 구축 운영하도록 하여 관련 기관 및 기업에 지속적인 정보를 제공하고 지속적인 참여를 유도함으로써 연구수행의 용이성을 확보할 필요가 있음
- 바이오항공유 미래시장 선점을 위한 국내 산업기반 구축을 위해서는 기본제도 및 법규가 기반이 되어야하므로 관련부처와의 업무협력을 통하여 효율적인 제도 구축방안을 마련할 필요가 있음
- 또한 바이오항공유 환경기반 시스템 최적화를 위하여 바이오항공유 생산자, 공급자, 수요자, 정부를 포함한 다수의 이해관계자로 구성된 이니셔티브 구축이 필요하며, 해외 우수 사례 등을 벤치마킹하여 bioport 구축까지 연계 가능토록 적용하는 방안을 고려하여 연구를 진행할 필요가 있음
- 항공부문의 특성상 국내 항공분야뿐만 아니라 국제 항공분야에서도 바이오항공유의 중요성은 확대되고 있으며, 이와 관련하여 ICAO에서 2021년부터 시행하는 국제항공탄소상쇄 감축제도(CORSIA)에서는 바이오항공유를 포함한 지속가능한 항공대체연료를 온실가스 감축 수단으로 사용하도록 하고 지속가능성 기준을 수립 중에 있음
- 향후 CORSIA 시행에 따라 바이오항공유 이용에 따른 온실가스 감축 실적을 인정받기 위해서는 ICAO에서 제시하는 기준에 부합하여야 하므로 바이오항공유 환경건전성 평가기술 확보 시 ICAO 등에서 제시하는 지속가능성 기준을 지속적으로 검토하고 반영하도록 하여 국제 기준에 부합가능한 지속가능성 평가 기준을 마련할 필요가 있음

	주요 이슈사항	대응방안
1	부처간 연계 및 전략적 협력 필요	생산 기술 확보 및 인증과 직접적인 연관이 있는 과학기술정보통신부, 산업통상자원부 등의 부처와 항공유 공급 인프라 구축을 담당하는 국토교통부의 범부처 연계 사업 진행 필요
2	바이오항공유 생산·상용화 기술 확보를 위한 연구체계 구성	데모 플랜트 규모의 대용량 생산 기술 실현이 가능하며 향후 바이오항공유 생산이 직접적으로 가능한 정유사 및 기존 바이오디젤 생산업체 등의 참여를 확보하여 진행 필요
3	불완전한 과제수행 협조체계	과제수행 초기단계에서 관련 이니셔티브를 구축 운영하도록 하여 관련 기관 및 기업에 지속적인 정보를 제공하고 지속적인 참여를 유도함으로써 연구수행의 용이성 확보
4	제도 구축을 위한 실무부서 업무 협력 방안 마련	바이오항공유 산업생태계의 기반이 되는 기본 제도 및 정책 마련을 위하여 관련부처(산업부 석유산업과, 신재생에너지과 등)와의 업무협력을 통하여 제도 구축방안 마련
5	이니셔티브 활용가능성 확대 필요	해외 우수사례 벤치마킹을 통하여 Bioport 구축 방안을 포함하여 바이오항공유 환경기반 시스템 최적화를 위한 SAF 이니셔티브 운영의 활용가능성 확대
6	CORSIA 적용성을 위한 기준 적합성 확보	바이오항공유 환경건전성 평가 기술 확보 시 ICAO 등에서 요구하는 지속가능성 평가 기준 등을 지속적으로 검토하여 국내환경건전성 평가 기술 확보

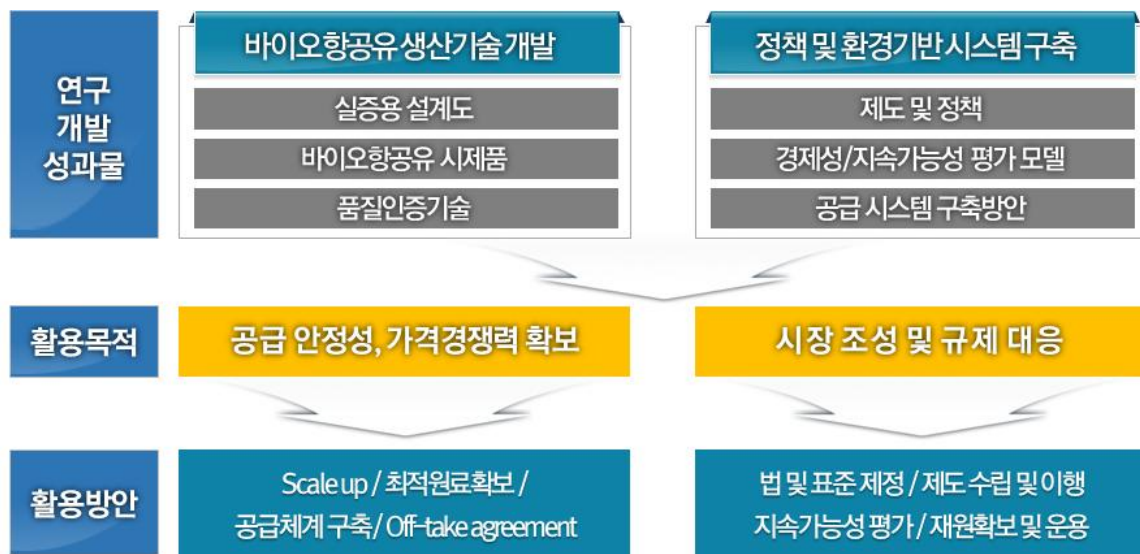
〈그림 6-13〉 연구과정상 위험요소 및 대응방안

제10절 성과활용 및 사업화전략

1. 연구 성과의 핵심가치

가. 제품 및 기술적 핵심가치

- 바이오항공유 산업지원 및 활용사업의 주요 성과물은 생산기술과 정책 및 환경시스템 기술 측면에서 각각 확보됨
- 바이오항공유라는 제품의 특성상 바이오항공유 산업 가치사슬 측면의 이해관계자는 정부 및 인증/연구기관 등 다수이지만 사업화 측면에서 볼 때 항공유의 직접적인 사용자는 항공사이며, 제품 공급은 정유사로 한정됨.
- 바이오항공유 생산기술의 성과물은 바이오항공유사용을 위한 공급 안정성 및 기존 항공유와의 가격 경쟁력 확보를 위해 활용되며, 정책 및 환경시스템 기술의 성과물은 온실가스 감축 및 신재생에너지 확보라는 국내외 요구사항에 부응하는 바이오항공유 시장 조성에 활용함
- 항공사는 바이오항공유 사용에 대한 의무가 없는 현 상황에서 연료단가가 높은 바이오항공유 사용에 소극적이며, 정유사는 바이오항공유 시장전망이 명확히 확보되지 않은 상황에서 고비용 생산 설비구축을 위한 투자를 유보하고 있음
- 국내 바이오항공유 활용을 위해 최우선으로 해결해야 하는 문제는 높은 바이오항공유 생산단가로 인한 기존 항공유와의 가격 경쟁력 확보와 바이오항공유 소비시장 조성임에 따라 정책적 인센티브 또는 규제를 통해 정부주도의 시장을 조성하고 생산단가를 낮추기 위한 최적화, 고도화 및 mass production을 통한 fuel price parity를 확보하는 것이 중요함



<그림 6-14> 연구개발 성과물의 활용목적 및 성과활용방안

- 따라서 연구성과물의 제품 및 기술적 핵심가치는 향후 생산설비의 scale up, 최적원료 확보 및 공급체계 구축, 생산자와 수요자간의 장기계약을 위한 근거자료로서의 활용과 정부주도의 시장 조성 및 확대를 위해 법 및 표준을 제정하고 지속가능성 평가방법을 활용한 제도와 정책 수립에 활용하며, 경제성 평가를 통한 재원확보 및 운용을 위한 기반을 확보하는 것임

나. 공공적 가치

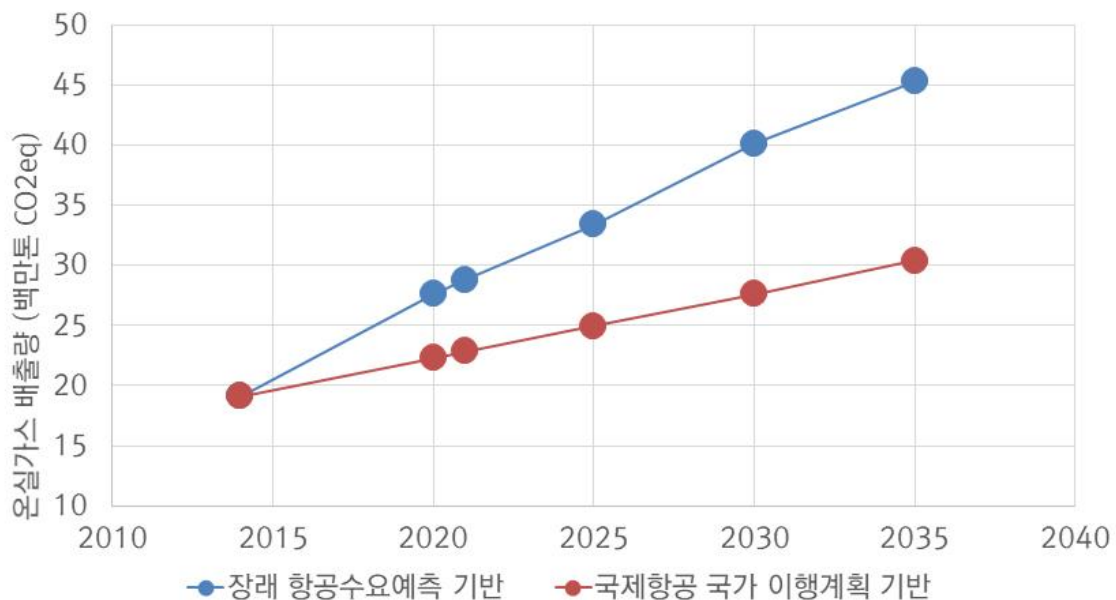
- 화석연료에 대한 의존도가 높은 우리나라의 에너지안보측면에서 신재생에너지로서 바이오연료의 확보는 지속가능한 에너지 자원을 확보하는데 의의가 있음
- 바이오항공유 공급기술 확보는 국내 바이오디젤 및 바이오중유와 더불어 바이오연료 시장 활성화에 기여할 수 있으며, 연계산업(바이오 원료 수급, 지속가능성 평가, 부산물 활용 등) 확장을 통해 스타트업 등의 일자리 창출에 기여
- 세계적으로 우수한 공항건설기술에 바이오항공유 급유기술을 포함함으로써 해외 공항 건설기술 수출 시 부가가치가 높은 기술수출 제품으로 활용
- 탄소중립특성을 가진 바이오연료를 사용함으로써 국제 기후변화 대응 온실가스 감축 노력에 기여하고, 우리나라 온실가스 감축목표 달성을 위한 수단으로 활용

2. 사업화를 위한 시장 규모 및 성장성 분석

가. 온실가스 감축의무 시장

- 국가 온실가스 감축로드맵 (2018년 7월)은 기존 감축로드맵(2016년 6월)과 비교하여 온실가스 감축목표는 2030년 BAU 대비 37%감축으로 동일하게 유지하였으나, 기존 감축로드맵의 해외 감축분 (국내 25.7%, 해외 11.3%)을 국내 감축량으로 전환 (국내 32.5%, 해외 4.5%)함에 따라 수송부문의 온실가스 감축목표량은 30.8백만톤 (기존 24.6%, 변경 29.3%)으로 약 20% 강화되었고, 이를 감안하면 국내 배출권거래제도 이행을 위한 항공사의 온실가스 감축요구량은 증가할 것으로 전망
- 우리나라의 온실가스 배출권거래제 제1차 계획기간 (2015~2017년) 이행평가에 따른 국내 7개 항공사가 국내선 운항에 따른 탄소 배출권 구매비용은 총 110억원(탄소배출권 부족분 약 498천톤CO₂, 배출권가격 약 22천원/tonCO₂)이며 이는 항공사에서 기존에 부담하지 않던 추가적인 탄소상쇄비용이 발생한 것으로서 연료가격의 약 8%를 탄소비용으로 지출

- 국제 항공부문 온실가스 감축제도로써 2021년부터 시행되는 CORSIA의 경우, 국적사의 국제선 운항에 따른 온실가스 배출량 증가는 항공수요 및 과거실적기반으로 예측한 바, 2021년부터 2035년까지 약 56.6~124백만톤으로 예상되며 바이오항공유 또는 탄소배출권 구매를 통해 상쇄해야하는 의무량임
- 국제 탄소배출권가격시나리오(국제에너지기구, 2014)를 적용하면 약 0.7조~5.4조의 탄소상쇄비용이 지출될 것으로 예상되며 우리나라 배출권거래제도나 CORSIA에서는 바이오항공유 사용 실적에 따라 온실가스 감축량으로 인정 될 수 있으므로 (국내의 경우, 바이오연료로 바이오항공유 인정 필요), 탄소감축의무 이행을 위한 수단으로서 바이오항공유가 적용될 수 있음



<그림 6-15> 국적사의 국제항공 온실가스 배출량 예측

<표 6-23> 국제에너지기구(IEA)의 탄소가격 예측치

탄소가격		2020	2025	2030	2035
US \$ 기준	고가(\$/t)	20	26.5	33	40
	저가(\$/t)	8	11.5	15	20
	대안저가(\$/t)	6	8	10	12
	평균가격	11.3	15.3	19.3	24.0
원 기준 (1,114원/\$ 적용)	고가(만원/t)	2.2	3.0	3.7	4.5
	저가(만원/t)	0.9	1.3	1.7	2.2
	대안저가(만원/t)	0.7	0.9	1.1	1.3
	평균가격	1.3	1.7	2.2	2.7

〈표 6-24〉 CORSIA이행을 위한 장래항공수요 예측기반 우리나라 상쇄 예상 비용(억원)

탄소가격 시나리오*	2021-2023	2024-2026	2027-2029	2030-2032	2033-2035	합계
고가	2,158	5,601	9,858	15,145	21,881	54,643
저가	902	2,434	4,413	7,054	10,779	25,582
대안저가	650	1,691	2,984	4,578	6,575	16,477
평균가격	1,237	3,242	5,752	8,926	13,078	32,234

* 국제에너지기구(IEA)의 탄소가격시나리오, 환율 1,114원/\$적용

나. 바이오항공유 수요 전망

- 본 보고서 제2장 제2절에 전술한 바와 같이, 우리나라 항공수요 전망에 따른 바이오항공유 수요전망은 시장 규모로서 2035년까지 최소 3천억원(항공유에 RFS 적용시)에서 2050년 최대 6조 7천억원 규모의 시장이 예상됨

〈표 6-25〉 국내 바이오항공유 시장 규모 전망

연도	구분	시나리오 1	시나리오 2	시나리오 3	시나리오 4
2035년	수요(천 배럴)	1,523	11,165	2,069	15,172
	시장규모(천 USD)	290,500	2,130,300	394,700	2,894,800
2050년	수요(천 배럴)	1,923	32,043	-	-
	시장규모(천 USD)	366,800	6,113,800	-	-

*시나리오 1 = 항공유 수요 전망 1 (과거 추세 기준) + 바이오항공유 국내 RFS 제도 적용
 *시나리오 2 = 항공유 수요 전망 1 (과거 추세 기준) + 바이오항공유 CAO 비전 적용
 *시나리오 3 = 항공유 수요 전망 2 (항공수요 성장률 기준) + 바이오항공유 국내 RFS 제도 적용
 *시나리오 4 = 항공유 수요 전망 2 (항공수요 성장률 기준) + 바이오항공유 ICAO 비전 적용
 *현재 시장(바이오항공유) 가치 = 1,500 USD/톤 적용 (HEFA 바이오항공유 평균 최소 연료 판매 단가)

3. 바이오항공유 사업화 비즈니스 모델

가. 목표고객 및 경쟁자 특성

- 항공유 생산 및 소비 특성 상 개발된 기술 및 제품의 목표고객은 정유사와 항공사로 구분할 수 있으며, 정유사는 개발된 기술을 활용하여 가격경쟁력 있는 제품을 생산하고 국적사 이외 외국 항공사를 포함한 항공사는 생산된 제품을 사용하여 온실가스 감축을 통해 탄소의무 준수를 이행함
- 기술 및 제품의 경쟁자는 해외 바이오항공유 생산기술을 보유한 주요 기업 (Gevo,

Air BP, Alt Air 등)이 있으나 국내 항공유 공급 여건상 국내 정유사들은 독점적 지위를 가지고 있으므로 해외 정유사는 국내 시장에서의 경쟁대상으로 볼 수 없으며 국적 항공사가 해외 공항에서 급유를 하는 경우에도 국내 정유사가 공급할 수 있는 여건이 되지 않으므로 사실상 항공유 공급관련 경쟁은 국내 시장 내에서 국내 정유사 간에 발생하는 정도임

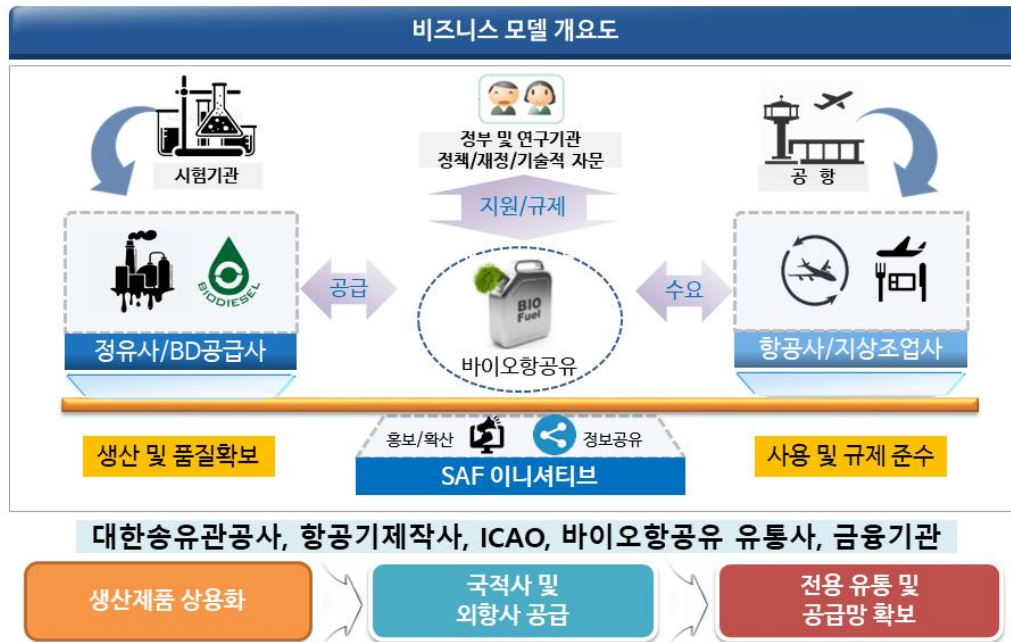
- 주요 연구개발 성과물로서 OTJ 기술의 상용화 기술은 국내 원천기술이 확보된 기술로서 해외 경쟁자와 충분히 경쟁력이 있음
- 다만, ATJ 또는 타 생산기술의 경우는 원천기술 및 상용기술 확보를 위한 추가적인 연구가 필요하나 본 사업화 전략에서는 OTJ 기술을 대상으로 수립함

나. 공급인프라 구축 방안

- 바이오항공유는 바이오디젤과 매우 유사하며 항공유 품질을 확보하기 위해 수소첨가 반응 등 추가적용기술을 통해 생산이 가능함
- 연구성과물로서 바이오항공유 생산기술을 확보하고 상용화 및 mass production을 위해서는 국내 바이오디젤 설비를 활용
- 국내 바이오디젤 보급 용량 대비 생산량은 2015년 기준 57%로서 초기에는 바이오디젤 생산시설을 활용하여 반제품을 확보하고 수소첨가 공정을 통한 바이오항공유 생산이 가능함에 따라 초기 공급인프라 구축을 위한 투자비용을 최소화
- 연구개발 이후 상용화 인프라 구축을 위한 초기 투자비용 확보는 온실가스 감축의무가 있는 항공사와 제품 판매 수익을 확보할 수 있는 정유사, 그리고 정부 (산업통상자원부 및 국토교통부)의 공동출자를 통한 공공+민간 펀드를 조성하는 방안을 고려

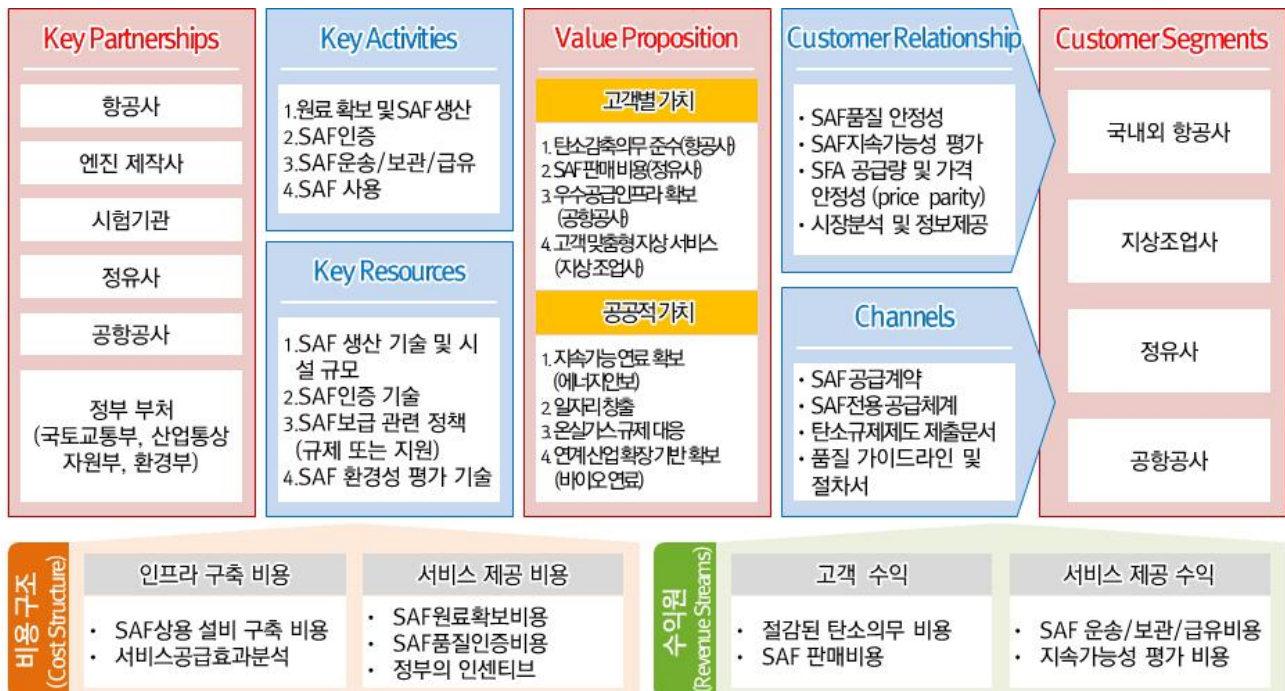
다. 사업화 비즈니스 모델

- 바이오항공유 사업화는 항공기에 적용되는 특정 연료를 생산하고 공급하는 사업으로서 기존의 항공유 공급사업과 모델이 동일함
- 다만, 바이오항공유의 목적이 지속가능한 연료 확보(에너지안보 포함)과 온실가스 감축이라는 측면에서 바이오항공유 시장의 안정화 및 지속적 관리를 위해 정부 및 바이오항공유 이니셔티브와 같은 거버넌스 체계가 필요
- 정유사와 항공사간의 가치사슬을 중심으로 한 비즈니스 모델로서 상용제품 공급과 향후 전용 유통 및 공급망 확보까지 연계함



<그림 6-16> 바이오항공유 사업 비즈니스 모델 개요

- 바이오항공유 사업 비즈니스 모델의 핵심 구성요소는 고객별 가치를 중심으로 공급을 위한 비즈니스 모델과 수요측면에서의 비즈니스 모델 구성요소로 구분하고 각 구성요소별 주요 내용은 아래와 같음



<그림 6-17> 바이오항공유 사업화 비즈니스모델 구성요소

4. 최종 성과물의 수요처별 활용방안

- 본 과제(실제연구) 최종 성과물의 수요처는 정부, 항공사, 항공유 관련 민간기업, 대학 및 연구 기관 등으로 구분할 수 있음
- 정책 입안자인 정부는 본 과제 최종 성과물을 활용하여 국가 수송부문 온실가스 감축 목표 달성 및 이행방안 수립을 위한 지원 도구로 활용가능하며 항공부문의 온실가스 감축 기술 확보와 함께 국제 항공부문 규제 대응 도구로서 활용 가능함
- 또한 정부 주도의 지속바이오항공유 국내 이용기반 정책 수립 및 지속가능한 항공 대체 연료 이니셔티브 구축 및 운영에 활용 가능함
- 항공사는 바이오항공유를 활용하여 온실가스 감축 목표 달성이 가능하며, 지속가능한 항공대체연료 이니셔티브에 참여함으로써 지속적인 온실가스 감축 방안 구축이 가능함
- 민간기업 중 항공유 관련 기업인 정유사와 바이오연료 생산업체는 바이오항공유 생산 및 공급을 통하여 신규 수요처를 발굴할 수 있으며, 지속가능한 항공대체연료 이니셔티브에 참여 가능함
- 대학 및 연구기관은 바이오항공유 생산 기술 확보 및 온실가스 감축 기술 효과 분석 지원이 가능하며, 지속가능한 항공대체연료 이니셔티브에 참여 가능함

<표 6-26> 최종 성과물 수요처별 활용방안

구분	활용방안	세부 수요처
정부	• 국가 수송부문 온실가스 감축 목표 달성 및 이행방안 수립을 위한 지원 도구 활용 • 항공부문 온실가스 감축 기술 확보 및 국제 항공부문 규제 대응 방안 마련 • 바이오항공유 국내 이용기반 정책 수립 활용 • 지속가능한 항공대체연료 이니셔티브 구축 및 운영 • 바이오항공유 공급 전용공항 구축 기반 마련	국토교통부, 산업통상자원부, 환경부 등
항공사	• 신규 기술을 활용한 온실가스 감축 • 지속가능한 항공대체연료 이니셔티브 참여	국내 항공사, 국내 취항 외항사 등
항공유 및 항공 관련 민간기업	• 바이오항공유 국내 생산을 통한 신규 공급처 확대(국내 외 항공사, 공항 등) • 지속가능한 항공대체연료 이니셔티브 참여	정유사, 바이오연료 생산자(바이오디젤 생산업체 등), 지상 조업사, 공항
대학 및 연구기관	• 바이오항공유 생산 기술 확보를 위한 연구 지원 • 바이오항공유 온실가스 감축 기술의 효과 및 분석 지원 • 지속가능한 항공대체연료 환경건전성 평가 및 경제성 평가 분석 지원 • 지속가능한 항공대체연료 이니셔티브 참여	바이오연료 관련 학과, 정부출연 연구기관 등

제7장 사전타당성 검토

제7장 사전타당성 검토

제1절 논리모형

1. 논리모형 개발의 목적과 적용

- 본 기획연구를 추진함에 있어서, 기획단계 논리모형 개발의 목적은 연구사업 설계상의 오류와 연구사업 추진논리 간 격차(gap) 여부를 확인하고, 향후 연구사업의 작동가능성을 이해하기 위함임
- 논리모형은 사업의 필요성, 세부활동 및 전략, 기대성과 및 산출시기, 수행주체 및 수행처, 투입자원, 산출의 종류와 규모, 그리고 사업결과를 활용한 성과 등을 설명할 수 있도록 개발되어야 함
- 본 연구에서는 기술개발계획의 적절성 분석 및 쟁점사항 도출을 위해 개발된 ‘연구개발부문 사업의 예비타당성조사 표준지침’¹⁷⁾에서 제시하는 논리모형을 준용하였음

2. 논리모형 개발 고려사항과 논리모형

가. 항공 및 바이오항공유 산업의 특성

- 국제적으로 바이오항공유 산업은 지속가능발전이라는 큰 틀 안에서 기후변화 대응 (온실가스 감축) 및 에너지 안보측면에서 시작된 이슈로서, 유럽 및 미국 등 주요 선진국은 이와 같은 목적으로 2000년대 후반부터 바이오항공유 생산 및 활용에 대한 기술개발 및 투자를 시작하고 현재 상용단계 기술을 확보하고 있음
- 항공부문은 항공운항서비스의 보안, 안전 및 운영효율성을 확보하기 위해 국제민간항공기구, 정부 및 항공사로 이루어진 하향식 이해관계(상위 조직에서 규정 및 절차를 결정하고 감독과 책임을 담당)로서 바이오항공유와 같은 신기술 적용이 매우 까다롭게 이루어져 있음에도 불구하고 해외에서는 이미 유료승객 운송에 바이오항공유를 적용함으로써 품질 기준 수립 및 안전성 확보에 대한 이슈는 없음
- 국제민간항공기구는 바이오항공유의 사용을 위한 기술 및 안정성은 이미 확보되어 있으며, 장기시장관점에서의 정책 및 인센티브가 필요하고 2050년까지 국제항공부문의 온실가스 감축을 위해 기존 항공유를 대체할 수 있도록 비전을 선언
- 그럼에도 불구하고, 국내 바이오항공유 관련 산업은 원천기술 개발 수준으로서 시장

17) 연구개발부문 사업의 예비타당성 조사 표준 지침(제2판), 2014.11, 한국과학기술기획평가원

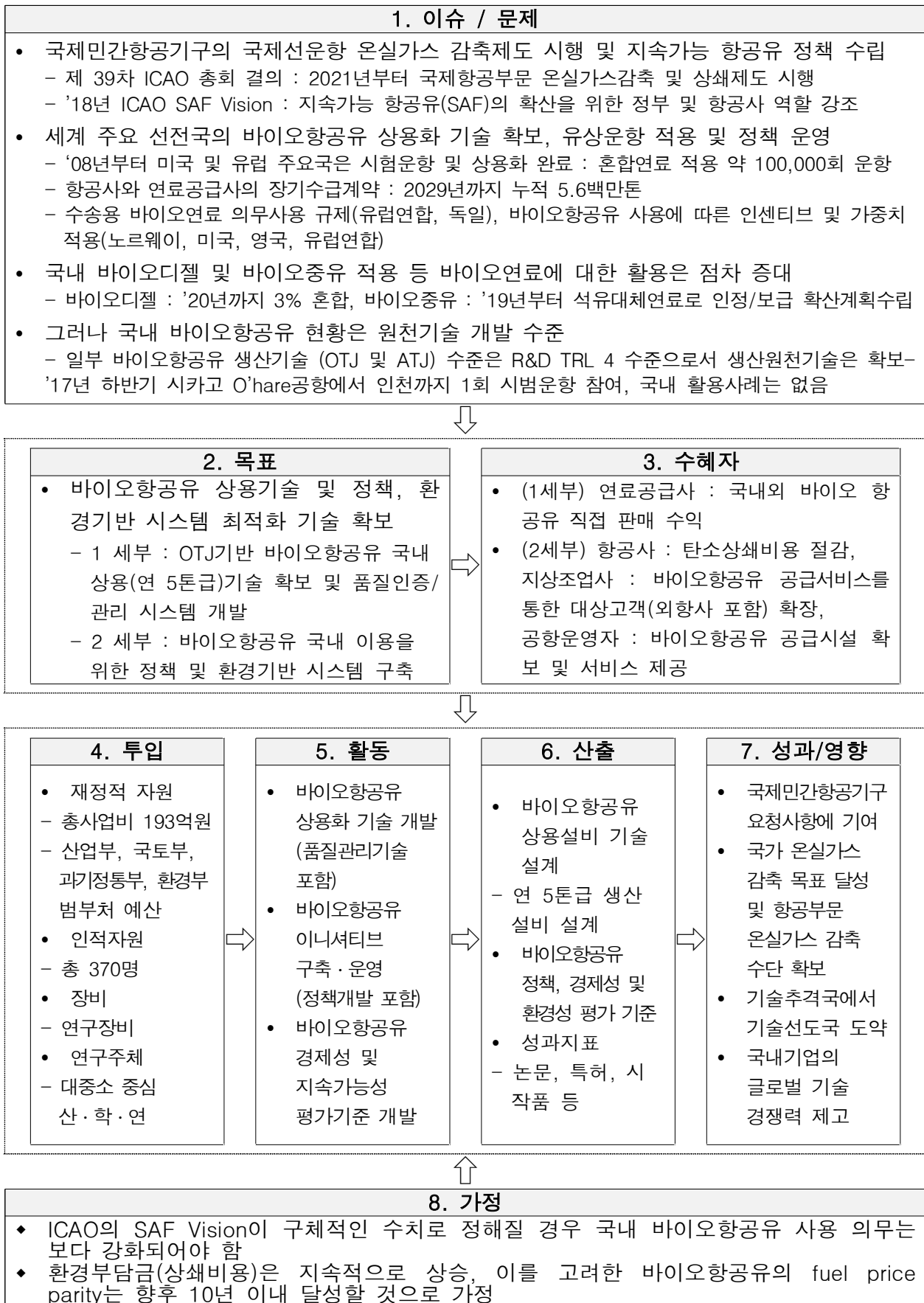
조성은 이루어지지 않고 있음

- 특히 바이오항공유 사용에 있어 수요자(항공사)와 공급자(정유사) 간의 이해 및 협력 관계가 절대적으로 필요함에도 불구하고 우리나라에서는 공급자는 수요에 대한 확신이 없고, 수요자는 고비용의 바이오항공유 사용(유류비가 총 영업비용의 약 30%를 차지)에 큰 부담을 가지고 있음
- 또한 바이오항공유는 항공부문에서의 제한된 수요와 국내 민간항공기제작기술의 부재 및 연료 생산을 위한 원료 수급 확보 등 다양한 제약요인으로 인해 국내에서는 원천 기술 확보 이후 뚜렷한 추진 동력을 갖추지 못하고 있음

나. 논리모형의 개발

- 바이오항공유 산업은 연료의 확보(공급)와 확보된 연료를 사용(수요)하는 과정으로 구분할 수 있으며 공급기술 확보와 수요시장 조성이 동시에 이루어져야 함
- 공급 측면에서는 바이오항공유 시장 규모나 상용화 및 공급가격 경쟁력 확보를 위한 기술투자와 기술성과에 따른 가격경쟁력 확보의 불확실성, 장기간의 플랜트 건설기간, 정부의 정책적 의지의 불명확성이 해소되지 않은 상태에서 직접적인 투자에 대한 높은 리스크를 가지고 있음
- 수요 측면에서는 기존 항공유 대비 3배 이상의 가격과 바이오항공유 사용에 대한 직·간접적 지원 정책 부재에 따른 비용 부담, 안정적 공급기술 및 공급자 미확보, 국·내외 항공운항에 따른 온실가스 감축의무 이행 및 지속가능발전에 대한 인식 부재 등으로 인해 실질적인 수요를 발생시키고 있지 못함
- 일반적으로 신재생에너지 관련 기술 개발 및 산업화는 초기 투자비 확보 및 기술성과 확보에 대한 리스크와 플랜트 건설기간이 장기간 소요되는 사업이기 때문에 정부 주도의 기술 개발과 수요와 공급측면의 안정감과 시장 작동의 확신을 줄 수 있는 보급(규제 또는 지원) 정책이 산업화 성패를 좌우함
- 따라서 본 연구의 궁극적 취지는 이미 상용화되어 유효운송에 사용하고 있는 해외 기술 및 시장에 적극 진출하고 국내 대응방안을 확보 하고자 함
- 바이오항공유 수요와 공급 측면에서 산업화를 위한 연구개발이 동시에 이루어져야 하며, 기존 유사 R&D의 참여자가 민, 관, 학, 연으로 구성되는 것과 비교하여 항공부문의 경우는 보다 다양한 국내외 이해관계자가 참여하는 이니셔티브를 구축하고 운영하는 것이 바람직함
- 바이오항공유 산업지원 및 활용 기획연구의 논리모형은 다음과 같음

<표 7-1> 바이오항공유 산업지원 및 활용사업의 논리모형



제2절 정책적 타당성

1. 정책적 타당성 검토 기준

- 연구개발과제 및 세부과제별 주요 내용의 정책적 타당성 검토기준은 ① 상위계획과의 부합성, ② 국가 정책과의 부합성, ③ 관련 정책 및 법률과의 연계성, ④ 정부지원의 타당성으로 설정하여 정책적 타당성을 확보하고 연구개발사업의 추진 상의 리스크를 최소화하고 국가 R&D로써 정부 지원의 필요성을 확인하고자 함

2. 상위계획과의 부합성

가. 제4차 과학기술 기본계획 (2018~2022)

- 「제4차 과학기술기본계획」은 「과학기술기본법」 제7조 및 시행령 제3조~제5조에 따라 향후 5년간('18~'22) 우리나라 과학기술혁신 정책의 비전, 목표, 방향 등을 제시하는 중장기 발전전략으로 각 부처 과학기술 관련 정책의 수립·추진방향을 제시하는 최상위 계획임
- 「제4차 과학기술기본계획」은 ‘과학기술로 국민 삶의 질을 높이고 인류사회 발전에 기여’란 비전으로 미래세상을 ‘풍요로운 세상’, ‘편리한 세상’, ‘행복한 세상’, ‘자연과 함께하는 세상’으로 구분하여, 연구자, 기업, 국민, 혁신 생태계 각 주체별 꿈꾸는 미래모습을 실현하기 위한 방안을 수렴하여 수립
- 이를 위해 4대 전략(미래도전을 위한 과학기술 역량 확충, 혁신이 활발히 일어나는 과학 기술 생태계 조성, 과학기술이 선도하는 신산업·일자리 창출, 과학기술로 모두가 행복한 삶 구현)과 19개 중점 추진 과제를 제시
- 바이오항공유 관련 내용은 4대 전략 중, ‘과학기술로 모두가 행복한 삶 구현’ 전략 내 ‘18. 쾌적하고 편안한 생활환경 조성’ 추진 과제 와 부합
- ‘18. 쾌적하고 편안한 생활환경 조성’ 추진 과제 중 ‘쾌적하고 청정한 생활환경 구현’은 신재생에너지 및 에너지 저장기술의 고도화 및 경제성 확보를 위해 바이오매스 자원화를 언급하고 있으며, 온실가스 감축관리 및 탄소저감·자원화 기술 개발 및 상용화를 위한 탄소저감 관련 차세대 상용화 기술로서 바이오매스 리파이너리를 언급하고 있음
- 또한, 「제4차 과학기술기본계획」의 120개 중점 과학기술 중 ‘에너지·자원 분류’의 ‘신재생에너지’, ‘바이오 및 폐자원 에너지화기술’과 일치함

<표 7-2> 깨끗하고 편리한 환경 조성 부문의 세부과제

추진과제	세부과제	세부기술
18. 쾌적하고 편리한 생활환경 조성	기후변화 및 신기후 체제 대응으로 지속 가능성 확보	<u>신재생에너지 및 에너지 저장기술의 고도화 및 경제성 확보</u>
		기후변화 예측 및 국가적 대응역량 제고
		<u>온실가스 감축관리 및 탄소저감·자원화기술 개발 및 상용화</u>
	쾌적하고 청정한 생활환경 구현	효율적인 대기질 관리 및 쾌적한 대기환경 조성을 위한 기후 대기환경 연구 확대 및 국제협력체계 구축
		효과적 수질관리 및 건강한 수생태계 조성을 위한 물환경 연구 확대 및 기반 구축
		자원순환사회 기반 마련 및 지속가능한 국토환경 조성
	편리하고 살기좋은 스마트시티 구축	플랫폼 도시 개념을 적용한 데이터 기반 스마트시티 모델 개발
		편리하고 효율적인 통합모빌리티 서비스 개발
		도시의 지속가능성 제고를 위한 청정 환경·에너지 시스템 구축

출처 : 과학기술정보통신부, 「제4차 과학기술기본계획(’18~’22), 2018」

<표 7-3> 120개 중점과학기술 중 에너지·자원 분류 기술

분류	중분류	중점과학기술
에너지·자원	전력 및 에너지저장	대용량 장수명 이차전지 기술
		무선 전력전송·충전 기술
		스마트에너지그리드 기술
		고효율 전력수송 기술
	<u>신재생에너지</u>	고효율 가스발전 기술
		<u>바이오 및 폐자원 에너지화 기술</u>
		지열에너지기술
		고효율 태양전지 기술
		풍력발전 기술
		수소·연료전지 기술
		해양에너지 기술
	원자력	원자력 에너지 기술
		원자력 환경방호 기술
	핵융합·가속기	핵융합에너지 기술
		차세대가속기 기술
	자원 개발 및 활용	지능형 융합 자원탐사 기술,
		ICT기반 자원 개발·처리 기술,
		이산화탄소 포집·저장·이용 기술

출처 : 과학기술정보통신부, 「제4차 과학기술기본계획(’18~’22), 2018」

나. 제 4 차 신·재생에너지 기본계획(2014~2035)¹⁸⁾

- '35년까지 1차에너지의 11.0%를 신재생에너지로 공급하며 바이오에너지는 2035년까지 18% 비중으로 연평균 7.7% 증가

【 1차에너지 기준 원별 비중 목표 (단위 : %) 】

구분	2012	2014	2025	2035	연평균 증가율
태양열	0.3	0.5	3.7	7.9	21.2
태양광	2.7	4.9	12.9	14.1	11.7
풍력	2.2	2.6	15.6	18.2	16.5
바이오	15.2	13.3	19.0	18.0	7.7
수력	9.3	9.7	4.1	2.9	0.3
지열	0.7	0.9	4.4	8.5	18.0
해양	1.1	1.1	1.6	1.3	6.7
폐기물	68.4	67.0	38.8	29.2	2.0

<그림 7-1> 제4차 기본계획의 비전 및 목표

- 세부 추진과제로서 새로운 신재생에너지 시장 창출을 위해 수송 부문의 신재생에너지 연료 혼합제도(RFS, Renewable Fuel Standard) 추진을 포함
 - 세부추진과제 중 신재생 R&D 역량강화에서는 중장기 추진과제로서 태양광 및 연료전지와 함께 바이오연료를 핵심기술분야로 장기 투자를 확대

3. 국가 정책과의 부합성

가. 국가 온실가스 감축 로드맵 (2018~2030)

- 2030 국가 온실가스 감축 로드맵 수정안(2018. 7)은 정부가 국제사회에 약속한 국가 온실가스 감축목표 이행력을 높이기 위해 수립한 정책으로서 수송부문의 온실가스 감축목표는 바이오항공유와 부합
- 본 수정안은 2015년에 발표한 국가 온실가스 감축목표는 그대로 유지하되 국내 부문별 감축목표를 증가, 수송부문에서는 약 2.7% 증가(24.6%→29.3%)함
- 수송부문의 감축목표량은 30.8백만톤으로서 국가 감축목표(276.5백만톤)의 11.2%를 차지하며 주요 온실가스 감축수단은 전기차 보급 확대(100만대 → 300만대), 친환경 대중교통 확충, 자동차·선박·항공기 연료효율 개선 등임

18) 신·재생에너지 기본계획은 법정계획(2014, 근거 : 신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법)으로서 매 5년 단위로 작성되며 계획기간은 2014~2035년이며 제5차 신·재생에너지 기본계획은 2019년 하반기 발표 예정

〈표 7-4〉 국가 온실가스 감축로드맵 수정(안)

부문		배출 전망 (BAU)	2016년 로드맵		2018년 로드맵	
			감축후 배출량 (감축량)	BAU 대비 감축률	감축후 배출량 (감축량)	BAU 대비 감축률
배출원 감축	산업	481.0	424.6	11.7%	382.4	20.5%
	건물	197.2	161.4	18.1%	132.7	32.7%
	수송	105.2	79.3	24.6%	74.4	29.3%
	폐기물	15.5	11.9	23.0%	11.0	28.9%
	공공(기타)	21.0	17.4	17.3%	15.7	25.3%
	농축산	20.7	19.7	4.8%	19.0	7.9%
	탈루 등	10.3	10.3	0.0%	7.2	30.5%
감축수단 활용	전환	(333.2) ¹	- 64.5		(확정 감축량) -23.7	
					(추가감축잠재량) -34.12	
	E신산업 /CCUS	-	- 28.2	-	- 10.3	-
	산림흡수원		-		- 38.3	4.5%
	국외감축 등	-	- 95.9	11.3%		
기존 국내감축			631.9	25.7%	574.3	32.5%
합계		850.8	536.0	37.0%	536.0	37.0%

비고

1. 전환부문 배출량(333.2백만톤)은 부문별 전기/열 사용에 할당, 전체 합계에서 제외
2. 전환부문 감축량 23.7백만톤 확정, 추가감축 잠재량은 '20년 NDC 제출전까지 확정

나. 에너지 신산업 활성화 및 핵심기술 개발 전략(2015~2030)

- 기후변화대응을 위한 ‘에너지 신산업 활성화 및 핵심기술 개발전략’ 이행계획(2015. 4)은 제 4 차 신재생에너지 기본계획에 따른 이행계획¹⁹⁾으로서, 핵심기술개발 분야로 바이오에너지를 포함
- 바이오에너지는 화석연료를 대체하는 6대 핵심기술개발분야로 선정하였으며, 특히, 미세조류 바이오항공유 활용 바이오에너지 생산기술 향상과 산업화 지원 계획을 수립하였음

19) 최근 신재생에너지 관련 정책인 ‘재생에너지 3020 이행계획’(2017. 12)은 신재생에너지 기본계획에 따른 국가정책이 아니며, 바이오 연료에 대한 언급이 전혀 없으므로 기존 관련 이행계획을 토대로 분석



<그림 7-2> 바이오연료 관련 핵심기술개발 전략

3 바이오에너지

현황 및 이슈

- ◆ 국가 신재생에너지 보급 확대 계획*에 따라 바이오에너지 수요 증가** 전망
 - ➔ '20년 보급 목표는 약 270만 석유환산톤(TOE)이나, '12년 보급량은 133만톤에 불과하여 수요 증가에 대비하기 위한 바이오에너지 생산 기술 개발 필요
 - * 1차 에너지 중 신재생에너지 비중 목표 : '14년 3.6% → '20년 5.0%
 - ** 신재생에너지 중 바이오에너지 비중 목표 : '14년 13.3% → '20년 18.8%
- ◆ 좁은 경지면적 등 국내 여건상 바이오매스(원료)의 안정적 확보에 한계
 - ➔ 수요에 대응하기 위해 바이오매스 다량 수입 중*으로, 국내 환경에 적합한 새로운 바이오매스 확보 및 배양기술 필요
 - * 바이오디젤 생산 원료(팜 등)의 61% 수입 중

기술 혁신	산업화 지원
① 바이오에너지 생산 기술 향상 - 배양일도 2배 향상 등 미세조류 바이오리파이너리 기술 개발을 통해 미세조류 바이오디젤 생산 가격 1,000원/L 달성 ➔ 미래부, 해수부, 산업부의 대형 연구사업단을 중심으로 R&D를 지원('15년 59억원)하고, 연구사업단 간 성과 공유 및 공동 활용 확대 - 바이오부탄올, 바이오가스 등 신규 바이오연료 생산 플랜트 기술개발 및 3,000톤급 플랜트 구축('17) ➔ 산업계 중심의 R&D('15년 178억원) 추진 중으로, 수요기업 협의체를 통한 연구개발 결과 공유로 신규 시장 선점 ② 새로운 바이오매스(원료) 확보 - 미활용 바이오매스(식용유 가공 폐기물) 등을 원료로 활용하는 바이오에너지 기술 개발 ➔ '18년 이후 민간 주도의 플랜트 건설 촉진을 위해, 연구개발('15년 112억원) 방향을 산업계와 공유·개선 - 바이오매스 대량 배양·운전 기술을 개발하고, 육상·해양 대량 생산 검증 ➔ 배양·생산 기술 연구개발('15년 65억원) 방향 및 개발 결과를 수요기업 협의체를 통해 공유	① 국제협력 및 창조경제혁신센터를 활용한 기술한계 극복 - ASEAN 등 개도국 대상 ODA 사업을 통해 해외 배양장 및 현지플랜트 구축 추진 - 대전·세종(SK*) 창조경제혁신센터를 중심으로 바이오연료 생산 플랜트 연구개발 결과 공유 및 관련 중소·벤처기업 지원 * SK이노베이션, SK에미칼 국내 바이오연료 생산 1, 3위 ② 바이오에너지 활용에 대한 우려 해소를 위해 다양한 실증·시범사업 추진 - 강원 출현 친환경에너지타운 구축('15~'16)을 통해 바이오에너지 활용 검증* 및 수익모델 발굴 * 가축분뇨, 음식물쓰레기 등을 바이오가스 / 퇴(액)비 등으로 재자원화 - 미세조류 바이오합공유 활용 시범비행으로 국민 체감 향상 및 홍보('15)

<그림 7-3> 핵심기술개발 분야별 추진전략 - 바이오에너지

4. 관련 정책과의 연관성

- 바이오디젤 (수송용) 및 바이오중유 (발전용) 관련 정책은 석유대체연료로서 미세먼지 저감 뿐만 아니라 온실가스 감축 측면에서 연관성이 있음
- 기술적으로는 바이오디젤과 바이오항공유의 물성이 유사함에 따라 바이오 항공유 생산기술 개발을 위한 초기 설비로서 바이오디젤 생산기술을 활용할 수 있음

가. 신재생에너지연료 혼합의무제도(2015~)

- 수송용 연료 공급자(혼합의무자)가 기존 화석연료(경유)에 바이오연료(바이오디젤)를 일정 비율 혼합하여 공급하도록 의무화하는 제도('15.7.31일 시행)
- 2020년까지 3% 의무혼합을 목표로 하고 있으며, 신에너지 및 재생에너지 개발 이용 보급 촉진법을 기반으로 하고 있음
 - 우리나라의 경우, 육상수송용으로 제한하는데 비해 유럽연합 및 독일은 수송용 바이오연료로서 항공부문까지 포함

제도개요

홈 > 신재생에너지연료 혼합의무제도 > 제도개요

● RFS제도 정의

수송용 연료 공급자(혼합의무자)가 기존 화석연료(경유)에 바이오연료(바이오디젤)를 일정 비율 혼합하여 공급하도록 의무화하는 제도

- 혼합의무자 : 석유정제업자, 석유수출입업자
- 수송용 연료의 종류 : 자동차용 경유
- 신재생에너지 연료의 종류 : 바이오디젤

* 연도별 혼합의무비율

시행년도	'15.7.31~	'16년	'17년	'18년	'19년	'20년
혼합의무비율(%)	BD 2.5	BD 2.5	BD 2.5	BD 3.0	BD 3.0	BD 3.0

● 관련규정

신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법 [다운로드]

신재생에너지 공급의무화제도 및 연료혼합의무화제도 관리운영지침(산업부 고시 제2016-82호) [다운로드]

신·재생에너지센터 연료 혼합의무 관리기준(신·재생에너지센터 공고 제2015-10호) [다운로드]

● 추진절차



<그림 7-4> 신재생에너지연료 혼합의무제도

홈페이지 - 한국에너지공단

나. 발전용 바이오중유 상용화(2019~)

- '12년 신재생에너지 공급의무화제도(RPS) 시행에 따라 발전사는 공급의무량 이행을 위해 연료로 중유를 바이오 중유로 대체 추진함
- 시범보급사업 ('14.1~'18.12) 이후 실증연구 및 성능·안전성 확인 이후 상용화 검토하고 발전용 바이오중유를 법령상 석유대체연료와 재생에너지로 명문화
 - 에너지 이용효율을 높이기 위하여 보급을 확대할 필요가 있고 사용기기에 적합한 품질·성능 및 안전성 등을 갖추고 있다고 인정될 경우 그 연료를 석유대체연료로 인정
 - 석유 및 석유대체연료 사업법 시행규칙과 신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법 시행령 개정
 - 발전용 바이오중유의 품질기준 및 성능평가 기준 마련('18.12)
- 바이오중유 본격 상용화는 재생에너지원을 이용한 발전량 증가에 따라 재생에너지 3020 이행계획의 목표달성에 기여할 뿐만 아니라 향후 미세먼지와 온실가스 배출량 저감에도 기여할 것으로 기대

 산업통상자원부 http://www.motie.go.kr		보 도 자 료		2018. 9월 10일(월) 석간부터 보다나온 정부 
2018년 9월 10일(월) 석간부터 보도하여 주시기 바랍니다. (인터넷, 방송, 통신은 9.10(월) 오전 06시 이후 보도 가능)				
배포 일시	2018. 9. 7(금)	담당 부서	석유산업과	
담당 과장	박재영(044-203-5220)	담당자	사무관 송홍석(044-203-5228)	

발전용 바이오중유, 석유대체연료로 전면 보급

- 미세먼지 저감, 온실가스 감축, 재생에너지 발전 등에 기여

- 음식점에서 나오는 삼겹살 기름이나 폐음식물에서 나오는 기름 등은 현재 활용할 곳이 없어 대부분 버려지고 있는데, 앞으로는 화력발전소에서 중유(벙커-C유)를 대체하는 연료로 사용될 전망이다.
- 미세먼지 저감, 온실가스 감축 등 환경개선과 에너지 전환에 기여할 수 있도록 현재 시범보급 중에 있는 바이오중유가 내년부터 전면 보급된다.
 - 발전용 바이오중유는 동·식물성 유지(油脂)*, 바이오디젤 공정 부산물 등 미활용자원을 원료로 제조한 연료로 중유를 대체하는 연료다.
 - * 육류가공업체, 음식점 등에서 배출되는 소·돼지·닭고기 기름(삼겹살유 등), 가정 배출 폐식용유, 탕유(동물성 최수유), 음식물 폐기물에서 추출되는 음폐유 등
 - 정부와 발전사들은 연료로서의 품질, 성능, 안전성 등을 확인하기 위하여 2014년부터 발전용 바이오중유 시범보급사업과 실증연구를 추진해 왔다.
 - 시범사업기간 중 5기의 중유발전소에 대하여 실시한 실증연구 결과, 바이오중유를 발전용 연료로 사용하기에 적합한 것으로 확인되었다.
 - 이에 따라 산업통상자원부(장관 박문규)는 발전용 바이오중유를 석유 대체연료로 인정 후 전면 보급하기 위하여 「석유 및 석유대체연료 사업법 시행규칙」 개정안을 9월 10일 입법예고 한다고 밝혔다.

□ 발전용 바이오중유가 상용화되면 그 동안 발전사별로 지정된 중유 발전기 5기에만 바이오중유를 중유대체연료로 사용할 수 있었으나 앞으로는 발전사가 운영 중인 14기 중유발전기 모두에 바이오중유를 발전용 연료로 사용할 수 있게 된다.

- 석유관리원이 실시한 실증연구 결과에 따르면 바이오중유는 중유 사용 시 발생하는 배출가스로 미세먼지의 주범인 황산화물은 거의 배출되지 않으며 질소산화물은 중유 대비 39%, 미세먼지는 28%, 온실가스는 85% 저감되는 등 환경개선 효과가 우수한 것으로 나타났다.

□ 산업통상자원부는 향후 관계부처 협의와 발전사, 바이오중유 생산업체 등 관련 업계의 의견수렴 절차를 거친 후 2019년 1월 1일부터 시행하는 것을 목표로 석유사업법 시행규칙의 개정을 추진할 예정이다.

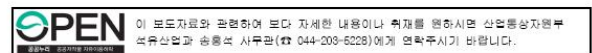
- 이와 함께 산업부는 금속분, 총발열량 등 바이오중유의 품질기준과 배출가스 등 성능평가기준을 2018년 말까지 정해 고시할 예정이다.

- 산업부 관계자는 바이오중유가 본격 상용화될 경우 재생에너지원을 이용한 발전량이 증가함에 따라 「재생에너지 3020 이행계획」의 목표 달성에 기여할 뿐만 아니라, 향후 미세먼지와 온실가스 배출량 저감에도 기여할 것으로 기대된다고 밝혔다.

* '17년 바이오중유 이용 발전량은 1,451 GWh로 신재생에너지 발전량의 4.4% 차지

- 붙임 1. 발전용 바이오중유 상용화 추진 경과
- 2. 발전용 바이오중유 원료 및 생산 과정

※ 추가 제공·협조 가능 : 발전용 바이오중유 표준(한국석유관리원), 바이오중유 생산현장(경기 시흥 시화단지), 전문가 인터뷰(한국석유관리원, 한국바이오에너지협회)



<그림 7-5> 발전용 바이오중유 관련 보도자료

5. 정부 지원의 타당성

가. 국제기구 요청사항에 대응

- 국제민간항공기구(International Civil Aviation Organization, ICAO) 제39차 총회 결의문²⁰⁾(A39-2, 2016)은 지속가능항공연료 (Sustainable Aviation Fuel, SAF)²¹⁾의 사용에 대한 장기 시장관점에서 정책 및 인센티브가 도입되었으며, 국가는 청정연료의 개발, 확산 및 사용을 위해 국가간 협력적 접근과 인센티브 발굴, 생산기술 및 원료투입의 비용절감 및 상용화를 위한 scale-up을 고려하도록 요청
- 또한, ICAO의 SAF Vision 2050 선언문(2017)에서 국가는 SAF 확산을 위해 개발 및 이행에 관한 정책체계(인센티브, 협동연구, 지원 등)의 안정적 지원, SAF 사용을 촉진하기 위한 정책 개발 및 정책의 질적지표 (유연성, 확실성, 재정적 비용 및 편익, 외부 요인에 대한 가격 민감성, 구현 용이성, SAF확산 기여 및 탄소 감축, 의도치 않은 결과 및 견고성 등)와 효과에 대한 평가, 재정적 지원 (공항 및 항공사, 타당성 조사 포함) 및 국가·산업체간 협력이니셔티브를 촉진할 것을 요청
- 정부는 항공사의 환경 규제 준수 및 안전·보안과 관련된 관리 감독 권한을 가지고 있으며, 국제기구의 요청사항에 대응해야 할 필요가 있으므로, 정부주도의 바이오항공유 산업 육성이 타당함

나. 신재생에너지 산업 기술개발 지원

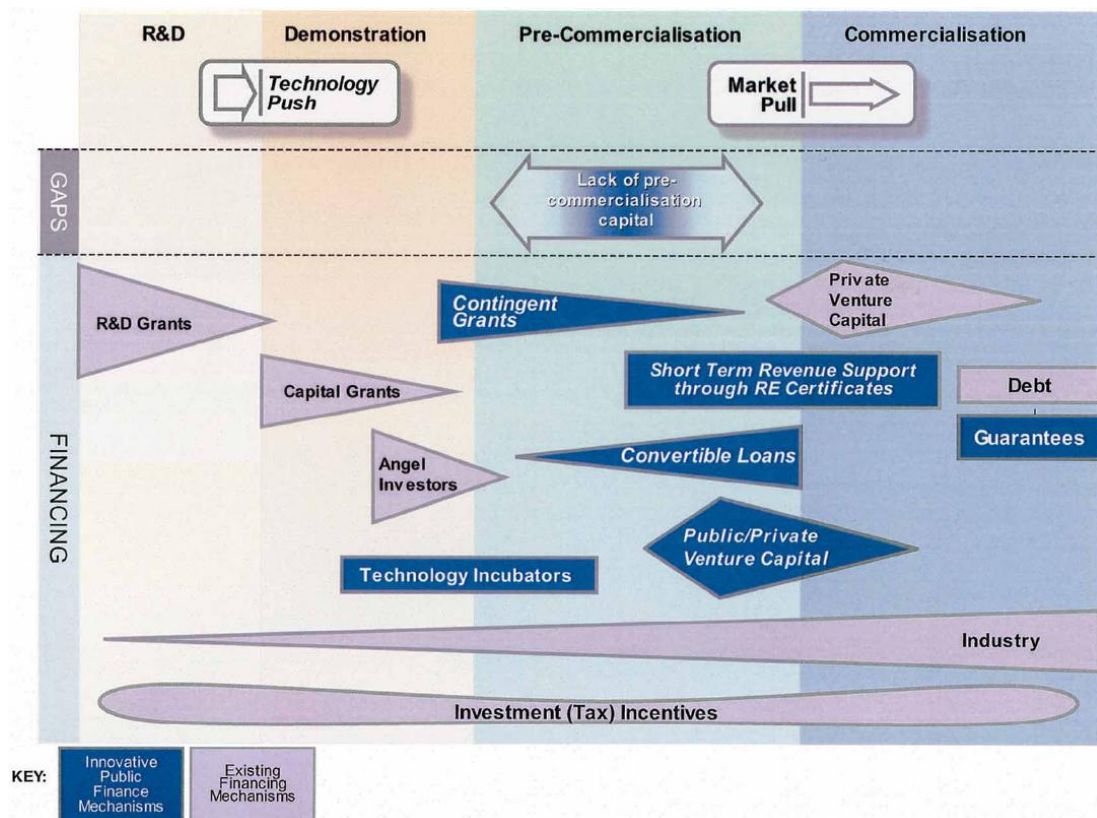
- 신재생에너지 산업의 경우 산업이 발전 초기단계에 있으므로 기술개발에 대한 투자가 쉽게 이루어지지 않고, 특히 기술개발 이후 상업화되기까지 금융지원이 지속적으로 필요
- 또한, 신재생에너지 플랜트 사업의 경우에도 장기에 걸친 사업으로 사업에 대한 리스크 관리가 사업에 필요한 재원조달에 있어 결정적인 요인임²²⁾
 - UN환경계획(UNEP) 보고서²³⁾에서는 재생에너지 기술의 혁신 단계별 금융지원 방식으로 초기 정부 R&D 지원금을 통해 기술을 확보하고 시장에 의한 동력이 생기기 전까지는 지속적인 공적 자금을 활용

20) A39-2는 환경보호-기후변화와 관련된 ICAO정책 및 실행에 관한 결의문으로서 국제민간항공기구의 총회 결의문은 국제기구의 최고 의사결정권을 가진 총회에서 채택된 문서로서 각 회원국은 이를 준수해야 할 의무가 있음.

21) 지속가능항공연료 (Sustainable Aviation Fuel, SAF)는 ICAO가 요구하는 지속가능성 기준을 준수하는 대체연료로서 일반적으로 바이오항공유와 유사한 개념으로 사용되나 바이오항공유보다 원료확보 측면에서 자원, 환경 및 인류의 지속가능성을 높은 수준의 요구 사항을 가지고 있음

22) 이재우, 신재생에너지 산업의 장애 및 위험요인과 금융방식, 수은해외경제, 한국수출입은행, 2009

23) UNEP, Public Finance Mechanisms to Catalyze Sustainable Energy Sector Growth, 2005



<그림 7-6> 신재생 에너지 기술혁신 지원을 위한 단계별 금융 (UNEP 2005)

제3절 기술적 타당성

1. 기술적 타당성 검토 기준

- 연구개발과제 및 세부과제별 주요 내용의 기술적 타당성 검토기준은 ① 관련 이슈, ② 기술개발의 성공가능성, ③ 기존기술과의 차별성으로 설정하여 불필요하거나 중복되는 연구과제 및 내용을 배제하고 기술개발계획의 체계성 및 구체성을 확보하여 목표 달성의 성공률을 높이고자 함

2. 관련 이슈

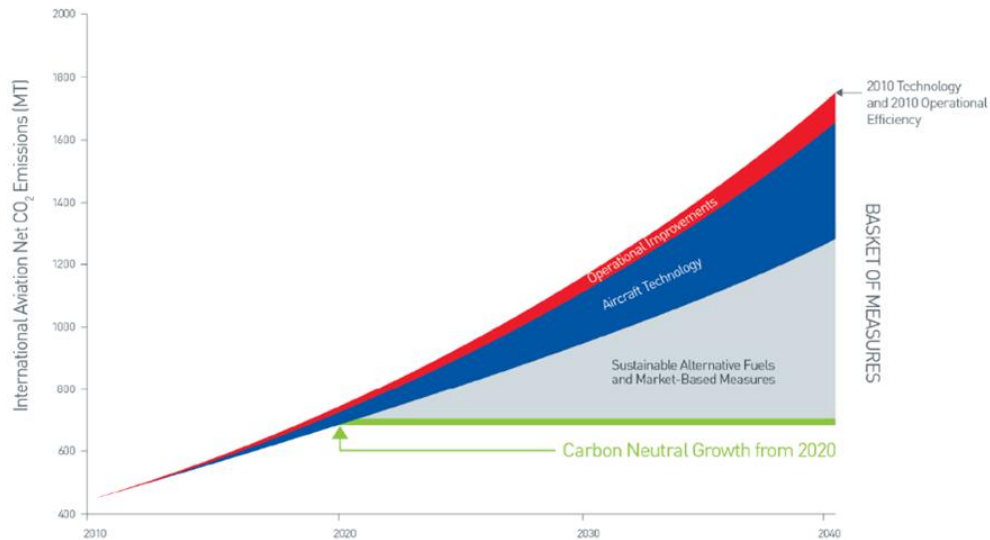
가. 항공부문 온실가스 감축수단으로서의 바이오항공유

- ICAO 2016 환경보고서에서는 CNG2020(Carbon Neutral Growth from 2020)을 달성하기 위한 구체적 감축수단으로서 항공기 기술·표준, 운영기술, 시장기반조치 및 지속가능한 대체연료(SAF) 사용을 제시²⁴⁾
 - 국내 민간항공기 제작기술 부재로 인해, 항공기 기술 및 표준은 항공기 구매 시 고려사항으로 제한되며 운항기술은 온실가스 감축수단으로서 가장 적은 역할을 맡고 있으며, 국토교통부와 항공사간의 자발적감축협약²⁵⁾ 이행의 주요 수단으로 활용
 - 따라서, 시장기반조치와 SAF가 가장 중요한 온실가스 감축수단으로 인정되며 2021년부터 시작되는 CORSIA²⁶⁾에서는 SAF 사용분만큼 탄소상쇄의무를 제외
 - 2021년부터 이행되는 파리협약에 의해 배출권의 중복사용 금지 및 상쇄배출권 가격 상승에 따른 바이오항공유 사용은 불가피함
- 독일의 경우, 1990년 대비 2020년까지 수송부문 온실가스 배출량 40% 감축을 위해 항공 대체연료 사용을 권장하고 있으며 재생에너지에 대한 항공이니셔티브(Aviation Initiative for Renewable Energy in Germany, AIREG)를 구성, 2025년까지 기존 항공연료의 10%를 바이오연료로 사용하는 것을 목표

24) ICAO, Environmental Report, 2016

25) 자발적감축협약 : ICAO에서 제시한 연료효율 개선 2%이상 목표를 달성하기 위해 국제선 운항에 적용되는 정책으로서 협약기간(2년 단위) 동안 기준연도 대비 연료효율 개선치로 산정

26) CORSIA : Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation (국제항공 온실가스 상쇄 및 감축제도)는 시장기반조치로서 국제 운항으로부터 기준기간 (2019-2020년) 평균 온실가스 배출량 보다 증가한 양만큼 배출권을 구매하여 상쇄하는 제도이며 우리나라는 시행초기인 2021년부터 참여를 결정



<그림 7-7> 항공부문 온실가스 배출 전망과 감축수단 비율 (ICAO, 2016)

- EU의 경우, 2009년 발효된 EU 신재생에너지지침(2009/28/EC)에 수송용 바이오연료 보급 목표 및 바이오연료의 지속가능성 기준을 규정하고 2050년까지 전체 항공유 사용의 40%를 지속가능한 저탄소연료로 대체하는 것을 목표로 함(2011)
- 해외 주요국은 2008년부터 바이오항공유 생산기술을 개발하여 현재 Drop-in-Fuel 형태로 유상운항에 직접 사용하여 약 100,000회 이상 운항하고 있음
- 노르웨이 오슬로공항을 최초로 바이오항공유를 공급하는 전용체계를 갖춘 공항은 Los Angeles International Airport (미국), Oslo Airport(노르웨이), Stockholm Arlanda Airport (스웨덴), Bergen Airport(노르웨이), Vaxjo Smaland Airport (스웨덴) 등 5개 공항이 존재
- 그러나 여전히 해외 바이오항공유 공급가격은 기존 항공유의 3배로서 기존항공유 사용에 따른 탄소상쇄비용을 고려하더라도 항공사의 선택이 제한적이므로 가격경쟁력을 갖춘 바이오항공유 생산기술 확보에 지속적으로 노력하고 있음

나. 국가전략기술로서의 바이오에너지²⁷⁾

- 120개 국가전략기술 중 신재생에너지 분야는 제4차 신재생에너지 기본계획에서 밝힌 보급확산을 위한 정책 추진이 필요
 - 신재생에너지 보급을 통한 온실가스 감축목표 달성을 위해서는 관련분야의 투자 확대 및 기술개발이 필수

27) 한국과학기술기획평가원, 2016년 기술수준 평가 - 별책, 2017.7

- 120개 국가전략기술 중, 61. 바이오에너지기술은 경쟁국 대비 열위 기술영역으로서 국내 바이오자원 부족에 따른 기술개발 투자 저조에 기인하며 최근 세계 시장 성장에 따른 바이오분야 투자 확대추진이 필요
- 바이오에너지기술은 시장 성장속도가 빠르고 시장규모가 크기 때문에 정책적인 지원을 통한 기술수준 제고가 필요함
 - 신재생에너지 기술 10개 중, 바이오에너지기술은 가장 파급효과가 큰 기술 중의 하나이며 최고 기술국의 기술 수준 확보를 위해 투자확대가 필요
 - 신재생에너지 연구비 지속적 증대 방안 마련 및 바이오에너지를 포함한 4대 분야의 집중적인 투자가 필요
 - 2012년을 정점으로 신재생에너지 연구비 투자가 조금씩 감소하고 있으며 온실가스 저감목표 달성을 위해 신재생에너지 산업화가 절실함. 따라서 정부지원 연구비의 증액이 필요함
 - 신재생에너지 분야는 다양한 기술이 존재하기 때문에 모든 분야를 집중적으로 지원하기 어려움. 따라서, 산업화 잠재력이 큰 태양광, 풍력, 수소연료전지, 바이오에너지 등 4대 분야의 집중적인 연구비 투자가 요구됨

3. 기술개발의 성공 가능성

- 국내 바이오항공유 기술개발은 OTJ기술에 대해 원천기술 개발 수준(TRL 4단계)으로서 성능평가 및 파일럿 규모 시제품 제작, 시제품 인증 및 표준화에 대한 기술개발이 가능
 - 특허 및 논문 동향 조사 결과, 바이오항공유 생산관련 국내 특허 4건을 보유하고 있으므로 원천기술은 확보한 것으로 판단

<표 7-5> 바이오항공유 생산 관련 국내 특허

구분	바이오항공유 생산 관련 국내 특허
1	비식용 유지를 이용한 고품질 바이오항공유 제조방법 및 이에 의해 제조된 바이오항공유 2014 / 한국에너지기술연구원; / (10-2014-0138134)
2	「국가R&D」 비식용 유지를 이용한 고품질 바이오항공유 제조방법 및 이에 의해 제조된 바이오항공유 2016 / 한국에너지기술연구원 / (10-1607868-0000)
3	식물성 오일로부터바이오항공유분의 선택적 제조를 위한 백금 담지 실리카-알루미나 촉매 2014 / 한국화학연구원; / (10-2014-0136874)
4	알루미늄이 그래프팅된 규칙적인 메조기공 실리카 담체에 백금-마그네슘을 공침시킨 촉매를 사용한 바이오 합성유로부터 항공유 제조용 촉매 및 그 촉매를 사용한 항공유 제조 방법 2016 / 한국화학연구원; / (10-2016-0146429)

출처: KIPRIS 특허정보넷(<http://www.kipris.or.kr>)

- 바이오항공유는 바이오디젤의 탈산소 및 수첨 공정과 같은 추가공정에 의해 생산될 수 있으므로 현재 바이오디젤의 잉여생산설비를 사용할 수 있는 경우 바이오 항공유 생산을 위한 초기 투자비는 적게 소요될 것으로 예상
- 기술개발 목표를 달성하기 위하여 기획위원회를 통해 국내 전문가들의 의견을 수렴하고 필요 기술의 현황 분석을 통해 기술개발 가능성을 판단함
 - 기술개발 추진 시 연구개발 주체와 성과물의 활용처 및 수요처와의 유기적 연계 확보, 실용화 방안을 구축하여 실제 적용 가능한 기술 내용을 도출함
- 기술개발을 위한 국내의 전문 인력 보유 정도, 기존 R&D 기술개발 현황 등에 대해 국내와 선진국의 현황을 분석하였으며, 분석결과 본 연구 개발을 위한 바이오항공유 관련 국제동향, 기술개발 인프라, 전문 인력 보유, 관련 업계의 인프라는 연구를 추진할 만한 수준을 갖추었다고 판단됨
 - 유사기술로서 바이오 디젤 및 바이오 중유 관련 전문 연구인력을 확보하고 있으며, 바이오항공유 관련 pilot 설비가 일시적으로 구축된 사례가 있음
 - 바이오항공유 생산에 필수적인 수소확보는 정유사를 중심으로 한 부생가스 확보가 상대적으로 용이하며 유사경험을 보유하고 있음
 - 선진국에서 이미 확보한 기술을 벤치마킹 하여 국내 실정에 맞는 국산화 기술 개발을 통해 선진국의 기술 수준의 추적이 가능함

4. 기존 연구와의 차별성

- 기존 바이오항공유 관련 연구는 원료에서 바이오항공유를 생산하기 위한 원천기술로서 실제 엔진테스트 등 품질수준에 대한 평가가 이루어지지 않았음
- 본 연구는 바이오항공유 산업화를 위한 성능평가 및 파일럿 규모 설계 단계로서 기존 연구와 차별화됨
- 본 연구의 주요 특징은 바이오항공유 제품 확보를 위한 생산기술 개발뿐만 아니라 바이오항공유 관련 이해관계자의 충분한 의견수렴과 상호 요구사항을 공유하고 지속가능한 산업 생태계 조성을 위해 정책 및 환경 기반 시스템을 구축하고자 함
 - 바이오항공유를 활용한 환경기반 시스템으로서 원료 생산 기술별 경제성 평가기술 및 공급 시스템 최적화 기술을 개발하고 온실가스 감축에 대한 정량적 지표를 확보하기 위해 원료 공정별 LCA 배출계수 개발 및 바이오항공유의 지속가능성 평가 기준을 개발하여 환경건전성 및 지속가능성을 확보할 수 있도록 함
 - 바이오항공유 관련 연구 중 환경기반시스템 및 환경건전성 평가와 이해관계자의 참여를 위한 이니셔티브 구축 사례는 최초 시도임

제4절 경제적 타당성

1. 경제적 타당성 검토 기준

- 연구개발과제 및 세부과제별 주요 내용의 경제적 타당성 검토 기준은 ① 연구개발 투자의 효율성, ② 경제적 파급효과(비용효과분석), ③ 환경비용 평가로 설정하여 국가 R&D 투자의 파급효과 및 경제성을 확보하고자 함

2. 연구개발 투자의 효율성

- 온실가스 감축기술 확보를 통한 상쇄비용 절감 및 국제 위상 제고
 - 바이오항공유 생산 상용화기술 확보는 항공부문 온실가스 감축 한계를 극복하는 최선의 기술로서 항공사가 부담해야 하는 상쇄비용을 절감할 수 있음
 - 또한 사업화기반을 확보함으로써 바이오연료 시장 확대 및 국적사 이외 외항사의 바이오항공유 수요에 충족하는 서비스를 제공 할 수 있음
 - ICAO가 각 국가에 요청하는 항공부문의 온실가스 감축 및 바이오항공유 산업활성화에 부응함으로써 항공선진국(유상운송량 세계 6위, 2016 기준) 위상 및 이사국 지위에 상응하는 조치를 이행하는 것임
 - CORSIA 이행을 위해 부담해야 하는 탄소상쇄비용이 항공요금으로 전가될 경우, 항공기 이용자가 전체 항공요금의 약 0.2 ~ 1.4% 추가 부담해야 하며, 이는 항공사의 경쟁력 저하 뿐만 아니라 항공기를 이용하는 국민의 부담으로 전가될 수 있음
- 바이오항공유 인증기술 확보는 국제 기준에 부합하는 인증체계를 확보하고 아시아 지역의 전문성있는 대표인증기관을 확보하는 것임
 - 연료인증기술은 바이오항공유 사용을 위한 필수요소로서 제품 표준화 기술에 해당
- 환경기반 시스템 구축은 제도·표준화를 통한 바이오항공유 산업 생태계조성의 객관성 및 지속가능성 확보
 - LCA기반의 환경성 및 지속가능성 평가 기술은 국내 상황을 반영한 고유 방법론을 개발하여 자료의 객관성 확보함으로써 해외 자료 사용으로 인한 오차를 최소화
 - 경제성 모델은 바이오항공유 생산을 위한 다양한 원료 및 전환공정에 적용함으로써 향후 바이오항공유 산업 확장에 반영할 수 있으며, 바이오디젤이나 바이오중유에 확대 적용함으로써 객관적 지표를 확보할 수 있음

- 바이오항공유 생산 상용화 기술확보 및 환경기반 시스템 구축은 국내 바이오항공유 산업생태계를 조성하는 것으로서 경제적 파급효과와 직결

3. 경제적 파급효과(비용효과분석)

가. 바이오항공유 산업의 특징과 온실가스 감축 의무 이행 비용

- 바이오항공유 생산 상업화 기술 확보 및 환경기반 시스템 구축은 즉시 사업화 경제효과를 얻을 수 있으므로 현재 추정되는 시장규모가 직접 경제적 파급효과에 반영 됨
- 항공기 운항 특성 상, 연료 급유는 항공기 이/착륙 중량 규정에 따라 급유량을 결정하기 때문에 정해진 공항에서 정해진 양을 공급하는 체계임
 - 연료의 종류나 연료 공급사의 선택은 가능하기 때문에 바이오항공유 공급 서비스 확보는 변동성이 매우 적은 수요시장 특징을 가지고 있음
- 2021년부터 CORSIA 이행이 확정됨에 따라 국내 항공사는 온실가스 상쇄의무량을 할당받아 이행해야 함
 - 온실가스 상쇄 의무량 이행을 위해서는 배출권을 구매하거나 바이오항공유를 상요하는 방안 중에 선택해야 함
- 국내 항공사가 상쇄배출권을 구매하여 상쇄의무를 이행할 경우, 부담해야 하는 감축량에 따라 상쇄비용은 약 1.1 ~ 5.1조로 예상²⁸⁾되며 항공사는 바이오항공유를 사용하는 시점에 따라 상쇄비용 이 차등 절감
 - 바이오 항공유 상용서비스의 개시를 2026년 이후인 경우 10년간 소요되는 상쇄비용은 약 1.0 ~ 4.6조이며, 바이오항공유를 사용할 경우 전량 절감가능 (배출권가격이 후반으로 갈수록 상승)
 - 국외 운항에 따른 해외 급유를 고려하더라도, 국내 바이오항공유 공급에 따른 항공사의 탄소상쇄비용 절감은 최소 4.8천억원으로 예상
 - 항공사의 탄소상쇄비용 부담이 항공요금에 반영 될 경우, 항공기 이용자가 부담하게 되는 비용은 약 0.2 ~ 1.4%를 차지할 것으로 예상
- 국내 항공유 소비량(수출량 제외)은 2035년에 항공수요 성장률 기준 약 11백만kL, 과거 추세기준 약 8백만 kL로 전망되며 국내 RFS (혼합비율 최대 3%) 제도 및 ICAO Vision (혼합비율 최대 32%)를 적용하였을 때, 2035년의 바이오항공유 시장은 1천억 ~ 1.2조원의 시장으로 전망됨

28) CORSIA 이행기간('21~'35년) 동안 국적 항공사의 상쇄요구량은 장래항공수요예측기반 및 국제항공 국가이행계획 기반으로 예측한 성장률을 반영하였고, 탄소상쇄비용은 IEA 상쇄배출권 시나리오를 적용

- 국내 정유사의 바이오항공유 생산 및 상용 공급 가능할 경우, 국적 항공사 이외의 외항사를 포함하여 2026년 이후 10년간 누적 2백만 ~ 13.6백만KL의 항공유 판매량을 확보할 수 있음

나. 비용효과분석

(1) 비용효과 분석을 위한 대안 설정

- 바이오항공유의 사용은 기존 화석연료기반의 상용항공유를 대체함과 동시에 온실가스 감축의무를 이행에 활용
- 본 연구개발은 5년간 연구비 193.5억원 및 연구인력 370명이 투입되어 바이오항공유 생산기술 및 정책, 환경기반 시스템 최적화 기술을 확보하는 것으로서 연구 성과의 활용단계(2026년 이후)부터는 국내 항공사의 온실가스 감축목표 이행 및 해외 항공사의 연료공급 확대가 가능
- 현재 바이오항공유의 생산단가는 상용항공유에 비해 2~3배의 공급가격을 가지고 있으며 해외에서는 빠른 속도로 생산단가가 낮아지고 있는 바, 본 연구개발을 통해 경쟁력 있는 바이오항공유 공급가격을 확보하는 것이 중요
- CORSIA 이행에 따른 항공사의 온실가스 상쇄비용을 기준으로 바이오항공유 사용에 따른 비용효과분석을 위한 대안을 설정
 - CORSIA 이행이 2035년까지 계획되어 있으므로 시간적 범위는 2035년까지 설정
 - 본 연구개발 기술을 도입하여 CORSIA 감축목표 달성을 하는 경우와 국내에서 해당 기술이 적용되지 않는 경우로 구분하여 대안을 설정
- 바이오항공유의 한계저감비용이 상쇄배출권 가격과 비교하여 상쇄배출권가격이 적은 경우 항공사는 의무 이행을 위해 상쇄배출권을 구매할 것이므로 바이오항공유의 한계저감비용과 상쇄배출권가격과의 경쟁에 따라 세분류 대안을 설정
 - 바이오항공유의 한계저감비용은 바이오항공유 사용에 따른 초과 비용 대비 화석연료를 대체함에 따른 온실가스 감축효과로 표시 (바이오항공유 사용을 통해 온실가스 1톤 감축하는데 소요되는 비용)
 - 상용항공유 대비 바이오항공유 공급가격이 1.1배인 경우, 바이오항공유 사용에 따른 한계저감비용은 26천원/tonCO₂ (상용항공유 가격 L당 700원 적용, 2018년 12월 싱가포르 국제항공유가 반영)이며, 따라서 항공사는 바이오항공유의 공급가격(정부 인센티브 포함)이 기존 상용항공유 대비 1.1배 이상인 경우 26천원 이하의 상쇄배출권을 구매하는 것이 유리

- 상쇄배출권가격은 IEA가 제시한 고가 및 저가의 산술평균가격을 적용 (표 6-23)

〈표 7-6〉 비용효과분석을 위한 연도별 적용 상쇄배출권가격

연도	만원/톤		
	고가	저가	평균
2021	2.4	1.0	1.7
2022	2.5	1.0	1.8
2023	2.7	1.1	1.9
2024	2.8	1.2	2.0
2025	3.0	1.3	2.1
2026	3.1	1.4	2.2
2027	3.2	1.4	2.3
2028	3.4	1.5	2.5
2029	3.5	1.6	2.6
2030	3.7	1.7	2.7
2031	3.8	1.8	2.8
2032	4.0	1.9	2.9
2033	4.1	2.0	3.1
2034	4.3	2.1	3.2
2035	4.5	2.2	3.3

- CASE 1는 2025년 이후 국내 바이오항공유 공급이 가능하다는 조건으로서 항공사가 필요한 상쇄요구량에 해당하는 바이오항공유를 급유하는 경우로서 해외 공항에서 급유를 포함
 - 바이오항공유 공급가격이 기존 상용항공유와 동일한 조건으로서 정부의 바이오항공유 사용에 따른 인센티브를 포함
- CASE 2는 상쇄배출권가격이 상승함에 따라 바이오항공유의 한계저감비용보다 높아지는 시점(2029년)부터 국내외 공항에서 바이오항공유를 급유하여 온실가스 상쇄의무를 준수하는 경우
- CASE 3는 국내에서 바이오항공유 공급이 없는 경우로서 국내 항공사가 해외 공항에서 바이오항공유를 급유하여 국내로 운항
 - 항공기의 급유량은 이·착륙 규정에 따라 최대이륙중량 및 최소 착륙중량을 준수해야 함에 따라 정해진 공항에서 정해진 양을 공급하므로, 국내도착분에 대해서만 바이오항공유 급유가 가능
 - CASE2와 동일하게 상쇄배출권가격을 고려하여 2029년부터 국내도착노선에 적용하며, 급유 가능한 국가는 현재 급유가능한 미국 및 유럽과 2020년 이후 바이오항공유

급유를 목표로 하는 일본을 대상으로 산정

- 국내 항공사의 미국, 유럽 일본 노선은 온실가스 배출량으로서 약 42%를 차지하고 있으며, 이중 국내 도착분으로서 21%에 대해서만 온실가스 감축이 발생하는 것으로 가정
- CASE 4는 바이오항공유를 사용하지 않고 탄소상쇄배출권을 구매하여 상쇄의무를 준수하는 경우로서, IEA에서 제시한 상쇄배출권 고가 및 저가의 산술평균값을 기간별로 적용

<표 7-7> 비용효과분석을 위한 분류별 대안 내용

중분류	세분류	구분
해당 기술을 도입해서 감축목표를 달성하는 경우의 감축 비용	국내 항공사가 CORSIA감축목표 달성을 위해 2026년부터 바이오 항공유를 모두 사용하는 경우 (바이오항공유 한계저감비용 < 상쇄 배출권가격)	Case1
	국내 항공사가 바이오 항공유 한계저감비용 이하의 상쇄배출권을 우선 구매하고 부족한 감축 목표 달성을 위해 바이오 항공유를 사용하는 경우(바이오 항공유 한계저감비용 > 상쇄배출권가격)	Case2
해당 기술 외의 감축 수단을 활용해서 감축목표를 달성하는 경우의 감축 비용	국내 항공사가 해외 공항에서 바이오 항공유를 우선 사용하고 상쇄배출권을 구매하는 경우 (바이오 항공유 한계저감비용 < 상쇄 배출권가격, 바이오 항공유 급유가능지역을 미주, 구주 및 일본으로 한정)	Case3
	국내 항공사가 CORSIA감축목표 달성을 위해 상쇄배출권을 구매하는 경우 (바이오 항공유 한계저감비용 > 상쇄배출권 가격)	Case4

(1) 비용효과 분석 결과

- CASE 1 : 국내 바이오항공유 공급이 2026년부터이므로, 2021년부터 2025년까지 5년간은 의무이행을 위해 상쇄배출권을 구매하여 의무를 준수하며 약 3.3천억 소요
- CASE 2 : 국내 바이오항공유 공급이 이루어지더라도 한계저감비용이 26천원 이하가 되는 2029년 이후부터 사용할 경우, 2021년부터 2028년까지는 8.9천억원의 상쇄배출권 구매비용이 소요되며, 이후 바이오항공유를 사용함에 따라 24.5천억이 소요됨에 따라 총 의무 이행비용은 33.4천억원 소요
- CASE 3 : 해외 바이오항공유 공급가능국가에서 한계저감비용 미만의 바이오항공유 공급이 2029년 이후이므로 2028년까지 상쇄배출권구매비용은 8.9천억원이 소요되고 해외 바이오항공유 공급이 가능한 국가인 미국, 유럽 및 일본 운항편의 한국 도착편에 대해서 바이오항공유를 적용할 경우, 27.7천억원이 소요됨에 따라 총 의무이행비용은 36.6천억원 소요

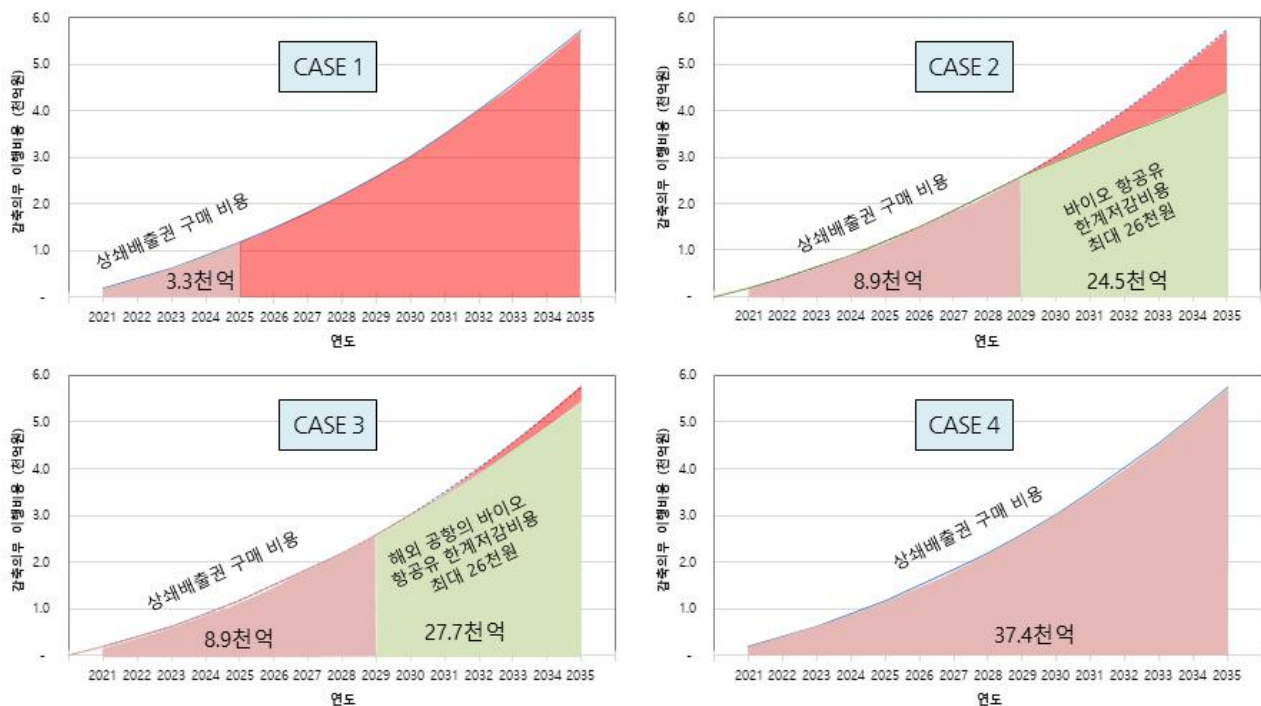
- CASE 4 : 항공사가 온실가스 상쇄의무 이행의 수단으로서 상쇄배출권구매만을 적용할 경우 CORSIA 이행기간인 15년간 총 37.4천억원이 소요

〈표 7-8〉 온실가스 상쇄의무 이행을 위한 연도별 소요비용 (CASE 1 및 CASE 2)

연도	①상쇄배출권가격 (만원/톤)	②상쇄요구량 (백만톤/연)	CASE 1	CASE2		비고
			③의무준수비용 (억원=①X②)	④상쇄배출권가격 및 한계저감비용 (만원/톤)	⑤의무준수 비용(억원=②X④)	
2021	1.7	1.1	187	1.7	187	CASE 1 : 2025년까지 상쇄배출구매
2022	1.8	2.2	399	1.8	399	
2023	1.9	3.4	637	1.9	637	
2024	2.0	4.5	900	2.0	900	
2025	2.1	5.6	1,188	2.1	1,188	
2026	2.2	6.7	-	2.2	1,499	
2027	2.3	7.9	-	2.3	1,837	CASE 2 : 2029년부터 한계저감비용 26천원 적용
2028	2.5	9.0	-	2.5	2,203	
2029	2.6	10.1	-	2.6	2,598	
2030	2.7	11.3	-	2.6	2,895	
2031	2.8	12.5	-	2.6	3,201	
2032	2.9	13.7	-	2.6	3,503	
2033	3.1	14.8	-	2.6	3,804	
2034	3.2	16.0	-	2.6	4,103	
2035	3.3	17.2	-	2.6	4,400	
합계			3,311		33,355	

〈표 7-9〉 온실가스 상쇄의무 이행을 위한 연도별 소요비용 (CASE 3 및 CASE 4)

연도	CASE3			CASE4			비고
	①상쇄배출권가격 및한계저감비용 (만원/톤)	②상쇄요구량 (백만톤/연)	③의무준수 비용(억원= ①X②)	④상쇄배출권가격 (만원/톤)	⑤상쇄요구량 (백만톤/연)	⑥의무준수 비용(억원= ④X⑤)	
2021	1.7	1.1	187	1.7	1.1	187	CASE 3 : 2029년부터 ③상쇄요구량의 21%를 차감(해외 바이오항공유 급유)하고 21%에 대한 추가비용 (한계저감비용 26천원/톤) 적용
2022	1.8	2.2	399	1.8	2.2	399	
2023	1.9	3.4	637	1.9	3.4	637	
2024	2.0	4.5	900	2.0	4.5	900	
2025	2.1	5.6	1,188	2.1	5.6	1,188	
2026	2.2	6.7	1,499	2.2	6.7	1,499	
2027	2.3	7.9	1,837	2.3	7.9	1,837	
2028	2.5	9.0	2,203	2.5	9.0	2,203	
2029	2.6	8.0	2,598	2.6	10.1	2,598	
2030	2.7	8.9	2,995	2.7	11.3	3,021	
2031	2.8	9.9	3,442	2.8	12.5	3,507	
2032	2.9	10.8	3,912	2.9	13.7	4,021	
2033	3.1	11.7	4,405	3.1	14.8	4,565	
2034	3.2	12.7	4,920	3.2	16.0	5,138	
2035	3.3	13.6	5,458	3.3	17.2	5,739	
합계			36,581			37,439	



<그림 7-8> 온실가스 상쇄의무 이행을 위한 연도별, 대안별 소요비용

- 결론적으로, 국내에서 바이오항공유를 한계저감비용 26천원 수준으로 공급할 경우 (CASE 2), 해외에서 급유하여 돌아오는 경우(CASE 3)보다 약 3.2천억 효과적이며, 바이오항공유를 사용하지 않는 경우(CASE 4) 보다 약 4.1천억 효과적으로 분석

4. 환경비용 평가

- 바이오항공유 사용에 따른 국적항공사의 온실가스 감축량은 CORSIA 이행기간 내 상쇄의무감축량으로 예상되는 94.6백만톤 ~ 136.0백만톤 중, 상용서비스를 2026년부터 이용하면 최대 119.2백만톤을 절감할 수 있음
- 국내 배출권거래제도의 배출권가격(약 1톤당 20천원)을 적용할 경우, 약 2.4조의 탄소 감축비용을 절감할 수 있음
- 바이오항공유 생산을 위한 원료 확보 측면에서도 폐자원을 활용할 경우 폐기물 처리 비용을 추가적으로 절감할 수 있음
- 바이오항공유 생산기술 확보는 해외 기술에 대한 로열티를 절감할 수 있으며 정유기술과 함께 해외 수출이 가능

제8장 소요예산 산정

제8장 소요예산 산정

제1절 인력투입계획

1. 전체과제 인력투입계획

- 연구일정에 따른 인력투입 계획을 수립하기 위하여 세부구성기술과제별로 투입되는 연구인력을 산정하고 이를 토대로 세부과제의 투입인력을 산정하여 총 소요인력 규모를 확정함
- 세부과제별 연구내용을 근거로 과제수행에 필요한 소요인력을 취합하여 분석함
- 전체과제 수행을 위해 투입되는 인력은 5년의 연구기간동안 총 370명의 인력이 투입될 계획임

<표 8-1> 연차별 총 투입 연구인력

(단위: 명)

구분	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	합계
1세부과제	20	40	35	35	15	145
2세부과제	45	45	55	45	35	225
총 합계	65	85	90	80	50	370

2. 세부과제별 상세 인력투입계획

가. 1세부과제

<표 8-2> 1세부과제 연차별 투입 연구인력

(단위: 명)

세부기술	연구활동	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	합계
1-1. OTJ (Oil-to-Jet) 생산기술	1-1-1.OTJ (Oil-to-Jet) 생산기술 개발	20	20	15	15	15	85
1-2. 바이오항공유 품질 표준화	1-2-1.바이오항공유 분석기술과 품질관리 시스템 개발	0	20	20	20	0	60
합계		20	40	35	35	15	145

나. 2세부과제

<표 8-3> 2세부과제 연차별 투입 연구인력

(단위: 명)

세부기술	연구활동	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	합계
2-1. 바이오항공유 이용기반 제도	2-1-1. 바이오항공유 국내 이용기반 정책 및 제도 개발	0	0	10	10	10	30
2-2. 환경기반 시스템 최적화	2-2-1. 원료생산 기술별 경제성 평가 기술 개발	10	10	10	10	0	40
	2-2-2. 바이오항공유 공급시스템 최적화 연구	0	0	0	10	10	20
	2-2-3. 지속가능 항공대체연료 이니셔티브 구축	15	15	15	15	15	75
2-3. 환경건전성 평가	2-3-1. 원료 공정별 LCA 배출계수 개발	10	10	10	0	0	30
	2-3-2. 바이오항공유지속가능성 평가기준 개발	10	10	10	0	0	30
합계		45	45	55	45	35	225

제2절 소요예산 산정

1. 예산 산정방법

- 세부과제별 최소 연구단위인 세부구성 기술과제를 수행하는데 소요되는 필요비용을 산정함. 이를 토대로 세부과제와 총괄과제의 연구비를 산정하여 총 사업예산 규모를 산출함
- 인건비 작성: 세부기술의 연구활동별/연차별 투입인원수, 참여기간, 참여율 등 인건비를 산정하며, 투입인원수는 책임연구원급(교수급) 기준으로 산정하고 인건비 단가는 '18년 학술연구용역인건비 기준단가'의 책임연구원 기준으로 월 6,338천원으로 산정
- 연구시설/장비비: 해당연구에 사용할 수 있는 기기·장비로 본 과제에서는 기술을 개발하기 위한 장비 및 비용으로 전문가 자문을 바탕으로 작성
- 시작품 제작비: 시제품, 시작품의 제작경비로 연구 성과물을 산출하기 위해 소요되는 비용
- 연구재료비: 시약·재료 구입비 및 전산 처리·관리비로 본 과제에서는 해당되는 1세부과제에만 산정
- 기타경비 및 간접비는 연구비 표준식을 통해 작성
 - 기타경비 및 간접비 = 세부과제 연구비(표준식) - 인건비 - 연구장비재료비
 - 소프트웨어 성과물 표준식: $1.684 \times \text{인건비} + 0.981 \times \text{연구장비재료비} - 36\text{백만원}$

2. 소요예산 산정

- 과제별 예산은 정부출연과 민간부담을 구분하지 않고 연구성과 달성을 위해 필요한 소요 예산을 작성하였으며, 인건비, 연구장비재료비, 기타 경비 및 간접비로 구분하여 산정하였음
- 인건비와 직접비는 각 세부구성기술과제 단위별 연구내용, 연구 성과물을 기초로 예산을 산출하고, 과제별 최종성과물 도출을 고려하여 예산을 배분함

가. 총 연구비

(단위: 백만원)

구분	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	합계
1세부과제	2,338	3,179	3,014	2,751	2,355	13,637
2세부과제	1,117	1,117	1,373	1,181	924	5,712
합계	3,455	4,296	4,387	3,932	3,279	19,349

나. 1세부과제

(1) 총괄 연구비

(단위: 백만원)

구분	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	합계
인건비	761	1,293	1,103	1,103	570	4,830
연구장비재료비	920	1,014	1,582	958	1,320	5,794
기타경비 및 간접비	467	829	688	700	329	3,013
합계	2,148	3,136	3,373	2,761	2,219	13,637

(2) 인건비

(단위: 백만원)

세부기술별 연구활동	연구기간	수행연도	① 투입 인원수	② 참여기간 (개월수)	③ 참여율 (%)	④ M/M 산출 (①x②x③)	인건비 단가	⑥ 인건비 (④ x 인건비단가)
1-1 OTJ(Oil-to-Jet) 생산기술	소계							3,232,380
1-1-1. OTJ(Oil-to-Jet) 생산기술 개발	5년	1차년도	20	12	50%	120	6,338	760,560
		2차년도	20	12	50%	120	6,338	760,560
		3차년도	15	12	50%	90	6,338	570,420
		4차년도	15	12	50%	90	6,338	570,420
		5차년도	15	12	50%	90	6,338	570,420
1-2 바이오항공유 품질 표준화	소계							1,597,176
1-2-1. 바이오항공유 분석기술과 품질관리 시스템 개발	3년	2차년도	20	12	35%	84	6,338	532,392
		3차년도	20	12	35%	84	6,338	532,392
		4차년도	20	12	35%	84	6,338	532,392

(3) 연구장비재료비

세부기술별 연구활동	연구기간	수행연도	연구시설 및 장비비(3천만원 이상)					연구시설 및 장비비(3천만원 이하)					
			품명	규격	수량	단가	소계	품명	규격	수량	단가	소계	
1-1 OTJ(Oil-to-Jet) 생산기술	1-1-1. OTJ(Oil-to-Jet) 생산기술 개발												
		5년	1차년도	분석시스템1	분석용	1	100,000	100,000	소모품	분석시스템 소모품	1	20,000	20,000
			2차년도	분석시스템2	분석용	2	50,000	100,000	소모품	분석시스템 소모품	1	20,000	20,000
			3차년도	-	-	-	-	-	소모품	분석시스템 소모품	1	20,000	20,000
			4차년도	-	-	-	-	-	소모품	분석시스템 소모품	1	20,000	20,000
			5차년도	-	-	-	-	-	소모품	분석시스템 소모품	1	20,000	20,000
1-2 바이오항공유 품질 표준화	1-2-1. 바이오항공유 분석기술과 품질관리 시스템 개발												
		3년	2차년도	품질분석장비	바이오항공유혼합연료유 머캡탄 분석 장비	1	90,000	90,000	안정성평가 시설	혼합연료저장 안정성평가 장비	2	27,000	54,000
			3차년도	품질분석장비	바이오항공유염소분 분석 시설	1	150,000	150,000	안정성평가 시설	재질부식성평가 장비	1	28,000	28,000
				품질분석장비	바이오항공유산화안정도 장비	1	100,000	100,000	안정성평가 시설	첨가제성능평가 장비	2	28,000	56,000
				품질분석장비	바이오항공유내수분 함량 측정 장비	1	60,000	60,000	식별시스템 시설	식별시스템연구시설	1	28,000	28,000
				4차년도	품질분석장비	바이오항공유내성분분석 장비(MS)	1	80,000	80,000	분석시스템	분석시스템보조장비	1	28,000

세부기술별 연구활동	연구기간	수행연도	시작품 제작비					연구재료비					연구장비 재료비 합계
			품명	규격	수량	단가	소계	품명	규격	수량	단가	소계	
1-1 OTJ(Oil-to-Jet) 생산기술													4,900,000
1-1-1. OTJ(Oil-to-Jet) 생산기술 개발	5년	1차 년도	원료 저장/ 공급	원료, 저장, 공급, 순환 및 재순환, 버퍼저장, 부스터 등	1	500,000	500,000	원료비	식물성 오일, 수소, 촉매제조 등	1	300,000	300,000	920,000
		2차 년도	촉매 플랜 트	식물성 오일 전환 및 오일 업그레이딩 촉매 공정	1	400,000	400,000	원료비	식물성 오일, 수소, 촉매제조 등	1	300,000	300,000	820,000
		3차 년도	후처 리	수득물 정제 및 분리공정 포함 후처리	1	700,000	700,000	원료비	식물성 오일, 수소, 촉매제조 등	1	300,000	300,000	1,020,000
		4차 년도	제어 부	공정/플랜트 제어시스템	1	200,000	200,000	원료비	식물성 오일, 수소, 촉매제조 등	1	600,000	600,000	820,000
		5차 년도	기타	부대시설 유지보수	1	700,000	700,000	원료비	식물성 오일, 수소, 촉매제조 등	1	600,000	600,000	1,320,000
1-2 바이오항공유 품질 표준화													894,000
1-2-1. 바이오항공유 분석기술과 품질관리 시스템 개발	3년	2차 년도	-	-	-	-	-	재료비	시약비, 초자비 등	1	50,000	50,000	194,000
		3차 년도	-	-	-	-	-	재료비	첨가제 개발 재료비, 시약비 등	1	60,000	60,000	238,000
			-	-	-	-	-	재료비	품질평가용 재료비, 시약비 등	1	40,000	40,000	196,000
			-	-	-	-	-	재료비	기기칼럼, 초자비 등	1	40,000	40,000	128,000
		4차 년도	-	-	-	-	-	재료비	일반 재료비 등	1	30,000	30,000	138,000

다. 2세부과제

(1) 총괄 연구비

(단위: 백만원)

구분	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	합계
인건비	685	685	837	723	570	3,500
연구장비재료비	0	0	0	0	0	0
기타경비 및 간접비	432	432	536	458	354	2,212
합계	1,117	1,117	1,373	1,181	924	5,712

(2) 인건비

(단위: 백만원)

세부기술별 연구활동	연구기간	수행연도	① 투입인원수	② 취업기간(개월수)	③ 참여율(%)	④ M/M 산출 (①×②×③)	건비단가	⑥ 인건비 (④×⑤) 인건비단가
2-1 바이오항공유 이용기반 제도	소계							456,336
2-1-1. 바이오항공유 국내 이용기반 정책 및 제도 개발	3년	3차년도	10	12	20%	24	6,338	152,112
		4차년도	10	12	20%	24	6,338	152,112
		5차년도	10	12	20%	24	6,338	152,112
2-2 환경기반 시스템 최적화	소계							2,129,568
2-2-1. 원료생산 기술별 경제성 평가 기술 개발	4년	1차년도	10	12	20%	24	6,338	152,112
		2차년도	10	12	20%	24	6,338	152,112
		3차년도	10	12	20%	24	6,338	152,112
		4차년도	10	12	20%	24	6,338	152,112
2-2-2. 바이오항공유 공급시스템 최적화 연구	2년	4차년도	10	12	25%	30	6,338	190,140
		5차년도	10	12	25%	30	6,338	190,140
2-2-3. 지속가능 항공대체연료 이니셔티브 구축	5년	1차년도	15	12	20%	36	6,338	228,168
		2차년도	15	12	20%	36	6,338	228,168
		3차년도	15	12	20%	36	6,338	228,168
		4차년도	15	12	20%	36	6,338	228,168
		5차년도	15	12	20%	36	6,338	228,168

(단위: 백만원)

세부기술별 연구활동	연구 기간	수행 연도	① 투입 인원수	② 참여 기간 (개월 수)	③ 참여율 (%)	④ M/M 산출 (①x②x ③)	건비 단가	⑥ 인건비 (④x 인건비단가)
2-3 환경건전성 평가	소계							912,672
2-3-1. 원료 공정별 LCA 배출계수 개발	3년	1차 년도	10	12	20%	24	6,338	152,112
		2차 년도	10	12	20%	24	6,338	152,112
		3차 년도	10	12	20%	24	6,338	152,112
	3년	1차 년도	10	12	20%	24	6,338	152,112
		2차 년도	10	12	20%	24	6,338	152,112
		3차 년도	10	12	20%	24	6,338	152,112

(3) 연구장비재료비

해당없음

제3절 예산적정성 검토

1. 예산계획 수립체계 및 과정의 적절성

- 각 세부과제별로 유사 과제분석 및 관련분야 전문가들의 의견을 수렴하여 예산을 산정하였으며, 각 세부과제의 연구 규모 및 연구 특성(현장, 실내 등)을 고려하여 각 단위 후보과제의 적정 비용을 도출 및 예산을 산출하여, 체계적으로 예산계획이 수립된 것으로 판단됨
- 기획단계에서 수립된 총 소요예산은 개략적인 것으로서, 향후 실질적인 민간부담금 비율 등을 고려하여 세부적인 소요예산을 연구 추진단계에서 보다 구체적으로 수립하여야 함

2. 과제별 예산 작성 및 배분의 합리성

- 각 과제별 정부지원 및 민간 예산을 연차별로 구분하고, 인건비, 연구장비재료비, 간접비를 세부적으로 구분해서 제시하여 각 연구에 소요되는 예산이 비교적 명확하게 제시된 것으로 분석됨
- 인건비는 실내 분석뿐만 아니라 현장 연구 등을 종합적으로 고려하여 수행되어야 한다는 점을 고려하여 연구 활동별, 연차별 투입인원수를 산정하여 책임연구원급 기준으로 산정하였으며, 연구장비재료비는 해당되는 과제에 한하여 실제 소요되는 연구시설 및 장비비, 시약품 제작비, 연구재료비로 구분하여 산정함
- 1세부과제는 현장 중심의 연구가 집중적으로 수행되는 만큼 인건비의 참여보다는 직접 경비(장비, 재료비)의 비중을 높여 현장 중심의 연구가 충실히 이루어질 수 있도록 예산을 구성함

3. 인력투입 및 확보 계획의 적절성

- 총 과제 수행기간인 5차 년도에 걸쳐 본 연구 수행을 위한 총 소요 연구 인력은 370명으로 세부과제별, 세세부과제별 투입 연구인력을 연구일정에 맞추어 제시하고 있음
- 실제 연구소요 인력의 경우 향후 연구추진 단계에서 이를 보다 구체화하여 수립해야 함

제9장 과제공모 방안

제9장 과제공모 방안

제1절 운영체계 및 추진방안

1. 운영체계

- 기존의 해외 사례 분석 및 국내 현황을 파악한 결과 바이오항공유 산업은 크게는 항공유 산업에 속하는 것으로 항공유 생산 산업 및 기술개발을 주도하고 있는 산업통상자원부의 역할이 필수적이며, 바이오항공유 이용에 따른 온실가스 감축 제도 구축의 경우 환경부의 역할이 포함되어야 함
- 공급망 전반에 걸친 기술별로 살펴보면, 바이오항공유 생산에서 인증단계까지의 기술개발의 경우 산업통상자원부, 바이오항공유 공급을 위한 설비 구축 및 이니셔티브 구축 등의 기본 인프라 구축은 국토교통부의 역할이 중요하고, 바이오항공유 이용에 따른 항공부문 온실가스 감축 관련 제도 및 정책 분야의 경우 국토교통부와 환경부의 공동 역할이 중요함

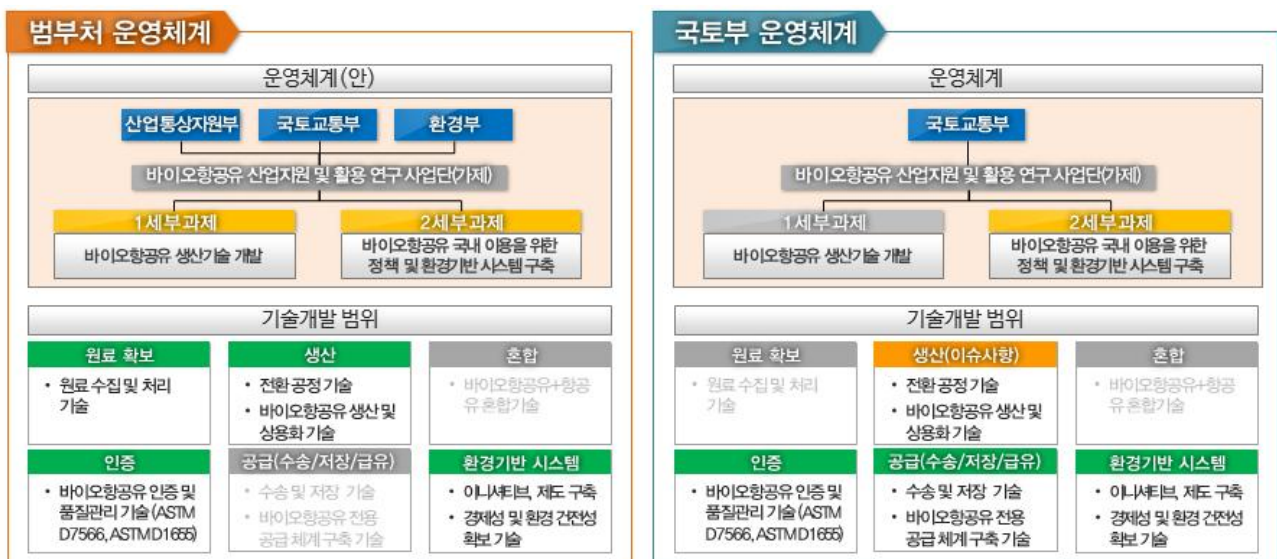


<그림 9-1> 바이오항공유 기술분야에 따른 관련 부처 현황

- 따라서 국내 바이오항공유 산업 지원을 위한 연구개발을 위해서는 현재 국내에서 보유하고 있는 바이오항공유 생산 원천기술을 기반으로 바이오항공유 생산부터 이용까

지 전반에 걸친 연구개발 운영체계 구축을 통해 진행할 필요가 있음

- 연구개발 운영체계는 범부처 운영체계 및 국토부 단일 운영체계를 고려할 필요가 있음
- 범부처 운영체계는 바이오항공유 생산에서 이용까지 담당부처 연계를 통한 일원화된 연구개발 체계로서 기술개발이 필요한 바이오항공유 생산 및 상용화 기술, 인증 및 품질관리기술, 이니셔티브 및 제도 구축, 경제성 및 환경건전성 확보기술이 기술개발 범위에 포함됨
- 국토교통부 단일 운영체계의 경우 일부 인증 및 공급, 환경기반 시스템 기술개발 범위를 포함할 수 있으며, 생산기술의 경우 기술개발의 어려움이 발생할 수 있음
- 따라서 국내 바이오항공유 산업지원을 위한 본과제 운영체계는 바이오항공유 생산부터 환경기반시스템 분야를 모두 포함하여 기술개발이 이루어질수 있도록 일원화된 연구개발 체계인 범부처 운영체계가 적합할 것으로 판단됨



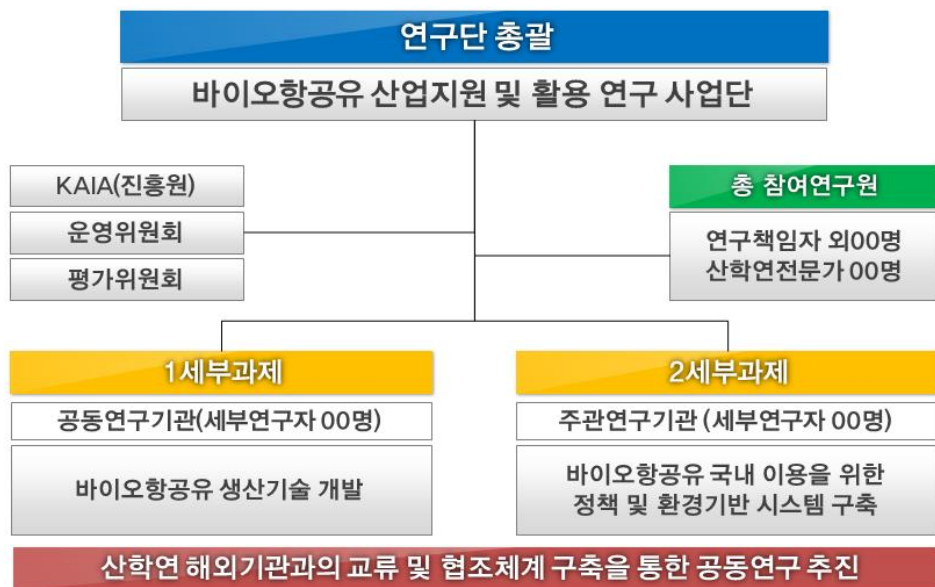
〈그림 9-2〉 과제공모를 위한 연구개발 운영체계(안)

2. 추진방식 및 추진단계

- 바이오항공유 산업지원 및 활용 본과제를 체계적이고 과학적으로 관리하기 위한 핵심 요소기술을 개발하고 이를 유기적으로 연계하여 국내 바이오항공유 이용기반 구축 방안을 마련하는 과제로서 연구의 목적과 최종결과물의 성격상 일체형 기술을 총괄주관 기관 주도하에 연구진행이 가능한 통합형 과제고 구성하는 것이 적합하며, 장기적이

고 집중적인 투자가 필요한 연구기술 개발로서 “연구단 수준”의 추진체계를 구성하여 추진하는 것이 적합할 것으로 판단됨

- 또한 연구과제의 연구단은 바이오항공유 생산 기술 개발 및 실증용 플랜트 개발, 제도 및 표준화 등을 포함한 다양한 성격의 연구를 총괄해야하므로 바이오항공유 생산 기술을 실용화 단계까지 확대할 수 있는 기술을 확보하고 있는 민간 기업을 포함하여 산·학·연간의 유연한 연계가 추진 가능하도록 조직을 구성해야 함
- 바이오항공유 생산기술 개발은 원천기술 확보 이후 실증용 설비 구축이 필요하므로 관련 기술을 확보 하고 있는 민간기업의 참여가 필수적이며, 바이오항공유 상용화를 현재 추진하고 있는 해외 기관과의 교류 및 협조체계를 구축하여 공동연구를 추진할 필요가 있음



<그림 9-3> 연구단 연구추진체계

- 과제 추진단계는 개발기술의 조기상용화를 위해 해외 기술 수준 및 국내 바이오항공유 생산 원천기술을 활용하여 실증화 단계(Test-bed)로 추진하는 것이 적합함

제2절 과제 제안요구서(안)

1. 총괄과제

연구과제명	국내 바이오항공유 산업 지원 및 활용
1. 연구개발 목표	○ 국내 바이오항공유 생산 기술확보와 더불어 정책 및 공급망 구축을 통한 국내 바이오항공유 이용기반 구축 ○ 기 확보된 원천기술을 활용하여 데모 플랜트 규모 이상의 실증용 바이오항공유 제조 공정/시스템 구현과정에 필요한 기반기술을 공급하는 일련의 과정으로 파일럿 규모 연구개발 단계에서 기 확보한 설계-구축-운전 노하우를 체계화하여 운전매뉴얼 및 개념/기본설계 결과물로 도출하여, 이를 기술수요기업에서 수행하는 실증용 공정/시스템의 상세설계-구축-운전 과정에서 연계-제공할 수 있는 기반기술로 활용함 ○ 바이오항공유 생산-유통-사용의 전주기 품질관리 체계 구축 및 바이오항공유 상용화를 위한 인증체계 구축 ○ 바이오항공유 국내 이용을 위한 인센티브 및 지원 정책 제안을 통하여 국내 바이오항공유 이용기반을 구축하고 바이오항공유 원료생산 기술에 따른 경제성 평가 모델 및 공급시스템 최적화 기술 개발을 통하여 관련 산업계 지원 ○ 또한 원료생산기술에 따른 경제성 평가 모델을 개발 보급함으로써 원료생산 기술에 따른 성공가능성 및 경제적 파급 효과 추정을 용이토록 지원 ○ 항공부문 온실가스 감축 제도 운영에 따른 해외 및 국내 바이오항공유 공급 및 수요 시장 참여확대를 위하여 지속가능 항공대체연료 이니셔티브 구축 운영하고 국제 기준에 부합하는 지속가능성 인증 기준 마련
2. 연구개발 필요성	○ 국제기구인 ICAO를 중심으로 항공부문 온실가스 감축노력이 증대되고, 온실가스 감축수단으로 바이오항공유 생산개발이 대두됨에 따라 각 국가 및 국제기구들은 바이오항공유 개발정책에 적극적임 ○ 해외 바이오항공유 사용정책에 따라 국내에서도 바이오항공유 공급가능 시기가 임박했음에도 불구하고, 상용급 공정/시스템 기술을 기 확보한 국외

기술수준에 비해 국내 기술수준이 미비한 실정임

- 해외 바이오항공유 사용 정책이 적극적으로 진행됨에 따라 시급해진 바이오항공유 생산 및 활용 인프라 구축 분야에 대하여 상대적으로 국외보다 미비한 국내 환경을 적극적인 정부지원을 통해 환기시킴으로써 관련 기술 개발기간 단축과 더불어, 기술수요기업의 적극 참여를 유도할 필요가 있음

3. 연구개발 내용

□ 세부연구내용 1. 바이오항공유 생산기술개발

- OTJ(Oil-to-Jet) 생산기술 개발
 - 원료수급 및 상용화 가능한 바이오항공유 제조기술 확보
 - 파일롯 규모 확보기술 활용 상용화 대상 기술수요기업에 대한 기술공급 체계 확보
 - 파일롯 규모 바이오항공유 제조 공정/시스템 설계-구축-운전 노하우 체계화
 - 실증용 바이오항공유 제조/공정 시스템 스케일-업 설계-운전인자 도출, 개념/기본설계
 - 파일롯 규모 바이오항공유 제조설비 활용 바이오항공유 시제품 공급
- 바이오항공유 분석기술과 품질관리 시스템 개발
 - 바이오항공유와 석유계 항공유의 식별체계 개발
 - 바이오항공유의 전주기 품질관리 방안 시스템 개발
 - 바이오항공유의 국가 품질관리 방안 도출

□ 세부연구내용 2. 바이오항공유 국내 이용을 위한 정책 및 환경기반 시스템 구축

- 바이오항공유 국내 이용기반 정책 및 제도 개발
 - 바이오항공유 이용확대를 위한 지원 정책 사례 확보
 - 국내 적용가능한 공급확대 지원 제도 및 인센티브 제도
- 원료생산 기술별 경제성 평가 기술 개발
 - 경제성 평가 항목 선정
 - 원료생산 기술별 경제성 평가 기법 개발
 - 경제성 평가 모델 검증
- 바이오항공유 공급시스템 최적화 연구
 - 바이오항공유 연료 수송 옵션 도출
 - 바이오항공유 공급옵션에 따른 인프라 비용 및 최대 확보 연료량 분석
 - 바이오항공유 생산가능 리파이너리 운영 모델 개발
- 지속가능 항공대체연료 이니셔티브 구축
 - 공급망 단계별 이해관계자 확보를 통한 이니셔티브 구성

- 지속가능 항공대체연료 이니셔티브 구축 및 운영
- 원료 공정별 LCA 배출계수 개발
 - 원료공정별 LCA 배출계수 산정 기술
 - 원료공정별 LCA 평가 표준 개발
- 바이오항공유 지속가능성 평가 기준 개발
 - 지속가능성 평가 항목 및 원칙 개발
 - 바이오항공유 지속가능성 평가 기준 수립

4. 연구개발 추진방법

- 모든 세부 연구과제가 사업 진행의 효율성과 완성을 극대화할 수 있도록 연구 영역을 명확히 구분하고, 중복되지 않도록 관계를 설정하여 추진하되 구분된 연구 영역간의 연계를 통해 최상의 연구결과를 얻을 수 있도록 추진
- 핵심기술의 연차별 목표 및 성능 수준 등 제시
 - 핵심기술 제시 및 그에 따른 연차별 목표를 수립하고, 그에 적합한 연차별 세부 추진전략 및 일정계획, 핵심 성과로드맵(TRL 반영)을 제시할 것
 - 연차별 달성목표(마일스톤)를 구체적으로 제시하고 성과 평가방법을 명시할 것
 - 세부 및 연구단 총괄 연구 목표를 정량적으로 제시
 - * 예: 기존 대비 00% 비용절감, 00% 수준 성능 향상, 00까지 00% 보급 등
- 연구내용, 개발기술, 성과물 간 연계가 표출되도록 기술개발·성과 로드맵 및 연차별 성과 평가 지표(안) 제시
 - * 단계별/연차별 성과 평가 지표(안)안은 향후 단계/중간 평가 시 참고 예정
- 기존에 수행되었거나 국외 및 국내에서 현재 수행 중에 있는 관련 연구개발결과의 구체적인 연계 또는 통합 활용방안을 연구계획에 포함시켜 추진
 - 타 부처 영역과 중복 우려가 있는 연구내용에 대해서는 부처간의 협력방안 또는 공동 활용방안 등 제시
- 연구개발 성과목표·지표 등을 연구개발계획서에 구체적으로 제시
 - 연구 성과물을 수요자 중심으로 구분하여 관리할 수 있도록 명시(정책/민간기업/학술적 등으로 구분)
 - 개발된 기술 및 성과물의 목표수준 달성도를 확인할 수 있는 객관적인 방안을 제시해야 함
 - 연구 성과의 실용화(정책제안)로 예상되는 기술, 경제, 사회·문화적 파

급 효과 및 산출근거 제시 - 제시한 성과지표에 공통성과지표가 없거나 부족하다고 판단될 경우, 협약 시 조정(추가) 가능 * 과제선정 후 해당 연구책임자(기관)에 대한 진도점검·관리 및 성과평가 등의 근거자료로 활용	
5. 최종성과물	
☐ 주요 산출물	☐ 1세부과제 바이오항공유 생산기술개발 - 파일럿 규모 바이오항공유 제조 공정/시스템 운전 매뉴얼 및 결과 보고서 - 연 5톤 규모 실증용 바이오항공유 제조 공정/시스템 개념-기본설계 자료 - 파일럿 규모 바이오항공유 제조 설비 활용 생산 바이오항공유 시제품 - 바이오항공유 국가 품질기준 마련 - 바이오항공유 분석시스템 개발 - 바이오항공유 국가 품질관리 체계 개발 ☐ 2세부과제 바이오항공유 국내 이용을 위한 정책 및 환경기반 시스템 구축 - 바이오항공유 이용확대 정책 제안 1건 - 원료생산 경제성 평가 모델 및 평가 기준 2건 - 바이오항공유 공급시스템 최적화 방법론 및 평가기술 1건 - 지속가능 항공대체연료 이니셔티브 구축 및 운영보고서(연1회) - 원료 공정별 LCA 배출계수 각 1건 - LCA 평가 표준문서 1건 - 지속가능성 평가 표준 방법론 1건
6. 활용방안 및 기대효과	
○ 항공부문의 온실가스 감축 수단인 바이오항공유 생산 기술을 확보함으로써 국내 항공부문 온실가스 감축 기술 확보 가능함 ○ 파일럿 규모 바이오항공유 제조 공정/시스템에서의 설계-구축-운전 등의 경험을 통해 얻어진 노하우를 체계화하여 얻어지는 운전 매뉴얼 및 결과보고서, 개념-기본 설계자료 등을 기술수요기업에 연계-제공함으로써 바이오항공유 생산기술의 국산화된 상용화 기술을 확보할 수 있음 ○ 바이오항공유 시제품이 제조/공급 가능함에 따라 혼합, 인증 및 품질 관리, 그리고 저장/급유 등 바이오항공유 활용 인프라 관련 연구에도 기여할 수 있음 ○ 바이오항공유 품질관리 시스템 및 인증시스템 마련을 통한 상용화 기	

반 구축 가능성 확보가 가능함 ○ 바이오항공유 이용가능 정책 개발 및 지속가능항공대체연료 구축, 운여를 통하여 항공부문의 온실가스 감축수단으로서 활용 가능한 바이오항공유 국내 이용기반 마련이 가능함 ○ 원료생산 경제성 평가 모델 및 원료 공정별 LCA 배출계수, 지속가능성 평가 표준 방법론을 개발하여 제공함으로서 향후 국제항공부문 온실가스 감축 상쇄제도 등에 활용 가능함	
7. 연구기간 및 소요예산	
○ 총 연구기간 : 2020.1월 ~ 2024.12월 (5년) ○ 연구예산 : 19,348 백만원 ※ 정부출연금은 향후 선정평가 결과 또는 정부예산사정 등에 따라 조정될 수 있음 ※ 기업참여시 기업부담금은 연차별로 “국토교통부소관 연구개발 사업 운영 규정”의 기준을 따르되, 추가 부담 가능 ※ 연구단과제는 세부과제별로 기업부담금 비율 준수 ※ 연구비에 대한 구체적 산정내역을 제시해야 하며, 예산산정 근거가 불명확하거나 타당성이 부족할 경우 축소 조정 가능	

2. 세부 과제

가. 1세부과제

연구과제명	바이오항공유 생산기술 개발
1. 연구개발 목표	○ 기 확보된 원천기술을 활용하여 데모 플랜트 규모 이상의 실증용 바이오항공유 제조 공정/시스템 구현과정에 필요한 기반기술을 공급하는 일련의 과정으로 파일럿 규모 연구개발 단계에서 기 확보한 설계-구축-운전 노하우를 체계화하여 운전매뉴얼 및 개념/기본설계 결과물로 도출하여, 이를 기술수요기업에서 수행하는 실증용 공정/시스템의 상세설계-구축-운전 과정에서 연계-제공할 수 있는 기반기술로 활용함 ○ 바이오항공유 생산-유통-사용의 전주기 품질관리 체계 구축 및 바이오항공유 상용화를 위한 인증체계 구축

2. 연구개발 필요성	
	○ 상용 플랜트 규모 바이오항공유 제조 공정/시스템 설계-구축-운전에 필요한 기반기술 확보가 시급한 가운데, 파일럿 규모 바이오항공유 제조 공정/시스템의 설계 및 운전 경험을 통해 얻어진 노하우를 기반기술로 체계화하여 기술수요기업에 제공하는 기술지원이 필요함 ○ 또한 바이오매스로부터 전환된 바이오항공유의 연료성분은 기존 석유계 항공유와 거의 유사하여 이를 식별할 수 있는 분석기술이 필요하며, 바이오항공유의 보급에 따른 적정 품질과 안전성 확보를 위해 생산-유통-사용에 이르는 전주기적 품질관리 시스템이 요구됨 ○ 바이오항공유 상용보급에 따른 항공기의 성능과 안전성 확보를 위한 국가차원의 품질 기준과 품질관리 체계 구축이 필요함
3. 연구개발 내용	
	○ OTJ(Oil-to-Jet) 생산 기술 개발 - 원료수급 및 상용화 가능한 바이오항공유 제조기술 확보 - 부생수소 활용 가능한 석유화학/정유 관련 기업체와 연계 - 파일럿 규모 바이오항공유 제조 공정/시스템 설계-구축-운전 노하우 체계화 - 실증용 바이오항공유 제조 공정/시스템 적용 가능한 촉매 확보 - 원료 다양화 및 운전조건 다변화에 의한 파일럿 규모 공정/시스템 운전 최적화 - 실증용 바이오항공유 제조/공정 시스템 스케일-업 설계-운전인자 도출, 개념/기본설계 - 실증용 바이오항공유 제조/공정 시스템 상세설계-구축-운전 대상기업체로 기술지원 - 파일럿 규모 바이오항공유 제조설비 활용 바이오항공유 시제품 공급 ○ 바이오항공유 분석기술과 품질관리 시스템 개발 - 바이오항공유와 석유계 항공유의 식별체계 개발 - 바이오항공유의 전주기 품질관리 방안 시스템 개발 - 바이오항공유의 국가 품질관리 방안 도출
4. 연구개발 추진방법	
	○ 모든 세부 연구과제가 사업 진행의 효율성과 완성을 극대화할 수 있도록 연구 영역을 명확히 구분하고, 중복되지 않도록 관계를 설정하여 추진하되 구분된 연구 영역간의 연계를 통해 최상의 연구결과를 얻을 수 있도록 추진 ○ 핵심기술의 연차별 목표 및 성능 수준 등 제시 - 핵심기술 제시 및 그에 따른 연차별 목표를 수립하고, 그에 적합한

연차별 세부 추진전략 및 일정계획, 핵심 성과로드맵(TRL 반영)을 제시할 것 - 연차별 달성목표(마일스톤)를 구체적으로 제시하고 성과 평가방법을 명시할 것 - 세부 및 연구단 총괄 연구 목표를 정량적으로 제시 * 예: 기존 대비 00% 비용절감, 00% 수준 성능 향상, 00까지 00% 보급 등 ○ 연구내용, 개발기술, 성과물 간 연계가 표출되도록 기술개발·성과 로드맵 및 연차별 성과 평가 지표(안) 제시 * 단계별/연차별 성과 평가 지표(안)안은 향후 단계/중간 평가 시 참고 예정 ○ 기존에 수행되었거나 국외 및 국내에서 현재 수행 중에 있는 관련 연구개발결과의 구체적인 연계 또는 통합 활용방안을 연구계획에 포함시켜 추진 - 타 부처 영역과 중복 우려가 있는 연구내용에 대해서는 부처간의 협력방안 또는 공동 활용방안 등 제시 ○ 연구개발 성과목표·지표 등을 연구개발계획서에 구체적으로 제시 - 연구 성과물을 수요자 중심으로 구분하여 관리할 수 있도록 명시(정책/민간기업/학술적 등으로 구분) - 개발된 기술 및 성과물의 목표수준 달성도를 확인할 수 있는 객관적인 방안을 제시해야 함 - 연구 성과의 실용화(정책제안)로 예상되는 기술, 경제, 사회·문화적 파급 효과 및 산출근거 제시 - 제시한 성과지표에 공통성과지표가 없거나 부족하다고 판단될 경우, 협약 시 조정(추가) 가능 * 과제선정 후 해당 연구책임자(기관)에 대한 진도점검·관리 및 성과평가 등의 근거자료로 활용	
5. 최종성과물	
☐ 주요 산출물	- 파일럿 규모 바이오항공유 제조 공정/시스템 운전 매뉴얼 및 결과 보고서 - 연 5톤 규모 실증용 바이오항공유 제조 공정/시스템 개념-기본설계 자료 - 파일럿 규모 바이오항공유 제조 설비 활용 생산 바이오항공유 시제품 - 바이오항공유 국가 품질기준 마련 - 바이오항공유 분석시스템 개발 - 바이오항공유 국가 품질관리 체계 개발
6. 활용방안 및 기대효과	
○ 파일럿 규모 바이오항공유 제조 공정/시스템에서의 설계-구축-운전	

등의 경험을 통해 얻어진 노하우를 체계화하여 얻어지는 운전 매뉴얼 및 결과보고서, 개념-기본 설계자료 등을 기술수요기업에 연계-제공함으로써 바이오항공유 생산기술의 국산화된 상용화 기술을 확보할 수 있음 ○ 파일럿 규모 바이오항공유 제조 설비로부터 바이오항공유 시제품이 제조/공급 가능함에 따라 혼합, 인증 및 품질관리, 그리고 저장/급유 등 바이오항공유 활용 인프라 관련 연구에도 기여할 수 있음 ○ 바이오항공유 품질관리 시스템 및 인증시스템 마련을 통한 상용화 기반 구축 가능성 확보가 가능함	
7. 연구기간 및 소요예산 ○ 총 연구기간 : 2020.1월 ~ 2024.12월(5년) ○ 연구예산 : 13,637 백만원 ※ 정부출연금은 향후 선정평가 결과 또는 정부예산사정 등에 따라 조정될 수 있음 ※ 기업참여시 기업부담금은 연차별로 “국토교통부소관 연구개발 사업 운영 규정”의 기준을 따르되, 추가 부담 가능 ※ 연구단과제는 세부과제별로 기업부담금 비율 준수 ※ 연구비에 대한 구체적 산정내역을 제시해야 하며, 예산산정 근거가 불명확하거나 타당성이 부족할 경우 축소 조정 가능	

나. 2세부과제

연구과제명	바이오항공유 국내이용을 위한 정책 및 환경기반 시스템 구축
1. 연구개발 목표	○ 바이오항공유 국내 이용을 위한 인센티브 및 지원 정책 제안을 통하여 국내 바이오항공유 이용기반을 구축하고 바이오항공유 원료생산 기술에 따른 경제성 평가 모델 및 공급시스템 최적화 기술 개발을 통하여 관련 산업계 지원 ○ 또한 원료생산기술에 따른 경제성 평가 모델을 개발 보급함으로써 원료생산 기술에 따른 성공가능성 및 경제적 파급 효과 추정을 용이토록 지원 ○ 항공부문 온실가스 감축 제도 운영에 따른 해외 및 국내 바이오항공

	유 공급 및 수요 시장 참여확대를 위하여 지속가능 항공대체연료 이니셔티브 구축 운영하고 국제 기준에 부합하는 지속가능성 인증 기준 마련
2. 연구개발 필요성	○ 항공부문 온실가스 감축 확대하기 위한 바이오항공유 국내 이용기반 구축을 위하여 항공대체연료인 바이오항공유 지원 정책 및 인센티브 제도 구축 방안 마련 시급함 ○ 바이오항공유 생산기술은 원료 생산 기술에 따른 성공가능성 및 경제적 파급 효과 추정이 어려우므로 사전 타당성 검토를 위한 바이오항공유 경제성 평가기준 및 모델 구축 필요함 ○ 또한 바이오항공유 공급망 개발을 위한 원료수급 지역에서 이용가능 공항까지의 전과정에 필요한 인프라를 분석하여 최적의 바이오항공유 공급시스템 사전 평가 필요 ○ 잠재적 시장 확대를 위한 정부 및 민간차원의 자발적 노력의 일환으로 국내 바이오항공유 개발 및 보급 촉진을 위한 이니셔티브 구축 필요 ○ 바이오항공유 지속가능성 인증을 위한 바이오항공유 원료 및 생산 기술별 전과정 평가 분석을 통해 원료 재배에서 활용 단계까지의 온실가스 배출량 산정 필요 ○ 기존 항공유 대비 바이오항공유 이용이 지속가능성을 충족하는지 여부를 판단하기 위한 세부 기준 마련 필요함
3. 연구개발 내용	○ 바이오항공유 국내 이용기반 정책 및 제도 개발 - 바이오항공유 이용확대를 위한 지원 정책 사례 확보 - 국내 적용가능한 공급확대 지원 제도 및 인센티브 제도 ○ 원료생산 기술별 경제성 평가 기술 개발 - 경제성 평가 항목 선정 - 원료생산 기술별 경제성 평가 기법 개발 - 경제성 평가 모델 검증 ○ 바이오항공유 공급시스템 최적화 연구 - 바이오항공유 연료 수송 옵션 도출 - 바이오항공유 공급옵션에 따른 인프라 비용 및 최대 확보 연료량 분석 - 바이오항공유 생산가능 리파이너리 운영 모델 개발 ○ 지속가능 항공대체연료 이니셔티브 구축 - 공급망 단계별 이해관계자 확보를 통한 이니셔티브 구성

- 지속가능 항공대체연료 이니셔티브 구축 및 운영
- 원료 공정별 LCA 배출계수 개발
 - 원료공정별 LCA 배출계수 산정 기술
 - 원료공정별 LCA 평가 표준 개발
- 바이오항공유 지속가능성 평가 기준 개발
 - 지속가능성 평가 항목 및 원칙 개발
 - 바이오항공유 지속가능성 평가 기준 수립

4. 연구개발 추진방법

- 모든 세부 연구과제가 사업 진행의 효율성과 완성을 극대화할 수 있도록 연구 영역을 명확히 구분하고, 중복되지 않도록 관계를 설정하여 추진하되 구분된 연구 영역간의 연계를 통해 최상의 연구결과를 얻을 수 있도록 추진
- 핵심기술의 연차별 목표 및 성능 수준 등 제시
 - 핵심기술 제시 및 그에 따른 연차별 목표를 수립하고, 그에 적합한 연차별 세부 추진전략 및 일정계획, 핵심 성과로드맵(TRL 반영)을 제시할 것
 - 연차별 달성목표(마일스톤)를 구체적으로 제시하고 성과 평가방법을 명시할 것
 - 세부 및 연구단 총괄 연구 목표를 정량적으로 제시
 - * 예: 기존 대비 00% 비용절감, 00% 수준 성능 향상, 00까지 00% 보급 등
- 연구내용, 개발기술, 성과물 간 연계가 표출되도록 기술개발·성과 로드맵 및 연차별 성과 평가 지표(안) 제시
 - * 단계별/연차별 성과 평가 지표(안)안은 향후 단계/중간 평가 시 참고 예정
- 기존에 수행되었거나 국외 및 국내에서 현재 수행 중에 있는 관련 연구개발결과의 구체적인 연계 또는 통합 활용방안을 연구계획에 포함시켜 추진
 - 타 부처 영역과 중복 우려가 있는 연구내용에 대해서는 부처간의 협력방안 또는 공동 활용방안 등 제시
- 연구개발 성과목표·지표 등을 연구개발계획서에 구체적으로 제시
 - 연구 성과물을 수요자 중심으로 구분하여 관리할 수 있도록 명시(정책/민간기업/학술적 등으로 구분)
 - 개발된 기술 및 성과물의 목표수준 달성도를 확인할 수 있는 객관적인 방안을 제시해야 함
 - 연구 성과의 실용화(정책제안)로 예상되는 기술, 경제, 사회·문화적 파

급 효과 및 산출근거 제시 - 제시한 성과지표에 공통성과지표가 없거나 부족하다고 판단될 경우, 협약 시 조정(추가) 가능 * 과제선정 후 해당 연구책임자(기관)에 대한 진도점검·관리 및 성과평가 등의 근거자료로 활용	
5. 최종성과물	
☐ 주요 산출물	- 바이오항공유 이용확대 정책 제언 1건 - 원료생산 경제성 평가 모델 및 평가 기준 2건 - 바이오항공유 공급시스템 최적화 방법론 및 평가기술 1건 - 지속가능 항공대체연료 이니셔티브 구축 및 운영보고서(연1회) - 원료 공정별 LCA 배출계수 각 1건 - LCA 평가 표준문서 1건 - 지속가능성 평가 표준 방법론 1건
6. 활용방안 및 기대효과	
○ 바이오항공유 이용가능 정책 개발 및 지속가능항공대체연료 구축, 운여을 통하여 항공부문의 온실가스 감축수단으로서 활용 가능한 바이오항공유 국내 이용기반 마련이 가능함 ○ 원료생산 경제성 평가 모델 및 원료 공정별 LCA 배출계수, 지속가능성 평가 표준 방법론을 개발하여 제공함으로써 향후 국제항공부문 온실가스 감축 상쇄제도 등에 활용 가능함	
7. 연구기간 및 소요예산	
○ 총 연구기간 : 2020.1월 ~ 2024.12월(5년) ○ 연구예산 : 5,712 백만원 ※ 정부출연금은 향후 선정평가 결과 또는 정부예산사정 등에 따라 조정될 수 있음 ※ 기업참여시 기업부담금은 연차별로 “국토교통부소관 연구개발 사업 운영 규정”의 기준을 따르되, 추가 부담 가능 ※ 연구단과제는 세부과제별로 기업부담금 비율 준수 ※ 연구비에 대한 구체적 산정내역을 제시해야 하며, 예산산정 근거가 불명확하거나 타당성이 부족할 경우 축소 조정 가능	

제3절 연구단계별 평가기준(안)

1. 1세부과제

지표구분	성과지표	평가지표	평가(검증) 방법
기술적 목표	바이오항공유 (OTJ) 생산 기술	- 연 5톤 규모 실증용 바이오항공유 생산 시스템 구축	- 바이오항공유 생산 시제품 - 현장성능평가(운영기관 참여)
표준지표	시험성적서	- 바이오항공유 생산 시제품 항공연료 시험성적서(ASTM D4054, D7566)	- 시험성적서 확인
	설계도면	- 연 5톤 규모 실증용 바이오항공유 제조공정/시스템 개념-기본설계	- 설계도면
	지침서	- 바이오항공유 국가 품질기준 및 품질관리 지침	- 지침서

2. 2세부과제

지표구분	성과지표	평가지표	평가(검증) 방법
표준지표	정책제안	- 바이오항공유 국내 이용기반 정책 및 정책 제안 1건	- 정책제안 확인
	모델 구축	- 원료별 경제성 평가 모델 2건	- 경제성 평가 모델 확인
	이니셔티브 운영	- 지속가능 항공대체연료 이니셔티브 구축 및 운영	- 이니셔티브 구축현황
	배출계수	- 원료공정별 LCA 배출계수 1건 - LCA 평가 표준문서 1건	- 배출계수 확인 - 표준문서
	방법론	- 바이오항공유 지속가능성 평가 표준 방법론 1건	- 표준 방법론

3. 공모방법 및 평가항목

- 공모방법은 바이오항공유 공급망 단계별 국내기술 수준을 고려하여 사업제안요구서의 세부개발 대상기술, 기술개발 목표, 연구성과물 성과목표에 부합하는 기술에 관하여 신청하는 지정공모방식으로 적용할 필요가 있음
- 본 과제의 선정평가를 위한 항목은 연구개발 계획적정성, 추진전략 우수성, 연구성과

실증, 연구단 평가로 구성하며 세부 평가 항목은 연구개발 목표 및 내용, 연구수행체계의 적정성 및 전문성, 활용계획의 적정성, 개발기술의 실용성 및 실증방안, 연구책임자의 전문성 및 관리능력으로 구성하여 총점 100점 중 60% 미만인 제안기관은 탈락 처리함

<표 9-1> 평가항목 및 배점

구분	평가항목	세부 평가항목	배점
연구개발 계획 적정성 (30)	연구개발 목표(10)	최종목표 및 연차별 달성목표의 명확성·구체성	5
		성과지표 설정의 명확성 및 적정성 - 연차별 성과목표의 적절성 - 연차별 예상성과의 구체성 및 타당성	5
	연구개발내용(20)	RFP와의 적합성	5
		과제목표달성을 위한 세부과제 구성 및 내용의 구체성	5
		연구개발내용의 완성도 및 실현가능성	5
		연차별 연구내용의 차별성 및 창의성	5
추진전략 우수성 (35)	연구수행체계 적정성 및 전문성(20)	연구수행체계 적정성 및 연구진 전문성	5
		연구추진 전략의 구체성 및 타당성	5
		연구인프라 및 연구지원시스템의 적절성	5
		연구기간 및 연구개발비 집행계획의 적절성	5
	활용계획의 적정성(15)	연구성과 활용계획 - 연구성과 활용방안의 적절성 및 구체성 - 연구성과의 사회 경제적 파급효과	10
		개발기술의 실용성 및 사업성	5
연구성과 실증 (25)	개발기술의 실용성 및 실증방안(25)	연구내용 및 연구성과의 실현 가능성	20
		연구성과의 적용 및 활용계획	5
연구단 평가 (10)	연구책임자의 전문성 및 관리 능력(10)	연구전문성 및 해당분야 실적	5
		연구과제 관리 및 운영 능력	5
소계			100

* 기준항목(세부평가항목 포함)은 배점기준이 달라질 수 있음

- 평가 항목과 함께 과제제안요구서(RFP)에 대한 부합성 및 중복성, 보안등급 분류의 적정성 평가를 통하여 제안기관에 대한 평가를 수행함

〈표 9-2〉 RFP에 대한 부합성, 중복성, 보안등급 분류 적정성 평가기준

구분	평가방법
부합성 평가	평가위원 과반수이상이 연구개발계획서가 과제제안요구서(RFP)와 부합되지 않는다고 판정 시 탈락 조치
중복성 평가	평가위원 과반수이상이 기 수행되었거나, 수행중인 과제와 중복되는 것으로 판정 시 탈락 조치
보안등급 분류 적정성 평가	보안등급 분류의 적정성을 검토하고, 그 결과를 반영하여 보안등급 결정 (공동관리규정 제24조 제4항)

* 기준항목(세부평가항목 포함)은 배점기준이 달라질 수 있음

- 평가점수 산정방법은 아래와 같이 진행할 수 있음

〈표 9-3〉 평가점수 산정방법

구분	산정방법
1	평가위원회별 평가위원의 평가점수 중 최고점수와 최저점수를 부여한 각 평가위원 1인의 점수를 제외한 나머지 평가점수의 합을 산술평균하여 평가점수를 산정하는 것을 원칙으로 함
2	가점 및 감점은 평가위원회 평가점수에 부여하여, 종합평가점수로 산정함. 단, 평가위원회 평가점수가 60점 미만인 경우, 가점 및 감점 부여 없이 ‘탈락’처리함
3	종합평가점수가 가장 높은 기관을 과제수행기관으로 산정함. 종합평가점수가 동점일 경우, ①평가위원회 평가점수가 높은 순, ②총 연구개발비에 대한 신청기관의 기업부담금 현금 부담비율이 높은 순으로 선정함

4. 평가점수의 가점 및 감점 기준

- 국토교통부 소관 연구개발사업 운영규정 제19조 제9항과 관련하여 우대·감점 기준을 적용함

<표 9-4> 연구개발과제 선정의 우대·감점 기준 및 방법 (제19조 제9항 관련)

1. 가점 부여항목

- 가. 최종평가 결과가 최우수등급인 연구개발과제의 연구책임자가 해당 평가를 실시한 전문기관의 장에게 새로운 연구개발과제를 신청하는 경우, 최종평가 후 2년간 선정 평가점수의 5% 이내 가점 부여
- 나. <삭제>
- 다. 최근 3년 이내(제18조에 따른 신청 마감일을 기준으로 한다.이하 이 표에서 같다)에 협약한 연구개발과제로서 협약 시 보안과제로 분류된 연구개발과제의 연구책임자가 새로운 연구개발과제를 신청하는 경우, 선정 평가점수의 3% 이내 가점 부여
- 라. 최근 3년 이내에 기술실시계약을 체결하여 징수한 기술료 총액이 2천만원 이상이거나, 같은 기간 내에 2건 이상의 기술이전 실적이 있는 연구책임자가 새로운 연구개발과제를 신청하는 경우, 선정 평가점수의 3% 이내 가점 부여
- 마. 최근 3년 이내에 공동관리규정 제17조제9항에 따라 포상을 받은 연구자가 새로운 연구개발과제를 신청하는 경우 선정 평가점수의 3% 이내 가점 부여
- 바. 최근 2년 이내에 「건설기술 진흥법」 제14조에 따른 건설신기술 또는 「국가통합교통체계효율화법」 제102조에 따른 교통신기술을 받은 중소기업이 연구개발과제를 신청하는 경우 선정 평가점수의 3% 이내 가점 부여(보호기간 내에 있는 경우에 한한다)
- 사. 최근 2년 이내에 국토교통부장관으로부터 녹색인증 및 확인을 받은 실적이 있는 연구자 및 연구기관이 관련 녹색기술로 신규과제를 신청하는 경우 선정 평가점수의 3% 이내 가점 부여(보호기간 내에 있는 경우에 한한다)
- 아. 중소기업 또는 「기업 활력 제고를 위한 특별법」 제10조에 따른 사업재편계획의 승인을 받은 기업이나 「산업기술연구조합 육성법」에 따른 산업기술연구조합이 참여한 경우 선정평가점수의 3%이내 가점 부여
- 자. 최근 3년 이내에 과학기술 분야의 훈장, 포장, 대통령 표창 또는 대통령상을 수상한 연구자가 새로운 연구개발과제를 신청하는 경우, 선정평가점수의 3% 이내 가점 부여
- 차. 국제공동연구 중 외국의 정부·법인·단체 또는 개인이 연구개발비의 일부를 부담하는 경우, 선정 평가점수의 3% 이내 가점 부여
- 카. 그 밖에 장관이 인정하는 경우, 선정 평가점수의 1% 이내 가점 부여

2. 감점 부여항목

- 가. 최근 3년 이내에 공동관리규정 제31조제3항에 따라 연구부정행위로 판단되어 협약이 해약된 연구개발과제의 연구책임자가 새로운 연구개발과제를 신청하는 경우, 선정 평가점수의 10% 이내 감점 부여
- 나. 최종평가 결과가 최하위등급(상대평가 시 하위 10% 등급, 절대평가 시 만점의50% 이하)인 연구개발과제의 연구책임자가 해당 평가를 실시한 전문기관의 장에게 새로운 연구개발과제를 신청하는 경우, 최종평가 후 2년간 선정 평가점수의 5% 이내 감점 부여
- 다. 연구개발과제 선정 후 정당한 사유 없이 협약을 포기한 경력이 있는 연구책임자나 기업의 경우에는 협약 포기 후 3년간 선정 평가점수의 5% 이내의 감점부여
- 라. 연구개발과제의 연구수행 중 연구를 포기한 경력이 있는 연구책임자나 기업의 경우에는 연구 포기 후 3년간 선정 평가점수의 5% 이내의 감점 부여
- 마. 최종평가 결과가 하위등급(상대평가 시 하위 30%등급, 절대평가 시 만점의 60% 이하)인 연구개발과제의 연구책임자가 해당 평가를 실시한 전문기관의 장에게 새로운 연구개발과제를 신청하는 경우, 최종평가 후 2년간 선정 평가점수의 3% 이내 감점 부여
- 바. 「하도급거래 공정화에 관한 법률」을 최근 3년 이내에 상습적으로 위반한 기업이 연구개발과제를 신청한 경우에 그러한 위반 사실이 같은 법 제26조에 따른 공정거래위원회로부터 관계 행정기관의 장에의 통보 등을 통하여 확인될 경우, 선정 평가점수의 5% 이내 감점 부여
- 사. 그 밖에 장관이 정하는 경우

5. 연구단계별 검토 필수사항

- 과제 선정평가 시에는 실수요에 맞는 최종성과물 개발을 위해 지속가능대체연료 및 항공부문 온실가스 감축에 대한 정책적 이해도에 대한 검토가 필요하며 중간 평가시에는 최종 성과물 완성도를 높이기 위한 연구단계별 성과물의 유기적 연계와 연구기관들 간의 생산적 협업체계 유지 여부를 중점적으로 평가함

〈표 9-5〉 연구단계별 검토 필수사항

구분	세부검토 항목
선정평가	바이오항공유 생산 기술에 대한 이해도
	지속가능대체연료에 대한 개념 및 중요성에 대한 이해도
	항공부문 온실가스 감축의 중요성에 대한 정책적 이해도
중간평가	연구단계별 성과물의 유기적 연계
	연구기관들 간의 협업체계 유지
최종평가	최종성과물 완성도
	최종성과물 활용처 수요 반영
	지속적인 유지관리

부 록

1. 기술분류체계

분류코드	대분류	분류코드	중분류
A	생산 기술	A-1	ATJ(Alcohol-to-Jet)
		A-2	OTJ(Oil-to-Jet)
		A-3	GTJ(Gas-to-Jet)
		A-4	STJ(Sugar-to-Jet)
B	혼합 기술	B-1	In-line 블렌딩 기술
		B-2	Splash 블렌딩 기술
C	인증 기술	C-1	물성 시험 기술
		C-2	Fit-for-Purpose 시험 기술
		C-3	Component/Rig 시험 기술
		C-4	엔진 및 APU 시험 기술
D	수송 기술	D-1	송유관 수송 기술
		D-2	유조차 수송 기술
		D-3	유조화차 수송 기술
		D-4	유조선 수송 기술
E	급유 기술	E-1	Refueller 급유 기술
		E-2	Hydrant system 급유 기술
F	정책 및 환경기반 시스템	F-1	제도 및 품질 표준화
		F-2	환경기반 시스템 최적화
		F-3	환경건전성(지속가능성) 평가

2. 기술분석서

A	바이오항공유 생산 기술
A-1	ATJ(Alcohol-to-Jet)
정의 및 개념	당질계, 전분질계 및 목질계 바이오매스로부터 선택적으로 전처리/ 당화/ 발효공정을 통해 생성된 알코올류를 원료로 탈수, 올리고머화, 수소화 등을 통해 항공유를 생산하는 기술을 말하며, 알코올의 종류에 따라 Ethanol-to-jet, Butanol-to-jet 등의 기술로 나뉨.
기술개발 주요내용	- 알코올류 원료수급 전략 수립 - 올리고머화 관련 촉매 안정성 및 성능 확보, 물성 영향 평가 - On-spec 제품 수율 개선 및 경제성 확보를 통한 파일럿 스케일 생산 기술(촉매공정-분리/정제 공정) 고도화/최적화 - 데모급 공정-시스템 설계/구축/운전 국산화 기술 개발
핵심키워드	Alcohol-to-Jet/alcohol, oligomerization, Ethanol-to-Jet/ethanol, Butanol-to-Jet/butanol, catalyst, upgrading, system, plant 등
A	바이오항공유 생산 기술
A-2	OTJ(Oil-to-Jet)
정의 및 개념	폐식용유, 우지, 미세조류 등 동·식물성 유지계 원료로부터 탈산소 및 이성화 공정을 통해 항공유를 생산하는 기술로서, HEFA(Hydroprocessed Esters and Fatty Acids)공정인 HRJ(Hydro-processed Renewable Jet)이 있음.
기술개발 주요내용	- 유지류 원료수급 전략 수립 - 탈산소 및 이성화 공정 촉매 안정성 및 성능 확보, 물성 영향 평가 - On-spec 제품 수율 개선 및 경제성 확보를 통한 파일럿 스케일 생산 기술(촉매공정-분리/정제 공정) 고도화/최적화 - 데모급 공정-시스템 설계/구축/운전 국산화 기술 개발
핵심키워드	(원료) Oils, bio-oils, plant oils, microalgae 등 (요소기술별) hydro-processing, hydrogen, deoxygenation, upgrading 등 (공정종류별) HRJ(Hydro-processed Renewable Jet), HEFA(Hydroprocessed Esters and Fatty Acids), (기타) system, plant 등

A	바이오항공유 생산 기술
A-3	GTJ(Gas-to-Jet)
정의 및 개념	목질계 바이오매스 원료를 가스화하여 생산된 합성가스를 열화학적 경로(Fischer-Tropsch 공정)를 통해 항공유를 생산하거나, 생화학적 경로(Gas Fermentation 공정)를 통해 알코올 중간체를 생산 한 후 이를 ATJ 기술을 적용 항공유로 전환하는 기술임.
기술개발 주요내용	- 원료수급 전략 수립(목질계 바이오매스 or 가스화 이후 단계인 합성가스) - 바이오매스 가스화 및 합성가스 정제 기술 개발 - F-T 공정/수소화분해반응 및 이성화반응용 촉매안정성 및 성능 확보, 물성 영향 평가 - 탈산소 및 이성화 공정 촉매 안정성 및 성능 확보, 물성 영향 평가 - 파일럿급 공정-시스템 설계/구축/운전 - On-spec 제품 수율 개선 및 경제성 확보를 통한 파일럿급 스케일 생산 기술(촉매공정-분리/정제 공정)
핵심키워드	Fischer-Tropsch, gasification, upgrading, system, plant 등
A	바이오항공유 생산 기술
A-4	STJ(Sugar-to-Jet)
정의 및 개념	당질계나 전분질계 원료를 촉매 전환 공정을 통해 탄화수소로 업그레이딩하거나 생물학적 전환 공정을 통하여 항공유를 생산하는 기술로서, 크게 DSHC(Direct Sugar to Hydrocarbons)과 Catalytic Upgrading의 공정 기술이 있음
기술개발 주요내용	- 촉매 전환 공정: hydrolysis, catalytic deoxyneation, catalytic upgrading/dehydration-oligomerization 등 - 당화 발효 공정: enzymatic hydrolysis, biological conversion, hydro-processing 등
핵심키워드	DSHC(Direct Sugar to Hydrocarbons), catalytic deoxyneation, catalytic upgrading, enzymatic hydrolysis, biological conversion, system, plant 등

B	바이오항공유 혼합 기술
B-1	Line 블렌딩
정의 및 개념	제품 출하 전 파이프라인에서 바이오항공유와 일반항공유를 펌핑하여 혼합하는 기술로, 혼합시 정확한 미터링을 통해 혼유량이 조절됨
기술개발 주요내용	- 파이프라인 혼합기술
핵심키워드	Line blending
B	바이오항공유 혼합 기술
B-2	Splash 블렌딩
정의 및 개념	배치 상태(트럭 등)의 연료 탱크에 단순 첨가방식으로 두 종류의 연료를 혼합하는 기술로서, 연료 첨가 위치에 따라 Top-loading, Bottom-loading으로 나뉠 수 있음
기술개발 주요내용	- Top-loading 연료 혼합기술 - Bottom-loading 연료 혼합기술
핵심키워드	Splash blending, Top-loading, Bottom-loading

C	바이오항공유 인증 기술
C-1	물성 시험 기술
정의 및 개념	ASTM D1655나 Def Stan 91-91 등의 기준에 따른 연료의 기본 물성 측정 및 평가 기술
기술개발 주요내용	- ASTM D1655 기준 물성 측정 및 평가기술 - Def Stan 91-91 기준 물성 측정 및 평가기술
핵심키워드	Fuel Specification Properties, engine safety, performance and durability, ASTM D1655, Def Stan 91-91 등
C	바이오항공유 인증 기술
C-2	Fit-for-Purpose 시험 기술
정의 및 개념	기본적인 물성 테스트 이후 연료의 탄화수소나 추적 물질 등 화학성분이나, 전기적 성질, 취급시 안전성, 다른 물질과의 호환성(compatibility) 등에 대한 평가 기술
기술개발 주요내용	- hydrocarbon chemistry, trace materials, bulk physical and performance properties, electrical properties, ground handling/safety, compatibility 평가 기술
핵심키워드	Fit-for-Purpose Properties, hydrocarbon chemistry, trace materials, bulk physical and performance properties, electrical properties, ground handling/safety, compatibility 등
C	바이오항공유 인증 기술
C-3	Component/Rig 시험 기술
정의 및 개념	필터나 펌프, 노즐 등 엔진 요소와 연소기 및 구성장비에 대한 안전성 평가 기술
기술개발 주요내용	- 엔진 구성요소별 안전성 평가기술
핵심키워드	burner rig test, fuel system, combustor rig test 등

C	바이오항공유 인증 기술
C-4	엔진 및 APU 시험 기술
정의 및 개념	바이오항공유에 대한 엔진 내구성(endurance) 평가 기술
기술개발 주요내용	- 엔진 내구성 평가 기술
핵심키워드	engine endurance test 등
D	바이오항공유 수송 기술
D-1	송유관 수송 기술
정의 및 개념	정유소(리파이너리) 또는 항구에서부터 공항 연료 저장 시설(fuel farm)까지 연결된 송유관을 통해 항공유를 수송하는 기술
기술개발 주요내용	- 항공유 전용 송유관 수송 기술
핵심키워드	송유관, pipeline
D	바이오항공유 수송 기술
D-2	유조차 수송 기술
정의 및 개념	정유소(리파이너리) 또는 항구에서부터 공항 연료 저장 시설(fuel farm)까지 전용 유조차(또는 유류 운반용 탱크로리)를 활용하여 항공유를 수송하는 기술
기술개발 주요내용	-항공유 전용 유조차 수송기술
핵심키워드	유조차, 탱크로리, tank lorry

D	바이오항공유 수송 기술
D-3	유조화차 수송 기술
정의 및 개념	정유소(리파이너리)에서 공항 연료 저장 시설(fuel farm)까지 전용 유조화차를 활용하여 항공유를 수송하는 기술
기술개발 주요내용	- 항공유 전용 유조화차 수송기술
핵심키워드	유조화차, railroad tank cars
D	바이오항공유 수송 기술
D-4	유조선 수송 기술
정의 및 개념	정유소(리파이너리)에서 공항 근처 항구까지 전용 유조선을 활용하여 항공유를 수송하는 기술
기술개발 주요내용	- 항공유 전용 유조선 수송기술
핵심키워드	유조선, tanker vessels
E	바이오항공유 급유 기술
E-1	Refueller 급유 기술
정의 및 개념	Refueller 급유 기술이란 항공유 급유용으로 지정 설비 규격에 맞게 제작된 급유, 배유, 순환 등의 기능을 가진 이동식 급유 차량(refueller)를 활용하여 기체 급유를 하는 기술을 말함
기술개발 주요내용	- 항공유 전용 Refueller 급유 기술
핵심키워드	Refueller, 리퓨얼러, 급유차

E	바이오항공유 급유 기술
E-2	Hydrant system 급유 기술
정의 및 개념	Hydrant system(하이드런트 급유전) 급유 기술은 공항 연료 저장 탱크에서 파이프라인을 통해 항공기 주기장에 설치된 PIT까지 항공유를 수송하는 고정 설비를 활용하여 기체 급유를 하는 기술을 말함
기술개발 주요내용	- 항공유 전용 Hydrant system 구축 및 급유 기술
핵심키워드	Hydrant system, 하이드런트 급유전
F	정책 및 환경기반 시스템
F-1	제도 및 품질 표준화
정의 및 개념	바이오항공유 국내 산업지원을 위한 법 및 정책기반을 구축하고 구체적 방법 및 절차에 대해 국내 법규 및 제도 내에 규정
주요내용	- 바이오항공유 사용에 대한 인센티브 정책 구축 - 바이오항공유 의무혼합제도 구축 방안 마련 - 바이오항공유 품질 인증 및 품질 검사 체계 구축
핵심키워드	연료 혼합의무화제도(RFS), 인센티브, 규제, 품질관리, 품질인증, 품질 검사, 가이드라인 등
F	정책 및 환경기반 시스템
F-2	환경기반 시스템 최적화
정의 및 개념	바이오항공유 활용 원료, 생산 기술, 공급망 형태에 따른 전 과정 통합 경제성 평가 분석을 통해 국내 바이오항공유 공급 시스템을 최적화하는 기술
주요내용	- 원료별 생산 기술별 경제성 평가 - 최적 리파이너리 위치 선정 및 공급망 NPV 최소화
핵심키워드	기술경제성(techno-economic), NPV, 최적화(optimization), 리파이너리 위치선정(refinery site selection), 공급망(supply-chain)

F	정책 및 환경기반 시스템
F-3	환경건정성(지속가능성) 평가
정의 및 개념	바이오항공유의 원료 및 생산 기술별 전과정평가(LCA) 분석을 통해 원료 재배에서 바이오항공유 활용 단계까지의 온실가스 배출량 및 지속가능성을 평가
주요내용	- LCA 분석을 통한 원료 및 기술별 전과정 온실가스 배출량 평가 - 원료의 종류 및 재배지역, 간접 토지 이용 변화 등 그 외 바이오항공유 지속가능성 기준 마련
핵심키워드	전주기평가(LCA), 지속가능성(sustainability), 온실가스 배출량(GHG emissions), 간접 토지 이용 변화(Indirect Land-Use Change, ILUC)

주 의

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통연구기획사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 국토교통연구 기획사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표하거나 공개하여서는 안 됩니다.