

근거기반 과학기술협력 아젠다 발굴 고도화 연구

조 하 나 외

최종보고서					보안등급		
					일반[○], 보안[]		
사업명		과학기술혁신정책 글로벌 Think-Tank 역량 강화 연구					
기술 분 류	국가과학기술 표준분류		%		%	%	
	부처기술분류 (해당 시 작성)		%		%	%	
연구과제명		국문	근거기반 과학기술협력 아젠다 발굴 고도화 연구				
		영문	Empirical Study on Evidence-Based Methodology for S&T Cooperation Agenda				
연구책임자		성명	조하나	직위	부연구위원		
		소속부서명	국제협력정책센터	email	hanahcho@kistep.re.kr		
		최종전공	정책학	국가연구자번호	11318172		
연구기간		전체	2023. 3. 1 - 2023. 12. 31(10개월)				
		단계 (해당 시 작성)					
당해연도 연구비		72,000 (천원)					
		총계	72,000 (천원)				
		단계 (해당 시 작성)	(천원)				
위탁연구기관 등 (해당 시 작성)		기관명	책임자	직위	휴대전화	전자우편	기관유형
		위탁연구기관					
실무담당자		성명	조하나	직위	부연구위원		
		소속부서명	국제협력정책센터	email	hanahcho@kistep.re.kr		
		최종전공	정책학	국가연구자번호	11318172		

2023년 12월 15일

연구책임자: 조 하 나(인)

한국과학기술기획평가원장: (직인)

• 연구진

- | | |
|---------|------------------------|
| – 연구책임자 | 조하나(한국과학기술기획평가원 부연구위원) |
| – 참여연구원 | 강진원(한국과학기술기획평가원 연구위원) |
| | 도계훈(한국과학기술기획평가원 연구위원) |
| | 김혜나(한국과학기술기획평가원 부연구위원) |
| | 문태석(한국과학기술기획평가원 부연구위원) |
| | 조규하(한국과학기술기획평가원 부연구위원) |
| | 유선진(한국과학기술기획평가원 청년인턴) |

기관-2023-000 근거기반 과학기술협력 아젠다 발굴 고도화 연구
(연구기간 : 2023.3.1. ~ 2023.12.31)

- 발행인 : 정병선
- 발행처 : 한국과학기술기획평가원
(27740) 충청북도 음성군 맹동면 원중로 1339
Tel) 043-750-2300 Fax) 043-750-2680
- <http://www.kistep.re.kr>
- 인쇄 : 주식회사 동진문화사

< 요약 서 >

사업명			과학기술혁신정책 글로벌 Think-Tank 역량 강화 연구											
기술 분 류	국가과학기술 표준분류			%			%			%				
	부처기술분류 (해당 시 작성)			%			%			%				
연구과제명			근거기반 과학기술협력 아젠다 발굴 고도화 연구											
연구기간			2023. 03. 01. ~ 2023. 12. 31.											
연구비			총 72,000천원											
연구 목표 및 내용	최종 목표			근거기반 과학기술협력 아젠다 발굴 방법론 고도화 및 과학기술협력 아젠다 도출 실증										
	전체 내용													
	1단계 (해당 시 작성)	목표												
내용														
n단계 (해당 시 작성)	목표													
	내용													
연구성과			- 과학기술외교역량지수 개발을 통한 국가별 과학기술, 외교 역량 및 제반환경 비교·분석 - 논문 키워드 분류 정제 및 보완을 통한 논문분석 방법론 고도화 - 과학기술외교 프레임 기반 과학기술 국제협력 아젠다 도출											
연구성과 활용계획 및 기대 효과			- 국가별 과학기술외교역량지수 및 논문 분석 결과에 기반한 국가별 전략적 과학기술 협력 추진 - 전략적 아젠다 기반 과학기술 국제협력 정책 수립 기여 및 신규 국제협력 과제·사업 추진 기대											
연구개발성과의 등록·기탁 건수			논문	특허	보고서 원문	연구 시설 ·장비	기술 요약 정보	소프트 웨어	표준	생명자원		신품종		
					1						생명 정보	생물 자원	화합물	정보
세부 정량적 연구개발성과 건수			과학적 성과			사회적 성과							기타	
			논문 게재	학술 회의 발표	보고서 원문	법령 반영	정책 활용	안전 상정	제도 개선	다른 연구에 활용	국제 협력	(정책) 홍보		포상 수상
					1									
국문핵심어 (5개 이내)			과학기술외교		국제협력		근거기반 방법론		아젠다 발굴		정성·정량분석			
영문핵심어 (5개 이내)			Science Diplomacy		International Cooperation		Evidence Based Methodology		Issue Finding		Qualitative· Quantitative Analysis			

요약문

I. 연구 배경

- 첨단기술을 중심으로 국가 간 기술패권 확보, 기술 주도권 선점 및 글로벌 시장 확대를 위한 경쟁 심화
- 글로벌 위기 해결을 위한 과학적 대응의 필요성과 기술발전에 따른 국가 간 협력 네트워크 확대로 인한 과학기술외교의 중요성 대두
 - － 과학기술외교의 관점을 반영할 수 있는 정량적 지표 개발 및 분석을 통한 과학기술협력 아젠다 발굴 실증 연구 추진 필요
- 국제협력 R&D 예산 확대 및 관련 법 개정으로 인한 과학기술 국제협력의 필요성 강조

II. 연구 필요성

- 정성분석 위주의 아젠다 도출 방법론 보완을 위한 정량분석 방법론 고도화 연구의 필요성 증대
 - － 정성적 평가 또는 자문위주의 방법론을 다양화하고 정성분석 결과의 설득력 강화를 위한 정량분석 방법론 활용 필요
- 과학기술외교 특성을 반영한 지수 개발
 - － 국가 간 과학기술 협력 아젠다 발굴 시 과학기술 역량 뿐 아니라 외교적 역량 및 제반환경에 대한 이해 필요
- 기존 정량적 논문성과 분석 방법론의 정확도·효율성 제고
 - － 논문 검색어 기반 DB 정제 방법론 고도화를 통해 분석 결과의 정확도 및 효율성 개선

III. 주요 내용

- 과학기술외교역량을 정량적으로 파악할 수 있는 프레임워크 구축
 - － AAAS의 과학외교(Science Diplomacy) 분류에 기반한 국가 과학기술외교 역량지수 개발 틀 제시

- 복합지수 기반 국가별 과학기술, 외교 역량 및 제반환경 분석 결과 국가 간 비교
 - UN, OECD, World Bank와 같은 공신력있는 국제기구에서 수집·공개하는 정량 지표들을 취합하여 과학기술외교역량의 세 가지 부문(과학기술, 외교, 제반환경)에 대해 OECD 36개 국가별 비교 연구 수행
- 한국의 과학기술외교역량지수는 9위로 총 분석대상인 36개 국가들 중 상위권에 위치
 - 과학기술 부문은 5위, 외교 부문은 10위인 반면, 제반환경 부문은 21위로 과학기술·외교 역량에 비교하여 제반환경이 다소 부족
 - 미국은 전 부문에서 1위로 다른 국가들과 비교하여 과학기술외교 전반에서 우수한 역량을 보유
 - 최상위와 최하위 국가들을 제외한 나머지 국가들은 과학기술, 외교, 제반환경 수준에 차이가 있어 이를 고려한 과학기술 협력 전략 필요
- 인공지능 모델 활용 기술 분야별 주요 논문성과 DB 정제 과정 고도화를 통해 국가별 차이를 기존 대비 더 명확하게 반영
 - 단순한 원리의 K-Means 및 DBSCAN 알고리즘 기반 클러스터링 결과 유의미한 정제 성능 획득에 어려움 존재
 - 의미적 유사성을 기반으로 하는 클러스터링 모델 Lbl2Vec로 이차전지 분야 4개 중점기술에 대한 논문 DB 정제 진행
 - 정제된 DB 활용 주요국 연구성과 포지셔닝 진행 결과 정제 이전 대비 국가별 논문 성과 특성 구체화
- 시범 분석 대상국 과학기술외교역량지수 및 논문 분석 고도화 결과를 활용한 과학기술 협력 아젠다 실증 분석
 - 과학기술외교역량지수 및 논문분석 결과를 바탕으로 미국을 협력 아젠다 도출 시범국으로 선정
 - 미국은 한국보다 과학기술 역량이 높으면서 외교역량과 제반환경이 모두 우수한 국가로 한국이 가진 과학기술 분야의 강점을 전략적으로 어필하는 한편, 미국 시장 진출 및 이로 인한 인력 수급 부족 문제 해결 등을 위한 제반환경 마련 필요
 - 한국은 산학연협력, 물적인프라 및 사업용이성 측면에서 뛰어난 이점을 가지고 있어 미국 연구기관 간 협력 및 기업 투자 및 유치 노력을 중심으로 한 정책 지원 필요

- 또한, 양국의 우수한 사절단 및 국제기구 인력을 활용하여 국가 간 소통을 강화하고 지속적인 교류를 통한 과학기술 분야 네트워크 확대를 위한 투자 장려 필요

과학외교 분류	주요 협력 아젠다
과학을 위한 외교	- 한국은 뛰어난 이차전지 분야 연구성에도 불구하고 국제 공동연구협력 수준이 낮은 편(국제공저자 13위, 국제공동특허 16위). 국내 우수 연구자들과 미국 연구자들과의 공동연구 확대 장려를 위한 지원 필요 - 배터리 효율 향상을 위한 시스템 기술 개발, 안전성·내구성 개선을 위한 차세대 전지 소재 분야의 지원을 확대하고 원료 및 소재 자립화를 위해 새로운 원료 공급망 발굴에 관해 논의를 제안 - 한국의 국제학생모빌리티는 30위로, 미국 1위에 비교하여 현저히 낮은 순위. 국내 배터리 기업들의 미국 시장 진출 및 관련 분야 공동연구를 위한 인력 수급 문제 해결을 위해 해외 우수 연구자 유입을 적극 장려하고 국내 입국 절차 과정의 간소화와 장기 거주환경 편의성 제고 필요
외교 속의 과학	- 한국의 ISO 기술위원 수는 세계 5위로 표준화 관련 국제 영향력이 우수한 편. 한국의 배터리 연구역량과 표준화 분야의 전문성을 바탕으로 새로운 기술개발의 표준화 전략 수립 협력 제안 - 이차전지 관련 대표적인 국제기구인 IEA의 기술협력 프로그램(에너지저장분과/ES-TCP)과 같은 활동에 적극 참여 유도
외교를 위한 과학	- 한국 외교역량은 10위이지만 과학기술역량 5위로 이를 활용한 미국과의 첨단기술 동맹을 강화하고 가치 공유를 위한 연대 필요 - 한국의 보유한 이차전지 모듈·시스템 기술력과 배터리 양산 및 응용기술 개발 능력을 결합하여 전략적 파트너로서 미국과의 관계 강화 - 중국의 배터리 필수 광물 공급망(1차 가공 화합물, 특히 리튬화합물) 장악에 대비한 공급망 의존도 감소 방안 논의

IV. 기대효과

- 전략적 과학기술협력 추진을 위해 과기공동위, 정상회담 등 진행 과정에서 상대국에 대한 다방면적 이해를 바탕으로 한 아젠다 발굴 과정에 활용
- 본 연구에서 개발한 방법론을 과학기술 외교 전략·정책 수립 및 이를 바탕으로 한 신규 국제협력 과제·사업 추진 과정에서 근거 자료로 활용 기대
- 인공지능 기반 DB 정제 과정 구축을 통한 정량적 근거 기반 아젠다 발굴의 시간적·인적 비용 획기적 감소 및 글로벌 이슈에 대응한 신속한 과학기술협력 아젠다 분석·발굴 등에 다각적인 활용 기대

목 차

제1장 배경 및 필요성	1
제2장 연구 목표 및 주요 내용	9
제3장 국가별 과학기술외교역량 평가	15
제1절 분석 방법	17
제2절 분석 결과	29
제3절 소결	58
제4장 기술 분야 논문 분석 방법론 고도화	63
제1절 인공지능 활용 과정	65
제2절 알고리즘 적용 결과	71
제3절 Lbl2Vec 정제 결과 기반 논문성과 분석 고도화 ...	83
제4절 소결	91
제5장 과학기술 협력 아젠다	93
제1절 글로벌 이차전지 현황 및 국내외 이슈 분석	95
제2절 과학기술외교역량 한-미 비교	99
제3절 이차전지 미국 국제협력 아젠다	102

제6장 결론 및 기대효과	107
제7장 참고문헌	113
부 록	117
[부록 1] 과학기술 부문 지표별 자료원(COSTII)	120
[부록 2] 외교 부문 지표별 자료원	121
[부록 3] 제반환경 부문 지표별 자료원	122

표 목차

<표 1-1> 과학외교(Science Diplomacy)의 목적	4
<표 1-2> 윤석열정부 120대 국정과제 내 과학기술 국제협력 관련 주요 내용 ...	5
<표 2-1> 과학기술 협력 아젠다 발굴 프로세스	1
<표 2-2> 과학외교의 정의	1
<표 2-3> 과학기술외교역량지수 구성 부문 및 항목	1
<표 2-4> 과학기술외교역량지수 분위별 국가 분류	1
<표 2-5> 과학기술외교 분류별 주요 협력 아젠다	1
<표 3-1> AAAS 과학외교의 분류	1
<표 3-2> Gluckman 과학외교의 분류	1
<표 3-3> 과학기술외교역량지수 구성 부문 및 항목	2
<표 3-4> 과학기술 부문 지표 설명	2
<표 3-5> 외교 부문 지표 설명	2
<표 3-6> 제반환경 부문 지표 설명	2
<표 3-7> 과학기술외교역량지수 평가대상국	2
<표 3-8> 과학기술외교역량지수 개발 추진 절차	2
<표 3-9> 과학기술외교역량지수 국가별 순위	3
<표 3-10> 과학기술외교역량지수 분위별 국가 분류	3
<표 3-11> 과학기술외교역량지수 선도그룹과 후발그룹	3
<표 3-12> 과학기술외교역량지수 선도그룹 분위별 이동	3
<표 3-13> 과학기술외교역량지수 후발그룹 분위별 이동	3
<표 3-14> 과학기술외교역량지수 과학기술 부문 항목별 순위	3
<표 3-15> 과학기술외교역량지수와 과학기술 부문 4분위 국가 비교 ...	4
<표 3-16> 과학기술외교역량지수 외교 부문 항목별 순위	4
<표 3-17> 과학기술외교역량지수와 외교 부문 4분위 국가 비교	4
<표 3-18> 과학기술외교역량지수 제반환경 부문 항목별 순위	5

<표 3-19> 과학기술외교역량지수와 제반환경 부문 4분위 국가 비교	4
<표 3-20> 과학기술외교역량지수 구성 부문 및 항목	1
<표 4-1> K가 10·20·30일 때 레이블 데이터의 클러스터링 결과	3
<표 4-2> 매개변수에 따른 DBSCAN 클러스터링 결과	4
<표 4-3> $\epsilon=0.6$, $N=10$ 일 때 레이블 데이터 분류 결과	5
<표 4-4> 분류 성능 평가 지표 및 계산 식	9
<표 4-5> 리튬이온전지 및 핵심 소재 기술 분류 결과	0
<표 4-6> 이차전지 모듈·시스템 기술 분류 결과	0
<표 4-7> 검색어 기반 DB 대비 클러스터링 기반 예측 결과	1
<표 5-1> 차세대 전지 관련 R&D 내용	8
<표 5-2> 과학기술외교역량 한·미 비교	9
<표 5-3> 과학기술외교역량지수 지표별 한·미 비교	00
<표 5-5> 배터리 분야 핵심기술	20
<표 5-6> 배터리 분야 국제협력 추진방향	30
<표 6-1> 과학기술 협력 아젠다 발굴 단계별 목적 및 결과	90

그림 목차

[그림 3-1] 과학기술외교역량지수 설계의 기본 틀	1· 2
[그림 3-2] 국가별 과학기술외교역량지수	9· 2
[그림 3-3] 국가별 과학기술외교역량지수 비교	1· 3
[그림 3-4] 분위별 과학기술외교역량지수	2· 3
[그림 3-5] 과학기술·외교 부문, 과학기술·제반환경 부문 비교	3· 3
[그림 3-6] 과학기술외교역량지수 선도그룹 비교	6· 3
[그림 3-7] 과학기술외교역량지수 후발그룹 비교	7· 3
[그림 3-8] 과학기술외교역량지수 부문별 분포	8· 3
[그림 3-9] 과학기술 부문 지표별 Heatmap	0 4
[그림 3-10] 과학기술 부문 분위 이동	2· 4
[그림 3-11] 과학기술 부문 항목별 비중	2· 4
[그림 3-12] 과학기술외교역량지수 4분위 국가 과학기술 부문 지표별 비교 ...	4
[그림 3-13] 외교 부문 지표별 Heatmap	6 4
[그림 3-14] 외교 부문 분위별 이동	8· 4
[그림 3-15] 외교 부문 항목별 비교	9· 4
[그림 3-16] 과학기술외교역량지수 4분위 국가 외교 부문 지표별 비교0·...	5
[그림 3-17] 제반환경 부문 지표별 Heatmap	3 5
[그림 3-18] 제반환경 부문 분위별 이동	5· 5
[그림 3-19] 제반환경 부문 항목별 비교	6· 5
[그림 3-20] 과학기술외교역량지수 4분위 국가 제반환경 부문 지표별 비교 ...	5
[그림 3-21] 과학기술외교역량지수 선도그룹 분류	8· 5
[그림 3-22] 과학기술외교역량지수 후발그룹 분류	9· 5
[그림 4-1] 인공지능 활용 전략	5 6
[그림 4-2] Lbl2Vec 알고리즘 클러스터링 과정	8· 6
[그림 4-3] 클러스터 개수가 10개일 때 K-Means 클러스터링 시각화 결과 ...	7
[그림 4-4] 클러스터 개수가 20개일 때 K-Means 클러스터링 시각화 결과 ...	7

[그림 4-5] 클러스터 개수가 30개일 때 K-Means 클러스터링 시각화 결과2	7
[그림 4-6] $\epsilon=0.7$, $N=10$ 일 때 DBSCAN 클러스터링 시각화 결과 (노이즈 클러스터 제외)	57
[그림 4-7] $\epsilon=0.6$, $N=10$ 일 때 DBSCAN 클러스터링 시각화 결과	6 7
[그림 4-8] Lbl2Vec 기반 클러스터링 과정에서의 데이터 구조도	7 7
[그림 4-9] Lbl2Vec 클러스터링 시각화 결과	8 7
[그림 4-10] 리튬이온전지 및 핵심 소재 분야 국가별 포지셔닝 결과	4 8
[그림 4-11] 이차전지 모듈·시스템 분야 국가별 포지셔닝 결과	6 8
[그림 4-12] 차세대 이차전지 소재·셀 분야 국가별 포지셔닝 결과	8 8
[그림 4-13] 이차전지 재사용·재활용 분야 국가별 포지셔닝 결과	0 9
[그림 5-1] 연간 누적 글로벌 전기차용 배터리 사용량	6 9

제 1 장

배경 및 필요성

제1장 배경 및 필요성

1. 연구 배경

■ 국가 간 과학기술 경쟁 심화

- 첨단기술을 중심으로 국가 간 기술패권 확보, 기술 주도권 선점 및 글로벌 시장 확대를 위한 경쟁 심화
 - 반도체, 인공지능 등 첨단기술에 대한 국가간 경쟁 심화로 인해 외교적 수단을 통한 기술 주도권 확보 필요성 증대
 - 특히, 우방국(like-minded countries)간 기술동맹 구축, 수출통제 강화 등을 통해 기술주권·우위 확보를 위한 노력 지속
 - 이에 따라, 국가 차원에서의 전략적, 체계적 과학기술외교·국제협력 추진을 위한 국가별 전략적 과학기술 협력 아젠다 발굴 필요

■ 과학기술외교의 중요성 대두

- 20세기에 들어 글로벌 위기 해결을 위한 과학적 대응의 필요성 증대와 기술발전에 따른 국가 간 경쟁 심화, 자원 의존도 복잡성으로 인해 과학기술외교의 중요성 대두
 - 미 국립연구위원회(National Research Council)는 정기적으로 외교에서 과학기술의 역할을 강조하는 보고서를 발간(NRC, 2015; NRC, 1999)
 - Flink(2019)는 “과학기술 없이 외교 없고, 외교 없는 과학기술도 없다”*라고 말하며 현대사회에서 과학기술과 외교의 떼레야 떼 수 없는 관계를 설명
 - * 원문: “There is no more international affairs without S&T, and no S&T without internationality.”
 - Ruffini(2023)는 최근 과학외교(Science Diplomacy)*에 대한 관심 증가에 대한 원인으로 과학외교의 목적 세 가지를 제시
 - * 외국에서는 ‘과학외교(Science Diplomacy)’라는 명칭을 사용하나 국내에서는 ‘과학기술외교’를 통상적으로 활용하는 바, ‘과학외교’를 ‘과학기술외교’와 동일시하여 사용

<표 1-1> 과학외교(Science Diplomacy)의 목적

목적	주요 내용
유인(Attract)	국가 과학기술역량 강화를 위하여 전문성을 지닌 연구자와 박사과정 학생 유치는 필수적. 매력적인 연구환경과 혁신 시스템을 갖춘 국가는 우수한 연구인력들을 유입
협력(Cooperate)	과학에는 국경이 없으며 다른 국가 연구자들 간의 협력은 국가 간 대화의 채널을 확장하고 국제적 갈등을 완화시키는 역할을 주도. 외교관들은 과학의 긍정적인 측면을 활용하여 네트워킹을 할 수 있고 국제협력을 통한 국가 간 연구자들의 이동은 세계의 지식 자본 확대에 기여
영향(Influence)	과학을 통해 다른 국가들에 소프트파워(soft power) 영향력을 행사. 국제 과학 관련 기구에서 근무하는 각국 출신의 연구자들이 해당 국가의 이해관계를 반영하며 중요한 영향력을 행사

- 과학기술외교는 과학과 외교의 중첩점에서 전세계가 마주한 위기에 대응하고 국가 간 평화와 과학기술 발전을 도모
 - (글로벌 위기 대응) 과학기술외교는 기후변화, 감염병, 식량 안보 등과 같은 전세계적 위기를 해소하기 위해 국가 간 전문적 과학적 지식과 자원을 공유를 촉진
 - (평화와 안정) 연구협력, 자원교류 등을 통한 과학기술외교는 국가 간 신뢰와 이해를 제고하여 갈등을 감소시키고 관계를 증진
 - (지식 발전) 과학기술외교를 통한 국제공동연구 추진과 데이터 공유는 과학적 진보와 혁신을 가속화하고 글로벌 지식 확장에 기여

■ 과학기술 국제협력의 필요성 강조

- 글로벌 R&D 예산 확대, 국제협력 시행령 개정 및 관련 법안 제정
 - 정부는 글로벌 R&D 예산을 '23년 5,075억에서 내년도 1조 8천억 원으로 확대
 - 국제협력 R&D 증가에 따른 제도적 기반 지원을 위해 해외 우수인재 정착을 위한 제도 검토 및 관련 법령 시행령 개정을 통한 국제 협력 지원 계획
- ※ 관련 법령: 과학기술기본법 제18조(과학기술의 국제화 촉진), 국제과학기술협력규정 제4조(과학기술국제화사업의 추진 등)

- 2022년 7월 발표된 윤석열 정부 120대 국정과제에는 과학기술 국제협력과 관련된 다양한 추진 내용 수록
- ※ 표에 요약된 목표 외에도 ‘원자력 협력 외교 강화’, ‘청정수소 교역기반 확대’, ‘보건안전전략기술 집중투자’와 글로벌 협력강화 등 직·간접적인 과학기술 국제협력 관련 내용 다수 포함
- － 특히 75번 ‘초격차 전략기술 육성으로 과학기술 G5 도약’의 주요 내용으로 전략적 국제협력을 강조

<표 1-2> 윤석열정부 120대 국정과제 내 과학기술 국제협력 관련 주요 내용

번호	국정과제	주요 내용
22	수요자 지향 산업기술 R&D 혁신 및 지식재산 보호 강화	(기술보호 및 국제협력 강화) 산업기술 빅데이터 플랫폼(TVC: Tech Value Chain) 및 동맹국 중심 국제협력 플랫폼 구축
24	반도체·AI·배터리 등 미래전략산업 초격차 확보	(경제안보 확보) 반도체, 배터리 등 국가첨단전략산업 성장기반 마련 - 반도체 설비투자 시 과감한 인센티브 제공 및 인허가 신속 처리 ※ ▲투자지원 확대, ▲인프라구축 지원, ▲인허가 일원화 검토 등 - 전략산업(반도체, 배터리, 디스플레이 등) 생태계·R&D·국제협력 등 종합 지원 - 「국가첨단전략산업법」 지원체계 본격 가동 및 지원내용 강화
74	국가혁신을 위한 과학기술 시스템 재설계	(연구자 지원) 연구자의 창의적·혁신적 연구성과 창출을 위해 국가 연구 데이터 플랫폼 구축, 대학·연구기관의 디지털 전환 등 디지털 연구환경 조성 - 연구행정시스템 고도화, 연구행정 제도개선 연구자 권리제고를 통한 연구자 지원 강화, 국제공동연구 및 장비공동활용 등 공동·협업연구 활성화
75	초격차 전략기술 육성으로 과학기술 G5 도약	(전략적 국제협력) 美·EU 등 선도국과의 기술별 협력전략을 마련하여 국제공동연구, 핵심인재 유치, 글로벌 거대연구 인프라 공유 등 국가 간 협력 강화 ※ (양자) 美·EU 등 기술공동연구센터 설치, (감염병) 아시아-태평양 감염병 쉼드(APIS) 신설 등

번호	국정과제	주요 내용
79	우주강국 도약 및 대한민국 우주시대 개막	(거버넌스 강화) 우주선진국 도약을 위해 R&D, 국가안보, 산업화, 국제협력 등 다양한 분야의 전문성·리더십을 갖춘 선도형 거버넌스로 개편
98	능동적 경제안보 외교 추진	(공급망 등 경제안보 강화) 범정부 협업下 공급망 위기 예방·대응 능력 강화 및 원천기술 보유국(미국, 일본, 유럽국가 등)과 상호보완적 협력체제 구축 - △우리 반도체, 배터리 등 핵심기업의 대외 투자 지원 확보 및 공동 R&D 확대 △한미 경제·안보 2+2 회의 등을 통한 경제안보 협력 강화 - △민간의 해외 자원개발 지원을 위한 국제협력 강화 △글로벌 식량 안보 위기 논의 대응 △주요국 수출제한 조치 등 정보수집 강화
101	국가 사이버안보 대응역량 강화	(기술 고도화 및 국제협력 강화) 産·學·研·官 협력아래 AI·양자통신 등 신기술 위협 대응 기술개발 및 국제공조 활성화, 사이버위협에 대한 역지 역량 배가 - 新기술 연구·개발을 적극 지원 해킹 탐지·차단·추적 시스템 고도화 - 국제사회의 사이버규범 수립에 적극 참여하고, 글로벌 협력 네트워크 확충
105	한·미 군사동맹 강화 및 국방과학기술 협력 확대	(한·미 국방과학기술협력 강화) 한·미간 ‘국방과학기술 협의체’를 설치하여 정책·전략적 수준의 협력을 강화하고, 양국간 ‘국방과학기술 협력센터’ 설치를 추진

2. 연구 필요성

■ 근거 기반 과학기술 협력 아젠다 도출

- 정성분석 위주의 아젠다 도출 방법론을 보완하기 위한 정량 분석 방법론 고도화, 새로운 의제 발굴 방법론 개발 및 실증 연구 필요
 - 지금까지의 과학기술 협력 아젠다 도출 방법은 관련 분야 전문가의 정성적 평가* 또는 자문 위주로 다양한 방법론을 활용한 분석 필요성 증대

* KISTEP 기술수준평가에서의 델파이 조사 등

■ 과학기술외교(Science Diplomacy)의 특성이 반영된 정량적 지수 개발

- 세계적으로 국가의 과학기술, 경제, 산업, 사회, 정치 수준 등 개별 부문에 대한 지표들은 많으나 국가별 과학기술외교 역량을 반영할 수 있는 지수는 부재한 상황
 - 국가 간 과학기술 협력 아젠다 발굴 시 국가의 과학기술 역량 뿐 아니라 해당 국가의 외교적 역량 및 제반 환경에 대한 이해 필요
 - 과학기술외교의 역할이 중요해지고 있는 시점, 과학기술외교 관점을 반영할 수 있는 정량적 지표 개발 및 분석을 통한 과학기술협력 아젠다 발굴 실증 연구 추진 필요
- 국가별 과학기술 역량과 국제 연구협력에 대한 정량적 분석 및 비교는 논문·특허 분석에 집중되어 있는 경향
 - 국제공동 논문·특허와 같은 연구 협력 외 국가별 과학기술외교역량을 전반적으로 비교 및 판단할 수 있는 다양한 지표 발굴 필요

■ 정량적 논문·특허성과 분석 효율성 및 정확도 제고

- 실제 연구개발 현장의 특성을 반영한 근거 기반 협력 아젠다 도출을 위해 검색어를 기반으로 구성된 논문·특허 등 성과 DB의 정제 필요
- 일반적으로 연구진이 분야별로 수천~수만 건의 논문·특허를 직접 검토하여 정제하나 이 경우 시간적·인적 비용의 소모가 상당한 수준
- 정량적 성과분석 과정의 투입 비용 대비 효과성을 높이기 위해 DB 정제과정의 효율성을 높일 필요성 존재

■ 전략적 과학기술 협력 아젠다 발굴

- 과학기술외교의 역할이 중요해지고 있는 상황에서 글로벌 의제 공동 대응 및 한국 과학기술 영향력 확대를 위한 전략적 과학기술 국제협력 아젠다 발굴 필요
 - 국가별 과학기술외교역량 파악 및 논문 분석 방법론 고도화를 통한 근거기반 분석 결과를 바탕으로 다양한 협력 유망 분야를 도출함으로써 국제협력 효과성 제고

제 2 장

연구 목표 및 주요 내용

제2장 연구 목표 및 주요 내용

연구 목표

- 한국의 과학기술외교 및 과학기술 국제협력 전략성·효과성 제고를 위한 정성·정량적 분석 방법론 고도화 및 과학기술협력 아젠다 발굴 실증 연구 추진
 - － 국가별 과학기술외교 특성을 반영한 과학기술외교역량지수 개발
 - － 논문 검색어 기반 DB 정제 과정의 효율성 제고를 통한 기존 논문 분석 방법론 고도화
 - － 근거기반 분석 결과 바탕의 전략적 과학기술협력 아젠다 도출

주요 내용

- 국가별 과학기술외교역량을 정량적으로 파악할 수 있는 프레임워크 구축 및 지수 개발
 - － 과학기술외교 기반 분석 프레임을 구축. 과학기술외교역량지수 개발을 통해 국가별 포지셔닝을 분석 및 시범 기술분야에 대한 국가별 기술 포지셔닝 분석. 과학기술외교역량지수·기술 포지셔닝 결과 기반 분석 대상국 선정 뒤 이차전지 분야 협력 아젠다 발굴
 - － 본 연구에서는 첫 시범 분석 대상국으로 미국을, 기술분야로는 이차전지를 선정

<표 2-1> 과학기술 협력 아젠다 발굴 프로세스

분석 프레임 구축	국가 포지셔닝 분석	기술 포지셔닝 분석	분석 대상국· 기술분야 선정	협력 아젠다 발굴
과학기술외교 (Science Diplomacy) 기반 분석 프레임 개발	과학기술외교 역량지수 개발을 통한 국가별 포지셔닝 분석	기존 방법론 보완 및 개선을 통한 논문 분석 기반 국가별 기술 포지셔닝 분석	국가 및 기술분야 포지셔닝 결과기반 분석대상국(미국· 기술분야(이차전지) 선정	과학기술외교 역량지수 및 논문 분석 결과 기반 전략적 협력 아젠다 도출

- AAAS의 과학기술외교(Science Diplomacy) 분류에 기반한 국가 과학기술외교 역량지수 개발 프레임워크 제시
- 과학기술 국제협력 강화를 위한 과학기술외교의 중요성 증대에 따라 국가별 과학기술외교역량을 파악하고 비교할 수 있는 툴(tool) 마련

<표 2-2> 과학외교의 정의

과학외교	구분	주요 내용
과학외교 (Science Diplomacy)	과학을 위한 외교 Diplomacy for Science	과학기술 목적 달성을 위해 추진하는 외교적 수단
	외교 속의 과학 Science in Diplomacy	국제사회 내 글로벌 이슈 대응 및 문제 해결을 위한 활동
	외교를 위한 과학 Science for Diplomacy	과학기술을 통한 국가 간 외교관계 정립

- (과학기술외교전략지수) 과학기술외교역량 관련 지표들을 수집하고 각 값을 취합하여 국가의 전반적 과학기술외교역량을 추정할 수 있는 복합지수 도출
 - 과학기술외교역량지수를 과학기술, 외교, 제반환경의 세 부문으로 구분하고 각 부문별 관련 지표를 수집하여 표준화한 값을 이용
 - 국가별 과학기술외교역량지수 결과 부문, 항목 및 지표별 세부비교

<표 2-3> 과학기술외교역량지수 구성 부문 및 항목

부문	항목	설명
과학기술	자원, 활동, 네트워크, 환경, 성과	과학기술혁신역량지수(COSTI)를 활용하여 국가 내 과학기술 기초자원 및 지식창출 활동, 과학기술 네트워크 환경 및 성과를 진단
외교	공식활동, 영향력, 리더십	국가의 공식적인 외교활동, 국제기구 활동 및 해외 원조 정부 리더십을 통해 국가의 외교역량을 진단
제반환경	국제교류, 경제, 산업, 사회	과학기술 분야 국제교류, 경제 수준 및 산업 환경 조성 정도와 정책 추진을 위한 제도적 환경 등을 파악

- (과학기술외교전략지수) 지표 값의 표준화 및 순위를 도출하여 비슷한 과학기술외교역량 국가들을 그룹화

- 총 36개 비교 대상국들 중 한국의 과학기술외교역량지수는 9위로 미국(1위), 독일(2위), 스위스(3위), 일본(4위) 등에 이어 상위권에 위치

<표 2-4> 과학기술외교역량지수 분위별 국가 분류

그룹분류	분위	국가명
선도그룹	4분위	미국, 독일, 스위스, 일본, 영국, 프랑스, 네델란드, 캐나다, 한국
	3분위	스웨덴, 덴마크, 노르웨이, 벨기에, 핀란드, 오스트리아, 호주, 스페인, 아일랜드
후발그룹	2분위	룩셈부르크, 뉴질랜드, 아이슬란드, 이탈리아, 이스라엘, 체코, 포르투갈, 에스토니아, 폴란드
	1분위	헝가리, 리투아니아, 칠레, 슬로베니아, 튀르키예, 슬로바키아, 라트비아, 그리스, 멕시코

- 과학기술 부문은 5위, 외교 부문은 10위인 반면, 제반환경 부문은 21위로 과학기술 역량에 비교하여 외교 및 제반환경이 다소 부족한 편
 - 1위인 미국은 과학기술, 외교, 제반환경 세 부문에서 모두 1위를 차지하였으며, 최상위 국가들 중에서도 월등한 점수 확보
 - 최상위와 최하위 몇몇 국가들을 제외한 나머지 국가들은 과학기술, 외교, 제반환경의 수준에 차이가 있어 이를 고려한 과학기술 협력 전략 수립 필요
- (논문성과 분석방법론 고도화) 인공지능 모델 활용을 통해 기술 분야별 주요 논문성과 DB 구축·정제·분석 과정 고도화 추진
- 키워드와 문서(논문 제목, 초록 등) 간 의미적인 유사성을 기반으로 하는 클러스터링 인공지능 모델 활용을 통해 DB 정제 과정을 간소화·신속화하여 한정된 자원 내에서 정량적 성과분석 효과성 제고 추진
 - 특히 중점기술 간 경계가 상대적으로 모호한 전략기술 분야에 대한 적용·검증을 통해 실제 연구 현장의 특성을 반영할 수 있는 성과분석 체계 구축 추진
- (전략적 아젠다 도출) 과학기술외교역량지수 및 논문분석 결과를 바탕으로 미국을 협력 아젠다 도출 시범국으로 선정
- 미국의 과학기술외교역량지수는 1위로 전반적인 지표에서 한국보다 우위에 있으며 가장 중요한 협력국들 중 하나

<표 2-5> 과학기술외교 분류별 주요 협력 아젠다

과학외교 분류	주요 협력 아젠다
과학을 위한 외교	- 한국의 뛰어난 이차전지 분야 연구성과에도 불구하고 국제 공동연구협력 수준이 낮은 편(국제공저자 13위, 국제공동특허 16위). 국내 우수 연구자들과 미국 연구자들과의 공동연구 확대 장려를 위한 지원 필요 - 배터리 효율 향상을 위한 시스템 기술 개발, 안전성·내구성 개선을 위한 차세대 전지 소재 분야의 자원을 확대하고 원료 및 소재 자립화를 위해 새로운 원료 공급망 발굴에 관해 논의를 제언 - 한국의 국제학생모빌리티는 30위로, 미국 1위에 비교하여 현저히 낮은 순위. 국내 배터리 기업들의 미국 시장 진출 및 관련 분야 공동연구를 위한 인력 수급 문제 해결을 위해 해외 우수 연구자 유입을 적극 장려하고 국내 입국 절차 과정의 간소화와 장기 거주환경 편의성 제고 필요
외교 속의 과학	- 한국의 ISO 기술위원 수는 세계 5위로 표준화 관련 국제 영향력이 우수한 편. 한국의 배터리 연구역량과 표준화 분야의 전문성을 바탕으로 새로운 기술개발의 표준화 전략 수립 협력 제언 - 이차전지 관련 대표적인 국제기구인 IEA의 기술협력 프로그램(에너지저장분과/ES-TCP)과 같은 활동에 적극 참여 유도
외교를 위한 과학	- 한국 외교역량은 10위이지만 과학기술역량 5위로 이를 활용한 미국과의 첨단기술 동맹을 강화하고 가치 공유를 위한 연대 필요 - 한국의 보유한 이차전지 모듈·시스템 기술력과 배터리 양산 및 응용 기술 개발 능력을 결합하여 전략적 파트너로서 미국과의 관계 강화 - 중국의 배터리 필수 광물 공급망(1차 가공 화합물, 특히 리튬화합물) 장악에 대비한 공급망 의존도 감소 방안 논의

제 3 장

국가별 과학기술외교역량 평가

제3장 국가별 과학기술외교역량 평가

제 1 절 분석 방법

1. 이론적 틀

가. 과학외교와 국제협력

■ 과학외교는 2010년 영국 왕립학회(Royal Society)와 미국 AAAS가 발간한 보고서 ‘New Frontiers in Science Diplomacy’에서 본격적으로 구체화 되었으나 현재까지 협의된 정의는 부재

- 해당 보고서에서는 과학외교를 ‘과학을 위한 외교’, ‘외교 속의 과학’, ‘외교를 위한 과학’ 등 세 가지 영역으로 구분
 - － (과학을 위한 외교) 기술 선도국의 선진기술을 습득하거나 과학기술 역량 강화를 위한 활동으로 국제공동연구나 국제협력 활동 등을 의미하며 과학기술역량 강화를 통한 경제성장이 목적
 - － (외교 속의 과학) 보건, 환경, 에너지 등 국제사회 내에서 발생하는 다양한 문제 해결을 위한 수단으로써의 과학기술. 주로 국제기구를 중심으로 해결되며 과학기술과 외교 전문성이 요구되는 영역
 - － (외교를 위한 과학) 국가 간 외교적 문제를 과학기술을 활용하여 해결하고자 하는 목적. 양국 간 지속된 군사적 충돌이나 경제적 대립을 해결하기 위한 수단으로 과학기술을 활용

<표 3-1> AAAS 과학외교의 분류

과학외교	구분	주요 내용
과학외교 (Science Diplomacy)	과학을 위한 외교 Diplomacy for Science	과학기술 목적 달성을 위해 추진하는 외교적 수단 ex: 국제공동연구, 정보·인력교류 등
	외교 속의 과학 Science in Diplomacy	국제사회 내 글로벌 이슈 대응 및 문제 해결을 위한 활동 ex: IPCC, IAEA 활동 등
	외교를 위한 과학 Science for Diplomacy	과학기술을 통한 국가 간 외교관계 정립 ex: 오바마 정부의 중동 관계 개선을 위한 공동연구개발 및 인력교류 추진 노력

- Gluckman et. al.(2017)은 과학외교를 국가적 필요성, 공동의 이익, 글로벌 이해의 세 가지 부문으로 구분

<표 3-2> Gluckman 과학외교의 분류

구분	항목	주요 내용
국가적 필요성 (National needs)	목소리/영향력/ 소프트파워/평판	외교를 위한 과학은 국가의 영향력 확대가 주된 목적. 많은 국가들이 각국의 외교적 이해를 투영하기 위해 과학을 전략적으로 활용
	안보	국가 안보는 자연재해부터 AI, 사이버보안 및 무기 관련 조약까지 다양한 수준에서 과학의 전문성이 필요
	경제	첨단 기술 관련 무역 증가와 글로벌가치사슬(GVC)의 복잡성으로 인하여 국가 간 무역 협상 및 과학기술외교의 중요성 대두
	국가적 필요성과 역량	기술역량 강화, 지식에 대한 접근성 확대 및 자국 내 STI 인프라 개선 필요
공동의 이익 (Common interests across national boundaries)	자원	범국가적 또는 지역적 양자 및 다자간 이슈를 논의하고 국가 이익을 대변하기 위해 과학을 활용. 식량안보, 제약 규제, 산업 표준 등 국가 간 기술적 서비스를 공유하고 긴급 및 갈등 상황에 대한 대비를 함께 고민
	표준화 및 정의	
	기술적 서비스 공유	
	갈등 및 재난 관리	
	신기술에 대한 소셜 라이선싱	
	거대과학	

구분	항목	주요 내용
글로벌 이해 (Global interests)	글로벌 위기대응	SDGs(Sustainable Development Goals)와 같은 전세계적 대응이 필요한 문제 해결
	비지배영역	지구의 70%를 차지하는 비지배영역(바다, 북극 등) 및 디지털 영역에 대한 연구 조약 등에 대한 논의

■ 본 연구에서는 ‘New Frontiers in Science Diplomacy’ 보고서에서 제시하는 과학기술외교 또는 과학외교*의 정의에 기인하여 과학외교의 틀 안에서 국가별 과학기술외교역량을 진단

- 과학기술외교역량과 관련된 부문 및 항목 구성, 항목별 지표 선정 등을 통한 과학기술외교역량지수 개발
 - － 과학기술외교의 세 가지 분류(과학을 위한 외교, 외교를 위한 과학, 외교 속의 과학)를 아우를 수 있는 과학기술외교역량 지표 선정

2. 복합지수 및 지표

가. 부문 및 항목 선정

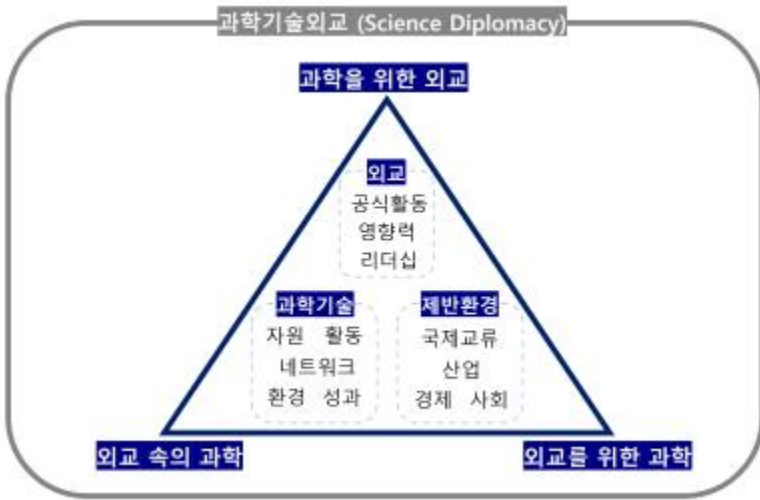
■ 과학기술외교역량지수는 과학외교(Science Diplomacy)의 세 가지 분류에 기반하여 부문을 설정

- AAAS에서 정의하는 과학 외교의 세 가지 분류(과학을 위한 외교, 외교 속의 과학, 외교를 위한 과학)은 경계가 불확실하며 상호의존적(Gluckman et. al., 2017; Ruffini, 2023)
- 세 분류의 과학외교 활동을 모두 수행하기 위해서는 국가의 과학기술 수준과 외교력 외에도 이를 뒷받침 할 수 있는 경제적, 사회적 여건 등이 수반되어야 함
 - － Flink et. al.(2019)는 과학외교가 과학과 외교 외에도 정치, 경제와 관련된 요인들을 모두 포괄한다고 주장
 - － Aukes et. al. (2021)은 과학외교 활동은 공동의 위협에 대응하기 위해 협력과 이해가 필요하며 국가 간 신뢰가 바탕이 되어야 한다고 설명

- 본 연구에서는 선행연구 조사 및 자문회의를 거쳐 과학기술외교역량지수를 과학기술, 외교, 그리고 과학기술외교를 수행하기 위한 제반환경의 세 가지 부문으로 구성
 - 각 부문은 이를 구성하는 항목과 세부지표로 구성

<표 3-3> 과학기술외교역량지수 구성 부문 및 항목

부문	항목	설명
과학기술	자원	과학기술 활동을 위해 활용할 수 있는 기초 자원을 파악
	활동	새로운 지식을 창출하고 활용하는 활동이 얼마나 활발하게 수행되고 있으며 그 의지가 얼마나 높은가를 파악
	네트워크	시스템 내에서 네트워크가 얼마나 활발하며 이를 통한 지식 흐름, 기술 확산 등의 협력이 얼마나 효과적으로 이루어지는가를 제시
	환경	과학기술 관련 활동이 효과적으로 이루어질 수 있는 여건이 충분히 구축되어 있는지를 제시
	성과	투입되는 자원과 주어진 환경, 활동 주체 간의 네트워크를 통한 과학기술 활동으로 인해 구체적인 성과가 얼마나 나타나고 있는가를 판단
외교	공식활동	국가의 공식적 외교활동은 타 국가들과의 과학기술 국제협력 채널로 발전할 수 있는 요소로 해당 국가의 외교 역량을 반영
	영향력	국가의 국제기구 활동 및 해외원조를 통해 타 국가에 미치는 영향력 및 국제협력 확대 가능성을 판단
	리더십	국가의 정치적 안정성 및 정부 효율성 정도를 통해 국가의 리더십 수준을 파악
제반환경	국제교류	외국인 대학생 비율, 국제 공동연구·특허 등과 같은 국제교류는 소프트 파워를 통한 국가 간 기술협력을 위한 과학외교의 핵심 요소
	경제	국가의 경제 수준은 과학기술외교의 필수 고려 요소 중 하나로 국가의 경제적 기반을 진단
	산업	국가의 산업경쟁력은 과학기술을 위한 외교의 목적인 기술역량 강화를 통한 경제 발전을 이루기 위해 필요한 요소
	사회	국가의 사회적 제도와 법치는 지식재산 보호 및 정보 공유 등이 필수적인 과학기술외교에서 국가 간 신뢰를 제고하고 교류를 촉진하는 중요한 요소



[그림 3-1] 과학기술외교역량지수 설계의 기본 틀

나. 지표 개요

■ 부문별 지표 선정

○ 부문별 지표 풀(pool) 구성

- 과학기술외교 관련 문헌조사와 전문가 토론을 통해 측정하고자 하는 부문, 항목 및 관련 세부지표를 선정
- 과학기술외교역량의 3개 부문을 구성하는 12개 항목을 정의한 후 이를 측정할 수 있는 지표로 구성
- 정량지표를 근간으로 하나 정량화가 어려운 부문에 대해서 정성지표를 보완적으로 활용

○ 과학기술 부문

- 전문가 자문회의에서 새로운 지표들로 과학기술 부문을 구성하기보다 이미 타당성이 입증된 국가별 과학기술혁신역량지수(COSTII)를 과학기술 부문 지수로 활용할 것을 제안
- COSTII의 경우 2006년부터 국가별 과학기술혁신역량을 평가해왔고 매년 지표보완 및 최신 데이터를 반영하여 신뢰성과 공신력이 있기 때문에 해당 지수를 활용하는 것이 의미가 있다고 판단

- 본 연구에서는 다른 지표들과의 심도(depth)를 맞추기 위해 COSTII의 항목 단위를 과학기술 부문의 지표 단위로 구분*

* 본 연구에서 하나의 COSTII 지표는 실제 COSTII 항목 내 세부지표로 구성된 복합지표

<표 3-4> 과학기술 부문 지표 설명

부문	항목	지표명	설명
과학기술	자원	인적자원	총 연구원 수, 인구 만 명당 연구원 수, 인구 중 이공계 박사 비중
		조직	미국특허 등록 기관 수, 세계 상위 대학 및 기업 수
		지식자원	최근 15년간 SCI 논문 수(STOCK), 최근 10년간 특허 수(STOCK)
	활동	연구개발투자	연구개발투자 총액, GDP 대비 연구개발투자 총액 비중, 연구원 천 명당 연구개발투자, 산업부가가치 대비 기업연구개발투자 비중, GDP 대비 정부연구개발예산
		창업활동	인구 중 세상변화 및 큰부획득형 창업 비중, GDP 대비 벤처캐피탈 투자금액 비중
	네트워크	산학연 협력	미국등록특허 대비 산학연 공동특허 수 비중, 정부·대학의 연구개발비 중 기업재원 비중
		기업 간 협력	기업 간 협력 정도
		국제협력	미국등록특허 대비 국제공동특허 수 비중, GDP 대비(해외투자+외국인투자) 비중
	환경	지원제도	기업 연구개발비 중 정부재원 비중, 법·제도적 지원 정도
		물적 인프라	인구 백 명당 유선 및 모바일 브로드밴드 가입자 수, 인터넷 사용자 비중 및 디지털·기술의 활용 용이성
		문화	새로운 문화에 대한 태도, 교육에서의 비판적 사고 장려 정도
	성과	경제적 성과	국민 1인당 산업부가가치, 하이테크 산업의 제조업 수출액 비중, GDP 대비 지식재산사용료 수입 비중
		지식창출	연간 특허 수, 인구 천 명당 특허건수, 인구 천 명당 SCI 논문 및 인용도

○ 외교 부문

- 외교 부문은 전문가 자문을 통해 국가의 외교력을 보여줄 수 있는 공식활동, 영향력 및 리더십 항목으로 구성

- (공식활동) 국가의 공식 외교활동의 범위를 나타내는 대사·고위대표, 영사 및 영구적 해외 업무와 공식 해외수행 업무 수는 국가의 외교 수준을 반영
- (영향력) 국가의 ODA 액수 및 국제기구 활동 인력 규모는 국제 사회에서 해당 국가의 영향력을 반영
- (리더십) 정치적 안정성과 정부 효과성은 국가의 제도 수준과 국제협력의 용이성을 반영하는 지표로 국가 원수의 리더십을 반영

<표 3-5> 외교 부문 지표 설명

부문	항목	지표명	설명
외교	공식활동	대사·고위대표	국가별 대사관/고위 대표부 수
		영사	국가별 영사관 수
		영구적해외임무*	국제기구에서의 영구적 성격의 해외 수행 임무 수
		그 외 공식활동**	그 외 공식적 대표 또는 활동 수
	영향력	ODA	ODA grant + OOF(Other Official Flows)액 (Million US\$)
		UN직원	1년 이상 계약한 UN 직원 수
		ISO TC	ISO 기술위원(Technical Committee) 수
	리더십	정치적안정성	정치적 안정성과 폭력의 부재 정도
		정부효과성	정부가 정책을 결정하고 집행하는 능력

* Lowy Institute는 영구적 성격의 해외임무(Permanent Missions)를 UN, EU, NATO, OECD와 같은 다국적 기구에서의 임무 및 대표단 활동 등으로 정의

** 그 외 공식활동(Other Representation)은 국가에서 해외로 파견된 비공식적인 대표/사절 활동으로 정의

○ 제반환경 부문

- 제반환경 부문은 전문가 자문을 통해 국가의 전반적인 과학기술외교 제반 환경을 나타낼 수 있는 요소들로 국제교류, 경제, 산업, 사회 항목으로 구성
- (국제교류) 외국인 학생 인력 보유 정도는 국가의 우수 외국인 인적 자원과 교류 활성화 정도를 반영하며 국제 공저자 논문 수와 국제 특허 협력 건수는 국가의 과학기술 국제협력 수준 및 교류 정도를 반영
- (경제) 국민총생산과 국가의 생산가능인구는 국가의 경제 수준과 노동시장의 규모를 반영
- (산업) 외국인 투자자들의 국내 투자 유입도는 국가의 외교력 및 산업환경의 우수성을 반영하고, 국내 투자자들의 해외 투자액은 해당

- 국가의 해외 투자 역량 및 적극성을 평가, 국가의 사업 용이성은 해당 국가 내 산업환경의 우수성을 반영
- (사회) 외국인 이민자의 유입 인구 비율은 타 국가에 대한 이해 및 수용도를 반영하고, 규제의 질은 정부 정책 집행의 효과성을, 국가의 법치주의 수준은 사회적 안정성과 국제협력의 효율성을 반영

<표 3-6> 제반환경 부문 지표 설명

부문	항목	지표명	설명
제반 환경	국제 교류	외국인학생	3차 교육기관 학생 중 외국인 학생 비율(%)
		국제공저자	과학 및 공학 분야 한 개 이상의 해외 기관 소속 공저자 논문 수
		국제공동특허	해외 거주 발명가와의 공동 PCT 특허 출원 수
	경제	국민총생산(GDPpc)	인구 1명 당 GDP 액수(\$)
		생산가능인구	15-64세 사이 인구 수
	산업	해외투자유입	외국인 직접 투자액(Billion US\$)
		해외투자유출	해외 직접 투자액(Billion US\$)
		기업환경용이성	국가별 사업 용이성(사업하기 좋은 환경)
	사회	외국인이민자	현재 거주하고 있는 국가 외 다른 국가에서 태어난 인구 비율(% population)
		규제의 질	민간 부문의 발전을 촉진할 수 있는 정부의 규제 및 정책 집행 능력
		법치주의	계약이행·치안·사법 등의 분야에 대한 신뢰 및 법의 준수 정도

다. 지표 수집 및 가중치 설정

■ 지표 수집

- 지표 선정의 타당성과 신뢰도를 높이기 위하여 KISTEP에서 매년 발표하는 국가별 과학기술혁신역량 지수를 과학기술 부문 지표로 활용하였으며 OECD, World Bank 등 공신력있는 기관에서 발표하는 지표들로 외교 및 제반환경 부문을 구성
- 통계 자료는 가장 최근의 데이터 위주로 수집하였으며 기관별 수집 데이터 발표시기에 차이가 있어 지표별 가장 최근 데이터('20~'22년)를 활용

가중치 설정

○ 항목별 가중치 설정

- COSTII 지표의 경우 퍼지집합 이론을 적용한 지표 항목 간 중요성의 정도를 가중치로 반영하고 항목별 가중치의 비율을 중항목별 정수 비율로 변환하여 항목의 지표 수 비율 결정에 반영
- 본 연구에서는 COSTII의 항목을 과학기술외교역량지수 과학기술 부문 지표로 활용하여 분석
 - ※ 예시: 2022 COSTII 자원 부문 인적자원 항목의 경우 조직과 지식자원 항목보다 높은 가중치를 반영하여 3개의 세부지표(3점 만점)를 포함. 조직과 지식자원 항목의 경우 각 항목당 2개의 세부지표(2점 만점)를 포함
- 외교 및 제반환경 부문 지표의 경우 가중치 없이 동일한 비율로 배분

표준화 및 결측치 보정

- 복합지수 계산 및 국가 간 비교를 위해 측정 단위 및 분포가 상이한 지표들을 표준화하여 동일한 스케일로 통일
 - 각 지표별 최대값을 가진 국가를 1, 최소값을 가진 국가를 0으로 하여 각국의 표준화 값을 아래와 같이 산출
 - ※ 표준화 값 = (실제값-최소값)/(최대값-최소값)
- 해당 국가의 지표 값이 결측인 경우 원 데이터 자료 내 최대 3년까지 전년도 값으로 대체

라. 지수 계산

■ 과학기술외교역량지수(복합지수) 계산

- 각 항목에 포함된 지표 값을 표준화 하여 12개 항목별 지수 도출*

* 과학기술 부문의 경우 기존 COSTII 항목 값을 그대로 적용하여 과학기술 부문 지표 값으로 사용

$$S_{ij} = \sum_{k=1}^{n_k} S_{ijk}$$

S_{ij} = 항목 지수
 S_{ijk} = 지표 표준화 값
 n_k = 해당 항목 지표 수

- 각 부문지수는 항목지수의 합으로 도출

$$S_i = \sum_{j=1}^{N_j} S_{ij}$$

S_i = 부문 지수
 N_j = 해당 부문 항목 수

- 각 부문별 값을 표준화한 뒤 3개 부문 지수 값을 합산하여 과학기술외교역량지수(STD I) 도출

$$STDI = \sum_{i=1}^3 S'_i$$

$STDI$ = 과학기술외교역량지수
 S'_i = 부문 지수 표준화 값

※ 각 부문별 표준화된 최대 값은 1로, 과학기술외교역량지수는 각 부문별 표준화 값의 합인 총 3점이 최대

3. 평가대상 국가

■ 2022년도 기준 OECD 36개국을 평가대상국으로 선정

- 과학기술 부문 지수인 COSTII는 OECD 36개국을 2022년 평가대상국으로 포함
- 외교 및 제반환경 지수도 COSTII 평가대상국에 맞추어 동일한 36개 국가들을 평가대상국으로 선정

<표 3-7> 과학기술외교역량지수 평가대상국

(가나다 순)

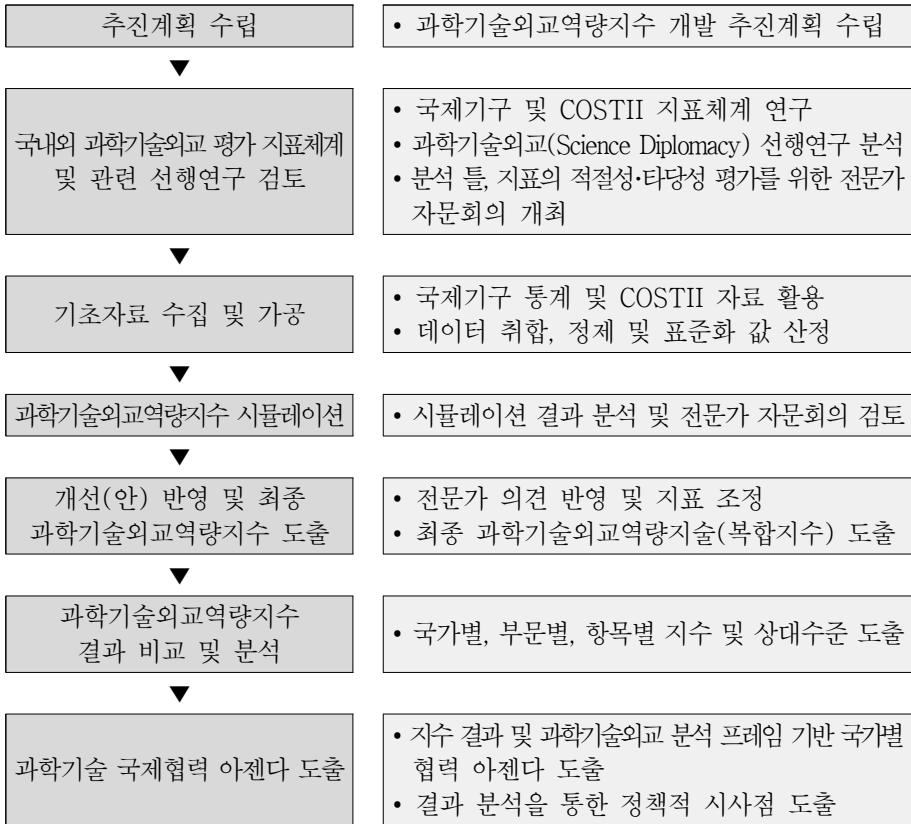
No.	국가명	No.	국가명	No.	국가명	No.	국가명
1	그리스	10	멕시코	19	아일랜드	28	캐나다
2	네덜란드	11	미국	20	에스토니아	29	터키
3	노르웨이	12	벨기에	21	영국	30	포르투갈
4	뉴질랜드	13	스웨덴	22	오스트리아	31	폴란드
5	덴마크	14	스위스	23	이스라엘	32	프랑스
6	독일	15	스페인	24	이탈리아	33	핀란드
7	라트비아	16	슬로바키아	25	일본	34	한국
8	룩셈부르크	17	슬로베니아	26	체코	35	헝가리
9	리투아니아	18	아이슬란드	27	칠레	36	호주

4. 평가 절차

■ 과학기술외교역량지수 개발 추진 절차

- 평가 신뢰성 제고를 위하여 관련 분야 전문가 자문위원회를 개최하고 3회에 걸쳐 분석 틀, 평가지표 및 방법론을 검토하고 부족한 부문은 서면자문을 통하여 보완
 - (전문가 구성) 전문가 자문위원회는 국제협력, 복합지수, 연구방법론, 기술(이차전지), 과학기술정책 분야 전문가 등 5~8인으로 구성

<표 3-8> 과학기술외교역량지수 개발 추진 절차

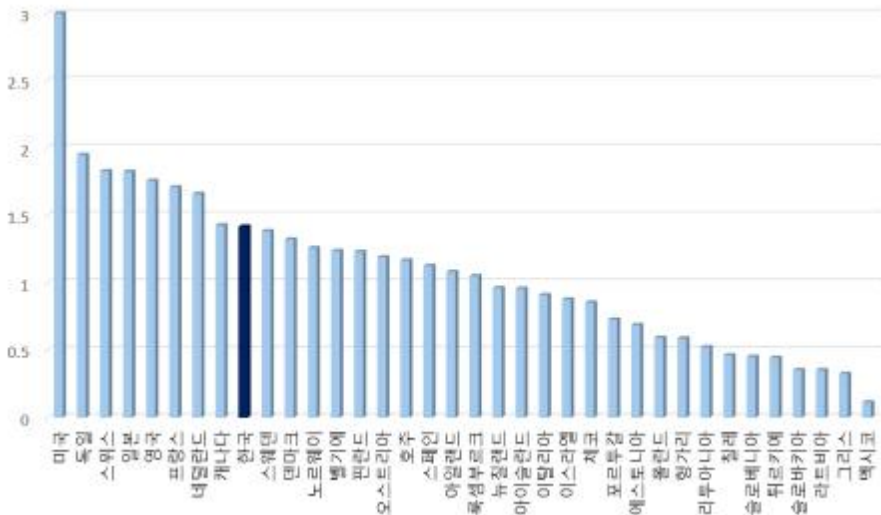


제 2 절 분석 결과

1. 국가별 과학기술외교역량 분석 결과

■ 국가별 과학기술외교역량 순위 1위는 미국으로 나타남

- 미국의 과학기술외교역량 점수는 3점으로 1위이며, 독일(1.95), 스위스(1.83), 일본(1.82), 영국(1.76) 순으로 상위권에 포진
- 한국은 1.42점으로 총 36개 국가 중 전체순위 9위
- 1위인 미국과는 절반에 가깝게 차이가 나타나는 것으로 나타나며 주변국인 일본과는 0.4점 가량 차이로 과학기술혁신역량에서 근소한 차이로 일본을 앞서는 것과 달리 전반적인 과학기술외교역량은 조금 뒤처지는 것으로 나타남
- 1위인 미국은 과학기술혁신역량, 외교역량, 제반환경에서 모두 1위를 기록하며 최상위 국가들 중에서도 월등하게 뛰어난 것으로 나타남



[그림 3-2] 국가별 과학기술외교역량지수

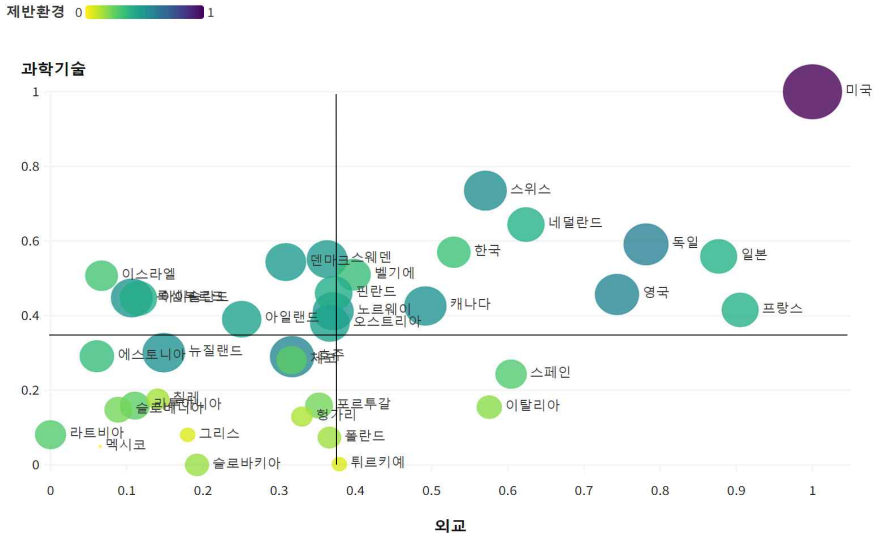
- 과학기술외교역량지수 부문별 순위에서 한국은 과학기술 5위, 외교 10위, 제반환경 21위로 세 부문 중 제반환경이 가장 낮은 순위를 기록

- 제반환경이 21위로 다른 국가들과 비교하여 중간 이하이긴 하나 주변국들과의 제반환경의 점수 차가 크지 않아 전체 순위에 미치는 영향은 적게 나타남

<표 3-9> 과학기술외교역량지수 국가별 순위

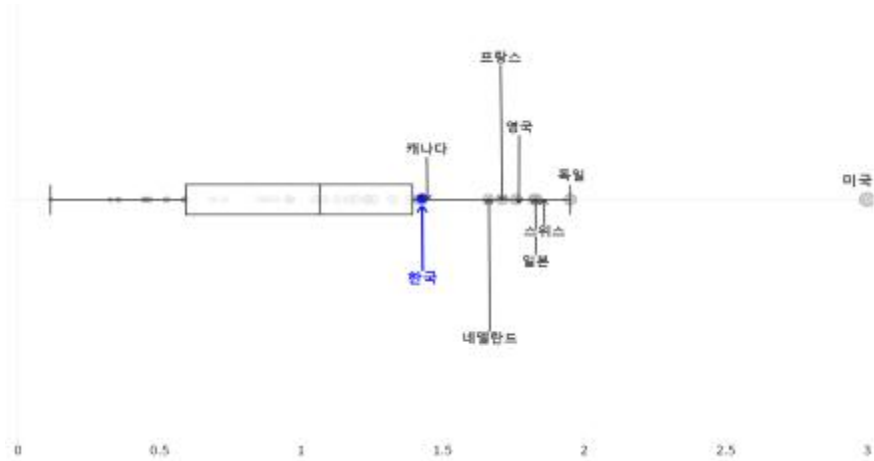
No.	국가명	과학기술 외교역량	과학기술	외교	제반환경
1	미국	1	1	1	1
2	독일	2	4	4	2
3	스위스	3	2	9	5
4	일본	4	6	3	18
5	영국	5	12	5	4
6	프랑스	6	16	2	17
7	네덜란드	7	3	6	16
8	캐나다	8	15	11	7
9	한국	9	5	10	21
10	스웨덴	10	7	18	11
11	덴마크	11	8	23	10
12	노르웨이	12	17	15	9
13	벨기에	13	9	12	20
14	핀란드	14	11	14	14
15	오스트리아	15	19	16	12
16	호주	16	22	21	3
17	스페인	17	24	7	23
18	아일랜드	18	18	24	13
19	룩셈부르크	19	13	31	8
20	뉴질랜드	20	20	27	6
21	아이슬란드	21	14	29	15
22	이탈리아	22	28	8	29
23	이스라엘	23	10	33	22
24	체코	24	23	22	25
25	포르투갈	25	26	19	27
26	에스토니아	26	21	35	19
27	폴란드	27	33	17	31
28	헝가리	28	30	20	33
29	리투아니아	29	27	30	26

- ※ 전체 국가 부문별 평균: 관하기수부문(0.35) 외교(0.37) 제바하경(0.35)



<표 3-10> 과학기술외교역량지수 분위별 국가 분류

그룹분류	분위	국가명
선도그룹	4분위	미국, 독일, 스위스, 일본, 영국, 프랑스, 네델란드, 캐나다, 한국
	3분위	스웨덴, 덴마크, 노르웨이, 벨기에, 핀란드, 오스트리아, 호주, 스페인, 아일랜드
후발그룹	2분위	룩셈부르크, 뉴질랜드, 아이슬란드, 이탈리아, 이스라엘, 체코, 포르투갈, 에스토니아, 폴란드
	1분위	헝가리, 리투아니아, 칠레, 슬로베니아, 튀르키예, 슬로바키아, 라트비아, 그리스, 멕시코



[그림 3-4] 분위별 과학기술외교역량지수

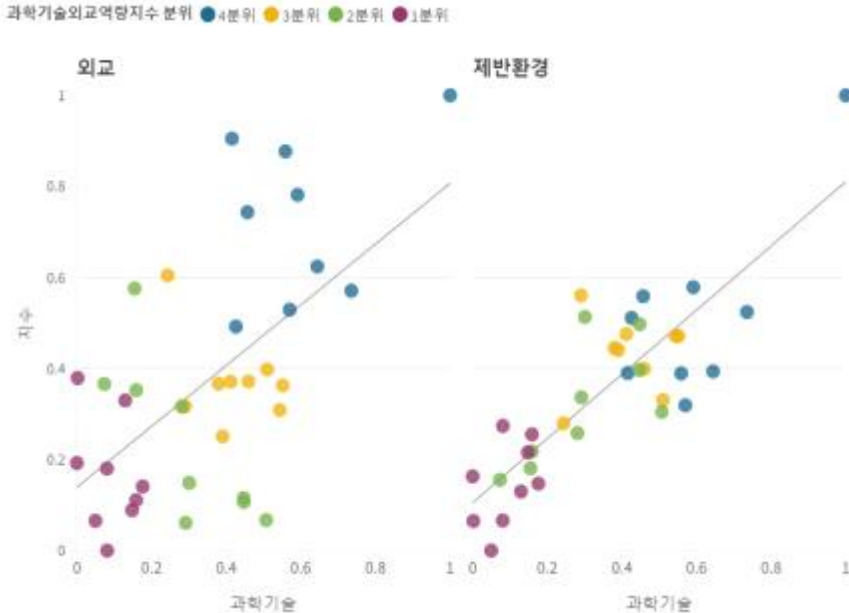
- 과학기술외교역량지수 분위별, 부문별 평균을 살펴보았을 때 선도그룹의 과학기술외교역량지수 평균은 1.53, 후발그룹의 평균은 0.63점으로 약 2.5배 차이
 - 과학기술 부문의 경우 선도그룹의 평균은 0.53인데 반해, 후발그룹의 평균은 0.16으로 약 3.2배 차이
 - 외교 부문의 경우 선도그룹의 평균은 0.57, 후발그룹의 평균은 0.18로 약 3.3배 차이
 - 제반환경 부문의 경우 선도그룹의 평균은 0.50, 후발그룹의 평균은 0.21로 약 2.4배 차이

<표 3-11> 과학기술외교역량지수 선도그룹과 후발그룹

그룹분류	분위	과학기술외교 역량지수평균		과학기술 평균		외교 평균		제반환경 평균	
선도그룹	4분위	1.84	1.53	0.63	0.53	0.74	0.57	0.58	0.50
	3분위	1.21		0.44		0.40		0.42	
후발그룹	2분위	0.82	0.63	0.25	0.16	0.27	0.18	0.29	0.21
	1분위	0.40		0.08		0.08		0.12	

※ 과학기술외교역량지수는 0(최하점)~3점(최고점) 스케일; 과학기술, 외교, 제반환경은 부문별로 각 0(최하점)~1점(최고점)

- 과학기술 부문과 외교, 제반환경 부문을 비교해 보았을 때, 과학기술과 외교, 과학기술과 제반환경 부문은 선형 관계에 있는 것으로 나타남
 - 외교 부문에서 4분위 국가들은 과학기술 역량에 비해 외교 역량이 높은 국가들이 많은 반면, 3분위 국가들은 외교 역량에 비해 과학기술 역량이 높은 국가들이 다수
 - 또한, 외교 부문은 국가들 간 차이가 크게 나타나는 반면, 제반환경은 국가들 간 차이가 크지 않은 것으로 나타남



[그림 3-5] 과학기술·외교 부문, 과학기술·제반환경 부문 비교

- 과학기술외교역량지수 분위별 이동을 살펴보았을 때, 최상위 국가들과 최하위 국가들의 분위 이동은 크지 않은 것으로 나타났으나 3분위와 2분위 국가들의 경우 부문별 계층 이동 경향이 비교적 큰 편
 - 과학기술외교역량지수 및 세 개의 부문에서 모두 4분위에 있는 국가는 미국, 독일, 스위스로 나타남
 - 과학기술외교역량지수 4분위 국가들 중 영국과 프랑스, 캐나다의 경우 과학기술 부문이 3분위로 나타났고, 과학기술외교역량지수 3분위 국가들 중 스웨덴, 덴마크, 벨기에가 과학기술 부문 4분위에 속하는 것으로 나타남
 - 과학기술외교역량지수 4분위 9개 국가들 중 일본과 영국, 네덜란드가 한 개 부문에서 3분위에 있는 것으로 나타났고 프랑스와 캐나다, 한국이 2개 부문에서 4분위에 들지 못하는 것으로 나타남
 - 한국은 제반환경 부문이 2분위임에도 불구하고 제반환경 부문의 경우 국가별 점수차가 크지 않아 과학기술외교역량지수에서 4분위에 포함
 - 한국은 과학기술, 외교 부문에서 모두 상위권에 있으나 제반환경이 2분위로 다른 국가들보다 부족한 것으로 나타남

<표 3-12> 과학기술외교역량지수 선도그룹 분위별 이동

No.	국가명	과학기술 외교역량	과학기술	외교	제반환경
1	미국	4분위	4분위	4분위	4분위
2	독일	4분위	4분위	4분위	4분위
3	스위스	4분위	4분위	4분위	4분위
4	일본	4분위	4분위	4분위	3분위
5	영국	4분위	3분위	4분위	4분위
6	프랑스	4분위	3분위	4분위	3분위
7	네덜란드	4분위	4분위	4분위	3분위
8	캐나다	4분위	3분위	3분위	4분위
9	한국	4분위	4분위	3분위	2분위
10	스웨덴	3분위	4분위	3분위	3분위
11	덴마크	3분위	4분위	2분위	3분위
12	노르웨이	3분위	3분위	3분위	4분위
13	벨기에	3분위	4분위	3분위	2분위
14	핀란드	3분위	3분위	3분위	3분위
15	오스트리아	3분위	2분위	3분위	3분위
16	호주	3분위	2분위	2분위	4분위
17	스페인	3분위	2분위	4분위	2분위
18	아일랜드	3분위	3분위	2분위	3분위

- 후발국가들의 경우 한 부문이라도 4분위에 있는 국가로는 뉴질랜드(제반 환경), 이탈리아(외교)로 나타났으며 그 밖의 국가들은 대부분의 부문에서 1분위 또는 2분위에 위치
- 아이슬란드와 이스라엘의 경우 과학기술 부문에서 3분위에 위치하지만 외교 부문이 1분위로 다른 국가들보다 부족한 것으로 나타남

<표 3-13> 과학기술외교역량지수 후발그룹 분위별 이동

No.	국가명	과학기술 외교역량	과학기술	외교	제반환경
19	룩셈부르크	2분위	3분위	1분위	4분위
20	뉴질랜드	2분위	2분위	2분위	4분위
21	아이슬란드	2분위	3분위	1분위	3분위
22	이탈리아	2분위	1분위	4분위	1분위
23	이스라엘	2분위	3분위	1분위	2분위
24	체코	2분위	2분위	2분위	2분위
25	포르투갈	2분위	2분위	2분위	2분위
26	에스토니아	2분위	2분위	1분위	2분위
27	폴란드	2분위	1분위	3분위	1분위
28	헝가리	1분위	1분위	2분위	1분위
29	리투아니아	1분위	2분위	1분위	2분위
30	칠레	1분위	2분위	1분위	1분위
31	슬로베니아	1분위	1분위	1분위	1분위
32	튀르키예	1분위	1분위	3분위	1분위
33	슬로바키아	1분위	1분위	2분위	1분위
34	라트비아	1분위	1분위	1분위	2분위
35	그리스	1분위	1분위	2분위	1분위
36	멕시코	1분위	1분위	1분위	1분위

- 과학기술외교역량지수 선도그룹(3, 4분위) 18개 국가들만 비교해 보았을 때, 대부분 과학기술과 외교 역량이 비례하는 것으로 나타남
 - 한국보다 과학기술 역량이 높으면서 외교 역량과 제반환경이 모두 우수한 국가들로는 미국, 스위스, 네덜란드, 독일
 - 한국보다 과학기술 및 외교 역량이 낮은 국가들 대부분은 좋은 과학기술외교 제반환경을 보유

- 같은 아시아권에 있는 일본의 경우, 한국과 과학기술 역량은 비슷하나 외교 역량이 월등히 뛰어난 것으로 나타났으며 비슷한 과학기술 역량 군의 스웨덴과 덴마크가 한국과 비교하여 외교역량이 조금 떨어지는 것으로 나타남

제반환경 0.28  1



[그림 3-6] 과학기술외교역량지수 선도그룹 비교

- 과학기술외교역량지수 후발그룹(1, 2분위) 18개 국가들과 한국을 비교해 보았을 때, 한국보다 외교역량이 높은 국가는 이탈리아 한 국가뿐이지만 한국보다 제반환경이 우수한 국가들은 다수
 - 한국을 제외하고 후발국가들 중 과학기술 역량이 우수한 국가로 이스라엘, 룩셈부르크, 아이슬란드가 있으며 세 국가들 모두 외교역량은 낮지만 제반환경은 우수하거나 비슷한 것으로 나타남
 - 뉴질랜드와 아이슬란드의 경우 제반환경이 각각 6위, 15위로 한국(21위)보다 앞서 있는 것으로 나타남

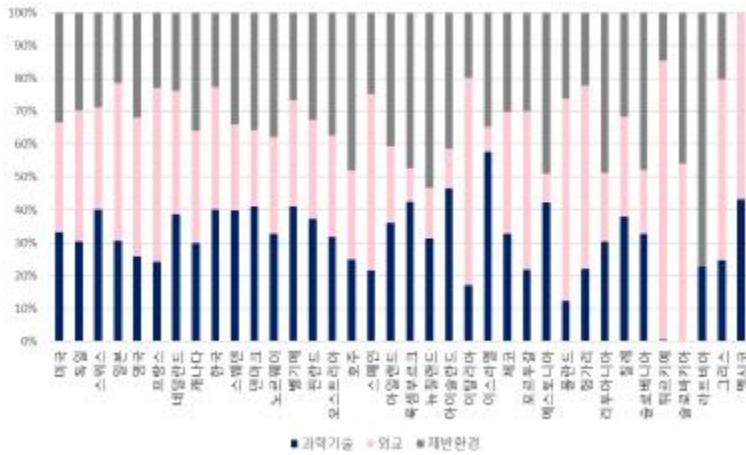
제반환경 0 0.51

과학기술



[그림 3-7] 과학기술외교역량지수 후발그룹 비교

- 각 과학기술역량지수를 100%로 놓고 각 부문이 차지하는 비중을 살펴보면 상위권 그룹 국가들의 경우 과학기술과 외교, 제반환경의 비율이 고르게 분포
- 한국의 경우 제반환경이 과학기술과 외교 역량에 미치지 못하는 것으로 나타남
 - 대부분 상위권의 국가들은 외교 역량과 제반환경이 과학기술역량 못지 않게 우수한 것으로 나타났으며 하위권 국가들일수록 어느 한 부문의 비중이 압도적으로 높거나 낮은 것으로 나타남



[그림 3-8] 과학기술외교역량지수 부문별 분포

2. 과학기술 부문 분석 결과

■ 과학기술 부문 1위는 미국으로 나타남

- 표준화된 미국의 과학기술 부문 점수는 1점으로 1위이며, 스위스(2위), 네덜란드(3위), 독일(4위), 한국(5위), 일본(6위) 순으로 나타남
- － 한국은 과학기술 부문의 자원, 활동 항목에서 높은 순위에 올랐으며 네트워크와 환경 항목의 순위는 다소 낮은 것으로 나타남

<표 3-14> 과학기술외교역량지수 과학기술 부문 항목별 순위

No.	국가명	과학기술 부문순위	자원	활동	네트워크	환경	성과
1	미국	1	1	1	19	10	7
2	스위스	2	6	5	7	7	1
3	네덜란드	3	11	14	5	1	3
4	독일	4	3	6	2	16	12
5	한국	5	5	3	14	23	10
6	일본	6	2	4	28	34	4
7	스웨덴	7	10	7	21	4	8
8	덴마크	8	8	12	22	2	9
9	벨기에	9	15	11	1	18	16
10	이스라엘	10	29	2	18	19	13

No.	국가명	과학기술 부문순위	자원	활동	네트워크	환경	성과
11	핀란드	11	13	13	24	5	15
12	영국	12	4	18	17	12	14
13	룩셈부르크	13	19	21	12	9	5
14	아이슬란드	14	23	9	36	3	6
15	캐나다	15	12	15	13	8	19
16	프랑스	16	9	16	3	20	17
17	노르웨이	17	16	17	31	6	11
18	아일랜드	18	22	25	26	13	2
19	오스트리아	19	14	8	16	21	18
20	뉴질랜드	20	17	30	9	11	23
21	에스토니아	21	26	19	11	17	20
22	호주	22	7	29	20	15	21
23	체코	23	21	23	4	27	22
24	스페인	24	20	26	8	22	29
25	칠레	25	35	10	15	29	33
26	포르투갈	26	24	32	30	14	32
27	리투아니아	27	30	33	10	24	28
28	이탈리아	28	18	20	32	28	25
29	슬로베니아	29	25	22	29	30	26
30	헝가리	30	32	28	33	25	24
31	라트비아	31	34	34	27	26	27
32	그리스	32	28	27	34	31	30
33	폴란드	33	31	31	25	32	34
34	멕시코	34	36	36	6	33	31
35	튀르키예	35	33	24	35	35	36
36	슬로바키아	36	27	35	23	36	35

- 각 지표값을 표준화하여 상대비교 하였을 때 미국은 모든 지표에서 우수한 결과를 나타냈으며 특히 인적자원, 조직, 지식자원, 연구개발투자 및 기업 간 협력 지표에서 뛰어난 점수를 받음
- － 한국은 연구개발투자와 물적인프라 지표에서 강점을 드러냈으나 조직과 창업활동 지표에서 비슷한 수준의 다른 국가들보다 떨어지는 것으로 나타남



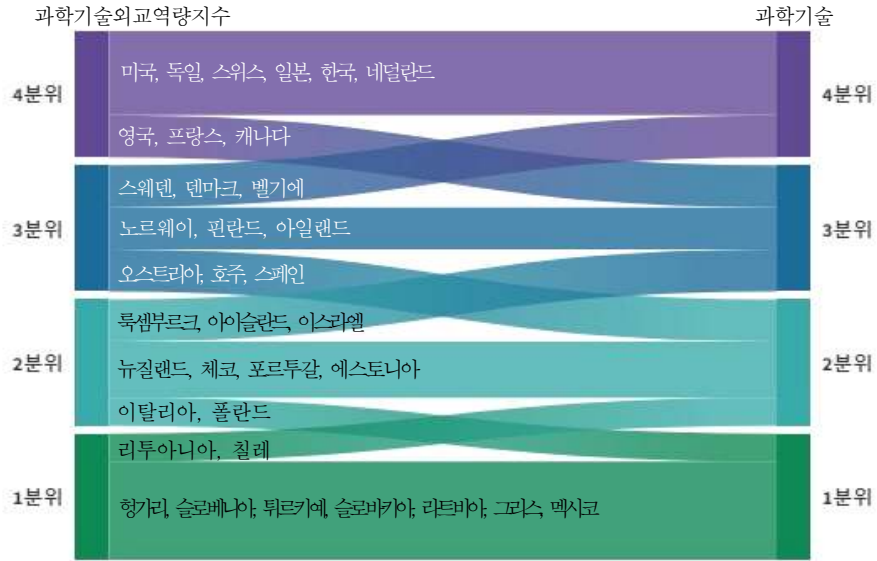
[그림 3-9] 과학기술 부문 지표별 Heatmap

- 과학기술외교역량지수 4분위 9개 국가 중 캐나다, 프랑스, 영국이 빠지고 과학기술 부문 상위 9개 국가 안에 있는 스웨덴, 덴마크, 벨기에가 포함
- － 한국은 과학기술외교역량지수는 9순위로 4분위 국가들 중 가장 낮지만, 과학기술 부문 지수는 5위로 국가의 과학기술 역량은 우수

<표 3-15> 과학기술외교역량지수와 과학기술 부문 4분위 국가 비교

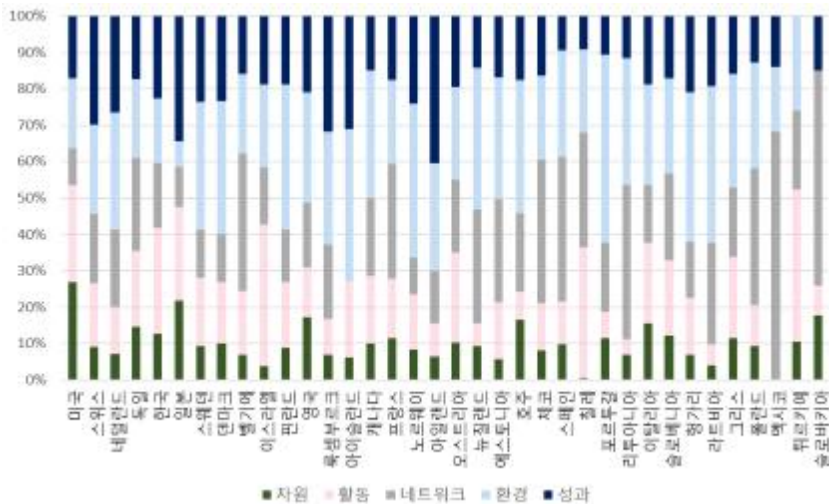
과학기술외교역량지수 4분위 국가 순위		과학기술 부문 4분위 국가 순위	
1	미국	1	미국
2	독일	2	스위스
3	스위스	3	네덜란드
4	일본	4	독일
5	영국	5	한국
6	프랑스	6	일본
7	네덜란드	7	스웨덴
8	캐나다	8	덴마크
9	한국	9	벨기에

- － 과학기술 부문 분위 이동을 살펴보았을 때, 과학기술외교역량지수 4분위에서는 3개 국가(캐나다, 프랑스, 영국)를 제외한 나머지 국가들은 모두 과학기술 역량도 4분위로 높게 나타남
- － 과학기술외교역량지수 3분위와 2분위 국가들은 과학기술 부문에서 상위와 하위 부문으로 이동이 크게 나타남. 3분위 국가들 중에서는 3개 국가의 과학기술 부문이 4분위로 높게 나타났고, 3개 국가는 2분위로 낮게 나타남
- － 과학기술외교역량지수 2분위 국가들 중에서 3개 국가는 과학기술 역량이 3분위로 높게 나타난 반면, 2개 국가는 과학기술 역량이 전반적인 과학기술외교역량보다 떨어지는 것으로 나타남
- － 과학기술외교역량지수 1분위 국가들 중에서는 두 국가를 제외한 나머지 국가들의 과학기술 부문이 모두 동일하게 1분위로 나타남



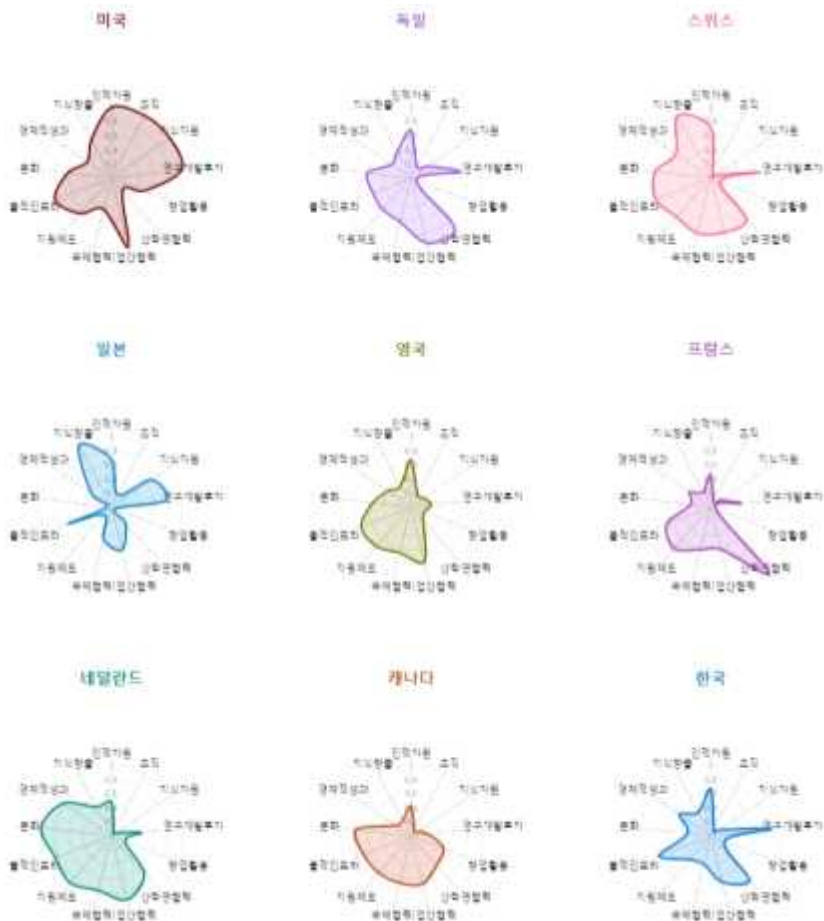
[그림 3-10] 과학기술 부문 분위 이동

- 과학기술 부문 5개 항목별 비중 전체 국가 비교에서, 한국은 활동과 성과 항목이 상대적으로 강하게 나타났고, 미국의 경우 자원과 활동 항목이, 일본은 자원과 성과 항목이 강하게 나타남



[그림 3-11] 과학기술 부문 항목별 비중

- 과학기술외교역량지수 4분위 9개 국가들을 비교해 보았을 때, 한국은 연구개발투자, 산학연 협력, 기업 간 협력 및 물적 인프라 지표에서 우수성을 나타낸 반면, 조직, 지식자원, 창업활동이 비교적 부족
- 미국은 산학연 협력을 제외하고 대부분의 지표에서 우수한 과학기술 역량을 보유하고 있는 것으로 나타났고 특히 미국, 스위스, 네덜란드, 캐나다는 한국이 부족한 조직, 국제협력 및 지원제도 방면에서 경쟁력을 가지는 것으로 나타남



[그림 3-12] 과학기술외교역량지수 4분위 국가 과학기술 부문 지표별 비교

3. 외교 부문 분석 결과

■ 외교 부문 1위는 미국으로 나타남

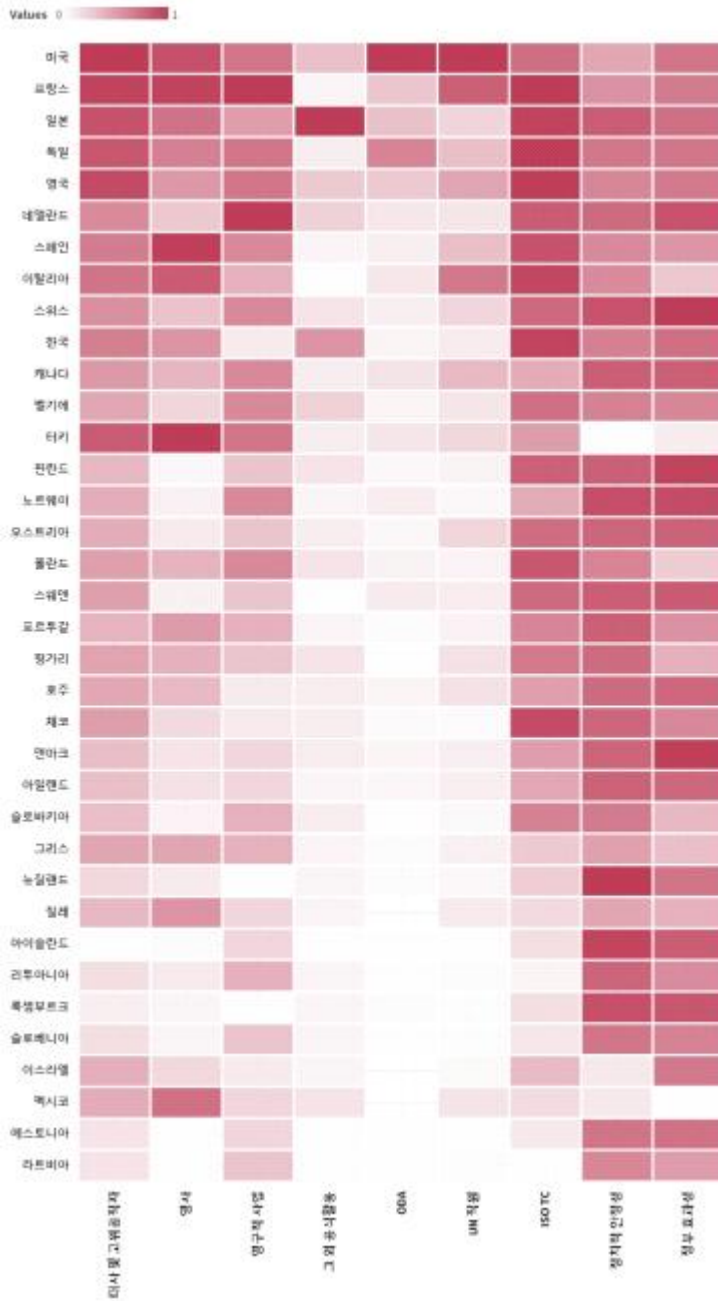
- 미국의 외교 부문 점수는 1점으로 1위이며, 프랑스(2위), 일본(3위), 독일(4위), 영국(5위), 네델란드(6위) 순으로 나타남

<표 3-16> 과학기술외교역량지수 외교 부문 항목별 순위

No.	국가명	외교 부문 순위	공식활동	영향력	리더십
1	미국	1	3	1	26
2	프랑스	2	2	2	24
3	일본	3	1	6	13
4	독일	4	6	3	16
5	영국	5	5	5	22
6	네델란드	6	8	9	9
7	스페인	7	7	7	27
8	이탈리아	8	9	4	31
9	스위스	9	11	10	1
10	한국	10	10	8	18
11	캐나다	11	13	16	10
12	벨기에	12	15	15	23
13	터키	13	4	19	36
14	핀란드	14	26	17	4
15	노르웨이	15	20	25	2
16	오스트리아	16	22	11	11
17	폴란드	17	12	12	30
18	스웨덴	18	25	14	8
19	포르투갈	19	17	21	19
20	헝가리	20	18	18	25
21	호주	21	21	20	14
22	체코	22	24	13	17
23	덴마크	23	27	23	5
24	아일랜드	24	29	24	12
25	슬로바키아	25	23	22	29

No.	국가명	외교 부문 순위	공식활동	영향력	리더십
26	그리스	26	16	27	33
27	뉴질랜드	27	33	29	7
28	칠레	28	19	30	32
29	아이슬란드	29	35	32	3
30	리투아니아	30	30	35	20
31	룩셈부르크	31	36	31	6
32	슬로베니아	32	31	33	21
33	이스라엘	33	28	26	34
34	멕시코	34	14	28	35
35	에스토니아	35	34	34	15
36	라트비아	36	32	36	28

- 한국의 외교 부문의 공식활동(10위), 영향력(8위) 항목에서 높은 순위에 올랐으나 리더십 항목은 중간 정도로 나타남
- 외교 부문 상위 10위권 내 국가들 중, 네델란드와 스위스를 제외하면 리더십 항목에서 10위권 이내를 유지하는 국가는 없는 것으로 나타남
- 각 지표값을 표준화하여 상대비교 하였을 때 미국은 모든 지표에서 우수한 결과를 나타냈으며 특히 ODA 액수에서 압도적인 우위
 - 한국은 ISO 기술위원 수에서 상위권을 차지하였고 해외 공식활동 면에서도 앞섰으나 영구적 성격의 해외 사업이나 ODA 액수, UN 산하 기구 활동 직원 수 등에서 다른 국가들보다 부족
 - 프랑스와 일본, 독일의 경우 외교적 활동을 타 국가들보다 활발히 수행하고 있는 것으로 나타났으며 특히 공식 해외 활동, ODA, UN 기구 활동 직원 및 ISO 기술위원 수에서 우위를 선점



[그림 3-13] 외교 부문 지표별 Heatmap

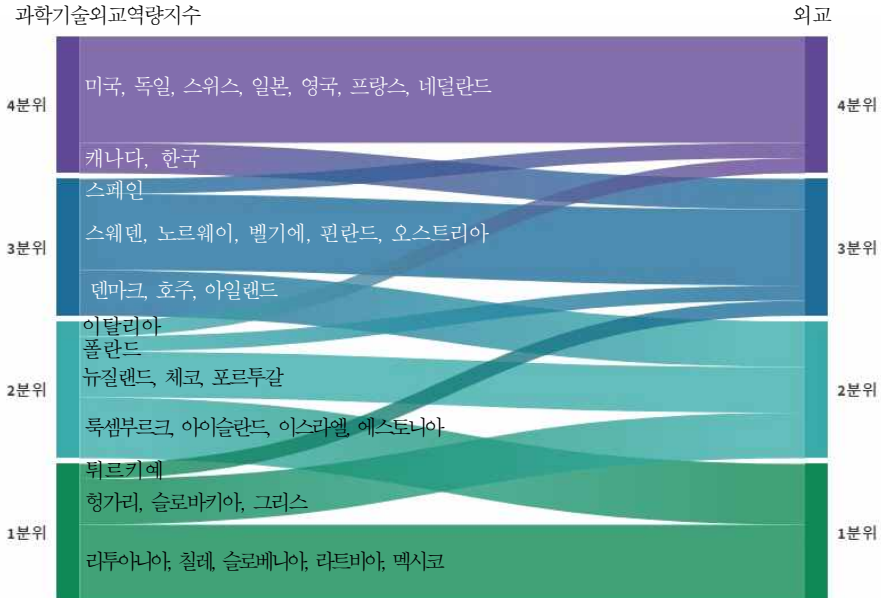
- 과학기술외교역량지수 4분위 9개 국가 중 캐나다, 한국이 빠지고 외교 부문 상위 9개 국가에 스페인, 이탈리아가 포함
- 한국은 과학기술외교역량지수는 9순위, 과학기술 부문 순위는 5위로 4분위 국가에 포함이 되었지만, 외교 부문 지수는 10위로 과학기술 역량에 비하여 다소 낮게 나타남
 - 캐나다의 경우 과학기술외교역량지수가 8위로 상위권이었지만 외교 역량은 한국보다 한 단계 아래인 11위로 비슷하게 국가의 외교 역량이 과학기술 역량에 미치지 못하는 것으로 나타남
 - 스페인의 경우 과학기술외교역량지수 17위, 이탈리아는 22위로 전반적인 과학기술외교역량지수는 낮으나 외교 역량이 다른 국가들에 비하여 현저히 높은 것으로 나타남

<표 3-17> 과학기술외교역량지수와 외교 부문 4분위 국가 비교

과학기술외교역량지수 4분위 국가 순위		외교 부문 4분위 국가 순위	
1	미국	1	미국
2	독일	2	프랑스
3	스위스	3	일본
4	일본	4	독일
5	영국	5	영국
6	프랑스	6	네덜란드
7	네덜란드	7	스페인
8	캐나다	8	이탈리아
9	한국	9	스위스

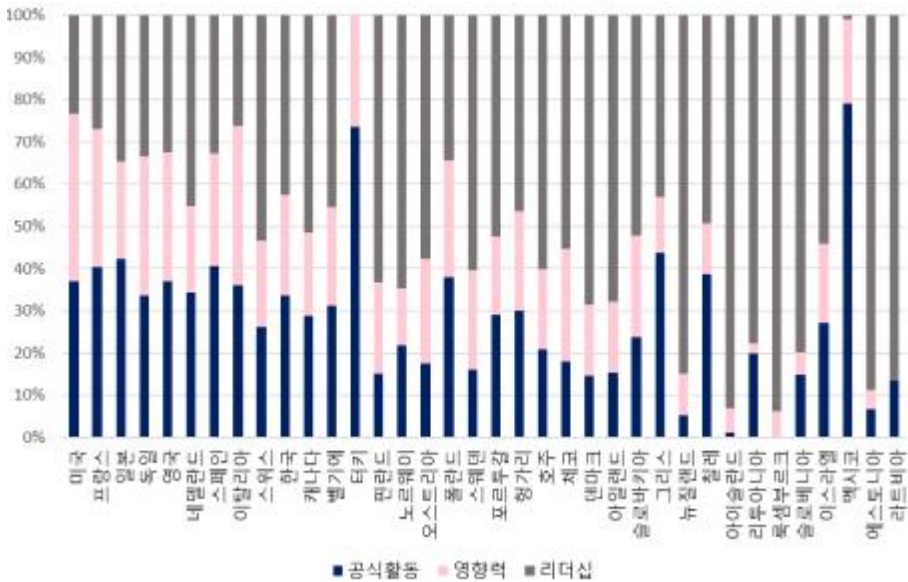
- 외교 부문 분위 이동을 살펴보았을 때, 과학기술외교역량지수 4분위에서는 2개 국가(캐나다, 한국)를 제외한 나머지 국가들은 모두 과학기술 역량도 4분위로 높게 나타남
- 과학기술외교역량지수 3분위와 2분위 국가들은 외교 부문에서 상위와 하위 부문으로 이동이 크게 나타남. 3분위 국가들 중에서는 스페인의 외교 부문이 4분위로 높게 나타났고, 3개 국가(덴마크, 호주, 아일랜드)는 2분위로 낮게 나타남

- 과학기술외교역량지수 2분위 국가들 중에서 이탈리아와 폴란드가 각각 4분위, 3분위로 외교 역량이 높게 나타난 반면, 4개 국가는 외교 역량이 1분위로 전반적인 과학기술외교역량보다 떨어지는 것으로 나타남
- 과학기술외교역량지수 1분위 국가들 중에서는 튀르키예가 외교 부문 3분위로 높게 나타났으며 헝가리, 슬로바키아, 그리스도 외교부문이 2분위로 전체 과학기술외교역량지수보다 높게 나타남



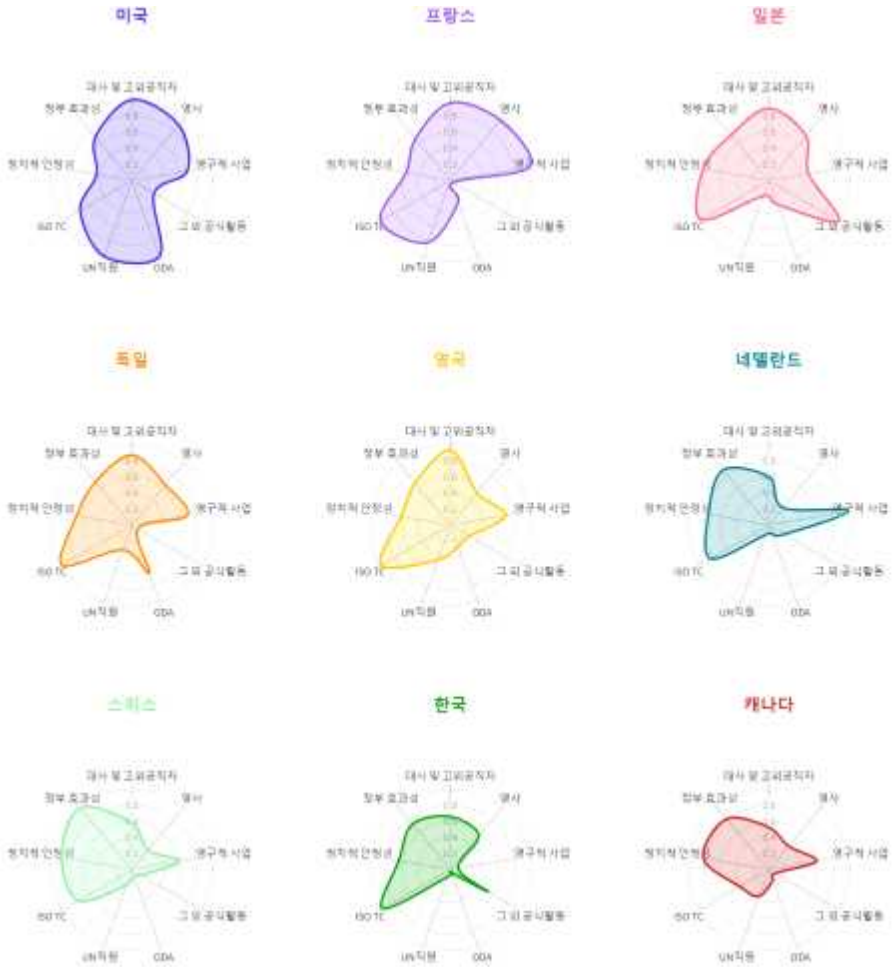
[그림 3-14] 외교 부문 분위별 이동

- 외교 부문 3개 항목별 비중 전체 국가 비교에서, 한국은 공식활동과 리더십 항목이 상대적으로 강하게 나타났고, 미국의 경우 공식활동과 영향력이, 일본은 한국과 비슷하게 공식활동과 리더십 항목이 강하게 나타남



[그림 3-15] 외교 부문 항목별 비교

- 과학기술외교역량지수 4분위 9개 국가들을 비교해 보았을 때, 한국은 ISO 기술위원, 정부 효과성 및 공식적 외교활동 등에서 우수성을 나타낸 반면, 영구적 성격의 해외 사업과 ODA, UN 산하기관 수 부분이 다른 국가들보다 부족
 - 미국은 정치적 안정성과 정부 효과성 및 공식적 해외 활동을 제외한 대부분의 지표에서 우수한 외교 역량을 보유
 - 일본은 한국과 비슷한 형태이지만 여러 외교 지표에서 한국보다 앞선 것으로 나타남. 특히 해외 공식 외교 활동 및 ODA에서 한국보다 많은 활동을 수행



[그림 3-16] 과학기술외교역량지수 4분위 국가 외교 부문 지표별 비교

4. 제반환경 부문 분석 결과

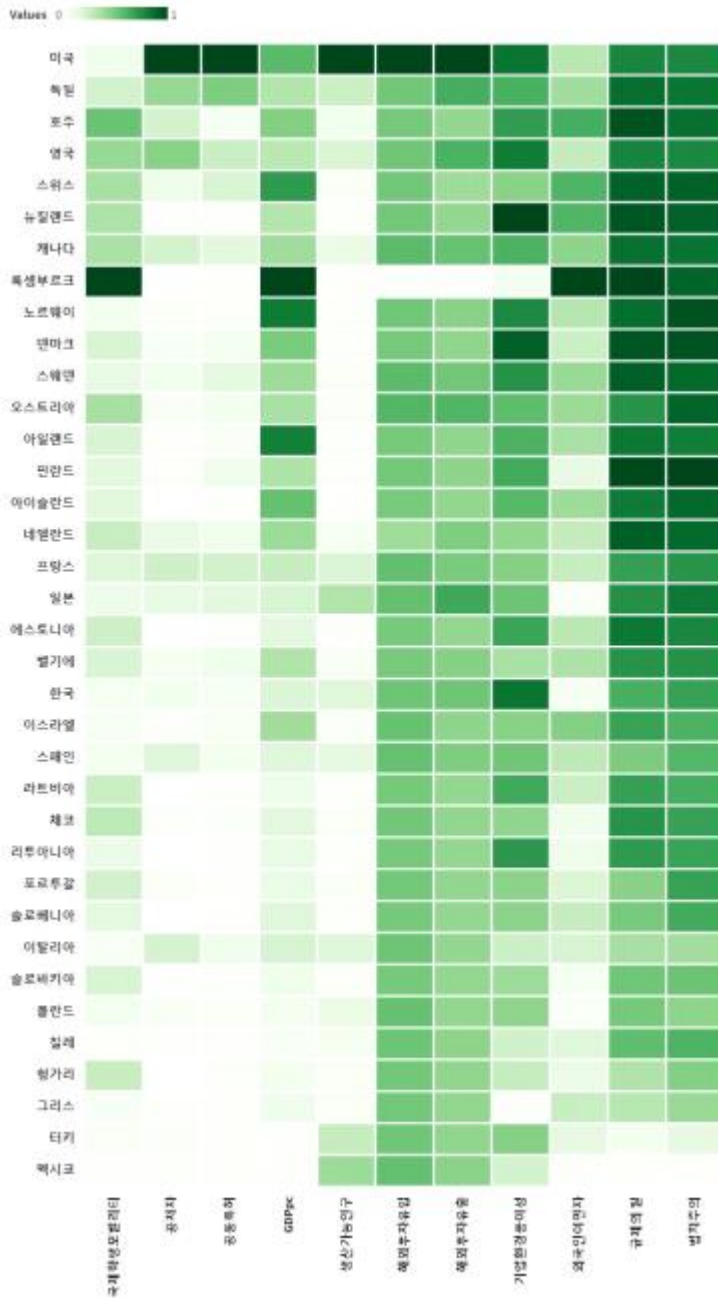
■ 제반환경 부문 1위는 미국으로 나타남

- 미국의 제반환경 부문 점수는 1점으로 1위이며, 독일(2위), 호주(3위), 영국(4위), 스위스(5위), 뉴질랜드(6위) 순으로 나타남

<표 3-18> 과학기술외교역량지수 제반환경 부문 항목별 순위

No.	국가명	제반환경 부문 순위	국제교류	경제	산업	사회
1	미국	1	1	1	1	16
2	독일	2	2	6	7	11
3	호주	3	5	7	13	3
4	영국	4	3	12	2	17
5	스위스	5	7	5	27	4
6	뉴질랜드	6	12	23	3	2
7	캐나다	7	6	11	11	8
8	룩셈부르크	8	4	2	36	1
9	노르웨이	9	30	3	9	7
10	덴마크	10	18	10	5	6
11	스웨덴	11	13	15	6	5
12	오스트리아	12	10	18	8	13
13	아일랜드	13	24	4	17	14
14	핀란드	14	22	21	14	9
15	아이슬란드	15	27	8	19	10
16	네덜란드	16	9	14	30	12
17	프랑스	17	8	13	20	20
18	일본	18	11	9	10	21
19	에스토니아	19	23	29	15	15
20	벨기에	20	14	20	29	18
21	한국	21	26	22	4	27
22	이스라엘	22	32	16	21	19
23	스페인	23	17	24	18	26
24	라트비아	24	21	35	16	22
25	체코	25	16	27	25	23
26	리투아니아	26	31	31	12	24
27	포르투갈	27	20	30	24	28
28	슬로베니아	28	28	28	26	25
29	이탈리아	29	15	19	34	33
30	슬로바키아	30	25	33	28	30
31	폴란드	31	29	26	23	32
32	칠레	32	36	34	33	29
33	헝가리	33	19	36	31	34
34	그리스	34	34	32	35	31
35	터키	35	33	25	22	35
36	멕시코	36	35	17	32	36

- 각 지표값을 표준화하여 상대비교 하였을 때 미국은 모든 지표에서 우수한 결과를 나타냈으며 특히 국제협력(논문 공저자, 공동특허) 항목과 산업(해외투자유입 및 유출) 항목 등에서 압도적인 우위를 나타냄
 - 한국은 산업 항목 전 지표에서 상위권을 차지하였고 사회 항목(규제의 질, 법치주의)에서도 비교적 높은 순위를 차지했으나 다른 지표들에서는 비교국들보다 많이 떨어지는 것으로 나타남
 - 독일, 호주, 영국의 경우 과학기술외교를 위한 제반환경이 타 국가들에 비해 우수한 것으로 나타났으며 특히 미국, 독일과 영국의 경우 어느 한 지표가 월등하게 부족하지 않고 모든 제반환경 지표에서 골고루 상위에 위치함
 - 하위 국가들로 갈수록 국제교류(공동 논문 및 특허, 외국인학생 수)와 경제(GDPpc, 생산가능인구) 지표들이 떨어지는 것으로 나타났으며 외국인 이민자 수에서도 큰 차이가 나는 것으로 나타남



[그림 3-17] 제반환경 부문 지표별 Heatmap

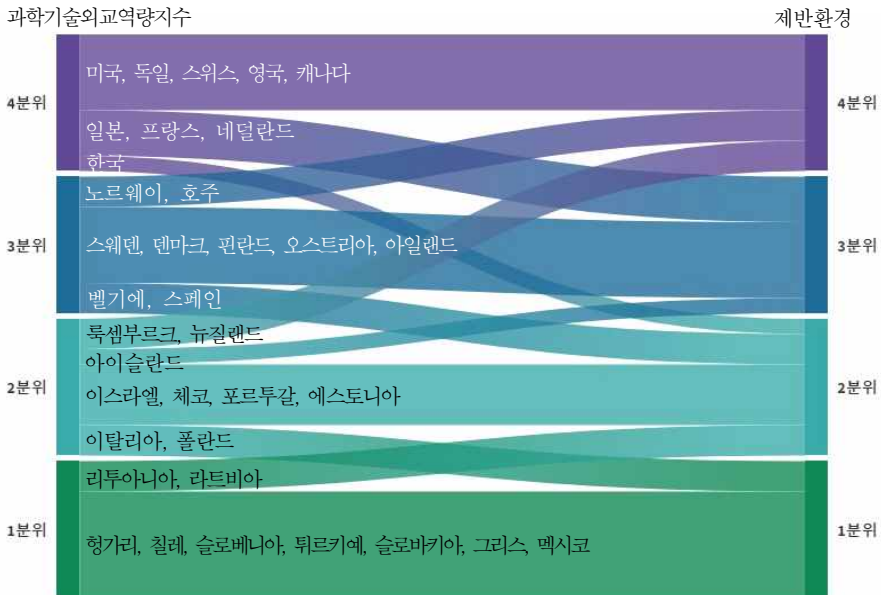
- 과학기술외교역량지수 4분위 9개 국가 중 일본, 프랑스, 네덜란드, 한국이 빠지고 제반환경 부문 상위 9개 국에 호주, 뉴질랜드, 룩셈부르크, 노르웨이가 포함
- 한국은 과학기술외교역량지수는 9순위, 과학기술 부문 순위는 5위로 4분위 국가에 포함이 되었지만, 제반환경 부문 지수는 21위로 국가의 제반환경이 과학기술과 외교 역량에 미치지 못하는 것으로 나타남
- 일본과 프랑스는 과학기술외교역량지수가 각 4위, 6위로 상위권이었지만 제반환경은 일본 18위, 프랑스 17위로 비슷하게 국가의 제반환경이 과학기술외교 역량에 미치지 못하는 것으로 나타남
- 호주의 경우 과학기술외교역량지수 16위, 룩셈부르크와 노르웨이는 각 19위, 12위로 전반적인 과학기술외교역량지수는 낮으나 제반환경이 다른 국가들에 비하여 높은 것으로 나타남

<표 3-19> 과학기술외교역량지수와 제반환경 부문 4분위 국가 비교

과학기술외교역량지수 4분위 국가 순위		제반환경 부문 4분위 국가 순위	
1	미국	1	미국
2	독일	2	독일
3	스위스	3	호주
4	일본	4	영국
5	영국	5	스위스
6	프랑스	6	뉴질랜드
7	네덜란드	7	캐나다
8	캐나다	8	룩셈부르크
9	한국	9	노르웨이

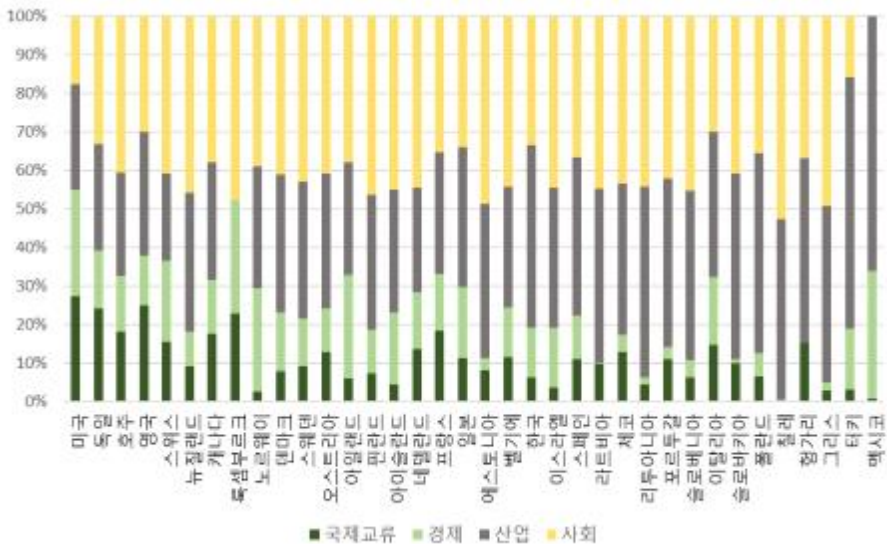
- 제반환경 부문 분위 이동을 살펴보았을 때, 과학기술외교역량지수 4분위에서는 한국이 유일하게 제반환경이 2분위로 과학기술외교역량 대비 크게 낮았고, 일본, 프랑스, 네덜란드는 제반환경 3분위, 나머지 국가들은 제반환경 4분위를 유지
- 과학기술외교역량지수 3분위 국가들 중에서는 노르웨이와 호주가 제반환경 4분위로 높게 나타났고, 벨기에와 스페인은 2분위로 낮게 나타남
- 과학기술외교역량지수 2분위 국가들 중에서 룩셈부르크와 뉴질랜드가 4분위, 아이슬란드가 3분위로 제반환경 역량이 높게 나타난 반면, 이탈리아와 폴란드는 제반환경이 1분위로 낮게 나타남

- 과학기술외교역량지수 1분위 국가들 중에서는 리투아니아와 라트비아가 제반환경 부문 2분위로 전체 과학기술외교역량보다 높게 나타남



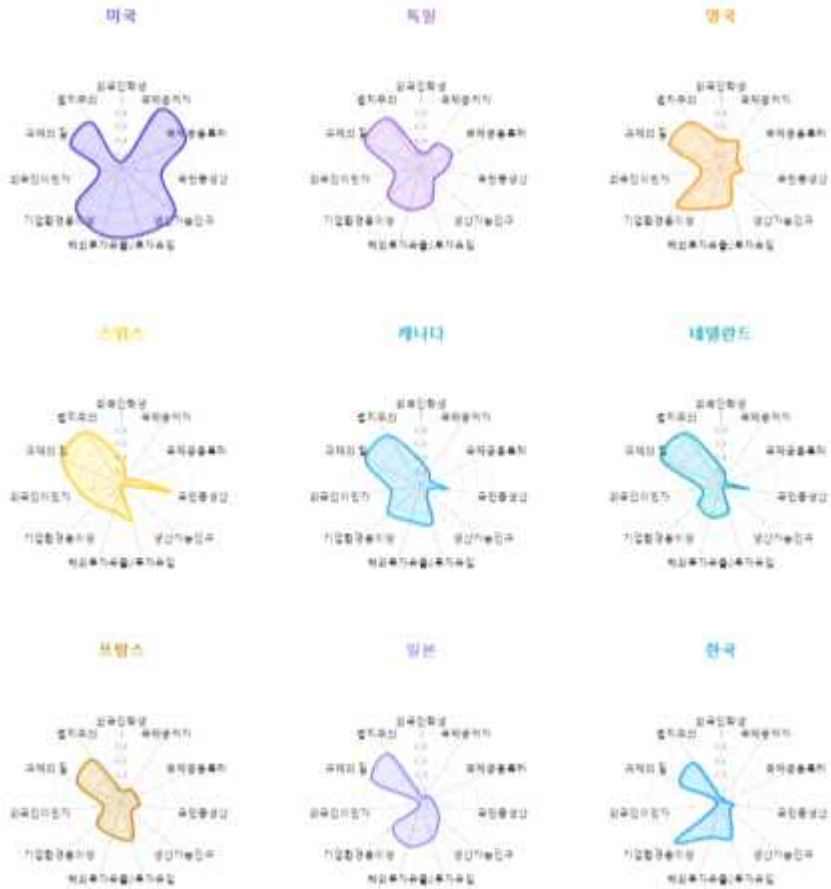
[그림 3-18] 제반환경 부문 분위별 이동

- 제반환경 부문 4개 항목별 비중 전체 국가 비교에서, 한국은 산업 항목이 상대적으로 강하게 나타났고, 1위인 미국의 경우 4개 항목이 고르게 강하게 나타남
- 일본은 전체적인 부분에서 한국과 비슷한 양상을 보이지만 국제교류 항목에서 한국보다 비중이 높은 것으로 나타남
- 상위권 국가들은 국제교류 항목의 비중이 후발국가들보다 높은 것으로 나타났으며 전반적으로 최상위 몇 국가들과 격차가 큰 국제교류, 경제 항목과 달리 산업, 사회 항목은 국가 간 격차가 상대적으로 크지 않은 것으로 나타남



[그림 3-19] 제반환경 부문 항목별 비교

- 과학기술외교역량지수 4분위 9개 국가들을 비교해 보았을 때, 한국은 기업환경용이성, 규제 의 질, 법치주의 등에서 우수성을 나타낸 반면 국제교류(외국인학생 비율, 국제공저자, 국제공동특허) 및 외국인 이민자 지표 등에서 다른 국가들보다 부족한 것으로 나타남
- 미국은 외국인 이민자 수는 많지만 전체 인구에서 외국인이 차지하는 비율로 비교했을 때 다른 국가들보다 낮은 것으로 나타남
- ※ UN 발표 데이터 기준 2020년 미국의 외국인 이민자 수는 약 5,060만 명으로 세계에서 가장 높았으나, 인구 대비 비율은 15.3%로 비교 대상 국가인 룩셈부르크(47.6%), 호주(30.1%)보다 낮게 나타남
- 또한, 미국은 국제교류(국제공저자, 국제공동특허) 활동이 다른 국가들에 비해 왕성한 것으로 나타났으며 해외투자유입과 유출액에서도 압도적인 1위를 차지
- 일본은 한국과 비슷한 형태이지만 사업환경용이성과 외국인 비율을 제외하고 다른 제반환경 지표에서 모두 한국보다 앞선 것으로 나타남

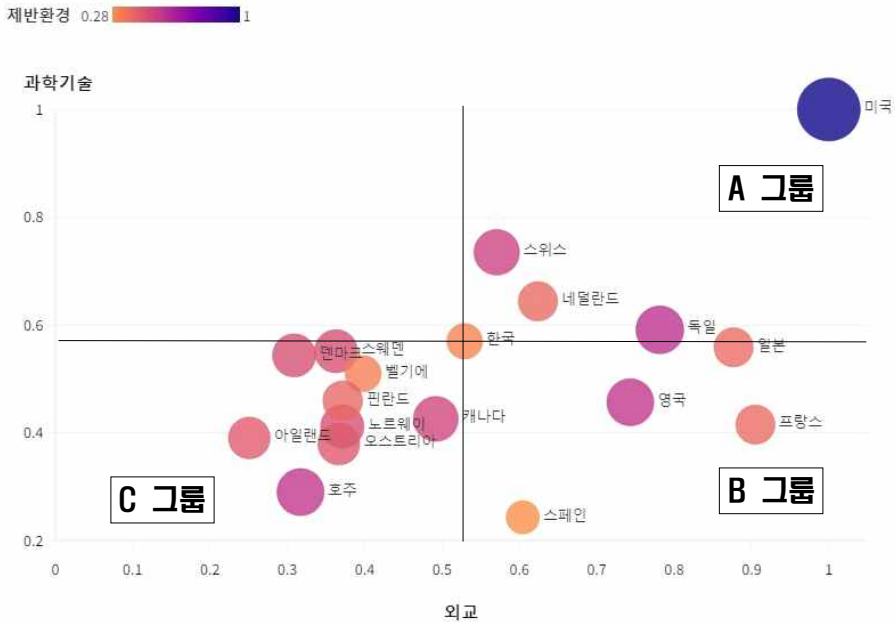


[그림 3-20] 과학기술외교역량지수 4분위 국가 제반환경 부문 지표별 비교

제 3 절 소결

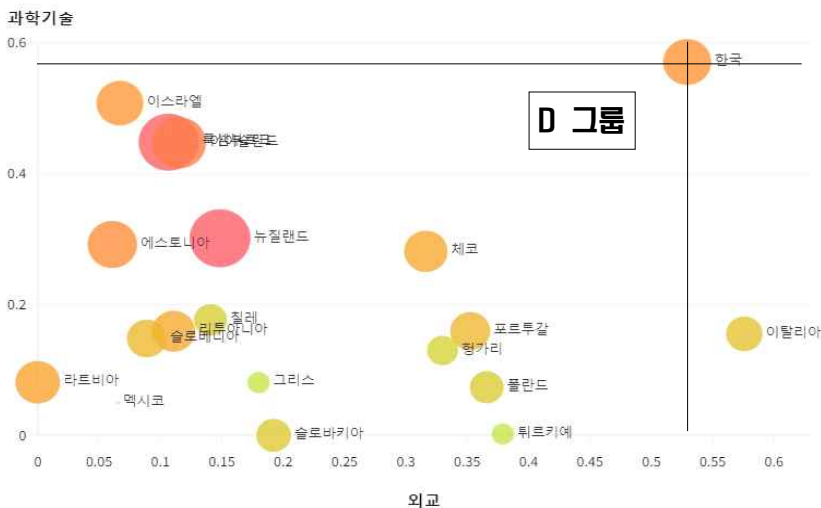
■ 과학기술외교역량 국가별 비교

- 한국의 과학기술외교역량점수는 1.42점으로 전체 36개국 중 9위이며, 상위권에는 1위 미국(3), 독일(1.95), 스위스(1.83), 일본(1.82), 영국(1.76) 순으로 위치
- 한국은 전반적으로 과학기술외교 선도국가에 포함되기는 하나 최상위 국가들과 비교하여 외교역량이 다소 부족하고 과학기술외교를 위한 제반환경은 다른 두 부문에 비하여 부족
- 과학기술외교역량지수 선도그룹(3, 4분위) 18개 국가들의 경우 과학기술 및 외교 역량이 높고 제반환경도 잘 뒷받침되어 효과적인 과학기술 협력 사업을 수행할 수 있을 것으로 판단



[그림 3-21] 과학기술외교역량지수 선도그룹 분류

- (A 그룹) 한국보다 과학기술 역량이 높으면서 외교 역량과 제반환경이 모두 우수한 국가들로 해당 국가들로부터는 한국이 강점을 가지고 있는 과학기술분야를 전략적으로 어필하는 한편 부족한 기술분야에 대한 공동 연구를 추진하고 미래 기술협력을 위한 국가 간 외교 네트워크를 더욱 공고히 할 필요가 있음
 - (B 그룹) 한국과 비교하여 과학기술 역량은 다소 떨어지나 외교 역량과 제반환경이 우수한 국가들로 해당 국가들과 외교 네트워크를 확대하여 한국의 우수한 기술분야를 홍보하고 한국과 해당 국가들의 상호보완적인 기술 협력 분야*를 발굴하여야 함
 - * 두 국가가 보유한 기술분야들 중 한 국가가 필요로 하는 기술을 다른 국가가 보유하고 있는 기술 분야
 - (C 그룹) 한국이 과학기술 부문과 외교부문에서 앞서지만 과학기술외교를 위한 제반환경이 좋은 국가들로 해당 국가들과의 외교 채널 확대를 통해 국내의 우수한 과학기술 분야 기관 및 기업들의 시장 확대 및 연구 협력을 장려할 필요
- 과학기술외교역량지수 후발그룹(1, 2분위) 18개 국가들의 경우 과학기술과 외교 역량, 제반환경 등이 한국과 비교하여 다소 부족

제반환경 0  0.51

[그림 3-22] 과학기술외교역량지수 후발그룹 분류

- (D 그룹) 한국이 과학기술 부문과 외교부문에서 크게 앞서면서 제반환경이 비슷하거나 부족한 국가들로 해당 국가들과의 외교 채널 발굴, 한국의 우수 과학기술 분야 홍보 및 성과 교류 등을 통한 협력 전략 필요
- 과학기술외교역량지수 선도국가의 분위별 순위 이동을 살펴보았을 때, 최상위 국가들과 최하위 국가들 간의 이동은 거의 없는 반면 중간에 위치한 국가들의 부문별 순위 이동은 활발하게 이루어짐
- 대부분의 국가들이 과학기술과 외교, 제반환경 부문이 동일한 수준에 있지 않기 때문에 이를 고려한 협력 전략 설계 필요
- 한국의 경우 과학기술 역량이 뛰어나고 외교 역량은 준수한 반면, 제반환경은 다소 부족한 상황

■ 한국의 과학기술외교역량

- 전체 36개국 중 한국은 과학기술 부문 5위, 외교부문 10위, 제반환경 부문 23위를 차지했으며 전체 과학기술외교역량 순위는 9위로 나타남
- 미국은 총 13개의 지표에서 1위에 올랐으며 다른 국가들과의 격차도 크게 나타남
- (과학기술) 한국은 자원, 활동 및 성과 항목에서 상위권에 위치하나 네트워크와 환경 항목이 타 국가들에 비하여 부족. 특히 국제협력과 지원제도, 문화 지표가 낮게 나타나 이를 보완할 수 있는 정책 및 제도 마련이 필요
- (외교) 한국은 해외 공식활동 및 국제기구 영향력이 비교적 양호하지만 해외 원조와 정치적 안정성이 다른 국가들에 비하여 부족한 편. 과학기술 분야의 ODA 사업 참여 가능성을 확대하고 또한 국제기구 내 영구적 성격의 활동 또한 저조한 편으로 다양한 분야의 전문가들이 국제기구에서 활약하며 한국의 입지를 강화할 수 있도록 적극적인 지원이 필요
- (제반환경) 제반환경 부문은 과학기술외교역량지수를 구성하는 세 개 부문 중 한국이 가장 취약한 부문으로 나타남. 특히, 산업 항목에서 다른 국가들보다 우수한 성과를 내고 있는 반면 국제교류와 사회 항목에서는 평균 아래의 순위에 위치하여 과학기술의 해당 과학기술 국제 교류 활성화 및 민간 부분의 발전을 촉진할 수 있는 규제와 정책 집행 수준을 제고할 필요

<표 3-20> 과학기술외교역량지수 구성 부문 및 항목

부문	항목	세부지표	한국 순위	1위국	1위국(=1) 대비 점수	1위국(=1) 기준 평균
과학기술	자원	인적자원	5	미국	0.67	0.42
		조직	5	미국	0.10	0.07
		지식자원	6	미국	0.15	0.10
	활동	연구개발투자	2	미국	0.87	0.36
		창업활동	8	칠레	0.20	0.17
	네트워크	산학연협력	6	스페인	0.58	0.33
		기업간협력	12	미국	0.67	0.56
		국제협력	34	멕시코	0.22	0.39
	환경	지원제도	29	노르웨이	0.55	0.68
		물적인프라	9	덴마크	0.81	0.66
		문화	27	네덜란드	0.38	0.56
	성과	경제적 성과	6	아일랜드	0.56	0.35
		지식창출	11	스위스	0.38	0.30
외교	공식활동	대사·고위대표	9	미국	0.66	0.48
		영사	9	튀르키예	0.55	0.36
		연구적해외임무	31	프랑스	0.10	0.31
		그외공식활동	2	일본	0.55	0.13
	영향력	ODA	17	미국	0.05	0.11
		UN직원	18	미국	0.10	0.18
		ISO TC(기술위원)	5	프랑스	0.96	0.57
	리더십	정치적안정성	23	뉴질랜드	0.65	0.67
		정부효과성	13	스위스	0.73	0.64
제반환경	국제교류	국제학생모빌리티	30	룩셈부르크	0.06	0.21
		국제공저자	13	미국	0.07	0.13
		국제공동특허	16	미국	0.06	0.10
	경제	GDPpc	22	룩셈부르크	0.19	0.31
		생산가능인구	9	미국	0.17	0.11
	산업	해외투자유입	13	미국	0.52	0.51
		해외투자유출	8	미국	0.52	0.47
		사업용이성	3	뉴질랜드	0.85	0.53
	사회	규제의 질	25	룩셈부르크	0.62	0.69
		법치주의	22	핀란드	0.67	0.70

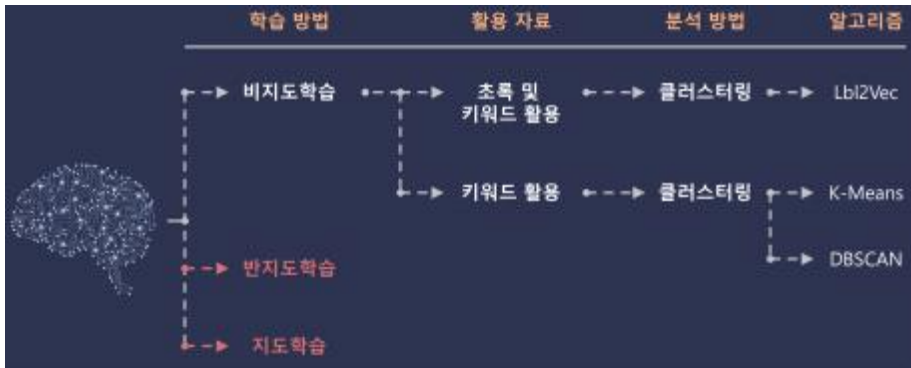
제 4 장

기술 분야 논문 분석 방법론 고도화

제4장 논문 분석 방법론 고도화

제 1 절 인공지능 활용 과정

1. 인공지능 활용 전략



[그림 4-1] 인공지능 활용 전략

■ 분야별 검색어 기반 DB의 정제를 위해서 비지도 학습 활용

- 지도·반지도 학습 기반 분류(classification) 모델의 경우 연구 목적에 위배
 - 모델을 학습시켜 분류를 진행하기 위해서는 정답 데이터가 필요하며, 이를 마련하기 위해 연구진·전문가의 레이블링(labeling) 필요
 - 그러나 본 연구에서는 이러한 레이블링에 소요되는 비용을 줄이고자 하므로 지도 학습 기반 분류 모델을 활용하는 것은 연구 목적에 위배
- 레이블이 없는 데이터에서 직접 정보를 추출할 수 있는 비지도 학습 기반 클러스터링(clustering) 방법 활용
 - 분석 대상 기술 분야에 대해 정답 데이터를 구축할 필요가 없는 비지도 학습을 활용함으로써 데이터 정제 과정 간소화 가능
 - 특히 비지도 학습 중 대표적인 유형인 클러스터링은 컴퓨팅 자원 등의 소모가 비교적 적어 본 연구에 손쉽게 활용 가능하다는 장점 보유

■ 대조군으로써 단순한 클러스터링 알고리즘 활용

- 단순한 원리로 구성된 알고리즘인 K-Means 및 DBSCAN 활용을 통해 분류 성능 비교 추진
- 다만 이들 알고리즘을 활용하는 과정에서 각 논문을 임베딩하기 위해 최근 개발된 BERT 기반 대형 언어모델 활용

■ 언어모델 기반 클러스터링 알고리즘은 논문 서지 정보를 다각적으로 활용할 수 있는 알고리즘 활용

- 본 연구에서 활용하는 논문 성과의 서지 정보는 제목, 초록, 키워드 등 다양한 텍스트 데이터로 구성
- 이들 데이터를 다각적으로 활용하여 클러스터링 성능을 향상시킬 수 있을 것으로 기대
- 따라서 본 연구에서는 문서와 함께 키워드를 동시에 임베딩하여 주제 연관성을 의미적으로 분석할 수 있는 알고리즘인 Lbl2Vec 활용

2. 분석 알고리즘

■ K-Means

- 정해진 클러스터 수 K에 따라 임의의 중심점을 배치하고, 해당 중심에 가장 가까운 포인트들을 선택하는 클러스터링 기법
- 다음과 같은 4단계에 걸쳐 클러스터링 진행
 - 1) 설정한 클러스터 수만큼의 클러스터 중심점 설정
 - 2) 각 데이터를 가장 가까운 중심점에 속한 것으로 분류
 - 3) 데이터와 클러스터 중심점에 할당된 데이터 사이의 유클리드 거리를 계산해 클러스터 중심점 위치 수정
 - 4) 2·3 과정 반복 후 중심점을 이동했으나 데이터들의 중심점 소속 변경이 없을 때 클러스터링 완료
- 구형 클러스터에 유리하나 기하학적인 클러스터를 효과적으로 분류하지 못하며 고차원 데이터에 대해 분류 성능이 낮아질 수 있다는 한계 존재

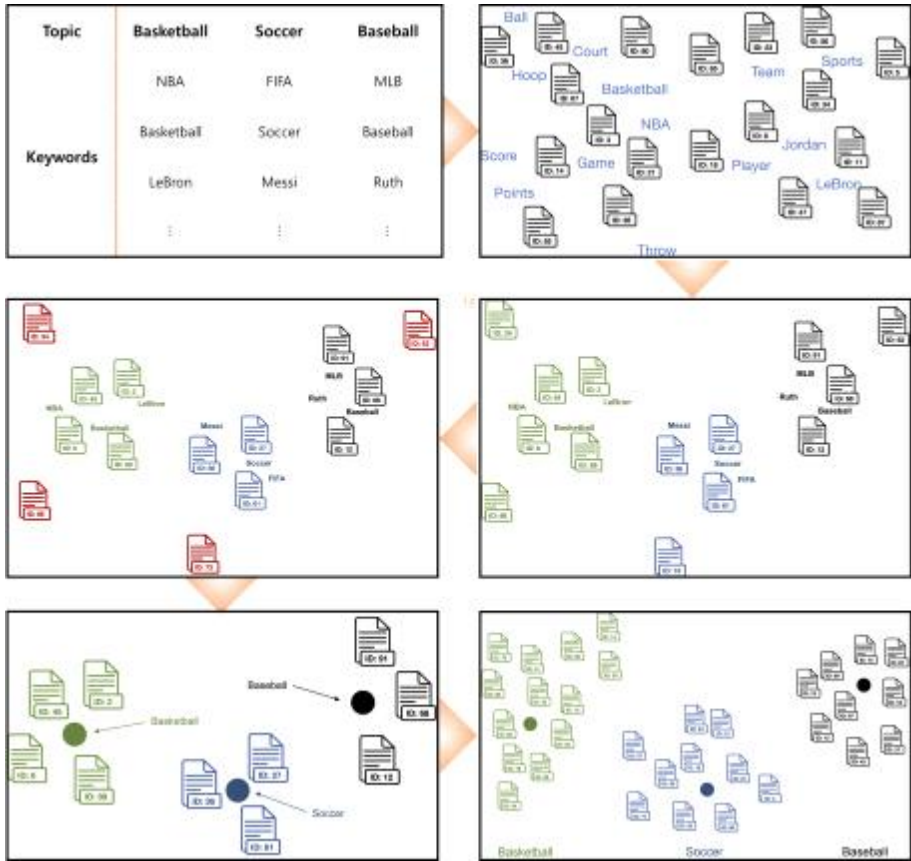
■ DBSCAN(Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise)

- 밀도 기반 클러스터링의 대표적인 알고리즘으로, 간단하고 직관적이며 데이터의 분포가 복잡한 데이터 세트에서도 효과적인 클러스터링이 가능
- 다음과 같은 3단계에 걸쳐 클러스터링 진행
 - 1) 데이터 사이의 기준 반경 입실론(epsilon) 및 해당 반경 안에 포함되는 최소 데이터 개수 지정
 - 2) 각 데이터마다 입실론 반경 내에 존재하는 다른 데이터 개수를 계산하여 3가지 유형으로 분류
 - 핵심 포인트(Core Point) : 주변 반경 내에 최소 데이터 개수 이상의 다른 데이터가 존재하는 경우
 - 경계 포인트(Border Point) : 주변 반경 내에 최소 데이터 개수 이상의 데이터가 존재하지 않지만 핵심 포인트가 이웃 포인트인 경우
 - 노이즈 포인트(Noise Point) : 최소 데이터 개수 이상의 이웃 포인트가 존재하지 않으며, 핵심 포인트도 이웃 포인트가 아닌 경우
 - 3) 서로 연결된 핵심 포인트와 경계 포인트를 하나의 클러스터로 분류
- 기하학적인 클러스터를 효과적으로 분류할 수 있으나 고차원 데이터에 대해 분류 성능이 낮아질 수 있다는 한계 존재

■ Lbl2Vec¹⁾

- 키워드에 의해 설명된 주제와 의미적으로 유사한 문서*를 찾는 것을 목표로 하는 알고리즘
 - * 본 연구에서는 초록 및 논문 제목을 활용

1) <https://github.com/sebischair/Lbl2Vec>



[그림 4-2] Lbl2Vec 알고리즘 클러스터링 과정

○ 다음과 같은 6단계에 걸쳐 클러스터링 진행

- 1) 각 주제와 관련된 키워드 정의
- 2) 키워드와 문서를 동일한 공간에 임베딩
- 3) 각 주제의 키워드 벡터와 유사한 문서 벡터 지정
- 4) LOF(Local Outlier Factor) 알고리즘 방식을 사용해서 이상치들을 문서 임베딩에서 제거
- 5) 각 항목에 대한 레이블 벡터로 이상치 정리된 문서 벡터의 중심점 계산
- 6) 데이터 세트의 각 레이블 벡터와 문서 벡터에 대한 코사인 유사도를 계산하여 클러스터링 완료

- 논문 관련 정보 중 키워드를 활용함으로써 분류 성능 향상 가능
 - 검색어 기반 DB 구축 과정에서 활용한 키워드를 최적화하여 활용함으로써 추가적인 자원 투입 최소화
 - 문서만을 클러스터링
 - 논문 검색에 활용한 기술 분야별 주요 키워드를 활용 가능하며, 최적화함으로써 클러스터링 성능 향상 가능

3. 분석 대상 DB 구축 방법 및 알고리즘별 전처리 방법

■ 방법론 고도화 연구 결과를 확인하기 위해 전략기술 중 이차전지 분야에 대해 DB 구축 및 시범 분석 진행

- 12대 전략기술 분야 중 인공지능 기반 고도화를 시범 적용하기에 유리한 분야로 판단되어 이차전지 분야 선정
 - 이차전지 분야는 전략기술 중 상대적으로 논문이 활발히 발간된 분야로써 DB 규모가 기술별로 수만 건에 달하는 상황
 - 또한 전문가 자문 결과 타 기술 대비 중점기술 분야 간 경계가 상대적으로 뚜렷하지 않아 분석 데이터 검증이 까다로운 분야로 판단
 - 이로 인해 인공지능 기반 고도화에 활용하기 용이할 뿐만 아니라 결과를 뚜렷하게 확인 가능할 것으로 예상되어 시범 분석 분야로 선정
- 중점기술에 대해 검색어를 기반으로 DB 구축
 - 이차전지에 포함된 4개 중점기술*에 대한 전문가 자문, 논문 키워드 분석 등을 통해 WoS 검색어 설정
 - * 리튬이온 전지 및 핵심 소재, 이차전지 모듈·시스템, 차세대 이차전지 소재·셀, 이차전지 재사용·재활용
 - 이후 설정된 검색어를 활용하여 최근의 완결된 5개년도(complete 5 years, 2018~2022)에 해당하는 논문 데이터 DB 구축
 - 각 DB에는 논문 제목, 초록, 저자 키워드, WoD 키워드가 포함되어 분석에 활용
- DB 중 일부에 대해 레이블 데이터 마련을 통한 분류 성능 평가 진행
 - ‘리튬이온 전지 및 핵심 소재’ 및 ‘이차전지 모듈·시스템’ 2개 분야에 대해 각각 약 1천 개*의 레이블 데이터 구축

- * 2개 분야 모두 제목, 초록, 키워드 등을 활용하여 1천 개 데이터에 대해 레이블링을 진행하였으나 전처리 과정에서 초록이 확보되지 않은 데이터를 제거하여 3개 데이터가 소실된 1,997개 레이블 데이터로 평가 진행
- 전체 데이터 대비 평가 데이터의 수가 상대적으로 작지만, 클러스터링 성능을 대략적으로 파악하는데 충분하다고 예상되어 추가 레이블링은 미진행

■ K-Means·DBSCAN 알고리즘 전처리 방법

- ‘이차전지 모듈·시스템’에 해당하는 데이터 27,255개 활용하여 전처리 및 분석 진행
 - WoS 검색을 통해 획득한 논문에서 초록이 비어있는 결측치를 제외한 데이터 사용
 - KeyBERT를 활용하여 초록에서부터 상호 유사도는 낮으면서 초록과 연관성이 높은 키워드 추출
 - 이후 추출된 키워드를 하나로 이어 붙인 텍스트를 ‘문장(sentence)’으로 활용하여 S-BERT를 통해 임베딩 진행
- 키워드 추출 과정에서 불용어 제거는 진행하지 않았으며, 언어모델 역시 추가 학습 없이 공개된 모델 직접 활용

■ Lbl2Vec 알고리즘 전처리 방법

- 4개 중점기술에 해당하는 데이터 약 13만 건을 활용하여 전처리 및 분석 진행
 - WoS 검색을 통해 획득한 논문에서 초록이 비어있는 결측치를 제외한 데이터 사용
 - 초록과 논문 제목을 동시에 활용할 경우 ‘[논문 제목]. [초록]’의 형태로 하나의 문서로 이어 붙여 분류 진행
- 전문가 자문, 문헌 조사 등을 통해 4개 중점기술별로 15개 내외의 상호 배타적인 키워드 구성
- 불용어 제거는 진행하지 않았으며, 언어모델의 추가 학습은 바이오 분야 약 4.3만 건의 논문 초록 활용

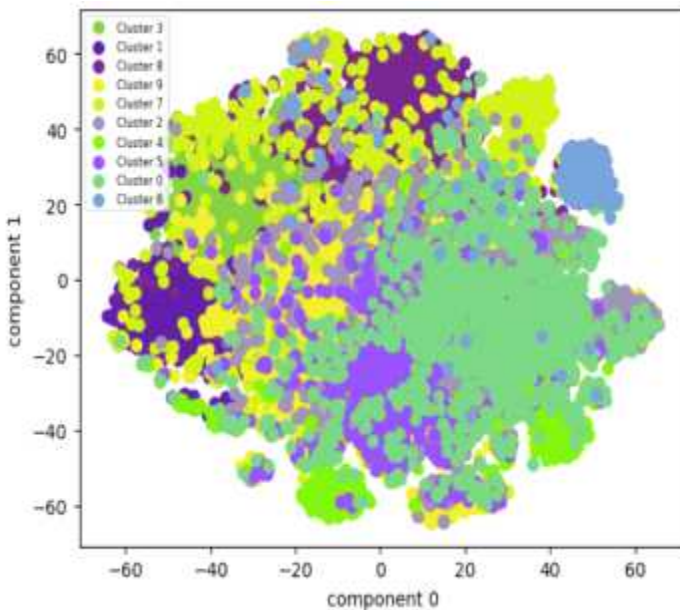
제 2 절 알고리즘 적용 결과

1. K-Means

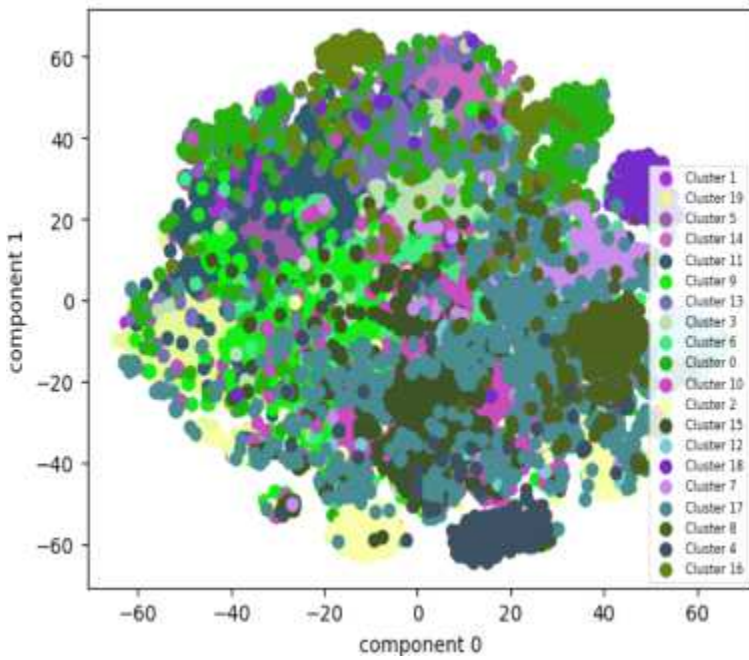
■ 클러스터 개수 K와 무관하게 정상 데이터와 노이즈를 구분 가능한 클러스터로 구분하기 어려운 상황

○ 클러스터링 결과의 시각화 결과 구분 가능한 노이즈 클러스터를 확인하기 어려운 상황

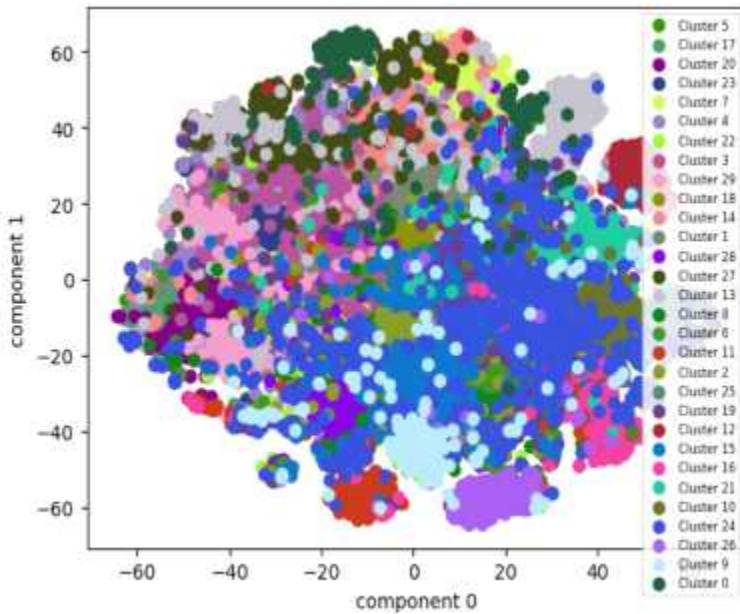
- 그림 4-3, 4-4 및 4-5에서 나타낸 T-SNE 기반 차원 축소 시각화 결과에서 볼 수 있듯이 클러스터 개수 K에 크게 관계없이 클러스터가 서로 겹치는 형태로 존재
- 다만 차원 축소 시각화 기법 특성상 매우 고차원인 텍스트 임베딩 차원을 온전히 시각화하기 어려움을 고려할 필요



[그림 4-3] 클러스터 개수가 10개일 때 K-Means 클러스터링 시각화 결과



[그림 4-4] 클러스터 개수가 20개일 때 K-Means 클러스터링 시각화 결과



[그림 4-5] 클러스터 개수가 30개일 때 K-Means 클러스터링 시각화 결과

- 레이블 데이터 1천 개의 클러스터링 결과에서 클러스터 개수와 무관하게 정상·노이즈 클러스터를 구분하기 어려운 결과 확인
- 정상 데이터 혹은 노이즈 데이터가 90% 이상인 클러스터를 각각 정상·노이즈 클러스터로 분류하고자 하였으나 일부 클러스터*를 제외하고 구분 가능한 클러스터 확인이 어려운 상황
 - * K=10일 때 1번 클러스터 및 K=30일 때 1번 클러스터 등
 - ※ 레이블 데이터를 늘려서 보다 엄밀한 검증을 진행할 수 있겠으나 분류 성능이 유의미하게 향상되지는 않을 것으로 예상
 - 또한 미분류 데이터가 클러스터에 대해 비교적 균일하게 분포되는 것은 클러스터 형태가 구형에 가까운 K-Means의 알고리즘의 특성이 반영된 결과로 예상

<표 4-1> K가 10·20·30일 때 레이블 데이터의 클러스터링 결과

K = 10			K=20			K=30		
클러스터	분류	개수	클러스터	분류	개수	클러스터	분류	개수
0	정상	6	0	정상	9	0	정상	5
	노이즈	13		노이즈	6		노이즈	3
	미분류	2722		미분류	1180		미분류	383
1	정상	108	1	정상	127	1	정상	0
	노이즈	9		노이즈	26		노이즈	20
	미분류	2084		미분류	1779		미분류	532
...	...	...	...	...	...	...	...	...
9	정상	8	19	정상	106	29	정상	48
	노이즈	33		노이즈	8		노이즈	6
	미분류	3394		미분류	1946		미분류	555

2. DBSCAN

■ 매개변수 ϵ (epsilon, 반경) 및 N (최소 인근 포인트 수)과 무관하게 노이즈 클러스터를 효과적으로 구분하기 어려운 상황

○ 클러스터링 결과 매개변수에 따라 클러스터 사이즈에 변동이 있으나 노이즈 데이터가 지나치게 많이 집계되는 상황

– 노이즈에 해당하는 클러스터*에 속한 데이터가 $\epsilon=0.7$ 일 때 전체의 65%였으며, $\epsilon=0.6$ 일 때는 92% 수준으로 매우 높은 상황(표4-2)

* DBSCAN 클러스터링 결과에서 -1 클러스터는 실제 클러스터가 아닌 노이즈 데이터를 하나로 분류한 것

– 또한 $\epsilon=0.7$ 일 때 클러스터 0의 크기가 압도적으로 크게 집계되어 사실상 클러스터링의 의미가 없다고 판단되는 상황

– $\epsilon=0.6$ 일 때 총 20개의 클러스터가 구성되었으며, 데이터 개수가 최소 6개에서 최대 605개까지 분포하고 있어 클러스터링으로서는 의미가 존재

<표 4-2> 매개변수에 따른 DBSCAN 클러스터링 결과

$\epsilon=0.7$, N=10	클러스터	-1 (노이즈)	0	1	2	3	4
	데이터 수	17,816	9,375	2	15	15	14
$\epsilon=0.6$, N=10	클러스터	-1 (노이즈)	0	1	...	18	19
	데이터 수	25,123	605	128	...	17	10

○ $\epsilon=0.6$ 일 때 레이블 데이터의 클러스터링 결과 실제 노이즈가 반영된 결과로 보기 어려운 상황

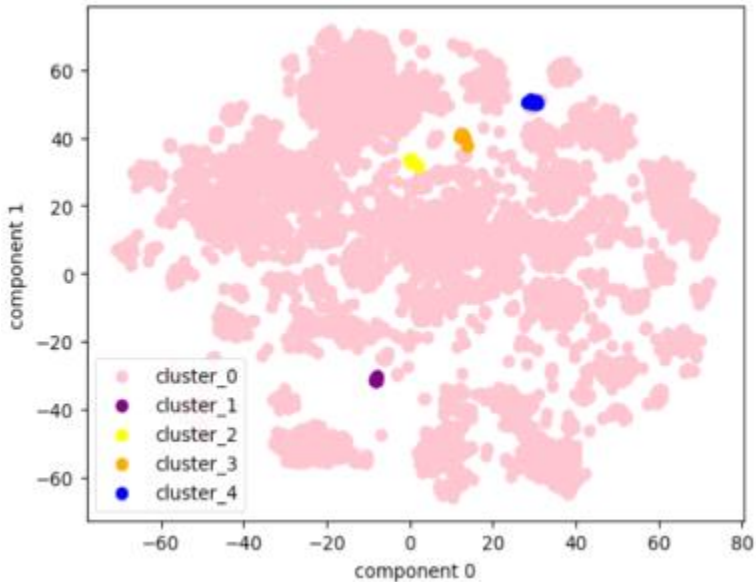
– 표 4-3에서 확인할 수 있듯이 노이즈 데이터에 90%의 데이터가 편중되어 있으며, 그중 59%가 정상 데이터

– 나머지 클러스터에는 노이즈가 거의 발견되지 않았으나, 그 비중이 전체 데이터의 10%에 불과해 데이터 ‘정제’로서 무의미한 결과

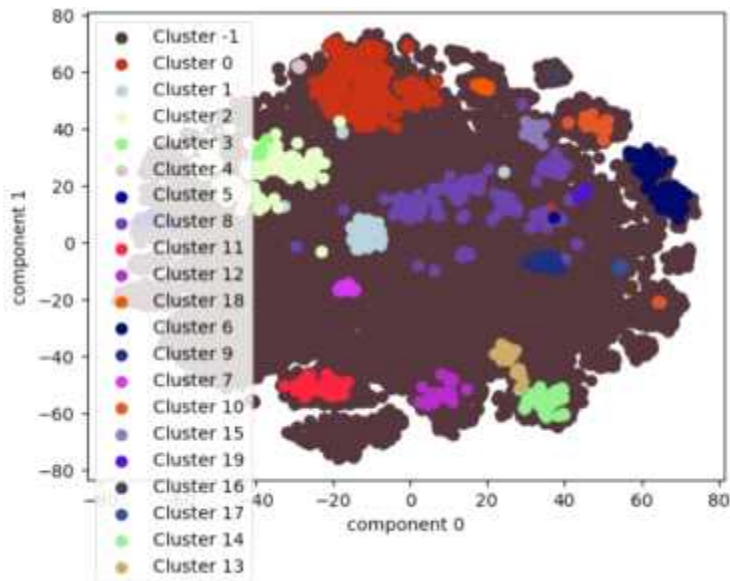
<표 4-3> $\epsilon=0.6$, $N=10$ 일 때 레이블 데이터 분류 결과

클러스터	분류	개수
노이즈 데이터 (클러스터 -1)	정상	531
	노이즈	368
클러스터 0	정상	34
	노이즈	1
...	...	...
클러스터 17	정상	0
	노이즈	0
클러스터 18	정상	2
	노이즈	0
클러스터 19	정상	0
	노이즈	0

- 이처럼 노이즈 데이터가 대부분인 분류 결과는 T-SNE 기반 차원 축소 시각화 결과에서도 확인 가능

[그림 4-6] $\epsilon=0.7$, $N=10$ 일 때 DBSCAN 클러스터링 시각화 결과(노이즈 클러스터 제외)

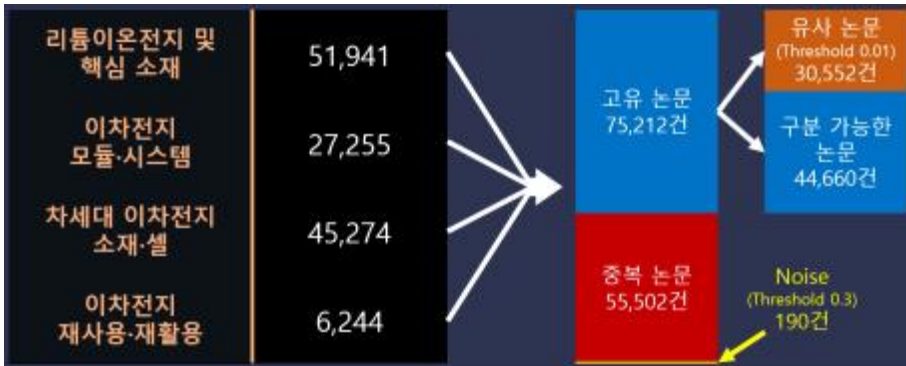
- 그림 4-6에 나타난 $\epsilon=0.7$, $N=10$ 일 때 노이즈를 제외한 시각화 결과 클러스터 0이 영역 대부분을 차지하고 있으며, 그 외 클러스터 크기는 아주 작게 나타나는 등 분류 결과를 시각적으로 확인 가능
- 그림 4-7에 나타난 $\epsilon=0.6$, $N=10$ 일 때의 시각화 결과 역시 노이즈 데이터인 클러스터 -1이 영역 대부분을 차지하고 있으며, 그 외 클러스터 크기는 비교적 작게 나타나는 등 분류 결과를 시각적으로 확인 가능



[그림 4-7] $\epsilon=0.6$, $N=10$ 일 때 DBSCAN 클러스터링 시각화 결과

3. Lbl2Vec

- Lbl2Vec 알고리즘 기반 클러스터링 결과 노이즈는 작으나 분야 간 유사도가 높은 기술 다수 존재

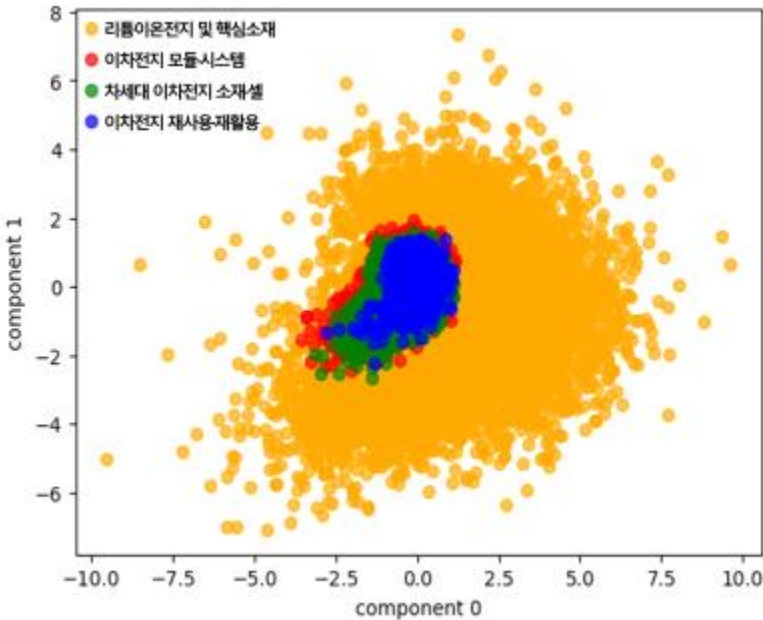


[그림 4-8] Lbl2Vec 기반 클러스터링 과정에서의 데이터 구조도

- 전체 논문 데이터 중 노이즈는 0.16%에 불과
 - 약 13만 건의 논문 중 유사도 Threshold 0.3 이하인 논문을 노이즈로 분류한 결과 노이즈는 190건으로 확인
 - 이는 키워드 검색을 통해 논문을 검색하여 DB를 구축한 만큼 검색된 논문 중 분야와 무관한 논문은 극소수이기 때문으로 판단
- 반면 기술 분야 간 중복되는 논문은 전체 데이터의 43%
 - 전체 데이터 중 약 5.6만 건이 중복 논문이며, 특히 ‘리튬이온전지 및 핵심 소재’와 ‘차세대 이차전지 소재·셀’ 분야의 중복 비율이 높은 상황
 - 이는 차세대 이차전지 기술 중 ‘리튬 공기 전지’, ‘리튬 황 전지’ 등에서 ‘리튬’이 주요 키워드로 등장하며, ‘전고체 전지’ 역시 리튬에 기반한 경우가 다수 존재하기 때문으로 판단
- 또한 고유 논문 중 기술 분야 간 구분이 어려운 논문이 41% 존재
 - 논문이 가장 유사한 분야와 그 다음 유사한 분야의 유사도 차이가 0.01 이하인 논문이 고유 논문 약 7.5만 중 약 3.1만 건 존재
 - 이러한 분야간 유사 논문 역시 ‘리튬이온전지 및 핵심 소재’와 ‘차세대 이차전지 소재·셀’ 분야 사이에 집중적으로 발생

■ Lbl2Vec 알고리즘 기반 클러스터링 결과를 시각화할 경우 ‘리튬이온전지 및 핵심 소재’ 분야의 광범위한 특성 확인 가능

- 클러스터링 결과의 PCA 기반 시각화 결과에서 볼 수 있듯이 ‘리튬이온전지 및 핵심 소재’ 분야가 타 분야 대비 광범위한 임베딩 공간 차지
- 기타 분야들 역시 서로 임베딩 공간이 다수 겹치고 있어 분야 간 명확한 경계선을 확인하기는 어려운 상황



[그림 4-9] Lbl2Vec 클러스터링 시각화 결과

■ 레이블 데이터를 기반으로 F_β score 기반 분류 성능 평가 결과 기술 분야에 따른 편차 존재

- 일반적으로 활용되는 F_1 score 외에 $F_{0.5}$ score를 함께 평가
 - F_β score는 1에 가까울수록 분류 성능이 우수함을 의미
 - β 값에 따라 가중치가 달라지며, 대체로 1, 0.5, 2의 값을 활용
 - $F_{0.5}$ score는 Precision이 Recall보다 우선할 때, 즉 FP가 FN보다 적을수록 유리할 때 가중치를 주는 점수

- 현재 목적상 기술 분야 논문이 비정상적으로 분류(FN)되는 경우 재검토를 통해 보완 가능하며, 다른 분야 논문이 정상으로 분류(FP)되는 경우가 적을수록 유리하여 $F_{0.5}$ score 추가 활용

<표 4-4> 분류 성능 평가 지표 및 계산 식

	예측 0	예측 1
실제 0	TN (True Negative)	FP (False Positive)
실제 1	FN (False Negative)	TP (True Positive)
정밀도 (Precision)	$TP \div (TP + FP)$	
재현율 (Recall)	$TP \div (TP + FN)$	
F_{β} score	$F_{\beta} = \frac{(1 + \beta^2)}{\frac{\beta^2}{recall} + \frac{1}{precision}}$ $= \frac{(1 + \beta^2) \times recall \times precision}{recall + \beta^2 \times precision}$	

- ‘리튬이온전지 및 핵심 소재’ 기술 분류 결과 최고 0.82의 정밀도 획득 및 최고 0.75의 F_{β} score 획득
 - 정밀도는 초록과 논문 제목을 동시에 활용하고 일반적으로 문장 임베딩 성능이 향상되는 SimCSE를 활용하였을 때 최고 0.82 획득
 - 반면 F_{β} score는 초록 및 논문 제목을 동시에 활용하고 기존 임베딩 알고리즘을 활용하였을 때 F_1 score 0.70 및 $F_{0.5}$ score 0.75 획득
 - 특히 F_1 score보다 $F_{0.5}$ score가 더 높다는 점에서 다른 분야 논문이 ‘리튬이온전지 및 핵심 소재’ 분야로 분류되는 경우가 상대적으로 낮음을 확인

<표 4-5> 리튬이온전지 및 핵심 소재 기술 분류 결과

Model	Data	정밀도(Precision)	F ₁ Score	F _{0.5} Score
Lbl2Vec	초록	0.79	0.68	0.74
Lbl2Vec	초록 +논문 제목	0.78	0.70	0.75
Lbl2TransformerVec*	초록 +논문 제목	0.82	0.51	0.66

* 임베딩과정에서 SimCSE(simple contrastive sentence embedding framework) 활용

- ‘이차전지 모듈·시스템’ 기술 분류 결과 최고 0.62의 정밀도 획득 및 최고 0.43의 F_β score 획득
 - 정밀도와 F_β score 모두 초록만을 활용하고 기존 임베딩 알고리즘을 활용하였을 가장 높은 성능을 보였으나, 전부 ‘리튬이온전지 및 핵심 소재’ 대비 낮은 성능이 나타나는 상황
 - 특히 F₁ score가 F_{0.5} score보다 더 높다는 점에서 다른 분야 논문이 ‘이차전지 모듈·시스템’ 분야로 분류되는 경우가 상대적으로 높은 상황
 - 이러한 낮은 성능 및 낮은 F_{0.5} score는 앞서 분석한 바와 같이 ‘이차전지 모듈·시스템’ 논문 중 다수가 다른 분야 논문으로 분류되는 상황

<표 4-6> 이차전지 모듈·시스템 기술 분류 결과

Model	Data	정밀도(Precision)	F ₁ Score	F _{0.5} Score
Lbl2Vec	초록	0.62	0.43	0.39
Lbl2Vec	초록 +논문 제목	0.61	0.43	0.38
Lbl2TransformerVec*	초록 +논문 제목	0.57	0.41	0.28

* 임베딩과정에서 SimCSE(simple contrastive sentence embedding framework) 활용

■ 기술 분야별 클러스터링 상세 분석 결과 ‘리튬이온전지 및 핵심 소재’ 기술이 다른 3개 기술과 상당 부분 겹치는 것으로 확인

- 4개 기술을 하나로 묶어서 클러스터링을 진행한 후 검색어를 기반으로 구성한 DB와 비교해본 결과 다른 기술 논문 중 ‘리튬이온전지 및 핵심 소재’가 다수 등장
 - ‘이차전지 모듈·시스템’ 기술 중 42%가 ‘리튬이온전지 및 핵심 소재’ 분야로 예측된 상황이나 검색어 기반 결과와 예측 결과 역시 38%가 일치하여 상대적으로 아래 2개 분야 대비 잘 일치하는 상황
 - 차세대 이차전지 소재·셀 분야에서는 검색어 DB 대비 72.6%가 ‘리튬이온전지 및 핵심 소재’ 분야로 예측되어 상당한 수준의 유사성 확인
 - ‘이차전지 재사용·재활용’ 기술 DB에서는 ‘이차전지 모듈·시스템’으로 예측된 논문이 34.9%로 가장 많이 등장했으나, ‘리튬이온전지 및 핵심 소재’ 역시 34.2%로 0.7%p 수준의 차이를 보이며 다수 등장
- 또한 ‘리튬이온전지 및 핵심 소재’ 기술 논문 중 약 18%가 ‘차세대 이차전지 소재·셀’ 분야로 분류되어 두 가지 분야 간 유사성 확인 가능

<표 4-7> 검색어 기반 DB 대비 클러스터링 기반 예측 결과

		검색어 기반 DB 분류			
		리튬이온전지 및 핵심 소재	이차전지 모듈·시스템	차세대 이차전지 소재·셀	이차전지 재사용·재활용
예측 결과	리튬이온전지 및 핵심 소재	36,268	11,489	32,891	2,136
	이차전지 모듈· 시스템	5,397	10,415	2,086	2,181
	차세대 이차전지 소재·셀	9,214	3,382	9,569	1,057
	이차전지 재사용·재활용	1,062	1,969	728	870

■ 평가 지표가 비교적 낮은 상황이나 중복 논문이 다수인 점을 고려하였을 때 성과분석에 활용 가능할 것으로 판단

- 앞서 분석된 유사성은 이차전지 관련 논문 중 다수에서 리튬이온전지 및 핵심 소재' 분야와 유사한 키워드가 등장하기 때문으로 예상
 - Lbl2Vec 알고리즘은 키워드와 문서를 동일 공간에 임베딩하기 때문에 논문에 관련 키워드가 존재할 경우 유사한 논문으로 분류
 - '리튬이온전지 및 핵심 소재' 기술에서 주요 키워드로 활용한 '리튬', '양극', '음극' 등 키워드는 이차전지 분야에서 광범위하게 활용되는 키워드로써 변별력이 낮은 상황
 - 이로 인해 다른 기술 분야의 논문이 '리튬이온전지 및 핵심 소재' 분야로 분류되는 경우가 다수 발생하는 것으로 예상
- 또한 검색 과정에서 논문이 다수 중복등장한 만큼 예측 결과가 낮더라도 성과분석에 활용 가능한 것으로 판단
 - 약 13만 건의 논문 중 약 5.6만 건의 논문이 중복으로 집계
 - 이로 인해 상기 표 4-7에서 나타난 예측 결과 중 다른 분야로 예측된 논문 중 다수가 중복 논문인 상황
 - 따라서 단순히 평가 지표가 낮다고 해서 분류 성능이 나쁘다고 결론짓기 어려우며, 표 4-7의 대각선, 즉 True Positive(TP)에 해당하는 논문이 실제 결과를 가장 잘 반영하는 것으로 예상
 - 이를 바탕으로 중복을 제외한 75,212건의 논문 중 TP에 해당하는 57,122건의 논문을 활용하여 이어지는 분석 진행

제 3 절 Lbl2Vec 정제 결과 기반 논문성과 분석 고도화

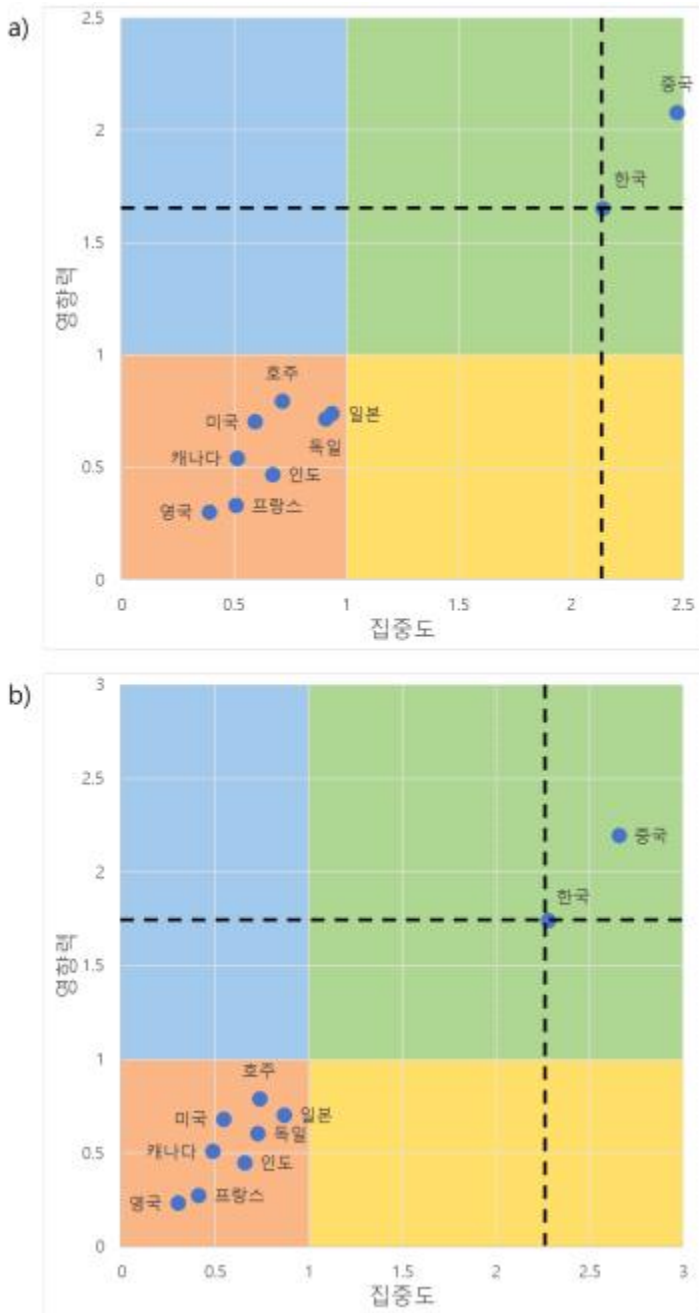
1. 리튬이온전지 및 핵심 소재

■ ‘리튬이온전지 및 핵심 소재’ 분야의 경우 정제 전후 포지셔닝 결과에 큰 편차가 없는 상황

- 검색어를 바탕으로 구성된 DB를 직접 활용하여 집중도·영향력 기반 국가별 연구성과를 포지셔닝한 결과 중국과 한국이 세계 평균 대비 우수하며, 타 국가는 상대적으로 낮은 것으로 확인
- Lbl2Vec 알고리즘을 활용하여 정제된 DB를 활용하더라도 국가별로 약간의 이동이 확인된 것 외에 큰 변화는 나타나지 않은 상황
 - 중국과 한국의 영향력·집중도가 소폭 상승하였으며, 그 외 국가는 전반적으로 2개 지수가 소폭 감소

■ 이러한 결과는 정제 전후 데이터의 변동이 가장 적기 때문으로 분석되며, 실제 연구 현장을 잘 반영하는 것으로 판단

- 약 5.2만 건의 검색어 기반 DB 대비 70%의 논문이 정제 이후에도 유지되어 정제 전후 성과에 큰 변동이 존재하지 않은 상황
- ‘리튬이온전지 및 핵심 소재’ 분야는 한국이 타 국가 대비 우수한 기술을 보유한 것으로 평가되는 분야
- 따라서 포지셔닝 결과에서 중국을 제외한 모든 나라보다 높은 수준을 보이는 것은 연구 현장을 잘 반영하는 결과로 판단



[그림 4-10] 리튬이온전지 및 핵심 소재 분야 국가별 포지셔닝 결과.

a) 검색어 기반 DB 직접 분석 결과, b) Lbl2Vec 기반 정제 데이터 분석 결과

2. 이차전지 모듈·시스템

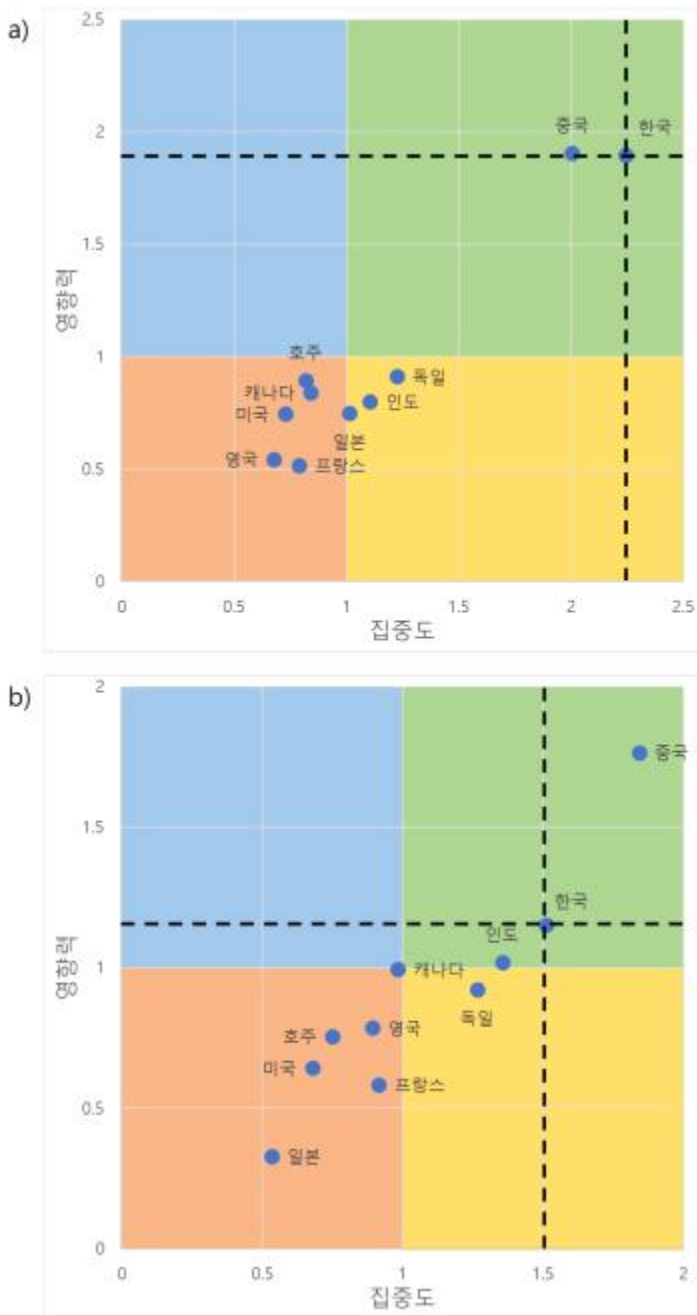
■ ‘이차전지 모듈·시스템’ 분야의 경우 정제 전후 포지셔닝 결과에 가시적인 차이 발생

- 검색어를 바탕으로 구성된 DB를 직접 활용한 포지셔닝 결과가 앞서 분석한 ‘이차전지 모듈·시스템’ 분야와 일부 유사한 경향성을 보인 상황
 - 중국의 성과 수준이 한국보다 일부 낮으며, 독일, 인도, 일본 등 국가가 세계 평균(집중도 1)보다 높은 양적 지표를 보이니, 전반적인 경향성에서 유사한 상황

- 반면 Lbl2Vec 알고리즘을 활용하여 정제된 DB를 활용할 경우 한국의 기술 수준이 상당히 감소하고 인도, 캐나다 등 국가의 성과가 상승

■ 이러한 결과는 62%를 차지하던 타 분야 논문이 제거되었기 때문으로 분석되며, 정제 이전 대비 비교적 연구 현장을 잘 반영하나 분류 성능의 보완이 필요한 것으로 판단

- 약 2.7만 건의 검색어 기반 DB 대비 38%의 논문만이 실제 ‘이차전지 모듈·시스템’ 분야로 분류되었으며, 62%의 타 분야 논문을 제거함으로써 포지셔닝 결과에 상당한 개선 확인
- 이러한 차이는 정제 이전 대비 연구 현장을 비교적 잘 반영하고 있다고 평가 가능
- 다만 전문가 자문, 문헌 조사 등 결과 전기차 제조업체가 존재하는 미국, 독일 등 국가의 성과가 상대적으로 미진한 것으로 드러난 만큼 논문 검색어 및 클러스터링 키워드 등 보완을 통해 분석 과정의 개선 필요성 제안



[그림 4-11] 이차전지 모듈·시스템 분야 국가별 포지셔닝 결과.
a) 검색어 기반 DB 직접 분석 결과, b) Lbl2Vec 기반 정제 데이터 분석 결과

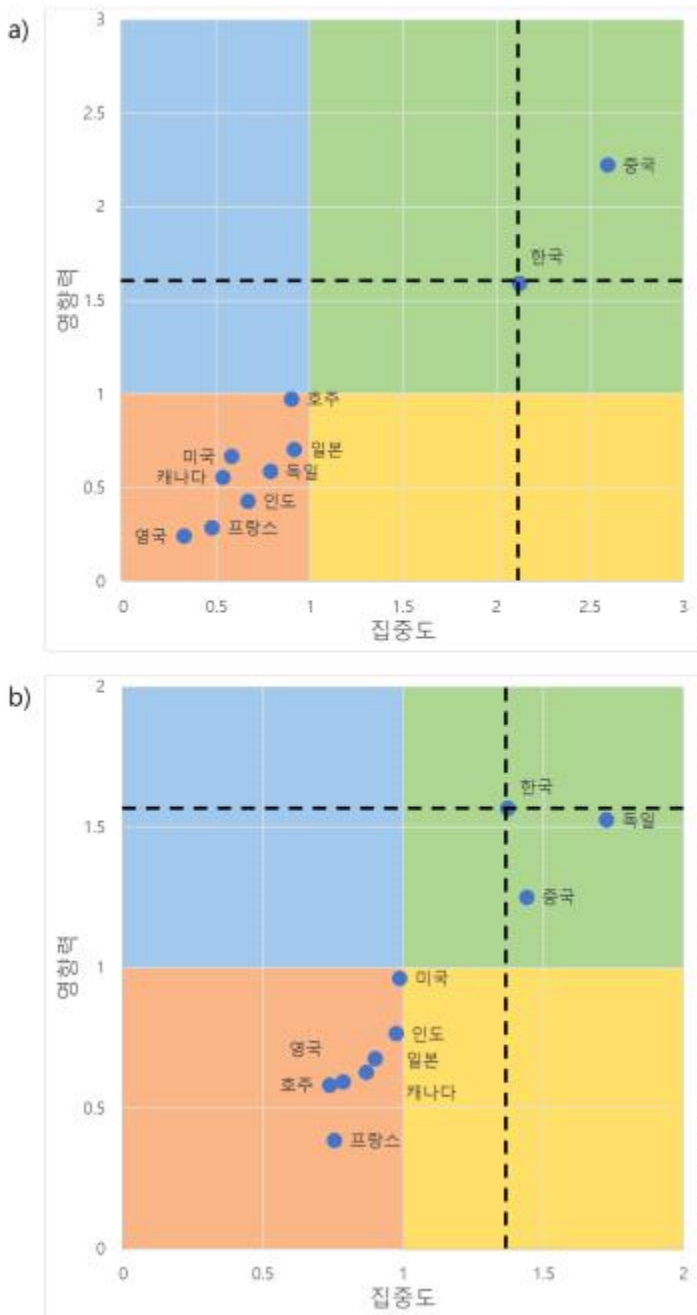
3. 차세대 이차전지 소재·셀

■ ‘차세대 이차전지 소재·셀’ 분야의 경우 정제 전후 포지셔닝 결과에 상당한 차이 발생

- 검색어를 바탕으로 구성된 DB를 직접 활용한 포지셔닝 결과가 앞서 분석한 ‘이차전지 모듈·시스템’ 분야와 결과값이 소폭 다른 점 외에 상당히 유사한 경향성을 보인 상황
- 반면 Lbl2Vec 알고리즘을 활용하여 정제된 DB를 활용할 경우 상당한 수준의 차이 발생
 - 한국의 양적 수준이 소폭 감소하였으며, 질적 수준은 유사한 상황
 - 중국의 기술 수준이 상당히 감소하였으며, 반대로 독일의 기술 수준이 상당히 증가
 - 미국 역시 세계 평균 수준으로 상승하였으며, 다른 국가들 역시 성과 수준이 전반적으로 상승

■ 이러한 결과는 79%를 차지하던 타 분야 논문이 제거되었기 때문으로 분석되며, 정제 이전 대비 비교적 연구 현장을 잘 반영하나 분류 성능의 보완이 필요한 것으로 판단

- 약 4.5만 건의 검색어 기반 DB 대비 21%의 논문만이 실제 ‘차세대 이차전지 소재·셀’ 분야로 분류되었으며, 특히 73%에 해당하던 ‘리튬이온전지 및 핵심 소재’ 분야 논문을 제거함으로써 포지셔닝 결과에 상당한 개선 확인
- 이러한 차이는 정제 이전 대비 연구 현장을 비교적 잘 반영하고 있다고 평가 가능
- 다만 전문가 자문, 문헌 조사 등 결과 차세대 이차전지 기술에서는 미국의 연구 수준이 상당히 높으며, 중국·독일의 감소·상승폭 역시 지나치게 크다고 판단되어 분류 과정에서의 보완 필요성 제언
 - 논문 검색어 및 클러스터링 키워드 등 보완 필요성 존재
 - 또한 ‘리튬이온전지 및 핵심 소재’와 유사도 0.01 이하인 논문이 다수 존재하는 만큼 중복 분야 논문을 함께 분석하는 방안 고려 필요



[그림 4-12] 차세대 이차전지 소재·셀 분야 국가별 포지셔닝 결과.
a) 검색어 기반 DB 직접 분석 결과, b) Lbl2Vec 기반 정제 데이터 분석 결과

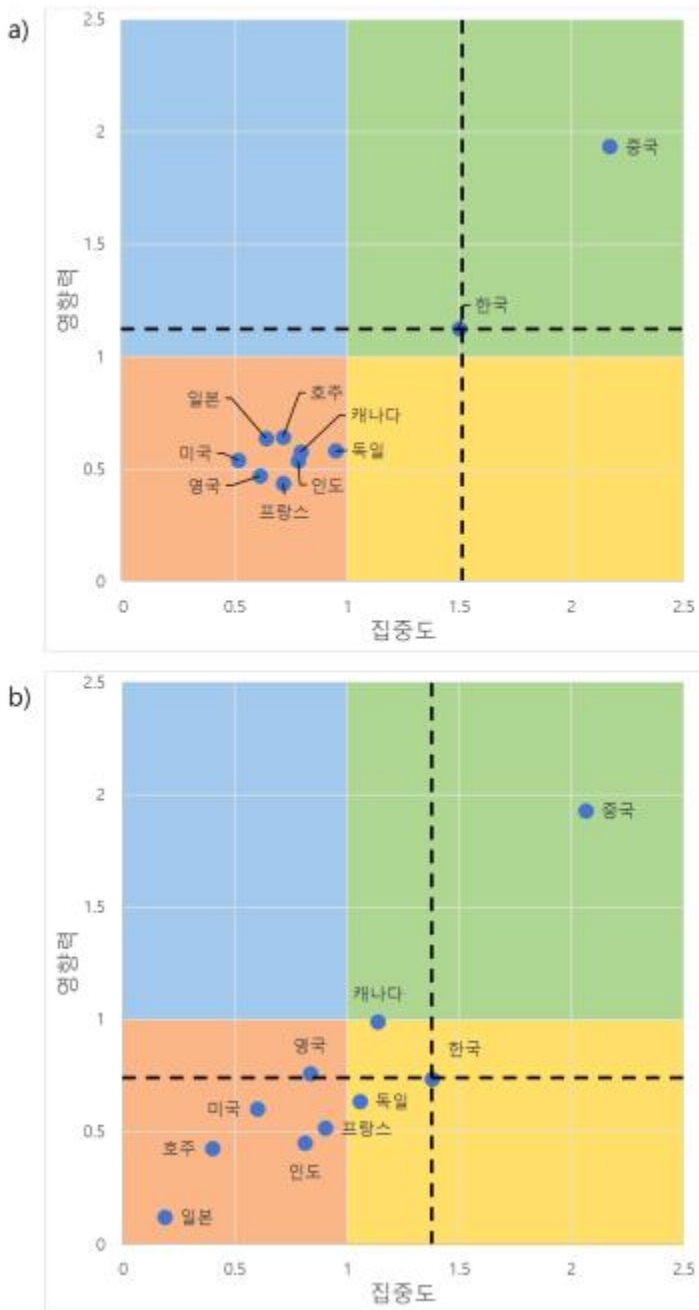
4. 이차전지 재사용·재활용

■ ‘이차전지 재사용·재활용’ 분야의 경우 정제 전후 포지셔닝 결과에 상당한 차이 발생

- 검색어를 바탕으로 구성된 DB를 직접 활용한 포지셔닝 결과 한국의 기술 수준이 비교적 낮게 평가되었으나, 그 외 경향성은 앞서 분석한 ‘이차전지 모듈·시스템’ 분야와 상당히 유사한 상황
- 반면 Lbl2Vec 알고리즘을 활용하여 정제된 DB를 활용할 경우 상당한 수준의 차이 발생
 - 한국의 양적 수준이 소폭 감소하였으나, 질적 수준이 세계 평균 이하로 상당히 감소
 - 반면 캐나다의 질적·양적 수준이 상당히 증가

■ 이러한 결과는 86%를 차지하던 타 분야 논문이 제거되었기 때문으로 분석되며, 정제 이전 대비 비교적 연구 현장을 잘 반영하는 것으로 판단

- 6,244건의 검색어 기반 DB 대비 14%의 논문만이 실제 ‘이차전지 재사용·재활용’ 분야로 분류되었으며, 기타 분야 논문을 제거함으로써 포지셔닝 결과에 상당한 개선 확인
- 이러한 차이는 특히 한국의 연구성과가 비교적 낮게 나타나는 등 정제 이전 대비 연구 현장을 비교적 잘 반영하고 있다고 평가 가능
- 다만 정제 이후 해당 분야의 논문 편수가 870건으로 작고 논문 발간이 상대적으로 활발하지 않은 분야로써, 국제협력 전략을 도출하기 위해 정책·산업 등에 대한 추가적인 조사분석이 필요할 것으로 제언



[그림 4-13] 이차전지 재사용·재활용 분야 국가별 포지셔닝 결과.
a) 검색어 기반 DB 직접 분석 결과, b) Lbl2Vec 기반 정제 데이터 분석 결과

제 4 절 소결

- 본 연구에서는 3가지 비지도학습 클러스터링 알고리즘을 활용하여 검색어 기반 논문 DB 중 노이즈 정제 및 분류 추진
 - K-Means 알고리즘은 매우 고차원인 논문의 임베딩 환경에서 클러스터링을 효과적으로 진행하기 어려운 상황
 - DBSCAN 알고리즘은 노이즈 클러스터가 정상 데이터를 지나치게 많이 포함하며, 그 크기 역시 지나치게 커서 실제 정제 과정에 활용하기 어려운 상황
 - Lbl2Vec 알고리즘을 활용하여 Noise 제거 및 분류가 성공적으로 진행되었으며, 특히 다수의 중복 논문을 고려하였을 때 분야에 따라 비교적 낮은 분류 성능 평가 지표 역시 이해 가능한 수준
- 단순 검색어 기반 DB 대비 Lbl2Vec 알고리즘 기반 정제 결과가 실제 연구 현장을 보다 잘 반영하는 것으로 판단
 - 4가지 중점기술에 대해 정제 전후 성과 포지셔닝을 비교한 결과 상당한 수준의 개선 확인
 - 특히 정제 이전에는 ‘리튬이온전지 및 핵심 소재’ 기술 분야의 논문이 타 분야 논문과 다수 중복되어 포지셔닝 결과가 상당히 유사했던 반면 정제 이후 기술별 성과 편차가 명확히 드러나는 상황
 - 이를 통해 단순 검색어 기반 DB 대비 인공지능을 활용하여 정제를 진행할 경우 실제 연구 현장을 보다 잘 반영하는 것으로 판단
- 향후 검색어 최적화, 추가 전처리, 분야별 핵심 키워드 최적화 등을 통해 클러스터링 모델의 성능 향상 추진 필요
 - 정제 이후 분석 결과에 개선이 있었으나 전문가 자문, 문헌 조사 등 결과와 대조하였을 때 검색어 구축 및 정제 과정에서 보완 필요성이 제안된 상황
 - 향후 정제 결과를 상세히 검토하고 추가적인 후속 연구를 통해 모델의 성능을 향상하여 정량적 연구성과 분석 과정에 적극 활용 필요

제 5 장

과학기술 협력 아젠다

제5장 과학기술 협력 아젠다

제 1 절 글로벌 이차전지 현황 및 국내외 이슈 분석

■ 과학기술 협력 아젠다 도출 시범국 및 기술분야 선정

- 본 연구에서는 과학기술협력 아젠다 발굴 방법론 고도화 연구 결과를 바탕으로 과학기술외교 프레임워크 내에서 과학기술 협력 아젠다를 제시하고자 함
- 과학기술 협력 아젠다를 도출 시범 대상국으로 미국과 이차전지 분야를 선정
 - － 미국은 과학기술외교역량지수 1위로 과학기술과 외교, 제반환경 부문에서 모두 한국보다 월등하게 뛰어나며, 이차전지 시장은 한국이 세계시장 24.7%를 점유하며 중국에 이은 2위 기술선도국
 - ※ 현재 글로벌 시장은 한국, 중국, 일본 3개국이 85% 이상을 점유하고 있으며, 중국 51.2%, 한국은 24.7%, 일본 9.0%를 차지(SNE리서치,2023)

■ 글로벌 이차전지 시장 및 현황

- 글로벌 이차전지 시장규모는 친환경과 탄소중립의 글로벌 트렌드 속에서 전기차 보급 확대에 힘입어 급격한 성장이 전망
- 세계 각국에서는 글로벌 완성차 기업들의 합작 공장 설립등 시장 주도권을 차지하기 위해 치열한 경쟁을 펼침
 - － 중국의 CATL은 전세계 배터리 공급사 중 유일하게 30% 이상 점유율을 차지하며 글로벌 선두
 - － 국내 배터리 3사의 점유율은 23.4%로 전년 동기 대비 2.8%p 하락했지만 사용량에서는 모두 성장세

연간 누적 글로벌 전기차용 배터리 사용량

순위	제조업체	2022 1~4	2021 1~4	증감률	2022 5월	2021 5월
1	LG	24.1	23.8	10.3%	11.0%	10.9%
3	LG에너지솔루션	17.2	25.7	49.3%	14.1%	14.1%
4	Panasonic	7.1	18.1	36.9%	6.9%	6.2%
5	SK On	9.0	9.5	5.3%	7.4%	5.2%
6	삼성	5.1	3.4	65.0%	4.1%	2.6%
7	삼성SDI	5.9	7.5	28.4%	4.8%	4.1%
8	Caterpillar	3.2	5.3	38.8%	3.6%	2.4%
9	BYD	1.9	3.4	78.8%	1.2%	1.0%
10	Samsung	1.9	2.8	43.6%	1.8%	1.3%
기타		11.2	10.6	5.6%	9.1%	8.0%
합계		122.3	122.5	0.2%	100.3%	100.0%

[그림 5-1] 연간 누적 글로벌 전기차용 배터리 사용량

출처: Global EV and Battery Monthly Tracker, SNE리서치

2050 탄소중립을 위한 이차전지 국가전략

- 2050 탄소중립과 4차 산업혁명시대 중심산업으로 이차전지 산업이 부각됨에 따라 전세계적으로 차세대 이차전지 기술개발의 필요성 증가
- (한국) 2030 이차전지산업(K-Battery) 발전전략 및 차세대 R&D 추진전략을 기반으로 배터리산업의 글로벌 경쟁력을 지원할 총력 지원체계를 마련
 - (민간) '30년까지 차세대 이차전지 R&D 투자(20.1조원) 지원
 - (정부) 소부장 기업 및 시장맞춤형 대규모 R&D 지원(민관공동 R&D 펀드 800억원)
 - ※ '24년 전고체 등 차세대 이차전지 연구개발(R&D) 투자 대폭 확대 ('23년 137억원 → '24년 246억원, 79.6%↑), 수출 확대를 위한 이차전지·전기차 등 총력 지원
 - 기술력 주도의 NCM 배터리 생산에 주력, 안전성 강화 LFP계 전지 및 전고체 전지 생산기술 개발, 폐배터리 재활용을 통한 원재료 중국 의존도 감소 노력 및 배터리 산업 인력양성 확보
- (미국) 에너지부(DOE) 산하 청정에너지실증국(Office of Clean Energy Demonstrations) 설립
 - 바이든 정부 아래 전기차(EV) 및 에너지저장장치(ESS)용 차세대 배터리에 대대적 투자
 - ※ 미국청정에너지협회에 따르면 지난 1년간 미국 내 청정에너지 제조시설에 2,700억 달러가 넘는 투자계획 중 절반에 가까운 1,300억 달러가 전기차·배터리 분야

- 원재료 가공, 정제, 셀제조 시설 확보 등을 통한 배터리 공급망 다변화
 - 기업 간 글로벌 배터리 동맹 강화
 - ※ 테슬라-파나소닉, GM-LG에너지솔루션, 포드-SK 이노베이션
 - 전기차의 핵심인 배터리 미국 내 현지생산 법제화 기반 배터리 전주기 소유화를 통해 배터리 안보 강화
 - 인플레이션 감축법 시행으로 전 세계의 투자 자금과 일자리의 미국 유입을 장려하며 국가 주도권 강화
- (중국) 적극적 정부 지원책으로 전기차 최대 생산 및 소비 국가
- 중국 정부는 배터리 보조금 지원 차별 등 자국 배터리 육성 정책 실시
 - '25년까지 30GW ESS 설치 및 2030년 ESS 전면 상용화 목표
 - 배터리 필수 원료인 리튬, 코발트, 니켈 등 광물 공급망을 장악중이며, 기술력보다는 원자재 의존도 높은 리튬인산철(LFP) 배터리를 국가주도 산업으로 확정
- (일본) EV 및 ESS용 배터리 생산능력 2030년까지 20배 확대 계획
- 민간과 정부가 함께 '30년 600GWh 생산능력 확보를 위한 96조원 투자
 - '15년 세계 1위 리튬이온전지 점유율에서 현재 3위로 후퇴
 - 리튬이온배터리의 기술 중주국으로 높은 기술력과 우수한 산업 생태계 확보
 - 테슬라와의 안정적 제휴 관계를 바탕으로 굳건한 지위를 유지
 - 희귀금속 확보 강조를 통해 '30년 안전성이 뛰어난 전고체전지 실용화 목표
- (EU) 배터리 전주기 지속가능성과 순환가능성을 강화한 배터리법(EU Battery Regulation) 최종 채택
- '22년 12월 EU 의회와 이사회는 「지속가능한 EU 배터리법」 합의를 완료하고 '24년도부터 단계적 시행을 통해 배터리 주도권 경쟁에 합류
 - 전통적 자동차 강국 EU의 전기자동차 생산 확대. 유럽전략투자기금을 통해 스웨덴의 배터리 전문기업인 노스볼트의 리튬이온전지 제조시설 설립 지원
 - 리튬 니켈등 핵심광물 재활용의무화, 배터리여권제도, 탄소발자국제도, 폐배터리 수거강화, 공급망 실사 규정 적용 등

■ 미래 EV 시장을 주도할 글로벌 차세대 이차전지 제조기술 확보 경쟁

- 전세계적으로 리튬이온전지 한계극복 차세대전지의 조기상용화를 위한 대규모 R&D 추진

<표 5-1> 차세대 전지 관련 R&D 내용

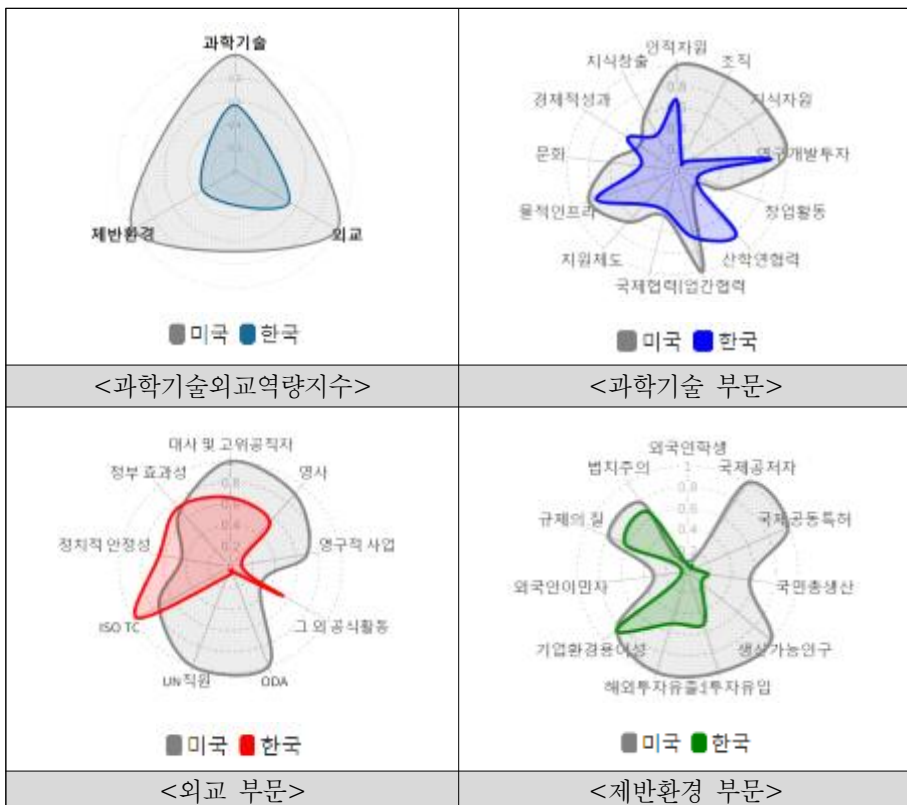
차세대 전지	설명
혁신형 리튬이온전지	하이니켈 양극재, 실리콘 음극재 등 고성능 소재
전고체 전지	EV, 군용, 우주용으로 핵심소재가 모두 고체형인 안전성 강화, 고용량 전지
리튬황 전지	소형화·경량화 가능하며 항공 및 드론용 고용량 전지
리튬금속 전지	리튬금속 음극재를 적용한 고안전·고용량 EV용 이차전지
레독스흐름 전지	고안전·고출력·장주기 ESS 용 이차전지 개발 및 실증 추진
셀-모듈-팩	화재 억제 등 패키징 소재 개발

제 2 절 과학기술외교역량 한-미 비교

■ 과학기술외교역량지수 기반 한-미 비교

- 과학기술외교역량지수 1위인 미국과 부문별 비교를 진행하였을 때, 한국의 과학기술, 외교, 제반환경 부문의 역량은 미국에 비해 다소 부족
- 과학기술 부문에서는 한국이 산학연협력과 경제적 성과 항목에서 미국을 소폭 앞서나 인적자원, 조직, 지식자원 등에서 큰 차이
 - 외교 부문의 경우 한국이 미국보다 정치적 안정성과 정부 효과성 및 ISO 기술위원 수에서 미국을 앞서는 것으로 나타남
 - 제반환경 부문의 경우 모든 지표에서 미국보다 떨어지는 것으로 나타났지만, 기업환경 용이성은 동일한 수준으로 높게 나타남

<표 5-2> 과학기술외교역량 한·미 비교



- 항목 및 세부 지표별 비교에서 한국과 미국이 함께 우수한 역량을 나타내는 부분은 과학기술 부문 자원, 활동, 성과 항목, 외교 부문의 영향력, 제반환경 부문의 국제교류 및 산업 항목으로 나타남
- 특히 한국은 산학연협력, 물적인프라 및 사업용이성 측면에서 뛰어난 이점을 가지고 있어 미국 연구기관 간 협력 및 기업 투자 및 유치 노력을 중심으로 한 정책 지원 필요
- 또한, 양국의 우수한 사절단 및 국제기구 인력을 활용하여 국가 간 소통을 강화하고 지속적인 교류를 통한 과학기술 분야 네트워크 확대를 위한 투자 장려 필요

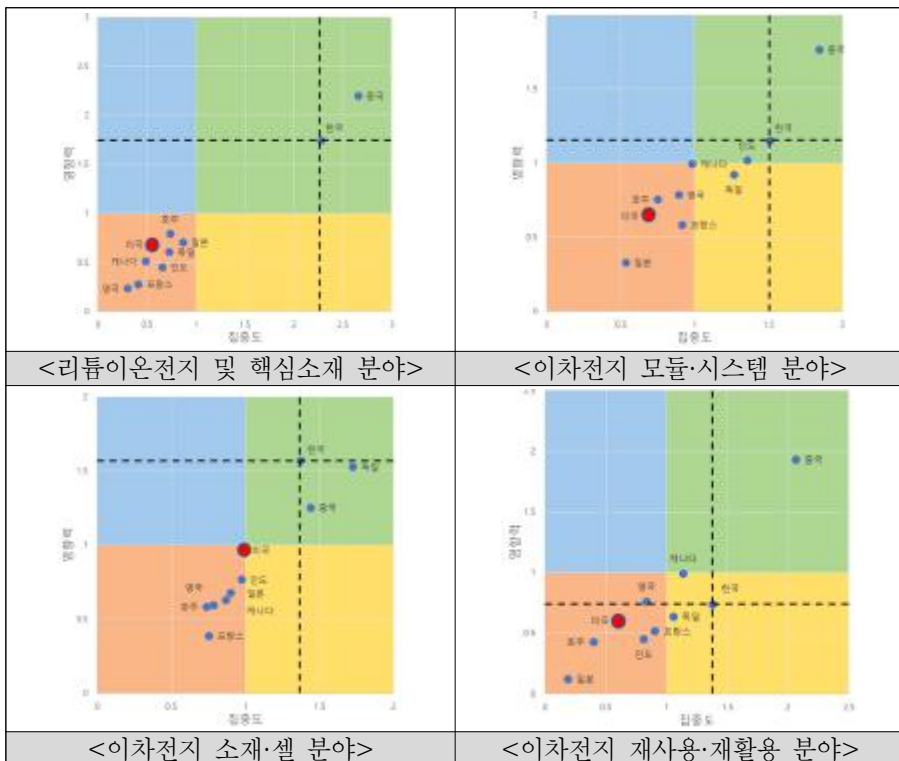
<표 5-3> 과학기술외교역량지수 지표별 한·미 비교

부문	항목	세부지표	한국순위	미국순위	한국점수	미국점수
과학기술	자원	인적자원	5	1	0.67	1
		조직	5	1	0.10	1
		지식자원	6	1	0.15	1
	활동	연구개발투자	2	1	0.87	1
		창업활동	8	3	0.20	0.50
	네트워크	산학연협력	6	25	0.58	0.16
		기업간협력	12	1	0.67	1
		국제협력	34	31	0.22	0.24
	환경	지원제도	29	15	0.55	0.73
		물적인프라	9	4	0.81	0.87
		문화	27	16	0.38	0.65
	성과	경제적 성과	6	8	0.56	0.43
		지식창출	11	3	0.38	0.61
외교	공식활동	대사·고위대표	9	1	0.66	1
		영사	9	4	0.55	0.90
		영구적해외임무	31	3	0.10	0.70
		그외공식활동	2	3	0.55	0.32
	영향력	ODA	17	1	0.05	1
		UN직원	18	1	0.10	1
		ISO TC(기술위원)	5	15	0.96	0.74
	리더십	정치적안정성	23	33	0.65	0.45
		정부효과성	13	17	0.73	0.70

부문	항목	세부지표	한국순위	미국순위	한국점수	미국점수
제반환경	국제교류	국제학생모빌리티	30	26	0.06	0.09
		국제공저자	13	1	0.07	1
		국제공동특허	16	1	0.06	1
	경제	GDPpc	22	5	0.19	0.57
		생산가능인구	9	1	0.17	1
	산업	해외투자유입	13	1	0.52	1
		해외투자유출	8	1	0.52	1
		사업용이성	3	3	0.85	0.85
	사회	규제의 질	25	16	0.62	0.78
		법치주의	22	18	0.67	0.78

○ 한국의 우수한 이차전지 분야 연구 성과를 활용한 미국과의 국제협력 추진 제안

<표 5-4> 이차전지 부분 논문 분석 결과 한·미 비교



제 3 절 이차전지 미국 국제협력 아젠다

과학을 위한 외교

- 과학기술은 미래 경제자원이자 외교자원의 역할을 수행
 - 한국과 미국의 우수한 인적·지식자원과 산업환경을 활용하여 배터리 분야 공동의 이익 달성을 위한 협력 논의 필요
 - 한국이 강점을 가지고 있는 배터리 분야 중에서도 미래 기술 주도권을 확보하기 위한 차세대 배터리 기술 개발 협력에 초점을 맞춘 아젠다 제안
- 미래 에너지의 패러다임 변화에 맞춘 한-미 간 배터리 분야 국제협력 추진
 - 핵심 기술인 에너지저장으로 패러다임이 전환되고 있으며, 이차전지(배터리) 기술이 글로벌 국가경쟁력 핵심으로 부상

<표 5-5> 배터리 분야 핵심기술

기술목표	주요내용
혁신적 효율·성능 향상	① 하이니켈(90% 이상) 양극재, 실리콘 음극재(5% 이상) 등 고성능 소재 개발 ② 셀-모듈-팩 연계 단순화, 화재억제 등 패키징 소재 개발 ③ 고성능 하이니켈 NCM 양극소재 적용 전고체전지(800Wh/L) ④ 리튬메탈 음극 기반 혁신전지(1,000Wh/L) ⑤ 황 전극을 활용한 리튬황 전지 기술 ⑥ 건식 극판 공정기술 기반 고성능 리튬이온전지 기술(800Wh/L)
안전성·내구성 향상	⑦ 리튬이온계 소재 기반 고안전성 전고체전지 ⑧ 친환경공법을 적용한 인산철(LFP)계 전지 ⑨ 고안전성 전고체전지 생산 기술 ⑩ 비리튬이온계 소재 기반 고안전성 전고체 및 수계 이차전지 ⑪ 고안전성/장수명(수명 20년) 레독스흐름전지
원료·소재 자립화	⑫ 나트륨이온전지(고도화) 및 다가가이온전지 (600Wh/L) ⑬ 해수전지 (450Wh/L) ⑭ 사용 후 전지의 재활용

- 리튬이온전지의 한계극복과 최근 심화되는 기술패권 경쟁으로 차세대 배터리의 과학기술 글로벌 경쟁력 강화가 필요한 상황

- 차세대 전지 기술의 선제적 확보를 위한 초격차 기술확보를 위해 미국 내 우수기관과의 국제공동연구 수행 및 글로벌 기술협력 전략 필요
 - 한국은 뛰어난 이차전지 분야 연구성과에도 불구하고 국제 공동연구협력이 미국에 비하여 많이 뒤쳐진 편. 한국의 이차전지 분야 연구자들과 미국 우수 기관과의 공동 연구 확대 장려를 위한 지원 필요
 - 관련 분야 세부 기술 협력 아젠다로는 배터리 효율 향상을 위한 시스템 기술 개발, 안전성·내구성 개선을 위한 차세대 전지 소재 분야의 지원을 확대하고 원료 및 소재 자립화를 위해 새로운 원료 공급망 발굴에 관한 논의를 제안

<표 5-6> 배터리 분야 국제협력 추진방향

	As-is	To-be
혁신적 효율·성능 향상	리튬이온전지 전극소재의 용량이 이론적 한계에 도달	에너지밀도 증대를 위한 소재 및 관련 시스템 기술 개발
안전성·내구성 향상	리튬금속의 높은 반응성, 발화성 유기용매 사용에 따른 발화·폭발	고체 전해질 및 비리튬기반 차세대 전지 소재 개발
원료·소재 자립화	핵심원료(리튬, 니켈, 코발트)의 수급 불안정 및 가격 상승	저렴하고 국내 조달이 가능한 원료 공급망 확보

- 과학기술외교 역량 강화를 위한 산업환경 기틀 마련
 - 미국이 2032년까지 전체 차량의 2/3를 전기차로 전환할 계획을 발표함에 따라 전기차 배터리 시장 또한 대폭 성장할 것으로 전망
 - 국내 전기차 배터리 3사(LG에너지솔루션, 삼성SDI, SK온)의 대미 투자 계획 발표로 다수의 납품업체 등 배터리 관련 한국 기업들이 미국 내 공장 건설 형태 현지 진출 계획(KOTRA, 2023)
 - 대기업과의 협력을 필요로 하는 국내 1, 2차 벤더기업들의 미국 시장 진출 지원 방안 적극 검토 및 미국 시장정보 및 관련 제도 등에 대해 국내 기업들에게 지속적 안내 필요
- ※ 미국은 자국산업 보호 일환으로, 북미에서 최종 조립된 전기차가 아닌 경우 일정 비율 이상의 광물과 부품이 북미에서 생산된 배터리를 사용하지 않으면 전기차

세액공제(보조금) 대상에서 배제된다는 조건을 포함. 2024년부터 전기차 배터리 주요부품 중, 복미 제조 비율 60%이상, 2028년 이후에는 100% 충족시에만 세액공제 혜택을 받을 수 있으며 배터리 광물의 경우, 미국이나 FTA 체결국에서 채굴·가공한 핵심광물 40% 이상 포함 배터리 장착 전기차만 보조금 혜택

○ 과학기술 국제교류 활성화를 위한 제반환경 마련

- 한국의 국제 학생 모빌리티(외국인 학생 비율)는 30위로 미국 외 다른 OECD 국가들과 비교했을 때에도 현저히 낮은 순위이며 국제공저자 및 국제공동특허도 각 13위, 16위로 미국과 비교하여 낮은 수준
- 미국 시장 진출 및 관련 분야 공동연구를 위한 인력 수급 문제 해결을 위해 외국인 학생과 우수한 연구자 유입을 적극 장려할 필요
- 동시에 외국인 연구자들의 국내 정착이 원활하도록 과학기술 분야 외국인 인재들의 국내 입국 절차 과정의 간소화와 거주 시 어려움이 없도록 생활환경 구축을 지원

■ 외교 속의 과학

○ 국제사회 내 배터리 관련 글로벌 이슈 대응 및 문제 해결을 위해 국제공동기술협력 필요

- 한국은 미국에 비해 외교 활동의 영향력이 크지는 않지만, ISO 기술위원회 세계 5위로 표준화 관련 국제 영향력이 우수한 편. 한국의 배터리 연구역량과 표준화 분야의 전문성을 바탕으로 새로운 기술개발의 표준화 전략 수립 협력 제안 가능

○ 이차전지 관련 대표적인 국제기구로 IEA의 기술협력 프로그램(에너지저장분과/ES-TCP)과 같은 활동에 적극 참여 유도

- 국제에너지기구(IEA)는 국제사회가 요구하고 있는 넷제로(Net-Zero) 및 온실가스 감축의 공동목표를 IEA 회원국들과 함께 기술적 협력을 통해 이루고자 국제에너지프로그램인 기술협력프로그램(Technology Collaboration Program, TCP)을 운영

※ 에너지저장분과(ES-TCP)는 재생에너지 증가로 복잡해진 그리드 시스템의 에너지 효율을 최적화하기 위해 에너지저장기술을 개발하여 에너지시스템에 통합·발전시키는 임무를 수행

■ 외교를 위한 과학

- 글로벌 기술패권 경쟁 격화 및 배터리 시장의 소유화 및 지배력 강화 대비
 - 한국의 외교역량은 10위로 1위인 미국과 비해 낮지만 과학기술 역량이 5위로 이를 활용한 국제 영향력 확대 필요성 존재
 - 한미 수교 70주년을 지나 배터리 분야의 연구협력을 통해 미국과의 첨단기술 동맹을 강화하고 가치 공유를 위한 연대 필요
- 한국이 보유한 우수 기술 활용 윈윈(win-win) 전략 제시
 - 미국은 반고체 리튬메탈배터리(LMB), 전고체배터리(SSB) 등과 같은 차세대 배터리 기술, 친환경 배터리 리사이클링 기술과 저장장치(ESS)에 기술력을 갖춘 대학, 연구소, 기업 보유한 반면 배터리 양산 기술력은 취약
 - 한국의 보유한 이차전지 모듈·시스템 기술력과 배터리 양산 및 응용기술 개발 능력을 결합하여 전략적 파트너로서 미국과의 관계 강화
- 미국·중국 간 기술패권 경쟁이 격화되고 배터리 핵심 소재에 대한 안정적이고 회복력이 강한 공급망 확보가 중요 이슈
 - 중국의 배터리 필수 광물 공급망 (1차 가공 화합물, 특히 리튬화합물) 장악에 대비하여 미국과 공급망 의존도 감소 노력 함께 논의
 - 배터리 원료 공급망에 있어서 해외 의존도를 줄이는 방법 강구
- 글로벌 배터리 업계 내 배터리 안보를 위한 활발한 협업 제시
 - 성능·안전이 우수한 배터리 기술에 대한 미국과의 공동 연구 강화, 양국 내 우수 연구자들과의 지속적 네트워크 관리 및 영향력 확대 필요
 - 동시에 각국이 자체적인 배터리 공급 역량을 확보할 경우를 대비해 차세대 이차전지의 앞선 기술력 꾸준한 유지 필요
- 이차전지의 소재는 에너지안보와 연결되어 있어 전략적 기술동맹과 같은 과기외교 추진 정비 필요
 - 미국과의 양자 협력 외에도 미국 주도의 여러 협력국들과의 배터리 전략 제휴, 통상협력 파트너십 구축
- 에너지 안보를 위해 이차전지 기술 뿐 아니라 재사용 및 재활용의 혁신기술 개발에 대한 논의를 제시하고 양국이 배터리 분야 패권을 주도할 수 있는 글로벌 과학기술 협력 체계 수립 필요

제 6 장

결론 및 기대효과

제6장 결론 및 기대효과

1. 결론

■ 과학기술외교(Science Diplomacy) 프레임워크 기반 과학기술 협력 아젠다 발굴 프로세스 구축

- 기존 과학기술 중심의 정성적 아젠다 도출에서 나아가 과학기술외교 프레임워크 기반의 새로운 방법론 제시 및 기존 논문 분석 방법론 개선
 - AAAS의 과학외교(Science Diplomacy)의 세 가지 분류(외교를 위한 과학, 과학을 위한 외교, 외교 속의 과학)에 따른 국가별 과학기술외교역량 분석 틀 마련
- 국가별 과학기술외교역량을 정량적으로 파악할 수 있는 프레임워크 기반 국가 포지셔닝 분석 및 논문 성과 분석
- 과학기술외교 프레임워크 기반 분석 결과를 통한 시범국 전략적 협력 아젠다 도출

<표 6-1> 과학기술 협력 아젠다 발굴 단계별 목적 및 결과

목적	결과
과학기술외교 기반 분석 프레임 구축	Science Diplomacy 3가지 분류 기반 분석 틀 마련
↓	
국가 포지셔닝 분석	과학기술외교역량지수 개발을 통한 국가별 역량 비교
↓	
논문 성과 분석 방법론 고도화	논문 키워드 정제 방법론 고도화를 통한 분석 정확도 개선
↓	
협력 아젠다 발굴	과학기술외교역량지수 및 논문 분석 결과 기반 한-미 배터리 분야 협력 아젠다 도출

■ 과학기술외교역량지수 개발을 통한 국가별 과학기술외교 역량 진단

- 과학기술 국제협력 강화를 위한 과학기술외교(Science Diplomacy)의 중요성 증대에도 불구하고 국가별 과학기술외교역량을 파악하고 비교할 수 있는 툴(tool) 부재
 - 현재까지 국가의 과학기술 역량을 파악하기 위한 정량적 시도는 많았으나 과학기술이 외교의 핵심 요인으로 떠오르는 지금 국가의 과학기술외교 역량을 정량적으로 진단하고 국가 간 비교를 가능케 할 분석 툴(tool) 부재
 - 본 연구에서는 이러한 간극을 메꾸고자 주요국의 과학기술외교역량을 정량적으로 진단할 수 있는 과학기술외교역량지수 개발
 - 과학기술외교 프레임워크에 기반한 과학기술외교역량지수 개발
 - 과학기술외교역량 관련 지표들을 수집하고 각 값을 취합하여 국가의 전반적 과학기술외교역량을 추정할 수 있는 복합지수 도출
 - 국가별 비교가 가능하도록 지표 값의 표준화 및 순위를 도출하여 비슷한 과학기술외교역량 국가들을 그룹화
 - 새로운 방법론 결과의 주요국 비교를 통한 전략적 아젠다 발굴 및 실증 분석
 - 주요국 과학기술외교역량 분석 결과를 통한 국가별 과학기술역량, 외교력 및 제반 환경 등 특성 및 현황 파악
 - 기존 기술 중심의 아젠다 발굴이 아닌 과학기술외교 프레임워크를 활용한 과학기술 협력 전략 도출
 - 시범국 대상 과학기술외교역량 결과 기반 과학기술 협력 아젠다 실증 분석
- ## ■ 정량적 연구성과 분석 과정의 고도화를 위해 인공지능 기반 DB 정제 방법론 구축
- 각각의 지수를 병렬적으로 분석하는 방법 대비 2차원 매트릭스 분석법의 경우 간명한 분석 과정, 시각적 가시성, 직관적 시사점 도출 등 장점 보유
 - 주어진 지수화 방법을 활용하여 2개 지수 도출 이후 매트릭스 구성을 통해 분석을 진행하여 비교적 간단한 과정을 거쳐 분석 가능
 - 매트릭스 구성을 통해 결과의 분포를 시각적으로 한눈에 확인할 수 있어 뛰어난 가시성 보유

- 또한 매트릭스 상의 위치를 기반으로 시사점을 도출하여 수십 개 이상의 지수를 병렬적으로 분석하는 경우 대비 상대적으로 높은 직관성 보유

2. 기대효과

■ 과학기술외교 프레임을 반영한 새로운 정량적 분석 방법론 제시

- 아젠다 발굴 프레임 재설정을 통한 분석 방법론 개편
 - 기존 과학기술 국제협력 아젠다 발굴의 정성분석 논리를 강화하고 분석 결과를 정량적으로 뒷받침하기 위한 아젠다 발굴 프레임 재설정
 - 논문·특허 성과 중심의 과학기술 국제협력 분석에서 나아가 과학기술 및 외교 역량, 제반환경을 전반적으로 고려한 과학기술외교역량 기준 제시

■ 인공지능 기반 DB 정제 과정 구축을 통해 정량적 근거 기반 아젠다 발굴의 시간적·인적 자원 투입 감소 및 분석 효과성 제고 기대

- 기존에 주로 활용되던 분야별 수천~수만 건의 논문을 직접 정제하는 방식에서 탈피하여 인공지능 활용을 통해 비용의 획기적 감소 기대
- 또한 신항기술 분야나 기술패권, 경제안보 등 새롭게 대두되는 글로벌 이슈에 대응하여 주요 키워드를 기반으로 신속한 과학기술협력 아젠다 분석·발굴 등에 다각적인 활용 기대

■ 전략적 과학기술 협력 아젠다 도출

- 국가별 특징 및 부문별 수준 그룹화 분석 결과(과학기술외교역량 선도그룹, 후발그룹)를 바탕으로 국가별 전략적 아젠다 도출안 제시
 - 세부 항목 및 지표별 점수를 활용하여 국가별 강점 및 약점을 파악하고 이에 따른 전략적 협력 방안 제시
- 본 연구 결과를 바탕으로 정상회담·과기공동위 등 고위급 회의 등의 외교채널 강화 및 과학기술외교 제반환경 제고를 통한 전략적 국제공동연구 아젠다 도출 및 글로벌 이슈에 대응하는 협력 전략 수립

3. 향후계획

■ 부문별 지표 보완을 통한 과학기술외교역량지수 정교화

- 부문별 관련 지표 보강과 지표별 가중치 조정을 통한 지수 체계 정교화
 - 부문별 중복성이 강한 지표 배제 또는 조정을 통한 지수 체계 정교화
 - 전문가 서베이와 자문을 통한 적정 지표 선정 및 지표별 가중치 조정
 - ※ 과학기술 부문에 사용된 COSTII의 경우 과학기술혁신역량지수로 문화 항목을 포함. 해당 항목을 제반환경 지표로 포함시키는 등 지표 재분류를 통한 지수 정확성 제고
- 과학기술외교 관련 지표 발굴을 통한 관련 지표 풀(pool) 확대
 - 현 과학기술외교역량지수는 과학기술과 외교, 제반환경의 세 부문으로 나누어 각각의 복합지수를 도출하였으나 추후 과학기술외교 전반을 아우를 수 있는 지표 선별 작업 필요
 - ※ 설문조사 등을 활용하여 국가의 과학기술외교 역량을 체계적으로 반영할 수 있는 지수 개발 필요

■ 근거기반 방법론 고도화 결과 기반 분석 대상국 확대 및 전략적 과학기술 협력 아젠다 제시

- 기존 기술 중심의 선진국 위주 협력 아젠다 발굴 전략에서 나아가 전략적 협력 대상국 풀(pool) 확대
 - 선도 기술 수준 확보 국가 뿐 아니라 외교적, 제반환경의 강점을 가진 국가들과의 전략적 협력 아젠다 발굴 및 외교 채널 강화
 - 본 연구에서 분석한 시범 기술분야(배터리) 이외 다양한 전략기술 분야별 협력 아젠다 도출 필요
- 논문 분석 방법론 뿐 아니라 특허 등 연구성과 분석 방법론 추가 보완
 - 논문 성과 분석 정확도 제고 방법론의 특허 성과 분석 적용
 - 연구개발단계(기초, 응용, 개발)별 성과 분석 추가 진행
- 과학기술 협력 아젠다 발굴 과정 정량 분석 비율 확대
 - 국가별 과학기술 정책 현황·동향 정성 분석 결과에 AI 분석 및 토픽모델링 등 방법론 등을 활용한 정량 분석 결과 보충을 통해 정성분석 결과의 설득력 강화

- 아젠다 발굴 방법론 고도화 결과 활용을 통해 향후 과학기술 국제협력 전략·정책 수립 및 이를 바탕으로 한 신규 국제협력 과제 및 사업 추진 과정에서 전략성·효과성 제고 기대
 - 연구성과 분석 방법론 고도화를 통한 전략기술별 연구 협력 과제 발굴, 국가 맞춤형 국제협력 사업 추진 및 전략적 네트워크 강화
 - 국가별 과학기술외교역량 결과를 활용한 국제협력 전략·정책 수립

제 7 장

참고문헌

- 1) OECD. (2021). Science, Technology and Innovation Outlook 2021.
- 2) KISTEP. (2023). 국가 과학기술혁신 역량평가. 한국과학기술기획평가원.
- 3) Ruffini, Pierre-Bruno. (2023). Science diplomacy. On several basic notions and key questions. Science Diplomacy: Foundations and Practice. EUT(Edizioni Universita di Trieste).
- 4) Flink, T. & Ruffin, N. (2019). The current state of the *art* of science diplomacy. Handbook on Science and Public Policy.
- 5) Gluckman, V. et. al. (2017). Science Diplomacy: A Pragmatic Perspective from the Inside. Science & Diplomacy.
- 6) National Research Council. (2015). Diplomacy for the 21st Century. Embedding a Culture of Science and Technology throughout the Department of State. Washington, D.C.: National Academy Press.
- 7) National Research Council. (1999). The Pervasive Role of Science, Technology and Health in Foreign Policy: Imperatives for the Department of State. Washington, D.C.: National Academy Press.
- 8) SNE Research. (2023). 2023년 1~4월 글로벌 전기차용 배터리 사용량 182.5GWh, 전년 동기 대비 49.0% 성장.
https://www.sneresearch.com/kr/insight/release_view/116/page/24
- 9) Global Tech Korea(GT). 美 DOE, 새로운 청정에너지 실증국 설립. 글로벌 산업정책동향. 한국산업기술진흥원. 2022.
- 10) 양현상. (2023.4.14.). [양현상 칼럼] ESS 산업 전망과 VRFB 시장 주목. 한국경제. <https://www.hankyung.com/article/202304135266Q>
- 11) Aukes, E., Wilsdon, J., Ordóñez-Matamoros, G., Kuhlmann, S. (2021). Global resilience through knowledge based cooperation: A New Protocol for Science Diplomacy. S4D4C.
- 12) KOTRA. (2023). 한국 전기차 배터리 제조사의 미국 시장 진출 확장 동향. https://dream.kotra.or.kr/kotranews/cms/news/actionKotraBoardDetail.do?SITE_NO=3&MENU_ID=100&CONTENTS_NO=1&bbsGbn=322&bbsSn=322&pNttSn=204844

부 록

부록 1 과학기술 부문 지표별 자료원(COSTII)

부분	항목	지표	자료원	분석대상(년)	
				'20	'21
자원	인적 자원	총 연구원 수	OECD, Main Science and Technology Indicators, September 2022	'19	'20
		인구 만 명당 연구원 수	OECD, Main Science and Technology Indicators, September 2022	'19	'20
		인구 중 이공계 박사 비중	OECD education at a glance	'18	'19
	조직	미국특허 등록 기업 수	한국특허기술진흥원, USPTO 특허분석자료 2022	'20	'21
		세계 경영 500위 이내 대학 수	Quosquarelli Symondt, QS World University Rankings 2023	'21	'22
		기업 수	세계 R&D 투자 상위 1000대 기업 수	EU, EU Industrial R&D Investment Scoreboard 2021	'19
활동	지식 자원	최근 15년간 SCI 논문 수(STOCK)	KISTEP, 과학기술 논문성과 분석연구 2022	'06~'19	'06~'20
		최근 10년간 특허 수(STOCK)	OECD, Main Science and Technology Indicators, September 2022	'10~'19	'11~'20
	연구 개발	연구개발투자 총액	OECD, Main Science and Technology Indicators, September 2022	'19	'20
		GDP 대비 연구개발투자 총액 비중	OECD, Main Science and Technology Indicators, September 2022	'19	'20
		연구원 1인당 연구개발투자	OECD, Main Science and Technology Indicators, September 2022	'19	'20
		산업부가가치 대비 기업연구개발투자 비중	OECD, Main Science and Technology Indicators, September 2022	'19	'20
	투자	GDP 대비 정부연구개발예산	OECD, Main Science and Technology Indicators, September 2022	'20	'21
		창업 활동	인구 중 세삼연학 및 권부화특정 창업 비중**	Global Entrepreneurship Research Association, Global Entrepreneurship Monitor 2021~2022 Global Report	'19~'20
	GDP 대비 벤처캐피탈 투자금액 비중		OECD (2022), Enterprise Statistics	'20	'21
	네트 워크	신학연 협력	미국등록특허 대비 산·학·연 공동특허 수 비중	한국특허기술진흥원, USPTO 특허분석자료 2022	'20
정부·대학의 연구개발비 중 기업지원 비중			OECD, Research and Development Statistics 2022	'18	'19
기업간 협력		기업 간 협력*	WEF, Global Competitiveness Report 2019	'17~'18	'18~'19
		국제 협력	미국등록특허 대비 국제공동특허 수 비중	한국특허기술진흥원, USPTO 특허분석자료 2022	'20
GDP 대비 (해외투자+외국인투자) 비중	OECD (2022), FDI flows (indicator), doi		'20	'21	
환경	지연 제도	기업 연구개발비 중 정부지원 비중	OECD, Main Science and Technology Indicators, September 2022	'19	'20
		법·제도적 지원정도*	IMD, The world Competitiveness Yearbook 2022	'19~'21	'20~'22
		지식재산권 보호정도*	IMD, The world Competitiveness Yearbook 2022	'19~'21	'20~'22
	물적 인프라	과학연구관련법률의 혁신 지원정도*	IMD, The world Competitiveness Yearbook 2022	'19~'21	'20~'22
		인구 백 명당 유선 및 모바일 브로드밴드 가입자 수	ITU, World Telecommunication/ICT Indicators database 2022	'20	'21
		모바일 브로드밴드 가입자 수	ITU, World Telecommunication/ICT Indicators database 2022	'20	'21
		인터넷 사용자 비중	ITU, World Telecommunication/ICT Indicators database 2022	'20	'21
	문화	다지텔·기술의 활용 용이성*	IMD, The world Competitiveness Yearbook 2022	'19~'21	'20~'22
		새로운 문헌에 대한 태도*	IMD, The world Competitiveness Yearbook 2022	'19~'21	'20~'22
	경제적 성과	지식 창출	교육정책에서의 비판적 사고 능력 정도*	WEF, The Global Competitiveness Report 2019	'17~'18
국민 1인당 산업부가가치			OECD, Main Science and Technology Indicators, September 2022	'20	'21
하이테크산업의 제조업 수출액 비중			World Bank, World Development Indicators 2022	'19	'20
성과		GDP 대비 지식재산사용료 수입 비중	OECD, International Trade in Services Statistics	'19	'20
		연간 특허 수	OECD, Main Science and Technology Indicators, September 2022	'19	'20
		인구 천 명당 특허인수	OECD, Main Science and Technology Indicators, September 2022	'19	'20
지식 창출	인구 천 명당 SCI 논문 수 및 인용도	KISTEP, 과학기술 논문성과 분석연구 2022	'19	'20	
	인구 천 명당 SCI 논문 수	OECD, Main Science and Technology Indicators, September 2022	'19	'20	
	5년 주기별 논문당 평균 인용도 수	KISTEP, 과학기술 논문성과 분석연구 2022	'16~'20	'17~'21	

*표는 설문지표, **표는 신규로 포함된 지표임

부록 2 외교 부문 지표별 자료원

부문	항목	지표명	출처	대상연도
환경	국제 협력	대사·고위대표	Lowy Institute, Global Diplomacy Index	'21
		영사	Lowy Institute, Global Diplomacy Index	'21
		영구적해외업무	Lowy Institute, Global Diplomacy Index	'21
		그외공식활동	Lowy Institute, Global Diplomacy Index	'21
	경제	ODA	OECD, Total flows by donor(ODA, grant equivalent measure)	'22
		UN직원	UN, Personnel by nationality	'22
		ISO TC	International Organization for Standardization(ISO), ISO Members: TC Participation by country	'22
	정치	[E]정치적 안정성	The World Bank World Development Indicators (WDI), Political stability and absence of violence/terrorism: Estimate	'22
		[E]정부 효과성	The World Bank World Development Indicators(WDI), Government effectiveness: Estimate	'22

※ [E]는 Estimate data로 서베이 데이터를 활용하여 표준화한 점수(-2.5~2.5점)

부록 3 제반환경 부문 지표별 자료원

부문	항목	지표명	출처	대상연도
환경	국제협력	외국인 학생 비율	OECD Main Science and Technology Indicators (MSTI), International student mobility	'20
		국제 공저자 논문 수	National Science Foundation, Science and Engineering Indicators, International co-authorship of S&E articles	'20
		국제 특허 협력 건 수	OECD Main Science and Technology Indicators (MSTI), International co-operation in patents	'21
	경제	1인당 국민총생산	The World Bank World Development Indicators (WDI), GDP per capita (current US\$)	'22
		생산가능인구	The World Bank World Development Indicators (WDI), Population ages 15-64, total	'22
	산업	해외직접투자 유입	OECD Main Science and Technology Indicators (MSTI), Foreign direct investment financial flows inward (million US\$)	'22
		해외직접투자 유출	OECD Main Science and Technology Indicators(MSTI), Foreign direct investment financial flows outward (million US\$)	'22
		[A]기업환경 지수	WB World Development Indicators (WDI), Ease of doing business score (0=lowest performance to 100=best)	'20
	사회	외국인 이민자 비율(%)	UN, International migrant stock (% Population)	'20
		[E]규제의 질	The World Bank World Development Indicators (WDI), Regulatory quality: Estimate	'22
		[E]법치주의	The World Bank World Development Indicators (WDI), Rule of law: Estimate	'22

※ [A]는 Aggregate data로 해당 지표와 관련된 복합지표들의 점수를 취합한 점수(0~100점)

※ [E]는 Estimate data로 서베이 데이터를 활용하여 표준화한 점수(-2.5~2.5점)